



V. YENİLENEBİLİR
ENERJİ KAYNAKLARI
SEMPOZYUMU
BİLDİRİLER KİTABI



TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası

1954

YEKSEM 2009

5.Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu "Bildiriler Kitabı"

"ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI"

Haziran,2009

EMO YAYIN NO: SK/2009/7

ISBN 978-9944-89-741-9

ADRES

Ihlamur Sokak No:10 Kat:2 06420 Kızılay/ANKARA

Tel: (312) 425 32 72 Faks: (312) 417 38 18

e- Posta: emo@emo.org.tr <http://www.emo.org.tr>

333.79420

YEK

YEKSEM 2009: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu
[5:Diyarbakır:2009] .

Bildiriler Kitabı/ EMO. -- 1.bs. -- Diyarbakır : EMO
Yayınları, 2009.

255 s. ; 24 cm. (SK/2009/7)

978-9944-89-741-9

Enerji--Yenilenebilir Enerji

DİZGİ TASARIM

Elektrik Mühendisleri Odası

BASKI

A Grafik

Gıda Toptancılar sitesi L Blok 9/B 21/070 Diyarbakır Tel Faks: (412) 251 64 43

www.agrafik.biz

İçindekiler

Düzenleyen Kuruluşlar.....	4
Sempozyum Yürütme Kurulu.....	5
Sempozyum Danışma Kurulu	6
Sempozyum Bilim Kurulu.....	7
Yoğunlaştırıcı Güneş Enerji Santralleri ve İlisu HES'e Alternatif Olarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Uygulanabilirliği	11
Hüseyin ERDOĞAN, Bilal GÜMÜŞ, S. Berat EFE, Cem KUTLU, Hasan BAYINDIR, Yurdagül BENTEŞEN YAKUT, Ferhat ÇIRA, Ramazan ASLAN	
Kyoto Protokolü Kapsamında Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikalarına Genel Bir Bakış	23
Arif Kıvanç ÜSTÜN, Meltem APAYDIN, Ümmühan BAŞARAN FİLİK, Mehmet KURBAN	
OECD/IEA Ülkelerinin Ar-Ge Harcamalarındaki Eğilimler Kapsamında Yenilenebilir Enerji Teknolojilerindeki Gelişmelerin İncelenmesi	29
Yusuf CANSIN, Nazif Hülâgü SOHTAOĞLU	
Yenilenebilir Enerji Kaynakları Maliyet Analizi ve Sürdürülebilir YEK Uygulamaları.....	37
Ö. Faruk ERTUĞRUL, M. Bahattin KURT	
Güneş Pilleri İle Sıcak Su Elde Etme ve Sokak Aydınlatması	42
Sabir RUSTEMLİ, Ferit DİNÇADAM, Metin DEMİRTAŞ	
Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Karşılaştırılması	50
Nevzat ONAT, Sedat ERSÖZ	
Fotovoltaik Güç Destekli Mikro Sulama Sistemi Projesi 1: Genel Esaslar.....	57
Ümran ATAY, Yusuf İŞİKER, Bülent YEŞİLATA	
Fotovoltaik Güç Destekli Mikro Sulama Sistemi Projesi 2: Simülasyon Çalışması	63
Ümran ATAY, Yusuf İŞİKER, Bülent YEŞİLATA	
Bodrum Konut Sektöründe Güneş Enerjili Evsel Sıcak Su Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi	68
Arda KARASU	
Ekolojik Mimarlık Kapsamında Bina Bütünleşik Nano PV Malzemenin İncelenmesi	73
İdil AYÇAM, Nilay Özeler KANAN	
Sürdürülebilirlik Kapsamında Yenilenebilir ve Etkin Enerji Kullanımının Yapılarda Uygulanması.....	78
F.Demet AYKAL, Bilal GÜMÜŞ, Y. Berivan ÖZBUDAK AKÇA	
Diyarbakır İlinde Çok Foksiyonlu Güneş Enerjili Kurutma Sistemi Üzerine Bir Araştırma.....	84
Nermin TOSUN, Hasan BAYINDIR, Hüseyin AYDIN	
Elektrik Güç Sistemine Bağlı Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemlerinin Bütünleşik Modellenmesi	90
Özgür Salih MUTLU, Eyüp AKPINAR	
Ortalama Rüzgâr Hızı ve Güç Yoğunluğunun Hesaplanması	97
M. Nuri ALMALI, Tahsin ETE	
Rüzgâr Enerjisinde Kullanılan Jeneratörlerin Karşılaştırmalı Analizi	103
Meltem APAYDIN, Arif Kıvanç ÜSTÜN, Mehmet KURBAN, Ümmühan BAŞARAN FİLİK	
Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi	108
Ebru ÖZBAY, Muhsin Tunay GENÇOĞLU	
Yenilenebilir Kaynaklardan Elektrik Enerjisi Üretiminde Biyokütle ve Atıkların Yeri	116
Nazif Hülâgü SOHTAOĞLU	
Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Performans ve Egzoz Emisyonları Açısından Değerlendirilmesi	123
Neşe BUDAK, Hasan BAYINDIR, H.Lütfi YÜCEL	
Hayvansal Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Teknik Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma.....	131
Gökçen AKGÜN, Hasan BAYINDIR, Hüseyin AYDIN, Zahir DÜZ	
Kullanım Süresi Geçen Mayonezden Biyodizel Üretimi.....	137
Yüksel ABALI, Kadir ARISOY, Enver ATİK, Ramazan GÜMÜŞ	
Fotovoltaik Yakıt Pili Birleşik Sisteminin Deneysel İncelenmesi	142
İsmail HİLALİ, M.Azmi AKTACİR, Bülent YEŞİLATA	
Yakıt Pillerinin Konutsal Uygulamalarda Kullanımı	149
Zehra URAL, Muhsin Tunay GENÇOĞLU	
Enerji Gereksiniminde Bazı Gerçekler, Jeotermal Enerji ve Yasal Durum.....	155
Adem ULUŞAHİN	
Tektonik Yapısı ve Stratigrafisi Işığında Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Jeotermal Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi.....	161
Şefik İMAMOĞLU	
21. Yüzyılda ABD Değişen Enerji Politikaları ve Bu Politikalarda Güneş Enerjisinin Yeri	168
Ferhat ÇIRA, Sümeyra CEVHEROĞLU	
Körfez İşbirliği Konseyi Ülkelerinde (KİKU) Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Uygulamaya Konulmuş Projeler I	173
Mahmut AYDINOL	
Körfez İşbirliği Konseyi Ülkelerinde (KİKU) Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli ve Uygulamaya Konulmuş Projeler II.....	179
Mahmut AYDINOL	
Hindistan'ın Rüzgâr Enerjisi Üretimi	185
Mahmut AYDINOL	
Erzincan'ın Biyodizel Yakıt Amaçlı Tarımsal Üretim Potansiyeli	191
Murat ÇETİN, Hüsamettin KUŞ	
Türk Kahvesi Telvesinden Biyodizel Üretimi	198
Yüksel ABALI, Ramazan GÜMÜŞ, Seher VATANSEVER, Nurtaç ERSÖZ	
Sürdürülebilir Bir Sistemde Biyogazın Yeri	203
Vedat YILMAZ	
Biyokütle ve Atıkların Küresel Enerji Dengesindeki Rolünün İncelenmesi	208
Nazif Hülâgü SOHTAOĞLU, Duygu PAPUR	
Fotovoltaik Güneş Elektrik Sistemi	215
D. Selkan POLATKAN	
Güneş Enerjili Neme Duyarlı Toprak Sulama Sistemi Tasarımı	218
Şaban YILMAZ, A.Serdar YILMAZ, Etem KÖKLÜKAYA	
Güneş Bacaları ve Türkiye'de Kullanılabilirliği	223
Erol TÜRKMEN, Mehmet KURBAN, Ümmühan BAŞARAN FİLİK	
Güneş Bacası Yardımıyla Laboratuvar Şartlarında Elektrik Üretimi (Model Çalışma)	227
Mahmut AYDINOL, Tayfun ASLAN	
Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Bulunan Yenilenebilir Enerji Kaynakları	232
Ö. Faruk ERTUĞRUL, M. Bahattin KURT	
Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Ulaşım Sistemlerinde Kullanım Uygulaması,	237
Mehmet Caner ÇAKAR, Ümmühan BAŞARAN FİLİK, Mehmet KURBAN	
Yapılaşmada Güneş Enerjisi Kullanımı ve Estetik Çözüm Örnekleri	243
H. Mutlu DANACI, R. Eser GÜLTEKİN	
Çoruh Havzasındaki Küçük Hidroelektrik Santrallerin Durumu	249
Adem AKPINAR, Murat İ. KÖMÜRCÜ, Murat KANKAL, Mustafa H. FİLİZ	

Düzenleyen Kuruluşlar



Elektrik Mühendisleri Odası Diyarbakır Şubesi



Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi

Sempozyum Yürütme Kurulu

1- Tarık ÖDEN

EMO Yönetim Kurulu Başkan Yardımcısı

2- Fahrettin ÇAĞDAŞ

Diyarbakır B.Şehir Beld. Genel Sekreteri

3- NedimTÜZÜN

EMO Diyarbakır Şube Yön. Kurulu Başkanı

4-İdris EKMEN

EMO Diyarbakır Şube Yön. Kurulu Bşk. Yrd.

5- Murat ÇELİK

EMO Diyarbakır Şube Yön. Kurulu Yazmanı

6- Yrd.Doç.Dr.Bilal GÜMÜŞ

EMO Diyarbakır Şube Yönetim Kurulu Üyesi

7- Aktan ATLI

EMO Diyarbakır Şube Yön. Kurulu Üyesi

8- Serok KASIMOĞLU

Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi

9- Gültekin AYDENİZ

Diyarbakır B. Şehir Beld. Güneş Evi Sorumlusu

10- Yrd.Doç.Dr. Hasan BAYINDIR

Dicle Üniv. Müh-Mim Fak. Makina Müh. Böl.

11- Ok.Yurdağül BENTEŞEN YAKUT

Dicle Üniv. Müh-Mim Fak. Elek. Eln Müh. Böl.

12- Arş.Gör. Ferhat ÇIRA

Dicle Üniv. Müh-Mim Fak. Elek. Eln Müh. Böl

13- Arş.Gör. Hüseyin ERDOĞAN

Dicle Üniv. Müh-Mim Fak. Elek. Eln Müh. Böl

14- Murat KAYA

EMO Diyarbakır Şube Müdürü

Sempozyum Yürütme Kurulu Sekreteri:

Yrd.Doç.Dr.Bilal GÜMÜŞ



Sempozyum Danışma Kurulu

1- Av. Osman BAYDEMİR

Diyarbakır B.Şehir Belediye Başkanı

2- Musa ÇEÇEN

EMO Yönetim Kurulu Başkanı

3- Prof.Dr.Şener OKTİK

Muğla Üniversitesi Rektörü

4- Erol CELEPSOY

EMO Yönetim Kurulu Üyesi

5- Cemil KOCATEPE

EMO Yönetim Kurulu Üyesi

6- Murat KUZU

EMO Diyarbakır Şube Yön. Kur. Üyesi

7- Ahmet SORMAZ

EMO Diyarbakır Şube

8- Erhan GÜRGÖZE

EMO Diyarbakır Şube Yön. Kur. Üyesi

9- Engin AKAT

EMO Diyarbakır Şube Yön. Kur. Yed. Üyesi

10- Sorgül AYTEK

EMO Diyarbakır Şube Yön. Kur. Yed. Üyesi

11- Hasan SAYA

EMO Diyarbakır Şube Yön. Kur. Yed. Üyesi

12- Yük. Mimar Çelik ERENGEZGİN

Diyarbakır Güneş Evi Danışmanı

13- Hüseyin BARK

Diyarbakır B.Şehir Beld. Çevre Kor. Daire Bşk.

14- Prof.Dr. Siddik İÇLİ

Ege Üniv. Güneş Enerji Enstitüsü Direktörü

15- Prof.Dr.Tanay Sıdkı UYAR

EUROSOLAR Türkiye / Marmara Üniv.

16- Yrd.Doç.Dr. Bülent ARMAGAN

Harran Üniversitesi

17- Yrd.Doç.Dr. Nurettin BEŞLİ

Harran Üniversitesi

18- Prof.Dr.Salih MAMİŞ

İnönü Üniversitesi

19- Yrd.Doç.Dr. Müslüm ARKAN

İnönü Üniversitesi

20- Prof.Dr. Hasan KÜRÜM

Fırat Üniversitesi

21- Yrd.Doç.Dr. F.Demet AYKAL

Dicle Üniv.Müh.Mim.Fak.

22- Öğr.Gör. Cafer BUDAK

Batman Üniversitesi Mes.Yük.Okulu

23- Engin ÇETİN

Pamukkale Üniv. Güneş Evi Sorumlusu

24- Ercan SEKİN

EMO

25- Necati İPEK

EMO Enerji Koordinatörü

26- Cem KÜKEY

Elektrik Mühendisleri Odası Müdürü

27- Cengiz GÖLTAŞ

EMO Enerji Çalışma Grubu Üyesi

28- Orhan ÖRÜCÜ

EMO Misem Çalışma Grubu Üyesi

29- Olgun SAKARYA

EMO Enerji Çalışma Grubu Üyesi

30- Kamer GÜLBAYAZ

EMO Mersin Şube Yön.Kur.Başkanı

31- İbrahim SARAL

EMO Ankara Şubesi

32- Ömürhan Avni SOYSAL

EMO Ankara Şubesi Yön.Kur.Üyesi

33- Erdal AKTUĞ

EMO Bursa Şube Kur. Başkanı

34- Muammer ÖZDEMİR

EMO Samsun Şube Yön.Kur.Bşk.Yrd.

35- Şahin ÖZGÜL

EMO İstanbul Şube Yön.Kur.Üyesi

36- İlhan METİN

EMO Antalya Şube Yön.Kur.Üyesi

37- Mehmet KURBAN

EMO Eskişehir Şube Yön.Kur.Üyesi

38- Ferhat TUNÇ

EMO Batman İl Temsilciliği

39- Fevzi GÜNDÜZ

EMO Şanlıurfa İl Temsilciliği

40- Suat MÜCAHİTOĞLU

EMO Bitlis İl Temsilciliği

41- Şükrü KARABOĞA

EMO Mardin İl Temsilciliği

42- Süleyman BALKAN

EMO Van il Temsilciliği

43- Aziz HUMARTAŞ

EMO Malatya İl Temsilciliği

44- Yakup KESKİN

ESM Diyarbakır Şube Başkanı

45- İ.Semih OKTAY

MMO Diyarbakır Şube İkinci Başkanı

46- Hanifi GÜRLER

JMO Diyarbakır Şube Yön.Kur.Bşk.Yrd.

47- Hüseyin KIRŞAN

HKMO Diyarbakır Şubesi Yön.Kur.Üyesi

48- Özgür TEKİN

İMO Diyarbakır Şubesi Yön.Kur.Üyesi

49- Jehat ŞENGAL

ZMO Diyarbakır Şubesi Yön.kur.Üyesi

50- Deniz Bora KARATAŞ

Mim.Odası Diyarbakır Şube Yön.Kur.Üyesi

51- İbrahim OCAK

Temiz Enerji Vakfı Yön.Kur.Üyesi

52- Mehmet Beşir Yılmaz

Diyarbakır Ticaret ve San. Odası Yön.Kur.Üyesi

53- Ahmet SARAÇ

TEİAŞ Elazığ Grup Müdürü

Sempozyum Yürütme Kurulu Üyeleri Aynı Zamanda
Sempozyum Danışma Kurulu Üyesidir.

Sempozyum Bilim Kurulu

- 1- **Prof.Dr. Turhan Nejat Vezirođlu**
Miami Üniversitesi, ABD
- 2- **Prof.Dr.Şener Oktik**
Muğla Üniversitesi
- 3- **Prof.Dr.Engin Türe**
Haliç Üniversitesi/UNIDO-ICHET
- 4- **Prof.Dr.Yunus Çengel**
Nevada Üniversitesi, ABD
- 5- **Prof.Dr.Sıddık İçli**
Ege Üniversitesi
- 6- **Prof. Dr. Tanay Sıdkı Uyar**
Marmara Üniversitesi
- 7- **Prof. Dr. Mehmet Ş. Küçükdođu**
İstanbul Kültür Üniversitesi
- 8- **Prof.Dr.Eyüp Akpınar**
Dokuz Eylül Üniversitesi
- 9- **Prof.Dr.Necdet Altıntop**
Erciyes Üniversitesi
- 10- **Prof.Dr.Bihrat Önsöz**
İTÜ Enerji Enstitüsü
- 11- **Prof.Dr.Muhammed Eltez**
Muğla Üniversitesi
- 12- **Prof.Dr.Günnur Koçar**
Ege Üniversitesi
- 13- **Prof.Dr.Necdet Özbalta**
Ege Üniversitesi
- 14- **Prof.Dr.Ali Güngör**
Ege Üniversitesi
- 15- **Prof.Dr.Metin Çolak**
Ege Üniversitesi
- 16- **Prof.Dr.Sabir Rüstemli**
Yüzüncü Yıl Üniversitesi
- 17- **Prof.Dr.Gül Koçlar Oral**
İstanbul Teknik Üniversitesi
- 18- **Prof.Dr.Adnan Kaypmaz**
İstanbul Teknik Üniversitesi
- 19- **Prof.Dr.Ayşen Demirören**
İstanbul Teknik Üniversitesi
- 20- **Prof.Dr.Salih Mamiş**
İnönü Üniversitesi
- 21- **Prof.Dr.İ.Hakkı Altaş**
Karadeniz Teknik Üniversitesi
- 22- **Prof.Dr.Cengiz Yıldız**
Fırat Üniversitesi
- 23- **Prof.Dr.Mehmet Cebeci**
Fırat Üniversitesi
- 24- **Prof.Dr.Raşit Turan**
ODTÜ
- 25- **Prof.Dr.Sedat Sünter**
Fırat Üniversitesi
- 26- **Prof.Dr.Serdar Sarıçiftçi**
Linz Üniversitesi, Avusturya
- 27- **Prof.Dr.Mahmut Aydınol**
Dicle Üniversitesi
- 28- **Doç.Dr.Bülent Yeşilata**
Harran Üniversitesi
- 29- **Yrd.Doç.Dr.Mehmet Özdemir**
Fırat Üniversitesi
- 30- **Yrd.Doç.Dr.Hacer Öztura**
Dokuz Eylül Üniversitesi
- 31- **Yrd.Doç.Dr.Mehmet Bayrak**
Sakarya Üniversitesi
- 32- **Yrd.Doç.Dr.Mehmet Kurban**
Anadolu Üniversitesi
- 33- **Yrd.Doç.Dr.Müslüm Arkan**
İnönü Üniversitesi
- 34- **Yrd.Doç.Dr.Muammer Özdemir**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
- 35- **Yrd.Doç.Dr.M.Tunay Gençoğlu**
Fırat Üniversitesi
- 36- **Yrd.Doç.Dr.Hasan Bayındır**
Dicle Üniversitesi
- 37- **Yrd.Doç.Dr.Halil Lütfi Yücel**
Fırat Üniversitesi
- 38- **Yrd.Doç.Dr.Deniz Yıldırım**
İstanbul Teknik Üniversitesi
- 39- **Yrd.Doç.Dr.İsmail Gül**
Dicle Üniversitesi
- 40- **Yrd.Doç.Dr.Bilal Gümüş**
Dicle Üniversitesi



Destekleyen Kuruluşlar

ENERJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
ELEKTRİK İŞLERİ ETÜT İDARESİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
MUĞLA ÜNİVERSİTESİ
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
EGE ÜNİVERSİTESİ GÜNEŞ ENERJİSİ ENSTİTÜSÜ
İTÜ ENERJİ ENSTİTÜSÜ
AYDINLATMA TÜRK MİLLİ KOMİTESİ
TMMOB JEOLJİ MÜHENDİSLERİ ODASI DİYARBAKIR ŞUBESİ
TMMOB HARİTA VE KADASTRO MÜHENDİSLERİ ODASI DİYARBAKIR ŞUBESİ
TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI DİYARBAKIR ŞUBESİ
TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI DİYARBAKIR ŞUBESİ
TMMOB MİMARLAR ODASI DİYARBAKIR ŞUBESİ
TMMOB ZİRAAT MÜHENDİSLERİ ODASI DİYARBAKIR ŞUBESİ
DİYARBAKIR TİCARET VE SANAYİ ODASI
EUROSOLAR TÜRKİYE
(Avrupa Yenilenebilir Enerjiler Birliği Türkiye Bölümü)
TÜRKİYE ÇEVRE PLATFORMU
TEMİZ ENERJİ PLATFORMU
HENRICH BÖLL STIFTUNG DERNEĞİ

YENİLENEBİLİR ENERJİ İLE YENİ VE YAŞANILABİLİR BİR DÜNYA MÜMKÜN!

Enerji, günümüzde insanlığın en yaşamsal ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Yapılan her üretimin bir enerji ihtiyacı vardır. İnsanlığın artan talepleri ve gelişen üretim süreçleri, enerjiye ve enerji kullanımına olan ihtiyacı artırmıştır.

Günümüzde enerji konusunda ön plana çıkan ve dünyamızın geleceğini tehdit eden iki önemli sorun alanından birincisi, küresel iklim değişikliğine sebep olan fosil yakıtların düzensiz kullanımı, ikincisi ise savaşlara yol açan enerji temini sorunudur.

Fosil yakıtlar, sonlu kaynaklar olup tükenme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Dünyaya hakim olma çabası içerisinde günümüzde en önemli parametre olan, enerji kaynaklarına hakim olma çabası maalesef çok ağır sonuçlara yol açmıştır. Enerji kaynaklarına sahip olma uğruna, yanı başımızda Irak'ı kan gölüne çeviren savaş, konunun ne kadar hassas ve dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Öte yandan fosil yakıtların çevreye ve insana verdiği zararlar küresel iklim değişikliğinin etkilerinin belirgin bir şekilde hissedildiği ve felaket senaryolarının konuşulduğu bu dönemde daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Fosil yakıtlardan enerji üretimi ile havaya salınan sera gazları nedeniyle, iklimlerin değiştiği, ekolojik dengenin bozulmaya başladığı günümüzde, küresel ölçekte önlemlerin alınmaması durumunda dünyamız yaşanılabilir bir dünya olmaktan çıkma tehlikesiyle karşı karşıya kalacaktır.

Yukarıda belirttiğimiz iki temel problem alanının da, hem dünyaya, hem insanlığa zarar vermeyecek bir şekilde çözümü mümkündür. Bu çözümün adı YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI'nın kullanımudur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile bir yandan ihtiyaç duyulan enerjinin temini ve arzı sağlanırken diğer yandan temiz yöntemlerle enerji üretimi yapılacağından küresel iklim değişikliğinin önlenmesi, en azından yavaşlatılması mümkün olabilecektir. Bu nedenlerle yenilenebilir enerji kaynaklarından olabildiğince yararlanma bir tercih değil, zorunluluk olarak değerlendirilmelidir.

Ülkemizde değerlendirilebilecek çok ciddi yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli bulunmaktadır. Özellikle güneş enerjisi bunlardan birisidir ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde önemli bir potansiyele sahiptir. Buna karşın Hasankeyf antik kentini sular altında bırakacak Ilisu HES gibi tartışmalı projelerin hayata geçirilmeye çalışılıyor olması konunun önemini yerel ölçekte de artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları enerji üretiminde alternatifsiz olmadığımızın en önemli kanıtıdır. Riskli enerji üretim projeleriyle, Hasankeyf, Alliano gibi antik kentlerin, Munzur Vadisi, Fırtına Deresi gibi doğal alanların geri dönülemez biçimde tahrip edilebilmesi söz konusudur. Binlerce yıllık tarihi ve kültürel mirasın ve bozulan ekolojik dengenin alternatifinin olmadığı gerçeği, bu değerlerin yenilenebilir enerji kaynakları ile kurtarılabilceğini ortaya çıkarmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile nükleer santraller, Ilisu HES gibi problemli enerji üretim yöntemleri yerine, temiz, sürekli ve doğayla barışık enerji üretiminin mümkün olduğu, bu sempozyum sonucunda bir daha ortaya çıkacaktır.



TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası toplumsal ve mesleki sorumluluğu bağlamında bugün ortaya çıkan problemler karşısında da önemi gün geçtikçe artan yenilenebilir enerji kaynakları konusunda araştırmaları, uygulamaları paylaşmak, konunun önemini kamuoyuna aktarabilmek amacıyla dört adet “YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI SEMPOZYUMU” düzenlemiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumunun beşincisini, en önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından güneşin etkisinin önemli ölçüde değerlendirilebilir olduğu ülkemizde; “Güneş Enerjisi” ana teması ile, EMO adına, Diyarbakır Şubesi olarak, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi’nin işbirliği ile düzenlemekteyiz. Sempozyumda güneş enerjisi başta olmak üzere, mini HES, rüzgar enerjisi, biyokütle-biyogaz, biyoyakıt, hidrojen enerjisi, jeotermal enerji, enerji ormanlığı, enerji mimarlığı ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili bilimsel araştırmalar, uygulama örnekleri ve güncel bilgiler katılımcılarla ve kamuoyuyla paylaşarak konunun önemi ortaya konacaktır. Sempozyumumuzda 24 sözlü, 16 poster olmak üzere toplam 40 bildiri katılımcılarla paylaşılmaktadır. Bunun yanında bugüne kadar Odamız adına yapılan dört adet yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumlarının da değerlendirildiği bu sempozyumda, ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkemiz enerji politikalarındaki yeri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması konusunda yapılabileceklerin irdelenmesi amacıyla bu kaynakların kullanımına ilişkin süreçler ve gelişmeler üzerine önemli tartışmalar yürütüldüğü iki adet de panel düzenlenmektedir.

Sempozyumu işbirlikleri ile düzenlediğimiz Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi, enerji mimarlığı ilkelerine göre yapılmış Türkiye’deki ilk güneş evinin yapımında önemli rol oynaması itibarıyla çalışmanın önemli bir bileşeni haline gelmiş ve sempozyumun başarısına önemli katkı koymuşlardır.

Sempozyumun düzenlenmesinde katkılarını aldığımız Sempozyum Danışma Kuruluna, bildirilerin değerlendirilmesi sırasında çok değerli emek veren Sempozyum Bilim Kuruluna, katkılarını ve desteklerini yanı sıra hissettiğimiz EMO 41. Dönem Yönetim Kuruluna, EMO Diyarbakır Şubesi Yönetim Kuruluna, EMO Diyarbakır Şubesi çalışanlarına, Sempozyumu işbirliği ile düzenlediğimiz Diyarbakır Büyükşehir Belediyesine, Sempozyumumuza destek verdiğini açıklayan kurumlarımıza ve Sempozyuma bildirileri ile katılan katılımcılara EMO Diyarbakır Şubesi adına teşekkürlerimizi sunarız.

SEMPOZYUM YÜRÜTME KURULU

YOĞUNLAŞTIRICILI GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİ VE ILISU HES'E ALTERNATİF OLARAK GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNE UYGULANABİLİRLİĞİ

Hüseyin ERDOĞAN¹, Bilal GÜMÜŞ¹, Serhat Berat EFE¹, Cem KUTLU¹, Hasan BAYINDIR²,
Yurdagül BENTEŞEN YAKUT¹, Ferhat ÇIRA¹, Ramazan ASLAN³

erdogan@dicle.edu.tr, bilgumus@dicle.edu.tr, beratefe@dicle.edu.tr, ckutlu@dicle.edu.tr,
hbayindir@dicle.edu.tr, bentesen@dicle.edu.tr, fcira@dicle.edu.tr, aslanrama@yahoo.com

¹ Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

² Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü

³ İçtaş İnşaat

ÖZET

Yoğunlaştırıcı güneş enerji santralleri güneş enerjisinden elektrik elde etmede kullanılan sistemlerden biridir. Bu tip üretim tesislerinde güneş enerjisinin termal değeri 70 ile 3000 kata kadar çıkarılabilmektedir. Yakın gelecekte bu tip santrallerin enerji üretiminde önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmada yoğunlaştırıcı güneş enerji santrallerinin yapısı incelenmiş ve çeşitli tipteki santrallerden örnekler verilmiştir. Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde güneş enerji potansiyeli göz önüne alınarak bu tip santrallerin alternatif bir üretim sistemi olarak Türkiye'de tesisi ele alınmıştır. Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde yapımı düşünülen Ilısu HES gibi riskli projeler yerine bu tür santrallerin yapımının maliyetleri etüt edilmiş ve alternatif bir çözüm olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yoğunlaştırıcı Güneş Enerji Santralleri, Güneş Enerjisi, Ilısu HES

1. YOĞUNLAŞTIRICILI GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

Isıl güneş enerjisi sistemleri, çeşitli ayna veya lens konfigürasyonu kullanarak güneş enerjisini yüksek ısıya dönüştürüp bu sayede elektrik enerjisi üreten yapılardır. Isıl güneş enerjisi sistemlerinde (parabolik oluk, parabolik çanak, güç kulesi) ısı, elektrik üretimi için bir türbine veya benzeri bir makınaya gönderilir. Isıl tesisler, biri güneş enerjisini toplayıp ısı enerjisine dönüştüren diğeri ise ısı enerjisini elektriğe dönüştüren iki temel alt

Direk ışımayı sağlayabilmek için güneşi takip eden yapıların kullanılması gerekir. Parabolik oluk sistemler ışımayı lineer alıcı üzerine düşürmek için tek eksenli takipçiler kullanılır. Çanak ve güç kulesi sistemlerinde ise iki eksenli takipçiler kullanılır. Benzer şekilde yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemlerde de iki eksenli takipçi kullanılır.

sistemden oluşur. Yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemler ise güneş ışığını bir fotovoltaik sistem üzerine düşüren ve bu sayede doğrudan elektrik üreten sistemlerdir. Fotovoltaik sistemlerde ayna, mercekle veya ikisi birlikte kullanılabilir.

Tüm yoğunlaştırıcı güneş enerji sistemleri güneş ışınımının direk ve dik açılı bileşenini kullanırlar. Direk ve dik açılı ışıma sadece güneşli günlerde elde edilebilir. Direk ve dik açılı ışımayı yoğunlaştırmak yüksek ısı elde edilmesini veya fotovoltaik sistemlerde ışığı yoğunlaştırarak fotovoltaik hücrelerin veriminin artmasını sağlar. Güneş ışığını toplayarak elde edilen ısıyla, türbin ve generatörleri çalıştırdıkları için oluk ve kule sistemleri 50 MW veya daha yüksek güçteki büyük tesisler için en uygun sistemlerdir. Çanak ve fotovoltaik sistemler ise 10 MW' tan 35 MW'a kadar güçleri tek ünite üretebilen modüler yapılardır. Bu nedenle çanak ve fotovoltaik sistemler yayık ve uzak üretim uygulamalarında kullanılabilir. Ayrıca bu sistemler birleştirilerek



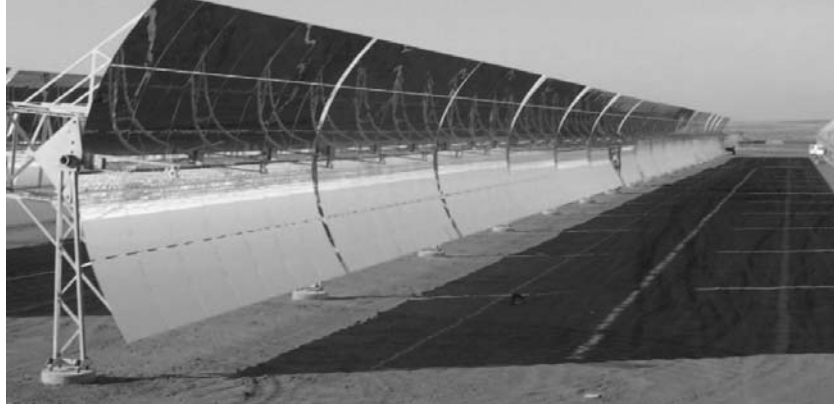
büyük tesisler oluşturulabilir. Oluk ve kule sistemlerinde tesisin büyüklüğündeki artış beraberinde kW başına düşen giderlerde azalmaya sebep olur. Fotovoltaik ve çanak sistemleri ise potansiyel seri üretim avantajına sahiptirler.

Oluk ve kule sistemlerinin, çanak ve fotovoltaik sistemlere göre en önemli avantajları, bulutlu havalarda veya akşam saatlerinde, belirli bir zaman aralığı için sahip oldukları ısı deposu veya fosil yakıt üniteleri sayesinde elektrik üretimine devam edebilir olmalarıdır. Bu da tesisin faydalı tepe yük profiline yakın bir çalışma potansiyeli ile çalışmasını sağlar. Günümüzde çanak sistemleri hibrit yakıtlı şekilde ayarlanamamıştır. Fotovoltaik sistemlerde batarya kullanımı mümkündür ama bataryaların tesis maliyetinin yüksekliği şu an için bu sistemin kullanımını pek cazip kılmamaktadır. [3]

2. PARABOLİK OLUK SİSTEMLERİ

Parabolik oluk sistemleri, güneş ışınımını, parabolik oluk şeklinde bükülmüş yansıtıcıları ile oluğun odak çizgisine yerleştirilmiş alıcı boruya iletirler. Yüksek ısıyı taşıyabilen akıcı bir madde ile bu borudaki ısı enerjisi alınır ve buhar generatöründe buhar üretmekte kullanılır. Şekil 1.1' de oluk yansıtıcı dizisi gösterilmiştir. Seriler tipik olarak kuzey – güney eksenine yerleştirilir. Tek eksenli takipçi sayesinde güneşi doğu batı doğrultusunda takip eder. [3]

Bu sistemin dünyadaki güzel bir örneği Andalusia-İspanya'da geniş bir vadi olan Marquesado del Zenete bölgesinde kurulu durumdaki AndaSol projesidir. [1]



Şekil 1. Parabolik Oluk Yansıtıcı Dizisi [1]



Şekil 2. AndaSol Güneş Enerjisi Elektrik Üretim Tesisi [1]

AndaSol tesisinin kurulu olduğu 900m – 1.100m rakımlı vadinin ortasından 400 kV'luk enerji iletim hattı geçmektedir. Sierra Nevada Dağlarının kuzeyindeki su kaynakları tesis için gerekli suyu sağlamaktadır. Ayrıca A-92 otopanı ve Almeria-granada tren hattı sayesinde kurulum ve işletme süresince tesise kolayca erişim sağlanabilmektedir.

Isı depolama sistemi sayesinde AndaSol Tesisi güneşin batışından sonra da enerji talebini karşılayabilmektedir. Isı depolama sistemi olmadan yıllık tam yükte 2000 olan çalışma saati ısı depolama sistemiyle 3589 saate çıkmaktadır. Bu artış tesis maliyetlerinin karşılanmasında önemli bir durumdur.

AndaSol 1 olarak isimlendirilen tesisin yapımına Haziran 2006'da başlanmış ve Haziran 2008'de bitirilmiştir. AndaSol 1 projesinin maliyeti 14.3 milyon € olarak belirlenmiştir. Bu maliyetin 5 milyon €luk kısmı Avrupa Birliği'nce destek olarak hibe edilmiştir.

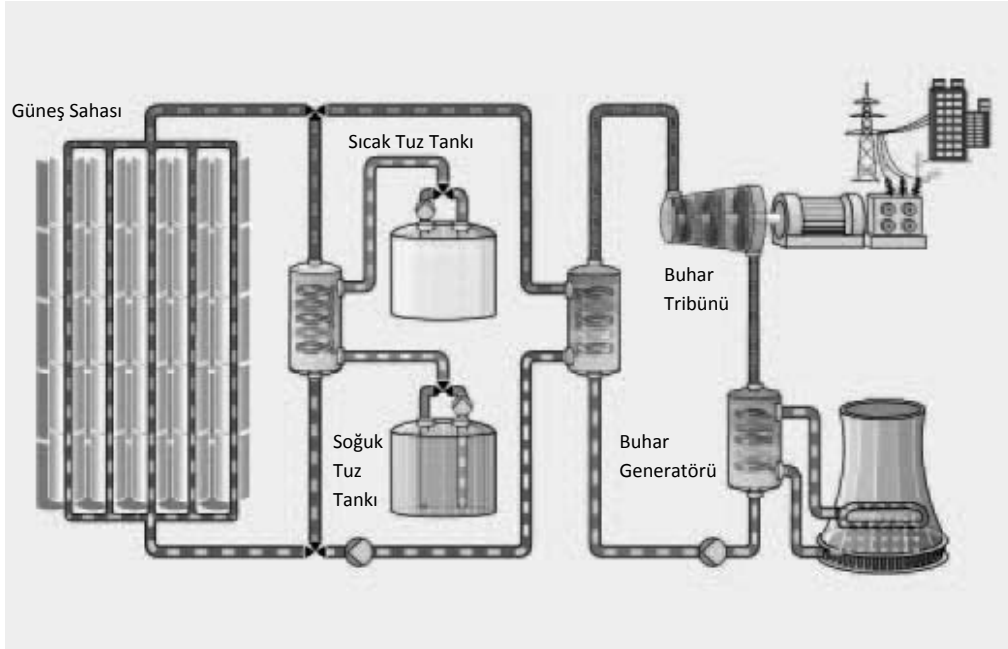
AndaSol dışında dünyada birçok tamamlanmış veya yapım aşamasında olan Parabolik Oluk yoğunlaştırıcı güneş enerji sistemi mevcuttur. 1

MW kapasitede olan bir tesis Arizona'da kurulmuş ve işletilmeye başlanmıştır. Ayrıca Nevada'da 64 MW'lık bir tesisin ve İspanyada birkaç tane 50MW'lık tesisin inşası devam etmektedir.

Bu sistemlerin su tüketimi kuru soğutma durumunda $2.8 \text{ m}^3/\text{MWh}$ kadardır. Ek olarak $0.14 \text{ m}^3/\text{MWh}$ kadar su da temizlik için kullanılır. Kuru soğutma tekniği, kullanılan su miktarında kazanç sağlamasına rağmen işletme giderlerinde artışa neden olmaktadır.

Tablo 1. AndaSol Elektrik Üretim Santralinin Tasarım Özellikleri [1]

ANDASOL – TASARIM ÖZELLİKLERİ	
Yer	Andalucía, İspanya
Nominal elektrik gücü	49.9 MW
Yıllık tam-yük çalışma	3,589 saat
Alıcı teknolojisi	Parabolik oluk
Alıcı geometrisi	510.120 m ²
Isı depolama teknolojisi	Erimiş tuz
Isı depolama kapasitesi	7.5 saat
Tesis alanı	200 ha
Yıllık elektrik üretimi	179 GWh
Maliyet	14.3 milyon €



Şekil 3. AndaSol projesinin basitleştirilmiş akış diyagramı [1]

3. PARABOLİK ÇANAK SİSTEMLERİ

Parabolik çanak sistemler bir güneş yoğunlaştırıcı (parabolik çanak) ve bir adet güç dönüştürücü üniteden oluşur. Yoğunlaştırıcı ünite dik açılı güneş ışınlarını odak noktasına yerleştirilmiş güç dönüştürücü ünitesine yansıtan parabolik çanak şeklinde bir araya getirilmiş yansıtıcı aynalardan oluşur. Sistem iki eksenli takipçi sayesinde güneşi sürekli olarak izler. Güç dönüştürme ünitesi termal alıcı ve generatörden oluşur. Güneş alıcısında, güneş ışığı kapalı hidrojen çevrimi yardımıyla ısı enerjisine dönüştürülür. Isınmış hidrojen generatör tribünlerinin dönmesini sağlar. Hava soğutmalı oldukları için parabolik oluk ve güç kulesi uygulamalarındaki gibi soğutma suyuna ihtiyaç duyulmaz. Günümüzde bu sistemlerde ısı depolama ünitesi kullanılmamaktadır. [3]

Bu sistemler, kurulum ve bakım-onarım kolaylığı açısından tercihen düzgün zemin üzerine inşa edilir. Parabolik çanak sistemler boyutlarına göre 10 MW ile 25 MW arasında değerlere sahiptir. Güç şebekesinden bağımsız çalışabilmeleri nedeniyle uzak uygulamalarda kullanılabilirler. Yüksek verimliliği ve modüler yapısıyla bu sistemlerin maliyetlerinde ileriki zamanlarda ciddi düşüşler beklenmektedir. [1]

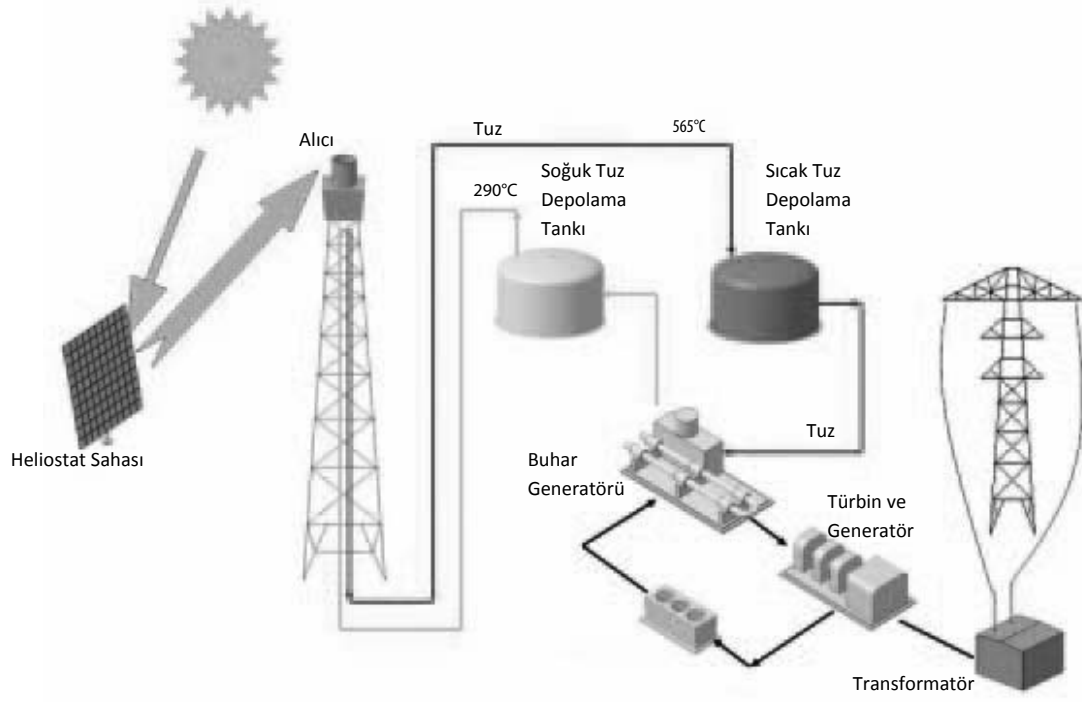


Şekil 4. Parabolik çanak sistemi [3]

Günümüzde yapımı henüz tamamlanmış olan ve altı çanaktan oluşan bir sistem Albuquerque'de Sandia Ulusal Laboratuvarında bulunmaktadır. 2 Ağustos 2005 tarihinde, Southern California Edison firması, 500 ile 850 MW'lık kapasitedeki (yıllık üretimi: 1,182 - 2010 GWh/yıl) parabolik çanak sistemi için görüşmelerin tamamlandığını duyurdu. 7 Eylül 2005'te Stirling Engine Systems firması, Diego Gas & Electric şirketiyle 300-900 MW'lık parabolik çanak sistemi için anlaştı. Bunların dışında aynı teknolojiye sahip tesislerin kurulumu için yapılmış birkaç anlaşma daha mevcuttur. [3]

4. GÜÇ KULESİ SİSTEMLERİ

Güç kulesi sistemlerinde kulenin tepesinde bulunan alıcıya dik açılı güneş ışınlarını yansıtan güneş takip eden, heliostat adı verilen, binlerce ayna kullanılır. Günümüzde mevcut alıcılar içerisinde erimiş nitrat tuzu bulundurulur. Bu tuz alıcıdaki ısıyı alarak generatör türbinini döndürerek elektrik üretimini sağlayacak olan buharı üretmekte kullanılır. Önceleri su buharı direk olarak alıcıda üretilirken günümüzde yüksek ısı iletim ve ısı depolama özellikleri nedeniyle erimiş nitrat tuzu kullanan sistemler kullanılmaktadır. 50 – 200 MW'lık elektrik üretimi için güç kuleleri istenilen ebatlarda inşa edilebilir. [3]



Şekil 5. Güç kulesi santralinin şematik diyagramı [1]



Şekil 6. İspanya'da kurulan PS10 güç kulesi [1]

Güç kulelerinin önemli bir avantajı erimiş tuzun 565,55 °C 'ye kadar ısıtılabilmesi ve 538 °C 'de

buhar üretebilmesidir. Bu da yaklaşık 390 °C buhar üretebilen oluk sistemlerine nazaran daha yüksek

verimde elektrik üretildiği anlamına gelir. Bunun yanında oluk sistemlerinde ısı transferi için yağ kullanıldığından ısının yağdan tuza ve tuzdan tekrar yağa transfer edilmesi sürecindeki enerji kayıpları güç kulelerinde sadece tuz kullanıldığı için ortadan kalkmaktadır. [3]

15 MW kurulu güçteki, erimiş tuz depolama sistemine sahip İspanya'nın Ecija bölgesinde bulunan Solar Tres termal güç kulesi tesisi mevcut güç kulelerine güzel bir örnek olarak gösterilebilir. Bu tesisin kurulumu 15.3 milyon €'a mal olmuş olup 5 milyon €'luk kısmı Avrupa Birliği tarafından hibe olarak verilmiştir. [1]

Bunun dışında Bristol, California'da bulunan 10 MW'lık Solar One, 11 MW'lık Sanlúcar la Mayor, İspanya'da bulunan PS10 ve 100 MW'lık Güney Afrika'da bulunan ESKOM güç kulesi önemli örneklerin başında gelir. [3]

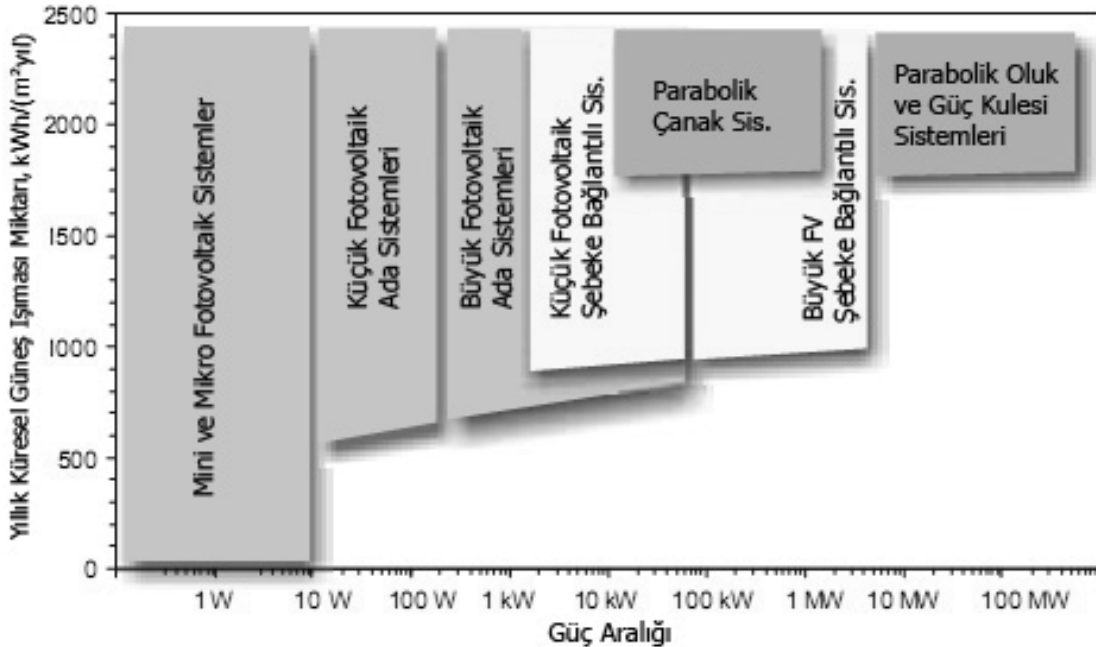
Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemler genel olarak incelendiğinde özellikle küçük güçlü uygulamalarda fotovoltaik sistemlerin ve büyüyen güçlerle beraber yoğunlaştırıcı ısı güneş enerji sistemlerinin kullanımının uygun olacağı görülmektedir. Şekil 7 'de üretim kapasitesi ve

yıllık küresel güneş ışınımına bağlı olarak kullanılması uygun olan sistemler gösterilmiştir.

Tablo 3' de ise yoğunlaştırıcı ısı güneş enerjisi sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu veriler ışığında uygun sistem seçiminin üretim gücüne ve ısıma miktarına göre seçilmesi gerektiği görülmektedir.

Tablo 2. Solar Tres santralinin tasarım özellikleri [1]

SOLAR TRES – TASARIM ÖZELLİKLERİ	
Yer	Ecija, Spain
Alıcı termal gücü	120 MW
Türbin elektriksel gücü	17 MW
Kule yüksekliği	120 m
Heliostat sayısı	2,480
Heliostatların yüzey alanı	285,200 m ²
Heliostatların çevrelediği alan	142.31 ha
Depolama boyutu	15 saat
Doğal buharlaştırıcı termal kapasitesi	16 MW
Yıllık elektrik üretimi (min.)	96,400 MWh
Maliyet	15.3 milyon €



Şekil 7. Yükleme kapasitesi ve yıllık güneş ışınımına bağlı olarak ısı güneş enerjisi sistemleri ve fotovoltaik sistemlerin çalışma alanları [5]

Tablo 3. Yoğunlaştırıcı ısı güneş enerji sistemlerinin karşılaştırılması [7-10]

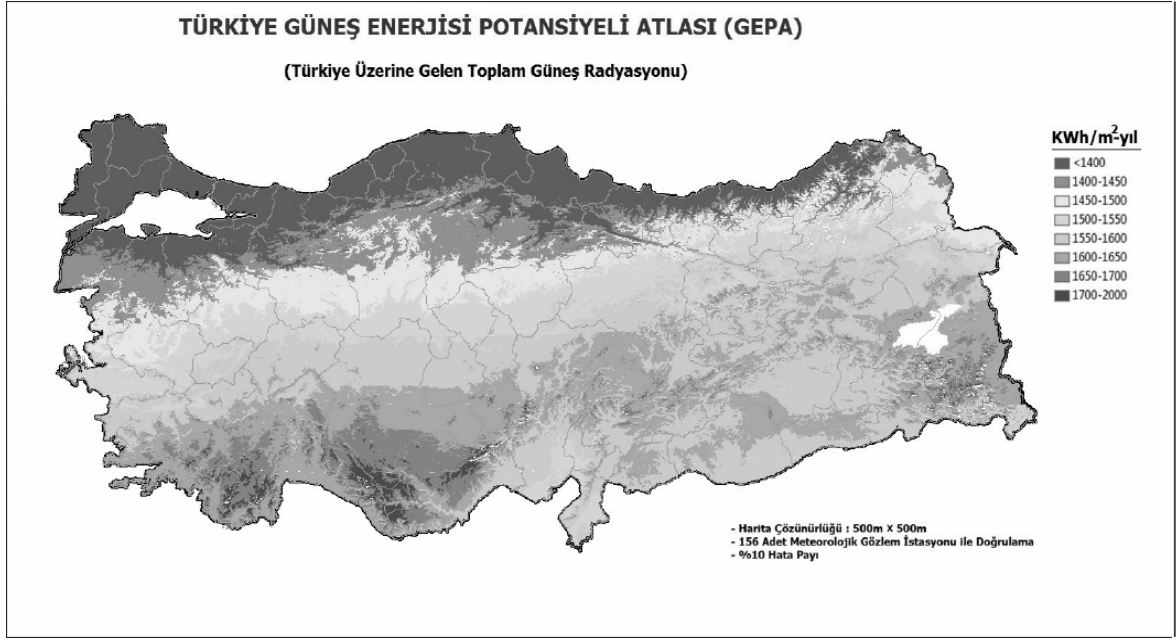
	Parabolik Oluk Sistemleri	Güç Kulesi Sistemleri	Parabolik Çanak Sistemleri
Uygulamalar	Şebekeye paralel yapılar, orta ve yüksek sıcaklıktaki işlemler	Şebekeye paralel yapılar, yüksek sıcaklıktaki işlemler	Tekil sistemler, birlikte kullanılması ile küçük şebeke sistemleri
Güç aralığı	30 – 200 MW	30 – 100 MW	3 – 50 kW (ünite başına)
Modülerlik	+	+/-	+++
Teknoloji durumu	20 yıldır ticari olarak kullanımda	Ticari olarak kullanıma henüz geçildi, uzun süreli prototip deneyimi mevcut	Ticari olarak kullanıma henüz geçildi, kısa süreli prototip deneyimi mevcut
Teknoloji riski	Düşük	Düşük/orta	Orta/yüksek
Yatırım maliyeti (€/kW)	2300-4000	2000-5000	5000-8000
İşletme ve bakım giderleri (€/kWh)	2,5-3,5	2-3,7	4,6
Kademeli elektrik giderleri (c€/kWh)	13-20	16-22	25-33
Yoğunlaştırma oranı	70-80	300-1000	1000-3000
İşletme sıcaklığı	250-500°C	250-1000°C	600-1200°C
Yıllık solar kapasite faktörü (depoya bağlı olarak)	%23-50	%25-70	%25
Tepe verimliliği	%21	%23	%30 'un üzerinde
Yıllık solar-elektrik verimliliği	%14-16	%15-20	%12-25
Depolama imkanı	Depolama yapılabilir	Depolama yapılabilir	Henüz depolama yapılamaz
Hibrit kullanılabilirliği	Hibrit örneği mevcut	Hibrit kullanıma uygun	Hibrit kullanıma uygun (tekil kullanımdan daha pahalı)
İnşa alanı gereksinimleri	6-8m ² /MWh/yr	8-12m ² /MWh/yr	8-12m ² /MWh/yr (düz arazi için uygundur)
Su gereksinimi	3-5 m ³ /MWh	3-5 m ³ /MWh	Yıkama dışında su gereksinimi yoktur
Diğer avantajları			Hızlı tesis edilebilme
Dezavantajları	400°C sıcaklığında yağ ile ısıtmada orta düzeyde buhar elde edilmektedir	Yıllık performans değerleri ve bakım onarım masrafları düzeltilmeli	Dayanıklılığı geliştirilmeli ve hedeflenen maliyet değerlerine ulaşılmalı

5. TÜRKİYE'NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMİ) mevcut bulunan, 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak, EİE

tarafından yapılan çalışmaya göre; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir.

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. (Şekil 7)



Şekil 8. Türkiye üzerine gelen toplam güneş enerjisi radyasyonu [13]



Şekil 9. Türkiye güneş enerjisi termik santral potansiyeli

Türkiye'nin güneş enerjisi termik santral potansiyeli ışınım miktarı ve arazi durumları göz önüne alınarak Şekil 8' de gösterilmiştir. Bu alanlar ışınım miktarının 1650 kWh/(m²-yıl)' dan büyük olduğu ve santral kurulumuna elverişli tarım dışı araziler öncelikle göz önüne alınarak belirlenmiştir. Ancak yapılan bu etütlerin yeterli olduğunu söylemek de güçtür.

6. GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, güneş enerjisi potansiyeli açısından Türkiye'nin en şanslı bölgesidir. Bölgeye ışık tutması açısından bu çalışmada Diyarbakır ilinin güneş verileri

kullanılmıştır. Tablo 4’ de Diyarbakır için son 10 yılın güneş radyasyonu verilmiştir. Bu verilere göre Diyarbakır ilinin güneş radyasyon miktarı 1821 kWh/(m²·yıl) olmaktadır. Tablo 5’ de ise Diyarbakır ilinin son 10 yılına ait aylık güneşlenme süreleri

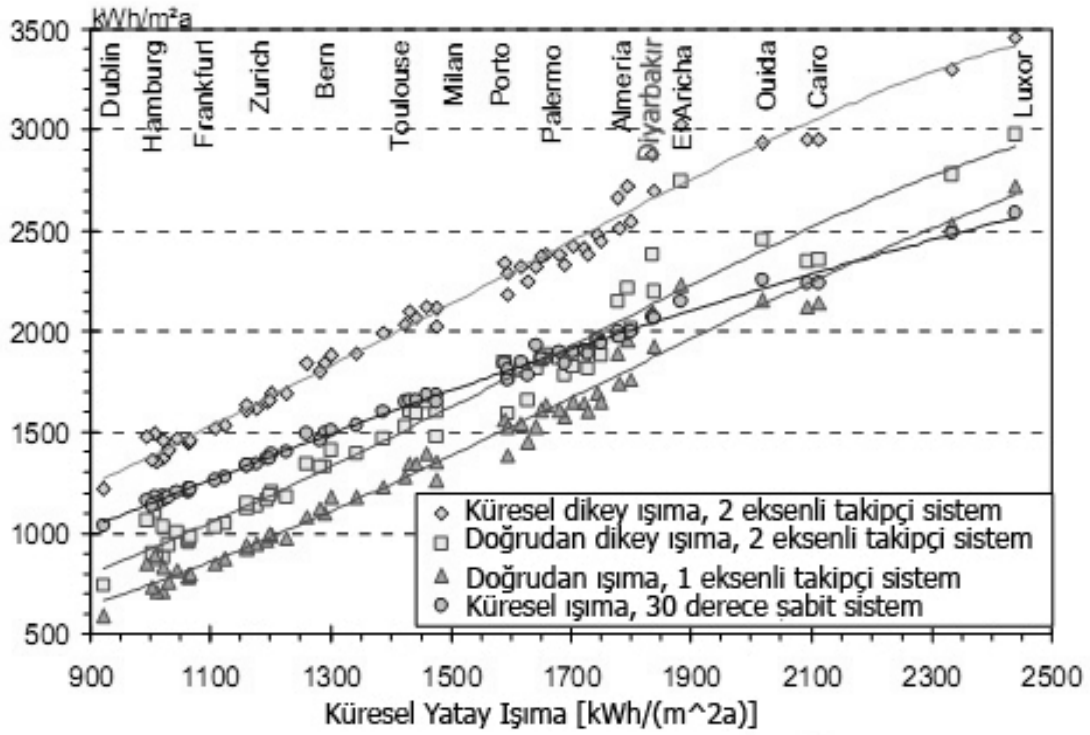
görülmektedir. Şekil 10’ da ise yatay ışımının fonksiyonu olarak çeşitli sistemlerdeki ışımalar görülmektedir. Bu şekilde Diyarbakır ili de ortalama yatay ışımaya miktarına bağlı olarak işaretlenmiştir. Buna bağlı olarak sistem seçiminde tercihler yapabilmek mümkündür.

Tablo 4. Aylara Göre Ortalama Güneş Radyasyonu Miktarı(kWh/(m²·yıl)) [12]

YIL	OCAK	SUBA	MART	NISA	MAYI	HAZIRA	TEMM	AGUS	EYLU	EKİM	KASI	ARAL	ORT.
1998	704,45	1335,90	1514,75	2062,25	2292,20	2795,90	2686,40	2525,80	2186,35	1700,90	974,55	715,40	1791,24
1999	879,65	1153,40	1522,05	2157,15	2657,20	2774,00	2693,70	2580,55	2204,60	1518,40	1127,85	784,75	1837,78
2000	806,65	1251,95	1773,90	1927,20	2613,40	2985,70	2857,95	2507,55	2127,95	1438,10	1084,05	693,50	1838,99
2001	905,20	1149,75	1635,20	2157,15	2409,00	2974,75	2686,40	2478,35	2087,80	1533,00	1065,80	547,50	1802,49
2002	1040,25	1387,00	1518,40	1857,85	2686,40	2890,80	2737,50	2452,80	2058,60	1478,25	1069,45	803,00	1831,69
2003	697,15	1098,65	1518,40	1832,30	2635,30	2832,40	2890,80	2584,20	2241,10	1511,10	1022,00	664,30	1793,98
2004	646,05	992,80	1777,55	2102,40	2398,05	2960,15	2792,25	2328,70	2051,30	1485,55	934,40	927,10	1783,03
2005	865,05	1153,40	1576,80	2080,50	2507,55	2803,20	2806,85	2438,20	2044,00	1591,40	1003,75	740,95	1800,97
2006	795,70	1095,00	1631,55	1905,30	2558,65	2825,10	2759,40	2328,70	2051,30	1357,80	1087,70	967,25	1780,29
2007	934,40	1193,55	1547,60	1854,20	2171,75	2857,95	2660,85	2310,45	2171,75	1463,65	1076,75	886,95	1760,82
2008	978,20	1233,70	1671,70	2146,20	2463,75	3003,95	2898,10	2277,60	1901,65	1522,05			2009,69

Tablo 5. Aylara Göre Ortalama Güneşlenme Süresi (Saat) [12]

YIL	OCAK	SUBA	MART	NISA	MAYI	HAZI	TEMM	AGUS	EYLU	EKİM	KASI	ARAL
1998	5,0	7,1	5,4	8,1	8,5	12,6	12,4	11,9	10,3	9,4	5,9	4,0
1999	4,9	6,6	5,8	8,6	11,3	12,4	12,1	12,1	10,2	7,9	6,2	5,1
2000	3,4	5,6	6,7	6,5	11,1	13,0	12,6	11,7	9,8	6,9	7,1	3,9
2001	4,6	5,0	5,6	8,2	9,2	13,1	12,1	11,6	9,2	7,4	6,0	2,0
2002	5,7	6,7	5,1	5,7	11,3	12,5	12,5	11,9	9,7	6,9	6,9	4,0
2003	2,8	3,9	4,7	5,3	10,4	11,9	12,5	11,8	10,0	7,6	5,6	3,6
2004	2,4	3,0	6,1	6,3	8,1	12,1	12,4	12,0	9,6	6,8	4,8	5,6
2005	4,0	4,5	5,2	6,7	10,0	11,4	12,1	10,8	8,7	7,9	4,3	3,8
2006	3,3	4,1	5,5	5,4	10,5	12,0	12,1	10,5	9,1	6,0	6,3	5,4
2007	3,5	3,8	5,1	5,2	6,6	11,6	11,8	10,3	10,1	7,0	5,9	4,5
2008	5,3	6,0	5,4	6,4	9,8	12,4	12,3	9,6	7,8	7,0		



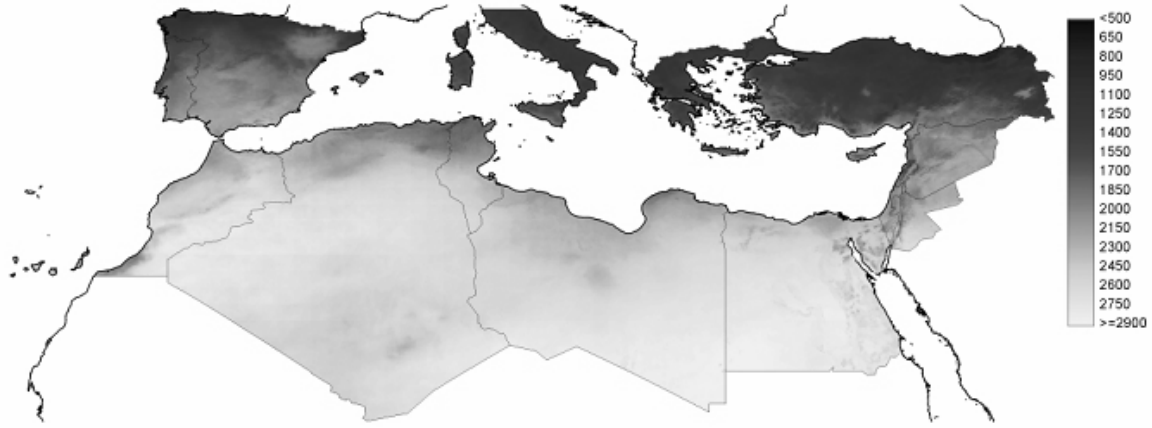
Şekil 10. Küresel yatay ışımın fonksiyonu olarak çeşitli sistemlerdeki ışımalar [6]

7. ILISU HES'E ALTERNATİF OLARAK GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNDE YOĞUNLAŞTIRICILI GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİ KURULMASI

Ilisu HES GAP'ın enerji yapılarından biri olup, baraj gölü altında bırakacağı tarihi kültürel miras ve yol açacağı problemler nedeniyle üzerinde çokça tartışmalar yürütülen bir projedir. Bu proje on iki bin yıllık bir tarihi kültürel mirasın Hasankeyf ilçesi ile birlikte suların altında kalması tehlikesinin yanı sıra, göç etmek zorunda bırakacağı insanlar, tahrip olacak olan ekolojik çevre ve suların altında kalacak olan verimli tarım toprakları nedeniyle büyük tepkiler çekmektedir. Enerji açısından incelendiğinde çok verimli olmayan bir hes olan

Ilisu'ya alternatif çözümler üretmek yaratacağı yıkımın etkilerinin engellenmesi açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada Ilisu HES'e alternatif olacak yoğunlaştırıcı güneş enerji santrallerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Ilisu HES'in öngörülen maksimum yıllık enerji üretimi 3833 GWh'tir. Aslında bu santralin güvenilir enerji üretimi 2500 GWh'ler mertebesinde. Çalışmada, İspanya'da tesis edilen ve işletilen parabolik oluk sistemine örnek olarak AndaSol ve güç kulesi sistemine örnek olarak Solar Tres santralleri ele alınmıştır. Bu santrallerin ele alınmasındaki temel amaç iki ayrı sisteme sahip olmaları ve ışım özellikleri olarak kuruldukları yerler ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin benzerlikler göstermesidir.



Şekil 11. 2002 yılında Ortadoğu bölgesi için dikey doğrudan ışıma potansiyeli [4]

İlisu HES'in ürettiği enerjiye eşdeğer enerji üretmek için 1070 MW'lık parabolik oluk veya 675 MW'lık güç kulesi sistemlerinden oluşan güç santralleri gerekmektedir. Bu santrallere ait karşılaştırma Tablo 6'da gösterilmiştir. İspanya'da kurulu olan bu sistemlerin tesis maliyetleri göz önüne alınarak öngörülen güç için, tesis maliyetleri hesaplandığında, her iki güneş enerjisi sisteminin de Ilisu HES'in yapım maliyetinden düşük olduğu

görülmektedir. Güneş enerjisi santralleri Ilisu HES'in sular altında bırakacağı alandan çok daha küçük bir alanda tesis edilebilecektir. Üstelik bu alanların herhangi bir tarihi eseri sular altında bırakma riski yoktur. Ilisu HES'in maliyetine kamulaştırma maliyetleri dahil değildir. Oldukça büyük bir alanın kamulaştırılacağı düşünüldüğünde bu maliyetin de 1 Milyar € dolaylarında olması tahmin edilmektedir.

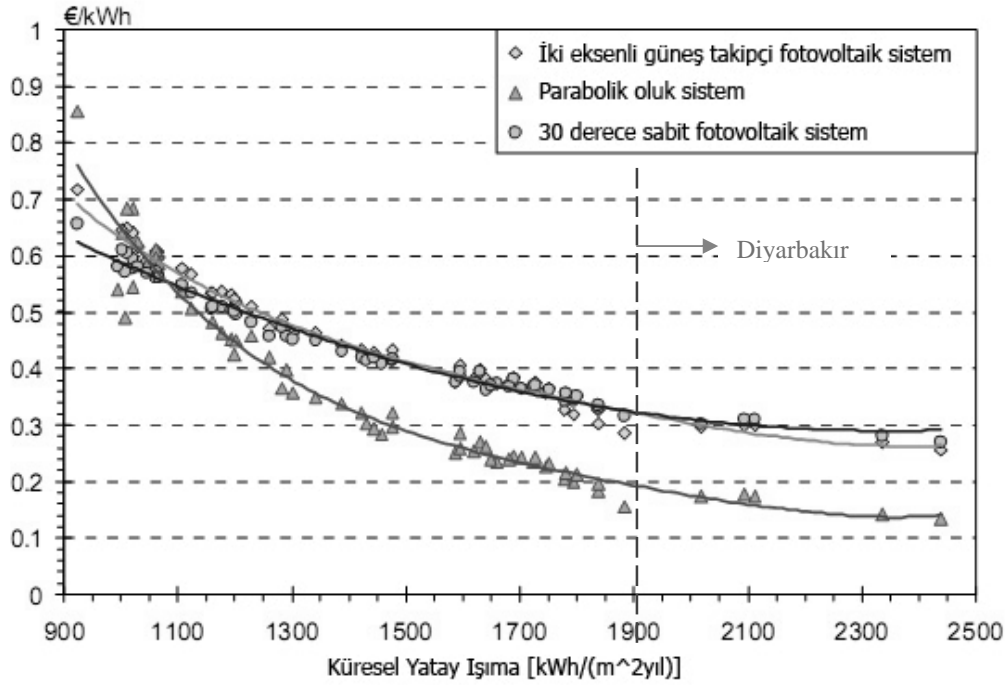
Tablo 6. Ilisu HES ve en uygun alternatif çözüm karşılaştırması

	ILISU HES	PARABOLİK OLUK SİSTEMİ	GÜÇ KULESİ SİSTEMİ
YILLIK ENERJİ ÜRETİMİ(max)	3833 GWh	3833 GWh	3833 GWh
KURULU GÜÇ	1200 MW	1070 MW	675,94 MW
KAPLADIĞI ALAN	331 km ² (Baraj Gölü)	36,82 km ²	56,58 km ²
MALİYET	1,2 Milyar €	306,2 Milyon €	610,14 Milyon €

Günümüz koşullarında yatay ışımanın değerlerine bağlı olarak yoğunlaştırılmalı güneş santrallerindeki elektrik enerjisinin üretim maliyetleri Şekil 11'de verilmiştir. Buna göre Diyarbakır ilinin güneş ışıma verilerine dayanarak üretim maliyetlerinin 0,2 € mertebesinde olduğu görülmektedir. Bu değerler gün geçtikçe azalmaktadır ve gelecekte çok daha rekabetçi değerlere geleceği öngörülmektedir. Bu da gelecek için bu tip santrallerin kurulmasının önemli olduğunu göstermektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yoğunlaştırıcı güneş enerji santralleri küresel iklim değişikliği sorunuyla uğraşan dünyamız için önemli bir enerji üretim aracıdır. Yakın zamanda tükenen fosil yakıtlar ve bu yakıtların çevresel etkileri yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin kullanımını zorunlu kılmaktadır.



Şekil 12. Günümüz koşullarında yatay ışımanın fonksiyonu olarak elektrik üretim maliyeti [6]

Bu çalışmada yoğunlaştırıcı güneş santralleri ile ilgili temel bilgiler ve örnekler verilmiştir. Bu santrallerin ülkemizde özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde kurulması oldukça önemlidir. Zira Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yapılması düşünülen Ilısu HES projesi içerisinde birçok riskleri barındırmaktadır. Bu riskleri barındıran bir enerji yapısı yerine yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak alternatiflerinin yapılması son derece önemlidir. Yapılan yaklaşımla parabolik oluk veya güç kulesi sistemleri ile Ilısu HES'in üretebileceği enerjiye eşit miktarda enerjinin daha az kurulum maliyeti ile yapılabileceği görülmektedir. Böylelikle baraj yapımı ile göçe maruz kalan insanların evlerini terk etmek zorunda kalmaması, binlerce yıllık tarihi ve kültürel mirasın korunması, verimli tarım arazilerinin sular altında kalmaması ve ekolojik dengenin bozulmaması sağlanacaktır. Aynı zamanda bu yöreler turizm gelirlerine de sahip olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Concentrating Solar Power From Research To Implementation, European Communities, 2007
 [2] Robert Pitz-Paal, Jürgen Dersch, Barbara Milow, European Concentrated Solar Thermal Road – Mapping, DLR, 2004

- [3] L. Stoddard, J. Abiecunas, R. O'Connel, Economic, Energy, and Environmental Benefits of Concentrating Solar Power in California, April 2006, NREL
 [4] Concentrating Solar Power For The Mediterranean Region, German Aerospace Center (DLR), April 2005
 [5] Solar Power-Photovoltaics or Solar Thermal Power Plants? Volker Quasching, Manuel Blanco Muriel, 2001
 [6] Dr. Volker Quasching, Winfried Ortmanns, Specific Cost Development Of Photovoltaic And Concentrated Solar Thermal Systems Depending On The Global Irradiation, 2003
 [7] Antonio Lopez, Solar Thermal Concentrating Systems, May 2008
 [8] Franz Trieb, German Aerospace Center, Concentrating Solar Power For Seawater Desalination, November 2007
 [9] Rainer Aringhoff, Concentrating Solar Power – Now, September 2005
 [10] Andreas Haberle, The Solar Mundo Line Focussing Frensel Collector, Optical And Thermal Performance And Cost Calculations, 2003
 [11] M. Suri, T. Cebecauer, T. Huld, E. D. Dunlop, PVGIS, European Communities, 2003
 [12] T.C. Çevre Ve Orman Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Elektronik Bilgi İşlem Müdürlüğü.

KYOTO PROTOKOLÜ KAPSAMINDA TÜRKİYE’NİN YENİLENEBİLİR ENERJİ POLİTİKALARINA GENEL BİR BAKIŞ

¹Arif Kıvanç ÜSTÜN ²Meltem APAYDIN ³Ümmühan BAŞARAN FİLİK ⁴Mehmet KURBAN

^{1,2,3,4}, Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
26555, ESKİŞEHİR

¹e-posta: akustun@anadolu.edu.tr ²e-posta: meltemapaydin@anadolu.edu.tr
³e-posta: ubasaran@anadolu.edu.tr ⁴e-posta: mkurban@anadolu.edu.tr

ÖZET

Günümüz dünyası abartılı olmayan bir söylemle enerji odaklı şekillenmektedir. Geleneksel enerji kaynakları savaşlara neden olmakta, ülkeler sadece bugünü değil gelecekte oluşacak ihtiyaçlarını şimdiden garantilemeye çalışmaktadırlar. Fosil ve nükleer yakıtlara alternatif doğal enerji kaynakları konusunda yapılan araştırmalar sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kavramlarını gündeme getirmiştir. Bütün bu yaşamsal sebeplerin ışığında son yıllardaki dünyanın geleceğiyle ilgili gelişmeler ülkeleri en üst siyasi makamlar mevkinde korkutmaya başlamıştır. Böylece uluslararası anlaşmalar ve yaptırımlar ortaya çıkmıştır. Kyoto Protokolü de ülkelerin dünya üzerindeki yaşam alanlarına ve gelecekteki durumlarına yönelik bir uluslar arası bir yönetmeliktir. Türkiye'nin içinde bulunduğu konum itibarıyla yenilenebilir enerji kaynaklarını değerlendirebilme potansiyeli Kyoto Protokolü gündeme geldikten sonrada daha şiddetle tartışılmaktadır. Bu çalışma, Türkiye'nin yenilenebilir enerji konusundaki potansiyelini ve yapabileceklerini anlatmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Kyoto Protokolü

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Bir ülkenin elektrik enerjisi tüketimi o ülkenin kalkınmışlığının bir göstergesidir. 2004 yılında Türkiye’de kişi başına yıllık elektrik tüketimi 2 100 kWh iken, dünya ortalaması 2 500 kWh, gelişmiş ülkelerde 8 900 kWh, Çin’de 827 kWh, ABD’de ise 12 322 kWh civarındadır. Ülkemizin ekonomik ve sosyal bakımdan kalkınmasının sağlanması için endüstrileşme bir hedef olduğuna göre bu endüstrinin ve diğer kullanıcı kesimlerin ihtiyacı olan enerjinin, yerinde, zamanında ve güvenilir bir şekilde karşılanması gerekmektedir. Fakat bunların yanında bu enerjinin sağlanması sırasında oluşan yan etkiler vardır. Dünya üzerinde yaygınlaşan küresel ısınma, iklim değişikliği gibi güncel konular işte bu oluşan yan etkilerin sonuçlarıdır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, son zamanlarda Kyoto Protokolü’yle de çokça bahsedilmiş yenilenebilir enerji kaynakları ve Türkiye’nin bu konudaki konumu ve bundan sonra yapacakları hakkında gerekli bilgilendirmeleri yapmaktır. Dünya üzerindeki diğer ülkeler neler yapmışlardır. Türkiye neler yapmaktadır ve bundan sonra oluşabilecek senaryolara karşı genel bir bakış yapılmıştır. Sonuç olarak da Kyoto Protokolü’nde de belirtilen sonlara doğru Türkiye hangi konumdadır, bu araştırılmıştır.

2.KYOTO PROTOKOLÜ

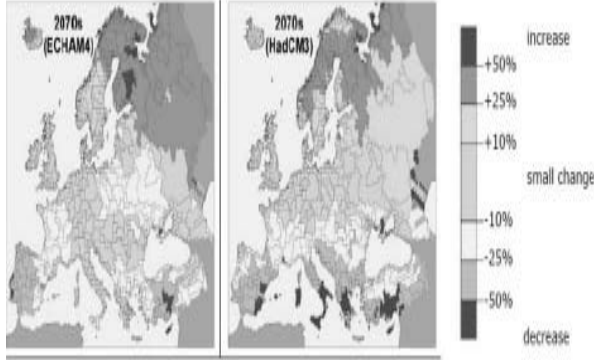
Kyoto Protokolü ise dünyanın içinde bulunduğu küresel iklim değişikliği ve küresel ısınma sorunlarına karşı uluslar arası bir savunma mekanizması oluşturabilmek amacıyla 1997’de imzalanmıştır.

İklim değişikliği, “iklimin ortalama durumunda ya da onun değişkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun yıllar boyunca süren istatistiksel olarak anlamlı değişimler” olarak tanımlanabilir. İklim değişikliği, doğal iç süreçler ve dış zorlama etmenleri ile atmosferin bileşimindeki ya da arazi kullanımındaki sürekli insan kaynaklı değişiklikler nedeniyle oluşabilir. Günümüzde iklim değişikliği, bir başka anlamıyla küresel iklim değişikliği, sera gazı birikimlerini arttıran insan etkinlikleri ve insanın iklim sistemi üzerindeki olumsuz etkileri dikkate alınarak da tanımlanabiliyor. Örneğin, iklim değişikliği, Birleşmiş Milletler (BM) İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nde (İDÇS), “karşılaştırılabilir bir zaman döneminde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik” biçiminde tanımlanmıştır.

“Küresel ısınma” ise, “Sanayi devriminden beri, özellikle fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma, tarımsal etkinlikler ve sanayi süreçleri gibi çeşitli insan etkinlikleri ile atmosfere salınan sera gazlarının atmosferdeki birikimlerindeki hızlı artışa bağlı olarak, şehirleşmenin de etkisiyle doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi sonucunda, yeryüzünde ve atmosferin alt katmanlarında (alt ve orta troposfer) saptanan sıcaklık artışı” olarak tanımlayabiliriz. Özetle, küresel ısınma, insan kaynaklı küresel iklim değişikliğinin en önemli sonuçlarından birisidir; bu yüzden küresel iklim değişikliğinin



yerine ya da onunla eş anlamlı olarak kullanıl-
mamalıdır.



Şekil-1: 2070 yılı Avrupa tahmini sıcaklık artışı haritası

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC -1994) bir alt metni niteliğinde oluşturulmuştur. Dünyada belirli bir gaz emisyonu oranını sağlayan ülkelerin kabul etmesiyle ancak 2005'te yürürlüğe girebilmiştir. Kyoto Protokolü, imzalayan ülkelerin sera gazı emisyonlarını (greenhouse gases-GHG) 2008-2012 yılları arasında 1990 yılındaki seviyelerinden en az %5 oranında aşağıya çekmelerini gerektirmektedir.



Şekil-2: Kyoto Protokolü'ne Katılım

Haziran 2008'de bakanlar kurulu tarafından Türkiye'nin Kyoto Protokolü'ne taraf olmasının kabul edilmesiyle ve en son Şubat 2009'da yasalaşmasıyla, konu güncelliğini daha da arttırmıştır. Özellikle, enerji alanındaki faaliyetler, elektrik, sanayi, ulaşım, enerji üreten/tüketen sektörler bundan önemli ölçüde etkileneceklerdir.^[7]

Kyoto Protokolü de, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (UNFCCC) olduğu gibi, ülkelerin gelişmişlik düzeylerine göre farklı yükümlülükler getirmektedir. Bu kapsamda, sözleşmede gelişmiş ülkelerin yer aldığı EK-I

listesinde bulunan ülkeler Kyoto Protokolü'nde Ek-B'de yer almaktadır. EK-B kapsamında başlangıçta 35 ülke (24 OECD ülkesi, 10 Eski Doğu Bloğu ülkesi ve Monako) vardı. Ardından 1998'de 40+1 ülkeye yükseldi. UNFCCC'deki EK-1 ülkeleri Kyoto Protokolü'nde 39 ülke olarak (Beyaz Rusya ve Türkiye hariç) EK-B ülkeleri olarak yükümlülük altındalardı. 2005'de ise sadece Türkiye haricinde EK-B ülkeleri yükümlülük altına girmişlerdi.

Ek-B ülkelerinin en önemli yükümlülüğü ise küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının ilk uygulama döneminde, 1990'ndaki seviyelerinin en az %5 altına indirilmesidir. Protokol ayrıca sera gazlarının azaltılması için Emisyon Ticareti (Emission Trading), Ortak Yürütme (Joint Implementation) ve Temiz Kalkınma Mekanizması (Clean Development Mechanism) olmak üzere esneklik durumları da getirmektedir.

Emisyon Ticareti: Sözleşmenin EK-1 listesinde bulunan gelişmiş ülkelerin kendi aralarında uygulanmakta olup, böylece emisyon azaltım hedeflerine ulaşmasına olanak tanıyan bir mekanizmadır.

Ortak Yürütme: Emisyon ticareti gibi bu mekanizma da EK-1 ülkeleri arasında gerçekleştirilmekte olup, bu mekanizmayı uygulayan taraflar, emisyon azaltım hedeflerine ulaşmak için ortak politikalar veya ortak projeler geliştirebilmektedirler.

Temiz Kalkınma Mekanizması: Bir EK-1 ülkesinin yani gelişmiş bir ülkenin Ek-1 dışı bir ülkede, daha az maliyetle daha fazla azaltım sağlayan bir proje yürütmesine olanak sağlayan bir mekanizmadır.

Ayrıca bunlara ek olarak REEEP (Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Ortaklığı), IPCC (Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli), CD MED (Clean Development Mechanism in Mediterranean Area) gibi oluşumlar da bu tür mekanizmaları desteklemekte ve yardım etmektedir.

3. TÜRKİYE AÇISINDAN KYOTO PROTOKOLÜ

Türkiye, UNFCCC'nin eklerinde gelişmiş ülkeler arasında değerlendirildiği için ve bu koşullar altında özellikle enerji ilişkili CO2 ve öteki sera gazı salınımlarını 2000 yılına kadar 1990 düzeyine indirme, gelişme yolundaki ülkelere mali ve teknolojik yardım ve başka konulardaki yükümlülüklerini yerine getiremeyeceği gerçeğiyle UNFCCC'yi 1992'de Rio'da imzalamadı ve sonrasında da taraf olmadı.

Türkiye'nin UNFCCC karşısındaki tutumu, 1992-1997 (Rio'dan Kyoto'ya kadar) ve 1997-2000 dönemleri için görece bir farklılık göstermiştir. Türkiye'nin 1992-1997 dönemindeki ana tutumu, sözleşmenin eklerinden (Ek I ve Ek II) çıkmak ve yalnız bu koşullar altında UNFCCC'ye taraf olmaktır. Kyoto'da başlayan 1997-2000 dönemindeki tutumu ise, yine sözleşmenin eklerinden çıkmak, ama aynı zamanda önceki döneme göre Türkiye'nin sözleşme karşısındaki sorununu ve bu sürece dahil olmanın somut yollarını araştıran görüşmeleri de içeren daha yumuşak bir yaklaşım (örneğin, çok objektif ve gerçekçi bir sera gazlarını denetleme ya da azaltma hedefini içermese bile, belirli bir hedef yıla ya da yükümlülük dönemine kadar sera gazı salımlarını bir "her şey olduğu gibi" senaryosunun altında tutma; ya da OECD ortalaması esas alınarak, bazı azaltma hedefinin belirlenmesi) biçiminde özetlenebilir. Yukarıda özetlenen iki dönemin ortak özelliği, Türkiye'nin, 'ortak ama farklılaştırılmış sorumluluk' ilkesi altında kendi özel durumu ve güçlükleri dikkate alınarak uygun koşullar oluşturulmadan ve eklerden çıkarılmadan, bu şekilde UNFCCC'ye taraf olmak istemeyişiydi.



Şekil 3: OECD üyeleri, Koyu renkli olanlar gözlemci üyeler

Türkiye, UNFCCC'ye yasal olarak taraf olmak amacıyla, 24 Şubat 2004 tarihinde BM'ye resmi olarak başvurdu. Sözleşme kuralları gereğince, Türkiye UNFCCC'ye, 24 Mayıs 2004'te 188. (AB dikkate alındığında 189.) taraf ülke olarak kabul edildi.

Uzun süre Kyoto Protokolü'nü imzalamayan Türkiye 30 Mayıs 2008'de Protokolü imzalayacağını resmen açıklamıştır. Başlangıçta tüm OECD ülkeleri gibi hem Ek 1 hem de Ek 2'de yer alan Türkiye, kendi başvurusu üzerine 2001'de Fas'ta yapılan toplantı da geçiş ülkesi sayılarak Ek 2'den çıkarılmıştır.

BM raporlarına göre UNFCCC Ek-1 ülkelerinin CO2 eşdeğer emisyonları listesinde %72,6'lık artışla Türkiye birinci sıradadır. Türkiye'nin, sera gazları artış oranında Kyoto Protokolü Ek-1 ülkeleri arasında ön planda yer almasına karşılık, ülkemizin toplam sera gazı salımı çok düşük seviyededir. 2004 yılında

OECD ülkelerinin ise %1,6sını oluşturmaktadır.(Şekil-1)

4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

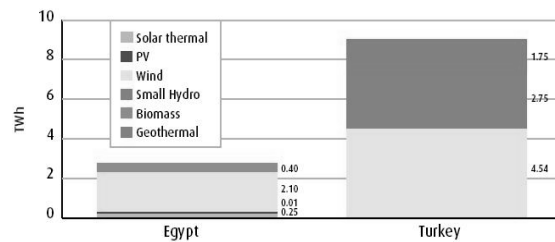
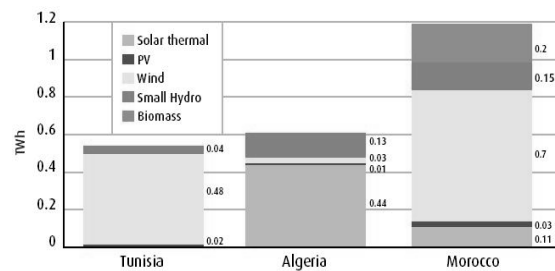
Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal çevrede sürekli tekrarlanan enerji akımlarının nicelik ve nitelik özelliklerini bozmayacak şekilde kullanımı veya doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki gün aynen mevcut olabilen enerji kaynağı olarak ifade edilebilir. Bunlara örnek olarak güneş, su, biyogaz, biyokütle, rüzgar, hidrojen, jeotermal enerji ve deniz akıntılarını gösterebiliriz.

Kyoto Protokolü, sera gazları olarak CO₂, CH₄, N₂O, HFCs (Hidro flor karbonlar), PFCs (Perfloro karbonlar)'ı ele alır

Örneğin, 1 ton SO₂'nin verdiği zararın 8000euro olduğu bildirilmektedir. Ayrıca dünyada birincil enerji tüketimi içinde fosil yakıtlara düşen pay %85-90 arasındadır. En önemli sera gazı olan karbondioksitin %90'dan fazlası fosil yakıtların yanması sonucu oluşmaktadır(IEA,Uluslararası enerji ajansı). Buna ek olarak yenilenebilir enerjinin oranı da %6 seviyelerindedir.

Sera gazlarının etkilerinin azaltılması için bu oranın daha çok yukarı çekilmesi gereklidir. Bu nedenle her ülke kendine göre sübvansiyon mekanizmaları oluşturmuştur. Örneğin Almanya'da rüzgar enerjisinden elde edilen enerjinin 9Vc/kWh, güneş enerjisinden elde edilen enerjinin 40Vc/kWh fiyatından satın alınması zorunludur. Ayrıca yapılan yatırımların %25'ten fazlası hükümet tarafından desteklenmektedir.

RENEWABLE ENERGY SOURCE (EXCLUDING LARGE HYDRO)-BASED POWER GENERATION IN 'MODRES 2010 SCENARIO' (IN TWh)
(by source and country)



Şekil 4: Bazı Akdeniz ülkelerinin(Türkiye dahil)



Peki Türkiye’de durum nasıldır? Türkiye’de yenilenebilir enerjinin toplam enerji içindeki payı, 1970 yılında %34,3 iken 2001 yılında %13’e düşmüştür.

Bunların nedeni çoğunlukla fosil yakıtların kullanımının artması olsa da yenilenebilir enerjinin kullanımı özellikle de Kyoto Protoklü’nün getirdiği yükümlülükler çerçevesinde daha da arttırılmalıdır.

Hidrolik Enerji: Yenilenebilir enerji kaynakları içinde hem Türkiye’de hem de dünyada en çok kullanılanıdır. Hidrolik enerji, ilk yatırım maliyetleri yüksek olmasına rağmen, uzun ömürlü olması, işletme maliyetlerinin düşük olması, çevre kirliliği yaratmaması nedeniyle tercih edilmektedir.

Türkiye’deki durum hidrolik enerji bakımından biraz daha iyidir. Çünkü AB’de termik ve nükleer enerjinin üretim oranı hidrolik enerjiye göre yüksekken, Türkiye’de bu durum birbirlerine eşit oranda seyretmektedir. Ayrıca Türkiye’nin hidrolik enerji potansiyeli 130 000GWh/yıldır ve sadece %35’i değerlendirilmiştir durumdadır.

Güneş Enerjisi: Bugüne kadar gelişen teknoloji ile birlikte güneş enerjisi sistemleri de gelişmiş ve içinde bulunduğumuz yüzyılda güneş enerjisinin kullanımı küçümsenmeyecek bir değere ulaşmıştır. Güneş Enerjisi ile ilgili olarak fotovoltaik sistemlerde kullanılan güneş hücrelerinin geliştirilmesi ve maliyetlerin düşmesi de büyük katkı sağlamıştır. Ayrıca baraj inşaatlarında ve elektro-mekanik aksamda yeni teknolojiler kullanılarak verim arttırma konusunda araştırmalar yapılmaktadır.

Türkiye’deki duruma bakacak olursak güneş pillerinden sağlanan enerjinin elektrik iletiminin ekonomik olmadığı yerlerde kullanıldığı görülmektedir. Birim enerji maliyetleri de 25cent/kwh civarındadır. (EİE,2006) 2010 yılında da güneş enerjisinden elde edilmesi planlanan enerjinin toplam enerji talebine oranı %0.18 olacaktır.

Rüzgar Enerjisi: Günümüzde rüzgardan elektrik üretimi için büyük güçlü türbinlerde kurulan rüzgar santrallerinin(rüzgar çiftliklerinin) yanında, küçük güçlü türbinler olan rüzgar jeneratörleri de kullanılmaktadır. Rüzgardan sağlanacak güç, rüzgar hızının küpüyle doğru orantılıdır. Yerden yükseldikçe logaritmik bir artış göstermektedir. Dünyada şu an kullanılan rüzgar enerjisi ile mevcut rüzgar enerjisi potansiyelini karşılaştırıldığında rüzgarın kullanımı çok düşük miktarlardadır. Fosil yakıt santralleriyle karşılaştırıldığında çok daha ekonomik ve temiz üretim yapabilmektedir. Örneğin yatırım maliyetleri 1000dolara üretim maliyetleri de 6-7cente kadar ucuzlayan rüzgar enerjisi, termik ya da doğalgazlı santrallerin 4-6centlik maliyetleriyle yarıyar düzeye geldiğini göstermektedir.

Ayrıca rüzgar türbini, kurulduğu arazinin %5’ni işgal ettiğinden ve türbin kanatları yerden epeyce yüksekte olduğundan, kalan arazi diğer amaçlar için rahatlıkla

kullanılabilir. Buna ek olarak deniz alanları karalara göre daha büyük potansiyel gösterdiği için denizlerde denizüstü(off-shore) tipi rüzgar santrallerinin kurulmasına başlanmıştır.

Türkiye’deki duruma gelince, Türkiye’nin hedefi olarak 2010 yılında elektriğin %2sini rüzgardan elde etmek gösterilmiştir. Bunlara yardımcı olabilecek:

Rüzgar türbinlerinin imalat maliyetlerinin düşürülmesine, yer seçimine dayalı potansiyel belirleme çalışmalarına ve yeni ölçme teknolojilerine yönelik araştırmalara ağırlık verilmiştir.

Jeotermal Enerji: Jeotermal enerji kısaca yer ısı olup yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş basınç altındaki sıcak su, buhar, gaz veya sıcak kuru kayaların içerdiği termal enerji olarak adlandırılır.

Jeotermal ısıtma sistemleri geleneksel ısıtma sistemlerinden oldukça ucuzdur. Jeotermal ısıtma ve soğutma sistemi 1980li yıllardan sonra ısı pompalarının kullanılmasıyla bir artış göstermiştir. Türkiye’de durum, kanıtlanmış olarak jeotermal elektrik teknik potansiyeli 500MW civarındadır(TEİAŞ 2005). Denizli, Kütahya ve Aliğa gibi yörelerde jeotermal enerji kaynaklarından konut ısıtma ve elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir.

Dünya üzerinde 7.sırada yer alan Türkiye’de , 2010 yılında öngörülen kurulabilecek kapasite 500MW, 2020 yılında 1000MW civarında olacaktır. 2000’de 52bin konut ısıtılabilirken 2010’da bu sayı 500 bin olacaktır.

Biyokütle Enerjisi: Endüstriyel anlamda biyokütle, yaşayan ya da yakın zamanda yaşamış biyolojik maddelerden yakıt elde edilmesi ya da diğer endüstriyel amaçlarla kullanılması ile ilgilidir. Yaygın olarak, biyoyakıt elde etmek amacı ile yetiştirilen bitkiler ile lif, ısı ve kimyasal elde etmek üzere kullanılan hayvansal ve bitkisel ürünleri ifade eder. Biyoküteller, bir yakıt olarak yakılabilen organik atıkları da içerir. Buna karşın, coğrafi etkilerle değişikliğe uğramış, kömür, petrol gibi organik maddeleri içermez. Genellikle kuru ağırlıkları ile ölçülürler.

Biyoyakıtlar, biyoetanol, biyobütanol, biyodizel ve biyogazlarla ilgilidir.

Biyokütle elde etmek üzere, şeker kamışı, şeker pancarı, mısır, dallı darı, arpa, keten tohumu, ayçiçeği, kolza, soya fasulyesi gibi pek çok değişik bitki yetiştirilebilir.

Biyoküteller de, petrol ve kömür gibi, güneş enerjisinin depolanmış halidirler. Bitkiler güneş enerjisini fotosentez aracılığıyla tutarlar.

Biyoyakıtların içerisindeki karbon, bitkilerin havadaki karbondioksiti parçalaması sonucu elde edildiği için, biyoyakıtların yakılması, dünya atmosferinde net karbondioksit artışına neden

almaz. Bu nedenle, pek çok insan, atmosferdeki karbondioksit miktarının artışına engel olabilmek için, fosil yakıtlar yerine biyoyakıtların kullanılması gerektiği görüşünü savunmaktadırlar. Biyoyakıtlar, enerji dışında yapı malzemesi ve geri dönüşümlü kâğıt ve plastik. üretiminde de kullanılırlar.

5. KYOTO PROTOKOLÜ KAPSAMINDA YENİLEBİLİR ENERJİ POLİTİKALARI

Türkiye'nin, İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi için referans (önlemlerin alınmadığı) senaryo kullanılarak hesaplanan toplam karbondioksit eşdeğer salınımları, 2004 yılında yaklaşık 300 milyon ton iken, yıllık ortalama yüzde 6'lık bir artış göstererek 2020 yılında yaklaşık 605 milyon tona ulaşacaktır. Bu nedenle farklı sektörlerde uygulamalara ihtiyaç vardır. Örneğin;

Enerji temini ve CO2'nin fiziksel uzaklaştırılması

• Fosil yakıtlı elektrik üretiminde daha verimli, ekonomik ve temiz yakma teknolojilerinin kullanımının artırılması: süperkritik santraller, akışkan yatak yakma teknolojileri, birleşik çevrim gaz türbini (CCGT) teknolojisi, bütüncül gazlaştırma birleşik çevrim (IGCC) teknolojisi, kojenerasyon sistemleri ve yakıt hücreleri

• Yenilenebilir enerji çevrim teknolojilerinden yararlanarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının birincil enerji kaynakları içindeki payının artırılması: Hidrolik, biyokütle, biyogaz, rüzgar, güneş, hidrojen ve jeotermal enerji.

• Fosil yakıt kalitesinin iyileştirilmesi ve karbon içeriği daha düşük fosil yakıtlara geçiş, fiziksel ve biyolojik CO2 uzaklaştırma ve tutma teknolojileri (örneğin, elektrik santrallerinde, rafinerilerde ve büyük fabrikalarda CO2 tutma; CO2'nin taşınması ve yeraltında depolanması; karbon tutucu biyolojik ortamların geliştirilmesi ve artırılması).

• Üretimden, ulaştırmadan, çevrimden ve dağıtımdan kaynaklanan sera gazı salınımlarının azaltılması.

Ulaştırma ve Taşımacılık Sektörü

• Kent içinde toplu ulaşımın, ulusal düzeydeki yolcu ve yük taşınmasında demir ve deniz yollarının özendirilmesi ve desteklenmesi.

• Hibrit elektrikli araçların geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması.

• Hafif yapı malzemelerinin kullanımının artırılması.

• Doğrudan enjeksiyonlu benzin ve dizel motorlarının yaygınlaştırılması.

• Otomobil yakıt hücrelerinin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması.

• Salınımların tam yakıt döngüsüyle azaltılması.

• Biyoyakıtların geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması.

• Deniz taşımacılığının verimliliğinin artırılması ve yaygınlaştırılması.

• Kamyon taşımacılığında, turbo dizel motorlu kamyonların yaygınlaştırılması,

• Sürdürülebilir ulaştırma sistemleri.

• Yakıt dönüşümünün yaygınlaştırılması.

• Malzeme verimliliğinin iyileştirilmesi.

• Enerji verimliliğinin ve tasarrufunun artırılması.

Tarım ve Ormanlık Sektörleri ve Enerji Ürünleri

• Yönetim tekniklerinin güçlendirilmesi.

• Ormanlaştırma ve yeniden ormanlaştırmanın artırılması, ormansızlaşmanın önlenmesi.

• Bozulan tarım arazilerinin ve çayır/meraların onarılması.

• Tarımsal ormancılığın özendirilmesini içeren gelişmiş orman, çayır/mera ve tarım arazisi yönetiminin desteklenmesi.

• Ürün ve hayvan artık ve atıklarının değerlendirilmesi.

• Toprak çözümlenmelerini ve bitki gereksinimini dikkate alan azotlu gübre kullanımının sağlanması

Yerleşmeler/Hizmet Sektörü

• Bütüncül bina tasarımının yaygınlaştırılması.

• Elektrikli alet ve araçlardaki enerji verimliliğinin artırılması.

• Binalarda fotovoltaik sistemlerin yaygınlaştırılması ve kullanımının artırılması.

• Toplu yerleşimlerde dağıtılmış güç jeneratörü uygulamalarının yaygınlaştırılması

6. SONUÇ

Sera gazlarının atmosferde doğal dengeyi bozacak şekilde birikmesi, atmosferdeki ortalama sıcaklığın artmasına ve küresel ısınmaya neden olacaktır. Bunun ortadan kaldırılabilmesi veya azaltılabilmesi için farklı çözümler mevcuttur. Türkiye'nin özellikle dikkat etmesi ve uygulamaya koyması gereken çözümlerden bazıları aşağıdaki gibidir:

- Fosil yakıtların kullanımını azaltmaktır.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ağırlık verilmelidir.
- Yüksek verimli, gelişmiş teknolojilerin uygulanmasıdır
- Karbon tutma ve depolama teknolojilerini kullanmak (Fakat bu madde için çözümlenmesi gereken daha birçok teknik ve maddi sorunlar olup, verim alınabilecek yıl olarak 2030 yılı öngörülmektedir.)
- Enerji tasarrufu projelerinin hızlı bir biçimde hayata geçirilmesi, yeni projelerin yapılması, enerji verimliliği proje ve yatırımlarının mali olarak desteklenmesi



- Rüzgar ve güneş enerjisinden faydalanma yollarının Türkiye şartlarında daha fazla çeşitlendirilmesi

7.KAYNAKLAR

- [1]Etem KARAKAYA, Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü, 2008
- [2]Selva Tüzüner, “İklim Değişikliği ve Enerji”, EmoEnerji İklim Değişikliği ve Enerji Sayı:3
- [3]Kahraman Yapıcı-Sevim Özdemir, “İklim Değişikliğine Yenilenebilir Enerji Çözümü”, EmoEnerji İklim Değişikliği ve Enerji Sayı:3
- [4]Jason Shogren, “The Benefits and Costs of The Kyoto Protocol”, American Enterprise Institute, 1999
- [5]European Comissions, “Renewable Energy Technologies and Kyoto Protocol Mechanisms”,2003
- [6]Doç. Dr. Murat Türkeş, “İklim Değişikliği 12 temel soru”, Emoenerji İklim Değişikliği ve Enerji Sayı:3
- [7]Selva Tüzüner, “Kyoto Protokolü Neler Getiriyor?”, Cumhuriyet Enerji Eki
- [8]Dr.Ümit Şahin, “Küresel İklim Değişikliğinin Çözüm Yolları-Kyoto Protokolü ve Türkiye”,2007
- [9]Awea (American Wind Energy Association),www.awea.org
- [10]BP, “Statistical Review of World Energy 2006”, 2006
- [11]A.Çağatay Dikmen, “AB’de Çevre ve Enerji”, V.Enerji Sempozyumu Bildiriler kitabı,2005
- [12]TEİAŞ, EİE, OECD/IEA, IEA, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı , TÜBİTAK verileri

OECD/IEA ÜLKELERİNİN AR-GE HARCAMALARINDAKİ EĞİLİMLER KAPSAMINDA YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİNDEKİ GELİŞMELERİN İNCELENMESİ

Yusuf CANSIN⁽¹⁾

Nazif Hülâgü SOHTAOĞLU⁽²⁾

⁽¹⁾ İ.T.Ü. Enerji Enstitüsü, Enerji Bilim ve Teknoloji Doktora Programı, Maslak 34469 İSTANBUL
E-posta: ycansin@gmail.com

⁽²⁾ İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469 İSTANBUL
E-posta: nazif@elk.itu.edu.tr , sohtaoglu@gmail.com

ÖZET

Yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetleri değişen siyasi, ekonomik, sosyal, çevresel, iklimsel vb. koşullardaki ihtiyaçların yönetilebilmesinde önemli roller üstlenmektedir. Buna karşın, OECD/IEA ülkelerinde, yenilenebilir enerjiye yönelik ar-ge harcamalarının kamu kesimi toplan enerji ar-ge harcamalarındaki payında çok dikkat çekici gelişmeler kaydedilmemiştir. Bu çalışma kapsamında OECD/IEA ülkelerinin kamu kesimi enerji ar-ge harcamalarının faaliyet alanlarına dağılımı verilmiş, yenilenebilir enerji ar-ge harcamalarındaki eğilimler ile ilgili teknolojilerdeki gelişmeler incelenmiştir. Analiz sonucunda, ülkelerin ekonomik, siyasi ve sosyal yapıları, teknoloji geliştirme kapasitesi, coğrafi ve iklimsel özelliklerin belirleyici olduğu kaynak potansiyeli ve enerji güvenliğine yönelik algılamaları doğrultusunda ülkeler arasında belirgin farklılıklar gözlenmekle birlikte, genel olarak güneş, biyokütle ve rüzgar enerjilerine yönelik ar-ge faaliyetlerine ilginin yoğunlaştığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji ar-ge harcamaları; Yenilenebilir enerji ar-ge alanları; Yenilenebilir enerji ar-ge politikaları; Enerji ar-ge harcamaları; Enerji ar-ge alanları; Enerji ar-ge politikaları.

1. GİRİŞ

1970'lerdeki petrol krizlerinden günümüze kadar geçen kırk yıla yaklaşan süreçte, enerji talebinin ekonomik fiyatlarla, kesintisiz ve güvenilir sağlanması, özellikle 1992 yılında imzalanan KYOTO protokolünden itibaren, küresel iklim değişikliğinin hafifletilmesi ve çevrenin korunması, enerji politikalarının öncelikli amaçları arasında yer almaktadır. Bu amaç kapsamında, her ne kadar talep tarafında enerjinin etkin ve verimli kullanılması, arz boyutunda ise yenilenebilir enerji kullanımının artırılması önemli roller üstlense de, günümüzde yeterli miktarda enerjiye erişemeyen veya erişirken sosyal, siyasi, ekonomik vb. maliyetleri yüklenmek zorunda kalan toplumlar bulunmakta, ayrıca iklim değişikliği ve çevre kirliliği gibi sorunlar önemini artırarak devam etmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynak çeşitlerinin önemli bölümüne Dünya'nın her yerinde, yeteri kadar ve sürekli şekilde erişilebilir mümkün olup fosil yakıtlar ile nükleer enerji türlerinde olduğu gibi, rezervlerin tükenmesine ilişkin kısıtlar bulunmamaktadır. Bunlara karşın, yenilenebilir enerji potansiyeli coğrafi ve iklimsel değişimlere oldukça duyarlıdır. Değişken karakterli potansiyelden artan düzeyde ve sürdürülebilir şekilde faydalanabilmek için güneş, biyokütle veya

rüzgâr gibi yenilenebilir enerji alt faaliyet alanlarındaki dönüşüm teknolojilerinin daha da geliştirilmesi ve enerji sistemindeki konularının güçlendirilmesi gerekmektedir [1]. Dolayısıyla ülkelerin toplam araştırma ve geliştirme (ar-ge) bütçeleri ve/veya bileşenler ayrımındaki enerji ar-ge programları çok önemli işlevler yüklenmektedir.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin küresel enerji piyasalarındaki konumunun güçlenmesi, öncelikle ayrımsız her türlü bileşenin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin düşürülmesine, bunlara yönelik teknolojilerde köklü gelişmelere, küresel ölçekte güç ve biyoyakıt üretiminin ve ticaretinin artırılmasına ve yenilenebilir teknolojilerin mevcut enerji sistemleri ve piyasalarıyla hızla entegrasyonuna bağlıdır [1]. Son zamanlarda fosil yakıt maliyetlerinde gözlemlenen hızlı artış eğilimiyle birlikte, yenilenebilir enerji maliyetlerinde gerçekleşen önemli azalışlar, yenilenebilir enerji teknolojilerinin enerji piyasasında güçlenmesine fırsatlar tanımaktadır. Dolayısıyla günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları, fosil tabanlı enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında, maliyet, etkinlik ve verimlilik açılarından rekabet edebilir duruma gelmişlerdir.

Geçmişteki deneyimler ile günümüzde, enerjiyle ilişkilendirilebilecek alanlardaki eğilimler dikkate



alındığında, enerji güvenliğinin yalnız başına enerjiye erişim sorunu olarak değil, arz güvenliği, ekonomi, ekoloji, teknoloji, siyasi-askeri ve sosyal boyutları bulunan karmaşık bir olgu olarak ele alınması gerekmektedir [2]. Kuşkusuz her bir boyut kendi özelinde enerji güvenliğinin sağlanmasında önemli roller üstlense de, teknoloji gelişiminin sunduğu ve/veya sunabileceği imkânlar enerji ile ilişkilendirilebilecek her türlü sorunun çözümünde belirleyicilik üstlenmektedir. Bu çalışma kapsamında, enerji güvenliğinin sadece teknoloji boyutuna ilişkin analizler, enerji ar-ge harcamaları ekseninde ele alınmıştır. Enerji temel faaliyet alanına yönelik, her türdeki kamu ve özel kesim ar-ge bütçelerini birlikte barındıran verilere eksiksiz ulaşabilmek mümkün olmadığından, zorunlu olarak, yalnızca Uluslar arası Enerji Ajansı (International Energy Agency, IEA) üyesi ülkelerin resmi bütçelerine dayalı enerji ar-ge harcamalarının irdelenmesi yoluna gidilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan “ar-ge” ifadesi, enerji zincirinin bütün halkalarına yönelik, bilimsel, teknolojik ve endüstriyel alanlarda gerçekleştirilen, araştırma, geliştirme ile uygulama faaliyetlerini içermektedir

2. YENİLENEBİLİR ENERJİNİN KONUSU

Ülkeler ve bileşenler ayrımında ciddi farklılıklar olmasına rağmen, küresel enerji talebinin yaklaşık sekizde biri yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmaktadır. Gıda üretimine ikame olan veya bilinçsiz ve yoğun tüketimi doğal çevreye tehdit oluşturabilen biyokütle ile hidrolik kaynaklar, yenilenebilir enerji arzının önemli kısmını oluşturmakta, buna karşın toplam yenilenebilir enerji potansiyelinin büyük bölümünü oluşturan güneş, rüzgâr, jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının toplamdaki payları, artış eğilimine rağmen, göreceli olarak düşük düzeylerde kalmaktadır. Gelişmiş ülkelerde teknolojinin yoğun kullanıldığı rüzgâr, güneş, işlenmiş biyokütle ve organik atıklar başta olmak üzere, yenilenebilir enerjinin genellikle modern veya dönüştürülmüş formları kullanılmaktadır. Az gelişmiş ülkelerde ise, kırsal bölgelerde ısınma ve yemek pişirme amacıyla, biyokütle ve hayvansal atıkların doğrudan kullanımı önemli düzeylerde [1].

Küresel toplam elektrik enerjisi üretiminin yüzde 18.3 gibi önemli bölümü yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanmaktadır. Bu oranın yüzde 87’sini, günümüzde hala en ekonomik elektrik üretim alternatifleri arasında yer alan, hidrolik kaynaklar tek başına oluşturmaktadır [3]. Geriye kalan yenilenebilir enerji türlerinden biyokütle, rüzgâr, organik atık, jeotermal, güneş vb. diğer kaynaklardan elektrik üretimi, bunlara yönelik teknolojilerin gelişmişliği ve ticarileşmesi oranında, artış eğilimi sergilemektedir. Fakat, yüksek büyüme

oranlarına rağmen bu kaynakların elektrik enerjisi üretimine katkısı düşük seviyelerdedir.

3. TOPLAM ENERJİ AR-GE HARCAMALARI

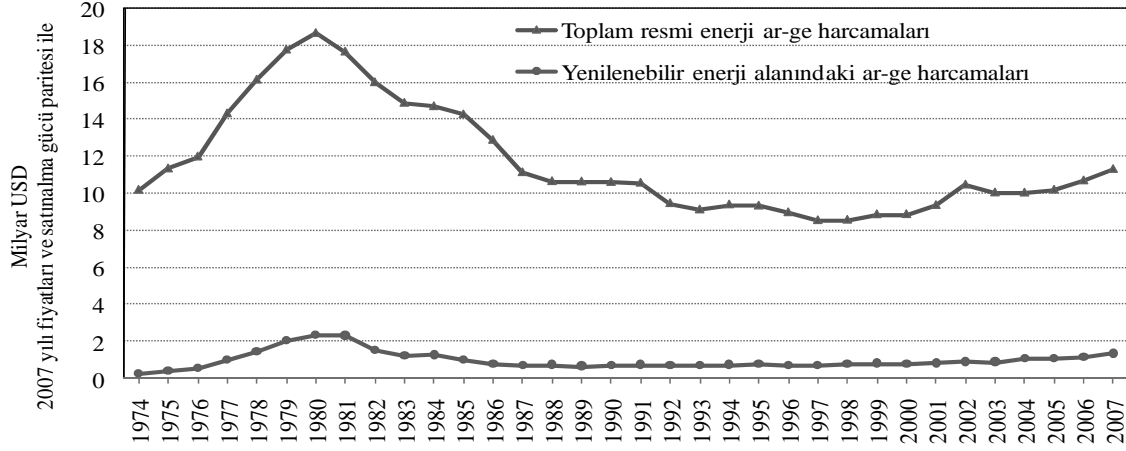
Ülkelerin sosyal, siyasi ve ekonomik yapıları ile teknoloji geliştirme kapasiteleri, enerji güvenliğine yönelik algılamaları, enerji ar-ge bütçelerinin şekillendirilmesinde önemli işlevler yüklenmektedir. Ayrıca, enerji ar-ge faaliyetlerine ayrılan bütçenin toplam büyüklüğü ve bileşenler ayrımında dağılımı ile bunların uzun vadedeki istikrarı, kamunun ekonomik ve siyasi desteğini ortaya koyması açısından önem taşımakta, hatta özel sektörün yatırım önceliklerini saptayabilmesi yönünde büyük katkılar sağlamaktadır [4].

OECD/IEA üyesi ülkelerin toplam resmi enerji ar-ge harcamaları, 2007 yılı fiyatları ve satın alma gücü paritesi ile 11.34 milyar USD’dir [5]. 1970’lerden günümüze kadar geçen dönemde, Amerika B.D. ve Japonya başta olmak üzere OECD/IEA üyesi ülkeler, düzenli olmamakla birlikte, teknoloji gelişimini önemli derecede desteklemişlerdir. 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizleri sonucunda üye ülkelerin toplam resmi enerji ar-ge bütçeleri hızla artarak, 1980 yılında en yüksek değere ulaşmıştır. Bununla birlikte enerji güvenliğine yönelik kaygıların göreceli olarak hafiflemesine bağlı olarak 1980-1987 döneminde, resmi enerji ar-ge bütçelerinde üçte ikilere varan kısıtlamalara gidilmiştir. İzleyen dönemde 1997 yılına kadar enerji ar-ge harcamaları daha istikrarlı seyretmiştir. 1997 yılından itibaren ise, kısmen iklim değişikliği tartışmaları öne çıkmakla birlikte, küresel enerji talebinin hızla büyümesi, enerji ar-ge harcamalarında artış eğilimine yol açmıştır. OECD/IEA üyesi ülkelerin toplam resmi enerji ar-ge harcamalarında kaydedilen gelişmeler toplu olarak Şekil 1’de [5] verilmiştir.

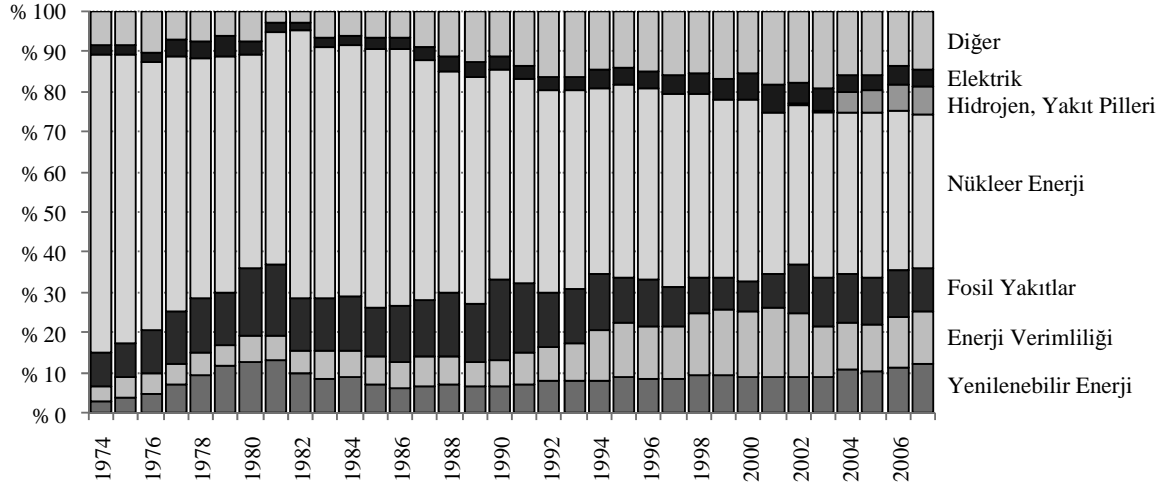
OECD/IEA ülkelerinin toplam resmi enerji ar-ge harcamalarında kaydedilen gelişmeler, Şekil 2’de verilmiştir [5]. Son yıllarda, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji ve elektrik enerjisine yönelik ar-ge harcamalarının toplamdaki paylarında artış eğilimleri, buna karşın nükleer enerji ile fosil yakıtların paylarında ise düşüş eğilimleri öne çıkmaktadır. Sıklıkla düzenlenen ulusal ve uluslar arası her türlü toplantı ve sempozyumlarda, yenilenebilir enerji kullanımının artırılması şiddetle savunulmasına, hatta bu konunun birçok ülkenin ulusal enerji güvenlik programlarında öncelikli yer almasına rağmen, OECD/IEA üyesi ülkelerin toplam resmi ar-ge harcamalarından yenilenebilir teknolojileri sadece yüzde 12 pay alırken, her türlü karşıt görüşe rağmen, nükleer enerjinin üçte birden daha fazla pay alması dikkat çekmektedir. Diğer yandan teknolojileri oldukça gelişmiş ve ticarileşmiş fosil yakıtlara yönelik ar-ge faaliyetlerinin özel

sektör tarafından yürütülmesinin beklenmesine rağmen, aynı şekilde, fosil yakıtlara yönelik ar-ge faaliyetleri resmi bütçelerden önemli oranda pay

alabilmekte, dolayısıyla söylemler ile uygulamalar birbiriyle uyuşmamaktadır.



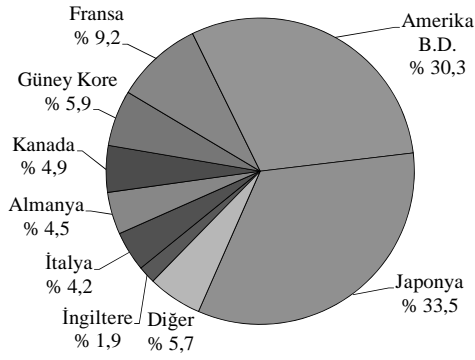
Şekil 1: OECD/IEA ülkelerinin toplam resmi enerji ar-ge harcamalarında kaydedilen gelişmeler.



Şekil 2: OECD/IEA ülkelerinin toplam resmi enerji ar-ge harcamalarının faaliyet alanlarına yüzde olarak dağılımı.

İnceleme döneminde, OECD/IEA üyesi ülkelerin kamu kesimi toplam enerji ar-ge yatırımlarının yaklaşık üçte ikisi Amerika B.D. ve Japonya tarafından gerçekleştirilmiştir. Japonya, Fransa ve Güney Kore'nin enerji ar-ge faaliyetleri nükleer enerji alanında yoğunlaşırken, Amerika B.D., Kanada ve Almanya'nın ar-ge harcamaları daha homojen yapı sergilemektedir. 2006 yılı verilerine göre, OECD/IEA ülkelerinin toplam resmi enerji ar-ge harcamalarının neredeyse tamamını yürüten

ülkelerin toplamdan aldıkları paylar, Şekil 3'de sunulmuştur [5]. Enerji kaynakları yönünden fakir ve aynı zamanda küresel enerji rezervlerine fiziki olarak uzak olan, dolayısıyla göreceli olarak daha fazla enerji güvenliği kaygıları taşıyan Japonya, tek başına Avrupa Birliği üyesi ülkelerin toplamından daha fazla ar-ge bütçesi ayırarak, enerji güvenliğinin sağlanmasında teknoloji gelişimine verdiği önemi ortaya koymaktadır.



Şekil 3: 2006 yılındaki toplam enerji ar-ge harcamalarında ülkelerin payları.

Enerji ar-ge faaliyetlerine ilişkin literatür incelendiğinde [6-10], küresel ölçekteki enerji ar-ge faaliyetlerinin yalnızca birkaç ülke tarafından yoğun olarak yürütüldüğü ve bu çalışmaların enerjisiyle ilişkilendirilebilecek sorunları aşmada yetersiz kaldığı değerlendirilmektedir. OECD/IEA ülkelerindeki enerjiye yönelik teknoloji gelişimi için ihtiyaç duyulan ar-ge faaliyetlerinin başarısızlıkla sonuçlanması, bir takım nedenler veya yetersizlikler nedeniyle kısıtlanması ya da tamamen vazgeçilmesi hatta, enerji piyasalarının yeniden yapılandırılmasına bağlı olarak hükümetlerin ar-ge faaliyetlerini özel sektöre bırakması veya teknoloji gelişiminde belirleyici olan uzun vadeli, hacimli ar-ge faaliyetlerini kısması, özel sektörün ise riski az, hacmi küçük ve kısa vadeli kar amaçlı yatırımlara yönelerek uzun vadeli çalışmalardan uzaklaşmaları veya sınırlı alanlara odaklanmaları enerji teknolojilerinin geliştirilmesine bir takım riskler yüklemektedir [2].

Tablo 1: OECD/IEA ülkelerinin toplam yenilenebilir enerji ar-ge harcamalarının faaliyet alanlarına dağılımı (milyon USD).

	Toplam	Güneş	Biyoeenerji	Rüzgâr	Jeoterma	Okyanus	Hidrolik	Diğer
Almanya	103.529	59.988	15.054	11.809	16.381	0.000	0.299	0.000
Amerika B.D.	243.126	83.895	92.086	39.319	23.348	0.000	0.508	3.971
Avustralya	..	..	..	..	..	..	..	..
Avusturya	16.577	2.281	13.577	0.014	0.000	0.000	0.385	0.320
Belçika	..	..	..	..	..	..	..	..
Çek Cum.	..	..	..	..	..	..	..	..
Danimarka	27.058	4.864	11.940	9.774	0.000	0.419	0.000	0.061
Finlandiya	33.354	1.108	29.024	2.960	..	..	..	0.261
Fransa	61.150	30.525	24.087	2.087	3.074	0.183	0.445	0.746
Güney Kore	95.794	30.627	10.619	22.495	4.471	1.386	0.885	25.312
Hollanda	54.366	12.991	35.351	6.022	..	..	..	..
İngiltere	82.419	16.960	6.774	47.906	0.255	6.766	0.013	3.745
İrlanda	2.232	0.023	0.491	0.182	0.020	0.041	0.022	1.452
İspanya	37.372	19.099	7.188	9.480	0.000	1.607	0.000	0.000
İsveç	34.604	3.145	26.286	2.700	0.000	0.832	1.151	0.490
İsviçre	22.609	14.665	3.666	0.611	1.222	0.000	2.445	0.000
İtalya	43.420	38.595	2.412	2.412	0.000	0.000	0.000	0.000
Japonya	228.363	156.693	61.547	8.807	0.000	0.000	0.000	1.316
Kanada	67.094	11.225	43.117	7.425	0.430	0.867	2.840	1.190
Lüksemburg	..	..	..	..	..	..	..	..
Macaristan	8.258	0.000	8.059	0.199	0.000	0.000	0.000	0.000
Norveç	5.256	1.716	1.192	1.490	0.000	0.298	0.560	0.000
Polonya	..	..	..	..	..	..	..	..
Portekiz	0.528	0.230	0.066	0.154	0.009	0.068	0.000	0.000
Slovakya	..	..	..	..	..	..	..	..
Türkiye	2.425	0.206	0.877	0.281	0.896	0.058	0.107	0.000
Yeni Zelanda	2.936	0.561	0.774	0.053	0.947	0.461	0.141	..
Yunanistan	..	..	..	..	..	..	..	..
Toplam	1.172.400	489.397	394.187	176.180	51.053	12.986	9.81	38.864
Pay (%)		41.74	33.62	15.03	4.35	1.11	0.84	3.31

4. YENİLENEBİLİR ENERJİ AR-GE HARCAMALARI

1974-2007 döneminde, yenilenebilir enerjiye yönelik ar-ge harcamaları toplam enerji ar-ge eğilimlerine benzer şekilde gelişmiştir. Bu kapsamda, 1987 yılından itibaren kararlı ancak yavaş bir yükselişten söz edebilmek mümkündür. Bu

dönemde güneş ile rüzgâr enerjisine olan ilgi süreklilik göstermiştir. Jeotermal enerjiye 1970'lerde önemli miktarlarda yatırım yapılmış olmakla birlikte, izleyen yıllarda bu ilgi hızla azalmıştır. Ülkelerin resmi yenilenebilir enerji ar-ge harcamalarındaki eğilimler, Şekil 1'de verilmiştir [5].

Amerika B.D. ve Japonya başta olmak üzere, Almanya, Güney Kore ve İngiltere, OECD/IEA ülkelerinin

toplam yenilenebilir enerji ar-ge harcamalarının yaklaşık üçte ikisini üstlenmektedir. Bununla birlikte yenilenebilir enerji ar-ge harcamaları, ülkelerin yenilenebilir kaynak potansiyelleri, ekonomik ve bilimsel altyapıları ile siyasi tercihlerine bağlı olarak bileşenler ayrımında ülkeler arasında değişiklikler göstermektedir. Ülkelere göre irdelendiğinde Japonya'nın güneş enerjisine, Amerika B.D.'nin biyoenerji ve jeotermal enerjiye, İngiltere'nin ise rüzgâr ve okyanus enerjisine yöneldikleri saptanmaktadır [11].

2007 yılı verilerine göre, OECD/IEA üyesi ülkelerin toplam resmi yenilenebilir enerji ar-ge harcamaları, satınalma gücü paritesi ile 1.36 milyar USD'dir. Karşılaştırılabilirlik maksadıyla, IEA

4.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi alanındaki ar-ge faaliyetleri genel olarak, güneş pilleri, güneş ısıtma-soğutma teknolojileri ile güneş enerjisine dayalı termal elektrik ve ısı (GTE-I) uygulamaları olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılabilir. Elektrik şebekelerine kolaylıkla bağlanabilen veya şebekeden bağımsız olarak kullanılabilen esnek ve modüler yapılu güneş pilleri, diğer enerji kaynakları ile bütünleşik çalışabilmektedirler. Bununla birlikte, mekân ısıtma ve soğutma ihtiyacının büyüklüğü göz önüne alındığında, geçtiğimiz 30 yılda ticari uygulamaları olgunlaşan güneş ısıtma ve soğutma teknolojileri, fosil tabanlı yakıtlara iyi bir seçenek oluşturabilmektedir. GTE-I uygulamaları ise güneş enerjisi alanında önemli potansiyeli bulunan ancak, henüz gelişme aşamasında olan teknolojileri kapsamaktadır. Dünyada bütün enerji türlerinin kaynağını oluşturan güneş enerjisinden daha fazla yararlanılabilmesi, günümüz koşullarında teknolojinin daha da geliştirilmesini gerektirmektedir.

1974-2007 döneminde yürütülen ar-ge faaliyetleri sonucunda, güneş pili ve sistemleri, güneş kolektörleri ve güneş enerjisinden aktif ve pasif yöntemlerle faydalanma yöntemleri geliştirilmiş, mevcut enerji sistemine kısmen de olsa entegrasyon sağlanmış, dolayısıyla güneş ısıtma-soğutma ve termal elektrik ve ısı uygulamaları farklı ölçeklerde ve çeşitli alanlarda ticari olarak yaygın şekilde kullanılmışlardır [11]. Bununla birlikte, özellikle güneş pili ve sistemlerine yönelik teknoloji gelişimi başlangıç aşamasında olup, ilerleyen dönemlerde daha fazla kamu desteğine ihtiyaç duymaktadır. Bu dönemde Amerika B.D., Japonya ve Almanya'nın güneş enerji teknolojilerine yoğun ilgilerinin bulunduğu, ar-ge öncelikleri kapsamında Amerika B.D., Almanya, İsviçre ve İsveç'in güneş ısıtma ve soğutma, Japonya ve Almanya'nın güneş pili, İtalya ve İspanya'nın ise GTE-I uygulamalarına yönelik ar-ge faaliyetlerine önemli destek sağladıkları gözlenmektedir.

ülkelerinin resmi yenilenebilir enerji ar-ge harcamalarının faaliyet alanlarına dağılımı, Tablo 1'de verilmiştir [5]. Veriler irdelendiğinde, teknolojisi gelişmekte olan ve yakın gelecekte enerji arzına önemli katkısı beklenen güneş, biyoenerji ve rüzgâr teknolojilerine yönelik ar-ge harcamalarının toplamdan yüzde 90 gibi önemli pay aldığı görülmektedir. Buna karşın teknolojisi daha gelişmiş olan hidrolik ve jeotermal enerji ile teknoloji gelişmişlik düzeyi başlangıç aşamasında bulunan okyanus enerjisine yönelik resmi ar-ge harcamalarına ilginin zayıf olduğu gözlenmektedir. 2006 yılı için yenilenebilir enerji ar-ge alanlarındaki bileşenlere göre eğilimler, toplamdaki paylarına göre ülkeler ayrımında aşağıda ayrıntılandırılmıştır.

Günümüzde güneş enerjisine yönelik ar-ge harcamaları içerisinde, güneş pillerine yönelik ilginin diğerleriyle karşılaştırıldığında daha fazla olduğu gözlenmektedir. 2006 yılı için güneş enerjisine yönelik ar-ge harcamalarının yaklaşık yüzde 90'ını gerçekleştiren ülkelerin toplamdan aldıkları paylar ile faaliyet alanlarına dağılımı, Tablo 2'de verilmiştir [5]. Buna göre Japonya, en fazla güneş enerjisi ar-ge harcaması yapan ülke olarak öne çıkmakta ve bunun neredeyse tamamının güneş pili teknolojilerine ayrıldığı görülmektedir. Teknolojik gelişmişlik düzeyi yüksek olan ve ticarileşme sürecini tamamlayan, dolayısıyla ilave ar-ge faaliyetleri piyasa koşullarına bırakılan güneş ısıtma ve soğutma teknolojilerine, Almanya, İtalya ve İngiltere başta olmak üzere birçok ülke kamu desteğini hala sürdürmektedir. Buna karşın, teknolojisi gelişme aşamasında olan ve henüz ticari uygulamaları bulunmayan GTE-I teknolojilerine, İtalya, İspanya ve Almanya ilgi göstermekte, hatta İtalya ve İspanya bu alana öncelikli olarak bütçe ayırmaktadırlar.

Tablo 2: 2006 yılı itibarıyla seçilmiş ülkelerdeki güneş enerji ar-ge harcamalarının toplamdaki payları, (%).

Ülkeler	Toplam	Isıtma-Soğutma	Güneş Pili	GTE-I
Almanya	12.26	1.58	9.26	1.41
ABD	17.14	..	..	..
Fransa	6.24	0.40	5.84	0.00
G. Kore	6.26	0.91	5.35	0.00
İngiltere	3.47	2.68	0.78	0.00
İspanya	3.90	0.17	1.07	2.66
İtalya	7.89	0.99	3.20	3.70
Japonya	32.02	2.10	29.92	0.00
Toplam	89.17	8.83	55.42	7.77

4.2 Biyoenerji

Biyokütle kaynakları, çok çeşitli orman ve tarımsal kaynakları, bunların atık ile türevlerini, kentsel ve endüstriyel biyoatıkları kapsamaktadır. Katı, sıvı veya gaz formundaki biyoyakıtlar doğrudan fosil yakıtları ikame etme potansiyeli taşıyan yegane yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Dolayısıyla,



özellikle ulaştırma sektöründe petrolün yerine ikame edilebilmesi ve geleneksel fosil tabanlı enerji teknolojileriyle kısa sürede entegrasyon açısından önemlidir. Bununla birlikte biyoyakıt üretiminden, tüketiciye sunulması sürecinde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi özellikle tarım sektöründe gıda-enerji dengesinin korunmasını ve önceliklerin yeniden tanımlanmasını gerektirmektedir.

Özellikle elektrik üretiminde, mekan ısıtmada ve ulaştırma sektöründe ihtiyaç duyulan yakıtlara olan talebin hızla artması, buna karşın, fosil yakıt üretim maliyetlerinin sürekli artması ve özellikle petrol fiyatlarının aşırı yükselmesi ile iklim değişikliğinin önemini sürdürmesi, biyoenerji teknolojilerine ilgiyi artırmaktadır. Gerçekleştirilen ar-ge faaliyetleri ve diğer destek mekanizmaları sayesinde, çeşitli biyokütle yakma teknolojileri, biyogaz üretimi ve mekan ısıtma alanlarında maliyetler önemli derecede azaltılmış, hatta bazı ülkelerde biyogaz ve biyodizel yakıt üretiminde önemli gelişmeler sağlanmıştır [11]. Biyoenerji teknolojilerine en fazla yatırımın açık ara farkla Amerika B.D. ile Kanada ve İsveç'ten kaynaklandığı, özellikle 2000 yılından itibaren ise Japonya ve Finlandiya'nın biyoenerji ar-ge harcamalarında önemli artışların kaydedildiği tespit edilmektedir.

Biyoenerji alanındaki ar-ge faaliyetleri, taşıt biyoyakıt üretimi, diğer biyokütle tabanlı yakıt üretimi, ısı ve elektrik uygulamaları ve diğer biyoenerji uygulamaları olmak üzere dört ana başlık altında sınıflandırılmıştır. 2006 yılı itibarıyla biyoenerji ar-ge harcamalarının yaklaşık üçte ikisini gerçekleştiren ülkelerin toplam biyoenerji ar-ge harcamalarındaki payları ile faaliyet alanlarına yönelik eğilimleri, Tablo 3'de sunulmuştur [5]. İsveç, Kanada ve Fransa taşıtlara yönelik biyoyakıt, İsveç ve Japonya diğer biyoyakıt, Finlandiya ısı ve elektrik uygulamaları, Hollanda ise diğer faaliyet alanlarındaki ar-ge faaliyetlerine öncelik vermişlerdir. Gelecekteki biyoenerji ar-ge öncelikleri ise, çevresel, finansal ve toplumsal değerler doğrultusunda yeterli ve ucuz hammaddenin üretilmesini, dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesini, biyo-rafinerilerin finansmanını, biyokütleden hidrojen üretimini ve küresel ölçekte büyük miktarlarda ve sürdürülebilir şekilde enerji tarımına geçilmesini kapsamaktadır [11].

Tablo 3: 2006 yılı itibarıyla seçilmiş ülkelerde biyoenerji ar-ge harcamalarının toplamdaki payları, (%).

Ülkeler	Toplam	Biyoyakıt		Elektrik ve Isı	Diğer
		Taşıt	Diğer		
ABD	23.4	..	..	..	..
Japonya	15.6	0.0	0.0	15.5	0.1
Kanada	10.9	3.0	0.9	5.5	1.6
Hollanda	9.0	..	1.6	0.6	6.8
Finlandiya	7.4	..	..	7.4	..
İsveç	6.7	4.4	1.6	0.7	0.0
Toplam	72.9	7.4	4.1	29.6	8.4

4.3 Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisine yönelik ar-ge faaliyetleri sonucunda, Almanya, İspanya, Amerika B.D., Danimarka ve Hindistan başta olmak üzere bir çok ülkede kurulu rüzgar gücü hızla artmış, bağlı olarak rüzgar enerjisi klasik termik ve hidrolik santraller ile rekabet edebilir düzeye gelmiştir. Buna karşın, rüzgar enerjisi potansiyelinden daha fazla yararlanabilmek ve rüzgar enerjisinin elektrik sistemlerine entegrasyonunu güvenilir şekilde sağlayabilmek için rüzgar rejimindeki belirsizliklerin yönetilmesi, her alanda maliyetlerin daha da düşürülmesi, rüzgar teknolojisi kullanımının yaygınlaştırılması ve çevresel etkilerin en düşük seviyeye getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda özel sektörün ticari maksatlı ürün ve parça geliştirmeye yönelik ar-ge faaliyetlerinin yanı sıra, kamunun özellikle temel ve jenerik araştırmaları kısmen veya tamamen desteklemesi gerekmektedir.

İnceleme döneminde, Amerika B.D., Almanya, Hollanda, İngiltere, İtalya, Danimarka ve İsveç, rüzgar enerjisine yönelik ar-ge faaliyetlerine toplam bütçeden önemli kaynak ayırmışlardır. 2000 yılından itibaren ise bu ülkelere İtalya ve İsveç'in ilgisinin azaldığı, buna karşın Güney Kore, Japonya ve İspanya'nın ilgisinin yoğunlaştığı saptanmaktadır. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji öncelikleri kapsamında, İngiltere yenilenebilir enerji ar-ge bütçesinin yüzde 58'ini, Danimarka ise yüzde 36'sını rüzgâr enerjisine ayırmıştır.

Geçtiğimiz dönemde rüzgar enerjisiyle ilgili ar-ge faaliyetleri genellikle türbin tasarımlarına yoğunlaşmıştır. Bununla birlikte gelecekte, rüzgar enerjisine yönelik ar-ge öncelikleri kapsamında, güç performans tahminlerinin iyileştirilmesi, mühendislik uygulamalarının geliştirilmesi ve standardizasyonda belirsizliklerin azaltılması, depolama teknolojilerinde maliyetlerin düşürülmesi ve daha büyük, dolayısıyla daha verimli olan santrallerin kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik ar-ge faaliyetlerine ilginin artması beklenmektedir [11].

4.4 Jeotermal Enerji

Hemen hemen Dünya'nın her yerinde kullanılabilir nitelikte jeotermal rezervler bulunmakta, ayrıca bu rezervler diğer yenilenebilir enerji türlerindeki gibi iklimsel veya mevsimsel şartlardan etkilenmemektedir. Bununla birlikte günümüzde elektrik üretimi veya ısıtma maksadıyla 71 ülkede jeotermal enerjiden faydalanılmaktadır. Diğer gelişmiş teknolojilerde olduğu gibi kullanım miktarının artırılması ve yaygınlaştırılması için üretim maliyetlerinin azaltılması, kaynakların sürdürülebilir şekilde kullanılması, yeni jeotermal

teknolojilerinin geliştirilmesi ile ar-ge çalışmaları ve ticarileşme sürecinde kamu desteğinin sürdürülmesi gerekmektedir.

1974-1984 döneminde, Amerika B.D. ile Japonya'nın jeotermal enerji ar-ge faaliyetlerine yoğun ilgilerinin bulunduğu, buna karşın ilerleyen yıllarda Japonya'nın jeotermal enerjiye yönelik ar-ge faaliyetlerinde kamu desteğini bıraktığı, Almanya'nın ise öncelikli tercihleri arasına girdiği görülmektedir. Bu ülkelerden başka önemli jeotermal rezervleri tespit edilen ve aralarında Türkiye'nin de bulunduğu birçok ülkede, jeotermal enerji ar-ge faaliyetleri düşük düzeylerde desteklenmektedir.

4.5. Okyanus Enerjisi

Okyanus enerjisinin, diğer yenilenebilir enerji türleriyle karşılaştırıldığında, kamu ve özel sektörden yeteri kadar destek alamadığı görülmektedir. Henüz teknolojisi başlangıç düzeyinde olan okyanus enerji sistemlerinde, oldukça güçlü dalga ve akımlara dayanabilecek malzemelerin geliştirilmesi ön plana çıkarken, aynı zamanda düşük maliyet, güvenlik, güvenilirlik, basitlik, çevresel etkiler, toplumsal kabul ve bunlara yönelik yüksek risk düzeyleri önemini sürdürmektedir.

Özellikle 1980'li yılların başında, Amerika B.D., İngiltere, Japonya ve Kanada okyanus enerjisi ar-ge faaliyetlerine önemli bütçeler ayırmasına karşın, gelişen süreçte, İngiltere hariç diğer ülkelerin konuya ilgilerinin zayıfladığı görülmektedir.

4.6 Hidrolik Enerji

Günümüzde hidrolik kaynaklar, küresel toplam elektrik arzının yüzde 16'sını oluşturmaktadır. Hidrolik kaynakların enerji arzındaki payının daha fazla artırılabilmesi için çığır açacak teknolojik gelişmelere, hacimli ar-ge harcamalarına veya su kaynaklarının geliştirilmesinde radikal değişikliklere ihtiyaç bulunmamaktadır. Buna karşın sosyal ve çevresel etkilerin azaltılması, dolayısıyla toplumun geniş kesimli kabulünün sağlanması, uluslararası su paylaşımı problemlerinin giderilmesi, hidrolik enerjisi projelerin onayı, uygulanması ve geliştirilmesi öncelikli konular arasındadır. Ayrıca, hidrolik enerji teknolojilerinin, başta rüzgâr olmak üzere, diğer yenilenebilir enerji teknolojileriyle entegrasyonunun sağlanması, hidrolik-hidrojen karma sistemlerinin geliştirilmesi, küçük kapasiteli ve mevcut santrallerde malzeme iyileştirme ve geliştirme gibi alanlarda önemli fırsatlar bulunmaktadır.

Geçtiğimiz dönemde hidrolik enerjiye yönelik ar-ge harcamalarının önemli bölümünün Amerika B.D., Kanada, Norveç, İsviçre, Finlandiya ve Güney Kore tarafından yapıldığı belirlenmiştir. Hidrolik alanındaki alt faaliyetlerde, Amerika B.D., Norveç,

İsviçre ve Finlandiya büyük kapasiteli su santralleriyle ilgili ar-ge faaliyetlerini öncelikli desteklerken, Kanada, İsviçre, İspanya, Finlandiya, Japonya ve İsveç küçük kapasiteli su teknolojilerini tercih etmişlerdir. Su enerjisine yönelik kamu destekli ilave ar-ge ihtiyaçlarının sorgulandığı günümüzde, göreceli olarak düşük bütçelere rağmen, çok sayıda ülkenin özellikle küçük kapasiteli su enerjisine ilgisi devam etmektedir.

5. SONUÇLAR

Günümüzde enerjiyle ilişkilendirilebilecek sorunlar ve geleceğe yönelik beklentiler dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi bütün toplumsal kesimler tarafından kabul görmektedir. Buna karşın, yenilenebilir enerji alanında yeteri kadar ar-ge faaliyeti yürütülememekte veya ar-ge faaliyetlerine ayrılan kısıtlı kaynaklar etkin ve verimli kullanılamamakta ya da ar-ge faaliyetlerinin sonuçları uygulamaya geçirilememektedir.

Gelecekte yenilenebilir enerji kaynak kullanımının bir tercihten ziyade zorunluluk olabileceği göz önünde bulundurulduğunda, ülkelerin bir bütün halinde, maddi ve bilimsel imkânları ile etkili, verimli ve hedefe yönelik siyasi programları doğrultusunda ve kendi ölçeklerinde yürütecekleri ar-ge faaliyetleri, yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesi ve ticarileşmesi sürecinde önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca, bu süreçte kamu desteğinde veya bağımsız olarak özel sektörün de aktif rol oynaması gerekmektedir. Dolayısıyla, teknoloji gelişimi sürecinde etkin rol oynayan, böylelikle enerji ar-ge faaliyetlerine yönelik riskleri paylaşan ülkeler, enerji güvenliklerine katkının yanı sıra, birçok yönden ekonomik, sosyal vb. diğer alanlarda önemli kazançlar elde edebileceklerdir.

Kar odaklı hareket eden özel sektörün öncelikleri ile kamu yararı gözetmesi gereken hükümetlerin özel sektörden beklentileri farklı olabileceğinden, özellikle orta ve uzun vadeli, yüksek risk taşıyan yenilenebilir enerji ar-ge faaliyetlerinde, kamunun özel sektörü özendirilmesi gerekmektedir. Buna karşın, 1980'li yıllardan itibaren egemen olan enerji ar-ge faaliyetlerine yönelik kamu desteğinin kısıtlanması, azaltılması, hatta kaldırılmasına ilişkin siyasal ve ekonomik politikaların güç kazanmasının yanında, küresel, bölgesel ve ulusal enerji piyasalarında giderek şiddetlenen rekabet ortamı, enerji alanındaki orta ve uzun dönemli temel veya uygulamalı ar-ge faaliyetlerinin sayısında ve hacminde çok önemli gerilemelere neden olmuştur.

