



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 28.11.2022
Kabul Tarihi : 27.12.2022

Received Date : 28.11.2022
Accepted Date : 27.12.2022

TÜRKİYE'DEKİ LİSANSIZ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE ÜRETİM KAYIPLARININ BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF PRODUCTION LOSSES AT UNLICENSED SOLAR PLANTS IN TURKEY

Mehmet BAYRAK^{1*} (ORCID: 0000-0001-5225-0640)
Ecem ASLAN¹ (ORCID: 0000-0003-0212-0893)

¹Sakarya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Mehmet BAYRAK, bayrak@sakarya.edu.tr

ÖZET

Dünyada elektrik enerjisi üretiminde sera gazlarının azaltılması yönünde alınan tedbirler sonucu yenilenebilir enerji santrallerinin kurulumu artmaktadır. Ülkemizde de özellikle güneş enerji santrallerinin kurulumunda son yıllarda büyük artış yaşanmaktadır. Fakat, lisanssız elektrik enerjisi üretimi için getirilen bazı yönetmeliklerde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Bu çalışmada, ülkemizde bir yılda şebeke bağlantı yönetmeliğinden kaynaklanan üretim kayıpları hesaplanmıştır. Hesaplamalar için gerçek ışımaya verileri ve teknik kayıplar kullanılmıştır. Teknik kayıpların doğru olarak bulunabilmesi için modül sıcaklığının kestirimi için farklı yöntemlerle hesaplanan değerler gerçek verilerle karşılaştırılmıştır. Bütün kayıplar gerçeğe yakın olarak hesaplandıktan sonra bütün güneş enerjisi santrallerinde saatli üretilen enerji hesaplanmıştır. Bu hesaplamaların ardından Türkiye'de bir yılda üretilmeyen elektrik enerjisi bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi santralleri, teknik kayıplar, üretim kayıpları.

ABSTRACT

As a result of the measures taken to reduce greenhouse gases in electrical energy production in the world, the installation of renewable energy plants is increasing. There has been a great increase in the installation of solar power plants in Turkey in recent years. However, any regulations for unlicensed electricity generation have been done until now. In this study, generation losses due to grid connection regulation in one year in our country were calculated. Real radiation data and technical losses are used for power calculations. In order to find the technical losses correctly, the values calculated by different methods for the estimation of the module temperature were compared with the real data. After real calculations of all losses, the hourly energy produced in all solar power plants was calculated. After these calculations, the electrical energy that cannot be produced in a year in Turkey has been found.

Keywords: Solar power plant, technical losses, production losses.

GİRİŞ

ToCite: BAYRAK, M. & ASLAN, E, (2023). TÜRKİYE'DEKİ LİSANSIZ GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALLERİNDE ÜRETİM KAYIPLARININ BELİRLENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 233-240.

Dünyada fosil yakıtların hızlı biçimde tükenmesi ve özellikle son on yılda fotovoltaik endüstrisinin gelişmesi sonucu güneş enerji sistemlerinin kullanımı ve toplam enerji üretimindeki payı artmaya başlamıştır. Güneş enerjisi ilk başlarda ısıtma amaçlı doğrudan kullanılmasına karşılık, günümüzde büyük çoğunlukla elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılmakta ve soğutma amacıyla da farklı teknolojiler bulunmaktadır. Ayrıca güç elektroniği teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte düşük maliyetli yüksek verimli eviriciler geliştirilmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency, IEA) raporuna göre, 2050 yılına kadar dünya enerji ihtiyacının %11'i güneş enerjisinden sağlanması beklenmektedir (IEA, 2021). Bunun sonucunda 2050 yılına kadar atmosfere salınan CO₂ emisyonları 100 giga ton olacaktır. Ülkemizde de bu amaçlı son yıllarda birçok güneş enerji santralleri kurulmuş ve hala devam eden projeler bulunmaktadır.

Fotovoltaik sistemlerin planlanmasında yıllık olarak üretecekleri elektrik enerjisinin doğru olarak tahmin edilmesi yatırımın fizibilitesi açısından çok önemlidir. Bu fizibilitenin en doğru şekilde yapılabilmesi için oluşabilecek kayıpların iyi hesaplanması ve bunların en aza indirilmesi gerekmektedir. Santrallerde elektrik enerjisi üretiminde oluşan kayıplar en temelde teknik ve üretim kayıpları olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Teknik kayıplar genellikle malzeme yapısı, ortam koşulları, yaşlanma, tasarım hatası v.b. etkenlere bağlı iken, üretim kayıpları tamamen kişilere ve yönetmeliklere bağlıdır.

