

Aralık'15 December'15

Sayı/Number: 10 Cilt/Volume: 5
Yıl/Year: 2015
ISSN: 1309-5501

Yayın Sahibi

TMMOB Elektrik Mühendisleri
Odası adına
Hüseyin YEŞİL

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü

Hüseyin ÖNDER

Yayın İdare Merkezi

İhlamur Sokak No: 10 Kat: 3
Kızılay/Ankara
Tel: (0312) 425 32 72
Faks: (0312) 417 38 18
<http://bilimseldergi.emo.org.tr>
bilimseldergi@emo.org.tr
EMO üyelerine parasız dağıtılır

Teknik Editör

E. Orhan ÖRÜCÜ

Teknik Sekreteryası

Oylum YILDIR

Yayın Türü

Yerel süreli yayın
6 ayda bir yayınlanır

Basım Adedi

5000

Basım Tarihi

Aralık 2015

Sayfa Düzeni

PLTİR

Planlama Yayıncılık Reklamcılık
Turizm İnşaat Tic. Ltd. Şti.
Yüksel Cad. No: 35/12 Yenışehir-Ankara
Tel: (0312) 432 01 83-93 Faks: (0312) 432 54 22
e-posta: plarttd@gmail.com

Baskı Yeri

MATTEK MATBAACILIK
Basım Yayın Tanıtım Tic. San. Ltd. Şti.
Ağaç İşleri San. Sif. 1354 Cad. (21.Cad.)
1362 Sok. (601 Sok). No:35 İvedik/ANKARA
Tel: (0312) 433 23 10 Pbx Faks: (0312) 434 03 56
e-posta: mattekmatbaa@yahoo.com.tr

EMO BİLİMSEL DERGİ

Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal
Mühendisliği Bilimsel Dergisi

The Journal of Electrical, Electronics, Computer and
Biomedical Engineering

YAYIN KURULU

BAŞ EDITÖR/EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. A. Hamit SERBEST
Çukurova Üniversitesi

EDİTÖRLER/EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Tayfun AKGÜL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Murat EYÜBOĞLU
Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. H. Altay GÜVENİR
Bilkent Üniversitesi

Prof. Dr. Güven ÖNBİLGİN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası

UCTEA/Chamber of Electrical Engineers

EMO BİLİMSEL DERGİ

Elektrik, Elektronik, Bilgisayar, Biyomedikal
Mühendisliği Bilimsel Dergisi

The Journal of Electrical, Electronics, Computer
and Biomedical Engineering

YAYIN KURULU

BAŞ EDİTÖR/EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. A. Hamit SERBEST
Çukurova Üniversitesi

EDİTÖRLER/EDITORIAL BOARD

Prof. Dr. Tayfun AKGÜL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Murat EYÜBOĞLU
Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. H. Altay GÜVENİR
Bilkent Üniversitesi

Prof. Dr. Güven ÖNBİLGİN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

DANIŞMA KURULU

Prof.Dr. Metin AKAY	Arizona State University	Prof.Dr. Oya KALIPSIZ	Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof.Dr. Mehmet AKŞİT	Twente University	Prof.Dr. İrfan KARAGÖZ	Gazi Üniversitesi
Müjdat ALTAY	Netaş	Prof.Dr. Aydın KÖKSAL	Bilişim A.Ş.
Prof.Dr. Ayhan ALTINTAŞ	Bilkent Üniversitesi	Fikret KÜÇÜKDEVECİ	Tepa A.Ş.
Prof.Dr. Volkan ATALAY	ODTÜ	Prof.Dr. Kemal LEBLEBİCİOĞLU	ODTÜ
Serdar BOZKURT	SIEMENS	Turgay MALERİ	Gate Elektronik
Prof.Dr. Alinur BÜYÜKAKSOY	Okan Üniversitesi	Dr. Ahmet MEREV	TÜBİTAK UME
Prof.Dr. Işık ÇADIRCI	Hacettepe Üniversitesi	Prof.Dr. Banu ONARAL	Drexel Üniversitesi
Doç.Dr. Hakan ÇAĞLAR	Anel	Prof.Dr. Sermin ONAYGİL	İTÜ
Dr. Semih ÇETİN	Cybersoft	Prof.Dr. M. Bülent ÖRENCİK	İTÜ
Prof.Dr. İnci ÇİLESİZ	İTÜ	Prof.Dr. Aydoğan ÖZDEMİR	İTÜ
Bülent DAMAR	Pelka	Prof.Dr. Erdal PANAYIRCI	Kadir Has Üniversitesi
Prof.Dr. Oğuz DİKENELLİ	Ege Üniversitesi	Prof.Dr. Bülent SANKUR	Boğaziçi Üniversitesi
Doç.Dr. Ali Hikmet DOĞRU	ODTÜ	Tarkan TEKCAN	Vestel
Dr. Hakan ERDOĞMUŞ	ODTÜ	Dr. Erkan TEKMAN	
Prof.Dr. Muammer ERMİŞ	ODTÜ	Prof.Dr. Belgin TÜRKAY	İTÜ
Prof.Dr. Osman EROĞUL	ODTÜ	Ahmet Tark UZUNKAYA	Entes A.Ş.
Prof.Dr. H. Bülent ERTAN	Boğaziçi Üniversitesi	Prof.Dr. Yekta ÜLGEN	Boğaziçi Üniversitesi
Doç.Dr. H. Özcan GÜLÇÜR	Bilkent Üniversitesi	Davut YURTTAŞ	
Prof.Dr. Yusuf Ziya İDER	İşık Üniversitesi		
Prof.Dr. Yorgo İSTEFANAPULOS			

İÇERİK/CONTENTS

Önsöz

A. Hamit Serbest

Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Enterkonnekte Sistemde PSS/E ile Modellenmesi.....33

Wind Power Plants in Interconnected System Modelling with PSS/E

Halil İbrahim Aydınöz, Orhan Ekren

Binalardaki Fotovoltaik Uygulamasının Teknik, Çevresel ve Ekonomik İncelenmesi: Meram Tıp Fakültesi Hastanesi Örneği..... 41

*Technical, Environmental and Financial Review of Photovoltaic Applications for Buildings:
Meram Medical Faculty Hospital*

Rıza Büyükzeren, Hasan Basri Altıntaş, Kerim Martin, Ali Kahraman

Diyarbakır İli İçin Güneş Enerjisi Verilerinin Meteorolojik Standartlarda Ölçülmesi ve Analizi 47

*The Measurement and Analysis of Solar Data as Meteorological Standard for Diyarbakır
City*

Hibetullah Kılıç, Bilal Gümüş, Musa Yılmaz

Güneş Bacası Sisteminden Elektrik Üretim Verimliliğinin İncelenmesi 53

Investigating Electrical Production Efficiency of Solar Chimney

Yasin İçel, M. Salih Mamiş, Abdulcelil Buğutekin



ÖNSÖZ

EMO Bilimsel Dergi, bu sayısı ile beraber beşinci yılını tamamlamaktadır. Geçtiğimiz beş yıl süresince EMO Bilimsel Dergi'nin çıkan on sayısından dört tanesi; Elektrik Makinaları, SAVTEK, ELECO ve YEKSEM başlıkları ile Özel Sayı olarak basılmıştır.

Bu sayımız VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM) Özel Sayısı olarak hazırlanmıştır. EMO tarafından Çukurova Üniversitesi ve Mustafa Kemal Üniversitesi'nin desteğiyle düzenlenen YEKSEM, 15-16 Ekim tarihlerinde Çukurova Üniversitesi Mithat Özsan Amfisi'nde gerçekleştirilmiştir.

Sempozyumda sunulan makaleler arasından, Sempozyum Düzenleme Kurulu Başkanı Prof. Dr. Belgin Emre Türkay tarafından seçilen, akademik özgünlüğü ve bilimsel yeterliliği yüksek olan bildirilerin sahiplerine çağrı yapılmış ve makalelerinin EMO Bilimsel Dergi'de değerlendirilmesi için başvuru yapmaları istenmiştir. Bildirilerin Sempozyum'da sunulan hallerinden daha genişletilmiş şekilde, EMO Bilimsel Dergi'nin yazım kurallarına göre hazırlanıp gönderilmesi istenmiştir. Makalelerin tamamı, Yayın Kurulu Üyemiz Prof. Dr. Güven Önbilgin'in editörlüğünde en az iki hakeme gönderilmiş ve bu hakemlerin görüşleri doğrultusunda karar verilerek yayına çıkarılmıştır. Bu özel sayımızın hazırlanmasında, başta Sayın Prof. Dr. Belgin Emre Türkay olmak üzere, katkısı olan tüm meslektaşlarımıza teşekkür ediyoruz.

2015 yılı sonu itibarıyla sadece Elektrik, Elektronik, Bilgisayar ve Biyomedikal alanlarında çıkarılan ve Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi'nin (ULAKBİM) "Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı"nda taranan yalnızca iki dergi bulunmaktadır. Biri İstanbul Üniversitesi tarafından çıkarılan "İstanbul University Journal of Electrical and Electronics Engineering" ve diğeri ise TÜBİTAK'ın çıkardığı "Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences" dergileridir. Dolayısıyla, ULAKBİM tarafından taranan ve Türkçe yayın yapan ilk ve tek dergi "EMO Bilimsel Dergi"dir.

Üniversitelerarası Kurul Başkanlığı'nın 31.12.2015 tarihinde yayımladığı ve 2016 Ekim Dönemi Doçentlik Sınavı Başvuruları'ndan itibaren geçerli olacak "Doçentlik Sınavı Başvuru Şartları" çerçevesinde artık TÜBİTAK ULAKBİM TR Dizin kapsamında yer alan dergiler de puanlamaya dahil edilmiştir. ULAKBİM tarafından taranan ulusal hakemli dergilerde yayımlanmış makaleler sekiz puan değerinde olacaktır. EMO Bilimsel Dergi ULAKBİM'in Online Dergi İzleme Sistemi'ne (ODİS) yüklenmekte ve takibi sağlanmaktadır. Yayın kalitesinden ödün vermeyen dergimizin kısa sürede ULAKBİM'in Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı'nda taranmaya başlayacağına inanıyoruz.

Geçirdiğimiz bu beş yıl boyunca EMO Bilimsel Dergi'nin ortaya çıkmasında, sürdürülmesinde pek çok akademisyen ve meslektaşımızın desteğini aldık. Tüm bu değerli katkılar için teşekkür ediyoruz. EMO Bilimsel Dergi, önümüzdeki yıllarda da akademide ve sanayide yapılan çalışmalarını bir araya getirme, Türkçe'nin "bilim ve teknoloji dili" olarak gelişmesine katkı sağlama ve uluslararası saygın indekslerce taranma hedefiyle yoluna devam edecektir.

Saygılarımızla,

Prof. Dr. A. Hamit SERBEST
Yayın Kurulu Adına



Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Enterkonnekte Sistemde PSS/E ile Modellenmesi

Wind Power Plants in Interconnected System Modelling with PSS/E

Halil İbrahim Aydınöz¹, Orhan Ekren²

¹Batı Akdeniz Yük Tevzi İşletme Müdürlüğü
Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)
halil.ibrahim.aydinnoz@gmail.com

²Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji ABD
Ege Üniversitesi
orhanekren@gmail.com

Özet

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisinin, elektrik güç sistemindeki payı diğer kaynaklara göre daha hızlı artmaktadır. Bu durum rüzgâr enerjisi santrallerinin şebekeye bağlantısında elektrik güç sistemine olan etkilerinin incelenmesini gerektirmektedir. Bilindiği üzere rüzgâr enerjisinin şebekeye bağlantı noktasında, enerji kalitesi ve şebeke etkileşimi konusunda bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır. Bunun sebebi rüzgârın kesikli ve değişken güç üreten yapısı nedeniyle, rüzgâr enerjisi santrallerinin şebeke bağlantı noktasında bozucu etkilere sebep olmasıdır. Bu bozucu etkiler özellikle sistemin zayıf olduğu yerlerde türbinlerin şebekeye bağlanmasında kısıtlayıcı etkilere neden olmaktadır. Çünkü iletim sisteminde kısa devre akımları, güçleri ve gerilim seviyelerinin belirli sınırlar içinde olması gerekmektedir. Bu çalışmada, Batı Akdeniz Bölgesinde yer alan Dinar Rüzgâr Enerjisi Santralının (RES) PSS/E programı ile modellenmesi yapılarak kısa devre akımları analizi ve yük akış analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler kısa devre akımları, güçleri ve gerilim seviyelerinin uluslararası standartlar, TEİAŞ ve EPDK açısından gereklilikleri ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr enerjisi, kısa devre analizi, yük akış analizi, pss/e, enterkonnekte sistem

Abstract

Electricity production from wind energy as a renewable source has been increasing more rapidly than the other sources. In this case effects on the electric power system of wind energy system connection to the electricity network should be investigated As it is known that, connection point of wind energy system to the electricity network has some problems such as energy quality and electricity network interaction. This is due to the fluctuation on wind speed and variable wind power generation. These disturbances restrict wind turbine connection to the electricity network especially at the weak parts of the electricity network. Because short-circuit currents, powers and voltage levels in the transmission system must be within a certain limits. In this study, a case wind power plant (WPP) located in the Western Mediter-

anean Region of Dinar has been modelled by using PSS/E software also analysis of short circuit currents and load flow analysis have been performed. The analysis showed requirements for the short circuit currents, powers and voltage levels according to the international standards, TEİAŞ and EPDK s.

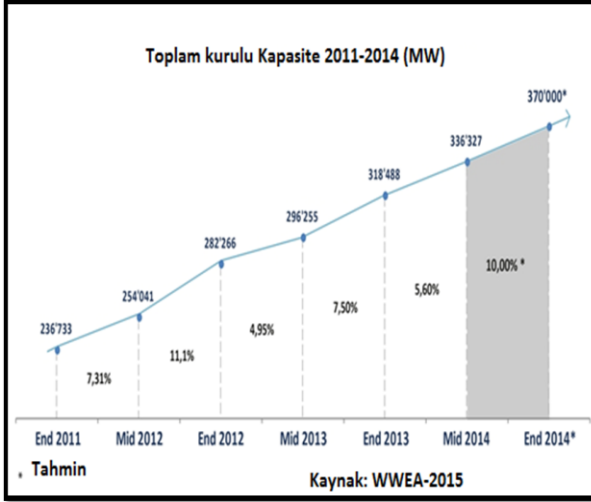
Keywords: Wind power, short circuit analysis, load flow analysis, pss/e, interconnected systems

1. Giriş

Rüzgâr gücünden yararlanmanın tarihi beş bin yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Rüzgârdan faydalanma insanlık tarihinin önemli bir bölümünde sadece mekanik güç elde etmek amaçlı olmuştur. Mezopotamya'da sulama amaçlı ilk uygulamaları MÖ 2800'lerde Babil'de yapılmıştır. Yel değirmenlerine ise ilk olarak İskenderiye'de rastlanılmıştır. Türklerin ve Perslerin 7.yy'da yel değirmeni kullandıkları tarih kitaplarında yer almıştır. Avrupa ülkelerinde ise 12.yy'da yel değirmenleri kullanılmaya başlanmıştır[1,2,3]. 20. yüzyılın başlarına kadar rüzgârdan, su pompalamak (su değirmenleri) veya tanecik öğütme (yel değirmenleri) için gerekli mekanik gücü sağlamak amacıyla yararlanılıyordu. Sanayi devrimine bağlı olarak endüstriyel ilerlemenin başlangıcı ile fosil yakıt (petrol, kömür vb) tüketiminin ve elektrik üretiminin büyük oranlara ulaşması ve yüksek verimin elde edilmesi rüzgâr enerjisini bir kenara atmıştır.

Günümüzde gerçekleşmekte olan teknolojik, ekonomik ve toplumsal gelişmelere paralel olarak, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin kesintisiz, kaliteli, güvenilir ve ekonomik koşullarda, çevresel etkileri dikkate alınarak üretilmesi zorunluluğu vardır. Fosil kaynaklı yakıtların sınırlı ömürleri ve çevre kirliliğine yol açmaları alternatif enerji kaynakları üzerinde yeni arayışları kaçınılmaz hale getirmektedir. Çevre kirliliği açısından fosil yakıtlara en büyük alternatif, yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Son yıllarda rüzgâr, güneş, biyokütle, ve jeotermal gibi doğal kaynaklarla elektrik enerjisi üretiminde önemli adımlar atılmaktadır.

