

T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE İÇİN FOTOVOLTAİK PANEL PERFORMANS
ORANININ DIŞ SICAKLIK VE GÜNEŞ RADYASYONUNA BAĞLI
OLARAK BELİRLENMESİ**

TARIK PAMUKÇU

TEZ DANIŞMANI

DOÇ. DR. CAN COŞKUN

TEZ JÜRİLERİ

PROF. DR. TÜLİN BALI

DR. ÖĞR. ÜYESİ BURAK MARKAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RİZE-2018

Her Hakkı Saklıdır

T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE İÇİN FOTOVOLTAİK PANEL PERFORMANS ORANININ DIŞ
SICAKLIK VE GÜNEŞ RADYASYONUNA BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ**

Doç. Dr. Can COŞKUN danışmanlığında, Tarık PAMUKÇU tarafından hazırlanan bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulu kararıyla oluşturulan jüri tarafından 18/10/2018 tarihinde Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

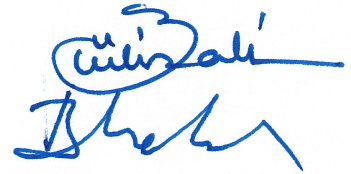
Unvanı Adı Soyadı

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Can COŞKUN

Üye : Prof. Dr. Tülin BALI

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Burak MARKAL




Doç. Dr. Ferhat KALAYCI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



ÖNSÖZ

“Türkiye İçin Fotovoltaik Panel Performans Oranının Dış Sıcaklık ve Güneş Radyasyonuna Bağlı Olarak Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Araştırma konumun seçilmesinde, çalışmaların planlanmasında ve verilerin değerlendirilmesinde her türlü desteğini gördüğüm ve çalışmanın tamamlanabilmesi için her türlü değerli bilgilerini sunan Prof. Dr. Zuhâl Oktay COŞKUN ve Doç. Dr. Can COŞKUN’ a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarında bana desteğini esirgemeyen, kopma noktalarında beni cesaretlendirip tekrar çalışmalarına odaklanmamı sağlayan kıymetli eşim Melek Pamukçu’ya; beni kapının önünde bekleyen biricik oğlum Ahmet’e; bugünlere gelmemde büyük emekleri olan annem Müyeser ve babam Ahmet Pamukçu’ ya teşekkür ederim.

Tarık PAMUKÇU

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Tarafımdan hazırlanan “Türkiye İçin Fotovoltaik Panel Performans Oranının Dış Sıcaklık ve Güneş Radyasyonuna Bağlı Olarak Belirlenmesi” başlıklı bu tezin Yükseköğretim Kurulu Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesindeki hususlara uygun olarak hazırladığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal işlemi kabul ettiğimi beyan ederim. 16/10/2018



Tarık PAMUKÇU

Uyarı: Bu tezde kullanılan özgün ve/veya başka kaynaklardan sunulan içeriğin kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

TÜRKİYE İÇİN FOTOVOLTAİK PANEL PERFORMANS ORANININ DIŞ SICAKLIK VE GÜNEŞ RADYASYONUNA BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ

Tarık PAMUKÇU

**Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışmanı: Doç. Dr. Can COŞKUN**

Bu çalışmada literatürde bir eksiklik olarak yer alan Türkiye geneli için panel performans oranlarının saatlik, aylık ve yıllık olarak tespiti yapılmıştır. Türkiye'deki tüm illere ait panel yüzey sıcaklıkları son otuzbeş senelik radyasyon değerlerinden yola çıkılarak detaylı bir biçimde hesaplanmıştır. Panel yüzey sıcaklığı tespit edilen illerin panel performans oranları hesaplanarak harita haline getirilmiştir. Hesaplanan tüm bu değerlerden sonra PV modül çıkışlarından elde edilebilecek elektrik üretimi tüm iller için ayrıca hesaplanmıştır. Türkiye'deki 81 il için panel performans olasılık dağılımları tespit edilerek sunulmuştur. Bu dağılımlar sayesinde herhangi bir ilde panel performans oranının hangi değerler arasında değişebileceği kolaylıkla tespit edilebilecektir. Bu değerler sayesinde en iyi ve en kötü durum için hangi değerlerin elde edilebileceği belirlenebilmektedir.

2018, 67 sayfa

Anahtar Sözcükler: PV Performans Oranı, PV Elektrik Üretimi, Modül Verimi

ABSTRACT

DETERMINATION OF PHOTOVOLTAIC PANEL PERFORMANCE RATIO VALUE DEPENDENT ON EXTERNAL TEMPERATURE AND SOLAR RADIATION FOR TURKEY

Tarık PAMUKÇU

**Recep Tayyip Erdoğan University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy Systems Engineering
Master Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Can COŞKUN**

In this study as a deficiency in the literature located hourly rate for the overall performance of the panels Turkey, the determination is made on a monthly and annual basis. On the whole panel surface temperature of the last thirty-five years starting in Turkey radiation value it was calculated in detail. Panel surface temperature of the provinces determined by determining the performance rates of the panel has been turned into map. After all these calculated values, electricity generation from PV module outputs has been calculated separately for all provinces. Panel performance probability distributions for 81 provinces in Turkey are provided are identified. Thanks to these distributions, it is easy to determine which values of the panel performance ratio can be changed in any province. With these values, it can be determined which values can be obtained for the best and the worst situation.

2018, 67 pages

Keywords: PV Performance Ratio, PV Electricity Generation, Module Efficiency

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli	1
1.3. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Görünümü	2
1.4. Literatür Özeti.....	3
1.4.1. Güneş Paneli Yüzey Sıcaklığının Tespiti Üzerine Yapılan Çalışmalar	4
1.4.2. Güneş Paneli Verim Değerinin Tespiti Üzerine Yapılan Çalışmalar	8
1.5. Fotovoltaik Güneş Panel Tipleri	12
1.5.1. Amorf Silikon Güneş Pilleri	12
1.5.2. Biohybrid Güneş Pilleri	12
1.5.3. Kadmiyum Tellür Güneş Pilleri.....	12
1.5.4. Konsantre PV Hücresi (CVP ve HCVP).....	13
1.5.5. Bakır İndiyum Galyum Selenit Güneş Pilleri (CI (G) S).....	13
1.5.6. Kristalin Silikon Güneş Pilleri	13
1.5.7. Boya Hassaslaştırılmış Güneş Pilleri.....	14
1.5.8. Hibrit Güneş Pilleri	14
1.5.9. Lüminesans Güneş Yoğunlaştırıcı Hücre (LSC)	15
1.5.10. Mikromorf (A-Si/Me-Si'yi kullanarak Tandem Hücre).....	15
1.5.11. Monokristal Solar Pil (Mone-Si)	16
1.5.12. Çok Kavşaklı Güneş Pili (MJ)	16
1.5.13. Nanokristal Güneş Pilleri.....	17
1.5.14. Organik Güneş Pilleri (OPV).....	17
1.5.15. Perovskit Güneş Pilleri	18

1.5.16. Fotoelektrokimyasal Hücre (PEC).....	18
1.5.17. Plasmonik Güneş Pilleri	18
1.5.18. Polikristalin Güneş Pilleri (Multi-Si).....	19
1.5.19. Kuantum Noktalı Güneş Pilleri.....	19
1.5.20. Katı Hal Güneş Pilleri.....	20
1.5.21. İnce Film Güneş Pili (TFSC).....	20
1.5.22. Gofret Güneş Pilleri	21
1.6. Fotovoltaik Güneş Panellerinde Elektrik Üretimini Etkileyen Parametreler.....	21
1.7. Performans Oranı.....	22
1.8. Güneş Paneli Karakteristiği	23
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	28
2.1. Adana İli İçin Örnek Hesaplamalar	32
2.2. Türkiye'deki İller İçin Yıllık Panel Performans Oranı Dağılımı	38
3. BULGULAR.....	50
3.1. Dağılım Karakteristiği I.....	50
3.2. Dağılım Karakteristiği II.....	51
3.3. Dağılım Karakteristiği III	52
3.4. Dağılım Karakteristiği IV	53
4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	54
5. ÖNERİLER.....	58
KAYNAKLAR	59
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.	Güneş pili eşdeğer hücresi.....	23
Şekil 2.	Güneş paneli I-V ve P-V karakteristiği	24
Şekil 3.	Güneş radyasyonuna bağlı güneş paneli I-V karakteristiği	25
Şekil 4.	Güneş radyasyonuna bağlı güneş paneli P-V karakteristiği	26
Şekil 5.	Sıcaklığa bağlı güneş paneli I-V karakteristiği	26
Şekil 6.	Sıcaklığa bağlı güneş paneli P-V karakteristiği	27
Şekil 7.	Seçilen güneş paneline ait akım-voltaj ve güç-voltaj grafiği	31
Şekil 8.	Panel performans oranının illere bağlı dağılımı grafiği	32
Şekil 9.	Ocak ayı için saatlik dış sıcaklık dağılımı.....	32
Şekil 10.	Ocak ayı için saatlik panel yüzey sıcaklık değişimi.....	33
Şekil 11.	Ocak ayı için panel yüzey sıcaklığı dağılımı.....	34
Şekil 12.	Adana ili yıllık bazda panel yüzey sıcaklığı dağılımı	35
Şekil 13.	Ocak ayı için saatlik panel performans oranının değişimi	36
Şekil 14.	Ocak ayı için panel performans oranının yüzdelik dağılım grafiği.....	36
Şekil 15.	Yıllık bazda panel performans oranının yüzdelik dağılım grafiği.....	37
Şekil 16.	Adana ili Ocak-Haziran dönemi arası saatlik ortalama PPO değerleri	38
Şekil 17.	Adana ili için aylara bağlı ortalama panel performans oranı değişimi.....	38
Şekil 18.	Adıyaman ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı.....	39
Şekil 19.	Afyon ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	39
Şekil 20.	Ağrı ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	40
Şekil 21.	Aksaray ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	40
Şekil 22.	Amasya ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	41
Şekil 23.	Ankara ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı.....	41
Şekil 24.	Antalya ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı.....	42
Şekil 25.	Ardahan ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı.....	42
Şekil 26.	Artvin ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	43
Şekil 27.	Aydın ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	43
Şekil 28.	Balıkesir ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	44
Şekil 29.	Bartın ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	44
Şekil 30.	Batman ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	45
Şekil 31.	Bayburt ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı.....	45

Şekil 32.	Bilecik ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	46
Şekil 33.	Bingöl ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı.....	46
Şekil 34.	Bitlis ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı.....	47
Şekil 35.	Bolu ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı.....	47
Şekil 36.	Burdur ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	48
Şekil 37.	Bursa ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	48
Şekil 38.	Çanakkale ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı.....	49
Şekil 39.	Çankırı ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı	49
Şekil 40.	Dağılım karakteristiği I	50
Şekil 41.	Dağılım karakteristiği II	51
Şekil 42.	Dağılım karakteristiği III.....	52
Şekil 43.	Dağılım karakteristiği IV.....	53
Şekil 44.	Adana için aylara bağlı ortalama PPO-elektrik üretimi ilişkisi.....	54
Şekil 45.	Tüm Türkiye için yıllık ortalama panel performans dağılım haritası	55
Şekil 46.	Tüm Türkiye için yıllık panel performans oranı dağılımı	56
Şekil 47.	Türkiye için metrekare panel başına elektrik üretim miktarı haritası	57

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.	Sadece panel yüzey sıcaklığına bağlı verim denklemleri	8
Tablo 2.	PV için panel yüzey sıcaklığına bağlı verim denklemleri	9
Tablo 3.	PV için panel yüzey sıcaklığı, rüzgar hızı ve güneş radyasyonuna bağlı verim denklemleri.....	9
Tablo 4.	PV için panel yüzey sıcaklığı ve güneş radyasyonuna bağlı verim denklemleri	10
Tablo 5.	PV için panel yüzey sıcaklığı ve elektriksel parametrelere bağlı verim denklemleri	11
Tablo 6.	İl bazında verilerin alındığı istasyon sayısı.....	28
Tablo 7.	İncelenen 16 adet fotovoltaik panel için β ve γ değerleri.....	30
Tablo 8.	En yüksek yıllık ortalama PPO'nı veren β ve γ değerleri	30
Tablo 9.	Seçilen Güneş Paneline Ait Özellikler.....	31
Tablo 10.	Adana için verilerin alındığı istasyonlar.....	33
Tablo 11.	Türkiye'deki tüm şehirlerin aylık ve yıllık elektrik üretim potansiyeli.....	63

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

PPO	Panel Performans Oranı
T_{ortam}	Ortam Sıcaklığı (°C)
\bar{T}_a	Ortalama Güneş Pil Sıcaklığı (°C)
T_{ref}	Referans Sıcaklık (W/m ²)
\bar{T}	Ortalama Güneş Pil Sıcaklığı (°C)
$T_{yüzey}$	Panel Yüzey Sıcaklığı (°C)
T_{back}	Panel Arka Yüzey Sıcaklığı (°C)
T_0	Modül Elektriksel Veriminin Sıfıra Düştüğü Andaki PV Sıcaklığı (°C)
T_{NOCT}	Çalışma Sıcaklığı (°C)
$T_{c,NOCT}$	Çalışma Sırasındaki Yüzey Sıcaklığı (°C)
$T_{a,NOCT}$	Çalışma Sırasındaki Panel Arka Yüzey Sıcaklığı (°C)
η_{Tref}	Referans Sıcaklıktaki Elektriksel Verim (%)
η_{ref}	Referans Verim (%)
η_{nom}	Ölçülen Verim (%)
G_T	PV Yüzeyindeki Güneş Radyasyon Şiddeti (W/m ²)
G_{NOCT}	Çalışma Sırasında PV Yüzeyindeki Güneş Radyasyon Şiddeti (W/m ²)
G_{ref}	Referans Sıcaklıkta PV Yüzeyindeki Güneş Radyasyon Şiddeti (W/m ²)
\bar{G}_T	Günlük Ortalama PV Yüzeyindeki Güneş Radyasyon Şiddeti (Wh/m ²)
V_w	Rüzgar Hızı (m/s)
β_{ref}	Sıcaklık Katsayısı (°C ⁻¹)
U_L	Toplam Termal Kayıp Katsayısı
μ	Toplam Hücre Sıcaklık Katsayısı
τ	Cam Yüzey Geçirgenliği
α	PV Tabakasının Güneş Absorpsiyonu
$MPTC$	Maksimum Güç Sıcaklık Katsayısı
$NOCT$	Normal Çalışma Hücre Sıcaklığı (°C)
I	Hücre Akımı (Amper)
I_L	Diyot Doyma Akımı (Amper)

I_{sc}	Kısa Devre Akımı (Amper)
R_s	Hücre Seri Direnci
R_{sh}	Hücre Shurt Direnci
V	Hücre Çıkış Voltajı
k	Boltzman Sabiti
n	Diyot İdeallik Faktörü
P_{mp}	Maksimum Güç
V_{oc}	Açık Devre Voltajı
V_{mp}	Maksimum Güç Voltajı
I_{mp}	Maksimum Güç Akımı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Fosil yakıtlı enerji üretim tesisleri, enerji üretim süreci boyunca kuruldukları bölgeye en büyük zararı vermekle birlikte küresel ısınmaya yaptıkları olumsuz etkiler nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarını önemli hale getirmiştir.

Dünyada bilinen fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve bunların yakın zamanda tükenecek olması, yenilenebilir enerji kaynaklarını cazip hale getiren bir diğer nedendir ve bu alanda daha ciddi çalışmaların yapılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça geniş bir yelpazeye sahip olup yenilenebilir enerji kaynaklarından üreteceği elektrikle ihtiyacı olan elektriğin ciddi bir bölümünü karşılayabilecek durumdadır.

Yapılan bu çalışma ile literatürde bir boşluk olarak yer alan tüm Türkiye'yi kapsayacak ölçekte detaylı bir biçimde Fotovoltaik Panel Performans Oranlarının belirlenmesi ve haritalandırılması amaçlanmaktadır. 1005 ölçüm istasyonundan alınan gerçek güneş radyasyon miktarı ve dış sıcaklık değerleri kullanılarak Fotovoltaik Panel Performans Oranları hesaplanmıştır. Bu tez çalışmasında yer alan veriler kullanılarak belirlenen bir fotovoltaik panelinden üretilebilecek elektrik miktarı tespit edilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmanın panel üreticileri ve güneş enerjisinden elektrik üretmek için yatırım yapmayı planlayan yatırımcılar için önemli bir kaynak olması hedeflenmiştir.

1.2. Türkiye 'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

Devlet Su İşleri verilerine göre Türkiye'nin 130 milyar kWh hidroelektrik potansiyeli bulunmakta ve bu potansiyelin mevcut durumda % 30' u kullanılmaktadır.