Ülkemizde fotovoltaik elektrik enerjisi santrallerinin kurulumu lisanslı ve lisanssız olarak ikiye ayrılır. Güneş enerjisine dayalı elektrik santrallerinin kurulu gücü haziran 2022 sonu itibarıyla 8,479 MW olup, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %8,35'dir. (Yolcan, 2020). Bu santrallerin de büyük çoğunluğunu lisanssız santraller oluşturmaktadır. Üreticiler lisanssız elektrik enerjisi santrali kurmadan önce belirli güce kadar şebekeye bağlantı izni almakta ve daha sonra tesisi kurmaktadır. Santral sahiplerinin hemen hemen tamamı AC bağlantı gücünden daha büyük DC güneş enerjisi modül gücü kullanmaktadır. EPDK yönetmeliklerine göre, şebekeye bağlantı izninden daha büyük bir güç verilmesi durumunda üreticiler o ay için ürettikleri enerji bedelini tahsil edememektedirler. Bu durum üretim kayıplarına neden olabildiğinden, şimdiye kadar ne kadar yıllık kayıpların olabileceği ayrıntılı olarak hesaplanamamıştır.

TEKNİK KAYIPLAR

Şebeke bağlantılı güneş enerji sistemlerinde elektrik enerjisi üretimi kullanılan elemanların özelliklerine, coğrafi konuma, sistem konfigürasyonuna, ışınmı etkileyen parametrelere dolayısıyla modül sıcaklığına ve modüllerin yerleşim biçimine bağlıdır. Bu kayıplara ekti eden etkenlerden önemli olanları aşağıdaki biçimdedir:

Gölgelenme

Güneş enerji sistemlerinde herhangi bir ışımada üretilecek enerjinin maksimum olması için seri bağlı bütün modüllerin yüzeylerine aynı şiddette ışımanın gelmesi gerekir. Fakat güneş yörüngesi, bulutlar, ağaçlar, yapılar vb. etkiler gölgelenmeye neden olduğundan modüller üzerine gelen ışınlarda farklılıklar olabilir. Bu farklılıklar bütün sistemi olumsuz etkilediğinden sistemin performansı önemli derecede etkilenir. Modüller arasındaki mesafeler artırılarak sabah ve akşam saatlerinde güneş yörüngesinden dolayı oluşacak gölgelenme kayıpları azaltılabilir. Fakat, bu durumda modüllerin yerleşimi için çok daha fazla alana ihtiyaç olacağından arazi maliyetleri artacaktır. En uygun mesafenin bulunması çok karmaşık bir problem olup, bunun için PVSYSYT gibi özel yazılımlar kullanılmaktadır.

Tozlanma

Büyük güçlü güneş enerji santralleri kırsal alana kurulmakta olup, etraflarında birçok toz ve kir kaynağı bulunmaktadır. Bu tozlar zamanla modüllerin üzerine birikerek, hücreye gelen ışınmı bir miktar engellemektedir. Tozlanmadan dolayı oluşan kayıpların miktarları tam olarak bilinmese de bu konuda birçok araştırma yapılmıştır (Sayyah vd., 2014). Bu çalışmalardan bazılarında tozlanma kayıplarının ülkeden ülkeye çok değiştiği sonucuna varılmıştır (Maghami vd., 2016).

Modül Eğimi

Güneşten maksimum güç elde etmek için fotovoltaik modüller yatay düzlem ile bir açı oluşturacak şekilde yerleştirilmelidir. Böylece güneş ışıkları özellikle ışımanın en fazla olduğu öğle saatlerinde modüle dik bir açıyla düşebilir. Modüllere düşen radyasyon seviyesi enlemlere göre farklılıklar gösterdiğinden, en uygun eğim açısının bulunması çok önemlidir. Bu açı, üretilecek enerjinin maksimum olması için aylık, mevsimlik veya yıllık olabilir. En uygun modül eğiminin bulunması için birçok yöntem geliştirilmesine rağmen, genellikle aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır. Dünya belirli bir açı ile kendi etrafında ve yıllık olarak güneş etrafında döndüğünden ilk önce

$$\delta = 23,5 \sin \left(\frac{360}{365} (J + 284) \right) \quad (1)$$

bağıntısı ile güneşin sapma açısı bulunmalıdır. Burada J değeri 1 ocaktan başlamak üzere yılın kaçmıncı gün olduğunu göstermektedir (Talebizadeh vd., 2011). Günlük modül eğimi ise,

$$\beta_{opt} = \phi - \delta \quad (2)$$

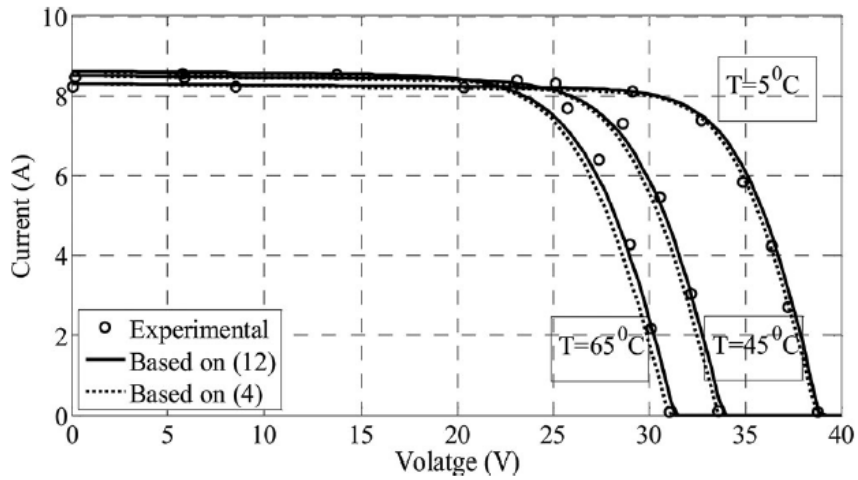
bağıntısı ile bulunur. Burada β modül eğimini ve ϕ tesisin bulunduğu konumun enlem açısını gösterir. Modül eğiminin günlük ve aylık değiştirilmesi için ilave donanım gerekeceğinden ve bu da maliyetli olacağından modül eğimleri yıllık üretilen enerjiyi maksimum yapacak şekilde sabit tutulur. Bunun için,

