



Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretim Sistemlerinde Tozlanmanın Sistem Verimliliği Üzerine Olan Etkilerini Değerlendirme

İpek Atik

Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kilis, 79000

O. Faruk Farsakoğlu

Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kilis, 79000

ÖZET

Dünyada enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Artan nüfus artışı, teknolojik gelişmeler, sanayileşme ile birlikte önümüzdeki yıllarda enerjiye olan ihtiyacın daha da artacağı öngörülmektedir. Fosil enerji kaynaklarının çevresel sorunlara sebep olması, fosil kaynak rezervlerinin zamanla azalması hatta tükenmesi gibi sebeplerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Günümüzde gelişmiş ülkelerde yenilenebilir enerji kaynakları olan hidrolik, rüzgâr, jeotermal, güneş, biokütle, dalga, hidrojen vb. gibi kaynaklarda, başta elektrik enerjisi üretimi olmak üzere birçok alanda faydalanılmaktadır. Enerji üretim sistemlerinde en önemli faktör sistem verimliliğidir. Gelişen teknoloji ve yapılan araştırmalar ile sistem verimliliğini artırma yönünde çalışmalar sürmektedir. Tüm enerji üretim sistemlerinde olduğu gibi güneş enerjisinden elektrik enerjisi tüketiminde de verimliliği etkileyen faktörler vardır. Bunlar güneş enerjisi sisteminin kurulduğu konum, mevsimsel değişiklikler, çevresel faktörler ve tozlanma olarak sıralanabilir. Çalışmada Dünya'daki ve Türkiye'deki güneş enerjisi potansiyeli hakkında bilgi verilmiştir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim sistemlerinin çalışma yapısından bahsedilmiştir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretim sistemlerindeki verimliliği etkileyen faktörler, bu faktörlerden olan tozlanmanın sistem verimliliğine etkileri araştırılmıştır. Konu ile ilgili literatür taraması yapılarak yapılan çalışmalar ve gelişmeler hakkında bilgi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, güneş enerjisi, fotovoltaik, verimlilik, tozlanma etkisi

An Assessment of the Impact of Soiling on System Efficiency in Electricity Generation from Solar Energy

ABSTRACT

Global demand for energy sources has been increasing with every passing day. It is foreseen that the need for energy will further increase in coming years as a result of population rise, technological developments and further industrialization. Because of environmental problems, and reduction and even depletion of reserves of fossil energy sources, interest in renewable energy has increased. Today, renewable energy resources such as hydropower, wind, geothermal sources, solar energy, biomass, waves, tides, and

hydrogen are used in many areas in developed countries, production of electrical energy being one of the most prominent uses. The most important factor in energy production is efficiency of the system. With new studies and technological improvements, work has been going on to improve system efficiency. Like in all other energy production systems, there are some critical factors which affect efficiency in production of electricity from solar energy. These can be listed as: location of solar energy system, seasonal changes, environmental factors, and soiling.

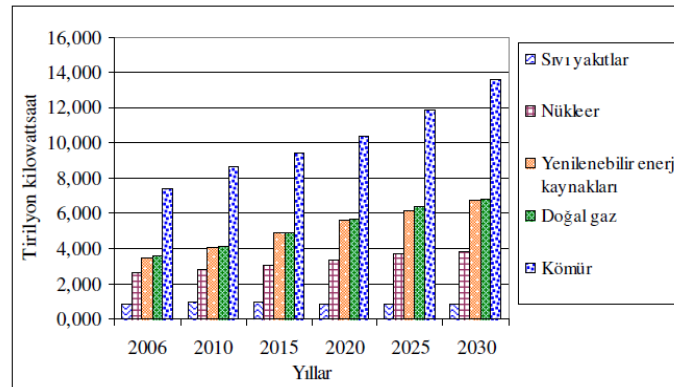
In this study, information is provided about the solar energy potential in the World and in Turkey. The working structure of systems of electricity production from solar energy is discussed. The study investigates the factors that affect efficiency of the systems producing electricity from solar energy, specially, the impact of soiling on system efficiency. Related literature is reviewed; recent studies and developments were reported.