Elektrik üretiminde kullanılacak jeotermal kaynak potansiyelimiz yıllık 16 Milyar kWh elektrik enerjisi üretimine eşittir. Türkiye jeotermal enerji potansiyeli bakımından avrupada birinci dünyada ise 7. sıradadır. elektrik üretiminde %5, ısıtmada

Isı enerjisi olarak %30 una kadar karşılayabilir. mevcut potansiyelinin % 4 ünü kullanmaktadır.

Rüzgar gücünden elektrik enerjisi üretim potansiyelimiz ise yıllık 300 milyar kWh enerji üretimine eşdeğerdir. potansiyelinin % 4 ünü kullanıyor. 150 bin megavat potansiyelin 6 bin megavatını üretiyoruz

Enerji bakanlığının verilerine göre 2017 yılı sonu itibariyle işletmede bulunan 3421 MW'lık kurulu güce sahip 3616 adet güneş enerji santrali ile 2684 GWh'lik elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olup toplam elektrik üretimimiz içinde % 0.91'lik paya sahip olmuştur.

Türkiye, AB ülkeleri arasında güneş enerji potansiyeli bakımından 6. sırada yer almaktadır. Potansiyelini değerlendirme açısından Almanya en iyi durumdadır. Almanya güneşten 40 bin MW elektrik üretmektedir. Türkiye'nin üretimi ise 450 MW'tır. Türkiye'nin bugünkü kurulu elektrik enerjisi altyapısının toplam kapasitesi ise 75 bin MW'tır. Güneş enerjisinden elektrik üretiminde Almanya 40 bin MW, Çin 30 bin MW, Japonya 25 bin MW, İtalya ve ABD 20 bin MW, Fransa ve İspanya 5 bin, Avusturya ve Hindistan'da 4 bin MW'tır.

1.3. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Görünümü

Ülkemiz 36°- 42° kuzey enlemleri ve 26°-45° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Bulunduğu konum dolayısıyla güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksektir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verilerine göre Türkiye'ye gelen yıllık ortalama güneş enerjisi miktarı 1527 kWh/m².yıl, ortalama güneşlenme süresi 2737 saat ve gün olarak 114 günlük güneşlenme süresiyle oldukça iyi bir konumdadır. Ayrıca yılın 10 ayı boyunca teknik ve ekonomik açıdan ülke yüzölçümünün % 63'ünde, tüm yıl boyunca da %17'sinde güneş enerjisinden faydalanılabilir durumdadır.

1.4. Literatür Özeti

Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, özellikle elektrik üretimi konusunda daha ilgi çekici ve üzerine odaklanılan bir konu haline gelmiştir. Bu ilgi beraberinde güneş panelleri üzerine birçok teorik ve uygulamalı çalışmalar yapılmasına zemin hazırlamıştır. Yapılan bu çalışmalarda güneş panellerinin mevcut durumunu iyileştirme, modül karakteristiklerini geliştirme, kullanılacak panellerin doğru seçimi, iklim şartlarının güneş panellerine olan etkileri gibi konular ağırlık kazanmıştır. Bu bölümde literatürde yer alan birçok çalışmanın bir kısmı kısa özetler halinde verilmiş, bazı çalışmaları da gruplandırarak farklı başlıklar altında sunulmuştur.

Uberti vd. (2010), farklı panel teknolojilerinin PV güç santrallerinin performansı üzerine etkisini incelemişlerdir. Panel performans oranlarını farklı teknolojiler bağlamında inceleyerek panel performans oranının aylık ortalama da inceledikleri bölge için %78 ile %94 arasında değiştiği gözlemlemişlerdir.

Bastidas vd. (2013), yapmış oldukları çalışmada küçük, orta ve büyük PV alanları için dinamik simülasyonlar yapmayı sağlayan bir yaklaşım ortaya koymuştur. Deneysel olarak, modelin küçük ölçekli bir PV dizisi üzerinde deneysel validasyonu sağlanmıştır.

Esen ve Kapıcıoğlu. (2015), yaptıkları çalışmada güneş panellerinin zemine yakınlıklarının güneş pili verimini nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Bunun için yerden 0, 10, 20, 30 cm yükseklikte 4 ayrı yükseklik belirlemişler ve en iyi verimi 20 cm yüksekliğe yerleştirdikleri güneş pilinde elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Daliento vd. (2017), yapmış oldukları çalışmada fotovoltaik sistemler için izleme, tanı ve güç tahmini konusunda geniş kapsamlı bir literatür araştırması yapmışlardır. Genel olarak araştırmaların 5 ana ekseninde oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bunlar sırasıyla; (i) elektriksel parametrelerin doğrudan ölçümüne dayanan izleme / teşhis teknikleri; (ii) yapay zekaya dayalı veri analizi; (iii) belirli uygulamaların güneş sistemlerinin üretken gücün tahmini; (iv) termal analizler (v) güç dönüştürücü güvenilirliğidir.

Miloudi ve Achelie. (2017), yapmış oldukları çalışmada farklı mühendislik alanlarında kullanılan yapay sinir ağıları metodunu PV panellerinin modellenmesi üzerinde kullanmıştır. Yapmış oldukları simülasyon çalışmasını yapay sinir ağıları, PV modülünün küresel güneş radyasyonu ve PV performans tahmini için kullanmışlardır. Test sonuçları Yapay sinir Ağları metodunun fotovoltaik sistemlerin davranışını tahmin etmede etkin olduğunu göstermiştir.

Kamuyu vd. (2018), bir yıl boyunca bir PV sisteminden beş dakikalık aralıklarla toplanan verileri analiz ederek modül sıcaklığını tespit için yeni model üretilmiştir. PV modülü çalışma sıcaklığına göre model hata oranı % 2 ile % 4 arasında değişiklik göstermiştir.

Ba vd. (2018), yapmış oldukları çalışmada gerçek çalışma koşulları altında fotovoltaik (PV) panel için enerji çıkış performansını etkileyen parametrelere bağlı bir modeli elde etmiştir. Deneysel koşullarda elde edilen fonksiyonların gerçek şartlarla ne ölçüde uyumlu sonuçlar verdiğini test etmiştir.

Peters vd. (2018), yapmış oldukları çalışmada açık kaynaklı uydu verilerini kullanarak PV performans tahminini sağlayan bir sistem üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarındaki amaç tüm dünya bağlamında meteorolojik verileri kullanarak PV sistemlerinin performansının haritalanması amaçlanmıştır.

1.4.1. Güneş Paneli Yüzey Sıcaklığının Tespiti Üzerine Yapılan Çalışmalar

Panel yüzey sıcaklığının belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalarda, çalışmayı yapan araştırmacılar kendi kabullerine göre kimi zaman sadece dış ortam sıcaklığı ve güneşten gelen radyasyona bağlı çalışmalar yapmışlar kimi zaman da rüzgar hızı gibi farklı parametreleride çalışmalarına dahil edip güneş panel yüzey sıcaklığının tespitine yönelik formüller geliştirmişlerdir. Bu kapsamda yapılmış çalışmalardan bir kısmı aşağıda kısa özetler halinde verilmiştir.

Risser ve Fuentes (1983), yaptıkları testlerde PV yüzey sıcaklığı için hata payı ± 4.75 °C olan aşağıdaki formülü önermişlerdir:

$$T_{back} = 1.31 \cdot T_{ortam} + 3.81 + 0.0282 \cdot G_T - 1.65 \cdot V_w \quad (1)$$

Risser ve Fuentes (1983), yaptıkları testlerde PV yüzey sıcaklığı için hata payı ± 4.75 °C olan aşağıdaki formülü önermişlerdir:

$$T_{back} = 0.899 \cdot T_{ortam} + 3.12 + 0.025 \cdot G_T - 1.30 \cdot V_w \quad (2)$$

Schott (1985), PV modül sıcaklığını belirlemek için yaptığı çalışmayı 1-1.5 m/s rüzgar hızı ve 0-35°C ortam sıcaklığının olduğu durum için hata payı ± 6.35 °C olan aşağıdaki denklemi önermiştir:

$$T_{back} = T_{ortam} - 1 + 0.028 \cdot G_T \quad (3)$$

Ross ve Smokler (1986), yapmış oldukları çalışmada PV yüzey sıcaklığını bulmak için rüzgar hızının 1 m/s ve sabit katsayılı ısı kaybı kabulü ile sapma oranı ± 10.99 °C olan aşağıdaki denklemi önermişlerdir:

$$T_{back} = T_{ortam} + 0.035 \cdot G_T \quad (4)$$

Irodinov vd.(1989), yaptıkları çalışmada PV panel yüzey sıcaklığını belirlemek için aşağıdaki denklemi ± 2.19 °C hata payıyla beraber önermişlerdir:

$$T_{back} = T_{ortam} + 0.0155 \cdot G_T + 0.7 \quad (5)$$

Lasnier ve Ang (1990), p-Si modül sıcaklığının belirlenmesi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir. Bağıntının ortalama sıcaklık sapması ± 2.16 °C seviyesindedir:

$$T_{back} = 30.006 + 0.0175 \cdot (G_T - 300) + 1.14 \cdot (T_a - 25) \quad (6)$$

Markvart (2000), yaptığı çalışmada panel yüzey sıcaklığını veren denklemi $\pm 6.35^\circ\text{C}$ 'lık hata payıyla beraber şu şekilde önermiştir:

$$T_{back} = 0.943 \cdot T_{ortam} + 4.3 + 0.028 \cdot G_T - 1.528 \cdot V_w \quad (7)$$

Tselepis ve Tripanagnostopoulos (2001), yaptıkları çalışmada a-Si modül sıcaklığını $\pm 3.65^\circ\text{C}$ sapmayla veren aşağıdaki formülü önermişlerdir:

$$T_{back} = 30 + 0.0175 \cdot (G_T - 150) + 1.14 \cdot (T_a - 25) \quad (8)$$

Mondol vd. (2007), yapmış oldukları çalışmada PV modül sıcaklığı için hata oranı $\pm 8.88^\circ\text{C}$ olan aşağıdaki denklemi önermişlerdir:

$$T_{back} = T_{ortam} + 0.031 \cdot G_T \quad (9)$$

Chennie vd. (2007), polikristalin modül panel yüzey sıcaklığını belirlemek üzere aşağıdaki denklemi vermişler ve yaptıkları testlerde hata payını $\pm 4.05^\circ\text{C}$ olarak tespit etmişlerdir.

$$T_{back} = T_{ortam} + 0.0138 \cdot G_T (1 + 0.031 \cdot T_a) (1 - 0.042 \cdot V_w) \quad (10)$$

Mondol vd. (2007), yapmış oldukları çalışmada PV modül sıcaklığı için hata oranı $\pm 8.83^\circ\text{C}$ olan aşağıdaki denklemi önermiştir:

$$T_{back} = T_{ortam} + 0.031 \cdot G_T - 0.058 \quad (11)$$

Skoplaski vd. (2008), yapmış oldukları çalışmada rüzgar hızının 1 m/s'nin altında olduğu ortam için panel yüzey sıcaklığını $\pm 6.68^\circ\text{C}$ 'lık sapmayla veren aşağıdaki formülü önermiştir:

$$T_{back} = T_{ortam} + \left(\frac{0.25}{5.7 + 3.8 \cdot V_w} \right) \cdot G_T \quad (12)$$

Kurtz vd. (2009), modül yüzey sıcaklığı için aşağıdaki denklemi elde etmişlerdir ve bu formülde sapma payının $\pm 6.17^\circ\text{C}$ olduğunu tespit etmişlerdir.

$$T_{Yüzey} = T_{ortam} + G_T e^{-3.473 - 0.0594 \cdot V_w} \quad (13)$$

Skoplaski ve Palyvos (2009), yaptıkları çalışmada p-Si PV modül sıcaklığını veren formülü $\pm 5.56^\circ\text{C}$ 'lik hata payıyla aşağıdaki gibi bulmuşlardır:

$$T_{back} = T_{ortam} + \left(\frac{0.32}{8.91 + 2 \cdot V_w} \right) \cdot G_T \quad (14)$$

Akyüz vd. (2012), yapmış oldukları çalışmada PV yüzey sıcaklığını bulmak için sapma oranı $\pm 6.69^\circ\text{C}$ olan aşağıdaki denklemi önermişlerdir:

$$T_{back} = 0.95 \cdot T_{ortam} + 3.1 + 0.025 \cdot G_T - 0.3 \cdot V_w \quad (15)$$

Coşkun vd. (2016), polikristalin modül panel yüzey sıcaklığının belirlenmesi için yaptıkları çalışmada yüzey sıcaklığını $\pm 4.43^\circ\text{C}$ sapmayla veren aşağıdaki denklemi önermişlerdir:

$$T_{back} = 1.4 \cdot T_{ortam} + 0.01 \cdot (G_T - 500) - V_w^{0.8} \quad (16)$$

Coskun vd. (2017), literatürde yer alan 16 denklemi modifiye ederek 11 denklemde toplamıştır. Modifiye edilmiş denklemler aşağıda sırasıyla verilmiştir. Denlemlerde $T_{Yüzey}$ panel yüzey sıcaklığını, T_{ortam} ortam sıcaklığını ifade etmektedir. G_T güneş radyasyon miktarını, V_w rüzgar hızını ifade etmektedir.

$$T_{Yüzey} = T_{ortam} - 1.52567 + 0.01981336 \cdot G_T - 0.000003451 \cdot G_T^2 \quad (17)$$

$$T_{Yüzey} = 1.14 \cdot T_{ortam} - 3.101 + 0.01806 \cdot G_T - 0.0000042758 \cdot G_T^2 \quad (18)$$

$$T_{Yüzey} = 0.95 \cdot T_{ortam} + 0.0674 + 0.0214608 \cdot G_T - 0.0000041286 \cdot G_T^2 - 0.3 \cdot V_w \quad (19)$$

$$T_{Yüzey} = T_{ortam} - 1.93666 + 0.0138 \cdot G_T \cdot (1 + 0.031 \cdot T_a) \cdot (1 - 0.042 \cdot V_w) + 0.007882 \cdot G_T - 0.000134647 \cdot G_T^2 \quad (20)$$

$$T_{Yüzey} = 1.4 \cdot T_{ortam} - 3.3388 + 0.01667687 \cdot G_T - 0.00000767785 \cdot G_T^2 - V_w^{0.8} \quad (21)$$

$$T_{Yüzey} = 0.899 \cdot T_{ortam} + 3.8621 + 0.026175 \cdot G_T - 0.000007547 \cdot G_T^2 - 1.30 \cdot V_w \quad (22)$$

$$T_{Yüzey} = T_{ortam} - 1.7573 + G_T \cdot (e^{-3.473 - 0.0594 \cdot V_w} - 0.0028) - 0.000005625 \cdot G_T^2 \quad (23)$$

$$T_{Yüzey} = 0.943 \cdot T_{ortam} + 4.1315 + 0.02646 \cdot G_T - 0.0000085889 \cdot G_T^2 - 1.528 \cdot V_w \quad (24)$$

$$T_{Yüzey} = 1.31 \cdot T_{ortam} + 0.6511 + 0.021556 \cdot G_T - 0.00001063 \cdot G_T^2 - 1.65 \cdot V_w \quad (25)$$

$$T_{Yüzey} = T_{ortam} - 1.7404 + \left(\frac{0.32}{8.91 + 2 \cdot V_w} + 0.002524 \right) \cdot G_T - 0.0000068535 \cdot G_T^2 \quad (26)$$

$$T_{Yüzey} = T_{ortam} - 1.5082 + \left(\frac{0.25}{5.7 + 3.8 \cdot V_w} + 0.0079 \right) \cdot G_T - 0.0000074489 \cdot G_T^2 \quad (27)$$

1.4.2. Güneş Paneli Verim Değerinin Tespiti Üzerine Yapılan Çalışmalar

Panel enerji veriminin tespiti noktasında birçok farklı yaklaşım bulunmaktadır. Basitleştirilmiş yaklaşımlar olarak ele alındığında bu çalışmalar genel olarak panel sıcaklığına, rüzgar hızına ve güneş radyasyonuna bağlı olarak ifade edilmektedir.