$$Enlem - 10 < Eğim < Enlem \quad (3)$$

genel ifadesi bir fikir vermektedir (Boztepe). Daha hassas hesaplamalar için karmaşık bağıntılar veya özel programlar kullanılmalıdır.

Modül Sıcaklığı

Güneş enerji sistemlerinde elektrik enerjisi üretimi güneş radyasyonuna bağlı olduğu gibi, ortam sıcaklığına ve dolayısıyla modül sıcaklığı ve rüzgar hızına da bağlıdır. Diğer bir ifadeyle modüllerin maksimum gücü ürettiği nokta çevresel faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklıkta bunlardan en önemli olanıdır. Modül sıcaklığı arttıkça modül kısa devre akımı artmakta, gerilimi de buna göre daha hızlı düşmektedir. Bunun sonucunda modül çıkış gücü ciddi derecede azalmaktadır. Modüllerin sıcaklığa bağlı olarak akım-gerilim eğrileri Şekil 1'de verilmiştir (Farivar, 2011):



Şekil 1. Modül Sıcaklığına Bağlı Olarak Gerilim-Akım Eğrileri

Modül çıkış akımdaki artış ile gerilimdeki düşüş gücün sıcaklıkla çok fazla azalmasına neden olmaktadır. Eğer modül sıcaklığı ölçülebilirse güçteki azalma da kolaylıkla hesaplanabilir. Modül sıcaklığının ölçülmesinin zor olduğu durumlarda dış ortam sıcaklığına göre modül sıcaklığının kestirilmesi gerekir. Bu amaçla birçok bilimsel çalışmalar yapılmıştır (Segado vd., 2015). Nominal hücre çalışma sıcaklığı modeli, Faiman modeli, Ross modeli, King modeli, Muzzathik (Muzathik, 2014) modeli ve sonlu farklar yöntemi bunlardan bazılarıdır. Bazı çalışmalarda modül sıcaklığını kestirmek için rüzgar hızı dikkate alınmamaktadır. Ross modelinde modül sıcaklığını kestirmek için aşağıdaki denklemde görüldüğü gibi ortam sıcaklığı ile güneş radyasyonu kullanılır (Ross, 1976).

$$T_{pv} = T_a + kG \quad (4)$$

Burada T_a ortam sıcaklığını, G radyasyon ışınmasını ve k ise katsayıyı gösterir. Bazı durumlarda bu katsayı $0,3 \text{ cm}^2\text{C/mW}$ olarak alınır.

Rüzgar hızının dikkate alındığı Faiman modül sıcaklığı,

$$T_{pv} = T_a \frac{G}{U_0 + U_1 v} \quad (5)$$

bağıntısıyla bulunur. Burada U_0 ve U_1 ısı kayıp katsayılarını ve v rüzgar hızını gösterir. Isıl kayıp katsayıları sırasıyla 25 ve 6,84 alınabilir. King modeli Sandia Ulusal Laboratuvarında çalışan bir grup araştırmacı tarafından

geliştirilmiştir (King vd., 2004). Bu model daha önceden bulunan nominal çalışma sıcaklığı modelinin geliştirilmiş halidir. Aşağıdaki denklemde ifade edilen bu modelde rüzgarın etkisi dikkate alınmıştır.

$$T_{pv} = T_a + G^{a+bv} \quad (6)$$

Burada T_a ortam sıcaklığını, G radyasyon ışınmasını, v rüzgar hızını, a ve b katsayıları gösterir. Bu katsayılar genellikle 3,47 ve -0,0594 alınır.

Muzathik modelinde modül sıcaklığı üç çevresel faktöre bağlıdır (Muzathik, 2014). Bu çevresel faktörler,

$$T_{pv} = 0,3529 + 0,943T_a + 0,0195G - 1,528v \quad (7)$$

ile gösterilir. Bu denklemden de görüldüğü gibi, modül sıcaklığının kestirilmesinde T_a ortam sıcaklığı, G güneş ışınması ve v rüzgar hızı hesaba katılmaktadır.