Üretim kapasitesi açısından dünyada en fazla büyüyen enerji kaynağı rüzgâr enerjisi olup, 2011 yılı sonunda 236.733 MW olan dünya rüzgâr enerjisi santrallerinin kurulu gücü, 2014 yılı sonunda 2011 yılına göre 1,5 kat artarak 370.000 MW olmuştur. 2013 yılı ile 2014 yılı arasında bir yıllık süreçte dünya genelinde rüzgâr enerjisi santrallerine 17.613 MW daha yeni kapasite eklenmiştir Şekil 1’de yıllara göre kurulu güç miktarı gösterilmiştir[5].



Şekil 1: 2011-2014 Yılları Arası Dünya Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücü [5]

Rüzgâr enerjisi, bu hızla gelişmeye devam eder ve daha fazla destek politikaları uygulanırsa, 2020 yılında dünya kurulu gücünün 1.500.000 MW’ı aşması mümkün olabilecektir [5]. Bu kurulu gücün ülkelere göre dağılımı Şekil 2’de gösterilmiştir.

En büyük kurulu kapasiteye sahip 12 ülke				
Position 2013	Country/Region	Total capacity end 2014 ** [MW]	Added capacity 2014 *** [MW]	Growth rate 2014 [%]
1	China	114'763	23'350,0	25,7
2	USA	65'879	4'854,0	7,8
3	Germany	40'468	5'808,0	16,8
4	Spain	22'987	27,5	0,1
5	India	22'465	2'315,1	11,5
6	United Kingdom	11'998	1'467,0	13,9
7	Canada	9'694	1'871,0	25,9
8	France	9'296	1'042,0	12,6
9	Italy	8'663	107,5	1,3
10	Brazil	6'182	2'783,0	81,9
11	Sweden	5'425	1'050,0	21,4
12	Denmark *	4'850	78,0	1,6
	Rest of the World	47'300	7'000 (estimated)	16,0
	Total	370'000	51'753	16,2

* by november 2014
 ** Includes all installed wind capacity, connected and not-connected to the grid.
 *** Includes the net capacity added during the year 2014.

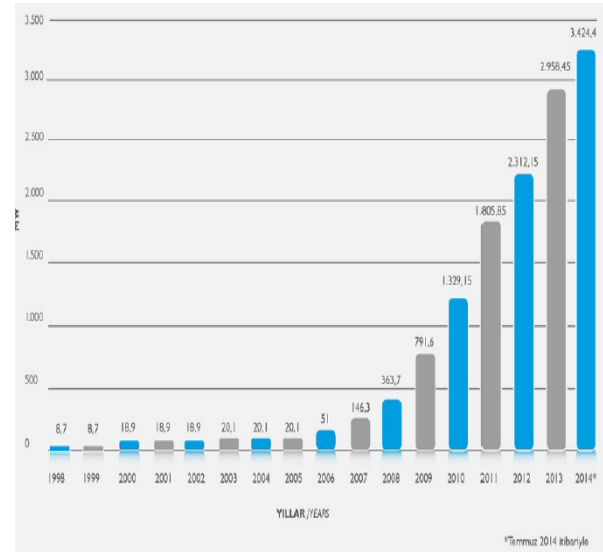
Kaynak: WWEA

Şekil 2: Dünya Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücünün Ülkelere Göre Dağılımı [5]

Avrupa Birliği Komisyonu, 2007 yılında “Yenilenebilir Enerji Yol Haritası” adlı raporunda yenilenebilir enerjinin var olan toplam enerjideki payının 2020 yılında %20 olması hedefini ortaya koymuştur. Ayrıca, toplam elektrik tüketiminin yaklaşık %35’ini, ısı ihtiyacının %25’ini ve ulaşımın %10’unu yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı ana hedef olarak belirlemiştir [6].

Türkiye, rüzgâr potansiyeli bakımından oldukça avantajlı bir ülkedir. Türkiye’de rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi konusunda ilk sistem 1985 yılında Danimarka’dan ithal edilip İzmir-Çeşme Altinyunus Turistik tesislerinde kurulan 55 kW gücündeki rüzgâr türbini. Üç kanatlı yatay eksenli bu türbinden üretilen elektrik enerjisi adı geçen tesiste tüketilmektedir [7].

Türkiye’de halen şebeke bağlantılı yüz onbir (111) rüzgâr santrali vardır. Bu santrallerin toplam gücü 3424,24 MW’tır. Türkiye’de 1998-2014 yılları arası kurulu gücü Şekil 3’de gösterilmiştir. Şekilden gösterildiği gibi Türkiye 1998 yılında kurulu güç olan 8,7 MW rüzgâr gücü 2014 yılı itibarıyla 370 kat artarak 3424 MW seviyesine gelmiştir[8]. Kasım 2015 tarihi itibarıyla önceki yıla göre 800 MW kapasite artışı ile Türkiye’deki kurulu güç kapasitesi 4280 MW seviyesine gelmiştir.



Şekil 3: 1998-2014 Yılları Arası Türkiye Rüzgâr Enerjisi Kurulu Gücü [8]

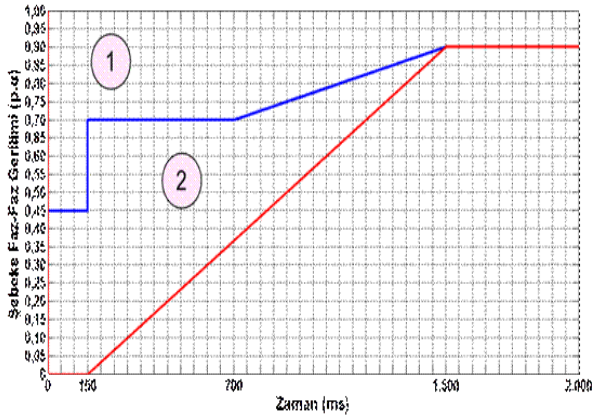
Dünya’da ve Türkiye’de hızla artan güç miktarı kapasitesiyle rüzgâr enerjisi elektrik şebekesine entegre olmaktadır. Ülkemizde, iletim sisteminin güvenilir ve düşük maliyetli olarak işletilmesinde ve enerji kalitesi ile sistem kararlılığının sağlanmasında uygulanacak standartlara ilişkin usul ve esasları belirlemek amacıyla Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği mevcuttur. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK), rüzgâr santrallerinin, hidrolik ve termik santrallerden farklı bir karakteristiğe sahip olması nedeniyle rüzgâr santrallerinin şebeke bağlantısı sırasında uyması gereken kriterleri ayrıca belirtmektedir[9]. Bu amaçla bu çalışmada, Batı Akdeniz Bölgesinde bulunan Dinar Res’i elektrik güç kalitesi yönünden inceleme amaçlı örnek santral olarak belirlenmiştir. Santralin PSS/E programı ile modellenmesi yapılarak yük akış ve kısa devre akım analizleri incelenmiştir.

2. Rüzgâr Enerjisi Santralleri Enerji Kalitesi ve İletim Şebekesine Bağlantı Esasları

Büyük güçlerdeki rüzgâr gücünün şebekeye entegrasyonu çeşitli zorlukları beraberinde getirmektedir. Güç sistemleri ve onların işletilmeleri senkron jeneratörlü konvansiyonel güç santrallerine göre geliştirilmiştir. Rüzgâr santralleri konvansiyonel santrallardan farklıdır. Rüzgârın güç miktarı önemli olup şebeke performansını ve kararlılığını etkiler. Bu nedenle iletim sistem operatörleri rüzgâr santrallerinin hatta bağlanabilmesi için uyulması gereken çeşitli kurallar koyarlar.

Rüzgâr santrallerinin arıza sonrası sisteme yapması gereken katkı, aktif güç kontrolü, reaktif güç kontrolü, frekans tepkisi vs. gibi kriterler olup, Elektrik Piyasa Şebeke Yönetmeliği EK-18’de detaylı bir şekilde yer almaktadır. Bu kriterler, iletim sistemine bağlı rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisleri ile kurulu gücü 10 MW ve üzerinde olan dağıtım sistemine bağlı rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesislerine uygulanır.

İletim veya dağıtım sistemi bağlantı noktasındaki şebeke faz-faz geriliminin Şekil 4’de verilen 1 numaralı ve 2 numaralı bölgelerde kaldığı süre boyunca, herhangi bir fazda veya tüm fazlarda oluşan gerilim düşümlerinde rüzgâr türbinleri şebekeye bağlı kalması zorunludur.



Şekil 4: İletim veya Dağıtım Sistemi Bağlantı Noktasındaki Şebeke Faz-Faz Gerilimi

Arıza sırasında gerilim düşümünün 1 numaralı bölgede kaldığı durumlarda, rüzgâr türbini aktif gücü, arıza temizlendikten hemen sonra saniyede nominal aktif gücünün en az %20’si oranında artırılarak, üretilebilecek maksimum aktif güç değerine ulaşmalıdır [17].

Arıza sırasında gerilim düşümünün 2 numaralı bölgede kaldığı durumlarda ise, rüzgâr türbini aktif gücü, arıza temizlendikten hemen sonra saniyede nominal aktif gücünün en az %5’i oranında artırılarak, üretilebilecek maksimum aktif güç değerine ulaşmalıdır [17].

Şebeke bağlantı noktasında meydana gelen $\pm 10\%$ ’a kadar olan nominal işletme gerilimi dalgalanmaları (0,9pu-1,1pu) normal işletme koşulları olup, rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisleri belirtilen esaslara uymalıdır [17].

EPDK’nın rüzgâr santrallerinin kurulum güçlerini sınırlayan bağlantı noktasının kısa devre gücünün %5’ini aşmaması koşulu, her bağlantı noktasının karakteristiğine göre artırılabilir. Ayrıca, bir rüzgâr santralının şebekeye en uygun şekilde enterkonnekte olabilmesi için, istenmeyen gerilim değişimlerinin önlenmesi, mevcut şebeke elemanlarının kısa devre akım limitlerini ve ısı dayanım kapasitelerini zorlamaması gerekir. Buna ek olarak, fliker ve harmoniğin kabul edilebilir sınırlar içinde olması, anahtarlama ve anlık devreye girme gibi geçici durumlarda şebeke kararlılığının sınır değerler içinde kalması gereklidir [10].

Enerji kalite parametrelerinden biri olan rüzgâr santrallerinin kısa devre arızası durumunda vereceği tepkiler, sistem kararlılığı için oldukça önemlidir. Rüzgâr santrallerinin sistem kararlılığına gerekli desteği sağlayabilmeleri için kısa devre arızası durumunda, arıza giderilene kadar belirli bir süre boyunca sistemden ayrılması gerekmektedir. Rüzgâr santral kurulu gücünün sürekli artması, konvansiyonel santraller ile oluşturulan yedek generatörlerin yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Bu sorunu gidermek için generatörlerin teknik yetenekleri artırılmalı, yedek konvansiyonel santrallerin çok daha hızlı ve yüksek kapasitede (kısa tepki süreli ve üretim düzeyi yüksek) devreye alınmaları sağlanmalıdır. Üretim dalgalanmalarını dengelemek ve yük eğrisini izlemek amacıyla yeterli yedek konvansiyonel santral bulundurulmalıdır [11].

Rüzgâr enerjisi santrallerinin iletim şebekesine bağlanma şartları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- İletim şebekesine bağlanacak bir rüzgâr santrali, ya en yakın TEİAŞ trafo merkezine çekilecek bir iletim hattı ile, ya da en yakın iletim hattına girdi çıktı yaparak şebekeye bağlanabilir.
- İletim şebekesinin gerilim seviyesi 154 veya 380 kV’dır. Bu gerilimdeki trafo merkezlerinin minimum kısa devre güçleri 300-400 MVA’dan başlamakta, 10.000 MVA’e kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle büyük güçteki rüzgâr santralleri ancak iletim şebekesine bağlanabilir.
- Dağıtım sistemine bağlanacak bir rüzgâr çiftliğindeki elektrik bağlantılarının gerilim seviyesi, tercihen bağlanacakları trafo merkezinin gerilim seviyesinde seçilmektedir. Bu durumda santral çıkışına ilave bir yükseltici (veya düşürücü) trafo tesis maliyeti olmamaktadır.
- İletim şebekesine bağlanacak rüzgâr santrallerinde ise gerilim seviyesi olarak en ekonomik dağıtım gerilim seviyesi seçilebilir. Bu durumda, santral çıkışında kullanılacak yükseltici trafonun, ülkemizde kullanılan standartlardan farklı olması durumunda, yedekleme sorunu ortaya çıkabilir.
- Rüzgâr santrallerinin iletim şebekesine bağlanmasının diğer bir şekli ise, kısa devre gücünün oldukça yüksek olduğu 380 kV merkeze bağlanmasıdır. Ülkemizdeki 380 kV merkezlerin minimum kısa devre gücü genelde 5000 MVA’nın üzerinde olduğundan böyle bir merkeze çok sayıda rüzgâr santrali, şebekede probleme sebep olmadan bağlanabilir [12].

Burada önemli olan, çok sayıda trafo maliyetinden tasarruf etmek için, gerektiğinde sadece rüzgâr santrallerinin bağlanacağı bir kirli bara tesis ederek en ekonomik çözümün bulunmasıdır.

3. Dinar Res'in Dinamik Olarak PSS/E ile Modellenmesi

Bu çalışmada PSS/E programı ile yük akış analizi ve kısa devre analizi yapılmıştır. PSS/E programı dünyadaki bir çok elektrik şirketi yanında TEİAŞ tarafından da iletim sisteminin planlaması ve işletilmesi için yapılan etüt çalışmalarında kullanılmaktadır. PSS/E programıyla iletim sisteminin ve üretim performansının etütleriyle ilgili olarak sürekli durum ve dinamik analizleri gerçekleştirmek mümkündür. Bunlar;

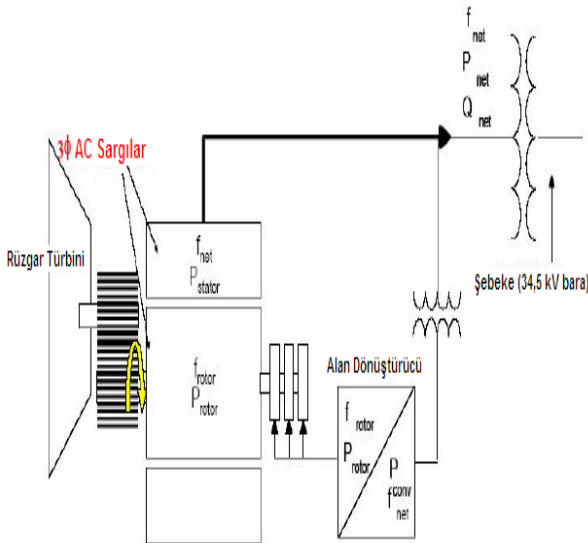
- Yük akış analizi
- Kısa devre analizi
- N-1 kriteri analizi
- Dengeli ve dengesiz arıza analizi
- PV/QV analizleri
- Dinamik simülasyon

olarak sıralanabilir [13].

Kullanımda olan 4 tip rüzgâr türbini (RT) modeli:

- RT 1- Doğrudan bağlı (sabit hızlı) asenkron generatörler
- RT 2- Kademeli değişen rüzgâr türbinleri (harici rotor direnç kontrollü)
- RT 3- Çift beslemeli asenkron generatör
- RT 4- Tam kapasiteli dönüştürücülü rüzgâr generatör türbini

Söz konusu sınıflama esas alınarak PSS/E programının güncel versiyonunda (ver.33), piyasada en yaygın kullanılan rotor bağlantı uçlarına bağlı güç dönüştürücü ile aktif gücün kontrol edildiği çift beslemeli asenkron generatör kullanılarak bir rüzgâr türbininin performansını simüle etmek ve iletim/dağıtım sisteminde RES bağlantısının gerçekleştirilmesi için RT3 (çift beslemeli asenkron generatör) PSS/E rüzgâr türbin modeli geliştirilmiştir. PSS/E programında geliştirilen rüzgâr modeli genel şeması Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5: Rotor Bağlantı Uçlarına Bağlı Güç Dönüştürücü ile Aktif Gücün Kontrol Edildiği Çift Beslemeli Asenkron Generatör

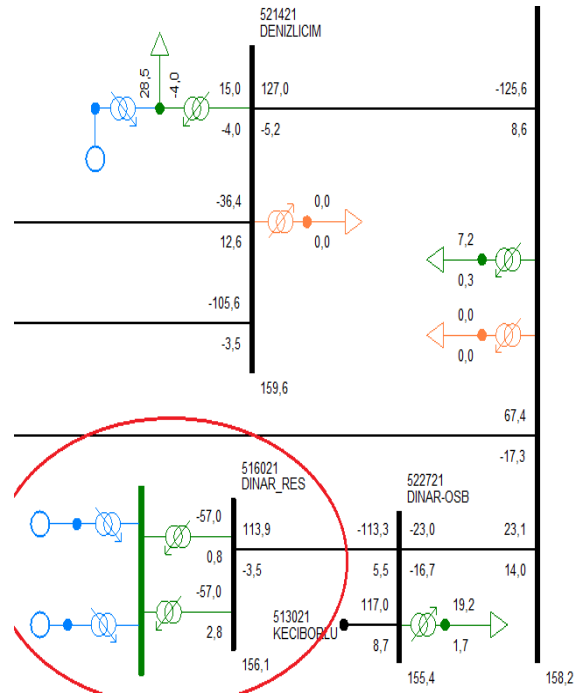
Bu model, elektrik iletim ve dağıtım sisteminde RES'lerin bağlantısıyla ilgili çalışmalarda kullanılmak için geliştirilmiş olup bu çalışmada yük akış ve kısa devre akım analizlerinde kullanılmıştır.