Coğrafi ve iklimsel çeşitliliğin belirleyici olduğu yenilenebilir enerji potansiyeli ile ülkelerin ekonomik imkânları, bilimsel altyapıları ve siyasi tercihlerine bağlı olarak, hükümetlerin yenilenebilir enerji ar-ge tercihleri farklılıklar göstermektedir. Kısa vadede önemli katkılar sağlayabileceği



düşünülen, yenilenebilir enerji teknolojilerinden biyokütle, güneş pilleri ve rüzgâr enerjisine yönelik ar-ge faaliyetlerine ilgi hızlı ve istikrarlı şekilde artarken, teknolojisi gelişmiş veya başlangıç düzeyinde olan jeotermal, okyanus ve güneş termal elektrik ve ısı uygulamalarının toplam resmi ar-ge bütçelerinden aldıkları paylar daha da azalmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] International Energy Agency (IEA), “Renewables in global energy supply, fact sheet”, OECD/IEA, Paris, 2007.
- [2] Cansın, Y., “Enerji güvenliğinin değerlendirilmesine yönelik temel göstergelerin küresel eğilimler ile ulusal tehdit algılamaları ekseninde analizi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, yüksek lisans tezi, İstanbul, 2007.
- [3] International Energy Agency (IEA), “Key world energy statistics 2008”, OECD/IEA, Paris, 2008.
- [4] International Energy Agency, (IEA) “Reviewing R&D policies, guidance for IEA review teams”, OECD/IEA, Paris, 2007.
- [5] International Energy Agency (IEA), “Energy policies of IEA countries:1987-2005 reviews”, OECD/IEA, Paris, 1988-2007.
- [6] Nemet, G.F., Kammen, D.M., “U.S. energy research and development: declining investment, increasing need, and the feasibility of expansion”, Energy Policy 35 (2007) 746-755.
- [7] Sagara A.D., Zwaana B., “Technological innovation in the energy sector: R&D, deployment, and learning-by-doing”, Energy Policy 34 (2006) 2601-2608.
- [8] Sovacool B.K., “Resolving the impasse in American energy policy: The case for a transformational R&D strategy at the U.S. Department of Energy”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 346-361.
- [9] Jamasb T., Nuttall W.J., Pollitt M., “The case for a new energy research, development and promotion policy for The UK”, Energy Policy 36 (2008) 4610-4614.
- [10] Bosetti V., Carraro C., Massetti E., “Optimal energy investment and R&D strategies to stabilize atmospheric greenhouse gas concentrations”, Resource and Energy Economics 31 (2009) 123-137.
- [11] International Energy Agency (IEA), “Renewable energy: RD&D priorities, insights from IEA technology programs”, OECD/IEA, Paris, 2006.

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI MALİYET ANALİZİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR YEK UYGULAMALARI

Ömer Faruk ERTUĞRUL

omerfarukertugrul@gmail.com

TEİAŞ 16. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü,
Batıraman Yolu Üzeri 2. km. 72070, Batman

M. Bahattin KURT

bkurt@dicle.edu.tr

Dicle Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, 21280, Diyarbakır

ÖZET

Günümüzde gittikçe artmakta olan enerji talebi, konvansiyonel enerji kaynaklarının ekosistem üzerindeki olumsuz etkisi ve arz güvenliği; yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının önemi ve kullanım zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu enerji kaynakları içinde halen en popüler olanları; Rüzgar Enerjisi, Güneş Enerjisi, Jeotermal Enerjisi, HES ve Küçük Ölçekli Hidro Elektrik Santrali (KÖHES). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Maliyet Analizleri yapılarak, sürdürülebilir Enerji yatırımlarının yapılması; Yenilenebilir Enerji Kaynakları tabanlı Enerji Üretim teknolojilerinde de gelişme, büyüme ve maliyet düşmeleri sağlayacaktır. Bunun sonucu olarak çevreye daha az zarar verilecektir.

Anahtar Kelimeler : Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş, Rüzgar, Jeotermal, KÖHES, Maliyet Analizi

1. GİRİŞ

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunu 10.05.2005 tarihinde yayınlanmıştır. 18/4/2007 tarihinde yapılan değişiklikler ile beraber;

a) Perakende satış lisansı sahibi tüzel kişiler, bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten YEK Belgeli tesislerin işletmede on yılını tamamlamamış olanlarından, bu maddede belirlenen esaslara göre elektrik enerjisi satın alırlar.

b) Bu Kanun kapsamındaki uygulamalardan yararlanabilecek YEK Belgeli elektrik enerjisi miktarına ilişkin bilgiler her yıl EPDK tarafından yayınlanır. Perakende satış lisansı sahibi tüzel kişilerin her biri, bir önceki takvim yılında sattıkları elektrik enerjisi miktarının ülkede sattıkları toplam elektrik enerjisi miktarına oranı kadar, YEK Belgeli elektrik enerjisinden satın alırlar.

c) Bu Kanun kapsamında satın alınacak elektrik enerjisi için uygulanacak fiyat; her yıl için, EPDK'nın belirlediği bir önceki yıla ait Türkiye ortalama elektrik toptan satış fiyatıdır. Ancak uygulanacak bu fiyat 5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından az, 5,5 Euro

Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından fazla olamaz. Ancak 5,5 Euro Cent/kWh sınırının üzerinde serbest piyasada satış imkânı bulan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisans sahibi tüzel kişiler bu imkândan yararlanırlar.

Bu madde kapsamındaki uygulamalar 31/12/2011 tarihinden önce işletmeye giren tesisleri kapsar. Ancak Bakanlar Kurulu uygulamanın sona ereceği tarihi, 31/12/2009 tarihine kadar Resmî Gazetede yayımlanmak şartıyla en fazla 2 yıl süreyle uzatılabilir.

Görüldüğü gibi YEK* kapsamında Elektrik Üretiminde 10 yıllık bir alım (31.12.2011'den önce işletmeye girmesi koşuluyla) ve alım fiyat garantisi vermektedir.

Bu kanun kapsamına giren Enerji Kaynakları; Bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynakları: Rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git ile kanal veya nehir tipi veya rezervuar alanı onbeş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi kurulmasına uygun elektrik enerjisi üretim kaynaklarıdır. [1]

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE MALİYET ANALİZİ

2.1. Güneş Enerjisi

Güneşten iki şekilde Elektrik üretilmektedir. Bunlar;

- Güneş Kolektörleri
- Güneş Panelleri, Güneş Pilleri

2.1.1. Güneş Kolektörleri

Güneşin ısıyı Kolektörler yardımı ile toplayarak oluşan ısı ile Elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Kullanılan Kolektöre bağlı olarak aşağıdaki tipleri mevcuttur.

- Düzlemsel Kolektörler,
- Parabolik Oluk Kolektörler,
- Parabolik Çanak Tipi Kolektörler,
- Merkezi Alıcı Tipi Kolektörler

2.1.2. Güneş Panelleri, Güneş Pilleri

Yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Hücreler değişik teknolojilere sahiptir:



- Kristal silikon teknoloji. Monocrystalline, Multicrystalline ve Ribbon-sheet olmak üzere üç ana tip kristal silikon teknoloji vardır. Verimlilik % 12 – 17 arasındadır. Bu teknoloji pazarda % 90 paya sahip en yaygın olanıdır.
- İnce Film teknolojisi. Dört tip ince film teknolojisi vardır. Maliyeti daha ucuzdur, fakat verimlilik düşüktür (% 5-13).

2.1.3. Maliyet Analizi

EİE'den alınan Tablo-1'de Güneş Enerjili sistemlerin Maliyeti gösterilmektedir. Üretilen Elektrik enerjisinin maliyet hesapları Santralin kurulacağı bölgeye bağlı olarak değişmektedir. Santralin kurulacağı alanın Güneşlenme süresi ve Global Radyasyon Değerleri göz önüne alınarak yatırım yapılmalıdır.

Tablo-1 incelendiğinde net bir şekilde görüleceği gibi YEK kapsamında maksimum 0,055 €/kWh alım garantisi mevcuttur. Ancak Güneş kolektörleri ve Güneş Panellerinin işletme giderleri maksimum satış değerinin altındadır. [2]

Ancak mevcut koşullarda Güneş Enerjisinin diğer Yenilenebilir yada fosil yakıt kullanan santralleri destekleyici teknoloji olarak kullanılması uygundur.

Yurt dışında yapılan desteklemeler ise;
İspanya: Sabit fiyat uygulaması vardır, 50 MW altı CSP santralleri için 25 yıl boyunca 0.269375 €/kWh sabit fiyat garantisi edilmektedir.

Portekiz: Güneşten üretilen elektrik için sabit fiyat uygulaması vardır, 10 MW altı CSP santralleri için 0.27 €/kWh, 10 MW üstü CSP santralleri için 0.16-0.20 €/kWh sabit fiyat garantisi edilmektedir.

Fransa:Sabit fiyat uygulaması vardır, 12 MW kurulu güç ve 1500saat/yıl işletme süresi ile sınırlı olmak üzere, 0.30 €/kWh (denizyüzü ülkelerde 0.40 €/kWh), eğer binalara bağlanırsa artı 0.25 €/kWh (denizyüzü ülkelerde 0.15 €/kWh) sabit fiyat garantisi edilmektedir. Bu tarifenin dışındaki üretim için 0.05 €/kWh fiyat uygulanır.

Yunanistan: % MW kurulu güce kadar ana karada 0.25€/kWh, adalarda 0.27€/kWh sabit fiyat uygulaması vardır.

İsrail: 20 MW üzeri 16.3UScents/kWh, 100 kW ile 20 MW santrallerde 20 yıl için 20.4UScents/kWh sabit fiyat uygulanır. [3]

Tablo 1. Güneş Enerjisi Teknolojisi ve Özellikleri

Teknoloji Türü	Sistem Verimi %		Maks. Çıkış Sıcaklığı °C	İlk Yatırım Maliyeti \$	Enerji maliyeti	
	Elekt.	Isı			Elekt. \$/kWh	Isı \$/kWh
Düzlensel Koll.	-	50-70	80	250-1000	-	0.0013-0.004
Parabolik Oluk	14	46	380	2800 kWe	0.15	0.0053
Parabolik Çanak	24	79	700	5000 kWe	0.28	-
Merkezi Alıcı	15	46	600-700	3000 kWe	0.16	0.004
Tek Kristal Silisyum	12	-	-	6000 kWe	0.29	-
Çok Kristal Silisyum	10	-	-	6000 kWe	0.29	-
Tek İnce Film	4	-	-	5000 kWe	0.25	-
Çoklu İnce Film	7	-	-	5000 kWe	0.24	-

2.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, güneş radyasyonunun yer yüzeylerini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeylerinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Güneş ışınları olduğu sürece rüzgar olacaktır. Rüzgar, güneş enerjisinin dolaylı ürünüdür. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık % 2 kadarı rüzgar enerjisine çevrilir. Dünya yüzeyi düzensiz bir şekilde ısınır ve soğur, bunun sonucu atmosferik basınç alanları oluşur, yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına hava akışı oluşur.

Rüzgardaki mümkün güç miktarı:

$$w = 1/2rAv^3 \text{ eşitliği ile verilir.}$$

$$w = \text{güç/enerji}$$

$$r = \text{hava yoğunluğu}$$

A= kanat alanı

v= rüzgar hızı

EİE tarafından Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) yayımlanmıştır. Rüzgar Enerjisi yatırımı yapılmadan önce yatırımın uygulanabilir olması için dikkat edilmesi ve bilinmesi gereken en önemli noktalar;

- 50 metredeki Rüzgar hızı 7 m/s veya üzeri olmalıdır.
- 50 metredeki Kapasite faktörü %35 veya üzeri olmalıdır.
- Trafo Merkezleri yada Enerji İletim Hatlarına yakın yerler tercih edilmelidir.
- Rüzgar türbinlerinin ortalama ömrü 25 yıldır.

Aşağıda bulunan Maliyet Analizinde; 1 MW gücünde %35 kapasite faktörüne sahip bir noktada kurulan Rüzgar Güllüne göre hesaplanmıştır. [2]

İlk Yatırım Bedeli : 1.750 USD/kW (Yatırım Bedeli ve Lisans Bedelleri dahildir. Bu bedelin bulunmasında Günümüzde 1 MW ve üstü rüzgar türbinlerinde ortalama türbin fiyatı 1400 USD/kW'tır.

Montaj bedeli + diğer masraflar (rüzgar analizi, projelendirme v.s) yaklaşık % 25: 350 USD/kW
Toplam kurulum bedeli : 1750 USD/kW olarak alınmıştır.)

Toplam İlk Yatırım Bedeli : 1.750 USD / kW * 1.000 kW

: 1.750.000 USD
: 1.350.000 Euro

Yıllık Elektrik Üretim Miktarı

: 1.000kW*365*24s*0,35
: 3.066.000 kW_s

Üretilen Elektrikğin YEK kapsamında satılması durumunda Satış Bedeli: 0,055 Euro/kW's'dur.

İşletme maliyeti yaklaşık olarak 0,010 Euro/kW's'tir.

Yıllık Üretilen Elektrikğin Karı:
3.066.000kW_s*(0,055-0,010) Euro/kW's

Yıllık Kar: 137.970 Euro

Geri Dönüş Süresi : 1.350.000 Euro / 137.970 Euro
: 9,8 Yıl

2.3. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji yerkürenin iç ısıdır. Bu ısı merkezdeki sıcak bölgeden yeryüzüne doğru yayılır. Jeotermal kaynaklar rezervuar sıcaklıklarına göre şöyle sınıflandırılmaktadır:

- Yüksek sıcaklıklı alanlar (150 °C'dan fazla),
- Orta sıcaklıklı (70 °C - 150 °C),
- Düşük sıcaklıklı alanlar (70 °C'dan düşük)

Orta ve Yüksek sıcaklıklı alanlardan başlıca elektrik üretiminde, düşük sıcaklıklı alanlardan ise ısıtmacılık başta olmak üzere diğer kullanımlarda yararlanılmaktadır.

Elektrik Üretiminde; rezervuarın sıcaklığına bağlı olarak aşağıda belirtilen türbinlerden en uygunu seçilmelidir. Türbin çeşitleri;

- Atmosferik Ekzozlu Konvansiyonel Buhar Türbinleri
- Yoğunlaştırılmalı Konvansiyonel Buhar Türbinleri

- Çift Kademeli Buharlaştırma
- Çoklu Buharlaştırma
- İkili Çevrim Santralleri
- Hibrit Fosil Jeotermal Sistemler

İkili Çevrim Santralleri en sık kullanılan türbin türüdür. [5]

Jeotermal Elektrik Enerjisi Üretimi:

$$MW_e = \text{Debi} \times \Delta T \times \text{Joule Katsayısı} \times 10^{-3}$$

$$\text{Atım Sıcaklığı} = 85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \text{Üretim Sıcaklığı} - \text{Atım Sıcaklığı}$$

$$\text{Joule Katsayısı} = 4,18$$

Birim maliyet hesaplarının proje ömrünün tamamını kapsadığı düşünüldüğünde kapasite faktörü varsayımında gerçekçi olacaktır. 85% kapasite faktörü literatürde de sıklıkla kullanılan bir değerdir.

Aşağıda bulunan Maliyet Analizinde; 1 MW gücünde, ve bu gücü üretebilecek debi ve Rezervuar sıcaklığına sahip Jeotermal bir kaynaktan kurulan Jeotermal Enerji Santraline göre hesaplanmıştır.

İlk Yatırım Bedeli : 2.500 USD/kW (Yatırım Bedeli ve Lisans Bedelleri dahildir. Bu bedelin bulunmasında; Ülkemizde 2005 öncesinde işletmeye alınan jeotermal santrallerinin yatırım maliyetlerinin her şey dahil yaklaşık olarak 1,500 – 2,000 \$/kW arasında olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte son iki yılda dünya enerji piyasalarında girdi fiyatlarına bağlı olarak güç santrali yatırım maliyetleri yaklaşık 30 - 50% oranında artış göstermiştir. Bu gelişmelere paralel olarak ortalama jeotermal santral yatırım maliyeti inşaat faizi dahil 2,500 \$/kW olarak öngörülmektedir.) [5]

Toplam İlk Yatırım Bedeli : 2.500 USD / kW * 1.000 kW

: 2.500.000 USD
: 1.900.000 Euro

Yıllık Elektrik Üretim Miktarı

: 1.000kW*365*24s*0,85
: 7.446.000 kW_s

Üretilen Elektrikğin YEK kapsamında satılması durumunda Satış Bedeli: 0,055 Euro/kW's'dur.

İşletme maliyeti yaklaşık olarak 0,011 Euro/kW's'tir.

Yıllık Üretilen Elektrikğin Karı:
7.446.000kW_s*(0,055-0,011) Euro/kW's



Yıllık Kar: 327.624 Euro

Geri Dönüş Süresi : 1.900.000 Euro / 327.624 Euro
: 5,8 Yıl

2.4. HES-KÖHES

Mini ve mikro tesislerin temel özelliği baraj gölü gibi büyük yatırımlara gerek duyulmamasıdır. Mevcut akarsudan bir su alma yapısı ile alınan su akarsuya paralel eğimi çok az bir kanal ile taşınmakta ve uygun düşü sağlandığı yerde tesis kurulmaktadır.

Hidrolik tesislerin güçlerine göre yapılan yeni sınıflandırma mini ve mikro tesislerin de eklenmesi ile aşağıdaki şekilde oluşmaktadır.

P > 100 MW Büyük hidrolik tesisler

100 MW > P > 20 MW Orta büyüklükteki tesisler

20 MW > P > 1 MW Küçük tesisler

1000 kW > P > 20 kW Mini tesisler

20 kW > P (Güç) Mikro tesisler [6]

Bir akarsuyun belli bir en kesitinden birim zamanda geçirdiği su miktarına o suyun o andaki debisi denir ve aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$Q = V * A$$

A: Akarsuyun ortalama kesit alanı (m²),

V: Akarsuyun ortalama hızı (m/s)

Q: Ortalama Debi (m³/s)

Bir akarsudan potansiyel olarak güç geliştirebilmek için gerekli olan temel elemanlar akım ve düşüdüür. Üretilen güç aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$P = e * H * Q * g$$

P: Elektrik gücü çıktısı (kW)

e: Verimlilik aralığı (0.75 - 0.88) veya (75% - 88%)

H: Düşü (m)

Q: Dizayn debisi (m³/s)

g: Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s/s)

Küçük ölçekli hidroelektrik uygulamalarda, "e" verimlilik değeri %81 alınrsa aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$P \text{ (kW)} = 7.95 * H \text{ (m)} * Q \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Mikro-HESlerde kullanılan Türbin Tipleri:

- Pelton Türbini
- Turgo Türbini
- Francis Türbini
- Kaplan Türbini
- Crossflow Türbini
- Propeller Türbini

Türbin seçimi Debi ve Hıza göre yapılmaktadır.

Aşağıda bulunan Maliyet Analizi; 1 MW gücünde, ve bu gücü üretebilecek debi ve Hıza sahip bir akarsuyun üzerine kurulan rezervuar alanı onbeş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisi (KÖHES) Enerji Santraline göre hesaplanmıştır. Kapasite Faktörü %80 olarak alınmıştır.

İlk Yatırım Bedeli : 1.250 USD/kW (Yatırım Bedeli ve Lisans Bedelleri dahildir. Bu bedelin bulunmasında Günümüzde türbin fiyatı 750-1.200 €/kW'tır. Ortalama 1.000 € alınabilir. Montaj bedeli + diğer masraflar (debi analizi, projelendirme v.s) yaklaşık % 25: 250 €/kW Toplam kurulum bedeli : 1.250 €/kW olarak alınmıştır.) [7]

Toplam İlk Yatırım Bedeli : 1.250 USD / kW *
1.000 kW

: 1.250.000 Euro

Yıllık Elektrik Üretim Miktarı

: 1.000kW*365*24s*0,80

: 7.008.000 kW's

Üretilen Elektrikğin YEK kapsamında satılması durumunda Satış Bedeli: 0,055 Euro/kW's'dur.

İşletme maliyeti yaklaşık olarak 0,010 Euro/kW's'tir.

Yıllık Üretilen Elektrikğin Karı:
7.008.000kW's*(0,055-0,010) Euro/kW's

Yıllık Kar: 315.360 Euro

Geri Dönüş Süresi : 1.250.000 Euro / 315.360 Euro
: 4 Yıl

SONUÇLAR

Yapılan Maliyet Analizlerinde görüleceği gibi ;

• Güneş Enerjisi tabanlı Elektrik Üretim Santralleri YEK kapsamında incelendiğinde yatırım yapılması Geri Dönüşü olmayan bir teknolojidir.

Ancak Güneş Enerjisi tabanlı yeni geliştirilen; Yapımcısı olan Jörg Schlaich ve Rudolf Bergemann'ın kurduğu şirkette bu işin mucidi 74 yaşındaki Jörg Schlaich'in tanımıyla "Solar Tower Technology" adı verilen 1 kilometre boyunda ve 150 metre çapında dev bir dikey boru güneş ışınları yoluyla güçlü bir rüzgâr yaratılması amaçlanmaktadır.

Yapay olarak oluşturulan hava akımıyla elektrik üretilmektedir. Kulenin tabanı geniş bir "greenhouse" (sera) yaklaşık 30 ila 40 km. karelik bir alanı vardır. İşletme prensi ise: Sert PVC'den imal edilmiş "sera alanı"nın içinde olağanüstü ısınan hava "bir baca gibi" kuleye yönelmekte ve büyük bir anafor yaratarak hızla yukarıya devinmektedir. Oluşan binlerce tonluk "rüzgâr gücü" uygun noktalara yerleştirilmiş türbinleri çalıştırmaktadır. Ölçüler bu kadar devasa boyutlarda olduğundan

"Solar Tower"ın verimsiz ve rüzgârsız araziler üzerine kurulması daha verimlidir. "Sera" altındaki yüksek sıcaklık "baca"ya yöneldiğinde güçlü hava akımı saatte 60 ila 70 km'lik hıza ulaşmaktadır.

Güneş Enerjisinin daha küçük projelerde Elektrik Üretimi amacıyla kullanılması yada başka Elektrik Üretim Teknolojileri ile beraber kullanılması tavsiye edilmektedir.

Güneş Enerjisinin günlük hayatta yaygınlaştırılması ve Enerji kaynağı olarak kullanılması için ilgili Kamu Kurumları veya EMO başkanlığında bir çalışma yapılmalıdır. Avrupa Birliği ülkelerinde olduğu gibi Güneş Enerjisini destekler kanunlar çıkarılmalıdır.

- Rüzgar Enerjisi tabanlı sistemlerin düşük işletme maliyetleri ile Geri Dönüş Süreleri yaklaşık 10 yıldır. Devlet YEK kapsamında 10 yıllık alım garantisi vermiştir. Rüzgar Güllerinin ortalama ömrü 25 yıldır. Bu nedenle yatırım yapılması oldukça verimli olan bir Yenilenebilir Enerji Kaynağıdır.

- Jeotermal Enerji tabanlı sistemlerin düşük işletme maliyetleri ile Geri Dönüş Süresi yaklaşık 6 yıldır. Devlet YEK kapsamında 10 yıllık alım garantisi vermiştir. Bu nedenle yatırım yapılması oldukça verimli olan bir Yenilenebilir Enerji Kaynağıdır.

- KÖHES tabanlı sistemlerin düşük işletme maliyetleri ile Geri Dönüş Süresi yaklaşık 4 yıldır. Rezervuar alanı onbeş kilometrekarenin altında olan hidroelektrik üretim tesisleri YEK kapsamındadır ve 10 yıllık alım garantisi vermiştir. Bu nedenle yatırım yapılması oldukça verimli olan bir Yenilenebilir Enerji Kaynağıdır.

- Yenilenebilir Enerji Kaynakları yatırımlarında en önemli nokta yatırımı yapılan yerin seçimidir. Yatırım yapılmadan önce yatırımın yapılacağı kaynağın tüm performans ve fizibilite testleri yapılmalıdır.

- Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile ilgili en önemli noktalardan biri de 4628 nolu Elektrik Piyasası Kanununun;

(Ek fıkra: 18/4/2007-5627/15. md.) (Değişik: 9/7/2008-5784/3. md.) Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı, kurulu gücü azami beş yüz kilovatlık üretim tesisi ile mikro kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişiler, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden muaftır. Bu tüzel kişilerin ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjisinin sisteme verilmesi halinde uygulanacak teknik ve mali usul ve esaslar Kurum tarafından çıkartılacak bir yönetmelikle belirlenir.1

1 "Yalnızca kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla; yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı, kurulu gücü azami ikiyüz kilovatlık üretim tesisi ile mikro kojenerasyon tesisi kuran gerçek ve tüzel kişiler, lisans alma ve şirket kurma yükümlülüğünden

Maddesi kapsamında 500 kW'ın altında kurulu güce sahip Yenilenebilir Enerji Kaynaklı yatırımlar yapmak iyi bir çözümdür ancak bu konu ile ilgili henüz teknik ve mali esaslar yayınlanmamıştır. Konunun Yenilenebilir Enerji Kaynakları açısından önemine binaen bir an önce gerekli yönetmeliklerin yayınlanması gereklidir.

KAYNAKLAR

1. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
www.enerji.gov.tr
2. Elektrik İşleri Etüd İdaresi
www.eie.gov.tr
3. http://www.enerjiplatformu.org/
4. Jeotermal Enerji Teknolojisinde Yeni Gelişmeler, Umran SERPEN,
5. Jeotermal Güç Ekonomisi: Genel Bakış, Adil Caner ŞENER, Niyazi AKSOY
6. Mini ve Mikro Düzeyde Hidrolik Enerjiden Yararlanma Yolları, Ender DUYMUŞ, A. Özden ERTÖZ
7. TEMSAN
www.temsan.gov.tr

muaftır." fıkrası metne işlendiği şekilde değiştirilmiştir.



GÜNEŞ PİLLERİ İLE SICAK SU ELDE ETME VE SOKAK AYDINLATMASI

Sabir Rustemli¹

Ferit Dinçadam¹

Metin Demirtaş²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye

Tel: +90 432 2251024, Fax: +90 432 2251733

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

Tel: +90 266 6121194, Fax: +90 266 6121257

sabirrustemli@yyu.edu.tr

fdincadam@hotmail.com

mdtas@balikesir.edu.tr

ÖZET

Güneş pili fiyatlarındaki düşüş ve elektrik üretiminde temiz bir enerji kaynağı olmasından dolayı kullanımında son yıllarda önemli bir artış görülmektedir. Yakıt masrafının olmaması birim kWh başına enerji maliyetini düşürmektedir. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur.

Yapılan çalışmada, gücü 5 kW olan bir meskenin elektrik ihtiyacı güneş pili ile sağlanmaktadır. Elektrik ihtiyacını güneş pilinden sağlama sisteminde; 20 adet güneş pili, 1 adet şarj kontrol cihazı, akü grubu ve sistemi besleyecek güçte inverter kullanılmıştır. Sistemin verimini artırmak içinde güneş takip sistemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, tek eksenli 45°'lik açıyla oluşturulan güneş takip sistemiyle yapılan ölçümler neticesinde akımda % 15.40'luk, gerilimde % 16.13'lük ve güçte ise % 29.02'lik bir kazanç elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş pilleri, güneş takip sistemi

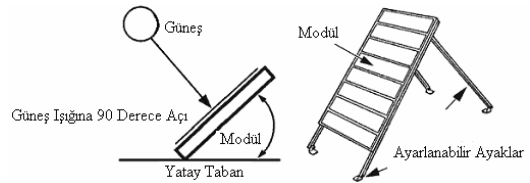
1. GİRİŞ

Güneş pillerinin (Photovoltaic-PV) yaklaşık 60 yıllık gelişiminde, özel ve kamu destekli araştırma ve geliştirme çalışmaları esas olmuştur. Güneş pili fiyatlarındaki düşüş ve elektrik üretiminde temiz bir enerji kaynağı olmasından dolayı kullanımında son yıllarda önemli bir artış görülmektedir. Güneş pilleri pahalı olmalarına karşın en önemli üstünlükleri; hiç bir hareketli parçaya sahip olmamaları, sorunsuz olarak az bakımla 25- 30 yıl kullanılabilmeleri ve çalışma süreleri boyunca doğaya hiç bir kirlenici atık bırakmamalarıdır. Bu edenle güneş pilleri ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır [1-14].

Yakıt masrafının olmaması birim kWh başına enerji maliyetini düşürmektedir. Tipik bir sistemin kullanım süresi yaklaşık 25 yıldır. Güneş pili sistemlerinin maliyeti, temel olarak iki kısımda incelenebilir. İlki güneş pili modüllerinin maliyeti, ikincisi inverterler, elektronik denetim aygıtları, depolama, kablolama, arazi ve altyapı hazırlama gibi sistem destek elemanlarının maliyetidir. Genelde güneş pillerinin maliyeti toplam sistem maliyetinin 2/3 ünü oluşturmaktadır. Ancak maliyet hesabında çevre etkileri dikkate alınmamaktadır.

Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Ortam sıcaklığı 25 °C'de, üzerine gelen ortalama ışınım şiddeti 1000 W/m²'dir. Bir PV hücrenin çıkış gerilimi yaklaşık olarak 0.5 volt civarındadır. Genellikle, 30-36 adet

güneş hücresi, 15-17 voltluk bir çıkış gerilimi vermek için birlikte bağlanabilir ki bu gerilim değeri de, 12 voltluk bir akümülatörü şarj etmek için yeterlidir. Çıkış gücünü artırmak için çok sayıda hücreler seri veya paralel bağlanır. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 35 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Genellikle, 12 voltluk akümülatörleri şarj etmek için 30-36 adet silisyum güneş pilinin bağlanması ile bir modül oluşsa bile, daha yüksek çıkış güçleri için daha büyük modüller yapılabilir. En basit sistem, bir modül, buna bağlı bir akümülatör ve elektrik motorundan oluşmuş bir sistemdir. Modülün güneşe 90° lik bir açıyla ayarlanması Şekil 1'de verilmiştir.

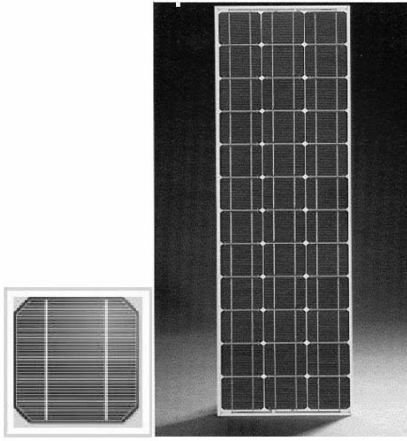


Şekil 1. Modülün 90°'lik bir açıyla ayarlanması.

Paneller şekil 1'de görüldüğü gibi güneş ışığına, dik ya da dike yakın açıda en yüksek verimi sağlarlar. Yazın kışa göre 4 misli fazla elektrik gücü sağlanabilir. Bu yüzden panel gücünü, kış ve yaz dönemindeki şartlara göre hesaplamak gerekir. Modüller genellikle 1.5-35 Voltluk gerilim ve 0.15–250 W güçleri arasında değişik kapasitelerde üretilir.

Paralel bağlantılarla akım, seri bağlantılarla gerilim istenen seviyeye ayarlanır.

Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Hücrelerin birleşmesinden modül, modüllerin birleşmesinden panel, panellerin birleşmesinden solar dizi oluşur. Solar modüller yalnız direkt güneş ışığından değil, yaygın ışınım da (bulutlu havalarda) daha düşük güçte elektrik üretebilmektedir. Güneş pili ve güneş modülünün yapısı şekil 2'de gösterilmiştir.



a) Güneş pili b) Güneş modülü

Şekil 2. Güneş pili ve güneş modülü

Bir güneş hücresinin performansı verimi ile ölçülmektedir. Aldığı enerjinin yüzde kaçını kullanılabilir elektriğe dönüştürdüğü verimi belirleyen en önemli parametredir. Ancak belli dalga boylarındaki ışık elektriğe dönüştürülebilir, geri kalan büyük miktar hücreyi oluşturan madde tarafından ya emilmekte ya da yansıtılmaktadır. Bundan dolayı günümüzde tipik bir güneş hücresinin verimi % 34 civarındadır, ancak güneş modülü aldığı enerjinin yaklaşık altıda birini elektriğe çevirmektedir [15].

-40 °C ve +85 °C dereceleri arasında sorunsuz çalışmakta olan güneş panellerinin korozyon ve ultraviyole ışınlarına karşı özel koruması vardır. Anti reflektif özel yüzeyi ile maksimum güneş ışığı absorbe edilmekte ve yansımalar önlenmektedir.

Düşük verim daha geniş alan ihtiyacı, dolayısı ile daha yüksek maliyet demektir. Bundan dolayı günümüzdeki tüm çalışmalar güneş hücrelerinin verimini artırmak için yapılmaktadır. Panel yüzeyine, komşu binalardan ve çevredeki ağaçlardan gölge düşmesi verimi azaltacaktır. Cam yüzeyinin kirlenmesi de % 3-4 verim kaybına neden olur. Türkiye için genelde geçerli olan 60° kış eğimi sayesinde ve panel camlarının özelliği nedeni ile buzlanma veya kar birikmesi olmamaktadır.

12-24 panelli bir sistem normal bir evin tüm elektrik ihtiyacını karşılayabilir, endüstri uygulamaları veya elektrik santralleri için binlerce güneş panelinin kullanıldığı büyük sistemler kurulmaktadır. Seri ve paralel bağlamalarla istenilen DC gerilimi (12-24-48V) elde etmek mümkün olmaktadır.

Güneş pili üretimi, yüksek teknoloji gerektiren bir yapım tekniği istemekte, dolayısıyla pahalıya mal olmaktadır. Ancak, gelişen teknoloji ile bu mal oluşlar geçmişte çok hızlı bir düşme göstermiştir ve maliyetlerin azalma eğilimi devam etmektedir. 1950 yılında yapılan ilk güneş hücresinin verimi %4 ve maliyeti 750 \$/W civarındaydı. Bugün bu pillerin verimi % 20 maliyeti ise 5-6 \$/W'a kadar düşmüş durumdadır.

European Photovoltaic Industry Association (EPIA) hedefleri doğrultusunda, PV fiyatları oluşturulmuştur. 2020 hedefi olan 1 €/W hedefi sınır olarak verilmekte ve fiyatların daha aşağıya inmesi beklenmemektedir. Güneş pilinden üretilen birim elektrik enerjisi maliyeti, kurulum maliyetinin 30 sene boyunca üreteceği enerjiye bölünmesiyle elde edilmiştir. Ancak, kurulum maliyetleri ele alınırken, 1 kW'lık sistem maliyetleri düşünülmüştür. Daha büyük üretim sistemlerinde kurulum maliyetleri, belirtilen fiyatların %10-40 altında olabilir, bu farka karşılık PV sistemlerinin ortalama ömürleri sırasınca % 5 verim kayıpları, sistem bakım ve yenilemeleri vb. bedeller bu hesaba katılmamıştır. Fotovoltaik modüllerin ömür sürelerinin 30 yıl olduğu düşünülürse, yapılan yatırımın kaç yılda geri alınabileceği sorusuna, literatürde verilen cevap yaklaşık 5 yıldır.

Güneş pilleri ticari olarak, yaklaşık 50 cm x 100 cm alan ve 3 cm kalınlıkta olan güneş pili modülleri halinde pazarlanmaktadır. Genelde 36 adet seri bağlı kristal tip Si hücrelerden oluşan bir modül gündüz saatlerinde 3 amper civarında akım ve 16 volt'un üzerinde gerilim vermektedir.

Güneş pili üretim kapasitesinin yıllık 50-100 MW olduğu sanılmaktadır. Bu rakamlar, dünyadaki enerji kullanımı göz önüne alındığında denizde bir damla gibi görünse de, gerek bu alandaki teknolojik gelişmeler, gerekse giderek kullanım alanlarının çeşitlenmesi ve ayrıca çevre dostu bir enerji niteliğinde olması, bu alanda hızlı gelişmelerin beklendiğine işaret etmektedir. Ancak güneş pili sistemleriyle ilgili maliyet karşılaştırmalarında çevre etkileri dikkate alınmamaktadır. Ulusal enerji kaynaklarının yetersizliği konu olduğunda, şebekeye bağlı münferit güneş pili sistemlerinin genelde önemli bir tasarruf potansiyeli oluşturduğu, bu konuda yapılan çalışmaların sonuçlarından anlaşılmaktadır. Ancak yakıt giderinin olmaması, bakım giderlerinin ise diğerlerine göre çok daha az olması, birim kWh başına enerji maliyetini çok aşağılara çekmektedir. Çevre maliyeti ise, güneş pillerinin üretimi aşaması dışında sıfır olarak kabul edilebilir. Güneş pillerinin avantajları;

- Yakıt sorunu yoktur,
 - İşletme kolaylığı bulunmaktadır,
 - Mekanik yıpranma bulunmamaktadır,
 - Modüler bir yapıya sahiptir,
 - Uzun yıllar sorunsuz olarak çalışır,
 - Temiz bir enerji kaynağıdır,
 - Bedava enerji sağlar,
 - Enerji İthalatını azaltır,
 - Elektrik arz güvenliği sağlar,
 - Enerji tedarikinde çeşitlilik ve güvenilirlik kazandırır,
 - Önemli iş olanakları sağlar,
 - Enerji piyasasında yeniden yapılanmayı destekler,
 - İthal yakıt bağımlılığını azaltır,
 - Uzak ve izole yerlerde yaşayan kırsal toplulukların elektriklenmesine ivme kazandırır,
 - PV den üretilen her kWh için 0.6 kg CO₂ emisyonu azalmaktadır,
- Şeklinde sıralanabilir.

Yakın geçmişe kadar alışıla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaşıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek “sosyal maliyet” göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir [16].

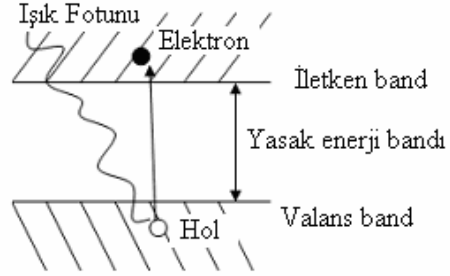
2. GÜNEŞ PİLLERİNİN YAPISI VE ÇALIŞMASI

Günümüz elektronik ürünlerinde kullanılan transistörler, doğrultucu diyotlar gibi güneş pilleri de, yarı-iletken maddelerden yapılmaktadır. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş pili yapmak için en elverişli olanlar, silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddelerdir [17].

Yarıiletken eklemine güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır. Şekil 3’de güneş hücresinde ışığın elektrik enerjisine dönüşümü gösterilmiştir.

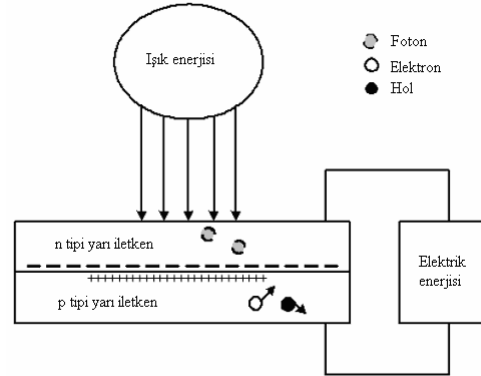
Yarıiletkenler, bir yasak enerji aralığı tarafından ayrılan iki enerji bandından oluşur. Bu bandlar valans bandı ve iletkenlik bandı adını alırlar. Bu yasak enerji aralığına eşit veya daha büyük enerjili bir foton, yarıiletken tarafından soğurulduğu zaman, enerjisini valans banddaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti oluşur. Bu olay, pn eklem güneş pilinin ara yüzeyinde meydana gelmiş ise elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından

birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine iten bir pompa gibi çalışır. Birbirlerinden ayrılan elektron-hol çiftleri, güneş pilinin uçlarında yararlı bir güç çıkışı oluştururlar. Bu süreç yeniden bir fotonun pil yüzeyine çarpmasıyla aynı şekilde devam eder. Yarıiletkenin iç kısımlarında da, gelen fotonlar tarafından elektron-hol çiftleri oluşturulmaktadır. Fakat gerekli elektrik alan olmadığı için tekrar birleşerek kaybolmaktadırlar.



Şekil 3. Güneş hücresinde ışığın elektrik enerjisine dönüşümü

Yapının iki ucu bir dış devreye bağlandığında bu yükler akarak elektrik akımı elde edilmiş olur. Elde edilen doğru akıma fotovoltaik akımı, bu akımı oluşturan olaya da fotovoltaik olayı denilmektedir. Şekil 4’de fotovoltaik olay gösterilmiştir [18].

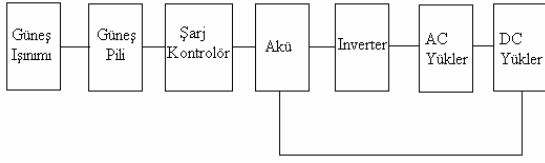


Şekil 4. Fotovoltaik olay

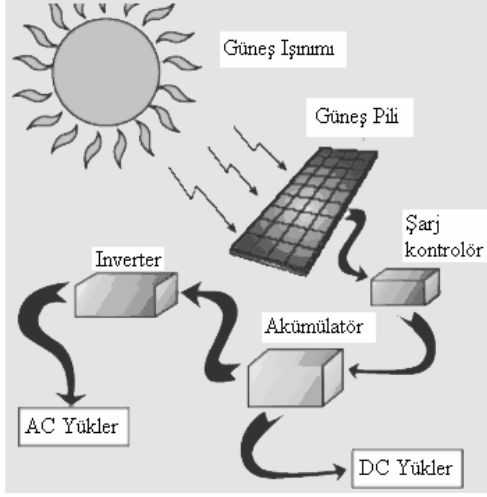
3. GÜNEŞ PİLİ SİSTEMİ VE UYGULAMALARI

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, inverterler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak

kullanılmaları da mümkündür. Şekil 5'te fotovoltaik sistemin görünümü ve blok diyagramı gösterilmiştir.



a) Fotovoltaik sistemin blok diyagramı



b) Fotovoltaik sistemin görünümü

Şekil 5. Fotovoltaik sistemin görünümü ve blok diyagramı.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akü bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üretirken bunu aküde depolar, yüke gerekli olan enerji aküden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir inverter eklenerek aküdeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.'lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir [19].

Şebekeye bağlı güneş pili elektrik santrallerinin güçleri 100 kW ile onlarca MW arasında olmaktadır. Yine şebekeye bağlı, ancak dağıtılmış durumda olan bina çatı ve yüzeylerine yerleştirilen sistemler ise 1 kW ile 50 kW arasında değişmektedir. Bu sistemlerde iki yönlü sayaç kullanılır. Örneğin bir konutun elektrik gereksinimi karşılanırken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine satılır, yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alınır. Böyle bir sistemde enerji depolaması yapmaya gerek

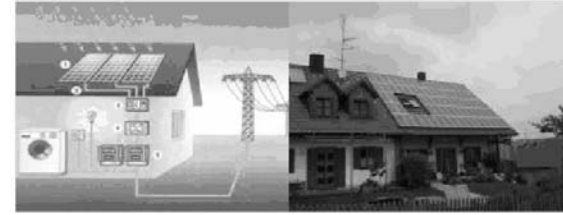
yoktur, yalnızca üretilen DC elektriğin AC elektriğe çevrilmesi, çift yönlü sayaç kullanılması ve üretilen elektriğin şebeke uyumlu olması yeterlidir. Şekil 6'da Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğüne (EİE) ait Didim Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Araştırma Merkezi'nde 4.8 kW gücünde şebeke bağlantılı güneş pili sistemi gösterilmiştir.

Almanya'da yapılan bir çalışmada, bireysel tüketicilerin evlerinin çatılarına koydukları güneş pilleri ile ürettikleri elektriğin üçte birini kendilerinin tükettikleri, geri kalanını ise enterkonnekte sisteme vererek ulusal elektrik enerjisi üretimine katkıda buldukları saptanmıştır.



Şekil 6. 4.8 kW'lık şebeke bağlantılı güneş pili sistemi.

Almanya şartlarında, binalarda güneş pilleri kullanıldığında üçte bir oranda tasarruf doğmaktadır. Almanya'daki uygulamalardan şebekeye bağlı 5 kW'lık PV sistemi şekil 7'de gösterilmiştir [17].



Şekil 7. Almanya'daki şebekeye bağlı 5 kW'lık PV sistemi.

Güneş pili sistemlerinin şebekeden bağımsız (stand-alone) olarak kullanıldığı sistemler de mevcuttur. Fotovoltaik sistemlerin şebekeden bağımsız olarak, tipik uygulama alanları;

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri,
- Petrol boru hatlarının katodik koruması,
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları,
- Bina içi ya da dışı aydınlatma,
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki

evlerde TV, radyo, buzdolabı, fırın gibi elektrikli ev aletlerinin çalıştırılması,
 — Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompası,
 — Orman gözetleme kuleleri,
 — Deniz fenerleri,
 — İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri,
 — Deprem ve hava gözlem istasyonları,
 — İlaç ve aşı soğutma,
 şeklinde sıralanabilir.

4. 5 KW'LIK GÜNEŞ PİLİ İLE BESLENMESİ

Bir meskenin elektrik ihtiyacını güneş pilinden sağlama sisteminde yaklaşık 20 adet güneş piline, 1 adet şarj kontrol cihazına, akü grubuna ve sistemi besleyecek güçte invertere ihtiyaç bulunmaktadır. Şekil 8'de gücü 5 kW olan bir meskenin elektrik ihtiyacını güneş pili ile besleme şeması verilmiştir.

Gücü 5 kW olan bir meskenin elektrik ihtiyacını güneş pili ile besleme durumunda elde edilecek güç, akım, gerilim değerleri ve sistemin özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

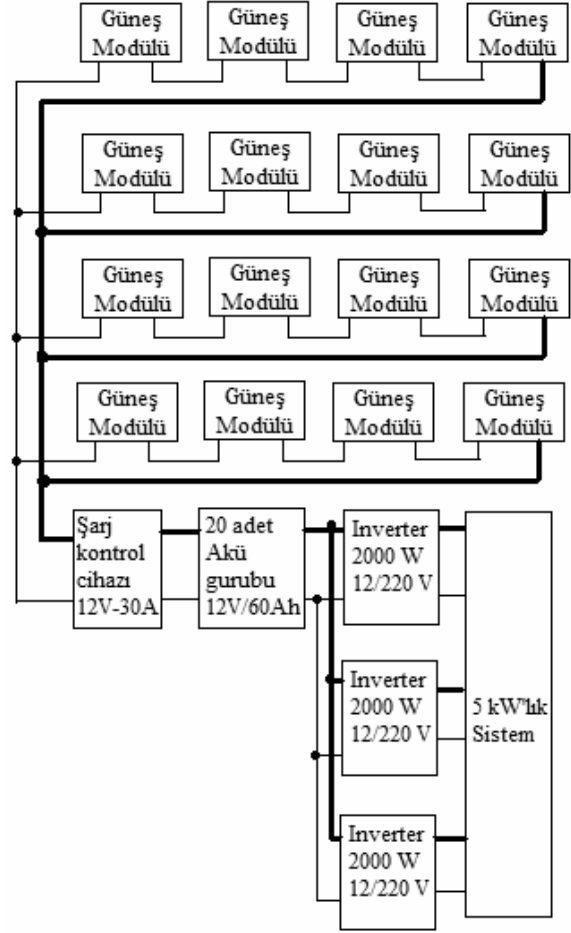
Çizelge 1: 5 kW'lık sistemin özellikleri

Sistem elemanı	Teknik özellik	Adet
Güneş pili	150W, 21.6 V, 6.95A	20
Akü	12V, 60Ah	20
İnverter	2000W	2
İnverter	1000W	1
Şarj regülatörü	30A, 12V	1

Her bir modüle ait güç 150 Watt, gerilim 21.6 Volt ve akım ise 6.95 Amperdir. Güneş panellerinin seri ve paralel bağlantı durumlarından yararlanarak istenen akım ve gerilim değerleri elde edilebilir. Bu sistemle;

- Bir evin günlük elektrik ihtiyacı yaklaşık 30 sene karşılanabilir,
- 52 saat güneş ışınımı olmadığı durumda akü yardımı ile elektrik gereksinimi giderilebilir,
- Şebeke ile koordineli çalışılarak elektrik üretim maliyeti düşürülebilir,
- Tüm bunlar 25 m² lik bir çatı yüzeyinde gerçekleştirilebilir.

Bir meskenin ihtiyacı olan sıcak su ihtiyacını elde etme sisteminde güneş modülü, şarj kontrol cihazı, akü grubu, inverter, rezistans, termostat, ampermetre, voltmetre elemanlarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bir meskende gücü 3 kW olan sıcak su elde etme sisteminin güneş pili ile beslenmesi durumunda elde edeceğimiz güç, akım, ve gerilim değerleri ve sistemin özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 8. 5 kW'lık güç besleme sistemi.

Çizelge 2: Sistem elemanlarının özellikleri

Sistem elemanı	Teknik özellik	Adet
Güneş modülü	63.855 W, 17.64 V, 3.69 A	8
Şarj regülatörü	12/24 V, 20 A	1
Akümülatör	12V, 60Ah	12
İnverter	12V/230V, 1500W	2
Rezistans	1500 W	2
Voltmetre (AC)	Dijital	2
Ampermetre	Dijital	2
Voltmetre (DC)	Dijital	1
Termostat	Dijital	1

Her bir modüle ait güç 63.855 Watt, gerilim 17.64 Volt ve akım ise 3.69 Amperdir. Güneş panellerinin seri ve paralel bağlantı durumlarından yararlanarak istenen akım ve gerilim değerleri elde edilebilir.

Bir adet lamba ile sokak aydınlatması sisteminde güneş modülü, şarj kontrol cihazı, akümülatör, inverter ve lamba kullanılmaktadır. Şekil 9’da güneş pili ile beslenen bir sokak lambasına ait aydınlatma sisteminin şeması verilmiştir.



Şekil 9. 65 W’lık lamba aydınlatma sistemi

Güneş pilinden elde edilen enerji ile beslenen bir sokak aydınlatması sisteminde, ihtiyaç duyulan güç, akım ve gerilim değerleri ve sistemin özellikleri Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3: Sistem elemanlarının özellikleri

Sistem elemanı	Teknik özellik	Adet
Güneş modülü	65 W, 17.64 V, 3.7 A	1
Şarj kontrolör	12V, 3 A	1
Akü	12 V, 60 Ah	1
İnverter	12/220 V, 100 W	1
Lamba	220 V, 65 W	1

Çizelge 4: Sistem elemanlarının özellikleri

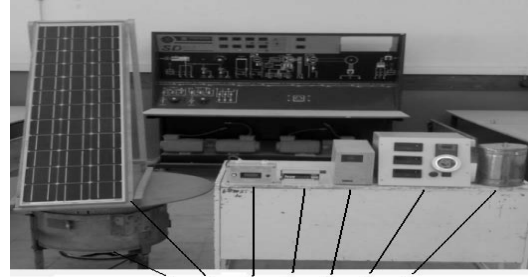
Sistem elemanı	Teknik özellik	Adet
Güneş pili	63.855 W, 17.64 V, 3.69 A, 0.4257 m ²	1
Şarj Regülatörü	12/24 V, 20 A	1
Kuru tip akü	12V, 60Ah	2
İnverter	12V/230V, 300W	1
Rezistans	132 W	1
Voltmetre (AC)	Dijital	1
Ampermetre	Dijital	1
Voltmetre (DC)	Dijital	1
Termostat	Dijital	1
Motor	36 W, 3 A, 12 V	1

Yapılan uygulamada, rezistans çalıştırılarak sıcak su elde edilmektedir. Sokak lambası ise sürücü devresi kontrollü olarak gece yandı, gündüz ise devre dışı kalmaktadır. Güneş takip sistemi gece olduğunda çalışmamakta ancak gündüz süresince sabahtan akşama kadar sürekli güneşi takip ederek çalışmaktadır. Elektronik sürücü devresi güneş takip sistemini gece devre dışı bırakmakta ve gündüz olduğunda ise güneşi sürekli olarak takip etmektedir. Böylece güneş ışınlarından elde edilen enerji miktarındaki verim de artmaktadır.

Bu uygulamada elde edeceğimiz güç, akım ve gerilim değerleri ve sistemin özellikleri Çizelge 4’de verilmiştir.

5. TASARLANAN GÜNEŞ TAKİP SİSTEMİ

Güneş pillerinin verimliliklerinin ölçüldüğü, “Standart Test Koşulları”nda güneş pili 25°C’ de iken gücün 1000 W/m² olarak ölçüldüğü değerdir. Bulutsuz ve güneşli bir günde 1200 W/m²’ye varabilen bu değer, bulutlu günlerde 200-800 W/m² arasında değişmektedir. Yağmurlu bir günde ise güneş pili gücü 50 W/m² değerine kadar iner. Uygulamada kullanılan güneş pilleri ile sıcak su elde etme, sokak aydınlatması ve güneş takip sistemi şekil 10’da verilmiştir. Deney düzeneği genel olarak 7 kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 10. Güneş pilleri ile sıcak su elde etme, sokak aydınlatması ve güneş takip sistemi.

Düzenekte numaralandırılan elemanlar;

- 1-Güneş takip sistemi
- 2-Güneş pili
- 3- Şarj kontrolör
- 4-İnverter
- 5-Akü
- 6-Kumanda panosu (ampermetre, voltmetre, dijital termostat, anahtar, sinyal lambası, fotosel göz ve lamba bulunmaktadır)
- 7-Su deposu şeklinde sıralanabilir.

Ocak ayında Van ilinde sabit ve güneş takip sistemli olarak, güneş modülü çıkışında ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri Çizelge 5’de verilmiştir. Yeterli güneş ışığı olmadığı zamanda, güneş modülü çıkışında ölçü aletiyle herhangi bir değer okunamadı. Dolayısıyla çizelgede çizgiyle belirtilen yerler ölçüm alınmadığını göstermektedir. Modül 45°’lik açıyla ve tek eksenli olarak güneş takip sisteminde döndürüldü.

Çizelge 5: Güneş modülünde ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri

Güneş modülü	sabit			takip sistemli		
	I(A.)	U(V)	P(W)	I(A.)	U(V)	P(W)
Saat						
07:00	—	—	—	—	—	—
08:00	—	—	—	1.40	20.70	28.98
09:00	1.40	18.40	25.76	1.41	19.29	27.19
10:00	1.40	18.48	25.87	1.43	18.80	26.88
11:00	1.45	19.87	28.81	1.50	19.39	29.08
12:00	1.41	18.63	26.26	1.41	18.63	26.26
13:00	1.43	18.48	26.42	1.43	18.48	26.42
14:00	1.42	18.48	26.24	1.48	18.67	27.63
15:00	—	—	—	—	—	—
16:00	—	—	—	—	—	—
Ort.	0.85	11.23	9.56	1.00	13.40	13.47

Yapılan sistem ışığa duyarlı olarak çalışmakta ve gündüz süresince güneşi takip etmektedir. Gece olduğunda motor devre dışı kalıp çalışmamakta ve sistem durmaktadır. Sabah güneş doğduğu andan itibaren motor çalışmaya başlamakta ve güneş pili tam güneşin karşısına geldiğinde motor durmaktadır. Daha sonra sistem güneşi akşam oluncaya kadar takip etmeye devam etmekte ve akşam olduğunda motor tekrar durmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir rezistansla depodaki su ısıtmakta, ışığa duyarlı lamba yakılmakta ve bir motor aracılığıyla güneş takip sistemi çalıştırılmaktadır. Düzenekte kullanılan güneş pilinin gücü yaklaşık 60 Watt'tır. Sokak aydınlatması sisteminde kullanılan lambanın gücü 15 Watt, güneş takip sistemini çalıştıran motorun gücü ise 36 Watt'tır. Güneş modülü ile güneş ışığı altında akü sistemine ihtiyaç duymadan, direkt olarak lamba ve motor kolaylıkla çalıştırılabilmektedir. Ancak 132 Watt'lık rezistansın gücü güneş piline göre yüksek olduğundan, sıcak su elde etmek için akü grubuna mutlaka ihtiyaç duyulmaktadır. Rezistanslı sistem, aydınlatma ve motor sistemine göre daha zor uygulanabilmektedir. Çünkü rezistanslı sistemlerin gücü yüksektir. Bundan dolayı uzun bir depolama süresine ihtiyaç duyulur ve güneş ışığı olmadığında aküde depolanan enerji kısa sürede tüketilir. Yani, güneş ışığı olmadan aydınlatma ve motor sistemleri rezistanslı sistemlere göre daha uzun süre akü tarafından beslenebilmektedir.

Bu uygulamada, tek eksenli 45°'lik açıyla oluşturulan güneş takip sistemiyle yapılan ölçümler neticesinde akım, gerilim ve güç kazançları sırasıyla % 15.40, % 16.13 ve % 29.02 olarak elde edilmiştir. Neticede güneş takip sisteminin % 29.02'luk bir güç kazancını oluşturduğu görülmektedir. Bu kazanç değeri, küçümsenmemesi gereken bir orandır ve sonraki çalışmalarda bu konuya yoğunlaşmanın ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Endüstri ve nüfusa bağlı olarak ülkemizde her sene tüketilen enerjide yaklaşık %6'lık bir artış olmaktadır. Ülkemizdeki kaynakların sınırlılığı ve dışa bağımlı olmama gerekliliği göz önüne alındığında, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmemiz gerektiği anlaşılmaktadır

7. KAYNAKLAR

[1] Cemil Sungur. Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. *Renewable Energy* 2009; 34: 1119–1125.

[2] C.S. Sangani, C.S. Solanki. Experimental evaluation of V-trough (2 suns) PV concentrator system using commercial PV modules. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2007; 91: 453–459.

[3] M. Uzunoglu, O.C. Onar, M.S. Alam. Modeling, control and simulation of a PV/FC/UC based hybrid power generation system for stand-alone applications. *Renewable Energy* 2009; 34: 509–520.

[4] Salah Abdallah, Salem Nijmeh. Two axes sun tracking system with PLC control. *Energy Conversion and Management* 2004; 45: 1931–1939.

[5] Kalogirou SA. Design and construction of a one-axis Sun-tracking system. *Solar Energy* 1996; 57(6): 465–469.

[6] Khalifa A, Al-Mutawalli S. Effect of two axis Sun tracking on the performance of compound parabolic concentrators. *Energy Convers Manage* 1998; 39(10): 1073–1079.

[7] Al-Mohamad A. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system. *Appl Energy* 2004;79: 345–354.

[8] Abdallah A, Nijmeh S. Two axes Sun tracking system with PLC control. *Energy Convers Manage* 2004; 45:1931–1939.

[9] Kalogirou S. Design of a fuzzy single-axis Sun tracking controller. *Int J Renew Energy Eng* 2002; 4(2).

[10] George C. Bakos. Design and construction of a two-axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement. *Renewable Energy* 2006; 31: 2411–2421

[11] Helwa NH, Bahgat ABG, El Shafee AMR, El Shanawy ET. Maximum collectable solar energy by different solar tracking systems. *Energy Sources* 2000; 22(1): 23–34.

[12] Jeremy Lagorse, Damien Paire, Abdellatif Miraoui. Sizing optimization of a stand-alone street lighting system powered, by a hybrid system using fuel cell, PV and battery. *Renewable Energy* 2009; 34: 683–691.

[13] Alex Zahnd, Haddix McKay Kimber. Benefits from a renewable energy village electrification system, *Renewable Energy* 2009; 34: 362–368.

[14] R. Noroozian, M. Abedi, G.B. Gharehpetian, S.H. Hosseini. Combined operation of DC isolated distribution and PV systems for

supplying unbalanced AC loads. Renewable Energy 2009; 34: 899–908.

[15]

www.sunpowerltd.com/pages/tr/activities/solar.asp, 05.01.2008, Güneş Pilleri

[16] Varınca, K.B., Varank, G, 2007. Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri, Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

[17] www.eie.gov.tr, 08.06.2007, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

[18] Kumar, V., 2003. Characterization Of Large Area Cadmium Telluride Films And Solar Cells Deposited On Moving Substrates By Close Spaced Sublimation (master thesis). University of South Florida. Department of Electrical Engineering College of Engineering, South Florida.

[19] Özcanlı, Ö., 2001. 85 Watt Güneş Paneli İle Çalışan Bir Prototip Bağımsız Güç Kaynağı Uygulaması (yüksek lisans tezi). O Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.



FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Nevzat ONAT*

Sedat ERSÖZ**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi A.B.D., Kadıköy-İstanbul,
*nonat@marmara.edu.tr **sedatersoz1@gmail.com

ÖZET

Fotovoltaik (PV) sistemlerin en önemli elemanı olan güneş pilleri, özellikle ilk yatırım maliyeti ve kullanılacak diğer elemanların nitelik ve miktarlarını da belirleyici özelliğe sahiptir. Bu nedenle ilk kurulum aşamasında güneş pillerinin en iyi şartlarda ve en yüksek verimle çalışabilecekleri bir sistem tasarlamak çok önemlidir. PV sistemlerin maksimum çıkış gücü sağlayarak çalıştığı maksimum güç noktası, güneş ışınlarının panel yüzeyine yaptığı açıya ve panel sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla yükün çalışma noktası her zaman fotovoltaik sistemin maksimum güç noktası değildir. Beslenen yüke talep ettiği gücü sürekli olarak sağlayabilmek amacıyla fotovoltaik sistemler gerektiğinden daha fazla modül içerecek şekilde tasarlanırlar. Bu durumda sistem maliyeti oldukça yükselir, ayrıca önemli miktarda enerji kaybı yaşanır.

Bu problemin çözümü için maksimum güç noktası izleyicisi (MGNI) olarak adlandırılan anahtarlamalı güç konvertörü kullanılabilir. Böylece fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasında sürekli çalışması sağlanabilir. MGNI fotovoltaik panelin gerilim ve akımını yükten bağımsız olarak kontrol ederek bu işlemi gerçekleştirmektedir.

Bu çalışmada, sistem tasarımında en çok kullanılan MGNI algoritmaları incelenmiştir. Algoritmaların sınıflandırılması, tanımları ve temel denklemleri verilmiştir. Literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak, bu algoritmaların karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir.

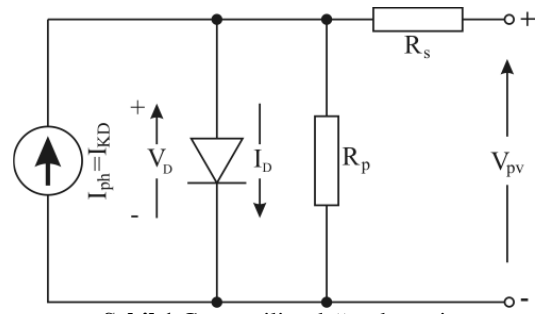
Anahtar kelimeler: Fotovoltaik sistemler, doldurma faktörü, maksimum güç noktası, hata ve gözlem algoritması, sabit gerilim algoritması,

1. GİRİŞ

Fotovoltaik (PV) sistemler, güneş pilleri, bağlantı elemanları, koruma elemanları, depolama elemanları ve beslediği yükün karakteristiğine bağlı olarak bazı ilave elemanlar içeren bir yapıya sahiptirler. Bu sistemlerin en önemli elemanı olan güneş pilleri, özellikle ilk yatırım maliyeti ve kullanılacak diğer elemanların nitelik ve miktarlarını da belirleyici özelliğe sahiptir. Bu nedenle ilk kurulum aşamasında güneş pillerinin en iyi şartlarda ve en yüksek verimle çalışabilecekleri bir sistem tasarlamak çok önemlidir.

Şekil 1'de güneş pilinin eşdeğer devresi görülmektedir. Güneş hücresinden elde edilen elektrik üretimi devrede gerilim bağımlı bir akım kaynağından çekilen akım ile (I_{ph}) sembolize edilmiştir. Hücre üzerinde düşen ışınım miktarı arttıkça üretilen elektrik akımı da artmaktadır. Güneş pili gövdesi yarı iletken malzeme olması nedeniyle bir diyotla gösterilmiştir. Güneş pilinden elde edilen gerilim ise V_{pv} olarak gösterilmektedir. Çıkış ucuna seri bağlı olarak gösterilen direnç değeri (R_s) hücreyi oluşturan yarı iletken malzemenin direnci ile hücrelerin birbirine

bağlantı noktalarında oluşan temas dirençlerinin toplamına eşittir. Paralel direnç (R_p) ise çok ince katmanlardan oluşan ince film yapısına sahip malzemelerde katmanlar arasında ve hücre çevresinde oluşan dirençlerin toplamı olarak alınmaktadır. Yapılan incelemelerde seri direnç değerinin paralel dirence oranla çok küçük olduğu ve ihmal edilebileceği belirlenmiştir. Devrenin asıl direnci seri direnç olarak kabul edilebilir.



Şekil 1 Güneş pili eşdeğer devresi

Şekil 1'de görülebileceği gibi bir fotovoltaik pilin dış devreye verdiği akım miktarı kısa devre akımı

(I_{KD}) ile diyot üzerinden geçen akımın (I_D) farkına eşittir. Bu durumda;

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT_C}} - 1 \right) \quad (1)$$

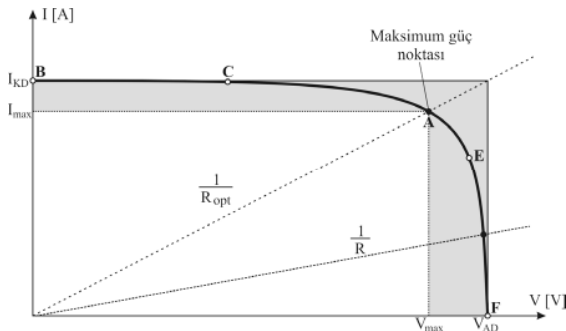
ifadesi yazılabilir. Bu ifade; k Boltzmann gaz sabiti ($k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$), T_C pilin mutlak sıcaklığı (K), q elektron yükü ($q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$), V pil üzerinde düşen gerilim ve I_0 büyük ölçüde sıcaklığa bağlı olarak değişen karanlık doyma akımı değerini göstermektedir.

Yukarıdaki ifadeye dış devreye verilen akım sıfır kabul edilirse pilin üreteceği açık devre gerilimi;

$$V_{AD} = \frac{k \cdot T_C}{q} \ln \frac{I_{ph} + I_0}{I_0} \approx \frac{k \cdot T_C}{q} \ln \frac{I_{ph}}{I_0} \quad (2)$$

olarak ifade edilebilir. Diyot üzerinden geçen karanlık doyma akımı, pil tarafından üretilen akımdan çok küçük olduğundan ihmal edilebilir [1-3].

Şekil 2'de sabit pil sıcaklığı ve güneş ışınımı (G_a) değerleri altında, bir güneş pilinin akım-gerilim ($I-V$) karakteristiği görülmektedir.



Şekil 2 Güneş pilinin tipik akım-gerilim karakteristiği

Akım gerilim karakteristiğinden de anlaşıldığı gibi güneş pili aydınlatıldığında pil uçlarında pozitif bir potansiyel fark meydana gelir ve dış devreye pozitif bir akım verebilir. Pil uçlarına değişken bir direnç yük olarak bağlanacak olursa, bu yükün çalışma noktası karakteristik eğrinin üzerinde bir değerdir. Bir direnç yükü için yük karakteristik eğrisi eğimi $I/V = 1/R$ olan bir doğrudur. Bu nedenle yüke aktarılan güç miktarı sadece yük direncine bağlıdır. R direnci küçük değerlerde ise, güneş pili $B-C$ noktaları arasında sabit bir akım kaynağı davranışı göstererek çalışır. Şayet R direnci yüksek bir değere sahipse, bu durumda pil $E-F$ noktaları arasında sabit bir gerilim

kaynağı gibi çalışacaktır. Pil için en verimli çalışma noktası A noktasıdır ve bu nokta **maksimum güç noktası (MGN)** olarak adlandırılır. Bu noktada pilden çekilen güç;

$$P_{max} = I_{max} \cdot V_{max} \quad (3)$$

olarak ifade edilir. Dolayısıyla bu noktada çalışma durumunda pilden alınan verim de maksimum olacaktır.

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{A \cdot G_a} \quad (4)$$

Bu ifadeye, A değeri m^2 cinsinden fotovoltaik panel alanını, G_a ise Wh/m^2 cinsinden panelin bulunduğu ortamdaki güneş ışınım miktarını göstermektedir. **Şekil 2'**de görülen $I-V$ karakteristiğinin bir diğer ölçütü ise **doldurma faktörü (Fill Factor (FF))** olarak ifade edilen büyüklüktür. Doldurma faktörü pil kalitesini de belirler. Sistem tasarımında iyi bir pil seçimi için bu değerin 0,7 veya daha büyük olması gerekir. **Şekil 2'**de taralı bölgenin kısa devre akımı ve açık devre geriliminin oluşturduğu dikdörtgenin alanından çıkarılması ile doldurma faktörü değeri bulunur. Matematiksel olarak;

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{AD} \cdot I_{KD}} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{AD} \cdot I_{KD}} \quad (5)$$

olarak ifade edilir. Güneş pili modüllerinin katalog bilgilerinde standart test şartları ($G_{a,0} = 1000 \text{ W/m}^2$, $T_0^C = 25^\circ \text{C}$) altında ve nominal şartlarda ($G_{a,ref} = 800 \text{ W/m}^2$, $T_{a,ref} = 20^\circ \text{C}$) maksimum güç, kısa devre akımı ve açık devre gerilimi değerleri yer almaktadır [4].

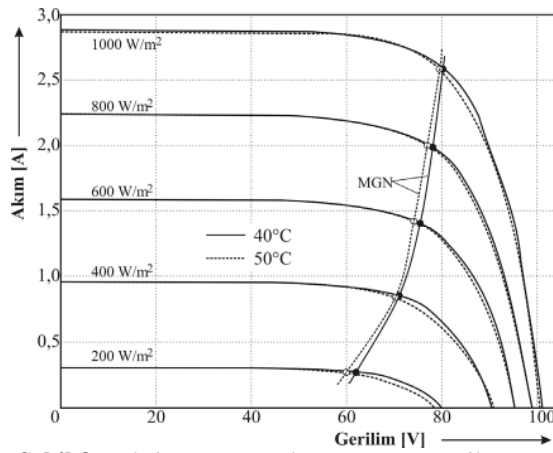
2. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ DEĞİŞİMİ

Fotovoltaik panellerin maksimum verimle ve maksimum çıkış gücü sağlayarak çalıştığı maksimum güç noktası, güneş ışınlarının panel yüzeyine yaptığı açıya ve panel sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla yükün çalışma noktası her zaman maksimum güç noktası fotovoltaik sistem maksimum güç noktası değildir. Beslenen yüke talep ettiği gücü sürekli olarak sağlayabilmek amacıyla fotovoltaik sistemler gerektiğinden daha fazla modül içerecek şekilde tasarlanırlar. Bu durumda sistem maliyeti oldukça yükselir, ayrıca önemli miktarda enerji kaybı yaşanır.

Bu problemin çözümü için maksimum güç noktası izleyicisi (MGNİ) olarak adlandırılan anahtarlamalı

güç konvertörü kullanılabilir. Böylece fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasında sürekli çalışması sağlanabilir. MGNİ fotovoltaik panelin gerilim ve akımını yükten bağımsız olarak kontrol ederek bu işlemi gerçekleştirmektedir. Doğru tasarlanmış bir MGNİ algoritması ve modelleme hesaplamaları ile maksimum güç noktasının yeri ve paneller tarafından izlenmesi gerçekleştirilebilir. Maksimum güç noktası güneş ışınımı miktarı ve az da olsa sıcaklıkla değişmektedir (Şekil 3) [5].

Bu çalışmada, maksimum güç noktasının belirlenmesi ve izlenmesi için kullanılan algoritma ve modeller üzerinde durulmaktadır. Literatürde sunulan sistemlerin ana prensipleri incelenerek birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajlarının neler olduğu üzerinde durulmuştur



Şekil 3 Maksimum güç noktasının ışınım miktarı ve sıcaklıkla değişimi

3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Yukarıda belirtildiği gibi bir fotovoltaik panelin maksimum güç noktasını bulmak ve takip etmek için literatürde çok sayıda strateji ve algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar en genel anlamda doğrudan ve dolaylı MGNİ sistemleri olmak üzere iki başlıkta toplanabilir.

3.1. Dolaylı (Indirect) MGN İzleyiciler

Bu tip MGNİ'ler maksimum güç noktasının basit kabuller ve ölçümler aracılığıyla bu noktadaki pil geriliminin hesaplanması prensibi ile çalışırlar. Bu sistemlerin uygulama açısından çeşitli tipleri mevcuttur. Bunlardan bazı örnekler aşağıda sıralanmıştır.

- Fotovoltaik panelin çalışma gerilimi mevsimlik olarak ayarlanabilir. Bu sistemde kış aylarında pil

ısının düşük olmasından dolayı daha yüksek MGN gerilimi ölçülmesi, yaz aylarında ise tersi bir durumun oluşması beklenebilir.

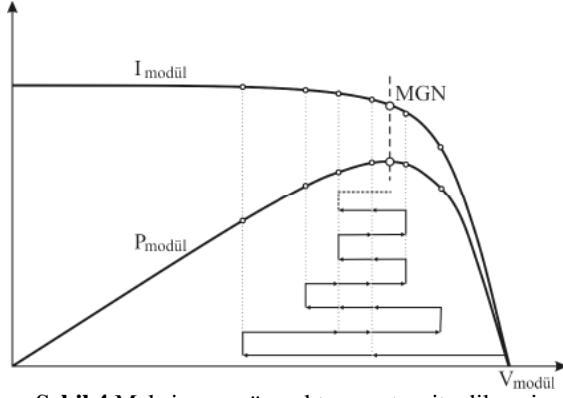
- Çalışma gerilimi modül sıcaklığına göre ayarlanabilir.
- Fotovoltaik pilin ani açık devre geriliminin belirli bir sabit sayıyla (örneğin silikon piller için 0,8 gibi) çarpılarak MGN gerilimi hesaplanabilir. Fotovoltaik panelin açık devre gerilimi periyodik olarak ölçülür. Bu işlem, yükün örneğin her 2 dakikada bir 1ms gibi çok kısa sürelerle devre dışına alınarak gerçekleştirilir.
- Bazı sistemlerde ise güneşin azimut ve yükseklik (altitude) açılarına göre tasarım yapılır. Fotovoltaik sistemin kurulacağı bölgenin coğrafi konumuna göre güneş açılarının değişimi bir veritabanına aktarılarak MGNİ'nin hareketi bu veri tabanındaki bilgilere göre şekillenir [6].

Yukarıda tanımlanan yöntemlerin avantajı çok basit yapıda olmalarıdır. Ancak sadece optimum çalışma noktası için bir tahmin sonucu verirler. Piller eskimesi veya kirlenmesinden dolayı oluşacak değişimlere duyarlı değildirler.

3.2. Doğrudan (Direct) MGN İzleyiciler

Bu sistemlerde, optimal çalışma noktası fotovoltaik panelden alınan akım, gerilim veya güç ölçümlerinde elde edilir. Bu nedenle zaman içerisinde çeşitli nedenlerle sistemin performansında meydana gelebilecek değişikliklerden etkilenerek daha doğru bir izleme yapabilirler. Bu tip sistemlerin uygulama örnekleri aşağıdaki temel prensipleri kullanılmaktadırlar.

- $I-V$ karakteristik eğrisinin bir bölümünün periyodik olarak taranması prensibi ile çalışır. MGNİ sistemlerinde, modülün çalışma gerilimi DC/DC konvertör tarafından verilen bir gerilim çerçevesi içerisinde maksimum modül gücü elde edilir ve çalışma noktası bu güce karşılık gelen gerilime ayarlanır. Pratikte, DC/DC konvertörün çıkış akımını ölçmek ve bu değeri en yüksek değere çıkarmak daha kolaydır. Bu yöntemle de istenen amaç gerçekleştirilmiş olur.
- İkinci yöntem, dilimize dağa tırmanma algoritması (mountain-climb algorithm) olarak çevrilebilir. Burada, çalışma gerilimi küçük adımlarla periyodik olarak değiştirilerek modül gücü veya akımındaki artış ölçülür. Böylece artış durduğu veya azalmaya başladığı nokta tespit edilerek ani çalışma noktası olarak kabul edilir (Şekil 4). Eğer güç veya akım, gerilimin her bir adım artışında artıyorsa, araştırma yönü ileriye, aksi halde geriye doğru sürdürülür. Bu yolla maksimum güç noktası bulunur ve çalışma noktası gerçek MGN civarında bir salınım yapar.



Şekil 4 Maksimum güç noktasının tespit edilmesi (mountain-climb algorithm)

MGNİ kullanılmadan tasarlanan sistemler için yukarıda sözü edilen enerji kayıpları, uygun eleman seçimi ve doğrudan MGN izleyici sistemlerinin kurulması ile çok küçük oranlarda tutulabilir. Ayrıca MGN noktasının belirlenmesi ve izlenmesiyle tüm sistem için optimum çalışma parametreleri de elde edilebilir. Örneğin, tipik bir güneş evi sisteminde batarya grubu öğleden önce tamamen şarj edilerek, fazla enerji miktarı çeşitli yüklerle dağıtılabilecektir. Güneş pili üreticileri veya bilim adamları genellikle MGN izleyiciler kullanılarak büyük bir enerji kazancı sağlanabileceğinin altını çizmektedirler.

Ayrıca maksimum güç noktasını takip ederek işlem yapan şarj kontrol ünitelerinin uygun DC/DC konvertörlerle kullanılmasının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Fotovoltaik panel ile batarya grubu arasındaki mesafenin uzun olması durumunda, panel gerilimi batarya geriliminden bir miktar yüksek seçilir. Böylece şarj akımı düşürülerek, iletkenler üzerindeki güç kaybı azaltılmış olur.
- Küçük güçlü uygulamalarda, PV modül seri bağlı çok sayıda küçük pil yerine, sadece bir kaç büyük pilden oluşturulur. Böylece üretim maliyetleri, pil uyumsuzluğunun etkileri ve kısmi gölgelenmeye karşı duyarlılığı azaltılmış olur.
- DC/DC konvertör vasıtasıyla daha kompleks şarj akımı profilleri gerçekleştirilebilir [7].

4. MGNİ ALGORİTMALARININ TANIMLANMASI

MGNİ sistemlerinin bir diğer sınıflandırma şekli de kullanılan kontrol teknikleri olabilir. Birçok MGNİ kontrol algoritmaları geliştirilmiştir. Ticari olarak fotovoltaik sistem pazarında en çok kullanılan algoritma hata gözlem (perturb&observe (P&O)) tekniğidir. Buna rağmen hangi algoritmanın en iyi sonucu verdiği konusunda oluşmuş bir görüş birliği yoktur. Bunun en önemli nedenlerinden biri de

literatürde MGNİ algoritmalarının verimlerini birbirleriyle karşılaştıran kapsamlı çalışmaların olmamasıdır. Yapılan çalışmaların çoğu bir MGNİ algoritması ile izleyici olmayan doğrudan bağlı sistemleri veya bir MGNİ algoritması ile sabit çalışma noktası için tasarlanmış bir konvertör sistemini karşılaştırmaktadır. Diğer karşılaştırma çalışmalarında ise algoritmalar arası karşılaştırma yapılmasına rağmen, bu karşılaştırmalar genellikle temel bir algoritma (genellikle hata gözlem algoritması) ile test koşulları altında tamamen optimize edilmiş parametreler içeren algoritmanın karşılaştırılması esasına dayanmaktadır.

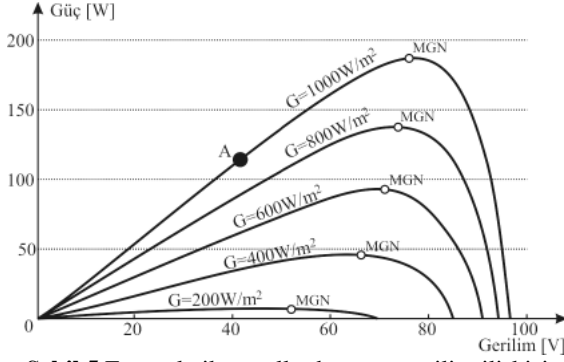
Bir MGNİ sisteminin verimi en önemli parametresidir. Bu verim,

$$\eta_{MGNİ} = \frac{\int_0^t P_{alınan}(t) dt}{\int_0^t P_{maks}(t) dt} \quad (6)$$

ifadesiyle elde edilir. Burada $P_{alınan}$ fotovoltaik panel tarafından MGNİ sistemi kullanılarak ölçülen gücü, P_{maks} ise belirli şartlar altında üretebileceği maksimum gücü göstermektedir. Bu çalışmada literatürde en çok karşılaşılan dört MGNİ algoritmasının tanımı yapılarak, verimleri açısından karşılaştırılmıştır.

4.1. Hata ve Gözlem (P&Q) Algoritması

P&Q algoritması uygulamadaki basitliği nedeniyle pratikte en çok kullanılan yaklaşımdır. Bu algoritmada fotovoltaik panelin $P-V$ karakteristiğinden faydalanılmaktadır. Bilindiği gibi, fotovoltaik panellerden üretilen güç gerilimin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Hata ve gözlem algoritmasında PV panelin çalışma geriliminde küçük bir artış gerçekleştirilerek, güçteki değişim miktarı (ΔP) ölçülür. ΔP değeri pozitif ise çalışma gerilimi tekrar artırılarak PV panel çalışma noktası maksimum güç noktasına yaklaştırılır. Böylece gerilimde küçük hatalar oluşturularak güçte meydana gelen hatanın işareti izlenir. **Şekil 5'**deki $P-V$ karakteristiğine sahip bir PV panelin $-A-$ noktasında çalıştığını kabul edecek olursak, yukarıdaki işlem tekrarlanarak çalışma noktası yukarıya doğru taşınmış olacaktır. MGN'dan sonra gerilimin artması durumunda ΔP 'in değişimi negatif olacağından gerilim artışı yönü değiştirilerek, sistemin maksimum güç noktasına en yakın noktaya getirilmesine çalışılır [8].



Şekil 5 Fotovoltaik panellerde güç – gerilim ilişkisi

P&Q algoritmasının en önemli avantajı basit ve uygulanmasının kolay olmasıdır. Ancak en önemli dezavantajı MGNİ verimini azaltıcı sınırlamalara sahip olmasıdır. Gün ışığının azaldığı durumlarda, örneğin Şekil 5'deki $G = 400W/m^2$ ve $G = 200W/m^2$ eğrilerinde bir yataylaşma olduğundan MGN'nin yerini tam olarak tespit etmek güçleşmektedir. Bunun nedeni gerilimdeki değişmelerin çok küçük güç hataları oluşturmasıdır. Bu yöntemin diğer bir temel olumsuzluğu da MGN'nin gerçek yerini tespit edememesidir. Bu yöntemde ancak çalışma noktasının MGN'na yakın bir bölgede salınım yapması sağlanabilmektedir. Bu salınım miktarını azaltmak amacıyla literatürde bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sisteme bir bekleme fonksiyonu eklenerek gerilim artışları arasındaki süre artırılarak salınım miktarı azaltılabilir. Ancak bu bekleme süresi sabit ışınım şartları altında başarılıdır. Hatta bu şartlar altında algoritmanın verimini de artırabilir. Ancak sisteme ilave edilen bekleme süresi atmosferik şartların değişimine verilen cevap süresini yavaşlatır ve özellikle parçalı bulutlu günlerde kararsız davranışları daha da kötüleştirir. Salınımı azaltıcı diğer bir yöntem, V_1 panel geriliminde ölçülen P_1 ve gerilimin V_2 değerine arttırılması durumunda ölçülen P_2 değerlerinden sonra gerilimin tekrar V_1 değerine indirilerek bu noktadaki P_1' değerinin elde edilmesidir. Eğer P_1 ve P_1' değerleri arasında fark oluşursa ortamdaki ışınım miktarında değişme olduğu sonucuna varılarak MGN'nin tekrar tespit edilmesi için algoritma çalışır. Eğer fark oluşmamışsa panelin çalışma noktası değiştirilmez. Ancak bu yöntemde örnekleme sayısının artması ile birlikte algoritmanın çalışma hızı yavaşlar. Ayrıca elde edilen iki değer arasındaki farka bakılarak algoritmanın gerilimi azaltıcı veya artırıcı yönde çalışmasına karar verilmesi gerekmektedir. Bu işlemler algoritmanın karmaşıklığını arttırmaktadır [5, 9].

4.2. Sabit Gerilim ve Akım Algoritması

Sabit gerilim (constant voltage (CV)) algoritması, Şekil 2'den de görüleceği gibi, maksimum güç noktasındaki gerilim ile açık devre gerilimi arasındaki oranın yaklaşık sabit olduğu esasına dayanmaktadır.

$$\frac{V_{max}}{V_{AD}} \cong K < 1 \quad (7)$$

olarak yazılabilir. CV algoritmasında güneş paneli geçici olarak MGNİ'den ayrılarak açık devre gerilimi ölçülür ve (7) denkleminde MGN gerilimi hesaplanır. Hesaplanan bu değere panel gerilimi ayarlanarak MGN'da çalışma sağlanmış olur. Bu işlem periyodik olarak tekrarlanarak MGN'nin pozisyonu sürekli takip edilir. Bu yöntemin oldukça basit olmasına rağmen, K sabitinin optimal değerini belirlemek zordur. Literatürde K değerinin %73-80 arasında değiştiği ortaya konulmuştur.

Sabit gerilim kontrolü analog donanımlarla kolayca gerçekleştirilebilir. Ancak, bu yöntemin MGN izleme verimi diğer algoritmalarla oranla daha düşüktür. Bunu nedeni daha önce belirtilen K sabitinin optimal değerinin elde edilme zorluğu ve daha da önemlisi açık devre geriliminin ölçülebilmesi için PV gücün ani olarak kesilmesini gerektirmesidir.

Sabit gerilim algoritması için yukarıda belirtilen yaklaşım aynı şekilde sabit akım (constant current (CC)) için de gerçekleştirilebilir. Sabit akım algoritmasında maksimum çalışma noktasındaki akım ile kısa devre akımı arasındaki oran kontrol edilerek işlem yapılır. Bu yöntemi gerçekleştirmek için PV panel çıkışına veya konvertör girişine konulan bir anahtar kullanılır. Bu anahtar ani olarak kapatılarak kısa devre akım değeri ölçülür ve K sabiti kullanılarak çalışma noktasındaki gerilim belirlenmiş olur. Bu işlem periyodik olarak tekrar edilir.

Doğal olarak, sabit gerilim yöntemi daha çok tercih edilmektedir. Çünkü gerilimi ölçmek akıma nazaran daha kolaydır. Ayrıca, paneli açık devre durumuna getirmek basit bir işlemdir. Panel uçlarını kısa devre etmek ise pratik olarak çoğu zaman mümkün olmayabilir [5].

4.3. Artan İletkenlik Algoritması

Artan iletkenlik algoritması fotovoltaik panel gücünün gerilime göre türevinin alınarak sıfıra eşitlenmesi esasına dayanır. Buna göre maksimum güç noktasında,

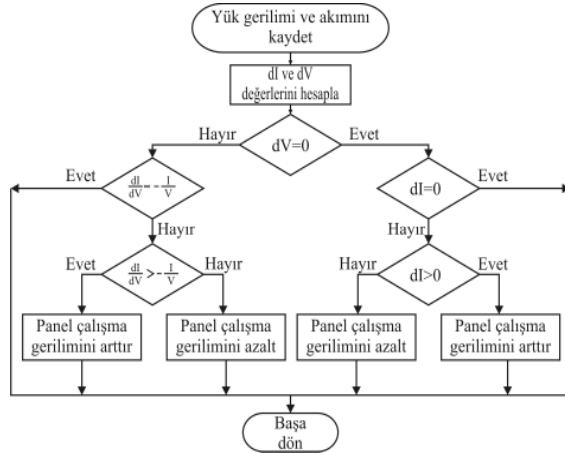
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V \cdot I)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \quad (8)$$

olmaktadır. (6) denkleminin yeniden düzenlenmesiyle;

$$-\frac{I}{V} = \frac{dI}{dV} \quad (9)$$

denklemin elde edilir. (9) denklemindeki $-I/V$ ifadesi fotovoltaik panelin ani iletkenlik değerinin tersini ifade etmektedir. Denklemin sağ tarafındaki ifade ise artan iletkenlik değeridir. Bu durumda maksimum güç noktasında bu iki değer birbirine eşit fakat zıt işaretli olması gerekir. Bu denklemin bir eşitsizlik olması halinde çalışma geriliminin MGN geriliminden düşük ya da yüksek olduğu anlaşılır. Artan iletkenlik algoritması akış diyagramı **Şekil 6**'da görülmektedir.

Artan iletkenlik metodu, hata ve gözlem metodundan farklı olarak, ne yönde bir gerilim değişimi yapması gerektiğini hesaplayabilmektedir. Ayrıca maksimum güç noktasına tam olarak ulaşıp ulaşılmadığını da tespit edebilmektedir. Böylece, hızla değişen şartlar altında dahi yanlış yönlü bir izleme dolayısıyla MGN etrafında bir salınım yapmazlar [5].



Şekil 6 Artan iletkenlik algoritması ile MGN belirleme işlemi akış diyagramı

4.4. Parazit Kapasite Algoritması

Parazit kapasite metodu, artan iletkenlik metodu ile benzerlikler göstermektedir. Ancak bu yöntemde, fotovoltaik pillerin $p-n$ birleşim bölgesinde oluşan yük birikimi sonucu ortaya çıkan "parazit birleşim kapasitesi" değerinin değişimi dikkate alınır. Bu kapasitenin çektiği $i(t) = C \frac{dV}{dt}$ akımı aydınlatılmış diyot denkleminde (1 no'lu denklem) eklenerek,

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT_c}} - 1 \right) + C \frac{dV}{dt} = F(V) + C \frac{dV}{dt} \quad (10)$$

denklemin elde edilmiş olur. Bu denklemin panel gerilimi ile çarpımının türevi alınırsa,

$$\frac{dF(V)}{dV} + C \left(\frac{V'}{V} + \frac{V''}{V'} \right) + \frac{F(V)}{V} = 0 \quad (11)$$

olur. Bu ifadedeki üç terim sırasıyla ani iletkenlik, parazit kapasite nedeniyle gerilimde oluşan titreşimleri ve artan iletkenlik değerlerini göstermektedir. Panel geriliminin birinci ve ikinci türevi konvertör tarafından üretilen A.C. titreşim bileşenlerini dikkate almaktadır. Bu ifadede kapasite değeri sıfır kabul edilirse, artan iletkenlik algoritması denklemin elde edilmektedir. Parazit kapasite algoritması modül içerisindeki her bir pile paralel bağlı bir kondansatör şeklinde modellendiğinden, pillerin paralel bağlanması MGN tarafından görülen kapasite miktarını arttıracaktır. Bu nedenle, parazit kapasite ve artan iletkenlik algoritmalarına göre tasarlanan MGN verimliliği arasındaki verim farkı çok sayıda pilin paralel bağlandığı yüksek güçlü fotovoltaik sistemlerde maksimum değerine ulaşır [5].

5. SONUÇ

Fotovoltaik sistemlerde kullanılan MGN algoritmaları sistemin elektriksel verimini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Maliyet optimizasyonu sonucunda sistem tasarımcısı tarafından MGN kullanımına karar verildikten sonra, seçilecek MGN'nin hangi algoritmayı kullanacağı önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, MGN algoritmalarının genel sınıflandırması ve en çok kullanılan algoritma tanımlamaları sunulmuştur. Hata ve gözlem, sabit akım ve gerilim, artan iletkenlik ve parazit kapasite algoritmalarının çalışma prensipleri üzerinde durulmuştur. Literatürde bu algoritmaların birbirleriyle karşılaştırıldığı çalışmalar çok fazla yer almamakla birlikte, çalışmalar sonucu ortaya konulan verim aralıkları ve diğer karşılaştırma kriterleri **Tablo 1**'de verilmiştir.

Tablo 1 MGNİ algoritmalarının çeşitli parametrelere göre karşılaştırılması [5, 10].

Karşılaştırma Parametreleri	MGNİ ALGORİTMALARI			
	Hata Gözlem	Sabit Gerilim	Artan İletkenlik	Parazit Kapasite
Verim	81,5 - 85	88 - 89,9	73 - 85	99,8
Panele Bağımlı Çalışma	Hayır	Evet	Hayır	Hayır
MGN'nın tam olarak tespiti	Evet	Hayır	Evet	Evet
Analog veya dijital kontrol	Her ikisi	Her ikisi	Dijital	Analog
Periyodik ayar gereksinimi	Hayır	Evet	Hayır	Hayır
Yaklaşma hızı	Değişken	Orta	Değişken	Hızlı
Uygulama karmaşıklığı	Düşük	Düşük	Orta	Düşük
Algılanan büyüklükler	Gerilim Akım	Gerilim	Gerilim Akım	Gerilim Akım

En yüksek verime sahip tasarım parazit kapasite algoritması olarak rapor edilmiştir. Ancak uygulamada en çok kullanılan tasarımlar, ticari olarak daha ekonomik ve basit yapılı olan, hata ve gözlem algoritmasına dayalı maksimum güç noktası izleyici sistemleridir.

KAYNAKLAR

- [1] Patel, M.R., *Wind and Solar Power Systems*, CRC Press, U.S.A, 1999.
- [2] Green, M.A., "Photovoltaics: Technology Overview", *Energy Policy*, Vol.28, p.989-998, 2000.
- [3] Messenger, R., Ventre J., *Photovoltaic System Engineering Chapter-3*, CRC Press LLC, pp.41-45, 2000.
- [4] Hansen, A.D., Sorensen, P., Hansen, L.H. and Bindner, H., *Models for a Stand-Alone PV System*, Danka Services International A/S, pp.9-10, 2001.
- [5] Hohm, D.P., Ropp, M.E., "Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms", *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, John Wiley and Sons, Ltd, pp.47-62, 2001.
- [6] Sungur, C., "Multi-Axes, Sun-Tracking System with PLC Control for Photovoltaic Panels in Turkey", *Renewable Energy*, Vol.34, pp.1119-1125, 2009.

- [7] Luque, A., Hegedus, S., *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Chapter-19*, John Wiley and Sons, Ltd, pp.871-873, 2003.
- [8] Yafaoui, A., Wu, B., Cheung, R., "Implementation of Maximum Power Point Tracking Algorithm for Residential Photovoltaic Systems", 2nd Canadian Solar Building Conference, 2007.
- [9] Nikraz, M., Dehbonei, H., Nayar, C., "A DSP Controlled Photovoltaic System with Maximum Power Point Tracking", url:<http://www.itee.uq.edu.au/~aupec/aupec03/papers/129%20Nikraz%20full%20paper.pdf>, 2009.
- [10] Esram, T., Chapman, P.L., "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol.22, No.2, pp.439-449, 2007.

FOTOVOLTAİK GÜÇ DESTEKLİ MİKRO SULAMA SİSTEMİ PROJESİ-1: GENEL ESASLAR

Ümran ATAY¹

Yusuf İŞİKER²

Bülent YEŞİLATA²

¹GAP Toprak Su Kaynakları ve Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Şanlıurfa

²Harran Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, Osmanbey Kampüsü, 63000 Merkez, Şanlıurfa.
umranatay@hotmail.com¹, yusuf47@harran.edu.tr², byesilata@harran.edu.tr²

ÖZET

Bu çalışmada; Şanlıurfa ilinin yüksek güneş enerjisi potansiyelinden yararlanmak amacıyla fotovoltaik (PV) güçle çalışan bir mikro (damla) sulama sistemi (MSS) kurulumu önerilmektedir. Fırçasız doğru akımlı (DC) pompa kullanılan PV-MSS sistemi, belirlenmiş bir alanda, yörede yetiştirilen yerli biberin sulama gereksinimine yönelik olarak boyutlandırılmış olup, tarla etkinliği deneysel olarak araştırılmaktadır. Ayrıca kullanılan DC pompanın, klasik alternatif akım (AC) pompalarla teknik ve ekonomik açıdan deneysel kıyaslamasının yapılması da hedeflenmektedir. Kıyaslama için aynı boyutlarda, aynı toprak ve bitki desenine sahip iki arazi seçilmiştir. Her iki pompa, aynı dizilime sahip mikro sulama hattına bağlı olup, aynı debide sulama yapılacaktır. Her iki pompa ile ilgili ölçülen deneysel veriler kullanılarak; tarla etkinlikleri ve sistem performansları, teknik ve ekonomik yönlerden araştırılacaktır. Çalışma sonunda gerçek tarla koşullarında elde edilmiş sonuçlar kullanılarak yöredeki çiftçilerin doğru bir şekilde yönlendirilmesi mümkün olabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Pil, Güneş enerjisi, Sulama pompaları

1. GİRİŞ

Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP), sahip olduğu kaynaklar ve hedefleri açısından dünyadaki önemli projelerden birisidir. Son yıllarda GAP Bölgesinde, yoksulluğu azaltmak, sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla özellikle enerji ve sulama olmak üzere fiziksel yatırımlar alanında yoğunlaşmıştır. Ancak sulanmayan alanlarda gelir yeterince artmamakta, yoksulluk sorunu sulanan alanlar dahil olmak üzere önemli bir problem olmayı devam ettirmektedir. GAP Bölgesi'nin sulamaya açılacak alanlarında önemli bir gelir artışı gerçekleşeceği açıktır. Bu durum sulama dışı alanlarda yaşayanlarla, sulamadan yararlananlar arasında birinci grup aleyhine bir gelir düzeyi farklılaşmasının ortaya çıkmasına neden olacaktır. Bu farkı ortadan kaldırmak, kırsal alandaki verimliliği ve istihdam imkanlarını artırmak amacıyla, güneş enerjisi ile çalışan fotovoltaik (PV) pompaların kullanılması en iyi seçeneklerden biri olarak gözükmektedir.

Türkiye'de tarımsal sulama; elektrik, mazot veya petrol gibi konvansiyonel enerji kaynakları ile çalışan su pompaları kullanılarak yapılmaktadır. Elektrik olmayan veya elektrik götürülmesi güç ve pahalı olan tarımsal alanlarda, mazot ve petrol pompaları kullanılmaktadır. Bu tip sistemler daimi günlük bakım isterler ve ancak suyu bol olan yerlere değil, ulaşımı kolay olan yerlere kurulabilirler. Güneş enerjisi ile çalışan su pompası sistemleri ise günlük bakım istemedikleri gibi arzu edilen herhangi bir yerde, bol güneş olması şartı ile kurulabilirler. Bu tip pompaların ilk kuruluş masrafları yüksek olmasına rağmen, işletme ve bakım masrafları çok düşüktür. Bu nedenle,

özellikle güneş ışınım potansiyeli yüksek yerlerde çok kısa sürede daha ekonomik duruma geçerler.

GAP Bölgesinde, baraj ve sulama projeleri vasıtasıyla sulamaya binlerce dönüm arazi açılmış olup, bu rakamın daha da büyümesi söz konusudur. Ülkemizin en büyük yatırım projesi olan GAP projesi kapsamında bulunan sulama alanlarında yeni enerji hatları oluşturulması gerekecek ve elektrik enerjisindeki cömertçe kullanımın ülkemize gittikçe artan yükler getirmesine sebep olacaktır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kırsal alanda, az nüfuslu çok sayıda birimden oluşmuş yaygın ve dağınık bir yerleşme düzeni egemendir. Bu yerleşimlere kamu hizmetlerinin götürülmesinde zorluklar yaşandığı gibi, bu hizmetleri götürmenin maliyeti de yüksek olmaktadır. Bölgenin başta gelen sorunları arasında, sağlık, temizlik, su temini gibi sorunlar bulunmaktadır. Bu anlamda enerji ile ilgili birçok toplumsal hizmetlerin yerine getirilmesinde güneş enerjisinden yararlanılması mümkündür (GAP Master Planı, 2008). Fotovoltaik güç destekli sulama uygulamaları bu kapsamda ön sıralarda gelen uygulamalar arasındadır.

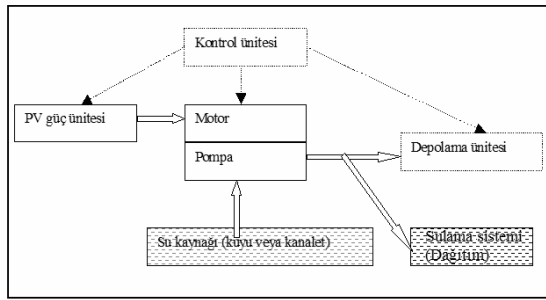
Belirtilen nedenlerle, bu çalışmada; Şanlıurfa ilinin yüksek güneş enerjisi potansiyelinden tarımsal uygulamalarda yararlanmak amacıyla fotovoltaik (PV) güçle çalışan bir mikro sulama sistemi (MSS) projesi önerilmekte ve bu projenin tasarımına yönelik bilgiler sunulmaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

PV su pompalama sistemleri genel olarak diğer pompalama sistemlerine benzemekle birlikte çalışma verimlerini ve kararlılığını arttırmak açısından bazı ilave kontrol ve depolama ünitelerine ihtiyaç duyulabilir. Böyle bir sistemin elemanlarına



ait blok diyagramı Şekil 1’ de gösterilmiştir. PV destekli sulama sisteminin oluşturulması için minimum gerekli elemanlar; PV panel, pompa ve motordur. PV pompa sistemleri için diğer su sirkülasyon sistemlerinde olduğu gibi farklı boyut ve özelliklerde pompa kullanımı mümkün olup uygulamada bu pompaları merkezkaç ya da pistonlu olmak üzere iki temel kategoride toplamak mümkündür. Her iki kategorideki pompalar ayrıca suya daldırılabilir (dalğış tipi) ya da daldırılmaz olma (yüzey tipi) konumuna göre sınıflandırılabilir. Uygulamanın türüne, günlük su ihtiyacı ve pompa hidrolik kayıplarına bağlı olarak seçilen pompa tipini, PV sistemlere özel olmak üzere, akuple olduğu motorun alternatif akım (AC) ya da doğru akım (DC) kaynaklı olması da etkiler (Yeşilata ve Aktacir, 2001).



Şekil 1. PV- su pompalama sistemi kontrol şeması

Sistemde kontrol ünitesi; uygulamanın niteliğine bağlı olarak, PV panel güneş izleyici düzeneği, pompa yük düzenleyicileri, su seviye sensörleri içerebilir. Pompa yük düzenleyicileri, çevre sıcaklığı ve güneş ışınım şiddetiyle değişen PV panel güç çıkışı ile pompa yükü arasında optimum uyumun sağlanmasında kullanılırlar. Uygulamada, sabit voltaj izleyicileri (CVT) ve lineer akım güçlendiricileri (LCB) gibi bazı elektronik kontrol üniteleri bulunmakla birlikte; maksimum güç noktası izleyicileri (MPPT) olarak bilinen ve panellerden çekilen DC yükü maksimize eden üniteler yaygın olarak kullanılmaktadır. Depolama ünitesine duyulan ihtiyaç güneşin bulunmadığı anlarda su dağıtımını temin içindir. Depolama ünitesi için; üretilen elektrik enerjisinin bir batarya ünitesine aktarımı ya da pompalanan suyun yüksek bir depoda toplanması olmak üzere iki farklı seçenek mevcuttur (Yeşilata ve Aktacir, 2001).

Uluslararası literatürde PV sulama sistemlerinin optimizasyonuna yönelik çok sayıda çalışma mevcuttur. Ülkemizde özellikle son yıllarda bu kapsamda yapılan çalışmalarda bir artış söz konusudur. Gençoğlu ve ark. (2000), Doğu Anadolu Bölgesindeki güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek amacıyla, küçük güçlü tüketicilerin beslenmesinde fotovoltaik sistemlerin kullanılması incelenmiştir. Bu sistemlerin besleme sürekliliği açısından problem olması ihtimaline karşı PLC

yardımla kontrol edilen yedek enerji kaynaklarından yararlanılmasını amaçlamışlardır. Ayrıca bölgede fotovoltaik bir kaynaktan beslenen su pompalama sistemlerinin kullanım imkânları araştırılarak, bu konuda bilgi birikiminin sağlanmasını hedeflemişlerdir.

Yeşilata ve Aktacir (2001), çalışmalarında fotovoltaik (PV) güç sistemli su pompalarının dizayn esasları incelenmiş ve sistem bileşenlerinin kolaylıkla seçimine katkıda bulunacak bir yöntem takip edilerek tasarım grafikleri (abakları) oluşturulmuştur. Bu grafikler yardımıyla sistem için gerekli fotovoltaik güneş paneli seçimi pratik olarak yapılabileceğini belirlemişlerdir. Yeşilata ve Aktacir (2001), çalışmalarında şu şekilde DC/AC dönüştürücüsünü tanımlamışlardır; “Fotovoltaik paneller doğru akım kaynaklarıdır. Bu nedenle PV sistemlerin ürettiği elektrik enerjisi doğru akım (DC) ile çalışan cihazlara direkt olarak uygulanmasına karşın, günlük hayatta kullandığımız birçok cihaz alternatif akım (AC) ile çalışmaktadır. Bu durumda PV sistem ile cihaz arasında bir DC/AC dönüştürücü (inverter) gereklidir. İnverter kullanımının, sistem performansını ve güvenilirliğini azaltması dışında maliyetin yükselmesine sebep olması gibi dezavantajları söz konusudur.”

Kavlak ve Güngör (2006), çalışmalarında mazotlu pompa yerine fotovoltaik pillerle bir su pompalama sistemi uygulanıyor olsa daha temiz ve daha ekonomik yollar ile sulama işlemi yapılabilir olduğunu belirtmişlerdir. Işıker ve ark. (2006), çalışmalarında panel yüzey sıcaklığı, panel eğim açısı ve elektriksel yüke ait direnç değerinin, PV panel güç çıktısı üzerindeki etkisi; teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. PV panel yüzeyi üzerine gelen günlük toplam ışınım şiddetini optimize etmek amacıyla yaptıkları hesaplamalardan, panellerin optimum aylık eğim açılarında yerleştirilmesi en uygun çözüm olarak gözlemlemişlerdir.

Dursun ve Saygın (2006), çalışmalarında güneş enerjisi ile çalışan 300W gücündeki 3 fazlı 12/8 kutuplu bir anahtarlamalı relüktans motor için boost konvertör tasarlamışlardır. Tasarladıkları konvertörü, sistemden maksimum verim elde etmek amacıyla kullanılmışlardır. Bu sürücü sistemi sulama sistemindeki santrifuj su pompasının sürülmesinde kullanılmışlardır. Ayrıca, tasarlanan sürme sistemi ile ilk hareket anındaki darbe akımları önlemişlerdir. Sürücü sisteminde düşük maliyetli ve yeterli performansa sahip bulunan PIC16F877 mikro denetleyicisi kullanmışlardır.

Yeşilata ve ark. (2006), çalışmalarında küçük ölçekte su teminine yönelik direkt-akupleli prototip bir PV panel dalğış pompa sistemi deneysel olarak analiz etmişlerdir. Sistemin günlük çalışması sırasında etkili olan parametrelerin anlık ve ortalama değerler bazında değişimlerine ait ölçüm sonuçları sunmuşlardır. Elde edilen sonuçlar, dinamik çevre koşullarının PV panele ait parametrelerin anlık değerlerinde büyük dalgalanmalara sebep olduğunu,

pompa debisindeki dalgalanma ise çok düşük seviyelerde kalmakta olduğunu ve PV panel çalışma parametreleri ile pompalanan su debisi arasında lineer olmayan bir ilişki mevcut olduğunu gözlemiştir. Deneysel sonuçlar kullanılan prototip sistem için geçerli olmakla birlikte, sistem tasarım ve kullanıcılarının göz önüne alması gereken noktalar şu şekilde sıralanmıştır:

- Dinamik atmosfer koşulları nedeniyle, temel sistem parametrelerinin anlık değerlerinde önemli dalgalanmalar beklenmelidir,

- Güneş ışınım değeri, PV panel akımını doğru orantılı; panel sıcaklığı ise voltaj değerini ters orantılı olacak şekilde ciddi seviyede etkilenmektedir,

- Anlık değerlerdeki önemli dalgalanmalara karşılık, pompalanan ortalama su debisindeki değişim nispeten düşük olmaktadır,

- PV panel parametrelerinin sadece biri kullanılarak, debi tahmini yapmak gerektiğinde, en uygun parametrenin panel çıkış gücü olduğunu ve bu durumda bile hesaplamalarda önemli sapmalar olacağını önceden dikkate alınması gereklidir,

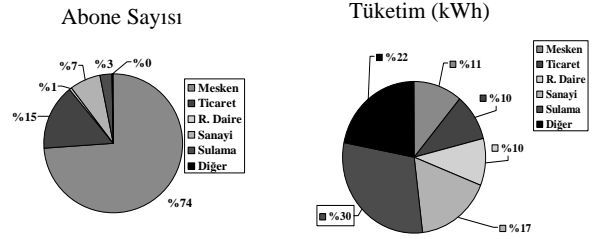
- PV-pompa sisteminin ilk yatırım maliyetinin yüksek, sistem toplam veriminin (sağlanan hidrolik güç/gelen güneş ışınım gücü) ise düşük seviyelerdedir.

İnternet araştırması sonucu; GAP Bölgesinde PV destekli pompa ile gerçek arazi koşullarında sulama uygulamasına yönelik araştırma(http://www.dicle.edu.tr/fakulte/ziraat/dosyalar/hb_kasim_2009.pdf) ya da planlama (<http://teknoloji.haber.pro/haber-Tarlalar-gunes-enerjisiyle-sulanacak-6424.html>) safhasında olan yeni projelerin bulunduğu belirlenmiştir. Söz konusu bu projelerin tasarım ve hedefleri tamamen farklı olduğu gibi, bu çalışmada sunulan projenin de genel çerçevesi tamamen farklıdır.

3. GEREKÇE VE AMAÇLAR

Sulama uygulamalarında tüketilen elektrik enerjisi tarıma dayalı ekonomik yapısı bulunan ülkemizin genelinde çok ciddi seviyelerdedir. Ancak; tarım uygulamalarının daha yoğun olduğu GAP Bölgesinde sulama amaçlı tüketilen elektrik enerjisinin toplam tüketim içerisindeki payı, şehir merkezlerinde bile %20 ile %40 seviyeleri arasındadır. Bu duruma örnek teşkil etmesi nedeniyle, Şanlıurfa il merkezinde tipik bir yıla ait elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere dağılımı aşağıdaki Şekil 2 'de gösterilmiştir (Yeşilata ve Aktacir 2001). Grafiklerden görüleceği üzere sulama uygulamaları için kayıtlı abone sayısı toplam abone sayısının sadece %3' ünü oluşturmasına karşın; bu amaçla tüketilen enerji, toplam tüketimin %30' unu oluşturmaktadır. Bu pay GAP projesinin bünyesinde bulunan diğer bazı illerde daha yüksek olup, ilçelerde %50' nin üzerine çıkabilmektedir. Projenin tam devreye girmesiyle bu oran ciddi seviyede artacağından, PV destekli

sulama uygulamaları gelecekte potansiyel enerji krizi tehlikesine karşı atılmış isabetli bir adım olacaktır. (Yeşilata ve Aktacir 2001).



Şekil 2. Şanlıurfa il merkezinde tipik bir yıla ait elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere dağılımı

Diğer taraftan, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından yapılan çalışmaya göre; Türkiye'nin en fazla güneş ışınımı alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bölgenin merkezi konumunda bulunan Şanlıurfa iline ait toplam ışınım şiddeti ve toplam güneşlenme süresi değerleri ülke ortalamasının çok üzerindedir. Şanlıurfa ili için belirlenmiş bu verilerin ülke ortalamaları ile kıyaslaması Şekil 3'de gösterilmiş olup, bu durum PV sulama uygulamaları açısından yöreyi oldukça avantajlı kılmaktadır.

Yukarıda belirtilen gerekçeler doğrultusunda mevcut proje için belirlenen başlıca amaçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Fosil yakıtların (petrol vb.) sınırsız bir kaynak olmadığı gerçeği bilindiği için ve elektrik enerjisinin yüksek maliyetli olmasından dolayı ucuz ve kolay enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisini fotovoltaik pil sistemi vasıtası ile sulamada kullanılabilirliğini araştırmak,

- Fotovoltaik sulama sistem ile klasik sulama sistemlerindeki kurulum maliyetiyle işletme maliyeti farklarını araştırarak uzun vade de ekonomik olan sistemi tespit etmek,

- Tarımsal sulamanın, klasik enerji kaynakları ile çalışan sulama pompaları kullanılarak yapılabilmesi yanında; fotovoltaik pillerle çalışan sulama pompalarıyla da yapılabileceğini yöre çiftçisine göstermek ve çiftçilerin tarla ortamında sistemleri ve aralarındaki farkı kolaylıkla gözlemleyebileceği bir ortam hazırlayarak, yörede yaygınlaştırılması yönünde bilinçli bir kullanıcı zinciri oluşturmak,

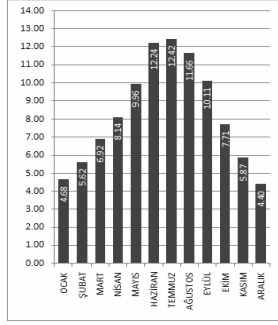
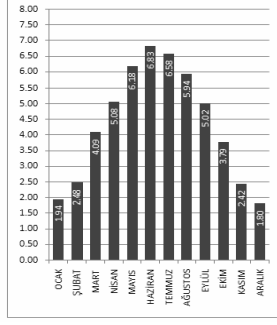
- Yörede elektrik kesintilerinden kaynaklanan sulama problemlerini en aza indirmek,

- Sulanması güç sahalarda bile sulama imkânı yaratılarak sulanan alanların artırılmasına katkı sağlamak,

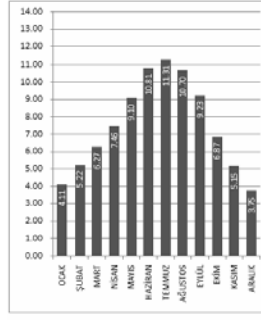
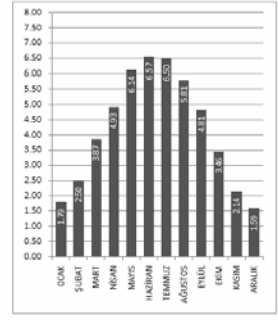
- Alternatif enerji kaynaklarını kullanarak ekosistemin sürdürülebilirliğine katkıda bulunmak,

- GAP Bölgesindeki araştırmalar açısından; yenilenebilir enerji gibi güncel ve önemli bir konuda yeni projelerin üretilebileceği bir bilgi ve cihaz altyapısı oluşturmak.

Ş.URFA İLİ GÜNEŞLENME SÜRESİ DEĞERLERİ (Saat)

Ş.URFA İLİ GLOBAL RADYASYON DEĞERLERİ (KWH/m²-gün)

TÜRKİYE GÜNEŞLENME SÜRESİ DEĞERLERİ (saat)

TÜRKİYE GLOBAL RADYASYON DEĞERLERİ (KWH/m²-gün)

Şekil 3. Şanlıurfa ili güneş enerjisi potansiyelinin ülke ortalaması ile kıyaslanması;

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1.Sulanacak Arazi Yapısı ve Özellikleri

Araştırma Harran Ovası içinde bulunan Şanlıurfa GAP Toprak-Su Kaynakları ve Tarımsal Araştırma Enstitüsünün Koruklu Talat Demirören Araştırma İstasyonu arazisinde yürütülecektir. Bu İstasyon Şanlıurfa-Akçakale yolunun 31. km'sinde kurulu 36 ° 42' kuzey enlemi 38° 58' doğu boylamında olup, denizden yüksekliği 410 m' dir (KHŞAEM., 2002). Koruklu deneme istasyonunda yıllık ortalama yağış 365.2 mm' dir. Yıllık ortalama sıcaklık 17.2 °C'dir. En yüksek ve en düşük sıcaklık ise sırasıyla 46.8 °C ve -16.8 °C olarak saptanmıştır. İlk don en erken 30 Ekimde, son don ise en geç 17 Nisan'da görülmüştür. 23 yıllık rasat sonuçlarına göre, ortalama nisbi nem % 51'dir. Nisbi nem en yüksek Ocak ayında % 69 oranında ve temmuz ayında da en düşük değer olan % 33 seviyesine inmektedir (KHŞAEM., 2002).

Şanlıurfa ili tarım alanlarında 6 değişik büyük toprak grubu vardır. Bunlar içerisinde geniş alan kaplayanlar sırasıyla kırmızı kahverengi topraklar (1 236 366 ha.), bazaltik topraklar (431 218 ha.), kahverengi topraklar (167 325 ha.) dır. Ayrıca il tarım alanları içerisinde kollüviyal topraklar, kahverengi orman toprakları ve allüviyal topraklar da yer almaktadır (Topraksu, 1971). Araştırmanın yürütüleceği yerde, kırmızı kahverengi büyük toprak grubu hakimdir. Araştırma, Harran Ovası kırmızı kahverengi toprak grubunda yaygın olarak yer alan Harran serisinde yapılacaktır. Anılan seri toprakları alüviyal ana materyalli düz ve düze yakın eğimli derin topraklardır. Tipik kırmızı renkli profilleri killi tekstürlüdür. Üst toprak orta köşeli blok, sonra granüler; alt toprak kuvvetli iri prizmatik sonra kuvvetli orta köşeli blok yapıdadır. Aşağılara doğru artan yoğunlukta sekonder kireç ceplerini içermektedir. Kayma yüzeyleri B horizonunda başlayıp, aşağıya doğru belirginliği artmaktadır. Tüm profil çok kireçlidir, seri topraklarının organik madde içeriği düşük, KDK' ları yüksektir. Organik madde yüzeyden aşağılara doğru azalmakta %0,9–0,3 arasında değişmektedir. KDK kil içeriğine bağlı

olarak alt katmanlara doğru artmaktadır (Dinç ve Ark, 1988).Şanlıurfa ili genellikle zengin bitki deseni tarıma uygun bir yapı göstermesine rağmen, bu durum tam oturmamıştır. Bölgenin kuru tarım yapılan kısımlarında genellikle buğday, mercimek ve susam yetiştirilmekte, ayrıca Antepfıstığı ve bağ tesislerine yer yer rastlanmaktadır. Sulu tarım yapılan bölgelerde pamuk, sebze meyve, yonca ve ikinci ürün yerli mısır yetiştirilmektedir.

4.2. Mikro Sulama Sistemi Bileşenleri ve Ölçüm Cihazları

Bu çalışmada biri PV destekli DC pompa, diğeri şebeke hattına bağlı AC pompa olmak üzere iki farklı pompa kullanılmakta olup, her bir pompa aynı tasarıma sahip birer mikro sulama sistemi girişine bağlıdır. Her iki sisteme ait bileşenler, Şekil 4'te gösterilmiştir. Pompalar eşit alanları sulayacağından, aynı su debisinde çalıştırılmaktadır. Pompalardan çıkan suyun miktarını ölçmek için hemen pompa çıkışlarında birer debi sayacı (elektromanyetik debimetre) bulunmaktadır. Çıkış basıncını ölçmek için ise manometre kullanılmaktadır.

Şekil 4(a)' daki PV-MSS şebekesinde PV paneller yüzeylerine gelen güneş ışığını, doğrudan DC akımlı elektrik enerjisine dönüştürür ve fırçasız DC motoru tahrik ederek, pompa çalıştırılır. Sistemde bulunan bataryalar fazla enerjiyi depolayarak, güneş ışımının yetersiz olduğu ya da hiç olmadığı zamanlarda pompanın çalıştırılmasında kullanılır. Pompa ile MSS arasındaki bağlantı boruları üzerinde debi sayacı ve manometre dışında, gübre ve ilaç ilavesi için gübre tankı ve suya karışması muhtemel kum, çakıl vb. yabancı maddeleri ayırmak için bir filtre bulunmaktadır. Şekil 4(b)' deki AC-MSS şebekesinde en önemli fark; PV panel ve kontrol elemanları yerine, şebeke enerji hattı ve elektrik sayacı bulunmasıdır. Bu sayede, şebekeden sulama için çekilen enerji ölçülebilecek ve işletme masrafları bulunabilecektir.

Yukarıda belirtilen sistemlerde; ilk yatırım masrafları yanında; işletme ve bakım masraflarını tespit etmek, her iki sistemin sulama anlarındaki gerçek performansını belirlemek için birçok farklı

parametre ölçülmektedir. Bu amaçla kullanılan diğer cihazlar ve kullanım amaçları şunlardır:

- Piranometre: Anlık güneş ışınım değerleri ölçümü için
- Datalogger: Anlık DC akım, DC volt ve panel sıcaklık değerleri ölçümü için
- Dijital Kronometre: Sulama zamanını ölçme ve kayıt için.
- Voltmetre ve Pensampermetre: anlık AC volt ve AC akım ölçmek için.
- Elektrik sayacı: Harcanan elektrik enerjisini ölçmek için (kWh),
- Elektromanyetik Debimetre: Anlık geçen debiyi ölçmek için.

4.3. Yöntem ve Sistem Kurulumu

Dinamik atmosfer koşullarının, PV su pompasına ait çalışma parametreleri üzerinde etkisini belirlemek amacıyla, sulama dönemlerinde Datalogger ve piranometre ile ışınım şiddeti, akım, gelirim ve sıcaklık parametrelerinin anlık değerleri belirli aralıklarla direk olarak ölçülecektir. Elde edilen suyun debisi ise sulama döneminde istenilen zaman aralıklarında elektromanyetik debimetre ile ölçülerek, bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. PV-MSS'de işletme sırasında hiçbir masrafa ihtiyaç duyulmamaktadır. Sadece kurulum masrafları vardır. Bu yüzden ekonomik açıdan karşılaştırma yaparken maliyet masraflarına bakılarak karşılaştırma yapılacaktır. Ayrıca bu sistemde aküler çıkartılarak, güneş ışınımının gün boyu değişmesine paralel olarak panel üretkenliğinin ve pompa debisinin zamana göre değişiminin ölçümü de yapılacaktır.

AC-MSS'de şebekeden çekilen elektrik enerjisi ile su pompasına ait çalışma parametreleri üzerinde etkisini belirlemek amacıyla sulama dönemlerinde Alternatif akım (AC) ve gelirim parametrelerinin anlık değerleri belirli aralıklarla direkt olarak ölçülebilmektedir. Su debisinin ölçüm şekli diğer sistemle aynıdır. Ayrıca harcanan elektrik enerjisi bir elektrik sayacı vasıtasıyla

belirlenerek, yürürlükteki kWh birim fiyatı vasıtasıyla sistemde harcanan elektrik miktarının fiyatı tespit edilecektir.

Test bitkisi olarak yetiştirilecek olan yerli biberin deneme parselleri 2 adet olacaktır. Ekimden önce kulaklı pulluk ve kültivatörle toprak işleme yapıldıktan sonra rototiller ile kesekler parçalanarak üzerinden tapan geçirilip ekime hazır hale getirilecektir. Biber tohumları nisan ayının ilk haftası civarında yastıklara ekilecek daha sonra mayıs ayı başlarında sıra araları 70 cm, sıra üzeri 40 cm olacak şekilde tarlaya dikilecektir. Her bir parselde aynı çeşit ve özellikte yerli biber ekilecek olup tüm yetiştirme şartları eşit olacaktır. Her parsel 25 m uzunluğunda, 11.20 m genişliğinde ve 16 sıradan oluşacaktır.

İhtiyaç duyulan debiyi hesaplamak için öncelikle parsel alanından ($25 \text{ m} \times 11,2 \text{ m} = 280 \text{ m}^2$) yola çıkılmıştır. Daha sonra bir damlatıcının saatlik debisi (2 L/h) seçilerek yapılan hesaplamalar sonucunda;

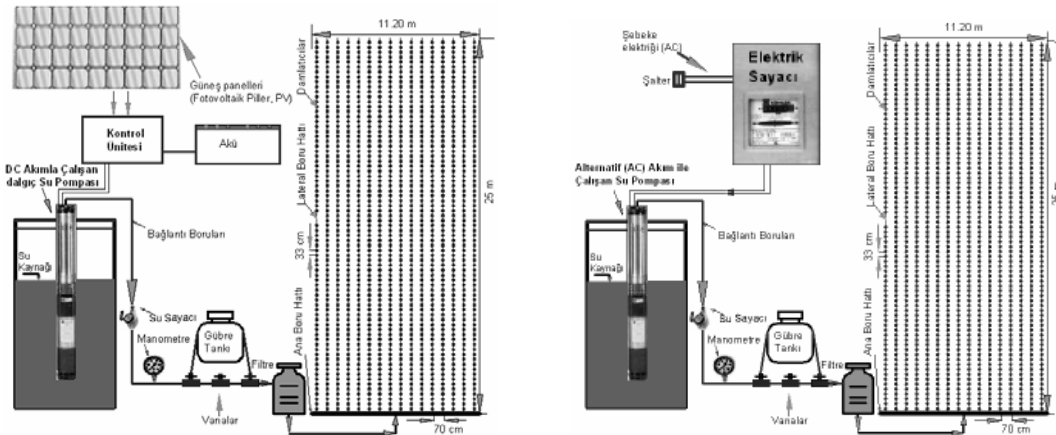
Lateral boru hatları sayısı= Parsel genişliği / sıra arası mesafe= $11,2/0,70=16$ adet sıra

Bir sıradaki damlatıcı sayısı = Parsel uzunluğu/ Damlacıklar arası mesafe = $25 / 0,33 = 75$ Adet

Bir lateral boru hattı için gerekli debi = damlatıcı sayısı x bir damlatıcı debisi= $75 \times 2=150 \text{ L/h}$

Toplam gerekli su debisi= Lateral boru hatları sayısı x Bir hat için gerekli debi= 2400 L/h

Bu veriler ışığında her bir sistem için gerekli pompa debisi en az 2.4 ton/h olmaktadır. Ancak, güneş ışınımındaki günlük değişken davranış göz önüne alınarak, yaklaşık %25 seviyesinde bir emniyet katsayısı uygulanmıştır. Bu şartlarda ortalama debi için 3 ton/h değeri seçilmiştir. Su kaynağı ile dağıtım hattı arası mesafe ve toplam boru sürtünme kayıpları hesaplandıktan sonra pompa seçimi ve PV panel seçimleri yapılmıştır. Arazide kurulan PV-pompalama sistemi elemanlarına yönelik görüntüler Şekil 5 'de gösterilmiştir.



Şekil 4. (a) PV-MSS şebekesi, (b) AC-MSS şebekesi



Şekil 5. PV-pompalama sistemi elemanları

5. SONUÇ

Fotovoltaik hücreler (PV hücreler) gürültüsüz, çevreyi kirletmeden, herhangi bir hareket eden mekanizmaya ihtiyaç duymadan güneş enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. PV sistemleri; evlerimizde kullanılan güneşli su kadar yaygınlaştırmada en önemli engellerden biri maliyet olmakla birlikte, bu çalışmada önerilen sulama sistemlerinde kullanımı oldukça kullanışlı ve avantajlı olarak görülmektedir. Bu proje çalışmasında, kurulumu tamamlanan PV-MSS uygulamasına yönelik çok kapsamlı teknik ve ekonomik parametre incelenecek olup, bu tür sistemlerin bölgede doğru bileşenlerle seçimine ve doğru yöntemlerle işletilmesine yönelik önemli bir bilgi ve deney altyapısı oluşacaktır.

Bu sayede, çiftçilere sağlanması gerekli devlet desteğinin teknik ve ekonomik boyutu belirlenebilecektir. Teşvikle ilgili kurumsal mekanizmalara, bu çalışmanın sonuçları yol gösterici olabilecektir. Devlet desteği ile yaygınlaşma hızı artacağından, kurulum maliyeti de azalacaktır. Elde edilecek sonuçların çiftçiler tarafından bilinmesi, uygulamaya aktarılması güneş pillerinin yaygınlaşmasında çok büyük önem arz etmektedir. Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kullanımlarına ülke enerji politikalarında yer verilmesi, enerji dış alımlarını azaltabileceği gibi fosil yakıtlardan kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılmasını da sağlayacaktır. Tuzluluk ve çoraklaşma sorununa çözüm olacak mikro sulama yönteminin bu sistemlerde kullanılması ile çiftçilere örnek teşkil edecek ve böylece yaygınlaşarak, tuzluluk ve çoraklaşma sorunlarının azaltılmasına katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- DİNÇ, U., ŞENOL, S., SAYIN, M., KAPUR, S. ve GÜZEL, N. 1988. Güneydoğu anadolu bölgesi toprakları (GAT) Harran ovası. TÜBİTAK-TOAG GÜdümlü Araştırma Projesi Kesin Raporu Toag-534, Adana.
- DURSUN M., SAYGIN A., 2006. Güneş Enerjisi İle Çalışan Bir Sulama Sistemi İçin Boost

Konvertörlü Anahtarlamalı Relüktans Motor Sürücüsü, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 22(1-2) 57-65. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü, ANKARA

- Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE), Resmi internet sayfası, www.eie.gov.tr, erişim: Ocak 2008
- GAP Master Planı, 2008. Gaziantep Valiliği, Gaziantep.
- GENÇOĞLU, M.T., CEBECİ, M., GÜNEŞ, M., 2000. Güneş Enerjisi İle Çalışan PLC Kontrollü Su Pompası Sistem Tasarımı, III.
- İŞİKER, Y., YESİLATA, B., ve BULUT H., 2006. Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi Bildiriler Kitabı, sy. 150-155, Eskişehir.
- KAVLAK, İ. ve GÜNGÖR H., 2006. Fotovoltaik Piller ve Fotovoltaik Pillerin Tarımsal Sulamada Kullanılması I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi Bildiriler Kitabı, sy. 22-29, Eskişehir.
- KHŞAEM, 2002. Hidrometeorolojik rasat verileri. Köy Hizmetleri Şanlıurfa Araştırma Enstitüsü.
- TAŞ, M. A., NACAR, A. S., DEĞİRMENCİ, V., GÜLDÜR, E., 2007, GAP Bölgesi Harran Ovası koşullarında Urfa Biberinde Bazı Sulama Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Şanlıurfa Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Eylül, Şanlıurfa.
- Toprak Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yıllığı, 1971, Şanlıurfa
- YESİLATA, B., AYDIN, M., İŞİKER, Y., 2006. Küçük Ölçekli Bir PV Su Pompalama Sisteminin Deneysel Analizi, Makina Mühendis Dergisi, sayı 553, sy. 31-38
- YEŞİLATA, B., ve AKTACİR, A., 2001. Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması. Mühendis ve Makina Dergisi, 42 (493): 29-34.
- (http://www.dicle.edu.tr/fakulte/ziraat/dosyalar/hb_kasim_2009.pdf)

FOTOVOLTAİK GÜÇ DESTEKLİ MİKRO SULAMA SİSTEMİ PROJESİ-2: SİMÜLASYON ÇALIŞMASI

Ümran ATAY¹, Yusuf IŞIKER² ve Bülent YEŞİLATA²

1GAP Toprak Su Kaynakları ve Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Şanlıurfa
2Harran Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, Osmanbey Kampüsü, 63000 Merkez, Şanlıurfa.
umranatay@hotmail.com¹, yusuf47@harran.edu.tr², byesilata@harran.edu.tr²

ÖZET

Bu çalışmada; Şanlıurfa ilinin yüksek güneş enerjisi potansiyelinden yararlanmak amacıyla fotovoltaik (PV) güçle çalışan bir mikro sulama sistemi (MSS) kurulumu önerilmektedir. Çalışmanın birinci bölümünde, bu amaçla yürütülen projenin genel esasları verilmiş olup, bu ikinci bölümünde, sistemi oluşturan temel bileşenlere ait veriler kullanılarak, gerçekleştirilen simülasyon çalışması sunulmaktadır. Simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlar; sulama yapılacak Mayıs – Eylül ayları arasında mevcut sistemden hedeflenen miktarda suyun pompalanabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Pil, Simülasyon, Mikro Sulama Sistemi

1. GİRİŞ

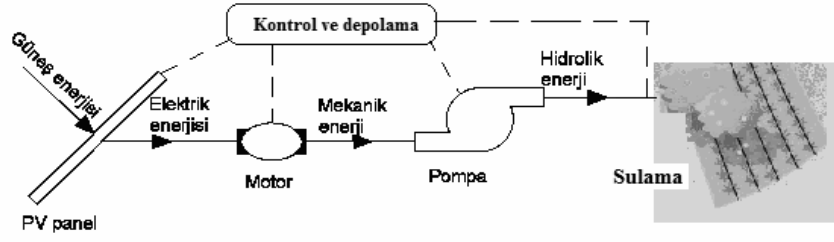
Fotovoltaik (PV) destekli sulama sistemlerinin (SS) çalışma prensibi ve bileşenlerine yönelik şema Şekil 1’de gösterilmiştir. Sistemde, sulama (dağıtım) hattına kadar kullanılan bileşenler, PV-pompa ünitesini oluşturur ve bu bileşenlerin doğru seçimi, projelendirilme açısından büyük önem taşır. Bir PV-pompa ünitesi; aşağıdaki bileşenlerin birkaçını veya hepsini içerir (Al-Karaghoulı ve Al-Sabounchi, 2000):

- PV paneller: Güneş ışınımını direkt elektrik enerjisine dönüştüren doğru akım (DC) güç kaynakları olup, pompanın tahriki için gerekli enerjiyi üretirler.
- Motor-Pompa İkilisi: panel tarafından üretilen elektriksel gücü önce mekaniksel sonra hidrolik güce dönüştüren elemanlardır.
- Batarya: Gece veya güneşin olmadığı anlarda, sistemin çalışmasını temin etmek amacıyla elektrik enerjisinin depolandığı cihazlardır.
- Su deposu: Amaç olarak batarya ile benzer bir görevi görmekle birlikte, bir nevi hidrolik enerjinin depolandığı bir elemandır.
- Maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT): Sistemin maksimum noktada çalışmasını sağlayan bir DC-DC dönüştürücüsüdür.

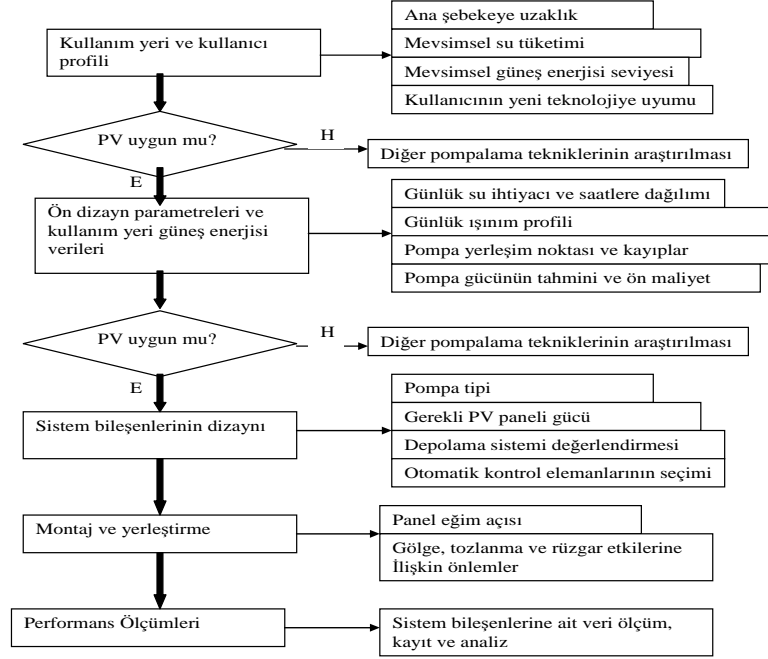
- Kontrol elemanları: Şarj regülatörü, DC-AC dönüştürücüsü gibi elektrik devre elemanları.

PV-SS tercihi göz önüne alınması gerekli birçok faktör söz konusudur. Bu faktörler kullanım yerindeki günlük su ihtiyacı, su kalitesi, pompa statik ve dinamik yükleri, kullanılma sezonunu kapsayan aylar ve bu aylardaki güneş ışınım şiddeti olup, uygulama öncesi bu faktörlerin detaylı olarak analizi gerekmektedir (Yeşilata ve Aktacir, 2001, Yeşilata ve vd. 2006). PV güç sistemi uygulamasının seçimine karar verme aşamasında yapılacak bu analizin aşamalarını özetleyen blok diyagramı Şekil 2’ de gösterilmiştir. PV-SS kullanımına karar verildikten sonra uygulama ile ilgili mevcut verilerden yararlanılarak sistem elemanlarının seçimi ve boyutlandırılması mümkündür. Sistem boyutlarının, performansının ve sistem maliyetinin hassas bir şekilde tespiti karmaşık hesaplar gerektirmektedir. Öncelikle, uygulanacak sulama yönteminin belirlenmesi gereklidir. Sulama yöntemi büyük ölçüde arazinin bulunduğu yöre ve su temin durumuna bağlıdır. Bununla birlikte son yıllarda, enerji sarfiyatı, su tüketimi ve tarla etkinliği açısından önemli iyileşmeler sağlayan Mikro Sulama Sistemi (MSS) kullanımı yaygınlaşmıştır. MSS şebekesini oluşturan bileşenler şematik olarak Şekil 3’de gösterilmiştir. Sistemde bulunan dağıtıcı eleman (emitter) türüne göre, mikro sulama sistemi; damla, mikro-sprey ya da gözenekli (poroz) olarak adlandırılır (Mayer 2001).

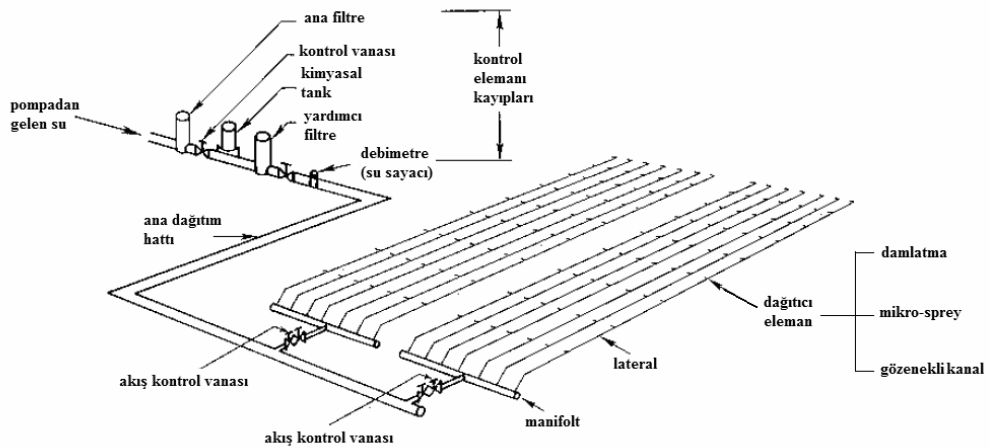




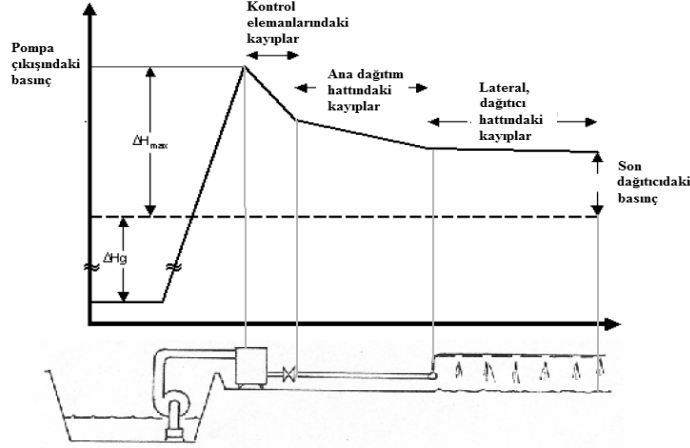
Şekil 1. PV destekli sulama sistemi temel bileşenleri



Şekil 2. PV sulama sistemi seçimine karar verme aşamaları (Aktacir ve Yeşilata, 2001).



Şekil 3. MSS şebekesini oluşturan bileşenler.

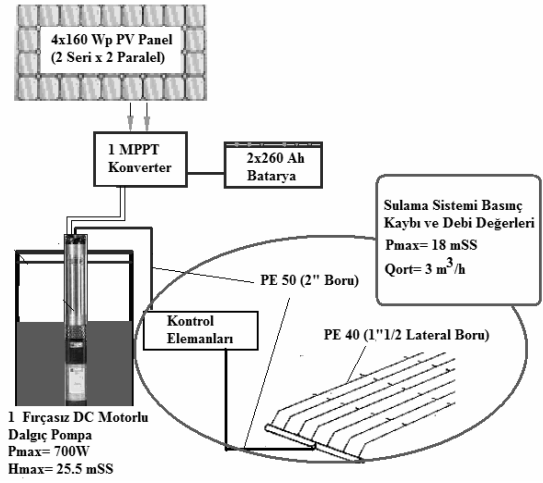


Şekil 4. MSS basınç bilançosu

MSS projelendirilmesi yapılırken, sulama için gerekli debi referans alınarak, su kaynağından itibaren son dağıtıcıya kadar hattaki tüm elemanlardaki basınç kayıpları dikkate alınır ve pompanın sağlaması gereken toplam basınç bulunur. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için, sulanacak arazi ve sulama hatlarına yönelik tüm boyutların ve elemanların belirlenmiş olması gereklidir. Sulama sistemindeki basınç bilançosu şematik olarak Şekil 4'te gösterilmiş olup, sulamanın tam anlamıyla gerçekleştirilebilmesi için son dağıtıcıdaki basıncın atmosfer basıncından yeteri kadar (0.3 - 0.5 bar) yüksek olması sağlanmalıdır.

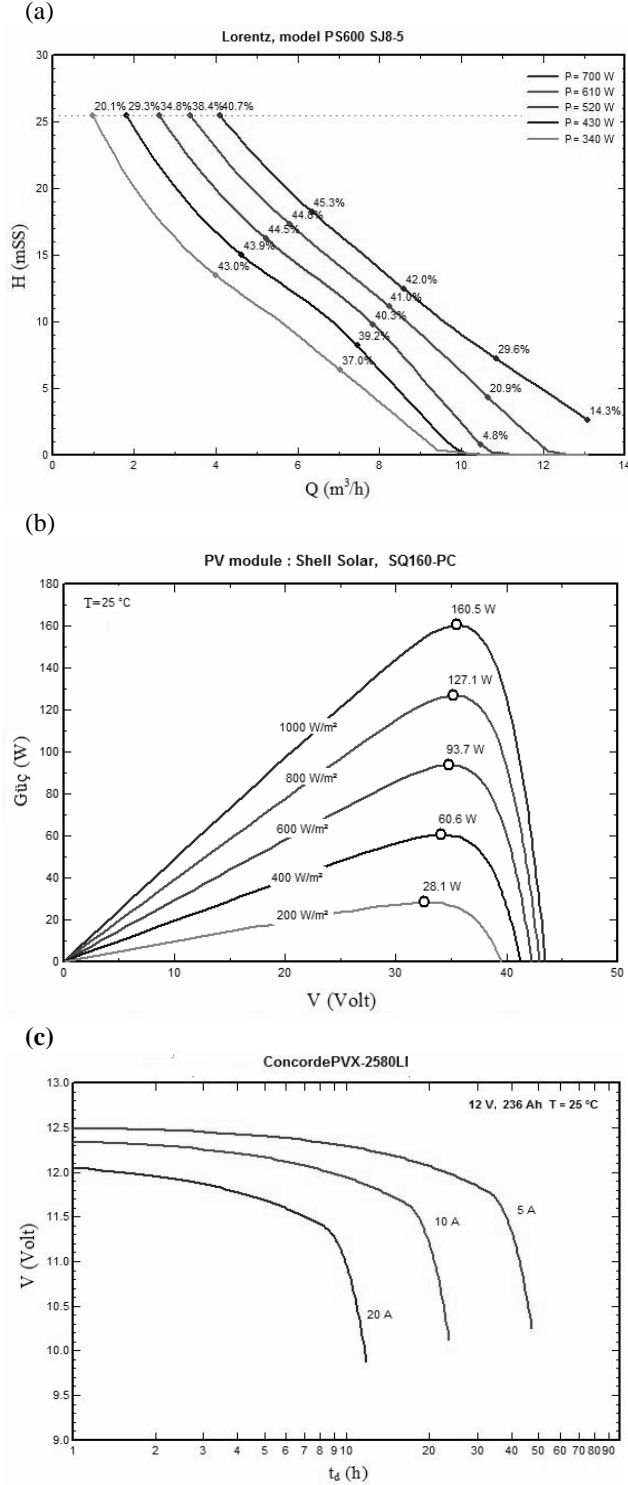
2. MATERYAL VE YÖNTEM

PV sulama uygulaması için seçilen arazi ve MSS ile ilgili özellikler, bu çalışmanın 1. Bölümünde verilmiş olup, yukarıda belirtildiği üzere, öncelikle hidrolik sistem toplam kayıplarının ve gerekli debi değerlerinin belirlenmesi önemlidir. Sözü edilen MSS'nin, su kaynağı - pompa konumu - arazi konumu ile kontrol elemanları (vana, manifold, dirsek vb.) sayısı - boru çapı - boru uzunluğu değerleri kullanılarak, bilinen yöntemlerle (Bknz: Yeşilata 2007, Mühendislikte Temel Akışkanlar Mekaniği Kitabı), toplam basınç kaybı değeri yaklaşık 18 mSS olarak bulunmuştur. Ortalama su debisi değeri olarak, yine bu çalışmanın 1. Bölümünde belirlenmiş olan 3 m³/h değeri kullanılmıştır. Belirtilen bu değerler kullanılarak, PV sulama sistemini oluşturan diğer bileşenlerin seçimi Şekil 5'de gösterildiği şekilde yapılmıştır. Simülasyon amacıyla belirlenen bileşenlerden; PV panel, DC dalgıç pompa ve batarya karakteristiklerine yönelik grafikler Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5. PV-MSS simülasyonu için seçilen bileşenler ve veriler

Simülasyonlar; Şanlıurfa ili uzun yıllar meteorolojik verileri kullanılarak, PVSYST V4.36 (<http://www.pvsyst.com/index.php>) yazılımı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Sulama döneminin en yoğun olduğu Mayıs - Eylül ayları için hesaplama yapılmıştır



Şekil 6. (a) DC pompa için farklı güçlerde debi-basma yüksekliği diyagramı, (b) PV panel için farklı ışınım şiddetlerinde gerilim – güç diyagramı, (c) batarya için farklı akımlarda deşarj süresi – gerilim diyagramı.