Yamaguchi vd. (2003), Sadece panel yüzey sıcaklığına bağlı verim denklemleri üzerine çalışmalar ortaya koymuştur. Bu denklemler aşağıda Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Sadece panel yüzey sıcaklığına bağlı verim denklemleri

Denklem	Referans	
$\eta_G = -0.05 \cdot T_{Yüzey} + 13.75$	Yamaguchi vd. (2003)	(28)
$\eta_G = -0.053 \cdot T_{Yüzey} + 12.62$	Yamaguchi vd. (2003)	(29)

Panelin özelliklerine bağlı olarak tespit edilen katsayılara ve yüzey sıcaklığına bağlı verim denklemleri Evans ve Florschuetz (1977), Bazilian ve Prasad (2002), Bergene ve Løvvik (1995), Durisch vd. (1996), Mohring vd. (2004), Ravindra ve Srivastava (1979/80), Perlman vd. (2005) tarafından sunulmuştur. Bu denklemler aşağıda Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. PV için panel yüzey sıcaklığına bağlı verim denklemleri

Denklem	Referans
$\eta_G = \eta_{Tref} \cdot [1 - \beta_{ref} \cdot (T_{Yüzey} - T_{ref})]$	Evans ve Florschuetz (1977) (30)
$\eta_G = \eta_{ref} - \mu \cdot (T_{Yüzey} - T_{ref})$	Bazilian ve Prasad (2002) (31)
$\eta_G = \eta_a - c \cdot (\bar{T} - T_{ortam})$	Bergene ve Løvvik (1995) (32)
$\eta_G = \eta_{Tref} + b \cdot (T_{Yüzey} - 25)$	Durisch vd. (1996) (33)
$\eta_G = \eta_{Tref} \cdot [1 + c_3 \cdot (T_{Yüzey} - 25)]$	Mohring vd. (2004) (34)
$\eta_G = \eta_{Tref} - K \cdot (T^{1/4} - T_0^{1/4})$	Ravindra ve Srivastava (1979/80) (35)
$\eta_G = \eta_{NOCT} \cdot [1 - MPTC \cdot (T_{NOCT} - T_{Yüzey})]$	Perlman vd. (2005) (36)

PV için panel yüzey sıcaklığı, rüzgar hızı ve güneş radyasyonuna bağlı verim denklemleri, Duffie ve Beckman (2006), Evans ve Florschuetz (1977), CLEFS CEA (2004) tarafından belirlenmiştir. Bu denklemler aşağıda Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. PV için panel yüzey sıcaklığı, rüzgar hızı ve güneş radyasyonuna bağlı verim denklemleri

Denklem	Referans
$\eta_G = \eta_{ref} \cdot \left\{ 1 - \beta \cdot [T_{ortam} - T_{ref} + \left(\frac{9.5}{5.7 + 3.8 V_w} \right) \cdot (T_{NOCT} - T_a) \cdot \frac{G_T}{G_{NOCT}}] \right\}$	Duffie ve Beckman (2006), Evans ve Florschuetz (1977) (37)
$\eta_G = 0.94 - 0.0043 \cdot \left[\bar{T}_a + \frac{G_T}{22.4 + 8.7 V_w} - 25 \right]$	CLEFS CEA (2004) (38)

PV için panel yüzey sıcaklığı ve güneş radyasyonuna bağlı verim denklemlerini Siegel vd. (1981), Evans (1981), ve Cristofari vd. (2006), Notton vd. (2005), Evans (1981), Anis vd. (1983), Kou vd. (1998), Evans ve Florschuetz (1977), Hove (2000), Zhu vd. (2004), Chow vd. (2006), tarafından sunulmuştur. Bu denklemler Tablo 4'te aşağıdaki gibi verilmiştir.

Tablo 4. PV için panel yüzey sıcaklığı ve güneş radyasyonuna bağlı verim denklemleri

Denklem	Referans
$\eta_G = \eta_{Tref} [1 - \beta_{ref} (T_{ortam} - T_{ref}) - \frac{\beta_{ref} \cdot T_{ref} \cdot \alpha \cdot G_T}{U_L}]$	Siegel vd. (1981) (39)
$\eta_G = \eta_{Tref} \cdot [1 - \beta_{ref} \cdot (T_{Yüzey,i} - T_{ref}) + \gamma \cdot \log_{10} I_i]$	Evans (1981), ve Cristofari vd. (2006) (40)
$\eta_G = \eta_{Tref} \cdot [1 - \beta_{ref} \cdot (T_{Yüzey} - T_{ref}) + \gamma \cdot \log_{10} G_T]$	Notton vd. (2005) (41)
$\eta_G = \eta_{Tref} \{ 1 - \beta_{ref} [(T_{Yüzey} - T_{ortam}) - (T_{ortam} - \bar{T}_a) - (\bar{T}_a - T_{ref})] + \gamma \cdot \log_{10} I \}$	Evans (1981) (42)
$\eta_G = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref} (T_{Yüzey} - T_{ref}) + \gamma \cdot \ln(G_T/1000)]$	Anis vd. (1983) (43)
$\eta_G = \eta_{ref} \{ 1 - \beta \cdot [T_{ortam} - T_{ref} + (T_{NOCT} - T_{ortam}) \cdot \frac{G_T}{G_{NOCT}}] \}$	Kou vd. (1998) Evans ve Florschuetz (1977) (44)
$\eta_G = \eta_{ref} [1 - 0.9 \cdot \beta \cdot \frac{G_T}{G_{T,NOCT}} \cdot (T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}) - \beta \cdot (T_{ortam} - T_{ref})]$	Hove (2000) (45)
$\eta_G = a_0 + a_1 \cdot \frac{T_c(x,t) - T_{\infty}}{T_{\infty}} + a_2 \cdot \frac{G_T - G_{ref}}{G_{ref}}$	Zhu vd. (2004) (46)
$\eta_G = a + b \cdot \frac{T_{in} - T_a}{G_T}$	Chow vd. (2006) (47)

PV için panel yüzey sıcaklığı ve elektriksel parametrelere bağlı verim denklemini Lasnier ve Ang (1990), yaptıkları çalışmada ortaya koymuşlardır. Bu denklem aşağıda Tablo 5'te verildiği gibidir.

Tablo 5. PV için panel yüzey sıcaklığı ve elektriksel parametrelere bağlı verim denklemini

Denklem	Referans
$\eta_G = \eta \cdot [1 - \beta_{ref} (T_{Yüzey} - T_0)] \cdot \left(1 + \frac{k_g T}{q} \cdot \frac{\ln X}{V_{oc}(G_T, T_0)}\right)$	Lasnier ve Ang (1990) (48)

1.5. Fotovoltaik Güneş Panel Tipleri

1.5.1. Amorf Silikon Güneş Pilleri (A-Si)

Amorf silikon (a-Si), güneş pilleri ve ince film transistörleri için kullanılan kristalin olmayan bir silikondur. A-Si güneş pilleri veya ince filmlili silikon güneş pilleri için yarı iletken malzeme olarak kullanılan cam, metal ve plastik gibi çeşitli esnek yüzeylere ince filmler halinde katılır. Amorf silikon hücreler genellikle düşük verimlilik özelliği taşır ancak kadmiyum veya kurşun gibi toksik ağır metaller kullanmadığından çevre dostu fotovoltaik teknolojilerden biridir. İkinci nesil ince film güneş pili teknolojisi olan amorf silikonun, hızla büyüyen dünya çapında fotovoltaik pazarın önemli bir üyesi olması beklenirken, konvansiyonel kristal silikon hücreler ve diğer ince filmlili silikon pillerden gelen güçlü rekabet nedeniyle önemini kaybetmiştir.

1.5.2. Biohybrid Güneş Pilleri

Bir biyohybrid güneş pili, organik madde (fotosistem I) ve inorganik madde kombinasyonu kullanılarak yapılan bir güneş pildir. Biohybrid güneş pilleri, Vanderbilt Üniversitesi'nde bir grup araştırmacı tarafından yapılmıştır. Araştırmacılar, güneş enerjisi dönüşümünde daha büyük bir etkinlik elde etmek için, fotosentezin doğal sürecini yeniden oluşturmak için I (fotosentetik membranda bulunan bir fotoaktif protein kompleksi) fotosentezini kullanmışlardır.

1.5.3. Kadmiyum Tellür Güneş Pilleri (CdTe)

Kadmiyum tellür (CdTe) fotovoltaik, güneş ışığını elektriğe dönüştürmek için tasarlanmış ince yarı iletken bir katman olan kadmiyum tellür kullanımına dayanan bir fotovoltaik (PV) pildir. Kadmiyum tellür PV, çok kilovatlı sistemlerde kristal silikondan yapılmış geleneksel güneş pillerine göre daha düşük maliyetli tek ince film teknolojisidir. Bir yaşam döngüsü temelinde, CdTe PV, tüm güneş enerjisi teknolojilerinin en küçük karbon ayak izi, en düşük su kullanımı ve en kısa enerji geri ödeme süresine sahip teknolojidir. CdTe'nin bir yılın altında enerji geri ödeme süresi, kısa vadeli enerji açıkları olmaksızın daha hızlı karbon indirimi sağlar.

1.5.4. Konsantre PV Hücresi (CVP Ve HCVP)

Konsantratörfotovoltaik (CPV) (Konsantrasyon Fotovoltaik olarak da bilinir), güneş ışığından elektrik üreten bir fotovoltaik teknolojidir. Konvansiyonel fotovoltaik sistemlerin aksine, güneş ışığını küçük ancak oldukça verimli, çok jonksiyonlu güneş pillerine odaklamak için mercekler ve eğimli aynalar kullanır. Buna ek olarak, CPV sistemleri genellikle verimliliklerini arttırmak için güneş takip cihazlarını ve bazen de bir soğutma sistemini kullanmaktadır. Yüksek konsantrasyonlu fotovoltaik (HCPV) kullanan sistemler özellikle yakın gelecekte rekabet edebilir olma potansiyeline sahiptir. Mevcut tüm PV teknolojilerinin arasında en yüksek verimliliğe sahiptirler.

1.5.5. Bakır İndiyum Galyum Selenit Güneş Pilleri (CI (G) S)

Bir bakır indiyum galyum selenit güneş pili (veya CIGS hücresi, bazen CI (G) S veya CIS hücresi), güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan ince filmlidir. Akım toplamak için ön veya arka elektrotlarla birlikte cam veya plastik sırt üzerine ince bir bakır, indium, galyum ve selenit tabakası yerleştirilerek üretilir. Malzeme yüksek emme katsayısına sahip olduğundan ve güneş ışığını güçlü bir şekilde emdiğinden diğer yarı iletken malzemelerden çok daha ince bir film gerektirir.

1.5.6. Kristalin Silikon Güneş Pilleri (C-Si)

Kristal silikon (c-Si), küçük kristallerden veya monokristal silikondan (mono-Si) oluşan sürekli kristal olan çok kristalli silisyum silikonun kristal formlarıdır. Kristal silikon, güneş enerjisi hücrelerinin üretimi için fotovoltaik teknolojide kullanılan baskın yarı iletken malzemedir. Bu hücreler, güneş ışığından güneş enerjisi üretmek için fotovoltaik sistemin bir parçası olarak güneş panellerine monte edilir. Elektronikte, kristalin silikon tipik olarak monokristalin silikondur ve mikroçipleri üretmek için kullanılır. Bu silisyum, güneş pilleri için gerekli olanlardan daha düşük safsızlık seviyeleri içerir. Kristalin silikondan yapılmış güneş pilleri, 1950'lerde geliştirildikleri ve bugüne kadar en yaygın olarak kullanılan türe göre genellikle geleneksel, veya birinci nesil güneş pilleri olarak adlandırılırlar. Bunlar, 160-190 µm kalınlığında güneş

enerjili silikonların dilimlerinden üretilirler bazen gofret esaslı güneş pilleri olarak adlandırılırlar

1.5.7. Boya Hassaslaştırılmış Güneş Pilleri (DSSC)

Bir dye-sensitized güneş pili (DSSC, DSC, DYSC veya Grätzel hücre) ince film güneş pilleri grubuna ait düşük maliyetli bir güneş pildir. Foto duyarlılaştırılmış bir anot ve bir elektrolit, bir fotoelektrokimyasal sistem arasında oluşan yarıiletkeneye dayanır. Grätzel hücresi olarak da bilinen bir boya güneş pilinin modern hali 1988'de UC Berkeley'de Brian O'Regan ve Michael Grätzel tarafından ortak olarak keşfedildi. DSSC yarı esnek ve yarı saydamdır, bu da cam bazlı sistemlere uygulanmayan çeşitli kullanımlar sunar ve kullanılan materyallerin çoğu düşük maliyetlidir. Uygulamada, özellikle platin ve rutenyum olmak üzere bir takım pahalı malzemeleri ortadan kaldırmak zor olmuştur ve sıvı elektrolit, bir hücrenin her havada kullanıma uygun hale getirilmesi için ciddi bir zorluk çıkarmaktadır. Dönüşüm etkinliği en iyi ince film hücrelerden daha az olmasına rağmen teoride fiyat-performans oranı, fosil yakıt elektrik üretimi ile rekabet edebilecek kadar iyi olmalıdır. Kimyasal stabilite problemleri nedeniyle kaldırılan ticari uygulamalar, Avrupa Birliği Fotovoltaik Yol Haritası'nda 2020 yılına kadar yenilenebilir elektrik üretimine önemli katkıda bulunacakları tahmin edilmektedir.

1.5.8. Hibrit Güneş Pilleri

Hibrit güneş pilleri hem organik hem de inorganik yarı iletkenlerin avantajlarını bir araya getirir. Hibridfotovoltaik, donör ve nakliye delikleri olarak ışığı emen bağlanmış polimerlerden oluşan organik maddelere sahiptir. Hibrit hücrelerdeki inorganik materyaller yapıdaki alıcı ve elektron taşıyıcı olarak kullanılır. Hibridfotovoltaik cihazlar, rulo ile rulo arasında işlem yapılmasının yanı sıra ölçeklenebilir güneş enerjisi dönüşümü için de düşük maliyetli bir potansiyele sahiptir. Bir güneş hücresindeki elektronlar, güneş ışığında foton enerjisini emerek valans bandından iletim bandını uyarırlar. Bu, bir potansiyel bariyer (p-n birleşimi gibi) ile ayrılmış ve bir akım oluşturan bir delik-elektron çifti üretir. Organik güneş pilleri aktif

katmanlarında organik materyalleri kullanırlar. Halen incelenen organik fotovoltaik cihazların başlıca türleri moleküler, polimer ve hibrid organik fotovoltaiklerdir.

1.5.9. Lüminesans Güneş Yoğunlaştırıcı Hücre (LSC)

Parlak güneş yoğunlaştırıcı (LSC), elektriği üretmek için radyasyon, özellikle güneş radyasyonunu yoğunlaştırmak için kullanılan bir cihazdır. Lüminesan güneş yoğunlaştırıcılar, geniş bir alan üzerinde radyasyon toplamak, parlaklığı (genellikle flüoresan ile) dönüştürerek ve üretilen radyasyonun nispeten küçük bir çıkış hedefine yönlendirilmesi prensibi üzerine çalışırlar.

1.5.10. Mikromorf (A-Si / Mc-Si'yi Kullanarak Tandem-Hücre)

Micromorf hücreler, üst üste istiflenmiş iki solar hücreden oluşan çoklu birleşim mimarisine dayanan ince film güneş pilleridir. İnce amorf silisyum üst hücrenin mavi ışığı absorbe ederken, daha kalın mikrokristalin silikon alt hücre, kırmızı ve yakın kızıl ötesi ışığı emerek tandem hücrenin güneş spektrumunu daha geniş bir alana yaymasını sağlar. Amorf Silicon (1.7eV) ve mikrokristalize Silicon (1.1eV) bant genişlikleri tandem güneş pilleri için çok uygundur, bu hücrenin Shockley-Queisser sınırı % 30'un üzerinde dönüşüm verimliliği sağlar. Gerçekte bu sınıra ulaşamıyor ve tipik istikrarlı verimler yaklaşık % 9 dur. Bu, tek bağlantılı ince filmlili silikon güneş pillerinin % 6 civarında istikrarlı verimliliklerinin çok üzerindedir. Silikon ince film güneş pillerinin düşük maliyetinin bir nedeni, silikon gofret (200 µm) ile karşılaştırıldığında çok düşük kalınlığı (2 µm) olmasıdır. Kırmızı ve kızılötesi dalga boyu aralığında 2 µm silisyum tüm ışığı emmek için yeterli değildir. Mikromorf yaklaşımın avantajı, amorf üst hücrenin kalınlığını düşük tutmasıdır. Bu, ışıkla indüklenen bozulma etkisini azaltır (Staeble-Wronski etkisi). Çok iletkenli hücrelerde üst ve alt hücrenin aynı akımı üretmesi gerekir. Fakat üst hücre Staeble-Wronski efekti ile sınırlandırılmıştır ve bu nedenle akımını artırırken üst hücrenin kalınlığını düşük tutmak için ışık tutma ve ara bir reflektöre ihtiyaç vardır.