3.1. Dinar RES'in Yük Akış Analizleri

Mevcut çalışmada esas alınan Dinar RES ve Türkiye'de kullanılan tüm RES'ler (ilk kurulan birkaç tane hariç) çift beslemeli asenkron generatör tipinde olduğundan analizlerde bu model kullanılmıştır.

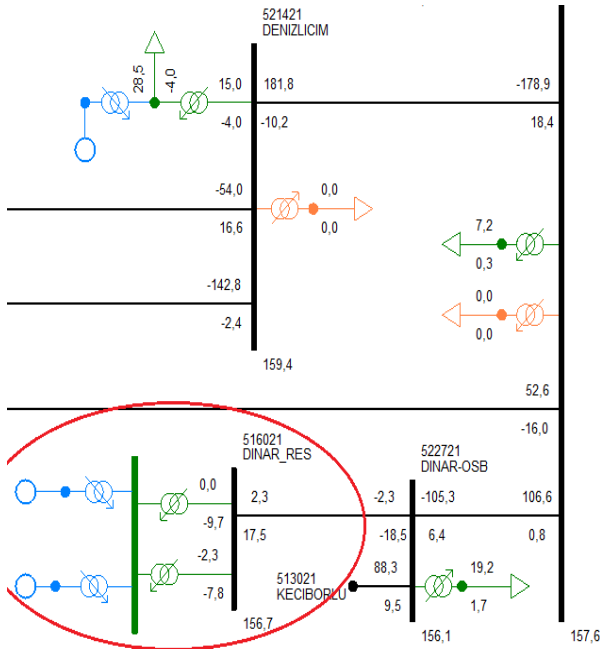
Dinar RES 50x2,3 olmak üzere toplamda 50 ünitenin olduğu 115 MW kurulu güce sahip bir rüzgâr enerjisi santralidir. Üretilen enerji 154 kV enterkonnekte sisteme verilmektedir. Santral 14,8 km 795 MCM kesitli 154 kV tek hatla Dinar OSB TM'ye bağlıdır. Santralda iki adet 154/33,6 kV 50/62,5 MVA trafo bulunmaktadır.

Dinar RES'in 50 adet 2,3 MW generatörden oluşan rüzgâr parkı PSS/E'de modellenmiştir. Buna bağlı Dinar RES'in 115 MW (anma gücü) ve 2,3 MW üretim yaptığı durumlara ilişkin olarak Newton-Raphson yöntemine göre yük akış analizleri yapılarak sistem bağlantı noktasında sisteme verilen aktif güç ve reaktif güç değerleri belirlenmiştir. Yapılan yük akış analizleri Şekil 6 ve Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6: Dinar RES'in 115 MW Üretim Yaptığı Durumu

Yapılan yük akış analizlerinde Dinar RES tam yükte iken radyal bağlı olduğu Dinar OSB hattına tam yükte 113 MW aktif güç göndermekte 3,5 MVar (endüktif) reaktif yük çekmektedir. Tek grup çalışma durumunda yapılan analizde 2,3 MW aktif güç ve 17,5 MVar (kapasitif) reaktif yük göndermektedir.



Şekil 7: Dinar RES'in 2,3 MW Üretim Yaptığı Durumu

3.2. Dinar RES'in Kısa Devre Akım Analizi

Enerji sisteminde yıldırım düşmesi, açma kapama olayları, mekanik hatalar, buz yükü, toprak kayması, deprem, kuş, haşarat, nem, kir ve benzer sebebi ile meydana gelen aşırı gerilimler, üzerinde gerilim bulunan sistem parçalarını elektriksiz olarak zorlar. Zorlama, gerilim yalıtım seviyesini aşarsa kısa devre oluşur. Kısa devre akımının değeri, hata noktasından sistemi besleyen kaynağa doğru bakıldığında görülen Thevenin eşdeğer devresi tarafından belirlenerek, hesaplanır [14].

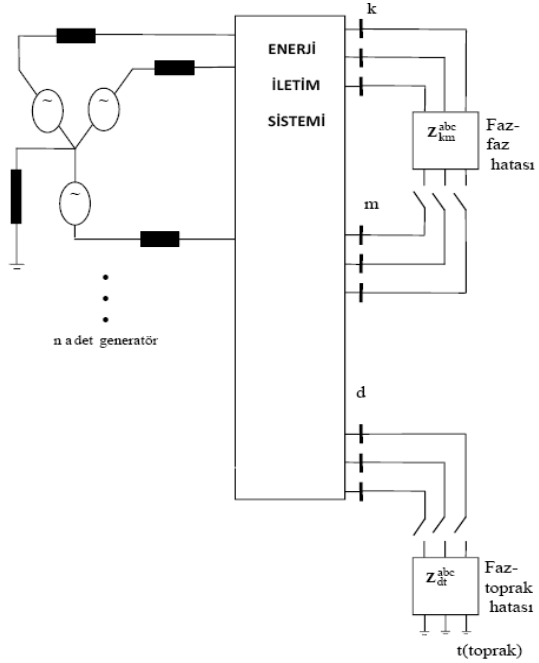
Kısa devre olayları dengeli ve dengesiz kısa devre olarak iki şekilde incelenir. Hata öncesi hat akımları birbirine eşit olan bir sistemde, hatadan sonra da hat akımları genlik olarak birbirlerine eşit değer alıyorsa, oluşan hata türü dengeli kısa devre olarak isimlendirilir [15].

Hata esnasında sistemde dolaşan akımların fazlara göre genliklerinin değişmemesi nedeniyle simetrik hata olarak isimlendirilirken, hata akımlarının genliklerinin fazlara göre değişenleri ise simetrik olmayan olarak adlandırılmaktadır. Simetrik olmayan hatanın incelenmesinde ise dengesiz akım ve gerilim değerlerinden dolayı, sisteme ilişkin ters ve sıfır bileşen devre bara empedans ve admittans matrislerine ihtiyaç duyulmaktadır [16].

Büyük boyutlu veya çok devreli enerji sistemlerine ilişkin kısa devre hesaplamalarında sistemin doğru, ters ve sıfır bara empedans ile bara admittans matrislerinin oluşturulması gerekir. Bara empedans matrisi [Z_{bara}] oluşturulması için ise iki ayrı yaklaşım bulunmaktadır. Birinci yaklaşımda tüm sisteme ilişkin bara admittans matrisi [Y_{bara}] oluşturularak, bunun tersi [Z_{bara}] elde edilmektedir. İkincisinde ise adım adım [Z_{bara}] oluşturularak, [Y_{bara}] matrisine gerek duyulmamaktadır [16].

Dengeli hatalarda sisteme ilişkin empedansların doğru bileşen değeri kullanılırken, Şekil 8'de enerji sistemine ilişkin genel hata modeli gösterimi bulunmaktadır. Hata öncesi sistem den-

geli olduğu için doğru, ters ve sıfır bileşen devreler arasında kuplaj bulunmamakta olup, dolayısıyla bu devrelere ilişkin I_1 , I_2 ve I_0 akımları da sıfırdır [16].



Şekil 8: Enerji Sistemi Hata Modeli Gösterimi

Söz konusu santralde iki adet 154/33,6 kV 50/62,5 MVA trafo bulunmakta olup radyal olarak bağlı olduğu trafo merkezinin 154 kV ve 31,5 kV baralarının kısa devre akım analizi yapılmıştır.

Dinar Res ve Dinar OSB için yapılan en ağır koşul olan 3 faz kısa devre analizini Dinar RES anma gücü olan 115 MW ve servisi harici (üretim yapılmadığı zamanda) PSS/E programında *sequence* data kullanılarak analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarının program çıktıları Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.

X----- BUS -----X X----- TO BUS -----XCKT	THREE PHASE FAULT	/I+ / AN(I+)
516021 [DINAR_RES 154.00]	AMP	3452.3 -72.96
516021 [DINAR_RES 154.00] 516041 [DINAR_RES1 33.600] 1 OUT AMP		3220.0 -75.99
516021 [DINAR_RES 154.00] 516042 [DINAR_RES2 33.600] 1 OUT AMP		3227.4 -76.01
516021 [DINAR_RES 154.00] 522721 [DINAR-OSB 154.00] 1 OUT AMP		578.3 -36.72
516041 [DINAR_RES1 33.600]	AMP	6311.4 -70.99
516041 [DINAR_RES1 33.600] 516021 [DINAR_RES 154.00] 1 OUT AMP		1645.4 -37.78
516041 [DINAR_RES1 33.600] 516061 [G-DINAR_RES 0.6600] 1 OUT AMP		5016.4 -81.34
516042 [DINAR_RES2 33.600]	AMP	6281.5 -70.93
516042 [DINAR_RES2 33.600] 516021 [DINAR_RES 154.00] 1 OUT AMP		1616.7 -36.69
516042 [DINAR_RES2 33.600] 516062 [G-DINAR_RES 0.6600] 1 OUT AMP		5028.0 -81.36
522721 [DINAR-OSB 154.00]	AMP	4171.5 -74.07
522721 [DINAR-OSB 154.00] 513021 [KEÇİBORLU 154.00] 1 OUT AMP		3058.4 -67.94
522721 [DINAR-OSB 154.00] 516021 [DINAR_RES 154.00] 1 OUT AMP		3740.7 -79.35
522721 [DINAR-OSB 154.00] 521621 [BOZKURT 154.00] 1 OUT AMP		1599.9 -73.71
522721 [DINAR-OSB 154.00] 522741 [DINAR-OSB 31.500] 1 OUT AMP		4171.5 -74.07
522741 [DINAR-OSB 31.500]	AMP	5634.1 -78.77
522741 [DINAR-OSB 31.500] 522721 [DINAR-OSB 154.00] 1 OUT AMP		0.0 0.00

Şekil 9: Dinar RES 115 MW Üretim Yaptığı Durumda Dinar RES ve Dinar OSB TM 3 Faz Kısa Devre Akımları Sonuçları

X----- BUS -----X X----- TO BUS -----XCKT		THREE PHASE FAULT		/I+ /	AN(I+)
516021	[DINAR_RES 154.00]			AMP	3007.1 -82.85
516021	[DINAR_RES 154.00]	516041	[DINAR_RES1 33.600]	1 OUT AMP	3007.1 -82.85
516021	[DINAR_RES 154.00]	516042	[DINAR_RES2 33.600]	1 OUT AMP	3007.1 -82.85
516021	[DINAR_RES 154.00]	522721	[DINAR_OSB 154.00]	1 OUT AMP	0.0 0.00
516041	[DINAR_RES1 33.600]			AMP	4889.4 -88.61
516041	[DINAR_RES1 33.600]	516021	[DINAR_RES 154.00]	1 OUT AMP	0.0 0.00
516042	[DINAR_RES2 33.600]			AMP	4889.4 -88.61
516042	[DINAR_RES2 33.600]	516021	[DINAR_RES 154.00]	1 OUT AMP	0.0 0.00
522721	[DINAR_OSB 154.00]			AMP	3743.1 -82.70
522721	[DINAR_OSB 154.00]	513021	[KECIBORLU 154.00]	1 OUT AMP	2602.4 -77.21
522721	[DINAR_OSB 154.00]	516021	[DINAR_RES 154.00]	1 OUT AMP	3743.1 -82.70
522721	[DINAR_OSB 154.00]	521621	[BOZKURT 154.00]	1 OUT AMP	1203.3 -94.94
522721	[DINAR_OSB 154.00]	522741	[DINAR_OSB 31.500]	1 OUT AMP	3743.1 -82.70
522741	[DINAR_OSB 31.500]			AMP	5423.9 -88.00
522741	[DINAR_OSB 31.500]	522721	[DINAR_OSB 154.00]	1 OUT AMP	0.0 0.00

Şekil 10: Dinar RES Servis Harici Durumunda Dinar RES ve Dinar OSB TM 3 Faz Kısa Devre Akımları Sonuçları

Yapılan kısa devre analizlerde 154 kV merkezler olan Dinar RES ve Dinar OSB trafo merkezlerinin Dinar RES tam yükte ve servis harici olma durumunda 3 faz kısa devre akımları 154 kV ve 31,5 kV bara için elde edilmiştir.

Analiz sonuçlarının TEİAŞ Elektrik Şebeke Yönetmeliği'ndeki sınır baz değerlerine uygun olduğu görülmektedir.

4. Bulguların Değerlendirmesi

Bu çalışmada, yük akış ve kısa devre akım analizleri yapılmıştır.

Elde edilen yük akış analizleri incelendiğinde rüzgâr enerjisi santrallerinin diğer (hidrolik, termik vb.) santral tiplerine benzer şekilde çalıştığı gerek aktif gerekse reaktif güç akışından görülmektedir.

Dinar RES rüzgâr 115 MW üretim yapıldığında, rüzgâr parkı (Dinar RES OG, 516061) ile 154 kV şalt sahası (Dinar RES, 516021) arasındaki orta gerilim kablosundan çekilen kapasitif güç 3,5 MVar'dır (Şekil 7). Bu durumda güç faktörü ($\cos\phi$)=1 olmaktadır. Dinar RES rüzgâr parkında 2,3 MW üretim yapıldığında, rüzgâr ile 154 kV şalt sahası arasındaki orta gerilim kablosundan çekilen kapasitif güç 17,5'dir (Şekil 8). Bu durumda güç faktörü ($\cos\phi$) 0,18 (kapasitif) olmaktadır.

Rüzgâr üretilen gücün düşük olduğu durumlarda rüzgâr ile şalt sahası arasındaki Orta Gerilim (OG) kablolarının kapasitif etkisinin baskın duruma geldiği analiz sonuçlarında görülmüştür. Bu nedenle, güç faktörünü düzeltmek amacıyla öngörülecek kompanzasyon tesisinin rüzgâr parkının içine değil Sistem Bağlantı Noktası'nda (SBN) tesis edilmesi daha uygun olacaktır.

115 MW kurulu güçteki Dinar RES'in sisteme bağlanması bu güçteki bir termik veya hidrolik santralin bağlanması sırasında oluşan etkiyi yaratmıştır. Yük dağılımında görüldüğü gibi tam yükte çalışırken yükün önemli kısmı Dinar Organize Sanayi Bölgesi (OSB) Trafo Merkezi (TM) üzerinden Keçiborlu

lu TM'ye aktığı için, tek grup (2,3 MW) yükte iken yine tam yükteki gücünü %80 oranında Dinar OSB üzerinden Keçiborlu TM'ye aktığı görülmektedir. Burada görüldüğü gibi Dinar RES radyal bağlı olduğu Dinar OSB TM'nin yük akışını değiştirmekte diğer TM'lerin yük akışında büyük farklara sebep olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında yapılan diğer bir analiz kısa devre analizidir. Dinar RES'in tam yükte (115 MW) ve servis harici (0 MW) olma durumunda Dinar RES TM ve Dinar OSB TM'nin TEİAŞ'ın belirlediği 154 kV ve 31,5 kV baralardaki kısa devre akım değerlerinin dışında olmadığı görülmektedir. Bu durumda böyle bir rüzgâr enerjisi santrali enterkonnekte sisteme dahil olduğunda herhangi bir kısa devre arıza durumu sorun çıkmadan arızanın sönümleşebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1: Dinar RES Tam Yükte (115 MW) Çalışırken Dinar RES ve Dinar OSB TM 3 Faz Kısa Devre Akımları

Trafo Merkezi	Gerilim Seviyesi (kV)	Sistem Kısa Devre Sınır Akım Değeri (kA)	Hesaplanan Kısa Devre Değeri (kA)
Dinar RES	154	31,5	3,452
Dinar RES1_OG	33,6	25	6,311
Dinar RES2_OG	33,6	25	6,281
Dinar OSB	154	31,5	4,171
Dinar OSB_OG	31,5	16	5,634

Tablo 2: Dinar RES Servis Harici (0 MW) Durumunda Dinar RES ve Dinar OSB TM 3 Faz Kısa Devre Akımları

Trafo Merkezi	Gerilim Seviyesi (kV)	Sistem Kısa Devre Sınır Akım Değeri (kA)	Hesaplanan Kısa Devre Değeri (kA)
Dinar RES	154	31,5	3,007
Dinar RES1_OG	33,6	25	4,889
Dinar RES2_OG	33,6	25	4,889
Dinar OSB	154	31,5	3,743
Dinar OSB_OG	31,5	16	5,423

Tablo 1 ve Tablo 2'de değerler incelendiğinde Dinar RES aktif durumda iken her iki TM'nin 3 faz kısa devre değerleri servis harici olma durumuna göre daha yüksektir. olduğu bu değerler yönetmeliğin sınır değerleri olan 154 kV için 31,5 kA ve 31,5 kV için 16 kA olan sınır değerleridir. Dinar RES'in bağlı olduğu 33,6 kV bara sisteme bağlantı konusunda en önemli değeri teşkil etmekte bu değer 6,311 kA olup belirtilen sınır değerinin çok altındadır.