3. SAYISAL BULGULAR

PV-MSS bileşenlerinin seçimini takiben montaj öncesi en önemli aşamalardan biri PV panellerin yerleştirme (eğim) açılarının

belirlenmesidir (Işiker ve diğ. 2006). Bu nedenle simülasyon sırasında öncelikle güney yönünde, azimuth açısı sıfır olacak şekilde, panel eğim açısı optimizasyonu yapılmıştır. Gerçekte, PV panel yüzeyi üzerine gelen güneş ışınımının maksimum olabilmesi için, panellerin ışınlarla dik bir şekilde güneşi takip etmesi gerekir. Ancak, pratik uygulamalarda güneşi takip eden sistemlerin yapımı zor ve pahalı olduğundan, sabit yüzeylerin uygulaması daha yaygındır. Bu tür yüzeylerin efektif bir şekilde çalışmaları için tespit edilen kullanım süreci ve sezonu bazında optimum bir eğim ve azimuth açısıyla yerleştirmeleri gerekmektedir. Birçok güneş enerjisi sistemleri için yıllık bazda eğim açısı optimizasyonu yeterli olabilmesine karşın, PV sistemlerde elektrik enerjisi çıktısını arttırabilmek için aylık ya da sezonluk bazda eğim açısı optimizasyonuna ihtiyaç söz konusudur. Bu çerçevede, Şanlıurfa ili için kapsamlı bir analizle Fıratöğlü ve Yeşilata (2001) tarafından her ay için tespit edilen optimum eğim açıları kullanılarak sulama sezonunu oluşturan Mayıs-Eylül ayları için sezonluk ortalama optimum eğim açısı olarak 10° değeri belirlenmiştir. Bu duruma ilişkin grafik Şekil 7(a)'da gösterilmiştir.

Optimum eğim açısıyla yerleştirilmiş PV panellerin birim yüzeyine ulaşan güneş ışınım enerjisi ile PV sistemin enerji ürettiği toplam süre değerlerini gösteren grafik Şekil 7(b)'de gösterilmektedir. Grafikten, sulama dönemini içeren aylar bazında önemli dalgalanmalar oluşmadığını görmek mümkündür. Sistemin en fazla ve en az enerji performansı sağladığı aylar sırasıyla Temmuz ve Eylül ayları olmakla birlikte, uygun eğim açısı seçilmesinden dolayı, bu iki ay arasında büyük bir uçurum bulunmamaktadır. Benzer trendi; Şekil 7(c)'de sunulan grafikteki, PV panellerden DC pompaya aktarılan toplam enerji ile araziye aktarılan toplam su miktarı değerlerinde de görmek mümkündür. Ancak bu grafikteki en dikkat çekici noktalardan biri Mayıs ayı için PV panellerden DC pompaya aktarılan aylık toplam enerjinin, diğer aylara kıyasla daha yüksek olmasıdır. Bu durum, Haziran – Ağustos ayları arası daha yüksek seviyede güneş ışınımı olmasına karşın, daha yüksek dış hava sıcaklığı değerleri nedeniyle, PV panel enerji dönüşüm performansındaki düşüş sebebiyledir.

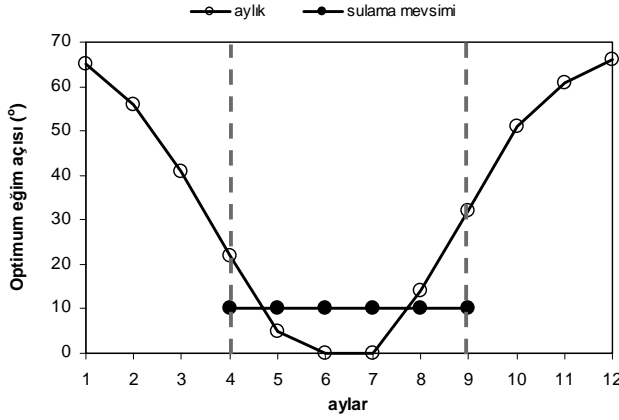
4. SONUÇ

PV-MSS sistemleri, enerji ve su kullanımında sağladığı verimlilik nedeniyle, GAP Bölgesi'nde aşırı enerji ve su tüketimine yönelik sorunları gidermede en uygun çözümlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, ilk yatırım masraflarının yüksekliği ve toplam sistem verimlerinin düşüklüğü gibi, önemli dezavantajları da söz konusudur. Bu dezavantajların azaltılması için seçilen konfigürasyonların maksimum

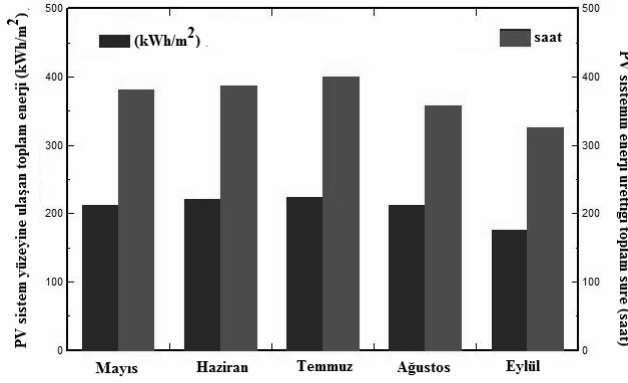
kullanılabilirliği sağlayacak şekilde optimize edilmesi gerekmektedir.

PV panellerden DC pompaya aktarılan toplam enerji ile araziye aktarılan toplam su miktarı değerleri.

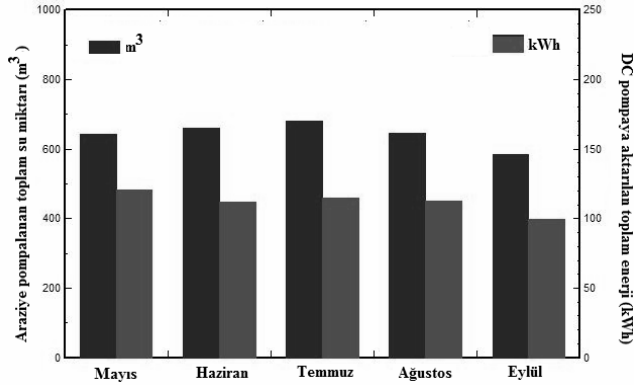
(a)



(b)



(c)



Şekil 7. (a) PV panellerin aylık ve sulama dönemine ait optimum eğim (yerleştirme) açıları, (b) Sulama yapılan aylar için, PV panel birim yüzeyine ulaşan güneş ışınım enerjisi ile PV sistemin enerji ürettiği toplam süre değerleri, (c) Sulama yapılan aylar için,

Bu çalışmada sunulduğu üzere; sistem oluşturan bileşenlerin doğru seçimi ve dolayısıyla sistemden beklenen verilerin sağlanabilmesi için sulama dönemini kapsayan aylara yönelik ör simülasyon çalışması yararlı olacaktır. Simülasyon çalışması vasıtasıyla; sistemden günlük, aylık ya da mevsimsel bazda sulama amaçlı pompalanacak su miktarını tahmin etmek mümkün olacaktır. Burada sunulan simülasyon çalışmasından elde edilen sonuçlar; sulama yapılacak Mayıs – Eylül ayları arasında mevcut sistemden hedeflenen miktarda suyun pompalanabileceğini göstermektedir. Mevcut simülasyonu çalışmasına ekonomik analiz de eklenmesi önemli olup, bu husustaki çalışmalarımızı sürdürmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TAGEM (Proje No: TAGEM-BB-090210J1) tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

Al-Karaghoulı, A., Al-Sabounchi, A. M., "A PV Pumping System", Applied Energy, Vol.65 pp. 145-151, 2000.

FIRATOĞLU, Z. A., YEŞİLATA, B., Fotovoltaik Güç Destekli Dalgıç Pompa Sistemlerinde Optimum Dizayn Koşullarının Araştırılması Tesiat Mühendisliği Dergisi, Sayı.62, sayfa 59-66, 2001.

<http://www.pvsyst.com/index.php>

İŞİKER, Y., YEŞİLATA, B., ve BULUT H., 2006 Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eder Parametrelerin İncelenmesi I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi Bildiriler Kitabı, sy. 150-155, Eskişehir.

Mayer, B., 2001. Assessment of and Selection Criteria for Irrigation Methods using PVPS GTZ Seminar Notes, (erişim web adresi ve tarihi : www.ibom.de, 15 Temmuz 2008).

YEŞİLATA, B., AYDIN, M., İŞİKER, Y., 2006 Küçük Ölçekli Bir PV Su Pompalama Sisteminin Deneysel Analizi, Makina Mühendis Dergisi, sayı 553, sy. 31-38

YEŞİLATA, B., ve AKTACIR, A., 2001 Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarını Dizayn Esaslarının Araştırılması. Mühendis ve Makina Dergisi, 42 (493): 29-34.

YEŞİLATA, B., Mühendislikte Temel Akışkanlar Mekaniği, 267 sayfa, (2007), *Harar Üniversitesi Yayın Komisyonu kararıyla basıma uygun bulunmuştur.*

BODRUM KONUT SEKTÖRÜNDE GÜNEŞ ENERJİLİ EVSEL SICAK SU SİSTEMLERİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ ANALİZİ

Arda KARASU

Berlin Teknik Üniversitesi, Fakülte 6, Yapı Tekniği ve Tasarım Anabilim Dalı

Straße des 17. Juni 152 10623 Berlin, info@ardakarasu.com

ÖZET

Bu çalışmada Muğla'ya bağlı Bodrum ilçesindeki konutlarda güneş enerjili evsel sıcak su sitemleri bilgisayar ortamında araştırılmıştır. Geçmiş çalışmaların sonuçlarına dayanarak, güneş enerjisi kullanan sistemlerin bölgedeki konutlarda ısıtma, soğutma ve evsel sıcak su (ESS) gereksinimini sağlamada yeterli olduğu görülmüştür. Ayrıca, ESS dikkate alındığında, gelişkin teknolojiye sahip sistemlerin tedarik ve kullanımı oldukça kolaydır. Fakat, teknik ve görsel etkenler bakımından yerel ölçekte optimizasyona gerek duyulmaktadır. Analizlerde bölge iklimi gözetilerek tasarlanmış prototip konut ele alınmıştır. Bilgisayar destekli simülasyonlar ile ESS sistem etkenleri bu konut bazında optimize edilmiştir. Analizler T-SOL Pro programı ile yapılmıştır. Çıkan sonuçlara dayanarak, güneş destekli ESS sistemlerinin Bodrum'daki konutların ihtiyaçlarını asgari %95 oranında giderebildiği söylenilebilir.

Anahtar kelimeler: Güneş Enerjisi, Evsel Sıcak Su

1. GİRİŞ

Akdeniz Bölgesi'nde evsel sıcak su gereksinimi için harcanan enerji miktarı göz ardı edilemeyecek boyuttadır. İspanya'da yapılan bir çalışmada ısıtma ve evsel sıcak su enerji ihtiyaçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmüştürⁱ. Karasu'nunⁱⁱ da çalışmasında belirttiği gibi, Bodrum'da iklim şartlarına göre tasarlanmış bir konut[°], ESS için 3.2 MWh enerji tüketmektedir. Bu da aynı konutun soğutma gereksiniminin %70'ine karşılık gelmektedir.

Karasu'nun vardığı sonuçlara dayanarak, Bodrum konutlarında metrekare başına ortalama 16 kWh/yıl enerji tüketildiği söylenebilir. Türkiye'de bu değerini karşılaştırılabileceği bir yönetmelik halihazırda bulunmamaktadır. Almanya'daki yönetmelikle karşılaştırıldığında bu değer yüksek algılanabilir. (Almanya'da metrekare başına ESS ihtiyacı 12.5 kWh/yıl olarak öngörülmektedirⁱⁱⁱ). Ortalama tüketim hesabında kullanılan parametrelere göre; 30 l/kişi için 45° C sıcaklıkta su, 400 kWh/yıl tüketime denk gelmektedir. Ayrıca, Fransa'daki bir çalışmada ESS tüketiminin yakın gelecekte kişi başı yıllık 1 MWh'ye çıkacağı tahmin edilmektedir^{iv}. Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne^v göre,

° İklim şartlarına göre tasarlanmış konutun enerji tüketim değerleri : 11.32 kWh/m² | a soğutma ve 13.11 kWh/m² | a ısıtma gereksinimi. Ayrıca konutun karbondioksit salınımı yıllık 22.11 kWh/m² ve nüfus yoğunluğu 0.04 kişi/ m² 'dir.

konutlarda kişi başı günlük 50 litre ESS kullanımı standart olarak verilmektedir. Bu durumda yerel kurumların hesap yöntemlerinin uygunluğu tartışılır.

Hepbaşlı'nın^{vi} da özetlediği gibi, diğer güneş enerjisi kullanım alanlarıyla karşılaştırıldığında, teknolojik fizibilite ve ekonomik cazipliğinden dolayı, ESS sistemleri güneş enerjisi bazlı uygulamalar arasında en yaygın olanıdır. Gelişme safhasını tamamlamış ve tedariki kolay sistemlerdir. Evsel ve kullanım amaçlı sıcak su üretimine yönelik güneş enerjisi bazlı çeşitli sistemler vardır: termosifon, entegre depolu, direkt, endirekt, ve hava sirkülasyonlu^{vii}. Dünya üzerinde kullanılan ESS sistemlerinin %90'ı termosifon bazlıdır^{viii}. Kolektör açısından da en yaygın olarak düz plakalı olanlar tercih edilmektedir. Akınoğlu'nun^{ix} da belirttiği gibi, bu tarz kolektörler 1950'li yıllardan itibaren Türkiye'de yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat ne yazık ki uygulamalar deneme yanılma yöntemi ile verimsiz bir şekilde yapılmaktadır.

Akınoğlu'nun çalışmalarında Akdeniz Bölgesi'nde kullanılan ESS sistemlerinin yaz aylarındaki verimliliğinin %100'e yakın olduğu görülmüştür. Karasu'nun çalışmasında da benzer bir sonuçta varılmıştır. Çalışma esnasında yürütülen piyasa analizine göre, Bodrum'da genel olarak düşük verimli ortalama 4 m² büyüklükte sistemler kullanıldığı saptanmıştır. Mevsimsel kullanım için bu veri aşırı kabul edilebilir düzeydedir.



Argirlou'nun^xözetlediği gibi,ESS sistemlerinin %95'i doğal sirkülasyon ile çalışmaktadır.Bu sistemlerde iklim şartlarına bağlı olarak antifriz madde (glycol solüsyon) kullanılmaktadır.Bodrum'un iklimsel şartlarında buna gerek duyulmamaktadır.Ayrıca, su depoları enine veya dikine konumlandırılabilir.Doğal sirkülasyonlu sistemlerde genel olarak 2.5 m'lik kolektör ve 150 litrelik su tankı kullanılmaktadır.Kolektör brut alanı 1.8 ile 4 m arasında, su deposu kapasitesi de 120 ile 220 litre arasında değişkenlik göstermektedir. Öte yandan yapıya entegre kolektör ve su tankları da piyasada mevcuttur.

2. EVSEL SICAK SU SİSTEMLERİ İÇİN SİMÜLASYON YÖNTEMİ

Güneş enerjili sistemleri etkileyen bir çok parametre bulunmaktadır.Bunların çoğu mekanik ve fizikseldir.Analizlerde izlenen yöntemlere göre, mimari görünüşe belirgin etkisi olmayan bu faktörler sabit veya minimum değerlerde tutulmuştur.Eğim, yönelme ve büyüklük gibi soğurgan yüzeye ait faktörler aynı zamanda gözle görülür olarak değerlendirilmiştir.Bu etkenlerin, verimlilik ve performansın yanı sıra, mimari açıdan önemli fakat göz ardı edilen etkileri vardır.

Yukarıda belirtilen tüm etkenler T-Sol Pro programı ile simüle edilmiştir.T-SOL[®] ısıtma, ESS ve havuz suyu ısıtması için gerekli güneş sistemlerinin tasarımında ve araştırılmasında kullanılan bir yazılımdır. (daha fazla bilgi için: www.valentine.de)

Teknik ver görsel etkenlerin analizinin yanı sıra, farklılık gösteren mevsimsel kullanıma yönelik araştırmalar da yapılmıştır.Sadece yaz aylarında kısa bir dönem kullanılan konutlardaki sistemlerin kapasitesi yıllık kullanıma oranla çok daha düşük tutulabilir.Bu söylem de araştırma kapsamında tutulmuştur.

2.1 Teknik Değişkenler

*Tüketim:*Daha önce değinildiği gibi kullanıcı sayısı 8 kişi ve toplam günlük su kullanımı 240 litre olarak öngörülmüştür. Bu değerler yıllık 3.2 MWh enerjiye ve 87.6 m³ su tüketimine denk gelmektedir.Çalışmadaki amaç gerekli enerjinin tüme yakınına güneş enerjisi destekli sistemlerle sağlamaktır.

*Sıcaklık:*Sistem su sıcaklığı,Şubat ve Ağustos aylarındaki şebeke suyu sıcaklığı sırasıyla 45° C, 10° C, ve 16° C olarak belirlenmiştir.

*Uygulama Süresi:*Sistemin genel olarak tüm yıl aktif olarak çalışacağı öngörülmüştür. Ayrıca yazlık mevsimsel (yaz ayları için kısa dönem olarak) kullanımı da araştırılmıştır.

*Kolektör:*Diğer çalışmalar baz alınarak sabit elemanlar için güneş açısı *güney* olarak belirlenmiştir. Hem çatı hem de cephe uygulamalarında 90°, 0° ve 30° derecelik eğim açıları değerlendirilmiştir.Yeterli güneş radyasyonu olduğundan, simülasyonlarda düz plakalı kolektörler kullanılmıştır.

3. SİMÜLASYON DEĞERLENDİRMELERİ

a) Su deposuna ilişkin etkenler

Su deposuna ilişkin veriler teknik bir etken olarak görülse de mimari etkileri de vardır.Bu etkenler ayrıca hacimseldir.Su deposunun yapının dışında tutulmasının hem enerjik hem de mimari sakıncaları vardır.Dahili kullanımda ise yeterli miktarda alan gerekmektedir.Bu bağlamda, kapasite, yerleşim, ve izolasyon kriterli optimum değerleri saptamak amaçlı irdelenmiştir.

Kapasite

Simülasyonlar su deposu kapasitesinin arttırımının ESS üretimi açısından olumlu etki yarattığını göstermektedir.Belirli şartlar altında, su deposu kapasitesinin her 100 litre artışı 250 ile 300 kWh/yıllarında enerji tasarrufu sağlamaktadır.Daha önce belirtilen kriterlere göre 400 litrelik su deposu Bodrum'daki konutlar için optimum değerleri vermektedir. Bu da kişi başına 50 litreye denk gelmektedir.Bu durum günlük toplam kullanımın 160 litre üzerinde olup ihtiyaç artışı talebine cevap verebilecek düzeydedir.

Isı izolasyonu

Su deposunun ısı izolasyonu simülasyon verilerine göre kesinlikle gerekmektedir.Aksi takdirde enerjitasarrufu %40 oranında azalmaktadır.150 mm'lik 0.04 W/m²K ısı geçirgenliğe sahip izolasyon malzemeleri optimum değerleri sağlamaktadır.Yeterli alan var ise, izolasyon 200mm kalınlığa kadar çıkartılabilir. 200mm ve üzeri kalınlıkta ısı izolasyonunun sistemin verimliliğine katkısı asgari düzeydedir.



Tablo1 Kolektör Özellikleri

	Üretici Firma		
	Firma 1	Firma 2	Firma 3
Tip	Tip 1	Tip 2	Tip 3
Modül Sayısı	3	3	2
Sistem Brüt Alanı m ²	7.5	6.4	5.2
Kolektör Brüt Alanı m ²	2.49	2.12	2.6
Soğurucu Yüzey Alanı m ²	2.25	1.91	2.37
Özgül Isı Kapasitesi W/m ² K	8,010	10,084	4,677
Isıl Geçirgenlik Katsayısı W/m ² K	3.83	3.59	3.37
Isıl Geçirgenlik Katsayısı W/m ² K ²	0.0119	0.0199	0.0104
Verimlilik Derecesi	76.2	78	85.4
Modifikatör,dikeiden 50° açılı	92.2	86.5	97
Yayınık ışınım için modifikatör	87.6	82.2	94

Yerleşim yeri

Su deposunun yapı içerisinde soğurucu yüzeylere yakın bir yerde konumlandırılması sistemin verimliliğini arttırmaktadır.Bu durumda ortalama 300 kWh/yıldaha fazla enerji tasarrufu sağlanmaktadır.Bu aynı zamanda kapasiteye de bağlıdır.Özetle, yapı içine yerleştirilmiş 400 litre kapasiteli 150mm ısıl izolasyonlusu deposu ileriki analizlerde sabit veri olarak alınmıştır.

b) Kolektöre ilişkin parametreler

Üç farklı düz plakalı kolektör eğim ve sistem büyüklüğü açısından analiz edilmiştir.Sistemlerden ikisi yerli (Firma 1 ve 2) diğeri Alman markasıdır.Türk üreticiler sürdürülebilirliğin desteklenmesi amacı ile seçilmiştir.Alman üreticinin ürünü ideal örnek olarak kullanılmıştır. Stiftung-Warentest'e^σ göre, Firma 3'ün ürünü kolektör test edilenler arasında en iyi sonuçları vermiştir^{xi}. Tüm kolektörlerin verileri Tablo 1'de verilmiştir.

Çıkan sonuçlara göre, ihtiyaç %99 oranında güneş enerjisi ile giderilebilmektedir. Daha önce belirtilen şartlar altında, 100 m²konut bazında 4 kişinin kullanımına 2.5 ile 3.5 m² soğurucu yüzey yeterli gelmektedir. 30°'lik plaka eğimi en iyi verimliliği sağlamaktadır.Kolektörler bina cephesine monte edildiğinde, yüzde 4 ile 5 arası performans düşüşü dikkate alınmalıdır.

Düşey kullanıma oranla, kolektörlerin yatay kullanımı sistemin verimliliğini aşırı oranda etkilememektedir.Örneğin Firma 3 ürününde, yatay kullanımda %15'lik bir verimlilik kaybı saptanmıştır.Bu durum Firma 2 ve 3'ün ürünlerinde sırasıyla %9 ve %10'dur.

Sadece sezonluk kullanımlar düşünüldüğünde kolektör alanı belirgin biçimde azaltılabilir.Yüksek

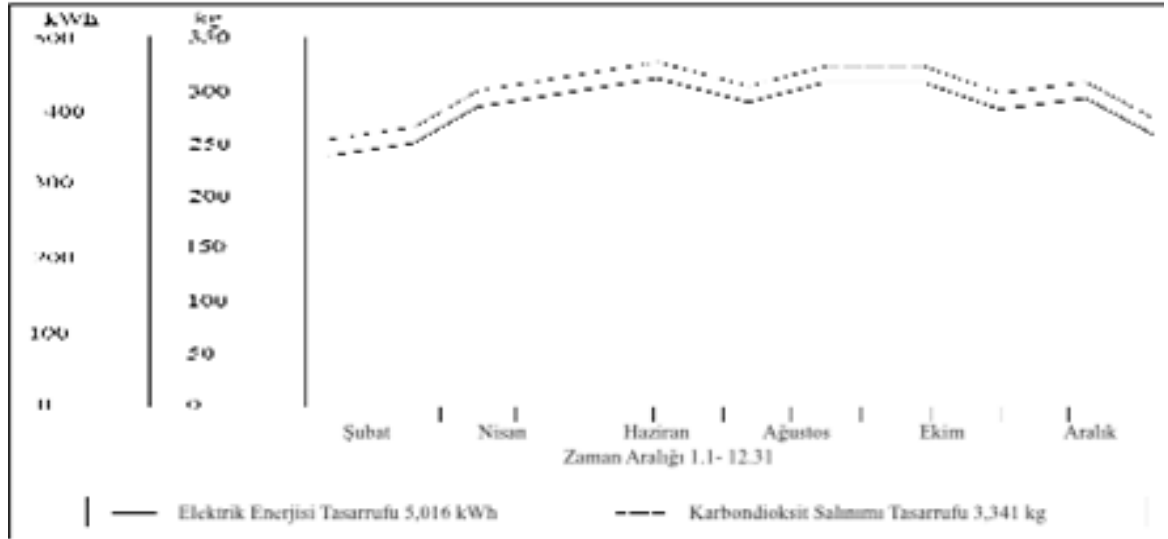
güneş radyasyonu buna olarak sağlamaktadır.Avrupa Birliği Fotografik Jeografik Bilgilendirme Sistemi'nin⁴ bilgilerine göre, Bodrum'da kolektörlere düşen güneş ışınımı 1900 kWh/m²yıl' ın üzerindedir.

Figür 1'de görüldüğü gibi, güneş enerjili ESS sistemlerinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklı sistemlerde olduğu gibi önemli derecede ekolojik katkıları bulunmaktadır. Örneğin, Bodrum'da yıllık konut başına 3,341 kg CO₂ salınımı önlenir.Bunun yanı sıra, Bodrum'daki konutlarda sıcak su için elektrikli termosifonlar da kullanılmaktadır.3.2 MWh ESS gereksinimi için bu tarz ısıtıcılar 5 MWh civarı enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Yapılan incelemelere göre bu harcamadan da tamamen tasarruf edilebilir.

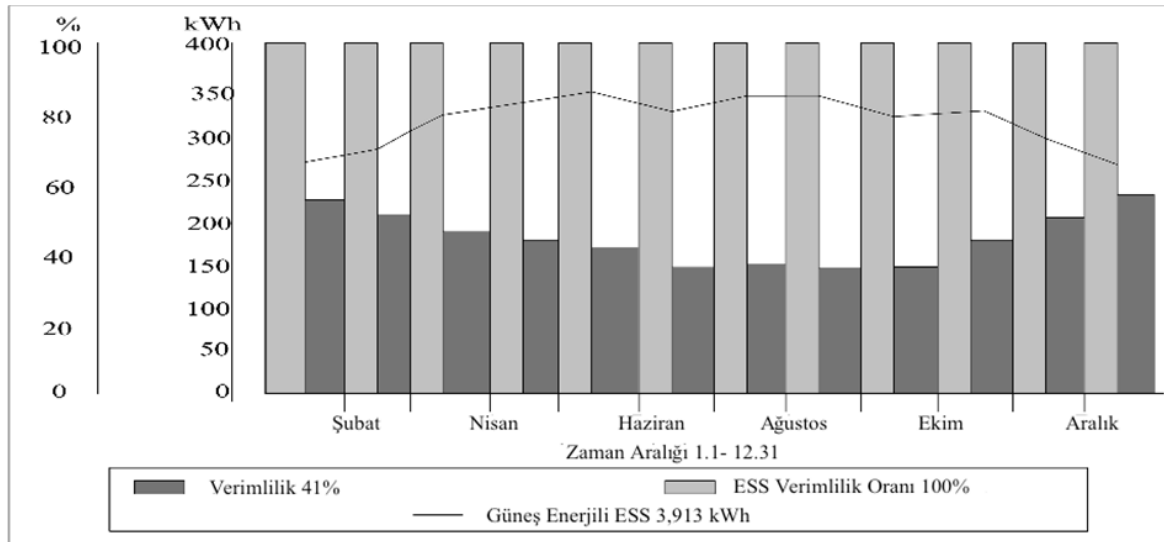
Enerji kaynaklarının ihtiyatlı kullanımı söz konusu olduğunda, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik en önemli gereksinimler haline gelmektedir.Bu yüzden, evsel sıcak su gereksinimi için güneş enerjili sistemlerin kullanımı kesinlikle tavsiye edilmektedir.Bu tarz sistemler hem enerji hem de çevre açısından büyük katkıda bulunmaktadır.

^σ Stiftung Warentest her türlü ürünün bağımsız ve objektif karşılaştırmaları yapan bir Alman kuruluşudur (www.test.de)

⁴ <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>



Şekil 1 ESS Tasarrufları



Şekil 2 Sistem Verimliliği, Güneş Enerjisi Yararlanma Oranı ve Elektrik Enerjisi Tasarrufu

4. SONUÇ

Bodrum'da yılın büyük bir kesiminde verimlilik ortalamasının üzerinde olup, kış dönemi üç ay boyunca %50 civarına düşmektedir. Düşük verimli 2 m'lik sistemlerin verimliliği ile, 3 veya 4 m'liklerinkiler karşılaştırılabilir düzeydedir. Ayrıca Bodrum'da mevsimsel kullanım (yaz) için kolektör yüzeyi sabit tutularak yönlenme ve eğim kriterlerindeki optimizasyonlar sayesinde kapasite belirli oranlarda artırılabilir.

Uygulamalarda bölgedeki yerel mimarinin gözetilmesine ve görsel kirlilik yaratılmamasına dikkat edilmelidir. Bu yüzden su depoları yapı içerisine entegre edilmelidir. Bu durumun sistemin verimliliği açısından çok önemli bir etkisi saptanmamıştır. Kolektörlerin yerleştirilmesinde de yapı kabuğuna entegrasyon dikkate alınmalıdır.

Özetle, güneş enerjisi kaynak olarak kullanılarak Bodrum'daki konutların yıllık ESS ihtiyacı %95 ve daha fazla oranda sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- i Reol N, "Es sostenible la construccion sostenible?", Proceedings of II Jornada Empresas y Medio Ambient, Barcelona, 2005
- ii Karasu A., Concepts for Energy Savings in the Housing Sector of Bodrum: Computer based analysis and development of future settlements using renewable energy, PhD Thesis, Technology Institute of Berlin, Building Technology and Design Department, 2009
- iii Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (ENEV), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 34, Bonn, 2007
- iv Centre national de la recherche scientifique CNRS: Eco-Dev Programme, "Revue Plein Soleil", available online at www.cnrs.fr/
- v EIE: General Directorate of Electrical Power Resources Survey and Development Administration. www.eie.gov.tr/turkce/gunes/guneskolektor.html
- vi Hepbasli A, A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future, Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, pp 593–661, 2008
- vii Kalogirou S A, Solar thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science 30, pp 231–295, 2004
- viii O. Garcı́a-Valladares, I. Pilatowsky, V. Rui'z, Outdoor test method to determine the thermal behavior of solar domestic water heating systems, Solar Energy 82 (2008) 613–622
- ix Akinoglu B G, Shariah A M, Ecevit M, Solar domestic water heating in Turkey, Energy 24, pp 363–374, 1999
- x Argirou A, Mirasgedis S, The solar thermal market in Greece, review and perspectives, Renewable and Sustainable Energy Reviews 7, pp 397–418, 2003
- xi Stiftung Warentest, 03/2008. www.test.de

EKOLOJİK MİMARLIK KAPSAMINDA BİNA BÜTÜNLEŞİK NANO-PV MALZEMENİN İNCELENMESİ

İdil Ayçam¹

Nilay Özeler Kanan²

iaycam@gazi.edu.tr , nilay.kanan@afet.gov.tr

¹Gazi Üni., Müh-Mim.Fak., Mim. Böl. Ankara

²Afet İşleri Genel Müd. Ankara

ÖZET

Ekolojik mimarlık kapsamında sürdürülebilir yaşam, enerji etkin bina tasarımları, enerjinin üretilmesi, depolanması ve kullanılması, çevreye uyumlu eco-mimesisler (Çevresel bio-entegrasyonlar) oluşturulması gelişmiş dünya ülkelerinin bilimsel çalışmalarıyla ilerletilmekte, uygulama denemeleriyle de varlığını ortaya koymaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi ve yeni teknoloji türleriyle enerjiyi en verimli kullanımın giderek yaygınlaştığı görülmektedir.*

Bu çerçevede baktığımızda gelişmiş dünya ülkelerinin daha fazla verim almayı amaçladıkları güneş pili (fotovoltaik, PV) teknolojileri enerji üretme, depolama ve kullanma yeteneğiyle, vazgeçilmez yapı malzemesi olarak yerini almakta ve malzemenin üretim verimini bir adım daha öteye taşıma ihtiyacını doğurmaktadır. Günümüzde bu ihtiyacı nanoteknoloji alanındaki çalışmalar, güneş pili teknolojilerinin verimini arttıran uygulama olanakları ile ortaya konulmaktadır.

Fotovoltaik malzemenin bina ile bütünleşik tasarım ilkelerine göre yerini alması pv malzemenin bulunuşundan bu yana incelenmektedir. Binaya entegre güneş pilleri, enerji etkin bina tasarımında önemli avantajlar sağlamasına karşın cam üzerine fotovoltaik malzemenin uygulanması, malzemenin boyut, renk, büyüklük ve ağırlık özellikleriyle tasarımcının kullanımı için sınırluluklar getirdiği gözlenmektedir. Gelişen teknoloji paralelinde yeni çözümler arama ihtiyacı doğmaktadır. Son yıllarda yeni nesil fotovoltaik teknolojilerinden biri olan nanoPVnin (Nanotüp güneş hücreleri) geliştirildiği görülmektedir. Nanopv mevcut güneş pili malzemelerine göre titanyum (Ti) ince filmler halinde daha ince, daha esnek, daha hafif ve güneş enerjisi kazancını maksimuma çıkaran yapısıyla enerjinin üretilmesinde, depolanmasında ve kullanılmasında önemli katkıları bulunduğu ve uygulama kolaylıkları olduğu görülmektedir (9).

Anahtar Kelimeler: Ekolojik mimarlık, nanoteknoloji, pv (fotovoltaik, güneş pili) ve nano-pv, bina bütünleşik sistemler, bina bütünleşik nano-pv

GİRİŞ

Günümüzde yaşanan enerji sorunları karşısında tüm dünya birtakım çözüm önerileri getirmekte ve yeni teknolojik araştırmalar içerisine girmektedir. Bu araştırmalar mimari anlamda ele alındığında; enerji ihtiyacını aza indirgeyen, enerjiyi üretebilen ve depolayan, insan sağlığına uygun ortam şartlarını oluşturabilen, enerji üretimine bağlı olarak maddi tasarruf sağlayan ve ekolojik dengeyi koruyan yapı ve planlamalara yönelik değişen tasarım kriterleri, yapı malzemeleri seçimi ve kullanımı ile ekolojik mimarinin hedefi olmaktadır (1).

Bu noktada, insan yaşamının fiziksel ve kültürel gelişimi içerisinde enerjinin binalarda nasıl kullanılacağı sorusuna cevap veren, güçlü ve verimli teknolojilerden biri olma özelliğine sahip olan güneş pilleri (fotovoltaikler ya da PV'ler), malzeme tasarımı ve bina entegre (bütünleşik) tasarımı ilkelerine her geçen gün yeni soluklar katmaktadır.

Bu eğilimlere dayanarak 20.yüzyılda Richard Feynman tarafından ortaya koyulan nano malzeme kavramı, 21.yüzyılda nanoteknoloji bilimi ile kendini disiplinlerarası çalışmalarda var etmeye başlamıştır (6). Nanoteknoloji ve Mimarlık, bu disiplinlerarası çalışmaların sürdürüldüğü küçük bir kısımdır. Bu bilim, araştırma çalışmalarıyla yapı malzemesi alanındaki gelişmeleri birkaç adım öteye taşımaktadır (6). Günümüzde nanopv teknolojisinde teorik çalışmaların yanı sıra uygulamaya yönelik gelişmelerin yürütüldüğü, ABD gibi gelişmiş ülkelerde enerji politikalarına yönelik kanun tasarılarında yer bulduğu görülmektedir (9). Kanun tasarısı incelendiğinde yapı malzemesi olarak kullanılan güneş pilinin, naoteknoloji uygulaması ile nano karakter kazanması, yapısı, malzemenin gelişim hedefleri ve izlenilecek yollar dışında, nano mimarlık güneş hücreleri, nano güneş teknolojileri gibi (Nano-Architecture PV) kavramlar da ortaya konmaktadır (Bkz. Tablo1).



Değişkenler	Günümüzdeki konumu (2007)	Gelecekteki hedefler (2015)
Görüş; prensip yöntemin doğru olup olmadığının test edilme süreci	Hem görüş önerileri hem de test edilme süreci	2010'a kadar, prensipte malzeme sistemleri özellikleri arzu edilen değerlerde tanımlanmalı, böylece prensipte test edilen güneş hücreleri verileri kanıtlanmalı.
Malzemeler; Yapıları; Etkisi	Malzemeler arzu edilen özelliklere sahip olmamalı; Yapılar en iyi şekilde kullanılmamalı; Etki < %3 olmalı	2015'e kadar, önerilen yapılar ve malzemeler tanımlanmalı; hedef etki değeri %15 laboratuvar koşullarında sağlanmalı; ince film ve/veya CPV teknolojileri ile uygunluğu değerlendirilmeli

Tablo 1 Günümüz ve gelecek hedefleri veren NREL/MP-520-41742 haziran 2007 kanun tasarısından alınmıştır.

Ekolojik mimarlık, nanoteknoloji, güneş pilleri ve nano güneş pilleri ile bina entegre tasarım ve bina entegre güneş pilleri terimlerini tanımlamak gerekmektedir.

Ekolojik Mimarlık: Çevre kirliliğini azaltıcı, enerji kullanımını minimumda tutan, güneş enerjisi başta olmak üzere diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik tasarımları ortaya koyan, geri dönüşümlü malzeme kullanımını arttırabilen, kullanıcılara daha sağlıklı ve güvenilir yaşam ortamları sağlayan bina ve bina çevresi arasında dinamik ve sürekli etkileşimler bütünüdür (1, 8).

Nanoteknoloji: Atom ve moleküllerin bir araya getirilmesi ile nanometre ölçeklerde (1nanometre (nm) = 10⁻⁹ metre (m)) işlevli yapıların oluşturulmasıdır (6).

Güneş Pilleri: Güneş ışınlarının elektrik enerjisine çevrilmesine yönelik temel yapıtaşı silikon malzeme olan ve monokristal silikon, multikristal silikon, amorf silikon, kadmiyum telluride* (CdTe), bakır indium* diselenide (CIS) türlerinde yaygın olarak üretilen yarıiletken sistemlerdir (4). Güneş pilleri hücre-modül-panel ve dizi şekillerinde bağlanarak istenilen m²'lerde uygulanma imkanları sağlamaktadır.

Nano Güneş Pilleri: Temel yapıtaşı yarıiletken silikon atom elementi olan mevcut güneş pilinden boyut olarak küçük, enerji verimi ise yüksek, güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren bir sistemdir. Mevcut sistemlerden nanotel, nanotüp, nanoatom yapıtaşı özelliklerine göre farklılaşmaktadırlar. Atomlar farklılaşmalarını; diziliş yapılarına göre tek bileşenli, göbek-kabuk yapıya ya da içine nanoteli veya nanokristali gömülü şekilleriyle sağlamaktadırlar (6).

Entegre: Fr. Intégré sf. Bütünleşmiş (20).

Bina entegre (bütünleşik) tasarım ve bina entegre güneş pili: Mimari tasarım sırasında süreç dahil edilmiş olup, binanın formuna ve planlamasına

yön veren bina pasif tasarım sistemleri ile bütünleşik çalışması ve elde edilecek olan enerjinin maksimum seviyelere yükseltilmesi hedeflerine yönelik olarak yapılan bütünleşik tasarımdır.

Bina bütünleşik güneş pilleri de yapıda kopuk monte bir sistem olarak değil, doğal bütünleşik, mimar tarafından tasarım süreci içinde tercih ettiği, binada renk, malzeme, boyut, sunum açısından iyi cepheler sağlayabildiği, iyi mühendislik çözümlerinin uygulanabildiği, yeni teknolojileri (inovatif, smart malzemeler) kullanabildiği bütünleşik sistemdir.

Bu tanımlamalar ışığında yapı, bina formu, bina kabuğu, yapı fiziki elemanları ve yapım sistemleri bir arada düşünülerek hayata geçirilmelidir.

EKOLOJİK TASARIM VE GÜNEŞ PİLLERİ

Ekolojik tasarım konusuna enerji etkinliği yönüyle baktığımızda;

- 1) Ekonomik yönden; İlk maliyetlerin düştüğünü,
- 2) Sosyal yönden; Kullanıcıların konfor koşullarının geliştiğini,
- 3) Çevresel yönden; Düşük miktarda elektrik ve fosil tabanlı yakıt kullanıldığını, daha az CO₂ emisyonu ve hava kirliliği olduğunu, fosil yakıtların üretim ve tüketiminden daha az etkilendiği dünya ülkeleri ve Türkiye tarafından görülmektedir (8).

Yapı teknolojisindeki gelişmeler enerji etkinliğine yönelik önemli kazanımlar sağlamakta, günümüzde sıfır enerjili hatta kendi enerjisini üreten binalar inşa edilmektedir. Binalarda temiz yenilenebilir enerjinin elde edilmesinde kullanılan yapı malzemelerinden bir tanesi güneş pili (PV, fotovoltaik).

Güneş pilleri 1839 yılında Fransız fizikçi Edmund Becquerel'in güneş ışınımının yarıiletken elektrotların elektrik akımına dönüştürmesinden bu yana gelişmekte ve geliştirilme çalışmalarına devam ettirilmektedir (3). Piller mevcut ve yeni bina sistemlerine dâhil edilebilmektedir. Sistem ihtiyaca cevap verecek kadar PV modül, doğru akım/alternatif akım dönüştürücü, ihtiyaç anında kullanabilmek için elektriği depolayabilecek akü veya pil, kontrol merkezi, çeşitli kablo ve sigorta parçalarından oluşmaktadır (4).

Günümüzde dünya devletlerinin şehir elektriğini karşılamak için kurdukları PV çiftlikleriyle özellikle İspanya, Almanya, Portekiz ve Kore de vazgeçilememesinin yanı sıra dünyada sayıca fazla olan konut yerleşim birimleri içinde vazgeçilemeyecek bir sistem olduğunu, kullanım ve pratik tasarım çözümleriyle ortaya koymaktadır.

BİNA BÜTÜNLEŞİK GÜNEŞ PİLLERİ

Güneş pili teknolojisi ilk yıllarda sanayide etkin olarak kullanılmış, mimarlık ve yapı platformunda yeterli ilgi görmesi entegre pv uygulamalarının gerçekleşmesi sonucu artmıştır. Günümüzde bina formuna, estetik arayışlara cevap verecek çatı, cephe, balkon, parapet ve gölgelik alanlarda kullanılacak bina tasarımı sürecinde bütünleşik olabilecek güneş pili sistemleri geliştirilmektedir.

Entegre (bütünleşik) fotovoltaiklerin yararlarına baktığımızda;

* Binaya entegre pv sistemleriyle oluşturulan tasarım maliyeti, bağımsız ve monte çatı+pv modül veya cephe+pv modül gibi sistemlerle oluşturulan tasarıma göre daha ucuz ve avantajlıdır.

* Yapı malzemelerinden ve o binadan çevreye yayılan CO₂ emisyonu daha azdır.

* Mimarlar tasarım serbestliği ve iyi bir sistem bütünlüğü sağlamaktadır ve buna bağlı olarak Pv malzemenin talebi ve pazarlaması artmaktadır.

* Bina bütünleşik güneş pillerinin kullanımı bina kullanıcılarına, buldukları ve yaşadıkları şehirde hatta sokakta çevre hakkında söz sahibi olmalarını ve çevresel sürdürülebilirliği gelecek nesillere aktarabilmeyi sağlamaktadır.

* Sistemin diğer yapı sistemlerine göre teknik kablolama detayları daha basit, uygulanması daha kolaydır.

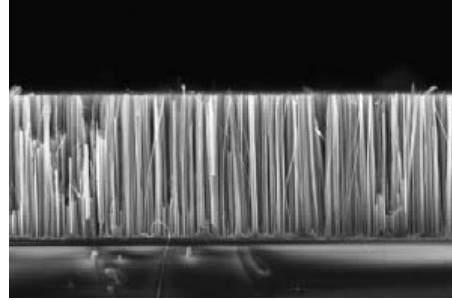
Binaya entegre pv uygulamaları yukarıda belirtilen avantajları nedeniyle günümüzde yapı sektöründe karar verici konumda olan tasarımcılar, inşaatçılar, müteahhitler, kullanıcılar tarafından giderek yaygınlaşmaktadır.

NANOTEKNOLOJİ, NANO-PV VE BİNA BÜTÜNLEŞİK NANO-PV

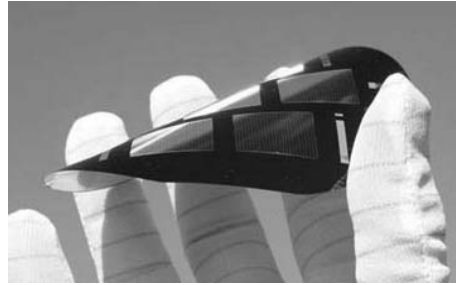
Nanoteknoloji bilimi, atomların ve moleküllerin kimyasal yapıları kullanılarak nanometrik yapılar oluşturmak için yıllardır üzerinde uğraşılan bilim dalıdır. Nanoteknolojinin 3 ana özelliği bulunmaktadır. Bunlardan biri disiplinlerarası inanılmaz bir bağ kurabilmesidir. Örneğin; fizik, kimya, malzeme bilimi, biyoloji, makina ve elektrik mühendisliği, eczacılık ve daha birçok bilinen disiplin ortak çalışarak ürün verebilmektedir. İkincisi atomlar ve moleküller arasındaki bağların sınırları ortaya konabilmektedir. Üçüncü olarak insan, malzeme ve ekosistem atom yapılarının gelişim ve kontrolünün atomal seviyede yapılabilmesini sağlamaktadır.

NanoPV, ileri teknoloji ve 21.yüzyılın PV ürünüdür. Nano-micro kristalli yüksek enerji etkin güneş hücrelerinin üretimini kapsamaktadır. NanoPV yapılarındaki nano kristal a-Si:H(Hidrojen

amorf silikon) ve transparan iletken TCLO(transparent conducting light trapping oxides) teknolojisi ile diğer güneş pillerine göre %8-%10'un üstünde verimini arttırmaktadır (Bkz.Resim 1, Resim 2) (11, 18, 21).



Resim 1 Nano ince film yapısı (mikroskopik görüntü)



Resim 2 Thin film fotovoltaik örneği

ABD firmaları satış kanallarını, ABD, AB ve Asya'ya yönlendirmektedir. Asya ülkelerinden Tayvan ve Kore fotovoltaik şirketleriyle nano ince film pv üretimi yapılması amacıyla sözleşme imzalanmıştır (11).

1955'te uzay bilimlerinde kullanılması için üretilen ilk pv üretimi için 14 MW güç belirlendi. Günümüzde ise ileri teknoloji ürünü olan nanopv için 10 MW güç kapasite hedeflenmiştir. 5 yıllık süre de 200 MW güçlük yüksek etkin nano kristal güneş hücrelerinin üretilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda Tayvan ülkesi, Asya'daki en büyük ince film güneş hücreleri üreticisi olması beklenmektedir (10, 11).

İlk defa ABD hükümeti Enerji Bakanlığı tarafından, Güneş Enerjisi Teknolojileri Programı kapsamında hazırlanan Nano-mimari PV başlıklı kanun tasarısının (Management Report NREL/MP-520-41742 June 2007) mecliste görüşülmesi, uygulama örneğinin üretilmesi ve pazar payının ortaya konması amacıyla beklenmektedir (9).

Şirketlerin ve hükümetlerin hedefleri ile üretilen malzeme, tıpkı önceki bütünleşik bina sistemleri gibi alternatifleri ile ortaya konacaktır. Eski sistemlere malzemenin boyut, renk, büyüklük ve ağırlık özelliklerine göre taşıyıcı kurgusunun da değişeceği ve böylece bina bütünleşik nano fotovoltaik uygulamasına da yeni çözümler getirilmesi; enstitüler, bilim kurumları, üniversiteler ile özel şirket AR-GE'lerinden beklenmektedir.

NanoPv üretim çalışmaları yapılması ve hedeflenen ürünün ortaya çıkması ile avantajlar ve dezavantajlar görülmektedir.

Avantajları;

- 1) İnce film üretim teknolojisini esas alan NanoPV malzeme, mimarlara esnek yapı formları tasarlama imkânı verecektir. Pv panellerin boyutu tasarımı sınırlayıcı bir özellik taşımayacaktır.
- 2) Yapı atomal yapısı ile kendini yenileyebilecek, temizleyebilecek ve bunun sonucunda bina bakım, işletim ve işçilik giderlerinin azalmasını sağlayacaktır.
- 3) Atom silikon yapılu güneş pili teknolojileri kullanılmasıyla oluşacak elektrik enerjisi elde etme verimi, madde silikon yapılu güneş pili teknolojilerine göre %8-%10 oranında artacaktır.
- 4) Nanopv malzemenin hafifliği, bina yükünün azalmasına katkıda bulunacaktır.
- 5) Atomal yapıdaki nanopv, mevcut pv malzemeye göre daha az m²'lerde daha fazla elektrik enerjisi üretecektir.
- 6) İstihdamı arttıracak, işsizliği azaltacak, üniversitelerde bilimsel çalışmaların ve ders içeriklerinin yönünü değiştirebilecek bu işle ilgilenen özel şirketlerin açılması, fabrikaların kurulması sağlanabilecektir.

Dezavantajları;

- 1) Nanometrik ebatlarda üretim yapmak ve bu ölçeği gözlemlemek kolay olmadığından, özel üretim, denetim ve onarım (ölçme ve görüntüleme) yöntemleri gerekecektir (6).
- 2) Nanopv ilk uygulama maliyeti, mevcut ürünlerin maliyetinden daha yüksek olacaktır.
- 3) Onarım ve denetim işlemleri için yeterli teknik servis elemanının bilgi ve uygulama alanında yetiştirilebilmesi uzun yıllar alabilecektir.

SONUÇ

Bina bir sistemler bütünü olarak yapıldığından bu sistemlerin birbiri ile olan ilişkileri tasarım sürecinde ortaya konulmalı, yapım aşamasından önce mühendis danışmanlığı alınarak uygun sistemlerin uygun mekânlara kurgulanması sağlanmalıdır. Uygun sistem seçimi ise malzeme seçiminin doğru yapılabilmesi ile paralellik göstermektedir.

Geçmişte tüketici yapı malzemesini seçerken "malzemenin o iş için uygunluğu", "fiyatı", "uygulanabilme kolaylığına bakarken", günümüzde CE yapı malzemeleri sertifikasının belirtilmesi için zorunlu tuttuğu belgede malzemenin çevreye ne kadar zararlı olduğu, CO₂ emisyonu değeri, geri dönüşümlü malzeme özellikleri gibi verilere bakarak seçimini yapmaktadır.

Her sınıftan tüketicinin malzeme kriterlerini uygun bulduğu güneş pili teknolojileri ve sistemleri geniş bir yelpazede sosyal, çevresel, ekolojik ve ekonomik fayda sağlamaktadır.

Disiplinlerarası çalışmayı gerektiren ve özgün örnekler veren ölçülebilir faydaları olan güneş pilleri, çeşitli uygulamalarda yıllarca en verimli haline gelebilmesi için test edilmiştir.

Yapılan testler ve bilimsel çalışmalar devam ettirilmekte, bu doğrultuda ileri teknoloji içeren ürünler ortaya konmaktadır. Güneş enerjisi teknolojileri alanında ortaya konan NanoPvler ve uygulama teknolojileri getirmiş olduğu avantajlar doğrultusunda binaya entegre yeni nesil PVler (BINanoPV) olarak dünya pazarında yerini hızla almayı hedeflemektedir. Bu hedefler doğrultusunda Türkiye'deki gelişmelere baktığımızda;

Türkiye'de nanoteknoloji alanında çalışan sayılı üniversite ve kurum bulunmakta, ancak bunlardan hiçbiri pv ve nanopv yapı malzemeleri konusunda bilimsel çalışma hazırlanamamıştır. Bu konuyu daha ileriye taşımak amacıyla hükümet, üniversite, sanayi işbirliği ile güneş pili teknolojileri üzerinde ülkemiz özelinde deneysel çalışmalar yapılmalıdır. Bu deneysel çalışmaların sonuçları kamuoyuna ve meclise sunularak enerji stratejileriyle desteklenmelidir.

Ülke içi bölgesel çözümler geliştirilerek ortaya çıkacak bilgi ve veriler (teknik uygulama kılavuzları, broşürleri vb.) halktan kullanıcıların rahatlıkla ulaşabileceği bilgi tabanları oluşturularak faydalanması sağlanmalıdır. Meslek odaları tarafından meslek adamları, bilim adamları ve akademisyenlerin öğretilmesiyle bilgilendirilmeli, maliyet bedelleri kamuoyuna duyurulmalı ve düşük vergi oranları ile teşvik sağlanmalı, alım arttırılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Ekolojik Mimarlık ve Planlama Ulusal Sempozyum Bildiriler Kitabı (2007)
2. F. Hordeski, M., (2005). "Dictionary of energy efficiency technologies", Fairmont press, Georgia, 306 p (140-142).
3. Fieber, A., (2005). "Building integration of solar energy", Lund University, Department of Construction and Architecture, 208 p (39-41, 59-70),.
4. Roof, S., et al,(2001). "Ecohouse a design guide", Architectural Press, 346 p (165-169).
5. F.Smith, P., (2004). "Eco-refurbishment a guide to saving and producing energy in the home", Architectural Press, 126 p (72-83).
6. Erkoç, Ş., (2008). "Nanobilim ve nanoteknoloji", Odtü Bilim ve Toplum



- Kitapları Dizisi 106 s (7-28).
7. Addington, D.M., et al, (2005). “Smart materials and Technologies for the architecture and design professions”, Architectural Press, 241 p (44-45, 225).
 8. J.Kibert, C., (2008), “Sustainable construction”, John Wiley&Sons, Inc. Press, 407 p (99-127).
 9. www1.eere.energy.gov/solar/solar_america/pdfs/41742.pdf
 10. www.kenmos-pv.com.tw/english/product/strength.htm
 11. twbusiness.nat.gov.tr/doc/05-Photovoltaic-en.doc
 12. www.solarfeeds.com/greentech-media/5399-150-solar-statups-part-4-thin-film-.html
 13. www.jetsongreen.com/2008/06/nano-vent-skin.html
 14. www.INTENDESIGN.com
 15. <http://nanoarchitecture.net/index.php?q=nanoparticles&s=search>
 16. www.fuefficiency.org/doi_grants_solar_research
 17. <http://www.entrerrios.net/index.html>
 18. <http://www.grcblog.com/?cat=30>
 19. <http://jolifukyu.tokai-sc.jaea.go.jp/fukyu/tayu/ACT03E/01/0105.htm>
 20. <http://tdkterim.gov.tr/bts/?kategori=veritbn&kelimesec=113394>
 21. Selvan, J.A.A., et al, (2005) “Advanced nanocrystalline Si:H solar cell structures using novel transparent conducting light trapping oxides” (TCLO), Energy Photovoltaics, Inc., Princeton, IEEE, 1492-1495

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAPSAMINDA YENİLENEBİLİR VE ETKİN ENERJİ KULLANIMININ YAPILARDA UYGULANMASI

F. Demet AYKAL*

Bilal GÜMÜŞ**

Y.Berivan ÖZBUDAK AKÇA*

*Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü

** Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Müh. Böl.
fdaykal@dicle.edu.tr bilgumus@dicle.edu.tr budak@dicle.edu.tr

ÖZET

Endüstri devrimi ile birlikte çevre sorunlarının artarak, yaşadığımız dünyada sebep olduğu tahribatlar, günümüzde insan sağlığını ve ekolojik dengeyi tehdit eder boyutlara ulaşmıştır. Dünyada tüketilen enerjinin yaklaşık yarısının binalarda olduğu düşünülürse, enerji tüketiminin azaltılmasını sağlayan her önlem, yaşam koşullarının iyileştirilmesi açısından çok önem taşımaktadır. Bu amaçla çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirildiği, enerji mimarlığı ilkelerinin yapı tasarımında kullanılmasının gerek enerji verimliliğindeki, gerekse de sürdürülebilir çevreler oluşturmadaki önemi ifade edilmiştir. Bu çalışmalara örnek olan, Diyarbakır'da AB Projesi kapsamında Büyükşehir Belediyesi öncülüğünde Dicle Üniversitesi ve çeşitli sivil toplum kuruluşlarının işbirliği ile yapılan "Diyarbakır Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Parkı" Türkiye'nin enerji mimarlığı ilkelerine göre yapılmış ilk yapıdır. Bu çalışmada bu yapının yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı örneklenerek, bu unsurların yapı tasarımlarında nasıl kullanılabileceği belirtilmiştir. Bunun yanı sıra, kullanılan sistemlerle kazanılan enerji miktarları da verilerek böyle bir yapının enerji tasarruf potansiyeli ortaya konmuştur. Yapının aydınlatma, iklimlendirme ve diğer kullanım alanlarındaki enerji üretim ve tüketim değerleri belirlenmiş ve hesaplanmıştır. Böylelikle benzer bir yapıda gereksinim duyulan enerji değerleriyle bu değerler karşılaştırılarak tasarruf potansiyeli belirlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca sürdürülebilir çevre ve enerji verimliliği kapsamında gerek yönetmelikler gerekse tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken konularla ilgili öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ekoloji, Doğa, Sürdürülebilirlik, Etkin Enerji, Tasarım Kriterleri.

1. GİRİŞ

Mimarlık insan gereksinimlerini barındırmak üzere fiziksel çevrenin düzenlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Geçmişten günümüze insan, doğası gereği çevrenin ona sunduğu sonsuz olanakları kendi gereksinimlerine uygun olacak şekilde kullanmakta ve onu şekillendirmektedir. Bu durum, insanın var oluşundan bu yana, onunla birlikte gelişmiş, farklılaşmış ve günümüze ulaşmıştır. Ancak insan, var oluşu ile birlikte çevreyi ve ekolojik değerleri değiştirme çabası içinde olmuştur.

İnsanoğlu, 10.000 yıl öncesinde yerleşik ya da yarı yerleşik duruma geçip, tarıma dayalı bir düzene girmekle, çevrede önemli değiştirici etkilere neden olmuştur. Bu sürecin başlangıcında, insanın ekosistemlere müdahalesi sadece orman alanlarının tarım amaçlı tahribatı şeklindeydi. Ancak zaman içinde, iklim koşulları, coğrafi koşullar ve bunlara bağlı olarak, sosyal, ekonomik ve kültürel faaliyetleri geliştirme çabaları, ekosistemlerde daha önemli tahribatlara neden olmuştur.

18.Yüzyılın ikinci yarısında gerçekleşen endüstri devrimi, ardından başlayan ve hızla gelişen sanayileşme olgusu, ekosistemlerin tamamen bozulmasında en büyük etken olmuştur. Sanayi devrimi ile birlikte, sanayide insan gücüne duyulan ihtiyaç ve kırsalda görülen ekonomik yetersizlik, insanların kentlere akmasına neden olmuştur. Aynı zamanda, tarımda makinelerin kullanılması, verimin artması bu alanda daha az işgücü gerektirmiştir. Dolayısıyla bu durum da, kırsaldan kente doğru yoğun göçlerin nedenleri arasında yer almıştır. Dünya genelinde yapılan değerlendirmelerde orman, tarım ve otlak alanların ortalama olarak %70'i tahribat ve bozulmaya uğramıştır [1].

İnsan doğal çevrede yaşarken önceleri doğal kaynakları kullanmıştır. Teknoloji ilerledikçe enerjiye olan ihtiyaç artmaya başlamıştır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için insanoğlu daha verimli enerji üretebileceği kaynaklara yönelmiş, böylelikle yakılması ile daha çok enerji üreten fosil kaynaklı yakıtlar kullanılmaya başlanmıştır. Ancak milyonlarca yılda oluşmuş bu yakıtların bir anda yakılarak tüketilmesi dünyanın ekolojik dengesi üzerinde ciddi problemler yaratmıştır. Son yüz yılda

oluşan bu durum küresel iklim değişikliklerine ve ciddi boyutlarda olumsuzluk gösteren doğal ve yaşamsal etkilere neden olmuştur.

Bilim çevrelerince, havadaki karbondioksit ve diğer sera gazlarının atmosferde önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Atmosferdeki karbondioksit gazının en küçük farkı dahi dünya ikliminde esaslı değişimlere neden olmaktadır. Öyle ki, fabrika bacalarından, kentlerden, motorlu araçlardan atmosfere dağılan karbondioksit gazının yol açtığı sera etkisinin 1,5-4 °C sıcaklık artışına yol açacağı, bunun da buzulların erimesi sonucu, deniz seviyesinin yükselmesine neden olacağı düşünülmektedir [1].

Dengelerin bu denli bozulmasında kentlere doğru yaşanan yoğun göçler önemli bir etken olmuştur. Kırsaldan kente doğru yönelen yoğun nüfus akımı, buna hazırlıksız olan kentlerin düzensiz ve olumsuz bir şekilde gelişmesine neden olmuştur. Artan konut ve işyeri gereksinimleri geniş kapsamlı bir inşaat hamlesini gerçekleştirmiştir. Üretimde makinelerin kullanımı, beraberinde seri üretimleri ve standartlaşmayı getirmiştir. Yapı üretiminde standartlaşma, yeni malzemelerin kullanımı, yeni yapım yöntemleri, mimariye önemli bir ivme kazandırmıştır. Ancak bu ivme ekosistemler üzerinde önemli olumsuzlukların ana nedeni olmuştur.

Günümüzde kentlerimizin oluşumu esnasında iklimsel farklılıklar, yöresel veriler dikkate alınmadan meydana gelen yapılaşmalar hız kazanmıştır. Çevre verileri dikkate alınmadan kullanılan bina formları, sokak genişlikleri, yapı malzemeleri neredeyse birbirinin aynı olan yapıların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ancak, farklı iklim bölgelerine sahip olan ülkemizde bu üretim tarzı ile sıcak iklim bölgelerinde daha sıcak, soğuk iklim bölgelerinde ise daha soğuk mikro-iklimler oluşmaktadır. Böylece yapılan tasarımlarda ciddi enerji kayıpları söz konusu olmaktadır. Çünkü tüketilen enerjinin yaklaşık %35'i binalarda kullanılmaktadır. Son on yılda AB ve OECD ülkelerinde enerji tüketimi %18,8 - %16,4 oranında artmışken, ülkemizde bu oran %31,2 düzeyindedir [2]. Ülkemiz 1990 yılına kadar toplam enerji gereksiniminin %50'sini karşılayabilirken, bugün ancak %30'unu karşılayabilmektedir [2]. Bu da göstermektedir ki, ülkemizde enerji tüketiminde bilinç düzeyi yeterli seviyede değildir. Genel enerji tüketimimiz giderek artmaktadır. Bu artış binalarda daha büyük boyutlara ulaşmaktadır.

2. SÜRDÜRÜLEBİLİR VE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAVRAMLARI

Fosil ve nükleer yakıtlara alternatif doğal enerji kaynakları konusunda yapılan araştırmalar sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kavramlarını da gündeme getirmiştir. Enerji için kaynakların yenilenebilir olması yeterli değildir. Zira bazı kaynaklar yenilenebilir bile olsalar etkileri yaşamın sürdürülebilir olmasını engellemektedir. Ekolojik denge için kaynakların sadece yenilenebilir değil aynı zamanda sürdürülebilir olması gerekir. Enerji kaynaklarının sürekliliği, sürdürülebilir olduğunu göstermez. Yenilenebilirlik, bütün açısından ancak sürdürülebilir olursa mümkündür. Bu nedenle enerji sistemlerinin yenilenebilir, enerji kaynaklarının sürdürülebilir olması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji, "doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki kısa süreçte aynen mevcut olabilen enerji kaynağı" olarak tanımlanır. Bugün yaygın olarak kullanılan fosil yakıtlar, yakılınca biten ve yenilenmeyen enerji kaynaklarıdır. Oysa hidrolik (su), güneş, rüzgar ve jeotermal gibi doğal kaynaklar yenilenebilir olmalarının yanı sıra temiz enerji kaynakları olarak karşımıza çıkmaktadır [3].

3. BİNALARDA ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Günümüzde tüketilen enerjinin yaklaşık %35'inin binalarda kullanıldığı belirtilmektedir. Bu durum binalardaki enerji kullanımının ve verimliliğinin oldukça önemli olduğu göstermektedir. Çeşitli ülkelerde enerji verimliliği alanında 1970'lerden beri uygulanan en önemli tedbirlerden biri bina kodları ve standartlarıdır.

Binalarda enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için bu konuda yürürlükte olan enerji etkin bina tasarım yönetmelik ve standartlarına uyulması gerekmektedir. Bu kurullarla birlikte ekolojik mimari kavramı uygulanmalıdır. Ekolojik mimarlık, bir yapının enerji gereksinimini en aza indirmek amacıyla tasarım ve malzemenin bu yönde seçilmesidir. Yapı tasarımında çevre verilerine bağlı yöntemler kullanılırken, malzeme seçimi ve yapıya entegre edilecek sistemlerle, yapıda gereksinim duyulan enerjinin üretimine katkı da sunulmuş olacaktır.

Avrupa ülkelerindeki mevcut binaların, Avrupa'nın 2050 yılında binalarda kullanacağı enerjinin 2/3'ünü tüketeceği tahmin edilmektedir [4]. Bu yüzden son yıllarda mevcut binalardaki enerji performanslarını artırmak amacıyla, birçok ülkede bu standartlar yeni



teknolojilere uygun şekilde revize edilmektedir. Binalardaki etiketleme çalışmaları özellikle alan ve su ısıtma konularında yoğunlaşmaktadır; çünkü alan ve su ısıtıcıları enerji tüketiminde önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan araştırmalara göre, Avrupa’da, hatta Güney Avrupa ülkelerinde bile müstakil konutlarda harcanan enerjinin büyük bir bölümü ısıtma ve sıcak su üretimi amacıyla kullanılmaktadır [5].

Bahreyn’deki Dünya Ticaret Merkezi 240 m yüksekliğe sahip bir yapıdır. Binanın enerji gereksiniminin %10 – 15 kadarı rüzgar tribünleri sayesinde karşılanmaktadır.

Biri Almanya’da diğeri İsveç’te bulunan Eko – kasabalarda yer alan evlerde, yağmur suları toplanmakta, güneş panellerinden elde edilen enerji elektrik enerjisi olarak kullanılmaktadır. Evler maksimum düzeyde doğal ışığı alacak şekilde tasarlanmıştır. Yine, Ken Yeang’ın “Mesiniaga Penang” adlı fütürist yapısında da güneş enerjisinden olabildiğince yararlanılmıştır.

Almanya’da yıllık ortalama 1900, İsveç’te 1800 saat olan güneşli hava ortalaması ile enerjilerinin %12’si yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktayken, Türkiye’de bu ortalama 2400 saattir. Yani güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları bakımından Türkiye önemli bir potansiyele sahiptir.

Ülkemizdeki binalarda enerji kaybının AB ve diğer gelişmiş ülkelere göre 3 kat fazla olduğu bilinmektedir. Bu nedenle binalardaki enerji kayıplarını azaltmaya yönelik verimlilik uygulamaları ve binanın ihtiyacı olan enerjinin yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi son derece önemlidir.

Dolayısı ile sürdürülebilirlik kavramı söz konusudur. Sürdürülebilirlik Eren Gezgin’in tanımladığı gibi “her şeye rağmen” değil, “her şeyi dikkate alarak” yaşamı sürdürme çabası olmalıdır ve bu kavram, insanoğlunun ılıman iklimlerde güneşe bakan mağaraları, kuzeye bakan mağaralara tercih ettiğinden bu yana var olmuştur [6].

4. DİYARBAKIR GÜNEŞ EVİ ÖRNEĞİ

Binalarda ihtiyaç duyulan enerjinin yenilenebilir kaynaklardan sağlandığı sıfır enerjili veya artı enerjili yapılar oldukça önemli hale gelmektedir. Bu çalışmalara örnek olan, Diyarbakır’da AB Projesi kapsamında Büyükşehir Belediyesi öncülüğünde Dicle Üniversitesi ve çeşitli sivil toplum

kuruluşlarının işbirliği ile yapılan “Diyarbakır Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Parkı” Türkiye’nin enerji mimarlığı ilkelerine göre yapılmış ilk yapısıdır [7].

4.1. Toprakaltı Enerjisi

Yer kabuğunun 2 metre altına inildiğinde sıcaklık sabit kalmaya başlar. Yeryüzünü kaplayan toprak katmanının ısı enerjisinden binalarda da yararlanılabilir. Bu değer yaklaşık 15 °C’dir. Güneş evinde toprakaltı enerjisinden yararlanılmıştır. Bu amaçla evin arka bahçesinde toprağın 3 m altına döşenen borularda dolaştırılan su aracılığı ile buradaki ısı enerjisi eve taşınmaktadır. Evin zemin kat döşemesinde, tavanlarda ve asma kat tavan altında döşenen özel yeşil borularda dolaştırılan bu su ile bina hacminin ısıtılmasında ve soğutulmasında toprakaltı enerjisi kullanılmaktadır. Toprakaltı enerjisinden hava yolu ile yararlanmak için yine toprak altına 30 cm çapında 88 metre boru döşenmiştir. Tromp duvarları ve seranın yaratacağı vakum etkisi ile doğal yöntemle ve gerektiğinde devreye giren aspiratörle bu doğal serinlik yazın iç mekâna alınmaktadır (Resim 1).



Resim 1 Toprakaltı Enerjisinin Güneş Evi’nde Kullanımı

4.2 Sera ve Güneş Duvarları İle Isıtma ve Soğutma

Evin güney cephesinde eklenen sera bölümünde, evin ihtiyacı olan bazı sebzeler yetiştirilebilecektir. Aynı zamanda güneşin kışın hemen ısıttığı bu bölümde, altta iç mekâna bırakılan menfezden giren hava, güneşin etkisi ile ısınıp yükselerek üstteki iç menfezden tekrar eve dönerek mekânın hızla ısınmasını sağlayacaktır. Eğer üstteki dış menfez açılır, içteki kapanırsa, bu defa baca etkisi ile sürüklenen hava, kuzey cephesindeki yeraltı kanallarından alınan serin havayı içeri çekecek, böylece mekânın serinlemesini sağlayacaktır. Yaz aylarında, kışın yaprağını döken sarmaşık ve ağaçlarla bu bölümün gölgede kalması sağlanacaktır. Doğu, güney ve batı cephelerinde kullanılan tromp duvarlar aynı kurgu ile enerji üretecektir. Diyarbakır için, yazın gündüz ısınan duvarın iç mekânı aşırı ısıtıcı etkisi göz önüne alınarak, ısı kütlesi olarak “kum” kullanılmış ve izolasyonlu duvarın dışına taşınmıştır (Resim 2-3).



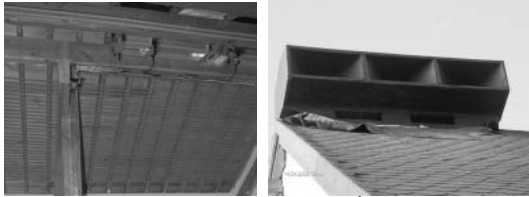
Resim 2 Güneş Evinin Tromp Duvarları



Resim 3 Güneş Evinin Serası

4.3. Venturi Bacası ve Rüzgâr Kepeçesi

Doğal havalandırma sağlayacak rüzgâr kepeçeleri ve Venturi bacaları, konutlardan sanayi tesislerine kadar her türlü yapıda kullanılacak basit düzeneklerdir. Esen rüzgâr, ağzı daraltılmış, huni benzeri bir düzenekten geçerken hızlanır. Bu esintinin, düşey yöndeki kanal ile iç mekâna temiz ve serin hava olarak girmesi sağlanır. İç mekânda ısınıp yükselen kirli havanın ise, venturi bacası denilen, yine ağzı daraltılmış bir düzenekten, rüzgârın bu kez yatay geçiş yaparken yarattığı vakum aracılığı ile dışarı atılması sağlanmaktadır. Tromp, sera ve venturi bacasındaki tüm menfezlerin açılıp kapanması elle kumanda edilebileceği gibi; güneşi, hava sıcaklığını ve rüzgârı takip eden sensörler vasıtası ile otomasyon sistemine de bağlanabilmektedir (Resim 4).



Resim 4. Venturi Bacasının İçten ve Dıştan Görünümü

4.4. İzolasyon

Duvar ve tavanlarda hiçbir sağlık endişesi içermeyen, selüloz ve bor bileşiği hamurundan üretilen izolasyon malzemesi kullanılmıştır. Ahşap konstrüksiyonun içi püskürtme yöntemi ile doldurulmuştur. Farklı sonuçları gözlemlemek amacı ile çatının bir bölümünde serbest perlit, bir bölümünde ise geleneksel Anadolu evlerinin çatı çözümü olan kil ve kâş kullanılmıştır. İç yüzeyler alçı levha ile kaplanmıştır. Binanın tabanında ve dış yüzeylerde, lifli sunta üzerine perlitin organik bir

bağlayıcı ile birleştirilmesinden üretilen özel bir sıva kullanılmıştır.

4.5. Şömine

Şömine, kendi enerjisini üretme yolundaki tüm yapıların olağan ya da sıra dışı durumlarda başvuracağı, bir ısınma aracıdır. Döküm gövdeli akıllı şömine sayesinde ise çok az bir yakıtla, ortalama 10 °C altına düşmeyeceği hesaplanan iç havaya 15 °C ekleyerek 25 °C kolaylıkla ulaşılmaktadır (Resim 5).



Resim 5. Güneş Evi'nin Şöminesi

4.6. Fotovoltaikler ve Güneş Kolektörleri

Yörenin enlemine eşit olarak 40 derece eğimli olan güney çatısında ve yine güneye bakan 17 derece eğimli mutfak çatısında; her biri 162 wat'lık, toplam 3.88 kW kurulu güce ulaşan 24 adet güneş gözesi (fotovoltaik) kullanılmıştır. Bu düzenek, invertör, regülatör ve depolama amaçlı 16 adet 12 volt 100 amperlik özel aküler aracılığı ile elektrik ihtiyacını sürekli olarak karşılamaktadır. Günümüzde bazı ülkelerde, çift saat uygulaması adı verilen sistemle yapılarda üretilen fazla enerjinin şebekeye transferi mümkün olmaktadır. Çift saat uygulamasının ülkemizde uygulanmaya başlanması ile akülü depolama sistemi yanında, üretilen fazla enerjinin şebekeye verilmesiyle yapının artı enerjili hale gelmesi mümkündür. Çatıda ayrıca, sıcak kullanım suyunu karşılamak üzere iki adet güneş kolektörü ve zemin katta özel sıcak su deposu (boyler) vardır. Ülkemizde, yılda 3300 saat ile güneşlenme şampiyonu olan Diyarbakır'ın güneşli kış günlerinde elde edilen ve depolanan sıcak su, geceleri döşeme altındaki borular vasıtası ile iç mekânın ısıtılmasına da katkıda bulunacaktır (Resim 6).



Resim 6 Güneş Evi'nin Fotovoltaikleri (Güneş Pilleri)

4.7. Biyolojik Arıtma

Evsel atıklar, Dönen Biyolojik Disk (Rotating Biological Disk) yöntemiyle, plastik dairesel levhalar üzerinde üreyen bakteriler sayesinde, çok düşük bir enerji kullanımı ile % 90-95 oranında arıtılmakta, bahçe sulamasında kullanılmak üzere yağmur suyu deposuna aktarılmaktadır. Disklerin yüzeyindeki bakteriler tamamen doğal olarak oluşmakta ve ani değişkenlik gösteren organik yüke, diğer sistemlere göre çok daha hızlı uyum sağlamaktadır. Arıtmayı gerçekleştiren bakterilerin çoğalabileceği yüzeyin, dönen disklerden ibaret olması küçük bir alana yüzlerce metrekairelik yüzeyin sığdırılabilmesini mümkün kılmaktadır. Bu tip arıtmalar sessiz ve kokusuz olma özelliğine sahiptir (Resim 7-8).



Resim 7 Güneş Evi'nin Ahşap Strüktürü



Resim 8 Güneş Evi'nin Biyolojik Arıtma Sistemi

4.8. Yağmur Suyu

Suyun gelecekteki değeri ve her yörede bulunmaması yüzünden binada örnek bir uygulama yapılmıştır. Bu amaçla, çatılardan alınıp borularla kuzey cephesindeki su deposuna yönlendirilen yağmur suyu, yeraltında saklanmaktadır. Evsel atık arıtmasından elde edilen suyun karbon filtreden geçirilmesi sonucu, ikisi birlikte bahçe sulamasında kullanılmaktadır. Bu suyun, temizlik suyu olarak rezervuarlarda kullanılması da mümkündür.

4.9. Ahşap Taşıyıcı Sistem

Dünyadaki yegâne geri dönüşümlü yapı malzemesi olan ahşap, Güneş Evinin de çatısını yani taşıyıcı sistemini oluşturmuştur. Böylece evin deprem riski tamamen ortadan kalkmıştır. Ahşap betona göre 16 kat izolasyon değerine sahiptir. Olası bir depremde ahşap binalar, çelik ve beton binalara karşın daha dayanıklıdır. Ahşap binaların altı kata kadar örnekleri bütün dünyada yaygındır.

5. GÜNEŞ EVİNİN ENERJİ TASARRUF POTANSİYELİ

Tamamen ekolojik kurgusu ile ihtiyacı olan tüm enerjiyi kendisi üreten Diyarbakır Güneş Evi böylelikle ciddi bir enerji tasarrufu yapabilmektedir. İhtiyacı olan enerjiyi doğal yollardan ürettiği için çevreye herhangi bir zarar vermemekte ve tamamen sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kullanmaktadır. Diyarbakır Güneş Evi'nde açıldığı 21.06.2008 tarihinden bu güne tüketilen elektrik enerjisi Tablo 1'de görülmektedir. Aslında evin elektrik üretme kapasitesi bu değerden daha büyüktür. Ancak depolama alanının sınırlılığı bu miktarı sınırlamaktadır.

Tablo 1. Haziran 2008-Ocak 2009 arası Güneş Evi Elektrik Enerjisi Tüketim Değerleri

T1 (05:00-17:00)	T2 (17:00-22:00)	T3 (22:00-05:00)	Toplam
984 kWh	579 kWh	691 kWh	2255 kWh

Bunun yanında evin iklimlendirmesi için gerekli olan tüm enerjiyi doğal yollardan elde ettiği düşünüldüğünde iklimlendirme için gerekli enerjinin de tasarruf edildiğini söylemek mümkündür. Diyarbakır için eşit büyüklükte bir yapının hesaplanan ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri Tablo 2. de verilmiştir. Bu yaklaşımla güneş evinden yaklaşık yılda 8078 kWh enerji tasarruf edilecektir.

Tablo2: Güneş Evi'ne eşit büyüklükte bir yapının Diyarbakır için hesaplanan ısıtma ve soğutma enerji tüketim değerleri

Yıllık Isıtma Enerji İhtiyacı	Yıllık Soğutma Enerji İhtiyacı
2142 kWh	2071 kWh

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeni küçük ölçekli konut yapılarında pasif ve aktif güneş ısıtma sistemlerinin kullanıldığı, biyoklimatik yapı özelliğine sahip örnekler gün geçtikçe çoğalmaktadır.

Yeni malzemeler, akıllı cephe ve çatı sistemleri, doğal yapay aydınlatma sistemleri, fotovoltaik paneller gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı, bina ve enerji kontrol sistemleri bu teknolojik gelişmelere örnektir.

Ancak günümüz tasarımlarında, öncelikle kent planlama boyutunda ciddi sorunlar yaşanmaktadır.

Yapılan imar planları ekolojik değerler dikkate alınmadan, çoğu zaman kent verilerine yabancı tasarımcılar tarafından tasarlanmaktadır.

Bölge planlaması yapılmamakta, yaygın olarak yerel yönetimler 1/1000 uygulama imar planını kullanmaktadır. Bu planlarda ada bazında kararlar verilmekte, parsellerde minimum çekme mesafesi ile yapılaşmaya izin verilmektedir. Kentsel tasarım planları olmadan, bina aralıkları ve konumlarında, iklim, ışık durumu, yönlenme, hava sirkülasyonu gibi çok önemli konulara dikkat edilmeden planlamalar yapılmaktadır. Bu da kentleri enerji boyutundaki sürdürülebilirliği konusunda sıkıntıya sokmaktadır.

Teknolojinin bugünkü kadar gelişmediği dönemlerde konfor koşullarını oluşturmak amacıyla doğal ve yerel malzemelerle uygun önlemler alınarak enerji verimli kullanılmıştır. Ancak teknolojinin gelişmesi ile her türlü konfor koşulunun yapma sistemlerle sağlanabileceği düşüncesi enerjinin tükenmeyecek gibi harcanmasına neden olmuştur.

Sürdürülebilirlik kapsamında yenilenebilir ve etkin enerji kullanımı bu konuda yürürlükte olan ve enerji etkin bina tasarım ve yapımında doğru sonuçlar sağlayan, doğru yönetmelik ve standartların uygulanması ile mümkün olabilecektir. Dünyada bu çalışmaların örnekleri mevcuttur.

Enerjide sürdürülebilirliğin sağlanmasında en etkili yol, başlangıç aşamasında binaların enerji etkin sistemlere tasarlanmasıdır. Bu noktada da, yapının bulunduğu yer, yöneliş, yapı formu, yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri önemli tasarım parametreleridir [8]. Dolayısıyla yapılacak olan tasarımlarda;

- * Yapma çevreleri tasarlarken doğal kaynaklara verilecek zararın en az seviyeye indirilmeli
- * Yapısal alandaki topografyaya uygun bir yaklaşımla binalar konumlandırılmalı
- * Tasarım, esneklik ve değişebilirlik kriterlerine olanak sağlamalı ve mekânlar multifonksiyonel kullanılabilmelidir [9].

KAYNAKLAR

1. Semenderoğlu A., "Tarih Boyunca Çevre ve İnsan", Ekoloji Sayı 3 - 1992
2. IEA (International Energy Agency), Key World Energy Statistics, OECD/IEA, Paris, 2003a.
3. T.Sıdkı Uyar, "Yenilenebilir Enerji Kaynakları",
4. Henderson George, Kenya TILLERSON, Edgar BLAUSTEIN. "Building Energy Labelling in Existing Buildings". European Council for an

Energy- Efficient Economy. Summer Study Proceedings, 2001. pp.97-106. 14 Nisan 2004.

5. Kavak, K., "Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi", Uzmanlık Tezi, İktisadi sektörler ve Koordinasyon genel Müdürlüğü, DPT Yayını, Yayın No:2689, 2005
6. Keleş, R. Ve Yılmaz M. "Sürdürülebilir Konut Tasarımı ve Doğal Çevre" , <http://www.tarihkentlerbirliigi.org> sayı 13 makale 76.
7. Gümüş B., İlgün A., Erengözün Ç, "Enerji Sorunlarına Temel Çözüm, Bir Öncü Proje; Diyarbakır Güneş Evi", II. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 17-18 Mayıs 2007, Kocaeli.
8. Oral Koçlar, G. "Sağlıklı Binalar İçin Enerji Verimliliği ve Isı Yalıtımı" VIII. Ulusal Tesisat Müh. Kongresi İzmir 25-28 Ekim 2007
9. Bostancıoğlu, E. , Düzgün Birer, E. "Ekoloji ve Ahşap-Türkiye'de Ahşap Malzemenin Geleceği" Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 9 Sayı 2, Bursa 2004



DIYARBAKIR İLİNDE ÇOK FONKSİYONLU GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTMA SİSTEMİ OLUŞTURULMASI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

Nermin TOSUN*, Hasan BAYINDIR**, Hüseyin AYDIN***

*,** Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 21280 Diyarbakır.

*** Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü, 72060 Batman.

E-mail: nermin_2103@hotmail.com, hbayindir21@gmail.com, huseyyinaydin@gmail.com

ÖZET

Geleneksel olarak kullanılan en yaygın kurutma şekli güneş altında sererek yapılan kurutmadır. Kurutma, enerji girdisi yüksek olan bir işlemdir. 1980'lerden itibaren enerji fiyatlarındaki artış, kirliliğin önlenmesi üzerine yapılan yasal düzenlemeler, sağlığa uygun ortamda gıda üretimi gibi konular önem arz etmektedir. Kurutma için harcanan enerji tüketimini azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden daha çok yararlanmak üzere çeşitli kurutma yöntemleri geliştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında tek enerji kaynağı olarak güneşin kullanıldığı bir gıda kurutma sistemi oluşturulmuştur. İmal edilen kurutma sistemi ile gıda ürünlerinin olumsuz (toz, is, kurum, gaz emisyonları, böcek vs.) çevresel koşullardan etkilenmeden ve güneş ışınlarına direkt maruz kalmadan kurutulması amaçlanmıştır. Güneş fırını adı da verilebilen bu kurutma sisteminin iç sıcaklığı belli derecelerde tutularak mevsimine göre incir, üzüm, domates, patlıcan, biber, kabak, salça vb. gıdalar fiziksel kalite ve özellikleri bozulmadan güneş enerjisi ile ekolojik olarak kurutulabilecektir. Bu sistemde ilk olarak salça kurutma denemesi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Güneşli kurutma, Kurutma odası, Salça kurutma.

1. GİRİŞ

Gıda maddeleri üretimlerinden tüketimlerine kadar geçen süre içerisinde pek çok enzimatik, mikrobiyal ve kimyasal süreç dolayısıyla hızlı bir şekilde bozulma eğilimi gösterirler. Gıdaların bozulmasını geciktirerek korumasını sağlamak amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Bu yöntemlerden en yaygın olanı güneş altında sererek kurutmadır. Bu teknik yenilenebilir enerji kaynağından yararlandığı için ekonomik olmasına rağmen, günümüzün gelişen kalite talepleri düşünüldüğünde bu yöntem ile kurutulmuş ürünün mikrobiyal bulaşmaya, gelişmeye ve böcek istilasına açık olması nedeniyle dezavantajları bulunmaktadır. Bu bağlamda, kurutmanın kontrollü bir şekilde yapılması önem kazanmakta ve bu konudaki çalışmalar günümüzde hızla sürmektedir[1]. Kurutma yoğun enerji girdisine ihtiyaç duyan bir işlem olup, çoğu sanayileşmiş ülkede kurutmanın sanayide kullanılan enerji payı % 7- 15 civarındadır. Tarım ürünlerinin üretiminde kullanılan enerjideki payı ise %60'ı aşan kurutma işlemi, % 25- 50 arasında değişen ısı verimliliğiyle gerçekleştirilmektedir[2].

Bu çalışmanın temel amacı; Diyarbakır İli şartlarında domates, biber ve salça kurutmada tamamen güneş enerjisine dayalı bir kurutucu imal etmek ve kurutmadaki performansını belirlemektir.

Sistem sağlık boyutuyla ele alındığında sistemin özellikle kurutma odası kısmında plastik ve plastik türevi malzemelerin mümkün olduğunca kullanılmamasına özen gösterilmiştir. Kurulan sistem ile birçok ürünün kurutma işlemine tabii tutulabilmesi hedeflenmiştir. Çalışmalar özellikle tüketimi fazla olan salçanın kurutulması üzerine yoğunlaştırılmıştır. Bu ürünün seçilmesindeki temel neden sistem içerisinde kurutulması en zor olacak gıda ürünlerinin başında gelmesi ve ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmasıdır. Bunun yanı sıra özellikle yerel üretimde karpuzdan sonra en başta gelen tarımsal gıda ürününün domates olması önem arz etmiştir. Domates, Dünyada 1700'lü yıllarda keşfedilmiş 1900 yıllarda da mutfakların vazgeçilmezleri arasında yer almak üzere yetiştirilmeye başlanmıştır. Anavatanı Peru'dur. Ucuz ve bol vitamin kaynağı olan domates besleyici ve lezzetli özelliğinden dolayı dünyanın birçok ülkesinde en çok üretilen ve tüketilen sebzelere dendir. Turfanda olarak yetiştirilebilmesi nedeni ile her mevsimde tüketilebilmektedir. İçinde



A, B1, B2, C, K vitaminleri, niacin, protein, yağ, karbonhidrat, potasyum, kalsiyum ve demir bulunur. Taze olarak yenildiği gibi salça, domates suyu, konserve turşu, sos, reçel, ketçap, şeklinde de tüketilmektedir. 5-6 kg domatesten yaklaşık 1 kg salça elde edilebilir[4,5]. Ülkemizde de bolca üretilip-tüketilen domatesin Güneydoğu Anadolu Bölgesi illerine göre ürün bazında ekim alanları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. 2003 yılı itibariyle illere göre üretilen sebze miktarları(ton) ve toplam ekim alanları(ha)[3].

Sebzeler	Adıyaman	Batman	Diyarbakır
Domates	25931	14098	85038
Biber (Dolmalık)	2777	3520	8157
Biber (Sivri)	1156	2122	8864
Patlıcan	6867	5820	52133
Hıyar	5389	9510	19244
Kavun	14950	21960	92107
Karpuz	47372	54850	218575
Kabak	477	8	325
Bamya	81	10	60
Fasulye	341	52	2513
Marul	864	10	417
Ispanak	28	-	138
Pazı	-	-	-
Semizotu	-	-	-
Tere	-	-	-
Nane	-	-	75
Maydonoz	195	13	171
Sarımsak	259	30	138
Soğan	1652	996	768
Havuç	175	-	-
Turp	516	-	134
Lahana	-	-	-
Balkabağı	-	-	-
Top. Üretim	109030	112999	488857
Top. Ekim Alanı	5183	4252	18296

Tablo incelendiğinde, domates için Diyarbakır ilinde 85038 hektarlık alanın kullanıldığı görülmektedir.

Tablo.2. Dünyadaki Önemli Domates Üretici Ülkeler, (milyon ton)[5]

Çin	31.6
Amerika Birleşik Devletleri	11.0
Türkiye	9.7
Hindistan	7.6
Mısır	7.6
Dünya toplamı	125

Güneş enerjisi potansiyelini belirleme çalışmaları sonucunda Diyarbakır ilinin güneş ışınımı ve güneşlenme süresi açısından güneş mimarisi, kurutma, sıcak su, soğutma ve iklimlendirme ile ilgili güneş enerjisi uygulamaları için oldukça uygun olduğu görülmüştür[6].

Tablo 2’de 2005 yılı verilerine dayanarak dünyada yapılan domates üretimine dair ilk 5 ülke ve bunların

üretim miktarları verilmiştir. Türkiye’nin 9,7 milyon ton ile dünyadaki domates üretiminde 3. sırada yer aldığı görülmüştür.

Tablo 3 ve Tablo 4’te bazı gıda ürünlerinin nem içerikleri ve kurutma sıcaklıkları verilmiştir. Sebzelerin Tablodaki önerilen kurutma sıcaklıklarında aşağıdaki nem oranlarına getirilmek üzere kurulmuştur.

Tablo 3 Bazı gıda ürünlerinin ilk ve son nem içerikleri[7]

Ürün	İlk Nem İçeriği(%)	Son Nem İçeriği(%)
Bamya	81	6
Bezelye	60-70	5-10
Ispanak	80	10
Domates	93	7
Elma	84.8	24
Erik	78.7	35
Fasulye	60-70	5-10
K. biber	90	20
Havuç	80-90	5-10
İncir	77.5	26
Hurma	65	40

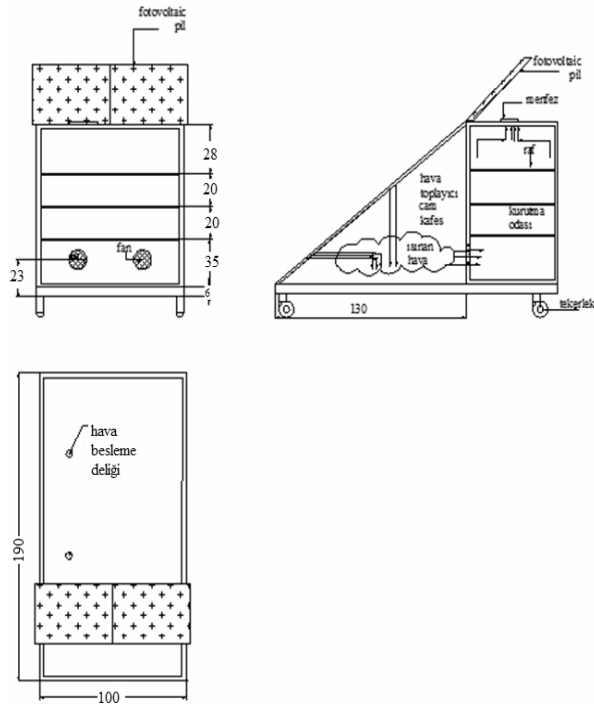
Tablo 4 Bazı gıda ürünlerinin kurutma sıcaklıkları[7]

Sebze	Kurutma Sıcaklığı °C	Sebze	Kurutma Sıcaklığı °C
Fasulye	75	Kayısı	71
Lahana	63	Havuç	79
Kırmızı biber	35-40	Hindistan Cevizi Kurutma	35-40
Tıbbi Bitkiler	35-50	Soğan	88
Domates	70	Biber	55
Sarımsak	55	Patates	66



2. MATERYAL METOD

İmal edilen güneşli kurutma sisteminde, hava akışlı güneş toplayıcı kafeste kullanılan saydam örtünün UV ışınlarına dayanıklı olması gerektiğinden sera camı kullanımı tercih edilmiştir. Kullanılacak olan yüzey alanına ve çevresel etkenlere göre cam kalınlığı 6 mm olarak seçilmiştir. Hava akışlı güneş toplayıcı kafes dizaynı güneş ışınlarının Diyarbakır iline en düşük geliş açısına bağlı olarak kış şartlarına göre yapılmıştır. Sistemin görünümü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Güneşli Kurutma Sistemi

Sistemin fotoğraik görünümü Foto 1’de verilmiştir.

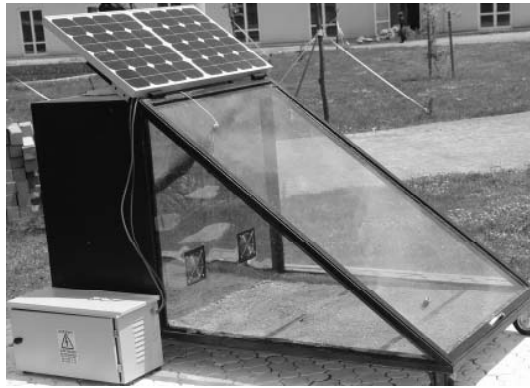


Foto 1. Güneşli Kurutma Sisteminin Profil Görünümü

Hava akışlı güneş toplayıcı kafesin görevi, üzerine gelen güneş ışınlarını tutarak ısı enerjisine çevirmek ve kurutma havasına aktarmaktır. Toplaç içinde ısınan hava termal kuvvet etkisiyle kurutma odasına girer ve domateslerin yerleştirildiği kurutma tepsilerinden geçerek ürünün nemini alır ve menfezden dışarı çıkar.

Hava akışlı cam kolektör yüzeyin güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak 40°'lik eğimli olarak tasarlanmıştır. Açılı yüzeyin uzunluğu 130 cm dir. Dik kenarları

$$\tan \alpha = 110 \text{ cm} / 130 \text{ cm} \quad \text{ise} \quad \alpha = 40^\circ$$

olacak şekilde imal edilmiştir. Taban içerisine 1 cm yüksekliğe kadar 3 mm çap büyüklüğündeki kum dökülmüştür. Kum üzerine siyah bazalt taşları döşenmiştir. Döşenen taşların emici plaka görevi görmesi amaçlanmıştır. Altına döşenen kum ile ısının sistem içerisinde kalması sağlanmıştır. Böylece yavaş yavaş ısınan hava fanlar aracılığıyla raflı kurutma odası kısmına taşınmaktadır. Sistemin verimli çalışması için hava akışlı cam kolektör yüzeyin üzerinde 1.5 cm çapında filtreli iki adet hava besleme deliği açılmıştır. Isının hava akışlı cam kolektörden kurutma odası kısmına geçişi için sistemde 12.5 cm çaplı 12 volt'luk 12*12*3.8 cm boyutlarında, AC 220-240V, 50/60Mhz, 0.14A özelliğinde fanlar kullanılmıştır. Fanların ısıya karşı dayanıklı olmasına dikkat edilmiştir. Fanlar sayesinde hava akışının kolaylaşması sağlanmıştır. Bu sayede ısı, hava akışlı cam kolektör kısmından sistemin kurutma odası kısmına taşınması sağlanmıştır. Raflara yerleştirilmiş bulunan kurutulacak materyal fanlar aracılığıyla sisteme verilen sıcak hava ile kurutulmaktadır.

Kurutma odası 50x100x100 cm ebatlarında dizayn edilmiştir. Kurutma odası kısmının tasarımında hava akışlı cam kolektörün hacmi de göz önünde bulundurulmuştur. Kurutma odası içerisine 3 tane raf yerleştirilmiştir. Raflar baklava dilimli ızgaralar şeklinde seçilmiştir. Sistemde salça dışında kurutmaların yapılabilmesi için bu tarz ızgaralar tercih edilmiştir. Izgaralar takılıp çıkarılabilir nitelikte tasarlanmıştır.



Foto 2. Kurutma odası görünümü

Eğer parça ürün kurutulacaksa ızgaraların kullanılması, salça vb. akışkan gıdalar için ise tepsilerin de kolayca yerleştirilebileceği şekilde raflar tasarlanmıştır. Kurutma odasının görünümü Foto 2’de verilmiştir.

Uygun havalandırma yapılmaz ise sistem içerisinde ısı birikimi olacağından sıcaklığın istenilen sınırların üzerine çıkabileceği düşünülmüştür. Böylece kurutma odası içerisinde oluşabilecek istem fazlası ısıyı dışarı atılabilmesi için 20x20 cm ebatlarında bir havalandırma deliği açılmıştır. Delik üzerine 20x20 ebatlarında hareketli bir menfez takılmıştır. Menfez ile ısıyı yoğunlaştığı saatlerde menfez tam olarak açılarak daha kolay bir hava akışı oluşması sağlanmıştır.

Kurutma odası üzerine iki adet 40 voltluk fotovoltaik pil yerleştirilmiştir. Piller taban ile 45°lik açı yapacak şekilde monte edilmiştir. Böylece güneş enerjisinden maksimum verim elde edilmesi planlanmıştır. Kullanılan fotovoltaik piller ihtiyacın 4 katı üstünde enerji üretebilmektedir, başka alıcılar da bu fazla üretimden beslenebilmektedir. Pillerden alınan enerji fazlası 2 Adet 45 Ah akümülatörlerde depolanmıştır. İnvörtör kullanılarak pillerden gelen DC akım AC akıma çevrilmektedir. Çevrilen ve akümülatörde depolanan elektrik enerjisi bir prize bağlanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Bu priz aracılığıyla elde edilen elektrik sisteme eklenecek bir ısıtıcıda, sistemdeki fan sayısını artırmada, ışıklandırmada yada elektrik gereksinimi olan başka bir cihazda(lamba, laptop, telefon şarj cihazı vb.) kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Hareket serbestisi sağlamak üzere, imal edilen kurutma odasının her dört köşesinin altına birer adet olmak üzere toplam 4 adet 14 cm çaplı tekerlek monte edilmiştir. Sabit kalması istendiğinde problem oluşmaması için tekerlekler emniyet kilidiyle kilitlenebilmektedir.

İhtiyaçlarının karşılanabilmesine ve AC fan prize takılarak sistem içerisinde hava dolaşımı sağlanmasına olanak tanınmıştır. Isınan havanın genişterek yükseleceği ve sistemi uygun bir şekilde terk edecek biçimde tasarlama yapılmıştır. Isınan havanın en hızlı şekilde kurutma odasına aktarılabilmesi ve buharın nakliyesinin daha kolay olabilmesi için fanlar özellikle kurutma odasının alt kısmının girişine monte edilmiştir.

Güneşli kurutma sistemi, Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi'ne ait Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Merkezi'nin bahçesine kurulmuştur. Burada bir platform oluşturulup, beyaz kilitli taşlar kullanılarak hazırlanan platform ile ortamın yansıtıcılığı artırılmıştır.

3. SALÇA KURUTMA DENEYİ

Kurutulmak üzere hazırlanan salça tepsiler içerisinde kurutma odası raflarına yerleştirilmiş ve kurutulmaya başlanmıştır.

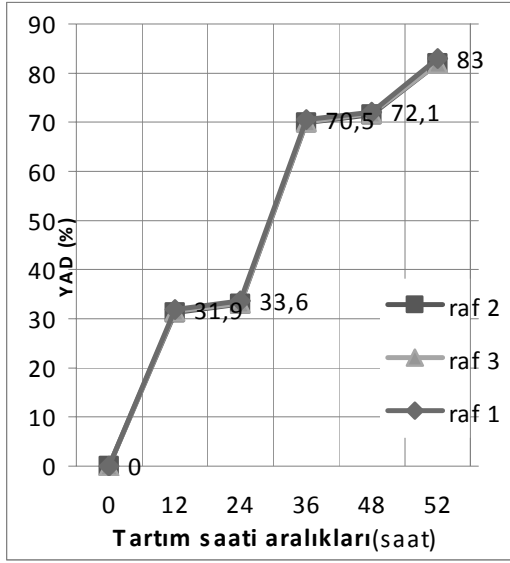
Kurumakta olan salça örneklerinin yüzde ağırlık değişimlerini (YAD) belirlemek amacıyla aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$YAD = [(M_i - M_s) / M_i] * 100 \quad (1)$$

M_i =numunelerin kurutma öncesindeki ağırlıkları

M_s =kurutmadan sonra tartım anındaki ağırlıkları

Ağırlıklar oranlandığı için YAD birimi yoktur. Ağırlık değişimi kg/saat'tir. Bu işlem ilk aşamada ikişer saat arayla gün içerisindeki kurutma oranının tespiti için uygulanmış ikinci aşamada ise 12 ve 24 saatlik zaman aralıklarıyla kurutma süresince kaybettiği sıvı miktarının belirlenmesinde kullanılır. Kurutma sırasında elde edilen veriler grafiğe dönüştürülmüştür. Şekil 2, zaman aralıklarına bağlı olarak ve Şekil 3 de ise günün saatlerine bağlı olarak yaş değişim miktarları oranlanmıştır. Kurutmanın % 83'ü ilk 52 saatte gerçekleşir. Tartıma sabah 6:00'da başlanmıştır. Saat aralıkları buna göre belirlenmiştir.



Şekil. 2. Zamana Bağlı Yüzde Ağırlık Değişimi

Bu ölçümler fanlar gece durdurularak yapılmıştır. Fanlar çalıştırıldığı taktirde gece de bir miktar kurutma yapılabilir.



Şekil. 3. Saatlere Göre Yüzde Ağırlık Değişimi

Gün içerisinde maksimum kurutma miktarı 1,33 gr/dk ile öğle saatlerinde görülmüştür. Minimum kurutma ise 0,07 gr/dk ile gece görülmüştür.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

İmal edilen sistemin fonksiyonel olması nedeniyle ilk olarak salça kurutma testi başarı ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerlerin çeşitli gıda ürünlerinin kolaylıkla kurutulabileceğini

göstermiştir. Deneysel sonuçları kurutmada maksimum verimin 10^{00} ve 15^{00} saatleri arasında elde edildiğini göstermiştir.

Kurutma sisteminden uygun iklim koşullarında istenen sonuçlar elde edilmiştir. Sistemde kullanılan fanlar güneş enerjisinden hareket aldıkları için herhangi bir güç kaynağına bağlı olmaksızın kurutma sistemi bir bütün olarak istenilen yere taşınabilir. Kullanılan fotovoltaik pilin kapasitesi yüksek tutulduğu ve invertör kullanıldığı için kullanıcının basit elektrik gereksinimlerini kolaylıkla karşılayabilecek kapasitede olduğu görülmüştür.

Mayıs ayının ortalarında yapılmış olan çalışmaya göre ideal kurutma süresinin bu mevsimde yaklaşık 5 gün olduğu belirlenmiştir. Yaz aylarında kurutma süresinin azalacağı ve ortalama üç günde ideal bir kurutma yapılabileceği düşünülmüştür. Elde edilen ürünün renginin güneşte kurutmaya nazaran daha iyi görüldüğü saptanmıştır. İlk aşamada küf oluşumu gözlenmemiştir. Tamamen güneş enerjisi ile çalışan bu kurutma sisteminin verimli çalışabilmesi için Diyarbakır ilindeki ışınım değerleri çok uygundur.

Kurutma sisteminde kullanılacak tüm enerji doğal enerji kaynağı olan güneşten temin edilmiştir. Ekstra bir enerji kaynağı kullanılmaması nedeniyle üretim maliyeti dışında herhangi bir gideri bulunmamaktadır.

Güneş enerjisi ile çalışan bu ve benzeri makinelerin tarımda kullanılması, ürünlerimizin kalitesini yükseltecek ve uluslararası pazarlarda ülkemizin rekabet gücünü ve pazar payını arttıracaktır. Tarımda fosil yakıt tüketiminin azalması da ülke ekonomisine büyük bir katkıda bulunacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemlerin uygulamalarının artırılmasını sağlamak gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırmalar ülkelerin gelişmişlik düzeyleriyle doğru orantılıdır. Ülkemizin güneş kuşağı denilen iyi ışınım değerlerine sahip ülkelerin arasında bulunması, özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesinin iyi ışınım değerlerine sahip oluşu bu araştırmaların uygulanabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Sahip olunan avantajlı konumun hem tarımda hem de sanayide en iyi şekilde kullanılması büyük yarar sağlayacaktır.

Diyarbakır ilinde kurulan bu sistemin çok amaçlı kurutma işleminde kullanılabileceği belirlenmiştir. Sistem daha büyük boyutlu imal edilerek, sebze ve meyve kurutmada verimli bir şekilde kullanılabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi tarafından Bilimsel Araştırma Projesi olarak desteklenmiş olup, sistem proje kapsamında Diyarbakır Büyükşehir Belediyesine ait Güneş Evi Eğitim ve Uygulama Merkezi'nin bahçesine kurulmuştur. Desteklerinden dolayı Diyarbakır Büyükşehir Belediyesine ve Güneş Evi yöneticisi Gültekin Aydeniz 'e teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

- 1) Hepbaşlı A., Erbay Z., İçier F. ve Hancıoğlu E. Isı Pompalarının Genel Tanımı İle Gaz Motoru Tahrikli Isı Pompaları Ve Kurutucusu, TESKON 2007, 8. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Isı Pompalarının Konutsal Ve Endüstriyel Uygulamaları Kurs Kitabı, 25-28 Ekim, İzmir, 2007.
- 2) Hepbaşlı A., Erbay Z., İçier F. ve Hancıoğlu E. Güneş Enerjisi Destekli Gaz Motoru Tahrikli Bir Isı Pompası Sistemi Uygulaması, İKLİM 2007 2. Ulusal iklimlendirme kongresi bildiriler kitabı, 15-18 Kasım Antalya, 2007.
- 3) DİE tarımsal yapı ve üretim, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü DİE Yayınları; 2004.
- 4) <http://tr.wikipedia.org/wiki/Domates>
- 5) Birleşmiş Milletler gıda & tarım organizasyonu (FAO); <http://faostat.fao.org/>
- 6) Kavak A. E., Koçyiğit F. Ve Biçer Y. Enerji Çalışmaları İçin Diyarbakır İlinin İklim Verilerinin Rüzgar Ve Güneş Enerjisi Potansiyelinin Değerlendirilmesi 4. Ege Enerji Sempozyumu 21-23 Mayıs, 2007.
- 7) Ertekin C., Bazı Sebze Ve Meyvelerin Kurutulması. Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, E.Ü.Z.F. Tarım Makinaları Bölümü Çalıştaylar Dizisi No:1, s.33-57, 21-22 Mart, İzmir, 2002.
- 8) Ekechukwu O.V., Norton B., Review of Solar Energy Drying Systems II: An Overview Of Solar Drying Technology. Energy Conversion and Management. vol. 40, pp. 615-655. 1999.



ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMİNE BAĞLI RÜZGÂR ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİNİN BÜTÜNLEŞİK MODELLENMESİ

Özgür Salih Mutlu

Eyüp Akpınar

Dokuz Eylül Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kaynaklar Yerleşkesi, 35160 Buca / İZMİR
evup.akpınar@deu.edu.tr, ozgurmutlu@yahoo.com

ÖZET

Bu çalışmada rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinden oluşan şebeke bağlantılı rüzgâr enerjisi santrallerinin bütünleşik modellenmesi ile ilgili bilgiler verilmiş ve örnek olarak seçilen rüzgâr enerjisi santrali için bütünleşik model geliştirilmiştir. Bütünleşik model ile elde edilen sonuçlar detaylı model ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Enerjisi Santrali, Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemi, Bütünleşik Modelleme

1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemi içerisinde elektrik enerjisi üretimi için rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri (REDS) giderek daha fazla pay almaktadır. Bu durum rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinin elektrik güç sistemi ile bağlantısında karşılıklı etkileşimleri araştırmayı gerekli kılmaktadır. Konu ile ilgili planlama ve işletme safhalarında doğru sonuçlar veren analizlerin yapılabilmesi için yeterli teknik bilgi içeren, doğru varsayımlarla sadeleştirilmiş ve incelenecek konu başlığı ile ilgili doğru girdilere sahip modellerin geliştirilmesi şarttır.

Önceki yıllarda rüzgâr enerjisi santralleri; güç sisteminde herhangi bir aktif rolü bulunmayan, büyük konvansiyonel/nükleer santrallerin yanında sadece deneysel/bölgesel santraller olarak kabul edilen, sistem açısından sadece problem kaynağı olarak gösterilen, sisteme faydasının sınırlı olabileceği değerlendirilen ve sistemdeki her olağan dışı durumda sadece kendi sistemlerini korumak için sistem ile irtibatını koparan santraller olarak görülmekteydiler.

Ancak rüzgâr enerjisinin üretimdeki payının elde edilen deneyimlere bağlı olarak gelişen teknoloji ile artması bu öngörünün değişmesini gerekli kılmaktadır. Ulusal ve uluslar arası yapılan çalışmalar sonucu geliştirilen “şebeke bağlantı kriterleri-grid codes” ile uyumlu rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri; iletim sistemine bağlanan, düşük gerilimde sistem ile irtibatını kurallara uygun biçimde sağlayan, sistemin gerilim ve frekans kontrolüne katkıda bulunan büyük güçlü birer üretim santraline dönüşmektedirler.

Şebeke işletme sorumluları; rüzgâr santralinin bağlanacağı şebeke noktasında yapacağı etkinin daima pozitif yönde olması ve kontrollü olmasını şart koşmaktadır. Bunun nedeni rüzgâr enerjisinin şebekedeki payının artması ile konvansiyonel sistemlerin payının göreceli biçimde düşmesi ve sistem kontrolü ile ilgili görevlerin bir kısmının yeni rüzgâr santralleri tarafından yüklenilmek zorunda olmasıdır.

Bu durumda planlama ve işletme aşamasında rüzgâr santrali ile şebekenin birlikte doğru biçimde modellendiği bilgisayar simülasyonları ile çalışmalar yapılması, rüzgâr santralinin şebeke ile karşılıklı etkileşimini incelemek için zorunludur. Yapılacak bilimsel çalışmalar ile birbirinden farklı koşullarda; her iki taraf için kritik konular analiz edilir ve oluşabilecek problem sahaları için çözüm yolları araştırılır. Bilgisayar simülasyonlarının sahada ya da üretim tesislerinde yapılacak ölçümler ile karşılaştırılması; sonuçların doğrulanmasını ve daha sonra yapılacak yeni analizler için yeni yöntemler geliştirilmesini sağlar.

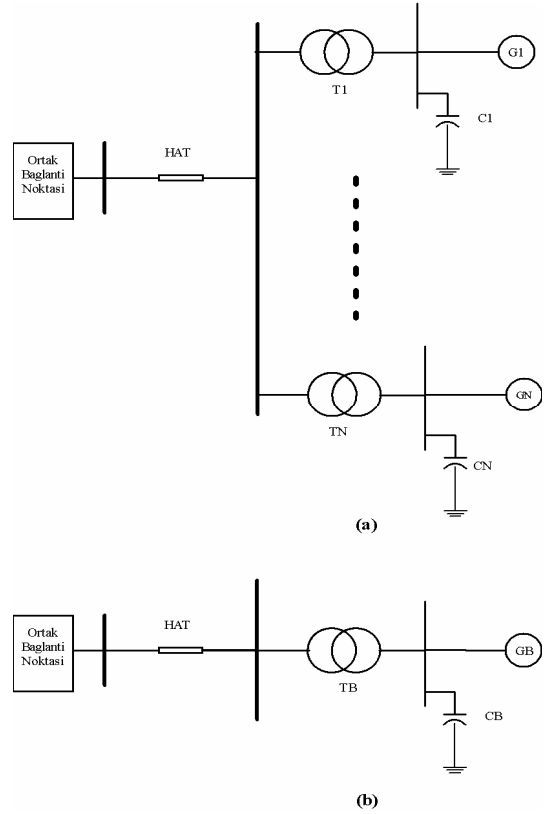
Elektrik güç sistemi ile rüzgâr santralinin aynı simülasyon programı içinde modellenme zorunluluğu bir takım problemleri de beraberinde getirir. Birbirine bağlı binlerce elektriksel noktayı içeren ve belli bölümleri sonsuz bara olarak kabul edilebilen elektrik güç sisteminin modellenmesinde birçok basitleştirme-bütünleştirme yapılmak zorundadır. Bu durum rüzgâr santrali tarafında da detaylı modellerin elektrik güç sistemi çalışmasına uygun biçimde sadeleştirilmesini gerektirir. Bu sadeleştirme yapılırken dikkat edilmesi gereken nokta, incelenen konu başlıklarını etkileyen parametreleri doğru belirleyebilmektir. Rüzgâr enerjisi sistemlerinin elektrik güç sistemleri

simülasyonları için “bütünleşik modellenmesi” bu ihtiyacı karşılayan bir seçenektir. Geçerli bir bütünleşik rüzgâr santrali modeli, yüzlerce REDS’ den oluşan rüzgâr santrallerinin elektrik güç sistemi simülasyon platformlarında doğru ve hızlı bir biçimde modellenmesini sağlayabilir.

Konu ile ilgili farklı çalışmalar yapılarak yayınlanmıştır. Bilezikli asenkron jeneratör ile kurulmuş rüzgâr santralleri için, türbinler farklı rüzgârlara maruz kalsa da, detaylı rüzgâr santrali modeli yerine hem kararlı hal analizlerinde hem de dinamik analizlerde kullanılacak, bağlantı noktasında sadece bir rüzgâr türbini ile oluşturulan bütünleşik rüzgâr santrali modeli geliştirilmiştir [1]. Tek makineden oluşan bütünleşik model yanında birden fazla makine ile oluşturulan bütünleşik makine modellerinin farklı sonuçları detaylı rüzgâr santrali modeli ile karşılaştırılarak sunulmuş ve birden fazla makineden oluşan bütünleşik modelin gerilim kararlılığı ile ilgili yapılan çalışmada doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir [2]. Türbinleri tamamen ayrı olarak modellenmiş detaylı rüzgâr santrali modelleri ile bütünleşik rüzgâr santrali modellerinin kısa süreli şebeke hatası ile ilgili simülasyon sonuçları verilerek, analizler sonucu belirlenen farklılıklara dikkat çekilmiştir[3].

Bu çalışmada örnek olarak seçilen rüzgâr enerjisi santrali için bütünleşik model geliştirilmiş ve sonuçlar detaylı model ile karşılaştırılmıştır.

2. BÜTÜNLEŞİK MODELLEME



Şekil 2.1 Rüzgâr Enerjisi Santrali'nin (a) Tam Modellenmesi (b) Bütünleşik Modellenmesi

Şebeke bağlantılı rüzgâr enerjisi santralleri güç sistemi çalışmalarına yönelik farklı seviyelerde modellenebilirler. Az sayıda (1-10 Adet) REDS içeren rüzgâr enerjisi santralleri detaylı modellenebildiği gibi, göreceli fazla sayıda rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminden kurulu bulunan rüzgâr enerjisi santrallerinin detaylı modelleri yerine güç sistem analizlerine uygun olarak üretilmiş bütünleştirilmiş modelleri tercih edilebilmektedir.

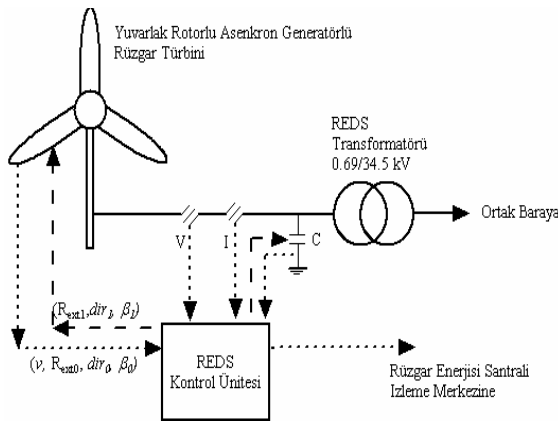
N sayıda rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminden oluşan örnek rüzgâr enerjisi santralinin tek hat şeması Şekil 2.1(a)'da verilmiştir. Jeneratörler, kompanzasyon kapasitörleri ve transformatörler aynı etiket değerlerine sahiptir. Bu örnek sistemin bütünleşik modeli; N sayıdaki jeneratör, kompanzasyon kapasitörü ve transformatörü, her bir elemandan sadece bir adet içeren tek bir dönüşüm sisteminde bütünleştirilerek elde edilir. Örnek sistemin bu şekilde oluşturulan bütünleşik modeli Şekil 2.1(b)'de verilmiştir.

Bütünleşik modelde, her bir elemanın per-unit empedansları orijinal değerlerinde tutulurken, güç baz değeri N ile çarpılmıştır. Bu kapsamdaki bütünleştirme işleminde tüm türbinler aynı yönden

ve aynı şiddette rüzgâr aldığıında sonuçların matematiksel olarak karşılaştırılması yapılabilir.

3. RÜZGÂR ENERJİSİ SANTRALİ

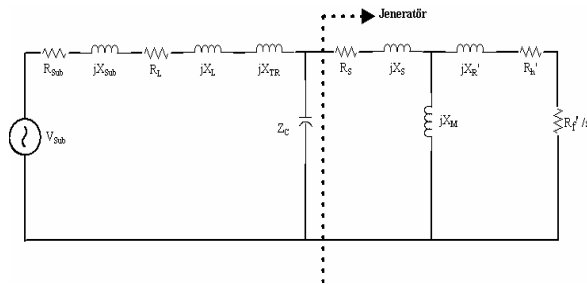
Alaçatı transformatör merkezine bağlı bulunan rüzgâr enerjisi santrali üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, rüzgâr çiftliği ile ilgili detaylı “tam model” oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan sistem elemanları ile ilgili detaylı bilgiler ve tam model bilgileri [4-5] ile verilmiştir. 12 adet bilezikli asenkron jeneratör ile donatılmış REDS bulunduran santral, 34,5 kV. gerilim seviyesinden enterkonekte şebekeye Alaçatı transformatör merkezi üzerinden bağlanmıştır.



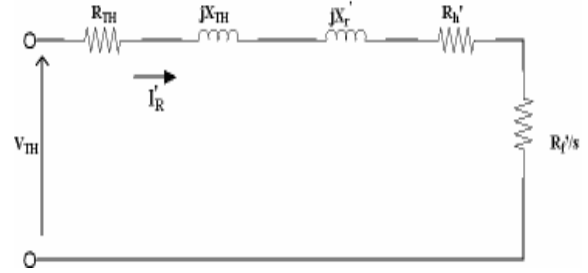
Şekil 3.1 REDS Kontrol Sistemi

Rüzgâr enerjisi santrali izleme noktasına irtibatlı bulunan her bir REDS kontrol ünitesinin bağlantı şeması Şekil 3.1’de verilmiştir. Kontrol ünitesi rüzgâr enerjisinden maksimum şekilde elektrik enerjisi üretebilmek için, REDS çıkışında ölçtüğü akım ve gerilim bilgisine göre en uygun kanat açısı ve rotor direnci değerini belirlemektedir.

Alaçatı transformatör merkezine bağlı bulunan rüzgâr enerjisi santralinin bütünleşik modelinin elde edebilmesi için Şekil 3.2’de verilen devre kullanılmış ve sonuçta Şekil 3.3’de verilen eşdeğer devre kullanılmıştır[6].



Şekil 3.2 Eşdeğer devre elde edilmesi için kullanılan devre



Şekil 3.3 Eşdeğer Devre

4. BÜTÜNLEŞİK MODEL PSCAD SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde, sistemin kararlılık sınırlarına ana parametrelerin etkisi bütünleşik model sonuçları yardımı ile incelenmiştir. Sonuçlar aynı zamanda bilezikli asenkron jeneratör kullanan rüzgâr enerjisi santrallerinde kararlılık konusu hakkında deneysel bilgiler içerir. Üzerinde çalışılan parametreler; güç sistemi elemanları, rotor direnci kontrolü ve transformatör merkezi gerilim seviyesidir. PSCAD/EMTDC ile gerçekleştirilen simülasyonlarda rüzgâr enerjisi santralinin bütünleşik modeli kullanılmıştır.

Bilezikli asenkron jeneratöre uygulanan bütünleşik mekanik tork adım adım arttırılarak jeneratöre uygulanabilecek maksimum mekanik tork (T_{max}) belirlenmiştir. Jeneratöre uygulanan mekanik torkun maksimum değeri geçmesi durumunda asenkron jeneratör kararlılığını kaybeder. N adet REDS’den oluşan santralde salınım eşitliğinin sayısal toplamının alınması şeklindeki bütünleştirme yöntemi per-unit olarak (4.1) ile verilmiştir[7]. H eylemsizlik sabiti, P_{in} ve P_{out} ise REDS’in giriş ve çıkış güçleridir.

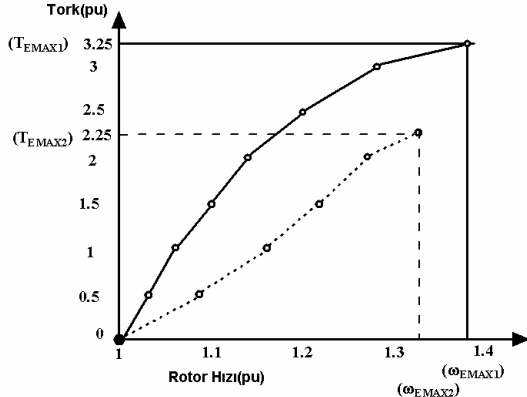
$$H^B = \sum_{i=1}^N H_i, P_{in}^B = \sum_{i=1}^N P_{in_i}^B, P_{out}^B = \sum_{i=1}^N P_{out_i}^B$$

$$2H^B \frac{d\omega}{dt} = P_{in}^B - P_{out}^B \quad (4.1)$$

4.1 Güç Sistemi Elemanlarının Etkisi

Şekil 4.1 bütünleşik model ile iki farklı durum için gerçekleştirilen PSCAD/EMTDC simülasyon sonuçlarını tork-hız eğrileri ile göstermektedir. Sürekli çizgi ile verilen eğride yuvarlak rotorlu asenkron jeneratör şebekeye arada iletim hattı, transformatör ve yer altı kabloları olmadan (kuvvetli şebeke) direk olarak bağlanmış ve T_{EMAX1} , ω_{EMAX1} değerleri elde edilene kadar simülasyon yinelenmiştir. İkinci olarak aynı jeneratör şebekeye arada sayılan sistemler eklenerek bağlanmış (T_{EMAX2} , ω_{EMAX2}) noktaları elde edilmiştir. Her iki

simülasyonda rotor hız kontrol sistemi sabit değerlerde çalıştırılmıştır.

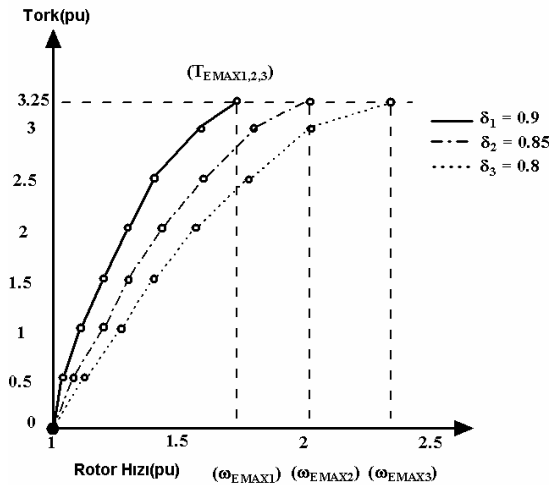


Şekil 4.1 İki farklı durum için tork-hız eğrisi

Bütünleşik model ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarından; şebeke ile REDS'nin bağlantısını sağlayan güç sistemi elemanlarının empedansının artması sonucu jeneratöre uygulanabilecek maksimum mekanik torkta azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. Şebeke ile REDS arasında uygun bağlantı noktasının belirlenmesinde daima en düşük empedans değeri ve en yüksek gerilim seviyesi tercih edilir.

4.2 Rotor Direnç Kontrolü Etkisi

Şekil 4.2 bütünleşik model ile üç farklı durum için yapılan simülasyon sonuçlarını tork-hız eğrileri ile göstermektedir. Simülasyonda rotor direnç kontrol sistemi parametresi değiştirilerek rotor direnci değiştirilmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. $\delta_1 > \delta_2 > \delta_3$ olup δ azaldıkça rotora bağlı direnç değeri artmaktadır.



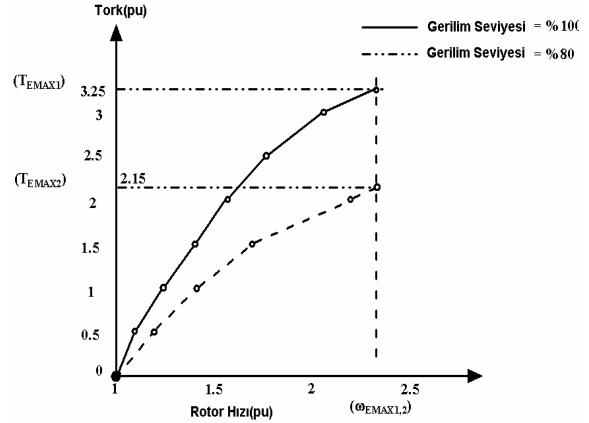
Şekil 4.2 Üç farklı durum için tork-hız eğrisi

Bütünleşik model ile yapılan bu simülasyon sonucunda beklendiği gibi; jeneratörde maksimum torkun rotor direnci değeri ile değişmediği, ancak maksimum torkun olduğu kayma değerinin direnç değerine bağlı olduğu görülmüştür.

REDS kontrol ünitesi tarafından sistemden alınan bilgilere göre yapılan rotor direnç değeri kontrolünün etkisi tork-hız grafiklerinden görülmektedir.

4.3 Transformatör Gerilim Seviyesi Etkisi

Şekil 4.3 bütünleşik model ile iki farklı durum için gerçekleştirilen PSCAD/EMTDC simülasyon sonuçlarını tork-hız eğrileri ile göstermektedir: Sürekli çizgi ile gösterilen eğride REDS'nin bağlı bulunduğu ortak bağlantı noktasında gerilim seviyesi nominal değerinde tutulmuş; T_{EMAX1} ve ω_{EMAX1} değerleri alınmıştır. İkinci olarak ortak bağlantı noktasında gerilim seviyesi nominal değerinin %80'ine indirilmiş ve T_{EMAX2} ve ω_{EMAX2} değerleri alınmıştır.



Şekil 4.3 İki farklı gerilim seviyesi için tork-hız eğrisi.

Bütünleşik model ile yapılan bu simülasyon sonucunda ortak bağlantı noktasında gerilim seviyesinin düşmesinin jeneratöre uygulanabilecek maksimum mekanik torkta azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum yüksek rüzgâr hızı görüldüğü (rüzgâr enerjisi santralının aktif güç çıkışının arttığı) durumlarda ortak bağlantı noktasında görülecek gerilim düşmelerinde REDS'lerinin koruma amaçlı devre dışı kalabileceğini göstermektedir.

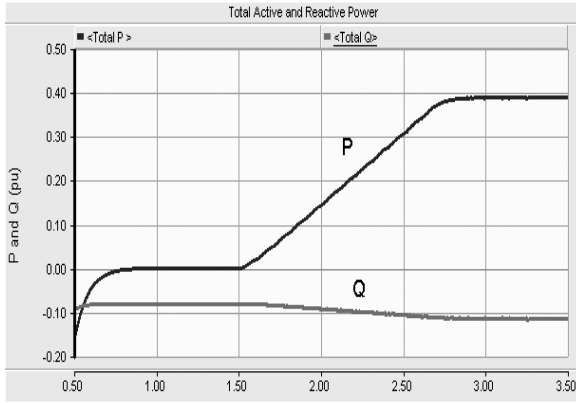
5. BÜTÜNLEŞİK VE TAM MODEL PSCAD SİMÜLYASYON SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Rüzgâr çiftliği için geliştirilen modelin PSCAD/EMTDC simülasyon programındaki

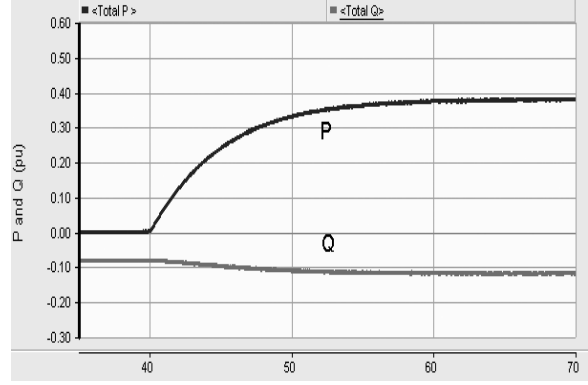
sonuçları, tam modele ait sonuçlar ile doğrulama amaçlı karşılaştırılmıştır. Bütünleşik modelin, rüzgâr çiftliğinin ortak bağlantı noktasında şebeke ile etkileşimlerini modelleyebilmedeki yeterliliği, tam model sonuçları ile bütünleşik model simülasyon sonuçlarının farklı koşullar için karşılaştırılması vasıtasıyla irdelenmiştir.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 sırasıyla, tam model ve bütünleşik modele ait aktif/reaktif güç çıkışlarını göstermektedir. İki modelin güç eğrilerinin eğimlerinin farklı olmasının nedeni; tam modelde jeneratörlerin sırasıyla (tek tek) rüzgârdan güç üretmeye başlaması, bütünleşik modelde ise tek jeneratörün üretime geçmesidir. Modelleme detayının değişmesi simülasyon süresi ve zaman sabitinin büyüklüğünü etkilemektedir.

Nominal işletme koşulları olarak; dengeli kaynak gerilimi, hatasız işletme, rüzgâr hızı bilgisinde gürültü birimi bulunmaması ve tüm türbinlerin aynı rüzgâr hızını almaları belirlenmiştir. Nominal işletme koşulları için bütünleşik model, tam modele ait simülasyon sonucundaki aktif ve reaktif güç değerlerini karalı çalışma koşulunda yakalamıştır. Bu sonuç bütünleşik modelin güç sistemleri çalışmalarındaki kararlı hal analizlerinde, ortak bağlantı noktasında rüzgâr çiftliği-şebeke etkileşimini incelemek için yeterli olabileceğini göstermiştir.

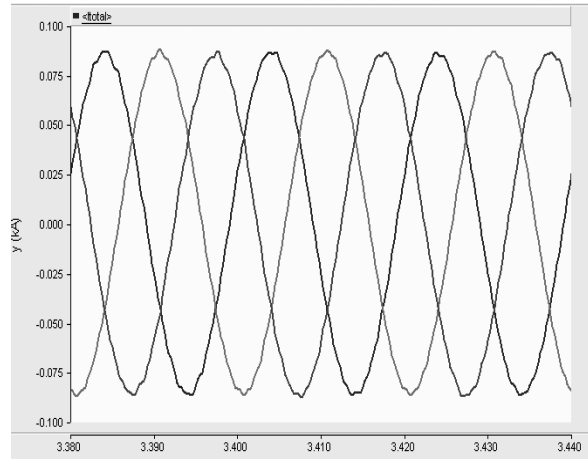


Şekil 5.1 Tam model ile rüzgâr çiftliği aktif (P) ve reaktif (Q) güç çıkışı

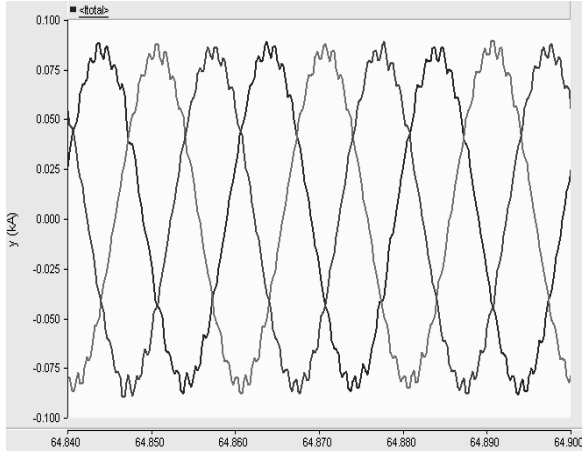


Şekil 5.2 Bütünleşik model ile rüzgâr çiftliği aktif (P) ve reaktif (Q) güç çıkışı

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 sırasıyla tam model ve bütünleşik modelin ortak bağlantı noktasındaki üç fazlı akım dalga şekillerini kararlı hal için göstermektedir. Mevcut rüzgâr çiftliği sisteminde, rotorda bulunan doğrultuculu direnç kontrol düzeneği nedeniyle harmonikler oluşur. Tam modelde on iki jeneratörün farklı dalga şekillerine sahip akım çıkışları, karşılıklı etkileşim sonucu toplam akımdaki harmonik şiddetini azaltmıştır. Tam modelde yer alan on iki jeneratör yerine bütünleşik modelde tek jeneratör ile tüm jeneratörlerin modellenmiş olması sebebiyle toplam akım dalga şeklindeki harmoniklerin etkisi azalmaktadır.



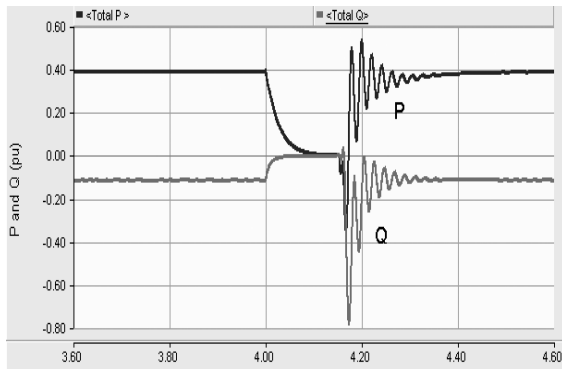
Şekil 5.3 Tam modelin toplam akımı



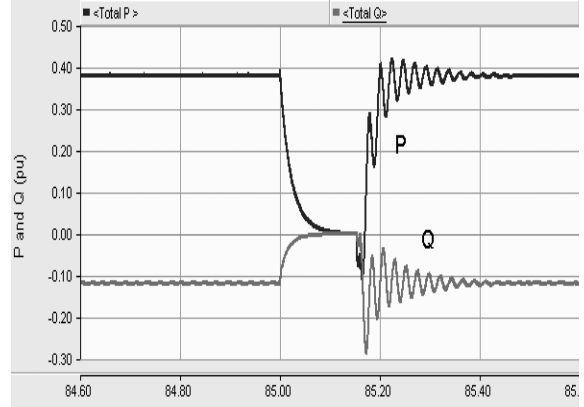
Şekil 5.4 Bütünleşik modelin toplam akımı

Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 sırasıyla tam model ve bütünleşik modelin 150 ms. lik şebeke hatasında aktif ve reaktif güç çıkışlarının sonuçlarını göstermektedir. Şebeke hatası olarak, şebeke ile rüzgâr çiftliği ortak bağlantı noktasını irtibatlandıran iletim hattında 150 ms. süreli üç faz-toprak kısa devresi oluşturulmuştur. Hata anı dışında nominal işletme koşulları sürdürülmüştür.

Grafiklerden görüldüğü üzere hata sonrasında aktif ve reaktif güç dalga şekilleri her bir model için farklı karakter göstermiştir. Hata sonrasındaki etkileşim sonuçları her ne kadar farklı olsa da, güç sistemi çalışmalarının kararlı hal analizleri için, bütünleşik model ile elde edilen sonuçların yeterli olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 5.5 150 ms. lik Şebeke hatasında tam model aktif(P) ve reaktif(Q) güç çıkışları.



Şekil 5.6 150 ms. lik Şebeke hatasında bütünleşik model aktif(P) ve reaktif(Q) güç çıkışları.

6. SONUÇLAR

Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinin enerji sistemi içinde yük olarak değil enerji santralleri olarak kabul edilerek dinamik tepkilerin incelenmesi yeni şebeke bağlantı koşullarının temelinin oluşturmakta ve modellenmenin bu yaklaşımla oluşturulmasını da zorunlu kılmaktadır. Rüzgâr çiftliklerinin enerji sistemi ile birlikte modellenmesinde bu çalışmada sunulan eşdeğer modelleme tekniği kullanılabilir. Her bir REDS'nin mekanik zaman sabitleri birleştirilmiş modele (4.1) eşitliği ile verildiğinden, geçici durum analizlerinde sonuçlar detaylı model sonuçlarıyla bire bir örtüşmesine de kararlılık sınırlarının belirlenmesinde bütünleşik modelin kullanılabilirliği anlaşılmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma proje numarası 105G129(106G102) olan "Türkiye Elektrik Sisteminde Güç Kalitesine Etki Eden Değişkenleri ve Güç Akışını İzleme, Problemlerinin Tespiti, Değerlendirilmesi ve Karşı Önlemlerin Hayata Geçirilmesi Projesi" kapsamında TÜBİTAK ve TEİAŞ tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK ve TEİAŞ'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1]. Fernandez L. M., Francisco J. ve Saenz, J. R., "Aggregated dynamic model for wind farms with doubly fed induction generator wind turbines", Renewable Energy 33 (2008) 129–140.
- [2]. Akhmatov V. ve Knudsen H., "An Aggregate Model of a Grid-Connected, Large-Scale, Offshore Wind Farm for Power Stability Investigations-Importance of Windmill Mechanical System", Electrical Power and Energy Systems, 24 (2002), 709-717.

[4]. Mutlu, Ö.S. ve Akpınar, E. (2005). Şebeke Kesintilerinin Asenkron Jeneratörlü Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sistemi Üzerinde Etkisi., III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin-Turkey.157-163.

[5]. Mutlu, Ö.S., Akpınar, E. ve Balıkcı, A. (2009). Power Quality Analysis of Wind Farm Connected to Alaçatı Substation in Turkey. Renewable Energy 34(5). Pages 1312-1318

[6]. Mutlu, Ö.S.(2009) “Effects of Wind Turbines on Power System Operation-Rüzgar Türbinlerinin Güç Sistemi İşletmesi Üzerine Etkisi”, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

[7]. Shafiu, A., Anaya-Lara, O., Bathurst, G. ve Jenkins, N. (2006). Aggregated Wind Turbine Models for Power System Dynamic Studies, Wind Engineering, Volume 30(3). 171-186.

ORTALAMA RÜZGAR HIZI VE GÜÇ YOĞUNLUĞUNUN HESAPLANMASI

Mehmet Nuri ALMALI

Tahsin ETE

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Müh.-Mim. Fak.
mna1@yyu.edu.tr

Yüzüncü Yıl Üniversitesi Yapı İşleri ve Tek. Daire Başkanlığı
tahsinete@yyu.edu.tr

ÖZET

Weibull dağılışı gösteren rüzgar hızı verilerinde ortalama rüzgar hızı ve buna bağlı olarak rüzgar güç yoğunluğunun hesaplanması için Weibull dağılışı parametrelerinin doğru bir şekilde tahminlenmesi gerekmektedir. Yapılan çalışmada iki parametrelili Weibull dağılışı parametre tahminlerinin elde edilmesinde en yüksek olasılırlık yöntemi (Maximum Likelihood) anlatılmıştır. Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşkesinde standartlara uygun şekilde 10 m ve 30 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı verileri kullanılmıştır. Rüzgar hızı verileri Nisan-2004 ve Mart-2005 tarihleri arasındaki bir yıllık dönemde, 10'ar dakika arayla kaydedilmiştir. Veriler tüm yıl ve aylık veriler olarak ele alınmıştır. Yıllık veriler ile aylık veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda, aylık ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunlukları ortalaması değerleri ile yıllık verilerden elde edilen ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Weibull dağılışı, En yüksek olasılırlık yöntemi

1. GİRİŞ

Yapılan çalışmalar, atmosferin üst tabakalarında rüzgar hızı dağılışının normal eğri (Gaussian) ile temsil edilebileceğini göstermiştir. Özellikle yeryüzüne yakın yerlerde rüzgar hızı verilerinin Weibull dağılışına (WD) uyduğu şimdiki kadar yapılmış birçok veri işlem çalışmalarında ortaya konmuştur (Şen, 2002). Ortalama rüzgar hızını bulmak amacıyla yapılan birçok çalışmada rüzgar hızı verilerinin WD gösterdiği belirlenmiştir (Deaves ve Lines,1997; Garcia ve ark., 1998; Dorvlo, 2002; Sulaiman ve ark., 2002; Jacovides ve ark., 2002; Ülger ve Hepbaşlı, 2002; Özerdem ve Türkeli, 2003; Karslı ve Geçit, 2003; Bivona ve ark., 2003; Weisser, 2003). Bazı çalışmalarda ortalama rüzgar hızından hareketle, rüzgar güç yoğunluğu ile rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesinde WD kullanılmıştır (Segura ve Lambert, 2000; Çelik, 2003; Karslı ve Geçit, 2003; Weisser 2003).