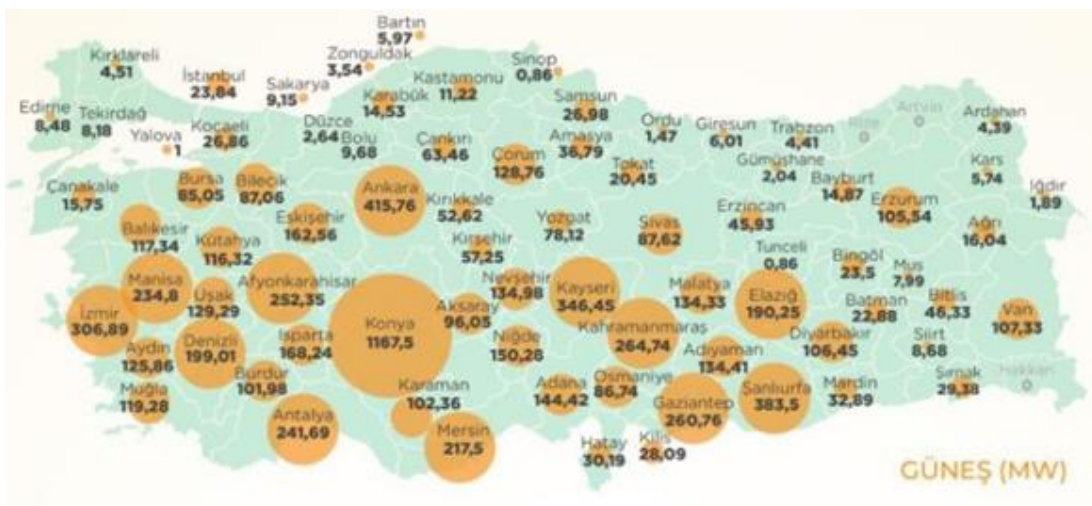
Modül Uyumsuzluk Kayıpları

Güneş enerji sistemlerinde istenilen gerilim ve gücü elde etmek için modüller seri ve paralel bağlanırlar. Her ne kadar üreticiler modülleri üretirken uluslararası standartlara uysa da, modüller arasında çok az da olsa farklılıklar olabilir. Modüllerin seri ve paralel bağlanması sırasında bu farklılıklardan dolayı akım ve gerilimde de farklılıklar olabilir. Bunun sonucunda uyumsuzluk kayıpları oluşmaktadır (Lorente vd., 2016). Kurulan birçok santralde her bir modülün akım ve geriliminin ölçümü çok pahalı olduğundan bu kayıplar ölçülmemektedir.

EPDK YÖNETMELİĞİNDEN KAYNAKLANAN ÜRETİM KAYIPLARI

Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretiminde artış eğilimi vardır. Güneş enerji santralleri kurulu güçleri büyük çoğunlukla 1 MW'ın altındadır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından lisanssız üretim güç sınırı başlarda 1 MW olarak kabul edildiğinden, elektrik enerjisi üretim kayıplarını hesaplamak için bu güç değeri kullanılmıştır. Bilindiği gibi, lisanssız güneş enerjisi santrali işletmecileri 1MW'ın altında bağlantı anlaşması (büyük oranda 950 kW civarında) yapmalarına karşılık, DC kurulu gücü bağlantı gücünden yaklaşık % 20 daha büyük seçmektedirler. EPDK şebeke bağlantı yönetmeliğine göre, şebekeye bağlantı gücünden daha fazla bir güç kesinlikle verilememektedir (EPDK, 2016). Bu nedenle, güneş enerjisi santrali işletmecileri yüksek DC kurulum gücünden dolayı şebekeye bağlantı gücünden daha fazla güç, dolayısıyla enerji, verebilmesine rağmen maddi kayba uğramamak için inverterlerde güç sınırlaması yapmaktadırlar. Bu durum, güneşten daha elektrik enerjisi üretme durumunu tamamen ortadan kaldırmaktadır. Dolayısıyla, EPDK yönetmeliğinden dolayı ülkemizde bir yılda ne kadar üretilmeyen enerji kaybının olacağını hesaplanması önem taşımaktadır.

Güneş enerjisi santrallerinden bir yılda ne kadar üretilmeyen enerji potansiyeli olduğunu hesaplamak için ilk önce ülkemizdeki santrallerin illere göre kurulu güçlerinin bilinmesi gerekir. Ülkemizdeki güneş enerji santrallerinin toplam kurulu güçleri illere göre Şekil 2'de görülmektedir (Enerji Bakanlığı).



Şekil 2. Türkiye'deki Güneş Enerji Santrallerinin Toplam Kurulu Güçleri ve İllere Göre Yerleşimi
Tablo 1. Modül Sıcaklığı Kestirim Yöntemlerinin Karşılaştırılması