Keywords: Renewable energy, solar energy, photovoltaic, efficiency and impact of soiling.

1 GİRİŞ

Dünyada artan enerji tüketimi ve kaynak rezervlerinin azalması insanları farklı kaynak arayışlarına yönlendirmiştir. Fosil kaynakların tüketimi dünyada birçok soruna sebep olmaktadır. Bunlar küresel ısınma, asit yağmurları, ozon tabakasının delinmesi, zehirli gazların salınımı, orman tahribatları gibi sıralanabilir. Ayrıca enerji kullanımının bu şekilde devam etmesi halinde gelecek 30 yıllık dönemde fosil kaynakların % 80 oranında azalacağı da elde edilen bilgilerdendir [1]. Bu sebeplerden ve çevresel etkilerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi daha da artmaktadır. Özellikle karbon emisyon oranı yüksek olan gelişmiş ülkelerin Kyoto Protokolü'ndeki taahhütlerine bağlı olarak bu oranları azaltmaları gerekmektedir. Örneğin Avrupa Birliği ülkelerinde 2020 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının % 20 olması hedeflenmiştir [2].

Çevre dostu enerji üretim sistemlerinden olan güneş enerjisinden elektrik enerji üretim sistemleri son zamanlarda gelişen teknolojilerdendir. Dünyada güneş enerjisinden daha fazla faydalanma yönünde çalışmalar sürdürülmektedir. Ülkeler çevre dostu olan bu sistemlerin enerji üretim verimlilik değerlerinin artması yönünde çalışmalar yapmaktadır. Aşağıda Şekil 1'de 2006-2030 yılları arasında öngörülen dünyada enerji kaynakları açısından üretilen enerji miktarları hakkında bilgi verilmiştir.



Sekil 1: Enerji kaynakları açısından dünya enerji üretimi [3].

Şekildeki veriler değerlendirildiğinde; dünyada 2006-2030 yılları arasında enerji üretimi bakımından en fazla sıvı yakıtların kullanıldığı, bunu doğalgazın takip ettiği, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin ise artış gösterdiği görülmektedir.

2 DÜNYADAKİ GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, yeryüzünde 0-1.100 W/m² değerlerinde ısı etkisi yaratabilmektedir. Bu ısı enerjisinden; ısıtma sistemleri, soğutma sistemleri, elektrik enerji üretimi gibi birçok farklı alanda faydalanılmaktadır. Güneş enerjisinden faydalanılan sistemler hakkında artık ülke ekonomilerinde yer verilmiştir. Ülkeler potansiyel kaynakları olan güneş enerjisinden faydalanarak dış ülkelere olan enerji bağımlılığını azaltmayı hedeflemiştir. Ayrıca bu sistemlerin çevre dostu olmasından dolayı geliştirilmesi teşvik edilmektedir. Fotovoltaik Endüstri Birliği (EPIA) ve Greenpeace tarafından yayınlanan raporda ülkelerin 2040 yılına kadar enerji ihtiyaçlarının %26'sının güneş enerjisinden sağlanacağı belirtilmiştir.

Dünya atmosfer tabakasının üst sınırında (yaklaşık yeryüzünden 160km yükseklikte) güneş ışınlarının dik geldiği bir konumda ortalama güneş enerjisi yoğunluğu ortalama 1,37 kW/m²'dir. Bu değer "güneş sabiti" olarak belirlenmiştir. Dünyada güneş enerjisinden faydalanmak için en elverişli alanlar ekvatorun 35° kuzey ve güney enlemleri arasında kalan kuşakta yer almaktadır. Bu bölge "Dünya güneş kuşağı" olarak belirtilmiştir. Bu bölge yılda yaklaşık 2000-3500 saat güneş görmektedir. Güneş potansiyeli yaklaşık 3,5-7 kWh/m²-gün olarak değişmektedir.