5. Sonuçlar

Rüzgâr, yenilenebilir enerji kaynağı olması, genel olarak basit bir yapıda olması, elde edilen verimin yüksek olması, diğer santrallara göre çok kısa sürede kurulabilmesi gibi nedenlerle elekt-

rik enerjisi üretimindeki payı sürekli artmaktadır. Ancak, rüzgâr santrallerinin diğer konvansiyonel santrallardan farklı yapıda olması nedeniyle buldukları bölgelerde elektrik şebekesine bağlantıları sırasında güç kalitesi yönünden bazı sorunlar meydana gelmektedir. Bu sorunları giderebilmek amacıyla yapılan çalışmalar göstermektedir ki; doğruluk oranı yüksek rüzgâr tahminlerinin yapılması, uygun ve teknik kapasitesi yüksek generator seçimi, gerilim dalgalanmalarının en aza indirilmesi, harmonik ve flikerin belirlenen sınır değerler içinde tutulması, rüzgâr türbininin arıza ve arıza sonrası tepkilerinin ilgili kriterlere uyması, aktif ve reaktif gücün kontrolünün yapılması güç kalitesini artıran en önemli faktörlerdir.

Rüzgâr enerjisi dönüşüm sistemlerinin enerji sistemi içinde yük olarak değil enerji santralleri olarak kabul edilerek dinamik tepkilerin incelenmesi yeni şebeke bağlantı koşullarının temelini oluşturmakta ve modellenmenin bu yaklaşımla oluşturulmasını da zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle ele alınan örnek rüzgâr santrali Dinar RES PSS/E programında modellenmiş yük akış analizleri ve kısa devre analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde sistem davranışları önceden kestirilebildiği ve buna göre planlama yapılabileceği görülmüştür.

Dinar RES'in 115 MW anma gücünde ve 2,3MW gibi oldukça düşük güçte üretim yaptığı durumlara ilişkin yük akışı analizlerinden sisteme verilen aktif ve reaktif güç değerleri bulunmuştur. Buna göre;

- 115 MW üretim yapıldığında rüzgâr ile 154 kV şalt sahası arasındaki OG kablosundan çekilen kapasitif güç 3,5 MVar, güç faktörü ise yaklaşık 1 olmaktadır.
- 2,3 MW üretim yapılması durumunda ise çekilen güç 17,5 Mvar, güç faktörü 0,18 kapasitif olmuştur. Yani üretim çok düşük olduğunda, kablonun kapasitif etkisi baskın olmaktadır.
- 115 MW güçteki Dinar RES'in sisteme bağlanması bu güçteki bir termik veya hidrolik santralin bağlanması sırasında oluşan yük akışı aynı olmuştur.
- PSS/E ile modellenen sistemde 154 kV Dinar RES ve Dinar OSB baraları ile 34,5 kV Dinar RES ve Dinar OSB OG baralarında yapılan kısa devre analizlerinde bulunan kısa devre akım değerlerinin, sistem sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak yapılan bu çalışmada, Türkiye elektrik iletim sistemine entegre olmuş büyük güçteki bir rüzgâr santralının PSS/E ile modellenmesi ile yük akış ve kısa devre simülasyonları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar örnek uygulamanın uygun bir modelleme olduğu ve gelecekte sisteme entegre edilecek rüzgâr enerjisi santralleri için örnek bir çalışma olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

6. Kaynaklar

- [1] Ackermann, T., Söder, L., "Wind Energy Technology and Surrent Status: a Review" Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 4, pp. 315-374, 2000.
- [2] Ackerman, T., and Söder, L., An overview of wind energy status 2002, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 6, pp 67-128, Pergamon Press, 2002.
- [3] Heier, S., translated Waddington, R., Grid integration of wind energy conversion systems, John Wiley&Sons, ABD, 1998.
- [4] Kocaman, M. 2010. Rüzgâr Enerjisi Santrallerinin Türkiye Elektrik Sistemine Olan Etkilerinin Analizi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [5] World Wind Energy Report 2015, www.wwindea.org (World Wind Energy Association).
- [6] Dunder, P. "Daha İyi Rüzgâr Türbinleri", Tübitak Bilim ve Teknoloji Haberleri, www.biltek.tubitak.gov.tr
- [7] Özaktürk, M., "Rüzgar Enerjisinin Güç Kalitesi Açısından İncelenmesi", Sakarya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2007.
- [8] Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu Temmuz 2014 www.tureb.com.tr s. 7.
- [9] Güç Kalitesi Milli Projesi, www.guckalitesi.gen.tr
- [10] Akdeniz E., "Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin şebekenin enerji kalitesi ve kararlılığı üzerine etkilerinin incelenmesi", Yüksek lisans tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- [11] Rajveer Mittal, "Low Voltage Ride-Through (LVRT) of Grid Interfaced Wind Driven PMSG" ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 4, No. 5, p.73-83, July 2009.
- [12] Arsan, F., 2001. Şebeke Bağlantı Yöntemleri, Rüzgâr Enerjisi Sempozyumu 2001 s. 143-147.
- [13] w3.siemens.com/smartgrid/global/en/products-systems-solutions/software-solutions/planning-data-management-software/planning-simulation/pages/pss-e.aspx
- [14] Saner, Y., Güç Dağıtım Kısa Devre Hesapları, 4(1), 41-48, 2000.
- [15] Hewitson L.G., Brown M., Balakrishnan R., Simple calculation of short-circuit currents, Practical Power System Protection, 4, 11-25, 2005.
- [16] Kaşıkçı, İ., Elektrik Tesislerinde Kısa Devre Hesapları ve Uygulamaları IEC 60909, 27-39, Birsan Yayınevi, İstanbul, 2010.
- [17] http://www3.epdk.org.tr/index.php/elektrik piyasasi/mevzuat?id=1533/07.05.2015, Syf 173-175.



Halil İbrahim Aydınöz

1987 yılında Diyarbakır'da doğdu. 2009 yılında Dicle Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden lisans derecesi aldı. 2014 yılında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans derecesi aldı. 2014 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Ana Bilim Dalı'nda doktora programına başladı ve halen devam etmektedir. 2010-2011 yılları arası Batman Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2011 yılından bu yana TEİAŞ Batı Akdeniz Yük Tevzi İşletme Müdürlüğü'nde mühendis olarak çalışmaktadır. Araştırma alanları yenilenebilir enerji sistemleri, asenkron makineler, sürücü sistemleri, güç kalitesi ve optimizasyonu ve ekserji.



Orhan Ekren

İzmir'de doğdu. 1999 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden lisans derecesi aldı. 2003 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Mühendisliği programından yüksek lisans derecesini aldı. 2009 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Termodinamik programından doktora derecesi aldı. 2000-2003 yılları arasında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Dr. Ekren 2008-2011 yılları arasında Amerika'da misafir akademisyen olarak bulundu. 2014 yılından bu yana Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde öğretim üyesi görevinde bulunmaktadır. Çalışma alanları; yenilenebilir enerji kaynakları, hibrit enerji sistemlerinin boyutlandırılması ve optimizasyonu, soğutma sistemlerinde enerji verimliliği, ısı pompaları ve alternatif soğutma metotları.

Binalardaki Fotovoltaik Uygulamasının Teknik, Çevresel ve Ekonomik İncelenmesi: Meram Tıp Fakültesi Hastanesi Örneği

Technical, Environmental and Financial Review of Photovoltaic Applications for Buildings: Meram Medical Faculty Hospital

Rıza Büyükzeren¹, Hasan Basri Altıntaş¹, Kerim Martin¹, Ali Kahraman¹

¹Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

Necmettin Erbakan Üniversitesi

rbyukzeren@konya.edu.tr, hbaltintas@konya.edu.tr, kmartin@konya.edu.tr, akahraman@konya.edu.tr

Özet

Bu çalışmada; Konya'nın mevsimsel güneşlenme verileri dik-kate alınarak RETScreen programı ile enerji analizi ve mali analiz yapılarak, Konya Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde uygulanabilecek bir güneş enerjisi santralının fizibilitesi iki farklı senaryo ile değerlendirilmiştir. Hastanenin mimari projesi doğrultusunda panel kurulumu için uygun alanlar belirlenmiş ve 900 kW kurulu güçlü PV sistemi tasarlanmıştır. Her iki senaryoda da elektrik alım birim fiyatının 13.3 \$ Cent/ kWh olduğu dikkate alınmıştır. İlk senaryoda sera gazı emisyon azaltım desteğinin olmadığı durum değerlendirilmiş ve sistemin geri ödeme süresi 5.1 yıl olarak bulunmuştur. İkinci senaryoda ise sera gazı emisyon azaltım desteği 15\$/ ton CO₂ olarak kabul edilmiş ve sistemin geri ödeme süresi 4.8 yıl olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu sistem ile Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nin yıllık elektrik ihtiyacının ortalama %16'sı karşılayabileceği hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enerji fizibilitesi, RETScreen, PV, Sera gazı emisyon azaltımı, Finansal Destek.

Abstract

In this study, energy and financial analyses for solar power plant of Meram Medical Faculty Hospital was evaluated with two different scenarios taking account of seasonal weather data of Konya. Applicable areas for installation of solar panels were determined in accordance with architectural project of the hospital and 900 kW installed capacity power plant was designed. Unit purchase price of electricity is 13.3 \$ Cent/kWh for both scenarios. In the first scenario, payback period was calculated as 5.1 years without greenhouse gas emission reduction incentive and in the second scenario, payback period was calculated as 4.8 years with 15 \$/tonne CO₂ greenhouse gas emission reduction incentive. Furthermore, the solar power plant energy production capacity which can meet 16% of the hospital's electricity annual consumption was calculated.

Keywords: Energy Feasibility, RETScreen, PV, Greenhouse Gas Reduction, Financial Support.

1. Giriş

Türkiye'nin enerji talebi her yıl yaklaşık %9 oranında artmaktadır. Bu enerjinin karşılanması için daha fazla fosil yakıt ihtiyacı duyulmaktadır. Fakat fosil yakıt kaynaklarının sınırlı ve yakın bir zamanda bitecek olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmaktadır. Türkiye'de yenilenebilir enerjinin toplam üretimdeki payı ise 2006 yılından itibaren artış göstermektedir [1]. Türkiye sahip olduğu hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga ve akıntı gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin sağlanabilmesi açısından stratejik öneme sahiptir. Bu nedenle Stratejik Plan kapsamında yenilenebilir enerjinin elektrik enerjisi üretimindeki payının artırılması ve ayrıca ısı enerjisi kaynağı olarak da kullanımının sağlanabilmesi hedeflenmiştir [2].

Günümüzde ise yenilenebilir enerji dünya üzerindeki birincil enerjinin yalnızca %11'ni oluşturmaktadır ve 2070'e kadar bu oranın %60'a çıkarılması ön görülmektedir [3]. PV hücrelerle elektrik üretiminin gelecekte önemli bir rol oynayacağı açıkça görülmektedir.

Türkiye'nin çevresel olarak karşılaştığı en büyük sorun hava kirliliği ve karbon emisyonudur. 2013 yılında toplam sera gazı emisyonu CO₂ eşdeğeri, 459.1 milyon ton (Mt) olarak hesaplanmıştır. 2013 yılı emisyonlarında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı % 67.8 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken, bunu sırasıyla % 15.7 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı, %10.8 ile tarımsal faaliyetler ve % 5.7 ile atık takip etmektedir. Bölgesel ve global çapta karbon emisyon oranının azaltılması büyük önem taşımaktadır [4]. Karbon salınım oranının azaltılması için, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artırılması gerekmektedir. Dünyada çeşitli ülkeler tarafından sera gazı emisyon azaltım desteği verilmektedir. Örneğin, İngiltere'de sera gazı emisyon azaltımı için 29.6 \$/ ton CO₂ destek verilmektedir. Türkiye'de ise böyle bir destek verilmemektedir [5].

Fotovoltaik enerji güç sistemleri yenilenebilir enerji sistemleri arasında en baskın kaynak olarak yer alacaktır. Bunun en büyük sebebi güneş enerjisinin sınırsız ve temiz enerjiye sahip olmasıdır [6]. Son yıllarda çevresel problemler dünya çapında önemsenmekte ve güneş enerjisi sistemleri bu problemleri

çözmek için beklenmedik bir şekilde talep görmektedir [7]. Güneş enerjisi diğer enerji kaynaklarına kıyasla çevre dostu olduğu için büyük avantaja sahiptir. Fotovoltaik sistemler diğer sürdürülebilir enerji kaynaklarına kıyasla sessizliği, sıfır karbon salımlı olması, kurulum esnekliği, işletme ve bakım kolaylığı sayesinde elektrik üretimi için oldukça caziptir. Güneş enerjisi dönüştürme sistemlerinin tasarımı için bölgenin güneş radyasyon miktarına ve güneşlenme süresini ihtiyaç vardır [8]. Fotovoltaik hücrelerden üretilen elektrik enerjisi, küçük çaplı tüketicilerden büyük çaplı güç sağlayan şebekelere kadar geniş ölçekli uygulamalarda kullanılmaktadır. 2000'li yıllarda 0.3 GW olan yıllık kurulum oranı 2012 yılında 31 GW'a ulaşmıştır. Bu değerler göz önüne alındığında yıllık % 48'lik bir büyüme oranı ile son on yılda fotovoltaik enerji sektörü inanılmaz bir değişim yaşamıştır [9]. Türkiye'de güneş enerjisi sitemlerinin kurulumu; elektrik alım tarifesinin yüksek, PV panel maliyetinin düşük ve güneşlenme potansiyelinin yüksek olmasından dolayı avantajlıdır. Ancak evirici, bataryalar ve diğer kurulum ekipmanları ithal edildiği için maliyetler yükselmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde yatırım avantajları dezavantajlardan daha fazla olduğu için Türkiye'de güneş enerji santrali kurulumu her geçen gün daha cazip hale gelmektedir. Türkiye'de sera gazı emisyon azaltım desteği de verilmesiyle güneş enerjisi santrali kurulumu daha da cazip olacaktır.

Bu çalışmadaki amacımız; gerçek bir kurulum işlemi yapılmadan önce PV sistemin farklı bileşenleri bir araya getirilerek, sistemin performansı ile uygunluğunu analiz etmek ve sera gazı emisyon azaltım desteği hakkında farkındalık oluşturmaktır. Bu çalışma Konya Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nde özel olarak uygulanarak şebeke bağlantılı PV sistemin teknik ve ekonomik simülasyonu yapılmıştır. Bu simülasyon sayesinde hastanede kurulacak olan PV sistemin avantajları ve dezavantajları net bir şekilde görülmüştür. Bu simülasyonlar iki farklı şekilde yapılmıştır. İlk simülasyonda sera gazı azaltım emüsyon desteği dahil edilmemiş, diğerinde ise bu destek dahil edilerek çeşitli çıkarımlar yapılmıştır.

RETScreen temiz enerji proje analiz yazılımı dünyanın önde gelen temiz enerji simülasyon programlarından. RETScreen potansiyel enerji projelerini tanımlanması ve değerlendirilmesine bağlı olarak hem finansal hem de zamansal açıdan maliyetleri önemli ölçüde düşürür. Ön fizibilite, fizibilite, gelişme ve mühendislik aşamalarında ortaya çıkan bu maliyetler yenilenebilir enerji ve enerji verimliliği teknolojilerinin yayılmasında önemli engeller olabilir. RETScreen programı bu engellerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olarak, projede meydana gelebilecek ekstra maliyetleri azaltır.