Çalışmalarda kullanılan rüzgar hızı verileri genelde saatlik ortalama (Garcia ve ark., 1998; Ülger ve Hepbaşlı, 2002; Bivona ve ark., 2003) veya aylık ortalamalar halinde zaman serisi olarak verilmiştir (Deaves ve Lines,1997; Dorvlo, 2002; Sulaiman ve ark., 2002; Jacovides ve ark., 2002; Özerdem ve Türkeli, 2003; Karslı ve Geçit, 2003; Weisser, 2003). Bivona ve ark. (2003), rüzgar hızlarının saatlik ortalamalarının WD gösterdiğini; ister aylık, istenirse saatlik verilerde ortalama rüzgar hızını bulmak için Weibull modelinin kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Weibull olasılık yoğunluk fonksiyonuna dayandırılan bir rüzgar güç yoğunluğu,

$$P = A \int_0^{\infty} P(V) f(V) dV = \frac{1}{2} \rho A \alpha^3 \Gamma \left(1 + \frac{3}{\beta} \right)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitlikte A bir rüzgar kanadının süpürdüğü alan, ρ akışkan yoğunluğu (Çalışmada $\rho = 1.22$ olarak alınmıştır), α Weibull dağılışı ölçek (scala), β ise şekil (shape) parametresi ve Γ , Gamma fonksiyonudur.

Ross (1996), Weibull dağılışı parametre tahminlerini bulmak için en yüksek olasılırlık ile dört farklı regresyon yöntemini hata kareler ortalamasına göre karşılaştırmıştır. En yüksek olasılırlık ile ağırlıklı doğrusal regresyon yönteminin benzer sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Keats ve ark. (1997), Log-olasılırlık eşitliğinin çözümü için NR kullanmışlardır. Newton-Raphson (NR) çözümü için gerekli olan $\hat{\beta}_0$ başlangıç değerini Menon eşitliğini kullanmıştır.

WD parametre tahminlerini, EYO ve grafik yöntemi kullanarak elde etmiş ve zaman serisi şeklindeki rüzgar verileri için EYO önermişlerdir (Segura ve Lambert, 2000).

Weibull dağılışı gösterdiği bilinen rüzgar hızı verilerinden ortalama rüzgar hızını hesaplanabilmesi için, öncelikle Weibull dağılışı parametrelerinin tahminlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada başlıca amacı, Weibull dağılışı gösterdiği bilinen rüzgar hızı verilerinden ortalama rüzgar hızı ve gücünün hesaplanması için, dağılışı parametrelerinin tahminlenmesi amacıyla kullanılan en yüksek olasılırlık yöntemini açıklanmasıdır.



2. WEIBULL DAĞILIŞININ GENEL ÖZELLİKLERİ

X rasgele bir değişken olmak üzere, üç parametrelili (ζ , α , β) bir Weibull dağılışı (WD) eklemeli olasılık fonksiyonu ile olasılık yoğunluk fonksiyonları sırasıyla,

$$F(x) = P(X \leq x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\zeta}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad x \geq \zeta \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\zeta}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\zeta}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad x \geq \zeta \quad (2)$$

şeklindedir (Heo ve ark., 2001). Yukarıdaki eşitliklerde ζ yer (location), α ölçek (scala) ve β ise şekil (shape) parametresi olarak adlandırılır. WD ortalaması ve varyansı sırasıyla,

$$\mu = \zeta + \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (3)$$

$$\sigma^2 = \alpha^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (4)$$

şeklindedir. Yukarıdaki eşitliklerde verilen $\Gamma(\cdot)$ gamma fonksiyonunu göstermektedir.

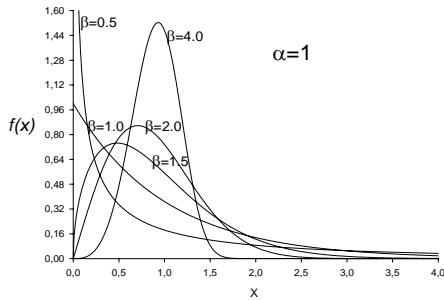
$\beta > 1$ için WD tepe (m) ve ortanca (M) değeri sırasıyla aşağıdaki şekilde verilir,

$$m = \zeta + \alpha \left(\frac{\beta-1}{\beta}\right)^{1/\beta}, \quad M = \zeta + \alpha (\log(2))^{1/\beta} \quad (5)$$

Dağılışı $\beta > 1$ değeri için tek tepe değerli (unimod), $0 < \beta \leq 1$ değeri için dağılışı tepe değeri yoktur ve yoğunluk fonksiyonu x ile monoton bir şekilde azalır (Johnson ve Kotz, 1970).

Şekil parametresi $\beta \cong 3.6$ olduğunda dağılışı şekli hemen hemen simetrik, eğrilik katsayısı sıfır ve dağılışı şekli normal dağılışıya yakındır (Johnson ve Kotz, 1970). β 'nin sıfıra yakın değerleri için aşırı derecede sağa yatık, $\beta > 3.6$ değerleri için sola yatıktır.

Pek çok dağılışı WD özel bir durumu olarak ele alınabilir. Örneğin WD'de $\beta=1$ olduğun durumda yapar.



Şekil 1. Farklı β değerleri için $f(x)$ değişimi

iki parametrelili üssel dağılışı ve $\beta=2$ olduğun duruma da Rayleigh dağılışı elde edilir (Dodson, 1994). Logaritmik dönüştürme yapıldığında aşırı değeri dağılışı (Extrem-Value) elde edilir.

3. İKİ PARAMETRELİ WEIBULL DAĞILIŞININ PARAMETRELERİNİN EYO YÖNTEMİYLE TAHMİNİ

En yüksek olabilirlik yöntemi (EYO) ilk kez Edgeworth 1908 kullanmıştır. 1921 yılında Fisher, bu yöntem ile bulunan tahmin edicinin varyansı için genel formülünü bulduktan sonra yöntem daha da önem kazanmıştır (İnal ve Günay, 1993).

Örnekteki elemanları x_1, x_2, \dots, x_n ile gösterelim. Bir gözlemden $X=x_1$ olması olasılığı, $f(x_1; \alpha, \beta)$ ile orantılıdır. Benzer şekilde $X=x_2, \dots, X=x_n$ olaylarını meydana gelme olasılıkları da $f(x_2; \alpha, \beta), \dots, f(x_n; \alpha, \beta)$ ile orantılı olur. Bu olaylar bağımsız olduklarına göre yapılan n gözlemden $X=x_1, X=x_2, \dots, X=x_n$ olaylarının meydana gelme olasılığı;

$$LL = \prod_{i=1}^n f(x_i; \alpha, \beta) \quad (6)$$

ile orantılı olacaktır. Yukarıdaki eşitlikte tanımlanan LL 'ye olabilirlik fonksiyonu denir. EYO'da LL fonksiyonunu en yüksek yapan $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ değerlerine α ve β parametrelerinin EYO tahmini denir. Buna göre $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ tahminleri aşağıdaki eşitliklerin çözümü ile elde edilir.

$$\frac{\partial LL}{\partial \alpha} = \frac{\partial LL}{\partial \beta} = \dots = 0$$

pratikte LL 'yi tanımlayan (6) eşitliğindeki çarpımları, toplam haline getirmek için LL yerine $\ln LL$ fonksiyonu ile çalışmak uygun olur. $\ln LL$ 'nin artan bir fonksiyonu olduğun için LL 'yi en yüksek yapan α ve β değerleri $\ln LL$ 'yi de en yüksek

EYO tahminleri olabilirlik eşitliğini sağlayan ya da olabilirlik (veya log-olabilirlik) eşitliklerini maksimum yapan $\hat{\theta}_{EYO} = (\hat{\alpha}_{EYO}, \hat{\beta}_{EYO})'$ değerleri olarak tanımlanabilir.

X_1, X_2, \dots, X_n θ Parametrelili ($\theta = \alpha, \beta$ ölçek ve şekil parametresi) WD bir rasgele örnek olarak göz önüne alalım. Dağılışı olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad \alpha > 0, \beta > 0$$

WD'nin olabilirlik fonksiyonu;

$$LL = \prod_{i=1}^n \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta}\right]$$

şeklinde yazılabilir (Zenbil,1991).

Matematiksel işlemleri kolaylaştırmak için çarpım ifadesini toplam haline dönüştürmek için LL olabirlik fonksiyonunun logaritması alınarak log-olabirlik fonksiyonu;

$$L = \ln LL = \sum_{i=1}^n \ln f(x; \alpha, \beta)$$

$$L = \ln LL = n \ln(\beta) - n\beta \ln(\alpha) + (\beta-1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i) - \frac{1}{\alpha^{\beta}} \sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta} \quad (7)$$

şeklinde elde edilir. α ve β parametrelerinin EYO tahminleri elde etmek için log-olabirlik fonksiyonunun α ve β parametresine göre birinci dereceden kısmi türevi alınıp sifira eşitlenerek,

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha} = \frac{\partial}{\partial \alpha} (n \ln(\beta) - n\beta \ln(\alpha) + (\beta-1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i) - \alpha^{-\beta} \sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta}) \quad (8)$$

elde edilir. Elde edilen bu eşitlikten,

$$\alpha = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta} \right)^{1/\beta} \quad (9)$$

olarak bulunur. α 'nın \ln 'i alınacak olursa,

$$\ln \alpha = \frac{1}{\beta} \ln \left(\sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta} \right) - \frac{1}{\beta} \ln n \quad (10)$$

elde edilir.

Aynı şekilde log-olabirlik fonksiyonunun β parametresine göre birinci türevi alınıp sifira eşitlenecek olursa,

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta} = \frac{\partial}{\partial \beta} (n \ln(\beta) - n\beta \ln(\alpha) + (\beta-1) \sum_{i=1}^n \ln(x_i) - \frac{1}{\alpha^{\beta}} \sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta}) \quad (11)$$

eşitliği elde edilir. (9) ve (10) numaralı eşitliklerde verilen α ile $\ln \alpha$ ifadeleri, (11) numaralı eşitlikte yerlerine bırakılıp ve düzenlenerek β çekilirse,

$$\beta = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta} \ln(x_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i)^{\beta}} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(x_i) \right]^{-1} \quad (12)$$

elde edilir. EYO eşitliğini Newton Raphson (NR) kullanılarak çözmek için log-olabirlik eşitliğinin ikinci dereceden türevlerini bulunması gerekmektedir.

β Kökünü bulmak için NR eşitliği

$$\beta_{k+1} = \beta_k - \frac{g(\beta_k)}{g'(\beta_k)} \quad \text{şeklinde yazılır. Eşitlikte}$$

$(|\beta_{k+1} - \beta_k| < h \quad h=0,00001)$ oluncaya kadar işleme devam edilerek $\hat{\beta}_{EYO}$ bulunur. NR için kullanılan

$\hat{\beta}_0$ başlangıç değeri Menon's (1963) eşitliğinden hesaplanır. Bu eşitlik

$$\hat{\beta}_0 = \frac{\left[\frac{6}{\pi^2} \left[\sum_{i=1}^n \ln^2 x_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^n \ln x_i \right)^2}{n} \right] \right]^{-1/2}}{(n-1)^{-1/2}} \quad (13)$$

şeklinde dir. Hesaplanan $\hat{\beta}_{EYO}$ değeri (9) numaralı eşitlikte yerine bırakılarak $\hat{\alpha}_{EYO}$ değeri kolayca hesaplanır.

Bu hesaplamaların yapılması için kullanılan basit MATLAB kodu aşağıdaki gibidir.

```
clear; %1
clc; %2
run Yilicveriler; %3
Param= wblfit(veriler) %4
[M,V] =wblstat(Param(1),Param(2))
%5
Guc_yog=(1/2)*1.226*M^3 %6
```

Program kodunda 3 satırda verilen run komutu ile daha önce Yilicveriler.m dosyasına kaydedilmiş olan veriler = [n₁,n₂,...n_n]; (n₁,n₂,...n_n rüzgar hızı verileri) formatındaki veriler isimli vektör okutulmaktadır. 4. satırda bu verilere dayanılarak Weibull dağılışı parametrelerinin EYO tahminlerini yapan wblfit komutu çalıştırılarak, tahminlenen $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ parametreleri Param değişkenine aktarılmıştır. Param değişkeni Param=[$\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}$] iki elemanlı bir dizidir. 5. satırda Weibull dağılışı ortalamasını (M) ve varyansını (V) hesaplayan wblstat fonksiyonu çalıştırılmıştır. Ortalama değer güç yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılmıştır. Varyans değeri wblstat fonksiyonun geri gönderdiği bir değerdir ve hesaplamalarda kullanılmamıştır. 6. satırda rüzgar hızı ortalaması kullanılarak güç yoğunluğu hesaplanmıştır.

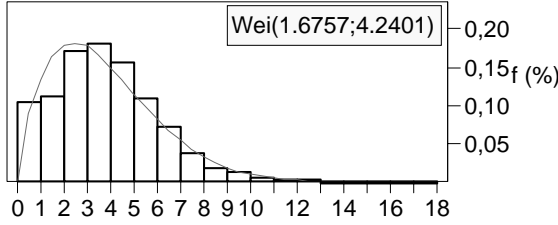
4. BULGULAR

Çalışmada kullanılan veriler seti 2003-DPT-MİM1 numaralı proje kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilmiştir. Bu çalışmada Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşkesine konulmuş mikroişlemci kontrollü ölçüm cihazları, standartlara uygun şekilde 30 m ve 10 m yükseklikte ölçülmüştür. Rüzgar hızı 30 s aralıklarla ölçülerek 10'ar dakikalık ortalaması, standart sapması, aşırı (max ve min) değerlerini kayıt edilmiştir. Rüzgar hızı verileri 10'ar dakika arayla kaydedilmiş Nisan-2004 ile Mart-2005 tarihleri arasında bir yıllık dönemi kapsamaktadır.

Rüzgar hızı verileri öncelikle EYO yöntemi kullanılarak hem yıllık hem de aylık olarak değerlendirilmiş ve yıllık ortalama rüzgar hızı ve



güç yoğunluğu hesaplanmıştır. 30 m yükseklikte 10 dk ara ile ölçülen rüzgar hızı verilerine ilişkin frekans dağılımı ve EYO yöntemi ile tahmin edilen $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ parametrelerine göre çizilen WD eklemeli olasılık fonksiyonunun şekli Şekil 2' de görülmektedir.



Şekil 2. 30m 10 dk rüzgar hızı verilerinin dağılımı.

Şekil 2.'de 30 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı verilerinin frekans dağılımı görülmektedir. Veriler 13 ayrı guruba bölünmüştür. En fazla veri 3-4 m/s aralığında ve yaklaşık verilerin %18 den düşmektedir. 6 m/s hızın üzerindeki rüzgar enerjisi üretmeye yönelik verilerin toplam veriler içinde %8'i oluşturmaktadır. 0-3 m/s arasındaki rüzgar hızı verilerini toplam verilerin büyük bir kısmını (yaklaşık %40) oluşturduğu görülmektedir. Bu durum rüzgar hızının genelde düşük hızlarda olduğunu göstermektedir. Hesaplanan parametre değerlerine göre çizilen Weibull olasılık fonksiyonunun verileri temsil ettiği görülmektedir.

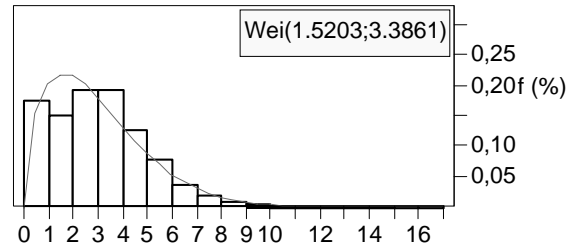
30m yükseklikte 10 dk ortalama ile ölçülen aylık ve tüm yıla ait rüzgar hızı verilerinden EYO yöntemi ile hesaplanan parametre değerleri ile ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri Çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. 30m yükseklikte ölçülen aylık rüzgar hızı verilerine ilişkin WD parametre tahminleri, ortalama hız (m/s) değerleri ile güç yoğunluğu (W/m²) değerleri

Aylar	30 m yükseklik			
	$\hat{\alpha}$ (m/s)	$\hat{\beta}$	Ort(m/s)	P(W/m ²)
Nis.04	4.18	1.61	3.75	32.11
May.04	4.05	1.56	3.64	29.58
Haz.04	4.09	1.64	3.66	30.00
Tem.04	4.29	1.67	3.83	34.58
Ağu.04	3.14	1.23	2.94	15.46
Eyl.04	4.14	1.75	3.69	30.77
Eki.04	3.86	1.57	3.47	25.51
Kas.04	4.56	1.59	4.09	42.05
Ara.04	4.98	2.58	4.42	52.80
Oca.05	4.61	2.20	4.08	41.64
Şub.05	4.96	2.08	4.39	52.11
Mar.05	4.07	1.61	3.65	29.73
Ortalama	4.24	1.76	3.80	34.70
Yıllık Veriler	4.24	1.67	3.78	33.30

Çizelge 1' de görüldüğü gibi en yüksek ortalama rüzgar hızı 4.39 m/s ile 2005 yılı Şubat ayında, en düşük ise 2.94 m/s ile 2004 Ağustos ayında görülmüştür. Güç yoğunluğu da buna paralel olarak değişmiştir. Aylara göre elde edilen rüzgar hızı ortalamalarının ortalama değeri 3.80 m/s ve rüzgar güç yoğunluğu 34.70 W/m² bulunmuştur. Yıllık verilerden elde edilen ortalama rüzgar hızı 3.78 m/s ve rüzgar güç yoğunluğu 33.30 W/m² elde edilmiştir.

10 m yükseklikte 10 dk ara ile ölçülen rüzgar hızı verilerine ilişkin frekans dağılımı ve EYO yöntemi ile tahmin edilen $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ parametrelerine göre çizilen WD eklemeli olasılık fonksiyonunun şekli Şekil 3' de görülmektedir.



Şekil 3. 10m 10 dk rüzgar hızı verilerinin dağılımı.

Şekil 3.'de 10 m yükseklikte ölçülen rüzgar hızı verilerinin frekans dağılımı görülmektedir. Veriler 11 ayrı guruba bölünmüştür. En fazla veri 2-4 m/s aralığında ve yaklaşık verilerin %40'a denk düşmektedir. 6 m/s hızın üzerindeki rüzgar enerjisi üretmeye yönelik verilerin toplam veriler içinde %5'i oluşturmaktadır. 0-2 m/s arasındaki rüzgar hızı verilerini toplam verilerin yaklaşık %36'nı oluşturduğu görülmektedir. Bu durum rüzgar hızının genelde düşük hızlarda ve 0-4 m/s olduğunu göstermektedir. Hesaplanan parametre değerlerine göre çizilen Weibull olasılık fonksiyonunun verileri kısmen temsil ettiği görülmektedir.

10m yükseklikte 10 dk ortalama ile ölçülen aylık ve tüm yıla ait rüzgar hızı verilerinden EYO yöntemi ile hesaplanan parametre değerleri ile ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2. 10m yükseklikte ölçülen aylık rüzgar hızı verilerine ilişkin WD parametre tahminleri, ortalama hız (m/s) değerleri ile güç yoğunluğu (W/m²) değerleri

Aylar	10 m yükseklik			
	$\hat{\alpha}$ (m/s)	$\hat{\beta}$	Ort(m/s)	P(W/m ²)
Nis.04	3.38	1.49	3.05	17.48
May.04	3.22	1.42	2.93	15.33
Haz.04	3.38	1.52	3.05	17.31
Tem.04	3.51	1.53	3.16	19.39
Ağu.04	3.13	1.36	2.87	14.49
Eyl.04	3.55	1.65	3.17	19.66
Eki.04	2.92	1.36	2.67	11.74
Kas.04	3.26	1.27	3.03	16.90
Ara.04	3.81	2.37	3.38	23.64
Oca.05	3.54	1.83	3.15	19.07
Şub.05	3.83	1.80	3.41	27.18
Mar.05	3.08	1.38	2.81	13.69
Ortalama	3.38	1.58	3.06	17.99
Yıllık Veriler	3.38	1.52	3.06	17.42

Çizelge 2' de görüldüğü gibi en yüksek ortalama rüzgar hızı 3.41 m/s ile 2005 yılı Şubat ayında, en düşük ise 2.67 m/s ile 2004 Ekim ayında görülmüştür. Güç yoğunluğu da buna paralel olarak değişmiştir. Aylara göre elde edilen rüzgar hızı ortalamalarının ortalama değeri 3.06 m/s ve rüzgar güç yoğunluğu 17.99 W/m² bulunmuştur. Yıllık verilerden elde edilen ortalama rüzgar hızı 3.06 m/s ve rüzgar güç yoğunluğu 17.42 W/m² elde edilmiştir.

5. SONUÇ

Yapılan çalışmada Weibull dağılışı gösteren 10 dk ortalamalarla ölçülen bir yıllık periyoda ait rüzgar hızı verilerini kullanılmıştır. İki parametrelili Weibull dağılışı parametrelerinin EYO yöntemiyle nasıl hesaplanacağı açıklanmıştır. Aylık rüzgar hızı verileri üzerinde yapılan çalışmalarda hem 30 m hem de 10 m yükseklikte ölçülen verilere göre, en yüksek rüzgar hızı ortalaması ve buna bağlı olarak en yüksek rüzgar güç yoğunluğu Şubat ayında olduğu görülmektedir. Kurulacak olan bir enerji üretim tesisinin, karasal iklimin hakim olduğu bölgede en fazla elektrik enerjisine ihtiyaç duyulan Şubat ayında, yılın diğer aylarına göre daha fazla enerji üretebileceği görülmektedir.

Rüzgar güç yoğunluklarına bakıldığında, 30 m yükseklikte elde edilen rüzgar güç yoğunluğunun 10 m yükseklikte elde edilen rüzgar güç yoğunluğunun yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir. Bu durum yükseklik arttıkça ortalama rüzgar hızının da doğal olarak arttığını göstermektedir. Ayrıca kurulacak rüzgar türbinlerinin gövde yüksekliklerinin mümkün olduğunca yüksek olması gerektiğini göstermektedir.

Yıllık veriler ile aylık veriler kullanılarak yapılan hesaplamalarda, yıllık ortalama rüzgar hızı ve güç yoğunluğu değerlerinin birbirlerine çok yakın çıktığı gözlenmiştir. Ayrıca araştırmacıların kullanılabilmesi için basit MATLAB kodu sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- Bivona, S., Burlon, R., Leone, C., 2003. Hourly Wind Speed Analysis in Sicily. *Renewable Energy*. 28(9):1371-1385.
- Çelik, A. N., 2003. Assessing The Suitability Of Wind Speed Probability Distribution Functions Based On Wind Power Density. *Renewable Energy*. 28(10): 1563-1574.
- Deaves, D.V., Lines, I.G., 1997. On The Fitting of Low Mean Windspeed Data to The Weibull Distribution. *Journal of Wind Energy And Industrial Aerodynamics*. 66:169-178.
- Dodson B., 1994. *Weibull Analysis*. ASQC Press, Wisconsin.
- Dorvlo, A. S. S., 2002. Estimating Wind Speed Distribution. *Energy Conversion and Managment*. 43:2311-2318.
- Efron, B. 1979. Bootstrap Methods: Another look at the Jakknife. *Analls of statistics*. 7, 1-16.
- Garcia, A., Torres, J.L., Prieto, E., Defrancisco, A., 1998. Fitting Wind Speed Distributions : A Case Study. *Solar Energy*. 62 (2): 139-144.
- Heo J.H., Salas J.D., Kim K.D., 2001. Estimate of confidence intervals of quantiles for the Weibull distiribution. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*,. 15 284-309.
- İnal, C., Günay, S., 1993. *Olasılık ve Matematiksel İstatistik*. Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi Beytepe Basımevi. Ankara. 339-349.
- Jacovides, C. P, Theophilou, C., Tymvios, F. S., Pashiardes, S., (2002). Wind Statistics for Coastal Stations in Cyprus. *Theoretical and Applied Chlimatology*. 72 : 259-263.
- Johnson N.L., Kotz S., 1970. *Continuous Univariate Distribution-1*. Hough ton Mifflin Company, Boston.
- Karlı, V. M., Geçit, C., 2003. An Investigation on Wind Power Potential of Nurdağı-Gaziantep, Turkey. *Renewable Energy*. 28(5):823-830.
- Keats, J.B., Lawrence, F.P., Wang, F.K., 1997. Weibull maximum likelihood parameter estimates with censored data. *Journal of Quality Technol*. 29. 1. 105-110.
- Manly, B.F.J., 2001. *Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology*. Second Edition. Chapman & Hall/CRC.

- Menon, M.V., 1963. Estimation of the Shape and Scala Parameter of the Weibull Distribution. *Technometrics*, 5, 175-182.
- Özerdem, B., Turkeli, M., 2003. An Investigation of Wind Characteristics on The Campus of Izmir Institute of Technology, Turkey. *Renewable Energy*. 28(7):1013-1027.
- Ross, R., 1996. Bias and Standard Deviation due to Weibull Parameter Estimation for Small Data Sets. *IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation*. Vol. 3. No.1
- Ross, R., 1999. Comparing Linear Regression and Maximum Likelihood Methods to Estimate Weibull Distribution on Limited Data Sets: Systematic and Random Errors. *IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*.
- Segura, J.V., Lambert, T.W., 2000. Modern Estimation Of The Parameters of The Weibull Wind Speed Distribution For Wind Energy Analysis. *Journal Of Wind Energy And Industrial Aerodynamics*. 85:75-84.
- Seki, T., Yoloyama, S., 1996. Robust Parameter Estimation Using the Bootstrap Method for the 2-Parameter Weibull Distribution. *IEEE Transactions on Reliability*. Vol. 45 No.1 34-42.
- Sulaiman, M. Y., Akaak, A. M., Wahab, M. A., Zakaria, A., Sulaiman, Z. A., Suradi, J., 2002. Wind Characteristics of Oman. *Energy*. 27:35-46.
- Şen, Z., 2002. *İstatistik Veri İşleme Yöntemleri (Hidroloji ve Meteoroloji)*. Su Vakfı Yayınları, İstanbul. 208-216 s.
- Ülger, K., Hepbasli, A., 2002. Determination of Weibull Parameters for Wind Energy Analysis of Izmir, Turkey. *International Journal of Energy Research*. 26: 495-506.
- Weisser, D., 2003. A Wind Energy Analysis of Granada: An Estimation Using the “Weibull” Density Function. *Renewable Energy*. 28 (11):1803-1812.
- Zenbil, A., 1991. *Estimation Technigues for A Class of Non-regular Distributions: The Weibull Case*. A. Ph. D. Thesis in Statistics Middle East Technical University.

RÜZGÂR ENERJİSİNDE KULLANILAN JENERATÖRLERİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

¹Meltem APAYDIN

²Arif Kıvanç ÜSTÜN

³Mehmet KURBAN

⁴Ümmühan BAŞARAN FİLİK

Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
26555, ESKİŞEHİR

¹e-posta: meltemapaydin@anadolu.edu.tr, ²e-posta: akustun@anadolu.edu.tr
³e-posta: mkurban@anadolu.edu.tr, ⁴e-posta: ubasaran@anadolu.edu.tr

ÖZET

Günümüzde dünyamızın bulunduğu enerji dar boğazında, yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç artmaktadır ve bu yeni aynı zamanda temiz enerjilerden olan rüzgar enerjisine olan ilgi ve yatırımlarda gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Böylece rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemleri yaygınlaşmaktadır. Rüzgâr enerjisinden yararlanarak mekanik enerjinin elektriksel enerjiye dönüştürülmesinde kullanılan jeneratör sistemlerinin önemi büyüktür. Bu çalışmada rüzgar enerjisinde kullanılan jeneratörlerin hem maliyet açısından hem kullanılma amaçları ve doğru jeneratör seçimi açısından çeşitleri incelenmiş, dezavantajları ve avantajları ortaya konmuştur. Bu sebeple rüzgâr enerjisinde kullanılacak jeneratörlerin ve yeni sistemlerinin sanayiye tanıtılması ve ilgi çekici yönlerinin ön plana çıkarılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, Rüzgar Türbini, Jeneratör Tipleri

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Artan dünya nüfusu, teknolojinin gelişimi, sanayileşme yarışı son yıllarda enerjiye olan bağımlılığı ve ihtiyacı belirgin bir şekilde artırmıştır. Fosil yakıtların azalması, iklim değişikliği gibi önemli ekolojik nedenler, mevcut enerji kaynaklarının verimli kullanılmasını ve yeni enerji kaynaklarının bulunmasını zorunluluk haline getirmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgâr enerjisi özellikle son yıllarda ilgi görmekte ve gelişmektedir. Örneğin dünya çapında 50'den fazla ülkede enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Son 15 yılda ortalama %25 büyüme hızı göstermiştir.

Rüzgâr türbinleri, rüzgârdaki kinetik enerjiyi önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu teknoloji, aerodinamik, meteoroloji, mekanik, elektrik gibi birçok konuyu içinde barındırır. Bu çalışmada rüzgâr türbinlerinde kullanılan jeneratör tipleri incelenmiş, üstünlükleri ve sakıncaları ele alınmıştır.

2.RÜZGÂR ENERJİSİ KULLANIM AMAÇLARI

Rüzgâr enerjisi günümüzde en çok gelecek vadeden teknolojilerden bir tanesidir. Bu nedenleri şöyle sıralayabiliriz:

- Öncelikle rüzgâr enerjisi temizdir. Gürültü kirliliği haricinde herhangi bir çevre kirliliği yaratmaz. Modern bir 600kW gücündeki bir rüzgâr türbini ortalama bir yerde, bir yılda

genellikle kömürle çalışan diğer elektrik santrallerinin 1200 ton karbondioksitinin yerine geçecektir.

- Rüzgâr enerjisi boldur ve tükenmez bir enerji kaynağıdır.
- Enerjide dışa bağımlılığımızı azaltacak şekilde yerli bir kaynaktır.
- Rüzgâr enerjisi tesisleri kuruldukları alanın %1'lik bölümünü kullanırlar.
- Rüzgar türbinleri kuruluşu sırasında harcanan enerjinin 3 ay gibi kısa bir sürede üretilebilmesi, özellikle Türkiye gibi kısa dönemde enerji talebi olan ülkeler için önemli bir faktördür.
- Rüzgar türbinlerinin güçleri birkaç kW'tan birkaç MW'a kadar değişebilir. Örneğin 1-3 MW'lık kapasiteye sahip olan 25türbin ile yılda yaklaşık 20GWh'lık enerji üretilebilmektedir. Bu da orta büyüklükteki bir hidroelektrik santralının ürettiği enerjiye eşittir.

3.RÜZGÂR ENERJİSİNİN MALİYET ANALİZİ

Küresel rüzgâr enerjisi piyasasının büyümesiyle, rüzgar kaynaklı elektrik üretiminin maliyeti de düşmüştür. Modern bir rüzgâr türbini, yıllık olarak 20yıl önceki eşdeğerinden 180 kat daha fazla elektriği yarı maliyetine üretebilmektedir. İyi bir uygulama alanında rüzgar, kömür ve gaz ile üretilen enerjiyle rekabet edebilir duruma ulaşır.



Enerji sektöründe mevcut kaynakların elektrik enerjisine dönüştürülmesi için göz önünde bulundurulması gereken konular genel olarak:

- Tesis edilecek santral ve bu santralin inşası için gerekli olan sermaye maliyeti
- Enerji kaynağının erişilebilirliğine ve kullanıma uygun hale getirilmesine bağlı olarak değişen giderler
- Mevcut tesislerin bakım, onarım ve işletilmesi için karşılanacak giderler
- Çevreye, enerji sektörüne ve diğer sektörlerle verilen zararlarla ilgili dış maliyetler

Bunlar dikkate alındığında rüzgâr enerjisi, sermaye maliyetinin kW başına yüksek olduğu ve bunun aksine mevcut tesislerin bakım, onarım ve işletme maliyeti çok düşüktür.

Tablo 1. Enerji Sektörlerine Göre Maliyet Değerleri

Yakıt Sent/kWh	Maliyet
Kömür	4.8 - 5.5
Gaz	3.9 - 4.4
Hidro	5.1 - 11.3
Biokütle	5.8 - 11.6
Nükleer	11.1 - 14.5
Rüzgar	4.0 - 6.0

Kullanım alanına göre, rüzgâr enerjisinde kullanılacak ekipmanların seçimi de önemli bir aşamadır. Ev sistemleri, küçük üretim sistemleri ya da büyük üretim sistemlerine göre uygun jeneratörler de farklılık gösterirler.[1]

4.RÜZGÂR TÜRBİNLERİNDE KULLANILAN JENERATÖRLER

Rüzgar türbin jeneratörleri mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirir. Bunlar, şebekeye bağlanan diğer jeneratörlerle karşılaştırıldığında aralarında bir fark görülür. Bu jeneratörler devamlı azalıp artan bir mekanik güç veren tahrik kaynağı ile çalışmak durumundadır. Genel olarak 3 tip jeneratör kullanılır. Bunlar dezavantajları ve avantajlarına göre ayrı ayrı değerlendirilebilir.

Asenkron Jeneratör

- Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör (SKAG)
- Rotoru Sargılı Asenkron Jeneratör (RSAG)
- Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör (ÇBAG)
- OptiSlip® Jeneratör (OSG)

Senkron Jeneratör

- Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) Senkron Jeneratör (RSSG)
- Sürekli Mıknatıslı Senkron Jeneratör (SMSG)

Doğru Akım Jeneratörü

Anahtarlı Relüktans Jeneratör (ARG)

4.1.Asenkron Jeneratörler

Son yıllarda asenkron jeneratörler enerji üretim sektöründe özellikle rüzgar türbinlerinde oldukça

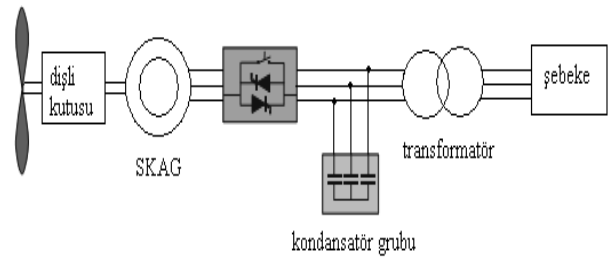
fazla kullanılır. Bu jeneratörlerin ulusal ve uluslar arası standartlara uygun olması gerekir(TS 3067, IEC 34-1, IEC 34-2, IEEE Standart 112-2004, VDE 0530). Bunların fabrika testlerinde düşük maliyeti ve kolaylığı sebebiyle dolaylı metot, direk metoda göre daha çok tercih edilir. Rüzgar türbinlerinde kullanılmasındaki en önemli avantajları ise sağlamlık, mekanik anlamda basitlik, fiyatının düşüklüğü gibi sebeplerdir. Ayrıca ani rüzgar artışında oluşan tork titreşimlerini azaltmada oldukça iyidir. En büyük dezavantajı ise duran kısım statorun, reaktif mıknatıslanma akımına olan ihtiyacıdır. Rotor yapısındaki farklılığa göre[3-6-7]:

- Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör(Kısa devre çubuklu)
- Bilezikli (sargılı) Asenkron Jeneratör

4.1.1.Sincap Kafesli Asenkron Jeneratör (SKAG)

SKAG hem sabit hızlı rüzgâr türbinlerinde hem de değişken hızlı rüzgar türbinlerinde kullanılır. Manyetik sesleri azaltmak ve iyi kalkınma momenti elde etmek için rotor olukları mile paralel olarak değil meyilli olarak açılarak pres alüminyum döküm rotor sargısı elde edilir. Sincap kafesli asenkron makineler, fırçasız, güvenilir, ekonomik ve sağlam bir yapıya sahip olmaları nedeniyle uygulamada sıkça kullanılmaktadırlar.

Dezavantajları; jeneratör parametrelerinin sıcaklık ve frekansla değişerek sistemin kontrolünü karmaşıklaştırmasıdır. Moment-hız eğrisi lineerdir. Böylece rüzgar gücündeki dalgalanmalar direkt olarak şebekeye iletilir. Bu geçişler özellikle rüzgar türbininin şebeke bağlantısı sırasında kritiktir. Bu noktalarda nominal akımdan 7-8 kat daha hızlı akım geçici olur ki bu sistemin dezavantajları arasında yer alır. Ayrıca sincap kafesli asenkron jeneratör reaktif güç tüketir. Birçok durumda, özellikle büyük türbinlerde ve zayıf şebekelerde bu istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden sincap kafesli asenkron jeneratörün reaktif güç tüketimi hemen her zaman kısmen ya da tamamen güç faktörünü bire yaklaştırmak için kullanılan kapasitörlerle dengelenir. [8-9]

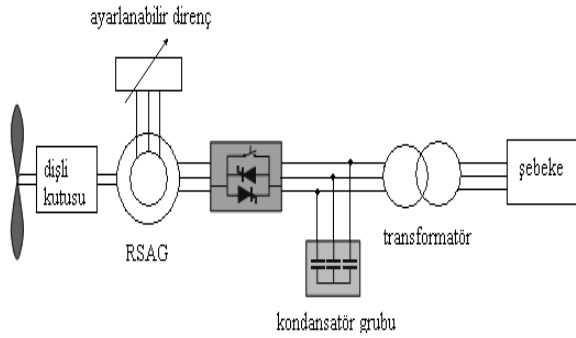


Şekil 1. SKAG ve şebeke bağlantısı

4.1.2. Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Jeneratör (RSAG)

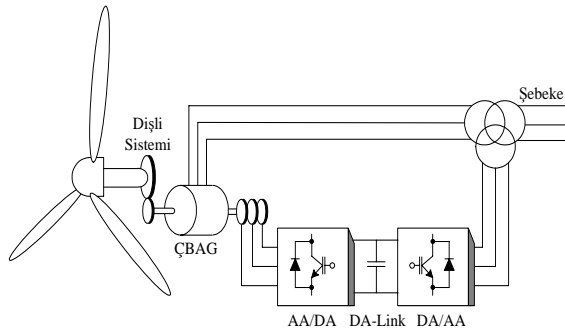
Bir RSAG'de rotorun elektriksel özellikleri dışarıdan kontrol edilebilir ve böylece rotor gerilimi değiştirilebilir. Rotor sargı uçları rotorla beraber dönen bileziklere bağlıdır. Bilezikler üzerinde sabit duran fırçalar yardımı ile, rotor sargıları üç fazlı bir yol verici direncine ya da dış kaynağa bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırladığı gibi hız ayarı da yapılabilir.

Dezavantajı pahalı olması ve SKAG kadar sağlam olmamasıdır.



Şekil 2. RSAG ve şebeke bağlantısı

4.1.2.1. Çift Beslemeli Asenkron Jeneratörler



Şekil 3. ÇBAG ve şebeke bağlantısı

Şekil 3'de çift beslemeli asenkron jeneratörün (ÇBAG) kullanıldığı bir rüzgar gücü sistemi görülmektedir. Bu sistemde, stator sargısı şebekeye doğrudan bağlanmıştır. Rotor sargısı ise iki adet back-to-back gerilim kaynaklı DGM tekniğini kullanan inverterden oluşan, dört bölge gücü konverteri üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Genellikle, rotor tarafındaki konverter kontrol sistemi, elektromanyetik torku düzenler ve makinenin manyetizasyonunu sürdürebilmesi için reaktif güç sağlar. Şebeke tarafındaki konverter kontrol sistemi ise, DA linkini düzenler. Senkron jeneratörlerle karşılaştırıldığında, ÇBAG'ün aşağıda belirtilen bazı avantajları vardır:

- Sadece rotorun kayma gücünü kontrol etmeye yarayan konverter sistemine sahip olduğu için, toplam sistem gücünün yaklaşık %25'i oranında bir inverter kullanılmaktadır. Bu da inverter maliyetini azaltır.
- Sistemde kullanılan filtreler toplam sistem gücünün 0.25 p.u.'lik kısmı için gerekli olduğundan, inverter filtrelerinin maliyeti azalmaktadır. Aynı zamanda inverter harmonikleri, toplam sistem harmoniklerinin daha küçük bir bölümünü temsil etmektedir.
- Ayrıca bu makine harici bozucu etkilere karşı dayanıklılık ve kararlılık göstermektedir.

ÇBAG için en büyük dezavantaj ise bünyesinde periyodik bakıma ihtiyaç duyan bilezik tertibatının bulunmasıdır.[5-6]

4.1.2.2. Optislip İndüksiyon Jeneratörler (OSİG)

OSİG, rüzgârın ani ve sert esmesi sırasında rüzgâr türbinindeki yükleri çok hızlı güç elektroniği elemanları kullanarak minimuma indirmek için Danimarkalı şirket Vestas® tarafından geliştirilmiştir. Optislip® jeneratör rotoru sargılı asenkron jeneratör ile şafta yerleştirilmiş ayarlanabilir harici rotor dirençlerinden oluşur. Herhangi bir bileziğe ihtiyacı yoktur. Jeneratörün kayması, rotor şaftına bağlı bir konvertör aracılığıyla toplam rotor direncinin düzenlenmesi ile değiştirilir. Bu değişim rüzgâr hızına ve yüke bağlı olarak elektronik devre ile %1 ile %10 arasında değişmektedir. Böylelikle ani rüzgâr artışlarında oluşan mekanik yükler ve güç dalgalanmalarının azaltılması hedeflenmiştir. Dezavantajı ise reaktif güç kontrolünün zayıf olmasıdır.

4.2. Senkron Jeneratör

Senkron jeneratörler, aynı büyüklükteki asenkron jeneratörlere göre daha pahalı ve mekanik olarak daha karmaşıktır. Senkron jeneratör, harici bir yükü besleyen üç fazlı sargıların oluşturduğu bir stator ve manyetik alanı oluşturan bir rotordan meydana gelir. Senkron jeneratörler sabit hızlı sistemler için daha uygundur. Bu nedenle sabit hıza bağlı olarak sabit frekansta çalışırlar. Rotorun oluşturduğu manyetik alan, ya sürekli mıknatıslardan ya da sargılardan akan doğru akımdan üretilir. Rüzgar türbinlerinde kullanılan senkron rotorlarındaki doğru akım şebekeden alınan besleme ile sağlanır. Şebekeden alınan A.C doğrultularak D.C ye çevrilir. Daha sonra rotorun sargılarına fırçalar aracılığı ile iletilir.

4.2.1. Alan Sargılı Senkron Jeneratör

Alan sargılı senkron jeneratörlerde (ASSG); stator sargısı, dalga genişlik modülasyonu (DGM) tekniğine göre anahtarlama yapabilen, çift yönlü akım akışının olabildiği (back-to-back) gerilim kaynaklı iki inverterden meydana gelmiş, dört bölgeyi bir güç konverteri üzerinden şebekeye bağlanmıştır (Şekil 4). Stator tarafındaki konverter elektromanyetik torku, şebeke tarafındaki konverter ise bu sistemin oluşturduğu aktif ve reaktif gücü düzenler.

ASSG 'nin sağladığı avantajlar şunlardır:

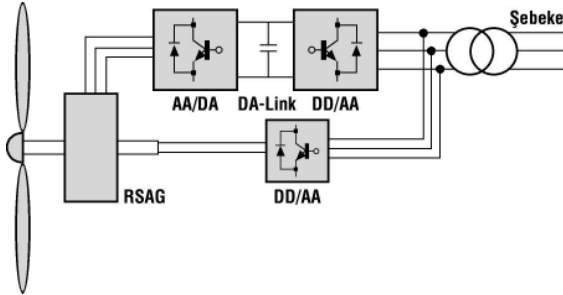
•Elektromanyetik tork üretiminde stator akımının tamamı kullanıldığı için bu makinenin verimi genellikle yüksektir.

•Çıkık kutuplu alan sargılı senkron jeneratörün kullanılmasının en büyük faydası, makinenin güç faktörünün doğrudan kontrolüne müsaade edilmesidir. Bunun sonucu olarak, stator akımı bir çok işletim durumunda minimize edilebilir.

•Bu jeneratörlerin kutup eğimi indüksiyon makinelerine göre daha küçük olabilir. Bu durum dişli kutusu elimine edilerek, düşük hızlı çok kutuplu makineler elde edilmesinde önemli bir özellik olabilmektedir.

Rotorda sargı devresinin bulunması daimi mıknatıslı senkron jeneratör (DMSG) ile kıyaslandığında bir dezavantajdır.

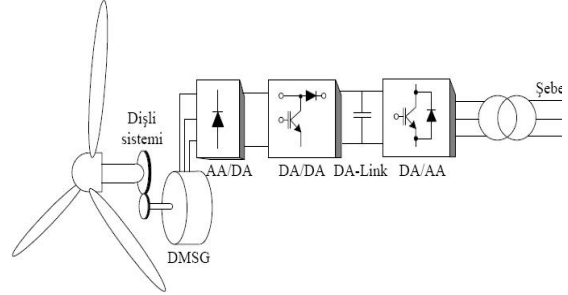
Ayrıca üretilen aktif ve reaktif gücü düzenlemek için, nominal rüzgar gücünün 1.2 katı büyüklüğünde konverterler kullanılması gerekmektedir.[2]



Şekil 4. Rotoru Sargılı (Alan Sargılı) senkron jeneratör (RSSG)

4.2.2.Daimi Mıknatıslı Senkron Jeneratör

Şekil 5 'de üç fazlı doğrultucuyu takip eden, yükseltici DA-DA kıyıcısı ile bağlantısı sağlanmış, daimi mıknatıslı senkron jeneratöre (DMSG) ait rüzgar güç sistemi görülmektedir. Burada yükseltici DA-DA kıyıcısı elektromanyetik torku kontrol etmektedir. Şebeke tarafındaki konverter ise, girişin güç faktörünü kontrol ettiği gibi, aynı zamanda DA link gerilimini de regüle etmektedir. Genellikle bu konfigürasyon küçük güçlü (50 kW 'dan küçük) rüzgar güç sistemleri için tercih edilmektedir.[2]



Şekil 5. Daimi mıknatıslı senkron jeneratör (DMSG)

DMSG'nin avantajları şunlardır:

•Herhangi bir enerji kaynağına gerek duymadan kendinden uyarımlı olması nedeniyle rüzgar türbini uygulamalarında önerilmektedir.

•Herhangi bir hızda güç üretebilir.

•Bakım maliyeti düşüktür.

•Küçük ve hafif uygulamalar için uygundur.

DMSG'nin dezavantajları şunlardır:

•Makinenin fiyatını arttıran daimi mıknatısların maliyeti yüksektir.

•Akımın genliğini arttıran diyotlu doğrultucular kullanılmaktadır.

•Mıknatıs malzemesinin manyetikliği bozulabilmektedir.

•Makinenin güç faktörünün kontrol edilmesi mümkün değildir.

4.3. Fırçasız Doğru Akım Jeneratörleri

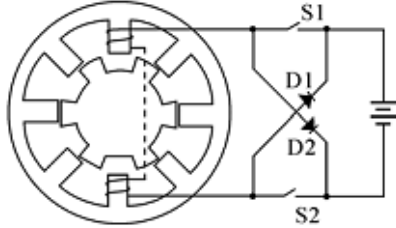
Doğru akım jeneratörleri, güvenilirliklerinin düşük olması ve bakım gerektirmesi gibi dezavantajlarına rağmen, hız kontrollerinin kolay olması nedeniyle rüzgar enerjisi sektöründe kullanılmaktadır. DAG'ler küçük kapasiteli rüzgar türbinlerinde, özellikle elektrığın şebekeden bağımsız olarak kullanıldığı yerlerde tercih edilmektedirler. Son yıllarda mekaniksel komütatörlü DAG'lerin komütatörü elimine etmek için sürekli mıknatıslı olarak tasarlanmasına bağlanmıştır. Bu tertibatta üretilen alternatif akım yarı iletken doğrultucular yardımıyla doğru akıma dönüştürülür. Fırçasız doğru akım makineleri olarak da isimlendirilen bu makineler, sürekli mıknatısların kapasitelerinin ve güçlerinin sınırlı olması nedeniyle, küçük güçlü rüzgar türbinlerinde kullanılmaktadırlar.[4]

4.3.1.Anahtarlı Reluktans Jeneratör

(ARG)

Son yıllarda ARG, iyi mekanik güvenilirlik, yüksek tork-güç oranı, yüksek verim ve düşük maliyetten dolayı rüzgar enerjisi uygulamalarında tercih edilen jeneratördür. ARG'nin statorunda bulunan her çıkık kutba çoklu sargılar yerleştirilmiştir. ARG uyarım ve üretim olmak üzere iki aşamada çalışır. ARG iki anahtar ve her faz başına iki diyottan oluşur. Uyarım aşamasında

S1 ve S2 anahtarları açık olup, statordaki sargılar harici elektriksel devre tarafından uyarılır ve manyetik enerji ortaya çıkar. Üretim aşamasında S1 ve S2 anahtarları kapalı olup, D1 ve D2 diyotları üzerinden manyetik ve mekanik enerji elektrik enerjisine dönüşür.



Şekil 6. Anahtarlı relüktans jeneratör

5. SONUÇLAR

Kömürün 230 yıl, petrolün 38 ve doğal gazın 60 yıl sonra tükeneyeceğini göz önüne aldığımızda alternatif enerji kaynaklarına süratle yönelmemiz gerekir. Rüzgarda bu alternatif enerji kaynaklarından bir tanesidir. Bu yüzden, dünya açısından çevreyi kirletmeyen, ekonomik olan, ülkemiz açısından da dış ülkelere bağımlılığı olmayan rüzgar enerjisine, yatırımların artırılması rüzgar potansiyelinden faydalanılması bir zorunluluk haline gelmektedir. Konunun geniş boyutları da düşünüldüğünde bu alandaki endüstriyel AR-GE ve üretimi ilgi çekici ve katma değer oluşturan bir nitelik göstermektedir.

Bir rüzgar santralının performansı, santralin kurulacağı bölgenin rüzgar rejimine ve türbin tipine en uygun jeneratörün kullanılmasına bağlıdır. Küçük ve orta güçlü rüzgar güç sistemlerinde hem SKAG, hem de DMSG kullanılır. Büyük güçlü rüzgar güç sistemleri için ise hem ÇBAG, hem de senkron jeneratör tercih edilir. DGM, sistemin giriş ve çıkışındaki akım harmonilerini azaltacağı için, DGM tekniğine göre anahtarlama yapabilen, back-to-back gerilim kaynaklı dört bölgeli güç konverteri tercih edilir. Böylece, jeneratör üzerindeki tork titreşimleri azalır ve çıkış gücünün kalitesi artar. Ayrıca güç elektroniği teknolojisinde kaydedilecek yeni gelişmeler ile beraber, rüzgar güç sistemlerinin performansını optimize etmek mümkün olacaktır.

Rüzgar santrali kurmanın sadece o bölgenin iyi rüzgar potansiyeline sahip olmasında veya iyi ekipmanlardan oluşmasına bağlı değildir. Ayrıca düşük maliyetlerde tutulabilecek bir santral, hem kendini amorti etmesi açısından hem de sanayinin teşvik edilebilmesi açısından önemli bir faktör olduğu gösterilmek istenmiştir. Bunların yanında jeneratör türünün ve yapısının seçiminin de birçok etmene bağlı olduğu gösterilmek istenmiştir.

6.KAYNAKLAR

[1]Prof. Dr. İsmail H. TAVMAN, Mehmet Sülün, "Rüzgar Enerjisi", İzmir 1999

[2]Murat UYAR, Muhsin Tunay GENÇOĞLU, Selçuk YILDIRIM, Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri İçin Generatör Sistemleri, 2006

[3]Onur Çopçuoğlu, Güven Önbilgin, "Yel Enerjisi Dönüşüm Sistemleri İçin Uygun Generatör Türlerinin Değerlendirilmesi", 2008

[4]Patel, M.R., "Wind and Solar Power Systems" CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington, 1999

[5]Nicolás, C.V, Lafoz, M. And Iglesias, J. " Guidelines For the Design and Control of Electrical Generator Systems for New Grid Connected Wind Turbine Generator." IECON 2002

[6]"Wind Turbine Grid Connection and Interaction," Deutsches Windenergie-Institut Tech wise A/S, DM Energy,

http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/wind_energy/maxibrochure_final_version.pdf, 2001

[7]"American Wind Energy Association Homepage"

<http://www.awea.org>

[8]Wind Power Generators in United Kingdom

<http://www.windgenerator.org.uk/>

[9]Elektrik İşleri Etüd İdaresi

web sayfası-www.eiei.gov.tr

HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN MODELLENMESİ

Ebru ÖZBAY

Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ

eozybay@firat.edu.tr, mtgencoglu@firat.edu.tr

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik enerjisi üretim oranları dikkate alındığında, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en büyük paya hidroelektrik enerji sahiptir. Büyük güce ihtiyaç olan yerlerde, barajlı büyük hidroelektrik santraller (HES) yapılırken, küçük su kaynaklarını değerlendirmek amacıyla küçük veya mini HES'ler de yapılmaktadır. Suyun kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren HES'lerde, gerekli hesaplamaların doğru bir şekilde yapılması ve verimi arttıracak yeni kontrol ve kumanda teknolojilerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla HES'lerin tüm birimleri ayrı ayrı modellenerek, benzetim çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmada; HES'lerin yapısı ve HES'lerde kullanılan türbin çeşitleri kısaca anlatılmıştır. Bir HES 'i oluşturan ana elemanların modelleri ayrı ayrı incelenerek, HES'lerin modellenmesi ayrıntılı olarak araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidroelektrik Santral, Türbin, Doğrusal Model, Doğrusal Olmayan Model.

1. GİRİŞ

En eski enerji kaynaklarından biri olan hidrolik enerji, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılanıdır. Akan su içindeki enerji miktarını suyun akış veya düşüş hızı tayin eder. Kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akarak, elektrik üretimi için türbinlerin dönmesini sağlar. Türbinlere bağlı olan generatörler, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. Hidroelektrik enerji santralleri, içme, kullanma ya da sanayi suyu sağlamak amacıyla ırmakların önü kesilerek oluşturulan baraj göllerinde kurulmaktadır.

HES 'lerin yıllık üretimleri, kaynağa gelen su miktarıyla doğru orantılı olduğundan ve bir yıl boyunca gelen su, tam kapasite çalıştırmaya yetmeyebileceğinden, genel olarak puant santrali olarak çalıştırılırlar. Devreye alınış ve çıkarılışları çok kolay ve hızlı olduğundan, su rejimine bağlı olarak enerji gereksiniminin çok olduğu puant saatlerde çalıştırılarak, enerjiye az gereksinim olduğu zamanlarda devre dışı bırakılırlar. Tam kapasite çalışmada, türbin kanatlarının önündeki su giriş kapakçıkları tamamen açıktır ve geçen su miktarı en üst düzeydedir. Ancak, sistemden çekilen enerji, kullanıcıların devreye girme ve çıkmalarına göre değişir. Sisteme anlık olarak istenilen enerjinin verilmesini, üretim ünitesindeki regülasyon sistemi sağlar. Regülasyon sistemi, türbin kanatlarının önündeki su giriş kapakçıklarını otomatik olarak ayarlayarak, daha az su girişine paralel olarak daha az üretim yapar. Bu olaya sistemde frekans tutma denir. Tüm elektrikli alıcıların sağlıklı ve verimli

çalışabilmesi için frekansın, alıcılarda imalat sırasında belirlenen frekansa uygun olması gerekir.

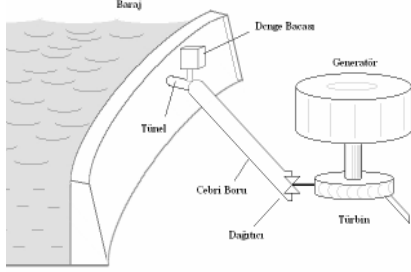
Hidrolik döngü; atmosfer, göl, deniz, okyanus, kara, yeraltı suları, nehir arasında suyun döngüsel taşınması işlemidir. Buharlaşma ve yoğunlaşmada, güneş enerjisi ve yer çekimi kuvveti en etkili rolleri oynamaktadır. Hidrolik döngü, zaman, mevsimsel hava ve toprak şartları, jeolojik konum, vb birçok bilinmeyen ve çok sayıda parametresi olan bir döngü olduğu için, matematiksel olarak modellenmesi çok zordur. Uzun süreli çalışma periyotlarında ve tahminlerde, simülasyon yaparken hidrolik döngünün önemi vardır. Ancak, anlık, dinamik simülasyonlarda hidrolik döngü dikkate alınmaz [1,2].

2.HİDROELEKTRİK SANTRAL YAPISI

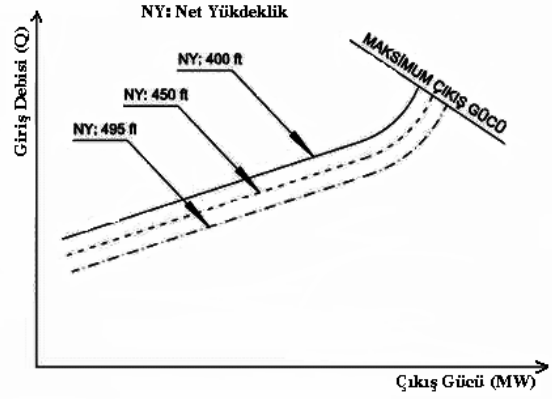
HES'lerin ana bölümleri; baraj seti arkasındaki rezervuar suyu, su giriş kapıları, tüneller, cebri borular, hidrolik türbinler, generatörler, türbinden geçtikten sonra suyun dışarı aktığı kısımlar, transformatörler ve su akışını ve elektrik enerjisi dağıtımını denetleyen yardımcı donanımlardır. HES'lerde giriş gücü, suyun potansiyel ve kinetik enerjisinden oluşmaktadır. Rezervuardan cebri boru içine akan su, sahip olduğu potansiyel enerji ve türbine kadar kazanmış olduğu kinetik enerji ile türbini çevirir ve çıkışta elektrik enerjisi elde edilmiş olur. Basit bir HES 'in yapısı Şekil 1 'de gösterilmiştir. Cebri borular, suyu türbinlere ileten büyük borular ya da tünellerdir. Türbinler, akan suyun hidrolik enerjisini mekanik enerjiye



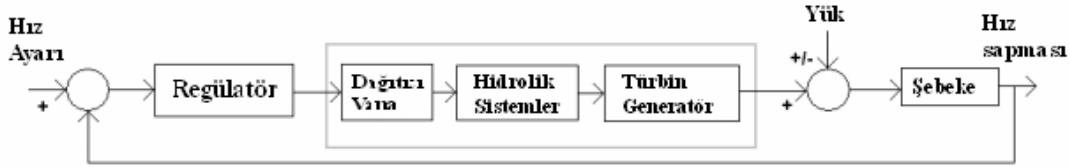
dönüştürürler. Transformatörler, generatörler ile üretilen alternatif gerilimi uzak mesafelere iletmek üzere, gerilimi yükseltmek için kullanılırlar. Yapı ve bileşenleri ile bir HES 'in blok diyagramı Şekil 2 'de gösterilmiştir [3].



Şekil 1. Basit bir HES 'in yapısı



Şekil 3. Hidrolik yükseklığe bağlı olarak giriş ve çıkış gücü eğrileri [4]



Şekil 2. Yapı ve bileşenleri ile bir HES 'in blok diyagramı

HES 'lerde üretilen güç, kritik bir değere kadar suyun net akış yüksekliğine, yani net hidrolik yükseklığe ve cebrî borudan akan suyun debisine bağlıdır. Rezervuar su seviyesi ile su çıkışı seviyesi arasındaki mesafe, brüt akış yüksekliği olarak tanımlanır. Net hidrolik yükseklik ise, kayıplardan dolayı brüt yükseklikten daha azdır. Farklı hidrolik yükseklikler için HES 'in giriş ve çıkış karakteristiği Şekil 3 'de gösterilmiştir [1].

2.1. Türbin Çeşitleri

Hidrolik türbinler, suyun hidrolik enerjisini döner çarklar (rotorlar) yardımı ile mekanik enerjiye çeviren hidrolik makinalardır. Hidrolik makinalar, su türbinleri ve su çarkları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Su türbinleri dinamik hidrolik makinalardır, su çarkları ise su ağırlığı kuvveti makinalarıdır. Hidrolik türbinlerde, türbin rotorunun kanat aralıklarından geçirilen suyun basıncı, dönen türbin rotorunun kanat aralıklarında mekanik enerjiye dönüştürülür. Buna karşın su çarklarında, suyun mevcut olan potansiyel enerjisi, suyun çark kepeçlerine dolması ve ağırlık tesiri ile çarkı döndürmesi suretiyle mekanik enerjiye dönüşür. Su türbinlerinden elde edilen elektrik enerjisinin, iletim hatları ile uzak mesafelere iletilmesi ile birlikte daha büyük, daha güçlü ve birbirleri ile paralel olarak çalışan HES 'ler kurulmaya başlanmıştır. Modern

anlamda otomatik olarak yük-frekans ayarlaması yapılabilen, Francis, Kaplan ve Pelton tipi hidrolik türbinler, 1920 'lerden itibaren kullanılmaya başlanmıştır ve bu tip türbinler hala çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde imal edilen büyük güçlü hidrolik türbinlerin verimleri %95 'e kadar yükselmiştir. İşletme tarzlarına, yapılış şekillerine, hidrolik düşüye ve hidrolik akımın rotordaki yönüne göre, hidrolik türbinleri çeşitli sınıflandırmalara tabi tutmak mümkündür. Ancak, genellikle hidrolik türbinler; aksiyon türbinleri ve reaksiyon türbinleri olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

2.1.1. Reaksiyon Türbinleri

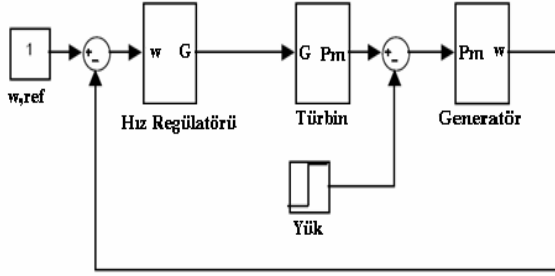
Reaksiyon türbinleri grubuna, Francis tipi hidrolik türbinler ile Kaplan tipi hidrolik türbinler girmektedir. Bu tip türbinlerde, türbin rotoru kanatçıkları arasındaki suyun giriş basıncında bir düşüş meydana gelir. Su basıncında meydana gelen bu düşüş, suyun ivmelenmesine, yani hızlanmasına neden olur. Hidrolik düşünün ve türbinden geçecek su debisinin değerlerine göre, hidrolik türbinlerin kullanım alanları değişmektedir. Kaplan tipi hidrolik türbinler büyük su debilerinde ve küçük düşülerde kullanılırlar. Francis tipi hidrolik türbinler ise, genel olarak orta yükseklikteki su düşülerinde ve orta değerlerdeki su debilerinde kullanılırlar.

2.1.2. Aksiyon Türbinleri

Bu tip türbinler 1880 yılında Pelton tarafından keşfedilmiş ve gelişmeleri günümüze kadar devam etmiştir. Pelton tipi hidrolik türbinler, çok yüksek hidrolik düşümler ve küçük su debileri için kullanılmaktadırlar. Michell-Banki tipi türbinler de bu türbin sınıfına dahil edilebilirler. Bu tip türbinler, 1903 yılında M.Michell tarafından keşfedilmiş ve 1917 yılında D.Banki tarafından geliştirilmiştir. Bu tip özel türbinlerin kullanılma sahası çok dar olup, genellikle küçük güçlü, nehir tipi santrallerde tercih edilmektedirler [5].

3. MODELLEME

Hidroelektrik santral modelleri genel olarak doğrusal modeller ve doğrusal olmayan modeller şeklinde sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma, modelin içerdiği denklemlerin karmaşıklığına bağlıdır. Modeller kendi içerisinde, cebri borudaki elastik su yükü ve elastik olmayan su yükü şeklinde sınıflandırılabilirler. Doğrusallaştırılmış modeller, kontrol sistem kararlılığı veya küçük sinyal kararlılığı çalışmalarında kullanılırlar. Şekil 4 'de bir HES 'de hız kontrolünün genel modeli gösterilmiştir.



Şekil 4. Hız kontrolü genel modeli [1]

HES 'lerin modellenmesi ve kontrolör tasarımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Modelleme ile ilgili olarak Oldenburger, elastik su yükü etkilerini kapsayan çalışmada, doğrusal olmayan dinamikleri çalışma noktasında doğrusallaştırmıştır. Undrill [6], geçici gerilim düşümlerini hesaplamak için takip edilmesi gereken prosedürleri belirlemiştir. IEEE çalışma grubu [7,8], HES 'in farklı modellerini ve güç üretimi kontrolü için gerekli teknikleri rapor etmiştir. Bu çalışmada, doğrusal ve doğrusal olmayan modellerde, elastik olan ve olmayan su yükü etkilerini incelemiştirler. Ramey [9], Luqing [10], Wozniak [11], Malik [12] ve Vournas [13] çalışmalarında, ideal ve elastik olmayan su yükünü dikkate alarak, çalışma noktasında doğrusallaştırılmış klasik bir türbin modelinden bahsetmişlerdir. Benzer şekilde Sanathanan [14], uzun cebri borulu durumda, hidro türbinler için azalan düzenli türev modelini önermiş,

benzer bir sistem için doğrusal türbin karakteristiklerinin modellerinin yetersiz kaldığını kanıtlamıştır. Kundur [15], bir santralin modellenmesinde, doğrusal olmayan elastik su yükü etkisi dinamikleri üzerinde durmuştur. Fangtong [16], regülatör sistem tasarımı için, hidro türbin-generator ayarlamalarının modellenmesinde parametre tahmin teknikleri ve santral tanımlama üzerinde durmuştur. Qijuan [17], tekrarlanan en küçük kareler tahmin algoritmasını kullanan, lokal yük ile hidro türbin-generatorun dinamik modellemesini tanıtmıştır. Vournas [18], ortak cebri boruyu paylaşan hidrolik türbinler için transfer fonksiyonunu geliştirmiştir. Bu çalışmada, cebri borunun hem elastik olan hem de olmayan modeli üzerinde çalışılmıştır. Benzer bir çalışmada, Hannet [19] ve Jaeger [20] aynı çalışmayı, alan test temelli modelde denemişlerdir.

Araştırmacıların çoğu, uzun cebri boruda sıkıştırma ve elastik etkilerin dinamiklerini kapsayan çok yönlü araştırmalar üzerinde durmamışlardır. Bu etkiler hidrolik yapıdaki irrasyonel terim olan e^{-2sTe} 'nin ertelemesini gösterir. İrrasyonel terimli transfer fonksiyonunun çözümü zordur ve bazen kararlılık çalışmalarında doğrudan kullanılamayabilir. Elastik olmayan su yükü etkisi temelli, uzun cebri boru için yapılan çalışmalarda, belirli hatalar olacaktır [21].

3.1. Doğrusal Model

Doğrusal modellemede, hidrolik direnç (hidrolik kayıplar) ihmal edilebilir, cebri boru elastik yapıda değildir ve su sıkıştırılmaz. Suyun hızı, türbin dağıtıcı açıklığı ve net hidrolik yüksekliğin karekökü ile, türbin mekanik gücü ise, hidrolik yükseklik ve su hızının çarpımı ile doğru orantılıdır. Türbin ve cebri boru karakteristikleri cebri boru su hızı, türbin mekanik gücü ve su yükü ivmesi olmak üzere üç temel eşitlik ile belirlenir.

Cebri boru su hızı, türbin dağıtıcı açıklığı ve net hidrolik yüksekliğin karekökü ile doğru orantılı olduğu için

$$U = K_u G \sqrt{H} \quad (1)$$

yazılabilir. Burada K_u hız sabitidir.

Çalışma noktasından küçük bir sapma olduğu durumda, hız değişimi, hidrolik yüksekliğe ve dağıtıcı pozisyonuna bağlı olarak oluşan hız değişimlerinin toplamıdır.

$$\Delta U = \frac{\partial U}{\partial H} \Delta H + \frac{\partial U}{\partial G} \Delta G \quad (2)$$

Kısmi türevlere sürekli çalışma rejimindeki anma değerleri yerleştirilirse,

$$U_0 = K_u G_0 \sqrt{H_0} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta U}{U_0} = \frac{\Delta H}{2H_0} + \frac{\Delta G}{G_0} \quad (4)$$

elde edilir. Baz değer olarak, anma değerleri seçilirse, eşitlik (4) pu sistemde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Delta \bar{U} = \frac{1}{2} \Delta \bar{H} + \Delta \bar{G} \quad (5)$$

Türbin çıkış gücü, hidrolik yükseklik ve su hızının çarpımı ile doğru orantılı olduğu için,

$$P_m = K_p H U \quad (6)$$

yazılabilir. Burada K_p mekanik güç sabitidir.

Çalışma noktasından küçük bir sapma olduğu durumda, mekanik güç değişimi, hidrolik yüksekliğe ve suyun hızına bağlı olarak oluşan mekanik güç değişimlerinin toplamıdır.

$$\Delta P_m = \frac{\partial P_m}{\partial H} \Delta H + \frac{\partial P_m}{\partial U} \Delta U \quad (7)$$

Kısmi türevlere sürekli çalışma rejimindeki anma değerleri yerleştirilirse,

$$\frac{\Delta P_m}{P_{m,0}} = \frac{\Delta H}{H_0} + \frac{\Delta U}{U_0} \quad (8)$$

elde edilir.

Baz değer olarak, anma değerleri seçilirse, eşitlik (8) pu sistemde aşağıdaki gibi olur.

$$\Delta \bar{P}_m = \Delta \bar{H} + \Delta \bar{U} \quad (9)$$

(9) eşitliği kullanılarak, (10) ve (11) elde edilir.

$$\Delta \bar{P}_m = 1.5 \Delta \bar{H} + \Delta \bar{G} \quad (10)$$

$$\Delta \bar{P}_m = 3 \Delta \bar{U} - 2 \Delta \bar{G} \quad (11)$$

Newton'un ikinci hareket yasasına göre, hareketli bir sistemde kinetik enerji ile potansiyel enerji toplamı daima sabittir. Bu nedenle, rezervuardaki suyun cebri borunun giriş noktasındaki hızının sıfır olduğu kabul edilirse, türbin girişinde suyun kazandığı kinetik enerji, potansiyel enerji değişimine eşittir.

Su kütlesi ρLA , türbin giriş basınç değişimi $\rho a_g \Delta H$ olmak üzere;

$$\rho LA \frac{d}{dt} \Delta U = -\rho a_g \Delta H \quad (12)$$

$$\frac{LU_0}{a_g H_0} \frac{d}{dt} \Delta \bar{U} = -\Delta \bar{H} \quad (13)$$

yazılabilir. Eşitlik (13) 'deki türevsel terimin sol tarafı suyun hareket süresi (T_w) olarak adlandırılır. Suyun hareket süresi, hidrolik yükseklik H_0 iken, cebri borudaki suyun U_0 hızına ulaşmasına kadar geçen süredir. Bu süre, yüke bağlı olarak değişmektedir. Suyun hareket süresi, uygulamada, tam yükteki anma değerlerine göre belirlenir.

$$T_w \frac{d}{dt} \Delta \bar{U} = -\Delta \bar{H} \quad (14)$$

$$T_w = \frac{LU_0}{a_g H_0} = \frac{LQ_0}{a_g A H_0} \quad (15)$$

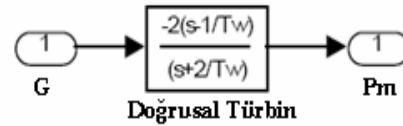
Su hızının dağıtıcı pozisyonuna göre değişimi incelenirse;

$$T_w \frac{d}{dt} \Delta \bar{U} = 2(\Delta \bar{G} - \Delta \bar{U}) - \Delta \bar{U} = \frac{1}{1 - \frac{1}{2} T_w s} \Delta \bar{G} \quad (16)$$

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta \bar{G}} = \frac{1 - T_w s}{1 - \frac{1}{2} T_w s} \quad (17)$$

elde edilir. Bu eşitlik hidrolik türbinin klasik transfer fonksiyonudur.

Yukarıdaki eşitlikler dikkate alınarak oluşturulmuş doğrusal türbin modeli Şekil 5 'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Doğrusal türbin modeli [1]

3.2. Doğrusal Olmayan Model

3.2.1. Elastik Olmayan Su Yüğü Modeli

Bu modelde, cebri boru modellenirken, elastik yapıda olmadığı ve suyun sıkıştırılmaz bir akışkan gibi davrandığı düşünülmüştür. A kesit alanlı ve L uzunluğundaki rijit boru göz önüne alınırsa, cebri boru yükseklik kaybı, cebri boru duvarındaki su sürtünmesi ile debinin karesinin çarpımıdır.

$$H_f = f_s Q^2 \quad (18)$$

Newton'un ikinci hareket yasasını kullanarak cebri borudaki debi değişim oranı şöyle tarif edilir;

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{(1-H-H_f)}{T_w} \quad (19)$$

Net debi ile yüksüz durumdaki debinin farkı efektif debiyi verir. Efektif debinin yükseklikle çarpımı mekanik gücü verir. Mekanik güç doğal olarak % 100 değildir. Dağıtıcı açıklığının bir fonksiyonu olan türbin sönmüleme etkisi de ilave edilirse, birim değer türbin gücü;

$$\bar{P}_T = A_T \bar{H} (\bar{Q} - \bar{Q}_{Tn}) - D_n \bar{C} \Delta \bar{h} \quad (20)$$

olarak bulunur. Türbin gücü (MW) baz güç olarak alınır. Dağıtıcılar tam açık (dağıtıcı pozisyonu = 1) kabul edilerek Q_{baz} türbin debisi seçilmiştir. H_{baz} su yüzeyinin statik yüksekliğini (H_0) gösterir. D_n türbin verimindeki hız değişiminin (Δn) etkisini gösteren bir katsayıdır ve değeri 0.5 ile 2.0 arasında değişir.

Türbindeki birim değer debi miktarı;

$$\bar{Q} = \bar{C} \sqrt{\bar{H}} \quad (21)$$

ile bulunur.

Türbin kazancı, türbin kapağı açıklık oranının kazanca yaptığı etki olarak;

$$A_T = \frac{1}{C_{T1} - C_{Tn}} \times \frac{Türbin\ MW_{maksimal}}{Generator\ MW_{nominal}} \quad (22)$$

şeklinde gösterilir.

Bu denklemler doğrusallaştırılarak;

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta C} = \frac{1 - C_{T1} T_{11} F}{1 + C_{T1} T_{11} F} \times A_T \quad (23)$$

elde edilir.

3.2.2. Elastik Su Yükü Modeli

Cebri borunun hassas dinamiği için hidrolik hat karakteristiğinin meydana getirdiği su koçunu da hesaba katmak gerekir. Su koçu, cebri borudaki basınç değişimlerinin sonucudur. Dağıtıcının aniden açılması veya kapanması, akan suyun hızının azalmasına veya artmasına neden olur. Herhangi bir nedenle su hızının hızlı değişimi, su koçuna sebep olur. Bu olay, pozitif ve negatif basınç dalga serileri ile karakterize edilebilir. Basınç dalgası, sürtünmeyle sönmülene kadar cebri boru içinde ileri geri hareket devam eder. Dağıtıcının ani kapanmasıyla bütün su aniden durur, bu durum hızda çok büyük değişimlere neden olur. Newton'un ikinci hareket yasasına göre, bu durumda kuvvetin sonsuza ulaşması beklenir. Ancak pratikte

bu durumun gerçekleşmesi imkansızdır. Aslında, su bir derece sıkıştırılabilirse, tanecikler de aynı şekilde hızlanmaz ve dağıtıcıdaki hızlı kapanma su yükünün ani duruşuna neden olmaz. İlk önce, sadece dağıtıcı ile temas eden su tanecikleri durur, daha sonra diğerleri durur.

Rijit cebri boru göz önüne alınarak dağıtıcının aniden kapanması ve dağıtıcıdan yukarı doğru basıncın aniden artmasıyla, baraj üstünde (veya denge bacasında) aşırı basınç dalgası oluşur. Dağıtıcı yanındaki su tanecikleri üzerlerindeki suyla sıkıştırılır. Su normal hızıyla hareket eder ve suyun birbirini izleyen tanecikleri sıkıştırılır. Bu sıkıştırma hareketi dalga hareketine benzer ve yukarı doğru hareket eder. Serbest su yüzeyine ulaşana kadar basınç dalgası hızla hareket eder. Basınç dalgasının serbest su yüzeyinden cebri boru uzunluğu içindeki hareketine kadar geçen süreye, dalga hareket zamanı (T_e) denir.

$$T_e = \frac{L}{A} \quad (24)$$

Hareketli suyun kinetik enerjisi, suyun sıkıştırılmasıyla ve cebri borunun gerilmesiyle elastik enerjiye çevrilir. Diğer elemanların orijinal halini takip etmesiyle, son su taneciğinin serbest su yüzeyine yayılması, negatif basınç dalgasına sebep olur. Dalganın aşağı doğru hareketiyle, dalganın $t=2 \cdot T_e$ zamanında dağıtıcıya erişmesiyle, artan su basıncı normal basıncına döner. Dağıtıcıdan uzaklaşarak hareket eden su, basınç azalmasına neden olur. Negatif basınç dalgası yukarı doğru serbest su yüzeyine hareket eder.

Cebri boru büyük barajdan beslenen bir kanal olarak kabul edilirse, türbin girişindeki yükseklik ve debi bağıntısı transfer fonksiyonunu verir. Burada F, cebri borudaki sürtünme kayıpları ve s Laplace kompleks değişkenini ifade eder.

$$\frac{H(s)}{Q(s)} = -\frac{T_w}{T_e} \tanh(T_e s + F) \quad (25)$$

İdeal türbin parametreleri kullanılarak ve sürtünme katsayısı (F) sıfır kabul edilerek, sürtünme kayıpları ihmal edilirse;

$$\frac{\Delta P_m(s)}{\Delta C(s)} = \frac{1 - Z_0 \tanh(T_e s)}{1 + 0.5 Z_0 \tanh(T_e s)} \quad (26)$$

elde edilir. Burada, $Z_0 = \frac{T_w}{T_e}$, cebri boru normalize empedansıdır [1, 2, 8, 15, 19, 20].

3.3. Denge Bacası Modeli

Daralan ağız tipli denge bacası göz önüne alındığında, sistemde alçak basınç tüneli, yüksek basınç tüneli ve denge bacası bulunur.

Denge bacasındaki debi, denge bacası alanı (A_s) ve denge bacası seviyesinin (H_s) değişimine bağlıdır. Bu ifade;

$$Q_s = A_s \frac{dH_s}{dt} \quad (27)$$

olarak ifade edilir. Birim değer denge bacası su seviyesi;

$$H_s = \frac{Q_s}{C_s} \quad (28)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada C_s denge bacası depolama sabitidir.

$$C_s = \frac{A_s H_{bas}}{Q_{bas}} \quad (29)$$

Denge bacası ağızdaki yükseklik kaybı, debi ve nominal frekans (f_0) ile orantılıdır. Alçak cebri borudaki yükseklik, denge bacası seviyesi ile ağızdaki yükseklik kaybı arasındaki farktır. Denge bacası seviyesi alçak cebri boru üzerindeki yükseklikle tanımlanır. Denge bacasının eklenmesi, su haznesi ile tank arasındaki zayıf sönümlü salınımların artmasına neden olur. Her dönem için birkaç dakika olan bu salınım genelde çok yavaştır. Yük frekans kontrolü ve denetleyici kullanılarak bu salınım ihmal edilebilir.

Lump sistem teorisine göre; eğer her iki tünel ve ağızdaki yükseklik kaybı ihmal edilirse, denge bacasındaki denge osilasyonlarının T_{st} gibi bir periyodu olur. Bu süre, türbin yük değişimi ve maksimum dalganın meydana gelmesi arasındaki zaman süresidir.

Bu periyot;

$$T_{st} = 2\pi \sqrt{\frac{L_s A_s}{gA}} \quad (30)$$

ifadesi ile hesaplanır. Burada, L_s su haznesinden denge bacasına olan tünel uzunluğunu, A_s denge bacası kesit alanını ve A tünel kesit alanını ifade eder [2].

3.4. Regülatör Modeli

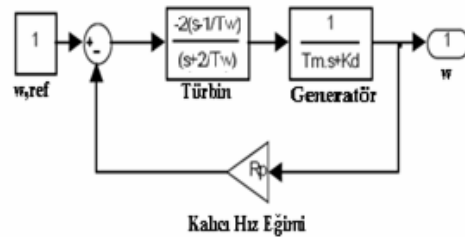
Bir generatörün ürettiği elektriksel güç, elektriksel yük ile iletim kayıplarının toplamına eşit olmalıdır. Aksi takdirde, türbin şaftına etki eden toplam tork, yani mekanik ve elektriksel tork farkı, üretilen gücün hat kayıpları ile tüketilen gücün toplamına eşit olana kadar türbinin hızlanmasına veya yavaşlamasına neden olur.

$$P_{üretilem} = P_g = P_{yük} + P_k \quad (31)$$

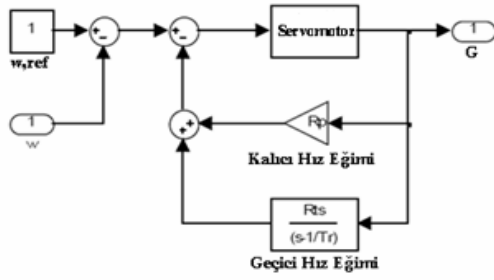
$$T_m - T_g = -J \frac{d\omega}{dt} \quad (32)$$

Elektriksel hız, mekanik hız ile doğru orantılı olduğu için, güç sistemindeki elektriksel hız ve frekans değişecektir. Kaliteli bir güç sisteminde, frekansın kabul edilebilir bir aralıkta sabit olması istendiği için, hız kontrolü yapılır. Hız regülatörü, hem hızı hem de üretilen elektrik gücünü ayarlar. Hız, referans hıza göre geri besleme yaptırılarak, hız regülatörünün dağıtıcı pozisyonunu değiştirmesine ve sırasıyla, mekanik ve elektriksel gücün değişmesine neden olacaktır. Geri besleme için kabul edilen maksimum hız değişimine göre, kalıcı hız eğimi kullanılır. Kalıcı hız eğimi, bağlı olunan şebeke yönetmeliklerine göre, genellikle % 4-5 arasında seçilir. %5 hız eğiminin kullanılması, hızın %5 değişmesi durumunda, dağıtıcı pozisyonunda veya çıkış gücünde %100 değişimin elde edileceği anlamına gelir. Şekil 6 'da kalıcı hız eğimi kullanılarak elde edilen HES modeli gösterilmiştir.

Hidrolik türbinlerde suyun ataletinden dolayı, dağıtıcı pozisyonundaki bir değişiklik, ters yönde ilk türbin gücü değişimini oluşturur. Ani değişiklik, sistemin dengesiz çalışmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, kalıcı hız eğimi etkisini kompanse etmek için, büyük geçici hız eğimi ve uzun sıfırlama süresi gerekir. Geçici hız eğimi, dağıtıcı pozisyonundaki değişimi kontrol altında tutarak, suyun akışındaki değişimin güç değişimini yakalamasını ve eş zamanlı hareket etmesini sağlar. Şekil 7 'de geçici hız eğimli bir HES modeli gösterilmiştir. Sonuç olarak, hız regülatörü, yüksek hız dalgalanmasında yüksek hız eğimi (düşük kazanç) ve normal çalışma rejimindeki küçük hız dalgalanmalarında ise düşük hız eğimi (yüksek kazanç) sağlar [1].



Şekil 6. Kalıcı hız eğimi ile HES modeli [1]



Şekil 7. Geçici hız eğimi ile hız regülatörü modeli [1]

4. SONUÇ

Bu çalışmada, HES 'lere ait çeşitli araştırmacılar tarafından elde edilen matematiksel modeller incelenmiştir. Matematiksel bir model kullanılarak, bir hidroelektrik sistemin simülasyonu gerçekleştirilebilir. Bu çalışma özel bir HES 'i kapsamamakla birlikte, küçük değişiklikler ile özel bir hidroelektrik santrale uyarlanabilir. Bu değişiklikler, santralin hidrolik kısımlarına göre farklılık gösterirler. Türbin-cebri boru modeline, denge bacası ile türbin dağıtıcı modeli ilavesiyle gerçek bir santral için çalışma yapılabilir.

Hız regülatörü parametrelerinin etkilerini gözlemlemek amacıyla, hidrolik türbinler için doğrusal model kullanılabilir. Geçici hız eğiminin kullanımı, sistemin kararlılığını arttırmak için gereklidir. Geçici hız eğimi sabiti için çok yüksek ve çok düşük değerler kullanıldığı durumlarda hız regülatörünün tepkime süresi uzamaktadır. Sistem frekansının kabul edilebilir aralıklarda tutulması için, hız regülatörü tepkime süresinin kısa olması gerekir.

Kısaltmalar

- U: Cebri boru su hızı (m/s)
- G: Dağıtıcı açıklığı (%)
- H: Net hidrolik yükseklik (m)
- H₀: İlk su yüksekliği (m)
- U₀: Suyun ilk hızı (m/s)
- G₀: İlk dağıtıcı açıklığı (%)
- P_m: Türbin çıkış gücü (joule)
- ρ : Su yoğunluğu (kg/m³)
- L: Cebri boru uzunluğu (m)
- A: Cebri boru kesiti (m²)
- T_w: Suyun hareket süresi (s)
- H_f: Cebri boru yükseklik kaybı (m)
- f_p: Cebri boru duvarındaki su sürtünmesi
- Q: Debi (m³/s)
- A_t: Türbin kazancı
- D_n: Türbin sönmleme etkisi
- Δn: Hız değişimi
- G_{n1}: Tam yükte ideal dağıtıcı açıklığı (%)
- G_{n1}: Yüksüz durumda ideal dağıtıcı açıklığı (%)
- T_e: Dalga hareket zamanı (s)

- F: Sürtünme katsayı
- Z₀: Cebri boru normalize empedansı
- Q_s: Denge bacasındaki debi (m³/s)
- H_s: Denge bacası seviyesi (m)
- A_s: Denge bacası kesit alanı (m²)
- c_s: Denge bacası depolama sabiti
- T_{st}: Türbin yük değişim ve maksimum dalganın meydana gelmesi arasındaki zaman süresi (s)
- L_s: Su haznesinden denge bacasına olan tünel uzunluğu (m)
- P_e: Generatörün ürettiği elektriksel güç (joule)
- P_{yük}: Tüketilen güç (joule)
- P_k: Hat kayıpları (joule)
- T_m: Mekanik tork (tork)
- T_e: Elektriksel tork (tork)
- w: Türbin açısal hızı (rad/s)
- J: Eylemsizlik momenti
- R_p: Kalıcı hız eğimi
- K_d: PID kontrol türevsel katsayısı
- R_t: Geçici hız eğimi
- T_r: Sıfırlama süresi (s)

KAYNAKLAR

1. Kılıçkap, E., Hidrolik Santralin Dinamik Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
2. Eke, İ., Hidroelektrik Santrallerin Modellenmesi ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
3. Yumurtacı Z., Öztürk R., Hidroelektrik Enerji, Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
4. Wollenberg, B.F., Wood, A.J., Power System Generation Operation and Control, 2nd Ed., J. Wiley&Sons, New York, 20-23, 131-138, 1996.
5. Demirhan, A. Y., Küçük Hidroelektrik Santrallerde Türbin Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
6. Undrill, J., Woodward, J., Nonlinear Hydro Governing Model and Improved Calculation for Determining Temporary Droop, IEEE Trans on Power Appar Syst, 86:228-33, 1967.
7. IEEE Committee, Dynamic Models for Steam And Hydro Turbines in Power System Studies, IEEE Trans on Power Appar Syst, 92:1904-15, 1973.
8. IEEE Working Group, Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for System Dynamic Studies, IEEE Trans on Power Syst, 7:167-79, 1992.
9. Ramey, DG., Skooglund, JW., Detailed Hydro Governor Representation for System Stability Studies, IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 89:106-12, 1970.
10. Luqing, YE., Shouping, WEI., Malik, OP., Hope, GS., Variable And Time Varying Parameter Control for Hydroelectric Generating Unit, IEEE Trans Energy Conv, 4:293-9, 1989.

11. Wozniak, LA., Graphical Approach to Hydrogenerator Tuning. IEEE Trans Energy Conv, 5:417–21, 1990.
12. Malik, OP., Hope, GS., Hancock, G., Zhaohui, L., Luqing, YE., Shouping, WEI., Frequency Measurement for Use with A Microprocessor-Based Water Turbine Governor, IEEE Trans Energy Conv, 6:361–6, 1991.
13. Vournas, CD., Second Order Hydraulic Turbine Models for Multimachine Stability Studies, IEEE Trans Energy Conv, 5:239–44, 1990.
14. Sanathanan, CK., A Frequency Domain Method for Tuning Hydro Governors, IEEE Trans on Energy Conv, 3:14–7, 1988.
15. Kundur P. Power System Stability and Control, New York: Mc Graw-Hill; 1994.
16. Fangtong, Xu., Yonghua, Li., Qijuan, C., Study of The Modeling of Hydroturbine Generating Set. In: International IEEE/IAS Conference on Industrial Automation and Control: Emerging Technologies, p. 644-647, 22-27 May, 1995.
17. Qijuan, C., Zhihuai, Xiao., Dynamic Modeling of Hydroturbine Generating Set. In: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, p. 3427–3430, 8–11 Oct. 2000.
18. Vournas, CD., Zaharakis, A., Hydro Turbine Transfer Functions with Hydraulic Coupling. IEEE Trans Energy Conv, 8:527–32, 1993.
19. Hannet, L., Fardanesh, B., Feltes, J., Field Tests to Validate Hydro Turbine-Governor Model Structure and Parameters. IEEE Trans Power Syst, 9:1744–51, 1994
20. De Jaeger, E., Janssens, N., Malfliet, B., De Meulebroeke, FV., Hydro Turbine Model for System Dynamic Studies. IEEE Trans on Power Systems, 9:1709–15, 1994.
21. Kishora, N., Sainia, R.P., Singhb, S.P., A Review on Hydropower Plant Models and Control, Science Direct, Renewable and Sustainable Energy Reviews, p. 776-796, 2007.

YENİLENEBİLİR KAYNAKLARDAN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİNDE BİYOKÜTLE VE ATIKLARIN YERİ

Nazif Hülâğu SOHTAOĞLU

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469 İSTANBUL
E-posta: nazif@elk.itu.edu.tr , sohtaoglu@gmail.com

Özet: Küresel toplam yenilenebilir enerji arzının beşte dördüne yakın bölümü biyokütle ve atıklardan meydana gelmekte, yalnızca yıllık katı biyokütle arzının yüzde seksen beşinden fazlası az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde üretilir ve genellikle gündelik kaygularla, temel yaşam gereksinimlerinin karşılanabilmesi amacıyla doğrudan yakılarak tüketilirken, ülkelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeylerindeki artışla birlikte, başta elektrik ve ısı üretimi ile biyoyakıt olmak üzere çevrim sektörlerinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, küresel toplam elektrik enerjisi üretimindeki gelişmeler bölgeler ile kullanılan birincil enerji kaynakları ayrımında sunulmuş, ilgili verilerin ulaşılabilirliği, güvenilirliği ve güncelliği ölçüsünde, biyokütle ve atıklara dayalı elektrik enerjisi üretiminin yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimindeki yeri, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler ekseninde değişik boyutlarıyla birlikte göz önüne alınarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle ve atıklardan elektrik enerjisi üretimi; Toplam elektrik enerjisi üretimi; OECD ülkeleri; Gelişmiş ekonomiler; OECD dışında kalan ülkeler; Gelişmekte olan ekonomiler.

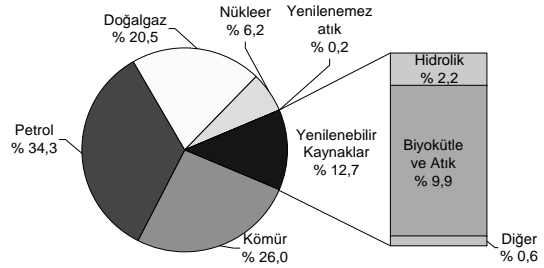
1. Giriş

Tüm yaşam alanlarında sağlanan kapsamlı gelişmeler, birincil enerji kaynaklarının doğrudan kullanımlarında azalışlara, elektrik enerjisi tüketiminde ise önemli artışlara yol açmaktadır. Geçtiğimiz otuz beş yıllık süreç irdelendiğinde, elektrik enerjisi talebinde gözlenen büyüme eğilimlerinin, toplam birincil enerji arzı ile toplam nihai enerji tüketimindeki artışlarla karşılaştırıldığında, çok daha yüksek düzeylerde gerçekleştiği saptanmaktadır. Elektrik tüketimindeki sürekli, kararlı ve güçlü talep artışlarına koşut olarak, elektrik enerjisi üretiminde kullanılan birincil enerji kaynaklarının toplam birincil enerji arzındaki payları, kuvvetli büyüme eğilimleri sergilemektedir [1,2]. Enerji arz güvenliğine ve ekosisteme yönelik kaygılar ile fosil yakıt fiyatlarındaki ani ve aşırı değişimler, özellikle elektrik üretiminde kullanılan birincil enerji kaynaklarının üstlendikleri rollerde giderek daha da belirleyici olmakta, dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmaktadır.

2. Enerji Dengesinde Biyokütle ve Atıklar

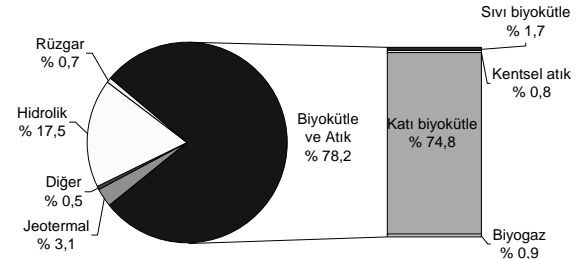
Küresel toplam birincil enerji arzı, 2006 yılında 11.740 Mtoe olmuş, bunun yüzde 12,7'sine karşılık gelen 1.493 Mtoe yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmiştir. Diğer birincil kaynakların küresel toplam birincil enerji arzındaki payları ise, petrol yüzde 34,3, kömür yüzde 26,0, doğalgaz yüzde 20,5 ve nükleer yüzde 6,2 düzeyinde oluşmuştur. Çalışma kapsamında göz önüne alınan ve 1971 ile 2006 yıllarını kapsayan süreç irdelendiğinde [3-10], yenilenebilir kaynakların küresel toplam birincil enerji arzındaki payında kayda değer bir gelişme sağlanamadığı, aksine hafif bir gerilemenin bulunduğu gözlenmektedir. Birincil

kaynakların küresel toplam birincil enerji arzındaki payları, 2006 yılı için Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Kaynakların küresel toplam birincil enerji arzındaki payları.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tümü birlikte dikkate alındığında, küresel toplam birincil enerji arzına en büyük katkıyı sağlayan bileşenin katı biyokütle olduğu saptanmaktadır. Küresel toplam yenilenebilir enerji arzında yer alan bileşenlerin 2006 yılındaki payları, Şekil 2'de verilmiştir. Küresel toplam biyokütle ve atık arzı, 2006 yılında 1.185 Mtoe düzeyinde gerçekleşirken, OECD ülkeleri ile OECD dışındaki ülkelerin katkıları, sırasıyla 210,5 Mtoe ve 974,5 Mtoe olmuştur.



Şekil 2. Kaynakların küresel toplam yenilenebilir enerji arzındaki payları.

3. Elektrik Üretimindeki Gelişmeler

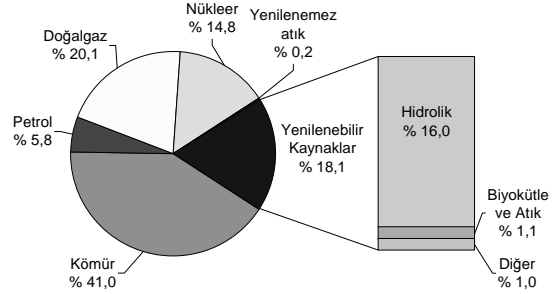
1971 yılında 5.246 TWh olan küresel toplam elektrik üretimi, 2006 yılında 18.930 TWh'e yükselmiştir. 1971 ile 2006 yılları arasında kapsayan süreçte [3-10], küresel toplam elektrik üretimi 3,61 katına çıkarken, ağırlıklı gelişmiş ekonomilerden meydana gelen OECD yapısındaki toplam elektrik üretimi 2,74 kat artarak 3.821 TWh'den 10.460 TWh'e yükselmiş, OECD dışında kalan ekonomilerde ise 5,94 katlık büyüme ile 1.425 TWh'den 8.471 TWh'e ulaşmıştır.

Günümüzde, küresel toplam nüfusun yaklaşık yüzde 18'ini barındıran OECD ülkeleri küresel toplam elektrik üretiminin yüzde 55'ini gerçekleştirmekte, küresel toplam nüfusun yüzde 82'sinin yaşadığı OECD dışında kalan ülkeler ise, geriye kalan yüzde 45'lik bölümü üstlenmektedir. 2006 yılı verilerine göre, Dünyada kişi başına düşen ortalama elektrik tüketimi 2.659 kWh olurken, OECD ülkeleri ile OECD dışındaki ülkeler için ortalama değerler, sırasıyla 8.381 kWh ve 1.401 kWh'dir.

Konuya küresel ölçekte bakılarak elektrik üretiminde kullanılan birincil enerji kaynaklarının ayrıntılarına inildiğinde, bölgeler ile ülkeler ayrımında çok belirgin farklılıklar dikkati çekmektedir. Ülkelerin nüfus düzeyleri ve yapıları, büyüme ve gelişme ile üretim/tüketim dinamikleri, yerel enerji kaynaklarının sağladığı olanaklar veya olanaksızlıklar, coğrafi konumlarının sunduğu fırsatlar veya yarattığı sorunlar, ulusal güvenlik ve tehdit algılamaları, siyasi ilişkilerinin konumlandırılması, küresel enerji piyasalarındaki yapısal, finansal, kurumsal gelişmeler vb. diğer etmenler, elektrik enerjisi üretiminde kullanılan birincil enerji kaynaklarının yükledikleri işlevlerde önemli değişikliklere yol açabilmektedir. Birincil enerji kaynaklarının küresel toplam elektrik üretiminde üstlendikleri roller, yalnızca 1971, 1990 ve 2006 yılları için bölgeler ayrımında özetlenerek, Tablo 1'de sunulmuştur.

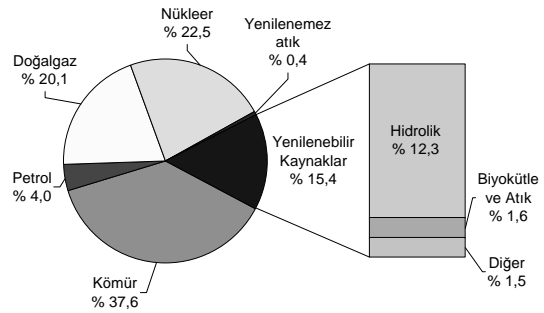
Diğer birincil enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında yenilenebilir kaynakların küresel toplam birincil enerji arzındaki payının daha az olmasına karşın, küresel toplam elektrik enerjisi üretiminde, üçüncü büyük bileşen konumunda bulunmaktadır. 2006 yılı verilerine göre 18.930 TWh olarak gerçekleşen küresel toplam elektrik enerjisi üretiminde, kömürün ve doğalgazın payları, sırasıyla yüzde 41,0 ve yüzde 20,1 olurken, yenilenebilir kaynaklar yüzde 18,1 pay almaktadır. Küresel toplam elektrik üretiminin yüzde 16,0'sını üstlenen hidrolik kaynaklar, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı toplam elektrik üretiminde yüzde 88,5 paya sahiptir. Küresel toplam birincil enerji arzında önemli rol oynayan katı biyokütleyi de kapsayan biyokütle ve atıklar, küresel toplam elektrik üretiminde yüzde 1,1 pay alarak küçük bir rol üstlenebilmektedir. 1990'lı yıllardan itibaren artarak süren güçlü büyüme eğilimlerine karşın, rüzgar,

güneş, jeotermal vb. diğer tüm yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı toplam üretim ise, küresel toplam elektrik enerjisi üretiminde yalnızca yüzde 1,0 paya sahip olabilmektedir. Birincil enerji kaynaklarının küresel toplam elektrik enerjisi üretimindeki payları, 2006 yılı için Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Kaynakların küresel toplam elektrik üretimindeki payları.

Çalışma kapsamında göz önüne alınan ve 1971 ile 2006 yıllarını kapsayan otuz beş yıllık süreçte, yenilenebilir kaynakların küresel toplam birincil enerji arzındaki payında gözlenen hafif azalışın aksine, yenilenebilir kaynakların küresel toplam elektrik enerjisi üretimindeki payı 1990 yılında yüzde 19,5 iken, 2006 yılında yüzde 18,1'e düşerek, dikkat çekici bir gerileme eğilimi sergilemektedir. Temel yenilenebilir enerji kaynağı olan hidrolikteki büyüme düzeylerinin OECD kapsamında yavaşlaması, anılan gerilemenin temel gerekçeleri arasında sayılabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki payında gerçekleşen azalışlar, OECD ekonomileri arasında, özellikle Güney Kore, Meksika ve Türkiye'de çok daha belirgindir. Bu ülkelerde, elektrik talebindeki hızlı büyüme, yenilenebilir kaynaklar yerine, geleneksel fosil yakıtlar kullanılarak karşılanmıştır. Birincil enerji kaynaklarının OECD ülkelerinin toplam elektrik üretimindeki payları, 2006 yılı verilerine göre Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Kaynakların OECD ülkelerinin toplam elektrik üretimindeki payları.

OECD ülkelerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı toplam brüt elektrik enerjisi üretimi (pompa-hazneli hidroelektrik santrallerin üretimleri hariç tutulduğunda), 1990 ile 2006 yılları arasında 1.304 TWh'den 1.615 TWh'e yükselmiştir. Halen, OECD

ülkelerinin toplam elektrik üretiminin yüzde 15,4'ü yenilenebilir kaynaklardan elde edilirken, hidrolik kaynakların toplam üretimdeki payı yüzde 12,3 düzeyindedir. Özellikle 1990 yılından günümüze kadar gelişen süreçte, yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminde sağlanan ortalama yıllık artış hızının, toplam elektrik üretimindeki büyümeye oranla geri kaldığı gözlenmektedir.

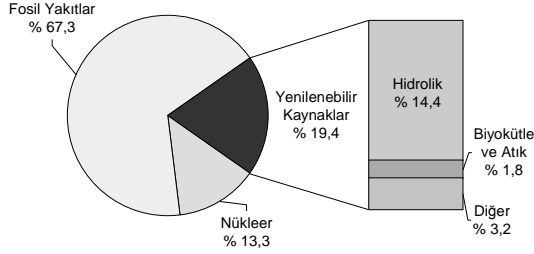
Yenilenebilir enerji kaynaklarının OECD ülkelerinin toplam elektrik üretimindeki payı 1990 yılında yüzde 17,3 iken, 2006 yılında yüzde 15,4'e inmiştir. Önümüzdeki yıllarda, yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik üretiminde sağlanabilecek büyümenin, OECD ülkeleri ile karşılaştırıldığında, OECD dışında kalan ülkelerde daha yüksek düzeylerde oluşması beklenmektedir.

Tablo 1. Bölgelerin toplam elektrik enerjisi üretimindeki gelişmeler ve birincil enerji kaynaklarının üstlendikleri roller.

1971 yılı verileri ile Bölgeler	TEEÜ (GWh)	Kömür (%)	Petrol (%)	Doğalgaz (%)	Nükleer (%)	Hidrolik (%)	Diğer (%)
Afrika	90.426	62,2	11,7	1,1	-	24,8	0,2
Asya (Çin hariç)	135.110	31,1	25,1	3,3	1,0	39,6	0,0
Çin (Hong Kong dahil)	143.974	67,7	11,4	-	-	20,8	0,1
Eski SSCB	800.400	43,4	18,1	19,1	0,8	15,7	2,9
Latin Amerika	135.443	3,7	30,1	10,6	-	54,0	1,6
OECD Dışı Avrupa	92.221	43,6	7,5	23,9	-	24,9	0,1
Ortadoğu	27.369	-	71,5	14,7	-	13,8	0,0
OECD Dışı Ülkeler Toplamı	1.424.943	41,3	19,2	14,0	0,5	23,3	1,7
OECD Avrupa	1.402.515	44,5	22,7	5,5	3,6	23,1	0,6
OECD Kuzey Amerika	1.956.252	41,1	12,9	21,1	2,3	22,5	0,1
OECD Pasifik	461.963	18,3	54,2	1,6	1,7	23,9	0,3
OECD Ülkeleri Toplamı	3.820.730	39,6	21,5	13,0	2,7	22,9	0,3
Küresel Toplam	5.245.673	40,1	20,9	13,3	2,1	23,0	0,6
1990 yılı verileri ile Bölgeler	TEEÜ (GWh)	Kömür (%)	Petrol (%)	Doğalgaz (%)	Nükleer (%)	Hidrolik (%)	Diğer (%)
Afrika	315.983	52,1	13,7	13,6	2,7	17,8	0,1
Asya (Çin hariç)	620.645	41,9	17,8	9,0	6,3	23,9	1,1
Çin (Hong Kong dahil)	650.142	72,5	7,6	0,4	-	19,5	0,0
Eski SSCB	1.728.448	20,8	14,4	39,2	12,2	13,5	0,0
Latin Amerika	491.984	3,1	10,4	9,1	1,9	74,0	1,5
OECD Dışı Avrupa	195.313	45,4	11,5	14,8	9,9	18,4	0,0
Ortadoğu	239.978	4,4	47,3	43,3	-	5,0	0,0
OECD Dışı Ülkeler Toplamı	4.242.493	32,3	15,0	22,5	6,8	23,0	0,4
OECD Avrupa	2.632.026	38,4	7,7	6,3	29,7	16,8	1,1
OECD Kuzey Amerika	3.808.885	47,0	5,7	10,7	18,0	15,6	3,0
OECD Pasifik	1.127.502	22,5	24,0	17,6	22,6	11,8	1,5
OECD Ülkeleri Toplamı	7.568.413	40,4	9,1	10,2	22,8	15,5	2,0
Küresel Toplam	11.810.906	37,5	11,3	14,6	17,0	18,2	1,4
2006 yılı verileri ile Bölgeler	TEEÜ (GWh)	Kömür (%)	Petrol (%)	Doğalgaz (%)	Nükleer (%)	Hidrolik (%)	Diğer (%)
Afrika	587.704	43,6	10,2	27,4	2,0	16,3	0,5
Asya (Çin hariç)	1.679.543	46,4	9,7	24,0	3,6	14,3	2,0
Çin (Hong Kong dahil)	2.902.821	80,2	1,8	0,9	1,9	15,0	0,2
Eski SSCB	1.454.884	21,0	3,1	41,1	17,7	16,8	0,3
Latin Amerika	959.975	3,1	11,1	12,9	2,2	68,1	2,6
OECD Dışı Avrupa	204.645	43,8	5,8	8,1	15,0	27,2	0,1
Ortadoğu	681.065	5,3	35,5	55,7	-	3,5	0,0
OECD Dışı Ülkeler Toplamı	8.470.637	45,1	8,0	20,2	5,2	20,7	0,8
OECD Avrupa	3.535.721	28,5	3,6	21,1	27,7	13,6	5,5
OECD Kuzey Amerika	5.136.414	44,1	2,8	19,2	18,0	13,2	2,7
OECD Pasifik	1.787.668	36,7	8,2	20,6	25,3	7,2	2,0
OECD Ülkeleri Toplamı	10.459.803	37,6	4,0	20,1	22,5	12,3	3,5
Küresel Toplam	18.930.440	41,0	5,8	20,1	14,8	16,0	2,3

Kaynak: [3-10] verileri temel alınarak hazırlanmıştır.

OECD ülkelerinin toplam elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı, Şekil 5'te gösterilmiştir. 2006 yılı itibarıyla OECD ülkelerinin toplam elektrik kurulu gücünde, kömür, petrol ve doğalgazı kapsayan fosil yakıtlar yüzde 67,3, nükleer enerji yüzde 13,3 pay alırken, yenilenebilir kaynaklara dayalı toplam net kurulu elektrik üretim kapasitesinin payı yüzde 19,4 düzeyinde bulunmaktadır.



Şekil 5. OECD ülkelerinin toplam elektrik kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı.

OECD ülkelerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına ve atıklara dayalı toplam net elektrik kurulu gücü Tablo 2'de, anılan bileşenlere dayalı toplam elektrik üretiminde kaydedilen gelişmeler ise Tablo 3'te sunulmuştur. Elektrik kurulu güç değerleri, yalnızca elektrik üretmek amacıyla tesis edilenlerin yanı sıra birleşik ısı-güç santrallerini de kapsamaktadır. OECD ülkelerinin yenilenebilir enerji kaynakları ile atıklara dayalı toplam net elektrik üretim kapasitesi, 2006 yılında 549,24 GW olup, bunun yüzde 79,2'sine karşılık gelen en büyük pay 434,97 GW ile hidrolik enerjiye aittir. Hidrolik kaynakları, sırasıyla 63,75 GW ile rüzgar, 22,49 GW ile katı biyokütle ve 9,72 GW ile kentsel atıklar izlemektedir. Biyokütle ve atıklara dayalı toplam kurulu güç ise 38,65 GW olup, toplam kapasitenin yüzde 7,0'sine karşılık gelmektedir. 2006 yılında OECD ülkelerinin toplam elektrik enerjisi üretimi 10.460 TWh, biyokütle ve atıklara dayalı elektrik üretimi 205 TWh, rüzgara dayalı elektrik üretimi ise 116 TWh düzeylerinde gerçekleşmiştir.

Tablo 2. OECD ülkelerinin yenilenebilir kaynaklar ile atıklara dayalı toplam net elektrik kurulu gücü (MW).

<i>Yenilenebilir Kaynaklar ile Atıklara Dayalı Toplam Net Kurulu Güç (MW)</i>	1990	1995	2000	2004	2005	2006
Toplam Net Kurulu Güç (MW)	397.420	436.369	465.812	508.789	526.497	549.239
Hidrolik Toplam	372.936	407.386	420.277	427.116	430.628	434.968
<i>Pompalı-hızneli hidrolik</i>	..	82.263	84.933	87.118	88.334	90.376
Jeotermal	4.463	5.049	5.393	4.990	5.147	5.354
Güneş elektrik	..	..	724	2.537	3.808	5.873
Güneş ısı	339	333	420	389	389	390
Gelgit, Dalga, Okyanus	260	260	261	261	261	261
Rüzgar	2.383	4.207	15.398	42.644	52.377	63.747
Katı biyokütle	..	..	13.046	17.637	19.552	22.493
Sıvı biyokütle	-	-	-	215	823	897
Biyogaz (Biyokütle kaynaklı gaz)	..	..	2.267	3.488	4.282	4.884
Kentsel atık	..	..	6.306	7.578	8.525	9.716
Endüstriyel atık	..	..	1.720	1.934	705	656
Biyokütle ve Atık Toplamı	..	..	23.339	30.852	33.887	38.646

Kaynak: [3-10] verileri temel alınarak hazırlanmıştır.

Tablo 3. OECD ülkelerinin yenilenebilir kaynaklar ile atıklara dayalı toplam elektrik enerjisi üretimi (GWh).

<i>Yenilenebilir Kaynaklar ile Atıklara Dayalı Toplam Elektrik Üretimi (GWh)</i>	1990	1995	2000	2004	2005	2006
Toplam Elektrik Üretimi (GWh)	1.369.204	1.514.551	1.596.153	1.638.447	1.670.314	1.724.270
Hidrolik Toplam	1.212.962	1.361.583	1.386.874	1.342.799	1.344.504	1.361.517
<i>Pompalı-hızneli hidrolik</i>	43.093	58.667	68.533	73.071	75.323	75.191
Jeotermal	28.699	29.809	32.975	35.291	37.640	38.085
Güneş elektrik	19	60	164	789	1.541	2.626
Güneş ısı	663	824	526	587	596	550
Gelgit, Dalga, Okyanus	597	601	605	549	565	550
Rüzgar	3.845	7.349	28.551	76.864	93.657	116.182
Katı biyokütle	93.155	72.756	82.829	100.984	109.125	115.929
Sıvı biyokütle	-	-	-	855	2.987	3.675
Biyogaz (Biyokütle kaynaklı gaz)	3.588	6.153	13.024	19.877	21.752	24.544
Kentsel atık	9.068	13.178	18.898	23.128	25.613	26.876
Endüstriyel atık	7.665	9.399	13.736	15.758	9.573	9.679
Kentsel atık (Yenilenemez)	8.943	12.839	17.971	20.966	22.761	24.057
Biyokütle ve Atık Toplamı	122.419	114.325	146.458	181.568	191.811	204.760

Kaynak: [3-10] verileri temel alınarak hazırlanmıştır.

Tablo 4. OECD ülkelerinde biyokütle ve atıklardan elektrik enerjisi üretiminin gelişimi.

Ülkeler / Bölgeler	Biyokütle ve Atıklardan Elektrik Enerjisi Üretimi (GWh)								Kişi başına TEET (kWh)
	1971	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2006	2006
Almanya	2.768	3.110	5.437	4.546	5.186	7.696	10.121	21.335	7.175
Avusturya	233	218	324	964	1.180	1.907	1.730	3.423	8.092
Belçika	0	83	300	314	723	1.042	1.336	3.105	8.691
Çek Cum.	0	0	0	0	0	421	723	927	6.509
Danimarka	0	0	0	36	210	910	1.855	3.923	6.860
Finlandiya	0	0	0	0	5.156	6.608	8.881	10.907	17.165
Fransa	214	185	223	255	1.632	2.193	3.735	4.996	7.584
Hollanda	0	803	1.024	441	1.054	1.596	3.243	6.638	7.058
İngiltere	0	0	0	0	678	2.054	4.455	11.910	6.193
İrlanda	0	0	0	0	0	0	95	128	6.504
İspanya	52	113	362	611	672	1.324	2.100	3.049	6.213
İsveç	160	310	779	1.840	2.005	2.424	4.342	9.355	15.232
İsviçre	0	0	173	365	800	1.092	1.746	2.330	8.276
İtalya	1.545	1.503	1.288	531	103	389	1.908	6.744	5.762
İzlanda	0	0	0	0	0	0	0	2	31.733
Lüksemburg	0	0	30	35	34	53	56	90	16.511
Macaristan	0	0	0	59	34	103	120	1.396	3.883
Norveç	0	0	0	9	242	313	286	451	24.300
Polonya	169	334	409	536	258	364	552	2.392	3.586
Portekiz	143	236	319	544	689	988	1.553	2.011	4.802
Slovakya	0	0	0	0	0	0	32	423	5.137
Türkiye	162	220	136	0	0	222	220	153	2.053
Yunanistan	0	0	0	0	0	104	163	139	5.371
OECD Avrupa	5.446	7.115	10.804	11.086	20.656	31.803	49.252	95.827	6.206
Amerika B.D.	258	202	457	1.480	86.362	62.917	71.713	71.945	13.515
Kanada	0	0	1.300	1.658	3.871	5.527	8.092	9.063	16.768
Meksika	0	0	0	0	0	0	442	2.451	1.993
OECD Kuzey Amerika	258	202	1.757	3.138	90.233	68.444	80.247	83.459	10.997
Avustralya	263	489	385	456	600	693	1.064	2.037	11.310
Güney Kore	0	0	0	0	0	250	93	347	8.063
Japonya	0	0	0	11.758	10.520	12.588	15.213	22.404	8.220
Yeni Zelanda	0	305	312	390	410	547	589	686	9.751
OECD Pasifik	263	794	697	12.604	11.530	14.078	16.959	25.474	8.532
OECD Ülkeleri Toplamı	5.967	8.111	13.258	26.828	122.419	114.325	146.458	204.760	8.381
Küresel Toplam	31.073	35.890	44.689	55.865	129.285	127.939	166.893	239.381	2.659

Kaynak: [3-10] verileri temel alınarak hazırlanmıştır.

OECD ülkelerinin biyokütle ve atıklara dayalı toplam elektrik üretimindeki gelişmeler, ilgili tüm ülkelerin kapsanmasına karşın yalnızca belirli yıllar için özetlenerek, Tablo 4'te verilmiştir. Hidroelektrik hariç diğer yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimi irdelendiğinde, katı biyokütleden elektrik üretiminin 1990 ile 2006 yılları arasında ortalama yıllık yüzde 1,4 büyüme ile 93,1 TWh'den 115,9 TWh'e ulaştığı görülmektedir. 2006 yılında yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik üretiminde, hidrolikten sonra gelen ikinci büyük kaynak olan katı biyokütle yüzde 7,2 pay almıştır. Katı biyokütleden elektrik üretiminde Amerika B. D. 41,8 TWh ile ilk sırada bulunmakta, anılan üretim OECD toplamının yüzde 36,1'ine, ülkenin yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik üretiminin ise yüzde 10,6'sına karşılık gelmektedir. Yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin yüzde 13,9'unu katı biyokütleden sağlayan Japonya, 15,1 TWh ile ikinci büyük durumundadır. Amerika B.D.

ile Japonya'yı, Finlandiya, Kanada ve İsveç, sırasıyla 10,5 TWh, 8,3 TWh ve 7,5 TWh'lik üretimler ile izlemektedir. 2006 yılında yenilenebilir kentsel atık, OECD ülkelerinin yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminde yüzde 1,7 pay üstlenmiştir. OECD ülkelerinin yenilenebilir kentsel atıklara dayalı elektrik üretimi toplam 26,9 TWh olurken, 9,7 TWh ile Amerika B. D. yüzde 36,1 paya sahiptir. Diğer büyük üreticiler ise, 3,6 TWh ile Almanya ve 3,4 TWh ile Japonya'dır. İtalya ve Danimarka, giderek hızlanan büyüme eğilimleri ile dikkati çekmektedir. 1990 yılında 3,6 TWh olan biyogaza dayalı elektrik üretimi 2006 yılında 24,5 TWh'e yükselmiştir. Anılan üretimde OECD Avrupa ülkeleri yüzde 63,1 pay üstlenirken, Almanya 6,2 TWh ve İngiltere 4,9 TWh ile öne çıkmaktadır. Sıvı biyokütleden elektrik üretimi 2006 yılında 3,7 TWh olurken, Hollanda 1,7 TWh ve Almanya 1,3 TWh üretim ile büyük üretici konumunda bulunmaktadır.

OECD dışında kalan ve gelişmekte olan ülkelerdeki birincil biyokütle ve atık arzının tamamına yakını, gündelik kaygılarla ve temel yaşam gereksinimlerinin karşılanabilmesi amacıyla, geleneksel yöntemler ile doğrudan yakılarak tüketilmekte, küresel toplam biyokütle ve atık arzının ancak yüzde onu elektrik ve ısı üretimi veya yakıt girdisi olarak sınai üretim süreçlerinde değerlendirilebilmektedir.

Biyokütle ve atıklara dayalı elektrik üretimi 2006 yılında, küresel ölçekte toplam 239,4 TWh olarak gerçekleşirken, OECD dışında kalan ülkelerin toplam üretimi ancak 34,6 TWh düzeyine ulaşabilmektedir. OECD dışındaki ekonomilerin biyokütle ve atıklardan toplam elektrik enerjisi üretiminin gelişimi, ilgili tüm ülkelerin kapsamına karşın yalnızca belirli yıllar için özetlenerek, Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. OECD dışındaki ülkelere biyokütle ve atıklardan elektrik enerjisi üretiminin gelişimi.

Ülkeler / Bölgeler	Biyokütle ve Atıklardan Elektrik Enerjisi Üretimi (GWh)								Kişi başına TEET (kWh)
	1971	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2006	2006
Gabon	0	0	0	0	3	9	7	7	1.083
Güney Afrika	0	0	0	0	0	0	307	259	4.810
Kenya	101	116	140	169	201	220	220	321	145
Senegal	38	39	40	42	44	46	51	50	150
Togo	0	0	0	0	0	0	0	3	98
Afrika	139	155	180	211	248	275	585	640	557
Hindistan	0	0	0	0	0	0	1.347	1.930	503
Tayland	0	0	0	0	0	256	1.541	3.140	2.080
Tayvan	0	0	0	0	0	0	0	2.938	9.984
Asya (Çin hariç)	0	0	0	0	0	256	2.888	8.008	667
Çin Halk Cum.	0	0	0	0	0	2.897	2.421	2.514	2.040
Çin (Hong Kong dahil)	0	0	0	0	0	2.897	2.421	2.514	2.060
Belarus	..	..	..	..	0	0	0	93	3.322
Estonya	..	..	..	..	0	6	13	40	5.890
Letonya	..	..	..	..	0	0	0	42	2.876
Litvanya	..	..	..	..	0	0	0	24	3.232
Rusya	..	..	..	..	37	1.579	2.538	2.740	6.122
Eski SSCB	..	..	..	..	37	1.585	2.551	2.939	4.481
Arjantin	57	62	96	116	107	117	675	1.387	2.620
Bolivya	7	18	24	21	37	69	67	171	485
Brezilya	707	949	2.023	3.295	3.753	5.513	7.659	14.808	2.060
Dominik	0	81	78	52	26	41	38	29	1.309
El Salvador	16	25	6	25	22	6	21	19	721
Guatemala	36	42	75	80	348	544	847	1.004	529
Haiti	12	12	12	15	17	0	0	0	37
Honduras	0	0	0	0	0	0	1	42	642
Jamaika	103	201	282	50	98	123	102	106	2.450
Kolombiya	0	214	244	285	296	519	550	584	923
Kosta Rika	10	8	10	10	0	17	17	74	1.801
Küba	779	721	923	1.094	1.160	552	738	455	1.231
Nikaragua	51	67	58	46	53	47	78	141	426
Panama	2	10	22	52	56	15	24	79	1.506
Paraguay	40	36	43	37	20	33	0	0	900
Peru	227	266	85	169	136	148	158	175	899
Şili	66	51	105	195	273	695	784	1.131	3.207
Trinidad ve Tobago	35	23	26	17	31	33	20	27	5.008
Uruguay	11	11	11	46	52	36	30	47	2.042
Diğer Latin Amerika Ülkeleri	108	127	128	121	87	90	96	102	3.173
Latin Amerika	2.267	2.924	4.251	5.726	6.572	8.598	11.905	20.381	1.777
Bulgaristan	0	0	0	0	0	0	15	7	4.315
Hırvatistan	..	..	..	..	9	0	0	11	3.635
Romanya	0	0	0	0	0	3	0	4	2.401
Slovenya	..	..	..	..	0	0	70	117	7.123
OECD Dışı Avrupa	0	0	0	0	9	3	85	139	3.199
OECD Dışı Ülkeler Toplamı	25.106	27.779	31.431	29.037	6.866	13.614	20.435	34.621	1.401
Küresel Toplam	31.073	35.890	44.689	55.865	129.285	127.939	166.893	239.381	2.659

Kaynak: [3-10] verileri temel alınarak hazırlanmıştır.



4. Sonuçlar

Küresel toplam yenilenebilir enerji arzının beşte dördüne yakın bölümü biyokütle ve atıklardan oluşmakta, yalnızca yıllık katı biyokütle arzının yüzde seksen beşinden fazlası az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde üretilir ve genellikle gündelik kaygılarla, temel yaşam gereksinimlerinin karşılanabilmesi amacıyla doğrudan yakılarak tüketilirken, ülkelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik düzeylerindeki artışa koşut olarak, başta elektrik ve ısı enerjisi ile biyoyakıt üretiminde kullanılmaktadır.

Gelecek yirmi yıllık süreçte, yenilenebilir kaynakların küresel toplam elektrik üretimindeki payının büyümesi beklenmektedir. Bu bağlamda, biyokütle ve atıklardan elektrik üretiminde çevrim etkinliğinin artmasına, yatırım ve işletme maliyetlerindeki gerilemeye paralel olarak, yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik üretimindeki rolünün güçlenmesi öngörülmektedir. OECD ülkeleri başta olmak üzere, OECD dışındaki ülkelerin önemli bir bölümünde, biyokütle ve atıkların özellikle elektrik enerjisi üretimindeki rolünün artırılmasına yönelik çeşitli destek politikaları uygulanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] International Energy Agency (IEA), “*World Energy Outlook, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [2] International Energy Agency (IEA), “*Key World Energy Statistics 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [3] International Energy Agency (IEA), “*Energy Balances of OECD Countries, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [4] International Energy Agency (IEA), “*Energy Balances of Non-OECD Countries, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [5] International Energy Agency (IEA), “*Energy Statistics of OECD Countries, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [6] International Energy Agency (IEA), “*Energy Statistics of Non-OECD Countries, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [7] International Energy Agency (IEA), “*Energy Balances of OECD Countries, 2007 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2007.
- [8] International Energy Agency (IEA), “*Energy Balances of Non-OECD Countries, 2007 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2007.
- [9] International Energy Agency (IEA), “*Energy Statistics of OECD Countries, 2007 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2007.
- [10] International Energy Agency (IEA), “*Energy Statistics of Non-OECD Countries, 2007 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2007.

DİZEL MOTORLARDA BİYODİZEL KULLANIMININ PERFORMANS VE EGZOS EMİSYONLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Neşe BUDAK¹, Hasan BAYINDIR², H.Lütfi YÜCEL³

² Dicle Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

^{1,3} Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Elazığ

nesebudak@gmail.com, hbayindir21@gmail.com, hlyucel@firat.edu.tr

ÖZET

Enerji kaynaklarının tükenmesi, yol açtıkları çevresel sorunlar ve enerji fiyatlarındaki artış, ülkelerin alternatif enerji kaynaklarına yönelmesine sebep olmaktadır. Bu alternatif enerji kaynakları içerisinde en büyük teknik potansiyele sahip olanlardan bir tanesi de biyokütledir. Bu çalışmada, sıvı biyokütle içerisinde yer alan biyodizelin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanımı, yakıt özellikleri, Dünya'daki ve ülkemizdeki durumu incelendi. Çeşitli araştırmacılar tarafından daha önce yapılan deneysel çalışmalarda elde ettikleri motor performansı ve egzoz emisyonları açısından biyodizel kullanımı değerlendirildi. Buna göre biyodizelin mevcut motor konstrüksiyonu fazla değiştirilmeksizin performans açısından dizel yakıtına yakın değerler verdiği ve emisyonlar açısından da dizel yakıtından daha çevre dostu olduğu belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, dizel motorlar, motor performansı, egzoz emisyonları

1. GİRİŞ

Enerji, insan yaşamının ihtiyaçlarının karşılanmasında en önemli unsurlardan biri olup ülkelerin de ekonomik ve sosyal olarak büyümesini sağlayan en temel öğelerin başında gelir. Nüfus artışıyla beraber hızla artan enerji ihtiyacımızın büyük kısmını karşıladığımız fosil yakıtların sonlu bir rezerv sahip olması, kullanımı sırasında hava ve çevre kirliliği sorununu da beraberinde getirmesi nedeniyle insanları yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları üretme konusunda arayışlara yöneltmiştir.

Günümüzde motorlu taşıt endüstrisinin temel enerji kaynağı petrol ürünleridir. Dünya petrol kaynaklarının

belirli bölgelerde toplanmış olması, zaman zaman pet-

rol krizlerinin yaşanmasına ve buna paralel olarak da fiyatlarının istikrarsızlaşmasına neden olmuştur. Bu olumsuzluklar alternatif yakıtlara yönelmeyi hızlandırmıştır. Bu anlamda yenilenebilir enerjiler içerisinde en büyük teknik potansiyele sahip biyokütle öne çıkmaktadır. Odun, yağlı tohum bitkileri (kolza, ayçiçek, soya v.b.), karbonhidrat bitkileri (patates, buğday, mısır, pancar, enginar, v.b.), elyaf bitkileri (keten, kenaf, kenevir, v.b.), protein bitkileri (bezelye, fasulye, buğday v.b.), bitkisel artıklar (dal, sap, saman, kök, kabuk, v.b.), hayvansal atıklar ile şehirselleşen ve endüstriyel atıklar biyokütle enerji teknolojileri kapsamında değerlendirilmekte ve mevcut yakıtlara alternatif çok sayıda katı, sıvı ve gaz yakıtlarına ulaşılmaktadır.

Sıvı biyokütle içerisinde yer alan en önemli alternatif dizel motoru yakıtı biyodizeldir.

Biyodizel; yağ bitkisi olarak adlandırılan ayçiçeği, kanola(kolza), pamuk, keten tohumu, yerfıstığı, soya gibi bitkilerin tohumlarından veya atık yemeklik yağlardan ve hayvansal yağlardan elde edilen yağların bir katalizör (asidik, bazik katalizörler ile enzimler) eşliğinde alkol (metanol, etanol vb.) ile transesterifikasyon adı verilen kimyasal reaksiyonu sonucunda elde edilen ve dizel motorlarında kullanılabilen bir yakıttır.

Literatüre göre bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanılması dizel motoru mucidi Rudolf Diesel'in 1898' de Paris fuarında sergilediği ve yer fıstığı ile çalışmak üzere tasarladığı motora kadar dayanmaktadır. Bu fuarda, dizel motor herhangi bir zorlukla karşılaşmadan belirtilen yağla çalıştırılmış ve yapılan testlerde özgül yakıt tüketimi 240 gr/BGh ve yağın ısı değeri 8600 kalori/kg olarak ölçülmüştür (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Petrol endüstrisinin gelişmesiyle birlikte ve petrol ürünlerinden elde edilen yakıtın maliyetinin daha az olması, bitkisel yağlara olan ilgiyi azaltmıştır. Bu dönemde 2 numaralı dizel yakıtı ön plana çıkmış ve dizel motorlarında bu yakıtı göre değişiklik yapılmıştır. Bitkisel yağlar 1920'lerin sonuna kadar kullanılmıştır. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizlerinin sonucunda alternatif yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar artmıştır. Bitkisel yağlarla yapılan birçok çalışma, bitkisel yağların kısa süreli ve acil durumlarda kullanılabileceğini göstermiştir. Çünkü bitkisel yağlar uzun kullanım süresinde enjektörlerde birikintiler, piston ve segmanların



yapışması, motor yağında seyrelme gibi birçok motor problemlerine sebep olmuştur. Bu yüzden bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur (www.enerjikaynaklari.net).

2.BİYODİZELİN KULLANIM GEREKÇELERİ

Biyodizel verim olarak motorine yakın ve motor performansı olarak da hemen hemen eşdeğerdir. Diğer yakıt türlerine göre üstünlükleri;

- Çevre dostu,
- Yenilenebilir hammaddelerden elde edilebilen,
- Atık bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilebilen,
- Anti-toksik etkili,
- Biyolojik olarak hızlı ve kolay bozunabilen,
- Kanserojenik madde ve kükürt içermeyen,
- Yüksek alevlenme noktası ile kolay depolanabilir, taşınabilir ve kullanılabilir,
- Yağlayıcılık özelliği mükemmel,
- Motor ömrünü uzatan,
- Motor karakteristik değerlerinde iyileşme sağlayan,
- Kara ve deniz taşımacılığında kullanılabilen,
- Isıtma sistemleri ve jeneratörlerde kullanıma uygun,
- Stratejik özelliklere sahip,
- Mevcut dizel motorlarında hiçbir tasarım değişikliği gerektirmeden kullanılabilen,
- Ticari başarıyı yakalamış bir yeşil yakıttır (Karaosmanoğlu, 2008).

Bu üstünlüklere rağmen biyodizelin sakıncalı yönleri de vardır. Bunlar;

- Isıl değeri dizel yakıtına göre daha düşüktür. Bu durum motordaki yanma sonucunda bir miktar güç düşüşüne yol açar,
- Soğuk hava şartlarından dizel yakıtına göre daha çabuk etkilenir. Bu durum biyodizelin soğuk iklim bölgelerinde kullanımını sınırlandırır. Bunu aşabilmek için B20 yakıtı kullanımı tercih edilmektedir,
- Azot oksit emisyonu dizel yakıtına göre biraz daha yüksektir. Ancak bu sorun yanma sıcaklığını azaltarak aşılabılır,
- Yağlama yağının seyrelmesine neden olmaktadır (Altınsoy, 2007).

Dizel yakıtı ve biyodizellerin yakıt özellikleri Tablo 1. de gösterilmiştir.

Tablo 1. Biyodizel ve Dizel Yakıtı(D2) Özellikleri (Lapuerta vd., 2008)

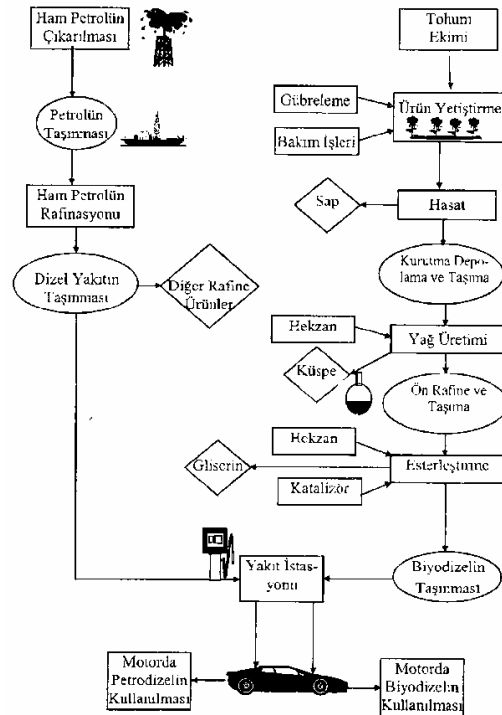
Özellikler	Biyodizel	D2
Yoğunluk (15°C) (kg/m ³)	870-895	810-860
Viskozite (40°C) (cSt)	3.5 - 5.5	2 - 3.5
Setan Sayısı	45 - 65	40 - 55
Filtrede Tıkanma Noktası (°C)	-5.....10	-25.....0
Bulutlanma Noktası (°C)	-5.....12	-20.....0

Akma Noktası (°C)	-15...10	-35...0
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	36.5 - 38	42.5 - 44

3.DÜNYADAKİ VE ÜLKEMİZDEKİ DURUMU

Geleceğin yakıtı olarak tanımlanan biyodizelin üretim maliyeti yüksektir. Yağlı bitki tohumundan üretim yapan tesislerde biyodizel maliyetindeki en büyük pay tohumuna aittir. Atık yağı hammadde olarak kullanan işletmelerde üretim maliyeti göreceli olarak daha azdır.

Üretim maliyetini düşüren unsurlar üretim sırasında elde edilen yan ürünlerin (gliserin vb.) değerlendirilmesidir. Gliserin biyodizel üretim maliyetini belirleyen ve tesisin mali faydasını direkt etkileyen bir yan üründür. Gliserinin saflaştırılarak pazarlanması işletmenin karını artırır. Ayrıca saflaştırma sırasında elde edilen gübrenin de ekonomik değeri vardır. Sabun ve kozmetik sanayisinde değerlendirilebildiği gibi saflaştırılarak ilaç sektöründe de kullanılabilir.



Şekil 1. Petrodizel ve Biyodizelin Yaşam Döngüsü Analizi (Öğüt ve Oğuz, 2006)

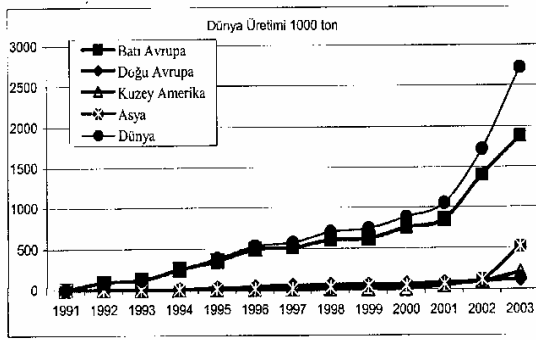
Biyodizel saf ve biyodizel- dizel yakıtı karışımları şeklinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

B5 : % 5 Biyodizel+ %95 Dizel Yakıtı

B20 : % 20 Biyodizel+ %80 Dizel Yakıtı
 B50 : % 50 Biyodizel+ %50 Dizel Yakıtı
 B100 : %100 Biyodizel

3.1. Dünyadaki Durumu

İlk biyodizel üretimi 1988 yılında, 500 ton/yıl kapasite ile bir çiftçi kooperatifince, ilk endüstriyel ölçekteki biyodizel üretimi de, 10000 ton/yıl kapasite ile Avusturya'da gerçekleştirilmiş ve biyodizel üretimi hızla artmıştır. 2005 yılı dünya biyodizel üretimi 3.8 Milyon ton/yıl değerine (AB:2.9 Milyon ton/yıl) ulaşmıştır. Lider üretici Almanya olup, Brezilya ve ABD üretimde atağa geçmiştir (Karaosmanoğlu, 2008).



Şekil 2. Dünya Biyodizel Üretimi (Öğüt ve Oğuz, 2006)

Tablo 2. Dünya Ülkelerinde 2005 Yılındaki Biyodizel Üretim Miktarları (www.eie.gov.tr).

ÜLKE	ÜRETİM (Milyon Litre)
ALMANYA	1921
FRANSA	557
A.B.D.	284
İTALYA	227
ÇEK CUMHURİYETİ	136
AVUSTURYA	85
İSPANYA	84
DANİMARKA	80
POLONYA	80
İNGİLTERE	74
BREZİLYA	70
AVUSTRALYA	57
İSVEÇ	7
DİĞER ÜLKELER	102
DÜNYA	3762

Dünya ülkelerinde biyoyakıt mevzuatı aşağıda verilmiştir :

Arjantin: Biyoyakıt yasası kongrede

görülmektedir. Bu yasaya göre %5 biyodizel ve etanol kullanımı zorunlu olacaktır. Mali teşvik uygulamasında ise; 15 yıl boyunca biyodizel için tüketim, satış ve gelir vergisi muafiyeti uygulanacaktır.

Avustralya: Avustralya'nın "Biyoyakıt Aksiyon Planı"na göre; 2010 yılında biyoyakıt üretiminin 350 milyon litre olması hedeflenmiştir. Mali teşvik uygulaması mevcuttur.

Brezilya: İsteğe bağlı olan % 2 biyodizel kullanımı 2008 yılında zorunlu olmuştur. Bu oran 2013 yılında %5 (B5) olarak düzenlenecektir. Mali teşvik uygulaması mevcuttur.

Kanada: Kanada "Yenilenebilir Yakıtlar Standardı"nda 2010 yılında biyoyakıt kullanımının %5 olmasını hedeflemiştir. Mali teşvik uygulaması mevcuttur. Bazı eyaletler ÖTV muafiyetini öngörmektedir.

Avrupa: Avrupa'da Biyoyakıt Direktifleri doğrultusunda, benzin ve dizel kullanımının 2005 yılında %2'sinin, 2010 yılında %5.75'inin biyoyakıtlardan karşılanması hedeflenmektedir. Mali teşvik uygulamaları mevcuttur. AB üyesi ülkelerde ÖTV muafiyeti veya azaltılması öngörülmektedir.

Endonezya: Toplam yakıt tüketiminin 2010 yılında %2'sinin, 2025 yılında %5'inin biyoyakıtlardan karşılanması gerçekleştirilecektir. Mali teşvik uygulaması mevcut değildir.

Malezya: Malezya, "Ulusal Biyoyakıt Programı" çerçevesinde % 5 biyodizel kullanımını gerçekleştirmek için çalışmaktadır. Mali teşvik uygulaması mevcut değildir.

Yeni Zelanda: 2012 yılında 65 milyon litre biyoyakıt üretimi hedeflenmiştir. Mali teşvik uygulaması mevcut değildir.

Avusturya: Gümrük vergi muafiyeti kısmen uygulanmaktadır. Toplam yakıt kullanımı içerisinde; 1 Ocak 2005'den itibaren %2.5, 1 Ocak 2007'den itibaren %4.3, 1 Ocak 2008'den itibaren %5.75 oranında biyoyakıt kullanımı mecburidir. Direktifle %5.75 oranında biyoyakıt kullanımının 2010 yılına kadar uygulanması hedeflenmiştir.

Fransa: Gümrük vergi muafiyeti kısmen uygulanmaktadır. Genel olarak çevreyi kirletme oranına göre yakıtlar vergilendirilmektedir. Dağıtıcılara, tüm benzin ve dizel kullanımı içinde; 2005 yılında %1.2, 2006 yılında %1.75, 2007 yılında %3.5, 2008 yılında %5.57, 2009 yılında %6.25, 2010 yılında da % 7 oranında biyoyakıt karıştırma zorunluluğu getirilmiştir.

Almanya: Gümrük vergi muafiyeti uygulanmaktadır. Biyoyakıtlar kullanımı zorunluluğu 2007'den itibaren yürürlüğe girmiş olup, % karışım oranları henüz kesinleşmemiştir.

İtalya: Gümrük vergi muafiyeti kısmen uygulanmaktadır. Kullanım zorunluluğu teklifi senatodan geçmiştir. Buna göre; 1 Ocak 2006 yılından itibaren, taşımacılıkta kullanılan yakıtlarda %1 oranında biyoyakıt kullanımı mecburidir. Bu



mecburi kullanım oranı, her yıl %1 oranında artırılarak 2010 yılına kadar uygulanacaktır.

Hollanda: Gümrük vergi muafiyeti kısmen uygulanmaktadır. 1 Ocak 2007'den itibaren %2 oranında biyoyakıt karışımı mecburi, 2010 yılında, AB direktifinde yer alan %5.75 oranındaki biyoyakıt kullanım oranına ulaşılması hedeflenmiştir.

İspanya: Gümrük vergi muafiyeti uygulanmaktadır. Biyoyakıt kullanım zorunluluğu yoktur. 2010 yılında taşımacılıkta kullanılan toplam yakıtın %5.85'inin biyodizel ve biyoetanolden karşılanması hedeflenmiştir. Bunu takip eden beş yıl içerisinde de biyodizel ve biyoetanol üreticilerine 2.85 milyar € vergi indirimi yapılarak destek sağlanması hedeflenmiştir.

İsveç: Gümrük vergi muafiyeti uygulanmaktadır. 1 Ocak 2009 yılında biyoyakıt kullanımı zorunlu hale gelmiştir. 2009 yılında "yeşil sertifika" uygulamasına geçilmesi üzerinde çalışılmaktadır. Yeşil sertifika uygulamasına istinaden gümrük muafiyeti tekrar düzenlenecektir.

İngiltere: Gümrük vergi muafiyeti kısmen uygulanmaktadır. Taşımacılıkta biyoyakıt kullanımı, 2008 yılından itibaren zorunlu olmuştur. 2008 yılında taşımacılıkta kullanılan yakıtın %2.5' i, 2009 yılında %3.75'i, 2010 yılında % 5'inin biyoyakıtlardan karşılanması zorunlu olacaktır. Bu uygulamalar yürütülürken gümrük vergi muafiyeti de mutlaka uygulanacaktır (www.eie.gov.tr).

AB'de biyodizelin kullanım miktarlarının yıllara göre değişimi Tablo 3. te gösterilmiştir.

Tablo 3. AB'de Biyodizel Kullanım Miktarları

YIL	MİKTAR (Milyon Ton)
1999	0,6
2002	1,2
2003	1,8
2004	2,8

EN 14214 no'lu taşıtlarda biyodizel standardı uygulamada B5 ve B20 kullanımı yaygındır. VW, Audi ve Mercedes kamyonlarında 1996 yılından beri B20 kullanılmaktadır. Tarım araçlarında, nakliye araçlarında, tırlarda, seralarda, sanayi tipi jeneratörlerde, kalorifer kazanlarında, gemilerde, askeri araçlarda daha yaygın kullanılmaktadır. AB Biyoyakıt Kullanımı Direktifine "DIRECTIVE 2003/30/EC of The European Parliament and of The Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport" göre biyoyakıt kullanım hedefi; 2005 yılında %2 (yaklaşık 5.8 milyon ton) 2010 yılında % 5.75 (yaklaşık 16.5 milyon ton) olarak belirlenmiştir. AB Biyoyakıtların kullanım hedefi 2020 yılı için %20'dir (Altınsoy, 2007).

3.2. Türkiye'deki Durumu

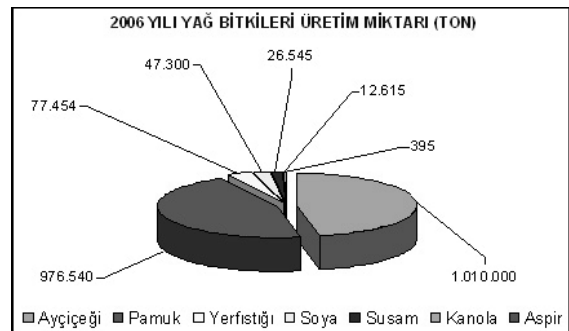
Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bir

bölümünde ve deniz taşımacılığında dizel motorlu taşıtlar kullanılmaktadır. Ayrıca endüstride jeneratörler için dizel yakıtı kullanılmaktadır ve dizel yakıtı ihtiyacı giderek artmaktadır. Türkiye'nin yıllara göre ham petrol üretimi ve ithalatı Tablo 4'te verilmiştir.