1.5.11. Monokristal Solar Pil (Mono-Si)

Monokristal silikon (veya "tek kristal silikon", "tek kristal Si", "mono c-Si" veya sadece mono-Si) bugün neredeyse tüm elektronik ekipmanlarda kullanılan silikon çiplerin temel maddesidir. Mono-Si aynı zamanda güneş pilleri imalatında fotovoltaik, ışık emici malzeme olarak hizmet eder. Katığın tümünün kristal kafesinin kesintisiz, kenarları kırılmamış ve herhangi bir tane sınırı içermediği silikondan oluşur. Mono-Si, sadece yarı safiyonik silikondan ibarettir. Çoğu silikon monokristal, Czochralski prosesi ile 2 metreye kadar ve yüz kilogramdan fazla ağırlıkta külçe haline getirilir. Bu silindir daha sonra işlenmek üzere yüz mikrondan kalın ince levhalara dilimlenir. Monokristalin silikon, ince film güneş pillerinde kullanılan kristalimsi olmayan amorf silikon gibi diğer allotropik formlardan ve kristaller olarak da bilinen küçük kristallerden oluşan polikristalin silikondan farklıdır.

1.5.12. Çok Kavşaklı Güneş Pili (MJ)

Çok bağlantılı (MJ) güneş pilleri, farklı yarı iletken malzemelerden yapılmış birden fazla p-n kavşağa sahip solar hücrelerdir. Her malzemenin p-n birleşimi farklı ışık dalga boylarına yanıt olarak elektrik akımı üretecektir. Çok sayıda yarı iletken malzemenin kullanılması, hücrenin güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürme verimliliğini artıran daha geniş bir dalga boyu aralığının emilimine izin verir. Geleneksel tek bağlantılı hücrelerin maksimum teorik verimliliği % 33.16'dır. Teorik olarak, son derece yoğun güneş ışığı altında sınırsız sayıda kavşak % 86.8'lik bir sınırlayıcı etkinliğe sahip olacaktır. Günümüzde, geleneksel kristalin silikon güneş pillerinin en iyi laboratuvar örnekleri, % 20 ile % 25 arasındaki verimlilik gösterirken, çok bağlantılı hücrelerin laboratuvar örnekleri, yoğun güneş ışığı altında % 46 üzerinde performans göstermiştir. Tandem hücrelerin ticari örnekleri, tek güneşli aydınlatma altında % 30 oranında yaygın olarak bulunur ve yoğun güneş ışığı altında % 40'a kadar yükselir.

1.5.13. Nanokristal Güneş Pilleri

Nanokristal güneş pilleri, nanokristallerle kaplanmış bir katmana dayanan güneş hücreleridir. Nanokristaller tipik olarak silikon, CdTe veya CIGS bazlıdır ve katmanlar genellikle silikondur veya çeşitli organik iletkenlerdir. Kuantum nokta güneş pilleri bu yaklaşımın bir varyantıdır, ancak daha fazla performans çıkartmak için kuantum mekaniksel efektlerden yararlanır. Nanokristallerin ince bir filmi, "spin-kaplama" olarak bilinen bir işlemle elde edilir. Bu, bir miktar kuantum nokta çözeltisini daha sonra hızlı bir şekilde döndürülen düz bir zemine yerleştirmeyi içerir. Solüsyon düzgün bir şekilde yayılır ve gerekli kalınlığa ulaşıncaya kadar alt tabaka bükülür. Herbiri ~ 1 excitons difüzyon uzunluğu ile ayrılmış, elektrotlar arasında bir dizi tek parçacık dizisinin cihaz verimliliğini artırdığı önerilmiştir. Her ne kadar araştırmalar henüz emekleme aşamasındaysa da, gelecekte nanokristal fotovoltaikler, düşük maliyet, temiz enerji üretimi ve % 65'lik bir verimlilik gibi avantajlar sunabilir.

1.5.14. Organik Güneş Pilleri (OPV)

Organik bir güneş pili veya plastik güneş pili, organik elektronları, iletken organik polimerler veya küçük organik molekülleri işleyen bir elektronik fotovoltaik türüdür. Organik güneş pillerinde kullanılan moleküller, yüksek verimlilikte çözündürülebilir ve ucuzdur, bu da büyük bir hacim üretmek için düşük üretim maliyeti demektir. Organik moleküllerin esnekliği ile birleşince, organik güneş pilleri fotovoltaik uygulamalar için maliyetli olabilir. Moleküler mühendislik (örneğin, polimerlerin uzunluğunu ve fonksiyonel grubunu değiştirerek) bant aralığını değiştirebilir ve elektronik ayarlanabilirlik sağlar. Organik moleküllerin optik absorpsiyon katsayısı yüksektir, bu nedenle büyük miktarda ışık, genellikle az miktarda malzeme ile emilebilir. Organik fotovoltaik pillerle ilgili temel dezavantajlar, silikon güneş pilleri gibi inorganik fotovoltaik hücrelere kıyasla düşük verimlilik, düşük kararlılık ve düşük mukavemettir.

1.5.15. Perovskit Güneş Pilleri

Bir perovskit güneş pili, en yaygın olarak bir hibrid organik-inorganik kurşun veya kalay temelli malzeme içeren bir güneş pilidir. Metilamonyum kurşun halojenürler gibi perovskit materyalleri üretmek ucuzdur ve üretimi kolaydır. Bu malzemeleri kullanan cihazların güneş pillerinde verimliliği, 2009'da % 3.8'den 2017 sonuna doğru % 22.7'ye yükselmiş, bugüne kadarki en hızlı gelişen güneş enerjisi teknolojisi haline gelmiştir.

1.5.16. Fotoelektrokimyasal Hücre (PEC)

Bu tür hücre, anot elektromanyetik radyasyonla ışınlanarak suyu hidrojen ve oksijen gazına elektroliz eder. Bu, yapay fotosentez olarak adlandırılmış ve yakıt olarak kullanılmak üzere güneş enerjisini hidrojenle depolamanın bir yolu olarak önerilmiştir. Gelen güneş ışığı, silikon elektrot yüzeyinin yakınındaki serbest elektronları uyarır. Bu elektronlar dört elektronu iki molekül hidrojen ve 4 OH grubu oluşturmak için dört su molekülü ile reaksiyona giren paslanmaz çelik elektrottaki kablolar aracılığıyla akar. OH grupları, sıvı elektrolitten silikon elektrot yüzeyine akar. Orada, dört fotoelektronla ilişkili dört delik ile reaksiyona girer, sonuçta iki su molekülü ve bir oksijen molekülü oluşur. Işıklı silikon, elektrolitlerle temas halindeyken derhal paslanmaya başlar. Korozyon malzeme tüketir ve hücre içindeki yüzeylerin ve ara yüzeylerin özelliklerini bozar. Fotokatalizör ile iki tür fotokimyasal sistem çalışır. Biri katalizör olarak yarı iletken yüzeyleri kullanır. Bu cihazlarda yarı iletken yüzey güneş enerjisini absorbe eder ve suyu bölmek için bir elektrot işlevi görür. Diğer metodolojide, çözelti halinde metal komplekslerini katalizör olarak kullanmaktadır.

1.5.17. Plasmonik Güneş Pilleri

Bir plasmonik güneş pili, plazmanın yardımıyla ışığı elektriğe dönüştüren bir tür ince film güneş pilidir. Bunlar tipik olarak 2 μm 'den daha kalın ve teorik olarak 100 μm kadar ince olabilirler. Cam, plastik veya çelik gibi silikondan daha ucuz yüzeylerde kullanabilirler. İnce film güneş pilleri için zorluklardan biri, aynı soğurma katsayısına sahip malzemelerle yapılan daha kalın solar hücreler kadar fazla ışık absorbe

etmemesidir. Işık yakalama yöntemleri ince film güneş pilleri için önemlidir. Plazmonik hücreler yüzey plasmonrezonansından etkilenen metal nano-partikülleri kullanarak, ışığı saçarak absorpsiyonu arttırmaları. Plazmonrezonans frekansında gelen ışık, nanoparçacıkların yüzeyinde elektron salınımlarına neden olur. Osilasyon elektronları daha sonra bir elektrik akımı üreten bir iletken tabaka tarafından yakalanır. Üretilen voltaj, iletken tabakanın band aralığına ve nanoparçacıklarla temas halindeki elektrolitin potansiyeline bağlıdır.

1.5.18. Polikristalin Güneş Pilleri (Multi-Si)

Polisilikon veya poli-Si olarak da adlandırılan polikristalin silikon, güneş fotovoltaik ve elektronik endüstrisi tarafından hammadde olarak kullanılan yüksek saflıkta, polikristalin silikondan oluşur. Polisilikon, metalurjik dereceli silikondan Siemens süreci olarak adlandırılan bir kimyasal saflaştırma işlemi ile üretilir. Bu işlem, uçucu silikon bileşiklerinin damıtılmasını ve yüksek sıcaklıklarda silikata dönüşmesini içerir. Polisilikon, kristalitler olarak da bilinen, malzemeye tipik metal pul etkisi veren küçük kristallerden oluşur. Polisilikon ve multisilikon eşanlamlı olarak sıklıkla kullanılırken, çoklu kristalli genellikle 1 mm'den büyük kristalleri belirtir. Çok kristalli güneş pilleri, hızla büyüyen PV pazarında en yaygın kullanılan güneş pilleri türüdür ve dünya çapında üretilen polisilikonun çoğunu tüketirler. 1 megawatt (MW) geleneksel güneş modüllerini üretmek için yaklaşık 5 ton polisilikon gereklidir.

1.5.19. Kuantum Noktalı Güneş Pilleri

Bir kuantum nokta güneş pili (QDSC), absorbe edici fotovoltaik malzeme olarak kuantum noktalar kullanan bir güneş pildir. Silika, bakır indiyum galyum selenit (CIGS) veya CdTe gibi dökme malzemelerin yerini almaya çalışmaktadır. Kuantum noktaları, noktaların boyutunu değiştirerek geniş bir enerji yelpazesinde ayarlanabilen bant darbelerine sahiptir. Dökme materyallerde, band açısı malzeme seçimi ile sabitlenir. Bu özellik, kuantum noktaları, güneş tayfının parçalarını hasat ederek verimliliği artırmak için çeşitli malzemelerin kullanıldığı çok bağlantılı güneş pilleri için çekici hale getirir.

1.5.20. Katı Hal Güneş Pilleri

Bir yarı iletken cihaz, silisyum gibi yarı iletken bir materyalin katı kristalin bir parçası içerisinde hareket eden elektronlardan veya deliklerden oluşan bir elektrik akımını kontrol ederek çalışır. Günümüzde neredeyse tüm elektronikler, vakum tüplerinin hala kullanıldığı radyo vericileri gibi bazı uygulamalarda ve röle gibi elektromekanik cihazlar kullanan bazı endüstriyel kontrol devreleri haricinde katı haldedir.

1.5.21. İnce Film Güneş Pili (TFSC)

İnce film güneş pili, cam, plastik veya metal gibi bir alt tabaka üzerine fotovoltaiik malzemenin bir veya daha fazla ince tabaka veya ince film (TF) bırakılarak yapılan ikinci nesil güneş pili'dir. İnce film güneş pilleri, kadmiyum tellürür (CdTe), bakır indiyum galyum diselenid (CIGS) ve amorf ince film silikonu (a-Si, TF-Si) de dahil olmak üzere çeşitli teknolojilerde ticari olarak kullanılmaktadır. Film kalınlığı, birkaç nanometre ile onlarca mikrometre arasında değişen ince filmin rakip teknolojisi olan 200'den fazla gofreti kullanan geleneksel birinci nesil kristalin silikon güneş pilinden (c-Si) çok daha incedir. Bu ince film hücrelerinin esnek olmasını ve ağırlıkça daha düşük olmasını sağlar. Entegre fotovoltaiiklerin yapımında ve pencerelerde lamine edilebilen yarı saydam, fotovoltaiik cam malzeme olarak kullanılır. Diğer ticari uygulamalar, dünyanın en büyük fotovoltaiik enerji santrallerinin bazılarında katı ince film güneş panelleri (iki cam bölmesi arasında sandviç) kullanılmaktadır. İnce film teknolojisi her zaman daha ucuzdur ancak geleneksel c-Si teknolojisine göre daha az verimlidir. Yıllar içinde önemli ölçüde gelişmiştir. CdTe ve CIGS için laboratuvar hücresi verimliliği şu anda çoğu güneş PV sisteminde kullanılan dominant malzeme olan çok kristalli silikondan daha iyi performans gösterir ve verimi yüzde 21'in üzerindedir. Laboratuvar koşullarında ince film modüllerinin hızlandırılmış ömür testleri, bozulmaya neden olurken, genelde 20 yıl ya da daha uzun ömür beklenir.

1.5.22. Gofret Güneş Pilleri

Kristal silikon (c-Si), küçük kristallerden veya monokristal silikondan (mono-Si) oluşan çok-kristalli silisyum silikonun kristal formlarıdır. Kristal silikon, güneş enerjisi hücrelerinin üretimi için fotovoltaik teknolojide kullanılan baskın yarı iletken malzemedir. Bu hücreler, güneş ışığından güneş enerjisi üretmek için fotovoltaik sistemin bir parçası olarak güneş panellerine monte edilir. Elektronikte, mikroçipleri üretmek için kullanılır. Bu silisyum, güneş pilleri için gerekli olanlardan daha düşük safsızlık seviyeleri içerir. Yarı iletken dereceli silikon üretimi, hiperpüresilikon üretmek için bir kimyasal arıtma ve ardından monokristal silikon yetiştirmek üzere yeniden kristalleştirme işlemini içerir. Kristalin silikondan yapılmış güneş pilleri, 1950'lerde geliştirildikleri ve bugüne kadar en yaygın olarak kullanılan türe göre genellikle geleneksel veya birinci nesil güneş pilleri olarak adlandırılırlar.

1.6. Fotovoltaik Güneş Panellerinde Elektrik Üretimini Etkileyen Parametreler

Fotovoltaik panellerde verimlilik hesaplamaları yapılırken standart şartlar gözönünde bulundurulur. Bu şartlar 1000 W/m^2 toplam güneş ışınımı, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığı ve atmosferik etkilerin olmaması durumudur. Fotovoltaik panellerde atmosfer ve diğer çevresel durumların verimlilik üzerine etkileri oran azaltma faktörü ile hesaba katılmaktadır. Bu faktörde, yıl içindeki zaman, bulutluluk, toz, sıcaklık, hava kirleticileri, kar miktarı, gölgelenme gibi parametreler etkili olmaktadır. Belirlenen her bir parametrenin etkisi verimlilik hesaplamalarında kullanıldığında gerçek verim ortaya çıkmış olacaktır.

1.7. Performans Oranı

Panel performans oranı, gerçek çalışma koşullarındaki verim değerinin referans laboratuvar şartlarındaki verim değerine oranıdır.

$$PPO = \eta_{\text{gercek}} / \eta_{\text{ref}} \quad (49)$$

Denklemden PPO ile gösterilen terim Panel performans oranını ifade etmekte olup birimsizdir. Bir PV sistemi için hesaplanan PPO değerinin 1 olması, laboratuvar test şartlarında elde edilen verim değerine ulaşıldığı anlamına gelmektedir. PPO bir PV sisteminin verimliliğini değerlendirmek için en önemli değişkenlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Performans oranı, belirli faktörlerin etkisi altında değişiklik göstermektedir. PPO bazı işletme koşullarda 1 değerinin üzerine dahi çıkabilmektedir. Bunun nedeni, gerçek koşulların test şartlarından daha iyi bir konumda yer alması olarak gösterilebilir. Standart test koşullarında 1000 W/m² güneş radyasyonu ve 25 °C modül sıcaklığı temel alınarak verim değerleri belirlenmektedir. Bir başka test koşulu ise 800 W/m² güneş radyasyonu ve 20 °C modül sıcaklığıdır. Test koşulları coğrafyaya bağlı olarak üretici firmalar tarafından belirlenebilir. Ancak bu tez çalışmasında daha çok kabul gören test koşulları olan 1000 W/m² güneş radyasyonu ve 25 °C modül sıcaklığı referans alınacaktır. Gerçek işletme koşullarında 1000 W/m² güneş radyasyonu ve 15 °C modül sıcaklığı olması durumunda PPO değeri 1'den daha yüksek bir değere ulaşabilmektedir. Bu durum PPO oranını dış ortam sıcaklık ve güneş radyasyon miktarına bağlı olarak veren denklem (50)'den de anlaşılabilir.