Dünyada kurak bölgelerdeki güneş radyasyon oranı 2000-2500 kWh/m², daha üst enlemlerde ise bu değer yaklaşık 1000-1500 kWh/m² olmaktadır. Dünyanın çeşitli bölgelerindeki yatay yüzeylere ulaşan günlük ortalama radyasyon miktarları aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Dünyadaki yıllık ortalama güneş enerjisi miktarı [4].

Bölge	KWh/m ²
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1000
Akdeniz Bölgesi	1700
Ekvator (çöl bölgeleri)	2200

3 TÜRKİYE'DE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok ülkeye göre daha şanslıdır. Türkiyede ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, ortalama ışınlam şiddeti 1311 kWh/m²-yıl olarak tespit edilmiştir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aşağıda Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli [4].

Aylar	Aylık Toplam Güneş enerjisi (KWh/m ² -ay)	Güneşlenme Süresi (Saat/ay)
Ocak	51,75	103
Şubat	63,27	115
Mart	96,65	165
Nisan	122,23	197
Mayıs	153,86	273
Haziran	168,75	325
Temmuz	175,38	365
Ağustos	158,40	343
Eylül	123,28	280
Ekim	89,90	214
Kasım	60,82	157
Aralık	46,87	103
Toplam	1311	2640
Ortalama	3,6 KWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Bunu Akdeniz Bölgesi takip etmektedir. Türkiye'nin bölgelere göre olan yıllık güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süreleri Tablo 3'te verilmiştir.

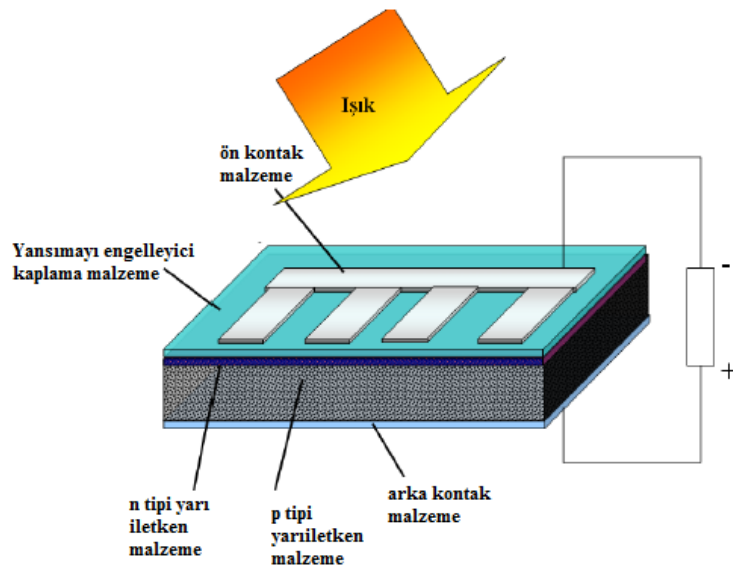
Tablo 3. Türkiye'nin bölgelere göre yıllık güneşlenme potansiyeli [4].

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Ege	1.304	2.738
Karadeniz	1.120	1.971
İç Anadolu	1.314	2.628
Doğu Anadolu	1.365	2.664
Marmara	1.168	2.409
Akdeniz	1.390	2.956
Güneydoğu Anadolu	1.460	2.993
Ortalama	1.303	2.622,71

Bu değerlerin son zamanlardaki teknolojik gelişmeler sayesinde; enerji üretim amaçlı ölçümler yapıldığı takdirde %20-25 oranında daha fazla olacağı öngörülmektedir. Türkiye hâlihazırda güneş enerjisinden ısıl yönden faydalanma konusunda ileri durumdadır. Güneş kolektörü üreticisi ve kullanıcısı durumundadır [4].

4 GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi fotovoltaik pil veya güneş pilleri olarak adlandırılan yarı iletken maddeler ile sağlanmaktadır. Fotovoltaik sözcüğü, ısı anlamına gelen “foto” ve elektrik anlamına gelen “voltaik” sözcüklerinin birleşmesi ile oluşturulmuştur [5]. Fotovoltaik piller üzerine düşen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir [6]. Aşağıda Şekil 2’de fotovoltaik pillerin genel gösterimi verilmiştir.