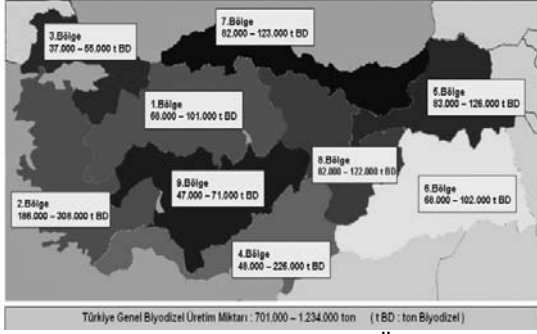
Tablo 4. Türkiye'nin Ham Petrol Üretimi ve İthalatı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2006)

YIL	ÜRETİM (Mt)	İTHALAT (Mt)	TOPLAM (Mt)
1999	2,9	22,9	25,8
2000	2,7	21,7	24,4
2001	2,5	23,3	25,8
2002	2,4	23,6	26
2003	2,3	24,1	26,4
2004	2,1	25,2	27,3
2005	2,1	25,7	27,8
2006	1,9	24,3	26,2

Biyodizel kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleşecektir. Biyodizel üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) ile Tarım ve Köy işleri Bakanlığı'nın yaptığı ortak çalışmanın sonucunda, Türkiye'nin, 1 milyon 900 bin hektarlık kullanılmayan ancak tarıma uygun arazisi olduğu belirlenmiştir. Söz konusu arazilerde enerji tarımı yapıldığı takdirde, örneğin Ege Bölgesi'nde 186.000-308.000 ton arası biyodizel üretilbileceği belirtilmektedir. Bu rakamlar, Güneyde 48.000-226.000 ton arasında, Kuzeydoğu Anadolu'da 83.000-123.000 ton arası ve Karadeniz'de ise 82.000-123.000 ton arası biyodizel üretimi beklenmektedir. Toplamda tüm Türkiye'den elde edilmesi beklenen miktar ise 1 milyon 250 bin ton. Potansiyeller hayata geçirilebilirse, Türkiye'nin tarım kapasitesi 3 kat artırılabilir (Kobi Finans Dergisi 12.Sayı).



Şekil 3. 2006 yılı Türkiye Yağ Bitkileri Üretim Miktarı (www.eie.gov.tr)



Şekil 4. Tarım Bölgelerine Göre Ürün Deseni ve Biyodizel Potansiyelimiz

Türkiye’de biyodizel ile ilgili ilk çalışma AB’den önce 1934 yılında “Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Kullanımı” adı altında Atatürk Orman Çiftliğinde yapılmıştır. Ancak Türkiye’de biyodizel dünyadaki gelişmelerin etkisinde 2000’li yılların başında gündeme gelmiştir. İlk kez biyodizel ve ismi 4.12.2003 tarihinde 5015 Sayılı Petrol Piyasası Kanunu’nda harmanlanan ürünler arasında yer almıştır. 10.09.2004 tarihli Resmi Gazetede “Petrol Piyasasında Uygulanacak Teknik Kriterler Hakkında Yönetmelik ve 17/06/2004 tarihli Petrol Piyasası Lisans Yönetmeliği ile “biyodizel” akaryakıt olarak kabul edilmiş ve ithalatı, dağıtımı, taşınması ve son kullanıcıya satışı lisans kapsamına alınmıştır. Biyodizel Standartları (TSEN 14214 ve TSEN 14213) 2005 Eylül ve Ekim ayında TSE tarafından AB standartlarının aynısı TSE Standardı olarak yayımlanmıştır. EPDK, 05.01.2006 tarihli tebliği ile Motorin Türlerinin Üretimi, Yurtdışı ve Yurtiçi Kaynaklardan Temini ve Piyasaya Arzına İlişkin Teknik Düzenleme Tebliği kapsamında biyodizelin % 5’e (% v/v) kadar motorin ile harmanlama yapılmasına imkan tanımış, Otobiyodizel’in üretimi, Yurtdışı ve Yurtiçi Kaynaklardan Temini ve Piyasaya Arzına İlişkin Teknik Düzenleme Tebliği ile Otobiyodizelde TSEN 14214 aynen kabul edilmiştir. Petrol Piyasasında haksız rekabet oluşturduğu iddialarının sonucunda 30.03.2006 tarihinde Gelir Vergisi Kanunu’nda değişiklik yapılarak biyodizel (Otobiyodizel) litrede 0.6498 YTL Özel Tüketim Vergisi getirilmiştir. Bakanlar Kurulu Kararı ve Maliye Bakanlığının tebliği ile biyodizel tamamen yerli tarım ürünlerinden elde edilse dahi % 100 Biyodizel kullanımında % 98 ÖTV tatbik edilmektedir. 17.01.2007 tarihinde kabul edilen Türk Petrol Kanunu’nda Petrol Piyasası Kanununda değişiklik yapan maddeler kabul edilmiştir. Buna göre (biyodizel üreticileri, EPDK tarafından çıkarılacak yönetmelikte belirlenen kalite standartlarına göre üretim yapmak üzere, yönetmelikle belirlenen usul ve esaslar dahilinde bedelsiz olarak üretim lisansı alırlar ve üretimlerini lisans kapsamında yaparlar. Kalite denetimleri EPDK tarafından yapılır veya yaptırılır. Bütün bu düzenlemeler sonunda Biyodizel üretmek için (Kendi İhtiyacı İçin Üretim Dahil) EPDK’dan biyodizel

işleme lisansı almak, standartlara uygun üretim yapmak ve Petrol Piyasası Kanunu ve ikincil mevzuatına uygun dağıtım şirketleri üzerinden ulusal markerle işaretlenilerek, yakıt biyodizeli ilaveten kırmızıya boyayarak satmak durumundadır. Atık bitkisel yağlardan biyodizel yapmak EPDK’dan alınarak Biyodizel İşleme Lisansı Dışında Çevre ve Orman Bakanlığı’nın Bitkisel Atık yağların Kontrolü Yönetmeliği’ne uygun olarak yapmak durumundadır (www.albiyobir.org.tr).



Şekil 5. Türkiye’ de Akaryakıt Tüketimi ve Biyodizel Kurulu Kapasite Kompozisyonu

Tablo 5. Türkiye’de Kurulu Kapasite’nin İllere Göre Dağılımı

İL	Firma Sayısı	Kurulu Kapasite(Ton/yıl)
İzmit	7	160.645
Gaziantep	16	158.004
Ankara	11	71.040
Mersin	4	70.534
Adana	7	58.745
Bursa	5	46.062
İzmir	6	35.588
Diğerleri	34	377.818
TOPLAM	90	978.436

4.BİYODİZEL–D2 KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Karabektaş ve Ergen (2007), soya yağı metil esterinin dizel motorunda kullanımı ile yapılan deneysel çalışma sonucuna göre, efektif güç ve tork değerleri göz önüne alındığında SYME ile motorine oranla daha düşük (%3,92) efektif güç ve tork değerleri elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi değerleri ise SYME ile dizel yakıtına oranla ortalama % 9,18 oranında artış göstermektedir. Dizel yakıtına göre saf biyodizel ve karışım yakıtlarda ortaya çıkan güç ve tork düşüşü ve özgül yakıt tüketimi artışı biyodizelin sahip olduğu düşük alt ısıl değerden kaynaklanmaktadır.

Labeckas ve Slavinskas (2005), direkt püskürtmeli dört silindirli dizel motorda kanola yağı metil esteri, %5, %10, %20 ve % 35 dizel karışımları test etmişlerdir. Maksimum güçteki özgül yakıt tüketimi dizel yakıtına göre % 18,7 ile % 23,2 arasında artış göstermiştir. En yüksek yakıt enerjisi (9,36 – 9,61 Mj/kWh) B10 ile yapılan deneylerde, en düşük ise B35 ve ham kanola yağı metil esteri ile yapılan

deneylerde tespit edilmiştir.

Yücesu vd.(2001), tek silindirli bir dizel motorunda, tam gaz değişik devir ve sabit devir değişik yüklerde, D2 ile birlikte dokuz değişik bitkisel yağ (ham ayçiçeği yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bunlardan elde edilen metil esterleri ile rafine edilmiş Haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı) kullanarak deneylere tabi tutmuşlardır. Yapılan testler sonucunda bitkisel yağların performans değerlerinin dizel yakıtından daha düşük olduğu belirlenmiştir. Üretilen bitkisel yağ metil esteri esaslı yakıtların motor performans değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve dizel yakıtı performans değerlerine daha yakın olduğu belirlenmiştir.

Keskin vd. (2007), kağıt fabrikalarında üretim esnasında yan ürün olarak ortaya çıkan tall yağından üretilen biyodizelin dizel yakıtı ile %90 oranındaki karışımı tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda tam yük şartlarında 1800-3200 devir/dakika aralığında performans ve emisyon testine tabi tutmuştur. Dizel yakıtı değerlerine göre, karışım yakıtın tork ve güç değerlerinde sırasıyla %2,99 ve %2,94'e varan oranlarda düşüşler saptamıştır. Karışım yakıtı ile motorun özgül yakıt tüketimi değerlerinde ortalama %7,63 oranında artış olduğunu belirlemiştir.

Sekmen (2007), yaptığı çalışmada keten tohumu ve karpuz çekirdeklerinden biyodizel üretmiş ve dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2 oranında karıştırarak direkt enjeksiyonlu bir dizel motorda 1400-3400 devir/dakika hız aralığında, tam yükte, D2 ile karşılaştırmalı olarak performans ve egzoz emisyonlarına etkilerini araştırmıştır. Biyodizelin ısı değeri dizel yakıttan düşük olduğundan motor momenti ve gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde artış olduğu belirtilmiştir.

İlkılıç ve Yücesu (2002), pamuk yağı metil esterinin motorin ile 30/70, 50/50, 70/30 oranlardaki karışımlarını yakıt olarak tek silindirli dizel motorda 1500 – 3700 d/d arasında kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada, yüksek hızlarda PME'nin dizel yakıtı ile benzer tork değerleri gösterdiği, yüksek ve düşük motor devirlerinde güç değerlerinin dizel yakıtına yakın olduğu ancak özgül yakıt tüketiminin daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Gümüş (2008), fındık iç yağı metil esterinin ve dizel yakıtı ile %5, %20 ve %50 oranlarındaki karışımları direkt püskürtmeli, tek silindirli dizel motorda performans ve emisyonlar açısından test etmiştir. Düşük orandaki (B5 ve B20) karışımlarda özgül yakıt tüketiminde az bir düşüş olduğunu belirtmiştir. Sonuçlar motorda yapılacak küçük değişimlerle (artan ateşleme zamanı, sıkıştırma oranı ve enjektör açma basıncı gibi) fındık iç yağı metil esterinin motor performansını geliştirebileceğini ileri sürmüştür.

Kaplan vd. (2001), kullanılmış (atık) bitkisel yağların dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanım olanaklarını araştırmışlardır. Çalışmada, dizel ve kullanılmış bitkisel yağ metil esteri, yakıt olarak

kullanılmış ve test motoru 10 farklı devir ile tam yükte çalıştırılarak motor performans sonuçları irdelemiştir. Sonuca göre biodizel yakıtından elde edilen efektif moment ve güç değerlerinin bir miktar düşük çıkması, yakıtın ısıl değerinin dizel yakıtının ısıl değerine göre düşük olması ile açıklanabileceğini belirtmişlerdir. Üretilen güçlere karşılık özgül yakıt tüketimindeki değişim ise, her iki yakıt için de aynı güçlerde yüklenen motorun benzer güç üretebilmesi için ısıl değeri düşük olan yakıttan fazla yakıt tüketeceği olasıdır.

Keskin ve Ekşi (2006), üretilen mısır yağı metil esterini tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda 1800-3200d/d arasında tam yük testine tabii tutmuştur. Test esnasında motor performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür. Büyük oranda mısır yağı metil esterinin ısıl değerinin dizel yakıtına göre daha düşük olmasına ve viskozitenin yüksek olmasına bağlı olarak motor tork değerinde %7.5 e kadar, güç değerinde ise %5.7 ye kadar varan düşüşler olduğu belirtilmiştir. Özgül yakıt tüketimi değerinin %9.24 oranında artış gösterdiği ileri sürülmüştür.

Silva vd. (2003), yüksek kükürlü dizel yakıtı (1700 ppm) ve %5 ile %30 oranında ayçiçeği yağı (su içeriği 618 ppm) metil esterinin karışımlarını altı silindirli motorda test etmişlerdir. Sonuçlar %30 karışımda moment ve güçte düşüş, %5 karışımda ise özellikle yüksek hızlarda moment değerinde az bir artış olduğunu belirtmişlerdir.

5.BİYODİZEL–D2 KARIŞIMLARININ EGZoz EMİSYONLARI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Özsezen vd. (2008), atık palmye yağı ve kanola yağı metil esterleri ile direkt püskürtmeli dizel motordaki performans ve yanma karakteristiklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyler 1500 d/d sabit hız ve tam yük altında gerçekleştirilmiştir. CO, yanmamış HC ve is opaklığında düşüş, ancak NO_x emisyonlarında artış gözlemlendiği belirtilmiştir.

Usta (2005), tütün tohumu yağı metil esterinin turboşarjlı direkt püskürtmeli bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisini tam ve kısmi yüklerde test etmiştir. Deneyler %10, %17.5 ve %25 oranında tütün tohumu yağı metil esteri içeren karışımlar 1500-3000 d/d hızda gerçekleşmiştir. Test sonuçları tütün yağı metil esterinin dizel yakıtına eklenmesiyle CO, SO₂ emisyonlarını düşürdüğünü, NO_x emisyonlarını ise biraz yükselttiğini belirtmiştir. CO emisyonlarındaki en büyük düşüş 1500-2500 d/d devirde görülmüştür. Bu durumun yüksek oksijen miktarından kaynaklandığı ileri sürülmüştür.

Raheman ve Phadatare (2004), karanja metil esteri ve dizel yakıtı ile %20, %40, %60 ve %80 oranındaki karışımlarını tek silindirli, hava soğutmalı dizel motorda emisyon ve performans açısından test

etmişlerdir. Emisyon değerlerinin (CO ortalama %80, is yoğunluğu %50 ve NO_x % 26) düşüş gösterdiği belirtilmiştir. Karanja yağı metil esterinin B40 üzerindeki karışımlarda güçte herhangi bir değişim olmadan daha az emisyon oluşturduğu tespit edilmiştir.

Banapurmath vd. (2008), Honge, Jatropha ve susam yağı metil esterlerinin tek silindirli dizel motorda emisyon ve performansı ile ilgili yaptıkları çalışmada, HC ve CO emisyonları dizel yakıtına göre daha fazla olduğunu ve is emisyonlarının üç metil ester için de dizel yakıtından daha fazla olduğunu belirtmiştir. Buna tamamlanmamış yanmanın ve dolayısıyla düşük uçuculuk ve yüksek viskozite yol açmıştır. Susam yağı metil esterini diğer ikisiyle kıyaslandığında daha düşük emisyon (CO, HC, NO_x) oluşturduğu tespit edilmiştir.

Lee vd. (2004), soya metil esterinin D2 ile %20 oranındaki karışımlarının emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. NO_x emisyonları dizel yakıt ile benzer değerlerde iken SO₂ emisyonlarının %19.7 daha düşük ve partikül madde emisyonlarının da ortalama %15.7 daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Dorado vd. (2003), atık zeytinyağı metil esterinin dizel motorunda yakıt olarak kullanılmasındaki egzoz emisyonlarını test etmişlerdir. Deneyler direkt püskürtmeli, üç silindirli, su soğutmalı, Perkins motorda maksimum 34 kW güçte yapılmıştır. Sonuçlar dizel yakıtına göre daha düşük CO (%58.9 üzerinde), CO₂ (%8.6 üzerinde), NO (%37.5 üzerinde), SO₂ (%57.7 üzerinde) ve daha yüksek NO₂ (%81 üzerinde) emisyon değerlerini göstermiştir.

Last vd.(1995), %10, %20, %30, %50, %100 soya yağı metil esterini dizel motorunda test etmeleri sonucunda CO emisyonlarında %10, %8, %18, %6 ve %14 değerlerinde düşüşler gözlemlenmiştir.

Oğuz (2004), transesterifikasyon yöntemiyle elde ettiği fındık yağı metil esterini (FYME), dört zamanlı, dört silindirli, 60 kW gücünde direkt püskürtmeli dizel motorda test ederek performans ve emisyonları incelemiştir. Fındık yağı metil esterinin CO₂ değerleri dizel yakıtın değerinden daha düşük çıktığı belirtilmiştir. Bu durum, fındık yağı metil esterinin tam yanmadığı ileri sürülmüş, HC değerleri her devir sayısında dizel yakıtından daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. CO değerlerinin de motorun yüklenme durumuna ve devir sayısına bağlı olarak değiştiği, devir arttıkça CO değerinin azaldığı vurgulanmıştır.

Tillem (2005), atık bitkisel yağ, ham kanola yağı ve nötr pamuk yağından %87,6, %94,2 ve %98,5 verimle metil esterler elde etmiştir. Üretilen biyodizel yakıtlar %20 hacimsel oranında dizel yakıtı ile karıştırılarak ön yanma odalı dizel bir motorda performans ve emisyon değerleri bakımından dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Emisyon ölçümleri sonucunda, duman ve CO emisyonu değerlerinde %20 biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre

önemli miktarlarda düşüş meydana gelmiştir. CO₂ emisyonlarında ise genel olarak azalma yönünde küçük değişimler görülmüştür. Oksijen içeriğinin fazla olması doğal olarak O₂ emisyonlarında bir miktar artışa neden olmuştur.

Özsezen (2007), palmye yağı kökenli atık kızartma yağından elde edilen biyodizel, dört silindirli, doğal emişli, indirekt püskürtmeli bir dizel motorda alternatif dizel yakıtı olarak kullanmış ve performans, yanma, püskürtme ve egzoz emisyon değerlerini test etmiştir. Motor, tam yük, 60, 40, 20 Nm sabit yük ve değişik devirde D2, B100, B50, B20 ve B5 kullanılarak testlere tabi tutulmuştur. Tüm devirlerde B100, B50, B20 ve B5 kullanımıyla elde edilen CO emisyonu, D2'ye göre düşüş göstermiştir. Bunun nedeni, biyodizelin içeriğindeki oksijendir. CO₂ emisyonunda biyodizel ve dizel yakıtı ile karışımlarının kullanımı sonucu D2'ye göre belirli bir eğilimde artma veya azalma olmamıştır. Biyodizelin içeriğindeki oksijenin yakıtça zengin bölgelerde gerekli oksijeni sağlaması, yanma bölgelerinin sayısını arttırmıştır. Yüksek ortam sıcaklığının elde edildiği bölge sayısı arttığından, biyodizel kullanımı ile D2'ye göre daha yüksek NO_x oluşumu meydana gelmiştir. HC emisyonu PKDY' a göre daha düşük seviyededir. Nedeni, biyodizel içeriğinde bulunan oksijenin zengin yakıt-hava karışım bölgelerinde yeterli oksitlenmeyi sağlamasıdır.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

20. yüzyılın sonlarına doğru motorlu taşıt sayısındaki artışa paralel olarak fosil kökenli yakıtların rezervleri düşüş göstermektedir. Bunun yanı sıra fosil kökenli yakıt kullanımı ile küresel iklim değişikliği ve hava kirliliği problemi yaşanmaktadır. Ülkemizin de imza koyduğu Kyoto Protokolünün CO₂ emisyonlarını 1990' lı yıllar seviyesine indirme hedefleri bulunmaktadır. Bu sorunun önüne geçmek ve hedeflere ulaşmak için mevcut motor konstrüksiyonunu da fazla değiştirmeden, yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları geliştirilmesi kaçınılmaz olmuştur.

Biyodizel, yeni iş alanlarını da açabilmesi dolayısıyla istihdam sağlaması, dünyanın hemen her bölgesinde üretilebilir oluşu, çevre ve canlı yaşamı açısından risk oluşturmaması, atık maddelerin değerlendirilmesine imkan sağlaması gibi nedenlerden dolayı gündemdeki yerini korumaktadır. Araştırmalar, yenilenebilir enerji kaynaklarından biyodizelin motor performans değerlerinin dizel yakıtının motor performans değerlerine yakın, egzoz emisyonlarının ise dizel yakıtına göre daha temiz olduğunu göstermiştir. Gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de biyodizelin, vergiden muaf tutulması ve teşvik edilmesiyle üretimi ve kullanımı yaygınlaşabilecektir. Ayrıca Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP)' nin tam olarak faaliyete geçmesiyle 1.7 milyon hektar alan



sulanır hale gelecektir. GAP bölgesinde yetiştirilecek bitkiler içerisinde, yağ bitkileri yönünden de önemli bir potansiyel olacaktır. Böylece ülkemizde biyodizel üretimi ihtiyaca göre yapılabilecektir.

7.KAYNAKLAR

1. **Altınsoy**, A. S., ‘Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiye’deki Kaynakların İncelenmesi’, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
2. **Banapurmath**, N. R., Tewari, P.G., Hosmath, R.S., ‘Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operated on Honge, Jatropha and sesame oil methyl esters’, Renewable Energy, 33, 1982–1988, 2008.
3. **Dorado**, M. P., Ballesteros, E., Arnal, J. M., Gómez J. and López, F. J., ‘Exhaust emissions from a Diesel engine fueled with transesterified waste olive oil’, 2003.
4. **Gümüş**, M., ‘Evaluation of hazelnut kernel oil of Turkish origin as alternative fuel in diesel engines’, Renewable Energy, 33, 2448–2457, 2008.
- Gvidonas L., Stasys S., ‘The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection Diesel engine performance and exhaust emissions’, 2005.
5. **İlkiç** C., Yücesu H.S., ‘Pamuk Yağı Metil Esteri İle Dizel Yakıtı Karışımının Bir Dizel Motoru Performansına Etkisi’, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(1), s 199-205, 2002.
6. **Kaplan**, C., Ulusoy, Y., Arslan, R., Kullanılmış (Atık) Bitkisel Yağ Metil Esterlerinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, 12-13 Ekim 2001, sf. 333-338, Kayseri.
7. **Karabektaş**, M., Ergen, G., ‘Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans Karakteristikleri ve NO Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi’, SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi, 11. Cilt, 1. Sayı, s. 21-26, 2007.
8. **Karaosmanoğlu**, F., Biyomotorin ve Türkiye, 2008.
9. **Keskin**, A., Ekşi, A., Dizel Motorlarda Mısır Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanımının Motor Performans Ve Emisyonuna Etkisi, C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 2.1 (2006), sf. 49 -55.
10. **Keskin**, A., Gürü, M., Altıparmak, D., Tall Yağı Biyodizelinin Dizel Yakıtı İle %90 Oranındaki Karışımının Alternatif Dizel Yakıtı Olarak İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. ,Cilt 22, No 1, 57-63, 2007.
11. **Kobi** Finans Dergisi, 12.sayı
12. **Last** R.J., Kruger M., Durnholz M., Emissions and performance characteristics of a 4-stroke, direct injected diesel engine fueled with blends of biodiesel and low sulfur diesel fuel. SAE paper 1995,950054.
13. **Lee**, S. W., Herage, T., and Young, B., ‘Emission reduction potential from the combustion of soy methyl ester fuel blended with petroleum

distillate fuel’, 2004.

14. **Magin** L., Octavio, A., Jose, R. F., Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions, Progress in Energy and Combustion Science, 34 (2008), 198–223.
15. **Oğuz**, H., Tarım Kesimlerinde Yaygın Olarak Kullanılan Dizel Motorlarında Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanım İmkanlarının İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2004.
16. **Öğüt** H., Oğuz H., Üçüncü Milenyum Yakıtı; Biyodizel, Nobel Yayın Dağıtım, Ocak 2006.
17. **Özsezen**, A. N., Atık Palmiye Yağından Üretilen Biyodizelin Motor Performans ve Emisyon Karakterleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2007.
18. **Özsezen**, A. N., Çanakçı, M., Türkcan, A., Sayın, C., ‘Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola methyl esters’, Fuel, 88, s.629-636, 2008.
19. **Raheman**, H., Phadataré, A. G., ‘Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel’, 2004.
20. **Sekmen**, Y., ‘Karpuz Çekirdeği ve Keten Tohumu Yağı Metil Esterlerinin Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması’, TEKNOLOJİ, Cilt 10, (2007), Sayı 4, 295-302.
21. **Silva** F. N., Prata A. S., Teixeira J. R., Technical feasibility assessment of oleic sunflower methyl ester utilization in diesel bus engines, Energy Convers Manage 2003;44:2857–78.
22. **Tillem**, İ., Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
23. **Usta**, N., ‘Use of tobacco seed oil methyl ester in a turbocharged indirect injection diesel engine’, Biomass Bioenergy, 28(2005), pp. 77-86.
24. **Yücesu**, H. S., Altın, R., Çetinkaya, S., ‘Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Bitkisel Yağ Kullanımının Deneysel İncelenmesi’, TÜBİTAK, 25 (2001), 39 - 49.

www.albiyobir.org.tr

www.eie.gov.tr

www.enerji.gov.tr

www.enerjikaynaklari.net



HAYVANSAL YAĞLARDAN BİODİZEL ÜRETİMİ VE TEKNİK DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Gökçen AKGÜN*, Hasan BAYINDIR** ve Hüseyin AYDIN*** Zahir DÜZ****

*, **Dicle Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü 21280 DİYARBAKIR.

***Batman Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü, 72060 Batman.

****Dicle Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, 21280 Diyarbakır.

compact_store@hotmail.com, hbayindir@dicle.edu.tr, huseyinaydin@gmail.com, zahird@dicle.edu.tr

ÖZET

Günümüzde ülkelerin enerji ihtiyaçlarının hızlı bir şekilde artması kullanılan fosil kaynaklı petrol, kömür ve doğal gaz gibi enerjilerin tükenmesine ve çevresel sorunlardaki artışa sebep olmuştur. Bu durum, araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya yöneltmiştir. Bu anlamda alternatif enerji kaynaklarından bir tanesi de dizel yakıtının özelliklerine yakın özellik gösteren, temiz, ucuz alternatif bir yakıt olan bitkisel, hayvansal ve atık (kızartma) yağlardan üretilen biyodizeldir. Bu çalışma kapsamında atık hayvansal yağlardan biyodizel elde edilmiş ve teknik değerleri belirlenmiştir. Böylece yenilmeyen hayvansal yağların değerlendirilerek alternatif yakıtla dönüştürülebileceği, dışarıyla sağlanan petrol kökenli yakıtların kullanımının azaltılabileceği ve bu sayede hava kirliliğini azaltıcı etki yapabileceği düşünülmektedir. Bu amaçla hammadde kaynağı olarak seçilen hayvansal yağın Transesterifikasyon yöntemi ile üretimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Biyodizel, hayvansal yağ, D2,

1. GİRİŞ

Dünyadaki enerji ihtiyacının büyük bir kısmı, petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil kökenli birincil enerji kaynaklarından karşılanmakta olup ayrıca nükleer ve hidrolik enerjiden de yararlanılmaktadır. Ekonomik ve toplumsal kalkınmanın en önemli etkenlerinden olan enerji, nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere paralel olarak var olan fosil yakıt kaynaklarının tükenmesine sebep olup araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya yönlendirmiştir. Bu yüzden günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretilmesi, enerji teknolojisinde kullanılması ve değerlendirilmesi konusuna ilgi her geçen gün biraz daha artmaktadır.

Petrole bağımlılığın azaltılması ve ekolojik dengelerin korunması için mevcut enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması gerekmektedir. Oluşan olumsuzlukların en aza indirilmesine yönelik olarak araştırmacıların yaptıkları çalışmalarda motorlu taşıtlarda alternatif yakıt olarak, alkol (metanol, etanol) hidrojen, bitkisel ve hayvansal yağlar, doğalgaz ve sıvılaştırılmış petrol gazı kullanılabilirliği belirtilmektedir. Belirtilen alternatif yakıtların tercih edilme nedenleri, birim fiyatlarının ucuz olması ve motorların yakıt donanımlarında en az değişiklikle motorda köklü değişikliğe gereksinim göstermeyecek ve performansta önemli düşüşler yapmayacak nitelikte olmasıdır. Bu anlamda yenilenebilir enerji kaynakları içinde en büyük teknik potansiyele sahip olan biyokütle, ana bileşenleri karbohidrat bileşikler olan bitkisel ve

hayvansal kökenlidir. Bu kaynaklardan üretilen enerji ise "Biyokütle Enerjisi" olarak tanımlanır. Dizel motorlarda yakıt olarak kullanılan ve yenilenebilir biyolojik maddelerden üretilen bu yakıtlar biyodizel olarak adlandırılır. Biyodizel motorlarda saf olarak kullanılabilirliği gibi petrolden elde edilen dizel yakıtlara karıştırılarak da kullanılabilir. Biyodizel yağ bitkisi olarak adlandırılan ayçiçeği, kanola (kolza), soya gibi bitkilerin tohumlarından, atık yemeklik yağlardan veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde alkol ile kimyasal reaksiyonu sonucunda elde edilen ve dizel motorlarında kullanılabilen bir yakıttır[1].

Rudolph DIESEL ilk olarak 1893'te Almanya'da motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve 1898'te Paris Dünya Fuarı'nda yer fıstığı yağını yakıt olarak kullanan motorunu sergilemiştir. 1911 yılında bitkisel yağların motor yakıtı olarak kullanımının ülkelerin tarımının gelişimine ciddi bir katkısı olacağını ifade etmiş ve 1912'de "Bitkisel yağların motorlarda kullanımı günümüzde önemsiz görünebilir, ancak bitkisel yağlar zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacak" demiştir. 1990'lı yıllarda başta Avrupa olmak üzere, dünya genelinde uygulama artmış ve biyodizel, günümüzde "Ticari Başarıyı Yakalamış Tek Alternatif Dizel Yakıtı" konumuna ulaşmıştır.

Avrupa'da temiz enerji kaynağı olan biyokütleden, çeşitli dönüşüm süreçleri kullanılarak pek çok biyoyakıt elde edilebilmektedir. Avrupa Birliği ve Amerikan standartlarıncaya tanımlanan bu yakıt, ülkemiz için de çok önemli bir yakıt seçeneğidir.



Türkiye gibi petrol konusunda dışa bağımlı bir ülkenin alternatif bir yakıt üretebileceği ve bu yakıtın kullanımı sonucunda çevreye zararlı emisyon değerlerinin azalacağı gerçeklerinin gündeme getirilerek; biyodizel kullanımının yaygınlaştırılması ve kullanıcılarının bilgilendirilmesi, içinde bulunduğumuz Avrupa Birliği Uyum Süreci açısından da önem arz etmektedir [2].

1.1 Biyodizelin Özellikleri ve Çevresel Durumu

Biyodizel çoğunlukla 16 ila 20 arasında karbona sahip hidrokarbon zincirlerinden oluşur ve ağırlığının yaklaşık %11'ini oksijen oluşturur. Bu özellikleri ile birlikte biyodizel, dizel yakıtına belirli oranda karıştırılarak kullanıldığında, egzoz emisyonlarından CO, HC ve partikül madde (PM) miktarında azalma tespit edildiği belirtilmektedir. Bunların yanı sıra, NOx emisyonlarında ve özgül yakıt sarfiyatında artış gözlemlenmektedir [3].

Isıl değer, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özellikleri dizel yakıtı değerlerine çok yakındır. Ayrıca dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi, setan sayısının daha yüksek ve daha az toksik olması avantaj sağlayan yakıt özelliklerindedir.

Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği, dekstrozunkine (şeker) benzemektedir. Biyodizeli oluşturan C₁₆ – C₁₈ metil esterleri doğada kolayca ve hızla parçalanarak bozunur ve 10 000 mg/l'ye kadar olumsuz bir mikrobiyolojik etki göstermezler. Suya bırakıldığında 28 günde biyodizelin %95'i, dizelin ise %40'ı bozunabilmektedir.

Biyodizel ve biyodizel-dizel karışımları, dizel yakıtından daha yüksek akma ve bulanma noktasına sahiptir; bu durum yakıtların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Akma ve bulanma noktaları uygun katkı maddelerin (anti-jel vb.) kullanımı ile düşürülebilmektedir[1].

1.2 Kalite Parametreleri

Setan sayısı, viskozite, yoğunluk, ısıl değer, akış özellikleri, parlama noktası, oksidasyon kararlılığı, yağlayıcılık özelliği ve malzeme uyumu biyodizelin kalitesini belirleyen parametrelerdir [4].

Yakıt besleme sisteminde yakıtın akıcılığı önemli yer tutar ve bu sebeple yakıtın silindirlere içinde atomizasyonu yanma performansı açısından çok önemlidir. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine sebep olur ve yüksek pompalama basıncı gerektirir. Viskozitenin, yakıt enjeksiyon sistemi performansını üzerine olumsuz etkiye sebep olmaması için, kabul edilebilir değerler aralığında tutulmalıdır. Bu yolla viskozite özellikleri, diğer dizel yakıtlarınkindi ile eşit tutulmaya çalışılmaktadır. Düşük sıcaklıkta biyodizel kalınlaşabilmekte ve akma sorunu yaşayabilmektedir. Bu da, enjektör ve pompaların

performansını olumsuz etkilemektedir. Biyodizel oksijen içeriğinden dolayı dizel yakıtına oranla %11 daha az ısıl değere sahiptir [5].

Düşük ısıl değer sonucu, motor gücü ve torkunda bir miktar düşüş görülebilmektedir. Ancak, yüksek yoğunluk sebebiyle, motorda ısıl değere bağlı olarak meydana gelebilecek önemli orandaki güç kaybı kısmen azalır [6].

Setan sayısı dizel yakıtlarının yanma özelliğini etkileyen bir özelliktir. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini azaltır. Özellikle, tutuşma gecikmesi süresinin uzamasından dolayı ortaya çıkan dizel vuruntusu gibi bir problem çözülmektedir [4]. Soya ve ayçiçeği yağının doymamışlığı yüksek olduğundan setan sayıları düşüktür. Hayvansal yağların setan sayıları ise yüksektir.

Bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası ve akma noktası (CP, CFPP, PP) yakıtın soğukta akış özelliğini belirler. Doymuş hidrokarbonların CP, CFPP, PP değerleri yüksektir.

Yüksek sıcaklıklarda kristalize olurlar. Soğuk akış özelliği iyi olmayan yakıt kullanımı, motorun yakıt besleme elemanlarına hasar verebilmekte, ayrıca motorda ilk hareket problemleri oluşabilmektedir. Bu nedenle, biyodizelin soğuk havada çalışma özellikleri dizel yakıtına oranla daha elverişsiz gözükmektedir. Bunun için uygun biyodizel yakıt katkısı ve yakıt ısıtma işlemi gerekmektedir.

Biyodizelin çözücü özelliğinden yakıt deposu duvarlarındaki ve borulardaki kalıntıları-tortuları çözdüğü için yakıt filtresinin hatta enjektörlerin tıkanmasına sebep olur. Biyodizelin oksidasyonu sonucu organik asitler veya polimerler oluşmaktadır. Oluşan asitler bakır, pirinç, bronz ve diğer bakır alaşımları, çinko, çinko alaşımları, çinko-fosfat yüzeyler, kurşun, bronz içinde kurşun (alaşım olarak) gibi malzemelere etki etmektedir. Oluşan korozyonun enjektör memesinin koklaşması, yüzeylerin zayıflaması gibi olumsuz etkileri olmaktadır. Bu nedenle, alüminyum ve paslanmaz çelik alternatif malzemeleridir [2].

Biyodizel, dizel yakıt kullanan motorlarda herhangi bir teknik değişiklik yapılmadan veya küçük değişiklikler yapılarak daha verimli şekilde kullanılabilir. 1996 yılı öncesinde üretilen bazı araçlarda kullanılan doğal kauçuk malzemesi biyodizel ile uyumlu değildir. Çünkü biyodizel, doğal kauçuktan yapılan hortum ve contaları tahrip etmektedir. Ancak, bu problemlerde B20 (%20 biyodizel - %80 dizel) ve daha düşük oranlı biyodizel/dizel yakıtı karışımlarında görülmez [7].

1.3 Biyodizelin Standartları

Biyodizel saf ve dizel yakıtı-biyodizel karışım oranları bazında aşağıdaki gibi adlandırılmaktadır:

- B5 : % 5 biyodizel + % 95 dizel
- B20 : % 20 biyodizel + % 80 dizel
- B50 : % 50 biyodizel + % 50 dizel
- B100 : % 100 biyodizel

Biyodizel için EN 14214 Avrupa Birliği Standardı ile ASTM D 6751 Amerikan Standardı yürürlüktedir. Ülkemizde EN 14214 ve EN 14213 standartları temel alınarak Türk Standartları hazırlanmıştır. Bu standartlar kısaca çizelge 1 ve 2’de açıklanmıştır.

Çizelge 1 Biyodizelin Avrupa ve Amerika Standartları[1]

Özellikler	ABD.
Standart	ASTM PS 121-99
Uygulama	YAMAE
Yoğunluk 15 °C g /m ³	---
Viskozite mm ² / s	1.9-6
Alevlenme Noktası °C	≥100
Setan Sayısı	≥ 40
Su mg/kg	≤ 0.05%
Kükürt % kütle	≤ 0.05
Sülfate Kül % kütle	≤ 0.02

YAMAE: Yağ asidi Mono Alkil Esteri

Çizelge 2 Türkiye’deki Biyodizel Standartları [2]

Kriterler	EN 14214
Yoğunluk 15 °C g /m ³	0.86-0.9
Viskozite 40 °C mm ² / s	3.5-5
Parlama Nok. °C	> 101
Kükürt % m/m	< 0.01
Sülfatlanmış Kül % m/m	0.02
Su mg/kg	< 500
Karbon Kalıntısı % m/m	< 0.03
Toplam Kirlilik mg/kg	< 24
Setan Sayısı	> 51
Metanol % kütle	< 0.2
Ester İçeriği % kütle	> 96.5
Monogliseritler % kütle	< 0.8
Digliseritler % kütle	< 0.2
Trigliseritler % kütle	< 0.4
Serbest Gliserol % kütle	< 0.02
Toplam Gliserol % kütle	< 0.25
Fosfor mg/kg	< 10
Alkali Metaller (Na,K) mg/kg	< 5

1.4 Biyodizelin Yakıt Özelliğini İyileştirme Yöntemi

Hayvansal ve bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için bazı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bunu sağlamak amacı ile iki yönde çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bu iki çalışmadan biri, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi, diğeri motor

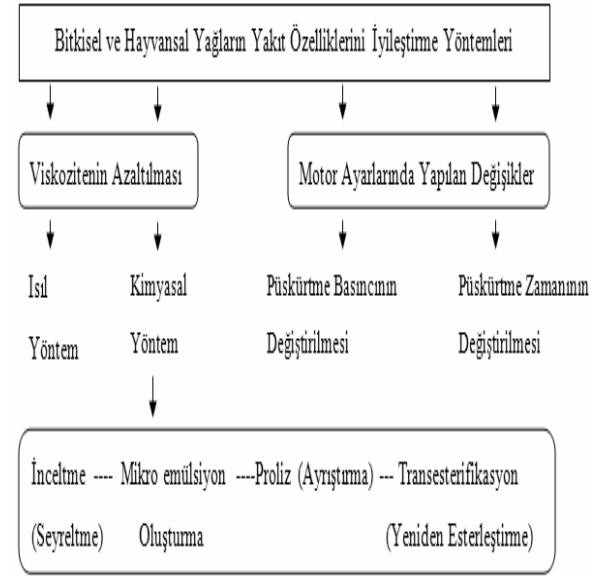
üzerinde yapılan tasarım değişiklikleri ile konstrüksiyonunun değiştirilmesidir.

Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır. Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal olmak üzere 2 yöntem uygulanmaktadır [8].

Hayvansal yağlar %85 civarında serbest yağ asitleri içermektedir ve doğrudan yakıt olarak kullanılamamaktadır [9].

Serbest yağ asitlerinin dönüşümünde sülfürik asit, reçine asitlerinin metil estere dönüşümünde sodyum hidroksit kullanılmaktadır.

Isıl yöntemde, yakıt olarak kullanılacak olan bitkisel veya hayvansal yağların, ön ısıtma ile sıcaklığının yükseltilmesi, viskozitesinin azaltılması amaçlanmaktadır. Ancak, bu yöntemin, özellikle hareketli bir araç motorunda uygulama zorluğu vardır. Kimyasal yöntem ise dört alt gruba ayrılmaktadır. Bunlar, inceltme, mikro emülsiyon oluşturma, proliz ve transesterifikasyondur. Bu yöntemler aşağıda kısaca açıklanmıştır [8]. Hayvansal ve bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1 Hayvansal ve Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi[10].

1.4.1 Seyreltme Yöntemi

Bitkisel ve hayvansal yağların belirli oranda dizel yakıtı ile karıştırılarak inceltmesi işlemi olup böylece viskozite değerinin belirli oranlarda düşürülmesi gerçekleştirilmektedir.

1.4.2 Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi

Bitkisel yağların viskozitesini düşürmek için, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle

mikro emülsiyon oluşturulmaktadır. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Mikro emülsiyon, normalde karışmayan iki sıvı ile bir veya daha fazla amfifilin bir araya gelmesiyle oluşur. Bu yöntemle petrolen tamamen bağımsız alternatif dizel yakıtları meydana getirmek mümkün olabilmektedir [10].

1.4.3 Piroliz yöntemi

Proliz veya kraming kimyasal bağların daha küçük moleküller oluşturmak üzere kırılması işlemidir. Bitkisel yağların proliz ürünlerini elde etmek için iki yöntem vardır. Bunlardan biri, bitkisel yağı ısı etkisiyle kapalı bir kaptan parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır. Bu ikinci yöntem ile yapılan bir çalışmada, soya yağından elde edilen distilatın saf bitkisel yağa göre, dizel yakıtına daha yakın özellikler taşıdığı gözlenmiştir [8,10].

1.4.4 Transesterifikasyon

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntem transesterifikasyon veya diğeri adıyla alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon, bir bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkol- katalizör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Bitkisel yağ öncelikle ön işlem uygulanarak fosfor lipitlerinden arındırılır. Reaksiyon öncesinde yağ, metanol ve katalizatör birbiriyle çok iyi karıştırılması gereklidir. Çünkü metanolün sudaki çözünürlüğü çok azdır [10].

Transesterifikasyon reaksiyonunda, giren maddelerden biri ester olup bu monoester ya da trigliserit yapılı olabilir. Diğeri reaktant ise alkoldür. Bir katalizör varlığında esterleşme reaksiyonu gerçekleşir. Bu kimyasal tepkime ile yağ asitleri bağlı oldukları trigliseritlerden ayrılıp alkolle yeni esterler oluştururlar. Bu reaksiyonların su kontrollü olması gerekir, çünkü reaksiyon ortamında su miktarının fazla olması reaksiyonu esterifikasyon yönünün tam tersi olan hidroliz yönüne kaydırır [11].

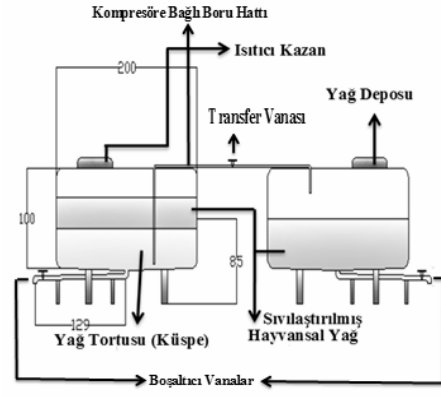
2. MATERYAL VE METOT

2.1 İç Yağdan Hayvansal Yağ Üretimi

Bu işlemin gerçekleşmesi öncelikle kesimhanelerden iç yağı temin etmekle başlamaktadır. Sürecin devamında kurulan ısıtma düzeneğinde iç yağı ısıtılarak bir ayırma işlemi uygulanır. Bu işlemde amaç iç yağ tortularını dibe çökeltip faydalı yağın süzme işlemini gerçekleştirmektir. Buna göre mevcut iki kazanın birinde ısıtma işlemi uygulanmakta diğeri faydalı yağın depolanması sağlanmaktadır.

Alınan 100 kg iç yağdan 100 °C ısıtma işleminde tortularından (küspe) arandıktan sonra 45 kg faydalı

hayvansal yağın (saf yağ) elde edildiği tespit edilmiştir. Sistemin şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2 Hayvansal Yağ Üretim Şeması

2.2 Hayvansal Sıvı Yağdan Biyodizel Üretimi

Biyodizel, hayvansal ve bitkisel yağlar gibi trigliseridlerin bir baz veya asit katalizörün varlığında alkol ile transesterleşmesi ile üretilen oksijenli bir yakıttır [12]. Motorlarda yakıt olarak kullanılacak yağların özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla uygulanan başlıca yöntemler; seyreltme, mikro emülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon yöntemleridir. Dünyada en yaygın olarak uygulanan yöntem transesterifikasyon yöntemidir [13]. Bu işlemde yağın seyreltilmesi ve viskozitesinin azaltılması amaçlanır.

Yapılan deneyde, Dicle Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Laboratuvarında uygun miktarlarda yağ, metanol ve potasyum hidroksit kullanılarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir.

Mevcut teknik değerlerin uygulanması şu şekilde olmuştur.

Öncelikle mevcut yağdan 1 g alınarak 10 ml izopropilalkol içerisinde çözülmesi gerçekleşip üzerine fenolfitaleyin ilave ederek, % 0.1’lik KOH ile titre edilip titrasyon değerine ulaşılmıştır. Yağın oleik asit değeri mevcudiyetine göre 100 g yağ için 0.45 gr KOH katalizörü belirlenmiştir.

Mevcut hayvansal yağın ortalama molekül ağırlığı 257,7 g / mol olarak hesaplanmıştır. Buna göre deneyde kullanılmış olan yağın 0.38 mol olduğu hesaplanmıştır. Yine deneyde alkol oranını hesaplamak için molarite cinsinden alkol yağ oranı 6:1 olarak değerlendirilmiştir. Bu orana göre de 72.96 g da metil alkol kullanılarak deney işleminin reaksiyon hesapları tamamlanmıştır.

Deney reaksiyonuna başlamadan önce HAY’ın (Hayvansal yağ), 110 °C’ta kadar ısıtılarak içerisindeki mevcut suyun buharlaşması sağlanmıştır.

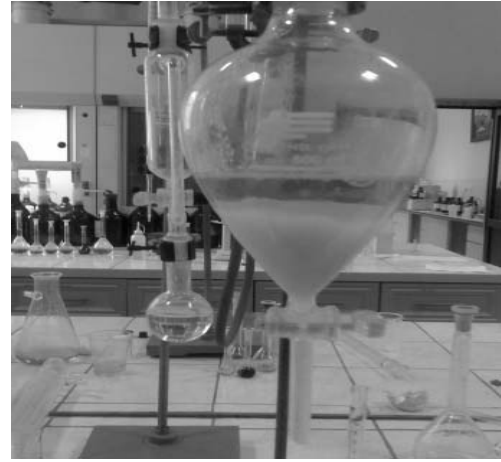
Bu sırada metil alkol ve KOH katalizörü de ayrı bir cam fanusta belirtilen değerlerde 30–40 °C'ta 30 dk. karıştırılarak reaksiyon için hazırlanmıştır.

Her iki hazırlığın tamamlanması sonucu tam karışım yapıp genel reaksiyon Şekil 3'te görüldüğü gibi 63±1 °C'ta sabit sıcaklıkta tutulup 3 saat boyunca reaksiyonun süreci devam ettirilmiştir.

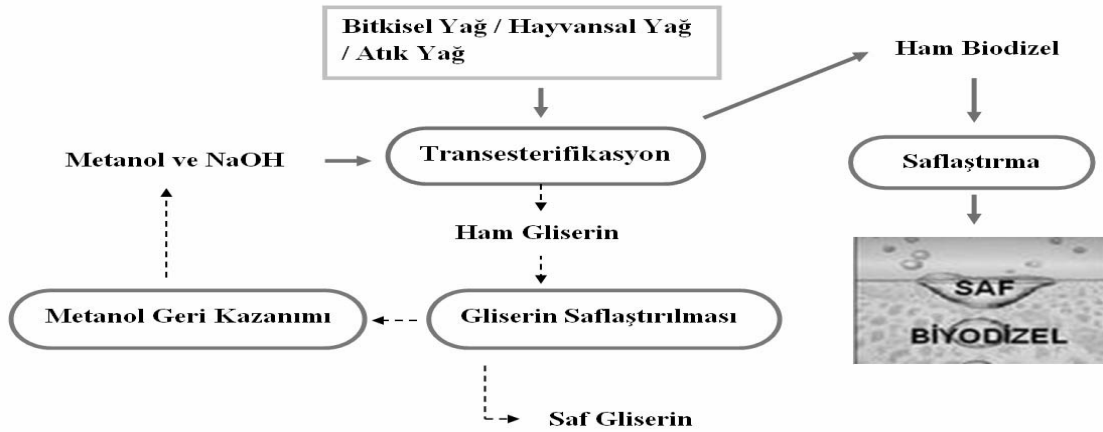
Reaksiyon sonucu elde edilen biyodizelin gliserinden ayrılması için yaklaşık 3-4 saat kadar beklendikten sonra alt fazda gliserin, üstte ise biyodizel fazı Şekil 4'te olduğu gibi görülmüştür.



Şekil 3 Deney Düzenegi



Şekil 4 Isıtma İşleminin Sonraki İlk 3 Saatleri İçerisindeki Durum



Şekil 5 Temel Transesterifikasyon Prosesi[14]



Şekil 6 Biyodizelin Son hali

Elde edilen biyodizel, kendi hacmi kadar sıcak saf su ile her defasında mevcut suyun %30 kullanılacak şekilde üç defa karıştırılarak yıkanmıştır. Bu işlemden sonra saf su, biyodizel ile aynı sıcaklıkta alınmıştır. Her su ilavesinden sonra faz ayrımı gözlenmiştir ve altta kalan su fazı ayırma hunisinin altından ayrılarak atılmıştır.

Mevcut deney işleminde kullanılan cihaz ve kimyasal malzemeler olarak;

- 2 Adet CHILTERN marka ısıtıcı,
- 2 Adet Cam Fanus (1000 ve 500 ml),
- 2 Adet Soğutucu,
- 2 Adet Beher,
- 1 Adet Ayırıcı Cam Fanus,
- 1 Adet Termometre,
- 1 Adet Magnet,

Özellikler	Petrol Dizeli (D2)	Biyodizel
Molekül Ağırlığı (g/mol)	120–320*	257.7
Alt Isıl Değer Kütesel,(kJ/kg)	42700*	38100
Yoğunluk, 15°C (kg/m ³)	820–860*	869
Kinematik Viskozite, 40°C,(mm ² /s)	2.5–3.5*	4.4
Kükürt İçeriği (%kütesel)	<0.05*	0

%99,7 Saflıkta Metil Alkol,
%99.2 saflıkta Potasyum Hidroksit kullanılmıştır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deney sonucunda deneyde kullanılan malzemelerin ağırlık bakımından belirtilen toplam değerlerin % 60 'ı kadar biyodizel üretildiği hesaplanmıştır. Hayvansal yağdan üretilen biyodizelin analizi yapılarak teknik değerlerinin dizel yakıtına yakın çıktığı ve literatür ile uyum içerisinde olduğu saptanmıştır.

Buna göre hayvansal metil esterinin dizel motorda kullanımı sonucu dizel yakıtı ile elde edilen performans değerlerine yakın olacağı tahmin edilmektedir.

Ayrıca soğuk iklim koşullarında başarılı bir şekilde dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesi için bulutlanma ve donma noktasının iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple yakıt içerisine anti jel madde karıştırılarak yakıtın jelleşmesi yani kristalleşmesinin önüne geçilmesi hedeflenmektedir. Bu durum Diyarbakır İli açısından değerlendirildiğinde, hava sıcaklığının mayıs-ekim ayları arasında yüksek olması bu yakıtın özellikle bu bölgedeki araçlar için önemini daha da arttırdığı görülmektedir. Diyarbakır İlinde yıllık kesilen toplam hayvan sayısı dikkate alındığında (iç yağ miktarı tahmini: 270 ton/yıl) yaklaşık bir hesaplama ile 50 ton biyodizel üretilebilecek bir potansiyelin mevcut olduğu görülmektedir. Entegre tesislerin kurulup biyodizelin üretilmesi büyük önem arz etmektedir. Üretilen Biyodizel ve petrol dizelin yakıt özellikleri çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3 Biyodizel ve petrol dizelin yakıt özellikleri[7*]

KAYNAKLAR

- (1) Karaosmanoğlu, F., (2002), "Türkiye için Çevre Dostu-Yenilenebilir Bir Yakıt Adayı: Biyomotorin", *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi*, ICCI 2002 Özel sayısı, İstanbul, 10: 50–56.
- (2) Artukoğlu, B.D., Haziran 2006, "Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- (3) www.ayargeb.kocaeli.edu.tr/Biyodizel.html
- (4) www.biodieselturk.org
- (5) Meher, L.C., Vidya Sagar, D., Naik, S.N., "Technical Aspect of Biodiesel Production by Transesterification – A Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1-21 (2004).
- (6) Karabektas, M., "Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 27-43 (2002).
- (7) www.eie.gov.tr
- (8) Ulusoy Y., (1999) Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, s. 6 – 11
- (9) Van Gerpen, V.J., Shanks, B., Pruszko, R., Clement, D., and Knothe, G., "Basic of Biodiesel Production", *Biodiesel Production Technology, NREL/SR-510-36244*, Colorado, 1-22 (2004).
- (10) Kaplan C., (2001) Ayçiçeği Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı, Bilim Uzmanlığı Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, s. 16 – 33
- (11) İçingür Y., Altıparmak D., (2003) Experimental Analysis Of The Effects Of Fuel Enjection Pressure And Fuel Cetane Number On Direct Injection Diesel Engine Emissions, *Turkish J. Eng. Env. Sci.* pp. 291 – 297
- (12) [ttp://biyodizelturkiye.com/2007071512/biyodizel-uretimi/biyodizel.html](http://biyodizelturkiye.com/2007071512/biyodizel-uretimi/biyodizel.html)
- (13) Emiroğlu, H., "Bir traktör modelinde yakıt olarak Değişik oranlarda biyodizel kullanımının motor karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniv. Fen Bil.Enstitüsü 2007.
- (14) *Biodiesel Handling and Use Guide*, (Fourth edition), NREL/TP–540–43672, 2008

KULLANIM SÜRESİ GEÇEN MAYONEZDEN BİYODİZEL ÜRETİMİ

Yüksel Abal¹, Kadir Arısoy¹, Enver Atik², Ramazan Gümüş¹

¹Celal Bayar Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, MANİSA

e-mail: yabali@yahoo.com, kadirarisoy@hotmail.com, ramazangumus47@yahoo.com

²Celal Bayar Üniversitesi mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, MANİSA

e-mail: enver.atik@bayar.edu.tr

ÖZET

Mayonez, başlıca yağ, protein, karbonhidrat içeren ve sofralarda lezzetlendirici olarak kullanılan bir üründür. Genellikle bir mayonez %60-80 oranında yağ içermekte bu oran kullanılan yağ cinsine göre değişiklik göstermektedir. Bunun yanında raf ömrü'nün çok uzun olmaması nedeniyle üretildikten kısa bir süre sonra tüketilmesi, tüketilmediği takdirde endüstriyel bir atık olacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuçta hem ekonomik bir kayıp olmakta hem de oluşan bu atığın değerlendirilememesi durumunda çevre sorunu baş göstermektedir. Bu aşamada mayonezin değerlendirilerek ekonomiye geri kazandırılması ve bir atık olmaktan çıkarılması gerekmektedir. Mayonezin içeriğindeki yüksek yağ miktarının mayonezden en iyi şekilde (en iyi verim ve en az maliyetle) ayrılarak değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla ilk akla gelen elde edilen yağın biyodizel üretiminde kullanılmasıdır. Bu çalışmada da atık mayonezin yağı alınarak, elde edilen bu yağdan biyodizel üretilmiştir.

Anahtar kelimeler: Mayonez, Biyodizel, Atık yağ değerlendirme

1.GİRİŞ

Fosil yakıtlarının azalması, ve oluşturdukları kirliliğin artması sonucu artık biyo yakıtlar daha cazip hale gelmiştir. Petrol rezervleri dünyanın belli bölgelerinde sınırlanmıştır. Fosil yakıt kaynakları gün geçtikçe azalmaktadır. Petrol rezervlerinin azaldığının bilinmesi yenilenebilir enerji kaynaklarını daha cazip hale getirecektir. Yıllar öncesinde Dr. Rudolph Diesel sebze yağlarını yakıt olarak kendi makinesinde test etti. Sebze yağlarının dizel yakıtlara göre ana avantajları; hazır elverişli olması, yenilenebilir olması daha az sülfür ve aromatik içerik ve doğadaki çözünürlüğüdür [1]-[6].

Mayonez, Fransız mutfağı kökenli soğuk bir sostur. Çiğ yumurta sarısı ve bitkisel yağ karışımından oluşur. Sürekli çırpılan yumurta sarılarına koyu bir kremaya dönüşüncüye değin yavaş yavaş yağ eklenmesiyle elde edilir. Limon suyu, hardal ya da sirke ile tatlandırılan bu bileşim, *mayonnaise verte* (yeşil sebze pürelisi), *sauce remoulade* (ançüez, tuşu ve kaparili), *sauce aioli* (bol sarmısaklı Provans mayonezi), *Bin Adalar* (Thousand Islands) ve Rus usulü salata sosları gibi çok sayıda mayonez türünün temelini oluşturur. Mayonez terimi, üzerine bu sosun bulunduğu soğuk yemekler ve salatalar için de kullanılır.

Mayonez hazırlanırken içerisine yumurta sarısı, limon, zeytinyağı, un, hardal, tuz, karabiber katılmaktadır. Burada asıl önemli olan yumurta sarısının mayonez içindeki görevidir. Yumurta sarısı içeriğindeki lesitin maddesiyle emülgatör olarak

kullanılmakta ve yağın mayonez içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını sağlamaktadır. Bunun sonucunda emülsifiye bir mayonez elde edilmektedir.

Tablo.1. Mayonezin içeriği

Protein (g)	0.2
Yağ (g)	84.09
Karbonhidrat (g)	2.08
Enerji (Kcal/kj)	752/3146

Mayonezin bileşimi tablo.1 de verilmiş olup, yaklaşık olarak %70-80 oranında yağ içermektedir. Kullanım tarihi geçmiş atık bir mayonez uygun emülsiyon kırıcılarla bozundurulmuş yağ tekrar elde edilebilir.

Emülsifiye yağın serbest forma dönüşmesi için emülsiyon kırıcı maddelerin ilavesi veya ısıtma işlemi yapılır. Kırılan emülsiyonlar, daha sonra serbest yağ gravite, koagülasyon veya havalı yüzdürme ile tutulur. Emülsiyonun kırılması kompleks bir proses olup pratik uygulamadan önce laboratuvar veya pilot ölçekli deneylerin yapılması gerekir.

Emülsiyon kırmada birçok teknik kullanılabilir. Örneğin deterjan ile 5-60 dk'da ve %95-98 oranında parçalanabilir. Emülsiyon ortamı asidik yapılarak (sülfirik asit v.b.), alum veya demir tuzları eklenerek, bazı organik bazlı ürünler veya emülsiyon kırıcı polimerler kullanılarak kırılabilir. Ancak alum



veya demir tuzları çok çamur oluşmasına neden olur. [12]

Emülsifiye yağ içeren atıklar da koagülasyonla çöktürülebilirler. Emülsiyondaki yağ parçacıkları yaklaşık 0,01 µm'dir ve adsorblanan iyonlarla stabilize olurlar. Sabunlar da emülsiyon oluştururlar.

Bu çalışmada önce atık mayonezden yağ elde edilmiş olup, elde edilen yağ klasik biyodizel üretim reaksiyonu ile biyodizele dönüştürülmüştür.

2. BİYODİZEL VE ÜRETİMİ

Bitkisel yağdan biyodizel elde etme işlemine transesterifikasyon denmektedir. Transesterifikasyon işlemi; bir esterlin bir başka estere dönüştürülmesidir. Ester; bir başka moleküle bağlanabilen hidrokarbon zinciridir.

Bir bitkisel yağ molekülü, gliserin molekülüne bağlanmış üç esterden oluşmaktadır. Bitkisel yağ moleküllerine trigliserit ya da gliserol esterleri de denmektedir. Burada "tri" ifadesi üç esteri, "gliserit" ifadesi ise gliserini tanımlamaktadır.

Bitkisel yağların, yaklaşık %20'si gliserinden, diğer bir ifadeyle gliserol veya gliserit'ten oluşmaktadır. Gliserin, bitkisel yağa kalınlık ve yapışkanlık özelliğini vermektedir.

Transesterifikasyon işlemi, yağa incelik kazandırabilmek ve vizkozitesini azaltabilmek amacıyla gliserinin bitkisel yağdan uzaklaştırılmasıdır. Bu proses esnasında, bitkisel yağın gliserin komponenti bir alkol (etanol alkolü veya metanol alkolü) ile yer değiştirmektedir. Etanol, tahıllardan elde edilen bir alkoldür. Metanol ise, kömür, doğal gaz veya odundan elde edilmektedir. Genellikle daha stabil bir biyodizel reaksiyonu sağlayan metanol alkolü etanole tercih edilmektedir. Diğer yandan metanol kauçuk maddeleri çözebilme özelliğine sahip oldukça agresif bir alkoldür ve yutulduğu takdirde öldürücü olabilmekte ve muhafazası çok dikkat gerektiren bir maddedir.

Metil esterler, metanol ve bitkisel yağ esterlerinden elde edilen biyodizeli ifade etmektedirler. Etil esterler ise, etanol ve bitkisel yağ esterlerinden elde edilen biyodizeli ifade etmektedirler. Alkilester terimi ise daha genel bir tanım olup bitkisel yağ esterleri ile herhangi bir alkol bileşimini ifade etmektedir. Hangi alkol veya hangi bitkisel yağ kullanılırsa kullanılsın biyodizel reaksiyonu her zaman için trigliserit molekülünü üç ester ve bir gliserin molekülüne ayrıştırma ve her bir ester molekülünün bir alkol molekülüne bağlanmasıdır ve bu sayede bir trigliserit molekülünden üç alkil ester molekülü elde edilmektedir.

Trigliseritlerin kırılabilmesi için bitkisel yağ içerisine "katalizator" eklenmektedir. Katalizator,

reaksiyonu başlatan bir maddedir. Biyodizel reaksiyonunda katalizator olarak kullanılacak maddeler; sodyumhidroksit (NaOH) veya potasyumhidroksit (KOH)'tir. Sodyumhidroksit, çoğunlukla kostik soda olarak ta adlandırılan beyaz bir maddedir ve bulunmadığı durumlarda potasyum hidroksit te kullanılabilir. Biyodizel üretiminde kullanılan katalizatorler, trigliseritleri kırarak esterlerin serbest hale gelmesini sağlamaktadırlar. Serbest hale geçen esterler daha sonra alkol ile birleşebilmektedirler. Katalizator ise gliserit ile birleşerek reaksiyon tankının dibine çökeltmektedir. Biyodizel reaksiyonu sonuç olarak; alkil esterler ve gliserin sabunu üretmektedir.

Bitkisel yağlar asidik özelliklidir, diğer bir deyişle pH değerleri 7'nin altındadır. Reaksiyona giren alkol ve katalizator ise bazik özelliklidir yani pH değeri 7'nin üzerindedir. Biyodizel reaksiyonu işte bu iki bazik ve bir asidik madde arasında gerçekleşmektedir. Bu nedenle reaksiyona dahil edilecek katalizator madde, karışım pH'sının 8 ile 9 arasında olmasını sağlayacak miktarda olmalıdır.

Bilindiği gibi, kullanılmış kızartma yağları kızartma veya ısıtma işlemleri sonucunda ortaya çıkan serbest yağ asitleri nedeniyle yeni rafine edilmiş bitkisel yağlara göre daha asidik özelliklidir. Biyodizel üretiminde bu serbest yağ asitlerinin elimine edilmesi ve bunun için de daha fazla miktarda katalizator madde kullanılması gerekmektedir. Projede öngörülen biyodizel üretiminde, başka bir ifadeyle transesterifikasyon prosesinde sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirildi.

3. DENEYSEL KISIM

3.1. Atık Mayonezden Yağın Geri Kazanılması

Burada amaç en az kimyasal kullanarak en iyi verimle atık mayonezden yağın elde edilmesidir. Atık mayonezden yağın geri kazanılması için dört farklı yöntem denenmiştir bunlar:

1-Mayonezin propanol ve H₂SO₄ ile ısıtılarak muamele edilmesi ile elde edilen yağ,

2-Mayonezin deterjan ve yine H₂SO₄ ile ısıtılarak muamele edilmesi ile elde edilen yağ,

3-Mayonez in NaOH ve propanol alkol ile ısıtılarak muamele edilmesi ile elde edilen yağ,

4-Mayonezin bir miktar ısıtılmış kızgın yağ ile ısıtılarak muamele edilmesi sonucu elde edilen yağlardır

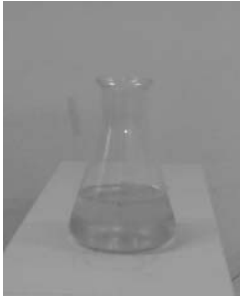
Buradaki yöntemlerden en uygun olanı (az muamele ve kimyasal ilavesiyle fazla miktarda yağ elde edilmesi işlemi) 4. maddede yapılan işlemlerdir.

Bu uygulama şöyle gerçekleştirilmiştir:

10 gr yağ alınarak bir beherde yaklaşık 100°C ye kadar ısıtıldı. Daha sonra karıştırmak suretiyle azar azar 100 gr mayonez eklendi. Mayonezin tamamı eklendikten sonra ısıtma (100°C) ve karıştırma işlemine beherin alt kısmında bir küspe oluşana kadar yani yağ tamamen mayonezden ayrılana kadar devam edildi. İyi bir süzme ile açığa çıkan yağ küspeden ayrıldıktan sonra yağ saf olarak elde edildi. Eğer elde edilen yağ bulanık ise 100°C rengi açılana kadar ısıtma işlemi yapılmalıdır. Elde edilen yağ miktarı 100 gr mayonez için en az 65 gr yani %65 dir.



Resim.1.Mayonezden yağ kazanımı (4. uygulama)



Resim.2. Atık Mayonezden elde edilen yağ

Burada yapılan ısıtma işlemi, mayonezin emülsifiye yapısını bozarak yağı mayonezden ayırmaktadır. Başlangıçta kullanılan yağ ise bir organik çözücü gibi davranmakta ısıtma işlemi ile sürekli açığa çıkan yağı bünyesine katarak bir araya toplamaktadır.

Bu yöntemin avantajları şunlardır:

- Emülsiyon kırıcı olarak sadece ısıtma işlemi yapıldığından diğer emülsiyon kırıcı kimyasal maddeler kullanılmamakta ve elde edilen yağ olabildiğince saf olmaktadır.
- Emülsiyon kırıcı kimyasal maddeler kullanılmadığı için elde edilen yağdan bu

maddelerin uzaklaştırılması gibi ek maliyet gerektiren bir durum söz konusu değildir. Yani oldukça ekonomiktir.

- Geri kazanılan yağ %65 gibi oldukça yüksek bir rakamdır.
- Bu yöntemde yağı organik çözücülerle uzaklaştırmaya gerek yoktur süzme işlemi ile ayırmak yeterlidir. Organik çözücülerin kullanılmaması yine bir ekonomik avantajdır.

Mayonezin bir miktar ısıtılmış kızgın yağ ile ısıtılarak muamele edilmesi sonucu emülsiyonun kırılarak yağın geri kazanılması, yukarıda saydığımız avantajlarından dolayı en kullanışlı ve en ekonomik yöntemdir.

3.2.Elde Edilen Yağdan Biyodizelin Üretilmesi

Elde edilen yağın öncelikle asitliği hesaplandı.Yağdan 1g alınarak 10 ml izopropilalkol (İPA) içerisinde çözüldü ve üzerine fenolfitaleyin indikatörü ilave edilerek, ‰'lik NaOH ile titre edildi titrasyon sonucunda 1 ml'lik bir sarfiyat okundu. Yani yağın oleik asit cinsinden asit değerinin 1 olduğu bulundu.

Katalizör miktarının hesaplanması:

1,0 asit \longrightarrow ‰ 3,5 + 1,0 = ‰ 4,5 katalizör eklenmeli

1000 ml yağ 4,5 gr NaOH
100 ml de $\frac{4,5}{10} = x$
x = 0,45 gr

0,45 gr NaOH 20 ml metanol içerisinde çözülerek 4.denmeden elde edilen yağdan biyodizel yapımında kullanılacak metoksit çözeltisi hazırlandı.

Reaksiyon Kimyasallarının Karıştırılması



Resim.3.Kimyasalların Karıştırılması

100 ml yağ + 20 ml metoksit → biyodizel + gliserin

İşlem Sırası:

- 100 ml yağ 50°C'ye kadar ısıtıldı.
- 20 ml sodyum metoksit çözeltisi sıcak yağa ilave edildi ve oluşan karışım sıcaklık 60°C'yi geçmeyecek şekilde yaklaşık 1 saat ısıtılarak karıştırıldı. Burada metil alkol 60°C'de buharlaştığı için ısıtılma sırasında

reaksiyonun tam olarak gerçekleşmesi için bu sıcaklık değeri aşılmamalıdır.

- 1 saat sonunda karışım ayırma hunisine alındı ve ayrılma işleminin tamamlanması için yaklaşık 5-6 saat kadar beklendi.

Gliserinin Ayrılması



Resim.4. Gliserinin Biyodizelden ayrılması

Reaksiyon sonucu elde edilen biyodizelin iyi bir şekilde gliserinden ayrılması için yaklaşık 5-6 saat kadar beklendikten sonra altta gliserin, üstte ise berrak biyodizel fazı şeklinde olduğu gibi görüldü. Gliserin fazı ayırma hunisinin alt tarafından alınarak biyodizel elde edildi.

Biyodizelin Saflaştırılması (Biyodizelin yıkanması)



Resim.5. Biyodizelin yıkanması işlemi

Elde edilen biyodizel, kendi hacmi kadar sıcak saf su ile her defasında bu suyun %30 kullanılacak şekilde üç defa karıştırılarak yıkandı. Her su ilavesinden sonra faz ayrımı gözlemlendi ve altta kalan su fazı ayırma hunisinin altından ayrılarak atıldı. Üçüncü yıkama sonunda yıkama suyunun pH'ı 7 olmalıdır. Eğer pH = 7 olmadıysa 7 olana kadar yıkama işlemine devam edilmelidir. Burada dikkat edilecek diğer bir husus ise yıkama suyunun sıcaklığı ile biyodizelin sıcaklığının birbirine yakın olmasıdır. Aksi takdirde bulanıklık gözlenir.

4.SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada hazır bitkisel yağlardan daha ziyade çevrenin korunması ve ekonomik kaybın önlenmesi için yağ içeren atıkların değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur. Çalışmalar sonucunda atık mayonez üzerinde çeşitli uygulamalar yapılarak yağ geri kazanılmıştır. Elde edilen yağdan ise biyodizel üretilerek viskozite, yoğunluk, ve alevlenme noktası gibi önemli analizleri yapılmış, analiz sonuçları biyodizel standartları ile karşılaştırılmıştır.

Günümüzde içten yanmalı motorlarda, benzin ve dizel gibi fosil kaynaklı yakıtlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında her geçen gün artan petrol fiyatları ve fosil yakıtların çevreyi kirletmesi ilgiyi yenilenebilir ve temiz yakıtlara yöneltmiştir. Bu nedenle çalışmalar, artık yenilenebilir enerji kaynakları ve bunların değerlendirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

Yenilenebilir kaynaklardan üretilen çevreci yakıtlar incelendiğinde bitkisel kaynaklı yağların, bunların üretilmesinde büyük pay sahibi olduğu görülmektedir. Bu nedenle tarım ülkesi olan Türkiye, bitkisel yağların üretilmesi konusunda büyük bir potansiyele sahiptir. Bitkisel yağların üretilmesinin yanında bunların yüksek oranda yağ içeren atıklar(kullanım tarihi geçmiş mayonez, kanalizasyon suları v.b.) dan geri kazanımı da gereklidir. Çünkü, geri kazanılan atıklardan elde edilen yakıtlar hem çevrenin korunmasını hem de bu atıkların ekonomiye kazandırılarak dışa bağımlılığın azaltılmasını sağlar. Bu noktada biyodizel üretimi petrol üretimi yetersiz fakat bitkisel yağların üretimi konusunda zengin olan ülkemizde büyük bir öneme sahiptir.

Biyodizelin özelliklerini ve yapılmış olan analizler ile kıyaslamalı bazı bilgiler aşağıda tablolar halinde verilmiştir.

Tablo.2.Biyodizel ile Petrol dizelinin ASTM standartlarında karşılaştırılması

Özellikler	Test metodu	ASTM D975 (petrol dizeli)	ASTM D6751 (biyodizel, B100)
Parlama noktası	D 93	325 K	403 K
Su ve Tortu	D 2709	0.05 max. % hacim	0.05 max. % hacim
Kinetik vizkozitesi (313 K)	D 445	1.3–4.1 mm ² /s	1.9–6.0 mm ² /s
Sülfat Külü	D 874	-	0.02 max % wt
Kül	D 482	0.01 max % wt	-
Sülfür	D 5453	0.05 max % wt	-
Bakır korezyonu	D 130	3 max	3 max
Setan sayısı	D 613	Min. 40	Min. 47
Aromatiklik	D 1319	35 max % hacim	-
Karbon kalıntısı	D 4530	-	0.05max% Küttele
Karbon kalıntısı	D 524	0.35 max% Küttele	-
Destilasyon sıcaklığı (%90 oranında geri kazanılmış)	D 1160	555 K min–611 Kmax	-

Tablo.3.Biyodizelin Genel özellikleri

Genel Adı	Biyodizel
Kimyasal adı	Yağ asidinin metil esteri
Kimyasal formül uzunluğu	C ₁₄ -C ₂₄ metil ester ya da C ₁₅₋₂₅ H ₂₈₋₄₈ O ₂
Kinematik viskozitesi (mm ² /s, at 313 K)	3,3 – 5,2
Yoğunluk aralığı (kg/m ³ , at 288 K)	860 – 894
Kaynama noktası (K)	>475
Parlama noktası (K)	420 – 450
Destilasyon sıcaklığı (K)	470 – 600
Buhar basıncı (mm Hg, at 295 K)	<5
Suda çözünürlüğü	Suda çözünmez
Fiziksel özellikleri	Açık-koyu sarı, Berrak sıvı rengi
Koku	Hafif küf ve sabun kokulu
Biyolojik parçalanabilirliği	Petrol dizeline göre parçalanabilirliği yüksektir
Reaktifliği	Kararlıdır (Güçlü oksidasyonlara karşı kararlılığını yitirir)

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonunca 2006-097 no'lu proje olarak desteklenmiş olup proje kapsamında CBÜ Kimya Bölümüne Biyodizel Pilot Tesisi kurulmuştur. Desteklerinden dolayı CBÜ BAP Komisyonuna teşekkürü bir borç biliriz.

5.KAYNAKLAR

- [1] **Sensoz S, Angin D, Yorgun S.** Influence of particle size on the pyrolysis of rapeseed (*Brassica napus* L.): fuel properties of bio-oil. *Biomass Bioenergy* 2000;19:271–9.
- [2] **Sheehan J, Cambreco V, Duffield J, Garboski M, Shapouri H.** An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles. A report by US Department of Agriculture and Energy, Washington, DC; 1998. p. 1
- [3] **Shay EG.** Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities. *Biomass Bioenergy* 1993;4:227–42.
- [4] **Goering E, Schwab W, Daugherty J, Pryde H, Heakin J.** Fuel properties of eleven vegetable oils. *Trans ASAE* 1982;25:1472–83. 1149.

- [5] **Prof.Dr.Kamil Okyay SINDIR** ,Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi
- [6] **Ayhan Demirbaş,** Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Conversion and Management* 50 (2009) 14–34
- [7] **Demirbas A.** Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy Policy*,2007;35:4661–70.
- [8] **Prof. Dr. Koçar G., Öğr. Gör. Demir B.,** “Biyodizel”, *Tübitak – Bilim ve Teknik Dergisi*, Cilt ??, No ?, 36-41, 2006
- [9] **Kavalcı D.,** Bazı Bitkisel Kökenli Alternatif Yakıtların Dizel Motorlarda Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2001
- [10] **Öğr. Gör. Oğuz H., Prof. Dr. Ögüt H.,** “Tarım Traktörlerinde Bitkisel Kökenli Yağ ve Yakıt Kullanımı”, *Selçuk - Teknik online Dergisi*, Cilt 2, No 2, 2001
- [11] **Doç. Dr. Abalı Y.,** Arş. Gör. Dr. Aslan A., Arş. Gör. Dr. Zeybek S., Arş. Gör. Dr. Özer M.S., Uzman Süner Ü., Uzman Süner C., *Endüstriyel Kimya – II Laboratuvarı, Manisa, 2003*



FOTOVOLTAİK -YAKIT PİLİ BİRLEŞİK SİSTEMİNİN DENEYSSEL İNCELENMESİ

İsmail HİLALİ

M.Azmi AKTACİR

Bülent YEŞİLATA

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Osmanbey Kampüsü, 63000 Merkez, Şanlıurfa,
ihilali@harran.edu.tr aktacir@harran.edu.tr byesilata@harran.edu.tr

ÖZET

Günümüzde fotovoltaik (PV) sistemler hızla yaygınlaşmasına karşın, kullanımlarındaki en önemli sınırlamalardan biri üretilen elektrik enerjisinin depolanmasındaki zorluklardır. PV sistemler bu sınırlama nedeniyle, güneş enerjisi potansiyeli düşük bölgelerde sadece yaz mevsimlerinde ve güneşli saatlerde kullanılmaktadır. Küçük güçte bir elektriksel yük için ise enerji depolamada bataryalı PV sistemler kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde; genellikle güneşli saatlerde PV sistem tarafından üretilen enerjinin kullanılmayan kısmı bir batarya grubunda depolanmakta ve güneşin bulunmadığı saatlerde kullanılmaktadır. Ancak, bataryalı sistemlerde büyük miktarlarda enerji depolamanın maliyeti çok yüksek olduğu gibi, uzun süreli depolama mümkün değildir. Fotovoltaik ve yakıt pili birleşik sistemi (PV-FC); bu depolama sakıncalarını büyük ölçüde ortadan kaldıran bir çözüm olarak günümüzde en iyi alternatiflerden biri olarak kabul edilmektedir. Kısa ve uzun süreli enerji depolamanın her ikisi için de uygun sistem dizilişleri oluşturmak mümkündür. Bu çalışmada, Harran Üniversitesi Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi bünyesinde kurulumu tamamlanan PV-FC sistemi incelenmiştir. Sistem bileşenlerine ait detaylı bilgiler ile sistem üzerinde gerçekleştirilen bazı deneysel ölçümlere ait veriler, bu çalışma da sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Panel, Hidrojen, Yakıt Pili

1. GİRİŞ

Türkiye tükettiği enerjiyi büyük oranda ithal eden ve bu anlamda dışa bağımlı bir ülke konumundadır. Buna paralel olarak yıllık enerji talebi de artarak devam etmektedir. Türkiye'nin enerji istatistiklerine bakıldığında bu durum açık olarak görülmektedir. Türkiye'nin 2005 yılında 162 TWh olan elektrik enerjisi üretimi, 2006 yılında %8.7 artışla 176 TWh'e yükselmiştir [1]. 2005 yılı verilerine göre elektrik üretiminin %75'i fosil kaynaklı yakıtlardan, %24'ü hidrolik güçten geri kalan %1'lik kısım rüzgar başta olmak üzere jeotermal ve biokütleden elde edilmiştir [2]. Bu verilere bakıldığında, Türkiye'nin fosil yakıtlara olan bağımlılığının azaltılması ve muhtemel enerji darboğazından kurtulması için yerli, temiz ve güvenilir enerji kaynaklarına yönelmesi kaçınılmaz olarak görülmektedir. 2001-2003 yılları arasında TÜBİTAK tarafından oluşturulmuş Vizyon 2023 Enerji ve Doğal Kaynaklar Paneli tarafından, Türkiye Cumhuriyeti'nin kuruluşunun 100. yılında, enerji teknolojileri alanında öncü ülke konumuna gelmesini sağlamak için yapılması öngörülen "Araştırma ve Teknoloji Geliştirme" faaliyetleri içeren bir rapor hazırlanmıştır. Bu kapsamda belirlenen **öncelikli teknolojik faaliyet** konuları arasında, güneş enerjisi kullanılarak elektrik üretimi, hidrojen yakma teknolojilerin geliştirilmesi ve ulaşım araçlarında, güç üretim tesislerinde ve elektronik cihazlarda kullanılacak yakıt pilleri üretimi bulunmaktadır. [3]. Bu kapsamda oluşturulan enerji vizyonuna uygun olarak, güneş enerjisi ile hidrojen enerjisinin birlikte kullanıldığı fotovoltaik-yakıt pili birleşik sistemi

Türkiye açısından oldukça önemli bir yer almaktadır. Türkiye'nin en büyük kalkınma projesi olan GAP'ın merkezinde ve Türkiye'nin en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip ili Şanlıurfa'da bulunan Harran Üniversitesi'nde başlatılan çalışmalardan biri de PV-FC birleşik sistemidir. Bu çalışmada, Türkiye açısından önem arz eden fotovoltaik sistemler ile hidrojen yakıtlı yakıt pillerinin ortak kullanıldığı bir enerji sisteminde gerçekleştirilen deneysel çalışma irdelenecektir.

2. PV-FC SİSTEMİ

Gelişen, sanayileşen ve her geçen gün enerji ihtiyacı artan dünyamızda, enerjiye olan artan talep gittikçe ciddi sorunlar oluşturmaya başlamıştır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için yeni teknolojiler kullanarak enerji tüketimini azaltan ve etkin kullanabilen sistemler oluşturulurken enerji kaynaklarını çeşitlendirerek alternatif enerji kaynaklarına yönelilmektedir. Bu sistemlerin başında verim ve maliyet açısından çok cazip olmayan fotovoltaik sistemler gelmektedir. Günümüzde fotovoltaik sistemler hızla yaygınlaşmasına karşın, kullanımlarındaki (yüksek maliyeti dışında) en önemli sınırlamalardan biri üretilen elektrik enerjisinin depolanmasındaki zorluklardır. PV sistemler bu sınırlama nedeniyle, güneş enerjisi potansiyeli düşük bölgelerde sadece yaz mevsimlerinde ve güneşli saatlerde kullanılmaktadır. Küçük güçte bir elektriksel yük için ise enerji depolamada bataryalı PV sistemler kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde; genellikle güneşli saatlerde PV sistem tarafından üretilen



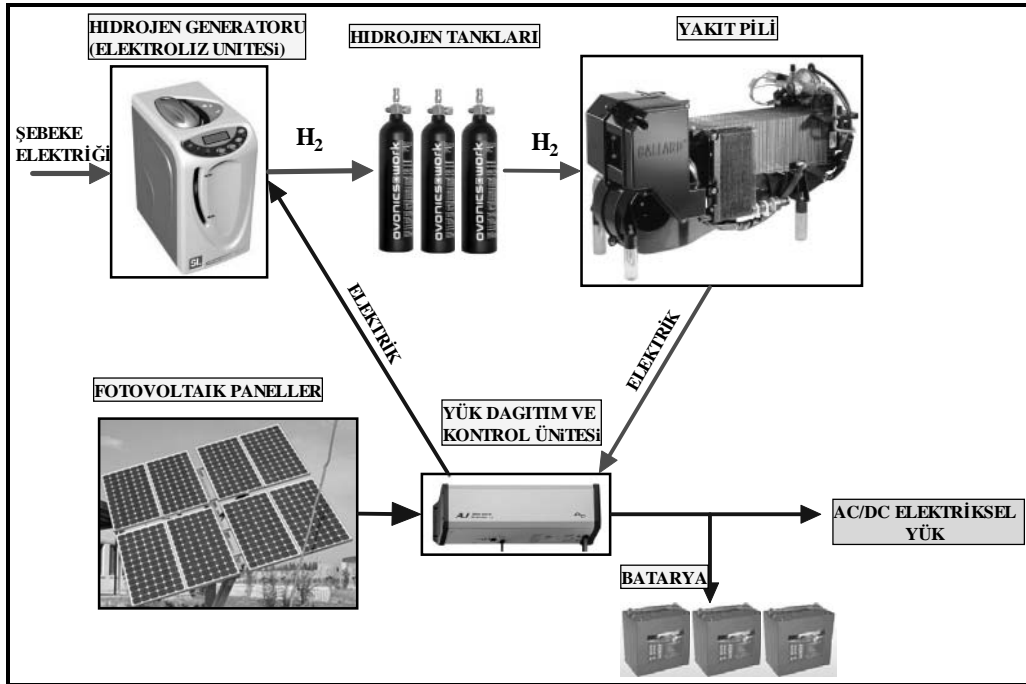
enerjinin kullanılmayan kısmı bir batarya grubunda depolanmakta ve güneşin bulunmadığı saatlerde (ya da geceleri) kullanılmaktadır. Ancak, bataryalı sistemlerde büyük miktarlarda enerji depolamanın maliyeti çok yüksek olduğu gibi, uzun süreli (örneğin mevsimlik) depolama mümkün değildir. Ayrıca, klasik (örneğin araçlarda kullanılan basit çevrimli) bataryalardan oluşmuş bir sistemde depolanan enerjinin sadece %20-30 kısmı çekilebilmekte ve batarya ömrü çok kısa (1-2 yıl) olmaktadır. Özel olarak tasarlanmış genişletilmiş çevrime sahip bataryalarda çalışma ömrü daha uzun (yaklaşık 5 yıl) ve enerji çekilme oranı daha yüksek (yaklaşık %80) olmasına karşın, maliyet çok yükselmektedir [4].

Bu noktada üzerinde çok çalışılan hidrojen enerjisinin fotovoltaiik sistemlerle beraber çalıştırılması üzerinde durulmuş ve bu alanda birçok çalışmalar yapılmıştır. Fotovoltaiik (PV) ve yakıt pili (FC) birleşik sistemi; bu depolama sakıncalarını büyük ölçüde ortadan kaldıran bir çözüm olarak günümüzde en iyi alternatiflerden biri olarak kabul edilmektedir. Kısa ve uzun süreli enerji depolamanın her ikisi için de uygun sistem dizilişleri oluşturmak mümkündür [5]. Bu konfigürasyonlara ait temel üniteler/cihazlar PV panel, elektroliz ve yakıt pildir. Konfigürasyonda PV modüller tarafından üretilen enerjinin elektriksel yük için gerekli miktardan fazlası ile çalıştırılan elektroliz ünitesinden elde edilen hidrojen depolanmaktadır. Bu tür bir sistemde,

kontrol ünitesi güneşin olmadığı saatlerde yakıt pili ünitesini çalıştırmaktadır. Böylece depodan çekilen hidrojen ile anlık elektrik enerjisi yakıt pilinden elektriksel cihaza gitmektedir. Deponun yeterince büyük seçilmesi durumunda ise aynı sistem yaz aylarında hidrojen depolayıp, kış aylarında elektrik enerjisi gereksinimi için kullanılabilir [6,7]. Ayrıca PV destekli Hidrojen enerjili hibrid sistemlerin kullanılması, kırsal yerleşim yerlerinde kendi kendine enerji ihtiyacını karşılayabilecek yeterliliğe sahip olması açısından önemli bir alternatiftir. [4]

3. DENEY DÜZENEGİ VE BİLEŞENLERİ

Fotovoltaiik -yakıt pili birleşik sistemi, Harran Üniversitesi Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında kurulmuştur. Sistem genel olarak PV sistemi, hidrojen üretici ve depolama ünitesi ve yakıt hücresinden oluşmaktadır. Bu sistemi oluşturan elemanlar ve akım şeması şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği gibi, PV'de üretilen elektrik enerjisi hidrojen üreticisine verilir. Burada bulunan elektroliz ünitesinde deiyonize sudan üretilen hidrojen, metal hidrid tanklara gönderilir. Hidrojen tanklarında biriken hidrojen çalışma basıncına ulaştığında yakıt piline gönderilerek, elektrik enerjisi elde edilmesinde kullanılır.



Şekil 1. Fotovoltaiik -yakıt pili birleşik sistemi elemanları ve akım şeması

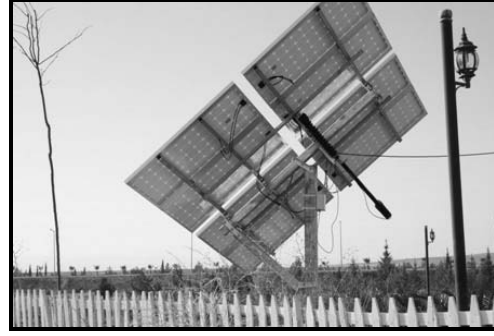
3.1 Güneş İzleyicili PV Modül Sistemi ve Enerji Dönüşüm Elemanları

PV-FC birleşik sistemi için oluşturulan PV modülünde 8 adet 24 V/175 W Sharp güneş paneli

kullanılarak, 1.4 kWp kapasite elde edilmiştir (Şekil 2) [8]. PV modülü Etatrack 1500 güneş izleme sehpa üzerine monte edilerek, güneş enerjisinden daha fazla yararlanılmıştır. Güneş izleme sisteminin hareketi için

gerekli enerji üzerinde bulunan 5W'lık bir panelden sağlanmaktadır [9]. PV panelin standart test koşullarındaki (AM 1.5, 25°C ve 1000 W/m²) teknik

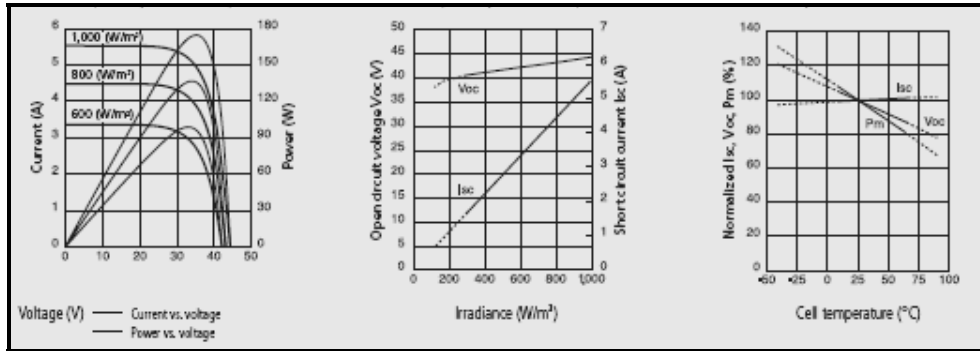
özellikleri ve akım-güç-gerilim karakteristikleri tablo 1 ve şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 2. Güneş izleyicili 1.4 kWp (8x175 W) güce sahip PV modül sistemine ait görüntüler

Tablo 1. PV panel teknik özellikleri [8]

Elektriksel ve Optik Data	Maksimum Güç	175 W	Panel Boyutu	Boy	1575 mm
	Panel verimi	% 13.5		Genişlik	826 mm
	Maksimum Güç Voltajı	35.4 V		Kalınlık	46 mm
	Maksimum Güç Akımı	4.95 A		Ağırlık	17 kg
	Açık Devre Voltajı (V _{oc})	44.4 V	Hücreler	Hücre sayısı	72-seri
	Kısa Devre Akımı (I _{sc})	5.4 A		Hücre	Monokristal
	V _{oc} sıcaklık katsayısı	-156		Hücre şekli	Dikdörtgen
	I _{sc} sıcaklık katsayısı	0.053 %/°C		Alan	125.5 mm ²
	P _m sıcaklık katsayısı	-0.485	Sıcaklık Aralığı	Çalışma	-40 ile 90 °C
	Maksimum Sistem Voltajı	1000V DC		Depolama	-40 ile 90 °C



Şekil 3. PV panel Akım-güç-gerilim karakteristikleri [8]

PV modüller vasıtasıyla üretilen DC elektriğin depolanması ve gerektiğinde AC elektriğe dönüşümü için sistemde 8 adet bataryadan oluşan batarya bank

(12V/65Ah) ve 2 adet inverter kullanılmıştır. Bunlara ait görüntüler şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Inverter ve bataryalara ait görüntüler

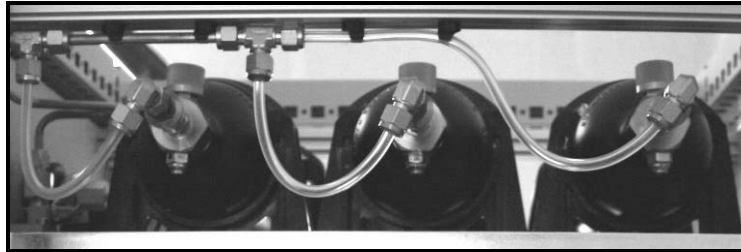
3.2 Hidrojen Üretici ve Hidrojen Depolama Tankları

PV modüller tarafından üretilen elektrik enerjisi ile çalıştırılan hidrojen üreticiden (elektroliz ünitesi) elde edilen hidrojen, metal hidrid tanklarda depolanmaktadır. Şekil 5'de görülen Hidrojen üretici

Helocentris marka PEM (Proton Exchange Membran) tipi olup 30 lt/h kapasiteye sahiptir. Helocentris marka metal hidrid Hidrojen tankları 3 adet olup her biri maksimum 900 l hacminindedir (Toplam 2700 l)[10].



(a)



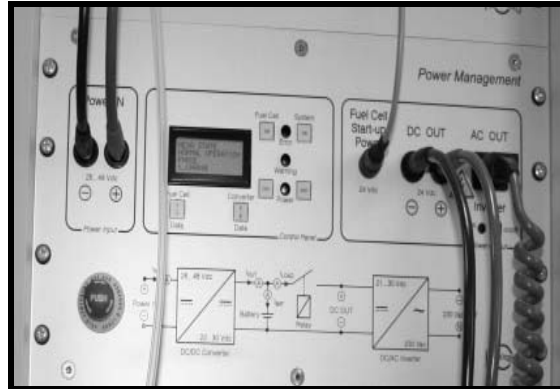
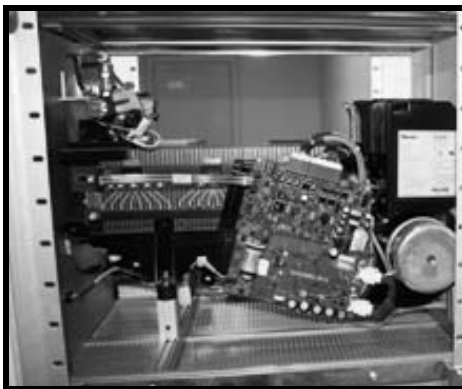
(b)

Şekil 5.(a) Hidrojen üretici (b) Hidrojen tankları

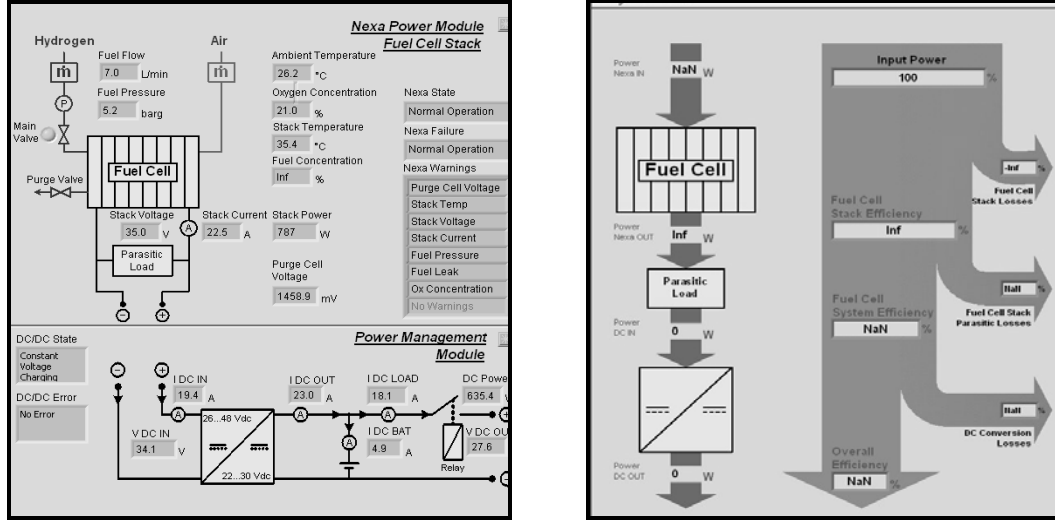
3.3 Yakıt Pili ve Enerji Yönetim Ünitesi

Metal hidrid tanklarda depolanan hidrojen, yakıt pilini çalıştırmada kullanılmaktadır. Şekil 6'da görülen yakıt pili PEM tipi olup 43 hücrelidir. Yüksüz halde her bir hücre 1 Volt, tam Yükte 0.5 Volt gerilim üretir. Sistem çalışırken bütün hücreler ile ilgili

parametreler haberleşme kartları ve yazılım sayesinde izlenir (Şekil 7). Üretilen enerjinin istenilen DC ya da AC elektrik yüklerini tahrik etmesi sistemde bulunan Enerji Yönetim Modülü tarafından sağlanmaktadır. Yakıt pili ve enerji yönetim modülüne ait özellikler Tablo 2 de verilmiştir.



Şekil 6. Nexa marka PEM tipi yakıt pili (1.2 kWp) sistemi ve enerji yönetim modülü



Şekil 7. Yakıt Pili Kontrol ekranı

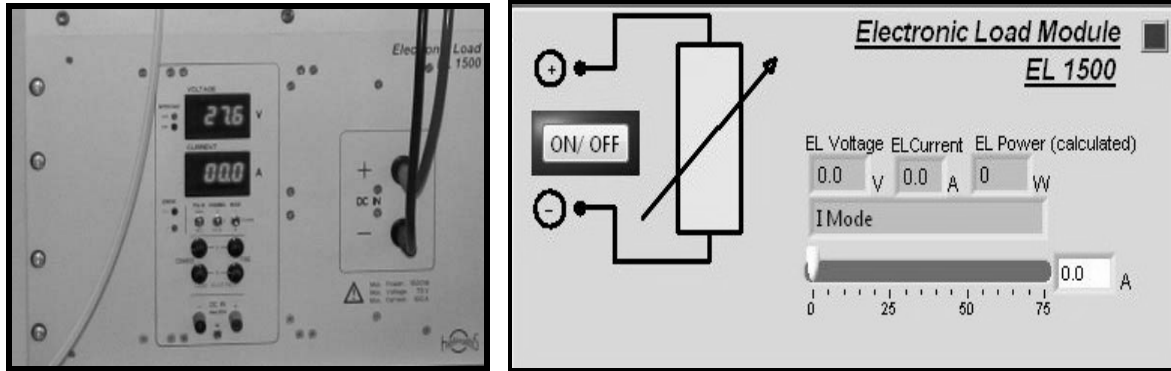
Tablo 2. Yakıt pili ve Enerji yönetim modülü teknik özellikleri

Yakıt pili özellikleri (Nominal koşullarda)		Enerji Yönetim Modülü Özellikleri	
Sürekli Güç	1200 W	Nominal çıkış voltajı	24 VDC
DC Voltaj	26 V	Çıkış voltaj aralığı	22-30 VDC
DC voltaj aralığı	22-50 Vt	Giriş voltaj aralığı	26-48
Akım:	46 A	Maksimum Akım	max 55 A
Hidrojen tüketimi	18,5 l/h	Maksimum Güç	max 1200 W
Basınç aralığı	0,7-17 bar	AC Çıkış voltajı	230 V (50 Hz)
Hidrojen saflık derecesi:	%99.999	AC Güç	Max 2000 W

3.4 Elektronik Yük Ünitesi

Şekil 8' de görülen ünite yakıt piline istenilen elektriksel yükleri uygulamak için kullanılmaktadır. Bilgisayar kontrollü veya manuel olarak sisteme değişik

modlarda (Akım veya Güç) yük uygulanabilmektedir. Yük kapasitesi akım olarak maksimum 0-75 A, güç olarak 0-1500W arasındadır.

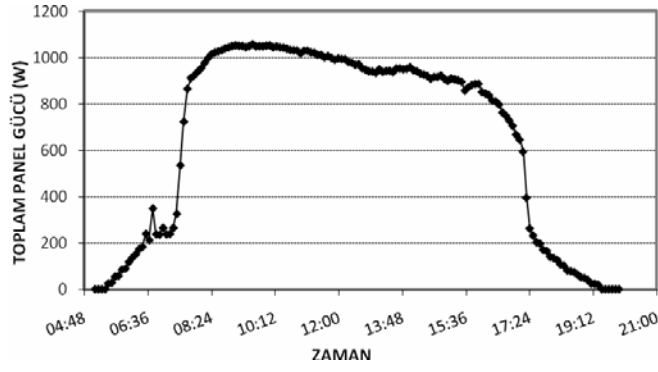


Şekil 8. Elektronik yük Ünitesi

4. DENEYSSEL SONUÇLAR

Sistemde kullanılan güneş panelleri; güneş izleme sehvası üzerine monte edildiğinden ölçüm yapılan günde maksimum verim elde edildiği görülmüştür. Seçilen güne ait (17.07.2008) panel güç eğrisi Şekil 9'da verilmiştir. Günlük elde edilen toplam net güç 8500 W'dır. Panellerin ürettiği enerjinin, elektroliz ünitesinde kullanılacak kısmı haricindekiler (Hidrojen tankları dolduğu zaman) bataryaların şarjında

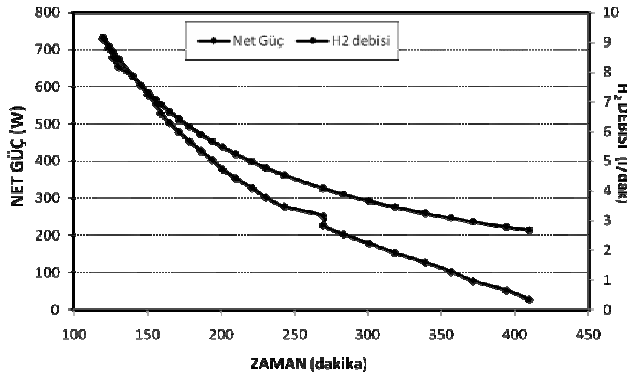
kullanılmıştır. Elektroliz ünitesinin çektiği güç anlık olarak ölçülmüş ve 230 W olarak tespit edilmiştir. Belirtilen güçler, sistemde oluşan elektriksel ve kimyasal kayıplar çıkarıldıktan sonra elde edilen net güçlerdir. Fotovoltaik panellerden elde edilen günlük toplam enerjisinin tamamı elektrolizörde kullanıldığı için üretilen Hidrojen miktarı 1100 l olarak tespit edilmiştir.



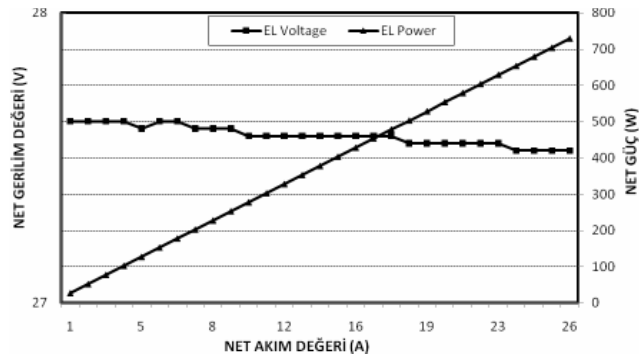
Şekil 9. Seçilen güne ait gücün zamansal değişimi

Değişik yük tüketimi ve mevcut hidrojen ile yakıt pilinin ne kadar süre elektrik üretebileceğine dair deneysel sonuçlar Şekil 10'da gösterilmiştir. Depodaki hidrojen, 700 W'lık net bir elektriksel gücü $t=120$ dak. süresince karşılayabilmektedir. Daha küçük güçteki elektriksel yükler için yakıt pili çalışma süresi orantılı olarak artmaktadır (örneğin $P_{fc}=100$ W için $t=355$ dak.)

Şekil 11'de yakıt piline uygulanan farklı yüklerle göre akım değerinin değişimi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, çıkış voltajı belirlendiğinden (~ 27 V DC), her bir farklı güç değeri, gerçekte hidrojen tüketimine direkt etki eden farklı bir akım değerine karşılık gelmektedir.



Şekil 10. Yakıt pilinin depolanan hidrojen ile enerji temin etme süresinin güce göre değişimi



Şekil 11. Yakıt pilinde uygulanan yüke göre akım değerinin değişimi

5. DEĞERLENDİRME

PV panellerin ürettiği enerji ile hidrojen üretilmesi ve bu sayede enerji depolamada olan zorlukların giderilmesi son yıllarda gündeme gelmiş bir alternatiftir. Bu çalışmada, sınırlı kapasiteye sahip Fotovoltaik-Elektrolizör-Yakıt Pili birleşik sisteminin beraber kullanılması deneysel olarak incelenmiştir.

Deneyler sırasında herhangi bir hata veya kararsızlık tespit edilmemiştir. Böylece hidrojen sisteminin güvenilirliği ve kararlılığı umut vermiştir. Ticari olarak bu kapasiteler artırılabilir. Bu çalışmadaki gibi sistemler yılda birkaç saat veya birkaç gün çalışacak şekilde tasarlandıkları için, işletme maliyetinden ziyade ilk yatırım maliyetleri yüksektir. İlk

yatırım açısından çok pahalı bir sistem olmasına rağmen, şehir elektrik şebekesinden uzak yerleşim yerleri için cazip özelliklere sahiptir. Örneğin ortalama 500 W bir güç ihtiyacı olan stratejik bir noktada 2 saat boyunca enerji sağlanabilmiştir. Bu tür hibrid sistemler maliyetten ziyade kritik durumlar açısından değerlendirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. BP Statistical Review of World Energy, June 2007, <http://www.bp.com>.
2. TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu, 2006 Türkiye İstatistik Yıllığı, 2007, Ankara.
3. TUBİTAK Vizyon 2023 Teknoloji Öngörü Projesi, Enerji Ve Doğal Kaynaklar Paneli Raporu, 2003, Ankara.
4. Yeşilata B., Demir, F., "Fotovoltaik ve yakıt pili birleşik sisteminin analizi", Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, cilt 26, sayı 1, sy. 37-44 (2006).
5. Busquet, S., Domain, F. Metkemeijer, R., Mayer, D., "Stand-alone power system coupling a PV Field and a fuel cell: description of the selected system and advantages", in Proceedings of the PV in Europe conference, Rome, Italy, 7-11 October 2002, pp. 667-660.
6. Hirschenhofer, J.H., Stauffer, D.B., Engleman, R.R., Klett, M.G. "Fuel Cell Handbook", Second Edition, Parsons Corporation, Reading, PA, 1998.
7. Johnston, B., Mayo, M.C., Khare, A., "Hydrogen: the energy source for the 21st century", Technovation 25 (2005) 569-585.
8. Sharp NTR5E3E/NT175E1 175 W, www.sharp-ccc.com
9. Etatrack active diy installation guide,
10. www.heliocentris.com

YAKIT PİLLERİNİN KONUTSAL UYGULAMALARDA KULLANIMI

Zehra URAL, Muhsin Tunay GENÇOĞLU

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ
zural@firat.edu.tr, mtgencoglu@firat.edu.tr

ÖZET

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talebin gittikçe artması, hidrojen enerjisi ile çalışan yakıt pillerinin önemini de arttırmıştır. Yakıt pilleri hem çevresel zararlı etkilerinin olmaması, hem de yüksek verimli enerji sistemleri kurulabilmesine imkân sağladıkları için tercih edilen bir yenilenebilir enerji teknolojileridir. Yakıt pillerinin konutlarda hem elektrik üretimi, hem de ısınma amaçlı olarak kullanımı önemini giderek arttıran bir konudur. Bu çalışmada yakıt pillerinin yapısı ve temel çalışma prensibi kısaca açıklanarak, bir yakıt pili sistem tasarımının nasıl yapıldığı araştırılmıştır. Konutsal uygulamalarda kullanılan kombine ısı ve güç sistemleri ve güç düzenleme sistemleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yakıt Pili, Konutsal Uygulamalar, Kombine Isı ve Güç Sistemi, Güç Düzenleme Sistemi.

1. GİRİŞ

Yakıt pili sistemleri hem yüksek dönüştürme oranı sayesinde yüksek verime sahiptirler, hem de çevresel zararlı etkileri yoktur. Küçük güçlere olan talebin giderek artması nedeniyle, yakıt pili sistemleri yerinde üretim için güç kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uzun süreli kullanımında, yakıt pili sistemleri yardımcı kaynak olarak kullanılabilirler.

Bir yakıt pili sisteminin performansını karakterize eden başlıca iki parametre vardır. Birincisi ve en önemlisi verimdir. Bu parametrenin bulunması kolaydır. İkinci parametre ise, hem tüm sistemin hem de yığının performansındaki düşüştür. Bu iki parametre, yakıt pili sistemlerinin yatırım kazancı açısından diğer mevcut teknik çözümler ile karşılaştırılmasında dikkate alınması gereken en önemli parametrelerdir [1].

Normal şartlarda hidrojen ile çalışan yakıt pilleri ile doğal gazdan hidrojen üreten yakıt işleyiciler birleştirilerek, yakıt pili sistemleri tasarlanmıştır. Yakıt işleyiciler kısmi yükteki çalışmalarda daha düşük verim sağlarlar, başlangıçta ön ısıtmaya ihtiyaç duyarlar ve değişken taleplere hızlı cevap veremezler. Gelecekte dağıtım şebekeleri tarafından konutlara hidrojen sağlanması durumunda, yakıt pillerinin konutlarda doğrudan kullanımı yaygınlaşacaktır [2].

2. YAKIT PİLLERİNİN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Yakıt hücreleri; temiz, çevreye zarar vermeyen ve yüksek verime sahip dönüşüm teknolojileridir. Hidrojen ve oksijen arasındaki elektrokimyasal reaksiyon ile elde edilen ve yüksek verimlere ulaşabilen yakıt hücreleri, elektrokimyasal piller olarak da bilinirler. Yakıt hücreleri, yakıtın kimyasal

enerjisini elektrolit sistemde devamlı olarak elektrik enerjisine çevirirler. Bir buhar kazanı veya türbin kullanılmadan, sadece kimyasal madde kullanılarak elektrik enerjisi üretilir. Atık olarak su ve ısı elde edilmesi ve özellikle minimum seviyedeki emisyonları yakıt hücrelerini avantajlı kılar [3].

Yakıt pillerinde ana enerji kaynağından (Güneş, rüzgâr vb.) alınan enerji ile hidrojen elde etme yöntemlerinden biri kullanılarak hidrojen üretilir. Hidrojen, yakıt pili aracılığı ile havadaki oksijen ile yanarak su oluşturur. Tepkime ekzotermik olup ısı açığa çıkar. Ancak oluşan ısı çok yüksek değerde olmadığına su ile yakıt pili dışına atılır. Yüksek ısı üreten yakıt pillerinde ise ayrıca soğutma ihtiyacı duyulabilir [4].

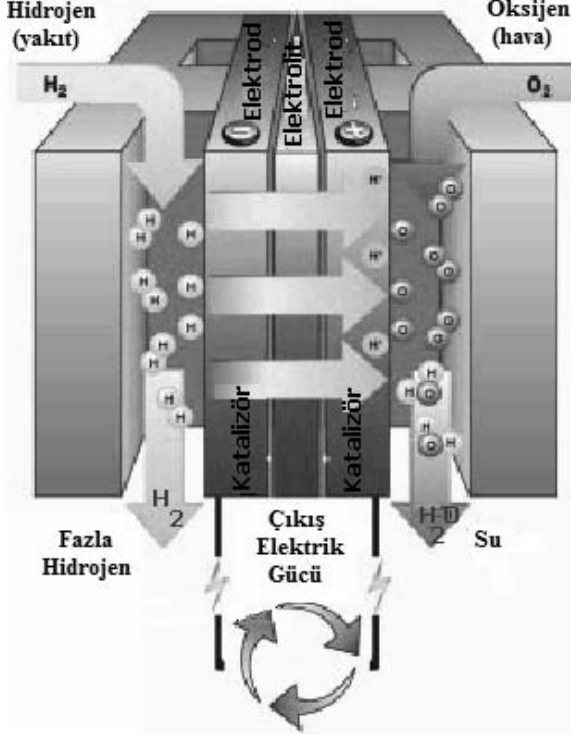
Prensip olarak bir yakıt pili batarya işlevi görür. Bir bataryadan farkı ise, gücünde zayıflama olmaması, şarj gerektirmemesi, sessiz ve verimli çalışmasıdır. Yakıt sağlandığı müddetçe yakıt pili elektrik formunda enerji ve ısı, su/su buharı (yakıt olarak saf hidrojen kullanıldığı sürece) üretir.

Tipik bir yakıt pili basitçe elektrot olarak görev yapan, iki parça arasına sıkıştırılmış iki karbon plakadan oluşmuştur. Bu iki uç, elektrot tabaka içerisinde oksijen ve hidrojeni dağıtmak için kanallara sahiptirler. Protonlar anottan katoda elektrolitten geçerek gider ve oksijenle su oluşturur. Elektronlar ise anottan katoda geçerken elektrik üretirler. Bu sırada elektrik enerjisinin yanı sıra ısı ve su üretilir. Bu nedenle yakıt pilleri sıfır emisyonlu motorlar olarak da adlandırılırlar.

Kullanılacak yakıt, yakıt pilinin anoduna, oksijen (ya da hava) ise yakıt pilinin katoduna verilir. Bir katalizörün işlemi kuvvetlendirmesiyle yakıt, proton ve elektrona ayrıştırılır. Bu iki parça yakıt pilinin içinde katoda doğru ayrı rotalardan gider. Proton elektrolitin içinden geçer. Elektronlar dış devrede



farklı bir yol izleyerek katoda dönüp oksijen ile birleşip su molekülüne dönmeden önce faydalanılabilir bir elektrik enerjisi üretirler. Şekil 1'de, bir yakıt pilinin genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. Yakıt pilinin genel yapısı

Doğrudan metanol kullanan yakıt pili haricindeki diğer yakıt pillerinde yakıt, belirli kimyasal işlemlerden geçirilerek, hidrojen bakımından zengin hale dönüştürülür ya da saf hidrojen olarak hücre sistemine verilir. Yakıt pilinin özelliğine göre, yakıt olarak hidrojen, hidrokarbon, doğalgaz veya metanol kullanılabilir [3].

3. YAKIT PİLİ SİSTEM TASARIMI

Bir yakıt pili sistem tasarımı yapılırken, yakıt pilinin performansı, hidrojen ve oksijen akışı, suyun taşınması ve çıkış gerilimi ve harici teçhizat bileşenleri kullanılarak optimize edilmelidir. Yakıt pili sistemleri yapılacak uygulamaya ve arzu edilen sistem verimine bağlı olarak çok karmaşık

olabilecekleri gibi, çok basit bir yapıda da tasarlanabilirler. Şekil 2'de basit bir PEM (Proton değişim membranlı) yakıt pili sistemi gösterilmiştir. Genellikle daha büyük boyuttaki yakıt pili yığınları, daha kompleks yakıt pili tesisi alt sistemlerinden oluşur. Yeni sistemler oluşturularak daha verimli yakıt pili sistem tasarımları yapılabilir.

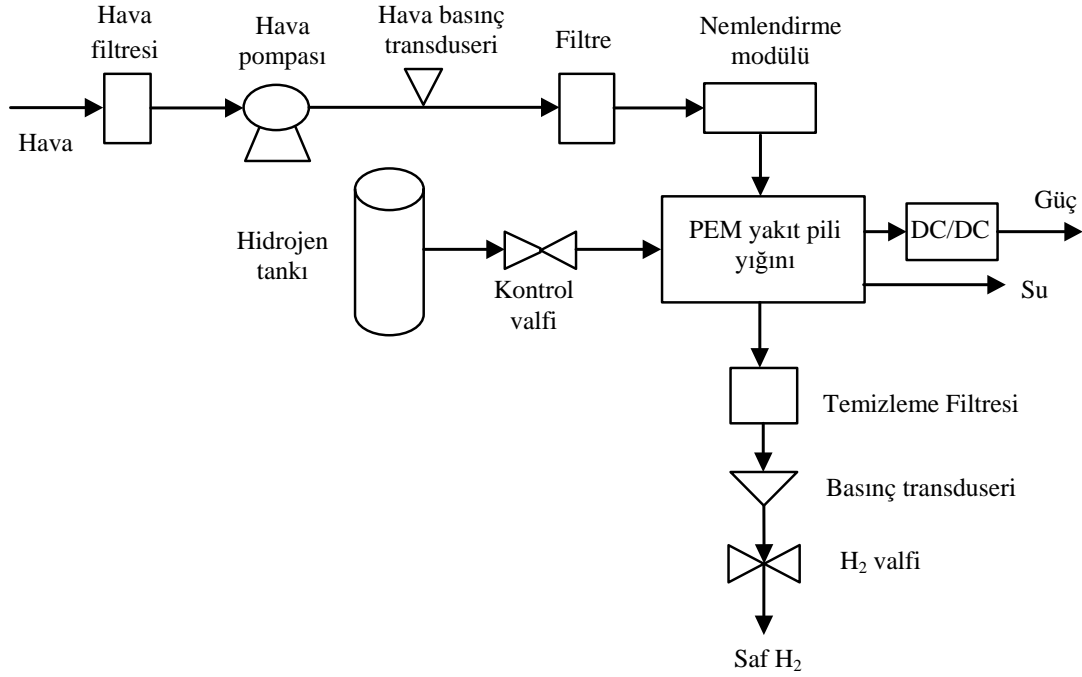
Şekil 2'de görüldüğü gibi, yakıt pili sistem bileşenlerinin büyük kısmı, hava ve hidrojen akışını yakıt pili yığınının içine ve dışına yaymak için kullanılırlar. Hava akışına uygun olan yakıt pili sistemi temizleme özelliğine sahip bir filtre, nemlendirici modül ve bir basınç transduserinden oluşur. Ayrıca yakıt pili yığınının içine yeterli havayı temin etmek için bir pompa vardır. Hidrojen yakıt pili yığınının içine basınçlı bir tank kullanılarak aktarılır.

Bu sistemin içerisine akış oranını gözlemlemek için bir kütle akış kontrolörü kurulmalıdır. Sistemin dışına çıkan hidrojen ve su boşaltılır, basınç ise sistemden çıkmadan önce gözlenir.

Yakıt pili sistemleri boyutlarının artması ile birlikte daha karmaşık bir yapıya sahip olurlar. Sıcaklık, basınç, su ve ısı problemleri ortaya çıkar ve bu parametrelerin daha dikkatli bir şekilde gözlenmesi gerekir. Ayrıca elektrik gücü ve ısı için, karbon temelli bir yakıt hidrojene dönüştürülürse, yakıt işleme ünitesi ve gaz temizleme ünitesi gerekli olabilir. Isı değiştiriciler, pompalar, fanlar, havalandırıcılar, kompresörler, elektrik güç inverterleri, konverterler, şartlandırıcılar, su idare cihazı ve kontrol sistemlerini içeren diğer ilave bileşenler, bir yakıt pili tesisinde bulunabilecek diğer elemanlardır.

Şekil 2, sadece birkaç sensör ve basınç transdüsüri içermektedir. Tamamıyla geliştirilmiş bir kontrol sistemi ısı çiftler, basınç termodüserleri, metanol/hidrojen sensörleri ve bir data alma programı kullanarak dataları kontrol eden ve ölçen kütle akış kontrolöründen oluşacaktır.

Yakıt pillerinin tasarımı, modellenmesi ve geliştirilmesi için, yakıt pili katalizörü, membranlar ve akış alan tabakaları çok önemlidir. Ancak yığın optimizasyonu da bunlara eşit derecede önemlidir [5].



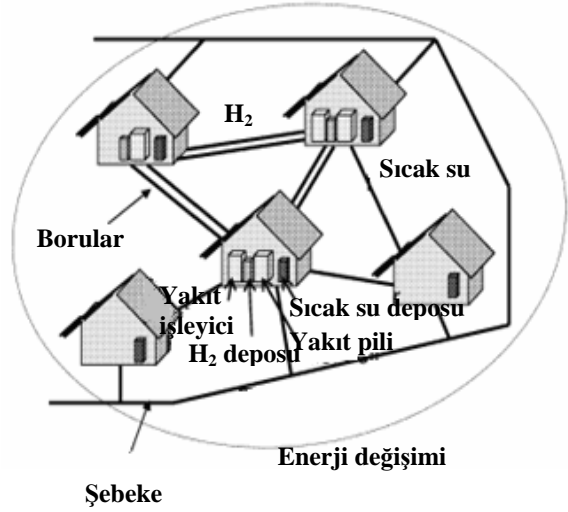
Şekil 2. Basit bir PEM yakıt pili sistemi [5]

4. KONUTSAL YAKIT PİLİ SİSTEMLERİ VE KONUTSAL UYGULAMALAR

Birkaç konut için kurulan yakıt pillerinden üretilen elektrik, bir şebeke ile bağlantılı olarak kullanılabilir. Şekil 3’de görüldüğü gibi, yakıt pilleri şebekeye bağlıdır. Bu durum aslında, yakıt pillerinin konutlar arasında paylaştırıldığı anlamına gelir. Konutlar genellikle değişik enerji taleplerine sahiptirler. Elektrik taleplerinin yük faktörleri genellikle düşüktür. Çünkü mikrodalga vb. cihazların kullanımı ile, sadece kısa periyot içinde tepe değerinde talebe sahiptirler. Tepe değerdeki taleplerden daha fazla veya eşit kapasitelere sahip olan yakıt pillerini kurmak ekonomik olarak doğru değildir. Diğer taraftan yakıt pillerinin sadece temel yükleri karşıladığı ve tepe değerdeki yüklerin ise şebekeye bağlı olduğunu düşünmek de mantıklı değildir. Yakıt pillerinin konutlar arasında paylaştırılması ve müşterek çalıştırılması çözümlerden biri olarak düşünülebilir.

Güç yoğunluğu evlere bağlı olarak genellikle farklı zamanlarda meydana gelir. Evlerin kombine yüklerinin maksimum değeri, her bir evin pik yük değerinin toplamından daha küçüktür. Bu nedenle, bütün evlerin yükleri birleşik kabul edilerek, bir tüketicinin yükü gibi düşünülebilir. Yakıt pillerinden açığa çıkan ısı geri kazanılmalıdır ve toplam enerji verimini arttırmak için kullanılmalıdır. Yakıt pillerinin ısı değiştiricilerinden elde edilen sıcak su, öncelikli olarak yakıt pillerinin kurulduğu evlerde

kullanılmalıdır. Aksi takdirde sıcak su diğer evlere verilmelidir. Böylece toplam verim artırılabilir [2].



Şekil 3 Konutlar için önerilen örnek bir enerji ağı [2]

Bir konutun enerji tüketimi genellikle, elektriksel ve termal olarak iki şekilde kategorize edilebilir. Bir evin enerji talebi, yapı malzemelerinin tiplerinin ve malzemelerin atmosfer çevresinden ısı transfer etme kabiliyetlerinin doğrudan doğruya bir fonksiyonudur. Konutlar için verimli bir enerji tasarımına sahip olmak çok önemlidir. Çünkü verimli bir tasarım hem evin enerji talebini azaltacak, hem de yenilenebilir hidrojen üretim ve kullanım sistemi konfigürasyonlarının ekonomik bir şekilde dizayn edilmesine yardımcı olacaktır.

Hidrojen üretim ve kullanım sisteminin dizaynı için en uygun senaryo, ev için bir yıllık gerçek enerji talebi verilerini kullanmaktır. Eğer bu veriler mevcut değilse, o zaman evin saatlik elektriksel enerji talebi elde edilebilir. İlk önce, belirli bir yapı için kullanılan materyallerin fonksiyonu olarak ısıtma-soğutma yük talebi ve dizayn şartları tahmin edilebilir. Yapının değişkeni için veriler ve materyaller (duvar yapısı, çatı, bodrum, kapılar, pencereler, binada oturan kişi sayısı vb.) çeşitli teknikler kullanılarak bulunabilir. Daha sonra, belirli bir yerin dizayn şartları kullanılarak, ev için tam bir ısı transfer katsayısı tahmin edilebilir. Bu tam ısı transfer katsayısı, ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak, evin saatlik elektriksel enerji talebini hesaplamak için kullanılabilir. Böyle bir yenilenebilir hidrojen üretim ve kullanım sistemi tasarlanabilir ve sistemin performansı herhangi bir bölgede, belirli bir ev için tahmin edilebilir. Eğer, konut şebekeye bağlı ise şebeke bir batarya ile karşılaştırıldığında kısa süreli depo olarak kolaylıkla kullanılabilir. Ancak, şebeke harici bir uygulama için bu durum geçerli olmayacaktır.

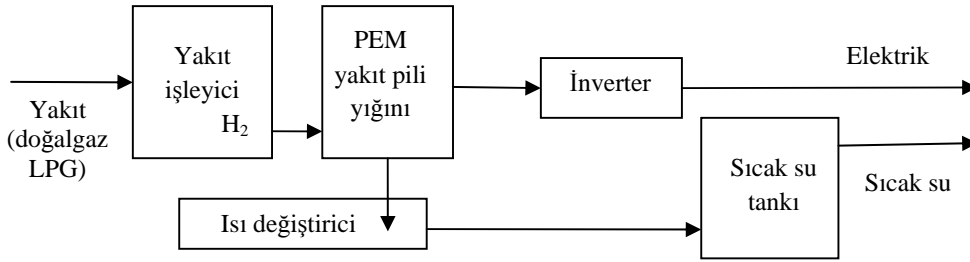
Son zamanlarda, enerji verimli binaların tasarımı için potansiyel araştırmalar yapılmaktadır. Duvarlar, pencereler ve aydınlatma sistemlerinin enerji verimli

tasarımı için çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bir diğer çalışmada da [6], buharlaşan suyun soğutulduğu hava düzenleme sistemleri ile donatılan, çöl iklimindeki bir ev ile klasik hava soğutma sistemleri karşılaştırılmıştır [7].

4.1. Kombine Isı Ve Güç Sistemleri

Kombine ısı ve güç sistemleri, otellerde altıveriş ve iş merkezlerinde ve büyük binalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kombine ısı ve güç sistemleri, şebekeden bağımsız olarak doğal gaz veya petrolden elektrik üretmek için tüketicilere seçenek sağlarlar. Ancak müstakil konutlar, mevcut kombine ısı ve güç sistemlerinin fiziksel boyutlarından dolayı bu sistemlerin faaliyet alanının dışında kalmaktadır.

Şekil 4’de PEM yakıt pillerini kullanan, bir kombine ısı ve güç sistemi gösterilmiştir. Konutsal yakıt pili sistemleri genel olarak bir PEM yakıt pili yığını, fosil bir yakıttan (doğal gaz, LPG veya gazyağı) hidrojen üretmek için yakıt işleyici, sıcak su tankı ve yedek su ısıtıcısından (Şekil 4’de, su ısıtıcısı ihmal edilmiştir) oluşurlar. Tipik bir konutsal yakıt pili sisteminin başlıca özellikleri Tablo 1’de verilmiştir [8].



Şekil 4. Konutsal ısı ve güç sistemi [8]

Tablo 1. Konutsal bir yakıt pili sisteminin özellikleri [8]

Çıkış	Elektrik	1.0 kW
	Isı	1.3 kW
Verim	Elektrik	% 34
	Isı	% 44
Yakıt tipi	Doğal gaz	
Boyut (mm)	800(yükseklik) 800(genişlik) 580(derinlik)	

Yakıt pili sistemleri, binalarda kombine ısı ve güç teknolojileri olarak kullanılabilir. Proton değişim membranlı yakıt pilleri (PEMFC) ve fosforik asit yakıt pilleri (PAFC), kombine ısı ve güç sistemleri uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar. Fakat bu sistemlerin toplam verimleri %30’dan daha düşüktür. Üstelik, PEM yakıt pilinin daha düşük çalışma sıcaklığı, hidrojen gibi çok iyi geliştirilmiş yakıtların kullanımını gerektirir ve daha çok emilim veya su ısıtma teknolojileri için harcanan ısının etkili kullanımını engeller.

Katı oksit yakıt pili (SOFC) sistemlerinde, iç düzenlemeler ile birlikte halen yaygın altyapı kaynağına sahip bir yakıt olan doğal gaz ile doğrudan doğruya güç sağlanabilir. Ofis binaları, apartmanlar, hastaneler, yüzme havuzları, süper marketler gibi büyük konutsal veya ticari yapılarda

kullanılabilecek kombine bir sistem, yakın gelecek Yakıt pili teknolojisi, çevre ile dost bir biçimde ve performans avantajları ile birlikte, elektrik üretimi ve kojenerasyon uygulamalarının her ikisi için uygun potansiyelli bir teknolojidir. Yakıt pili kojenerasyon sistemlerinin avantajları, düşük gürültü seviyesini, düşük bakım potansiyelini ve kısmi yük yönetimini, düşük emisyonlar ve küçük üniteler ile dahi % 85-90'lık bir verimle gerçekleştirmeleridir. Sabit güçlü yakıt pilleri tipik olarak doğal gazı yakarlar ve bir yanma kojenerasyonlu tesis tarafından üretilenlerden çevresel olarak daha az zararlı emisyonlar açığa çıkarırlar. Bir yakıt pili ile karbondioksit emisyonları % 49'a kadar azaltılabilir. Nitrojen oksit emisyonları %91, karbon monoksit %68 ve uçucu organik bileşimler yaklaşık %93 emisyon açığa çıkarır. Düşük emisyon ve gürültü seviyeleri, yakıt pillerini özellikle konutsal, ticari ve kurumsal uygulamalar için uygun hale getirmektedir. Bununla birlikte, yakıt pili sistemlerinin yüksek maliyeti ve nispeten kısa ömürleri dezavantajlarıdır. Teknolojik problemleri çözmek ve daha az masraflı materyaller ve kütle üretim yöntemleri geliştirmek için araştırmalar devam etmektedir ve yakıt pillerinin maliyetini azaltacak teknolojilerin geliştirilmesi beklenmektedir [10].

Günümüzde, mikro-kombine ısı ve güç sistemleri için ticari olarak mevcut teknolojiler, motorlara ve türbinlere dayanmaktadır.

- İçten yanmalı motorlar, düşük sermaye maliyeti, büyük boyut aralığı, hızlı başlangıç kabiliyeti, nispeten yüksek elektrik dönüşüm verimi (büyük dizel sistemler için %43'e kadar), iyi çalışma güvenilirliği ile birlikte ispatlanmış bir teknolojidir.

- Dıştan yanmalı motorlar, güç üretmek için harici bir ısı kaynağı kullanırlar. Bu motorlar, 25 kW'dan daha az güce ihtiyaç duyulan güç uygulamaları için uygundur. Nispeten daha düşük elektriksel verime (%10) sahiptirler, fakat bir ısıtma sistemi ile

için pek ümit verici olabilecektir [9].

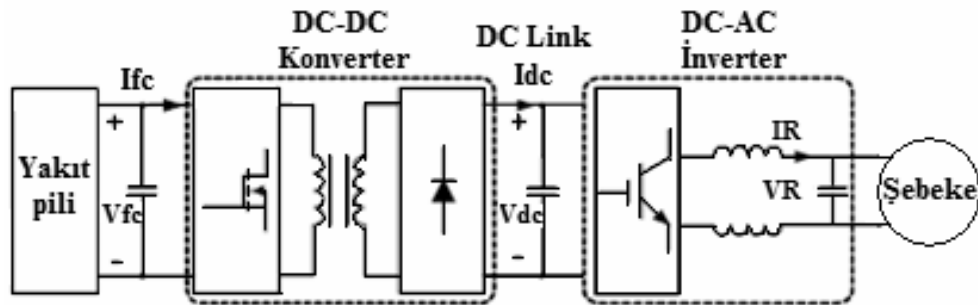
birleştirildikleri zaman % 90'dan daha büyük sistem verimine ulaşabilirler.

- Mikro türbinler; gaz-türbin teknolojisini daha küçük boyutlara ulaştırırlar. Özellikle gerekli olan sıcaklıktaki buhar, içten yanmalı bir motor tarafından üretilebilen buharın daha yüksek olduğu zaman, faydalıdır. 30-200 kW aralığındaki üniteler, tek aileli konutlar için oldukça büyük olabilir [11].

4.2. Güç Düzenleme Sistemi

Konutsal yakıt pillerinin güç düzenleme sistemlerinin tasarımı yapılırken, yüksek verim, düşük akım dalgalanmaları, inverter akımı kontrolü ve güç şebekesi entegrasyonu, dikkate alınması gereken başlıca parametrelerdir. Güç düzenleme sistemi genellikle, bir dc-dc konverteri ve güç şebekesi bağlantılı bir dc-ac inverteri içerir. Şekil 5'de görüldüğü gibi; I_{fc} , V_{fc} sırasıyla yakıt pili giriş akımı ve gerilimi, I_{dc} , V_{dc} dc link akımı ve gerilimi, I_R , V_R inverterin çıkış akımı ve gerilimidir. İki kademeli güç kontrol sisteminin verimi, büyük ölçüde yüksek iletim oranlı dc-dc konvertere bağlıdır. Yakıt pili uygulamaları için, yüksek iletim oranlı bir transformatör ve bir diyotlu doğrultucu ile çalışan gerilim beslemeli bir tam köprü devresi önerilmektedir. Gerilim beslemeli tam köprü devresinin, yeni güç uygulamalarında kullanılan orta güçler için uygun olduğu düşünülmektedir.

Tam köprü bir konverterin güç kayıpları; anahtarlama elemanlarından, transformatörden, doğrultucu diyotundan ve snubber devresinden oluşmaktadır. Anahtarlama elemanlarının kayıpları, iletim kayıpları ve anahtarlama kayıpları olarak ayrılabilir. Yumuşak anahtarlama ile tam köprü konverterde anahtarlama kayıplarını azaltmak için faz kaydırma modülasyonlu tam köprü konverter önerilmektedir [12].



Şekil 5. Konutsal uygulamalar için bir PEM yakıt pili güç düzenleme biriminin blok diyagramı [12]

5. SONUÇ

Konvansiyonel enerji kaynaklarının hızla azalmasıyla birlikte önem kazanmaya başlayan yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretimi, ülkemizde genellikle küçük kapasiteli uygulamalar şeklinde görülmektedir. Bu tür tesisler kurulurken projelendirme aşamasında, tesiste kullanılacak malzemelerin seçimi ve tesisin elektriksel analizi çok iyi yapılmalıdır. Çalışmalar sonucunda elde edilecek veriler; ülkemizde bu tür tesisler kurulmadan önce gerek tasarım, gerekse uygulama safhalarında başvuru kaynağı olarak kullanılabilir. Dünya’da yakıt pillerinin kullanımı ve uygulama alanları giderek artmaktadır. Bu uygulama alanlarından biri de konutsal yakıt pili sistemleridir. Konutsal yakıt pili sistemleri kurulmadan önce, bazı hususlara dikkat edilmelidir.

Konut projelendirilmeden önce, konutun ihtiyacı kadar enerji kaynağının seçimi son derece önemlidir. İhtiyaçtan fazla malzeme seçimi, oldukça pahalı olan ve ağırlıklı olarak ithalata dayanan malzemeler için gereksiz yere masraf yapılmasına, ihtiyacın altında malzeme seçimi ise yetersiz enerji üretimine neden olacaktır.

Konutun işletme koşulları altında harmonik analizi mutlaka yapılmalı, gerekirse kompanzasyon sistemi kurulmalıdır.

Konutun elektriksel izolasyon testi yapılarak izolasyon problemlerinin giderilmesi yoluna gidilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Ferraro, M., Sergi, F., Brunaccini, G., Dispenza, G., Andaloro, L., Antonucci, V., “Demonstration and Development of a Pemfc System For Residential Use”.
2. Aki, H., Yamamoto, S., Kondoh, J., Maeda, Yamaguchi, H., Murata, A., Ishii, I., “A Network of Residential Fuel Cells and Operational Strategies: Evaluation with a PC Simulator and an Experimental System”, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), KRI Inc.
3. Ural Z., “Hidrojenin Elde Edilmesi ve Yakıt Pili Sistemlerinde Kullanımı”, Yüksek Lisans Semineri, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2006.
4. Ural, Z., “Yakıt Pilleri ve Bir PEM Yakıt Pili Sisteminin Dinamik Benzetimi”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, 2007.
5. Spiegel C., “PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using Matlab”, Elsevier Inc., 2008.
6. Moujaes, S., Deshmukh, SS., “An evaluation of a residential energy conserving HVAC system and a residential energy demand/management system”, Energy Eng J Assoc Energy Eng., 102(6):39–57, 2005.

7. Deshmukh, S.S., Boehm, R.F., “Review of modeling details related to renewably powered hydrogen systems”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12, 2301–2330, 2008.
8. Aki, H., “The Penetration of Micro CHP in Residential Dwellings in Japan”, Member, IEEE, 2007.
9. Zink, F., Lu, Y., Schaefer, L., “A solid oxide fuel cell system for buildings”, Energy Conversion and Management, 48, 809–818, 2007.
10. Onovwionaa, H.I., Ugursal, V.I., “Residential cogeneration systems: review of the current technology”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 389–431, 2006.
11. Brown, J.E., Hendry, C.N., Harborne, P., “An emerging market in fuel cells? Residential combined heat and power in four countries”, Energy Policy, 35, 2173–2186, 2007.
12. Wanga, Y., Choib, S., Lee, E., “Fuel cell power conditioning system design for residential application”, International Journal of Hydrogen Energy, 34, 2340-2349, 2009.

ENERJİ GEREKSİNİMİNDE BAZI GERÇEKLER, JEOTERMAL ENERJİ VE YASAL DURUM

Adem ULUŞAHİN

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası
aulusahin@jmo.org.tr

ÖZET

Günümüz enerji tüketiminin ülkelerin gelişmişlik düzeylerine koşut olarak ulaştığı nokta ve temel enerji girdilerindeki dünya rezervleri göz önüne alındığında önümüzdeki yüzyılın enerjide yeni senaryolara gebe olduğunu söylemek gerekir. Enerji kaynaklarının dünya üzerindeki dağılımındaki eşitsizlik ve bu kaynakların belirli ülkeler tarafından kontrol ediliyor olması ülkelerin enerji politikalarını belirlemelerinde önemli rol oynamaktadır. Bu anlamda birçok ülke enerji kaynaklarını çeşitlendirme yoluna gitmekte, tüm bu gelişmeler yenilenebilir ve yerli enerji kaynaklarına doğru yönelimleri de güçlendirmektedir.

Petrol, doğalgaz ve kömür gibi birincil enerji kaynaklarına dayalı bir enerji politikası izlenmekte olan ülkemizde, özellikle petrol ve doğalgazda ise tam bir dışa bağımlılık yaşanmaktadır.

Öte yandan önemli kaynak zenginliğine sahip olduğumuz Jeotermal Enerji alanında 2007 yılında yürürlüğe giren 5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Yasası ile bu alanda yıllardır yapılamayan arama ve işletme faaliyetleri önemli bir ivme kazanmış bulunmaktadır.

1. GENEL BAKIŞ

Dünya nüfusunun 6.9 milyara ulaştığı günümüzde enerji tüketimi, gelişmişliğin temel ölçütlerinden biri olarak kabul edilmekte ve buna paralel olarak enerji gereksinimi de giderek artmaktadır.

Bu noktadan ele alındığında, global olarak tüketilen enerjinin %90'ının fosil yakıtlar olarak bilinen Petrol, Kömür ve Doğalgaz'dan karşılanmakta olduğu, yenilenebilir enerji kaynaklarının oranının ise %8 lere seyrettiği dikkat çekmektedir.

Global Enerji Tüketimi	:
Petrol	% 39
Doğalgaz	% 25
Kömür	% 23
Yenilenebilir	% 8
Nükleer	% 5

Temel enerji girdilerinde biri olan petrolde, 850-1250 milyar varil olan dünya rezervi ve 25 milyar varillik yıllık ortalama tüketim göz önüne alındığında, bu enerji kaynağının en fazla 30-40 yıllık ömrünün kaldığı hesaplanmaktadır(1). Diğer yandan nükleer enerjide de durum pek parlak gözükmemektedir. Global enerji tüketiminin %5'inin karşılandığı nükleer enerjide çalışmakta olan 436 nükleer santral ve bu sayıya eklenecek muhtemel yeni santrallerin, teknolojik ve çevresel tüm olumsuzlukları gözardı edilse bile; mevcut uranyum rezervi ile ancak 15-20 yıl daha çalıştırılabileceği bilinmektedir(2).

Diğer yandan fosil yakıtların yanması sonucu oluşan karbondioksit ve sera etkisi yaratan diğer kirleticiler

mevcut enerji sisteminin sürdürülebilirliğini riske sokan faktör olarak öne çıkmaktadır.

Bir diğer dikkat çekici husus enerji kaynaklarının dünya üzerindeki eşitsiz dağılımıdır. Hemen hemen tüm temel enerji girdilerinde rezerv dağılımlarına bakıldığında dünya genelinde enerji kaynaklarının belli bölgelerde yoğunlaştığını görmekteyiz.

Enerji kaynaklarının dağılımındaki eşitsizlik ve bu kaynakların belirli ülkeler tarafından kontrol ediliyor olması, enerjiye olan gereksinimin gelişmişliğe koşut olarak artması ve bütün bunların yanında fosil enerji kaynaklarında yolun sonunun görünüyormuş olması küresel enerji gerçeği olarak karşımızda durmaktadır.

Tüm bu gelişmeler yenilenebilir ve yerli enerji kaynaklarına doğru yönelimleri güçlendirmektedir.

2 . TÜRKİYE'DE DURUM

Ülkemizin enerji gereksinimi esas olarak petrol, doğalgaz ve kömür gibi birincil enerji kaynaklarıyla karşılanmakta olup, özellikle petrol ve doğalgazda ise tam bir dışa bağımlılık yaşanmaktadır(3).

Fosil Yakıt Rezervleri ve Potansiyeline baktığımızda :

10 milyar ton	linyit rezervi,
1,1 milyar ton	taşkömürü,
1,1 milyar ton	bitümlü şist ve 82 milyon ton asfaltit rezervi mevcuttur.

Petrol rezervlerimizin enerji gereksinimimize önemli bir çözüm getirmedeği bilinen ülkemiz, Orta Asya ülkelerindeki zengin petrol ve doğalgaz kaynaklarını batı pazarlarına taşınmasında "Enerji Koridoru" olmaya hazır önemli bir aday konumundadır. Yukarıda sergilenen genel durum çerçevesinde enerji kaynakları



açısından ürettiğinden çoğunu ithal etmek zorunda olan ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha da belirginleşmektedir. Bu anlamda önemli bir potansiyele sahip olduğumuz Jeotermal Enerji ve Jeotermal Enerjide Ülke Gerçeklerine bakmakta yarar vardır.

2. JEOTERMAL ENERJİ

Sözlük anlamı “yer ısı” olup, yer kabuğunun, çeşitli derinliklerinde birikmiş, basınç altında bulunan sıcak su, buhar, gaz veya kızgın kuru kayaların içerdiği termal enerji olarak tanımlanmaktadır.