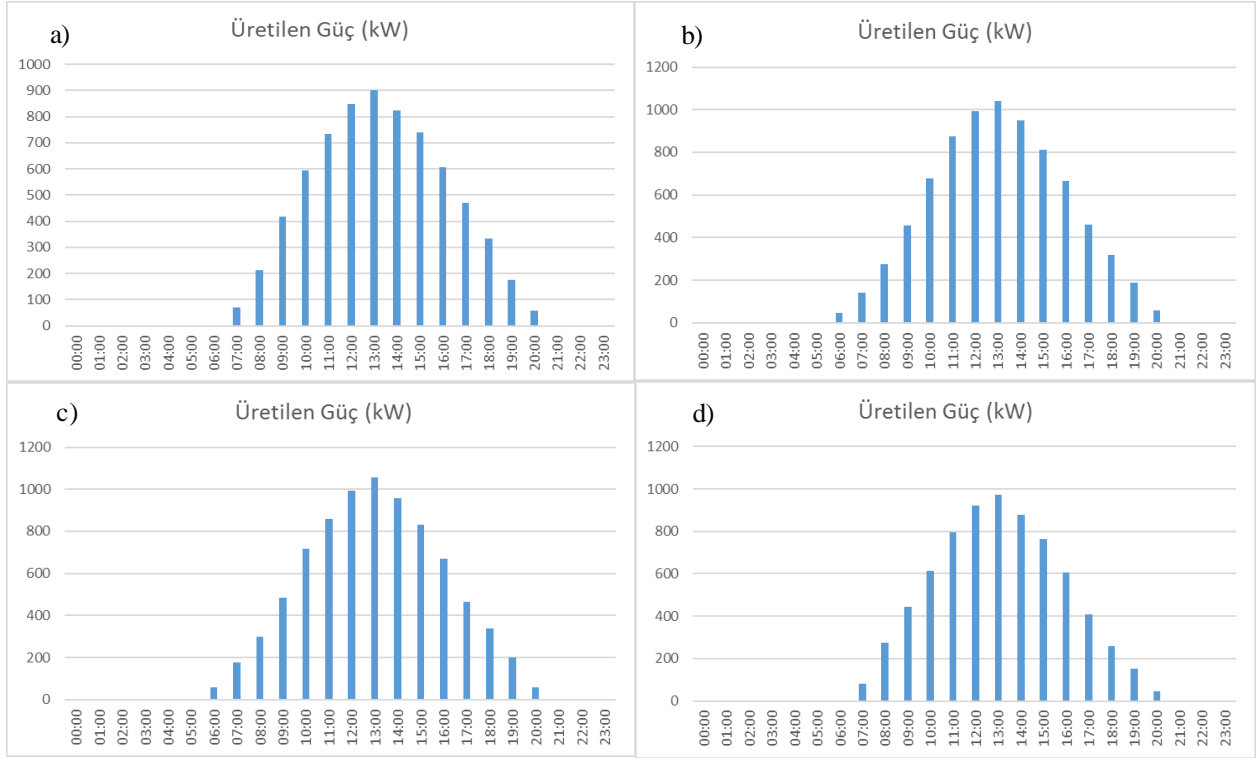
Saat	Işıma (W/m ²)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Modül Sıcaklığı (°C) Ölçülen	Modül Sıcaklığı (°C) Faimann	Modül Sıcaklığı (°C) Muzathik	Modül Sıcaklığı (°C) Ross	Modül Sıcaklığı (°C) King
01:00	0	21	25	25	22	21	22
02:00	0	20	24	24	21	20	21
03:00	0	19	24	24	20	19	20
04:00	0	18	24	24	20	18	19
05:00	0	16	25	25	22	16	18
06:00	0	15	26	26	23	15	17
07:00	0	16	27	27	23	16	18
08:00	57	17	28	29	24	17	20
09:00	193	18	29	34	26	27	24
10:00	330	20	31	41	28	36	29
11:00	455	22	34	48	31	38	33
12:00	592	24	37	56	35	42	38
13:00	706	26	42	64	39	50	43
14:00	774	28	44	75	42	52	49
15:00	706	30	45	73	43	55	49
16:00	603	30	43	67	41	52	46
17:00	467	29	40	59	39	48	42
18:00	330	28	36	49	34	42	37
19:00	199	27	30	36	28	37	31
20:00	57	26	28	30	25	32	27
21:00	0	25	27	27	24	25	25
22:00	0	24	26	26	24	24	23
23:00	0	23	25	25	22	23	22
24:00	0	22	25	25	21	22	22

Üretilmeyen elektrik enerjisini bulmak için yukarıdaki şekilde verilen bütün santrallerin bir yıl boyunca saatlik ürettiği enerjiyi hesaplamak gerekir. Bunun için bütün illerdeki güneş ışıması değerlerinin bilinmesi ve o illerdeki santrallerde oluşacak teknik kayıpların doğru olarak hesaplanması gerekir. Tozlanma, gölgelenme, modül uyumsuzluğu, inverter ve diğer etkilerden dolayı oluşacak kayıplar genellikle birbirine yakındır. Fakat güneş enerji santrallerinde sıcaklıktan dolayı oluşan kayıplar çok önemlidir ve bazı bölgelerde özellikle yaz mevsiminde % 15'e kadar çıkabilmektedir. Modül üreticileri sıcaklık başına oluşabilecek kayıpları üretim kataloglarında vermektedir. Fakat, gerçek çalışma koşullarında modül sıcaklığının ne olacağı bilinmemektedir. Modül sıcaklığının dış ortam ve hava koşullarından hesaplanması için geliştirilen yöntemlerden bazıları yukarıda belirtilmiştir. Bu yöntemlerin doğruluğunu karşılaştırmak için Kocaeli ilinde güneş santralinden alınan gerçek veriler (Alkan, 2016) ve hava koşulları kullanılmış, hesaplanan sıcaklıklar Tablo 1'de verilmiştir.