Şekil 2: Fotovoltaik pil genel gösterim [7].

Her sistemin olduğu gibi fotovoltaik sisteminde artı ve eksi yönleri vardır. Artı yönlerinden kısaca bahsedilecek olursa;

- Kullanılan enerji kaynağı sonsuz ve bedavadır,
- Sistemin yıpranıp bozulmasına sebep olabilecek hareketli parçalar içermez,
- Sistem heryere kolayca monte edilebilir,
- Çalışırken gürültü yapmaz,
- Zararlı gaz emisyonu yapmaz, çevre dostudur.
- Bakım maliyeti düşüktür.

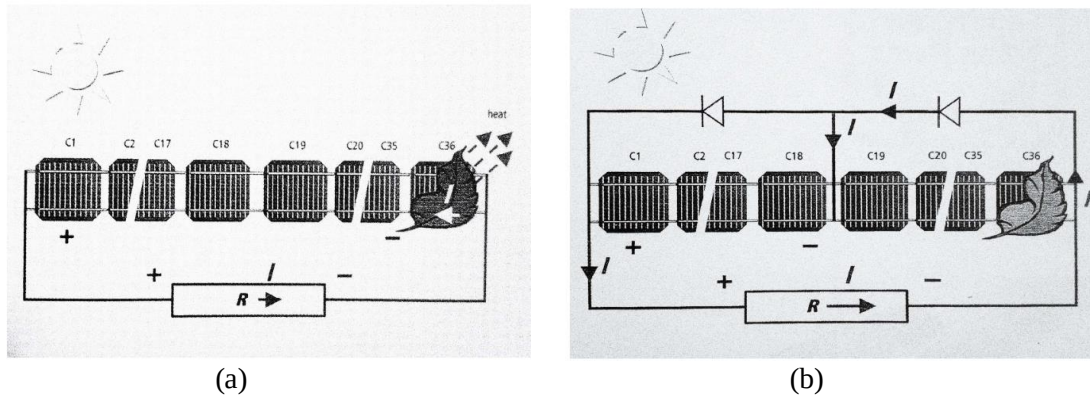
Fotovoltaik sistemlerin eksi yönleri ise;

- Enerji kaynağı sabit değildir, dağınık durumdadır,
- Ekonomik enerji depolama sistemleri yoktur,
- Kurulum maliyetleri ve enerji maliyetleri (diğer fosil esaslı kaynaklar baz alındığında) yüksektir.

Dünyada fotovoltaik teknolojinin geliştirilmesi konusunda çalışmalar sürmektedir. Fotovoltaik sistemlerde, performansı etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar mevsimsel değişiklikler, kurulumun coğrafi konumu, çevresel faktörler ve tozlanma olarak sıralanabilir. Çalışmamızda tozlanma kayıplarının sistem verimliliğini etkilemesi konusundaki çalışmalar incelenmiştir.

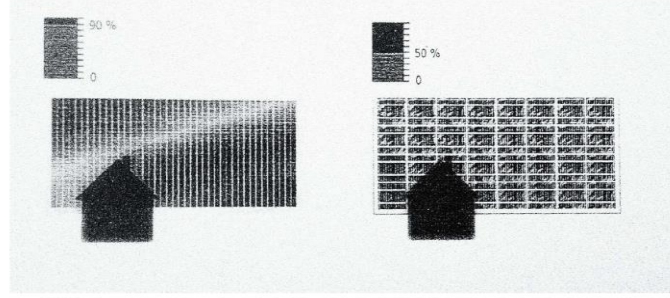
5 FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE TOZLANMA KAYIPLARI

Fotovoltaik sistemlerde (PV) tozlanma kayıpları birçok faktörden kaynaklı olabilir. Bunlar kar, kir, toz, kuş pisliği, polen, yaprak vs. gibi sıralanabilir. Kuş pisliği ve yaprak gibi malzemeler bölgesel kirliliğe, yoğun kar yağışı panelin tümünün kapanmasına neden olan kirlilik sebeplerindendir. Bu olayların neticesinde modülün elektrik enerjisi verimi düşer ve hatta arızalanabilir. Şekil 3.a'da kirlenme sonucunda gölgelenme oluşan modül görülmektedir. Kirlenme sonucu arızalanan modül silikon malzemeden ise sorun bypass diyot kullanılarak giderilebilir. Fakat bypass diyotlar modüllerde 2 yada 4 adet kullanılabilir. Bypass diyotlu modüldeki akım geçişi Şekil 3.b'de verilmiştir.