RETScreen programı, önerilen yenilenebilir enerji projesinin yapılıp yapılamayacağı konusunda ve enerji verimliliğinin ya da finansal uygunluğunun belirlenmesinde karar vericilere yardımcı olmaktadır. Eğer proje uygun ya da değilse RETScreen programı karar vericinin hızlı, net bir şekilde ve minimum maliyette uygulanacak projeyi anlamalarına yardımcı olacaktır [10].

RETScreen programı NASA'dan alınan iklimsel veriler sayesinde bölgenin konumu dahil edilerek gerekli enerji ve mali analizlerin yapılmasında yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmanın aşamaları aşağıdaki gibi devam etmektedir; 2. Bölüm'de yapılan fizibilitenin yöntemleri açıklanmıştır, 3. Bölüm'de enerji, çevre ve mali analiz yapılarak fizibilite desteklenmiştir, 4. Bölüm'de ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Yöntem

Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nin mimari projesi dikkate alınarak güneş panellerinin yerleştirilebileceği güney cepheli çatıların alanları hesaplanarak, kullanılacak olan panel adedi belirlenmiştir. Kullanılan panellerin bilgileri, eviricilerin bilgileri, eğim açısı, azimut açısı ve konum bilgileri RETScreen programına girilerek sistemin enerji analizi ve mali analiz yapılmış, tablo ve grafikler oluşturulmuştur. Bu tablo ve grafikler yorumlanarak projenin uygulanabilir olduğu belirlenmiştir.

2.1. Meram Tıp Fakültesi Hastanesi'nin GES Kapasitesinin Belirlenmesi

Meram Tıp Fakültesi Hastanesi, 20 Temmuz 1982 yılında Selçuk Üniversitesi bünyesinde kurulmuş olup, 27 Aralık 2011 yılında Selçuk Üniversitesi'nden ayrılarak Necmettin Erbakan Üniversitesi bünyesinde hizmet vermeye başlamıştır. Konya'nın Meram ilçesinde yer alan fakülte kampüsü yaklaşık 85.415 m²'lik bir alanda faaliyet göstermektedir ve 14 bina ve yaklaşık 70.000 m² kapalı alandan oluşmaktadır.



Şekil 1: Meram Tıp Fakültesi Hastanesi Krokisi

Tablo 1: PV Panel Özellikleri, RETScreen Verileri

Hücre	Poly-Kristal 156x156mm 60 Adet (6x10)	
Maksimum Güç	W _p	270
Tolerans Güç	W _p	0 + 6
Nominal Güç Voltajı (V_{mp})	V	31.7
Nominal Güç Akımı (I_{mp})	A	8.52
Açık Devre Voltajı (V_{oc})	V	38.7
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	A	9.22
Modül Verimliliği	%	16.6
RETScreen Verileri		
Tip		Poly-Si
Güç Kapasitesi	kW	900.00
Verimlilik	%	16.6
Nominal Çalışma Hücresi Sıcaklığı	°C	45
Sıcaklık Katsayısı	%/°C	0.40
Güneş Kolektörü Alanı	m ²	5.422
Çeşitli Kayıplar	%	1
Evirici		
Verimlilik	%	98.2
Kapasite	kW	30x30
Çeşitli Kayıplar	%	0.0
Özet		
Kapasite Faktörü	%	19.6
Şebekeye Verilen Elektrik	MWh	1.547,45

Meram Tıp Fakültesi Hastanesi krokisi Şekil 1’de görülmektedir. Doğu-Batı doğrultusunda, Güney cepheli çatılar PV uygulaması için belirlenmiş ve krokide kullanılabilir alanlar m² cinsinden belirtilmiştir. Toplamda 5965 m²’lik güney cepheli ve PV montajı için uygun çatı alanı bulunmaktadır ve bu alanlar 1000’er m²’lik iki adet, 800’er m²’lik iki adet ve 600 m²’lik bir adet başlıca uygulama çatı alanlarını içermektedir. Sistem için belirlenen ve ilerleyen bölümlerde teknik özellikleri verilecek olan 270 W’lık fotovoltaik panellerin yüzey boyutu 1.627 m²’dir ve kullanılması düşünülen 3334 adet 900 kW’lık santrale ait paneller için fakülte hastanesi çatılarında 5424 m²’lik alana ihtiyaç duyulmaktadır.

2.2. Sistem Dizaynı

2.2.1. Fotovoltaik Panel

Meram Tıp Fakültesi Hastanesi GES için seçilen santral kapasitesi 900kW’tır. Bu değer, önceki bölümde fizibilitesi yapılan güney cepheli çatı alanları temel alınarak belirlenmiştir. Santralde 1.627 m² alana sahip 3334 adet panel kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan panellerin her biri 270 W güç kapasitesine sahiptir. Bu değer piyasadaki muadil paneller karşısında küçük alanda yüksek güç üretimi avantajını sunmaktadır. Panel ve elde edilen RETScreen verilerine Tablo 1’de yer verilmiştir.

2.2.2. Eviriciler

Günümüzde her alanda kullanılan eviriciler doğru akımı alternatif akıma çeviren elektronik cihazlardır. PV sistemlerde kullanılan eviriciler genellikle şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız olmak üzere iki çeşittir. Ve verimleri %70-96 arasında değişmektedir [11]. Yapılan fizibilitede 30 adet 30 kW’lık güce sahip eviriciler kullanılmıştır. Kullanılan evirici özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Evirici Özellikleri

Evirici	
Nominal Giriş Gücü	28600W
Mutlak Maksimum DC Giriş Gerilimi	1000V
Nominal Çıkış Gücü	27600W
Maksimum Çıkış Gücü	30000W
Verim	%98.2

3. Analiz

3.1. Enerji Analizi

RetScreen programında meteorolojik bilgiler kullanılarak yapılan analiz neticesinde aylık ve yıllık toplam enerji üretimleri elde edilmiştir. Tablo 3’te elde edilen verilere göre aylık bazdaki en az enerji üretimi 76.46 MWh ile Aralık ayında, en yüksek enerji üretimi ise 172.93 MWh ile Temmuz ayında gerçekleşmiştir. Tablo 3’te verilen RETScreen analizi sonucu yıllık toplam 1547.45 MWh’lık enerji üretimi elde edilmiştir. Yıllık üretime göre günlük ortalama 4.239 MWh’lık enerji üretimi sözkonusudur. PV sistem tarafından üretilen aylık enerji miktarı meteorolojik değişimlerden dolayı yıl boyunca değişiklik göstermektedir.

3.2. Çevresel Analiz

Fosil yakıtla enerji üreten santrallerin yerine yenilenebilir enerji santrallerinin görev alması çevrede pozitif bir etki oluşturmaktadır. Fosil yakıt kullanımı ile çalışan enerji santralleri çevreye nitrojen oksit (NO_x), Sülfür dioksit (SO₂), Karbondioksit (CO₂) gibi sera gazlarının yanı sıra büyük miktarda kül de yaymaktadır [12]. Tablo 4’te görüldüğü gibi 900 kW’lık güneş enerjisi santrali sayesinde 711.2 ton sera gazı azaltımı sağlanmıştır.

Tablo 3: Aylık ve Yıllık Enerji Üretim Miktarları

Ay	Günlük Güneş Radyasyonu Yatay kW/h/m ² /g	Günlük Güneş Radyasyonu Eğimli kW/h/m ² /g	Elektrik İhracat Fiyatı \$/MWh	Şebekeye Verilen Elektrik MWh
Ocak	2.28	3.25	133	90.98
Şubat	3.09	3.92	133	98.04
Mart	4.26	4.85	133	131.23
Nisan	5.16	5.3	133	135.57
Mayıs	6.12	5.89	133	152.54
Haziran	7.13	6.64	133	162.19
Temmuz	7.39	6.98	133	172.93
Ağustos	6.59	6.66	133	164.91
Eylül	5.51	6.13	133	149.73
Ekim	3.77	4.62	133	120.92
Kasım	2.52	3.49	133	91.94
Aralık	1.90	2.74	133	76.46
Yıllık	4.65	5.05	133	1547.45

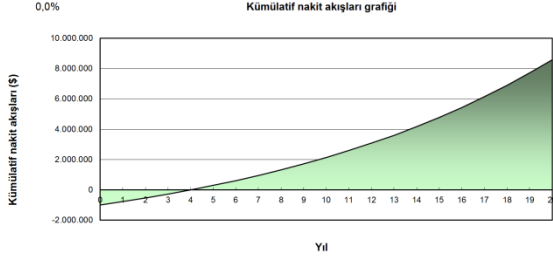
Tablo 4: Yıllık Sera Gazı Azaltım Miktarı

Baz Durum Elektrik Sistemi (Temel) Ülke-Bölge	Yakıt Türü	Sera Gazı Emisyon Faktörü tCO ₂ /MWh
Türkiye	Tüm Tipler	0,460
Sera Gazı Emisyonu	Birim	Miktar
Baz Durum	tCO ₂	711.2
Önerilen Durum	tCO ₂	0.0
Brüt Yıllık Sera Gazı Emisyon Emisyonu Azaltımı	tCO ₂	711.2
Net Yıllık Seragazı Emisyonu Azalması	tCO ₂	711.2
Sera Gazı Azaltma Kredi Oranı	\$/tCO ₂	15

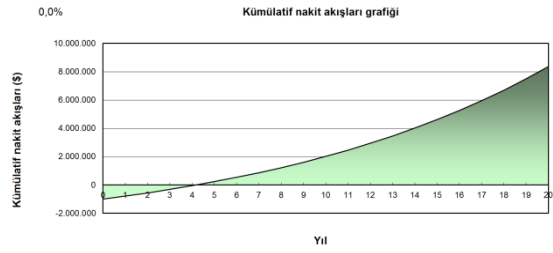
3.3. Mali Analiz

Konya bölgesinde yapılan fiyat araştırmaları neticesinde kullanılacak sistem bileşenlerinin maliyeti Tablo 6’da gösterilmiştir. Sistem malzemelerinin fiyat oranları farklı markalara ve tedarikçilere göre değişmektedir. Türkiye’de devlet on yıl boyunca 0.133 \$/kWh’ten enerji alım garantisi vermektedir. Sistem üreteceği bir yıllık elektrik enerjisi miktarı göz önünde bulundurulduğunda santraldan yıllık 1547.45 MWh x 133 \$/MWh = 205810 \$ gelir elde edilecektir. Bu gelire sera gazı emisyon

desteği de ilave edildiğinde yıllık 216478 \$ gelir elde edilmiştir. Böylece iki farklı mali analiz yapılmıştır. İlk analizde sera gazı emisyon azaltım desteği ilave edilmemiş ve basit geri ödeme süresi 5.1 yıl, diğerinde ise 15\$/tCO₂ ile yıllık 10668\$ destek ilave edilmiş ve basit geri ödeme süresi 4.8 yıl olarak hesaplanmıştır. Sistemin her iki senaryo için mali akış grafiği Şekil 2 ve Şekil 3'te verilmiştir. Finansal analiz parametreleri ise Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 2: Sera Gazı Emisyon Destekli PV Sistemin Mali Akış Grafiği (Öz Sermaye Geri Ödeme 4.0 Yıl)



Şekil 3: Sera Gazı Emisyon Desteksiz PV Sistemin Mali Akış Grafiği (Öz Sermaye Geri Ödeme 4.2 Yıl)

Tablo 5: Finansal Analiz Tablosu

Finansal Parametreler		
Enflasyon Oranı	%	7.7
Proje Ömrü	yıl	20
Borç Oranı	%	-
İlk Maliyetler		
Elektrik Sistemi	\$	990000
Diğer	\$	10000
Toplam İlk Maliyetler	\$	1000000
Teşvikler ve Hibeler		
	\$	-
Yıllık Maliyet ve Borç Ödemeleri		
İşletme ve Bakım Maliyetleri	\$	10000
Yakıt Maliyeti-Önerilen Durum	\$	0
Toplam Yıllık Maliyetler	\$	10000
Yıllık Tasarruflar ve Gelir		
Yakıt Maliyeti-Baz Durum	\$	0
Elektrik İhracat Geliri	\$	205810
Sera Gazı Azaltma Geliri	\$	0
		10688*
Toplam Yıllık Tasarruflar ve Gelir	\$	205810
		216478*
Finansal Sürdürülebilirlik		
Vergi Öncesi İGO-Varlıklar	%	28.2
		29.1%*
Basit Geri Ödeme	yıl	5.1
		4.8*
Öz Sermaye Geri Ödeme	yıl	4.2
		4.0*

*Sera Gazı Azaltma Geliri dâhil edilmiş finansal analiz verileri

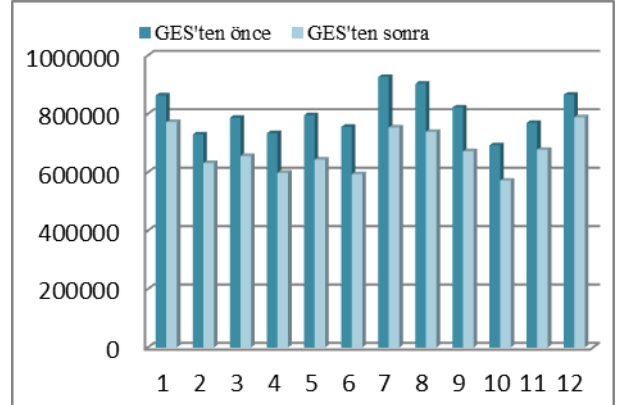
Tablo 6: PV Sistem Maliyet Bileşenleri

PV Sistem Maliyet Bileşenleri	Birim	Miktar
PV	\$/W	1
Evirici, Kablo, Konstrüksiyon	\$/W	0.1
Diğer	\$/W	0.011
Toplam	\$/W	1.1
Sistem Toplam Maliyeti: 900kW x 1.111\$/W = 1000000 \$		
Yıllık Bakım Maliyeti		= 10000 \$

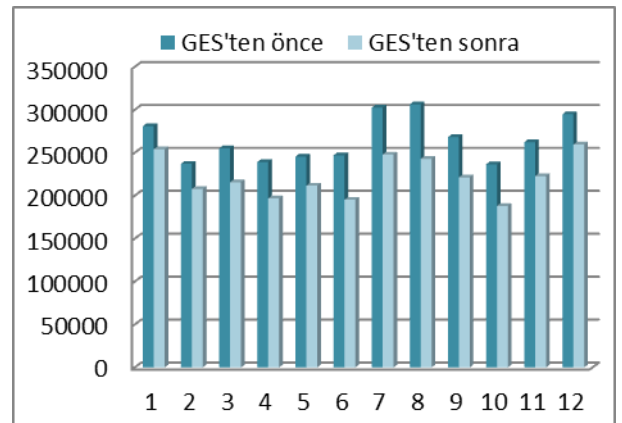
4. Sonuç ve Değerlendirme

Elde edilen sonuçlar ışığında, güneş enerjisi santralinden yıllık toplam 1547.45 MWh enerji elde edilmiştir. Temmuz ayının güneşlenme süresi ve güneş radyasyon miktarının yüksek olmasından dolayı 172.93 MWh'lık enerji üretilmiştir. Bunun yanı sıra Aralık ayında ise güneşlenme süresi ve radyasyon miktarının düşük olmasından dolayı 76.46 MWh enerji üretilmiştir.

Şekil 4'te görüldüğü gibi Temmuz ayında hastanenin elektrik ihtiyacı maksimum düzeydedir. Aynı zamanda Temmuz ayında santralin ürettiği enerji miktarı da maksimum düzeydedir. Dolayısıyla en fazla tüketimin olduğu ayda en büyük kar elde edilmiştir. Bunun yanı sıra Şekil 5'teki grafiğe göre elektrik fiyatlarında aylık ortalama 42.682,72 TL kar elde edilmiştir.



Şekil 4: GES Öncesi ve GES Sonrası Şebeke Aylık Elektrik Tüketimi Grafiği (KWh)



Şekil 5: GES Öncesi ve GES Sonrası Aylık Elektrik Giderleri Grafiği (TL)

Mali analiz bölümünde değerlendirilen iki farklı senaryoya göre; sisteme sera gazı azaltım desteği ilave edildiği zaman yıllık 10668\$ ek kar elde edilmiştir ve sistemin basit geri ödeme süresi 5.1 yıldan 4.8 yıla düşürülmüştür. Bu senaryoda da görüldüğü üzere sera gazı azaltım desteğinin yatırım maliyet-

lerini düşürdüğü ve sistem geri ödeme süresini kısalttığı gözlemlenmiştir. Bu destek sayesinde hem devlet tarafından sera gazı azaltımı farkındalığı oluşturulacak, hem de yatırımcılar için yenilenebilir enerji santrali kurulumu daha cazip hale getirilecektir.