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi, Muzathik yöntemi ile hesaplanan modül sıcaklığı gerçeğe en yakın bulunmuştur. Bu nedenle güneş enerji santrallerinin bulunduğu bütün illerde bir yıl boyunca modül sıcaklıkları meteorolojik veriler ve güneş ışıması değerleri kullanılarak Muzathik yöntemiyle hesaplanmıştır. Bütün güneş enerji santrallerinin bir yıl boyunca üretebileceği saatlik şebekeye verilebilecek güç miktarları gerçek veriler kullanılarak,

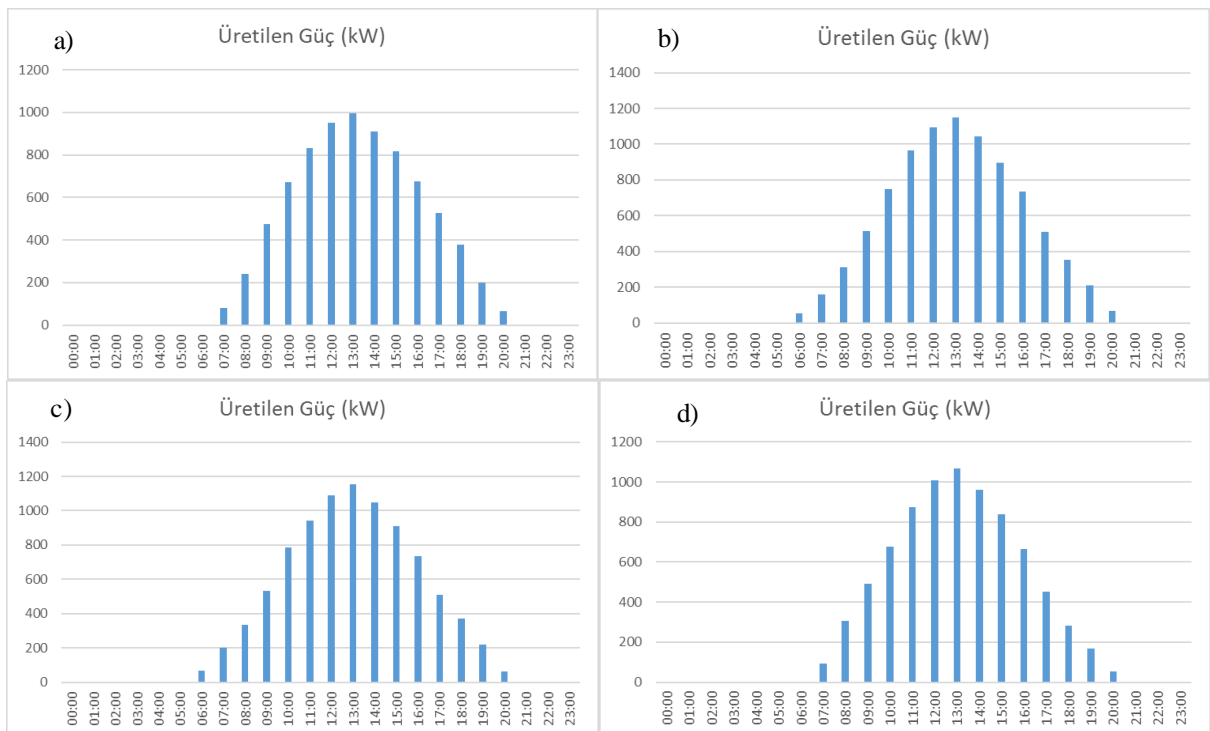
$$P_{\text{şebeke}} = G_{\text{güneş}} \cdot A \cdot N \cdot \eta_m \cdot \eta_i \cdot \eta_d \quad (8)$$

bağıntısıyla bulunmuştur. Burada G ilgili ildeki saatlik güneş ışıması değerini, A modül alanını, N modül sayısını, η_m ışımaya bağlı olarak modül verimini, η_i inverter verimini ve η_d bütün kayıpların dahil edildiği diğer verimi göstermektedir. Hesaplanan güçler bir saat ile çarpılarak saatte üretilen enerji bulunmuştur. Bu hesaplamalar bütün illerdeki lisanssız güneş enerjisi santralleri için gerçek ışıma değerleri ve meteorolojik veriler dahil edilerek bulunan modül sıcaklığı değerleri kullanılarak bulunmuştur. Fakat, saatlik üretilen güçler mayıs, haziran, temmuz ve ağustos ayları olmak üzere seçilen bazı iller için şekil olarak verilmiştir.