Şekil 3: a) Gölgeleme hücreden akım geçişi, b) bypass diyot akım geçişi [8].

Modüllerde silikon modüllerin yanı sıra ince filmlilerde kullanılmaktadır. İnce filmlilerde bölgesel kirlenmedeki kayıplar daha azdır. Bu sebeple daha kullanışlıdır. Şekil 5'te silikon ve ince filmlilerdeki gölgelenme etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4: Silikon ve ince filmli modüllerdeki gölgelenme etkisi [8].

Bu konuda sistem verimliliğini inceleme adına birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda tozlanma etkisinin sistem verimlilik değerindeki düşüş oranları araştırılmıştır. Ayrıca tozlanmayı etkileyen faktörler olan çevresel etkenler, temizleme periyodu, yağışın tozlanma üzerine etkisi, bölgenin coğrafi konumunun tozlanmaya etkileri incelenmiştir.

Örneğin konu ile ilgili 2006 yılında Kimber, Kaliforniya ve Amerika'nın güney bölgesinde çalışma yapmıştır. Bölgede 15 dk'lık tozlanma verilerini almışlardır. Toz etkisinin modül performansını ne kadar düşürdüğünü incelemiştir. İncelemeler sonucunda; kurak zamanlarda günlük tozlanmadan kaynaklı kayıpların % 0,2 olduğunu, sistemin yıllık olarak enerji kaybının ise % 1,5 ile % 6,2 arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Bu çalışmada sonucunda tozlanmadan kaynaklanan kayıpların kurak zamanlarda lineer artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, tozlanma ile ilgili PV modüllerin tek başına ve PV modül dizilimi olarak gösterdiği performans değerlendirmesi yapılmıştır. Kirlenen ve çalışmayan modüller kısa devre yapılmış, devrenin verimlilik değerlendirmesini incelenmiştir [9].

İspanyada ise 2006-2007 yılları arasında Malaga Üniversitesinde, Piliouge ve arkadaşları tozlanma ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Elde edilen verilere göre; kurak zamanlarda tozlanmadan kaynaklı kayıpların % 15; yıl geneli değerlendirildiğinde % 6 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada şebeke bağlantılı sistemlerin boyutlarının tozlanma kayıpları etkisi verileri elde edilmiştir. Buna göre boyut etkisinin tozlanmadan kaynaklı verim düşüşüne etkisinin % 3-4 arasında olduğu belirlenmiştir [10].

Kimber 2007 yılında, Güney Kaliforniya'da tozlanma ve temizleme periyodu ilişkisini incelemiştir. Aynı bölgeye aynı boyut, aynı yönde, aynı özellikte 3 adet PV modül yerleştirilmiştir. Bunlara A2, B1 ve B2 denilmiştir. Kurak mevsimde; A2, 2 kez yıkanmış, B1 (1) kez yıkanmış ve B2 hiç yıkanmamıştır. A2 için kirlenme kayıpları ihmal edilmiş, temel verimli sistem olarak değerlendirilmiştir. Buna göre B2'de yıllık tozlanmadan kaynaklı kayıp % 5,1; B1'de yıllık tozlanmadan kaynaklı kayıp % 3,3 olarak bulunmuştur. Elde edilen verilere göre; tozlanma kayıpları oranının güney Kaliforniya'da % 4,8 ile %5,5 arasında olacağı tahmin edilmiştir. Temizleme işlemi şirket tarafından yapılmış, özel bir sistem kurulmamıştır. O sebeple temizleme maliyet hesaplaması yapılmamıştır [11].