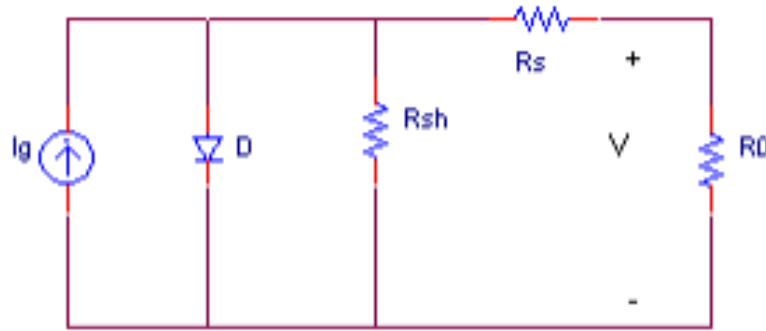
$$PPO = 1 - \beta_{\text{ref}}(T_c - T_{\text{ref}}) + \gamma \cdot \ln(G_T/1000) \quad (50)$$

Tüm Türkiye için yapmış olduğumuz incelemede yıllık ortalama bazda PPO değerinin 1'in üzerine çıktığı tek bir il bulunmaktadır. Bu il Ardahan'dır. Gerçek çalışma koşullarındaki değişimler PPO'nu etkilemektedir. PPO'nu etkileyen temel faktörler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- PV modülünün sıcaklığı
- Güneş radyasyonu
- Gölgeleme veya kirlilik faktörü
- İletim kayıpları
- PV modüllerinin verimlilik faktörü
- Güneş pil teknolojilerindeki farklılıklar

1.8. Güneş Paneli Karakteristiği

Aşağıdaki Şekil 1’de basit bir güneş panel hücresinin elektriksel şeması verilmiş, ve güneş panel karakteristiğinin belirlenmesinde yani akım, voltaj, güç ve sıcaklık arasında nasıl bir etkileşim olduğunu gösteren denklemler ve buna bağlı olarak ortaya çıkan karakteristikler grafikler halinde ayrıca belirtilmiştir.



Şekil 1. Güneş pili eşdeğer hücresi

I hücre akımını, I_0 diyot doyma akımını, I_{sc} kısa devre akımını, T hücre sıcaklığı (K), R_s hücre seri direncini, R_{sh} hücrenin shunt direncini, V hücre çıkış voltajını, V_{oc} açık devre voltajını, q elektron yükünü (1.6×10^{-19} coulomb), k boltzman sabiti (1.38×10^{-23} J/K), n diyot ideallik faktörünü (1.2)'nü ifade etmektedir. PV panelde akım ve voltaj arasındaki bağıntıyı veren denklem aşağıdaki gibidir.

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{qV + IR_s}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (51)$$

51 numaralı denklemde R_{sh} çok büyük bir değer olduğundan denklemde R_{sh} 'nin olduğu kısım ihmal edilirse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$I = I_L - I_o \left(e^{\frac{qV+IR_s}{nkT}} - 1 \right) \quad (52)$$

$$I_L = I_{sc,1000} \times \frac{G}{G_0} \quad (53)$$

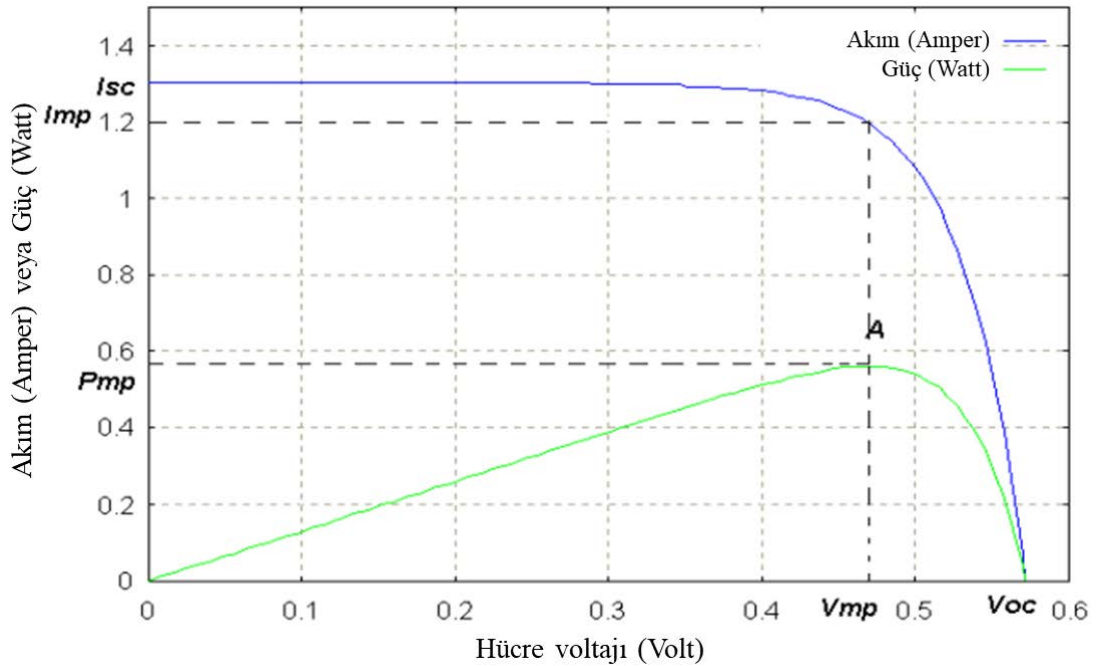
Denklem 53 de $G_0 = 1000 \text{ W/m}^2$ alınırsa

$$I = I_{sc,1000} \times \frac{G}{1000} - I_o \left(e^{\frac{qV+IR_s}{nkT}} - 1 \right) \quad (54)$$

$$I_o = \frac{I_{sc}}{e^{\frac{qV_{oc}}{nkT}} - 1} \quad (55)$$

Verilen denklemler yerine konduğu zaman aşağıdaki son denklem 56 elde edilir.

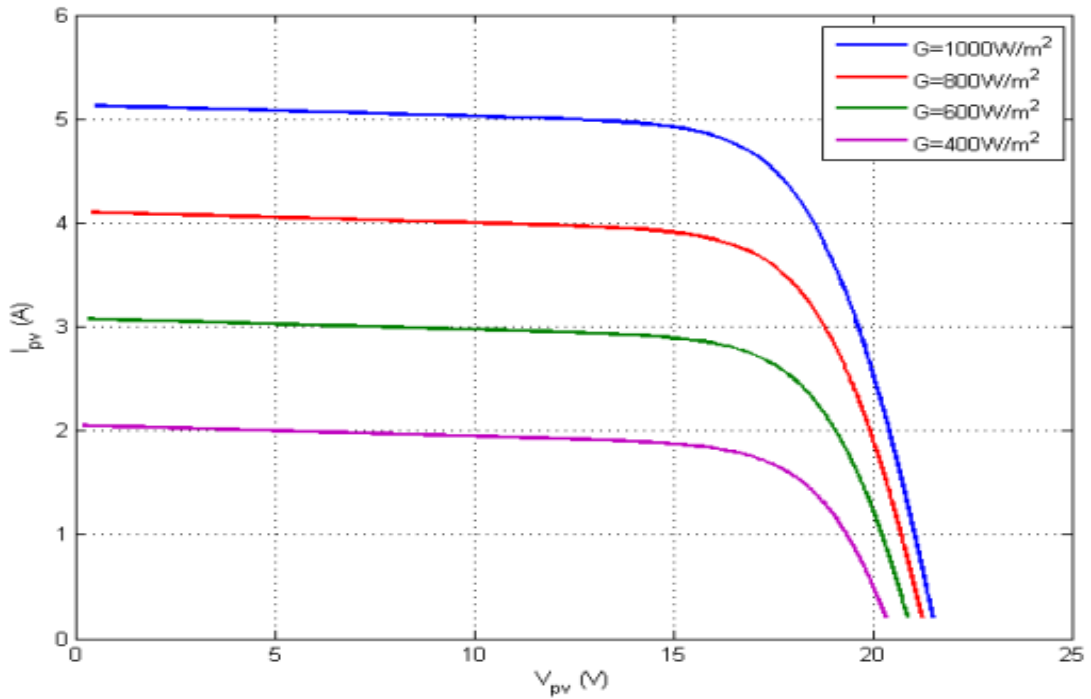
$$I = \left[I_{sc,1000} \times \frac{G}{1000} \right] - \left[\left(\frac{I_{sc}}{e^{\frac{qV_{oc}}{nkT}} - 1} \right) \left(e^{\frac{qV+IR_s}{nkT}} - 1 \right) \right] \quad (56)$$



Şekil 2. Güneş paneli I-V ve P-V karakteristiği

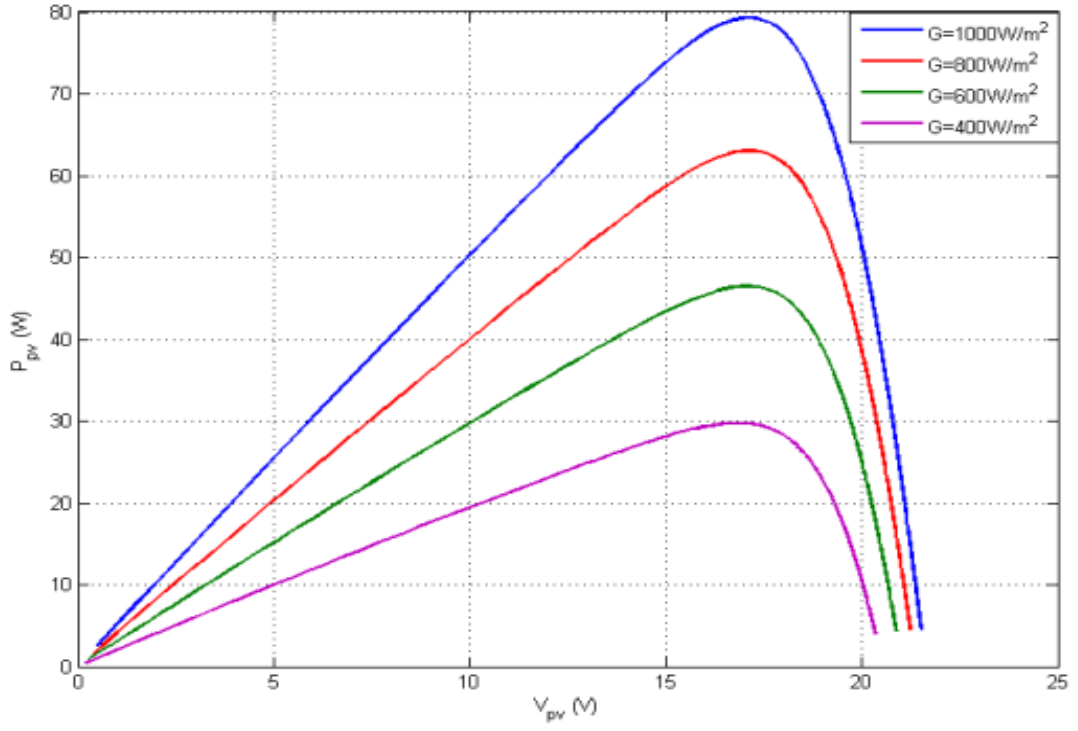
Şekil 2’de verildiği üzere V_{oc} Açık devre voltajını ifade etmektedir. I-V eğrisini yatay eksende kestiği akımın sıfır olduğu noktadır. Bu noktada gücünde sıfır olduğu görülmektedir. I_{sc} Kısa devre akımı ifade etmektedir. I-V eğrisini dikey eksende kestiği voltajın sıfır olduğu noktadır. Bu noktada gücün sıfır olduğu görülmektedir. V_{mp} maksimum güç voltajını ifade etmektedir. Gücün en yüksek değerinde bulunduğu andaki voltaj değeridir. P_{mp} maksimum güç noktasını ifade etmektedir. Gücün en yüksek değerini gördüğü noktadır. Şekil 2’de bu nokta A noktası olarak gösterilmektedir. I_{mp} maksimum güç akımını ifade etmektedir. Gücün en yüksek değerini aldığı noktada görülen akım değeridir.

Aynı ortam sıcaklığında fakat farklı güneş radyasyon değerlerinde Güneş panelinin akım-voltaj karakteristiği Şekil 3.’de verilmiştir.

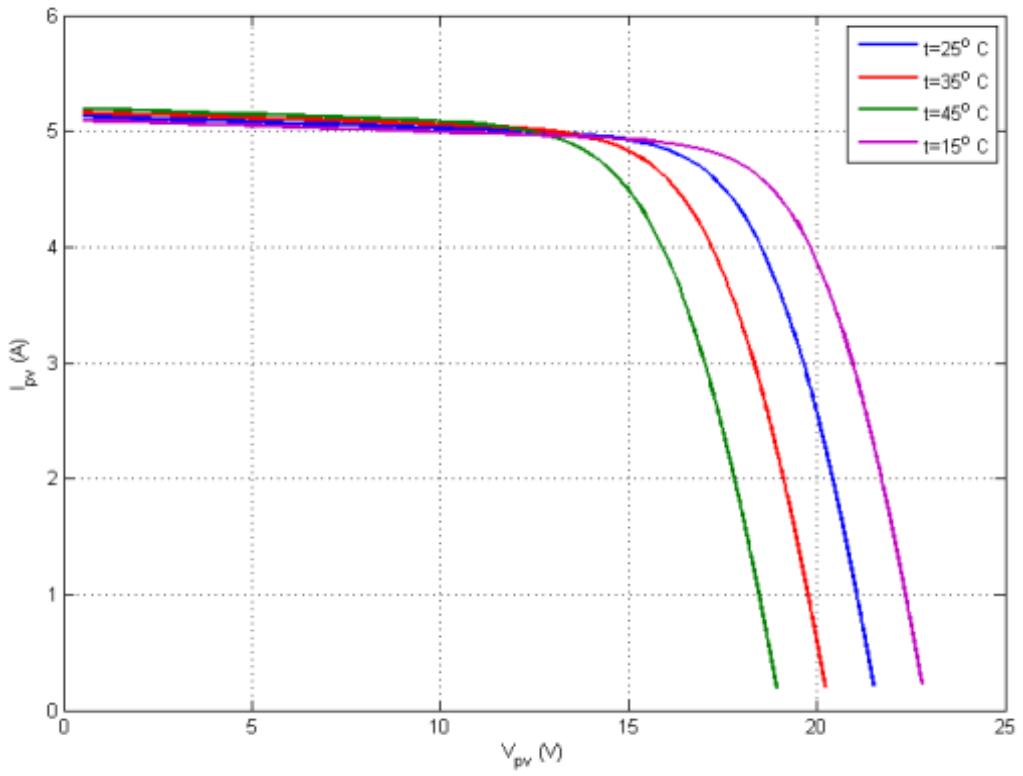


Şekil 3. Güneş radyasyonuna bağlı güneş paneli I-V karakteristiği

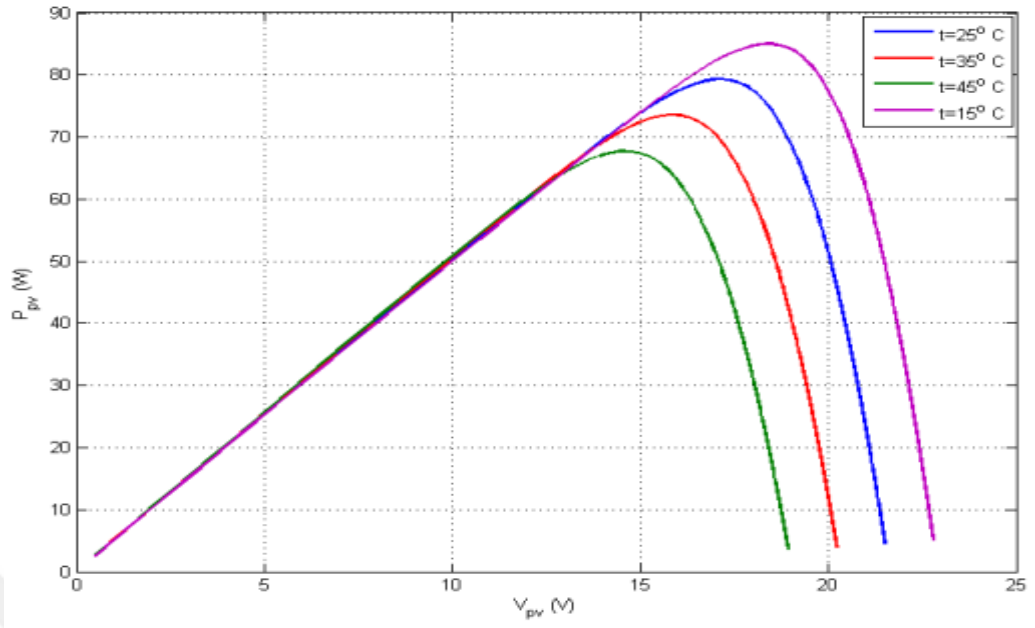
Aynı ortam sıcaklığında fakat farklı güneş radyasyon değerlerinde Güneş panelinin güç-voltaj karakteristiği Şekil 4.’de verilmektedir. Aynı güneş radyasyon miktarı fakat farklı ortam sıcaklıklarında güneş panelinin akım-voltaj karakteristiği Şekil 5.’de verilmektedir. Aynı güneş radyasyon miktarı fakat farklı ortam sıcaklıklarında güneş panelinin güç-voltaj karakteristiği Şekil 6.’da sunulmaktadır.