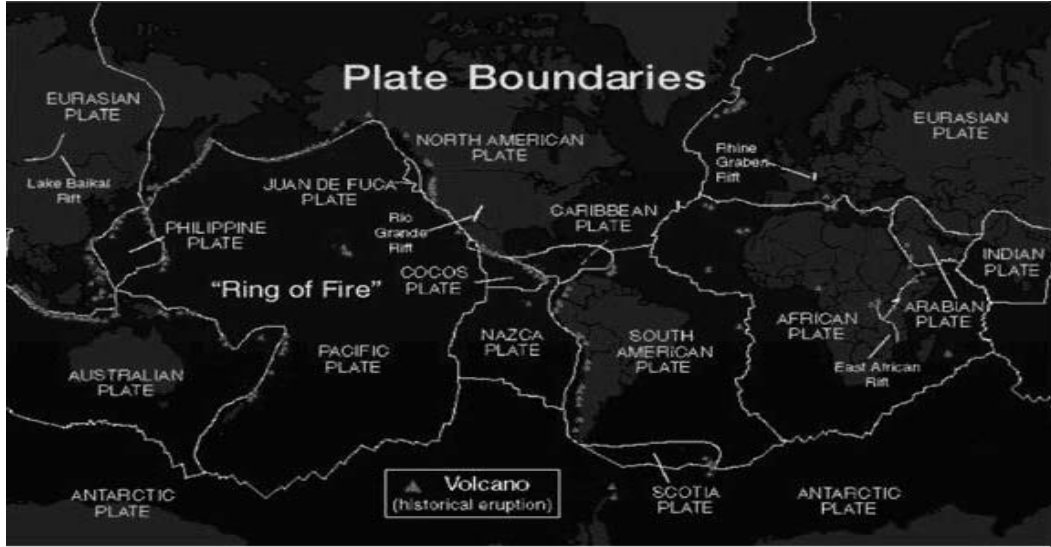
Bu tanımlamaya ek olarak, bazı alanlarda bulunan “sıcak kuru kayalar” akışkan içermemesine karşın jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Jeotermal akışkanı oluşturan sular meteorik kökenli olduklarından, yeraltındaki haznelere sürekli beslenmekte ve kaynak yenilenebilmektedir. Bu

nedenle pratikte, beslenmenin üzerinde kullanım olmadıkça jeotermal kaynakların tükenmesi söz konusu değildir.

Yukarıdaki tanım ve saptamalar ışığında jeolojik dengeler jeopolitik baskılarla bozulmadığı sürece Jeotermal enerji yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmez, ucuz, güvenilir, çevre dostu, yerli ve yeşil bir enerji türüdür.

Dünyadaki jeotermal sistemlerin oluşumu 1915 li yıllarda Alfred Wegener tarafından keşfedilen “continental drift”/kıtaların açılması teorisinin geliştirilmesi sonucu 1960 larda çok geniş bir kabul gören PLAKA TEKTONİĞİ ile yakından ilintilidir.

Buna göre dünyamız belli başlı plakalardan oluşmaktadır ve jeotermal sistemler bu levhaların çarpıştığı aktif kıta kenarlarında, okyanus ortası sirtlarda, aktif kıta yarıklarında (riftlerde) ve volkanik adalar üzerinde bulunurlar. Ülkemiz de bu bu aktif kuşakta yer almaktadır(Şekil.1).



Şekil 1. Dünyadaki önemli Jeotermal kuşaklar ve levha (plaka) sınırları

3. JEOTERMAL SİSTEM

Jeotermal sistem, dört ana unsurdan oluşur (Şekil 2):

1. Isı Kaynağı
2. Rezervuar ve/veya hazne kayaç
3. Isıyı Taşıyan Akışkan
4. Örtü kayaç

Isı Kaynağı: Plaka hareketleri sonucu mantoda oluşan yersel veya bölgesel düzensizlikler mantoda ısı sıcaklığı, akışkan entalpisi, fiziksel durumu, doğası ve jeolojik yerleşimi gibi özelliklerine göre sınıflandırılırlar.

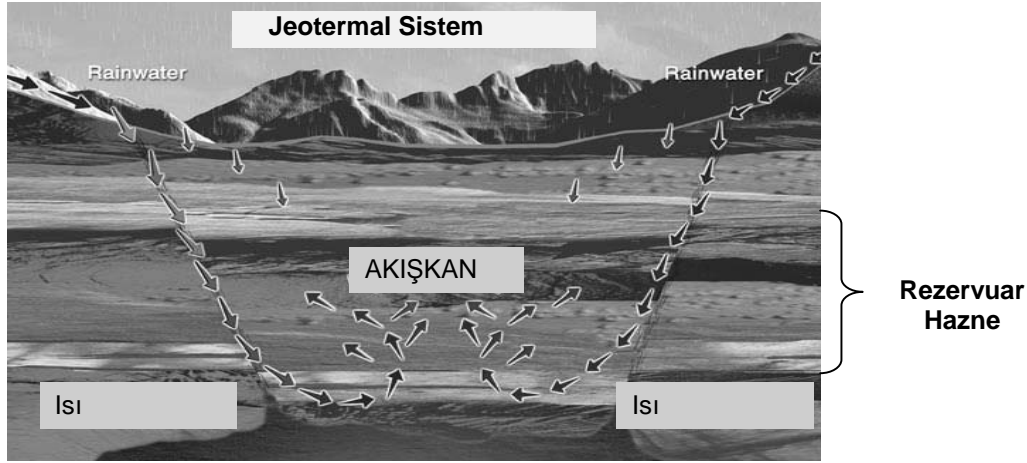
Isıyı Taşıyan Akışkan ve/veya Jeotermal Akışkan: Meteorik kökenli yağmur suları yeryüzüne düştükten sonra çatlaklı zonlardan süzülerek derinlerdeki ısı anomalisi etkisi ile ısınmış kayalardaki ısıyı süpürerek yüzeye, ekonomik anlamda erişilebilecek

anomalileri oluşturur. Bu anomalilerin tektonik hatlar ve/veya kuşaklar boyunca yer kabuğuna ulaştığı noktalardaki ısı anomalisi zonları ve/veya sıcak noktalar (hot spots) jeotermal sistemler için ısı kaynağını oluşturur.

Jeotermal Rezervuar: İşletilmekte olan Jeotermal sistemin sıcak ve geçirgen kısmını tanımlar. Jeotermal sistemler ve rezervuarlar; rezervuar

sığ derinliklere taşıyarak sistemin çalışan jeotermal akışkanı olur.

Örtü Kayaç: Jeotermal sistemlerin geliştiği alanlar üzerinde derindeki rezervuar zonda bulunan akışkan ve ısının yeryüzüne ve dolayısı ile atmosfere boşalmasını önleyen geçirimsiz kayalardır.



Şekil 2. Jeotermal Sistem

4. JEOTERMAL ENERJİDE ÜLKE GERÇEKLERİ; KULLANIM ALANLARI VE UYGULAMALAR

Ülkemizin jeolojik oluşumunda genç tektonizma ve volkanizma yaygın olarak gelişmiştir. Aktif faylar, grabenler ve yaygın olarak gözlenen genç volkanizma sonucunda oluşmuş doğal buharların, hidrotermal alterasyonların ve sıcak su kaynağının varlığı, ülkemizin önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Jeotermal kaynaklarımızın çoğu, Ülkemizde özellikle 1999 Marmara depremlerinden sonra toplumun gündemine giren “fay” hatlarıyla yakından ilişkili olduğu gözlenir. Jeotermal kaynaklar özellikle bu diri

faylar ve bunlara bağlı olarak oluşan kırıklar boyunca yeryüzüne ulaşırlar. İnsanlığın korkulu rüyası olan depremleri üreten kırık sistemleri ve fayların bir kısmı, bizlere yerin derinliklerindeki enerjiyi ulaştırmakta önemli rol alırlar.

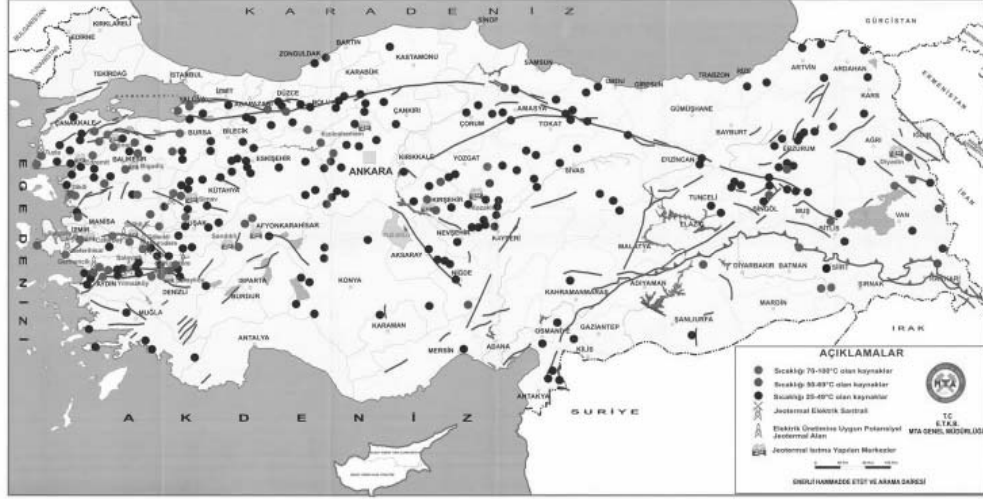
Jeotermal enerji, sıcaklığına bağlı olarak, başta elektrik üretimi, ısıtma ve tedavi amaçlı olmak üzere endüstride çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklıkta bir jeotermal akışkandan entegre olarak bir çok alanda faydalanmak mümkündür.

4.1. Kullanım alanları

Jeotermal kaynak ısısına bağlı olarak elde edilen enerjiye dayalı kullanım alanları Tablo 1 de sunulmuştur.

Tablo 1. Jeotermal Enerji Kullanım Alanları

ISI (°C)	Kullanım Alanı	Elektrik Üretimi	Isıtma
180	Yüksek konsantrasyon çözeltisinin buharlaşması, amonyum absorpsiyonu ile soğutma	+	
170	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, Diatomit kurutulması	+	
160	Kereste, balık ve yiyeceklerin kurutulması	+	
150	Bayer's yöntemi ile Alüminyum eldesi	+	
140	Çiftlik ürünlerinin kurutulması (konservecilik)		+
130	Şeker endüstrisinde kullanım ve tuz eldesi		+
120	Temiz tuz üretimi ve tuzluluk oranının arttırılması		+
110	Çimento kurutulması		+
100	Organik maddelerin kurutulması		+
90	Balık kurutma		+
80	Ev ve sera ısıtma		+
70	Soğutma (alt sıcaklık sınırı)		+
60	Kümes ve ahır ısıtma		+
50	Mantar yetiştirme, Balneolojik banyolar		+
40	Toprak ısıtma, kent ısıtma		+
30	Yüzme havuzları, fermantasyon		+
20	Balık çiftlikleri		+



Şekil 3. Türkiye Jeotermal Kaynaklar Dağılımı ve Uygulama Haritası

4.2. Önemli Jeotermal Sahalar ve Yapılmakta Olan Uygulamalar

Ülke genelinde yaygın olan bu enerji kaynağına yönelik olarak 1960 lı yıllardan buyana sürdürülen çalışmaların sonunda keşfedilen gerek elektrik üretimine gerekse konut ısıtıcılığına elverişli sahalara ve uygulamalara ilişkin örnekler aşağıda verilmektedir.

Türkiye'de elektrik üretimine uygun sahalara

1. Aydın-Germencik (232 °C),
2. Denizli-Kızıldere (242 °C),
3. Manisa-Alaşehir-Kurudere (184 °C)
4. Manisa-Salihli-Göbekli (182 °C)
5. Çanakkale-Tuzla (174 °C)
6. Aydın-Salavatlı (171 °C)
7. Kütahya-Simav (162 °C)
8. İzmir-Seferihisar (153 °C)
9. Manisa-Salihli-Caferbey (150 °C)
10. Aydın-Yılmazköy (142 °C)
11. İzmir-Balçova (136 °C)
12. İzmir-Dikili (130 °C)

Konut Isıtıcılığına Uygun Sahalar

Türkiye'deki jeotermal sahalara % 55'i gibi önemli bir bölümü konut ısıtıcılığına uygun sıcaklıkta jeotermal akışkan içermektedir. 50 derece alt sınırına göre konut ısıtıcılığına uygun 80 in üstünde saha dillendirilmekte olup yine bu rakamlara temkinli yaklaşmak gerekmektedir.

Konut Isıtması ve Termal Tesis Isıtması Yapılan Yerler

Jeotermal enerji ile Gönen(Balıkesir), Simav (Kütahya), Kızılcahamam (Ankara), Balçova(İzmir), Sandıklı (Afyon), Kırşehir, Afyon, Kozaklı (Nevşehir), Sarayköy (Denizli), Salihli (Manisa), Edremit (Balıkesir), Bigadiç (Balıkesir) ve Diyardin (Ağrı) de konut ısıtılması yapılmaktadır.

Bunun yanında Balçova (İzmir) termal tesisleri ile tedavi merkezi ve Üniversite kampüsü, Simav-Eynal'da kaplıca tesisleri, Kızılcahamam'da Kaplıca

tesis ve otelleri, Afyonda kent ısıtıcılığı, Afyon-Ömer'de kaplıca tesisleri, otel ve moteller, Oruçoğlu ve Hayat turist tesisleri, Gediz'de kaplıca tesisleri, Havza'da kaplıca tesisleri ve otelleri, Salihli Kaplıca motelleri, Ayder'de kaplıca tesisleri jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Salihli, Çeşme, Dikili ve Sındırgı'da ise yine merkezi sistem ısıtma için inşaatlar devam etmektedir. Bu sistemlerin dışında ülkemizin birçok yöresinde küçük çaplı bina ve sera ısıtmaları da yapılmaktadır.

Sera Isıtması

Balçova, Seferihisar, Afyon-Ömer, Sivas-Sıcakçermik, Edremit-Havran, Sandıklı-Hüdayi, Urfa- Karaali, İzmir-Dikili ve Sındırgı-Hisaralan'da uygulanmaktadır.

Türkiye'de jeotermal olarak merkezi ısıtma imkanı bulunan bazı yerleşim birimleri :

Afyon	Akyazı
Aydın	Bademli
Balçova	Balıkesir
Balya	Bigadiç
Bolvadin	Buldan
Bursa	Denizli
Dikili	Edremit
Emet	Erciş
Erzurum	Gediz
Germencik	Güre
Havran	Havza
Hisaralan	Ilgın
Ilıca	İzmir
Karacasu	Kızılcahamam
Kozaklı	Kuzuluk
Nazilli	Sarayköy
Pamukçu	Pasinler
Reşadiye	Sakarya
Salavatlı	Salihli
Sandıklı	Seben
Seferihisar	Sındırgı
Sivas	Sorgun
Susurluk	Turgutlu
Yenice	Yozgat

Endüstriyel Uygulamalar

Kızıldere’de Jeotermal akışkandan 120.000 ton/yıl karbondioksit üretimi yapılmakta, Gönen’de deri tabaklama, Kızıldere-Sarayköy’de yün ağartmada yararlanılmaktadır.

5. JEOTERMAL YASA VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Jeotermal kaynakların kamu yararı doğrultusunda ve etkin olarak araştırılıp kullanıma sunulması buna yönelik yasal düzenlemeleri zorunlu kılmaktadır.

Jeotermal uygulamalarda tarihsel süreç: Zengin Jeotermal kaynaklara sahip olan ülkemizde kapsamlı bir Jeotermal yasanın olmayışı bu alandaki yatırımcıları tatmin etmemiş, bu nedenle uzun yıllar boyunca bu kaynaklardan sınırlı derecede yararlanmak mümkün olmuştur.

Ülkemizdeki ilk kapsamlı **Jeotermal Yasa**, 2007 yılında çıkartılan, “**5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Yasası**” dır(5). Bununla beraber ülkemizdeki Jeotermal faaliyetlerle ilgili haklar ve uygulamalar, 1900’lü yılların başında, birtakım padişah fermanları ve Atatürk’ün vermiş olduğu bazı imtiyazlar ile başladığı bilinmektedir.

Jeotermal kaynaklar ve Doğal Mineralli sular ile doğrudan ilgili, sağlıklı düzenlemelerin olmadığı yıllarda, bu kaynaklardan bilimsel ve teknik olarak faydalanmadan ziyade kamu yararı gözetilerek değişik alan ve uygulamalar yanında özellikle **ılıca/kaplıca** ve **icmece** amaçlı, bazen de hamam ve çamaşırılık olarak yararlanılmıştır.

Jeotermal kaynaklar ve doğal mineralli sular ile ilgili ilk düzenleme 1906 tarihli Maadin Nizamnamesi ile başlamış ve ağırlıklı olarak 1926 yılında yürürlüğe giren 927 sayılı “Sıcak ve Soğuk Maden Sularının İstismarı ile Kaplıcalar Tesisatı Hakkında Kanun” döneminde, Valiliklerde (İl Özel İdarelerinde) devam edilmiştir. Bu Kanun döneminde bazı kamu kurumlarına, özel sektör ve gerçek kişilere bu kaynakların değerlendirilmesi için ruhsatlar verilmiştir. Bu dönemde jeotermal kaynaklardan ve doğal mineralli sularından, sadece **yıkılmaya ve içmeye mahsus sular** (en fazla 40 dereceye kadar ve doğal mineralli sular) kapsamı ve yaklaşımı ile çok sınırlı, çok az alanda yararlanılmıştır.

1954 yılında yürürlüğe giren 6309 sayılı Maden Kanunu döneminde (1954-1985 arası), 1983 yılına kadar bu kaynaklarla ilgili bir düzenleme yer almamıştır.

18.06.1983 tarihli Bakanlar Kurulu kararıyla ilk kez “**jeotermal**” ibaresi kullanılarak 6309 sayılı kanununa jeotermal kaynaklar ilave edilmiştir.

6309 sayılı kanun dönemindeki yaklaşık iki yıllık sürede (1983-1985 arası) bir çok kimseye ve kuruluşa (MTA) bazı haklar verilmiştir. Bu kanunun 1985 yılında yürürlükten kaldırılması ile Bakanlar Kurulu Kararı da yürürlükten kaldırılmıştır.

5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu,

Türkiye’mizin ilk kapsamlı Jeotermal yasası uzun hazırlık döneminin ardından, bu kaynakları kullanan ve işleten tüm tarafların karşı çıkmasına rağmen, Jeotermal sistemlerin korunmasına yönelik yeterli yaptırım ve zorunlulukları içermeyecek bir tarz usulde, reenjeksiyonun sadece çevresel etkilerden kurtulmak amacıyla bazı durumlarda zorunlu kılan hükümleriyle 13.06.2007 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu Kanunun uygulanmasına yönelik Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliği de 11.12.2007 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Uzun yıllar boyunca yeterince yatırım yapılmayan sektör, yeni yasanın tüm eksiklerine rağmen Jeotermal enerji sektörünün gelişmesine katkı sağlayacak özellikle elektrik enerjisi üretimine yönelik büyük projeler ve diğer entegre kullanımlarla ilgili yatırımlarla gözle görülür bir hareketliliğe kavuşmuştur. Henüz 1 yıl olmasına karşın alınan ruhsat sayısının 2500’ü bulması Jeotermal yasanın önemini göstermektedir.

Söz konusu Kanun ve uygulanmasına dair yönetmeliğin ilgili hükümleri gereği daha önce 6309 , 927 ve 5177 sayılı kanunlarına göre verilmiş hakların intibak işlemleri İl Özel İdareleri tarafından yapılarak MİGEM’e bildirilmiştir. Jeotermal Ruhsat Müracaatları, talep sahibi tarafından önce, İl Özel İdaresine, 5686 sayılı Kanunun Ek-1 formatına göre hazırlanmış arama projesi ile birlikte yapılmakta ve ilgili Özel İdare tarafından sisteme girişi yapıldıktan sonra müracaat ile ilgili bilgi ve belgeler MİGEM’e gönderilmektedir. MİGEM’de ruhsat müracaat talep alanı ile ilgili değerlendirme yapıldıktan sonra, değerlendirme sonuçları yine ilgili İl Özel İdareye bildirilmektedir.

İl Özel İdareleri hak kazanılan alanlar için projenin uygun bulunması ve gerekli harç ve teminatın yatırılmasını müteakip arama ruhsatı düzenleyerek, talep sahibine vermektedir.

Bu Kanuna projelerin denetlenmesi ile ilgili yaptırımlar öngörülmüş olup böylece hem kaynağın israf edilmemesi hem de çevre kirlenmesinin önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

5686 sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanununa göre bu kaynakların değerlendirilebileceği her alanda uygun projelere dayalı olarak gerçek ve tüzel kişiler ile kamu kurum ve kuruluşlarına ruhsat verilebilmektedir.

6. SONUÇ

Global olarak tüketilen enerjinin %90’ının fosil yakıtlar olarak bilinen Petrol, Kömür ve Doğalgaz’dan karşılanmakta olduğu, yenilenebilir enerji kaynaklarının oranının ise %8 lerde seyrettiği dikkat çekmektedir. Gerek fosil enerji kaynaklarındaki kritik rezerv durumları gerekse dünyada yerel kirliliğe ve küresel iklim değişimlerine neden olan sera



emisyonlarını sınırlandırma eğilim ve artan çevresel kaygılar dikkate alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi büsbütün ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin enerji gereksinimi esas olarak petrol, doğalgaz ve kömür gibi birincil enerji kaynaklarıyla karşılanmakta olup, özellikle petrol ve doğalgazda ise tam bir dışa bağımlılık yaşanmaktadır. Bu anlamda birçok yönden eksikler içeren yeni Jeotermal yasanın da getirdiği hareketliliği dikkate alıp yasanın yeniden ele alınıp eksiklerinin giderilmesi ve Jeotermal yatırımların önünün açılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Petrol Savaşları, D. Aydal
2. The Energy Watch Group, 2007
3. Tmmob Enerji Raporu, 2006
4. TMMOB Jeotermal Kongresi Bildiriler Kitabı, 21-24 Kasım 2007 Ankara
5. Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Yasası TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 2009



TEKTONİK YAPISI VE STRATİGRAFİSİ İŞİĞİNDA GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNİN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

M.Şefik İMAMOĞLU

Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Maden Mühendisliği Bölümü Genel Jeoloji Anabilim Dalı
sefikimamoglu@gmail.com

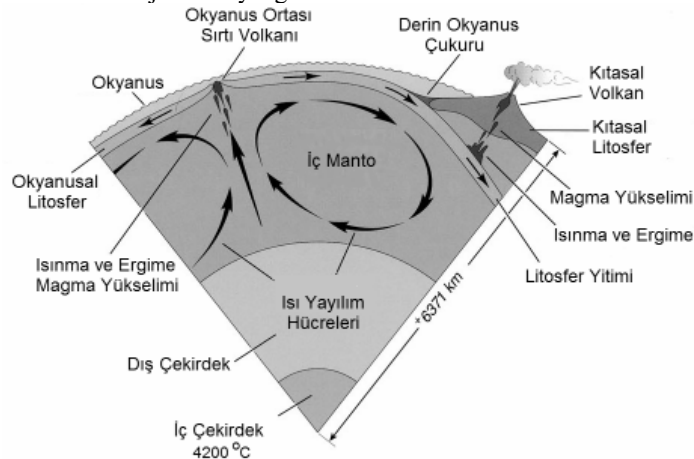
ÖZET

Güneydoğu Anadolu Bölgesi tektonik yapısı ve stratigrafisi itibariyle jeotermal enerji için gerekli hazne kaya ve örtü kaya özelliklerine sahip olmasının yanında, bölgede oluşan fay sistemleri ve özellikle gerilme çatlakları boyunca yerin derinliklerine kadar inen sular jeotermal enerji için gerekli akışkanın oluşmasını sağlayabilecek konumdadır. Bölgede bulunan termal kaynaklar, genellikle kuzey-kuzeydoğu doğrultulu gerilme çatlakları boyunca meydana gelmiştir. Bu nedenle kuzeydoğu doğrultulu gerilme çatlakları potansiyel kırıklar olarak incelenebilir. Bölgedeki gerilme çatlakları boyunca yeryüzüne çıkan bazaltik lav akıntılarının çıkış merkezleri ve yeryüzüne kadar çıkamayan bazaltik sokulumlar çevresinde ısı gradyanı belirli bir düzeyin üzerinde bulunmaktadır. Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan jeotermal kaynaklar bölge geneline gerilme çatlakları üzerinde yayılmış olup, düşük - orta entalpili bir seviyeye sahiptirler. Bu halleriyle seracılıkta, konut ısıtılmasında ve jeotermal turizmde kullanılabilir. Bütün bu özelliklere göre bölgenin iyi bir jeotermal potansiyele sahip olduğu söylenebilir.

1. GİRİŞ

Güneydoğu Anadolu Bölgesinin jeotermal enerji potansiyeline geçmeden önce, jeotermal potansiyelin oluşabilmesi için gereken koşullara kısaca göz atmakta yarar görülmektedir. Jeotermal enerji kısaca jeo-yer ve termal-ısı kelimelerinden oluşmuş yer ısısı olup, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş basınç altındaki sıcak su, buhar, gaz veya sıcak kuru kayaların içerdiği termal enerji olarak tanımlanmaktadır. Yer kabuğunun altında yer alan astenosfer tabakasında bulunan uranyum, toryum ve potasyum gibi radyoaktif maddelerin bozuluşu sonucu oluşan ısı, jeotermal enerjinin kaynağını

oluşturmaktadır. Astenosferde bu ısı odakları ve çevresinde oluşan konveksiyon akımlarının etkisiyle, yer kabuğunda çeşitli hareketler meydana gelmektedir. Bu hareketler sonucu yer kabuğu kırılmakta ve yükselen magma ile yeni kabuk oluşmaktadır. Oluşan yeni kabuğun hareketi sonucunda, zayıflık zonlarında kabuk kırılmakta ve özgül ağırlığı fazla olan kesim, diğerinin altına dalmaktadır. Dalan bölümün derinlerde erimesi ile yüzeye doğru yükselen magma zayıf kesimlerden yer yüzüne çıkarak volkanları meydana getirmektedir. Yükselen magma jeotermal enerji için mükemmel bir ısı kaynağı oluşturmaktadır (Şekil 1).

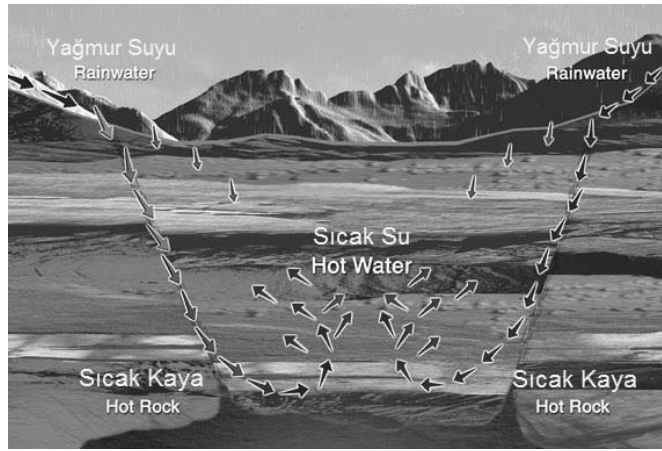


Şekil 1. Jeotermal sistemlerin oluşum mekanizması

Jeotermal sistemlerin oluşabilmesi için, ısı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan ana unsur gerekmektedir (Şekil 2). Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen magmatik sokulumlar (>600 ° C, 5-10 km) olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde de derinlikle artan normal sıcaklık olabilir (jeotermik gradyan –derine inildikçe ortalama 2,5-3 ° C/100 m). Isınan sıvının içinde dolaşabileceği çatlaklı geçirgen kayalardan oluşan bir rezervuar. Rezervuarlar petrol kapanları gibi genellikle geçirimsiz tabakalarla örtülmektedirler. Yani iyi rezervuarların oluşabilmesi için geçirgen ve geçirgen olmayan birimlerin araldanması

gerekmektedir. Rezervuarı dolduran jeotermal akışkan ise genellikle meteorik su olup, rezervuar içinde sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı halde bulunur. İdeal bir jeotermal sistemin şematik görünümü aşağıda verilmiştir (Şekil 2).

Bu sistemde orta kesimde ısınan su yükselir, buna karşın kenarlardan gelen soğuk su ile yer değiştirir ve burada bir konveksiyonel bir akım meydana gelir. Soğuk su ısınmış sürekli yükselen suyun yerini alır. Jeotermal sistem unsurları içerisinde sadece ısıtıcı kaynak doğaldır. Diğerleri sisteme sonradan eklenebilir.



Şekil 2. İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi.

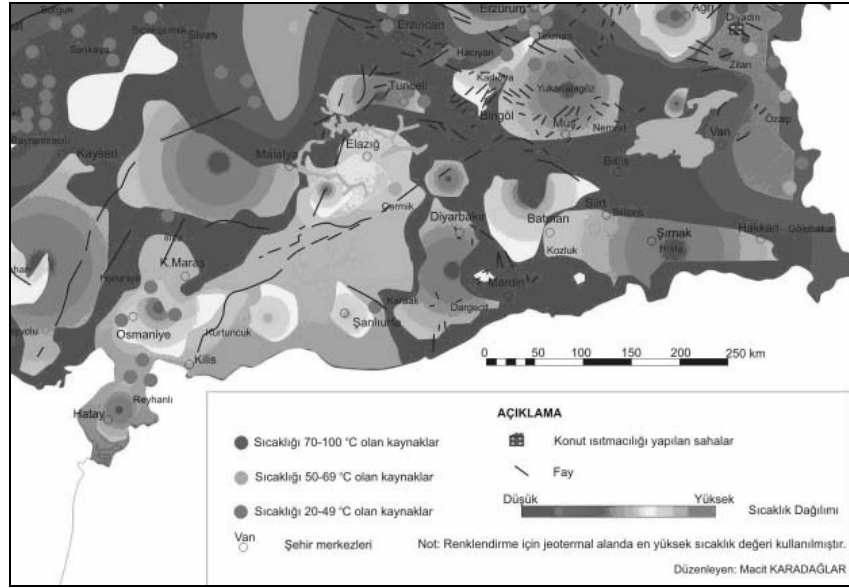
Jeotermal sistemler çok değişken jeolojik, fiziksel ve kimyasal karakteristiğinin kombinasyonuna bağlı olarak oluşurlar. Bu nedenle modellemede yüksek sıcaklığa bağlı olarak çok disiplinli ve geniş çaplı bir çalışma gerekmektedir.

Bütün bu veriler ışığında bögenin jeolojik ve tektonik yapısı gözden geçirilecektir. Bölgede var olan sıcak su kaynakları tek tek yerine konarak tektonik yapı içindeki konumları değerlendirilecektir.

2. BÖLGESEL JEOLJİ

Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1.jeolojik zamandan günümüze kadar değişen yaşlarda ve bölge genelinde geniş yayılım gösteren pek çok stratigrafik birim içermektedir. Bu birimlerin çoğu bölge genelinde yayılım gösterirken bir kısmı da lokal olarak yüzeylenmektedir. Bölgede yayılım gösteren bu birimlerin bir kısmı iyi porozite (gözeneklilik) ve permeabilite (geçirgenlik) gösteren karbonatlardan – kireçtaşlarından, kumtaşları ve çakıltaşlarından

oluşmakta iken ; bir kısmı da düzenli bir yayılım gösteren, geçirgen olmayan kiltası marn düzeylerinden oluşmaktadır. Bunlar da çok iyi hazne kaya ve kapan kaya özelliği göstermektedir. Bölge tektoniğinin etkisinde kalan bu birimler beraber kıvrımlanarak, çok güzel antiklinal ve senklinaler oluşturmaktadırlar. Bu nedenle petrol ve jeotermal akışkanlar için mükemmel kapanlar meydana gelmiştir. Bölge genelinde kuzey-güney yönlü sıkışmanın etkisiyle yer kabuğu doğu-batı yönünde bir gerilmeye tabi olmuş ve oluşan gerilme çatlakları boyunca astenosferden olivinli bazaltik magma yükselmiştir. Diyarbakır-Şanlıurfa-Mardin arasında kalan Karacadağ bölgesinde, Gaziantep Yavuzeli yöresinde ve İdil-Cizre yöresinde yüzeye kadar çıkan bazaltik magma birkaç evre halinde akarak geniş alanları lav akıntıları altında bırakmıştır. Batman'ın kuzeyinde olduğu gibi, yeryüzüne ulaşmayan magma birkaç yerde sokulumlar yaparak sıcak alanlar meydana getirmiştir. Bu durum MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan, bölgenin ısı akışı haritasında açıkça görülmektedir (Şekil 3).

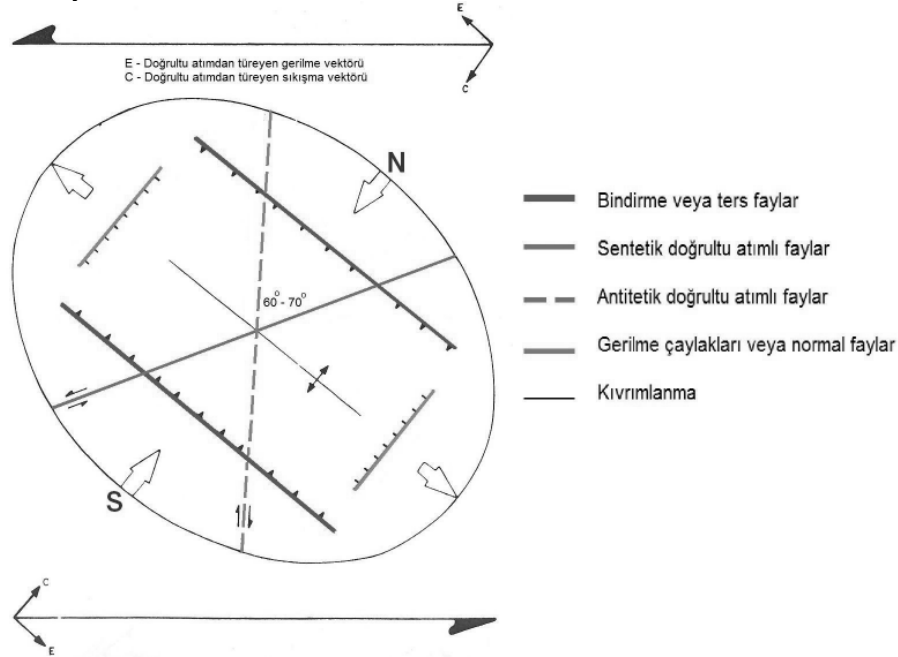


Şekil 3 .Güneydoğu Anadolu Bölgesinin termal gradyan haritası ve jeotermal kaynakların dağılışı (MTA haritasından düzenlenerek alınmıştır)

3. TEKTONİK

Güneydoğu anadolu bölgesini etkileyen önemli tektonik yapılara aşağıda kısaca değinilecektir. Afrika Plakasını çevreleyen okyanus ortası sirtlarının iraksayan levha sınırlarındaki hareket ve Kızıldeniz'deki açılma nedeniyle Arap Plakası Afrika plakası ile beraber kuzeye doğru kayarak Afrika-Arabistan ve Avrasya levhalarının kuzey-güney doğrultuda yakınsamalarına ve birbirlerini

sıkıştırmalarına neden olmuştur. Bunun sonucu olarak Arabistan levhası, Bitlis-Zagros Kenet Kuşağı (BZKK) veya Güneydoğu Anadolu Bindirmesi boyunca Avrasya plakasının altına dalarak çarpışmışlardır (Şengör, 1980). Günümüzde de devam eden bu sıkışma sonucunda Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve kuzey kesiminde Kuzey-Güney yönlü sıkışmanın özelliğini gösteren bir fay sistemi gelişmiştir (Şekil 4).

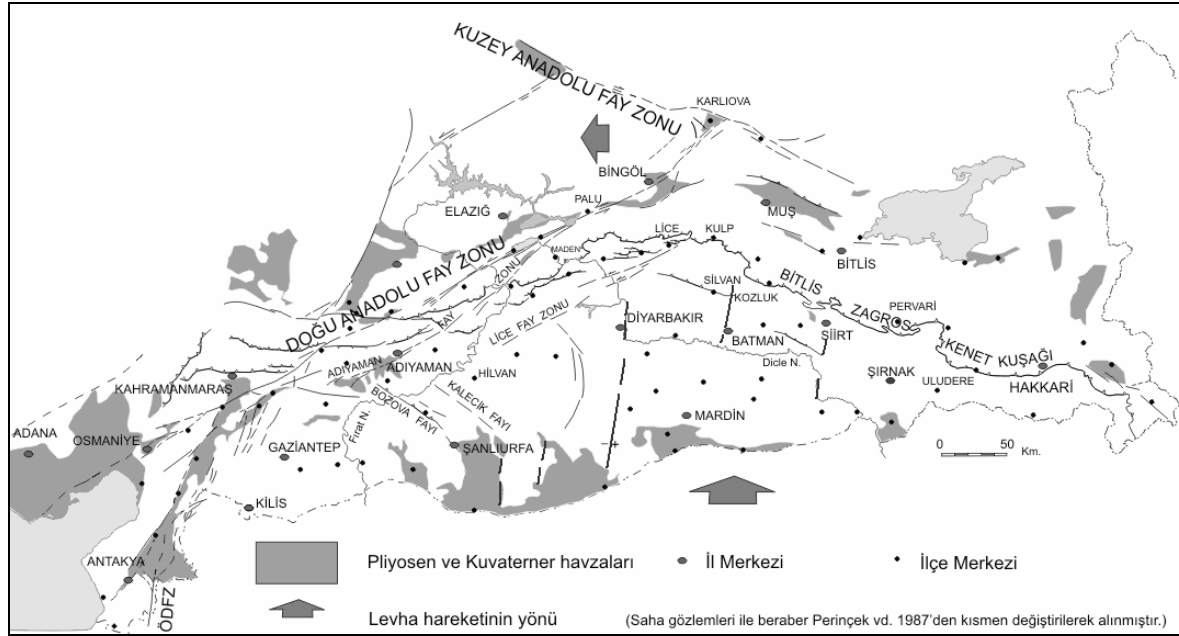


Şekil 4. Sol yönlü doğrultu atım sisteminden türeyen ana kırılma ve kıvrımlanmaların tür ve doğrultu ilişkileri (Harding 1974'ten kısmen değiştirilerek, Bingöl den)

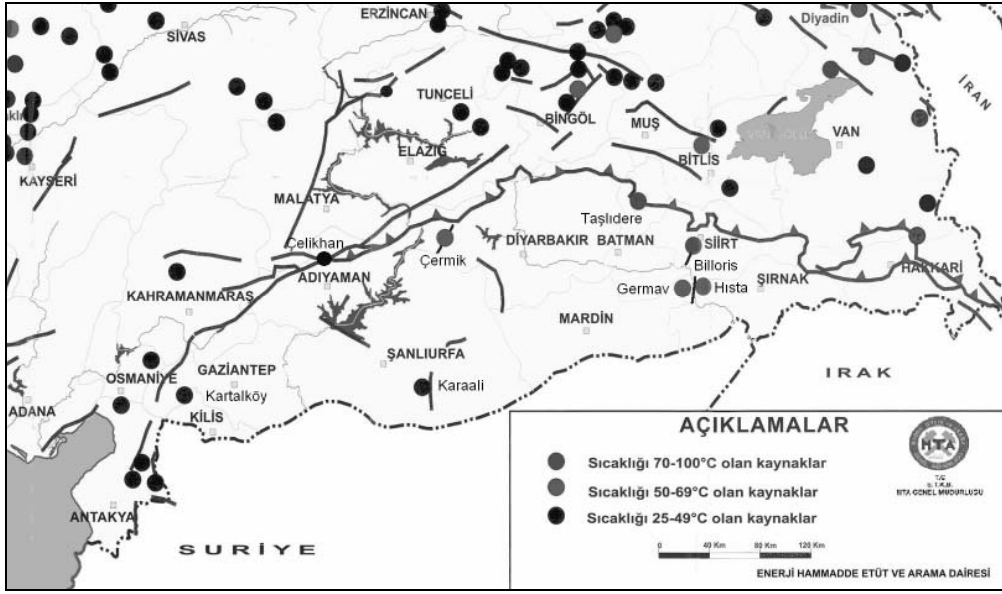
Bu fay sistemi içinde bindirme fayları, makaslama fayları, normal faylar ve büyük açılma çatlakları gelişmiştir. Bölgeyi etkileyen bu fayların en büyükleri sol yönlü Doğu Anadolu Fay Zonu ve Bitlis Zagros Kenet Kuşağı adı verilen bindirme karakterli faylardır. Lice Fay Zonu, Adıyaman Fay Zonu, Bozova ve Kalecik fayları gibi Bölgedeki bütün kırık hatlar bu sisteme bağlı olarak gelişmiş faylardır. Doğu-batı gidişli faylar tamamen ters fay veya bindirme karakterli faylardır. Kuzey-güney gidişli faylar da normal eğim atımlı faylar veya açılma çatlakları (gerilme çatlakları) şeklinde gözlenmektedir (Şekil5).

Açılma çatlakları veya normal faylar, çok derinlere kadar devam ettiklerinden, bölgede jeotermal

kaynaklar açısından en önemli faylardır. Bu güne kadar bölgede tespit edilen bütün jeotermal kaynaklar yaklaşık K 5-10° D doğrultulu gerilme çatlakları ve kuzeydoğu doğrultulu verev gerilme çatlakları üzerinde gelişmişlerdir (Şekil 6). Bölgede Gaziantep - Kartalköy, Adıyaman - Çelikhan - Tilek, Rötükan, Bistikan ve Bigar, Şanlıurfa - Karaali, Diyarbakır -Çermik, Batman - Taşlıdere, Siirt - Billoris, Şırnak - Hısta, Besta Meryem, Nasrafan ve Zümrüdağ ve Mardin - Darğecit - Germav'da bulunan termal kaynakların tümü, bu gerilme çatlakları boyunca yüzeye çıkan jeotermal kaynaklardır.



Şekil 5. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan önemli tektonik hatlar



Şekil 6. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde jeotermal kaynakların dağılımı

4. SONUÇ

Güneydoğu Anadolu Bölgesi stratigrafik yapısı itibariyle jeotermal enerji için gerekli hazne kaya ve örtü kaya özelliklerine sahip birkaç seviye oluşturmaktadır.

Bölgenin tektonik konumu sonucu oluşan fay sistemleri, özellikle gerilme çatlakları boyunca yerin derinliklerine kadar inen sular jeotermal enerji için gerekli akışkanın oluşmasını sağlayabilecek konumdadır.

Isınan suların yüzeye çıkışı ise genellikle kuzey-kuzeydoğu doğrultulu gerilme çatlakları boyunca meydana gelmiştir. Bölgedeki jeotermal kaynakların konumu bu durumu açıkça göstermektedir. Bu nedenle kuzeydoğu doğrultulu gerilme çatlakları potansiyel kırıklar olarak incelenebilir.

Bölgedeki gerilme çatlakları boyunca yeryüzüne çıkan bazaltik lav akıntılarının çıkış merkezleri ve yeryüzüne kadar çıkamayan bazaltik sokulumlar çevresinde ısı gradyanı belirli bir düzeyin üzerinde bulunmaktadır.

Güneydoğu Anadolu bölgesinde yer alan jeotermal kaynaklar bölge geneline yayılmış olup, düşük - orta entalpili bir seviyeye sahiptir. Bu haliyle seracılıkla, konut ısıtılmasında ve jeotermal turizmde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

1. Bingöl, E. 1986, Doğrultu Atım Sorunu ve Jeolojisi, 38
2. Jeotermal Enerji Hizmet İçi Eğitim Seminer Notları, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 2000
3. Koçak, A., Türkiye'de Jeotermal Enerji Armaları ve Potansiyeli, Türkiye 8. Enerji Kongresi, Cilt 2
4. Sayfa: 109-124, Ankara, 2000
5. Türkiye Jeotermal Envanteri, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1996
6. Türkiye'de Jeotermal Enerji, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/jeoterma/1/10jeotermal_enerji.html , Mayıs 2009
7. Haritalar, MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı http://www.mta.gov.tr/v1.0/daire_baskanliklari/enerji/index.php?id=haritalar , Mayıs 2009
8. Geothermal Energy, The University of Utah, May 2001, 8 p
9. Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1972) Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler, *MTA dergisi*, 78, 44-50.
10. Arpat, E. ve Şaroğlu, F. (1975) Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18, 1, 91-101.
11. Eyidoğan, H. (1983). Bitlis-Zagros kıtasal çarpışma kuşağı boyunca etkin sığ deformasyonlar ve depremler arasındaki

- ilişkiler, *Deprem Araştırma Bülteni*, 43, 63-99.
12. İmamoğlu, M. Ş. (1993). “Gölbaşı (Adıyaman)-Pazarcık-Narlı(K.Maraş) Arasındaki Sahada Doğu Anadolu Fayı'nın Neotektonik İncelemesi.”Yayımlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
 13. İmamoğlu, M.Ş. (1996) Doğu Anadolu fay zonu Gölbaşı kesimi neotektonik özellikleri ve Gölbaşı-Saray fay kaması havzası, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 11, 176-184.
 14. Mc Kenzie, D. P. (1972). Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysics J. R. Astr. Soc.*, 30, 109-185.
 15. Mc Kenzie, D. P. (1976). The East Anatolian Fault, a major structure in Eastern Turkey. *Earth and Planetary Sciences*, 29, 189-193.
 16. Perinçek, D., Günay, Y. ve Kozlu, H. (1987) Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki yanal atımlı faylar ile ilgili yeni gözlemler, *Türkiye 7. Petrol Kongresi*, 89-103.
 17. Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. (1987) Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri, *MTA Derleme No:8174*, 394.
 18. Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ. (1992a) *Türkiye Diri Fay Haritası*, MTA yayını, Ankara.
 19. Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, İ. (1992b). The East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Annal. Tecn.*, 6, 99-125.
 20. Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y. (1981) Tethyan evolution of Turkey a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, 181-241.

POSTER BİLDİRİLER



21. YÜZYILDA AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİNİN DEĞİŞEN ENERJİ POLİTİKALARI VE BU POLİTİKALARDA GÜNEŞ ENERJİSİNİN YERİ

Ferhat ÇIRA¹

Sümevra CEVHEROĞLU²

¹Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fak.Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

²Dicle Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fak. Maden Mühendisliği Bölümü

fcira@dicle.edu.tr, sumeyra@dicle.edu.tr

ÖZET

Enerji, insanlık ve geleceğimiz için hayati önem arzeden bir unsurdur. Bu unsurun evlerimiz ve işyerlerimizde güç olarak, insan ve eşya taşımacılığında kullanılması enerjyi ekonomilerin de en önemli bileşenlerinden biri haline getirmektedir. Güvenilir, temiz enerji, enerji güvenliği ve ülke ekonomileri için oldukça kritik bir önem taşır. Yerel kaynaklar kullanılarak ve enerji kaynaklarını çeşitlendirme vasıtasıyla ithal edilen yabancı enerji kaynaklarına olan bağımlılık azaltılabilir. Bu sebeple fotonları elektrik enerjisine çeviren fotovoltaikler kullanılarak yenilenebilir bir enerji kaynağı olan güneş enerjisi kullanılmaktadır. Fotovoltaik (PV) hücreler doğru akım (DC) üretmektedirler, fakat doğru akımı, ev ve işyerlerindeki makina ve cihazların çalışmasını sağlamak için alternatif akıma (AC) dönüştüren güç elektroniği devreleri kullanarak bu makina ve cihazlar kullanılmaktadır. Bu bildiri Amerika Birleşik Devletleri'nde güneş enerjisi ve yenilenebilir enerji teknolojileri alanında yapılan ve süregelen çalışmalar detaylı olarak anlatılmaktadır

1. GİRİŞ

Güneş Enerjisi; elektrik üretim kapasitesinin artırılması için kullanılabilen temiz, sonsuz denebilecek kadar bol, yaygın ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi sadece gündün güne artarak ithal edilen doğal gaz talebini azaltmayacak, ayrıca elektrik üretimi yapan termik santrallerden kaynaklanan zehirli gaz emisyonunu da azaltacaktır. Güneş enerjisi, çeşitli teknolojiler kullanılarak elektrik ve ısıya dönüştürülmek suretiyle çok faydalı enerji formları halinde insanlığın hizmetine sunulabilmektedir.

2.DOE(DEPARTMENT OF ENERGY) VE AEI'NİN (THE ADVANCED ENERGY INITIATIVE) KURULUŞU

Amerika Birleşik Devletleri enerji birimi (DOE), sadece enerjinin bağımsızlığını sağlamak amacıyla değil, ayrıca 2006 yılında "DOE Goals" başlığıyla yayınlamış olduğu

stratejik plan aşağıdaki hedefleri içermektedir.

2.1. Enerji Stratejik Hedefler

Amerika'nın güvenli, güvenilir ve temiz enerji kontrolü

- *Hedef 2.1.1. Enerji yoğunluğu :*
 - Enerji çeşitliliğini artırarak petrole olan bağımlılığı azaltmak.

karbon gazları emisyonu gibi hava kirlenici unsurların miktarını azaltan, temiz enerji teknolojilerini içeren ve Amerika'nın geleceğini güvence altına alan, bunları güçlendiren çözümler keşfetmek için kurulmuş bir birimdir. İleri enerji teknolojilerinin gelişimine artan ilginin gereğine dikkat çekmek ve geleceğin işgücünü inşa etmede halkın farkındalığını arttırmak amacıyla 2006 yılında Amerika Birleşik Devletleri Başkanı George W. Bush tarafından iki önemli girişim olan ACI (The American Competitiveness Initiative) ve AEI (The Advanced Energy Initiative) başlatılmıştır [2].

AEI'nin ilgilendiği yenilenebilir enerji kaynaklarından biri Güneş enerjisidir ve Başkan George W. Bush güneş enerjisi teknolojilerinin gelişiminin desteklenmesi amacıyla 2006 yılında SAI'yi (Solar America Initiative) kurmuştur [2].

DOE (Amerika Birleşik Devletleri Enerji Birimi)'nin

- *Hedef 2.2.2. Enerjinin çevresel etkileri:*
 - Enerji üretimi ve kullanımından kaynaklanan zehirli gaz emisyonunu, hava, su ve toprağa olan çevresel etkilerini azaltarak ekosistem kalitesinin geliştirilmesi.
- *Hedef 2.3.3. Enerji altyapı sistemi:*

- Daha esnek, daha güvenilir ve daha yüksek kapasiteli Birleşik Devletler enerji altyapısı yaratmak [1].

2.2. Bilimsel Stratejik Hedefleri

Birleşik Devletlerin bilimsel keşifçiliğini ve ekonomik rekabet gücünü yükseltmek, teknoloji ve bilim aracılığıyla yaşam kalitesini geliştirmek

- **Hedef 2.2.1. Bilimsel buluşlar :**
 - Birleşik devletler rekabetçiliğinin yürüteceği büyük bilimsel keşifler başarmak, Amerikan ruhu oluşturmak ve halkın enerjiye olan yaklaşımını kökten değiştirmek ve ulusal güvenlik ve çevresel kalite kriterlerini yerine getirmek.
- **Hedef 2.2.2. Bilimin Temelleri:**
 - Yeni nesil mühendis ve bilim adamlarını yetiştirmek, Birleşik Devletlerin bilimsel üstünlüğü için gerekli laboratuvar ve altyapı imkânlarını temin etmek ve bilimsel imkânlar tesis etmek.
- **Hedef 2.3.3. Çalışma Bütünleştirme:**
 - Temel ve uygulamalı çalışmaları birleştirmek, yenilikleri hızlandırmak ve Birleşik Devletlerin enerji ve diğer gereksinimleri için dönüşümsel çözümler üretmek [1].

3. SAI (SOLAR AMERICAN INITIATIVE)

Kurulan SAI girişimi enerji güvenliğinin, bilimsel gelişim ve yeniliklerinin stratejik yol haritasını belirleyen DOE 2006 stratejik planındaki hedefleri desteklemektedir. SAI ayrıca güneş ve güneşle ilişkili araştırmaları, güneş enerjisi teknolojilerinin gelişimi ve enerji yönetimi hedefleri çerçevesinde Ulusal enerji politikası ve Enerji Politikası Antlaşmasını (EPACT 2005) düzenlemiştir.

EPACT 2005' te üzerinde en fazla yoğun olarak durulan konu, yabancı enerji kaynaklarına olan bağımlılığı ve yenilenebilir enerjinin üretim ve elde edilme maliyetlerinin azaltılması üzerine olmuştur. Bu doğrultuda Birleşik Devletinin teşviki ve desteği de SAI nin hedeflerine ulaşmasında önemli bir etken olacaktır.

Bu plan SAI ve 2015 yılına kadarki süreçte birimin Birleşik Devletler çapında üstleneceği teşvik edici yaygın ticarileştirme faaliyetlerinin detayları, temiz güneş teknolojilerinin benimsenmesi ve kabul edilmesini açıklamaktadır [1].

Birim, SAI nin aşağıdaki hedeflerini başarmak için koordineli bir strateji geliştirmiştir. Bunlar;

- İleri (Gelişmiş) fotovoltaik (PV) sistemlerin maliyetlerini düşürmek ve malzemelerin

performansını arttırmak için araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerine hız verilmesi.

- Birleşik Devletler imalat kapasitesinin genişletilebilmesi ve üretim maliyetlerinin daha aşağılara çekilebilmesi için yeni imalat teknolojilerinin gelişimi.
- EPACT 2005 ile tutarlı kabullenilmiş ilk aktiviteler ve kullanım şeklinin arttırılmasıyla yeni güneş teknolojilerinin yayılımının hızlandırılması.
- Kamu iktisadi teşekkülleri ile özel sektörün işbirliği yapma çabalarıyla enerji teknolojilerinin yayılması ve bu teknolojilerin kullanımının desteklenmesi [1].

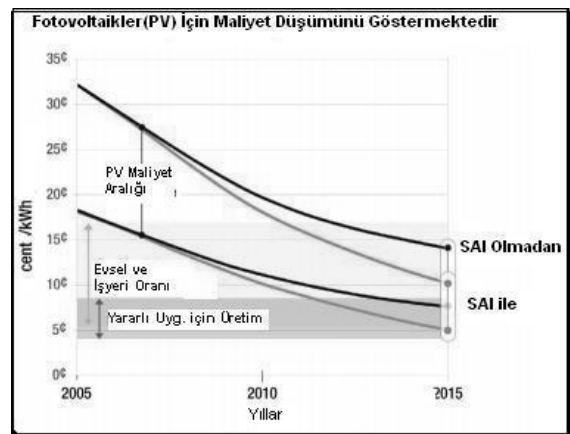
3.1. SAI' Ye Kısa Bir Bakış

SAI, daha az pahalı, daha verimli ve yüksekçe güvenilir fotovoltaik (PV) sistemlerin yapımının en yüksek performanslı ürün tasarımı ve üretim işlemleri üzerine araştırma ve geliştirme (Ar-Ge) faaliyetlerini arttıracaktır.

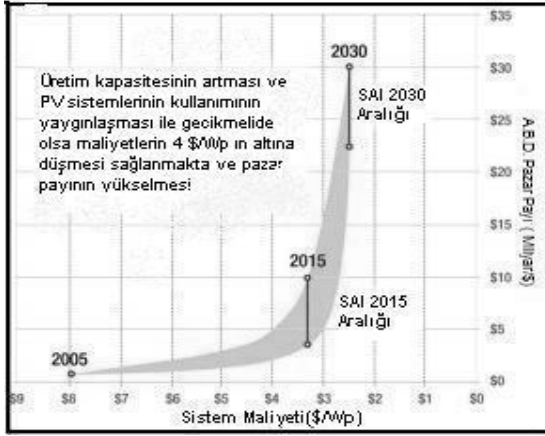
A.B.D. başkanının, SAI' nin çalışmalarına 2007 mali yılı için bütçe talebi 148,4 milyon dolar ve bu bütçenin 66 milyon dolardan daha fazlası güneş enerjisi araştırma geliştirme faaliyetlerine ayrılmıştır. 2007 bütçesinden fotovoltaikle (PV) ilişkili olarak kullanılması için talep edilen finansman 139,8 milyon dolardır[2].

3.2. SAI'nin Hedefleri

SAI nin desteklediği birimin, performansını ve maliyetini kanıtlaştığı PV sistemler için piyasaya yönelik hedeflediği 3 tip hedefi vardır. Bunlar şebekeye bağlı konutların kullanımına uygun olan, ticari amaçlı olan ve yararlı uygulamalar için olanlardır. SAI için ayrıntılı maliyet hedefleri şekil 1 ve şekil 2 de gösterilmiştir. Bu hedefler, enerji bilgi idaresi olan EIA (Energy Information Administration) nin nispi ev elektrik fiyatları esas alınarak oluşturulmuştur [2].



Şekil 1: PV için maliyet düşümü



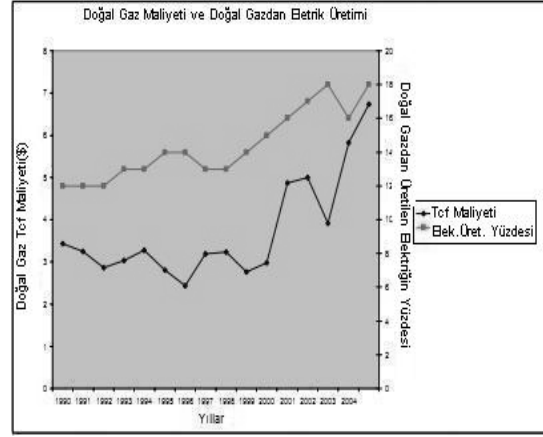
Şekil 2: 2005-2015 aralığında PV pazar payı

3.3. SAI'nin Birleşik Devletlere Olan Katkıları

Geleneksel elektrik üretiminin önemli bir miktarının yeni enerji teknolojileri ile üretilmesi çaba sarfedilmesi gereken önemli bir sorundur. Amerika Birleşik Devletleri anlık 1000 Gigawatt(GW) güç üretim kapasiteli devasa bir elektrik üretim sistemine sahiptir[3]. Buna zıt olarak 2005 yılında Birleşik Devletler fotovoltaik (PV) sistemlerinin kurulu gücü 0,44 Gigawatt(GW) olmakla beraber bu miktar toplam kurulu gücün sadece %0,1 oranındaydı[4]. Şimdilerde, güneş enerjisi yalnızca Texas ve California gibi eyatlerde değil, ülkenin hemen her yerinde mevcut olup New York ve Minnesota gibi büyük bölgelerde kayda değer miktarda enerji güneşten sağlanabilmektedir. Gerçekte, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) projeksiyonlarına göre, Amerika'daki her evin çatısına 3 Kilowatt(kW) gücünde PV sistemi kurulmuş olsaydı, 420 milyar kilowatt-saatten (GWh) fazla elektrik enerjisi elde edilmiş olunacaktı ki bu enerji Birleşik Devletlerin toplam elektrik enerjisi talebinin %35 inden fazladır [5].

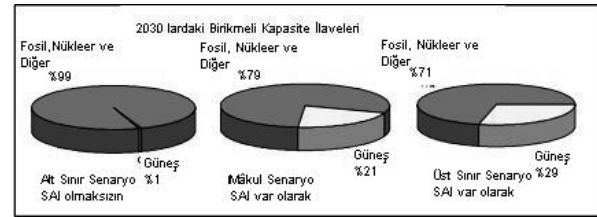
Güneş enerjisi teknolojileri şuan ki elektrik üretim kapasitesine tamamlayıcı olarak enerji bağımsızlığını arttırabilir. Son yıllarda, doğal gazın güç santrallerinde kullanılması yeni üretim kapasitesinin büyük ölçüde artmasını sağladı ve bunun sonucu olarak son 15 yıl içerisinde doğal gazın güç santrallerinde kullanılması doğal gaza olan talebin artmasının yanında dramatik olarak doğal gaz fiyatının düzenli ve hızlı bir şekilde artmasına da yol açtı. Doğal gazın arz ve talep arasındaki sıkı dengesi ile jeopolitik gelişmeler ve hatta hava durumu değişiklikleri bile istikrarsız ve düzensiz bir piyasanın oluşmasına neden olmaktadır. Şuanda doğal gaz talebinin %85 i Birleşik Devletlerin kendi öz kaynaklarından sağlanmaktadır [6]. Doğal gaz tüketimi 2005 yılında günlük 61 milyar metreküp iken [7], 2025 yılı için öngörülen miktar günlük 74 milyar metreküp

değerine ulaşmasıdır [8.] Güneşin bir enerji kaynağı olarak kullanılması ile enerji çeşitliliği sağlanması dalgalanan doğal gaz fiyatlarının etkilerinin azalmasına yardımcı olabilir.



Şekil 3: Doğal gazdan elektrik üretimi ve doğal gaz maliyetleri

SAI'nin çalışmaları dahilinde, yaygınlaşmış fotovoltaikler(PV), lüzum görülen yeni elektrik üretim kapasitesi ortaya çıkarmada önemli bir rol oynayabilir. Kurulan PV nin her MW'ı için 0,6 MW'lık yeni kapasite ortaya çıkacaktır. Bu değer Birleşik Devletler için ortalama kabul edilebilir bir rakamdır. Çeşitli senaryolar gösteriyor ki PV'lerin kullanımı 2015 te ilave olarak % 10-25 ve 2030 da %40 lara varan ilave yeni kapasite ortaya çıkarılabilir. Aşağıdaki şekilde 2030 yılı için alt sınır, makul ve birikmeli kapasite ilaveleri (üst sınır) olmak üzere 3 farklı senaryo için projeksiyonlar gösterilmektedir [9].



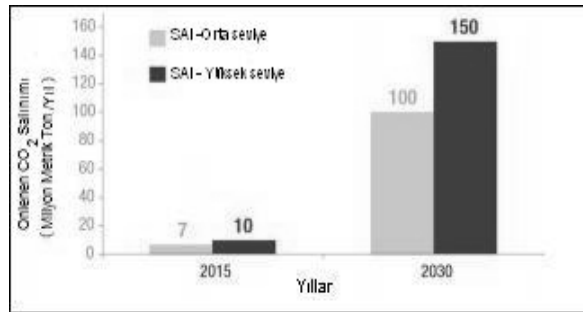
Şekil 4: 2030'daki yeni kapasite ilaveleri (altsınır, makul ve üst senaryolar)

Enerji bağımsızlığının artmasıyla Birleşik Devletlerin ulusal güvenlik kazanımlarına ilaveten güneş enerjisi, ayrıca elektrik şebekelerinin daha güvenli ve terörist saldırılarından da daha az etkilenmesine hizmet etmektedir. Merkezileştirilmemiş fotovoltaiklerin kullanılması, eskimiş elektrik şebekesinden talebin düşmesiyle bu elektrik şebekelerinin güvenilirliğinin arttırmasını sağlamanın yanında merkezileştirilmiş elektriki altyapıyı potansiyel bir terörist hedef olması ihtimalini azaltacaktır.

Güneş enerjisinden üretilen elektrik enerjisi ayrıca Amerika Birleşik Devletlerindeki zararlı gaz salınımını azaltacaktır. Doğal gaz veya kömür kullanılarak elektrik enerjisi üreten güç santrallerinde sadece elektrik değil çevre kirliliği ve zehirli gazlar da üretilmekte olup, çoğu elektrik üretim işlemi için

soğutma amaçlı çok önemli miktarda suya ihtiyaç duyulmaktadır. Güneşten elektrik üretiminde ise buna zıt olarak hava kirliliği ve zehirli gaz salınımı olmamakla beraber neredeyse hiç suya ihtiyaç duyulmamaktadır. Örneğin 100 MWatt lık elektrik enerjisi, güç üretimini kömür kullanılarak yapan bir termik santralde üretmek yerine bu enerji güneş enerjisi teknolojileri ile üretilmek istense 191000 ton/yıl CO₂, 7.4 ton/yıl NO_x, ve 4.5 ton/yıl CO zararlı gazların salınımı önlenmiş olacaktır [10]. DOE'nin (Department Of Energy) tahminlerine dayanarak SAI döneminde yeni güneş teknolojileri kurulununun yaygınlaşmasıyla 2015 yılına kadar karbon salınımlarının önlenmesi üç katına çıkarılacaktır.

SAI aracılığıyla güneş enerjisi endüstrisine yapılacak yatırımlar ile, Birleşik Devletler güneş enerji endüstrisinin pazar payının yükselmesini sağlayarak ülke içi ve dünya çapındaki talepleri karşılayabilecektir. Ayrıca üretim, kurulum ve işletme alanlarında kalifiye elemanın istihdam edilmesi desteklenecektir. Direkt PV veya bununla bağlantılı işlerde çalıştırılmak üzere 2015 yılında 10000-30000, 2030 yılına kadar ise 67000-89000 işçinin istihdam ettirilmesi öngörülmektedir [11].

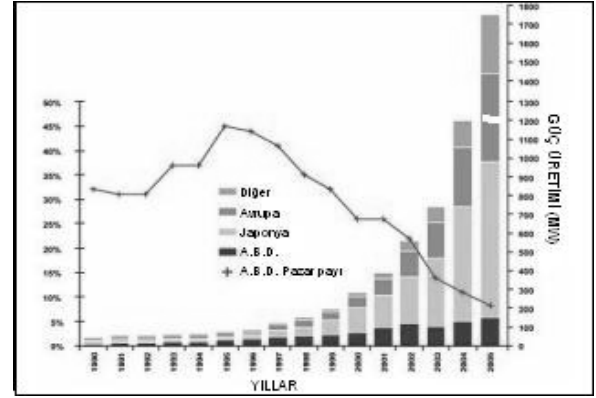


Şekil 5: SAI, karbondioksit salınımı önleyerek sera gazı düşüşünü hızlandırmaktadır. Ayrıca 2030 yılında yıllık alt sınırdan 100-150 milyon metrik ton karbondioksit salınımının önlenmesi projelendirilmiştir.

4. FOTOVOLTAİKLERİN (PV) PAZAR DURUMU

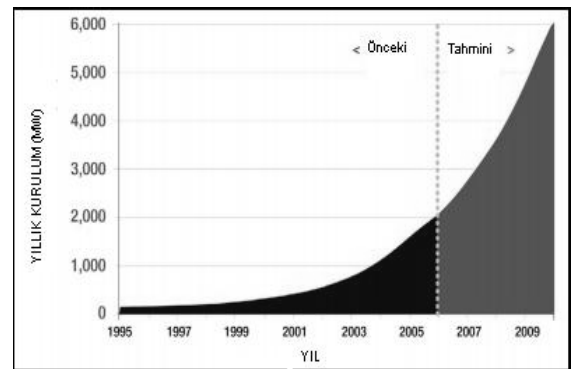
Fotovoltaikler (PV) uzaktan kontrol uygulamaları için maliyeti ve ispatlanmış güvenilirliği ile hep iyi bir güç kaynağı seçeneği olmuştur. Her halükarda daha düşük maliyeti ve PV verimliliklerinde son gelişmeleri ile

yararlı, dağıtılmış üretimi ve evsel uygulamaları içermesiyle sürekli gelişen bir pazar haline almıştır. PV pazarındaki en önemli kilometre taşı hiç şüphesiz, 2002 yılındaki şebeke bağlı PV uygulamalarının uzaktan uygulamalar için yapılan satışlardan katı suretle üstün çıkmasıdır [12].



Şekil 6: Ülkeler bazında küresel PV pazar payı

Küresel PV pazarının önümüzdeki on yıl boyunca sürekli olarak büyümeye devam edeceği tahmin edilmektedir. (Bakınız Şekil-6) Konutlarda ve işyerlerinde kullanılan şebekeye bağlı PV uygulamaları pazarının, bu büyümenin lokomotifliğini yapacağı beklenmektedir. Birleşik Devletler PV endüstrisi yol haritasına göre, küresel PV endüstrisinin dünya çapındaki gelişimine paralel olarak bu süreçte California'nın öncülüğünde New Jersey ve diğer eyaletlerin girişken şekilde takip edeceği güneş enerjisi uygulama ve geliştirme programıyla Birleşik Devletler PV endüstrisinin de gelişeceği ve büyüyeceği tahmin edilmektedir [13].



Şekil 7: Küresel PV kurulum öngörüsü

5. FOTOVOLTAİKLER (PV) İÇİN EYALET VE HÜKÜMET GİRİŞİMLERİ

Birçok eyalette güneş enerjisinden elektrik üretim çalışmaları ile birlikte California eyaletinde gerçekleştirilen programlar aşağıda gösterilmiştir.

California Güneş İnisiyatifi: 2,8 milyar dolarlık bütçe, 2016 yılına kadar 3000 MW lık yeni güneş kapasitesi için ayrılmıştır.

Güneş enerjisi sistemleri için vergi muafiyeti: 31 aralık 2009 tarihinden itibaren kurulacak olan belirli tiplerdeki güneş enerji sistemleri için vergi muafiyetini içeren bir düzenlemedir.

Sıfır enerjili yeni nesil ev programı: Bu program, evin enerji faturalarını düşürmek için bir tarafına döşenecek panellerle güneşten elektriğini sağlamak ve enerji verimliliği optimizasyonu yapacak yeni ev tasarımları gerçekleştirilmesini hedefler [10].

Bunun yanı sıra New Jersey’de de çok sayıda program yürütülmektedir. Bunlar;

Temiz enerji temelli yerel okul ve kamu binaları: New Jersey’deki yerel okul ve kamu binalarının yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği birleştirmek için uzun vadeli bir finansman programı yürütülmektedir.

Güneş ve rüzgâr enerji sistemlerine muafiyet: New Jersey eyaletinde tüm güneş ve rüzgar enerjisi teçhizatlarının satışını teşvik etmek amacıyla girişimciler, devletin %6 lık satış vergisinden tümüyle muaf tutulmaktadır.

6. SONUÇ

Amerika Birleşik Devletleri, dünyanın en büyük enerji alt yapısına sahip olan ülkelerden biri olması ve hem endüstriyel gelişmişliği hem de vatandaşlarına sağlamak zorunda olduğu kaliteli hayat standardını düşürmemek amacıyla enerjiye hayati gereksinim duymaktadır. Dünya enerji piyasasına yön veren, enerji alanında yaptığı yatırımlar ve küresel enerjideki en yüksek pazar payına sahip olması gibi nedenlerle Amerika Birleşik Devletleri’nin enerji politikaları izlenerek dünyanın gelecekteki enerji çizgisinin kestirilebilmesine imkân sağlaması Birleşik Devletlerin enerji alanında yaptığı çalışmaları, izlediği politikaları ve yeni kaynaklara yönelim aşamalarını inceleme ve analiz etme ihtiyacını doğurmuştur. Avrupa’daki bazı ülkeler ve Japonya,

endüstriyel olarak gelişme evresini tamamlamış, son yıllarda enerji politikalarını değiştirmiş ve hemen hepsi enerji sıkıntılarını aşmak ve dışa bağımlılığı azaltarak güvenli, güvenilir, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarına doğru geçiş yapmışlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, ileri teknolojiler kullanılarak elektriğe dönüşmesi oldukça planlı, programlı çalışmalar ve ekonomik olarak ciddi yatırımlar gerektiren sonsuz ve temiz bir kaynaktır. Bu gelişmiş ülkeler geleceğin enerji teknolojisine sahip olabilmek için birbirleriyle kıyasıya rekabet içerisine girmiş ve bu rekabet adeta boy gösterisine dönüşmüştür. Amerika Birleşik Devletleri ise bu rekabet içerisinde Avrupalı ve Uzak doğulu rakiplerinin gerisinde kalmamak ve enerji alanında yeniden lider olabilmek için uzun yıllardır uğraş veren ve bu konuda gerekli kurumları ve yasaları oluşturarak geleceğin enerji teknolojisinde söz sahibi olmaya ve pazar payını arttırmaya çalışmaktadır.

7. KAYNAKLAR

- [1] Department of Energy Strategic Plan. United States Department of Energy, 2006.
- [2] “Web site of Solar America Initiative” from <http://www.eere.energy.gov/solar>
- [3] Annual Energy Review 2005. DOE/EIA-0384(2005). Washington DC: Energy Information Administration.
- [4] “U.S. Market Analysis” PV News(25:5). Cambridge, MA: Prometheus Institute.
- [5] “Solar Energy Technologies Program Multi-Year Program Plan 2007-2011.” Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. United States Department of Energy January 2006. page 1.
- [6] “Forecasts and Analysis-Natural Gas.” Energy Information Administration. September 19, 2006.
- [7] Ibid.
- [8] “Natural Gas Summary” EIA, September 19, 2006
- [9] EIA’s Annual Energy Outlook(AEO), 2006
- [10] Black & Veatch, “Economic benefits of Concentrating Solar Power in California, Draft Final Report”, December, 2005
- [11] “The Solar America Initiative: Energy, Economic, and Environmental Benefits” National Renewable Energy Laboratory, 2006
- [12] “Cumulative installed PV power by application area in IEA reporting countries(MWp).” International Energy Agency, September 2006 from <http://www.solarbuzz.com/statsgrowth.htm>
- [13] U.S. PV Industry Roadmap Through 2030 and Beyond. September 2004.



KÖRFEZ İŞBİRLİĞİ KONSEYİ ÜLKELERİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ ALANINDA(GÜNEŞ + RÜZGAR) POTANSİYEL VE UYGULAMAYA KONULMUŞ PROJELER(I)*

Mahmut Aydınol

Fizik Bölümü, Fen-Edebiyat Bölümü, Dicle Üniversitesi, 21280 D. Bakır
aydinolm@dicle.edu.tr

ÖZET

Körfez işbirliği konseyi ülkelerindeki(KİKÜ) güneş ve rüzgar enerjisi potansiyelleri tanıtılmıştır. Bunun yanında keza her bir üye ülkede gerçekleştirilmiş bazı önemli projeler ayrı ayrı tanıtılmıştır. Petrol kirizi nedir bilmeyen bu ülkelerde 2015 yılında güneş ve rüzgar enerjisinden üretilen elektrik miktarının 5000 MW ta ulaşacağı beklenmektedir. Bu değerün ülkeler arasındaki dağılımı yaklaşık olarak sırasıyla; Bahreyn, Katar, Birleşik Arap Emirliği(B.A.E), Kuveyt ve Oman için: 1000, 3500, 400, 2 ve 3 MW kadar olacaktır. Körfez İşbirliği Konseyi Ülkelerindeki yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmayı çeşitlendirmek ve hızlandırmak için, Kyoto protokolu şartlarını da göz önünde tutarak neler yapılması gerektiği ve devlet politikasının nasıl olması gerektiği hakkında da öneriler sunulmuştur. *[1].

Not:*[1] W. E. Alnaser, N W Alnaser; Solar and wind energy potential in GCC countries and some related projects "Journal of Renewable and Sustainable Energy" 1, 2009, pp.1-28. isimli konuyu gözden geçiren bu kaynaktan esinlenilerek ve pek çok alıntı ve kısaltmalar yapılarak ve yazarların ilgili bazı eserlerinden de yararlanılarak hazırlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Körfez ülkeleri, yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi rüzgar enerjisi, enerji politikaları.

harcamaların tahmini değerleri milyar dolar verilmiştir[1].

1.GİRİŞ

Dünya enerji konseyine göre, gelecek 10 yılda Körfez Ülkelerinde(K.Ü.) 100 GW ek enerjiye ihtiyaç duyulacaktır. Gelecek 6 yıl içinde sadece Ortadoğu ve Kuzey Afrika bölgesinde yeni tesisler kurmak için 57.10⁹\$ harcama yapılması gerektiği tahmin edilmiştir. Bunun 2510⁹\$ sadece Körfez Ülkelerinde harcanacağı ve bu harcamanın büyük bir kısmının da özel sektörce yapılacağı tahmin edilmektedir. Uzun dönem için beklenen yatırımların ülkelere göre dağılımının ise aşağıdaki gibi olacağı beklenmektedir:

Körfez ülkeleri ulusal elektrik şebekesi projesine 3 milyar dolar harcanacaktır. Orta Doğu'daki enerji endüstrisinin değişik sektörlerine, gelecek 20 yılda bir trilyon dolar yatırım gerekecektir. B.A.E de büyüyen enerji tüketimini karşılamak için 10.10⁹\$ fazla yatırım gerekecektir. Suidi Arabistan'da üretim miktarını 17 GW den 66 GW ta çıkarmak için 2023 yılına kadar 17.10⁹\$ yatırım gerekecektir. Diğer Körfez Ülkelerinde gereken yatırım miktarları ise, Kuveyt için 3,6.10⁹\$, Bahreyn ve Oman için de birer milyon dolar gereklidir[1].

Tablo.1 de 2010 yılına kadar ön görülen ek elektrik enerjisi üretim kapasiteleri(MW) ve bunlara erişmek için körfez ülkelerinde yapılması gerekli

Ülke adı	ek kapasite(MW)	Maliyeti(x10 ⁹ \$)
Bahreyn	1200	0,9
Kuveyt	3400	2,5
Oman	1100	0,8
Qatar	800	0,6
S.Arabistan	20000	15
B.ArapEmir.	6600	5,1

Ortadoğu elektrik web sitesine göre[5], 2020 yılına kadar Dünyada rüzgardan elektrik üretim miktarı 1,2 Milyar GW(yaklaşık 2007 deki 94,1 MW lık üretimin 13 katı) değerine ulaşacaktır[1, 2]. 1998 de Dünya CO₂ salınımının ancak %2,2 si körfez ülkelerinden kaynaklanmaktadır. 1998 de USA daki CO₂ salınımı ise, Dünya CO₂ salınımının %23 kadardır. Kişi başına CO₂ salınımı körfez ülkelerinde çok düşüktür ve buna rağmen fosil yakıtların tüketiminin azaltılması şarttır: Yenilenebilir enerjilerin ülkelere devreye sokulması ve onların yerine kullanımı, fosil yakıtların tüketim hızını azaltacak ve fosil yakıt kaynaklarının tükenmesini geciktirecektir. Son



yıllarda Körfez ülkelerinde güneş enerjisinden faydalanma ve elektrik üretim hızı ve rüzgar enerjisinden faydalanma hızında büyük ve sürekli artma sağlanmıştır. Burada, güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi iki yenilenebilir enerji potansiyelinin önemi vurgulanmış ve bunlarla ilgili yapılmış ve 2015 yılına kadar tamamlanması beklenen projeler anlatılmıştır.

2. KÖRFEZ ÜLKELERİNDE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Bölgede ortalama fotovoltaikler kullanılarak 6 kWsaat/m²/gün ve kaba odaklayıcıların üzerine düşen radyasyonla 4,5 kWsaat/m²/gün güneş enerjisi toplanmaktadır. 2006 da Körfez Ülkelerinde yaklaşık 400TWSaat lik elektrik enerjisi tüketilmiştir. Bu ülkelerde 10 km² lik(10000 dönümlük) alana düşen güneş enerjisinin toplam %20 verimlilikle çalışan bir sistemle kullanıma sunulmasıyla elde edilen enerji miktarı 4380 Gigawattsaat olacaktır. Eğer, alan 1000 km² seçilmiş ise, aynı verimlilikle çalışan sistemler kullanıldığında, 4,38.10⁶ G.W.saatlik enerji toplanmış olur. Buradaki toplayıcı yüzey alanı ise, körfez ülkelerinin 652000 km² kadar olan yüz ölçümünün ancak %0,2 si kadardır. Bu nedenle, tuzlu deniz suyundan içme suyu temininde ve kırsal kesimlerde diğer elektrik kullanımı için güneş enerjisinden faydalanmak, diğer yenilenebilir enerjilerden faydalanmalara göre tercih edilmektedir. Basit bir hesapla, Bahreyn’de metre kareye düşen güneş enerjisi 600 W/m², ortalama güneş alma süresi de ortalama 10 saat olduğuna göre bir günde 6.10³ Wsaat/m² lik enerji 1m² de toplanabilmektedir. Bu miktar aynı zamanda 21,6 MJ/m² ye eşittir. Eğer bu enerjiyle su buharlaştırmaya kalkışsak(suyun buharlaşma ısısını da 2,4 MJ/kg olarak) bir metre kare başına bir günde düşen enerjiyle, yaklaşık (21,6/2,4) = 9 kgr damıtık su elde edilir. İşte bu ve benzeri uygulamalarla körfez ülkeleri içme ve günlük su gereksinimlerini karşılayabilecek tesisler kullanmakta ve kurmaktadır[1,4]. Eğer verimliliği %25 ve toplayıcı alanı 300 m² bir su damıtma sistemi kullanılsa gün başına 675 litre saf ve içilebilir su üretilir.

3. KÖRFEZ ÜLKELERİNİN RÜZGAR POTANSİYELİ

Körfez ülkelerinde, hızı ortalama 6 m/sn kadar olan rüzgarlar mevcut olup, bu durumda rüzgar enerjisinden faydalanmayı uygun kılmaktadır. Tablo.2 de de görüldüğü üzere bazı ülkelerdeki rüzgar potansiyeli diğerlerinden büyüktür. Bir yılda, tam rüzgarlı(yük) geçen saat sayısı kayıtlarını karşılaştırarak bunu anlamak mümkündür.

Tablo.2 K. Ü.de rüzgar enerjisi potansiyeli[7].

Ülke	tam rüzgarlı saat s./yıl
Bahreyn	1360
Kuveyt	1605
Oman	1463
BAE	1176
Katar	1421
Suidi Arabistan	1789

Tablodan anlaşılan, en fazla rüzgar alan ülke, Saudi Arabistan 1789 saat ile ilk sırada, UEA ise 1176 saat ile en az alandır. Yılda 1400 saatten fazla rüzgar alan ülkelerde ekonomik olarak rüzgar enerjisinden faydalanma ve elektrik enerjisi üretimi öngörülmektedir. Örneğin, günümüzde 7MW güç üreten kanat uzunluğu 60 m olan rüzgar türbinlerini Barb Co. Almanya ve diğerleri) kurup işletmektedirler. Bütün K.Ü. nin bugünkü elektrik ihtiyacını yaklaşık olarak, bu tip türbinlerden 10500 tanesini işletmeye alarak karşılamak mümkündür. Bu türbinleri sahil uzunluğu 2200 km den fazla olan bu ülkelerde deniz içine kıyıya paralel 0.5 km aralıklarla ve ard arda sıralar halinde kurmak mümkündür.

4. K.Ü. DE TAMAMLANMIŞ ÖNEMLİ GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİSİ PROJELERİ

Aşağıdaki bölümlerde, bugüne kadar yapılmış önemli aktiviteler ile 2015 yılına kadar yapılması planlanan önemli güneş ve rüzgar enerjisi uygulamaları anlatılacaktır.

A. Suidi Arabistan

1.USA ile Ortak çalışma programı

Bu program SOLERAS(Solar Energy Research-American/Suidi) adıyla 1977 de başlayıp 1987 de tamamlandı. Güneş enerjisinin ekonomik ve teknolojiksel konuları ele alınmıştır. İkinci program DOE(U.S.A) ile 1989 da başladı(1,3).

2.Soleras

Bu program için her iki ülke 50 milyon dolar katkıda bulundu. Bu bütçeyle Suidi Arabistan’da yapılan güneş enerjisiyle ilgili araştırma çalışmalarıyla , Amerikanın yaptığı her türlü uluslar arası güneş enerjisi çalışmalarının masraflarını karşılamıştır. Bu programda, Güneş enerjisinin aşağıdaki alt bölümlerde kullanımına odaklanılmıştır:

- 1.Kırsal/ziraat amaçlı uygulamalar
- 2.Şehir uygulamaları
- 3.Endüstriyel uygulamaları
- 4.Kaynak geliştirme aktiviteleri.

3.Güneş Köyü Projesi:

Riyad'ın 50 km kuzey batısındaki 3 köyde uygulamaya konulmuştur. Bu projenin hedefi güneş enerjisinden elektrik üreterek ulusal elektrik şebekesiyle beslenemeyen bu 3 köyün elektrik gereksinimlerini karşılamaktır. Kullanılan fotovoltaik toplayıcıların kapladığı alan yaklaşık 67000 m² dir. Bu elektrik üretim istasyonunun, toplamda 350 kW DC çıkış gücü, 1100kwsaatlik depo aküleri, 300kVA lik dönüştürücüsü mevcuttur. Ayrıca yakınına kurulan Meteoroloji istasyonunda her türlü elektrik ihtiyacı bu istasyondan karşılanmaktadır. İstasyon, 1-1,5 MWsaat lik elektrik enerjisi çevredeki üç elektriksiz köye hergün temin etmektedir. Sistem tamamen otomatikleştirilmiş ve 1981 den bu yana Enerji Araştırma Enstitüsünce(ERI) çalıştırılmaktadır.

4.Almanya ile Ortak Program

Bu program 1982 de ısısal güneş çanağı projesi olarak başlatılmıştır. Daha sonraları ısısal çanakların çapı 17 metreye kadar büyütülerek güneş enerjisi-hidrojen teknolojilerinin geliştirilmesi amaçlı 8 milyon marklık bir bütçeyle çalışmalar sürdürülmüştür. Bu enerji toplama çanağı ile ortak kullanılan "stirling motoru" ile mekanik enerjiye çevrilen enerjiyle 50-60 kW lık A/C jeneratörler çalıştırılmıştır.

5.Güneş-Hidrojen Üretimi Pilot Tesisi

Riyad'ın yakınındaki Güneş köyünde kurulmuştur. 350 kW lık bir güçle beslenen tesis günde normal basınç altında günde 463 m³ lük hidrojen üretmektedir. İyileştirme ve kapasite artırım çalışmaları hala devam etmektedir.

6. KACST's Bağımsız Güneş Projesi

Solares anlaşması sırasında güneş enerjisi programları bölümü de KACST da kurulmuştur. Bu bölümün amacı başlangıçta güneş enerjisi aktivitelerine yardımdı. Sonraları Enerji araştırma enstitüsüne dönüştürüldü(ERI)[1,5].

Yaptığı aktivitelerin Bazıları aşağıdadır:

12 adet güneş radyasyonu ölçme istasyonu kurmuştur. 20, 30, 40 m de ölçümler yapabilen 5 adet rüzgar takip istasyonu kurulmuştur. Rüzgar enerjisi Çalışmaları(Al-Oweigela Köyü, Kuzey Doğu Suidi Arabistan) Kurulu kapasite

1998 de 4.5 MW 'ta ulaşmıştır. Daha sonra kapasite 24 MW yükseltilmiştir.

PV Grid Bağlantılı Proje: 6 kW gücünde(1x6) bir tesis olup depolama sistemi yoktur.

Fotovoltaiklerle Tünel Aydınlatma: 1985 de KACST ile Ulaştırma Bakanlığı birlikte tamamlamışlardır. Ulusal griden elektrik ulaştırılmayan 2 tünelin aydınlatılması biri 240 m 48 KW lık PV ve 4900 Asaat lik aküye sahiptir. Diğer büyük tünel 546 m olup 57 KW PV ve 6000 Asaatlik aküye sahiptir. Yakın zamanlarda 13 muhtelif tünellerde de 94 kW lık PV güneş enerjisi ile beslenen aydınlatma amaçlı sistemler kullanıma sunulmuştur. Ama maalesef tünelleri dizel elektrifikasyonla aydınlatmanın maliyeti, PV güneş enerjisiyle aydınlatmaya göre çok daha ucuz olup, bugün için bu oran 3,5 dir. PV güneş enerjisi sistemi ile Tünel ve otoban aydınlatma sistemi Şekil.1 de görülmektedir[1].



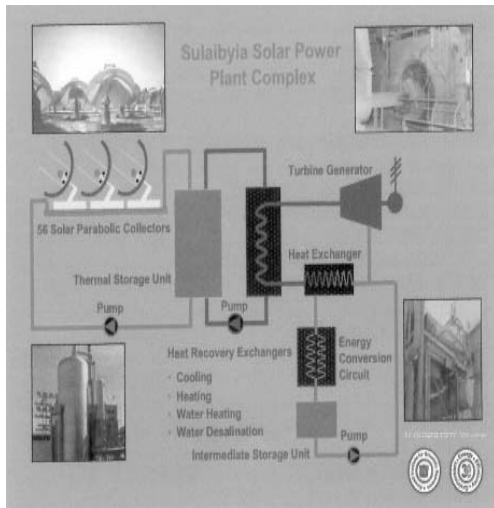
Şekil.1 Otoban ve tünel aydınlatılması[1].

B. Kuveyt

Yapılan sistematik çalışmalar sonucu, PV güneş enerjisi ile kullanılabilir su eldesi ve ısıtma/soğutma amaçlı kullanımların, klasik enerjileri kullanımına göre %50 ye varan oranlarda ekonomik olacağı anlaşılmıştır. PV güneş enerjisi kaynaklarıyla, grid bağlantısız kullanım mümkün olduğu sürece %100 tasarruf sağlanabilir. PV güneş enerjisi kullanımının birçok avantajları vardır. Kuveyt de PV güneş enerjisi kullanımları yanında, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisinden faydalanarak-hidrojen üretimi ve sıvı yakıt ve güç üretimi için Güneş-Tarımsal çiftlik programları uygulamaya konulmuştur.

1. KISR de 1975 den beri Yürütülen Güç Üretimi ve Temini Projeleri

Yetmişden fazla araştırmacı(mühendis ve teknisyence) 50 milyon dolar harcanarak 140 proje yürütülmüştür. R&D programları ülkenin gereksinimlerine ve teknolojik ve ekonomik yapılabilirliği, öngörülen faydaları da hesaba katılarak yürütülmektedir: Bunlardan bazıları: güneş enerjisine dayalı yapılan ısıtma ve soğutma sistemleri(bina ve okullar için): 130KW gücünde yardımcı ısıtıcı amaçlı olarak krulup 1981 de kullanılmaya başlanmıştır. Isıtma ve elektrik üretim amaçlı, 80 kWsaat günlük elektrik tüketim yükünü karşılayabilen bir PV modüllü sistem, okul için 1984 de kullanıma sunulmuştur. Bu sistem şekil.... De görülmektedir. KISR için uygulama laboratuvarı olarak da kullanılan güneş evi günlük 2,5 kWsaat enerji üretebilen PV modüllü sistem de 1984 de çalışmaya başlamıştır. Sulaibia Güneş Enerji santrali kompleksi(güç üretimi 125kW) ve Sulaibia da güneş enerjisinden faydalanarak temiz su üretim tesisi kurulmuştur. Tesisle ilgili şema Şekil.2 de görülmektedir[1-3].



Şekil.2. Güneş enerjisi santrali(1, 6).

C.Bahreyn

1.Bahreyn Dünya Ticaret Merkezi

Bahreynde ilk rüzgar değirmeni 1950 lerde kurulmasına rağmen son yıllara kadar rüzgar enerjisinden pek faydalanılmamıştır. Son olarak 2007 de Dünya Ticaret merkezi binasına üç tane birbirine paralel monte edilmiş rüzgardan elektrik üreten sistem yerleştirilmiştir. Bu üç türbinün ürettiği toplam güç 0,66MW dır. Bu üç türbinle merkezce

gereksinilen elektrik tüketiminin %11-%15 nin karşılanacağı hesaplanmıştır. Bu türbinler Şekil.3 de görülmektedir[1].



Şekil.3 Dünya ticaret Merkezi(1, 6).

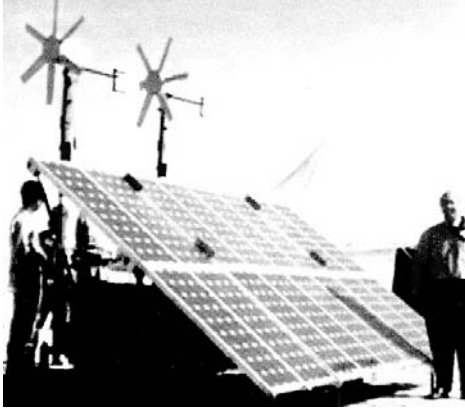
2. Bahreyn Üniversitesi Projeleri

Fizik ve Kimya Mühendisliği Bölümü elemanlarının katkılarıyla, Birer adet mobil güneş enerjisi elektrik üretim sistemi ve rüzgar enerjisinden elektrik üretim sistemi yapılmıştır. Birincisi, güneş enerjisiyle su arıtma sistemidir. 1,5 kW kullanarak 1125 litre su arıtılabilmektedir[1,4]. Sistem Şekil.4 de görülmektedir.



Şekil.4 Su arıtma sistemi[1, 4, 7].

İkinci sistem 1,9 KW lık fotovoltaik elektrik gücü yanında, rüzgardan elde edilen 100 W lık elektrik enerjisi de üretmektedir[1,4]. Bu sistem Şekil.5 de görülmektedir.



Şekil.5 PV güneş ve Rüzgar Enerjisi[1].

Küçük ölçekli birçok güneş enerjisinden elektrik üretim sistemleri de mobil telefonların ve güvenlik telsizlerinin şarjı amaçlı kullanılmak üzere(gücü 200W kadar) uygulamaya konulmuştur.

3.Alba Güneş Isıtıcısı

Alba Sağlık Merkezinin sıcak su ihtiyacı için kurulmuştur. Bu tesisteki güneş enerjisinin katkısı yılda 55 MWsaat kadardır.

D. Oman

Oman da kurulu toplam yenilenebilir enerji kaynakları Kasım 2008 itibariyle 235 kW kadardır. Oman Güneş Sistemlerince yolların aydınlatılması, mobil telefon iletişim ağı yansıtıcıları, Deprem Kayıt Merkezlerindeki aletlerin elektrik gereksinimleri için gerekli elektriği üretecek tesisler kurmuştur. Oman'ın güney bölgesinde araştırma ve sulama amaçlı rüzgar enerjisinden elde edilen elektrikle çalışan bir su pompalama istasyonu işletmeye açılmıştır.

E. Birleşik Arap Emirliği(B.A.E)

1.Etisalat

Birleşik arap emirliğinde 1997 de başlanan bu büyük projeye 33 adet zor erişilen bölgelerdeki(adalar ve çöllük kısımda) GSM baz istasyonu için potovoltaik yöntemle güç temini sağlanmıştır.Projeye 10 milyon dolar harcanmıştır[1,3,4].

2.Umm Al Quwain deki Büyük Depolarda Kurulan Güneş Enerjisi Sistemi

Bu sistemi UAEGreen Energy LLC şirketi kurmuştur.

3.Dubai Sivil Havacık için Güneş Enerjisiyle Aydınlatma Sistemleri

Green Energy LLC şirketi 3 km den rahatlıkla görülebilen ve güneş enerjisiyle beslenen dünyanın en ileri aydınlatma lambası modellerinden Model A601 isimli kırmızı ışıklı lambalarıyla hava alanı aydınlatmasını beş yıla kadar hiçbir bakım gerektirmeyecek şekilde donattı.

4. Dubai deki Bahçeler Girişinin İkaz Lambaları Sistemi

Green Energy LLC tarafından üretilip montajı yapılan beş yıl tamirat gerektirmeyen ve güneş enerjisiyle çalışan LEDR2447C tipi flaş lambaları bahçe girişine ve tehlikeli kavşaklara konulmuştur. 24 saat duraksamasız flaş lambalar çalışarak kazaları önlemekte ve yayaları uyarmaktadır[1,3].

5.Güneş Enerjisi Kullanarak Trafik Kontrolü

Dubai belediyesinin talebi üzerine ana yollardan biri üzerine trafiği kontrol için araç sayma sistemleri konulmuştur. Bu aletler güneş enerjisiyle beslenmektedir.

6.Yeşil Binalar

Dubai, hiç fosil yakıt kullanmayan binalar yapmayı gündemine almıştır.

F.Katar

Katar kaynaklı, Katar'ın rüzgar ve güneş enerjisi potansiyeliyle ilgili üç tane yayınlanmış makale vardır.1980 - 1990 güneş gölü projesi yapılmıştı. Yapılması düşünülen Enerji Bilim parkı sayesinde uluslar arası özel teşebbüslerinde ilgisiyle yeni ve yaratıcı projeler Katar da yakın zamanda başlayacaktır.

5.SONUÇ

Körfez ülkelerinin sahip olduğu zengin petrol kaynakları ve kullanım imkan ve ucuzluğu yanında son yirmi yıldır güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerjiler konusunda

Yaptıkları araştırmalarda bazı Avrupa ülkeleri, Japonya ve Amerika(USA) gibi ülkelerle işbirliği yaptığı bilinmektedir. Bu işbirliği hala artar bir şekilde sürdürölmektedir[1,2,3,8]. Son zamanlarda, Türkiye’de yenilenebilir enerjilerin kullanıma sunulmasında bazı Avrupa ülkeleriyle işbirliğine gitmiştir. Türkiye de bu konuda körfez işbirliği konseyi ülkeleriyle, işbirliği yapacak şekilde öne çıkmalıdır. Bugüne kadar her bir KİKÜ ülkesinin gerçekleştirdiği araştırmaları takdirle karşılıyoruz.

KAYNAKLAR

- 1.W. E. Alnaser, N W Alnaser Solar and wind energy potential in GCC countries and some related projects “Journal of Renewable and sustainable Energy” 1, 2009, 1-28.
- 2.<http://www.middleeastelectricity.com/power/Power-Generation.html>; Pres release of the Middle East Electricity Conf & Exhibition 2010, Feb. 2010, Dubai, UAE.
<http://www.middleeastelectricity.com>
- 3.W. E. Alnaser, “Renewable Energy Activities in the Gulf Cooperation Council(GCC) Countries,” in Renewable Energy 2007/2008(Sovereign Pubs. Ltd. U. Kingdom, 2008) pp. 81-89.
- 4.W. E. Alnaser, F Trieb, and G Knies, “Solar Energy Thecnology in the Middle East and North Africa(MENA) for Sustainable Energy, Water and Environment” in edited by D Y Goswami, Advances in Solar Energy: An Annual Review of Research and Development, Int. Soilar Energy Society(ISES)(James and James/Earth-Scan, Oxford, U:K., 2007), pp.261-305.
- 5.<http://www.earthtrends.wri.org>; Website of the World Resources Institute Earth Trends Environmental Information.
- 6.W. E. Alnaser, B Eliagoubi, A Al-Kalak, H trabelsi et al. Renewable Energy, 29, 1082, 2004.
7. W. E. Alnaser, Renewable Energy, 3, 235 1993.
8. A. Sayigh, Worldwide Progress in Renewable Energy, ISESCO Sci. Technol. Vision 3, 86, 2008.

KÖRFEZ İŞBİRLİĞİ KONSEYİ ÜLKELERİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİLER ALANINDA UYGULANMASI PLANLANAN BAZI ÖNEMLİ PROJELER(II)*

Mahmut Aydınol

Fizik Bölümü, Fen-Edebiyat Bölümü,
Dicle Üniversitesi, 21280 D. Bakır
aydinolm@dicle.edu.tr

ÖZET

Körfez işbirliği konseyi 2015 yılında güneş ve rüzgar enerjisinden üretilen elektrik miktarının 5000 MW ta ulaşacağı beklenmektedir. Bu değer ülkeler arasındaki dağılımı yaklaşık olarak sırasıyla; Bahreyn, Katar, Birleşik Arap Emirliği(UAE), Kuveyt ve Oman için: 1000, 3500, 400, 2 ve 3MW kadar olacaktır. 2015 yılından sonrada planlanıp uygulamaya konulacak büyük projelerde kısaca özetlenmiştir. Tebliğin hazırlanmasında bu konuyla ilgili çok önemli bir "review" makalesi olan W.E. Alnaser&N.W. Alnaser(2009)* yararlanılmıştır. Körfez ülkelerindeki yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmayı çeşitlendirmek ve hızlandırmak için de neler yapılması gerektiği ve devlet politikasının nasıl olması gerektiği hakkında da öneriler sunulmuştur. Güneş enerjisi tarlalarının veya rüzgar çiftliklerinin denizlere veya kullanılmayan arazilere kurularak elde edilen enerjilerin doğrudan ulusal gridlere aktarılarak alım garantisi sağlanmasının da üreticileri teşvik edebileceği vurgulanmıştır.*[1].

Not:*[1] W. E. Alnaser, N W Alnaser; Solar and wind energy potential in GCC countries and some related projects "Journal of Renewable and Sustainable Energy" 1, 2009, pp.1-28. isimli konuyu gözden geçiren bu kaynaktan esinlenilerek ve pek çok alıntı ve kısaltmalar yapılarak ve yazarların ilgili bazı eserlerinden de yararlanılarak hazırlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, yenilenebilir enerjiler, körfez ülkeleri

1. KÖRFEZ ÜLKELERİNDEKİ ÖNEMLİ PROJELER

A. Avrupa Üniversitesi

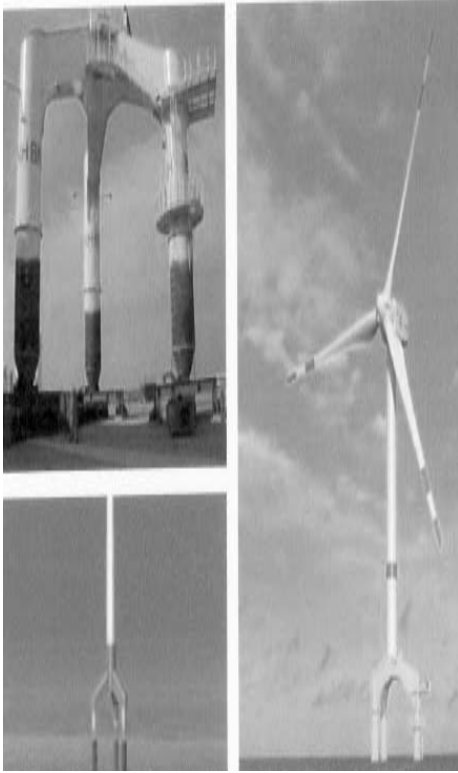
Bahreyn'de kurulması düşünülen bu üniversitenin elektrik gereksinimi çatılara kurulacak fotovoltaik sistemle sağlanacaktır. Bu projenin 2005 de başlaması kararlaştırılmış olmasına rağmen 2009 a kadar geciktirilmiştir. Projeye ilgili resim Şekil.1 de görülmektedir[1,3].



Şekil.1 Bahreyn Euro-Universitesi projesi fotoğrafı[1,3].

B. 600 MW lık Deniz içi Rüzgar Santrali

Alman Bard firmasının ihalesi kazanılma aşamasında olan bu projede toplam gücü 700MW kapasitede olacak, Bu güç, Bahreyn'de denize kurulacak 100 adet rüzgar türbininden temin edilecektir. Bu türbinlerin, yılda ortalama 4330-4500 saatlik tam dolu rüzgar yükü ile çalışacağı öngörülmüştür. Bu dev projenin arkasında Germanischer Lloyd(GL) ve Allianz Zentrum für Technik, Almanya firmaları da vardır. Projeye ait bilgiler; Comp. Reps. G. Boris Bards şirketinin yayınlarından da temin edilebilir[1,2,3]. Projede kullanılması düşünülen rüzgar türbiniyle ilgili fotoğraflar Şekil.2 de görülmektedir[1,2,3]



Şekil.2 Rüzgar santrali[1,2,3].

C. Güneş Enerjisiyle Tam Dönebilen Kule

Depolanmış güneşten elde edilen elektrik enerjisiyle sürekli 360 derece döndürülebilen bu silindirik kule şeklindeki yerleşim yerinin gereksinilen elektrik enerjisi de güneşten karşılanacaktır. Bu tip binaları barındıran adalar Dubai'ye değişik yollardan olumlu katkılarda bulunacaktır.

D.Masdar Şehri

Karbon emisyonu sıfır olan bir şehir olarak planlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmak üzere İngiliz mimar N. Foster tarafından planlanmış ve projelendirilmiştir. B.A.E' liğinin, petrolden günlük geliri 225.10^6 \$ kadardır. B.A.E' liğinin 50000 kişinin yaşayacağı böyle bir ultra modern yerleşim merkezine, 10-15 yıl içinde 15.10^9 \$ dolarlık yatırım yapmayı göze alması düşündürücüdür. Bu yerleşim yerinin maketsel görünümü Şekil.3 de görülmektedir[1,3,4].



Şekil.3 Yeşil şehir Masdar[1].

Gelecekte maliyeti 2.10^9 \$ kadar olacak 500MW kapasiteli ilk hidrojen güç santralinin Masdar da kurulması için British Petroleum şirketiyle görüşmelere başlanacağı açıklanmıştır. 100 MW lık güçte sahip paraboloid aynalı odaklayıcıları olan bir sistemde kurulması o,planlanmıştır. Masdar

da fotovoltaik sistemlerle elde edilen enerjiler yanında 20 MW lık güçte sahip rüzgar çiftliklerinden elde edilen enerjilerde kullanılacaktır. Sular güneş enerjisiyle arındırılacaktır. Masdar projesi için 22 potovoltaik pil üreticisinin ürünleri 18 ay içinde Abu Dabi iklim şartları altında denenecek en dayanıklı olan ürün sahibine Masdar için siparişler verilecektir. 2016 yılına kadar da projenin tamamlanması düşünülmektedir. Japonların tasarımı olan “Beam Down” (Güneş ışınları Demeti Aşağı) yöntemiyle elektrik üretim projesi de Masdar da denenecektir[1,4].

E. Bir Megavat Gücünde Temiz Enerji Üretmek Amacıyla Ras el-Khaimah (B.A.E) ta Yapılacak Yapay Adaya Kurulacak Tesis

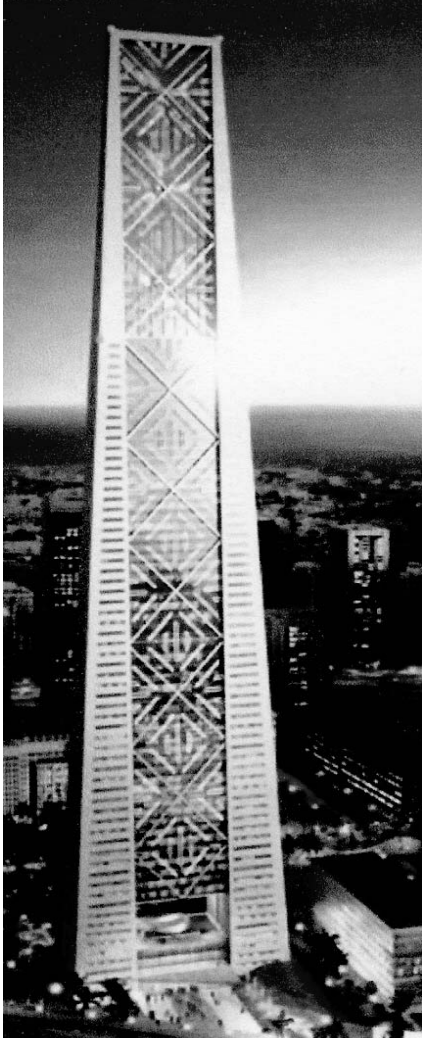
Yüzer bir ada üzerine, önce çapı 100m olan prototipi kurulacak olan güneş enerjisinden elektrik üretimi tesisin çapı daha sonra 1015 m ye çıkarılacaktır. Maliyeti 5 milyon doları bulacak bu projeyi bir İsviçre firması üstlenmiştir. Bu dairesel güneş adası Şekil.4 de görülmektedir. Ayrıntılı bilgi www.solar-islands.com/publications.html web sitesinde görülebilir[5].



Şekil.4 Dairesel Güneş adası[1,3,5].

F. Işık Kulesi (IK)

Dubaideki uluslararası finans merkezinin içinde kurulması düşünülen IK yeşil bina yapı özellikleri yanında güneş ve rüzgar enerjisi sistemleriyle donatılmış olacaktır. Bina İngiliz kökenli Atkins Group tarafından projelendirilmiştir. 400 m yüksekliğinde iki kule tipi yapıdan oluşacak IK, 66 katlı olacaktır. IK ile ilgili maket resim Şekil.5 de görülmektedir[1].



Şekil.5 Işık kulesi[1,2,3].

G. Katar Ulusal Gridinin GW Gücündeki Güneş Enerji Sistemleriyle Beslenmesi.

Katar'da 2011-2036 yılları arasında, güneş enerjisinden üretilecek 16260 MW lık elektrik enerjisinin, Katar ulusal elektrik şebekesine aktarılması planlanmıştır. Halen kullanılan miktar 4,5 GW kadar olup üretim konvansiyonel yollarla yapılmaktadır. 2013 yılına kadar her biri 500 MW kapasiteli 7 sitede üretilen 3,5 GW lık bir toplam enerjiyi gride bağlamayı planlanmıştır.

H. 500 MW Kapasiteli Bahreyn'de Uzun Parabolik Güneş Kolektörleri Sistemi(UPGK)

2000 m² yansıtıcı alanı olan 120 uzun parabolik odaklayıcılar temiz oldukları ve gün ortasında,

güneş ışınları normale yakın düştüğünde yaklaşık %60 verimlilikle çalışıp bir günde 200000 litrelik sıcak su (veya 1 MW enerji) ve 5MWSaat (0,2MW) lık enerji üretmektedir. Daha az yer kaplayan Doğrusal Frensel Teknolojisi ve Kule Teknolojisini yer sıkıntısı çekilen Bahreyn de kullanmak daha uygundur[1,2]. Yerleşim yeri veya endüstriyel amaçlı kullanılmayan yerlerde özel sektör güneş enerji sistemler kurmaya yönelmişlerdir. Bu özel sektör projeleri hükümetten izin alma aşamasına gelmiştir. GE(USA) şirketi bu tip projeleri finanse etme yanında gerekli buhar türbinlerini ve jenaratörleri temin etmede Eco-Hayal Kampanyası kapsamında istekli gözükmektedir.

2.TARTIŞMA

Körfez ülkeleri için yenilenebilir enerji konusunda birçok analiz ve gözden geçirme makalelerinde enerji politikası konularına da değinilmiştir. Yayınlanmıştır[1,7]. Bahreyn'deki yapılarda enerji tasarrufu konularına da değinen birkaç makale vardır[1,6]. Ama maalesef şimdiye kadar, güneş ve rüzgar enerjisi projeleri sonuçlarının kullanıma bir sokulmasının hızlandırılması konusunda bir model veya fikir önerilmedi. Bu iki çeşit enerji üretimi için ekonomik değeri olan teknolojik gelişmeler uygulamaya konulmuştur. Tablo.1 de verilen körfez ülkelerine ait yenilenebilir enerji kaynakları performans göstergeleri incelenerek bu durum anlaşılabilir[1, 4].

Ülkenin ortalama yenilenebilir enerji miktarını temsil eden bu parametreyle ulusal yenilenebilir enerji potansiyeli ortaya konulabilir[4]. Bu göstergelerden hareketle her bir ülkenin 2050 yılındaki enerji ihtiyacını karşılamak için kullanması gereken tesis kurulum alanları tahmin edilmiştir. Bu alanın büyüklüğü Bahreyn hariç hiç birinde yüzölçümünün %0,5 ni geçmemektedir[1,6]. Kullanılan güneş enerjisi toplaçlarının verimliliğini artırmak veya odaklı toplayıcılar tercih etmek daha ekonomik elektrik üretmeyi sağlayabilmektedir. Ülkelere düşen normal radyasyon miktarları da göz önünde bulundurulmalıdır. Fotovoltaik uygulamalarıyla hala pahalı elektrik üretilmektedir. Güneş bacalarında oluşturulacak rüzgarla da enerji üretimi ekonomik boyutlarda yapılabilir. Rüzgar enerjisini daha ekonomik kılmak için de deniz içi rüzgar türbini çiftlikleri kurmak ve rüzgar türbinlerini 100 m kadar yüksek kuleler üzerine oturtmak verimliliği artırabilir. Körfez ülkeleri enerji konusunda da şu üç ana unsuru daima göz önünde tutmaktadırlar: Temininde güvenlik, enerji piyasasında rekabet edebilirlik ve çevreyi kirletmemek, çevreye duyarlılık.

Tablo.1 Körfez Ülkeleri için yenilenebilir enerji performans indikatörleri

Ülke	Hidro Tam yük saat/yıl	Geo T(C°) 5km derinde	Bio tam yük saat/yıl	CSP direktnormal kWh/m ² /yıl	Rüzgar Tam yük saat/yıl	PV Globalyatay kWh/m ² /yıl	DalgaEn Tamyük saat/yıl
Bahrain							
Kuwait	1000	100	3500	2050	1360	2160	4000
Oman	0	100	3500	2100	1605	1900	4000
Qatar	0	100	3500	2200	2463	2050	4000
K.S.A.	0	100	3500	2200	1421	2140	4000
U.A.E	0	275	3500	2500	1789	2130	4000
	0	100	3500	2200	1789	2360	4000

Dünya enerji konseyine göre, gelecek 10 yılda Körfez Ülkelerinde, ihtiyacı karşılamak üzere 100 GW lık ekstra enerjiye ihtiyaç duyulacaktır. Eğer hükümetler bu enerjinin asgari %20 sinin yenilenebilir enerji(güneş+rüzgar) karar verirse çok iyi iş olanakları ortaya çıkar.Bilimsel ve mühendislik çalışmaları bu talep için yeni teknolojik ürünler ortaya koyacaktır. Bu yeni teknolojik ürünlere ulaşmada, USA, Avrupa, Japonya, Çin ve diğer ülkelerin bilim adamlarıyla yapılacak ortak çalışmalarda katkı sağlayacaktır. Bu politikalar sürdürülmeye devam ederse, yenilenebilir enerjilerin fosil yakıtlar yerine kullanımı artarak daha temiz, daha güvenli bir çevreye sahip oluruz. Dahası, klasik arabalar yerine hidrojenle, yakıt hücreleriyle çalışan hibrid arabalar kullanıma girer. Ülkelerin kullanılmayan alanları da kullanıma açılır. Şu anda dünyada günde 80 milyon varil petrol kullanılmakta; bunun 53 milyonu genel taşımacılıkta(5 i seyahat ve hava taşımacılığı, 19 u karada tüketim maddesi-gıda taşımacılığında, 29 milyonu da toplu insan taşımacılığında) kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerjiyle çalışan taşıtlar kullanıldığında, petrolle çalışanların saldığı CO₂ emisyonu da azalacaktır.

Körfez ülkelerinin enerji karakteristikleri genelde birbirine benzemektedir[1,7]. Ekonominin sağlıklı büyümesi, enerji talebini büyük ölçüde tetiklemiştir. Evlerde petrol tüketimi yılda %8 doğal gaz tüketimi ise %6 oranında artmaktadır. Elektrik tüketimi de yılda %6 artmaktadır. Doğal gaz talebi ise, doğal gaz rezervlerinin bitme sınırına gelmesine neden olmuş ve talep zor karşılanır duruma gelmiştir. İşte bu nedendir ki artık hükümetler ve enerji konusunda politik karar verecek olanlar, güneş ve rüzgar enerjisi kullanımını hızlandıracak kararları almalıdırlar. Muhtemelen 2015 yılından sonra, konvansiyonel yollarla elektrik üretim fiyatları artacaktır[1,7]. İşte bu nedenle güneş ve rüzgar enerjisi daha da aranır duruma gelecektir. Rüzgar enerjisi projeleri daha da çeşitlendirilebilir: Tam ve eksiksiz tek başına elektrik üreten rüzgar enerjisi sistemleri. Sahilde veya deniz içinde rüzgar

çiftlikleriyle elektrik üretimi. Güneş enerjisi projeleri de; ısıtma ve soğutma amaçlı sistemler, geliştirilmiş fotovoltaikler. Büyük ölçekli odaklayıcılar içeren sistemler(temiz su veya hidrojen de elde etmek için). Hala körfez ülkelerinde , güneş ve rüzgar enerjisinin konvansiyonel kaynaklardan elde edilen enerjiye göre 20 kat daha pahalıdır. Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin fiyatı gittikçe ucuzlasa da hükümetlerin, belirli bir süre için(15-20 yıl) üretici firmalara ve tüketici bireylere yenilenebilir enerjiye yönlendirmeleri için, teşvik tedbirleri ve özendirici politikaları devreye sokması gerekir[1,6,7]. Körfez Ülkelerin de, Güneş enerjisi ve Rüzgar Enerjisi Teknolojileri fabrikalarını ve üretim tesislerini devlet desteğiyle kurmaları gerekir. Buna paralel olarak da ülkelerdeki güneş ve rüzgar enerjisi üretim kapasitelerini alım garantisini de vererek artırmaları gerekir.

3. SONUÇ

Körfez Ülkelerinde güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli yüksektir. Önümüzdeki yıllar için beklenen 5 GW lık güneş ve rüzgar enerjisi projeleri kapasitesi çok daha büyütülmelidir. Gelecek 10 yılda bu ülkelerin tümünde gereksinilen 100 GW lık enerji talebinin ancak %5 inin yenilenebilir enerjilerden karşılanması ön görülmüştür. Tüm hükümetler ve vatandaşlar, artık yenilenebilir enerji kaynakları kullanmanın avantajlarının farkındadırlar. Bu ülkelerde, petrol ve doğal gazı yakmak amaçlı kullanma yerine petrokimyasal ve endüstriyel uygulamalar için kullanmak tercih edilmelidir. Atmosfer ve çevre kirliliğini azaltacak mekanizmalar devreye sokulmalıdır. Örneğin, arabalar, gemiler, fabrika bacaları, yerleşim yerlerinin saldığı CO₂ salınımı kontrol altına alınmalıdır. Buna benzer uygulamalar, yenilenebilir enerjilerin kullanımını artırır ve sürekli kullanımını özendirir. Çevre dostu akıllı yeşil binalar içeren yerleşim yerleri teşvik edilmelidir. Körfez Ülkeleri yaklaşık 2222 km sahile sahiptir. Bu sahil veya



deniz içi rüzgar türbinleri çiftliği kurmak için çok uygun yerlerdir. Günümüzde gücü 6 MW, kanat uzunluğu 60 m olan rüzgar türbinleri üretilip kullanılmaktadır. Bunlardan 10⁴ tanesi Körfez Ülkelerinin elektrik ihtiyacını karşılayabilir.. Bu türbinler 10 sıra halinde 8 km uzunlukta ve birbirlerinden 0,5 km aralıkla kurup topluca veya istenildiği kadarı çalıştırılabilir. Rüzgar enerjisine paralel olarak veya alternatif olarak, toplam yüz ölçümleri 2,5 milyon km² olan körfez ülkelerinde, sadece 625 dönümünde(625000m²) kurulacak %20 verimlilikle çalışan güneş ışınları odaklayıcılarıyla da 60 GW lık enerji üretmek mümkündür.

Hala körfez ülke hükümetleri, yenilenebilir enerji üreticilerine ve tüketicilerine teşvik tedbirleri ve yardımlar uygulamamaktadır. Halbuki şu anda 40 dan fazla ülkede teşvik uygulamaları vardır. Körfez Ülkeleri hükümetleri, zaman kaybetmeksizin, yenilenebilir enerji kullanımı ve uygulamaları konusunda ilgili vizyon ve stratejilerini belirleyip, bunu destekleyecek mekanizmaları da harekete geçirmelidirler[1,7,8]. Türkiye’de bölgesindeki bu ülkelerle yenilenebilir enerjiler konusunda işbirliğine gitme yollarını tek taraflı olarak ve çok yönlü olarak(bilgi-tecrübe-politika aktarımı gibi konularda) zorlamalıdır.

KAYNAKLAR

- 1.W. E. Alnaser, N W Alnaser Solar and wind energy potential in GCC countries and some related projects “Journal of Renewable and sustainable Energy” 1, 2009, 1-28.
- 2.<http://www.middleeastelectricity.com/power/Power-Generation.html>; Pres release of the Middle East Electricity Conf & Exhibition 2010, Feb. 2010, Dubai, UAE.
<http://www.middleeastelectricity.com>
- 3.W. E. Alnaser, “Renewable Energy Activities in the Gulf Cooperation Council(GCC) Countries,” in Renewable Energy 2007/2008(Sovereign Pubs. Ltd. U. Kingdom, 2008) pp. 81-89.
- 4.W. E. Alnaser, F Trieb, and G Knies, “Solar Energy Thecnology in the Middle East and North Africa(MENA) for Sustainable Energy, Water and Environment” in edited by D Y Goswami, Advances in Solar Energy: An Annual Review of Research and Development, Int. Soilar Energy Society(ISES)(James and James/Earth-Scan, Oxford, U:K., 2007), pp.261-305.
5. www.solar-islands.com/publications.html web sitesi.
6. <http://www.earthtrends.wri.org>; Website of the World Resources Institute Earth Trends Environmental Information.
7. M. Medonca, FIT for Purpose, 21 Century Policy, Renewable Energy Focus, July/August, 2007.
8. A. Sayigh, Worldwide Progress in Renewable Energy, ISESCO Sci. Technol. Vision, 3, 86, 2008.

HİNDİSTANIN RÜZGAR ENERJİSİ ÜRETİMİ

Mahmut Aydınol

Fizik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Dicle Üniversitesi, 2180 Diyarbakır
aydinolm@dicle.edu.tr

ÖZET

Hindistan'da 1990 lı yıllardan bu yana sürekli ve hızla artan rüzgar enerjisi üretiminin ve bilhassa elektrik üretimindeki kullanımında görülen artışa dikkat çekmek ve bu gelişmenin diğer ülkelerde de yenilenebilir enerjiyle ilgilenenlerin dikkatine sunmak amacıyla konu özetlenerek ele alınmıştır. Hindistan'ın bilhassa kıyı kesimlerinde ve güneye(ekvatora) doğru uzanan kısmındaki dağ eteklerine kurulmuş rüzgar çiftliklerinde daha büyük miktarlarda enerji üretilmektedir. Buna en büyük neden, ortalama hızları 10 m/sn yi aşan mevsimsel muson rüzgarlarının katkısıdır. Hindistan kökenli, rüzgardan elektrik enerjisi üretim tesisini garantili kurup, bakımını yapan bir firmanın bulunması da üretim artışını hızlandırmıştır. Hindistan, Dünyada en çok rüzgar enerjisi üreten ülkeler sıralamasında beşincidir. Bu sıralamadaki yerini korumasına en büyük katkılar, Non-konvansiyonel Enerji Kaynakları Bakanlığı kanalıyla planlanıp uygulamaya konulan devlet desteği ve teşvikleriyle özel sektörün katkılarının önemine de değinilmiştir. Çin ile yaptığı iş birliğinin, rüzgardan elektrik üretiminin artışına katkılarına ise değinilmemiştir.

Anahtar kelimeler: Rüzgar enerjisi, elektrik üretimi, yenilenebilir enerji, Hindistan

1. RÜZGARDANELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ (1994-2004 YILLARI ARASINDAKİ DURUM)

Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi (REÜ) Hindistan'da 1990 lı yıllarda başlamış ve 1994 ile 2004 yılları arasında özellikle özel sektör yatırımlarıyla çok büyük ilerleme kaydetmiş ve üretim son yıllarda hızla artmıştır. Yapılan rüzgar santrallerine dayalı olarak, Hindistan için faydalanılabilecek bürüt rüzgar enerjisi (RE) 45000 MW(megavat)' dir. Bazı eyaletlerin sahip oldukları rüzgar enerjisine ait tahmini değerler megavat cinsinden Tablo.1 de verilmiştir. Fakat, tekniksel olarak faydalı ve kullanılabilecek miktar ise 13400 MW olarak belirlenmiştir. RE potansiyeli en yüksek eyalet 9675 MW ile Gujarat ve en az sahip olan da 450 MW ile Batı Bengal eyaletidir. 1994-2004 yılları arasında, toplam kurulu REÜ tesislerinin, toplam kümülatif üretim miktarı 2500 dan fazla olup, buna karşılık gelen ve tekniksel olarak faydalanılabilecek miktar ise bu değer %18,5 idir.

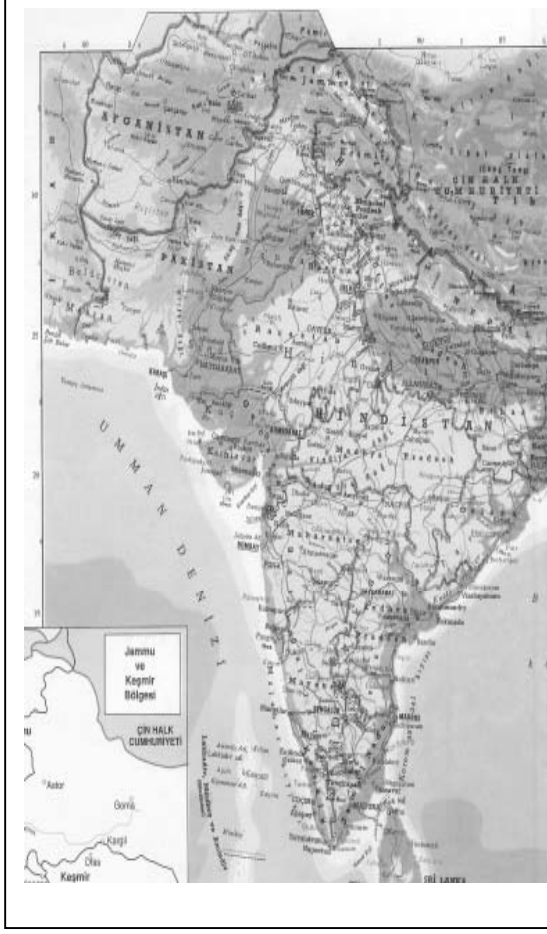
Maharashtra	3650
Orissa	1700
Rajasthan	5400
Tamil Nadu	3050
Batı Bengal	450
Toplam	45 195

*Nonkonvansiyonel olmayan
Enerji Kaynakları
Bakanlığı, New Delhi, India.

Tablo.1 Bazı eyaletlerde tahmini rüzgar gücü değerleri (MW) cinsinden.

Eyalet	(MW)*
Andhra Pradesh	8275
Gujarat	9675
Karnataka	6620
Kerala	875
Madhya Pradesh	5500

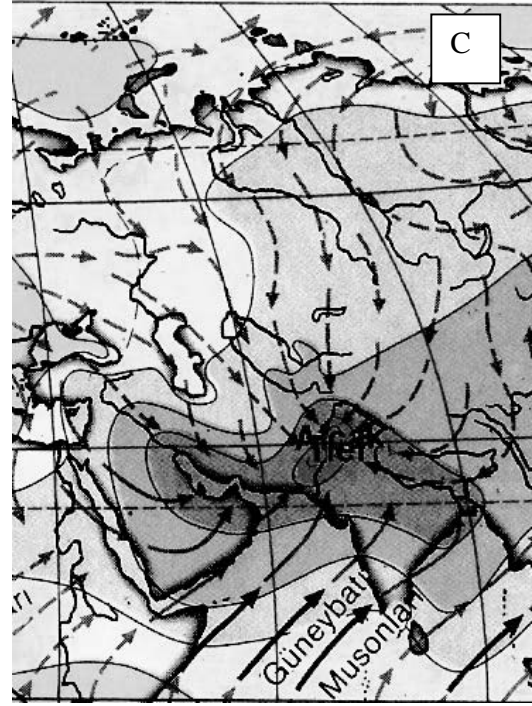
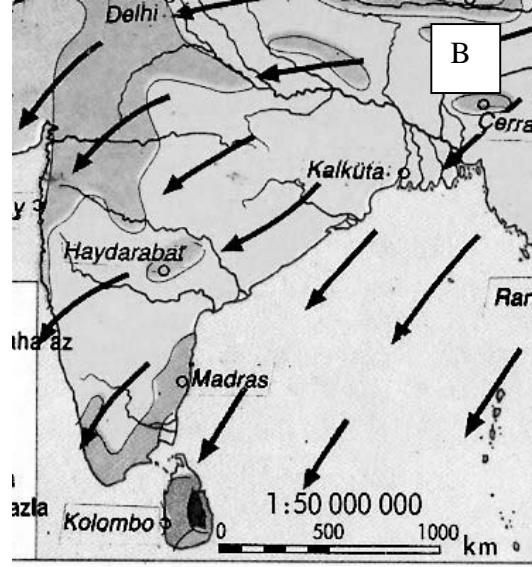
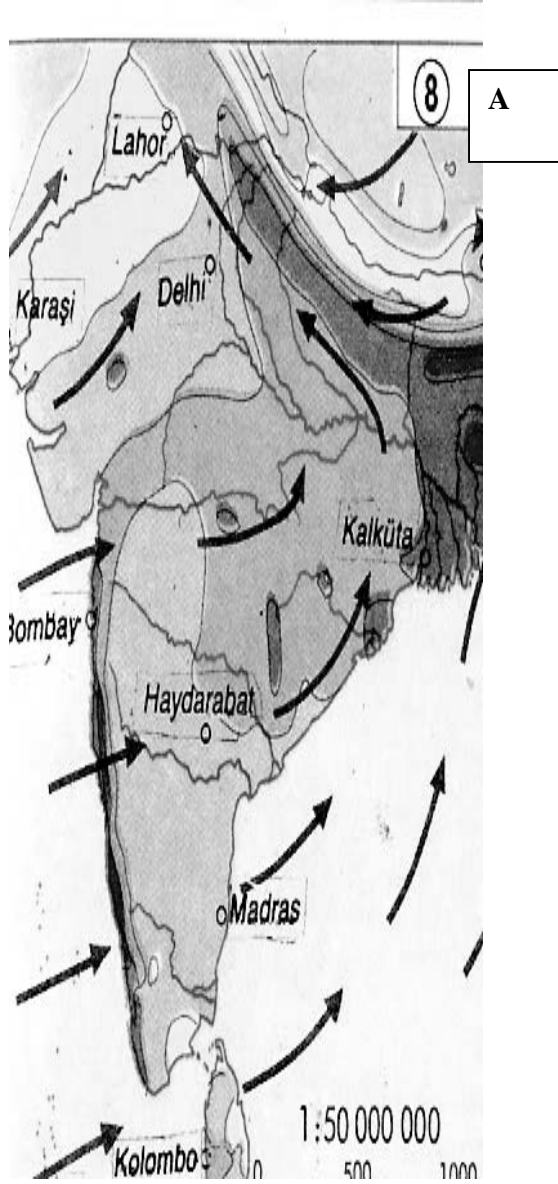




Şekil.1 Hindistan haritası[4].

Fakat, tekniksel olarak faydalı ve kullanılabilir miktar ise 13400 MW olarak belirlenmiştir. RE potansiyeli en yüksek eyalet 9675 MW ile Gujarat ve en az sahip olan da 450 MW ile Batı Bengal eyaletidir. 1994 - 2004 yılları arasında, toplam kurulu REÜ tesislerinin, toplam kümülatif üretim miktarı 2500 dan fazla olup, buna karşılık gelen ve tekniksel olarak faydalanabilecek miktar ise bu değer %18,5 idir. Sri-Lanka adasının hemen karşısına düşen ve Hindistanın denize en fazla sokulmuş uç kısmındaki bölgede bulunan Tamil Nadu(1) eyaletinde 1362 MW kurulu gücü ile (%55) başı çekerken onu sırasıyla Maharashtra(2)(407MW), Karnataka(3) (210MW), Gujarat(4)(202 MW), Rajasthan(5)(178 MW) Andhra Pradesh(6)(100 MW), Madhya Pradesh(7)(24.5 MW), Kerala(8)(2,5 MW) ve Batı Bengal(9)(1.0 MW) lık kurulu güce sahiptir[1,2,3]. Bu eyaletlerin yerleri Şekil.1 deki haritada görülmektedir[4]. Burada, önemli rüzgar enerjisinden elektrik üretim merkezine sahip olan eyaletlerin bazıları, birden dokuza kadar sayılar yazılarak işaretlenmiştir. Daha çok Hindistan'ın, Hint Okyanusu içerisine uzanan üçgen kısmının kıyı bölgelerine paralel uzanan dağlık kesimlerdeki eyaletlerde rüzgar enerjisinden elektrik üretiminin

diğer bölgelerdeki, yani kuzey ve kuzey batı bölgelerindeki üretimlere göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu üretim dağılımını etkileyen etmenlerden birisi, Hindistan'ın sahillerinde mevsimsel ve periyodik olarak değişen; Hint Okyanusu'ndan(Pakistan sahillerinden başlayarak) Bengal körfezinin bulunduğu bölgeye doğru, Hindistan sahillerini adeta yalayarak geçen karakteristik rüzgarların(güneydoğu musonları ve kuzeydoğu musonları) oluşmasıdır[4]. Hindistan'daki, 9m/sn den büyük hakim rüzgar yönleri, sırasıyla Mayıs-Eylül dönemi, Kasım-Mart dönemi ve Temmuz ayı için Şekil.2a, 2b ve 2c de görülmektedir.



Şekil. 2a, 2b, 2c: Hakim Rüzgar yönlerinden bazıları.

Batı Bengal de, bir adada önceden kurulmuş bir dizel güç istasyonu ile birlikte, adanın elektrik ihtiyacını karşılamak üzere, aynı elektrik şebekesini otomatik olarak besleyebilen 0,5 MW lık bir hibrid rüzgar enerjisi üretim santrali 2004 de işletmeye alınmıştır. Bu hibrid sistem değişik rüzgar hızlarına kendisini otomatik olarak ayarlayabilmekte ve hizmet vermektedir. Tablo.2 de 1994-2004 yılları arası, yıllara göre rüzgar enerjisi üretimi artışı(REB) ve üretim gücünün büyümesi görülmektedir[2].

Tablo.2 Yıllara Göre Rüzgar enerjisi üretim artışı ve üretim gücünün büyümesi[2].

Yıl	kapasite(MW)	ilave(MW)	Büyüme(%)	Büyüme(mil.birim)%	Büyüme	MWsaat/MW	KFF
1994/95	351	236	205	191.3	102	0.55	6.2
1995/96	733	382	109	496.4	159	0.68	7.2
1996/97	902	169	29	878.4	77	0.97	11.1
1997/98	968	66	7	988.5	12.5	1.03	11.55
1998/99	1024	56	6	1073.3	8.6	1.05	11.96
1999/00	1167	143	20	1445	35	1.24	14.14
2000/01	1340	173	158	1577	9	1.18	13.43
2001/02	1628	288	21	1970.9	25	1.21	13.81
2002/03	1870	242	15	2446.8	24	1.31	14.93
2003/04	2483	613	33	2811.1	15	1.13	12.92
2004/05	3595	1112	31				
2005/06	5340	1745	48.5				

Bu zaman aralığında, tüm Hindistan'da, kurulu rüzgar enerjisi gücünün 6 kat arttığı ve bunun neticesinde enerji üretimi de 191,3 Milyon birimden 2881,1 Milyon birime olmak üzere yaklaşık 15 kat arttığı görülmektedir. Bu artışlar, kapasiteden faydalanma faktöründe(KFF) 10 yıl içerisinde %6,2 den %14 e artış göstermesiyle de yakından ilgilidir. Bunlara paralel olarak rüzgar enerjisi üretimindeki artış 550 MWsaat/MW dan den 1130 MWsaat/MW lık bir değere yükselmiştir. Yani yaklaşık 2,5 katlık bir iyileşme olmuştur. Böylelikle kapasiteyi faydalı kılma faktörü, ticari rüzgar çiftlikleri kurulum oranının 2002-2003 için, %15 artmasına sebep olmuştur. Rüzgar akımı, rüzgarlı mevsimlerde ve gün-be-gün ve yıldan yıla da değişiklik gösterir. Değişken rüzgar hızı nedeniyle REÜ ni tam ve doğru tahmin etmek veya belirlemek zordur. Fakat, yeni rüzgar enerji üretim tesislerinin kurulumu ve bunlardan gelen verilerin eskilerle birlikte değerlendirilmeleri sonucu, daha güvenilir REB değerlerinin tahmini sağlanacaktır. İncelenen zaman diliminde, REÜ, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, Hindistan'nın elektrik üretimine en yüksek katkıyı yapmıştır. Hindistan'daki yenilenebilir enerji kaynaklarının 2003-2004 yılları arası için bir karşılaştırılması Tablo.3 de görülmektedir[2].

. Enerji çeşidi	MW
Rüzgar enerjisi	2483(%52)
Küçük hidro elektrik santraller(25MWkadar)	1601.02
Biyokütle enerjisi	673.63
Fotovoltaik	2.54
Atıklardan elde edilen	41.43
Toplam	4802.22

Tablo.3 ye güneş pilleriyle üretilen elektrik enerjisi dahil edilmemiştir. Daha çok çevre/iç mekan aydınlatma, su pompalama amaçlı kullanılan ve güneş pillerinden elde edilen enerji üretim miktarı 150 MW kadar olup bu tablodaki karşılaştırmaya dahil edilmemiştir.

2. HİNDİSTAN'IN (2004-2008) YILLARI ARASINDAKİ RÜZGAR ENERJİSİ ÜRETİMİ

Kasım 2008 itibarıyla, Hindistan'da kurulu rüzgar gücü kapasitesi 9587.14MW'a ulaşmıştır. Bu toplam rüzgar enerjisinin yukarıda sayılan eyaletlere göre dağılımı ve üretim artışları, 2004 yılı üretim değerleriyle karşılaştırmalı olarak MW cinsinden Tablo.4 de verilmiştir[1,2,3,5].

Tablo.4 Hindistanda, 2004-2008 yılları arasında rüzgar enerjisi kullanımındaki artış MW olarak[1,2,3,5].

Eyalet adı	2004	2008	Miktar (MW)
Tamil Nadu	1362	4132.72	2770
Maharashtra	407	1837.85	1431
Karnatka	210	1184.45	974.5
Gujarat	202	1432.71	1231
Rajasthan	178	670.97	493
A. Paradesh	100	122.45	22.5
M . Paradesh	24.5	187.69	163
Kerala	2.5	23.00	20.5
W. Bengal	~1.0	1.10	0.10
Toplam	2483	9587.14	7104

Artışlar göz kamaştırarak derecede büyüktür. Artışlar MW olarak son sütunda görülmektedir. Hindistan'da, 2005-2015 arası 10 yıllık periyot için REÜ hedefi 6000 MW olarak saptanmıştır. Halbuki yenilenebilir enerji sektörünün tamamı için konulan hedef ise 1000 MW dır. Hindistan'da, anılan on yıllık süreçte REÜ nün gelişme ve artma momentumu hedeflerin aşılacağını göstermektedir. 2003 de elektrik üretim ve pazarlamasıyla ilgili çıkarılan kanun ve yönetmeliklere ek olarak 2005-2006 dönemindeki bazı pozitif gelişmeler de, REÜ nin artmasını olumlu etkileyecektir. Bu gelişmelerden bazıları şunlardır:

1. Rüzgar enerjisi üretim tesislerinde daha yüksek kule(veya direk) kullanımlarının seçilmesi daha büyük rüzgar enerjileri elde edilmesini

etkilemiştir. Örneğin daha önceleri 25 metre kadar olan kule(veya direk) boyları (75-80m) civarında tercih edilmeye başlanmıştır. Tamil Nadu daki 1650 kW'lık rüzgar santralindeki kule yüksekliği 78 m dir.

1. Yeni kurulan veya kurulmakta olanların güç kapasiteleri de 220-230 kW dan çok 1,25 – 1,65 MW aralığında tercih edilmektedir.
2. Kullanılan rotor çapının büyütülmesiyle güç kapasitesinin desteklenmesi de önemli bir katkı sağlamıştır: Örneğin; 1650 kW lık santral için seçilen fan kanatlarının çapı 82 m dir.

Rüzgar enerjisi, bio-kütle ve mikro hidro-elektrik santralleri ekonomik pazarlama ve kullanım safhalarına erişmişlerdir. Bunların arasında rüzgar enerjisi üretim üniteleri MW ölçeklerinde enerji üretebilmekte ve diğer ikisine göre daha avantajlı ve önde görülmektedir. Avantajlı olmasını kılan ise üretim merkezleri ile tüketim yerleri arasındaki kurulu ulusal elektrik şebekesine otomatik olarak bağlanabilmesi ve üretilene devletin alım garantisi vermesi gibi hazır pazar bulunması. Enerji üretici firmaların hemen hemen hepsi daima üretim miktarı ile tüketim talebi arasında büyük farkın olmasıyla yakından ilgilienirler.

Rüzgar enerjisi, Hindistan'da, toplam kurulu güç kapasitesinin %2 sini karşılamaktadır. Bu oran, aşağıdaki Tablo 5 den de anlaşılacağı üzere Nükleer santrallerde üretilen güç içinde hemen hemen aynıdır[1,2].

Tablo.5 Hindistan'da (2003-2004) yılları arası kurulu güç kapasitesi[1,2].

Enerji	MW
Termal	77968.53
Hidro	29500
Nükleer	2720
Rüzgar	2483.20
Toplam	112672.20

Rüzgar enerjisi üretiminin, ülkedeki konvansiyonel fosil yakıtların tüketimini azaltarak, çevresel kirliliğin frenlenmesine de büyük katkısı olduğu Tablo.6 de ki karşılaştırmadan anlaşılmaktadır. Hindistan'da, rüzgar enerjisinin kullanımıyla gerçekleştirilen kömür yakımında gerçekleştirilen tasarruf miktarı 5669769 tondur. Yakın zamanlara kadar, rüzgar enerjisi üretiminde kullanılan sistemlerin kapasite, kurulum ve işletmelerini;

devletin sağladığı kolaylıklar ve özendirici politikası yanında, sistemin yapım karakteristikleri ve mali sorunlar da sınırlamıştır. Hindistan'ın özverili sistem üretici ve pazarlayıcı şirketinin de gayretleriyle bu ve benzeri sınırlamalar kriz dönemlerinde bile kolaylıkla aşılmaktadır. Zaten bu şirketin ürettiklerini öncelikli olarak Hindistan, Çin, ve diğer Asya ve Afrika ülkelerine de satıp hizmet vermekte olduğu düşünülürse Hindistan'ın rüzgar enerjisinden elektrik üretimindeki kesintisiz sürekli artışındaki katkısının önemi kolayca görülür. Yani şirketin kendisi hiç sorun çıkarmamaktadır.

Tablo.6 Hindistan'da kullanımdaki rüzgar enerjisinin, fosil yakıtlardan yaptırdığı tasarruf ve çevre kirlenmesinin azaltılmasına katkıları(ton olarak)[2].

Madde adı	Miktar(Ton)
Karşılayabilecek kömür miktarı	5669769
Kükürt dioksit	92130
Azot oksit	63780
Karbon dioksit	14174400
Partiküller	7620

3. SONUÇ

Rüzgar enerjisinden elektrik üretimi (REÜ) Hindistan'da 1990 lı yıllarda başlamış ve 1994 ile 2008 yılları arasında özellikle özel sektör

yatırımlarıyla çok büyük ilerleme kaydetmiş ve üretim son yıllarda devletin özel teşvikleriyle ve üreticilere subvansiyon ve alım garantisi uygulamasıyla hızla artmıştır. 2004 yılında rüzgardan üretilen toplam elektrik enerjisi miktarı 2500 MW kadar iken(nükleer santralinden elde ettiği 2720 MW idi), 2008 de bu miktar 9600 MW ulaşmıştır. Yani mevcut nükleer santral üretiminin 3,5 katı.! Rüzgar enerjisi üretim tesisleri amaçlı olarak, 2003 yılında çıkarılan elektrik üretim-dağıtımı ile ilgili yasa ve yönetmeliklerle REÜ ile ilgilenecek her kişi ve kuruluşa özel sektöre yatırım teşvikleri, özendirici imkanlar sunulmuştur. Bankalarca da kredi kolaylığı sağlanmıştır. Hatta ek teşvik tedbirleriyle kolaylıklar artırılmıştır. Eğer, düşük faizli kredi alma imkanları, vergi muafiyetleri önümüzdeki süreçte devam ederse; 2012 yılına kadar, REÜ de %60 lük bir üretim kapasitesi artışı eklenebilir. Bir amaç da Hindistan'ın rüzgar enerjisi potansiyelini daha verimli sistemlerle hizmete sunmaktır. Hindistan hükümetinin bu uygulaması Kyoto protokolüne uygun olup, gelişmekte olan ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgilenen ülkelere de iyi bir örnektir[4, 5].

KAYNAKLAR

1. Indian Wind Power Directory, 2004 (4th Edition) Bhopal: Consolidated Energy Consultant Ltd, v pp., India.
2. ENREE vol.2, Issue.1, March 2005(incorporates Vol.1, issue.4; December 2004), India.
- 3.http://www.jxj.com/magsandj/rev/2001_06/ren-evable_fuel_cell.html.
3. Büyük Atlas, Saygı Yayınları, 1984, s.52, İstanbul, Türkiye.
4. <http://www.windpowerindia.com> March 2009.
5. eco.economy indicators, <http://earth-policy.org/indicators/Wind/2008.htm>; website of Earth Policy Institute.