Jiang, Lin Lu, ve Ke Sun, 2011 yılında farklı yüzey malzemeli modüller üzerindeki toz etkisini incelemeye yönelik çalışma yapmıştır. Çalışma deney odasında yapılmıştır. Işınım simülatörü, toz jeneratörü, tozu ölçen cihaz ve gerekli ekipmanlar kullanılmıştır. 3 tip PV modül incelenmiştir. Bunlar; cam yüzeyli monokristal silikon, epoksi yüzeyli polikristal silikon ve cam yüzeyli amorf silikon. Toz birikme yoğunluğu 0-22 g/m² arasında değiştiğinde, ışınlam 760W/m² de sabitlenmiştir. Buna göre modül verimlilik azalması %0 ile %26 arasında değişkenlik göstermiştir. Işınım 300-760 W/m² arasında değiştiğinde toz yoğunluğu 8 g/m² de sabitlenmiştir. Bu durumda orta seviyedeki (yaklaşık 500 W/m²) ışınlamda verimlilik değerindeki bozulmanın minimum seviyeye ulaştığı gözlemlenmiştir. Yüzey malzemeleri verimlilik ilişkisi incelendiğinde verimlilik değerleri; cam yüzeyli mono kristal de en az, polikristal silikonda en fazla olduğu görülmüştür. Çalışmada yüzey malzemesi toz tutma değerlendirmesi yapılmış olmuştur [12].

Pavan, Mellit, ve De Pieri 2011 yılında, İtalya'da 1.2MWp'lik sistemdeki kirlilik ve verimlilik değişimini incelemiştir. Tilt açısı sabitlenmiş, modül yüzey malzemesi olarak multi kristal silikon malzeme kullanmıştır. PV modulun tozlanmadan kaynaklanan performans değişiklikleri incelenmiştir. 7 hafta boyunca analiz yapılmıştır. İlk periyotta 1 yıl boyunca yıkanmamış modüller incelenmiş, bunlara #1

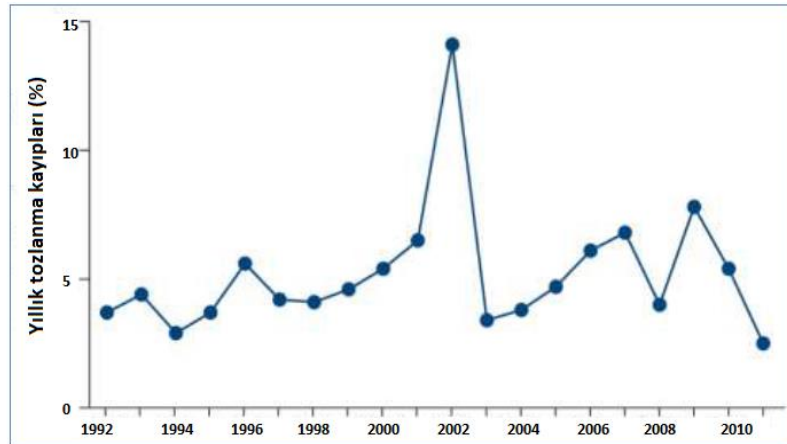
denilmiştir. 2. Periyotta yıkanmış modüller kullanılmış, #2 denilmiştir. Yıkanmış modüllerin bir tanesi ekstra olarak fırçayla da temizlenmiştir. Standart test koşulları yaratmak için modül sıcaklığı 25 °C ışıma 1000W/m² olarak ayarlanmıştır. Buna göre #1 koşuldaki performans düşüşünün % 6,9; #2. koşuldaki performans düşüşünün % 1,1 olduğu görülmüştür. Performans düşüşlerindeki farklılığın sebebinin tozlanmadan kaynaklı olduğu öngörülmüştür. Ayrıca temizlenen modüllerden fırçayla temizlenen modülde daha hızlı bir performans artışı olduğu saptanmıştır. Sonuç olarak araştırmacılar temizleme tekniğinin tozlanma etkisine ilişkisini incelemiştir. Temizleme masrafları hesaplanırsa daha net verimlilik sonuçları çıkacağı öngörülmüştür. Ayrıca verimliliği optimum yapmak için şartların daha net belirlenebileceği belirtilmiştir [13].