Şekil 4. Güneş Radyasyonuna bağlı güneş paneli P-V karakteristiği



Şekil 5. Sıcaklığa bağlı güneş paneli I-V karakteristiği



Şekil 6. Sıcaklığa bağlı güneş paneli P-V karakteristiği

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Olası panel yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi için Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bağlı toplamda 1005 istasyondan alınan son otuz beş yıllık kapsayan saatlik dış hava sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Tüm hesaplamalar Saat 06:00 ile 20:00 arasını kapsamaktadır. Elektrik üretiminde en çok kullanılan güneş panel tipi olan polikristalin tip panel seçilmiştir.

Tablo 6. İl bazında verilerin alındığı istasyon sayısı

İL	İstasyon Sayısı	İL	İstasyon Sayısı	İL	İstasyon Sayısı	İL	İstasyon Sayısı
Adana	16	Edirne	9	Konya	32	Tunceli	7
Adıyaman	12	Elazığ	13	Kütahya	12	Şanlıurfa	12
Afyon	26	Erzincan	9	Malatya	15	Uşak	7
Ağrı	8	Erzurum	24	Manisa	20	Van	10
Amasya	8	Eskişehir	15	Kahramanmaraş	10	Yozgat	13
Ankara	36	Gaziantep	9	Mardin	11	Zonguldak	7
Antalya	29	Giresun	16	Muğla	19	Aksaray	8
Artvin	8	Gümüşhane	7	Muş	5	Bayburt	3
Aydın	18	Hakkâri	3	Nevşehir	9	Karaman	5
Balıkesir	21	Hatay	12	Niğde	6	Kırıkkale	8
Bilecik	8	Isparta	13	Ordu	17	Batman	6
Bingöl	8	Mersin	15	Rize	17	Şırnak	8
Bitlis	8	İstanbul	25	Sakarya	11	Bartın	5
Bolu	11	İzmir	34	Samsun	19	Ardahan	6
Burdur	13	Kars	9	Siirt	7	Iğdır	4
Bursa	15	Kastamonu	19	Sinop	9	Yalova	5
Çanakkale	13	Kayseri	16	Sivas	17	Karabük	8
Çankırı	12	Kırklareli	9	Tekirdağ	8	Kilis	4
Çorum	13	Kırşehir	8	Tokat	13	Osmaniye	6
Denizli	19	Kocaeli	11	Trabzon	15	Düzce	5
Diyarbakır	18						

Panel performans oranları bu verilere dayanarak tüm iller için hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda gün içi güneşlenme saatleri 06:00 ile 20:00 arası kabul edilmiştir. Her bir ay için toplam 15190 saatlik veri tek tek analiz edilmiştir. Son otuz beş yılı değerlendirdiğimizde bir il için 178500 adet hesaplama yapılmıştır. Bu hesaplamayı 81 ile genişlettiğimizde 14.4 milyon ayrı hesaplama yapıldığı görülmektedir.

Coşkun vd. (2017) gerçek bir güneş santrali için yapmış olduğu analizde literatürde yer alan denklemlerden 1-27 arasındaki denklemlerin vermiş olduğu sonuçları gerçek çalışma şartlarındaki sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Yapmış oldukları değerlendirmede gerçek değerlere en yakın sonuçları veren denklemin 17 numaralı denklem olduğunu ifade etmişlerdir. Bu denklem bir yıllık süreçte gerçek bir güç santrali için ortalama sıcaklık farkı 1.75 °C olarak tespit edilmiştir. % 95.45 değerindeki güvenli bölgeyi ifade eden 2 sigma değeri için sıcaklık değişim değeri +3.5 /-3.5 °C aralığında değişmektedir. Yüzey sıcaklığının tespiti için aşağıda yer alan Denklem 17 kullanılmıştır.

$$T_{Yüzey} = T_{ortam} - 1.52567 + 0.01981336 \cdot G_T - 0.000003451 \cdot G_T^2 \quad (17)$$

Coşkun ve arkadaşlarının (2017) fotovoltaik panel ünitesinin enerji verim değeri noktasında gerçek verim değerlerine oldukça yakın sonuçlar verdiğini ifade eden 43 numaralı enerji verimliliği denklemi referans olarak alınmıştır. Anis vd. tarafından oluşturulmuş olan ve tez çalışmamızda bizimde referans aldığımız denklem aşağıdaki gibidir.

$$\eta_G = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref} (T_c - T_{ref}) + \gamma \ln(G_T/1000)] \quad (43)$$

Formülde yer alan η_{ref} terimi referans laboratuvar şartlarında firmaların vermiş olduğu panel verim değerini ifade etmektedir. T_c ve G_T terimleri sırasıyla dış ortam sıcaklığını (°C) ve güneş radyasyon miktarını (Watt/m²) ifade etmektedir. Formülde yer alan β ve γ değerleri her marka ve model panel için farklı olarak tespit edilen bir katsayıdır. Seçilmiş olan panel markası için üreticinin sağlamış olduğu β ve γ değerleri sırasıyla piyasada elektrik üretiminde en çok kullanılan polikristalin silikon hücre tipi için 0.0069 ve 0.107'dir. Her marka ve model için β ve γ değerleri farklılık göstermekte ve bu da verim karakteristiğinde farklılaşmaya neden olmaktadır. β ve γ değerlerine bağlı olarak farklı iklim bölgeleri için farklı performans oranı değerlerine ulaşılmıştır. İncelenen güneş panel tiplerine ait 16 adet panel için β ve γ değerleri Tablo 7'de verilmektedir. İncelenen 16 panel için en yüksek yıllık ortalama performans oranını veren β ve γ değerleri tüm iller için Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 7. İncelenen 16 adet fotovoltaiik panel için β ve γ değerleri

Panel No	1	2	3	4	5	6	7	8
β	0.0030	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0050	0.0038	0.0041
γ	0.110	0.100	0.120	0.125	0.130	0.130	0.117	0.100
Panel No	9	10	11	12	13	14	15	16
β	0.0041	0.0041	0.0045	0.0045	0.0048	0.0063	0.0069	0.0038
γ	0.130	0.150	0.120	0.097	0.120	0.127	0.107	0.178

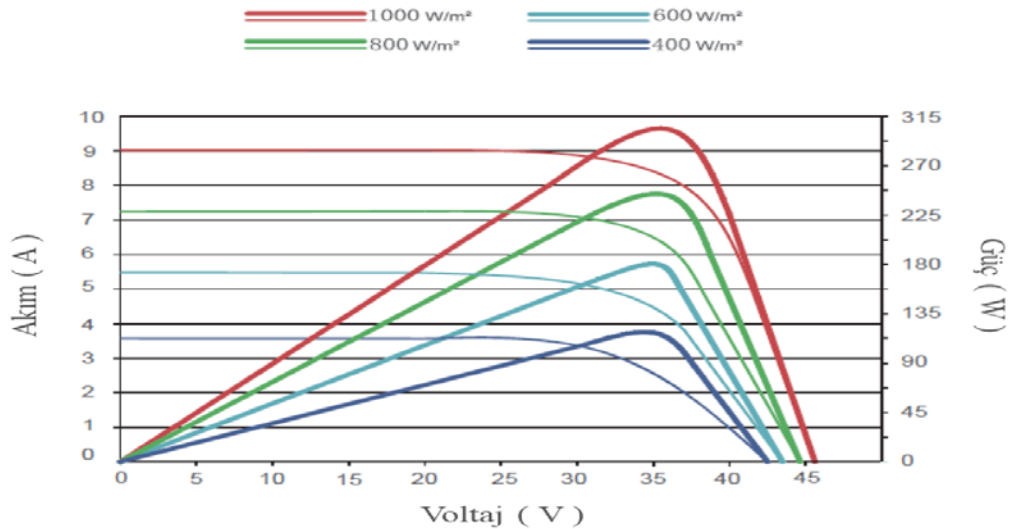
Tablo 8. En yüksek yıllık ortalama PPO'nı veren β ve γ değerleri

İL	β	γ	Performans Oranı (-)	İL	β	γ	Performans Oranı (-)
Adana	0.0040	0.100	0.9238	Konya	0.0069	0.107	0.9650
Adıyaman	0.0041	0.100	0.9308	Kütahya	0.0069	0.107	0.9642
Afyon	0.0069	0.107	0.9639	Malatya	0.0069	0.107	0.9520
Ağrı	0.0069	0.107	0.9897	Manisa	0.0069	0.107	0.9267
Amasya	0.0069	0.107	0.9423	Kahramanmaraş	0.0069	0.107	0.9342
Ankara	0.0069	0.107	0.9682	Mardin	0.0069	0.107	0.9432
Antalya	0.0041	0.100	0.9287	Muğla	0.0069	0.107	0.9445
Artvin	0.0069	0.107	0.9607	Muş	0.0069	0.107	0.9717
Aydın	0.0041	0.100	0.9278	Nevşehir	0.0069	0.107	0.9696
Balıkesir	0.0069	0.107	0.9396	Niğde	0.0069	0.107	0.9621
Bilecik	0.0069	0.107	0.9514	Ordu	0.0069	0.107	0.9395
Bingöl	0.0069	0.107	0.9572	Rize	0.0069	0.107	0.9395
Bitlis	0.0069	0.107	0.9711	Sakarya	0.0069	0.107	0.9364
Bolu	0.0069	0.107	0.9621	Samsun	0.0069	0.107	0.9396
Burdur	0.0069	0.107	0.9553	Siirt	0.0069	0.107	0.9364
Bursa	0.0069	0.107	0.9434	Sinop	0.0069	0.107	0.9437
Çanakkale	0.0069	0.107	0.9414	Sivas	0.0069	0.107	0.9853
Çankırı	0.0069	0.107	0.9580	Tekirdağ	0.0069	0.107	0.9429
Çorum	0.0069	0.107	0.9613	Tokat	0.0069	0.107	0.9479
Denizli	0.0069	0.107	0.9348	Trabzon	0.0069	0.107	0.9387
Diyarbakır	0.0069	0.107	0.9341	Tunceli	0.0069	0.107	0.9546
Edirne	0.0069	0.107	0.9417	Şanlıurfa	0.0041	0.100	0.9319
Elazığ	0.0069	0.107	0.9550	Uşak	0.0069	0.107	0.9673
Erzincan	0.0069	0.107	0.9647	Van	0.0069	0.107	0.9790
Erzurum	0.0069	0.107	0.9952	Yozgat	0.0069	0.107	0.9756
Eskişehir	0.0069	0.107	0.9621	Zonguldak	0.0069	0.107	0.9473
Gaziantep	0.0069	0.107	0.9404	Aksaray	0.0069	0.107	0.9658
Giresun	0.0069	0.107	0.9407	Bayburt	0.0069	0.107	0.9886
Gümüşhane	0.0069	0.107	0.9699	Karaman	0.0069	0.107	0.9644
Hakkari	0.0069	0.107	0.9732	Kırıkkale	0.0069	0.107	0.9537
Hatay	0.0041	0.100	0.9324	Batman	0.0069	0.107	0.9435
Isparta	0.0069	0.107	0.9590	Şırnak	0.0069	0.107	0.9432
Mersin	0.0041	0.100	0.9252	Bartın	0.0069	0.107	0.9477
İstanbul	0.0069	0.107	0.9424	Ardahan	0.0069	0.107	1.0078
İzmir	0.0041	0.100	0.9266	Iğdır	0.0069	0.107	0.9611
Kars	0.0069	0.107	0.9986	Yalova	0.0069	0.107	0.9395
Kastamonu	0.0069	0.107	0.9655	Karabük	0.0069	0.107	0.9441
Kayseri	0.0069	0.107	0.9650	Kilis	0.0069	0.107	0.9329
Kırklareli	0.0069	0.107	0.9444	Osmaniye	0.0069	0.107	0.9228
Kırşehir	0.0069	0.107	0.9634	Düzce	0.0069	0.107	0.9447
Kocaeli	0.0069	0.107	0.9360				

En yüksek yıllık ortalama performans oranı için belirlenen β ve γ değerleri incelendiğinde 3 farklı panel tipinin ülkemiz için en iyi performansı sağladığı görülmüştür. Polikristalin Silikon Hücre tipine ait olan bu değerler sırasıyla 0.0040/0.100, 0.0041/0.100 ve 0.0069/0.107 değerleridir. Oransal olarak baktığımızda en yüksek değerlerin 73 il ile 0.0069/0.107 olduğu belirlenmiştir. Bu değer tüm illerin %90.1'ine karşılık gelmektedir. Bu nedenden dolayı tüm Türkiye için analizlerimizde β ve γ değerleri olarak 0.0069/0.107 kullanılmıştır. Bu değeri sağlayan ve hesaplamalarımız için referans aldığımız polikristal güneş paneline ait özellikler Tablo 9'de sunulmaktadır.

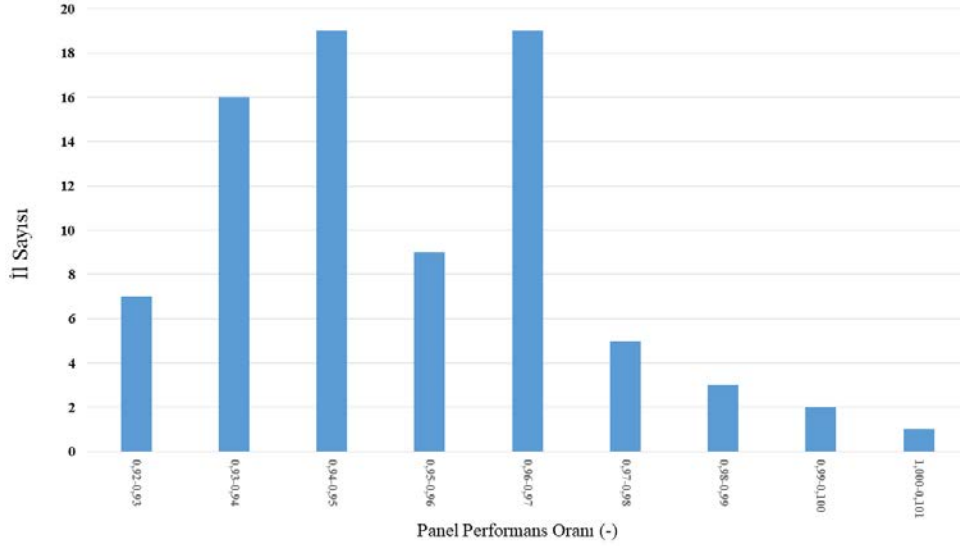
Tablo 9. Seçilen güneş paneline ait özellikler

	Özellikler
Modül Tipi	JKM295P/STC
Maksimum Güç (P_{max})	295 Wp
Maksimum Güç Voltajı (V_{mp})	36.2V
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	8.15A
Açık Çevrim Voltajı (V_{oc})	45.1V
Kısa Çevrim Akımı (I_{sc})	8.76A
Modül Verimi STC (%)	15.20%
Çalışma Sıcaklığı ($^{\circ}C$)	-40 $^{\circ}C$ /+ 85 $^{\circ}C$
Maksimum Sistem Voltajı	1000 VDC
Maksimum Güçteki Sıcaklık Katsayısı	0.41%/ $^{\circ}C$
Güç Toleransı	0/+3 %
Açık Çevrim Voltajındaki Sıcaklık Katsayısı	0.31%/ $^{\circ}C$
Kısa Çevrim Akımındaki Sıcaklık Katsayısı	0.06 %/ $^{\circ}C$
Normal Çevrim Hücre Sıcaklığı (NOCT)	45 \pm 2 $^{\circ}C$



Şekil 7. Seçilen güneş paneline ait akım-voltaj ve güç-voltaj eğrileri grafiği

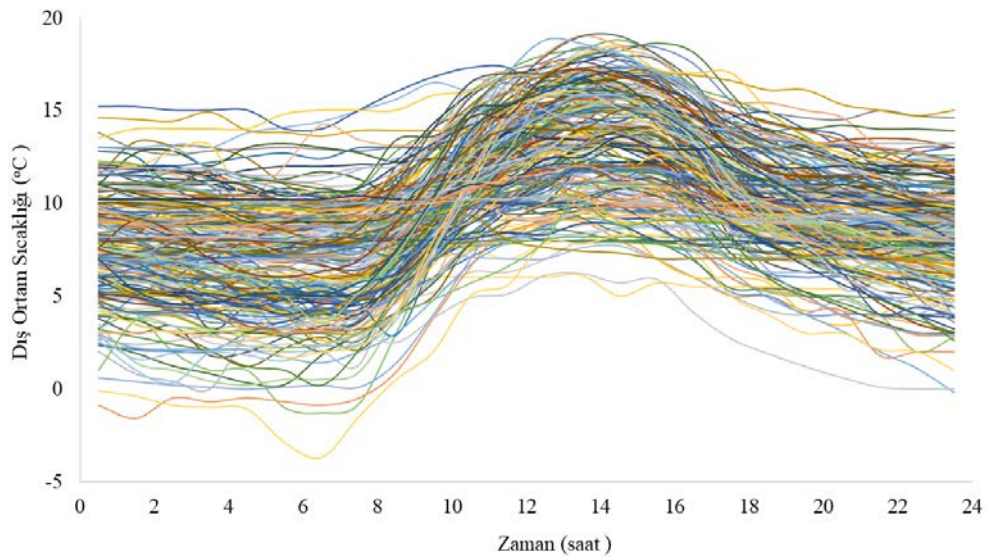
Panel performans oranının illere bağılı dağılımı Şekil 7’de sunulmuş olup en fazla ilde görülen performans oranı aralıkları 0.94/0.95 ile 0.96/0.97 aralığıdır. Bu iki aralıkta 38 il bulunmaktadır.