ERZİNCAN'IN BİYODİZEL YAKIT AMAÇLI TARIMSAL ÜRETİM POTANSİYELİ

Murat ÇETİN* Hüsamettin KUŞ*

Erzincan Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Otomotiv Programı 24109 Erzincan,
mccetin@erzincan.edu.tr hkuş@erzincan.edu.tr

ÖZET

Fosil kökenli enerji kaynaklarının sınırlı rezervi, petrol krizleri ve artan emisyon kirliliği içten yanmalı motorlar için alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Alternatif yakıtlar genel olarak gaz, sıvı yakıtlardan oluşmaktadır ve bunların bir kısmı yenilenebilir kaynaklardır. Bitkisel yağlar; dizel motorlar için önemli alternatif yakıtlardandır ve endüstriyel alanlarda kullanımı sürekli artmaktadır. Dünya enerji ihtiyacı genel olarak konvansiyonel kaynaklardan karşılanmaktadır ve petrol tüketimi bu kaynaklar içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Dünya petrol üretiminin büyük bir kısmı içten yanmalı motorlarda kullanılmakta ve alternatif enerji kaynağı arayışlarında, otomotiv sektörü önemli bir yer tutmaktadır. Dünyadaki teknolojik gelişmenin paralelinde hızla artan enerji ihtiyacı nedeniyle, enerjiyi yoğun olarak kullanan sektörler, araştırma geliştirme faaliyetlerini, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmışlardır. Bu çalışmada, biyodizelin emisyon karakteristiği ve Erzincan'ın alternatif dizel yakıt üretim amaçlı tarımsal biyodizel potansiyeli incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Alternatif Enerji, Emisyon, Çevre

1. GİRİŞ

Dünya'da nüfus artışına ve sınırlandırılmayan insan ihtiyaçlarının sürekli artmasına bağlı olarak enerji tüketimi ve enerji maliyetleri de sürekli artmaktadır. Artan bu talepler enerji fiyatları üzerinde etkin olmakta sanayi, tarım, hizmetler sektörü gibi tüm üretim proseslerini ve nihayet bunlarla birlikte zincirin son halkasında yer alan tüketicileri de önemli ölçüde etkilemektedir. Enerji kaynaklarından yoksun ve ekonomik olarak zayıf olan ülkeler enerjide dışa bağımlılıktan, arz ve talepte meydana gelen bu sıkıntılardan kurtulmak için daha az kirlenici üreten, yenilenebilir ve alternatif enerji kaynaklarına yönelerek çözüm üretmeye çalışan politikalar geliştirmektedirler. Diğer taraftan fosil yakıtlar tüm olumlu katkıları yanında, endüstriyel gelişim hava ve çevre kirliliğini de beraberinde getirmiştir. Artan hava kirliliği ve enerji fiyatlarındaki değişimler nedeniyle, alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesi konusuna ilgi ve uygulama yoğunluğu gösterilmektedir. Alternatif enerji kaynakları ve gelişmeler incelendiğinde dünyada biyodizel ve biyoethanol gibi yenilenebilir biyoyakıtların gelişimi dikkatleri çekmektedir. Biyoyakıtların hammaddesini tarım ürünlerinin oluşturması, tarım sektörü ve üreticiler açısından da önemini artırmaktadır. Biyoyakıtların beraberinde getirdiği; artan tarım ürünleri fiyatları üzerindeki etki, enerji tarımında karşılaşılan sorunlar ve tarım topraklarının enerji-gıda amaçlı olarak değerlendirilmesi gibi sorunlar da gıda talepleri üzerinde tartışmaları da gündeme getirmektedir. Petrol ürünlerinin büyük bir kısmı içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılmaktadır ve bu türev yakıtlar içinde en çok kullanılan ise motorindir. Türkiye'nin motorin tüketimi benzin tüketiminin yaklaşık altı katıdır (1,2,3).

Türkiye'ye enerjide dışarıya bağımlılık ve tarımsal üretim kapasitesi açısından bakıldığında; alternatif enerji kaynakları içinde en büyük potansiyele biyodizel sahip olduğundan, biyoyakıt üretim çalışmaları daha çok biyodizel üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yoluyla doğrudan kimyasal enerjiye dönüştürerek depolanması sonucu oluşmaktadır. Yağlı tohum bitkilerinden (kolza, aspir, pamuk, ayçiçeği, palm yağı, ciğit, mısır, soya vb.) biyodizel yakıt üretilmekte ve mevcut dizel yakıtı alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Biyodizel, genellikle bitkisel yağlardan elde edildiği gibi bitkisel atık yağlar (evsel, endüstriyel, yemekhaneleri, yemek fabrikaları vb. tüketimlerden kaynaklanan atık yağlar) ile hayvansal yağlardan (mezbaha, balık, tavuk yağı gibi) elde edilmektedir. Fakat en kaliteli biyodizel; bitkisel yağlardan elde edildiğinden yağlı tohum ve dolayısıyla bitkisel yağ üretim potansiyelimizi artırarak bitkisel yağ sanayicileri ve biyodizel üreticilerinin talepleri mutlaka ülke içerisinde karşılanmalıdır. Biyomotorin; biyodizel, Dizel-Bi, Yeşil Dizel adları ile de bilinmektedir. Türkiye bugün toplam enerjisinin yaklaşık %80'ini ithal eden bir ülkedir ve enerji ithalatı sürekli artış göstermektedir (3,4,5,6). Türkiye'nin yüksek tarımsal üretim potansiyeli dikkate alındığında; kırsal kesimin ekonomik yapısının güçlenmesi ve iş imkanlarının yanında yan sanayinin de gelişmesine katkıda bulunacak biyodizel öncelikli bir seçenektir ve petrolde dışa bağımlılığın azaltılması başta olmak üzere, tarımsal üretimde çeşitliliğin artırılması, kırsal kalkınmayı desteklemesi ve yem sanayine ham madde sağlaması gibi sebeplerle büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de biyodizel üretimi için; üretilen yağlı tohumlar yeterli



olmadığından kanola, soya ve palmyağı gibi ürünleri ithal ederek biyodizel üretimi yapılmaktadır. Bu durumun Türkiye ekonomisine olan yükünü azaltmak için "Biyoyakıt üretiminde üretim açığı olan ürünler yerine üretim potansiyelimiz büyük olan ürünleri tercih etmemiz veya bu ürünlerin ekimini artırmamız gerekmektedir. Diğer yandan her geçen yıl dünyada başta yağlı tohumlar olmak üzere tarım ürünlerinin fiyatlarının önemli miktarlarda arttığı ve gelecek yıllarda da artmaya devam edeceği dikkate alındığında; "Ülkemizin tarımsal üretim potansiyeli dikkate alınarak, biyoyakıt üretim politikası belirlenmelidir. Türkiye tarım potansiyeli çok yüksek bir ülke olmasına rağmen mevcut potansiyelini tam olarak değerlendiremediğinden ve gerçek anlamda bir üretim planı ve programı yapamadığından bazı ürün gruplarında üretim fazlası, bazı ürün gruplarında ise üretim azlığı sorunu yaşanmaktadır. Ülkemizde yağlı tohumlu bitkilerin üretimi ve tüketimi ele alındığında dengenin kurulamadığı ve büyük bir arz açığı olduğu görülmektedir. Türkiye'de yıllık 35 milyon ton olan petrol tüketiminin %2'sinin biyodizel ile karşılanması halinde, 700 bin ton bitkisel yağ ihtiyacı vardır ve bu nedenle yağ bitkilerinin üretiminin artırılması büyük önem taşımaktadır (6,7,8). Türkiye; yaklaşık 300 bin ton kullanılmış atık yağ potansiyeline sahiptir, bu maliyeti düşüren etkenlerdendir ve bu atık yağların biyodizel üretiminde kullanılması ile yılda yaklaşık 500 milyon TL ekonomik değer elde edebilmektedir. Ayrıca atık yağlardan biyodizel elde edilip kullanılması sonucunda dizel yakıtı göre atmosfere atılan sera etkisine neden olan CO₂ miktarında, 900 bin ton civarında azalma olacaktır (4).

Literatüre göre Türkiye'de ilk biyodizel üretimi 1934 yılında Atatürk Orman Çiftliği'nde tarım traktörlerinde yakıt olarak kullanılmak ve petrol ürünlerinde dışa bağımlılığı azaltmak için Atatürk'ün emri ile gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar zeytin, haşhaş, pamuk ve ayçiçeği yağı kullanılarak ve soğuk havanın bu yağlar üzerindeki olumsuz etkileri dikkate alınarak yaz aylarında yapılmış, denemelerde Lanz (Alman), Hoşefranz (Macar), Muktells (İsveç) ve Fordson (Amerikan) marka traktörler kullanılmıştır (7). Çalışma sonucunda bitkisel yağlarda yakıt tüketiminin motorine göre çok az fark ettiği rapor edilmiş, bu denemelerden yıllar sonra 1990'lı yıllardan itibaren de biyodizel ile ilgili çalışmalar yoğunlaşmıştır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de giderek önem kazanan biyodizel önemli bir endüstri kolu haline gelmeye adaydır. Türkiye'de son yıllarda giderek artış gösteren biyodizel üretiminde verilere göre yaklaşık yüzde binlik bir artış söz konusudur. 2004 yılında sadece 4 olan biyodizel üretim tesisi, 2006 yılında 270'e çıkmıştır. Bu tesislerin çoğunun lisansı bulunmamakla birlikte yıllık üretim kapasiteleri 1,5 milyon tonu aşmaktadır. Türkiye için oldukça yeni

olan bu sektördeki en büyük sıkıntılardan biri olan Özel Tüketim Vergisi (ÖTV), 2006 yılında yaklaşık 0.65 YTL olarak uygulanmaya başlanmıştır. 2006'nın Aralık ayında ise biyodizel üretimi için işleme lisansı bulunan firmalar tarafından, sadece Türkiye'de üretilen tarım ürünlerinden elde edilmesi kaydıyla ve motorin ile karıştırılmak üzere, rafinerici ve dağıtıcı firmalara tesliminde ÖTV tutarı sıfıra indirilmiştir. Ancak bunun bitkisel atık yağları da kapsayacak şekilde genişletilmesi beklentiler arasındadır (9,10).

Geleceğin en önemli sektörleri arasında sayılan biyodizelin, üretim öncesi ve sonrasında olmak üzere farklı birçok yan sektöre etkisinden de söz etmek gerekmektedir. Yağlı tohumların üretimi ve pazara sunulmasında tarım sektörü, üretim yapılabilmesi için gerekli makine ve teçhizatın temini, tohumların yağlarının çıkarılması işlemi, biyodizel üretim aşaması, dağıtımı, pazarlanması ve taşınması gibi pek çok farklı sektörün birbirine bağlı bir şekilde çalışmasıyla geniş bir kesime istihdam sağlanabilecektir. Biyodizel elde edilen ürünlerin Türkiye'de yetiştirilmelerine baktığımızda ise; ayçiçeği, soya, pamuk gibi ürünlerin yanında özellikle kanola bitkisinin hem kış hem de yaz aylarında ekilebiliyor olması tarımımız için oldukça avantajlı görülmektedir ve hemen her bölgede yetiştirilebilen kanola bitkisinin yağ oranı %40-50 civarındadır. Kışın yapılan ekimlerde verimin daha yüksek olması, ekim ve hasat aşamasında buğday ekim ve hasadında kullanılan makinelerin kullanılabilmesi, az masraflı olması ve küresel ısınmanın büyük tehdit oluşturduğu günümüzde sulama gerektirmeden ve her tür toprakta yetişebilen kanola, özellikle biyodizelin mucize bitkisi olarak değerlendirilmektedir. Türkiye'de bitkisel yağ açığının bulunduğu gerçeği dikkate alındığında; bu açığın giderilebilmesi ve biyodizel üretimi yapılabilmesi için yağ oranı yüksek tarımsal ürünlere ağırlık verilmesi ile "Enerji Tarımı" olarak adlandırılan bu tür bitkilerin yetiştirilmesi Türk tarımına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, kanola tohumunun Türkiye'de üretilmiyor olması, Türkiye'ye uluslararası tekeller tarafından getirilmesi muhtemel olan ve genetiği değiştirilmiş ürün endişesi ortadan kalkacaktır (4,12,13).

Ülkemizde; yağ tohumlu bitkilerde ekim alanı ve üretim miktarları incelendiğinde; Tablo 1, 2 ve 3 te görüldüğü gibi en önemli yağlı tohumlu bitkiler olarak soya fasulyesi, pamuk, kolza ve ayçiçeği bitkileri ele alınmıştır. Dünya ve Türkiye ekim alanlarına, üretimlerine bakıldığında; soya ve kanola'nın ülkemizde iklim ve pazarlama sorunları nedeniyle önemli miktarlarda ekiliş alanı bulamadığı, buna karşın pamuk ve yağlık ayçiçeğinin en önemli yağlı tohumlu bitkiler olduğu görülmektedir. Son iki yıl itibarıyla ülkemizin bitkisel yağ arzı incelendiğinde; yurtiçi yağlı tohum

ve yağ üretiminde ayçiçek ve pamuğun ilk sıralarda yer aldığı, yağ ithalatında ise başta soya, ayçiçeği, palm ve mısırözünü'nün önemli bir pay aldığı görülmektedir. Bitkisel yağlarda yurtiçi üretim ve ithalat toplam arzı 1.3 milyon ton seviyelerinde seyretmektedir. AB ve ABD'de hayvansal kökenli yağlar dahil toplam yağ tüketiminin kişi başına yıllık 50 kg'ın üzerine çıktığı, bu miktarın Türkiye'de 26 kg seviyelerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca AB'nin kolza yağını, ABD'nin ise soya yağını daha fazla tükettiği, Rusya, Ukrayna gibi yağlık ayçiçek üretiminin yüksek olduğu ülkelerde de ayçiçeği yağının tüketimde ilk sırayı aldığı görülmektedir. Ülkemizde de ayçiçeği yağı en çok tüketilen bitkisel yağdır (4,8,9).

Biyodizel kullanımı açısından dünyaya bakıldığında; AB'de ve birçok ülkede biyodizelin normal dizelere belirli oranlarda karıştırılması zorunlu hale gelmiştir ve bu oranlar gün geçtikçe artmaktadır. Ayrıca AB'de biyodizel kullanımı 2005 yılında yüzde 2 iken 2030 yılında bu oranın yüzde 30'a çıkarılması hedeflenmektedir. İsveç 2020 yılında petrolü günlük hayattan tamamen kaldırarak tüm araçların biyodizelle çalışmasını hedefleyen planlar yapmaktadır. Asya'ya bakıldığında ise Çin, Tayland, Hindistan, Malezya ve Filipinler gibi gelişmekte olan ülkelerde de çiftçinin geçim kaynağı olan şeker kamışı ve palmye yağı gibi ürünlerden biyodizel üretilmesi, kırsal kesimin üretici konumuna geçmesi açısından önem verilen bir politikadır. AB ülkelerinde Biyodizel kullanımı yaygınlaşırken Almanya, Avusturya, Çek Cumhuriyeti, Fransa, İrlanda, İsveç, İtalya, Norveç, Polonya ve Slovakya gibi ülkelerde biyodizel üretimi yasal olarak vergiden muaftır. ABD'de ise dizel yakıtlara yüzde 20 oranında biyodizel ilave edilmektedir. Dünyanın bir numaralı üreticisi konumunda olan Almanya'da biyodizel benzin istasyonlarında yakıt olarak satılırken komşusu Fransa'da vergi teşviki uygulamasının yanı sıra rafinerilerde yüzde 5 oranında karışımlara izin verilmekte ayrıca konutlarda da ısınma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Brezilya'da da tıpkı Almanya'da olduğu gibi benzin istasyonlarında yakıt olarak satılan biyodizel ABD ve Avrupa'da ticari olarak üretilmektedir. 2006 verilerine göre biyodizel dünyada 28 ülkede kullanılır hale gelmiştir. Biyodizel; ABD'de soyadan, Malezya'da palm bitkisinden elde ederken AB'de kanoladan üretilmektedir (1,3,9,11,12).

Türkiye'de 2004 yılında 15.000 dönüm, 2005 yılında 150.000 dönüm, 2006 yılında 1.500.000 dönüm Kanola ekimi yapılmıştır. Verim: 300-320 kg/da arasında değişmiştir. Kanola tarımına yönelik bölgesel tohum deneme ve verim çalışmaları 2002 yılından beri sürmektedir. TS EN 14214 standardına uygun biyodizel kanoladan üretilmektedir. Kanola, pancar münavebe alanlarında ekilebildiği gibi buğday, arpa, gibi tahılların yetiştirildiği arazilerde

de yetiştirilebilir. 1 ha araziden 2,5 ton kanola elde edilir, 1 ton kanoladan % 33 yağ çıkartılabilir.1 ton kanoladan 0,33 ton yağ elde edilir.1 ton yağdan 1 ton biyodizel üretilir.1 ha araziden 0,83 ton biyodizel elde edilir (9).

2. BİYODİZELİN YAKIT ÖZELLİĞİ VE EMİSYON PERFORMANSI

Dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında %40 ile en büyük paya sahip olan petrolün büyük bir kısmı içten yanmalı motorlarda kullanılmaktadır. Rudolf Diesel; 1893 yılında yaptığı ilk prototip dizel motorunda yakıt olarak fıstık yağı kullanmış ve diğer bitkisel yağlarında yakıt olarak kullanılabileceğini düşünmüştür. Ancak 1900 lü ve sonraki yıllarda petrol kökenli yakıtların ucuzluğu, pazarlarda bulunması, düzenli dağıtımının yapılması, verimliliği ve motorlara uygunluğu gibi faktörler fosil kökenli yakıtlara olan talebi arttırmıştır. Ancak bitkisel yağların dizel yakıtı olarak tercih edilmeleri; 1973 petrol krizi sonrası enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, çevreye salınan emisyon kirliliği, küresel ısınma gibi problemlere bağlı olarak çevre bilincinin gelişmesi sonucu olmuştur. Biyodizel yakıtlar bitkisel ürünler ve artıklarından üretildiğinden biyodizel yakıt kullanımı ile atmosfere küresel ısınmanın temel sebebi olan CO₂ atılmayacağından sera gazı oluşumunda önemli oranda azalma sağlanacaktır (4,5,8,12,7).

Biyodizelin ısı değeri motorinin ısı değerine oldukça yakın değerde olup, biyodizelin setan sayısı motorinin setan sayısından daha yüksektir. Biyodizel kullanımı ile motorine yakın özgül yakıt tüketimi, güç ve moment değerleri elde edilirken, motor daha az vuruntulu çalışmaktadır. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından, biyodizelin çevre ve insan sağlığına diğer yakıtlara kıyasla daha az zarar verdiği kabul edilmiş, zararlı emisyonlar ve potansiyel sağlık etkileri açısından tam olarak değerlendirilen ve olumlu görüşlerin ortaya çıktığı tek alternatif enerji kaynağı olarak belirlenmiştir. Biyodizel; klasik dizel motoru üzerinde herhangi bir değişim yapılmadan kullanılabilecek bilinen tek alternatif yakıttır. Biyodizel, motorine benzer koşullarda taşınabilir, kullanılabilir ve depolanabilir. Biyodizel doğrudan (%100) veya B5: %5 biyodizel+%95 dizel, B20: %20 biyodizel+%80 dizel, B50: %50 biyodizel+%50 dizel) oranlarında motorin ile karışımlar halinde kullanılabilir ve en yaygın kullanılan karışım oranı (%20 biyodizel ve %80 motorin) şeklindedir. Değişik araştırmacıların yapmış olduğu deneysel çalışmalar sonucu elde edilen emisyon değerleri incelendiğinde; biyodizel ve motorin-biyodizel karışımı kullanımında CO, PM, HF, SO_x, ve CH₄ emisyonlarında azalma, NO_x, HCl ve HC emisyonlarında ise artma gözlemlenmiştir(1,5). Biyodizel için EN 14214 AB Standardı ile ASTM D



6751 ABD Standardı yürürlüktedir. Biyodizel'in sahip olduğu özellikler bu alternatif yakıtın dizel motorları dışında da yakıt olarak kullanımına olanak vermektedir. NO_x emisyonu katalitik konvertör kullanılarak kontrol altına alınabilir. Tablo 4 te B100 ve B20 emisyonlarının motorin emisyonları ile karşılaştırılması verilmektedir. Dizel yakıtı ve

biyodizelin yakıt özellikleri Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde dizel yakıt değerleri ile biyodizel değerleri arasında benzerlikler olduğu açıkça görülmektedir. Biyodizel ağırlıkça %11 oksijen içerir, biyolojik olarak kolay ve hızlı parçalanabilir ve sofra tuzundan 10 kat daha az toksiktir.

Tablo 1. Yağlı tohumlar Türkiye ekim alanları(1.000 Ha) (14)

	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04
Soya Fasulyesi	17	19	40	25
Pamuk(Çiğit)	542	660	720	730
Kanola(Kolza)	-	0.5	0.5	5
Yağlık Ayçiçek	542	560	560	470

Tablo 2. Yağlı tohumlar Türkiye üretimi (1.000 Ton) (15)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Ayçiçek	590	830	660	760	930	950	700
Pamuk	1350	1370	1350	1350	1300	1400	1300
Soya	50	75	85	50	45	35	36
Kanola		2	7	5	2	5	28
Toplam	1990	2277	2102	2102	2277	2390	2064

Tablo 3. Türkiye bitkisel yağ arzı (2001/2007) (15)

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Soya	321.252	612.497	831.964	681.964	1.129.091	1.016.907	1.230.908
Kanola	2.182	54	5.714	5.714	61,56	184.895	245.262
Ayçiçek	182.728	129.108	481.703	481.703	491.325	371.472	596.147
Pamuk	32.046	54.509	83.814	83.814	125.635	70.202	7.3
Toplam	538.208	769.168	1.253.195	1.253.195	1.807.611	1.643.476	2.079.617

Tükettiğimiz biyodizelden atmosfere verilen CO₂, biyodizel üretiminde kullanılacak olan yağ bitkisi tarafından en fazla bir yıl içinde geri alınacaktır. Dünya'nın en önemli çevresel sorunlarından olan ve fosil yakıtların geri alınamayan CO₂ emisyonlarının yol açtığı sera etkisi sonucunda ortaya çıkan küresel ısınmadan kaynaklanan olumsuzlukların indirgenmesi bağlamında önemli katkılar sağlar. Suya bırakıldığında 28 günlük bir sürecin sonunda biyodizelin yüzde 95'i çözülürken, dizelde bu oran yüzde 40 mertebelerine kadar düşmektedir. Bu nedenle, özellikle ABD'nde birçok eyalette, göller ve nehir alanlarında kullanılan ulaşım araçlarında ve teknelerde saf biyodizel kullanımı zorunlu kılınmıştır. Bakteriler tarafından kolayca ayrıştırabildiği için çevre dostu olarak kabul edilen biyodizelin içerdiği kükürt miktarı, dizele oranla çok düşük olduğundan biyodizelin kullanılması durumunda, asit yağmuru gibi olumsuz çevresel etkilerin oluşması önlenir. Ayrıca dizel yakıt için 125 °C olan alevlenme noktası biyodizelde 149 °C olduğundan daha emniyetli bir yakıt olarak değerlendirilebilir. Yanmamış

hidrokarbon oranı, dizel yakıtı göre %90, kanserojen etkisi olan aromatik hidrokarbonlara göre %75-90 oranında daha azdır (2,4,5,17). Yerli ve ithal kanola yağı ile motorinin maliyet karşılaştırması yapıldığında 1 ton motorinde dışa bağımlılık 572 \$ olduğu halde 1 ton ithal hammadde ile üretilmiş biyodizelde dışa bağımlılık 900 \$'dır. Her bir ton ithal hammadde ile biyodizel üretimi ülke ekonomisine 328 \$ zarar demektir (2,7,8,9). İthal yağ ile üretilen biyodizelin Türkiye ekonomisine faydadan çok zararı vardır. İthal hammadde ile biyodizel üretmek yerine ithal hampetrolden motorin elde etmek ülke ekonomisi açısından daha olumlu bir yoldur. İthal hammadde ile üretilen biyoyakıtların ülkeye ekonomik olarak bir katkısı olmamakla birlikte ithal edildiği ülkedeki tarımsal faaliyeti desteklemek anlamını da taşımaktadır. İthal hammadde ile üretilen biyoyakıt sadece biyodizel üreticiye fayda sağlar, ülkeye ekonomik, tarımsal ve sosyal katma değer yaratmadığı gibi, üretimi aşamasında harcanan ülke kaynaklarının da (elektrik-su vb.) verimsizce kullanılmasına sebep olur (9).

Tablo 4. Biyodizel ve dizelin emisyonlarının karşılaştırılması (2,4,5)

Emisyonlar	B20	B100
Karbonmonoksit	-6.90%	-34.50%
Partikül Madde	-6.48%	-32.41%
Hidroflorik Asit	-3.10%	-15.51%
Kükürt Oksitler	-1.61%	-8.03%
Metan	-0.51%	-2.57%
Azot Oksitler	2.67%	13.35%
Hidroklorik Asit	2.71%	13.54%
Hidrokarbonlar	7.19%	35.96%

Tablo 5. Dizel yakıtı ve standart biodizelin yakıt özellikleri (13,18)

Yakıt Özellikleri	Sınır Değer (min - max)	Biyodizel	Dizel
Kapalı Formül		$C_{19}H_{35,2}O_2$	$C_{12,226}H_{23,29}S_{0,0575}$
Molekül Ağırlığı(g/mol)		296	120 - 320
Alt Isıl Değeri Kütlesel(Mj/kg)		37,1	42,7
Alt Isıl Değeri Hacimsel(Mj/L)		32,6	35,5
Özgül Ağırlığı (15 °C)	0,875 - 0,90	0,87 - 0,88	0,82 - 0,86
Kinematik Viskozite (40 °C)	2 - 4,5	4,3	2,5 - 3,5
Tutuşma Noktası(°C)	55 - ...	>100	>55
Alevlenme noktası(°C)	---	149	125
Kükürt İçeriği(% Kütlesel)	... - 0,05	<0,01	<0,05
Tutuşma Katsayısı(Setan Sayısı)	49 - ...	>55	49 - 55
Kül(% Kütlesel)	... - 0,01	<0,01	<0,01
Su Miktarı(mg/kg)	... - 200	<300	<200

3. ERZİNCAN İLİNİN TARIM VE BİYODİZEL POTANSİYELİ

Erzincan ilinin yüzölçümü 1.190.300 hektardır ve Doğu Anadolu Bölgesi içerisinde genelde karasal iklim özelliği göstermektedir. Arazinin %59.6 sı dağ, %26.4'ü plato, %5.4'ü yayla, %8.6 ovalarıyla birbirinden farklı iklim karakterlerine sahiptir ve 452.562 hektarı çayır ve mera alanlarından oluşmaktadır. Erzincan ovası, jeomorfolojik yapısıyla, Doğu Anadolu Bölgesi içerisinde polikültürün yapıldığı bir karakter göstermektedir. Etrafı dağlarla çevrili olan ilin rakımı 1000 metreden fazla olan bu yerlerdeki mikroklima bir iklim özelliği göstermektedir ve Erzincan ovasında çeşitli tarımsal ürünler, yeni ürün tipleri ve aşılama ile meyve üretimine elverişli bir ortamı oluşturmaktadır. Erzincan Ovasının su kaynakları açısından zengin olması, sulu tarım imkânı vermektedir. İlin toplam tarım alanı olan 202.704 hektarın (il yüzölçümünün %17.1'i) özellikle Erzincan ovası bölümü tamamen sulanabilmektedir. 2003 yılı sonu itibarıyla sulanabilir toplam 137.857 hektar arazinin 100.198 hektarı sulu, 37.659 hektarı sulanamayan tarım alanıdır. Erzincan ikliminin, Doğu Anadolu ve Karadeniz bölgeleri arasında, kendine özgü nitelikleri sebebiyle çevre illerin sebze ve meyve bahçesi gibidir. 2007 yılı sonu itibarıyla Erzincan ilinde 123.959 hektar alanda tarla ürünleri ekilmiş ve 43.517 hektar alan nadasa bırakılmıştır. Tarıma elverişli olduğu halde kullanılmayan alan ise 28.534 hektardır. 3.490 hektar alanda meyvecilik ve

3.203 hektar alanda da sebzeçilik yapılmıştır. En çok ekimi yapılan ürünler buğday, arpa, çavdar, kuru fasulye, şeker pancarı ve yem bitkileridir. Erzincan'ın tarımsal yapısına ait özet bilgiler Tablo 6 da verilmiştir.

Biyodizel elde edilen ürünlerin Erzincan ilinde yetiştirilmelerine baktığımızda ise; ayçiçeği, soya, mısır, aspir gibi ürünlerin yanında özellikle kanola bitkisinin hem kış hem de yaz aylarında ekilebiliyor olması Erzincan tarımı için oldukça avantajlı görülmektedir. Erzincan'da 2007 yılı değerlerine göre şeker pancarı rekoltesinin 333 bin ton, buğdayın rekoltesi 178 bin ton, mısır rekoltesi ise 76,6 bin ton olarak gerçekleşmiştir ve şeker pancarının ardından en fazla buğday ve mısır üretilmektedir. Enerji tarımının Erzincan ili açısından en önemli avantajı, ekonomik değeri düşük tarım ürünlerinin yerine ekonomik değerleri yüksek ve aynı zamanda da belirli bir fiyat istikrarına sahip tarım ürünleri yetiştirilerek ekonomik fayda sağlayacaktır. Ayrıca Erzincan ili ve ülkemiz açısından dizel yakıt konusunda dışarıya bağımlılığı azaltacaktır. Diğer taraftan şeker pancarına getirilen kota nedeniyle alternatif ürün arayışını sürdüren Erzincan çiftçisi mısır ve ayçiçeği ekimine ağırlık vermeye başlamıştır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde ilk kez 2006 yılında Tercan ilçesi Mercan beldesi'ne bağlı Gökce köyünde deneme amaçlı olarak üretilen kanola bölge iklim şartlarına kolay uyum sağladığından gerekli desteğin verilmesi halinde bu ürünün ekiminin geliştirilerek istenilen düzeye

getirilebileceği belirlenmiştir. Gökçe köyündeki çiftçiler pancara getirilen kolanın çiftçiyi olumsuz yönde etkilemesi sonucu mecburen alternatif ürün olarak kanola ekimi yapmışlar, bölge iklim şartlarına kolay uyum sağlayan, ekimi çok rahat olup maliyet olarak da düşük olan kolanın 2006 yılında 6 dönümlük bir alanda deneme ekimini gerçekleştirmiş ve oldukça da başarılı sonuç alınmıştır. Bugün bölgede 5 bin dönümlük bir alanda kanola ekimi yapılmakta ve dönüm başına 300-350 kg ürün alınmaktadır. Kanola ekiminden sonra yine bölgede bir ilk gerçekleştirerek ilk kez 1500 dönümlük bir alanda deneme amaçlı ayçiçeği ekimi

yapılmaktadır. Alternatif ürün arayışlarında kanola'dan sonra ayçiçeği ve mısır ekimine yönelmenin nedeni bu bitkilerin diğer tarım ürünlerine göre özellikle ayçiçeği ve mısırın getirisinin yüksek olmasıdır. Bu bölgemizde yağlı ayçiçeğine verilen desteğin çitlamalık ayçiçeğine de vermesinin üreticiyi teşvik edeceği tahmin edilmektedir. İlimizde pancar ekiminde zarar eden çiftçinin kanola, mısır ve ayçiçeği gibi alternatif enerji tarımı ile kazancının artacağı tahmin edilmektedir. Tablo 7 de Erzincan temel tarım ürünlerinin 2007 yılı ekim alanları, üretim miktarları ve verimleri verilmiştir.

Tablo 6. Erzincan tarımsal ekilebilir toprak potansiyeli (19)

Ekilen Toplam Tarla Alanı (Hektar)	123.959
Nadasa Bırakılan Alan (Hektar)	43.517
Meyvelik Alan (Hektar)	3.490
Sebze Ekili Alan (Hektar)	3.203
Bağ Alanı (Hektar)	864
Sulanabilir Tarım Alanı (Hektar)	137.857
Sulaması Yapılan Tarım Alanı (Hektar)	96.442
Devlet Sulaması (Hektar)	9.698
Halk Sulaması (Hektar)	26.743

Tablo 7. Temel tarım ürünlerinin ekim alanları, üretim miktarları ve verimleri (19)

Ürün Adı	Alan (Hektar)	Üretim (Ton)	Verim (Kg/Da)
Buğday	63 763	178 039	280
Arpa	23 125	63 111	273
Fasulye	7 129	11 378	160
Şeker Pancarı	5 990	333 000	5 240
Domates	1 168	55 285	4 700

Tablo 8. Seçilmiş tarla ürünlerinin alan, üretim ve verimi 2007 (19,20,21)

Ürün Adı	Verim (kg/Da)		Türkiye Üretim(ton)	Erzincan alan ve tahmini üretim	
	Türkiye	Erzincan		(bin hektar)	ton ve (yüzdesi)
Mısır	851	600-800	4.200.000	63.763	76.600 (%2)
Ayçicek	202	120-130	596.147	23.125	27.750 (%5)
Soya	245	220-270	1.230.908	7.129	15.683 (%1)
Kanola	232	225-240	245.262	5.990	13.477 (%5)

Erzincan'da; ayçiçeği, soya, mısır, kanola üretimi için arazi yapısı açısından gelişme olarak uygun şartlara sahip olmasına rağmen bir yağ fabrikası yoktur, fakat bölgesel bazda bakıldığında Erzurum'da bir yağ fabrikası vardır. Türkiye'de bitkisel yağ sektörü ayçiçeği üretiminde, kendine yeterli durumu yaklaşık %60 'tır. Türkiye pazarındaki %40'lık açığı kısa vadede kapanmayacağı ve ayçiçeği ürününün kısa vadede pazarlama sorunu ile karşılaşmayacağı düşünülmektedir. Tablo 8 de Türkiye ve Erzincan'da ayçiçeği, kanola, mısır, soya ve aspir üretiminin verim ortalaması verilmiştir. Üretim değerlerindeki farklılıkların başlıca sebeplerinin başında ilimiz çiftçilerinin geleneksel eski alışkanlıklarına bağlı

kalarak üretim yapmaları, ürünlerinden tohumluk ayırarak tohum kullanmaları, yüksek verimli hibrit tohumlukları kullanmamaları gelmektedir. Bunun neticesinde, çiftçimiz düşük verim almakta, dolayısıyla geliri düşük olmaktadır. Ülkemizde; ayçiçek yağı üretimi 1.sırayı almakta, bunu sırasıyla zeytin ve mısırözü yağı takip etmektedir. Yapılan hesaplamalara göre Erzincan; 2007 yılı arazi ve ürün verimleri dikkate alındığında 27.750 ton ayçiçek yağı, 13477 ton kanola, 76600 ton mısır, 15.683 ton soya üretecek kapasiteye sahiptir. Tablo 8 incelendiğinde Erzincan; Türkiye ayçiçeği üretiminin %5, kanola üretiminin %5, mısır üretiminin %2 ve soya üretiminin %1ini karşılayacak düzeydedir.

4. SONUÇLAR

Ülkemizde ekimi yapılan yağlı tohumlu bitkilerin üretim miktarlarının tüketimi karşılamadığı ve ülkemizin gerek yağlı tohumlarda gerekse ham yağda dünyanın sayılı ithalatçı ülkeleri arasında yer aldığı görülmektedir. Türkiye’de yağlı tohumlu bitkilerin üretiminin artırılması için daha çok alanda ekim yapılması gereklidir. Ancak üreticilerin ekimde bu üretimi tercih etmeleri de kârlılık ile orantılıdır. Bu açıdan değerlendirme yapıldığında alınması gereken tedbirler şunlardır;

1.Stratejik öneme sahip olan bu alternatif enerji kaynağının iyi değerlendirilmesi Türkiye’nin geleceği açısından da gereklidir. Doğru ve planlı tarım politikaları ve uygun tarım ürünleri ile kendi yağlı tohumumuzu işlemek suretiyle kendi biyodizelimizi üretebilmemiz için öncelikle biyodizel için ekilen yağlı tohum üretiminin artırılması gerekmektedir.

2.Yağlı tohumlu bitkilerde desteklerin devamlılığı sağlanmalı, uygulanmakta olan prim sistemi üretici maliyetleri dikkate alınarak belirlenmeli ve prim miktarları ekim öncesi açıklanmalıdır.

3.Ayçiçeği üretimi için sulamanın önemi dikkate alındığında; sulanabilir Erzincan ovasında yapılacak ekim ile ürün verimini 1,5-2 katına çıkarmak mümkündür.

4.Biyodizelin; ilimizde küçük işletmelerde yerli ürün kullanarak üretilmesi bir örnek teşkil ederek ilimizin girişimcilik kapasitesinin artmasına katkı sağlayacaktır.

5.Biyoyakıt üretiminin ilk ve en önemli adımı hammadde teminidir. Bioetanol ve biyodizel

üretiminin sürdürülebilir kılınması düzenli olarak hammadde temini ile mümkündür. Erzincan’ın biyoyakıt hammaddesi yetiştirme kapasitesi yüksek olan bir il olduğu söylenebilir. Biyoyakıt ancak yerli hammadde ile üretilirse ülke ekonomisine fayda sağlar. Hammadde üretiminde en büyük sorumluluk tarımsal birliklere düşmektedir.

6.Üreticinin beklentisi genellikle ayçiçeği/buğday paritesi doğrultusunda oluşmaktadır. Üretim maliyetleri coğrafi bölgeler dikkate alınarak belirlenmeli ve hasat sezonunda ithalat yapılmamalıdır.

Sonuç olarak; biyodizel Türkiye’de enerji tarımı programı ile uygulamaya alınabilecek en önemli alternatif yakıt seçeneklerinden biridir. Ülkemizde kara taşımacılığının önemli bölümünde, deniz taşımacılığında ve ayrıca endüstride kullanılan dizel motorları tarafından önemli miktarda motorin kullanılmaktadır. Petrol tüketimimizin ancak %15’i yerli üretimle sağlanabilmektedir. Petrol ürünleri tüketimi içinde ise, en büyük pay %34 değeri ile motorine aittir. Biyodizel kullanımı ile petrol tüketiminde ve egzoz gazı kirliliğinde azalma gerçekleşecektir. Biyodizel üretmek ve kullanmak için Türkiye yeterli ve uygun alt yapıya sahiptir. Türkiye’de kanola, ayçiçek, soya, mısır ve aspir gibi yağlı tohum bitkilerinin enerji amaçlı tarımı mümkündür. Türkiye’nin; enerji amaçlı tarım politikası içinde Erzincan ilinin de yer alması, çiftçinin yönlendirilmesi yararlı olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Karaosmanoğlu, F., Biyomotorin ve Türkiye, Enerji, 1, 35-38, İstanbul 2001.
2. Karaosmanoğlu, F., “ Türkiye için çevre dostu- yenilenebilir yakıt adayı biyomotorin”, ICC1Mayıs Özel Sayısı, İstanbul 2002.
3. Kolsarıcı, Ö., Bitkisel yağ açığımız ve çözüm yolları., AUTABİM Konferansları. Ankara.1998.
4. Karaosmanoğlu, F., Biyomotorin ve Türkiye, 2004 <http://www.biyomotorin-biodiesel>
5. Acaroğlu, M., Alternatif enerji kaynakları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2003,
6. Alptekin,E., Çanakçı, M., Biyodizel ve Türkiye’deki durumu., Mühendis ve Makine 561 57-64. 2006
7. Fidanoğlu, F., Biyodizel petrolün koltuğuna göz dikti, TUSAM Merkezi. 2007.
8. Dizge.N., Canlı. O., Karpuzcu. M., Biyodizel kullanımının çevre için önemi., Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği, Gebze
9. Ar. F., Bioyakıtlar ve enerji tarımı, İç Anadolu Enerji Forumu, Pankobirlik., 2007 Ankara
10. EİEİ., Biyodizelin Çevresel Özellikleri., 2008
11. Şanlı. H., Çanakçı.M., Dizel motorlar için yükselen bir alternatif yakıt: biyodizel, III. Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu.,2005

12. Baran. Y., Eren. Ö., Türkiye’de tarım sektöründe kullanılan petrodizelin çevresel etkileri ve biyodizel alternatififiyle karşılaştırılması., Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Adana
13. Yücesu. H.S, Altın.R., Çetinkaya. S., Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi, Turk J Engin Environ Sci TUBİTAK, 2001
14. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı,
15. Bitkisel yağ sanayicileri derneği., Türkiye istatistikleri 2008., <http://www.bsyd.org.tr>
16. Altun.Ş., Güriş. M.A., Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi dergisi.9(3; 35-42) 2005
17. Taşyürek. M., Acaroğlu. M., Biyoyakıtlarda (biyomotorinde) emisyon azaltımı ve küresel ısınmaya etkisi
18. Erzincan Tarım İl Müdürlüğü 2008
19. TÜİK; www.tuik.gov.tr., Bitkisel üretim II. Tahmini., 2008
20. Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü; Buğday, Arpa 2007 ., <http://www.aeri.org.tr>
21. Dünyada ve Türkiye’de aspir bitkisinin kullanım alanları ve önemi; 2007, <http://www.biyodizelturkiye.com>



TÜRK KAHVESİ TELVESİNDEN BİYODİZEL ÜRETİMİ

Yüksel Abalı¹, Ramazan Gümüş¹, Seher Vatansever¹, Nurtaç Ersöz¹

¹Celal Bayar Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, MANİSA
e-mail: yabali@yahoo.com, ramazangumus47@yahoo.com, seher_vsever@hotmail.com,
nurtacerso@hotmai.com

ÖZET

Biyodizel fosil yakıtlar için iyi bir alternatiftir. Yakın zamana kadar biyodizel üretimi katı bitkisel yağlardan ve hayvansal yağlardan kazanılıyordu. Günümüzde biyodizel üretimini büyük bir kısmı artık yemeklik yağlardandır. Endüstriler düşük fiyatta biyodizel üretmek için kümes hayvanlarındaki hayvansal yağları, iç yağı ve katı bitkisel yağları kullanıyorlardı. Ayrıca araştırmacılar biyodizel üretimi için yüksek yağ içerikli ürünler geliştiriyorlar. Dünyada yıllık kahve tüketimi yaklaşık olarak 1,5-2 milyon tondur. Bir atık olan kahve telvesinin içerisinde yer alan, yaklaşık %10-15 oranındaki yağlardan biyodizel üretilerek ekonomiye katkı sağlanabilir. Böylece dünyada yaklaşık 340 milyon galonluk bir biyodizel yakıtını sağlamak mümkün olabilir. Bu çalışmada bir atık olan kahve telvesinden ekstraksiyonla yağ elde edilip klasik ester reaksiyonu ile biyodizel üretimi gerçekleştirildi

Anahtar kelimeler: Kahve Telvesi, Biyodizel, Transesterifikasyon, Atık Yağların Değerlendirilmesi

1. GİRİŞ

Kahve ("Coffea") bitkisi, Rubiaceae ailesinin bir cinsidir. Bu ailenin çok sayıda alt cinsleri ve türleri olmasına rağmen bunlardan sadece ikisi ticari anlamda kahve üretiminde kullanılmaktadır: Coffea Arabica ve Coffea Canephora (Robusta).

Kahve ağacı; bol yağış alan, ortalama sıcaklığın 18-24° C arasında bulunduğu ve don olayının görülmediği, ekvatorun 25 Kuzeyi - 30 Güneyi arasındaki kuşakta yetişir. Soğukta ağaç ölür, ayrıca ani ısı değişiklikleri de ağaca zarar verir. Nemli ortamı sevdiğinden, kahve ağacının düzenli yağışın olduğu tropik bölgelerde yetiştirilmesi gerekir.

Kamelya çalısı görünümündeki ağaç; koyu, parlak ve sivri uçlu yapraklara sahiptir. Olgunlaşmaya bırakıldığında 18 metre uzunluğa kadar büyüebilir. Ancak kahve plantasyonlarında hasatın toplanmasını kolaylaştırmak için 2-3 metre olacak şekilde budanır.

Yasemine benzeyen son derece narın ve keskin kokulu beyaz çiçeği yeşil meyve verir. Fidanın meyve üretmeye başlaması için 3-5 yıl gerekir. Meyvesi yılda birkaç kez olgunlaşır. [9]

Kahve bitkisinin kavrulmuş tohumlarının çekilip kaynatılmasıyla elde edilen bir içecek. İçerdiği kafein maddesinin uyarıcı niteliği yüzünden dikkat artırıcı ve stimülan özelliğe sahiptir.

Kahve çiçeği beyaz renktedir ve Tein, matein ve guaranin olarak da bilinir. Bir alkaloid olan kafein doğal olarak kahvede, çayda, Yerba mate'de, guarana'da ve ,az miktarda, kakao içinde bulunur[12].

Kafeinin karakteristik, yoğun bir acı tadı vardır. Kola gibi bazı gazlı içeceklere tat vermesi için eklenmektedir.



Resim.1. Kahve ağaçlarından bir görünüm

Kahve meyvesi; büyüklüğü, şekli ve rengindeki benzerlikler nedeniyle "kahve kirazı" olarak da adlandırılmaktadır. İçinde ince iki çekirdek bulunur. Çekirdeklerin birbirine bakan tarafı düz, dış tarafı

Çizelge 1. Kahve ilgili genel bilgiler

	ARABICA	ROBUSTA
Meyvenin Olgunlaşma Zamanı	9 ay	10 -11 ay
Yıllık Bitki Üretimi	40 - 200 kg	60 - 200 kg
İstenen İdeal Sıcaklık	17 - 23°C	18 - 27°C
İstenen İdeal Yükseklik	600 - 2000 m	200 - 900 m
İçindeki Kafein Oranı	% 0,8 - 1,7	% 1,7 - 3,5
İçindeki Yağ Oranı	% 16	% 10
İçindeki Şeker Oranı	% 8	% 5

yuvarlaktır. Her çekirdeğin içinde aynı biçimde bir tohum (kahve tanesi) vardır. Tanenin düz yüzeyinde, içi sert bir besidokusu ile dolu olan, derin bir çizgi yer alır, Besidokusunun dış tabakası ince bir zarla kaplıdır. Zarın dışında ise daha sert bir kabuk vardır. Eğer kahve çekirdeği daha sonra tohum olarak kullanılacaksa çekirdek kabuktan ayrılmaz. Bazı kahve ağaçlarının meyvesinden iki yerine bir tane çekirdek çıkar. Bu çekirdek (peaberry), diğerlerine göre çok daha yuvarlak bir şekle sahiptir. Tek olarak çıkan çekirdekler, diğerlerinden ayrılarak üretim sürecinden geçirilir. Genellikle fiyatları da normal kahveye göre çok daha pahalıdır. Kahve meyvelerinin çok düzenli kontrol edilmeleri gerekir, çünkü olgunlaştıktan sonra 14 gün içinde çürümeye başlarlar [12].

Kahve yapısında yaklaşık olarak %8-9 oranında yağ içermektedir. Fakat bu yağ oranı kahveyi kaynatıldıkça artmaktadır. Yani kahve içersinde bulunan yağlar kaynama sonucu daha çok miktarda kendilerini ortama bırakırlar.

Bu çalışma da bu şekilde kahve telvesi içerisnde yer alan yağ ekstraksiyon yöntemi ile alınarak, biyodizel üretimi klasik ster reaksiyonuna göre gerçekleştirilmiştir.

2. BİYODİZEL VE ÜRETİMİ

Bitkisel yağdan biyodizel elde etme işlemine transesterifikasyon denmektedir. Transesterifikasyon işlemi; bir esterin bir başka estere dönüştürülmesidir. Ester; bir başka moleküle bağlanabilen hidrokarbon zinciridir. [7]

Bir bitkisel yağ molekülü, gliserin molekülüne bağlanmış üç esterden oluşmaktadır. Bitkisel yağ moleküllerine trigliserit ya da gliserol esterleri de denmektedir. Burada “tri” ifadesi üç esteri, “gliserit” ifadesi ise gliserini tanımlamaktadır.

Bitkisel yağların, yaklaşık %20’si gliserinden, diğer bir ifadeyle gliserol veya gliserit’ten oluşmaktadır. Gliserin, bitkisel yağa kalınlık ve yapışkanlık özelliğini vermektedir.

Transesterifikasyon işlemi, yağa incelik kazandırabilmek ve vizkozitesini azaltabilmek

amacıyla gliserinin bitkisel yağdan uzaklaştırılmasıdır. Bu proses esnasında, bitkisel yağın gliserin komponenti bir alkol (etanol alkolü veya metanol alkolü) ile yer değiştirmektedir. Etanol, tahıllardan elde edilen bir alkoldür. Metanol ise, kömür, doğal gaz veya odundan elde edilmektedir. Genellikle daha stabil bir biyodizel reaksiyonu sağlayan metanol alkolü etanole tercih edilmektedir. Diğer yandan metanol kauçuk maddeleri çözebilmeye özelliğine sahip oldukça agresif bir alkoldür ve yutulduğu takdirde öldürücü olabilmekte ve muhafazası çok dikkat gerektiren bir maddedir[10].

Metil esterler, metanol ve bitkisel yağ esterlerinden elde edilen biyodizeli ifade etmektedirler. Etil esterler ise, etanol ve bitkisel yağ esterlerinden elde edilen biyodizeli ifade etmektedirler. Alkilester terimi ise daha genel bir tanım olup bitkisel yağ esterleri ile herhangi bir alkol bileşimini ifade etmektedir. Hangi alkol veya hangi bitkisel yağ kullanılırsa kullanılsın biyodizel reaksiyonu her zaman için trigliserit molekülünü üç ester ve bir gliserin molekülüne ayrıştırma ve her bir ester molekülünün bir alkol molekülüne bağlanmasıdır ve bu sayede bir trigliserit molekülünden üç alkil ester molekülü elde edilmektedir[10].

Trigliseritlerin kırılabilmesi için bitkisel yağ içerisine “katalizatör” eklenmektedir. Katalizatör, reaksiyonu başlatan bir maddedir. Biyodizel reaksiyonunda katalizatör olarak kullanılacak maddeler; sodyumhidroksit (NaOH) veya potasyumhidroksit (KOH)’tir. Sodyumhidroksit, çoğunlukla kostik soda olarak ta adlandırılan beyaz bir maddedir ve bulunamadığı durumlarda potasyum hidroksit te kullanılabilir. Biyodizel üretiminde kullanılan katalizatörler, trigliseritleri kırarak esterlerin serbest hale gelmesini sağlamaktadırlar. Serbest hale geçen esterler daha sonra alkol ile birleşebilmektedirler. Katalizatör ise gliserit ile birleşerek reaksiyon tankının dibine çökelmektedir. Biyodizel reaksiyonu sonuç olarak; alkil esterler ve gliserin sabunu üretmektedir[7].

Bitkisel yağlar asidik özelliklidir, diğer bir deyişle pH değerleri 7’nin altındadır. Reaksiyona giren alkol ve katalizatör ise bazik özelliklidir yani pH değeri 7’nin üzerindedir. Biyodizel reaksiyonu işte bu iki

bazı ve bir asidik madde arasında gerçekleşmektedir. Bu nedenle reaksiyona dahil edilecek katalizator madde, karışım pH'sının 8 ile 9 arasında olmasını sağlayacak miktarda olmalıdır.

Bilindiği gibi, kullanılmış kızartma yağları kızartma veya ısıtma işlemleri sonucunda ortaya çıkan serbest yağ asitleri nedeniyle yeni rafine edilmiş bitkisel yağlara göre daha asidik özelliklidir. Biyodizel üretiminde bu serbest yağ asitlerinin elimine edilmesi ve bunun için de daha fazla miktarda katalizator madde kullanılması gerekmektedir. Projede öngörülen biyodizel üretiminde, başka bir ifadeyle transesterifikasyon prosesinde sırasıyla aşağıdaki işlemler gerçekleştirildi. Bu işlemler için gerek duyulacak donanım da işlem açıklamalarında belirtilmektedir[6]

3. DENEYSEL KISIM:

3.1. KAHVE TELVESİNDEN YAĞI KAZANMA

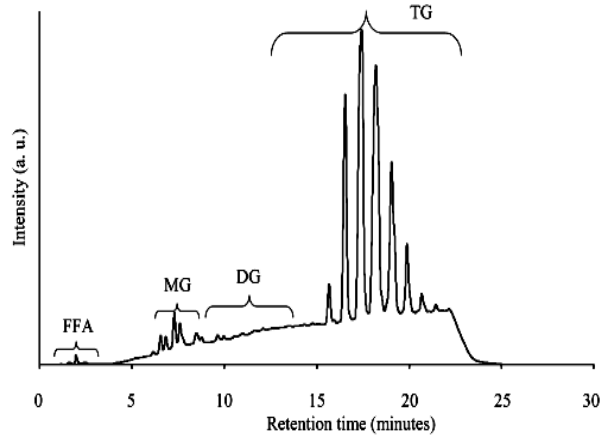
Bu çalışmada öncelikle kahvelerden ve kafelerden kahve telvesi temin edildi. Çeşitli yerlerden ve çeşitli özelliklerden kahve taveleri toplanarak 50-60°C sıcaklıkta yaklaşık 12 saat kurutuldu. Bu kuruma işleminin amacı kahve tavelerinin bünyelerinde olan nemin tamamen uzaklaştırılmasıdır. Ekstraksiyon işlemi için n-hegzan, dietiler, eter gibi organik yapıları çözenler denendi. Çoğunlukla n-hegzan kullanılmakla beraber, Dietiler-n-hegzanın 1:3 oranı şeklinde karışım çözen sistemi kullanılarak telveden yağ çıkarılmıştır.

100g kahve telvesi, 250-300 ml çözen içerisine konuldu ve geri soğutucu altında 2 saat, soxhilet

cihazı ile ekstrakte edildi (Bu işlem 1kg kahve telvesinin tamamı için tekrarlanmıştır). Kaynama işlemi bittikten sonra çözen- yağ karışımı sıcak bir şekilde safsızlıklardan adi süzgeç kağıdı kullanılarak süzülüp, yağ temizlendi.

Çözen- yağ içeren karışım dönel buharlaştırıcı sistemi altında 65°C de çözeni tamamıyla uçurularak yağ elde edilmiştir. Elde edilen yağ HPLC de analiz edilmiştir. [11]

Kromotogram verilerine göre elde edilen yağ biyodizel üretimine çok uygun kalitededir. Hemen hemen bitkisel kaynaklı yağlarla aynı yapıdadır bu da gösterdi ki. Telveden de verimli bir biyodizel üretebilir



Şekil.1., Ekstraksiyon sonucu elde edilen yağın HPLC Kromotogramı. TG:trigliserit, DG.digliserit, MG.monoglisit ve FFA serbest yağ asitleri



Şekil 2. Biyodizel Üretim Şeması

3.2. Elde Edilen Kahve Telvesi Yağından Biyodizelin Üretimi

Elde ettiğimiz yağın öncelikle asitlik değerini hesaplandı. Bunun için önce %1'lik KOH çözeltisi

hazırlandı. 1g yağ üzerine 10 ml İPA ilave ederek ve birkaç damla fenolftalyn indikatörü damlatılarak, KOH çözeltisiyle titre edildi ve sarfiyat olarak 4 ml (% 4 asit) bulundu.

Daha sonra aşağıdaki formülde değerler yerine yazılarak koymamız gereken katalizör miktarı hesaplandı.

$$g(\text{NaOH/KOH}) = \frac{C * 5 (S + 3,5)}{1000}$$

C: Kullanılacak olan alkol miktarı (g veya ml)
S: Titrasyon sonucu elde edilen sarfiyat (ml)
G: İlave edilmesi gereken NaOH/KOH miktarı (g)

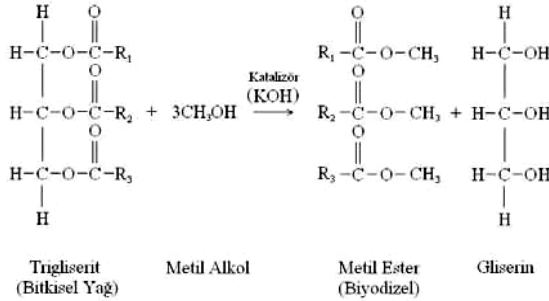
(C: burada 100ml dan biyodizel üreteceğimiz için 20 ml alkol ilave etmemiz gerekiyor. Buna göre C değeri 20 alınır)

$$G = \frac{20 * 5 (4 + 3,5)}{1000}$$

= 0.75 g KOH alınır 20 ml metil alkol içerisinde çözülür ve Alkol-katalizör çözeltisi (metoksit çözeltisi) hazırlanır.

Reaksiyon Kimyasallarının Karıştırılması

Transesterifikasyon reaksiyonu aşağıdaki gibi verilebilir:



(100 ml yağ + 20 ml metoksit) → biyodizel + gliserin)

İşlem Sırası:

- 100 ml yağ 60°C ye kadar ısıtıldı.
- 20 ml sodyum metoksit çözeltisi sıcak yağa ilave edildi ve oluşan karışım sıcaklık 60°C' yi geçmeyecek şekilde yaklaşık 1 saat ısıtılarak karıştırıldı. Burada metil alkol 60°C de buharlaştığı için ısıtılma sırasında reaksiyonun tam olarak gerçekleşmesi için bu sıcaklık değeri aşılmamalıdır.

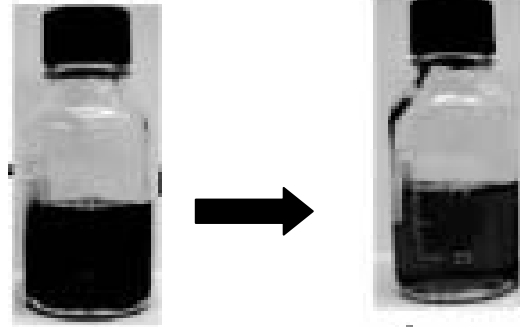
- 1 saat sonunda karışım ayırma hunisine alındı ve ayırma işleminin tamamlanması için yaklaşık 5-6 saat kadar beklendi.

Gliserinin Ayrılması

Reaksiyon sonucu elde edilen biyodizelin iyi bir şekilde gliserinden ayrılması için yaklaşık 5-6 saat kadar beklendikten sonra altta gliserin, üstte ise berrak biyodizel fazı şeklinde olduğu gibi görüldü. Gliserin fazı ayırma hunisinin alt tarafından alınarak biyodizel elde edildi.

Biyodizelin Saflaştırılması (Biyodizelin yıkınması)

Elde edilen biyodizel, kendi hacmi kadar sıcak saf su ile her defasında bu suyun %30 kullanılacak şekilde üç defa karıştırılarak yıkandı. Her su ilavesinden sonra faz ayrımı gözlemlendi ve altta kalan su fazı ayırma hunisinin altından ayrılarak atıldı. Üçüncü yıkama sonunda yıkama suyunun pH' ı 7 olmalıdır. Eğer pH = 7 olmadysa 7 olana kadar yıkama işlemine devam edilmelidir. Burada dikkat edilecek diğer bir husus ise yıkama suyunun sıcaklığı ile biyodizelin sıcaklığının birbirine yakın olmasıdır. Aksi takdirde bulanıklık gözlenir.



Resim.2. Kahve Telvesinin yağından Biyodizel

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Kahve dünya üzerinde en çok tüketimi olan içeceklerin başında yer almaktadır. Yapılan araştırma sonuçları göstermiş ki Yıllık dünya da 1,5 ila 2 milyon tonluk bir kahve tüketimi olduğu tespit edilmiş. Aslında hiçbirimizin de tahmin edemeyeceği bir rakam. Sonuç itibariyle bu da yaklaşık yıllık 1,5- 2 milyon tonluk bir kahve atığı demektir.

Biyodizel günümüzde yenilenebilir enerjiler arasında yerini sağlamlaştıracığa benziyor. Gerek doğal petrol kaynaklarının tükenmesi olsun, gerekse var olan yağlı atıkların sorunu olsun bir çözüm beklemesi ve bu çözüme en uygun cevaba karşılık oluşan boşluğu biyodizelin doldurabileceği görülmektedir

Bu çalışmada miktar olarak dünyada atık haline gelmiş olan kahve tanelerinin, en iyi şekilde değerlendirilmesi ve en üst düzeyde verim elde edilmesi sağlandı.

Bu amaçla elde edilen yağdan klasik transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi gerçekleştirildi

Elde edilen yağın HPLC kromatogramına bakıldığında biyodizel üretimi ve alternatif kullanımlar için değerlendirilip çevreye ve ekonomiye katkı sağlayabileceği görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Koçar G., Öğr. Gör. Demir B., “Biyodizel”, Tübitak – Bilim ve Teknik Dergisi, Cilt ??, No ?, 36-41, 2006
- [2] Kavalcı D., Bazı Bitkisel Kökenli Alternatif Yakıtların Dizel Motorlarda Kullanılma Olanakları Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2001
- [3] Oğuz H., Prof. Dr. Ögüt H., “Tarım Traktörlerinde Bitkisel Kökenli Yağ ve Yakıt Kullanımı”, Selçuk - Teknik online Dergisi, Cilt 2, No 2, 2001

- [4] Abalı Y., Arş. Gör. Dr. Aslan A., Arş. Gör. Dr. Zeybek S., Arş. Gör. Dr. Özer M.S., Uzman Süner Ü., Uzman Süner C., Endüstriyel Kimya – II Laboratuvarı, Manisa, 2003
- [5] SINDIR K. O. ,Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi
- [6] Demirbaş, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels, *Energy Conversion and Management* 50 (2009) 14–34
- [7] Demirbaş A. Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy Policy*, 2007; 35:4661–70
- [8] Karaosmanoglu, F.; Cigizoglu, K. B.; Tuter, M.; Ertekin, S. *Energy Fuels* 1996, 10, 890–895.
- [9] Starbucks Protects Environment by Offering Grounds for Your Garden.” Resource Conservation Challenge (RCC). Eighteen DEC2008. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Six Mar 2008 <<http://www.epa.gov/epaoswer/osw/conservation/2004news/04-star.htm>>.
- [10] Barnwal, B. K.; Sharma, M. P. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 2005, 9, 363–378
- [11] Narasimharao kondamudi, susanta k. Mohapatra, and mano misra. *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56, 11757–11760 11757
- [12] file://localhost/I:/Untitled%20Document.htm

SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR SİSTEMDE BİYOGAZIN YERİ

Vedat YILMAZ

vedatyilmaz@akdeniz.edu.tr

Akdeniz Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 07058 Antalya

ÖZET

Üretilen atıkların yönetimi etkin ve sürdürülebilir olmalıdır. Yenilenebilir bir kaynak olarak organik atıklardan biyogaz üretilmesi pratik ve uygulanabilir bir seçenektir. Bununla birlikte biyogazın üstün yanları ve dezavantajları ortaya konularak, diğer alternatif kaynaklarla karşılaştırmaya gidilmelidir. Yapılan akademik çalışmaların yanısıra, biyogazın etkin şekilde kullanımı 1970'li yıllardaki petrol krizinden sonra yeniden, başta Avrupa Birliği ülkeleri olmak üzere 2000'li yıllarla birlikte çok ciddi bir ilgiyle değerlendirilmektedir. Özellikle küresel iklim değişiminin önlenmesinde biyogaz üretiminin katkıları olacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizin de hem yasal düzenlemeleri yaparak, hem de teknolojik uygulamalarla bu sürece dahil olması ve ilgili sektörlere gerekli teşvikleri hazırlaması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Organik atık, biyogaz, anaerobik bozundurma, yenilenebilir enerji

1. GİRİŞ

Biyogaz, belirli mikroorganizmaların organik maddeleri oksijensiz ortamda bozundurulması ile oluşmaktadır. Bu süreç bataklıklarda ve katı atık deponilerinde kendiliğinden gerçekleşmektedir. Anaerobik bozundurma (AB) ise biyogaz reaktörlerinde evsel, tarımsal ve gıda endüstrisi organik atıklarının kullanılmasıdır.

Reaktörlerden elde edilen biyogaz enerji üretimi için kullanılmaktadır. Tipik olarak biyogaz %60 metan (CH₄) ve %40 karbondioksit (CO₂)'den oluşmaktadır. Biyogaz doğrudan ısınma ve elektrik üretimi için kullanılabilmesi gibi CO₂ gideriminden sonra basınçlandırılarak araç yakıtı veya doğal gaz sisteminde kullanımı söz konusu olabilmektedir.

Biyogaz üretiminden sonra kalan ürünler gübre olarak adlandırılır. Organik maddelerde bulunan ve bitkilerin gereksinimi olan azot, fosfor ve potasyum gübre içerisinde korunmakta ve bu ürün tarımsal gübre şeklinde kullanılabilir. Bu ürün tarımsal gübre şeklinde kullanılabilir.

Sürekli olarak atık üretilmesi nedeniyle biyogaz yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Fosil kaynakların bir kısmının yerini biyogazın alması ile de sera gazı emisyonlarında azaltım olabilecektir. Organik katı atıkların katı atık deponilerine yasal süreçler nedeniyle alınmaması ile de belediyeler yeni atık yönetim stratejileri geliştirecekler ve anaerobik bozundurma bu süreçte önemli bir rol oynayacaktır. Bozundurma sonrası ortaya çıkan gübrenin besin elementleri nedeniyle fenni gübreden daha kullanışlı olmasının yanısıra toprağın verimini artırıcı etkisi olduğu da bilinmektedir.

2. BİYOGAZ İLE ENERJİ ÜRETİMİ

Yenilenebilir enerji üretiminin enerji arzına çözüm olması yönünde dünya genelinde çok yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Biyogaz, kullanılabilir atıkların toplanmasında, biyogaz reaktörlerinin işletilmesinde ve oluşan gübrenin iletilmesinde kullanılmaktadır. Üretilen enerjinin yaklaşık %20-40 civarı bahsedilen aşamalar için kullanılmaktadır. Ve bu enerji girdisinin miktarı atığın türüne, biyogazın üretim şekline ve işletim sırasında gereken ısıtma miktarına bağlı olmaktadır.

Hayvan atıklarından elde edilen biyogazın düşük miktarda olması nedeniyle, biyogaz üretimi sırasında gerekli enerjinin büyük kısmı kullanılmaktadır. Bununla birlikte artı kalan enerji hayvan atıklarının 200 km uzaktan taşınmasını karşılayabilir düzeydedir. Evsel ve diğer yüksek enerjili atıklardan elde edilen enerji daha yüksek olması nedeniyle, atıkların 600-700 km mesafelerden taşınması mümkün olabilmektedir (Berglund, 2006).

3. BİYOGAZIN AVANTAJLARI

Biyogaz üretim sistemleri pek çok hedefi gerçekleştirmek üzere uygulanmaktadır. Temel olarak üç ana kategoride toplanabilmektedir: (i) uygun atık yönetimi, (ii) yenilenebilir enerji üretilmesi ve (iii) bitki besin elementlerinin yönetiminin iyileştirilmesi. Bu sistemlerin hayata geçirilip sürdürülmeleri için pek çok yasal düzenlemenin yapılması gerekmektedir. Hükümetlerin işletmelerin kurulması için yatırım garantileri vermeleri önemli bir aşamadır.



Atık yönetimi

Pekçok büyük biyogaz tesisi evsel organik atıkların arıtımının uygun yöntemi olduğu için inşaa edilmektedir. Organik atıkların katı atık deponilerine konulmasının yasaklanmaya başlaması ile yeni stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Atıkların katı atık deponilere konulması durumunda uygulanacak vergilendirme ile işletilebilirliği zorlaşacaktır. Organik atıkların yalnızca biyolojik arıtımı değil yakma seçeneği için de yasaklanma sözkonusudur. İngiltere ülkedeki organik atıkların katı atık deponilerine konulmasını 2010 yılında %25 ve 2020 yılında ise %65 oranında azaltılmasını hedeflemektedir (NSCA, 2006).

Yenilenebilir enerji

Pekçok biyogaz tesisi yenilenebilir enerji üretmesi nedeniyle inşaa edilmektedir. Örneğin anaerobik bozundurma kompostlamaya göre tercih edilmesinin nedeni ekonomik bir getirisinin olmasıdır. Yasal düzenlemeler yapılarak CO₂ vergilerinde artışlar ile biyogaz üretimleri teşvik edilebilir.

Bitki besinleri ve gübre

Atık maddedeki bütün bitki besinleri oluşan gübre içerisinde korunmaktadır. AB kentsel atıklardaki bitki besinlerinin dolaşımını sağlayarak kimyasal gübre talebini azaltmaktadır. AB gübrenin kalitesini artırmakta, bitki için uygun olan yüksek amonyum içeriği ile azotun etkinliğini geliştirmektedir. Örneğin domuz atıklarındaki toplam azotta %70 olan amonyum oranı gübre olması durumunda %85'e yükselmektedir (Sommer vd., 2001). Bunun yanısıra gübre verimsizleşmiş topraklara organik madde içeriğini artırmak üzere uygulanabilir. Böylelikle toprak yapısında iyileşmeler ve toprağın su tutma kapasitesinde artış sağlanır.

4.BİYOGAZIN KULLANIMI

Genellikle biyogazın büyük kısmı üretildiği bölgede tüketilmektedir. Ayrıca, biyogaz talebi bütün yıl içerisinde değişebilmektedir. Biyogazın doğal gaz sistemine bağlanması ile boşa kullanımı engellenir. Biyogazın doğal gaz sistemine bağlanması için CO₂, parçacıklarının, su buharı ve hidrojen sülfürden arındırılması gereklidir.

Isı üretimi biyogazın en sık ve yoğun kullanım şeklidir. Doğal gaz sistemleri için geliştirilmiş su kazanında fazladan ön-arıtım yapılmadan küçük değişimler yapılarak rahatlıkla kullanılabilir. Çoğu biyogaz reaktörü ısıtılmaktadır ve üretilen gazın %10'u büyük ölçekli tesislerde ve %30'u küçük ölçekli tesislerde bu amaç için kullanılmaktadır (Bergland ve Börjesson, 2003).

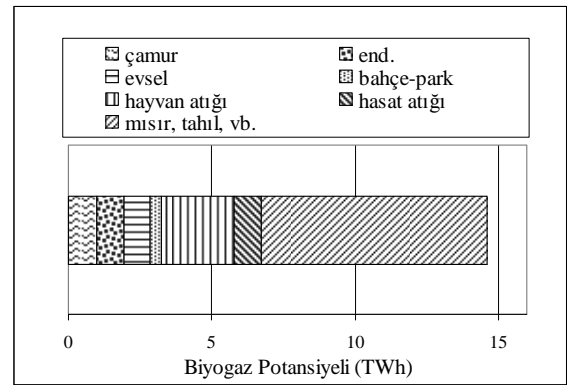
Biyogaz ayrıca birleşik ısı ve güç (BIG) üretimi için kullanılabilir. BIG üretimi için dizel motorları, güç türbinleri gibi pekçok teknoloji uygundur.

AB'de oluşan %2-7 arasında kuru madde içeriği olan gübrenin doğrudan toprakta kullanımında taşıma bir problem olabilir. Ancak oluşan gübrede yüksek miktarlarda azot (tipik olarak kuru ton başına en az 100 kg N, ki bunun da 75 kg 'ı amonyum formundadır), fosfor (kuru ton başına 15 kg) ve potasyum (kuru ton başına 50 kg) içermektedir.

Biyogaz halen Dünyada 3.8 milyon araçta kullanılmaktadır ve 10,000 otomobil ve otobüste hiçbir sorun yaratmadığı belirlenmiştir. Avrupalı araba üreticileri son yıllarda doğal gazlı araçların üretimi için çalışmalar yürütmektedir. Avrupa Birliğinde 2010 yılında yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi %21'lere çıkarılmaya çalışılmaktadır. İsveç ise 2020 yılında taşımada biyogazın payını %8'e çıkarmayı hedeflemektedir (Börjesson ve Mattiasson, 2007).

4.1.Potansiyeli ve Gelecek Kullanımı

Biyogaz üretimindeki gelişim teorik potansiyele koşut olmayabilir. Atıkların ülke genelinde çok dağınık olması ve bütün atıkların anaerobik bozundurma için özellikle yüksek taşıma masrafları nedeniyle ekonomik olmayabilir. Büyük kapasiteli biyogaz tesislerinin (yıllık 10 GWh'den büyük) işletilebilmesi için, 35-50 küçük kentsel atık gerekmektedir (Nodberg vd., 1998). Örneğin İsveç için yapılan bir çalışmada, tarımsal atıklar, organik atıklar ve enerji bitkilerinden elde edilebilecek biyogaz potansiyeli Şekil 1'de verilmektedir. Henüz ülkemizde yalnızca birkaç arıtma tesisi ve endüstriyel uygulamaları olan biyogaz üretimi için, benzeri hesaplamaların yapılarak ülkemiz potansiyelin ortaya konulması gereklidir.



Şekil 1. İsveç'in biyogaz potansiyeli (Linné and Jönsson, 2004).

Biyogazın genel kullanımı ısıtma amaçlı olsa da araç yakıtı olarak kullanılmasında da ciddi artış görülmektedir. Taşıma sektöründe yüksek yakıt maliyetleri nedeniyle ısınmadan çok taşıma amaçlı kullanımına yönelim sözkonusudur. Biyogaz üretimi

sayesinde 2015 yılında Avrupa'daki ağır vasıtaların kullandığı yakıtın %27'sine karşılık gelecek bir rakama ulaşacaktır. 2002 yılında Avrupa'da üretilen biyogaz miktarı 92 PJ/yıl iken, yapılan tahminlerde bu rakamın 2020 yılında 770 PJ/yıl olacağı öngörülmektedir (Jönsson ve Persson, 2003).

Yeni tür atıkların değerlendirilmesi de sözkonusu olabilir. Son zamanlarda tahıl ürünlerinden etanol üretimine yönelinmektedir. Bu işlem sonrası atık ürünler biyogaz üretiminde kullanılmaktadır. Böylece tahılın tonu başına, enerji üretiminde %60 artış sağlanmaktadır (Börjesson, 2004). Tahıldan elde edilen etanol üretimi ile oluşan bir TWh enerjiye ilaveten arta kalan maddelerden biyogaz eldesi ile 0.4 TWh enerji daha sağlanabilmektedir.

Biyogaz üretim kapasitesi, reaktör sisteminin veriminin artırılması ve izleme ve kontrolünü içeren teknolojinin geliştirilmesiyle kolaylıkla artırılabilir. Üretilen biyogazın çoğunluğunu oluşturan atıksu arıtma tesislerinde, öncelikli olarak hedef çamur miktarının azaltılması ve çamurun stabil hale getirilmesi iken, enerji üretimi ikinci önemdedir. Bu nedenle de reaktörlerin sorunsuz çalışması için düşük yüklem hızlarında işletilmektedir. Bu reaktörlerin daha etkili çalıştırılması için diğer organik atıklarla birlikte bozundurma sağlanabilir. Böylece reaktör içerisinde besin dengesi uygun ve zehirleyicilerin etkisi azaltılmış olur. Reaktör teknolojisi sürekli gelişmekte, yeni yaklaşımlar ve uygulamalar araştırılmaktadır. Tek fazlı sulu çamur tarzı reaktörler çoğunluğu oluşturmaktadır. Yüksek kuru madde içeren atıkların ön-arıtım yapılarak köpük ve kabuk oluşumunu engellenmesi durumunda kuru bozundurma teknolojileri daha uygun olabilmektedir (Lantz vd., 2006). Yine bu tür atıklar için iki fazlı sistemler uygulanarak, öncesinde uçucu yağ asitleri üretilmekte, daha sonraki fazda metan oluşmaktadır. İki fazlı sistemin uygulanması durumunda herbir adım için optimum şartlar sağlanarak daha etkili bozundurma gerçekleşmektedir (Yılmaz ve Demirer, 2008).

İngiltere üzerine yapılan bir çalışmada, var olan atık yönetim stratejilerine göre en düşük ve en yüksek oranda AB'nin uygulanması durumunda oluşan rakamlar ortaya konulmuştur (NSCA, 2006). Düşük oranlı senaryoda arıtma çamurlarının %75'i, hayvan atıklarının %10'u ve gıda atıklarının %10'u; yüksek oranlı senaryoda ise arıtma çamurlarının %90'ı, hayvan atıklarının %30'u, kuru hayvan atıklarının %10'u, gıda atıklarının %65'inin AB'ye tabii olduğu varsayılmaktadır. Düşük oranlı senaryo ile İngiltere'deki araç yakıtının %1.5'u karşılanırken, yüksek oranlı senaryoda bu rakam %8'e yükselmektedir.

4.2. Biyogazın ekonomisi

Biyogaz ekonomisi oldukça karmaşık olup, diğer enerji üretim sistemleri ile doğrudan karşılaştırılmasının yapılması güçtür. Diğer enerji üretim sistemlerinin aksine AB sistemleri enerji gereksiniminin dışında pekçok şeye çözüm bulmayı hedefler. Kimi durumlarda enerji üretimi ikinci derecede önemli olabilmektedir. AB yasal gereksinimleri karşılamak üzere (katı atıkların deponi alanında çözülmesinin yasaklanması gibi), mevcut atık yönetim stratejilerinin çevresel etkilerinin azaltılması, veya tarımsal uygulamalar için, ya da iyi bir gübre eldesi gibi pekçok farklı gereksinim için uygulanabilmektedir.

Biyogaz tesislerinin yatırım maliyetleri büyük farklılıklar içermektedir. Sıvı atıklar için ton başına yıllık 70-150 euro iken, ön arıtım gerektiren yüksek katı içeriği olan atıklar için ton başına 500 euro'dan fazla bir yatırım ücreti gerekmektedir. Elde edilen biyogaz ve atık harçları da hesaba katılınca toplam üretim maliyetleri arasında küçük bir fark olmaktadır.

Hemen hemen bütün atık maddelerin arıtımı ya ücretsiz olarak yapılmakta ya da atık harcı uygulanmaktadır. Atık harcı atığın çeşidine ve biyogaz tesislerine göre farklılıklar göstermektedir. Örneğin Avrupa'da evsel atıklar için 45-60 euro ton başına atık harcı alınırken, mezbaaha atıkları için 5-27 euro alınmaktadır. Danimarka'da çoğunluğu hayvan atığı olan ortak arıtım tesislerine gıda endüstrisi ve benzeri atıkların alınması ekonomik bir işletme için gerekli olmaktadır. Böylece atıkların %20 sini oluşturan ortak arıtımla birlikte biyogaz miktarı artarken alınan atık harcı ile daha fazla gelir elde edilebilmektedir (Hjort-Gregersen, 2003).

Biyogaz tesisleri yatırımları iklim yatırım programları üzerinden hükümetlerce desteklenebilirler. Her ne kadar bu tür destekler yatırımlar için hayati olmasa da projelerin gerçekleşmesi bir katalizör görevi yapmaktadır. Çiftçilerin atıklarını getirmesi durumunda ücret alınmamalıdır, ücretlendirme sözkonusu ise de tesisten alacakları gübre karşılığında değerlendirilmelidir. Oluşan gübreyi fenni gübre olarak kullanılmasında isteksizlik görülse de, gübre kalitesinin ortaya konulması ile organik tarımda tercih edileceği düşünülmektedir. Tarımsal uygulamaların dışında toprak iyileştirme ya da inşaat mühendisliğinde kullanımları da mümkün olabilmektedir.

5. BİYOGAZIN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Farklı enerji kaynaklarını çevresel etkileri açısından değerlendirdiğimizde, unutulmamalıdır ki AB olmasa da atık arıtılma sürecinde emisyonlara neden olmaktadır. Karşılaştırmalar yapıldığında bu durum dikkate alınmalıdır.



Biyogazın fosil kaynaklar yerine kullanılması ile CO₂ ve diğer sera gazlarının salınımları azaltılmaktadır. Biyogaz üretimi sırasında oldukça az fosil yakıt (atık taşıma sırasında dizel kullanımı) tüketilir. Sonuç olarak, evlerin ısıtılmasında ve araç yakıtları yerine biyogazın kullanımı ile %75 sera gazlarında azaltım gerçekleştirilebilmektedir.

Biyogazın önemli bileşeni olan CH₄ aslında bir seragazıdır ve iklim değişimi açısından irdelendiğinde bir kilogram CH₄ yirmi kilogram CO₂'ye eşdeğerdir. Biyogaz sistemlerinden CH₄ kayıplarının azaltılması seragazı salınımlarına katkıda bulunacaktır. Biyogaz sisteminde ürün olarak oluşan gübrede mikroorganizmalar hala CH₄ üretmeye devam etmektedir. Gübrenin bu şekilde beklemesi ile oluşan CH₄ miktarı üretilen biyogazın %10-15'i mertebelerindedir. Bu nedenle oluşan gübrenin kapalı tanklarda tutulması ve biriken biyogazın alınması gereklidir.

Ötrotfikasyon ve asidifikasyona neden olan emisyonlar düşünülürken AB iyi bir alternatifdir. Örneğin şeker pancarlarından kaynaklı azot sızıntısı anaerobik bozundurmaya tabi olursa azaltılabilmektedir. Atıkların toplanmaması durumunda kış aylarında çürümekte ve azot serbest kalarak ötrötfikasyona neden olmaktadır.

Biyogaz sistemleri enerji ve çevresel sistemler analizi ile değerlendirilmektedir. Bu analiz ile enerji akımlarının değerlendirilmesi ve miktarının yanı sıra biyogaz üretimi ve tüketimindeki tüm yaşam döngüsündeki emisyonlar değerlendirilmektedir.

Biyogaz üretiminde oluşan emisyonlar (karbondioksit, karbonmonoksit, hidrokarbonlar, metan, sülfürdioksit, ve parçacıklar) değerlendirilmelidir. Üretilen gazın ısı üretimi için küçük ve büyük boyutlu ısıtıcılarda, ısı ve elektrik üretimi için küçük ve büyük gaz türbinlerinde ve araçlarda kullanılması hesaba katılmalıdır. Bunun yanı sıra, fenni gübre olarak kullanılması ve taşıma sırasında oluşacak emisyonlar da hesaba katılmalıdır.

Biyogaz sistemindeki kaçaklar, yetersiz teknoloji ya da fazla gaz üretiminden oluşan kayıplar önemli çevresel etkileri olmaktadır. Örneğin biyogazda %2 lik metan kaybı nedeniyle yakıt döngüsünde metan emisyonunda 10-100 katı bir artışa neden olmaktadır. Biyogazın zenginleştirilmesi sırasında %10'luk bir kayıp ise yakıt-döngüsü emisyonunda 50-540 katı artışa neden olmaktadır.

5.1. Biyogaz üretiminin Avantajları

Analizler göstermektedir ki, sera gazları emisyonunu eğer biyogaz ısıtma amacı ile fosil yakıtlar yerine kullanılırsa %75-90 oranında, BIG yerine kullanılırsa %60-90 ve benzinli ve dizel araçlarda kullanılması durumunda %50-85 arasında azalma mümkündür.

olmaktadır. Buna karşılık, biyogaz sistemleri biyoenerjiye göre sera gazları emisyonu açısından %50-500 daha yüksek olabilmektedir.

Anaerobik bozundurma ve biyogaz üretimi atık madde türüne, yakıtlara ve yerini aldığı atık yönetim sistemlerine göre potansiyel çevresel avantajları vardır. Genel olarak, anaerobik bozundurma aşağıdaki durumlarda faydalı olabilir.

- Sıvı hayvan atıkları, şeker pancarının yaprak ve baş kısımları gibi atık maddelerin normal şartlarda enerji hammaddesi olarak kullanılmaması durumlarında, biyogaz fosil yakıtların yerini alır;
- Dolaylı çevresel etkilerin dikkate alınmasında, örneğin, (i) hayvan atıklarının depolanması sırasında oluşan metan ve amonyumun emisyonlarının azaltılmasında, (ii) azot içeriği zengin olan ürün atıklarından azot sızıntısının ve amonyum emisyonlarının azaltılmasında, ve (iii) organik maddenin kompostlanması ile amonyum emisyonunun azaltılmasında;
- Biyogaz fosil yakıtların yerini alması durumunda, sera gazları emisyonunda ve ayrıca fotokimyasal oksidasyon reaksiyon potansiyeli, ötrötfikasyon potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli ve parçacık madde emisyonunda azalmalara neden olur.

Fakat biyogaz her zaman diğer biyoenerji sistemleri ile karşılaştırıldığında en iyi alternatif olmak durumunda değildir. Örneğin, ısı gereksinimi için doğrudan atık maddelerin yakılmasında, yüksek enerji dönüşümü nedeniyle biyogaz sisteminin uygulanmasında daha fazla sera gazı salınımına neden olabilmektedir. Biyogaz sistemlerinden önemli miktarda metan veya amonyum kayıplarının engellenmesi için uygun saklama ünitelerinin yapılarak fazla metanın yakılması, veya gübrenin uygun şekilde dağıtımının yapılarak amonyum kayıplarının azaltımı sağlanabilir.

Biyogaz sisteminin hangi amaca hizmet edeceğinin iyi belirlenmesi gerekir. Enerji ürünleri ile doğrudan yakma yoluyla enerji mi elde edilecek? yoksa toprak iyileştirme mi sağlanacak? bilinmelidir. Enerji performansı ve çevresel etkileri bakımından biyogaz sistemlerini değerlendirmek oldukça güçtür.

6.SONUÇ

Geleneksel enerji kaynaklarının azalması, beraberinde iklim değişiminin kritik seviyelere ulaşması ve artan nüfusla atık yönetimi çok ciddi problemler olarak önümüzde durmaktadır. Biyogaz kullanımını kırsal alanda küçük ölçekli amaçların ötesine hizmet edebilmektedir. Biyogaz teknolojisi artık pek çok ülke tarafından yoğun olarak kullanılmakta ve ciddi birikimler kazanılmıştır. Bu süreçte önemli araçlardan biri de bilimsel çalışmaların ortaya koyduğu beklentiler doğrultusunda yasal düzenlemelerin hazır olmasıdır. Artık faaliyetleri sadece çevresel etkileri

olarak değerlendirmek yeterli olmamaktadır. Biyogaz üretim sistemlerinin çevresel etkileri düşünüldüğünde, sistemin analitik yaklaşımında biyogaz üretimi ile oluşan emisyonları ve enerji performanslarını da içeren yaşam-döngüsü analizi yapılarak olumlu ve olumsuz yönler ortaya konulmalıdır. Bütün bunların yanısıra ülkemizde çok ciddi uygulama şansı bulamamış bu teknolojinin bir an önce kamuoyuna yararları ve kullanım kolaylıkları aktarılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Berglund, M. (2006). Biogas production from a Systems Analytical Perspective, PhD Dissertation, Lund University.
- Berglund, M. and Börjesson, P. (2003). Energy systems analysis of biogas systems. Report No. 44, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden.
- Börjesson, P. (2004). Energy analysis of transportation fuels from grain and ley crops. Report No. 54, Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Sweden.
- Börjesson, P. and Mattiasson, B. (2007). Biogas as a resource-efficient vehicle fuel, Trends in Biotechnology, 26(1), 7-13.
- Eriksson, P. and Olsson, M. (2007). The potential of biogas as vehicle fuel in Europe – A technological innovation systems analysis of the emerging bio-methane technology, Chalmers University of Technology, Report No. 2007:6, ISSN: 1404-8167.
- Hjort-Gregersen, K. (2003). The economy of centralized biogas plants: Progress and status 2002. Rapport nr. 150, Institute of Food and Resource Economics, Copenhagen, Denmark.
- Linné, M. and Jönsson, O. (2004). Literature review compilation and analysis of the potential for production of renewable methane (biogas and SNG) in Sweden). Swedish Gas Centre, Malmö, Sweden.
- Jönsson, O. and Persson, M. (2003). Biogas as transportation fuel, Swedish Gas Centre.
- Lantz, M., Svensson, M., Björnsson, L. and Börjesson, P. (2006). The prospects of an expansion of biogas systems in Sweden Incentives, barriers and potentials. Manuscript, submitted to Energy Policy.
- NCSA, (2006). Biogas as a road transport fuel, ISBN 978 0 903 47461 1.
- Sommer, S.G., Møller, H.B. and Petersen, S.O. (2001). The reduction of greenhouse gases from manure and organic waste using digestion and biogas production. DJF report No. 31, Danish Institute of Agricultural Sciences, Tjele, Denmark.
- Wellinger, A. (2005). Biogas as a vehicle fuel – Upgrading, distribution, fuelling and utilisation, IEA Bioenergy Agreement Leader Task 37: Energy from Biogas and Landfill Gas.
- Yilmaz, V. and Demirer, G.N. (2008). Enhancing the Performance of Anaerobic Digestion of Dairy Manure through Phase-Separation, Clean 2008, 36(9) ,760-768.



BİYOKÜTLE VE ATIKLARIN KÜRESEL ENERJİ DENGESİNDEKİ ROLÜNÜN İNCELENMESİ

Nazif Hülâgü SOHTAOĞLU ⁽¹⁾

Duygu PAPUR ⁽²⁾

İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469 İSTANBUL

⁽¹⁾ E-posta: nazif@elk.itu.edu.tr , sohtaoglu@gmail.com

⁽²⁾ E-posta: duygupapur@gmail.com

Özet: Bu çalışmada, biyokütle ve atıkların toplam birincil enerji arzı ile toplam yenilenebilir enerji arzında üstlendikleri rollerde kaydedilen gelişmeler bölgeler ve ülkeler ayrımında incelenmiş, gözlenen eğilimler diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırmalı olarak sosyo-ekonomik gelişmişlik ekseninde irdelenmiştir. Geçtiğimiz otuz beş yıllık sürece ilişkin veriler ile günümüzdeki enerji piyasası eğilimleri kapsamlı olarak dikkate alındığında, biyokütle ve atıkların küresel toplam birincil enerji arzı ile toplam nihai enerji tüketimindeki payında anlamlı değişiklikler kaydedilemediği, buna karşın gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında ayrımında birincil biyokütle ve atık arzının farklı anlamlar kazandığı, işlevler yüklendiği saptanmaktadır. Ticari nitelik taşımayan biyokütleye yoğun bağımlılık nedeniyle, küresel toplam yenilenebilir enerji arzının dörtte üçünden fazlası OECD yapısı dışında kalan gelişmekte olan ülkeler tarafından üstlenilmekte, anılan arzın çok büyük bölümü evsel kaygılarla veya hizmetler sektöründe doğrudan yakılarak tüketilirken, gelişmiş ekonomilerin belirgin ağırlığının bulunduğu OECD yapısında ise elektrik ve ısı üretimi ile biyoyakıt olarak çevrim sektörlerinde dolaylı yollardan kullanılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle ve atık arzı; Toplam yenilenebilir enerji arzı; Toplam birincil enerji arzı; OECD ülkeleri; Gelişmiş ekonomiler; OECD dışında kalan ülkeler; Gelişmekte olan ekonomiler.

1. Giriş

Ülkelerin kurumsal yapılarına bağlı olarak, sosyal, ekonomik, çevresel vb. boyutlarda sürdürülebilirlik sağlanmaya çalışılırken, aslında yaşam kalitesinin kesintisiz şekilde yükseltilmesi hedeflenmektedir. Sürdürülebilir büyümenin, sosyal, ekonomik, çevresel ve kurumsal olarak sıralanabilecek dört temel boyutunun karşılıklı ilişkileri, birbirlerini tamamlayıcı olabildiği gibi, aralarında çatışmalar ortaya çıktığında akılcı, etkin ve sürdürülebilir dengelerin kurulmasını zorunlu kılmaktadır. Enerji, sürdürülebilirlik kapsamında özel önem taşıyan temel unsurlar arasından öne çıkmakta, sürdürülebilirlik kavramının birincil ve ikincil sayılabilecek tüm boyutlarını doğrudan ve/veya dolaylı yollardan etkileyebilmektedir. Dolayısıyla, küresel, bölgesel ve/veya ulusal ölçeklerdeki enerji stratejileri ile politikaları, sürdürülebilir büyümenin ekonomik, sosyal, çevresel ve kurumsal boyutları arasında sağlıklı dengelerin kurulmasını gerektirmektedir.

Enerji, sürdürülebilir büyüme ile gelişmeye yönelik temel dinamiklerin arasından öne çıkmakla birlikte, yoksulluğun azaltılması, temiz su, önleyici ve yeterli sağlık hizmetleri, eğitim sistemi, istihdam yapısı, iletişim ve ulaşım altyapısı vb. diğer birçok unsurun bir arada bulunmasını da gerekli kılmaktadır. Her şeye karşın, ucuz ve her zaman ulaşılabilir niteliklere sahip enerji arzı, diğer yaşam alanlarındaki sorunların çözümüne doğrudan ve/veya dolaylı yollardan önemli katkılarda bulunabilmektedir.

Uluslararası enerji arzında ve ticaretinde yaşanabilen olumsuzluklar, fosil yakıt fiyatlarında kaydedilen ani ve aşırı değişimler, yenilenebilir enerjiye olan ilgiyi güçlendirmekte, enerji arz güvenliğinin artırılması, enerji bağımlılığının azaltılması, enerji kaynak çeşitliliğinin sağlanması, enerji üretim ve tüketiminin yol açtığı çevre sorunlarının hafifletilmesi vb. diğer etmenlerin de katkılarıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel toplam enerji arzındaki ve küresel toplam elektrik üretimindeki paylarının, dolayısıyla yüklendikleri işlevlerin giderek büyümesi arzu edilmektedir. Son yıllarda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yaygınlaştırılmasına, toplam birincil enerji arzı ile elektrik enerjisi üretimindeki payının yükseltilmesine yönelik çabaların giderek arttığı, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımların, özellikle elektrik ve ısı üretimi ile biyoyakıtlar üzerinde yoğunlaştığı gözlenmektedir.

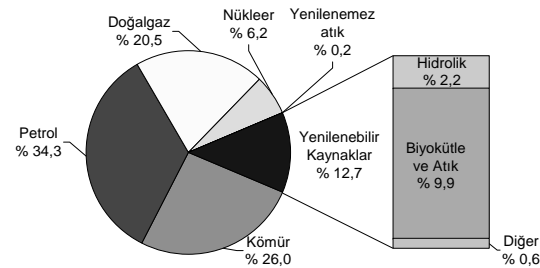
Geleneksel katı biyokütle hariç tutulduğunda küresel toplam birincil enerji arzında, hidrolik hariç tutulduğunda ise küresel toplam elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların mevcut payları, yapılan tüm girişimlere karşın, oldukça düşük düzeylerde bulunmaktadır. Gelecek yirmi ile otuz yılı kapsayan enerji talep tahminleri irdelendiğinde [1,2,3], biyokütlenin geleneksel tüketim sürecinin benzer eğilimlerle devam edeceği ve toplam yenilenebilir birincil enerji arzındaki en önemli bileşen olma konumunun değişmeyeceği anlaşılmaktadır.

Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil tabanlı yakıtların yerine kolaylıkla kullanılabilme olanağı sunması nedeniyle özellikle katı biyokütle, diğer yenilenebilir kaynaklardan ayrılmaktadır. Küresel toplam birincil biyokütle arzının çok büyük bölümü, Afrika, Asya ve Latin Amerika'daki gelişmekte olan ülkelerde, enerji yoksulu ve yoksunu toplum kesimlerince gündelik temel yaşam gereksinimlerinin karşılanabilmesi amacıyla doğrudan yakılarak tüketilirken, ancak çok küçük bir bölümü elektrik ve/veya ısı üretiminde ya da yakıt girdisi olarak çağdaş sanai üretim süreçlerinde dolaylı yollarla kullanılabilir.

2. Birincil Enerji Arzındaki Gelişmeler

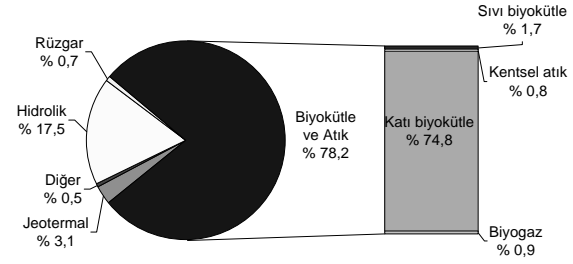
1971 yılında 5.533 Mtoe olan küresel toplam birincil enerji arzı, 2006 yılında 11.740 Mtoe'ye yükselmiştir. 1971 ile 2006 yıllarını kapsayan otuz beş yıllık süreçte [4-11], küresel toplam birincil enerji arzı iki katına çıkmış, ağırlıklı olarak gelişmiş ekonomilerin yer aldığı OECD yapısındaki toplam artış yüzde 60 düzeylerinde sınırlı kalırken, OECD dışında kalan ülkelerin toplam birincil enerji arzı ise yaklaşık üç kat büyümüştür. Küresel toplam birincil enerji arzında kaydedilen gelişmeler, bölgelere ve birincil enerji kaynaklarına göre, 1971, 1990 ve 2006 yılları için özetlenerek, Tablo 1'de sunulmuştur. Çalışma kapsamında göz önüne alınan süreçte, bölgelerin küresel toplam birincil enerji arzındaki paylarında ve kaynakların küresel, bölgesel ve ulusal düzeylerdeki toplam birincil enerji arzında üstlendikleri rollerde önemli değişiklikler dikkati çekmektedir.

2006 yılında 11.740 Mtoe olan küresel toplam birincil enerji arzının yüzde 12,7'sine karşılık gelen 1.493 Mtoe yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmiştir. Diğer birincil kaynakların küresel toplam birincil enerji arzındaki payları ise, petrol yüzde 34,3, kömür yüzde 26,0, doğalgaz yüzde 20,5 ve nükleer yüzde 6,2 düzeyinde oluşmuştur. Çalışmada göz önüne alınan ve 1971 ile 2006 yıllarını kapsayan otuz beş yıllık süreç irdelendiğinde [4-11], yenilenebilir kaynakların küresel toplam birincil enerji arzındaki payında kayda değer bir gelişme sağlanmadığı, aksine hafif bir gerilemenin varlığı saptanmaktadır. Birincil enerji kaynaklarının küresel toplam birincil enerji arzındaki payları, 2006 yılı için Şekil 1'de gösterilmiştir.



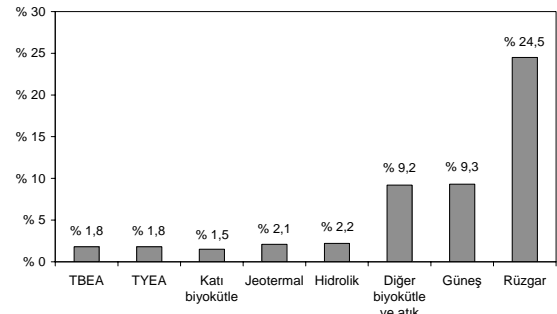
Şekil 1. Kaynakların küresel toplam birincil enerji arzındaki payları.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının tümü birlikte dikkate alındığında, küresel toplam birincil enerji arzına en büyük katkıyı sağlayan bileşenin biyokütle ve atıklar olduğu görülmektedir. 2006 yılı verilerine göre, bileşenlerin küresel toplam yenilenebilir enerji arzındaki payları, Şekil 2'de verilmiştir. 2006 yılında küresel toplam birincil enerji arzı 11.740 Mtoe olurken, toplam biyokütle ve atık arzı 1.185 Mtoe düzeyinde gerçekleşmiştir. OECD ülkelerinin küresel toplam biyokütle ve atık arzına katkısı 210,5 Mtoe, OECD dışındaki ülkelerin ise 974,5 Mtoe'dir.



Şekil 2. Kaynakların küresel toplam yenilenebilir enerji arzındaki payları.

Ticari nitelik taşımayan katı biyokütlenin özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki yaygın kullanımı nedeniyle, küresel toplam birincil enerji arzının (TBEA) yüzde 9,5 ve küresel toplam yenilenebilir enerji arzının (TYEA) ise yüzde 74,8'lik bölümü yalnızca katı biyokütleye dayalıdır. İkinci en büyük yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroliğin küresel TBEA'daki payı yüzde 2,2 ve küresel TYEA'daki payı yüzde 17,5 olurken, üçüncü büyük bileşen konumundaki jeotermal enerjinin küresel TBEA'daki payı yüzde 0,4 ve küresel TYEA'daki payı yüzde 3,1'dir. Rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları, küresel TBEA'da yüzde 0,2 ve küresel TYEA'da yüzde 1,2 düzeyindeki katkılarıyla hala marjinal konumda kalmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının, 1990 ile 2006 yıllarını kapsayan süreçte kaydettikleri ortalama yıllık büyüme oranları, karşılaştırmalı halde, Şekil 3'te sunulmuştur.

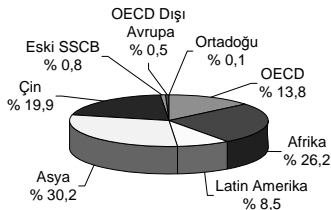


Şekil 3. Küresel toplam yenilenebilir enerji arzında gerçekleşen ortalama yıllık büyüme oranları.

Başta rüzgar, güneş ve katı olmayan biyokütle (yenilenebilir kentsel atık, biyogaz ve sıvı biyokütle) alanında sağlanan güçlü büyüme eğilimlerine karşın,

3. Enerji Dengesinde Biyokütlenin Rolü

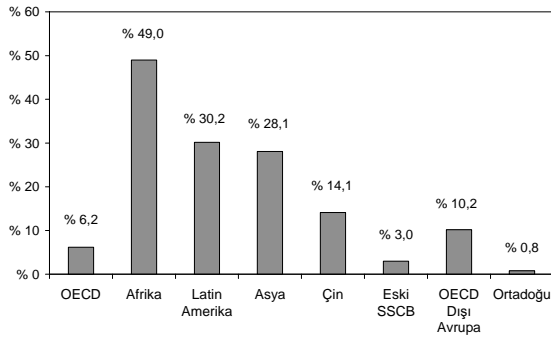
Küresel toplam katı biyokütle arzının yüzde 86,2'si OECD yapısı dışındaki ülkeler tarafından üretilir ve tüketilirken, OECD ülkelerinin payı yalnızca yüzde 13,8 ile sınırlı kalmakta, özellikle Güney Asya ve Orta Afrika'da gündelik yaşam gereksinimleri için evsel niteliklerdeki biyokütle tüketiminin çok yaygın olduğu gözlenmektedir. Bu durum, ekonomik ve sosyal gelişme sürecini sınırlamakta, yavaşlamasına neden olmaktadır. 2006 yılında küresel toplam birincil enerji arzında yüzde 5,2 paya sahip bulunan Afrika'nın, küresel toplam katı biyokütle arzındaki payı yüzde 26,2'ye çıkmaktadır. Benzer şekilde, küresel TBEA'daki payı yüzde 11,3 olan Çin hariç Asya bölgesinin küresel toplam katı biyokütle arzındaki payı yüzde 30,2 düzeyindedir. 2006 yılı itibarıyla bölgelerin küresel toplam katı biyokütle arzındaki payları, Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Bölgelerin küresel toplam katı biyokütle arzındaki payları.

Biyokütle ve atıkların toplam birincil enerji arzındaki payları, bölgeler ile nüfusları yirmi milyonu aşan seçilmiş ülkeler için hesaplanarak, TBEA düzeyleri ile birlikte, Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de sunulmuştur.

Küresel toplam nüfusun beşte birinden çok daha azını barındıran OECD ülkelerinin küresel toplam birincil enerji arzındaki payı yüzde 48,5, küresel toplam yenilenebilir enerji arzındaki payı ise, yüzde 23,1'dir. 2006 yılı itibarıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarının OECD ülkelerinin toplam birincil enerji arzındaki payı, sadece yüzde 6,2 düzeyinde sınırlı kalmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam birincil enerji arzındaki payı, bölgelere göre karşılaştırmalı halde, Şekil 5'te verilmiştir.

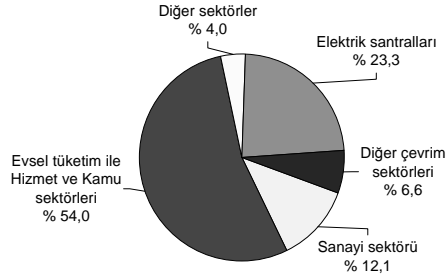


Şekil 5. Bölgelere göre yenilenebilir kaynakların toplam birincil enerji arzındaki payı.

Küresel nüfusun beşte dördünden daha fazlasını barındıran ve OECD yapısı dışında kalan ülkelerde, ticari nitelik taşımayan biyokütlenin çok yaygın tüketimi, bu ülkelerin küresel toplam yenilenebilir enerji arzındaki payının yüzde 76,9'a ulaşmasına yol açmakta, buna koşut olarak OECD dışındaki ülkeleri küresel ölçekteki en önemli yenilenebilir enerji kullanıcıları konumuna getirmektedir.

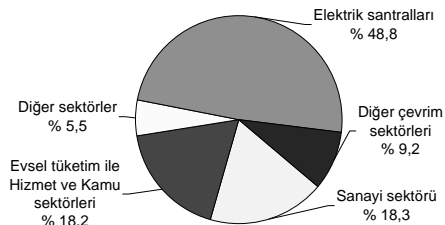
Her türlü ağaç ve bitkiler ile hayvan artıklarından oluşan ürünleri kapsayan biyokütle, katı yakıt, sıvı ve gaz halinde enerji taşıyıcısı olarak kullanılabilen ya da yakılarak ısı enerjisine, elektrik enerjisine çevrilebilmekte, bazı işlemlerle etanol, metan ve biyodizel yakıtlarına dönüştürülerek çağdaş üretim ve tüketim süreçlerine dahil olabilmektedir.

Küresel toplam yenilenebilir birincil enerji arzının yalnızca yüzde 23,3'ü elektrik enerjisi üretimine konu olabilmekte, evsel tüketim ile hizmet ve kamu sektörlerinin payı yüzde 54,0'e ulaşmaktadır. Başka bir deyişle küresel toplam yenilenebilir enerji arzının büyük bölümü, gündelik temel yaşam gereksinimleri için, evsel kaygılarla ve doğrudan yakılarak tüketilmektedir. Küresel toplam yenilenebilir enerji tüketiminde sektörel paylar, Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Sektörlerin küresel toplam yenilenebilir enerji tüketimindeki payları.

OECD ülkelerinde ise yenilenebilir birincil enerji arzının yarısından çok daha fazlası çevrim sektöründe kullanılmakta, 2006 yılı itibarıyla elektrik enerjisi üretiminin payı yüzde 48,8'e ulaşırken, evsel nitelikli tüketimin rolünün gerilediği gözlenmektedir. Temel sektörlerin OECD ülkelerinin toplam yenilenebilir enerji tüketimindeki payları, Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Sektörlerin OECD ülkelerinin toplam yenilenebilir enerji tüketimindeki payları.

4. Sonuçlar

Enerji piyasalarının gelecekteki yirmi yılına yönelik gerçekleştirilen tahminlerin tümünde, küresel toplam birincil enerji arzı ile karşılaştırıldığında birincil biyokütle ve atık arzındaki büyümenin yavaşlaması, dolayısıyla toplamdaki payında hafif gerilemeler kaydedilmesi, ancak küresel toplam birincil enerji arzı ile yenilenebilir enerji arzındaki mevcut önemini koruması beklenmektedir. Buna karşın, biyokütle ve atık arzına ilişkin genel niteliklerdeki öngörüler, bunların geleneksel ya da çağdaş hangi yollarla tüketildiği yönünde, bölgeler ile ülkeler ayırımında öne çıkan derin farklılıkları göz ardı edebilmekte ya da gizleyebilmektedir.

Diğer yenilenebilir kaynaklara göre farklı özellikler taşıyan biyokütle, ısı ve/veya elektrik enerjisi ile sıvı yakıtı dönüştürülebilmeyle birlikte, genellikle gündelik evsel kaygılarla doğrudan yakılarak tüketildiğinden, sağlık, ekonomik verimlilik ve çevre boyutlarındaki dolaysız ve/veya dolaylı olumsuz etkileri nedeniyle, sürdürülebilirlik kavramının sosyal, ekonomik, çevresel ve kurumsal boyutlarına bağlı olarak büyük ölçekli karmaşık sorunlara zemin hazırlayarak, küresel sürdürülebilirlik üzerinde ciddi tehditler yaratmaktadır.

Kaynaklar

- [1] International Energy Agency (IEA), “*World Energy Outlook, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [2] International Energy Agency (IEA), “*Key World Energy Statistics, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [3] Energy Information Administration (EIA), “*International Energy Outlook, 2008 Edition*,” DOE/EIA-0484(2008), Washington, DC, 2008.
- [4] International Energy Agency (IEA), “*Energy Balances of OECD Countries, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [5] International Energy Agency (IEA), “*Energy Balances of Non-OECD Countries, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [6] International Energy Agency (IEA), “*Energy Statistics of OECD Countries, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [7] International Energy Agency (IEA), “*Energy Statistics of Non-OECD Countries, 2008 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2008.
- [8] International Energy Agency (IEA), “*Energy Balances of OECD Countries, 2007 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2007.
- [9] International Energy Agency (IEA), “*Energy Balances of Non-OECD Countries, 2007 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2007.
- [10] International Energy Agency (IEA), “*Energy Statistics of OECD Countries, 2007 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2007.
- [11] International Energy Agency (IEA), “*Energy Statistics of Non-OECD Countries, 2007 Edition*,” OECD/IEA, Paris, 2007.

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ELEKTRİĞİ SİSTEMLERİ

Deniz Selkan POLATKAN

selkan.polatkan@motifproje.com

SUMMARY

The sun is an exhaustible and renewable source of energy. It is also clean and sustainable.

Now, photovoltaic technology offers solutions to convert sunlight into electricity by using solar cells. To explain the photovoltaic cell more simply, photons from sunlight knock electrons into a higher state of energy, creating electricity. The connection of solar cells, forms solar panels. Using solar panels and connecting each other you can obtain photovoltaic array which can be a kind of decentralized electric power station.

Solar cells produce direct current electric which can also be used to power equipment or to recharge a battery. The first practical application of photovoltaic was to power orbiting satellites and other spacecraft and pocket calculators, but today the majority of photovoltaic modules are used for grid connected power generation. To convert the Direct Current to Alternating Current an inverter is used.

Main components of a photovoltaic systems are ; Photovoltaic panels, charge controllers, dc or ac loads, converters or inverters, batteries, cables, lighting protection, additional power sources (hybrid systems).

1- GÜNEŞDEN GELEN GÜÇ

Yaklaşık 5.5 milyar yaşında olduğunu tahmin edilen dünyamız sadece son 200 yılda çok değişti. Bu kaygı verici değişimin başlangıcı ise, buhar makinesinin icadı ile başlayan fosil yakıtların tüketim süreci ve ardı sıra gelen sanayi devrimi oldu.

Bugün geldiğimiz noktada ise, karşımızda, kendi kendimize yarattığımız bariz bir küresel ısınma problemi ve halen çözülememiş bir enerji bunalımı var.

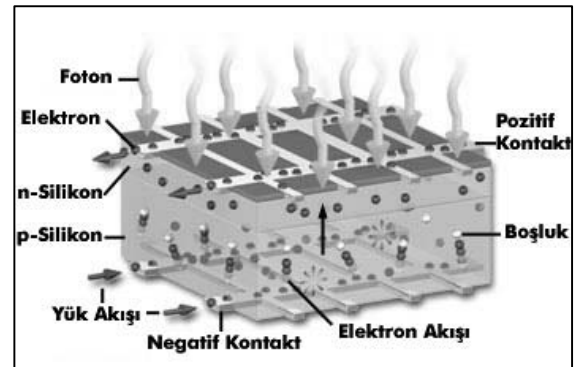
Einstein'ın düşünen hayvan olarak tanımlanmış olduğu insanoğlu, çözümü yine doğanın içinde arıyor. Dünyamızda bundan yaklaşık 2 milyar yıl önce yaşam evrimini başlatan fotosentez olayı şimdi de yapay olarak insanoğlunun enerji problemini çözmeye en güçlü aday.

Bilim adamlarının 1800'lü yılların sonuna doğru ilk defa selenyum maddesi sayesinde keşfettikleri güneş ışınlarının photovoltaic etkisi, Daryl Chapin, Calvin Fuller, ve Gerald Pearson tarafından 1952 yılında ilk silisyum bazlı güneş gözesinin üretilmesi ile bir devrim başlattı. Oysaki bu Üç bilim adamı sadece Bell telefon sistemindeki problemleri çözmeye çalışıyorlardı.

Klasik, çinko-karbon ve kurşun asit piller sıcak iklimlerde çabucak bozuluyorlar ve iletişim sisteminin kopmasına sebep oluyorlardı. Ve bu sebeple onlardan alternatif güç kaynakları ve kendi kendine yeten sistemler bulmaları istendi.

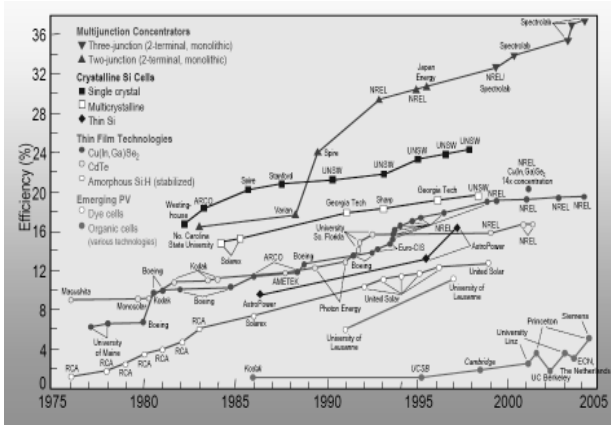
Aslında çoğumuz güneş gözelerini uzun yıllardır kullanıyoruz, mesela hesap makinelerinde güç kaynağı olarak ya da daha öncesinde uzayda, uydu iletişiminde. Örnek olarak, Amerikan Vanguard uydusu (17 Mart 1958) pv panel donatılı ilk iletişim uydusu idi ve halen uzayda. photovoltaic kelimesinin anlamına gelince ; photo yani ışık-görüntü ve voltaic ; voltaj(gerilim) ve elektrik kelimelerinden türetilmiştir.

Güneş ışığını elektrığe çeviren bu sistemler sayesinde artık kendi mini elektrik ve enerji santralimizi yapmak hatta çölleri photovoltaic tarlalarla kaplayarak dünyayı kirletmeden enerji problemini çözmek mümkün.



Şekil 1. Fotovoltaik Güneş Elektrliği Hücresi Doğru Akım Elektrliği Üretim Prensibi





Şekil 2. Farklı Pv Hücre Tipleri Ve Verimlilikleri

3- FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN TEMEL BİLEŞENLERİ

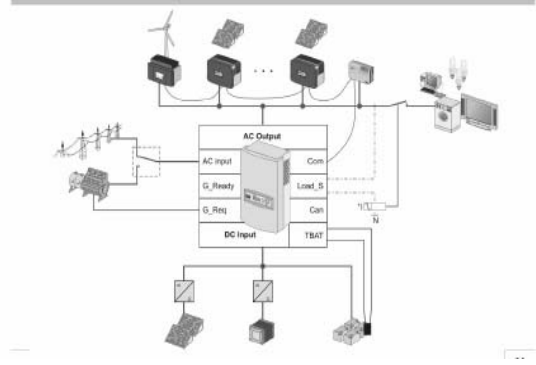
- PHOTOVOLTAİK PANELLER
- SIGORTALAMA ELEMANLARI (Doğru ve Alternatif Akım için)
- BİRLEŞİM KUTULARI
- KABLOLAMA (Doğru ve Alternatif Akım için)
- İNVERTÖRLER
- MONTAJ ELEMANLARI (Çatı, Cephe, Toprak üstü)
- ELEKTRİK SAYAÇLARI (Satış, Alış için)
- İZLEME ELEMANLARI (İnternet ve Bilgisayar)
- YILDIRIMA KARŞI KORUMA

4- ENERJİ VERİMİNİN BAĞLI OLDUĞU TEMEL KRİTERLER

4-1- Güneş panellerimizi yerleştirdiğimiz coğrafyadaki konum koşulları, özellikle de TOPLAM GÜNEŞLENME SAATLERİ (kWh/(m2.d)).

4- 2- Sistem kurulumumuzun verimliliği. Yani uygun panel, inverter (evirici), converter (dönüştürücü) akü seçimi ve bu bileşenlerin enerji kayıplarının minimizasyonu. (Kablolama yani enerji nakil kayıpları ve doğru akım - alternatif akım çevrim ve depolamalarında oluşan enerji kayıpları).

4- 3- Güneşe karşı konumlandırma.



Şekil 3. Hibrid Sistemler Örneği

5- DÜNYADA PV GELİŞİM SÜRECİ ve SİSTEM VERİMLİLİĞİ

1974 petrol krizinin ardından kurulmuş olan uluslar arası enerji ajansı 1993 yılından itibaren photovoltaic power systems programme (iea-pvps) araştırma ve geliştirme çalışmalarına başlamıştır.

ÜYE ÜLKELER : Australia (AUS), Austria (AUT), Canada (CAN), Denmark (DNK), France (FRA), Germany (DEU), Israel (ISR), Italy (ITA), Japan (JPN), Korea (KOR), Mexico (MEX), The Netherlands (NLD), Norway (NOR), Portugal (PRT), Spain (ESP), Sweden (SWE), Switzerland (CHE), The United Kingdom (GBR) and The United States of America (USA).

6- ÜLKEMİZİN POTANSİYELİ VE MEVCUT DURUM

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır.

Ülkemiz güneş enerjisi potansiyeli bakımından iyi durumda olmasına rağmen ne yazık ki bu potansiyeli yeterince etkin ve yaygın kullanamamaktadır.

Bunun sebebi olarak kurumlar arası koordinasyon eksikliği ve şimdiye kadar devletin bu konuda bir teşvik uygulamaması olarak gösterilebilir.

Ancak buna rağmen ülkemizde Güneş enerjisi hakkındaki çalışmalar oldukça uzun zamandır yapılmaktadır.

Kamu kurum ve kuruluşlarında, üniversitemizde, konu ile ilgili kurulmuş vakıf ve derneklerde güneş enerjisinden etkin biçimde faydalanmak için çalışmalar sürdürülmektedir.

6.1. Türkiye İçin Sistem Verimliliği

Türkiye için Yıllık Güneş Işınımı ortalaması, coğrafi konuma ve ekvator çizgisine yakınlığa göre, 1,500 ila 2,200 kwh/m² arasında değişmektedir. Elde edilen yıllık ortalama Güneş Elektrikliği ise, 1200 ila 1650 kwh/kwp arasında değişmektedir. Bir diğer tanımla sistem verimliliği $1200 / 365 = 3,28$ ila $1650 / 365 = 4,52$ arasında değişmektedir, Özetle kurulu her 1,000 wattlık güç, Ülkemiz coğrafyasında günlük ortalama 3,280 ila 4,520 watt arasında değişen enerji üretecektir.

7. SONUÇ

İhtiyacımız sadece, ters sayım da yapabilen bir elektrik sayacı kullanarak, güneş panellerimizin gündüz ürettiği ve o an için evimizdeki kullanım fazlası elektrikliği, mevcut elektrik şebekesine ters basarak, elektrik alış fiyatımızdan mahsuplaşabilmek ya da teşvik kapsamında

KAYNAKÇA

1. Photovoltaic for professionals
2. Solar electric system marketing, design and installation
3. Falk Antony, Christian Dürschner, Karl-Heinz Remmers
4. 2006 Rondo Druck GmbH Germany
5. SMA.de inverter company training notes.
6. 2007 Kassel Germany
7. IBC Solar Ag photovoltaic installation company training notes
8. 2007 Nurnberg Germany

işletebilmektir. Şu an için gelişmiş olan ülkelerin tamamında uygulanan bu sistem de mahsuplaşmanın ötesinde mevcudun 2-3 katı teşvikler vardır. Enerji bağımsız ve gelecek nesillerin yaşam kalitesi garanti altında olacak bir Türkiye için, yerel, bağımsız, yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağı olan PV, bir an evvel Türkiye’de tanıtılmalı ve hatta üretimi sağlanmalıdır. Bu aynı zamanda yeni bir sektör ve iş imkanları yaratacaktır.

1970’li yıllardan itibaren Amerika, Avrupa ve Uzakdoğu’da başlayan bu öngörü günümüzde bu ülkelerde maliyet düşüşleri ve verimlilik artışları sayesinde adeta bir talep patlaması yaratmıştır. Dünyadaki bu gelişim süreci 2015 yılından itibaren biz istesek de istemesek de ülkemizi de içine alarak büyümesini sürdürecektir. Çünkü yapılan projeksiyonlara göre bu tarihten itibaren mevcut elektrik şebekemizden alarak tükettiğimiz enerjinin maliyeti, güneş elektrikliğinden elde edeceğimiz elektrik maliyeti ile eşitlenecektir.

GÜNEŞ ENERJİLİ NEME DUYARLI TOPRAK SULAMA SİSTEMİ TASARIMI

Şaban YILMAZ*

A. Serdar YILMAZ**

Etem KÖKLÜKAYA***

*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Kahramanmaraş,
sabanyilmaz1@hotmail.com,

**Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elektrik Elektronik Müh Bölümü, Kahramanmaraş
asyilmaz@ksu.edu.tr,

***Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Adapazarı, ekaya@sakarya.edu.tr

ÖZET

Yenilebilir enerji kaynaklarının her alanda olduğu gibi tarımsal sulama alanında kullanılması önemli bir gereksinimdir. Özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesinde başta güneş olmak üzere tüm yenilenebilir kaynakların kullanılmasının önceliği vardır. Bu çalışmada uygulamada büyük bir yararı olabilecek, güneş enerjisinin sulamada kullanılabilirliğinin bir uygulaması gerçekleştirilmiştir. Prototip olarak laboratuvar ortamında gerçekleştirilen sulama sisteminin büyük ölçekli uygulamasının enerji tasarrufuna katkısı olacağı açıktır. Geliştirilen prototip ile istenilen nemi sabit olarak koruyabilecek bir sulama düzeneği sağlanmıştır. Toprağa gömülü nem sensörleri ile nem bilgisinin kontrolöre girildiği prototipte neme duyarlı bir sulama denetimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi. Tarımsal Sulama. Güneş Enerjili Sulama Sistemleri

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi günümüzde soğutma, ısıtma yanında elektrik üretiminde kullanılan bir alternatif enerji kaynağıdır. Bu kaynağın tarımdan sanayiye ve gündelik hayatın her noktasında kullanıma imkânı vardır. Elektrik üretimin yaygınlaştırılması, konvansiyonel kaynaklara bağımlılığı azaltacaktır.[1] Canlı hayatı için önemli kaynaklardan biri olan suyun tarımsal sulamalarda tasarruflu ve verimli biçimde kullanılması önemli bir çevre problemidir. Günümüzde tarım alanlarında bitkilerin ihtiyacı kadar ve toprağa zarar vermeyecek ölçüde sulama suyu kullanımı önemli çalışma konularındandır. Fazla sulama sadece su israfına yol açmamakta, aynı zamanda topraktaki tuz oranının artarak, verimli tabakaların erozyona uğramasına yol açmaktadır. Bu amaçla geliştirilen pek çok denetim yöntemi [2,3,4] olmakla birlikte bu çalışmada toprağın nem oranı ve ıslaklık kuruluk durumuna göre geliştirilmiş bir sulama kontrolü sistemi geliştirilmiştir. Önerilen ve küçük ölçekte modeli yapılan sulama sisteminin özellikle kırsal kesimde kullanımının ekonomik faydaları olacağı öngörülmektedir.

Geliştirilen sulama sistemine ait bir mikro prototip imal edilmiş ve küçük ölçekli uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen sistemin gerçek sulama alanlarında da başarıyla kullanılabileceği ve hem suyun hem de elektrik enerjisinin verimli biçimde kullanılabileceğini öngörülmektedir. Geliştirilen mikro prototipte 10 W gücünde nominal 12 V çıkış veren bir güneş pili ile batarya ünitesi kullanılmıştır. Toprağın nemine göre istenilen (ayarlanabilen) nem değerlerinde kalınabilmesi için sulama fonksiyonunun devreye girmesi şeklinde özetlenebilir.

2. ÖNERİLEN SİSTEMİN TARIMSAL ÜRETİME VE ELEKTRİK TÜKETİMİNE KATKISI

Küçük ölçekli prototipi üretilen sulama sistemi, büyük boyutlu tarım arazileri için kullanılmaya elverişlidir. Bu amaçla Kahramanmaraş ekonomisinde önemli yere sahip kırmızıbiber üretiminin önerilen sistem ile yapılmasının mali getirisi şu şekilde hesaplanmıştır.

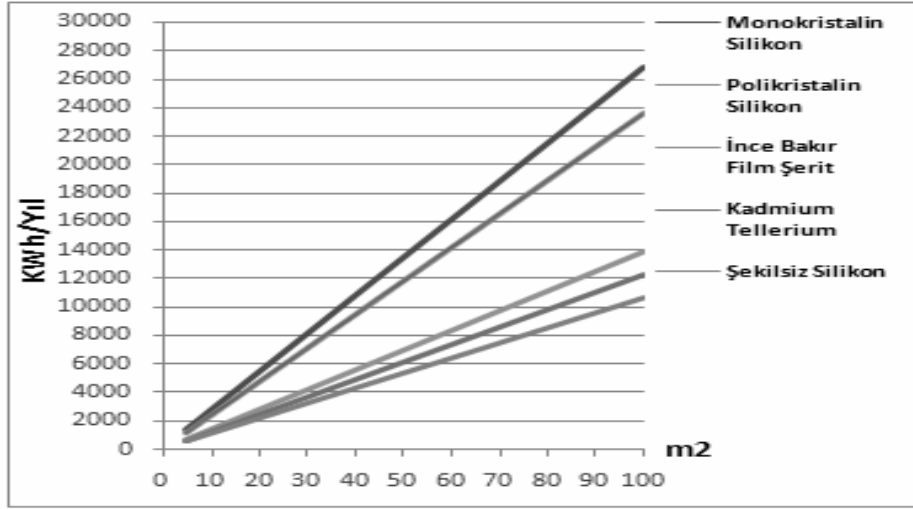
Kahramanmaraş bölgesinde biber için sulama sulamada metrekaresine 1033 mm su verilmelidir.

20000 m² arazi için 20663 m³ yani 20660 ton suya gereksinim duyulmaktadır. Bir üretim sezonu için ortalama 15 kez salma sulama yapılmaktadır. Ayrıca 20 dekarlık bir alanın sulanması 30 saat sürmektedir. Bu durumda bir ürün döneminde 15x30 yani 450 saat süreyle su pompasının çalışması gerekecektir. Ilıman iklime sahip Kahramanmaraş'ta yılda 2 hatta 3 ürün alınabilmektedir. Yılda 2 ürün alındığı varsayılırsa, yılda 900 saat pompanın çalıştırılması gerekmektedir.

Tipik bir su pompasının bir saatlik çalışmasında 3 kWh lık enerji tüketilmektedir. Bu durumda yıllık 900 saat için 2700 kW lık elektrik enerjisinin

tüketilmesi söz konusudur. Çözüm olarak, elektrik enerjisinin güneş panelleri ile karşılandığını varsayılmaktadır. Her biri 200W lık 8 adet güneş panelinden oluşan sistemin kurulu maksimum gücü 1600 Wp olacaktır. Bu şekilde yaklaşık 12m² lik bir panel alanı gerekecektir.

Kahramanmaraş'ta EIE verilerine [5] göre (Şekil.1) 12 m²'lik bir polikristal panel grubunda yılda 3000 kWh lık enerji üretilmesi mümkün gözükmektedir. Bu durumda kurulması gereken 1600 Wp lik panel grubu ile 20 dekarlık bir arazide yılda 3 ürüne kadar gerekli sulama için enerjinin güneşten karşılanması mümkün gözükmektedir.



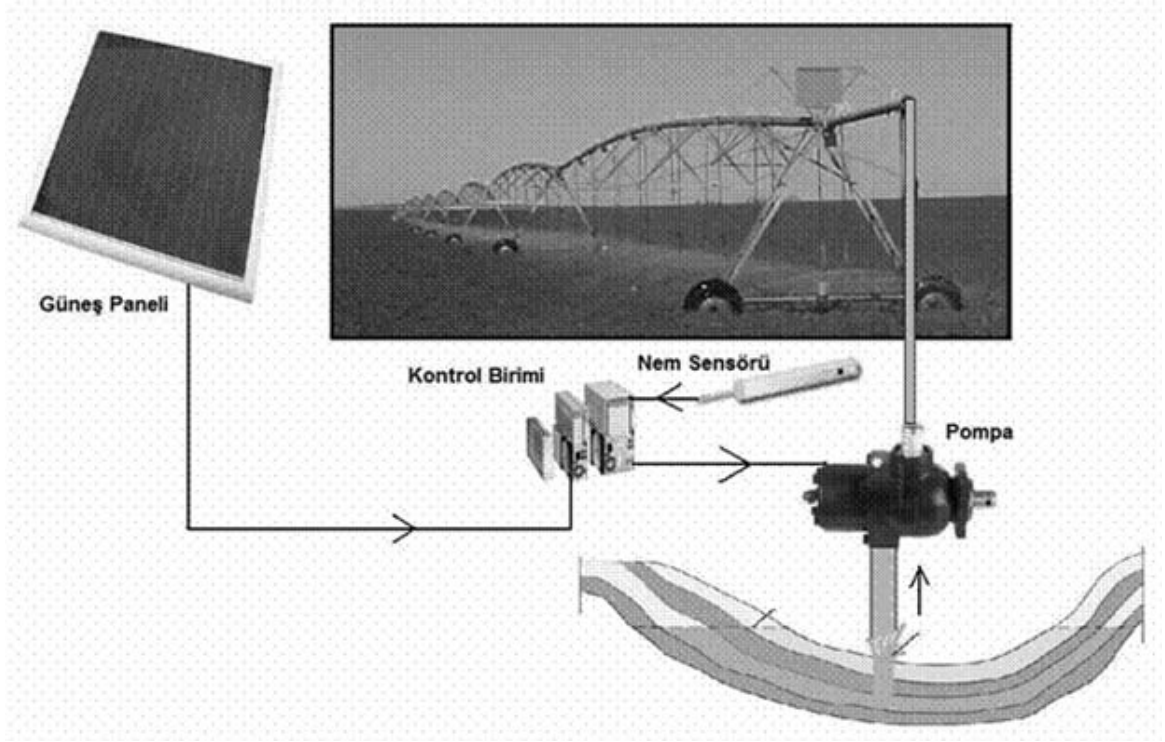
Şekil 1. Kahramanmaraş'ta Yıllık Güneşten Enerji Üretme Kapasitesi (EIE)

3. PROTOTİP SULAMA SİSTEMİ

Geliştirilen prototip, güneş enerjisi paneli ve bu panelin şarj ettiği kurşun asit akü üzerinden doğru gerilimde 12 V lık enerji almaktadır. Ayrıca toprağa yerleştirilen nem sensörleri ile toprakta tutulan su miktarının analog olarak takibi yapılmaktadır. Geliştirilen kontrol sistemi ile nem durumuna göre pompa çalıştırılmakta ve toprak sulanmaktadır.

İstendiğinde kontrol sisteminde gerekli ayarlar yapılabilmektedir. Geliştirilen denetleyici sayesinde üretilen ürüne göre toprağın nem oranını sabit bir seviyede tutmak mümkün olabilmektedir.

Önerilen düzeneğin büyük ölçekli sistemler düşünülerek işleyiş şeması Şekil.2'de verilmektedir.



Şekil 2. Geliştirilen Prototip Sulama Sisteminin İşleyiş Şeması

Geliştirilen prototip Şekil.3'te verilmektedir. Küçük çaplı bir toprak parçasında mevcut bir su deposundan istenen nem durumuna göre sulama yapan bu sistemde güneş panellerinden akülerin şarj edilmesi sırasında şarj regülatörü kullanılmıştır. Sistem için 10 Wp maksimum güç veren polikristal güneş paneli kullanılmıştır.

Şekil.4'de bu panelin görüntüsü verilmiştir. Şekil 5'te ise depodan suyu toprağa pompalayan pompa görülmektedir. Sisteme ait elektrik kaynağının şeması Şekil 6'da verilmektedir. Şarj regülatörü değişken panel akımlarını ve gerilimlerini düzenleyerek aküye uygun şarj akımı sağlamak ve aynı zamanda aküden beslenen yüke sabit gerilim ve akım vermektedir.



Şekil 3. Prototip Sistemin Genel Görünüşü

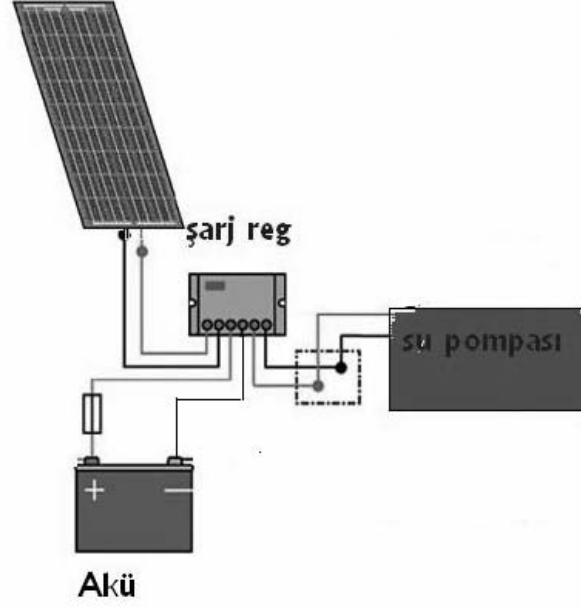


Şekil 4. Polikristal Güneş Paneli

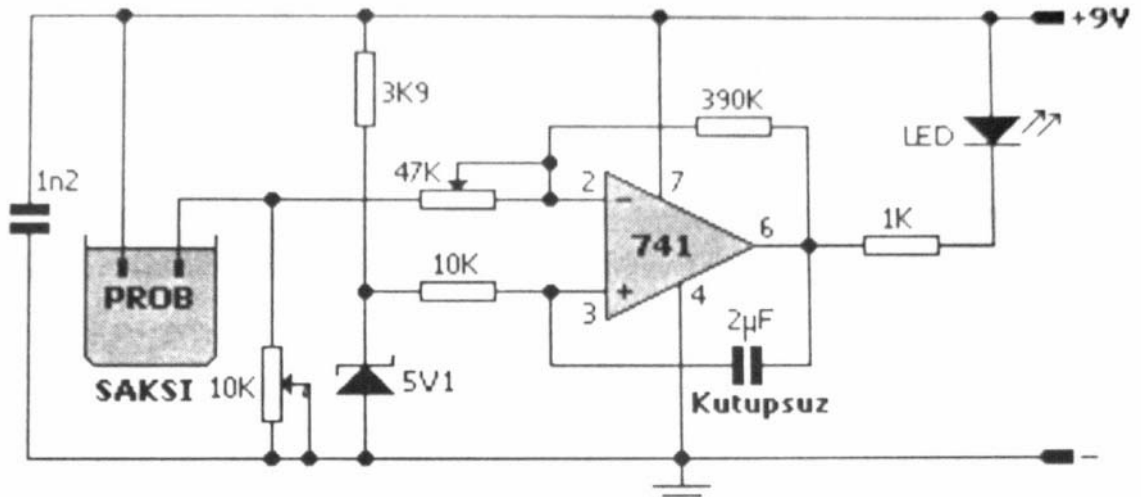
Geliştirilen sistemdeki kontrol işlemleri için Şekil.7’de verilen devre tasarlanmıştır. Bu devre tipik bir bitki suyu ölçme devresidir. Toprakta su oranını, nem sensörü ile algılayan bir devredir.



Şekil 5. Depodan Su Pompalayan Motor



Şekil 6. Prototipin Elektrik Şeması



Şekil 7. Toprak Su Seviyesi Ölçen Devre Şeması

4. GELİŞTİRİLEN SULAMA SİSTEMİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ

Klasik sistemlerde yani elektrik şebekesinin köylere, uzak arazilere taşınarak gerek aydınlatma gerekse sulama için kullanıldığı durumlarda en başta elektrik enerjisinin nakil problemi ve maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Bu bölgelere enerji nakli için bir orta gerilim şebekesinden ilave trafo ile nakil yapılmaktadır. Bu durumda hem şebeke maliyetleri hem de hat kayıpları artmaktadır.

Günümüzde özellikle kırsal kesimde bunun neticesi olarak gerilim düşüklükleri ve kesintiler sıkça meydana gelmektedir. Yani kırsal kesimde maliyeti yüksek ama kalitesi düşük elektrik enerjisi sağlanması problemi karşımıza çıkmaktadır. Geliştirilen sistem ile başta sulama olmak üzere her alanda kullanılan elektrik enerjisinin yerinde üretimin daha yararlı ve ucuz olacağı öngörülmektedir. Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu gibi yıllık güneşlilik oranlarının çok yüksek olduğu bölgelerde başta tarımsal sulama olmak üzere aydınlatma ve diğer amaçlar için gerekli elektrik enerjisinin güneşten karşılanması önerilmektedir. Güneş enerjisi sistemlerde ilk kurulum maliyeti dışında bir maliyet yoktur. Bu tür tesislerin kendini birkaç yılda amorti edebileceği tahmin edilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada gerçekleştirilen küçük çaplı sulama sisteminde yenilenebilir enerjinin uygulanabilirliği ve bu prototip in büyük boyutlu sulama sistemlerinde kullanıldığında ekonomiye ve tarıma önemli katkılar sağlayacağı vurgulanmıştır. Kurulumu ve kullanılan devrelerin çok zor olmadığı bu sistemde laboratuvar şartlarında yapılan denemelerde ayarlanan nem değerine göre depodan pompa ile çekilen suyun israf edilmeden kullanıldığı anlaşılmaktadır. Güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin başta tarımsal sulama tesisleri olmak üzere şehir merkezlerinden uzak yerleşim birimlerinde diğer elektrik tüketimlerinde kullanılacağı önerilmektedir. Günümüzde dağıtım şirketlerinin karşılaştığı en önemli problem olan kayıp ve kaçakların önlenmesi için güneş enerjisi ile yerinde üretimin teşvik edilmesi gerekmektedir.

Bu aynı zamanda uzak köylerde kalitesiz elektrik enerjisi kullanımını da önleyecektir. Elektrik enerjisinin uzak noktalara orta gerilim veya alçak gerilim hatları ile dağıtılmasının getirdiği gerilim düşüklüğü, kesintiler ve hatlarda meydana gelecek kopma, direklerin devrilmesi gibi sorunlar olmak üzere pek çok sorunun üstesinden gelinecektir. Daha ucuz elektrik enerjisi kullanımı sağlanacaktır. Ülke ekonomisine katkısının olacağı tartışılmayacak bir sonuçtur.

6. KAYNAKLAR

- [1] Doğan, I, Güneş Enerjisi Uygulamaları, Bileşim Yayınevi,
- [2] Gençoğlu, MT., Cebeci M, ve Güneş, M, Güneş Enerjisi İle Çalışan PLC Kontrollü Su Pompası Sistem Tasarımı, 3e ELECTROTECH, 94, 90-96, Mart, 2002
- [3] Gençoğlu, MT., Güneş Enerjisi İle Çalışan Su Pompalama Sistemleri, 3e ELECTROTECH, 134, 94-97, Ağustos, 2005
- [4] Gençoğlu, MT., Güneş Enerjisi İle Çalışan Su Pompalama Sistemleri/2, 3e ELECTROTECH, 137,102-106 , Kasım, 2005
- [5] Elektrik İşleri Etüd İdaresi, (<http://www.eie.gov.tr>) , giriş tarihi 14/04/2009.

GÜNEŞ BACALARI VE TÜRKİYE’DE KULLANILABİLİRLİĞİ

¹Erol TÜRKMEN ²Mehmet KURBAN ³Ümmühan BAŞARAN FİLİK

^{1,2,3}Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
26555, ESKİŞEHİR

¹e-posta: erolturkmen@anadolu.edu.tr ²e-posta: mkurban@anadolu.edu.tr
³e-posta: ubasaran@anadolu.edu.tr

ÖZET

Nerdeyse tükenme noktasına gelen fosil yakıtlar günümüzde artan enerji ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalmaktadırlar. Türkiye’de bu ihtiyacı karşılamak için başvurulana nükleer enerji ise hem pahalı hem de çevreye birçok zarar vermektedir. Yapılan birçok araştırmada görülmüştür ki Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları açısından çok zengin bir ülkedir. İhtiyacı olan enerjiyi fazlasıyla yenilenebilir kaynakları kullanarak karşılayabilme kapasitesine sahiptir. Bu çalışmada, en iyi enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, bu kaynağı kullanarak geliştirilen güneş bacaları ve son olarak güneş bacalarının Türkiye’deki potansiyeli değerlendirilecektir.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Gelişen teknoloji ve yaşam standartlarının artması beraberinde kullanılan enerji miktarının artmasına sebep olmuştur. Günümüzde enerji üretiminde kullanılan başlıca kaynaklar fosil yakıtlardır. Her geçen gün biraz daha azalan fosil yakıtlar artık enerji ihtiyacını karşılamakta yetersiz kalmaktadırlar. Bu durum insanları yeni alternatifler araştırmaya itmiştir. Bu alternatiflerden en önemlileri nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ancak nükleer enerjinin hem üretim maliyeti hem de bakım onarım masrafları çok pahalıdır. Aynı zamanda çevreye ciddi zararlar vermektedir. Bu yüzden dünya daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli devam eden doğal süreçlerden var olan enerji akışından elde edilen bir enerjidir. Dünyanın şu an içinde bulunduğu durum (küreselleşme, kaynakların giderek azalması) insanların artık daha dikkatli olmasını çevre sorunlarına karşı daha duyarlı olmasını gerektirmiştir. Bu durumda kullanılması ve geliştirilmesi en doğru kaynaklar çevreye zarar vermeyen uzun ömürlü ve kısıtlı olan kaynaklar yerine her zaman varolacak kaynaklar kullanılmalıdır. Türkiye’deki enerji üretimini incelediğimizde, kullanılan kaynaklarından, 1998 itibarıyla kömür % 48,3, petrol ve doğal gaz %13,5, hidrolik ve jeotermal %12,8, ticari olmayan yakıtlar %24,5, ve diğer yenilenebilir kaynaklar ise %0,9 oranında yer almaktadır.[1]

Güneş yenilenebilir enerji kaynakları arasında şüphesiz en önemlisidir. Aynı zamanda nerdeyse bütün diğer enerji kaynaklarında güneşten türemiştir.

Güneş enerjisi dünyanın oluşumundan beri varolan ve varolacak bir enerjidir. İnsanoğlu güneş enerjisinde farkında olarak veya olmayarak her zaman faydalanmıştır. En basiti ısınmak için, çamaşırları veya yiyecekleri kurutmak için güneşten faydalanmıştır. Güneş enerjisini kullanmanın değişik yöntemleri vardır. Bunlardan bazılarında ısı ve ışık olarak direk kullanırken bazılarında elektrik elde etmek şeklinde kullanılmaktadır

Güneş enerjisini kullanmanın üç önemli yolu vardır:

Bunlardan birincisi güneş pilleridir (PV: Photovoltaic). Günümüzde güneş pili elektrik üretim sistemi ile doğrudan şebekeye güç sağlanması, yenilenebilir enerji sistemleri ile enerji üretimi yönündeki yeni yasal düzenlemeler nedeniyle oldukça önemli bir enerji üretim alternatifi haline gelmiştir [2]. Güneş pilleri ile güç üretim sistemleri, şebeke bağlantılı, tek başına, büyük ölçekli ve evsel (çatı üstü) uygulamalar olarak dört bölümde incelenebilir. PV güç üretim sistemi, seri-paralel bağlı PV modülleri ve PV uçlarındaki maksimum mümkün olan gücü transfer edecek bir güç düzenleme ünitesinden meydana gelmektedir[2, 3]. İkinci yöntem güneş enerjili su ısıtıcılarıdır. Bu ısıtıcılar güneş paneli yardımı ile depodaki suyu ısıtır ve bir pompa kullanarak suyu dağıtır. Bu sayede herhangi bir yakıt kullanmadan sıcak su elde edilmiş olunur. Diğer bir yöntem güneş kuleleridir. Bu yöntemle güneş ışınları dev aynalar yardımıyla bir odaya toplanır. Bu sayede çok yüksek sıcaklıklar elde edilebilir.[4]

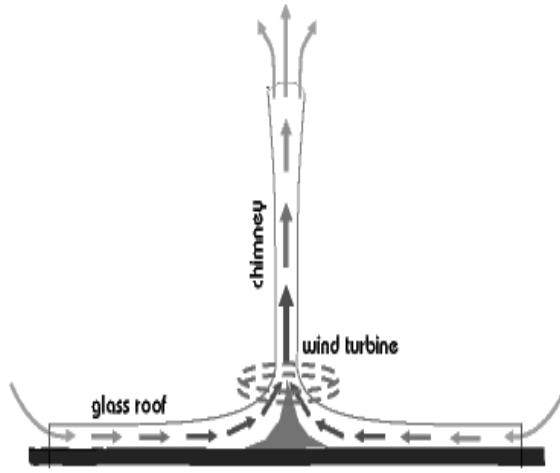
Bir diğer yöntem de, bu çalışmada da incelenecek olan güneş bacalarıdır. Güneş bacaları fizikteki



'ısınan hava yükselir' ilkesine dayanmaktadır. Güneş kollektörlerindeki hava, ısınarak bacadan dışarıya çıkar. Havanın bu hareketi bacaların girişinde bulunan türbinleri döndürerek elektrik enerjisi oluşmasını sağlar. Bu çalışmada ayrıca güneşlenme süresi açısından zengin olan Türkiye'de, güneş bacalarının potansiyeli incelenecektir.