Yine İspanya’da 2012 yılında yapılan başka bir çalışmada Zorilla-Casanova, daha geniş kapsamlı veri alımı yapmıştır. Gün içerisindeki toz miktarı değişimini incelemiştir. Buna göre kurak zamanlarda tozlanmadan kaynaklı kayıpların % 20’ye ulaştığı, yıllık ise % 4,3 olduğu belirlenmiştir [14].

2013 yılında Kleissl ve arkadaşları Kaliforniya’da en büyük çalışmalardan birini yapmıştır. 186 PV modüllü bulunan sistemi incelemiştir. Yapılan çalışmada günlük elektrik enerjisi üretimi ile tozlanmadan kaynaklı verimlilik düşüş etkisi incelenmiştir. İncelemeler sonucunda; kurak zamanlarda günlük tozlanma oranının sistem performansını % 0,051 oranında düşürdüğünü belirlemiştir [15].

Bir diğer çalışma, 2013 yılında Caron ve Litmann’ın, 2 ayrı bölge koşulunda PV paneller üzerindeki tozlanma etkilerini incelemesidir. Bölge olarak çöl ve yoğun zirai (tarım) yapılan bölgeler seçilmiştir. Çalışma sonucunda zirai çalışmaların yoğun olduğu bölgede tozlanmadan kaynaklı performans düşüş oranının aylık % 11,5, çöl bölgesinde ise bu oran % 1 olduğu görülmüştür [16].

Uzun periyotlu bir diğer çalışma, McCarty Şirketinin 2013 yılında Scott tarafından Kanada’da yapılan çalışmasıdır. Bu çalışmada Arizona’daki 2 farklı bölgedeki 20 yıllık veriler alınmıştır. Buna göre günlük tozlanmadan kaynaklanan verim düşüşü oranlarının % 0,04 ile % 0,07 arasında değiştiği görülmüştür. Şekil 6’de Arizona’daki 2 farklı bölgeye ait yıllık tozlanma kayıpları görülmektedir [17].



Şekil 5: Yıllık tozlanma kayıpları Gilabend, Arizona [17].

Şekil 6’den da görüldüğü üzere tozlanmanın mevsimsel değişimi incelendiğinde, farklı hava koşullarının tozlanma seviyesinin artış ve düşüşünde önemli rol oynadığı görülmüştür. Yoğun yağışların PV modülü temizlemeye yardımcı olduğu, kurak zamanlarda tozlanma kayıplarının maksimum seviyeye çıktığı belirlenmiştir.

6 SONUÇLAR

Yenilenebilir enerji kaynakları günümüzde diğer enerji kaynaklarının yerini almaya başladığı yapılan araştırmalardan elde edilen verilerdendir. Bu konuda birçok teşvik edici sebepten bahsedilmiştir. Bunlar çevre dostu olması, fosil kaynakların azalması, ülkelerin kendi enerjilerini üreterek dış ülkelere olan bağımlılıklarını azaltması gibi sıralanabilir. Yine yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin dünya genelinde artış gösterdiği elde edilen verilerdendir. Fotovoltaik pillerin üretiminin de dünyada kayda değer artış gösterdiği görülmektedir. Bu pillerin verimliliğini etkileyen faktörler konusunda çalışmalar yapılmıştır. Çalışmamızda da fotovoltaik pillerin sistem verimlilik değerini etkileyen faktörlerden tozlanma konusunda yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. Tozlanmanın sistem verimliliği üzerine etkilerinin farklı ülkelerde ve bölgelerde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sistem performansını etkileme değerleri gerçek veriler ile belirtilmiştir. Buna göre yapılan çalışmalarda İspanya, İtalya, Kanada, Kaliforniya gibi dünyanın farklı bölgelerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde; Günlük tozlanma kayıplarının sistem verimliliğini % 0.04 ile % 0.07 oranında, Kurak zamanlardaki tozlanma kayıplarının sistem verimliliğini % 15 - % 20 oranında, Yıl boyu değerlendirildiğinde ise tozlanma kayıplarının sistem verimliliğini % 1.5 ile % 6.9 oranında düşürdüğü görülmektedir. Yağışın ve temizleme etkisinin sistem performansına etkisini incelemek için yağışlı ve kurak zaman ölçüm değerleri alınmıştır. Tozlanma etkisinin sistem verimliliğine olan etkilerinin yıllık ve günlük değerlendirme sonuçları sayısal verilerle belirtilmiştir. Sistemin yüzey malzeme türünün toz tutma oranına bağlı değerlendirme yapılmıştır. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde tozlanma konusunda birçok parametrenin tozlanmayı oranını etkilediği, bu oranın ise sistem performans verimliliğinde düşüşe sebep olduğu görülmüştür.