Şekil 8. Panel performans oranının illere bağılı dağılımı grafiği

2.1. Adana İli İçin Örnek Hesaplamalar

Olası panel yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi için son otuz beş yılın saatlik dış hava sıcaklık değerleri tablo 6’da verilen istasyonlardan alınarak kullanılmıştır. Adana Bölge İstasyonu için Ocak ayına ait otuz beş yıllık dış sıcaklık dağılımı Şekil 9.’de sunulmuştur.

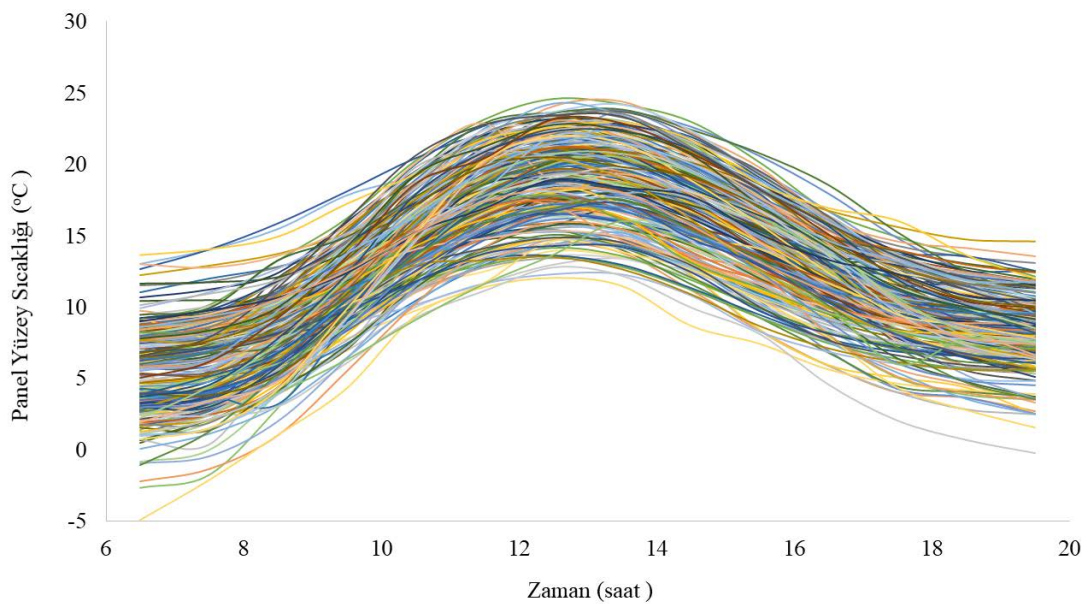


Şekil 9. Ocak ayı için saatlik dış sıcaklık dağılımı

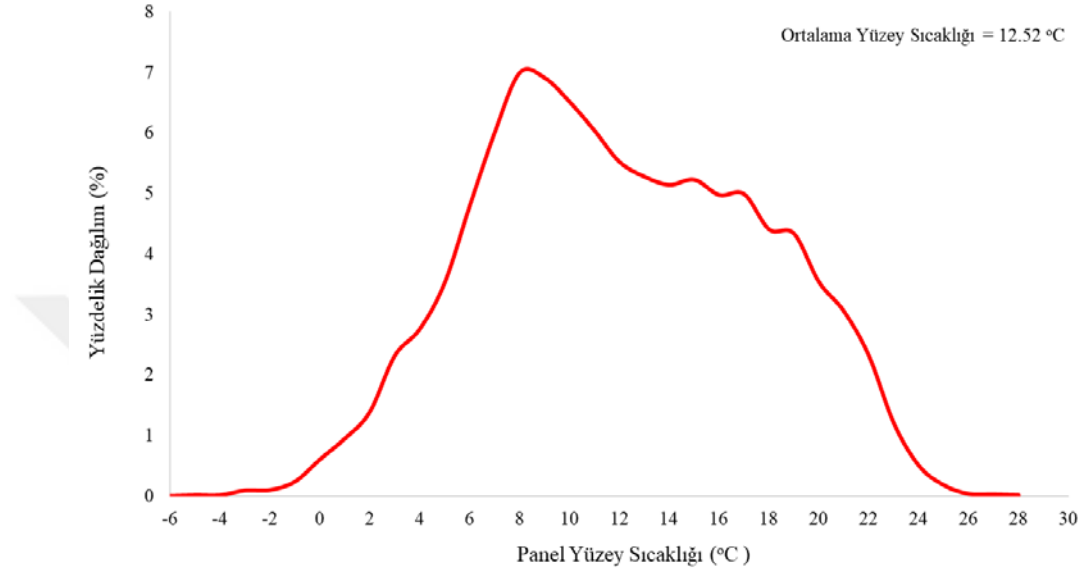
Tablo 10. Adana için verilerin alındığı istasyonlar

No	İlçe Adı	İstasyon Adı	Başlangıç	Biliş	Değerlendirilen Yıl Sayısı
1.	Aladağ	ALADAĞ	2015	2015	1
2.	Ceyhan	CEYHAN	1981	2015	35
3.	Ceyhan	CEYHAN TİGEM	2014	2014	1
4.	Çukurova	ÇUKUROVA	2014	2014	1
5.	Feke	FEKE	2014	2014	1
6.	İmamoğlu	İMAMOĞLU	2014	2014	1
7.	Karaisalı	KARAIŞALI	1981	2015	35
8.	Karataş	KARATAŞ	1981	2015	35
9.	Kozan	KOZAN	1981	2015	35
10.	Pozantı	POZANTI	1988	2015	28
11.	Saimbeyli	SAİMBEYLİ	2014	2014	1
12.	Sarıçam	SARIÇAM	2015	2015	1
13.	Seyhan	YÜREĞİR/ÇUKUROVA TARIM ARŞ. (TAGEM)	2014	2014	1
14.	Tufanbeyli	TUFANBEYLİ	2014	2014	1
15.	Yumurtalık	YUMURTALIK	1981	2015	35
16.	Yüreğir	ADANA BÖLGE	1981	2015	35

Dış sıcaklık dağılımına benzer bir metodla güneş radyasyon değerleri belirlenmiştir. Tüm iller için denklem 17 kullanılarak toplamda 14.4 milyon saat aralığı için panel yüzey sıcaklıkları belirlenmiştir. Adana ili için Ocak ayına ait uzun dönemli dış sıcaklık dağılımı ve saatlik güneş radyasyon değerleri kullanılarak hesaplanan panel yüzey sıcaklıklarının değişimi Şekil 10.'da sunulmuştur.

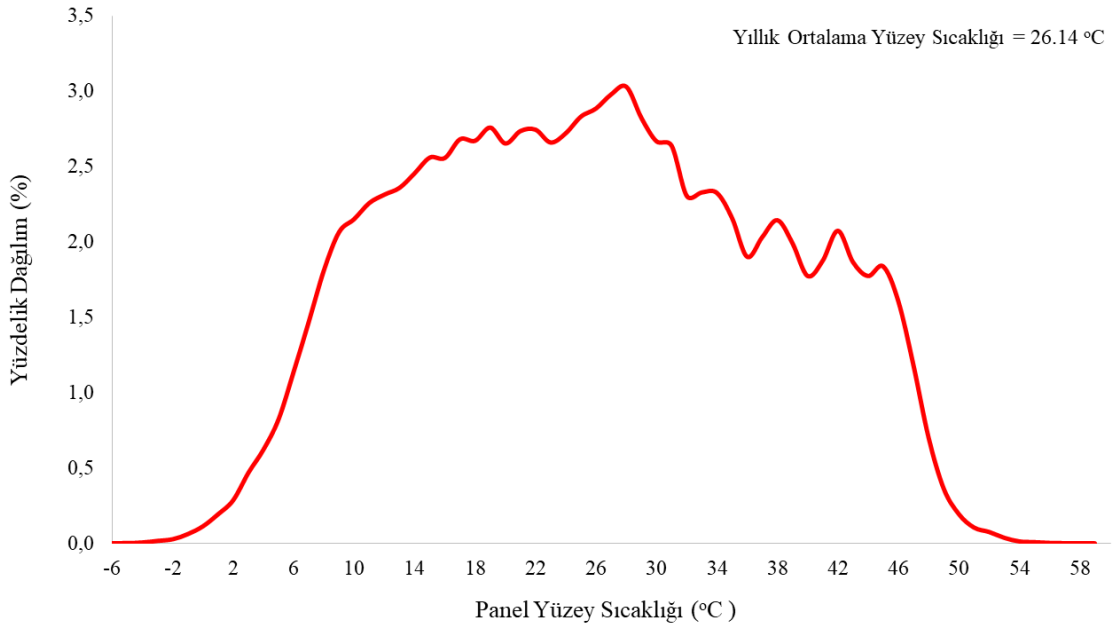
**Şekil 10.** Ocak ayı için saatlik panel yüzey sıcaklık değişimi

Ocak ayı için panel yüzey sıcaklığının olasılık yoğunluk dağılımı tespit edilerek Şekil 11.'de sunulmaktadır. Şekil 10.'dan görüleceği üzere Ocak ayı için panel yüzey sıcaklığının -6°C ile 28°C arasında değişerek ortalamada 12.52°C seviyesine geldiğini görmekteyiz.



Şekil 11. Ocak ayı için panel yüzey sıcaklığı dağılımı

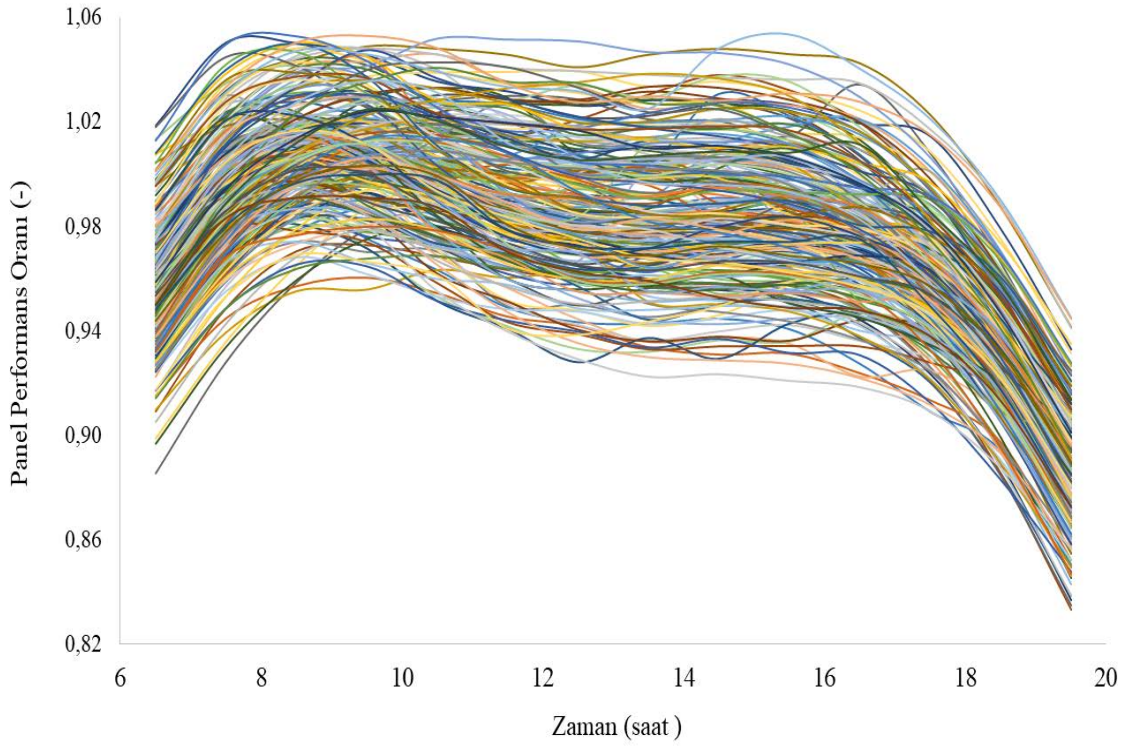
Panel yüzey sıcaklığı bağlamında tepe yapılan nokta 8°C seviyeleridir. -6°C den 8°C 'ye hızlı bir tırmanış varken 8°C noktasından azalış daha yavaş bir seyir izlemektedir. Olası panel yüzey sıcaklığını yıllık bazda incelediğimizde panel yüzey sıcaklığının -6°C ile 60°C arasında değişerek ortalamada 26.14°C seviyesine geldiğini görmekteyiz. Şekil 12.'den görüleceği üzere, ortalamaylada uygun bir biçimde tepe yapılan nokta 26°C seviyeleridir.



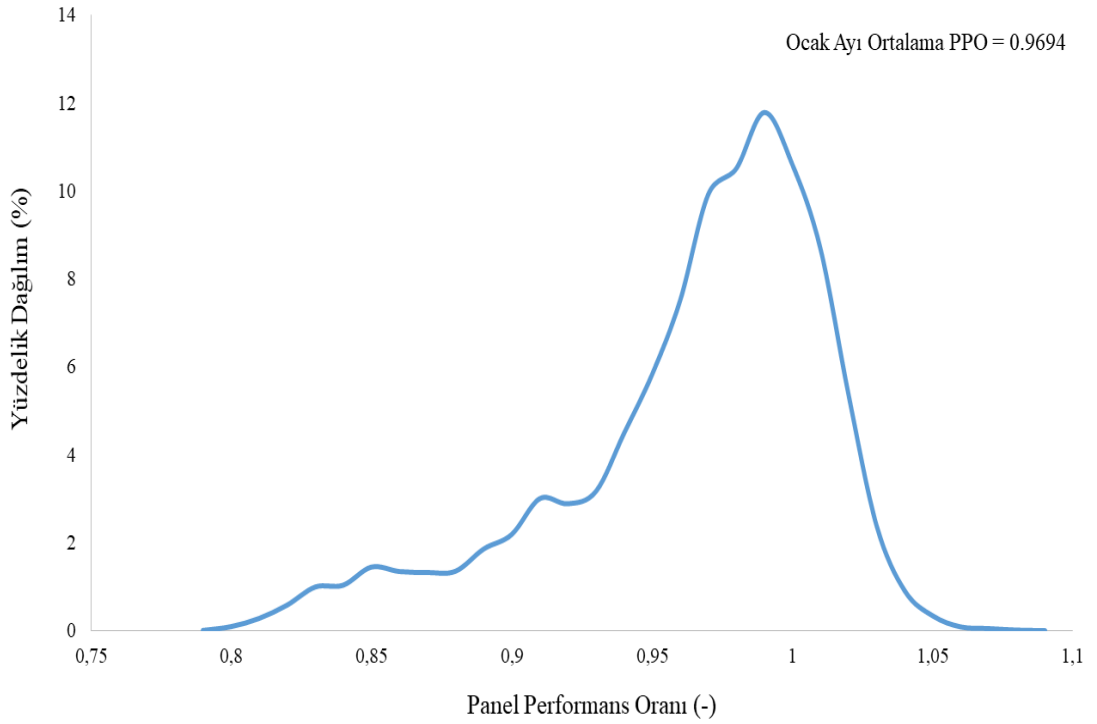
Şekil 12. Adana ili yıllık bazda panel yüzey sıcaklığı dağılımı

Ocak ayı için saatlik bazda panel performans oranının değişimi Şekil 12.'de sunulmaktadır. PPO'nun belli bir bantta hareket ettiği grafikte görülebilmektedir. Ocak ayı özelinde saat 09:00 seviyelerinde daha yüksek bir PPO oranının yakalandığı görülmektedir. Ocak ayı bağlamında PPO'nun görülme olasılık dağılımına baktığımızda bu değer 0.80 ile 1.06 arasında değiştiğini görmekteyiz. Şekil 13.'den görüleceği üzere ocak ayı için ortalama PPO değeri 0.9694 olmaktadır.