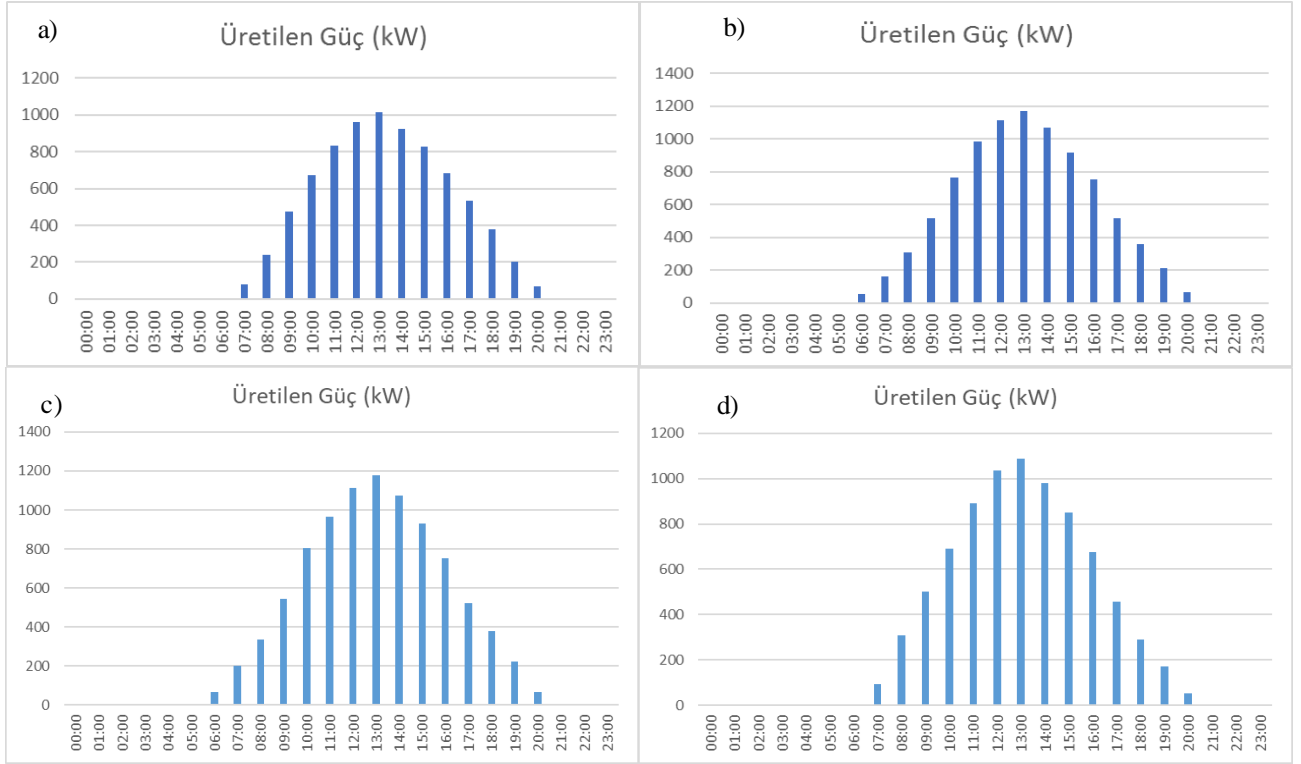


Şekil 3. Balıkesir İlinde 1 MW Kurulu Güçteki Lisanssız Santralin Ürettiği Gücün Aylara Göre Değişimi, a) Mayıs, b) Haziran, c) Temmuz, d) Ağustos

Şekillerden de görüldüğü gibi, Balıkesir ilinde mayıs ayında sözleşme gücü aşılmamış, haziran ayında öğle saatinde 70 kW, temmuz ayında 75 kW ve ağustos ayında 40 kW güçlerinde aşım olmuştur. Kahramanmaraş ilinde mayıs ayında öğle saatinde sözleşme gücünden 50 kW, haziran ayında 120 kW, temmuz ayında 130 kW ve ağustos ayında 90 kW güçlerinde aşım vardır. Konya ilinde mayıs ayında öğle saatinde sözleşme gücünden 55 kW, haziran ayında 140 kW, temmuz ayında 1145 kW ve ağustos ayında 95 kW'lık bir aşım olmuştur. Diğer aylarda sözleşme gücünden daha fazla güç üretimi oluşmadığından grafiklerde gösterilmemiştir.



Şekil 4. Kahramanmaraş İlinde 1 MW Kurulu Güçteki Lisanssız Santralin Ürettiği Gücün Aylara Göre Değişimi, a) Mayıs, b) Haziran, c) Temmuz, d) Ağustos



Şekil 5. Konya İlinde 1 MW Kurulu Güçteki Lisanssız Santralin Ürettiği Gücün Aylara Göre Değişimi, a) Mayıs, b) Haziran, c) Temmuz, d) Ağustos

Yukarıda bazı iller için 1 MW'lık güneş enerjisi santralının ürettiği güçler incelendiğinde, yaz aylarında öğle saatlerinde bağlantı gücünün aşıldığı görülmektedir. EPDK yönetmeliklerine göre bağlantı gücünden daha fazla güç şebekeye verilemeyeceğinden, aradaki fazlalık kadar bir güç, dolayısıyla enerji kaybı oluşmaktadır. Bu da üretilmeyen enerji olarak maddi kayba neden olmaktadır. Ülkemizdeki bütün güneş enerjisi santrallerinde de benzer durum yaşandığından, Türkiye'de bulunan bütün güneş enerjisi santralleri için gerçek ışıma değerleri ve hava parametreleri kullanılarak ayrı ayrı üretilmeyen enerji hesaplanmış ve aylara göre toplam üretilmeyen enerji aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye'de Üretilmeyen Elektrik Enerjisi Miktarının Aylara Göre Değişimi