REFERANSLAR

- [1] Yüksel D. and Kaygusuz K. (2011). Renewable energy sources for clean and sustainable energy policies in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (15): 4132-4144.
- [2] Karadağ, Ç., Gülsaç, I.I., Ersöz, A. ve Çalıskan, M. (2009). Çevre Dostu ve Temiz: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, *TUBİTAK Bilim ve Teknik*, (498), 24-27.
- [3] Web-1: Energy Information Administration [EIA]. International energy outlook, DOE/EIA-0484, <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/>, erişim: 15.01.2016.
- [4] Web-2: Elektrik İdaresi Etüt Müdürlüğü [EİE]. Yenilenebilir enerji kaynakları, <http://www.eie.gov.tr/turkce/gunes/gunespv.html>, erişim: 10.01.2016.
- [5] Graf, R.F. Modern dictionary of electronics. Butterworth-Heinemann Publishers, A.B.D. (1999).
- [6] Messenger, R.A. ve Ventre, J. Photovoltaic systems engineering. Taylor & Francis Publishers, Florida, (2004).
- [7] Web-3: internet: <http://www.spirofrog.de> 30-01-2010, erişim: 02.01.2016.
- [8] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie [DGS]. Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers. Sterling, VA:Earthscan Publishers, (2008).
- [9] Kimber, A., Mitchell, L., Nogradi, S., Wenger, H. (2006). The effect of soiling on large grid-connected photovoltaic systems in California and the South west region of the United States. Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2, 2391-2395.
- [10] Piliouline, M., J. Carretero, M. Sidrach-de-Cardona, D. Montiel, and P. Sánchez- Friera. (2008). Comparative Analysis of the Dust Losses in Photovoltaic Modules with Different Cover Glasses. 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2698-700.

- [11] Kimber Adrienne. (2007). The effect of soiling on photovoltaic systems located in arid climates. 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, Italy.
- [12] Jiang H., Lin L., and Ke S. (2011). Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) Modules. J. of Atmospheric Environment 45: 4299-4304.
- [13] Pavan A. M., Mellit A., Pieri D. D. (2011). The Effect of Soiling on Energy Production for Large-scale Photovoltaic Plants. Solar Energy 85, 1128-136.
- [14] Casanova Z., Piliouline J. M., Carretero J., Bernaola-Galván P., Carpena P., Mora-López L., and Sidrach-De-Cardona M. (2012). Losses Produced by Soiling in the Incoming Radiation to Photovoltaic Modules. Progress in Photovoltaics: Research and Applications.
- [15] Mejia F. A., Kleissl J. (2013). Soiling Losses for Solar Photovoltaic Systems in California. Solar Energy 95, 357-63.
- [16] Riley C. J., Littmann B. (2013). Direct Monitoring of Energy Lost Due to Soiling on First Solar Modules in California. IEEE Journal of Photovoltaics 3.1, 336-40.
- [17] Scott C. (2013). Quality Assurance: Impacts of Soiling on Utility-Scale PV System Performance. Solar Pro Magazine, 6(3), 14-20.