2.GÜNEŞ BACALARI

Güneş bacalarının çalışmasını hidroelektrik santrallere benzetebiliriz. İkiside elektrik üretimini türbinler sayesinde gerçekleştirmektedir. Hidroelektrik santrallerinde türbinleri su yardımıyla döndürülürken; güneş bacalarında türbinler hava akışı sayesinde dönmektedir. İkiside de elektrik üretim maliyetleri, bakım onarım maliyetleri, işletim maliyetleri düşüktür.[5]



Şekil 1. Güneş bacası

Bir güneş bacasının çalışması basitçe şekil 1'de gösterilmiştir: geniş bir alana kurulmuş kollektörde havanın ısınması sağlanmaktadır. Kollektör merkezinde ve dikey bir şekilde yüksek bir baca bulunmaktadır. Kollektörde ısınan havanın özgül ağırlığı bacanın tepesinde bulunan havadan hafif olduğu için hava bacalardan dışarıya doğru hareket eder. Bu havanın etkisiyle baca tabanında bulunan türbinler yardımıyla mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilir. Kollektör tabanına yerleştirilen su kanalları sıcaklığı emerek geceleride bu hareketin devamlılığı sağlanır.[6]

Güneş bacaları, güneş enerjisini toplayıp, içinde dolaşan havaya aktaran bir sera toplayıcı bölümü (kollektör) ve içinde türbinli elektrik üretim sistemi bulunan uzun baca kısmından oluşur:[9]

Kollektör: Sera etkisi oluşturarak sıcak havanın üretildiği bölümdür. Cam veya plastik filmle kaplı olabilir. Yüksekliği 2 veya 6 metre civarında değişmektedir. Kollektörün yüksekliği baca tabanına doğru ilerledikçe artar. Bu şekilde hareket eden

havanın sürtünme kuvveti en aza indirgenmiş olur. Aynı zamanda kollektör zeminine serilen siyah çakıl taşları sayesinde daha çok ısı emilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca zemine su kanalları döşenmiştir. Bu sayede suyun daha geç ısınıp soğuma özelliği kullanılarak sistemin gecede verimli bir şekilde çalışması sağlanmaktadır. Kollektörün kurulacağı alan için herhangi bir limit yoktur. Bu alan ne kadar büyük olursa elde edilen enerjide o kadar fazla olur.[5]

Türbine: Baca tabanına yerleştirilen türbinler sayesinde kollektörden bacaya doğru hareket eden havanın enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülür. Türbinlere bağlı generatörler sayesinde de bu mekanik enerji elektrik enerjisine dönüştürülür.

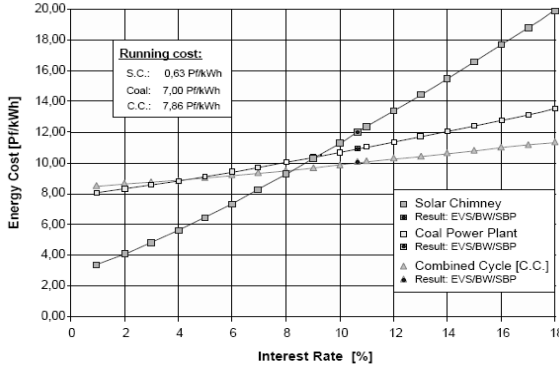
Baca: Kollektör içinde ısınan havayı dışarı çıkarttığı bir boru şeklinde gökyüzüne uzanan parçadır. Dışarı çıkan havanın hızı kollektördeki hava sıcaklığı ile baca tepesindeki hava sıcaklığının farkına bağlıdır. Bu yüzden baca ne kadar yüksek olursa hareket eden havanın hızı o kadar artar. Fakat pratikte baca yüksekliğinin sınırı vardır. Bu hızı düşürmemek için bacada ki sürtünme kuvvetinin olabildiğince az olması gerekmektedir.

Güneş bacalarının avantajlarına değinecek olursak: Tesis hiç bir yakıt ve soğutma suya ihtiyaç duymamaktadır, bu yüzden özellikle çöl olan bölgelerde yada bol güneş gören ıssız bölgelerde rahatlıkla kurulabilir. Tesisi kurmak için ileri teknolojiye gerek yoktur. Kullanılan malzemeler her yerde rahatlıkla bulunabilecek malzemelerdir. Kurulumu çok masraflı olsada daha uzun ömürlü ve sonraki işletme masrafları çok düşüktür. Ayrıca yirmidört saat enerji üretebilme kapasitesine sahiptir. Kesinlikle çevreye hiçbir zararı yoktur. Her ne kadar kurulacak alanın çok büyük olması gerekse de bu alanın büyük bir bölümü tarımda kullanılabilir. Aynı zamanda tekstilde de kurutma işlemlerini gerçekleştirmek için kullanılabilir.[7]

Tablo 1. Aynı kapasitedeki santrallerin gider dağılımı [8]

	Güneş bacası Pf/kWh	Kömürlü termik santral Pf/kWh	Kombine çevrimli güç santrali Pf/kWh
Yatırım	11,32	3,89	2,12
Yakıt	0,00	3,87	6,57
Personel	0,10	0,78	0,31
Bakım	0,52	0,92	0,83
Sigorta	0,01	0,27	0,12
Diğer işletme giderleri	0,00	1,16	0,03
Vergi	2,10	0,69	0,37
Toplam	14,05	11,58	10,35

Tablo 1'e bakıldığında güneş bacalarında enerji üretimi daha maliyetli görünmektedir. Yalnız güneş bacasının masrafının büyük bir kısmının kurulum maliyeti oluşturmaktadır. Aşağıdaki grafikte görüldüğü gibi faiz oranı 11% altına düşürülürse, güneş bacaları elektrik üretiminde daha avantajlı konuma geçmektedir. Faiz oranlarını düşürmek, emek maliyetinin az olduğu ülkelerde mümkündür.[8] Türkiye'deki emek maliyetlerine bakıldığında gelişmiş birçok ülke kıyasla daha düşük olduğu görülecektir.



Şekil 2. Aynı kapasitedeki santrallerin işletim maliyet grafiği[8]

Güneş bacalarıyla ilgili yapılan çalışmaların en güzel örneği yapımı 1989'da tamamlanan Manzaranes prototipidir. Deneysel amaçlı inşaa edilen bu tesis güneş bacalarının pratikte de başarılı olduğunu ispatlamıştır. 46000 m² lik bir alan kurulmuş olan prototip 195 m yüksekliğinde, 10 m çapı olan bir bacaya sahiptir. Günde ortalama 9 saat tam kapasiteyle çalışan tesis en fazla 50kW enerji üretebilmektedir.[8]

Mildura, Avustralya' da inşaa edilen bir diğer tesistir. Baca tabanında bulunan 4 MWlık 50 tane türbinle 200 MW güç elde edebilmektedir. Tesis 130 m çapında, 1000 m yüksekliğinde bir bacaya sahiptir. Bu özelliği ile dünyanın en yüksek yapısıdır. 5000 m çapında bir kollektöre sahip olan tesis 395 milyon dolara mal olmuştur. Bu maliyet eşdeğer özelliklere sahip bir kömürlü termik santral maliyetinden 14%; bir rüzgar tarlası maliyetinden 70% daha fazladır. Avustralya hükümeti 2010 yılına kadar toplam elektrik üretimlerinin 2% olan 9500 GWh'i yenilenebilir enerjiden elde etmeyi planlamaktadır.[9]

3. TÜRKİYE'DE KULLANILABİLİRLİĞİ

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DMİ) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınım

şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Tablo-1'de verilmiştir.[10]

100MW'lık bir güneş bacası tesisi 2300 kWh/m² yatay güneş ışınım potansiyeli olan bir bölgede 750 GWh/yıl elektrik üretebilmektedir.[9] bu durumda Türkiye'deki güneş ışınımını incelendiğinde bir güneş bacası tesisi için yeterince güneş görmektedir.

Tablo 2. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı [10]

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (Kcal/cm ² -ay) (kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75
Şubat	5,44	63,27
Mart	8,31	96,65
Nisan	10,51	122,23
Mayıs	13,23	153,86
Haziran	14,51	168,75
Temmuz	15,08	175,38
Ağustos	13,62	158,40
Eylül	10,60	123,28
Ekim	7,73	89,90
Kasım	5,23	60,82
Aralık	4,03	46,87
Toplam	112,74	1311
Ortalama	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün
		7,2 saat/gün

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çevre sorunlarının giderek arttığı, doğal kaynakların hızla azaldığı, var olan enerji kaynaklarının yüzünden savaşların yaşandığı günümüzde tüm dünya artık yenilenebilir, çevreye karşı duyarlı enerji kaynaklarına yönelmiştir. Bu konuda bir çok çalışma yapılmaktadır. Bunlardan bazıları kullanılan tekniklerken; bir kısmı ise yeni geliştirilen tekniklerdir. Güneş bacalarında son yıllarda üzerinde çalışılan yeni tekniklerden biridir. Herhangi bir yakıtı ihtiyaç duymayan güneş bacaları kaynakların en asgari kullanılması konusunda oldukça başarılıdır ve çevreye hiçbir zarar vermemektedir.

Artan enerji ihtiyacına çözüm olarak sunulan nükleer enerji santrallerinin hem kurulumu hem de işletme masrafları çok pahalıdır. Çevreye zararlı ve olası bir kazada çevresi için çok tehlikelidir. Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle yenilenebilir enerji potansiyeli açısından oldukça zengindir ve henüz bu kaynakların kullanımı 1% civarındadır. Çevreye hiçbir zarar olmayan bu tesislerin kurulumu pahalıyken işletim masrafları çok düşüktür.

Ülkemizin yıllık güneşlenme süresini incelendiğinde pozitif bir tabloyla karşılaşılmaktadır. İleriki yıllarda

dışa bağımlılığı azaltmak için kesinlikle bu durumdan faydalanılmalıdır. Güneş bacaları bu amaçla kurulacak güzel bir tesis olabilm özelliğine sahiptir. Enerji üretimi için ülkemiz yeterince güneş görmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] 1998 Enerji Raporu. D ü nya Enerji Konseyi – T ü rk Milli Komitesi, 1998.
- [2] C. Meza, J. Negroni, F., Guinjoan, D. Biel, “Inverter Configurations Comparative for Residential PV-Grid Connected Systems”, 32nd Annual IEEE Industrial Electronics Conference Nov. 2006, pp: 4361-4366.
- [3] X. Zhang, H. Ni, D. Yao, R.X. Cao, W.X. Shen, “Design of Single Phase Grid-connected Photovoltaic Power Plant based on String Inverter”, IEEE International Conference on Industrial Electronics and Applications, May 2006, pp: 1-5.
- [4] <http://home.clara.net/darvill/altenerg>
- [5] http://www.math.purdue.edu/~lucier/The_Solar_Chimney.pdf
- [6] Jörg Schlaich, Rudolf Bergemann, Wolfgang Schiel, Gerhard Weinrebe “Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation”
- [7] Çırdaklı V., Ecevit A. Solar Chimney, 2004
- [8] <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2002/c02062.pdf>
- [9] Prof. Dr.Olcay Kıncay, Y. Doç. Dr Zafer Utlu – Güneş Bacaları
- [10] Elektrik işleri Etüt dairesi Genel Müdürlüğü Resmi internet sayfası, www.eie.gov.tr, erişim: nisan 2006.

GÜNEŞ BACASI YARDIMIYLA LABORATUAR ŞARTLARINDA ELEKTRİK ÜRETİMİ(MODEL ÇALIŞMA)

Mahmut Aydınol¹, Tayfun Aslan²

Tayfun09@hotmail.com, aydinolm@dicle.edu.tr

¹Fizik Bölümü, Fen-Edebiyat Fakültesi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır

²Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır

ÖZET

Güneş bacası veya Güneş Kulesi yönteminde güneşten gelen ışınlar siyaha boyalı zemin ile bacanın çevresindeki atmosferi zeminden başlamak üzere ısıtır. Zemin ve çevresinde ısınan hava özel borularla toplanarak bacaya yönlendirilir. Bu çok sıcak havanın dikey doğrultuda sıcaklık farkı nedeniyle oluşturduğu akım baca içerisinde sanki bir rüzgar tüneli işlevi görür. Bu hava akımı, içerisine düşey eksen üzerinde ve hava akımına dik olarak yerleştirilmiş uygun boyutlarda ve sayıdaki pervaneleri döndürür. Bu pervanelerin her birinin döndürdüğü eksen üzerindeki dinamo sistemi yardımıyla oluşacak elektrik akımından yararlanmak mümkündür. Pervaneler, bacanın hemen zeminle bulunduğu yerdeki yan pencerelere de yerleştirilerek yapılacak ölçümler karşılaştırılarak bacanın elektrik üretimine katkısı analizlenebilir. Laboratuar şartlarında güneş ışınları yerine ısıtıcı ve püskürtücü makinelerinden elde edilecek değişik sıcaklıktaki hava ile güneş bacasının zemini ve çevresini ısıtmada kullanmak mümkündür. Gerekirse zeminden veya yanlardan açılacak ağızlardan baca içerisine hız kesmeden sıcak hava püskürterek denemeler yapılacaktır. Değişik geometri ve boyutlarda baca, pervane, dinamo denenecektir. Araştırma, mikro veya mini ölçekli elektrik üretebilen bir sistem kurularak sürdürülecektir. Güneydoğu Anadolu ve Diyarbakır gibi yılın 240 günü açık ve güneşli geçen ve yazın sıcaklığın 45-50°C yi bulduğu bölgede, güneş enerjisinden elektrik üretiminin en ucuz ve çevre dostu olan bir yöntem olduğu vurgulanacaktır. Daha sonra kırsal kesimlerde veya ulusal elektrik şebekesinin ulaşmadığı yerlerde böyle bir üretim sisteminin büyüğü yapılar ulusal elektrik üretimine daimi katkıda bulunulabilir. Süleyman Demirel Üniversitesi'nde halen doğal ortamda kurulmuş olan güneş bacasından elektrik üretilmektedir. İspanya hükümeti ve Avustralya hükümeti de çok büyük ölçekli güneş kulesiyle elektrik üretimi projelerini desteklemektedir[4].

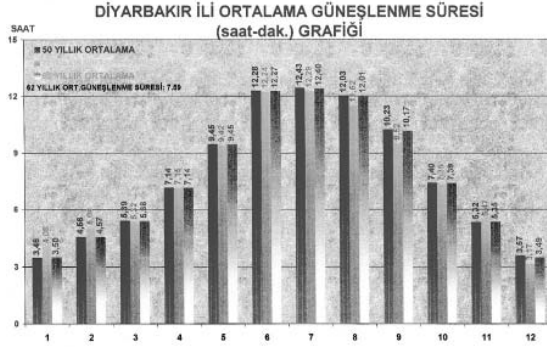
Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi bacası/kulesi ile elektrik üretimi, model çalışma

1.GİRİŞ

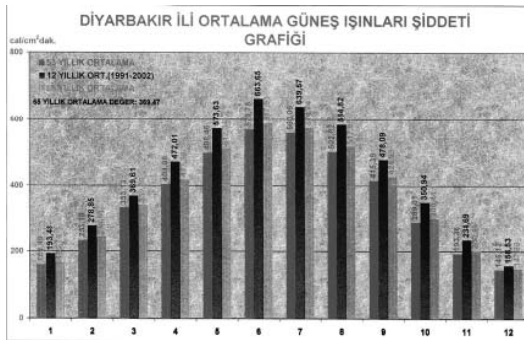
Yenilenebilir enerjilerden güneş enerjisi ile rüzgar enerjisinin aynı anda ekonomik manada potansiyel enerji olarak kullanılan ülkeler çok azdır. Örneğin, Hindistan, Körfez ülkeleri, USA gibi kıyası uzun; hakim rüzgar hızları 5 m/sn nin üzerindeki bu ülkelerde rüzgardan GW boyutlarında elektrik üretilmektedir. Bulduğumuz Güneydoğu Anadolu Bölgesinin birçok yerinde ve Diyarbakır'da da olduğu gibi; metrekaeye düşen güneş enerjisi büyük ise, hakim rüzgar hızları da yıl boyu ortalama 5 m/sn nin altında ise, güneş enerjisinden önce rüzgar üretir, sonrada üstün teknoloji rüzgar

türbinleri kullanarak istediğimiz kadar, elektrik enerjisi üretebiliriz.Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilen Diyarbakır'la ilgili bilgiler Şekil.1 ve 2 de sırasıyla güneşlenme süresi ve güneş ışınları şiddeti grafiklerle sunulmuştur[1].



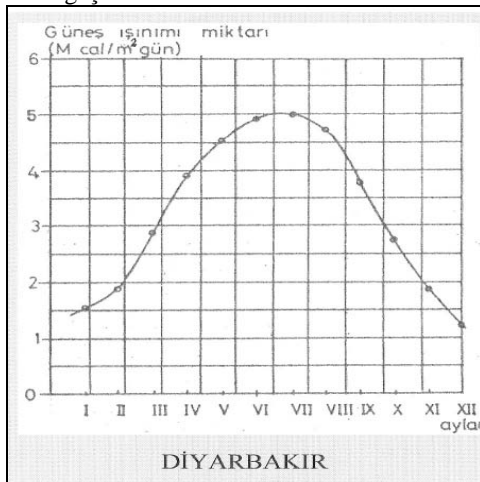


Şekil.1 Diyarbakir ili için uzun yıllar ortalama güneşlenme sürelerinin saat birimi cinsinden aylara dağılımı[1].



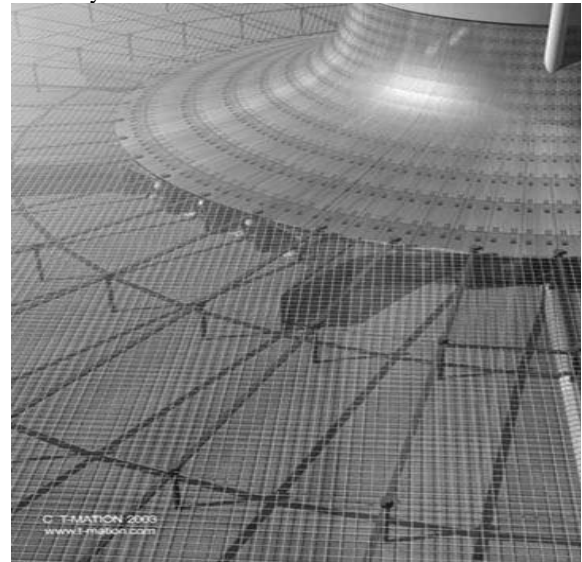
Şekil.2 Diyarbakir ili için aldığı güneş ışınları şiddetinin aylara göre dağılımının uzun yıllar “66 yıllık” ortalamasının aylara dağılımı[1].

Aşağıda şekil.3 de Diyarbakir’a ait uzun dönem güneş ışınım miktarları $Mcal/m^2$ gün cinsinden verilmiştir.Şekilden anlaşıldığı üzere yılın 56ayı çok sıcak geçmektedir.



Şekil.3 Diyarbakir’a ait güneş ışınımı miktarı $Mcal/m^2$ gün olarak[1].

Bunun bir yolu güneş bacası/kulesi yöntemini kullanmaktır[2]. Bu yöntemde Güneş enerjisinden yararlanmak için konik veya silindirik bir kule zemini sürekli güneş enerjisiyle sıcak tutulan bir zemine kurulmakta ve sonra zemin sıcaklığı ile kule ucu sıcaklık farkından oluşan rüzgarın önüne uygun şekilde rüzgar türbinleri yerleştirilmektedir. Böyle bir yöntemle arazi şartlarında ve ekonomik boyutlarda sistem inşa etmeden önce laboratuvar şartlarında çalışmanın uygun olacağı düşüncesiyle model çalışmaya başladık. Laboratuvar şartlarında zemin değişik yöntemlerle ısıtılarak belirli sıcaklıklarda tutulacaktır. Bacanın en üst ucu ise metal bir kısım eklenerek üzerinden helezon şeklinde sarılı bakır borudan soğuk su geçirilerek soğutulması sağlanacaktır.Yine laboratuvar da klimadan faydalanarak ortam sıcaklığı da değiştirilebilecektir.Ayrıca güneş bacasının boyu değişik ölçülerde denenecektir:Bacanın alt ve üst çaplarını ve boyunu değiştirmek ve bu boyutların sistem verimliliğine etkileri belirlenmeye çalışılacaktır.Türbinler bacanın alt kısmındaki girişe yerleştirildiğinde elde edilen güç ile bacanın en üst noktasına çıkışa yerleştirildiğinde elde edilen güç karşılaştırılacaktır.Bu tip deneme bacanın farklı boyut ve geometrisi için denenecektir. Mikro ve mini boyutlarda bir sistemler kurulacaktır.



Şekil. 4. Güneş bacasının zeminle birleştiği yerin bir kaç metre yukarisından çevresini saran transparan örtü sistemi

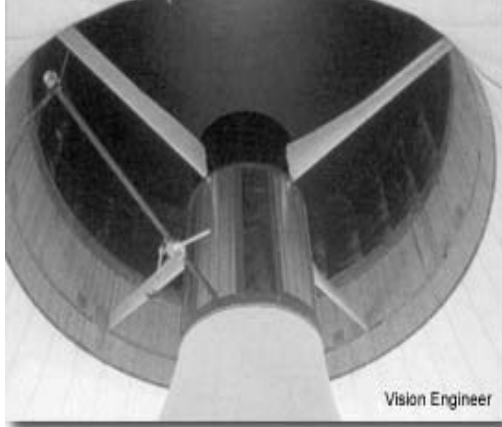
2.SİSTEM ELEMANLARI

a.Kolektörler

Toplayıcı yüzey alanı için bir sınırlama yoktur. Daha büyük alan daha çok güneş enerjisi toplar. Havanın hareketinde, en az sürtünme kaybının olması için bacaya doğru hafifçe artan bir çatı yüksekliği olmalıdır. Böylece baca içinde 15 m/sn hızda hava akışı-rüzgâr oluşur. Kaplama yüzeyleri farklı olabilir; cam, plastik film, sırlı kolektör v.b. En verimli olanı sırlı olandır. Yıllık güneş ışımasının yaklaşık %70'ini ısıya çevirebilir. Diğer kaplamalar için bu oran ortalama %50'dir. Ayrıca doğru bakım programı ile birlikte işletme ömrü 60 yıl kadardır[3]

b.Türbinler

Havanın kazandığı ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürmek için kullanılırlar. Değişik boyutlarda mikro, mini, midi, maksî şeklinde sınıflandırılabilir. Birkaç yüz wattlık rüzgar türbinleri olduğu gibi günümüzde 7 megawattlık güç üreten çok büyük boyutlu türbinlerde vardır. Şekil 5de güneş bacasında kullanılan türbinlere örnek bir model Şekil 5 de görülmektedir.



Şekil.5 Baca girişindeki türbin örneği[4]

Türbinler bacaya göre yatay, kolektöre ise dikey konumda yerleştirilirler. Bunun amacı sıcak havadan maksimum enerjiyi elde etmektir. Türbin kanatları bacanın tüm kesit alanını kaplamalıdır. Bunu sağlamak için büyük bir türbin yada yeteri kadar küçük türbinler yerleştirilir[6].

c. Baca

Bacanın yüksekliği arttıkça daha fazla enerji üretilir. Bacanın verimliliği sıcaklık yükselmesine bağlı değil, çevre hava sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenle verim baca yüksekliği ve çevre sıcaklığı ile doğru orantılıdır. Şekil 8 de Vision Engineer e ait bir bacanın artistik görünümü verilmiştir.



Şekil. 6 İspanya Manzanares deki prototip güneş bacası[5]

Santralin en önemli kısmı bacadır. Baca termal bir motor gibi çalışır. Basınç kaybı minimum olarak tasarlandığından baca bir basınç tüpüne benzer. Bacanın alt ve üst uçları arasındaki basınç farkını arttırmak için değişik uygulamalar yapılabilir. Örneğin bacanın çıkışındaki hava vakum pompalarıyla emdirilebilir.

3.GÜNEŞ BACASININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Transparan çatı kısa dalga güneş ışınlarının içeri alınmasını uzun dalga boylu ışınların içerde tutulmasını sağlar. Ortaya çıkan ısı ise örtünün altındaki havayı ısıtır. Baca tarafından toplanan çevre havası güneş ışınımıyla ısınarak yükselir ve türbinin dönmesiyle elektrik üretimini sağlar.

Baca sistemin ısı makinesi gibi çalışır: Isı enerjisi mekanik enerjiye oradan türbinde elektrik enerjisine çevrilir. Baca verimi, sistem verimini belirleyen

büyüküktür. Baca malzemesi olarak betonarme (ömür yaklaşık 100 yıl) ve çelik gerdirm borular kullanılmaktadır.Sonuç olarak imalat kolaydır ve özel üretim gerektirmez.

Bacadaki dikey hava akım mekanik enerjiye dönüştürülür.Havadaki hız değil, borudaki statik basınç kullanılır.Hava akım doğrultusu sabit olduğundan izleme sistemine gerek yoktur.

Türbin yerleşimi genellikle baca ayağına yapılmaktadır.Başka yerleşim alternatifleri ; baca ekseninde tek türbin, baca çevresinde dağıtılmış altı adet türbin ve toplayıcı-baca geçiş bölgesine dağıtılmış çok sayıda türbin olmaktadır.

a.Güneş Bacası Teknolojisi

Güneş bacaları her biri 5-200 MW kapasiteli büyük ölçekli güç santralleridir.100MW lık bir santral, 2.300 kWh/m² yatay güneş ışınması potansiyeli olan bölgede 750 GWh/yıl elektrik üretmektedir.Bu durumda cam çatının birkaç kilometre olması ve bacanın olabildiğince yüksek olması gerekmektedir.Burada kullanılan türbinler temel olarak çok basınç kademeli hidroelektrik türbinlerini andırmaktadır.Türbinlerin işletme ömürleri, ani basınç ve hız değişimlerine gösterdikleri dayanıma göre değişmektedir.

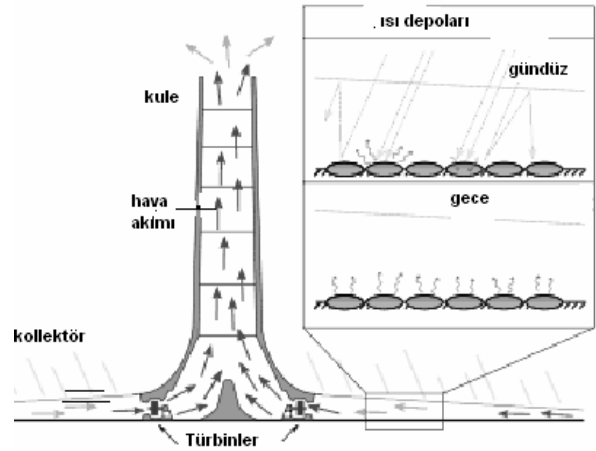
b.Kolektörde Isıl Enerji Depolama

Kolektörler sera etkisiyle sıcak hava ürettiğinden, gece elektrik üretiminin devamını sağlamak için çatının altına su dolu dar tüpler yerleştirilir.Gündüz ısınan su gece aldığı ısıyı geri yayar.Bu tüpler sadece bir kez doldurulur ve doldurulduktan sonra kapalı tutulur.Tüplerdeki su hacmi tasarlanan güce göre 5-20cm derinliği oluşturulacak şekilde seçilir.Aşağıdaki Şekil.9 da sistemin şematik kesiti verilmiş olup, kolektörlerde ısı depolanması ve oluşan rüzgar akış yönü görülmektedir.

c.Güneş Bacasının Avantajları

Güneş bacası santralleri çöllerde ve güneşçe zengin bölgelerde elektrik üretmeye uygundur.Günde 24 saat elektrik üretirler.Yakıt

gereksinimi yoktur.Soğutma suyu ihtiyacı yoktur ve çok kuru iklim bölgelerinde çalışabilirler.Güvenlidir.Diğer santral tiplerine kıyasla çok problem çıkarmazlar.Güneş bacasını inşa etmek için gereken beton, cam ve çelik malzemeleri bulmak kolaydır.Çevre dostudur ve kaynak kıtlığı yoktur.Üretim fazlasını ulusal şebekeye aktararak satın alma garantisi veren her devlete satılabilir. Türkiye’de 2009 yılında faiz oranlarının %10 un altına düşmesi nedeniyle güneş kulesi yöntemiyle elektrik üretimi birim maliyetleri diğer yöntemlerle elde edilen elektrik üretim maliyetleri ile mukayese edilebilir duruma gelmiştir[8].



Şekil. 7 Kolektörde ısı depolama ve rüzgar akım yönleri

d.Güneş Bacasının Dezavantajları

Yaklaşık olarak bir güneş bacası bir gaz türbininin birim elektrik üretim maliyeti gaz türbinin 5 mislidir.Yapı olarak masif ve inşasında çok fazla mühendislik deneyimi gerekmektedir.

4.SONUÇ

Güneş bacası güç santralleri Afrika, Asya ve Avustralya’da çok büyük enerji üretim kapasitesi vaat etmektedir. Çünkü bu bölgelerde güneş potansiyeli yüksektir. Bu ülkelerde ulusal iletişim şebekesinin olmadığı bölgelerde aşaların saklanması için soğuk hava depolarının kullanılabilmesi için gerekli elektrik enerjisi karşılanabilmektedir. Güneş bacası güç santralleri güneş enerjili kaynağının kullanılmasıyla fosil yakıt kullanımının azaltılması

yönünde çevresel ve ekonomik açıdan olumlu katkılar sağlaması beklenmektedir. Bir tez çalışması olarak başlatılan portatif güneş bacası verileri verimlilik analizleri teorik hesaplarla ve bu boyutlardaki rüzgar santrali verimliliği ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- 1..meteoroloji.gov.tr.
- 2.Süleyman Demirel Üniversitesi Yekarum “sdü-yekarum”
- 3.http://video.eksenim.mynet.com/erdemguzeler/SOLAR_TOWER_Gunes_kulesi/27744

4.The solar chimney in Australia, science, No:3,USA 2002

5.H.C. Bayrakçı, K. Delikanlı, Güneş bacalarıyla enerji üretimi, TMMOB Makine Müh. Odası, Güneş enerjisi sempozyumu , 154-162 , 20-21 Haziran 2003, Mersin.

6.J.F. Manwell, J.G.McGowan, A.L.Rogers, Wind Energy Explained “Theory, Desing and Application, J.Wiley&Sons Ltd., 2008.

7.J.A. Duffie, W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Process. John Wiley&Sons

8.<http://www.ecn.nl/docs/library/report/2002/c02062.pdf>



GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNİN YENİLEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI YÖNÜNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Ömer Faruk ERTUĞRUL

omerfarukertugrul@gmail.com

TEİAŞ 16. İletim Tesis ve İşletme Grup Müdürlüğü,
Batraman Yolu Üzeri 2. km. 72070, Batman

M. Bahattin KURT

bkurt@dicle.edu.tr

Dicle Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Elektrik Elektronik Müh. Bölümü 21280, Diyarbakır

ÖZET

Günümüzde gittikçe artmakta olan enerji talebi, konvansiyonel enerji kaynaklarının ekosistem üzerindeki olumsuz etkisi ve arz güvenliği; yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının önemini ve kullanım zorunluluğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu enerji kaynakları içinde halen en popüler olanları; Rüzgar Enerjisi, Güneş Enerjisi, Jeotermal Enerjisi, HESler ve Küçük Ölçekli Hidro Elektrik Santrali (KÖHES). Güneydoğu Anadolu Bölgesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları yönünden değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş, Rüzgar, Jeotermal, HES, KÖHES

1. GİRİŞ

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, ekonomik ve kültürel zenginliğe sahip, tarihsel önemi olan ve birçok medeniyete ev sahipliği yapmış bir coğrafyadır.

Bölge hızla Türkiye'nin Enerji Üretim Merkezi olma yolunda ilerlemektedir. Bölge Petrol, Kömür, vb kaynaklar konusunda zengin olduğu gibi bir çok akarsuya ve güneş yoğunluğuna sahiptir. Güneydoğu Anadolu Projesi kapsamında bir çok baraj yapılmıştır.

Bölgenin sahip olduğu zengin petrol, kömür, vb kaynaklar nedeniyle bölgede birçok Termik Santral ve bir adet Rafineri kurulmuştur. Termik Santraller ve Rafineri çevresine zararlı atık gazlar yayarak insan ve hayvan sağlığına zararları olduğu gibi tarımsal açıdan da çevresine çok vahim zararlar vermektedir.

Büyük ölçekli Hidro Enerji Santralleri ise baraj gölleri ile bölgenin ekolojik dengesini değiştirdiği gibi tarihi ve kültürel alanlara da zarar vermektedir.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

2.1 Güneş Enerjisi

Bilindiği gibi EİE tarafından GEPA (Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası) yayınlanmıştır. [1] GEPA'da ortalama güneşlenme süreleri ve Global Radyasyon Değerleri göz önüne alındığında Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Güneş Enerjisi konusunda zengin olduğu görülecektir.

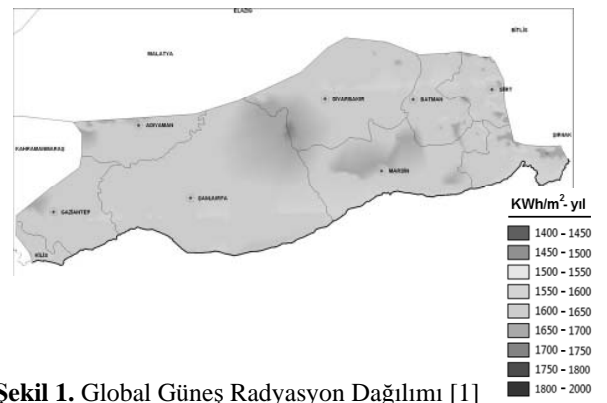
EİE tarafından yapılan Etüt Çalışmalarında kullanılamaz alanlar olarak:

- * Arazi eğimi 3 dereceden büyük olan alanlar,
- * Yerleşim alanları ile 500 m emniyet şeridi içindeki alanlar,
- * Kara ve demir yolları ile 100 m emniyet şeridi içindeki alanlar,

- * Havaalanları ile 3 km emniyet şeridi içindeki alanlar,
- * Çevre Koruma, Milli Parklar ve Tabiat Alanları ile 500 m emniyet şeridi içindeki alanlar,
- * Göller, nehirler, baraj gölleri ile sulak alanlar
- * Koru Ormanları, Ağaçlandırma Alanları, Özel Ormanlar, Fidanlıklar, Sazlık ve Bataklıklar, Muhafaza Ormanları ve Arboratum, belirlenmiştir.

Ancak "Arazi eğimi 3 dereceden büyük olan alanlar"ın kullanılamaz alan olarak gösterilmesi çok doğru bir yaklaşım değildir. Örneğin Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Güneş Panellerinden maksimum verim elde edilmesi için Panellerin konulacağı açı güneye bakar şekilde $38^{\circ} - 42^{\circ}$ (Yaz ve kış aylarında bu açı değeri değişmektedir) arasındadır. Ayrıca Güneş Panellerinin bir çok uygulamada Bina Çatısı, Direk tepesi, Dağlık Arazi gibi tarımsal alanda kullanılmayacak alanlar için tavsiye edilmektedir.

GEPA'da Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Global Güneş Radyasyon Dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Global Güneş Radyasyon Dağılımı [1]

Tablo-1 ve 2'de Güneşlenme Süresi ve 100 m² alanda Güneş Panelleriyle Üretilebilecek Enerji (KWh-Yıl) gösterilmektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Güneşlenme süresi ve üretilebilecek elektrik enerjisi açısından Türkiye ortalamasının üzerindedir.

Bölge Adı	G.DOĞU ANADOLU	AKDENİZ	EGE	DOĞU ANADOLU
GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)	2993	2956	2738	2664
Bölge Adı	İÇ ANADOLU	MARMARA	KARADENİZ	
GÜNEŞLENME SÜRESİ (Saat/yıl)	2628	2409	1971	

Tablo 1. Güneşlenme Süresi [1]

	Kristalin Silikon		İnce Bakır Film Şerit	Kadmium Tellerium	Şekilsiz Silikon
	Mono	Poli			
Türkiye (Ortalama)	25.000	22.000	13.000	11.000	10.000
G. A.Bölgesi (Ortalama)	26.333	23.222	13.778	11.889	10.278
Batman	27.000	23.000	14.000	12.000	10.500
Diyarbakır	25.000	22.000	13.000	11.000	10.000
Mardin	26.000	23.000	14.000	12.000	10.500
Siirt	27.000	24.000	14.000	12.000	10.500
Şırnak	27.000	24.000	14.000	12.000	10.500
Adıyaman	27.000	24.000	14.000	12.000	10.500
G. Antep	26.000	23.000	14.000	12.000	10.000
Kilis	26.000	23.000	13.000	12.000	10.000
Ş.Urfa	26.000	23.000	14.000	12.000	10.000

Tablo 2. 100 m² Alanda üretilebilecek Enerji (kWh-Yıl) [1]

2.2 Rüzgar Enerjisi

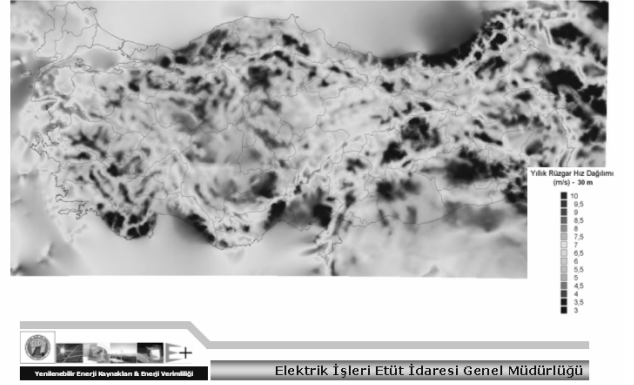
Güneydoğu Anadolu Bölgesi Rüzgar Enerjisi açısından yeterli kaynağa sahip değildir. Bilindiği gibi Rüzgar santrali yatırımının fizibil olması için dikkat edilmesi ve bilinmesi gereken en önemli noktalar;

- 50 metredeki Rüzgar hızı 7 m/s veya üzeri olmalıdır.
- 50 metredeki Kapasite faktörü %35 veya üzeri olmalıdır.

İletim Hattı Maliyetlerinin azaltılması için Trafo Merkezleri yada Enerji İletim Hatlarına yakın yerler tercih edilmelidir.

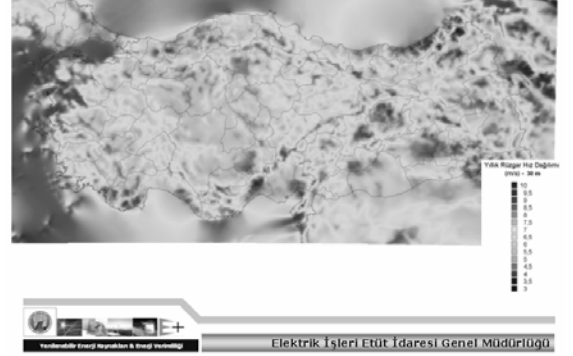
EİE tarafından Rüzgar Enerjisi Potansiyeli Atlası (REPA) yayınlanmıştır. REPA'nın 50 m yükseklikte yıllık ortalama Rüzgar hızı ve Kapasite Faktörü Şekil 2 ve Şekil 3'te bulunmaktadır. [1]

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ATLASI
Rüzgar Hızı Haritası
50 m Yükseklikte Yıllık Ortalama



Şekil 2. 50 mt Yükseklikte Rüzgar Hızı (REPA) [1]

TÜRKİYE RÜZGAR ENERJİSİ POTANSİYEL ATLASI
Kapasite Faktörü Haritası
50 m Yükseklikte



Şekil 3. 50 mt Yükseklikte Kapasite Faktörü (REPA) [1]

EİE tarafından yapılan Etüt Çalışmalarında kullanılamaz alanlar olarak:

- Rakımı 1.500 mt ve eğimi %20'den fazla olan bölgeler,
- Mücavir alanlar ve köyler,
- Kara ve demir yolları ile hava alanları ve limanlar,
- Akarsu, göller ve orman alanlarının bir bölümü ile Çevre Koruma Alanları,
- Enerji Santralleri,
- Emniyet Bantları,
- Derinliği 50 metreden fazla olan deniz alanları,

Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Rüzgar Potansiyeli Tablo 3'te verilmiştir.

	Rüzgar Hızı (m/s) / Rüzgar Gücü (W/m ²)	Toplam Alan (m ²)	Toplam Kurulu Güç (MW)
G.A. Bölgesi Toplam	6,8 - 7,5 / 300 - 400	439,09	2.195,44
	7,5 - 8,1 / 400 - 500	75,00	374,96
	8,1 - 8,6 / 500 - 600	12,10	60,48
Batman	6,8 - 7,5 / 300 - 400	1,58	7,92
	7,5 - 8,1 / 400 - 500	0,00	0,00
	8,1 - 8,6 / 500 - 600	0,00	0,00
Diyarbakır	6,8 - 7,5 / 300 - 400	110,03	550,16
	7,5 - 8,1 / 400 - 500	16,98	84,88
	8,1 - 8,6 / 500 - 600	0,00	0,00
Mardin	6,8 - 7,5 / 300 - 400	101,78	508,88
	7,5 - 8,1 / 400 - 500	0,00	0,00
	8,1 - 8,6 / 500 - 600	0,00	0,00
Siirt	6,8 - 7,5 / 300 - 400	3,01	15,04
	7,5 - 8,1 / 400 - 500	0,00	0,00
	8,1 - 8,6 / 500 - 600	0,00	0,00
Şırnak	6,8 - 7,5 / 300 - 400	0,00	0,00
	7,5 - 8,1 / 400 - 500	0,00	0,00
	8,1 - 8,6 / 500 - 600	0,00	0,00

	Rüzgar Hızı (m/s) / Rüzgar Gücü (W/m ²)	Toplam Alan (m ²)	Toplam Kurulu Güç (MW)
Adıyaman	6,8 - 7,5 / 300 - 400	176,32	881,60
	7,5 - 8,1 / 400 - 500	50,96	254,80
	8,1 - 8,6 / 500 - 600	12,10	60,48
G. Antep	6,8 - 7,5 / 300 - 400	46,32	231,60
	7,5 - 8,1 / 400 - 500	7,06	35,28
	8,1 - 8,6 / 500 - 600	0,00	0,00
Kilis	6,8 - 7,5 / 300 - 400	0,00	0,00
	7,5 - 8,1 / 400 - 500	0,00	0,00
	8,1 - 8,6 / 500 - 600	0,00	0,00
Ş.Urfa	6,8 - 7,5 / 300 - 400	0,05	0,24
	7,5 - 8,1 / 400 - 500	0,00	0,00
	8,1 - 8,6 / 500 - 600	0,00	0,00

Tablo 3. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Rüzgar Enerjisi Potansiyeli (Kaynak REPA) [1]

2.3 Jeotermal Enerji

Güneydoğu Anadolu Bölgesi Jeotermal Enerji kaynakları açısından zengin bir bölge değildir. Türkiye'nin Jeotermal Enerji Kaynakları Haritası Şekil-4'te, Türkiye'de Genç Tektonik hatlar, sıcak su kaynaklarının dağılımını gösterir Harita Şekil-5'te sunulmuştur.



Şekil 4. Türkiye'nin Jeotermal Haritası [2]



Şekil 5. Türkiye'de Genç Tektonik Hatlar, Sıcak Su Kaynaklarının Dağılım Haritası [2]

Haritalardan da gözlemlendiği gibi Güneydoğu Anadolu Bölgesinde tespit edilmiş Jeotermal Kaynaklar ve kullanım amaçları aşağıda listelenmiştir. [3]

- Diyarbakır'da Çermik jeotermal alanında; 115.5 m derinlikte 51 °C, debisi 21 (l/sn) olan pompaj sulamalı bir kuyu faaliyettedir. Bölge'de birçok pansiyon, kaplıca tesisleri ile Dicle Üniversitesi Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Merkezi sıcak sudan yararlanmaktadır.
- Gaziantep Kartalköy'de, 27 °C ve toplam debisi 1(l/sn) olan kaynaklardan içmece olarak yararlanılmaktadır.
- Mardin Germav ılısu kaynağı, 63.5 °C sıcaklıkta olup 1.5 (l/sn) debiye sahiptir. Özel İdare'ye ait iki havuza gelen sıcak su, şifalı su olarak kullanılmaktadır.
- Siirt'te Billoris jeotermal alanında 5 adet kaynak mevcuttur. Kuyuların sıcaklıkları 30 - 35 °C arasında olup toplam debileri 172 - 173 (l/sn)'dir.
- Şanlıurfa Karaali jeotermal alanında yapılan 7 sondaj sonucunda, 5 kuyu faaliyete geçmiştir. 39 - 49 °C arasında sıcaklıkları bulunan kaynaklarda debi 20 - 40

(l/sn) olarak değişmektedir. Sıcak sular kaplıca olarak kullanılmaktadır.

- Batman İli Kozluk-Taşlıdere jeotermal alanında bulunan Holi kaplıca kaynağının sıcaklığı 83 °C ve debisi 16 (l/sn) olup kaynaktan kaplıca ve sera ısıtma amaçlı yararlanılmaktadır.
- Şırnak İli Güçlükönak Hısta jeotermal alanında, 63.5 °C sıcaklıkta ve debisi 2 (l/sn) olan Hısta su kaynağından kaplıca amaçlı yararlanılmaktadır.

Bölgemizde yapılan Petrol Sondajlarında yukarıda belirtilen Jeotermal kaynaklar haricinde bir çok jeotermal kaynak tespit edilmiş ve çoğu kullanıma açılmadan kapatılmıştır. Batman – Taşlıdere’de az bulunan Jeotermal Kaynaklardan da yeterli düzeyde faydalanılamamaktadır.

2.4 HES-KÖHES

Güneydoğu Anadolu Bölgesi Hidroelektrik Enerjisi açısından çok zengin bir bölgedir. Bölgede şu anda faal olan barajlar Tablo-3’te listelenmiştir.

Ülkemizde işletmede olan Barajlı HESlerin kurulu gücü 12.524,7 MW ile Türkiye’nin toplam kurulu gücünün % 30’u, Akarsu HESleri ise toplam kurulu gücü 1.304,0 MW ile Türkiye’nin toplam kurulu gücünün % 3,1’idir. Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Kurulu HES gücü ise 5.465,40 MW ile Türkiye’nin toplam kurulu HES gücü olan 13.828,70 MW gücünün %39,5’ine eşittir.

HES Adı	Bulunduğu İl	Kurulu Güç (MW)
Karakaya	Diyarbakır	1.800,00
Dicle	Diyarbakır	110,00
Kralkızı	Diyarbakır	94,00
Batman	Diyarbakır	186,00
Atatürk	Şanlıurfa	2.400,00
Birecik	Şanlıurfa	672,00
Karkamış	Şanlıurfa	189,00
Çağçağ	Mardin	14,40
TOPLAM		5.465,40

Tablo 4. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde İşletmede olan HES Kurulu Güçleri [3,4]

Güneydoğu Anadolu Bölgesinde proje veya inşaat aşamasında olan lisansı alınmış birçok HES mevcuttur. Söz konusu projelere örnek olarak Siirt ve Şırnak Havzasında proje yada inşaat safhasında olan barajlar Tablo 5 ve Tablo 6’da sunulmuştur.

HES Adı	Bulunduğu İl	Kurulu Güç (MW)
Şırvan	Siirt	17,50
Tarihler	Siirt	48,18
Deliktaş	Siirt	40,00
İncir	Siirt	121,78
Alkumru	Siirt	222,00
Baykan-1	Siirt	55,00
Baykan-2	Siirt	35,00
Çetin	Siirt	350,00
Keskin	Siirt	164,00
Narlı	Siirt	36,00
Oran	Siirt	40,00
Pervari	Siirt	192,00
TOPLAM		1.321,46

Tablo 5. Siirt Havzasında yapımı sürmekte olan HESler

HES Adı	Bulunduğu İl	Kurulu Güç (MW)
İlusu	Şırnak	1.200,00
Cizre	Şırnak	240,00
Hezil	Şırnak	58,80
Zorava-1	Şırnak	5,94
Zorava-2	Şırnak	43,05
Oğlakçı	Şırnak	7,00
Yüksekkaya	Şırnak	24,00
Çağlayan	Şırnak	8,00
Beyazdüz	Şırnak	15,86
Şırnak Şenova	Şırnak	24,00
Bağlıca	Şırnak	19,00
Sekerek	Şırnak	8,70
Şırnak Uludere-1	Şırnak	22,11
Şırnak Uludere-2	Şırnak	11,04
Nizir	Şırnak	4,16
Kızılsu	Şırnak	12,60
Meşetepe-1	Şırnak	103,47
Meşetepe-2	Şırnak	56,53
İlcak	Şırnak	5,57
Can	Şırnak	6,52
Tuğba	Şırnak	5,22
TOPLAM		1.881,57

Tablo 6. Şırnak Havzasında yapımı sürmekte olan HESler



Görüleceği gibi Güneydoğu Anadolu Bölgesi bir çok akarsu havzasına sahip olması nedeniyle HES potansiyeli çok yüksektir. EİE tarafından bölgemizin KÖHES kapasitesi ile ilgili bir etüt çalışmaları henüz tamamlanmamıştır. [1,5]

3. SONUÇLAR

Güneydoğu Anadolu Bölgesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları yönünden değerlendirildiğinde;

- Güneş Enerjisi açısından Türkiye ortalamasının üzerinde üretim kapasitesine sahip,
- Rüzgar Enerjisi açısından Türkiye ortalamasının altında üretim kapasitesine sahip,
- Jeotermal Enerji açısından Jeotermal kaynaklara sahip ancak ilave teknolojiler kullanılmadan bu kaynaklar Elektrik üretiminden ziyade; Sera, Termal Tesis, Isıtma amacıyla kullanımı uygun,
- Hidroelektrik Enerji açısından oldukça zengin kaynaklara sahip olup, bölgede pek çok HES inşası sürmekte,
- KÖHES açısından kapasite çalışmaları sürmek olup bölgede daha ziyade HES kurulması daha avantajlı görülmektedir.

Bölgemizde bulunan Termik Santraller ve Rafineri bölgemizde çok ciddi bir sağlık, tarımsal, hayvansal sorunlarla beraber hava kirliliği oluşturmaktadır. Jeotermal Enerji ve Termik santrallerin çevreye olan etkisi Tablo 8' de gösterilmektedir. (Kömür 4.000 kcal., Kazan verimi %60, Jeotermal akışkandan CO₂ çıkışı %0,15, Kömürde elemanter C %39,9 kabul edilmiştir.)

Jeotermal (MW)	Kömür Karşılığı (kg/h)	Jeotermal CO ₂ emisyonu (kg/h)	Kömür CO ₂ emisyonu (kg/h)	Kömür CO ₂ emisyon fazlalığı (kg/h)
3.042,91	1.090.376,08	760,74	1.595.220,21	1.594.459,47

Tablo 7. Jeotermal Enerjinin Termik Enerjisi ile çevreye olan etki açısından kıyaslanması [7]

Bilindiği gibi; Güneş, Rüzgar, Jeotermal ve KÖHES Yenilenebilir Enerji Kaynaklarında çevreye en fazla zarar vereni Jeotermal olduğu halde Jeotermal Enerji bile fark aşıkardır.

KAYNAKLAR

1. Elektrik İşleri Etüd İdaresi
www.eie.gov.tr
2. Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü
www.mta.gov.tr
3. GAP İdaresi
www.gap.gov.tr
4. TEİAŞ
www.teias.gov.tr
5. TEMSAN
www.temsant.gov.tr
6. Türkiye'deki Rüzgar Santralleri,
<http://www.epdk.org.tr/lisans/elektrik/yek/ruzgarprojeleriningelisimi.doc>
7. Jeotermal Enerji ve Merkezi Isıtma Sistemi, Levent Güneş (Kozturtaş A.Ş.)

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI ve ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KULLANIM UYGULAMASI

¹Mehmet Caner ÇAKAR ²Ümmühan BAŞARAN FİLİK ³Mehmet KURBAN

^{1,2,3}Anadolu Üniversitesi İki Eylül Kampüsü
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
26555, ESKİŞEHİR

¹e-posta: mccakar@anadolu.edu.tr ²e-posta: ubasaran@anadolu.edu.tr
³e-posta: mkurban@anadolu.edu.tr

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynakları bilindiği gibi, sürekliliği itibarıyla sürdürülebilir olmalarının yanında dünyanın her ülkesinde var olabileceği özelliği ile büyük önem taşımaktadır. Fosil yakıtları esas alan enerji kullanımı; yakıt konusunda dışa bağımlılık, yüksek ithalat giderleri ve çevre sorunları gibi önemli olumsuzlukların yanında, dünya fosil yakıt rezervlerinin giderek azalması bakımından yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Diğer taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye etkileri, yenilenebilen enerji kaynaklarının çevreye olan etkilerinden daha azdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, mevcut ekonomik ve teknik sorunların çözülmesi halinde 21. yüzyılda en önemli enerji kaynağı olacağı kabul edilmektedir. Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Bu çalışmada başlıca yenilenebilir enerji kaynakları hakkında bilgi verilerek, Türkiye'deki yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ele alınacaktır. Ayrıca güneş enerjisinin ulaşım sistemleri üzerinde Eskişehir ili kapsamında uygulaması ele alınacaktır.

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Her geçen gün gelişen teknolojiye paralel olarak, ülkelerin de her geçen gün enerji gereksinimleri artmaktadır. Geçmiş yıllara bakıldığında her yıl ihtiyaç duyulan enerji miktarında artış görülmektedir ve şüphe yok ki bu artış gelecek yıllarda daha yüksek boyutlara ulaşacaktır. Bu sebeple gerek çevresel etkenler nedeniyle gerekse gerekli enerji miktarının sağlanmasında kullanılmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir.

Dünyadaki toplam birincil enerji tüketiminin %90'ı fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Dünyadaki fosil yakıt rezervinin sınırlı ve bunların yakın gelecekte tükenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılmasını hızlandırmıştır. Enerji üretimi ve tüketimi sırasında yaşanan çevre sorunları, eski teknolojilerin terk edilmesinin temel nedenlerinden biridir. Kömür, petrol ve doğalgaz kurullukları bölgede yerel olarak tahribatları yanında küresel olarak tüm dünyayı tehdit eden etkileri de bulunmaktadır. Fosil yakıtlar yakıldığında atmosfere dağılan karbon dioksit, kükürt dioksit, azot oksit, toz ve kurum yakın çevreyi kirletip ölümlere yol açarken, karbon dioksit ve benzeri sera gazları küresel iklim değişikliğine yol açmakta ve tüm dünya ülkelerinde yaşamı tehdit etmektedir [1].

Türkiye'deki enerji profili gözden geçirildiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ve yeri açıkça görülmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça düşük düzeydedir. Özellikle güneş ve rüzgâr enerjisinin kullanımı, Türkiye'nin enerji bütçesine

önemli katkılar sağlayacaktır. Enerji kaynakları gözden geçirildiğinde, fosil enerji kaynaklarının Türkiye'deki birincil enerji üretiminin hemen hemen yarısını oluşturmakta olduğu gözlemlenmektedir. 2007 yılı sonu itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu gücü 42400 MW tır. Bu kurulu güçte 197 milyar kWh lik bir enerji ürettik. Bu kurulu gücün dağılımına baktığımızda; bunun %30'u doğalgaz santrallerinden oluşmakta; %20 si kömür santrallerinden; %19 u petrol santrallerinden; %28 i hidroelektrik santrallerinden; %2 si küçük hidro yan mikro diye tanımladığımız akarsulardan elde edilen santrallerden elde ediliyor; %1 in altında da rüzgâr santralleri bulunmaktadır. Güneş enerjisi santrali ise sıfırdır. Türkiye kaynak tedarikinde %67 oranında dışa bağımlı durumdadır. Elektrik üretimi için doğalgaz, petrol ve kömür için ödenen para 33 milyar dolardır. Eğer bu para güneş santralleri yapımında kullanılsaydı elimizde 4000MW lık bir sistem olurdu ve bu sistem kurulu gücümüzün %10 una tekabül etmektedir. Dünyada güneş enerjisi kurulu gücü 9200 MW tır. 2010 yılında buna 5600 MW daha eklenecek ve 2011 yılında da 6900 MW daha eklenmesi planlanıyor. Güneş enerjisi sistemlerinde hiçbir sektörde olmayan bir gelişme söz konusu. Bu sektör %35-40 büyüyen bir Pazar haline geldi.

Güneş teknolojilerinden bahsetmek gerekirse; bu alanda kullanılan birçok teknoloji türü olduğunu görebiliriz. 1. jenerasyon diye tanımlanan kristal silikon pilleri var. Bunlar da kendi içlerinde 2 ana gruba ayrılıyor. Mono ve poli, yani multi kristal. Bunların da verimleri yaklaşık olarak %15-17 arasında değişiyor. Şu anda maliyetleri biraz



yüksektir. Ama 2010-2011 yıllarında silikon kalınlığının 180-200 mikrondan 120 mikronlara düşürülmesi ile maliyetlerinin de 1/3 oranında azalması bekleniyor. Verimlerinin de %20-22 lere çıkarılması hedefleniyor. İkinci teknoloji ince film teknolojisi olarak karşımıza çıkıyor. İnce filmin dezavantajı verimlerinin %6 lar ile %12 ler arasında olması. Ancak maliyetleri ise kristal silikon pillere oranla daha uygun.

Türkiye enerjinin üretildiği yerden tüketileceği yere kadar taşınması sırasında hat kayıpları yüzünden yaşadığı kayıp 2 milyar dolar civarında. eğer enerji tüketileceği yerde üretilebilirse bu hat kayıpları en aza indirilebilir. Bu nedenle güneş enerjili sistemlerin kullanıcılar tarafından yerinde üretilmesi, hat kayıplarını en aza indirmemize olanak sağlayacaktır.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları açıklanıp, güneş enerjisinin kullanım alanları ve ulaştırmada uygulanabilirliği açıklanacaktır.

2.YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Yenilenebilir enerji; adında anlaşılacağı gibi, kendini tekrar eden, yani yenilenen dünya var olduğu sürece bitmeyecek enerji anlamına gelmektedir. Bu kaynaklar arasında güneş ve rüzgâr enerjisi, su gücünden elde edilen hidro güç ve biyoyakıtları sayabiliriz. Bu enerji kaynakları kendilerini sürekli yeniledikleri için bitme tehlikeleri olmadığı gibi, fosil yakıtlar gibi çevreye de zarar vermiyorlar. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları direkt olarak kullanabiliyor ya da enerjinin başka bir formuna da dönüştürülebilir.

Rüzgar enerjisi: Rüzgâr enerjisi binlerce yıldan beri tahıl öğütmek, su pompalamak amacıyla ve diğer mekanik enerji uygulamalarında kullanılmaktadır. Küresel olarak günümüzde 1 milyondan fazla yel değirmeni bulunmaktadır ve bunlar genel olarak su pompalamak amaçlı yapılmıştır. Rüzgâr bu amaçlara yönelik kullanılmaya devam edecektir ve yanı zamanda rüzgâr enerjisi geleneksel elektrik üretim formlarının sebep olduğu kirlenme problemi oluşturmadan küçümsenmeyecek miktarda elektrik enerjisi üretebilecek bir araç olarak da kullanılacaktır.

Rüzgârdan elektrik enerjisi üretme çabaları 19. yüzyılın sonlarında başlamıştır. Rüzgârın bir enerji kaynağı olarak kullanımı kütle halindeki hareketli havanın içerisindeki gücün şaft enerjisine dönmesi ile gerçekleştirilir. Değişim süreci, şaft üzerinde bir kuvvet yaratmak için havanın aerodinamik direncini kullanmaktadır. Bunun sonucunda da daha sonra elektrik enerjisine çevrilen mekanik enerji oluşmaktadır.

Rüzgâr tribünleri ne kadar verimli olursa kWh başına maliyet o kadar düşük olur. Verimlilik:

- Bölgenin rüzgar durumuna,
- Bölgenin büyüklüğüne,

- Rüzgâr tribünlerinin hazır bulunmasına,
- Rüzgâr tribünlerinin düzenlenme biçimine bağlıdır.

Rüzgârın arada bir kesilme ihtimali bulunmaktadır ve rüzgârın esme durumu coğrafya ve topografyadan oldukça fazla etkilenmektedir. Bir anlık rüzgâr hızı ile mevcut enerji arasında zıt bir ilişki bulunmaktadır. Ancak, enerji türbinlerinden çıkan enerji miktarı, saniyede 7-10 metre civarında olan yıllık ortalama rüzgar hızı (AMWS) ile paralel olarak artmamaktadır. Ortalama rüzgâr hızı arttıkça, türbindeki kontrol sistemi enerji üretimini kısıtladığı için rüzgârdaki enerjinin büyük bir kısmı dağılmaktadır. Tipik olarak, saniyede AMWS si 8 metre olan bir sitede, aynı türbinlerle AMWS si saniyede 6 metre olan bir siteden %80 oranında daha fazla enerji üretmesi beklenir. Bu durumda yatırım masrafları yakın ölçülerde ise yüksek üretim genel maliyeti düşük seviyelerde tutacaktır.

Rüzgâr türbinleri, değişik miktarlarda enerji üretecek şekilde geliştirilmektedir. geniş çaplı bir elektrik enerjisi üretimi, ortalama 20 adet rüzgâr türbini gerektirmektedir. Bunlarında ekonomik kullanımı açısından gruplandırılması ve de işletimi kolaylaştırması gerekmektedir. Geniş rüzgâr çiftlikleri daha ekonomiktir. Türbinler performanslarını kabul edilebilir bir seviyeye indirecek olan etkileşimin sonuçlarını düşürmek için genelde 5 ila 10 silindir çapı aralıklarıyla yerleştirilirler. Türbinler ömürleri 25 yıl sürecek şekilde tasarlanmıştır, ancak modern türbinlerin işletim becerisi 15 yıl ile sınırlıdır. Modern türbinlerin kullanışlığı %97 ile %99 arasında değişmektedir.

Rüzgâr enerjisinin başlıca avantajları şunlardır:

- Kararlı, güvenilir, sürekli bir kaynaktır.
- Dışa bağımlı değildir.
- Gelişen teknoloji ile birlikte birim maliyetleri düşmektedir.

Rüzgâr enerjisinin başlıca dezavantajları şunlardır:

- Türbin için geniş alanlar gereklidir. Tek bir türbin için 700-1000 m²/MW. Rüzgar tarlalarının birim güç başına toplam gereksinimi ise 150-200 katı kadardır.
- Görsel ve estetik olarak olumsuzdur. Gürültülüdürler ve kuş ölümlerine neden olur, radyo ve TV alıcılarında parazitlenme yaparlar.

Jeotermal enerji: Jeotermal enerji yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Yarıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen, yerin derinliklerdeki "sıcak kuru kayalar" da jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir[2]. Bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanılan Bu ısı ya kuyular açılarak ya da yüzeye yakın yerlerdeki su kaynakları

ya da kayalardan elde edilmektedir. Dünyada tüketilen enerjinin sadece %0,4 ü bu yolla elde ediliyor. Jeotermal enerji kaynakları ile elde edilen enerji miktarı oldukça az olsa da gelecekte yeni yöntemlerle bu kaynaktan daha fazla verim alınması planlanıyor.

Jeotermal enerjinin başlıca avantajları şunlardır:

- Çevre dostudur. Suyun ısıtılması ya da buharlaştırılması için fosil enerjiye ihtiyaç duymaz.
- Doğal kaynaklar kullanılır, dışa bağımlı değildir.

Jeotermal enerjinin başlıca dezavantajları şunlardır:

- Yapılarında bulunan hidrojen sülfür ve karbondioksit gibi gazların açığa çıkması nedeniyle re enjeksiyon gereklidir.

Güneş enerjisi: Güneş, dünyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren sonsuz denebilecek bir güce sahip tek enerji kaynağıdır. Kömür, petrol, su potansiyeli, biyokütle, rüzgâr gibi diğer enerjiler, güneş ışınlarının maddeler üzerindeki fiziksel etkisinden oluşmaktadır. Termonükleer bir reaktör olan güneşte, her saniyede 564 milyon ton hidrojen füzyon sonucu 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı 386.000.000 EJ (eksa joule) enerji açığa çıkmaktadır. Güneş, daha milyarlarca yıl ışınmasını sürdüreceğinden dünya için sonsuz bir kaynaktır. Güneşten gelen güç, 11 TW olan dünya toplam enerji talebinin 16000 katından çoktur. Yer yüzeyine gelen güneş ışığından ısı ve elektrik üreten güneş enerjisi teknolojileri; tasarım, uygulama alanı, teknoloji düzeyi vb. bakımından büyük çeşitlilik göstermekle birlikte güneş enerjisi uygulamaları esas olarak termal sistemler ve fotovoltaik sistemler olarak iki gruba ayrılabilir.

Termal güneş enerjisi sistemleri, düşük sıcaklık ve yüksek sıcaklık uygulamaları olmak üzere ikiye ayrılabilir. Düşük sıcaklık uygulamalarının en yaygını düzlemsel kolektörlerdir. Düzlemsel güneş kolektörleri, güneş enerjisini ısı enerjisi olarak bir akışkana aktaran aygıtlardır. Basitliği ve ucuzluğu nedeniyle en yaygın kullanılan güneş enerjisi uygulamasıdır. Evlere, yüzme havuzlarına ve sanayi tesislerine sıcak su sağlamak için kullanılırlar. Daha yüksek sıcaklıklar verebilen vakumlu kolektörlerde ise absorban yüzey cam boru içerisine alınmış ve cam boru ısı kayıplarını azaltmak için vakumlanmıştır. Çıktıları daha yüksek sıcaklıkta olduğu için, düzlemsel kolektörlerin kullanıldığı yerlerde ve ayrıca güneşli soğutma sistemlerinde kullanılabilirler. Bu grupta yer alan diğer sistemler; güneş havuzları, su damıtma sistemleri, güneş mimarisi, seralar, ürün kurutma sistemleri ve güneş ocaklarıdır. Yüksek sıcaklık uygulamaları ise yoğunlaştırma yapan termal sistemlerdir. Yoğunlaştırıcı sistemler direkt güneş ışınımından yararlanarak yüksek sıcaklıkta buhar üretirler ve

elektrik üretiminde kullanılırlar. Yoğunlaştırıcı termal sistemlerin en yaygını parabolik oluk kolektörlerdir. Kesiti parabolik olan kolektörlerin iç kısmındaki yansıtıcı yüzeyler, güneş ışınlarını, odakta yer alan siyah bir absorban boruya odaklarlar. Absorban boruda dolaştırılan sıvıda toplanan ısı ile elde edilen buharla elektrik üretilir. Diğer bir tür yoğunlaştırıcı sistem olan parabolik çanak sistemler, iki eksende güneşi takip ederek, güneş ışınlarını odaklama bölgesine yoğunlaştırırlar. Merkezi alıcı sistemlerde ise; tek tek odaklama yapan ve heliostat adı verilen aynalardan oluşan bir alan, güneş ışınlarını, bir kule üzerine monte edilmiş ısı eşanjörüne yansıtarak yoğunlaştırma yaparlar.

Fotovoltaik sistemlerin temelini, yüzeyine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirme özelliğine sahip güneş pili denen yarıiletken maddeler oluşturur. Güneş pilleri, birbirlerine seri ya da paralel olarak bağlanmış ve bir yüzey üzerine monte edilmiş olarak kullanıma sunulurlar. Güneş pili modülü ya da fotovoltaik (PV) modül denilen bu yapılar fotovoltaik sistemlerin (güneş pili sistemlerinin) temel elemanlarıdır. Fotovoltaik sistemler elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilirler. Uygulamaya bağlı olarak sistemde akümülatörler, invertörler, denetim cihazları ve çeşitli elektronik destek birimleri kullanılır. Bu sistemler ya bağımsız (stand-alone) olarak özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yerlerde kullanılırlar; ya da şebeke bağlantılı olarak çalıştırılırlar. Fotovoltaik sistemler haberleşme aktarıcı istasyonlar, aydınlatma, sinyalizasyon ve alarm sistemleri, deniz fenerleri, petrol boru hatlarının katodik koruması, ilaç ve aşuların soğutulması, ilaç ve aşuların soğutulması, hidrojen üretimi, bahçe aydınlatma setleri, kırsal yörelerde su pompalamada kullanılmakla birlikte son yıllarda şebekeye bağlı uygulamaların kullanımı da hızla yaygınlaşmaktadır.

Güneş enerjisinin başlıca avantajları şunlardır:

- Doğrudan güneş enerjisini kullanır.
- Doğal ısıtma ve soğutma sistemleri kullanarak binaların gereksiz ve aşırı ticari tüketimlerini önler.
- Çevre değerlerini korur, çevreye verilen zararı en aza indirir.
- Doğal ve sağlıklı zararsız malzemeler kullanılır.
- Ekonomiktir.
- Dışa bağımlı değildir.

Güneş enerjisinin başlıca dezavantajları şunlardır:

- Işınım talebi gereksinimine göre enerji depolama ihtiyacı.
- Mevsimlere göre güneş ışığı alma sürelerinin değişimi.
- İlk anda yatırım masraflarının yüksek olması.
- İsteğe bağlı olarak kontrol edilemez oluşu.



3. TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

Türkiye'deki enerji profili gözden geçirildiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının yeri ve önemi açıkça görülmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça düşük düzeydedir (%1 ve altında) ve bu enerji türleri ile yeterince ilgilenilmemektedir. Özellikle, güneş ve rüzgâr enerjisinin kullanımı, Türkiye'nin enerji bütçesine ciddi katkılar sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından doğru ve sağlıklı bir biçimde yararlanılması için gereken strateji, plan ve politikaların önemi giderek artmakta ve önemli boyutlara ulaşmaktadır [3]. Türkiye'de tüketilen birincil enerjinin % 39'u petrol, % 27'si kömür, % 21'i doğal gaz ve %13'ü büyük oranda hidroelektrik ve diğer yenilenebilir kaynaklardan karşılanmaktadır. Ülkemizin önemli yenilenebilir kaynakları; rüzgar, güneş ve jeotermaldir. Güneş potansiyeli açısından coğrafi konumu nedeniyle şanslı ülkelerden sayılan ülkemizde Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün güneşlenme süresi ve ısınım şiddeti ölçümleri üzerinde EİE tarafından yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat ve ortalama toplam ısınım şiddeti 1,311 kWh/saat/metre-kare-yıl olarak hesaplanmıştır. Enerji Bakanlığı verilerine göre; elektrik amaçlı kullanılacak güneş potansiyelimiz 8.8 milyon ton petrol eşdeğeri(mtp), ısınma amaçlı kullanılacak potansiyel ise 26.4 mtp'dir. Ülkemiz rüzgar potansiyeli açısından da şanslı ülkeler arasındadır. EİE'nin ölçüm istasyonlarından elde edilen ortalama rüzgar hızlarına göre potansiyelin yoğun olduğu Marmara, Ege, G.Doğu ve Doğu Akdeniz bölgelerinde gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Enerji Bakanlığı verilerine göre, elektrik üretimi amaçlı kullanılacak (görünür ve mümkün) toplam jeotermal potansiyelimiz 4,500 MW/yıl, termal amaçlı kullanılacak toplam potansiyelimiz ise 31,000 MW/yıldır.

Türkiye'de güneş enerjisi: EİE tarafından yapılan çalışmaya göre; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7.2 saat), ortalama toplam ısınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye'de yılın on ayı boyunca teknik olarak ve ekonomik olarak toplam ülke yüzölçümünün % 63'ünde ve tüm yıl boyunca da %17'sinde yararlanılabilir. Tablo 1 de Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye'nin aylara göre güneş enerjisi dağılımı[4]

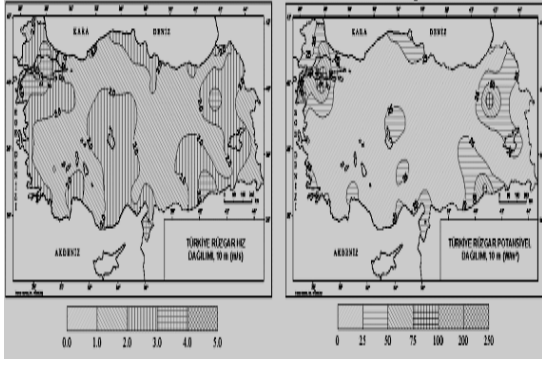
Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi (kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103,0
Şubat	5,44	63,27	115,0
Mart	8,31	96,65	165,0
Nisan	10,51	122,23	197,0
Mayıs	13,23	153,86	273,0
Haziran	14,51	168,75	325,0
Temmuz	15,08	175,38	365,0
Ağustos	13,62	158,40	343,0
Eylül	10,60	123,28	280,0
Ekim	7,73	89,90	214,0
Kasım	5,23	60,82	157,0
Aralık	4,03	46,87	103,0
Toplam	112,74	1311,00	2640
Ortalama	308,0 cal/cm²-gün	3,6 kWh/m²-gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Tablo 2' de Türkiye güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı[5]

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	En çok güneş enerjisi (Haziran)	En Az güneş enerjisi (Aralık)	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	kWh/m ² -yıl	kWh/m ²	kWh/m ²	saat/yıl	saat	saat
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

Türkiye'de rüzgâr enerjisi: Türkiye rüzgâr bakımından zengin yöreleri olan bir ülkedir. 10 m yükseklikteki yıllık ortalama rüzgâr hızı ve güç yoğunluğu açısından en yüksek değer 3.29 m/sn ve 51.91 W/m² ile Marmara Bölgesi 'nde saptanmıştır. En düşük değer ise, 2.12 m/sn hız ve 13.19 W/m² güç yoğunluğu ile Doğu Anadolu Bölgesi 'ndedir. Türkiye'nin %64.5 'inde rüzgâr enerjisi güç yoğunluğu 20 W/m² 'yi aşmazken, %16.11 'inde 30-40 W/m² arasında, %5.9 'unda 50 W/m² 'nin ve %0.08 'inde de 100 W/m² 'nin üzerindedir [6].



Şekil 1. Türkiye'nin rüzgar hızı ve rüzgar potansiyeli[7]

Türkiye'nin rüzgar potansiyeli tam olarak belirlenememiş olsa da, brüt potansiyelinin yılda 400 milyar kWh, teknik potansiyelinin ise 120 milyar kWh olduğu düşünülmektedir. Söz konusu teknik potansiyel yıllık elektrik üretiminin 1.2 katıdır. Ancak, Türkiye genelinde 10m yükseklikteki rüzgar yoğunluğunun alansal ve zamansal dağılımı ile teknolojik kısıtlamalar göz önünde tutulduğunda, güvenilir rüzgar enerjisi potansiyeli 12 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmaktadır [6].

Tablo3. Türkiye'de rüzgar enerjisi kullanımı ve geleceği ile ilgili tahmini değerler[8]

Yıllar	Kurulu rüzgar enerjisi gücü (MW)	Ortalama rüzgar elektriği üretimi (milyon kWh)	Türkiye elektrik enerjisi tüketimi (milyar kWh)	Tüm elektrik enerjisi tüketimindeki payı (%)
2000	300	675	135	0,5
2005	1359	3058	200	1,53
2010	2979	6703	290	2,31
2015	5142	11570	398	2,91
2020	7849	17660	547	3,23
2023	9733	21900	639	3,43
2025	11200	25200	710	3,55

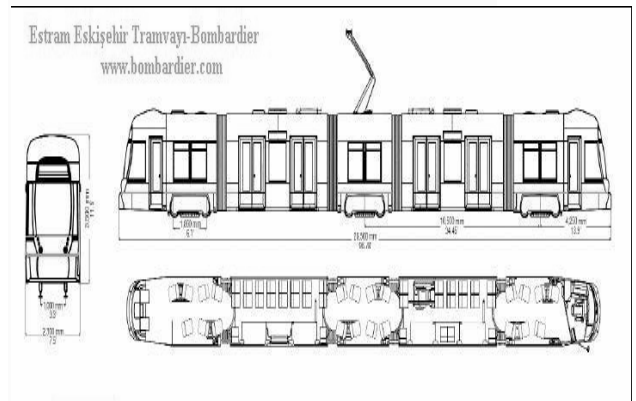
Türkiye'de jeotermal enerji: Ülkemiz jeolojik konumu ve buna bağlı olarak gelişen özellikleri nedeniyle, jeotermal etkinlik açısından büyük öneme sahiptir. MTA'nın yaptığı çalışmalara göre Türkiye'de sıcaklıkları 1000C'ye kadar ulaşan 600'den fazla termal kaynak tespit edilmiştir. Bu kaynaklar temel alınarak hesaplanan rezerv 2420 MW'dır. Yine MTA'nın hesaplamalarına göre ülkemizdeki olası potansiyel 31500 MW'dır. Türkiye jeotermal enerjinin doğrudan kullanımında 41 ülke arasında 7. sırada bulunmaktadır. Tüm bu olgular göz önüne alındığında, oldukça yüksek jeotermal potansiyele sahip olan Türkiye'nin bu enerjiyi yeterince kullanmadığı ve bu enerjinin kullanımına dayalı bir politikasının olmadığı görülmektedir [9]. Simav, Kırşehir, Balçova ve Gönen gibi birçok yerleşim alanında merkezi sistemle ısıtma projelerinde

jeotermal enerjiden yararlanılmaktadır. Türkiye'de bulunan sahaların büyük bir çoğunluğunun düşük entalpili olmaları nedeniyle, jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi teknolojik ve ekonomik açıdan uygun olmayabilir. Türkiye'de jeotermal enerjiden yeterli düzeyde yararlanamamanın nedenleri teknik, finans ve yönetim sorunlarına bağlanabilir. Teknik sorunlar arasında kaynakların düşük entalpili olması, üretim sırasında rezervuarda, kuyu içinde ve yüzey donanımlarında kalsit çökmesi ve çevre sorunları yer almaktadır.

4. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMASI ESTRAM ESKİŞEHİR

Estram teknolojisi:

- Araç Enerji Temini: Havai hat DC 750 V
- Havai Hat Yüksekliği: 5,90 m
- Havai Hat Güvenlik Yüksekliği: 4,40 m
- Araç Adı: Flexity Outlook
- Uzunluk: 29,5 m
- Ağırlık(boş): 35.800 kg
- Genişlik: 2,3 m
- Araç Yüksekliği: 3,5 m
- Motor Gücü: 105 kw dört adet motor
- Aracın Maksimum Hızı: 70 km
- Tramvaydan Tramvaya Aktarma Noktası: Çarşı durağı
- Hat Uzunluğu: 15 727 m
- Günde Taşınan Yolcu: 110.000 kişi...Pass (2004)
251.000 kişi...Pass (2020) 2.3 km/kişi...km/pass



Şekil 2: Eskişehir'de kullanılan tramvayın yapısı[10]

Eskişehir'in güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için önemli faktörlerden biride güneşlenme süreleri ve güneş ışınım şiddeti değerleridir. Eskişehir'in aylık ortalama güneşlenme süresine baktığımızda 5 ile 10. aylar arasında

güneşlenme sürelerinin uzun olduğu görülmektedir. Yine bu zaman aralığında ortalama güneşlenme süresine baktığımızda ortalama 12 saat güneşlenme süresi karşımıza çıkmaktadır. Yine Eskişehir 'in aylık güneş ışınım şiddetlerine baktığımızda 5 ile 10. aylar arasında en yüksek değerlerini yakaladığını görmekteyiz.

Eskişehir tramvay sistemine uygun olarak seçilmiş bir güneş enerji sistemi ile 105kW lık motor gücünü elde etmek oldukça zor olsa da, daha az güç isteyen klima ve ışıklandırma sistemlerinin güçlerinin elde edilmesinde güneş enerjisinde faydalanılabilir.

Estram güzargah haritasına baktığımızda hat üzerinde 27 adet tramvay durağı bulunmaktadır. Yine tramvay duraklarının üst kısımlarına uygun güneş panellerinin yerleştirilmesi ile duraklardaki ışıklandırmanın ve duraklarda bulunan otomatik kapıların elektrik güçleri sağlanabilir.



Şekil 3: Estram güzargah haritası

5. KAYNAKLAR

- [1]T.S. Uyar, Enerji Sorunu Nedir? Alternatif Enerji Çözümüdür. NEU-CEE 2001 Electrical, Electronic and Computer Engineering Symposium, 23-26, Lefkoşa TRNC,2001
- [2]Akkaya, A.V., Akkayakola, E., Dağtaş, A. , "Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel açıdan değerlendirilmesi",IV Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiri kitabı cilt I, Su vakfı Yayınları,İstanbul ,16-18 Ekim 2002
- [3]N.Öztürel, R.Zilan ve A.Ecevit, Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları için izlenmesi gereken strateji, planlama politikaları ve bunların sosyal ve siyasal etkileri. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu,28-32 İzmir 2001
- [4]Elektrik İşleri Etüt idaresi Genel Müdürlüğü Resmi internet sayfası,www.eie.gov.tr, erişim:nisan 2006
- [5]Şen, Z.,"Türkiye'nin Temiz Enerji İmkanları", Mimar ve Mühendis dergisi,Sayı:33,Nisan-Mayıs-Haziran,6-12,2004
- [6]İ.H. Tavman ve T.K. Önder, Türkiye'de Rüzgar Enerjisi Potansiyeli ve Kullanımı, Yenilenebilir Enerji kaynakları Sempozyumu, 316-323,İzmir 2001

[7]Güneş ve Rüzgar enerjisi, Devler Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Çalışmaları.

www.meteor.gov.tr/webler/arge/argealt25.htm

[8]A.Özdamar ve M.Solak, İzmir'de yapılan dört yıllık rüzgar ölçümlerine dayanan bir enerji değerlendirmesi III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 309-321, İstanbul

[9]M.G.Drahor,D.Kumlutaş ve G.Göktürkler Dünya'da ve Türkiye'de Jeotermal Enerji ve Kullanımı, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu,61-68, İzmir 2001.

[10] www.bombardier.com

YAPILAŞMADA GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIMI VE ESTETİK ÇÖZÜM ÖRNEKLERİ

Hacer MUTLU DANACI

R. Eser GÜLTEKİN

Akdeniz Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Antalya, Türkiye

hacermutlu@akdeniz.edu.tr

esergultekin@akdeniz.edu.tr

ÖZET

Fizikteki tanımıyla iş yapabilme gücüne enerji denir. Enerji, doğada çok değişik şekillerdedir. Ekosistemin temel enerji kaynağı güneştir ve evrendeki enerji miktarı sabittir, sadece değişik şekillerde bulunmaktadır. Küresel ısınmayla birlikte, başta Avrupa olmak üzere bir çok ülkede doğaya zararlı enerji türleri yerine yenilenebilir enerji türlerinin kullanımını artırma ve özendirme çabası vardır. Özellikle ülkemizde, iklimsel özelliklerden dolayı bol olan güneş enerjisinin yapılarda aktif ve pasif olarak kullanımıyla doğaya saygılı ekolojik yapılaşmanın yaygınlaşması söz konusudur. Ancak yapılaşmada güneş enerjisinin kullanımı, özellikle aktif güneş sistemlerinde gerekli olan geniş yüzeyli paneller, sübjektif de olsa mimari açıdan estetik kaygıları da beraberinde getirmektedir. Çalışmada teknoloji ile estetiği birleştirmeye çalışan özel tasarımlardan örnekler verilecektir.

Anahtar kelimeler: mimaride güneş enerji sistemleri, estetik.

1. GİRİŞ

Dünyanın enerji tüketimi büyük ölçüde kömür, petrol ve doğalgaz gibi hidrokarbon türü fosil kaynaklara dayanmaktadır. 2025 yılına kadar petrol ve doğalgaz talebinde artışın süreceği ve dünya enerji talebinin büyük kısmının fosil yakıtlardan sağlanacağı düşünülmektedir. Bugün dünyanın en önemli çevre sorunu küresel ısınmadır. Küresel ısınmanın başlıca sebebi fosil yakıtlardır. Fosil yakıt yanma emisyonlarının karbondioksit gibi sera gazlarını içermesi nedeniyle, atmosfer artan sera etkisi ile iklim değişikliklerine yol açabilecek bir küresel ısınma sürecini başlatmıştır. Karbondioksit emisyonlarının en büyük kaynağı ise ısıtma, soğutma ve elektrik üretim araçlarıyla yakılan fosil yakıtlardır. Türkiye fosil yakıt rezervleri bakımından zengin bir ülke değildir. Bilinen fosil yakıt rezervlerinin toplamı 2454 Mtep kadardır. Aksine tükenmez doğal kaynaklar potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemizde kullanılabilir ve/veya ekonomik boyutları ile 25 Mtep/yıl güneş, 50 TWh/yıl rüzgar ve 32 Mtep/yıl biomas enerji potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle Türkiye, yenilenebilir enerjiler üzerinde atılım yapmak için tüm doğal olanaklara sahip bir ülkedir ve güneş enerjisi Türkiye'nin en görkemli doğal kaynağıdır (Filik, 2004).

Başlıca yenilenebilir enerji türleri şunlardır:

- Güneş enerjisi,
- Rüzgar enerjisi,
- Biokütle enerjisi,
- Jeotermal Enerji,
- Hidrojen Enerjisi,
- Su kökenli enerjiler.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin mimaride kullanımı hakkında bilgi verilerek, özellikle aktif güneş sistemlerinde estetik kaygılarla üretilmiş örnekler değinilecektir.

2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

Güneş enerjisinin mimari yapılaşmada kullanım alanları çok çeşitlidir ve amaca göre değişmektedir. Örneğin;

- Yapılarda, ısı ve elektrige dayalı enerji isteminin bir kısmının karşılanması,
- Yapılarda aktif ısıtma ve iklimlendirme, toplu yerleşim ünitelerinde entegre sistemlerle ısı ve elektrigin üretilmesi,
- Kullanım suyu ısıtma, yüzme havuzu suyu ısıtma,
- Deniz suyu ya da kirlı suyun arıtılması,
- Gündüz ve gece aydınlatmasında güneş enerjisinin kullanılması sayılabilir.

Güneş enerjisi, yapılarda en çok kullanılan yenilenebilir enerji türüdür. Bu enerji ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanıldığı gibi, elektrik üretiminde de kullanılmaktadır. Güneş enerjisinin mimarlıkta kullanımına ilişkin çeşitli alternatifler vardır. Bunlardan en önemlileri (Tönük, 2001; Göksu, 2008):

- Pasif güneş sistem yoluyla güneşten enerji kazanılması (Kış bahçeleri, güney yönünde tasarlanan büyük cam yüzeyler vb.)
- Aktif güneş sistem yoluyla güneşten enerji kazanılması (Güneş kolektörleri),



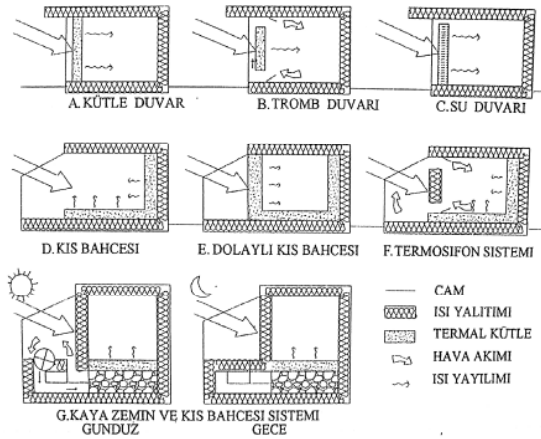
- Fotoelektrik değişim yoluyla elektrik enerjisi kazanılması (Güneş pilleri).

2.1. Pasif Güneş Sistemleri

Pasif güneş sistemler, güneşten enerji elde etmenin en basit yoludur (Tönük, 2001). Basit olarak güneydoğu, güney ve güneybatı yönünde açılan pencereler ve cam yüzeyler aracılığı ile toplanan ısının mekana dağıtılması ilkesine dayanmaktadır. Pasif sistemler; toplama, depolama ve dağıtım olmak üzere üç aşamalıdır (Roaf, 2001; Dedeoğlu, 2002).

- **Toplama:** Güneş ısısının toplanması için konutun güney-doğusundan güney-batısına kadar olan cephesinde geniş açıklıklı, çift camlı doğramalar, seralar, galeri ve atriumlarla gerçekleştirilir.
- **Depolama:** Güneş enerjisi depolandıktan sonra ısının bir kısmı anında kullanılmakta, kalan kısmı ise daha sonra kullanılmak üzere termal kütle olarak adlandırılan zemin ve duvarlara yayılmaktadır. Bu termal kütle, taş, tuğla veya sudan oluşturulabilmektedir.
- **Dağıtım** zeminde ve duvarlarda korunan ısı, ışınım ve taşıma yolu ile ortama yayılmaktadır. Taşıma için fanlar, vantilatörler de kullanılmaktadır.

Temel pasif güneş sistem mantığı ile geliştirilmiş farklı çözümler bulunmaktadır (Roaf, 2001; Filik, 2004) (Şekil 1).



Şekil 1. Pasif Güneş Sistem Türleri (Roaf, 2001; Filik, 2004).

- Kütle Duvarı:** Termal kütlede toplanan ısı mekanlara ısı difüzyonu yoluyla yayılmaktadır.
- Tromb Duvarı:** Hem a şikkındaki gibi ısı yalıtımı vardır, hem de termal kütle ile saydam cephe arasında sera etkisiyle oluşan sıcak hava kapaklar aracılığı ile mekanlara yayılmaktadır.

c) **Su Duvarı:** Masif duvara göre ısı tutuculuğu daha fazla olan su kütleleri termal kütle olarak kullanılmaktadır.

d) **Kış Bahçesi:** Kış bahçesi yapımıyla daha fazla ışınım içeriye alınmaktadır. Isıtılacak mekanlarla direkt olarak ilişki kurulmaktadır.

e) **Dolaylı Kış Bahçesi:** Kış bahçesi ile mekanlar arasında hava akımı yoktur. Sera etkisini artıran bir kış bahçesi sisteme eklenmektedir. Isı, termal kütlede difüzyon yolu ile yayılmaktadır.

f) **Termosifon Sistemi:** Dolaylı kış bahçesi sistemine kapaklar eklenerek, kış bahçesi ile yaşama mekanı arasında hava akımı yolu ile ısı transferi sağlanmaktadır.

g) **Kaya Zemin – Kış Bahçesi:** Kış bahçesinde yakalanan ısı, fanlar yardımıyla döşeme altındaki kayalarda depolanmak üzere pompalanmaktadır. Gece sıcak olması gereken hacmin küçültülmesi ve şeffaf bölümdaki ısı kayıplarından uzak durmak için havalandırma kapakları kapatılmalıdır. Sera etkisi yaratan kış bahçeleri kış ayları için uygun olmakla birlikte, yaz aylarında aşırı ısınmasına karşı önlemler olarak, güneş kırıcılar, yaprağını döken ağaçlar vb. kullanılmaktadır.

Yalnız tekil yapı bazındaki çözümler değil, kentin yönlenebilmesi, yer seçimi, sokakların düzenlenmesi gibi pek çok kriter dikkate alınmalıdır. Güneş enerjili kent sistemleri Anadolu’da yıllardan beri kullanılmaktadır. İklimle dengeli geleneksel yapılar incelendiğinde güneş enerjisinden olabildiğince yararlanan ekolojik prensiplere uygun kent dokularındır.

Göksu’ya (2008) göre, Anadolu’nun verileri dikkate alınarak güneş kent yaklaşımı 3 kategoride ele alınmaktadır. Bunlar:

- İklimle dengeli kent:** İklim faktörlerini kent yararına yorumlayan kentsel bir modeldir. İklimle dengeli kent planlaması ile 1/3 oranında fosil yakıt tasarrufu sağlanabileceği bilinmektedir. Anadolu’daki geleneksel yerleşimler iklim faktörlerine uygun olarak tasarlanmışlardır. Modern kentler ise planlama ve yapı tasarımındaki yanlışlardan dolayı yaz aylarında aşırı ısınmakta, kış aylarında ise aşırı soğumaktadır.
- Güneş mimarili kent:** Güneş enerjisinden daha fazla yararlanmak için, kentin çevre ile beraber değerlendirilmesi ve iklimin dengelenmesi yeterli değildir. Kenti oluşturan yapı adaları ve içinde bulunan binalarla kent yapısı da uygun hale getirilmelidir. Yapılan tahminler, kentin güneş mimarisine göre yapılması durumunda, ilave olarak 1/3 oranında enerji tasarrufu ya da güneş enerjisi elde etmenin mümkün olabileceğini göstermektedir.
- Tam güneş kent:** Etkin güneş kent modelinde, kentin enerji bakımından bağımsız hale getirilmesi hedeflenmektedir.

Bu yaklaşımda kentte pasif sistem dışında aktif sistemler de kullanılmaktadır. Tam güneş kentte ise, aktif ve pasif sistemler dışında, başta güneş olmak üzere bütün doğal enerji kaynaklarını bir bütün içinde kullanmak amaçlanmaktadır.

Ayrıca güneş kent modeli, modern mimari yerine, Anadolu'nun özgün mimari yaklaşımlarını ve kültürünü dikkate alarak, doğaya ve insana uyumlu güneş mimarisi sistemine geçilmesini önermektedir. Yerel mimaride doğal malzeme kullanıldığından, doğayla estetik açıdan uyumlu yerleşmeler görülmektedir.

2.2. Aktif Güneş Sistemleri

Aktif güneş sistemleri, teknik donanım yoluyla güneş enerjisinin kazanıldığı durumlar olarak tanımlanmaktadır. Güneş enerjisinden aktif sistemlerle iki şekilde faydalanılmaktadır (Tönük, 2001). Bunlar:

- Güneş ışınımından kazanılan ısı enerjisi kolektörlerde toplanarak, ısınma, su ısıtma vb. işlemlerde kullanılmaktadır. Güneş Kolektörleri: Sıcak su temininde ve ısıtma sistemlerine destek olarak kullanımı mevcuttur. Güneşten yayılan dağınık radyasyonun toplanması ve yoğunlaştırılması prensibi ile çalışan güneş kolektörleri, sisteme verilen soğuk suyun ısınmasını sağlamaktadırlar. Kolektörlerle elde edilen sıcak su, pompalanarak sıcak su kazanlarına ya da klima cihazlarının ısı jeneratörlerine aktarılabilir. b) Güneş enerjisi, elektrik enerjisine çevrilmektedir. Bu bağlamda kullanılan Fotovoltaik Güneş Panelleri: Fotovoltaik pillerin çalışma prensibi, güneş ışınmaları (fotonlar), plaka üzerindeki elektronları kopararak elektron akışı hareketine neden olmaktadır ve bu hareket sonucu direkt akım enerjisi oluşmaktadır. 1 m² fotovoltaik panel 2 ton CO₂ emisyonunu engellemektedir (Filik, 2004).

Teknolojik malzemeler oldukları için ilk yatırım maliyetleri yüksektir. Fakat ekolojik maliyetlerinin düşük olması ve ekolojik kazançlarının fazlalığı, fotovoltaik pilleri ekolojik tasarımın önemli bir parçası haline getirmektedir. Standart fotovoltaik (PV) güneş panelleri (güneş pilleri), 36 adet güneş pilinden oluşmaktadır ve en fazla 60 W elektrik gücü üretmektedir. Güneş pilinin üretildiği malzeme; cam, polyamid veya paslanmaz çelik bir levhaya lazerle yapıştırılmaktadır. Birbirine iletken tellerle bağlanan pillerin ön yüzeyi damperli cam gibi ısıya dayanıklı bir saydam tabaka ile kaplanırken, arka yüzeyi hava etkilerine karşı korunmaktadır. Modüller genellikle alüminyum bir çerçeve içine alındığı gibi, özel uygulamalar için çerçevesiz de üretilebilmektedir. Gri mavi tonlarda

renkleri mevcuttur. Ancak, özel üretimlerle istenilen renk elde edilebilmektedirler (Sev, 2007).

3. GÜNEŞ ENERJİSİ KULLANIM DEZAVANTAJLARI VE ESTETİK ÇÖZÜM ÖRNEKLERİ

İlk bakışta güneş enerjisi bütün enerji ihtiyacımızı karşılamada mükemmel bir sonuç gibi gözükse de, özellikle aktif güneş enerji sistemleri a) estetik, b) güneş enerjisinden faydalanabilmek için uygun alan gereksinimi ve yönlenme, güneş enerjisinin miktarı vb. c) güneş pillerinin üretimi için büyük yatırım giderleri gibi bazı dezavantajlara sahiptir.

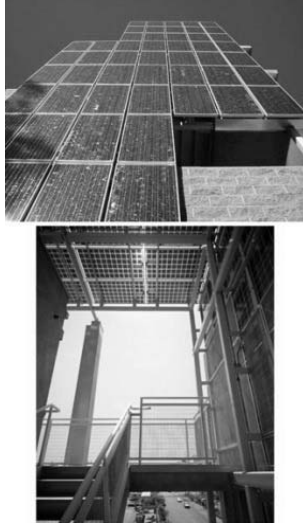
Estetik yönden bakış, aktif güneş enerjisi sistemlerinin sübjektif bir dezavantajıdır. Güneş panelleri, yeterli güneş ışığının sağlanması açısından en çok yapıların çatılarında kullanılmaktadır. Bu durumun, çoğu insanı görsel açıdan rahatsız ettiği bir gerçektir. Ayrıca panellerin sürekli temiz tutulabilmesi de mümkün değildir ve açılı yerleştirildiklerinden bir yapıya dışarıdan bakıldığında kolaylıkla algılanabilmektedirler. Bununla birlikte, güneş enerji sistemlerinin estetik problemleri kolaylıkla aşılabilecek dezavantajlarıdır.

Sahip olunan teknolojiyle, önceliklerden daha ince panellerle değişik tip çatı kiremitleri üretmek, duvar içine gizlemek, avluda güneşlikleri panellerle kaplamak gibi estetik kaygı taşıyan yeni üretimler dikkati çekmektedir. Paneller, artık tamamen kiremit yüzeyine adapte edilerek, çatı ile aynı renkte olduğundan kamufle edilebilmektedir (Brown, 2008).

Güneş panellerinin yapı cephesiyle bütünleşmiş şekilde kullanıldığı örnekler de mevcuttur (Şekil 2 ve 3).



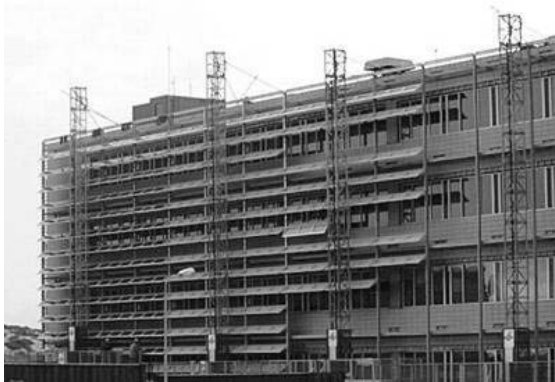
Şekil 2. Yapıda çatı kiremidine entegre edilmiş panel uygulaması (Anonim, 2008a).



Şekil 3. Colorado Court yapısının merdiven kısmındaki duvar tipi güneş panelleri (Anonim, 2008b).

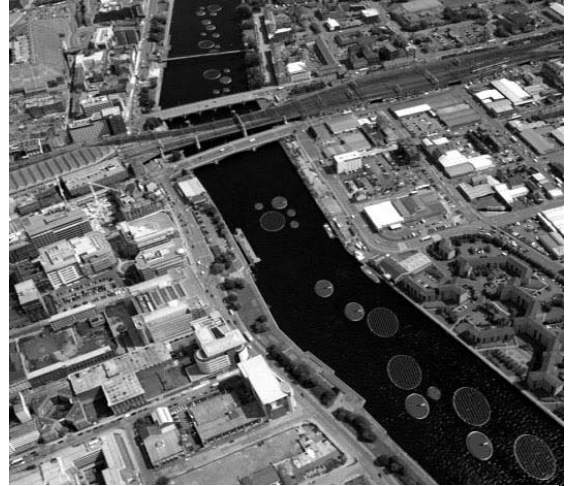
Güneş panellerinin yapı ile iyi bir şekilde kombine edildiği örnekler de mevcuttur. Örneğin, Hollanda'daki, "Building 31"de gölge elemanlarının üzerine yerleştirilerek, hem güneşin istenmeyen etkisinden korunma, hem de güneş enerjisinden elektrik üretimi sağlanmıştır (Şekil 4) (Anonim 2008c).

Fotovoltaik panellerinin yarı geçirgen olanları, pencerelerde, güneş kontrolü istenen bölgelerde, opak olanları ise, güneş ışığının içeri girmesi istenmeyen bölgelerde, parapetlerde, duvar yüzeylerinde kullanılmaktadır. Panellerin yapı yüzeyi ile bütünleştirilmesi için değişik yöntemler mevcuttur. İlk uygulamalarda düz ve eğimli çatılarda panellerin aşırı ısınması durumunda performans kaybı olmasından dolayı, düşey kabukta ya da doğrudan gölgelendirme elemanı olarak kullanılmıştır (Sev, 2007).



Şekil 4. Building 31 binası, Hollanda (Anonim, 2008c)

İngiltere'de Glasgow'da Clyde nehrinde estetik kaygılarla yerleştirilen güneş panelleri tropik su bitkileri referans alınarak "ZM Architecture" tarafından tasarlanmıştır. Kentte, estetik bir unsur olarak bu yapılaşma elemanları ile aynı zamanda enerji üretimi gerçekleştirilmektedir (Şekil 5) (Anonim, 2008d).

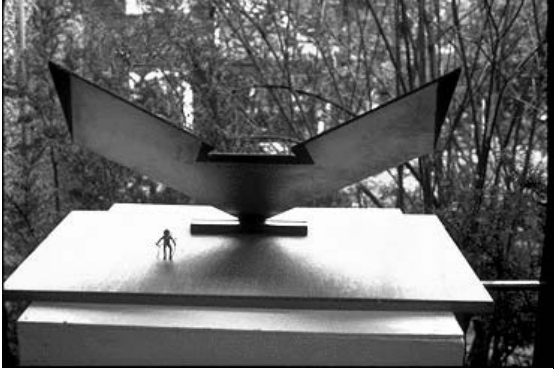


Şekil 5. "Solar Lily Pads" Glasgow'da Clyde nehrinde tasarlanan güneş panelleri (Anonim, 2008d).

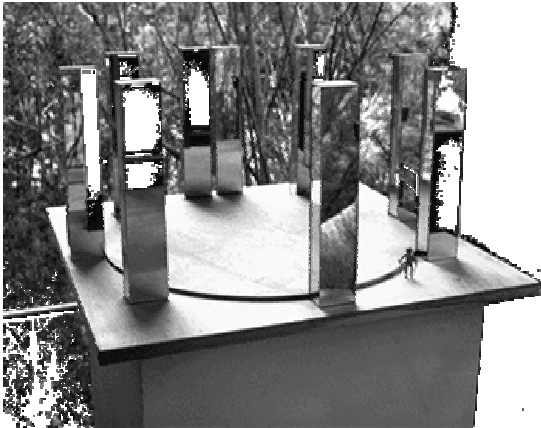
Herbert tarafından tasarlanan havuz ve "sun altar" adı verilen heykelin üst kısmı aynı zamanda güneş enerjisini toplayan paneldir (Şekil 6). Joan Webster tarafından tasarlanan hem özel hem de kamuya açık yeşil alanlarda, havuz suyu ya da sera ısıtması gibi fonksiyonlarda kullanılabilir bir heykeldir (Şekil 7). Şekil 8'de yer alan heykel de, hem estetik özellikler taşıyan hem de güneş enerjisinden faydalanmayı sağlayan bir peyzaj unsurudur. (Anonim, 2008e).



Şekil 6. "Sun Altar" kendi enerjisini kendi üreten havuz sistemine sahip su yapısı (Anonim, 2008e).



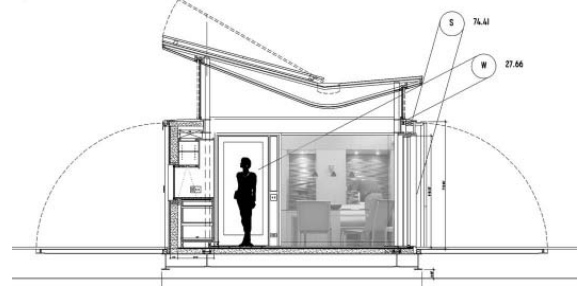
Şekil 7. Güneşten enerji üretebilen heykel (Anonim, 2008e).



Şekil 8. Güneşten enerji üretebilen peyzaj elemanı (Anonim, 2008e).

Virginia Tech Güneş evi, "Virginia Polytechnic Institute and State" Üniversitesinde mimarlar endüstri mühendisleri, iç mimarlar, mekanik ve elektrik mühendislerinden oluşan öğrenci grupları tarafından tasarlanmıştır. Enerji etkin sürdürülebilir güneş evi projesinde çatının ters eğimi sayesinde fotovoltaik paneller gizlenmiştir. Özel bir polikarbonat malzemeden yapılan duvarlarla yaz aylarında yapıdaki aşırı ısınmayı engellemekte ve yapıya dolaylı ışık sağlanmaktadır. Çatının alt kısmındaki yatay bant pencereler kış aylarında eğik

gelen güneş ışığını yapı içerisine almakta, yaz aylarında ise dik gelen güneş ışınlarının yapı içerisine direkt girmesi engellenmektedirler. Ayrıca paneller, güneş ışınlarının yaz ve kış aylarındaki açısına göre hareket ettirilebilmektedir (Şekil 9) (Dunay vd., 2006).



Şekil 9. Virginia Tech Güneş evinin kesiti (Dunay vd., 2006).

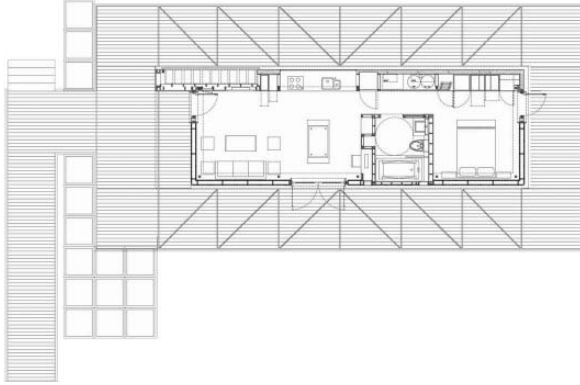
Ayrıca çatının ortasında toplanan yağmur olduğundan akan sular bahçedeki bitkisel arıtma sistemine ulaşmaktadır. Banyo duvarının dış kısmına soğuk kış ayları için ek duvar paneli yapılmıştır. Bu kısım, yapıya aynı zamanda estetik yönden bir hareketlilik katmıştır. Yapıya dışarıdan bakıldığında ters eğimli çatıdan dolayı paneller algılanmamakta ve böylece görüntü kirliliği oluşmamaktadır. Aynı zamanda bu çatı tipi sayesinde evin kontrollü güneş ışığı alması sağlanmaktadır (Şekil 10) (Dunay vd.).



Şekil 10. Virginia Tech Güneş evinin görünüşü (Dunay vd., 2006).

Yapının kuzey duvarında elektrik ekipmanlar, bataryalar, depolama alanları, mutfak, çamaşır yıkama gibi, teknik bölümleri çizgisel bir bant üzerinde tasarlanmıştır. Yemek odası bölümünden yapıyı bahçeye ve terasa bağlayan geniş cam kapılar aynı zamanda evin bahçeyle de bütünleşmesini sağlamaktadır. Evin diğer bahçeye açılan kapıları, yatak odasında ve yaşama bölümünde bulunan kapılar aynı zamanda iyi bir hava sirkülasyonu sağlamaktadır. Duvarlar; ışığı seçerek geçiren iç kısımları özel boyanmış, polikarbonattan kıvrılarak

yapılmış yarı geçirgen elemanlardır (Şekil, 11) (Dunay vd., 2006).



Şekil 11. Virginia Tech Güneş evinin planı (Dunay vd., 2006).

4. SONUÇ

Yenilenebilir enerjilerden olan güneş enerjisinin yapıda kullanımının son derece karmaşık, hatta bazen bilinen yapım ve tasarım kriterlerine ters düştüğü görülmektedir. Ancak özel tasarımlarla teknoloji ile estetiğin bütünleşmesini sağlamak mümkündür. Verilen örneklerde de görüldüğü gibi güneş enerji panellerinin yapılaşmış ya da doğal çevre ile uyumunun sağlanmasında tasarımcıların güneş panellerini gizlemek için renk, doku ve biçimin çevresiyle uyumlu hale getirilmesi, doğal çevrenin ya da yapılaşmış çevrenin taklit edilmesi ya da güneş panellerini yapının bir unsuru olarak tasarlanması, panellerinin özel üretimlerle bir heykel gibi tasarlanarak kullanılması gibi estetik ilkelere dayanan çözümler üretmeleri faydalı olacaktır. Tasarımcıların üretim şirketleri ile işbirliği içinde çalışmasıyla standart çözümlerin de üretilerek maliyetin düşürülmesi, uygulamanın yaygınlaştırılması açısından gerekli görülmektedir.

Türkiye'nin güneşlenme yönünden ne kadar zengin olduğu düşünüldüğünde, bu konudaki maliyet ve estetik problemlerin aşılması güneş enerjisinin kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Anonim, 2008a. www.solar.sharppusa.com.
Anonim, 2008b. www.leedcasestudies.usgbc.org.
Anonim, 2008c. www.iea-pvps.org.
Anonim, 2008d. www.news.bbc.co.uk.
Anonim, 2008e. www.asci.org/members/price.
Brown, J., 2008. Solar Panels is Get Aesthetics Designs, IOL Technology.
Dedeoğlu, N., 2002. Ekolojik Mimarlık Kapsamında Konut Tasarımlarının İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
Dunay R., Wheeler, J., Schubert, R., 2006. No Compromise, The Integration of Technology

- and Aesthetics, Journal of Architectural Education, Blackwell Publishing, pp. 8-17.
Filik, O.A., 2004. Ekolojik Tasarım ve Türkiye'deki Ekolojik Tasarım Örneklerinin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
Göksu, Ç., 2008. Küresel Isınma ve Türkiye'nin Güneş Projeleri, Güncel Yayıncılık, ss. 192.
Roaf, S., 2001. Eco House: A Design Guide, Architectural Press, pp. 352.
Sev, A., 2007. Teknolojinin Ekolojik Mimarlıktaki Rolü ve Enerji Etkin Yapılar, Ekolojik Mimarlık ve Planlama Sempozyumu, Antalya.
Tönük, S., 2001. Bina Tasarımında Ekoloji, Yıldız Teknik Üniversitesi, 133 ss.

ÇORUH HAVZASI'NDAKİ KÜÇÜK HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN DURUMU

¹Adem AKPINAR ²Murat İ. KÖMÜRCÜ ³Murat KANKAL ⁴Mustafa H. FİLİZ

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 29000, Gümüşhane.
^{2,3}Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 61080, Trabzon.
⁴Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Barajlar ve HES Daire Başkanlığı, 06100 Ankara.

¹e-posta: aakpinar@ktu.edu.tr, ²e-posta: mkomurcu@ktu.edu.tr, ³e-posta: mkankal@ktu.edu.tr,
⁴e-posta: mhalukfiliz@dsi.gov.tr

ÖZET

Bu çalışmada; temiz, yerli ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerjinin Türkiye'deki potansiyeli ve mevcut durumu irdelenmiş ve Türkiye'de hidroelektrik enerji potansiyeli bakımından önemli bir yer tutan Çoruh Havzası özel olarak incelenmiştir. Çoruh Havzası'nın küçük hidroelektrik enerji kurulu kapasitesi ve üretim potansiyeli tespit edilerek Türkiye'nin hidroelektrik enerji üretim kapasitesi ve potansiyeli ile karşılaştırılmıştır. Çoruh Havzası'nın küçük HES'lerinden (güç < 25 MW) üretilecek enerjinin, Türkiye'nin hidroelektrik enerji üretiminin %13.1'ine, DSİ (2004) ve Bakır (2005) tarafından belirlenen Türkiye'nin hidroelektrik potansiyelinin ise sırasıyla %3.6'sına ve %2.5'ine karşılık geldiği belirlenmiştir. Sonuç olarak, Çoruh Havzası'nda önemli bir küçük hidroelektrik potansiyelin bulunduğu ve bu potansiyelin 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu kapsamında özel sektör tarafından değerlendirilmeye başlandığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çoruh Havzası, Küçük HES'ler

1. GİRİŞ

Günümüzde sürekli olarak artan elektrik enerjisi talebi, dünyayı gittikçe tükenmekte olan ve çevreye olumsuz etkileri olan fosil yakıtlar yerine yenilenebilir yeni enerji kaynaklarına yönelmiştir. Dünya'da yeni enerji kaynaklarını kullanmadaki temel amaç doğayı korumak ve yaşanan ortamı daha iyi bir hale getirmektir. Yeryüzünde fosil yakıtların insan sağlığına verdiği zararlar ile neden olduğu sera gazlarının küresel ısınma ve iklim değişikliklerine yol açması, diğer yandan nükleer enerji kaynaklarının toplumsal, çevresel ve ekonomik açıdan oldukça maliyetli olması, ülkelerin öz kaynaklarını daha etkin biçimde kullanımının önemini artırmıştır. Teknolojilerinin giderek ucuzlaması ile hidroelektrik, rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, doğal dengenin korunmasıyla sürekli enerji kaynaklarının işlenmesi açısından günümüzde giderek önem kazanmakta ve ülkelerin enerji politikaları içerisinde önemli bir yer tutmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılan bu kaynaklar içinde en fazla tüketilene su gücüdür. Bu nedenle büyük güçlü hidroelektrik santrallerin yanı sıra küçük ölçekli santraller kurularak dünyada var olan su potansiyelinin verimli bir biçimde elektrik enerjisine dönüştürülmesinde yarar vardır. Büyük güçlü santraller çok ciddi bir yatırım maliyetine sahiptirler. Bunun yanı sıra, yapımları uzun yıllar almakta ve oluşturdukları büyük baraj göllerinin, iklim, çevre ve tarihi doku üzerinde olumsuz etkileri olabilmektedir. Bütün bunlar özellikle yüzölçümü ve

su kaynakları kısıtlı ülkeleri küçük hidroelektrik santraller kurmaya zorunlu kılmaktadır [1].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik santraller (HES) dünyadaki elektrik gereksiniminin yaklaşık olarak %17'sini karşılamaktadır. HES'lerin içinde de küçük ölçekli hidroelektrik santraller önemli bir yere sahiptirler [2].

Bu çalışmada; yenilenebilir bir enerji kaynağı olan hidroelektrik enerjinin Türkiye'deki potansiyeli ve mevcut durumu incelenmiş ve ayrıca Çoruh Havzası'ndaki çeşitli tasarım safhalarındaki küçük HES'lerin illere göre dağılımı, kurulu güçleri ve üretecekleri enerji miktarları belirlenmiştir. Havzadaki küçük HES'lerden elde edilecek enerji miktarı, Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeliyle karşılaştırılmış ve Türkiye'nin toplam hidroelektrik enerji üretiminin içerisindeki yeri araştırılmıştır.

2. HİDROELEKTRİK ENERJİ

İçinde bulunulan yüzyılın ortalarına kadar enerji tüketiminin ve özellikle de elektrik enerjisi tüketiminin artacağı tahmin edilmektedir. Bu sebeple, pek çok enerji kaynağından yararlanılma zorunluluğu ortaya çıkacaktır; ancak, çevresel faktörler sebebiyle, ihtiyaç duyulacak enerjinin önemli bir kısmının temiz ve yenilenebilir kaynaklardan ve özellikle de hidroelektrik enerjiden sağlanması kaçınılmaz görülmektedir [3].

Hidroelektrik enerji, hidroelektrik santrallerin ürettiği elektrik enerjisidir. Burada esas prensip, suyun



potansiyel enerjisini önce mekanik, sonra elektrik enerjisine çevirmektir. Tabii veya sunî olarak mevcut belli bir seviyedeki su, daha düşük seviyedeki türbinlere iletilir. Türbin çarklarına büyük bir hızla çarpan su, türbin milini döndürür ve dolayısıyla jeneratörü çalıştırır. Barajda biriken su yerçekimi potansiyel enerjisi içermektedir. Su, belli bir yükseklikten düşerken, enerjinin dönüşümü prensibine göre yerçekimi potansiyel enerjisi önce kinetik enerjiye (mekanik enerji) daha sonra da türbin çarkına bağlı jeneratör motorunun dönmesi vasıtasıyla potansiyel elektrik enerjisine dönüşür [4].

Genellikle akarsu santralleri şeklinde inşa edilen küçük ölçekli HES'lerde baraj yerine sadece türbine giden cebri borunun akarsuya bağlandığı noktada su yüksekliğini düzenleyen bir yapı bulunmaktadır. Dolayısıyla küçük ölçekli HES'ler, büyük ölçekli HES'lerin oluşturduğu (yerleşim birimleri ve tarihi eserlerin su altında kalması, ekolojik yapının bozulması vb.) olumsuz çevre etkilerine yol açmamaktadırlar. Küçük ölçekli HES'ler için uluslararası bir sınırlama bulunmamakla birlikte üst sınır 2.5MW ile 25MW arasında değişmektedir. Dünya çapında kabul görmüş üst sınır 10 MW olmasına karşılık Çin Halk Cumhuriyeti'nde bu sınır 25MW olarak kabul edilmiştir. Genel olarak küçük ölçekli HES'lerde 2 MW'ın altındaki güçler *mini*, 500kW'ın altındaki güçler *mikro-hidro* ve 10kW altındaki güçler ise *piko-hidro* olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma ülkelere göre farklılıklar göstermekle birlikte temel prensipler küçük ve büyük ölçekli HES'ler için aynıdır [2, 5, 6].

Türkiye'de Hidroelektrik Enerji:

Türkiye'de elektrik enerjisi, termik ve hidrolik kaynaklardan elde edilmektedir. 2007 yılı itibarıyla, Türkiye'de üretilen elektrik enerjisinin % 81'i termal, % 0.3'ü yenilenebilir (hidrolik hariç) ve % 18.7'si hidrolik enerji kaynaklarından karşılanmaktadır [7].

Türkiye'nin brüt hidroelektrik enerji potansiyeli 433 milyar kWh civarında olup, Türkiye'nin teknik hidroelektrik enerji potansiyeli 216 milyar kWh/yıl mertebesindedir [8]. Yılda yılda küçük farklılıklar göstermekle birlikte bugün için Türkiye'nin teknik ve ekonomik hidroelektrik potansiyeli 129.9 milyar kWh'dır. Bu potansiyelin % 35.5'i işletmede, % 11.1'i inşa halinde ve geri kalan % 53.4'ü çeşitli proje seviyelerinden oluşmaktadır [9, 10, 11].

Özellikle son yıllarda hidrolik üretiminin toplam elektrik enerjisi üretimi içerisindeki önemi giderek artmıştır. 1950 yılında toplam elektrik enerjisi üretiminin % 3.8'i hidrolik kaynaklardan sağlandığı halde, o yıldan sonra sürekli bir artış göstererek 1980'li yıllarda % 50'ler seviyesine kadar yükselmiş, ancak diğer enerji kaynaklarının (özellikle doğal gazla yönelik destekleyici politikaların) sisteme girmesiyle bu oran zamanla azalmıştır. Hidrolik kaynakların payı

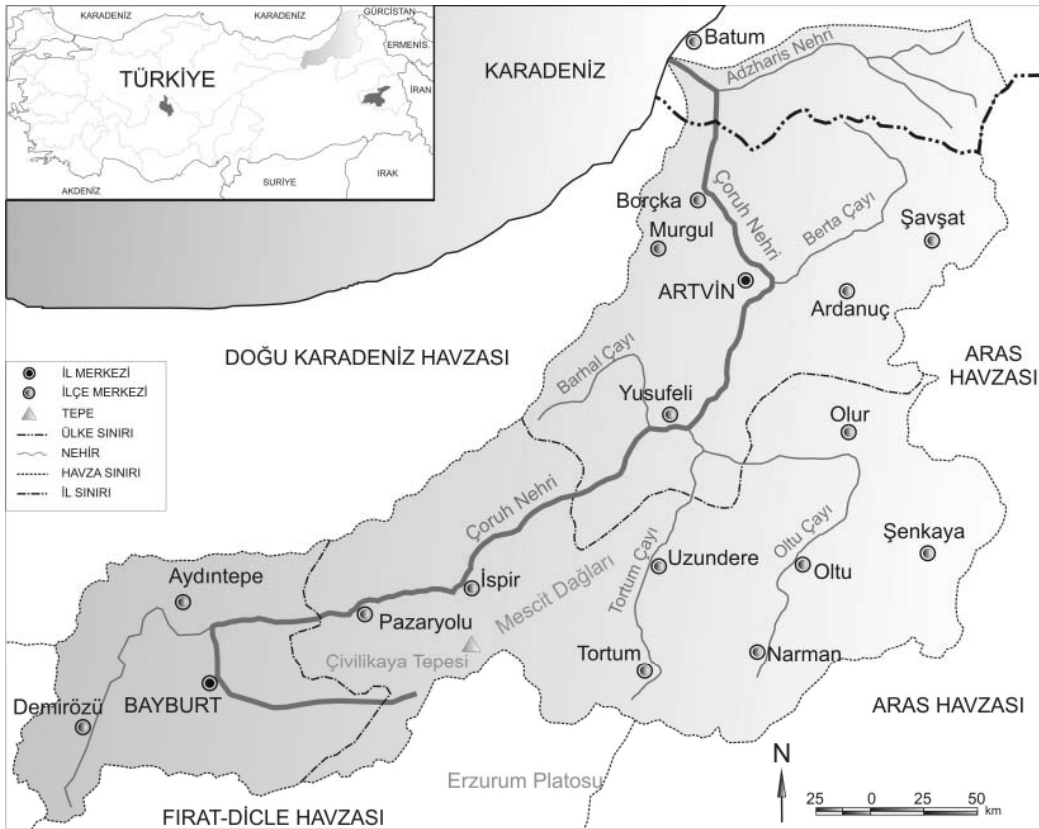
2004 yılında % 30.6 değerine çıksa da ilerleyen yıllarda düşüşünü devam ettirerek 2007 yılında % 18.7 seviyelerine kadar gerilemiştir. Türkiye'deki hidrolik potansiyelin tamamının devreye alınması durumunda dahil, 2020 yılındaki elektrik enerjisi talebinin yalnızca %23'ünün hidrolik potansiyelden karşılanması mümkün olabilecektir [12, 13].

Türkiye'de küçük hidroelektrik santraller hidroelektrik enerji üretiminde önemli bir potansiyele sahiptir. Türkiye'nin teorik olarak brüt küçük hidroelektrik potansiyeli 50000 GWh/yıl, teknik ve ekonomik yapılabilir küçük hidroelektrik potansiyelleri ise sırasıyla 30000 GWh/yıl ve 20000 GWh/yıl'dır [14, 15].

3. ÇORUH HAVZASININ KÜÇÜK HİDROELEKTRİK ENERJİ DURUMU

Havzanın Genel Karakteristikleri: Çoruh nehri, Erzurum Platosu'nun kuzeyinde Mescit dağlarında yer alan Çivilikaya Tepesi'nden doğmakta ve Türkiye'nin Doğu Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerine doğru akarak sonuçta Gürcistan'ın Batum şehri yakınlarından Karadeniz'e ulaşmaktadır (Şekil 1) [16]. Ancak, havzanın drenaj alanının (21100 km²) yaklaşık %91'i Türkiye'de yer alırken geri kalan yalnızca %9'luk kısım Gürcistan sınırları içerisinde yer almaktadır. Toplamda 427 km uzunluğunda olan Çoruh nehrinin ana kolları, Türkiye'de Tortum ve Oltu nehirleri ile Gürcistan'da Adzharis nehridir. Çoruh nehrinin 400 km'lik kısmı Türkiye'nin sınırları içerisinde yer alırken, Gürcistan ile Türkiye arasında 3 km'lik kısım kısa bir sınır oluşturmakta ve geri kalan 24 km'lik kısım da Gürcistan sınırları içerisinde akışını sürdürerek denize dökülmektedir. [17, 18].

Çoruh nehri, 3000 m'lik bir yükseklikte Mescit Dağları'nın batı kıyısından doğmakta ve Erzurum-Kars Platosu'nun kuzey batısına doğru uzanmaktadır. Batıya doğru aktıktan sonra, Bayburt ovasında keskin bir kavisle doğuya dönmekte ve daha sonra sahile yakın dağ silsilesini daha iç kesimdeki dağ zincirinden ayıran tektonik bir hat boyunca akışını sürdürmektedir. İspir'in doğu bölümünde yer alan Çoruh vadisi, Türkiye'deki en derin vadilerden biridir. Tektonik bir hat boyunca akışını sürdüren Çoruh nehri, Yusufeli ilçesini geçerek ve Oltu nehri ile kesişerek kuzeye doğru akmakta ve derin kanyonlara sahip dağlık bir araziye şekillendirmektedir. Artvin ilçe merkezine ve Borçka ilçesine doğru ilerledikten sonra Muratlı beldesi yakınlarında Türkiye'nin sınırlarını terk etmektedir. Gürcistan'ın yarı özerk ili Ajaria'nın başkenti olan Batum yakınlarında, çoğunlukla biriktirmiş olduğu alüvyonun oluşturduğu bir delta vasıtasıyla da Karadeniz'e dökülmektedir [17]. Çoruh havzası, Türkiye'de en fazla erozyona maruz kalan havzalardan biridir. Türkiye'nin nehirleri arasında en hızlı akan akarsuyu olan ve dünyanın en hızlı akan on nehrinden biri olarak kabul edilen Çoruh nehri, aynı



Şekil 1. Çoruh Havzasının Yer Bulduru Haritası

zamanda memba tarafında Laleli'den Gürcistan sınırına yakın olan mansapta Muratlı'ya kadarki bölümde enerji üretimi için 1420 m'lik bir toplam düşüye sahiptir.

Havzanın Küçük Hidroelektrik Santral Projeleri: Çoruh havzasında özel sektör, EİE ve DSİ tarafından planlanan ve gerçekleştirilen pek çok proje mevcuttur. Çoruh Havzası'nın hidroelektrik enerji potansiyelinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar Türkiye Hükümeti tarafından 1960'lı yılların sonlarına doğru gerçekleştirilmeye başlanılmıştır. 1982 yılında Çoruh Havzası Master Planı ve bunu takiben de Çoruh Havzası Gelişim Planı gerçekleştirilmiştir.

Türkiye'nin geleceği için çok önemli projeler demetini oluşturan Çoruh vadisinin ana kolu üzerinde 10 adet yan kollar üzerinde 5 adet olmak üzere toplamda 15 adet büyük ölçekli HES ve 22 adet nehir tipi HES tesisleri inşaatı planlanmış olup, toplam bu 37 projeden yılda yaklaşık 10.545 TWh'lik enerji üretimi gerçekleştirilecektir. Bu kapasite, Türkiye'nin yıllık hidroelektrik enerji üretiminin (2007 yılında 35.85 TWh) %29.4'üne karşılık gelmektedir. Bunun yanında özel sektörün de planladığı projeler de hesaba katıldığında Çoruh Havzası'nın toplam hidroelektrik enerji potansiyelinin yaklaşık olarak 14.4 TWh/yıl olacağı tahmin edilmektedir. Bu

durumda Çoruh havzası'nın hidroelektrik enerji kapasitesi, Türkiye'nin yıllık hidroelektrik enerji üretiminin (2007 yılında 35.85 TWh) %40.2'sini kapsamaktadır.

Çoruh Havzası Gelişim Planı kapsamındaki küçük hidroelektrik santral projelerinin havzada toplam kurulu güçleri ve üretecekleri enerji miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Bu tabloya göre, Çoruh Havzası Gelişim Planı kapsamındaki küçük HES potansiyeli toplamda 812.16 GWh/yıl (203.52 MW)'dır.

Çoruh Havzası Gelişim Planı projelerinin dışında, 4628 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun yürürlüğe girmesiyle, özel sektör tarafından gerçekleştirilen enerji santral başvurularıyla Çoruh havzasındaki hidroelektrik enerji potansiyelinin devreye sokulmasına başlanılmıştır. Çoruh Havzası'ndaki özel sektör tarafından çeşitli tasarım seviyelerinde geliştirilen küçük hidroelektrik santral projelerinin havzada iller bazındaki sayıları, toplam kurulu güçleri ve üretecekleri enerji miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo, iller bazında santral sayıları açısından değerlendirildiğinde; Artvin'de toplam 58, Erzurum'da 55 ve Bayburt'ta ise 4 adet hidroelektrik santral projesi bulunduğu

görülmektedir. Tüm havzada toplam 117 adet santral projesi mevcuttur.

Tablo 1. Çoruh Havzası'nda EİE ve DSİ Tarafından Geliştirilen Küçük HES Projeleri (Güç < 25 MW) [19]

Proje Durumu	Proje Adı	İl	Güç (MW)	Enerji (GWh/yr)
Fizibilite raporu hazır	Tortum II HES	Erzurum	8	42.3
	Erenler HES	Artvin	19	89
Master planı hazır	İkizkavak HES	Artvin	20	73
Ön inceleme raporu hazır	Çayaşan HES	Erzurum	17	84
	Ardıçlı HES	Erzurum	6.25	20.08
	Çayırözü HES	Erzurum	3.92	13.32
	Özlüce HES	Erzurum	18	61
	Yedigöl HES	Erzurum	11	42
	Aksu HES	Erzurum	21	94
	Sırakonaklar HES	Erzurum	11	43
	Öğdem HES	Artvin	18	69
	Ardanuç HES	Artvin	8.3	21.7
	Meydancık HES	Artvin	17	65.87
	Şavşat HES	Artvin	11	41.14
	Aydın HES	Artvin	1.5	5.15
	Dipçin HES	Artvin	4.14	14.47
	Kızıl HES	Erzurum	1.46	5.7
Kocaklar HES	Erzurum	3	10.63	
Şehir HES	Erzurum	1.24	6.14	
Tapsur HES	Erzurum	1.65	6.28	
Tünkeş HES	Erzurum	1.06	4.38	
Küçük HES Potansiyeli (EİE ve DSİ tarafından planlanan)			203.52	812.16

Tablo 2. Çoruh Havzası'nda Özel Sektör Tarafından Geliştirilen Küçük HES Projeleri (Güç < 25 MW) [20, 21, 22]

İl	Proje Durumu	Proje Sayısı	Güç (MW)	Enerji (GWh/yıl)
Artvin	Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmış	9	123	418
	Fizibilite Raporu Hazır	30	432	1509
	Ön İnceleme Raporu Hazır	19	99	273
Bayburt	Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmış	1	13	45.2
	Fizibilite Raporu Hazır	-	-	-
	Ön İnceleme Raporu Hazır	3	18.8	67.3
Erzurum	Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmış	20	320.17	629.66
	Fizibilite Raporu Hazır	21	251.2	795.2
	Ön İnceleme Raporu Hazır	14	55.01	121.54
Küçük HES Potansiyeli (Özel Sektör tarafından planlanan)			1312.18	3858.90

Çoruh Havzası küçük hidroelektrik santral projelerinin iller bazında Artvin'de toplam 654 MW, Erzurum'da 626.38 MW ve Bayburt'ta ise 31.8 MW'lık kurulu güçlere sahip oldukları belirlenmiştir. Tüm havza için kurulu güç ise 1312.18 MW'dır.

Çoruh Havzası küçük hidroelektrik santral projelerinin iller bazında Artvin'de toplam 2200 GWh, Erzurum'da 1546.4 GWh ve Bayburt'ta ise 112.5 GWh'lık enerji üretim potansiyellerine sahip oldukları belirlenmiştir. Havzada özel sektör tarafından geliştirilen projelerden üretilecek toplam enerji miktarı ise 3858.9 GWh'dır.

Havzada en büyük kurulu güç ve üretilebilecek enerji miktarı, Artvin ilinde olacaktır. Bu ili Erzurum ve Bayburt izlemektedir. Bu çalışmada, Artvin, Erzurum ve Bayburt illerinin küçük HES potansiyelleri belirlenmemiştir. Bu illerin Çoruh Havzası'ndaki küçük HES potansiyelleri incelenmiştir. Bundan dolayı, tek tek illerin küçük HES potansiyelleri, bu illerin diğer havzalarda da bazı bölümlerinin olmasından dolayı muhtemelen daha yüksek değerde olacağı açıktır. Tüm il sınırlarının dikkate alınması durumunda, bu iller için kurulu güç ve üretilecek enerji miktarları muhtemelen artacaktır.

Çoruh Havzası'nda, özel sektör tarafından geliştirilen ve günümüz itibarıyla işletmede olan küçük HES'ler de mevcuttur. Artvin ili sınırları içerisinde özel sektör tarafından gerçekleştirilen ve işletmede olan 2 hidroelektrik santralin (Murgul ve Esenal HES) toplam kurulu gücü 5 MW iken toplam enerji üretimi 10 GWh/yıl'dır. Sonuç olarak, Çoruh havzası'nın küçük HES potansiyeli, EİE ve DSİ tarafından geliştirilen projeler ve özel sektör tarafından geliştirilen ve işletme de olan bütün projeler dahil 4681.06 GWh/yıl ve kurulu gücü ise 1520.7 MW'dır.

Projelerin Türkiye'nin Hidroelektrik Enerji Üretimi ve Potansiyeli Bakımından Değerlendirilmesi: Çoruh Havzası küçük HES projelerinin, Türkiye'de mevcut bulunan hidroelektrik kurulu güç ve üretilen enerji miktarıyla karşılaştırması Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Çoruh Havzası'nın, Türkiye'nin mevcut hidroelektrik enerji kurulu gücü ve ürettiği enerji miktarıyla karşılaştırılması

	Kurulu güç (MW)	Toplam enerji (GWh/yıl)
Çoruh Havzası	1520.70	4681.06
Türkiye (TEİAŞ, 2009)	13394.90	35850.80

Tablo incelendiğinde; Çoruh Havzası'ndaki projelerin, Türkiye'deki mevcut kurulu gücün yaklaşık % 11.4'üne, üretilecek enerjinin ise % 13.1'ine karşılık geldiği görülmektedir. Türkiye'nin enerji ithal eden bir ülke olduğu düşünüldüğünde, özel sektör tarafından geliştirilen veya geliştirilecek bu projelerin çevre boyutu da dikkate alınarak bir an önce hayata geçirilmesinin ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Çoruh Havzası küçük HES projelerinin, Türkiye'deki toplam potansiyelle karşılaştırması, Tablo 4'te verilmiştir. Karşılaştırmalarda, DSİ ve Bakır'ın verileri kullanılacaktır [23, 24].

Tablo 4. Çoruh Havzası'nın küçük HES projelerinin Türkiye'nin hidroelektrik enerji potansiyeliyle karşılaştırılması

	Toplam enerji (GWh/yıl)
Çoruh Havzası	4681.06
Türkiye (DSİ, 2004)	129900
Türkiye (Bakır, 2005)	188000

Tablo incelendiğinde; Çoruh Havzası'ndaki projelerin, Türkiye potansiyelinin, üretilecek enerji bakımından DSİ [23] verileri dikkate alındığında % 3.6'sına, Bakır'ın [24] verileri dikkate alındığında % 2.5'ine karşılık geldiği görülmektedir. Türkiye potansiyeli ile yalnızca Çoruh Havzası'nın küçük HES potansiyeli kıyaslandığında küçük bir yüzde ile karşılaşılmasına karşın, bu çalışmanın bulgularına göre Çoruh Havzası'nda büyük ölçekli ve küçük ölçekli önemli bir HES potansiyelinin devreye sokulmaya çalışıldığı anlaşılmaktadır.

4. SONUÇLAR

Günümüzde sürekli olarak artan elektrik enerjisi talebi, dünyayı gittikçe tükenmekte olan ve çevreye olumsuz etkileri olan fosil yakıtlar yerine yenilenebilir yeni enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan hidroelektrik enerji, günümüzde dünyadaki elektrik gereksiniminin yaklaşık olarak %17'sini karşılamaktadır. Küçük ölçekli hidroelektrik santraller de bu potansiyel içerisinde önemli bir yer tutmaktadırlar. Hidroelektrik enerjinin Türkiye'deki potansiyelinin ve mevcut durumunun incelendiği ve özellikle Çoruh Havzası'ndaki çeşitli tasarım safhalarındaki küçük HES'lerin gelişiminin değerlendirildiği bu çalışmada, şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Türkiye'de elektrik enerjisi, termik ve hidrolik kaynaklardan temin edilmektedir. 2007 yılı itibarıyla, Türkiye'de üretilen elektrik enerjisinin % 81'i termal, % 0.3'ü yenilenebilir (hidrolik hariç) ve % 18.7'si hidrolik enerji kaynaklarından karşılanmıştır.

- Yıllan yıla küçük farklılıklar göstermekle birlikte bugün itibarıyla Türkiye'nin teknik ve ekonomik hidroelektrik potansiyeli 129.9 milyar kWh'dır. Bu potansiyelin % 35.5'i işletmede, % 11.1'i inşa halinde ve geri kalan % 53.4'ü çeşitli proje seviyelerinden oluşmaktadır.

- Türkiye'nin geleceği için çok önemli projeler demetini oluşturan Çoruh Vadisi Gelişim Projeleri ile toplam 37 projeden (biriktirmeli ve biriktirmesiz) yılda yaklaşık 10.545 TWh'lik enerji üretimi gerçekleştirilecektir. Bunun yanında özel sektörün de planladığı projeler de hesaba katıldığında Çoruh Havzası'nın toplam hidroelektrik enerji potansiyelinin yaklaşık olarak 14.4 TWh/yıl olacağı tahmin edilmektedir. Bu kapasite, Türkiye'nin yıllık hidroelektrik enerji üretiminin (2007 yılında 35.85 TWh) %40.2'sine karşılık gelmektedir.

- Çoruh havzası'nın küçük HES potansiyeli ise, EİE ve DSİ tarafından geliştirilen projeler ve özel sektör tarafından geliştirilen ve işletmede olan bütün projeler dahil 4681.06 GWh/yıl ve kurulu gücü ise 1520.7 MW'dır.

- Çoruh Havzası'ndaki bu projelerin, Türkiye'deki mevcut hidroelektrik enerji kurulu gücünün yaklaşık % 11.4'üne, üretilecek enerjinin ise % 13.1'ine karşılık geldiği tespit edilmiştir.

- Bu projelerin, Türkiye'nin hidroelektrik potansiyelinin üretilecek enerji bakımından DSİ'nin verilerinin dikkate alınması durumunda % 3.6'sına, Bakır'ın verilerinin dikkate alınması durumunda ise % 2.5'ine karşılık geldiği belirlenmiştir.

- Türkiye'nin ve Çoruh Havzası'nın büyük ölçekli ve küçük ölçekli HES potansiyelleri dikkate alındığında, bu havzada önemli bir potansiyelin devreye sokulmaya çalışıldığı anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Demirci, E., Şenlik, İ., Atalay, T., (2007), Hidroelektrik Enerji Üretimi İçin Bir Uygulama Çalışması, IV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 31 Ekim- 2 Kasım, Gaziantep.
- [2] Paish, O., (2002), Small Hydro Power: Technology and Current Status, Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol.6, pp 537-556.
- [3] Kaplan, H., Üçüncü, O., Saka, F., Kankal, M., Yüksek, Ö., (2006), Türkiye'nin Küçük Ölçekli Hidroelektrik Enerji Potansiyeli ve Doğu Karadeniz Bölgesi Örneği, VI. Ulusal

- Temiz Enerji Sempozyumu, 25-27 Mayıs, Isparta.
- [4] Filik, Ü. B., Kurban, M., Aydın, G., Hocaoglu, F. O., (2007), Eskişehir'deki Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyel Analizi, IV. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 31 Ekim – 2 Kasım, Gaziantep.
- [5] Frey, G. W., (2002), Hydropower as a Renewable and Sustainable Energy Resource Meeting Global Energy Challenges in a Reasonable Way, Energy Policy, Vol.30, pp.1261-1265.
- [6] Aslan, Y., Yaşar, C., Karabörk, M. Ç., (2004), Bir Mikro-hidro Örneği: Kayaboğazı Barajı, Elektrik – Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 8-12 Aralık, Bursa.
- [7] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ), (2009), Türkiye Elektrik Üretim – İletim İstatistikleri, Ankara.
- [8] Balat, H., (2007), A renewable perspective for sustainable energy development in Turkey: The case of small hydropower plants. Renewable & Sustainable Energy Reviews. Vol 11. pp.2152-2165.7.
- [9] Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE). (2007). EİE Tarafından Gerçekleştirilen Hidroelektrik Santral Projeleri, Ankara.
- [10] Kömürcü, M. İ., Akpınar, A., (2009), Hydropower energy versus other energy sources in Turkey. Energy Sources: Part B, Kabul edildi.
- [11] Akpınar, A., (2007), Dünya, Avrupa Birliği ve Türkiye'nin toplam elektrik ve hidroelektrik enerji üretim projeksiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [12] Uzlü, E., Filiz, M. H., Kömürcü, M. İ., Akpınar, A., Yavuz, O., (2008), Doğu Karadeniz Havzası'ndaki Küçük Hidroelektrik Santrallerin Durumu, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008, 17-19 Aralık, İstanbul.
- [13] Gençoğlu, M. T., ve Cebeci, M., (2001), Büyük hidroelektrik santraller ile küçük hidroelektrik santrallerin karşılaştırılması, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 18-20 Ocak, İzmir.
- [14] European Small Hydropower Association (ESHA), (2004) Small hydropower situation in the new EU member states candidate countries, thematic network on small hydropower (TNSHP) project. Renewable Energy House. Rue du Trone 26, 1000 Brussel, Belgium (<http://www.esha.be>).
- [15] Punys, P., Pelikan, B., (2007), Review of small hydropower in the new member States and Candidate Countries in the Context of the Enlarged European Union. Renewable & Sustainable Energy Reviews. Vol 11. pp.1321-1360.
- [16] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), (2006), Yusufeli dam and hydropower plant project. Chapter I: Introduction. Environmental impact assessment, draft final report. Ankara.
- [17] Kibaroglu, A., Klaphake, A., Kramer, A., Scheumann, W., Carius, A., (2005), Cooperation on Turkey's transboundary waters. Status report commissioned by the German Federal Ministry for Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Project No: 903 19 226. Berlin, Germany.
- [18] Sucu, S., Dinç, T., (2008), Çoruh Havzası Projeleri, TMMOB II. Ulusal Su Politikaları Kongresi, 20-22 Mart. Ankara.
- [19] Saraç, M., Eciroğlu, O., (2008). Çoruh Havzası ve EİE. Su ve Enerji Konferansı. 25-26 September. Artvin.
- [20] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), (2008a). DSİ XXVI. Bölge Müdürlüğü 2008 yılı Takdim Raporu. Artvin.
- [21] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), (2008b). DSİ VIII. Bölge Müdürlüğü 2008 yılı Takdim Raporu. Erzurum.
- [22] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), (2008c). DSİ XXII. Bölge Müdürlüğü 2008 yılı Takdim Raporu. Trabzon.
- [23] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), (2004). Dünden Bugüne DSİ 1954-2004. DSİ Genel Müdürlüğü, Etüt ve Plan Daire Başkanlığı, Ankara.
- [24] Bakır, N., N., (2005). Turkey's Hydropower Potential Review of Electricity Generation Policies from EV Perspective. (<http://www.ere.com.tr>).

Sponsor Kuruluşlar