Tablo 7: GES Öncesi ve GES Sonrası Aylık Elektrik Tüketimi ve Giderleri

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ MERAM TIP FAKÜLTESİ HASTANESİ GES ELEKTRİK ÜRETİMİ (KWh) <i>RETSscreen Verilerine göre</i>		ŞEBEKE ELEKTRİK TÜKETİMİ (KWh) <i>GES'ten önce</i>	ŞEBEKE ELEKTRİK TÜKETİMİ (KWh) <i>GES'ten sonra</i>	ELEKTRİK GİDERLERİ (TL) <i>GES'ten önce</i>	BEKLENEN ELEKTRİK GİDERLERİ (TL) <i>GES'ten sonra</i>
OCAK	90980	863213	772233	280960,55	254064,657
ŞUBAT	98040	729898,5	631858,5	237141,25	207881,4465
MART	131230	786870	655640	255217,5	215705,56
NİSAN	135570	734064	598494	239242,55	196904,526
MAYIS	152540	796024	643484	245575,9	211706,236
HAZİRAN	162190	755861	593671	247094,45	195317,759
TEMMUZ	172930	926648,5	753718,5	302663	247973,3865
AĞUSTOS	164910	903665,5	738755,5	306429,2	243050,5595
EYLÜL	149730	822339,5	672609,5	268335,65	221288,5255
EKİM	120920	692729	571809	236600,95	188125,161
KASIM	91940	769425,5	677485,5	262420,65	222892,7295
ARALIK	76460	865468,5	789008,5	295005,3	259583,7965

5. Kaynaklar

- [1] TÜİK, "Enerji İstatistikleri", http://www.tuik.gov.tr/Pre-Tablo.do?alt_id=1029, Son erişim: 15.09.2015.
- [2] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, "2015-2019 Stratejik planı", 35-39, 2014.
- [3] Hossain, A.K., Badr, O. "Prospects of renewable energy utilization for electricity generation in Bangladesh." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11:1617-49, 2007.
- [4] TÜİK, "Sera gazı Emisyon Envanteri", <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18744>, 2013, Son erişim: 15.09.2015.
- [5] The World Bank, "Pricing Carbon", <http://www.worldbank.org/en/programs/pricing-carbon>, Son erişim: 15.09.2015.
- [6] Dinçer F., "The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 713- 720, 2011.
- [7] Yamashita, K., Miyazawa, A., Sannomiya, H., "Research and development on recycling and reuse treatment technologies for crystalline silicon photovoltaic modules", *Proceedings of 3rd World Conference on (Volume 2)*, 1996-1999, 2003.

- [8] Ho, D.T., Frunt, J., Myrzik, J.M.A., "Photovoltaic energy in power market", 6th international conference on the European, 1-5, 2009.
- [9] Winneker, C., "Global Market Outlookfor Photovoltaics 2013-2017", *European Photovoltaic Industry Association Brussels*, <http://www.epia.org/news/publications/global-market-outlook-for-photovoltaics-2013-2017/S>, Son erişim: 15.09.2015.
- [10] Natural Resources Canada, "RETSscreen nedir?", http://www.retscreen.net/ang/what_is_retscreen.php, Son erişim: 15.09.2015.
- [11] Mirzahosseini, A. H., Taheri, T., "Environmental, technical and financial feasibility study of solar power plants by RETScreen, according to the targeting of energy subsidies in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (5), 2806-2811., 2012.
- [12] Agai F., Caka, N., Komoni, V., "Design optimization and simulation of the photovoltaic systems on buildings in southeast Europe", *International Journal of Advances in Engineering & Technology* ,58-68, 2011.



Rıza Büyükeren

Lisans derecesini, 2011 yılında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde, yüksek lisans derecesini 2014 yılında Brunel Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Mühendisliği dalında yapmıştır. Doktorasına, Necmettin Erbakan Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde devam etmektedir. Halen Necmettin Erbakan Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır.



Hasan Basri Altıntaş

1991 yılında Konya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sivas'ta tamamladı. 2009 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2013 yılında Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. Yüksek lisansına Necmettin Erbakan Üniversitesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde devam etmektedir. Akademik ilgi alanları elektrik makineleri ve yenilenebilir enerji kaynakları çalışmalarıdır. 2014 yılından beri Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.



Kerim Martin

1989 yılında Mersin'de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Mersin'de tamamladıktan sonra 2008 yılında Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2012 Haziran ayında Makine Mühendisliği'nden mezun olup Ağustos ayında askerlik hizmetini yerine getirmek üzere orduya katıldı. 2013 Ocak ayında tezkeresini aldıktan sonra Konya'da güneş kolektörü imal eden bir firmada 6 ay çalıştı. 2014 ocak ayında Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) kapsamında Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Elbistan Teknoloji Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği'ne araştırma görevlisi olarak atandı. Daha sonra dil eğitimi için İTÜ'ye 6 aylık süre ile görevlendirildi. Dil eğitiminden sonra 2014 Eylül ayında Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalına yüksek lisans eğitimi için görevlendirmesi yapıldı. Şu anda Necmettin Erbakan Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi olarak biokütle üzerine yüksek lisans tez çalışmalarını sürdürmektedir.



Ali Kahraman

1972 yılında Konya'da doğdu. 1993 yılında Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği'nden mezun oldu. Yüksek lisans ve doktora derecelerini Çukurova Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü'nden sırasıyla; 1997 ve 2002 yıllarında aldı. Doktora çalışmalarının bir bölümünü yapmak üzere Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Lehigh Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda çalıştı. Ali Kahraman Dumlupınar Üniversitesi ve Çukurova Üniversitesi'nde Araştırma Görevlisi, Selçuk Üniversitesi'nde Yardımcı Doçent ve Doçent olarak görev yaptı. Ali Kahraman halen Necmettin Erbakan Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü'nde Doçent olarak çalışmaktadır. Çalışma alanları boru ve kanallardaki akışlar, daimi olmayan akışlar, akış görüntüleme teknikleri, akış ölçüm teknikleri, yenilenebilir enerji teknolojileri ve ekserjidir.

Diyarbakır İli İçin Güneş Enerjisi Verilerinin Meteorolojik Standartlarda Ölçülmesi ve Analizi

The Measurement and Analysis of Solar Data as Meteorological Standard for Diyarbakır City

Hibetullah Kılıç¹, Bilal Gümüş², Musa Yılmaz³

¹Diyarbakır Teknik Bilimler MYO, Elektrik-Enerji Bölümü

Dicle Üniversitesi

hibetullah.kilic@dicle.edu.tr

² Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Dicle Üniversitesi

bilgumus@dicle.edu.tr

³Smart Grid Energy Research Centre (SMERC)

University of California Los Angeles (UCLA)

musayilmaz@ucla.edu

Özet

Güneş enerjisinden yararlanabilmek için, bu enerjinin kullanılması düşünülen yerdeki potansiyelinin en az hata ile belirlenmesi oldukça önemlidir. Elde edilen veriler, benzetim modellerinde ve tasarım kriterlerinde kullanılabilir. Bu çalışma, Nisan 2013 ve Mayıs 2015 tarihleri arasında Diyarbakır'da (Enlem: 37°55' D, Boylam: 40° 14' K) Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (DÜPTAM) binası çatısına kurulan meteorolojik standartlara uygun güneş ölçüm istasyonundan elde edilen veriler kullanılarak yapılmıştır. Böylece bu veriler Diyarbakır ili için güneş enerji sistemlerinin benzetiminde ve tahmin modellerinin geliştirilmesinde kullanılabilir. İki yıllık ölçüm sonuçlarının analizi ile aylara göre ortalama sıcaklık değerleri, ortalama güneşlenme süresi, ortalama küresel ışınım değerleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte yıllık içerisindeki maksimum, minimum ve ortalama küresel ışınım değerleri de belirlenmiştir. Sonuçların analizinden Diyarbakır ilinin güneş enerjisi açısından değerlendirilebilir bir potansiyele sahip olduğunu ve burada ölçülen güneş enerjisi gösterge değerlerinin Türkiye ortalamasından büyük olduğunu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Küresel Işınım, Güneşlenme Süresi, Güneş Enerjisi

Abstract

To benefit from solar energy that is used in a specific area, it is important to determine potential of that area with a minimal error. The obtained data is used for simulation and design criteria. In this paper the measurement data is obtained by a solar measurement station that is established in meteorological standards on the roof of Dicle University DÜPTAM building between

the date of April 2013 and May 2015. Thus the obtained data can be used in simulation and modelling of solar parameters for Diyarbakır city. The data of two years consist of average temperature, average sunshine duration and average küresel solar radiation. Furthermore the value of minimum, maximum and average küresel solar radiation is determined and the whole results is shown in paper. The results show that Diyarbakır city has high potential of solar energy and the measurement parameters of solar energy are above average of Turkey.

Keywords: Küresel solar radiation, sunshine duration, solar energy

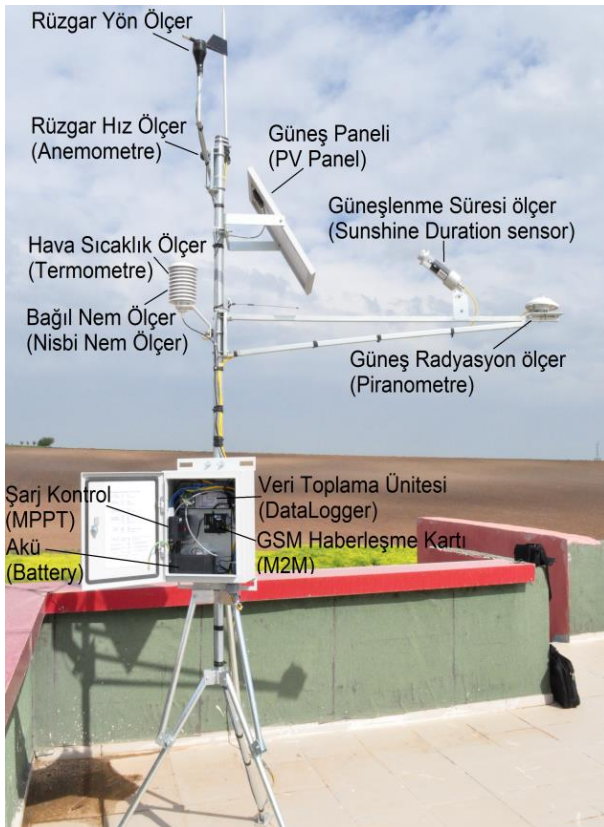
1. Giriş

Günümüzde uygarlığın ve bilgi toplumunun her alanda ihtiyaç duyduğu enerjinin önemi giderek artmaktadır. Enerji, uygarlığımızın temel girdisi olup, üretim ve tüketimi, kalkınma ve gelişmişlik düzeylerini ölçmede kullanılan en geçerli göstergelerdendir. Sürekli artan enerji ihtiyacını karşılamada mevcut kaynakların yetersiz kalması ve fosil yakıt kaynaklı enerji üretimi ve tüketiminin zararlarından ötürü alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır [1].

Dünyadaki yaşanabilir ortamın korunması, iklim değişikliğinin sebep olduğu zararlı etkilerin yanı sıra, enerji üretim ve tüketiminden kaynaklanan çevre tahribatının azaltılması gibi konular tüm insanlığa sorumluluk yüklemektedir. Bu sorumluluğun gereği olarak ulusal ve uluslararası hukuki düzenlemelerin yapılması, enerji üretimi teknolojilerinde ve kaynak seçiminde çevresel etkilerin öncelikle dikkate alınması, enerji kullanımında verimliliğe azami özenin gösterilmesi gibi husus-

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan ölçüm düzeneği, Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilen, Diyarbakır'da (Enlem: 37°55' D, Boylam: 40°14' K) DÜBTAM binası çatısına yerleştirilen güneş ölçüm istasyonundan oluşmaktadır. Güneş ölçüm istasyonu küresel ışınım, güneşlenme süresi, sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, maksimum rüzgâr hızı ve yönü olarak sekiz farklı veriyi ölçebilmekte ve kaydedebilmektedir. Şekil 1 ve Şekil 2'de ölçüm istasyonun fotoğrafları verilmiştir. Bu amaçla güneş ölçüm istasyonunda bir adet piranometre, rüzgâr ve sıcaklık ölçümleri için ilgili duyar-gaç ve veri kaydedici kullanılmaktadır. Anlık olarak ölçülen verilerin onar dakikalık periyotlarla ortalamaları veri kaydediciye kaydedilmektedir. Piranometreler yatay yüzeye gelen doğrusal ve yansıyan ışınımın tamamını ölçmek için tasarlanmışlardır. On dakikalık aralıklarla toplam ışınım verileri W/m^2 , güneşlenme süresi dakika, sıcaklık ise santigrat derece (C°) cinsinden ölçülmüştür. Bu veriler 12 bit analog dijital (A/D) çevirici kullanılarak bir veri kaydediciye (dataloger) kaydedilmiştir. Bu ölçümlerin bilgisayara kaydedilmesi ve analiz edilmesi amacıyla LoggerNet programı kullanılmıştır. W/m^2 cinsinden alınan toplam küresel ışınım daha sonra kWh/m^2 birimine dönüştürülmüştür. Her gün için, küresel ışınım, güneşlenme süresi ve sıcaklık verilerinin ayrı ayrı ortalaması alınarak, Nisan/2013-Mayıs/2015 tarihleri arasında günlük ortalama değerler hesaplanmıştır. Daha sonra günlük ortalama değerlerden yine aynı tarih aralığı için aylık ortalama değerler hesaplanmış ve bu veriler grafikler ile gösterilmiştir.



Şekil 2: Güneş Ölçüm İstasyonunun Yandan Görünümü



Şekil 3: Güneş Ölçüm İstasyonunun Önden Görünümü

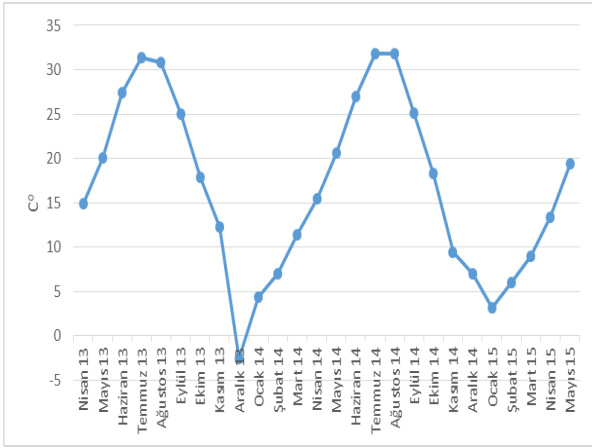
3. Tartışma ve Sonuçlar

Diyarbakır'da Nisan/2013-Mayıs/2015 tarihleri arasında ölçümü yapılan, güneş enerjisi verilerinin değerlendirilmesinde, küresel ışıma, güneşlenme süresi ve sıcaklık için günlük 144 adet veri olmak üzere toplam 791 günlük veri kullanılmıştır. Ölçüm yapılan aralıkta aylara ait sıcaklık, küresel ışıma ve güneşlenme sürelerinin ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Nisan/2013-Mayıs/2015 Aylık Ortalama Sıcaklık Toplam Güneşlenme Süresi Ve Ortalama Küresel Işınım Değerleri

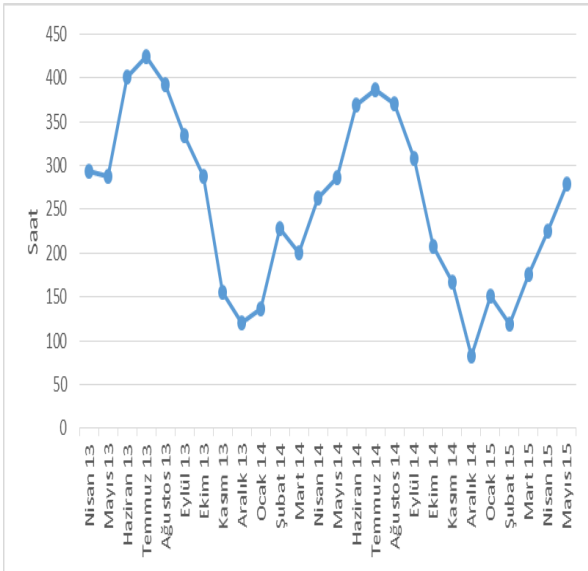
Tarih	Ortalama sıcaklık (C)	Toplam güneşlenme süresi (saat)	Küresel Işınım (KWh/m^2 -gün)
04/13	14,92	293	4,70
05/13	20,03	288	4,44
06/13	27,39	401	7,53
07/13	31,41	424	7,63
08/13	30,82	392	6,64
09/13	25,06	334	5,24
10/13	17,91	287	3,47
11/13	12,24	155	1,39
12/13	-2,51	121	1,01
01/14	4,40	136	1,15
02/14	7,02	228	2,88
03/14	11,43	201	2,72
04/14	15,42	263	3,99
05/14	20,61	286	4,49
06/14	26,97	369	6,62
07/14	31,81	387	6,99
08/14	31,80	371	5,80
09/14	25,16	308	4,62
10/14	18,35	208	2,36
11/14	9,41	167	1,60
12/14	7,02	83	0,64
01/15	3,13	151	1,36
02/15	6,03	119	1,34
03/15	8,95	176	2,26
04/15	13,36	225	3,36
05/15	19,39	279	4,47

Diyarbakır için ölçüm yapılan iki yıllık süreçte, sıcaklığın en yüksek olduğu ay Temmuz 2014 (ortalama: 31,81 C⁰), en düşük olduğu ay ise Aralık 2013 (ortalama: -2,51 C⁰) aylarıdır (Şekil 4). İki yıllık süreçte, aylık toplam güneşlenme süresinin en yüksek olduğu ay Temmuz 2013 (424 saat) ve en düşük olduğu ay Aralık 2014 (83 saat) olarak saptanmıştır (Şekil 5).