Aylar	Toplam Üretilmeyen Enerji (MWh)
Mayıs	11535,89
Haziran	88113,18
Temmuz	90752,03
Ağustos	37609,80

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi, ülkemizde bir yılda üretilmeyen elektrik enerjisi toplam 228010,90 MWh'i bulmaktadır. Bu kayıp çok fazla olup, aynı enerjiyi 26 MW'lık bir elektrik santrali bir yıl boyunca çalıştırarak üretebilir. Enerji açısından birincil kaynaklarda dışa bağımlı olduğumuzdan bu güç azımsanamayacak kadar büyüktür.

SONUÇLAR

Güneş enerjisi santrallerinde gölgeleme kayıpları, inverter kayıpları, kablo kayıpları ve diğer kayıplar yaklaşık olarak bulunabilir ve bunların toplamı % 5-7 arasında olur. Fakat, modül sıcaklığının 25 °C'yi aşması durumunda kayıplar her bir derece için % 0,35 artar. Özellikle yaz aylarında bazı bölgelerde hava sıcaklığının 45 °C'ye çıkması durumunda modül sıcaklığı da 65 °C civarında olacaktır. Bu durumda sıcaklıktan dolayı oluşacak ilave kayıplar da % 16 civarında olacaktır. Bu kayıpları hesaplayabilmek için modül sıcaklığının ölçülmesi veya dış ortamdaki hava parametreleri kullanılarak kestirilmesi gerekir. Bunun için geliştirilen yöntemler incelenmiş, gerçek ölçüm verileriyle karşılaştırılmış ve en uygun yöntemin Muzathik tarafından geliştirilen bağıntı olduğu bulunmuştur.

Lisanssız güneş enerji santrallerinde EPDK yönetmeliklerine göre AC bağlantı gücünden daha fazla bir güç şebekeye verilememektedir. Santral işletmecileri tesislerde bağlantı gücünden daha büyük DC güç kullandığından, özellikle

yaz aylarında cezaya girmemek için enerji üretmede bazı sınırlamalar getirmektedirler. Türkiye'deki hemen hemen bütün lisanssız santrallarda benzer durum olduğundan EPDK yönetmeliğinden kaynaklanan üretim kayıpları gerçek veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Bütün santralların yaz aylarında öğle saatlerinde şebeke bağlantı gücünden daha fazla üretebileceği güçler, dolayısıyla enerjiler, hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, ülkemizde bir yılda EPDK yönetmeliklerinden kaynaklı 228010,90 MWh'lik bir enerji kaybı oluşmaktadır. Günümüz ortalama enerji tarifesine göre ülkemiz üretilmeyen elektrik enerjisinden dolayı yıllık en az 684 milyon TL maddi kayba uğratılmaktadır.

KAYNAKLAR

Alkan, A., (2016), Yenilenebilir Hibrit Enerji Kaynakları ile Beslenen Konutlarda Akıllı Enerji Depolama ve Yönetim Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Enerji Bakanlığı, www.enerji.gov.tr; Erişim tarihi: 15 Kasım 2022.

EPDK, (2016), Dağıtım Sistemine Bağlantı Anlaşması, 16 Nisan.

Farivar, G., and Asaei, B., (2011), A New Approach for Solar Module Temperature Estimation Using the Simple Diode Model, *IEEE Transactions On Energy Conversion*, 26(4), 1118-1126.

IEA, (2021), Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector, October.

King, D.L. Boyson, W.E., and Kratochvil, J.A., (2004), Photovoltaic array performance model, SAND, vol. 2004-3535.

Lorente, D. G., Pedrazzi, S., Zini, G., Dalla Rosa, A., & Tartarini, P. (2014). Mismatch losses in PV power plants. *Solar Energy*, 100, 42-49.

Maghami, M. R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad, M. I., & Hajighorbani, S. (2016). Power loss due to soiling on solar panel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1307-1316.

Muzathik, A.M., (2014), Photovoltaic Modules Operating Temperature Estimation Using a Simple Correlation, *International Journal of Energy Engineering*, 4(4), 151-158

Ross, R.G., (1976), Interface design considerations for terrestrial solar cell modules, in: 12th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Baton Rouge, Louisiana, pp. 801-806.

Sayyah, A., Horenstein, M.N. and Mazumder, M.K., (2014), Energy yield loss caused by dust deposition on photovoltaic panels, *Solar Energy*, 107, 576-604.

Segado, P.M. Carretero, J., and Cardona, M.S., (2015), Models to predict the operating temperature of different photovoltaic modules in outdoor conditions, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 23, 1267-1282.

Talebizadeh, P., Mehrabian, M.A. and Abdolzadeh, M., (2011), Determination of Optimum Slope Angles of Solar Collectors Based on New Correlations, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33(17), 1567-1580.

Yolcan, O.O., Köse, R., (2020), Türkiye'nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler, *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, 6(2), 196-215.