Şekil 4: Aylık Ortalama Sıcaklık Grafiği

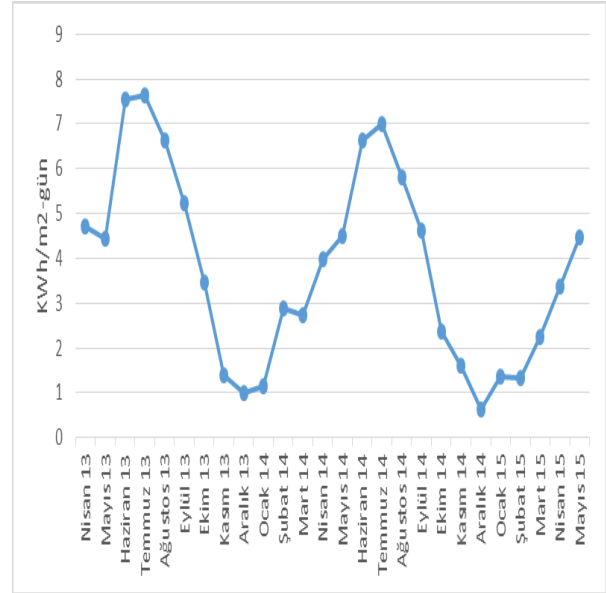
Küresel ışınım değerleri ise güneşlenme süresine paralel olarak en yüksek Temmuz 2014 ayında (7.63KWh/m²-gün), en düşük ise Aralık 2014 ayında (0.64KWh/m²-gün) ölçülmüştür (Şekil 6).



Şekil 5: Aylık Ortalama Güneşlenme Süresi

İki yıllık güneş enerjisi verilerinin analizinden ölçüm periyodu için Diyarbakır ilinin güneşlenme süresinin 243 saat olduğu tespit edilmiştir. Bu değer Türkiye ortalaması olan aylık 220 saatten 23 saat daha büyüktür. Bu durum Diyarbakır ilinde Türkiye ortalamasına göre, ayda ortalama 23 saat

güneşten daha fazla yararlanma imkanının olduğunu göstermektedir. Bunun diğer anlamı Diyarbakır ilinin Türkiye ortalamasına göre ayda yaklaşık 3 güne tekabül eden süre kadar, daha fazla güneşten yararlanabileceği ve enerji üretebileceği sonucudur. Güneş enerjisinden yararlanma konusunda en önemli parametre olan küresel ışınım değerleri ele alındığında, Diyarbakır ilinin ölçüm periyodundaki ortalama küresel ışınım değerinin günde 3,8 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir. Bu değer Türkiye'nin günlük ortalama küresel ışınım değerinden 0,2 kWh/m² fazladır. Bu sonuç Diyarbakır ilinde Türkiye ortalamasına göre yılda m² başına 73 kWh fazla güneş enerjisi düştüğünü göstermektedir. Kullanılan sistemin güneş enerjisinden faydalanma değerine bağlı olarak bu değer elektrik veya başka tür bir enerjiye dönüştürülebilecektir. Türkiye Güneş Enerji Atlası (GEPA)'da Türkiye'nin maksimum aylık küresel ışınım değeri 6,57 kWh/m²-gün olarak belirtilmiştir [8]. Yapılan ölçüm aralığında Diyarbakır'ın maksimum küresel ışınım değeri 7,63 kWh/m²-gün olarak ölçülmüştür. Bu sonuçta Türkiye'nin maksimum küresel ışınım değerinin daha yüksek olabileceğini göstermektedir. Ölçüme dayalı verilerin analizi oluşturulacak bir güneş enerjisi atlası ile daha doğru sonuçlara ulaşılabileceği görülmektedir. Elde edilen veriler ve bu verilerin değerlendirilmesi ışığında, Diyarbakır ilinin güneş enerjisi potansiyelinin ısı ve ışınım bakımından oldukça yüksek olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 6: Aylık Ortalama Küresel Işıma

Bölgelerde veya illerde ölçüm istasyonunun yokluğu, bazı ölçüm verilerinin eksikliği, ulusal meteoroloji ajansları tarafından sağlanan verilerin güncel olmaması gibi nedenlerden dolayı bu çalışmada olduğu gibi güneş enerjisi parametrelerinin ölçümüne yönelik çalışmalar literatür açısından büyük önem arz etmektedir. Kurulan ölçüm istasyonu ile güneş enerjisine ait meteorolojik verilerin elde edilmesi ve bu verilerin analizi ile Diyarbakır iline ait büyüklüklerin belirlenmesi mümkün olmuştur.

4. Kaynaklar

- [1] Duffieand J, Beckman W. Solar Engineering of Thermal Processing, John Wiley & Sons, Madison, Wis, USA, 1991.
- [2] Yılmaz M. Güneş Takip Sistemi ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Elde Etme Yöntemleri ve Optimum Verim Belirlenmesi, Doktora tezi, 2013.
- [3] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).
- [4] Şahan M, “Yıllık toplam ve Ultraviyole (UV) Güneş Enerjisi Verilerinin Ölçülmesi”, SDÜ Fen Bilimleri Dergisi.
- [5] Bulut H, “Diyarbakır ili için Güneş verilerinin analizi ve Tipik Güneş Işınım Değerlerinin Türetilmesi”, TMMOB Maki-
ne Mühendisleri Odası 3. GAP ve Sanayi Kongresi, Şanlıurfa, Türkiye.
- [6] Varınca K, “Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma”, I. Ulusal, Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, Eskişehir, Türkiye, 2013.
- [7] Özdemir Y, “MSG Uydu Verilerini Kullanarak Türkiye için Küresel Güneş Radyasyonu Dağılımının Belirlenmesi”, Meteoroloji Genel müdürlüğü Ankara, Türkiye.
- [8] <http://www.eie.gov.tr>



Hibetullah Kılıç

Dicle Üniversitesi, Diyarbakır Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu'nda Elektrik-Enerji Bölümü'nde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden Lisans Diploması ile 2009 mezun olmuştur. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans yapmaktadır. 2009-2014 yılları arasında çeşitli ulusal ve uluslararası şirketlerde ve projelerde elektrik-elektronik mühendisi olarak çalışmıştır. Çalışma alanları yenilenebilir enerji kaynakları, akıllı şebekeler, güç elektroniği.



Bilal Gümüş

Lisans derecesini İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 1992 yılında almıştır. Yüksek lisans ve doktora eğitimini Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda sırasıyla; 1997 ve 2004 yıllarında tamamlamıştır. Halen Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Uzmanlık ve araştırma alanları elektrik makineleri, güç elektroniği ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.



Musa Yılmaz

Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektronik-Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. 2013 yılında Marmara Üniversitesinden Doktora derecesi ile mezun olmuştur. 2015-2016 yılları arasında post-doktora için University of California Los Angeles'da araştırmacı olarak görev yapmıştır. 2004-2013 yılları arasında Dicle Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu'nda öğretim görevlisi olarak görev yapmıştır. Çalışma alanları; yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, güneş takip sistemleri, akıllı şebekeler.

Güneş Bacası Sisteminden Elektrik Üretim Verimliliğinin İncelenmesi

Investigating Electrical Production Efficiency of Solar Chimney

Yasin İçel¹, M. Salih Mamiş², Abdulcelil Buğutekin³

¹Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü
Adıyaman Üniversitesi
yasinicel@gmail.com

²Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
İnönü Üniversitesi
msalihmamis@gmail.com

³Makine Mühendisliği Bölümü
Adıyaman Üniversitesi
acelil56@gmail.com

Özet

Güneş Bacası Enerji Santrali üç temel bileşenden oluşur: güneş kolektörü, baca ve türbin. Kolektörün altındaki hava sera etkisi ile ısınır, ısınan havanın yoğunluğu azalır ve kolektörün merkezindeki bacaya doğru yükselir. Böylece baca girişine konulan türbinden elektrik üretilir.

Bu çalışmada, Adıyaman Üniversitesi yerleşke alanı içine kurulan "Güneş Bacası Enerji Santral Sistemi"nden alınan ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Bu amaçla günün belirli saatlerinde baca içindeki hava akış hızı ve sıcaklığı, ortam sıcaklığı, ortam rüzgâr hızı, kolektörün sera etkisi ile ısınan zemin sıcaklığı, kolektör altındaki sıcaklık ve hava hızı, farklı çaplarda türbinlerin devir sayısı ve Adıyaman güneş ışınım değerleri ölçülerek değerlendirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada güneş ışınımı, çevre sıcaklığı, baca yüksekliği ve çapının, kolektörün altındaki zeminin güneş ışınım emilim oranının sistem verimlilik performansını etkileyen parametreler olduğu belirlenmiştir. Türbin montajının yapılacağı noktada sıcaklık ve hava hızının en yüksek olduğu görülmüş, ayrıca 0.8 m çaplı 3 kanatlı türbin modelinin sistem için en verimli model olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Güneş Bacası Enerji Santralının Adıyaman için bir alternatif enerji kaynağı olabileceği neticesine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Güneş Bacası Enerji Santrali, kanat modelleri, verimlilik.

Abstract

Solar Chimney Power Plant consists of three basic components; solar collector, chimney and turbine. The air under the collector warms due to greenhouse effect, air density decreases

and air rises to the chimney mounted in the center of the collector. Thereby electricity is produced from turbines placed to the chimney entrance.

In this study, measurement results obtained from the Solar Chimney Power Plant built in Adıyaman University campus area are evaluated. For this purpose, the measured air flow velocity and temperature in the chimney, ambient temperature, ambient wind speed, floor temperature due to greenhouse effect of the collector, temperature and air flow at the bottom of collector, revolution of turbines with different diameters and solar radiation in Adıyaman during particular hours of day are examined.

In the study performed it was specified that the ambient temperature, the stack height and the diameter, the solar radiation absorption rate of the collector floor were parameters significantly affecting the system efficiency. It was determined that the temperature and air velocity were highest at the point that turbine installed and 3-blade turbine model with 0.8 m in diameter was the most efficient model for the system. The results has indicated that the solar chimney power plant is an alternative energy source for Adıyaman region.

Key Words: Solar power, solar chimney power plant, turbine blade models, efficiency.

1. Giriş

Enerjinin bugün sahip olduğumuz medeniyetin temel taşlarından ve ekonomik, sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri olduğu ve gelişmişliğin bir göstergesi olarak yaşam standartlarının yükseltilmesinde hayati bir rol oynadığı bilinmekte-

dir. Sürdürülebilir bir kalkınmanın sürekli ve kaliteli bir enerji arzıyla mümkün olacağı da bilinen bir diğer husustur. Dünya nüfusunun hızla artması, sanayileşmenin ve globalleşmenin de buna paralel olarak hızlanması, dünya enerji ihtiyacını da giderek arttırmaktadır. Günümüz modern bilgi toplumunun; teknoloji, sanayi, ulaşım, iletişim gibi hayatın vazgeçilmez parçaları haline gelmiş her faaliyet için ihtiyaç duyduğu enerji, bugün en kıymetli ve en önemli bir kaynak haline gelmiştir [1, 2].

Enerji tüketiminin tam olarak karşılanamaması, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açığın hızla artmasına neden olmaktadır. Bu durumda da öncelikle ülkemizde artan enerji ihtiyacını karşılamak için yenilenebilir enerji kaynaklarından daha etkin ve rasyonel bir biçimde faydalanılması gerekir [3].

Ayrıca, geleneksel enerji üretim yöntemleri günümüzde çevre kirliliğinin başlıca nedenidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer bir avantajı da enerji üretimi esnasında çevreye çok az zarar vermesidir. Başta kömür ve petrol olmak üzere kullanılan yakıtların yanması sonucu oluşan ve atmosfere verilen SO_x , NO_x ve toz gibi kirletici emisyonlarla beraber sera etkisi yaratarak küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olan CO_2 emisyonları çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle ısı değerleri düşük, kül ve kükürt içerikleri yüksek olan kalitesiz yerli linyit kömürlerin kullanılması, hava kirliliğini daha da artırmaktadır [4].

Güneş bacası fikri ilk olarak 1931 yılında Alman araştırmacı Hanns Günther tarafından ortaya atılmıştır [5,6,7]. Daha sonra Güneş bacası 1970'li yılların sonlarına doğru Prof. Dr. Jörg Schlaich tarafından tasarlanmış ve 1978 yılında ise konsept bir güneş bacası modellenmesi Prof. Dr. Jörg Schlaich tarafından dizayn edilmiştir [5]. Daha sonraki yıllarda dünya çapında birçok araştırmacı güneş bacası sistemi üzerinde inceleme yapmaya başlamıştır. 1997 yılında Florida Üniversitesi kampüs alanında inşa edilen güneş bacası elektrik santralında enerji üretim uygulama modelinde teorik ve deneysel incelemeler başarıyla gerçekleştirilmiştir [6].

Pasumarthi ve Sherif 1998'de, güneş bacasının hem teorik hem de deneysel olarak performans karakteristiklerini incelemiştir [4,8]. Gannon 2000'de, sistem kayıpları ve kolektör performansı düşünülerek güneş bacası çevrim analizi yapmıştır [5]. Sistem kayıpları olarak sürtünme kayıpları, sistem, türbin ve kinetik enerji kayıpları düşünülmüştür.

Güneş bacası enerji üretimi ile ilgili olarak çeşitli yerlerde uygulama prototipleri kurulmuştur.

Kulunk tarafından İzmit'te inşa edilen sistem, baca yüksekliği 2 m baca çapı 0.07 m kolektör alanı 9 m² olup 0.14 W elektrik üretilmiştir [9].

Çinin kuzeybatı bölgesinde Dai ve arkadaşları, 200 m yükseklik ve 10 m çaplı baca ve 196.270 m²lik kolektör alanına sahip güneş bacası enerji santralından, aylık 110-190 kW elektrik enerjisi üretilmektedir [10].

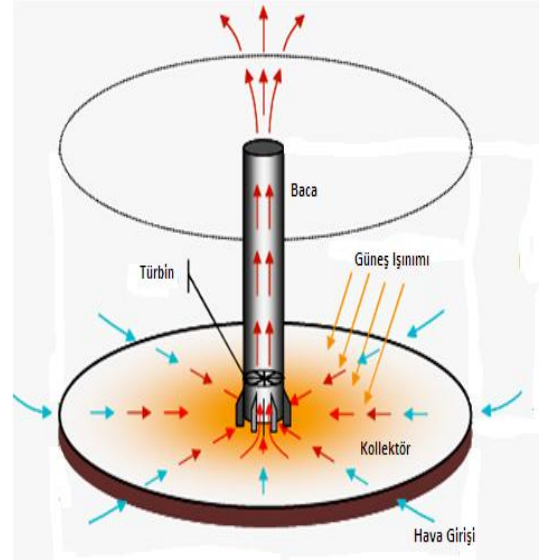
2. Güneş Bacası Elektrik Santrali Tasarımı

2.1. Güneş Bacası Elektrik Santral Yapıları

Güneş bacası sistemi için yapılan ilk tanımlamalardan biri 1931 yılında Alman yazar Hanns Gunther'e aittir [4].

Güneş bacası sisteminde üç temel prensip bulunmaktadır. Bunlar; sera etkisi, yoğunluk ve sıcaklık farkıyla oluşan baca çekişi ve kinetik enerjidir. Sistem dairesel ya da dairesel kesite yakın bir kesitte oluşmuş sera alanından ve bu alanın merkezine konumlandırılmış bacadan oluşmaktadır.

Dairesel cam kolektör altında bulunan hava, kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı sayesinde ısınır. Isınan hava, dış ortamdaki soğuk hava ile arasında oluşan yoğunluk farkından dolayı, kolektörün merkezine doğru hareket eder. Kolektör merkezinde bulunan dikey baca yardımıyla havanın çekişi hızlanır ve hava üst ucu açık olan baca tarafından dış ortama atılır. Hızı artarak bacaya yönelen hava, bacanın giriş bölgesinde bulunan türbini döndürür ve türbine bağlı olan jeneratör yardımıyla elektrik enerjisi elde edilmiş olur.



Şekil 1: Güneş Bacası Sisteminin Çalışma Prensibi [7]

Bu çevrim güneş ışınımı ne kadar büyükse o kadar hızlı bir şekilde gerçekleşir. Baca aynı zamanda kolektör altındaki havayı emdiği için, açık bulunan kolektör yanlarından sisteme tekrar hava girer. Böylece sürekli bir çalışma sağlanmış olmaktadır [4, 5, 11].

Güneş bacasından elde edilen güç, gelen güneş miktarıyla, baca yüksekliğiyle ve kolektör alanı ile doğru orantılıdır. Aynı güç; yüksek baca ve nispeten küçük kolektör alanı veya daha kısa baca ve daha büyük bir kolektör alanı ile de elde edilebilir.

2.2. Sistemin Kurulumu

Araştırmanın yapılabilmesi için Mart 2009'da Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde 38° 11'-37° 25' kuzey enlemi ile 39° 14'-37° 31' doğu boylamı üzerinde yer alan, 669 rakımlı Adıyaman ilinde, Adıyaman Üniversitesi yerleşke alanı içinde günün tüm saatlerinde güneş gören ve çevresi açık alan seçilerek kurulmaya başlanan sistem, Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen proje ile Haziran 2010'da güneş bacası enerji santral prototipi kurulmuştur. Ayrıca prototip imalatı aşamasında TPAO Adıyaman Bölge Müdürlüğü'nden destek alınmıştır.

Adıyaman Üniversitesi kampüs alanına kurulan güneş bacası sisteminde, öncelikle 27 m çapında 0,5 m derinliğinde açılan çukura 0,05 m kalınlığında alüminyum folyolu cam yünü döşenerek, gündüz zemine depolanacak ısının toprağa geçmesi engellenmiştir. Daha sonra alüminyum folyolu cam yünü üzerine 0.10 m kalınlığında çakıl, 0.05 m ince kum, 0.05 m (15 ton) cam parçaları, en üst yüzeye ise 0.25 m asfalt döşenerek özel zemin hazırlanmıştır.



Şekil 2: Güneş Bacası Sistemi Zemin İmalatı [15]

Sistemin kolektör taşıyıcı kısımları çevredeki rüzgâr şiddetine dayanıklı olması için 0.04 x 0.04, 0.04 x 0.08 ve 0.02 x 0.02 metal kare ve dikdörtgen profillerden imal edilmiştir. Zemin sıcaklığının kolektörü oluşturan metal profiller tarafından absorbe edilmemesi için metal profiller zeminden yalıtılmıştır. Güneş kolektörü, Adıyaman ilinin güneş eğim açısına göre 6° derece eğimli ve 27 m çapında imal edilmiştir. Kolektörün üst kısmı oluşturulan modellere göre dört aşamada 0.004 m kalınlıktaki cam ile kaplanmıştır. Kolektörün uç kısımları hava girişini sağlamak için 0.05-0.35 m yüksekliklere göre ayarlanabilen kanatçıklı bir mekanizma ile kapatılmıştır.



Şekil 3: Güneş Bacası Sistemi Kolektör İmalatı [15]

Güneş bacası sisteminin en önemli kısımlarından olan baca imalatında öncelikle türbin ve jeneratörün monte edileceği ve kolektör altından bacaya doğru yönlendirilen havanın türbinden düzgün bir dağılımla geçip bacaya girmesini sağlamak için 0.07 m kalınlığında 'metal sac'dan ana huni ve iç huni üretilmiştir. Daha sonra ana huninin taşıyıcı ayaklarla ve baca ile

bağlantısını sağlamak için ana huninin alt ve üst kısımlarına 0.2 m kalınlığında flanşlar monte edildi. En son olarak 0.07 m kalınlığında metal sac' dan yapılmış 15 m yüksekliğinde 0.8 m çapında baca imal edilip ana huni üzerine yerleştirildi. Bacanın iç kısmını düşük sıcaklıkta tutmak için baca çevresi 0.05 m kalınlığında alüminyum folyolu cam yünü ile kaplandı.



Şekil 4: Güneş Bacası Enerji Santral Prototipinin Bitmiş Hali [15]

Araştırmamızda türbin olmadan yapılan ölçümler sonucunda baca girişine farklı çap ve kanat sayılarına sahip düşey eksenli özel olarak imal edilmiş rüzgâr türbini ve DC jeneratör kullanılmasının uygun olacağına karar verilmiştir [12, 13, 14, 15].

3. Araştırma Bulguları ve Tartışma

Güneş bacası sisteminde türbin montajı yapıldıktan sonra gerçekleştirilen ölçümler 27-29-31 Temmuz 2011 tarihlerinde günlük olarak yapılmış elde edilen veriler paralellik gösterdiğinden 27 Temmuz 2011 tarihinde elde edilen veriler kullanılmıştır [15].

Çizelge 1: Güneş Bacası Sistemi İçin Değişik Kanat Modelli Türbinler İçin Saatlik Devir Sayısı

Kanat Modeli (çap)	Türbin Devir Sayısı (rpm)					
	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
0.8-1 Kanat	112,5	291	465	388	295,2	80,8
0.8-2 Kanat	255,5	349,5	435	466,5	435	205,9
0.8-3 Kanat	294,6	437,4	525	586	488,5	289,8
0.8- 4 Kanat	188,8	254,5	364,5	405	287,8	204,8
0.8- 5 Kanat	249	290	424,9	342	369	244,3
1.2-1 Kanat	0	0	0	0	0	0
1.2-2 Kanat	10	15	10	10	55	0
1.2-3 Kanat	55	19	45	85	73,3	35
1.2- 4 Kanat	30	35	40	60	25	20
1.2- 5 kanat	35	30	35	110	55,5	30

Çizelge 1'de 0.8 m çaplı türbin modellerinin devir sayılarının 1.2 m çaplı türbin modellerinden oldukça yüksek olduğu görül-

mektedir. Rüzgâr türbinlerinde devir sayısı ile türbin girişindeki hava hızı doğru orantılı olarak değişmektedir. Hava hızı, hunin alt çapının büyük olması ve baca girişinde ani daralmadan dolayı hızla yükselmektedir.

Türbin montajından sonra yapılan ölçümlerde de ana huni içindeki 0.8 m çaplı türbinlerin konulduğu noktadaki hava hızının, 1.2 m çaplı türbinlerin konulduğu noktadaki hava hızından yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Ölçüm yapılan gün için güneş ışınım değerlerinin Adıyaman ili için en yüksek olduğu 12:00 ile 13:00 saatleri arasında 0.8 m çaplı türbin modeli için farklı kanat sayılı tipleri Çizelge 2’de birbirleri ile kıyaslayacak olursak, sistem için en verimli türbin modelinin 0.8 m çaplı 3 kanatlı türbin modeli olduğu görülmektedir.

Çizelge 2: Güneş Bacası Sistemi İçin Kullanılan Türbin Modellerinin Kıyaslanması

Kanat Modeli (çap)	Zaman	Türbin Hızı (dev/d)	Türbin Giriş Hızı (m/sn)	Türbin Çıkış Gücü (W)
0.8-1 Kanat	12:00	465	2,91	5,3572
0.8-2 Kanat	12:10	435	2,79	4,756
0.8-3 Kanat	12:20	525	2,95	5,6894
0.8- 4 Kanat	12:30	364,5	2,62	3,984
0.8- 5 Kanat	12:40	424,9	2,57	3,774

4. Sonuç ve Öneriler

Adıyaman Üniversitesi yerleşke alanı içine kurulan güneş bacası siteminde yapılan ölçümlerde güneş ışınım şiddetinin çevre sıcaklığını belirleyici bir parametre olduğu ve dolayısıyla güneş bacası sisteminin performansını etkileyen önemli bir faktör olduğu, kollektörün altındaki ısının bacaya doğru gittikçe yükseldiği ve bacadan yukarı doğru yükseldikçe azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca küçük çaplı güneş bacası sistemlerinde enerji üretirken en iyi performansı elde etmek için baca girişine düşey ekseni bir türbin yerleştirilmesinin uygun olacağı, bu tür güneş bacası sistemlerinde en yüksek gücün 3 kanatlı türbin modelinden elde edildiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, güneş bacası sisteminin Adıyaman şartlarında enerji üretimi için alternatif bir sistem olduğu ve kurulan prototipin geliştirilerek bölgede güneş bacası elektrik santralı kurulabileceği söylenebilir.

5. Kaynaklar

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

[2] K.Kavak, *Dünyada ve Türkiye’de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi*, İktisadi Sektörler Ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Yayın No:2689, Ankara, 2005.

[3] Oda Raporu, Türkiye’nin enerji görünümü, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, MMO/588, 2012.

[4] A.Koyun, “Güneş bacası ile enerji üretiminin incelenmesi”, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2006.

[5] Z.R. Yabuz, “Güneş bacasında konstrüktif iyileştirme çalışmaları ve performans artırıcı yöntemlerin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2009.

[6] Z.Xinping, J.Yang, B.Xiao, G. Hou, *Experimental study of temperature field in a solar chimney powersetup*, Applied Thermal Engineering, 27 (2007) 2044-2050.

[7] J.Schlaich, R.Bergermann, W.Schiel, G.Weinrebe, *Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems - Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation*. 2004.

[8] N.Pasumarthi, S.A.Sherif, *Experimental And Theoretical Performance Of A Demonstration Solar Chimney Model Part 2: Experimental And Theoretical Results And Economic Analysis*. International Journal Energy Research, 22 (1998) 443-461.

[9] H.Kulunk, *A prototype solar convection chimney operated under Izmit conditions*. In: Veziroglu TN, editors. In:Proceedings of seventh MICAES, 1985. p. 162.

[10] Y.J. Dai, H.B. Huang, R.Z. Wang, *Case study of solar chimney power plants in North-western regions of China*, Renewable Energy, 28 (2003) 1295-304.

[11] K.Delikanlı, Z.R.Yabuz, *Güneş bacası prototipinde verimliliği artırıcı yöntemlerin araştırılması*, C.B.ü. Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi, 1:15 (2011) 36-54.

[12] A.Bugutekin, *Effect of the collector diameter on solar chimney powerplants*, Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, 27(1) (2011) 155-168.

[13] A.Bugutekin, *An Experimental Investigation Of The Effect Of Periphery Height And Ground Temperature Changes On The Solar Chimney System*, Journal of Thermal Science and Technology, 32:1 (2012) 51-58.

[14] A.Bugutekin, *Experimental study of temperature field in a solar chimney plant in ADIYAMAN*, Journal of Thermal Science and Technology, in pres, October 2012.

[15] Y.İçel, “Farklı çaplarda kanat modelleri ile güneş bacası enerji sisteminden elektrik üretim verimliliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2012.



Yasin İçel

1975 yılında Malatya’da doğmuştur. 1996 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden mezun olmuştur. Yüksek lisans derecesini İnönü Üniversitesi’nden 2012 yılında almış ve halen İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği’nde Doktora eğitimine devam etmektedir. 1999 yılında İnönü Üniversitesi Adıyaman Meslek Yüksekokulunda Bilgisayar Okutmanı olarak göreve başlamış ve 2006 yılında Adıyaman Üniversitesi’nin kurulması ile Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Elektrik ve Enerji Bölümü’nde Okutman olarak çalışmaya devam etmektedir. Enerji üretimi, iletimi ve dağıtımı ve yenilenebilir enerji sistemleri temel çalışma konularıdır. Evli ve iki çocuk babasıdır.



Mehmet Salih Mamiş

1964 yılında doğmuştur. 1989 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Gaziantep Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nden mezun olmuştur. Yüksek lisans ve doktora derecesini Gaziantep Üniversitesi’nden 1992 ve 1997 yıllarında almıştır. 1997 yılında Yardımcı Doçent, 1992 yılında Doçent ve 2006 yılında Profesör unvanını almıştır. Halen İnönü Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nde görev yapmaktadır. Enerji iletimi ve dağıtımı, güç sistemleri geçici rejim analizleri ve yenilenebilir enerji sistemleri temel çalışma konularıdır.



Abdulcelil Buğutekin

1975’ da Şirvan (Siirt)’de doğan Abdulcelil Buğutekin ilk ve orta öğrenimini Van’da tamamladı. 1993 yılında devlet parasız yatılı olarak Hakkâri Endüstri Meslek Lisesi’nin Tesisat Teknolojisi Bölümü’nü bitirdi. Üç yıllık iş deneyiminden sonra 1996 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü’nün Enerji Anabilim Dalını kazandı. 2000 yılında mezun olarak aynı dönemde Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Makine Eğitimi Bölümü’nde yüksek lisansa başladı. 2002 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2003 yılında yüksek lisansı bitirdikten sonra aynı dönemde Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü’nde doktora programına başladı. 2007 yılında Adıyaman Üniversitesine Yrd. Doç. Dr. olarak atandı, 2014 yılında Doç. Dr. ünvanını aldı. Halen Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görevine devam etmektedir. Evli ve iki çocuk babasıdır.

TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası
EMO BİLİMSEL HAKEMLİ DERGİ YAZIM KURALLARI YÖNERGESİ

“EMO Bilimsel Hakemli Dergi”, özgün bilimsel araştırmalar ile ilginç uygulama çalışmalarına yer veren ve bu niteliği ile hem araştırmacılara hem de uygulamadaki mühendislere seslenmeyi amaçlayan hakemli bir dergidir. İlgili alanı Elektrik Mühendisleri Odası’na kayıtlı tüm mühendislik disiplinleridir. Yayın dili Türkçe olup, dergide yayınlanacak makaleler ve kısa bildirimler ile ilgili yazım kuralları aşağıda verilmektedir.

Makalelerin basıma hazır tam metni, pdf dosyası olarak <http://edergiportal.emomerkez.net/sayilar> adresindeki derginin **Makale Yönetim Sistemi** üzerinden iletilmelidir. Makale dosyaları, ilk yazarın soyadına göre adlandırılmalı, aynı yazara ilişkin birden fazla bildiri iletilmesi durumunda verilen ada ek olarak numaralandırma da yapılmalıdır.

Bilgisayar ortamında iletilmeyen makalelerin hakemlere gönderilmesi ve değerlendirilmesi olanağı bulunmamaktadır.

Makale yazım kuralları:

- Makale sayfaları, A4 (210 mm x 297 mm) kağıt boyutunda hazırlanmalıdır.
- Sayfa kenar boşlukları:
İlk sayfa için
üst = 3 cm, alt = 3,7 cm, sol = 2 cm, sađ = 2 cm
diğer sayfalar için
üst = 2,5 cm, alt = 3,7 cm, sol = 2 cm, sađ = 2 cm.
- Makale herbiri 80 mm genişliğinde iki sütun halinde yazılmalıdır. Sütunlar arasında 10 mm aralık bırakılmalıdır.
- Makale, Times New Roman yazı tipi ile tek satır aralıklı, iki yana dayalı hizalı olarak yazılmalıdır.
- Makale başlığında, bildiri adı, yazar adları, yazarların çalıştıkları kurumların adları ve e-posta adresleri yer almalıdır.
- Başlıktan sonra dört satır boşluk bırakılarak yazılacak Türkçe özet ve İngilizce özet (abstract) kısımları en az 100, en çok 150 kelimedenden oluşmalıdır.
- Bölüm başlıkları, numaralandırılmalı, yalnızca baş harfleri büyük harflerle yazılmalı ve sütuna ortalanmalıdır.
- **Makalede kullanılacak yazı tipi boyut ve biçimleri:**

Başlık	14 Kalın Yalnızca baş harfleri büyük
Yazar adları	12 <i>İtalik</i>
Kurum adları	12
Özetler	9 <i>İtalik</i>
Alt ve üst simgeler	7
Başlıklar	11 Kalın
Metin	9

- Makale değerlendirme sonuçları, sisteme yüklendikten en geç 2 ay sonra e-posta ile yazarlara bildirilecektir. Aksi belirtilmedikçe yazışmalarda birinci yazarın adresi kullanılacaktır.

Tüm yazışmalar ve ilişkiler <http://bilimseldergi.emo.org.tr> web sayfasında açılacak olan alanda elektronik ortamda yapılacaktır.

Bu yazım kuralları, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu ile EMO Bilimsel Hakemli Dergi’nin yayın kurulunca yürütülür.