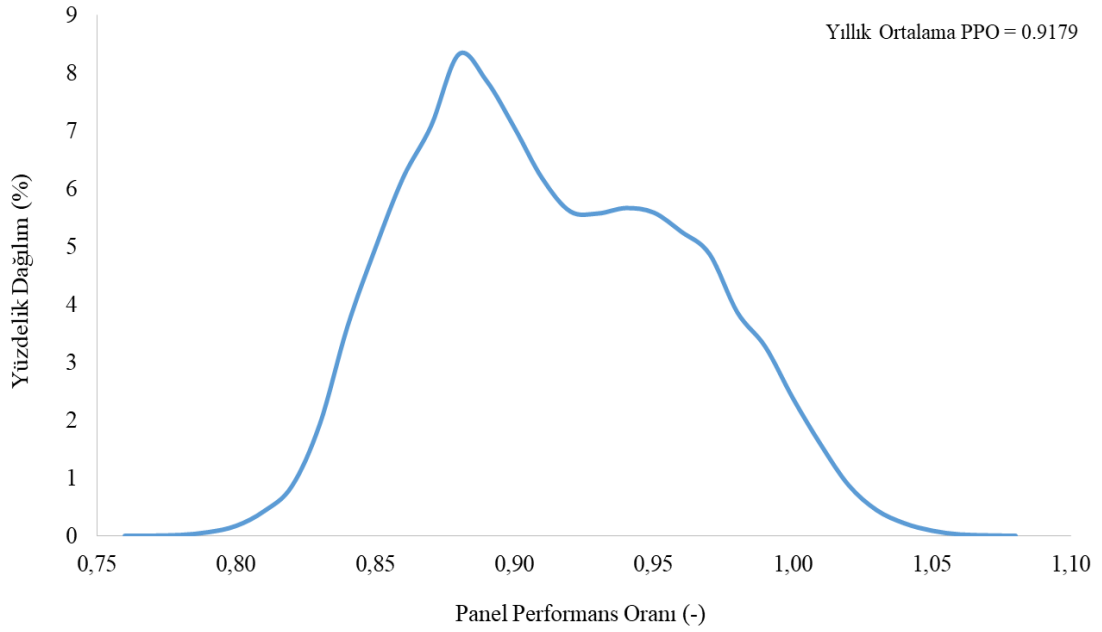
Tüm aylar için oluşturulan analizler birleştirilerek yıllık bağlamda PPO olasılık dağılımları tespit edilerek Şekil 14'de sunulmuştur. Adana ili için yıllık bazda panel performans oranının 0.9179 olarak belirlenmiştir. Yıllık bazda PPO değerlerinin 0.76 ile 1.08 arasında değişmektedir. Bu değer Adana iline kurulacak bir güç santrali için üreticinin vermiş olduğu panel enerji verim değerinde gerçek kullanım şartlarında panel çıkışında %8 civarında bir azalma olacağı yönündendir.



Şekil 13. Ocak ayı için saatlik panel performans oranının değişimi

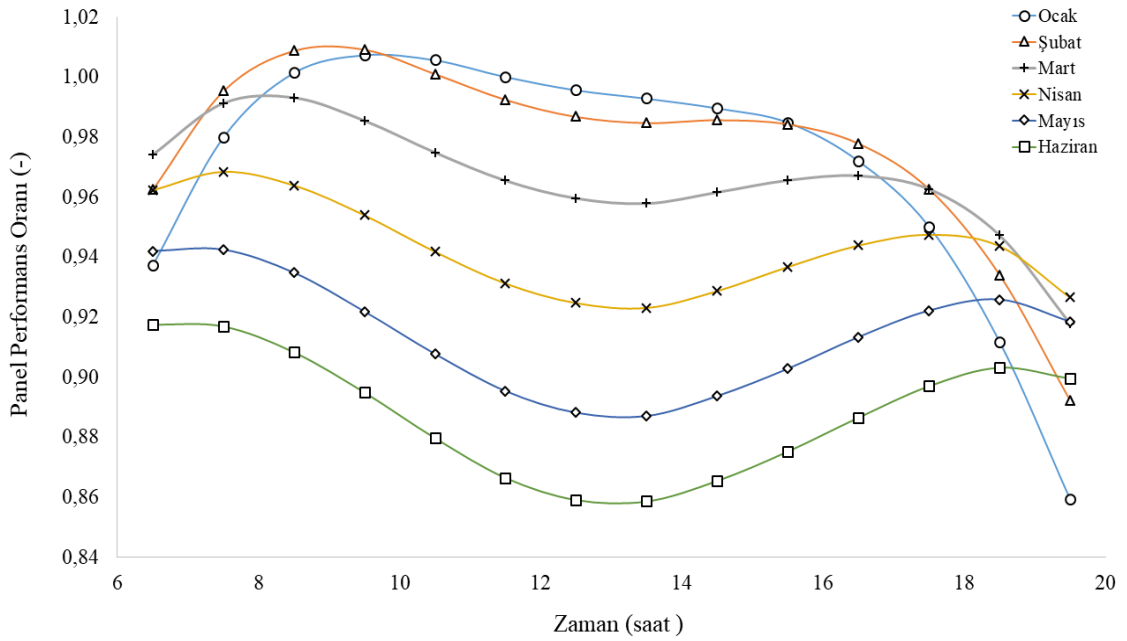


Şekil 14. Ocak ayı için panel performans oranının yüzdelerik dağılım grafiği



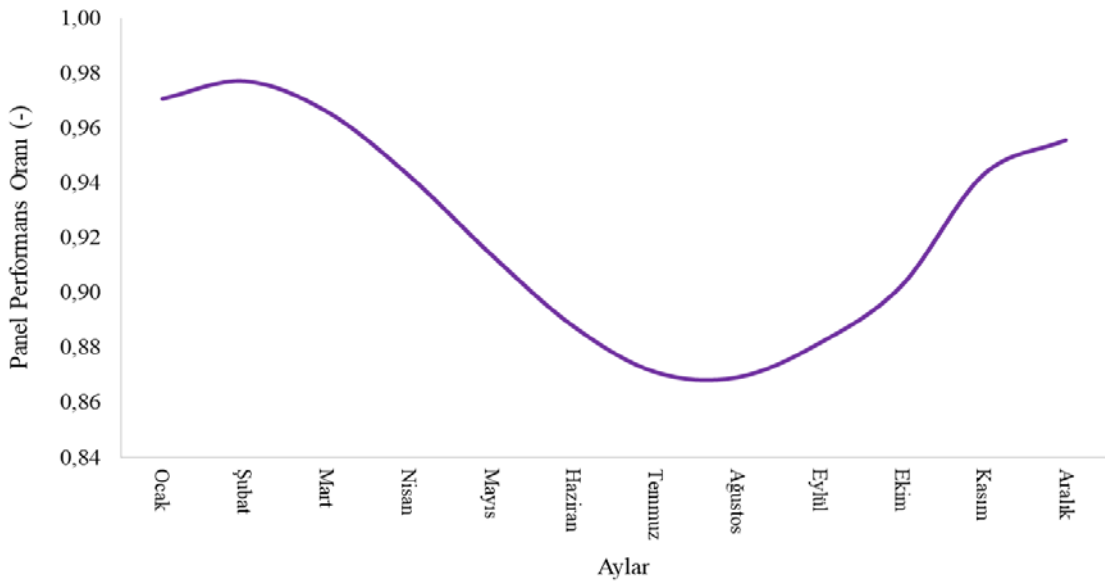
Şekil 15. Yıllık bazda panel performans oranının yüzdelerik dağılım grafiği

Adana ili için her ay bağlamında saatlik ortalama performans oranının değişimi tespit edilerek Şekil 16’de verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü üzere her ay için saatlik performans oranındaki dağılım farklılık göstermektedir.



Şekil 16. Adana ili Ocak-Haziran dönemi arası saatlik ortalama PPO değerleri

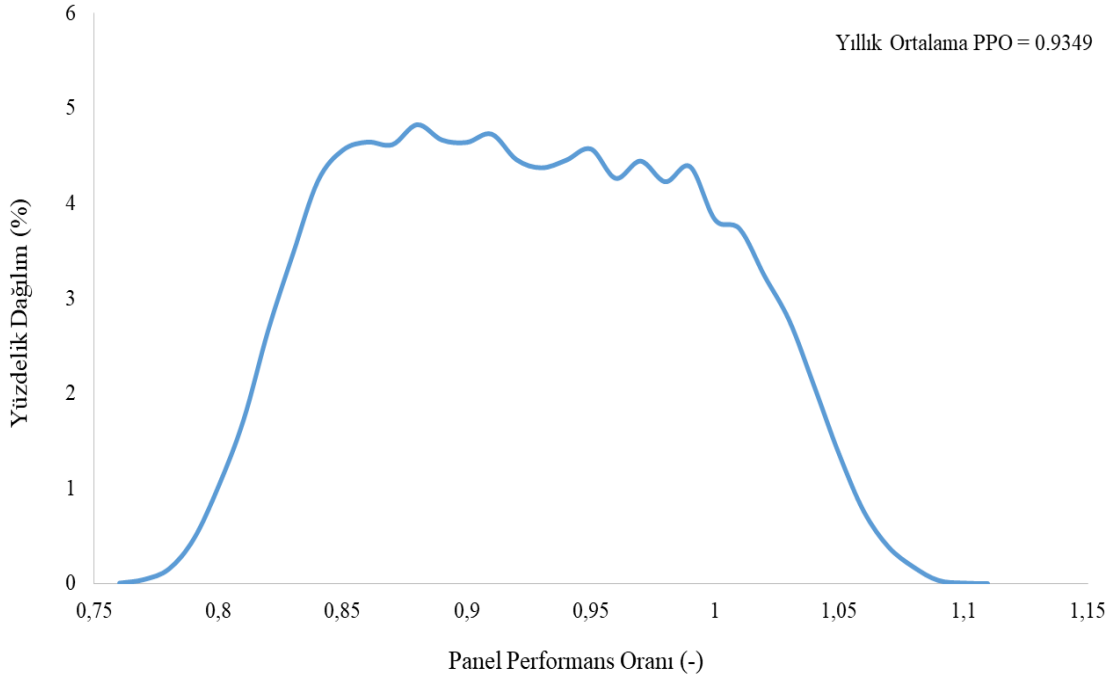
Aylık bazda ortalama panel performans oranları Adana ili için tespit edilerek Şekil 17.'de sunulmuştur. Şekil 8.'den görüldüğü üzere panel performans oranı aylık ortalama bağlamında 0.86 ile 0.98 arasında değişmektedir. En yüksek performans oranı Şubat ayında gerçekleşirken en düşük performans oranı Temmuz-Ağustos döneminde gerçekleşmektedir. Ortalama Performans oranı yıllık bazda 0.9179 olarak hesaplanmıştır.



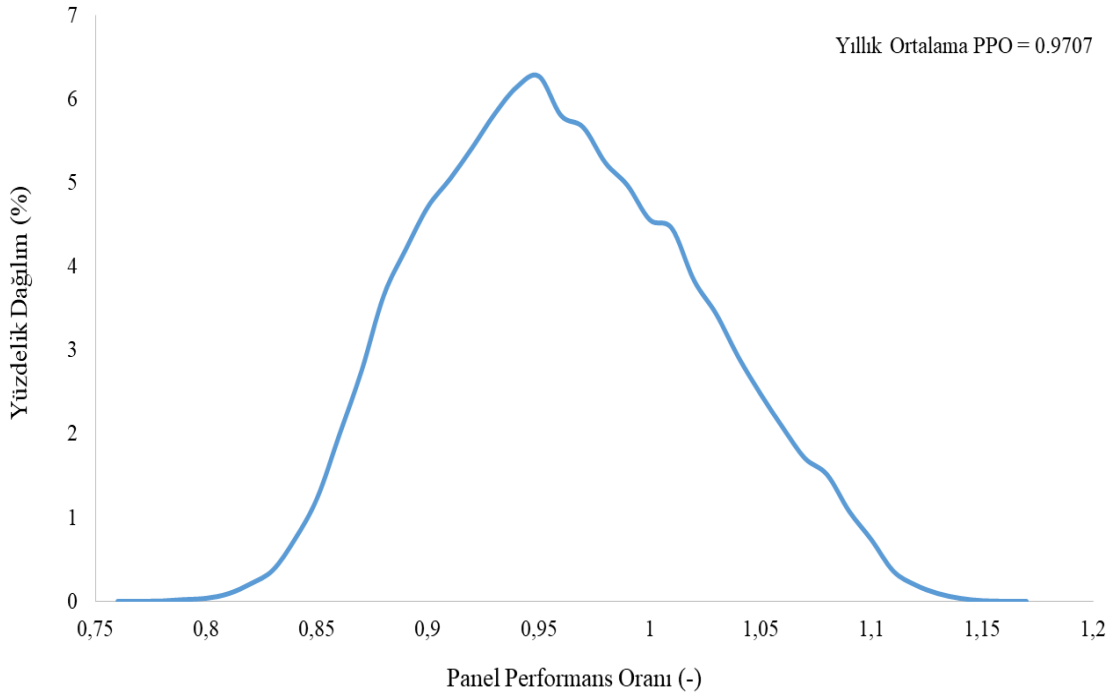
Şekil 17. Adana ili için aylara bağlı ortalama panel performans oranı değişimi

2.2. Türkiye'deki İller İçin Yıllık Panel Performans Oranı Dağılımı

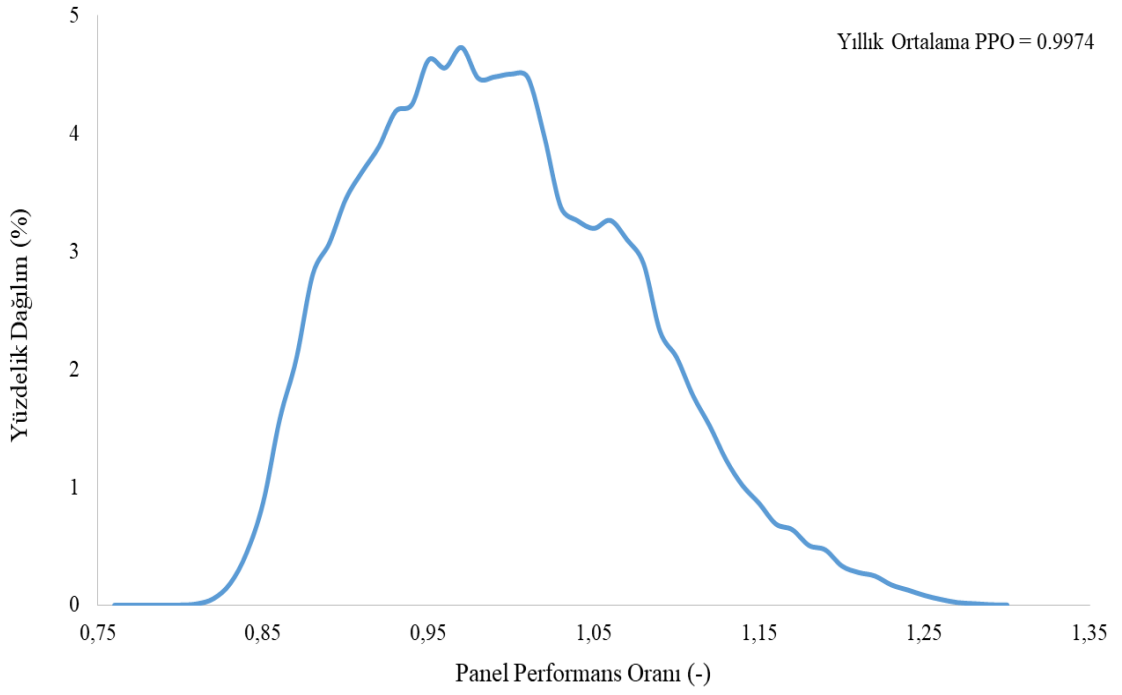
Yıllık panel performans oranlarının dağılımı tüm iller için belirlenmiş olup örnek 22 il için Şekil 18-39 arasındaki grafiklerde sunulmuştur. Seçilen iller sırasıyla; Adıyaman, Afyon, Ağrı, Aksaray, Amasya, Ankara, Antalya, Ardahan, Artvin, Aydın, Balıkesir, Bartın, Batman, Bayburt, Bilecik, Bingöl, Bitlis, Bolu, Burdur, Bursa, Çanakkale ve Çankırı'dır.



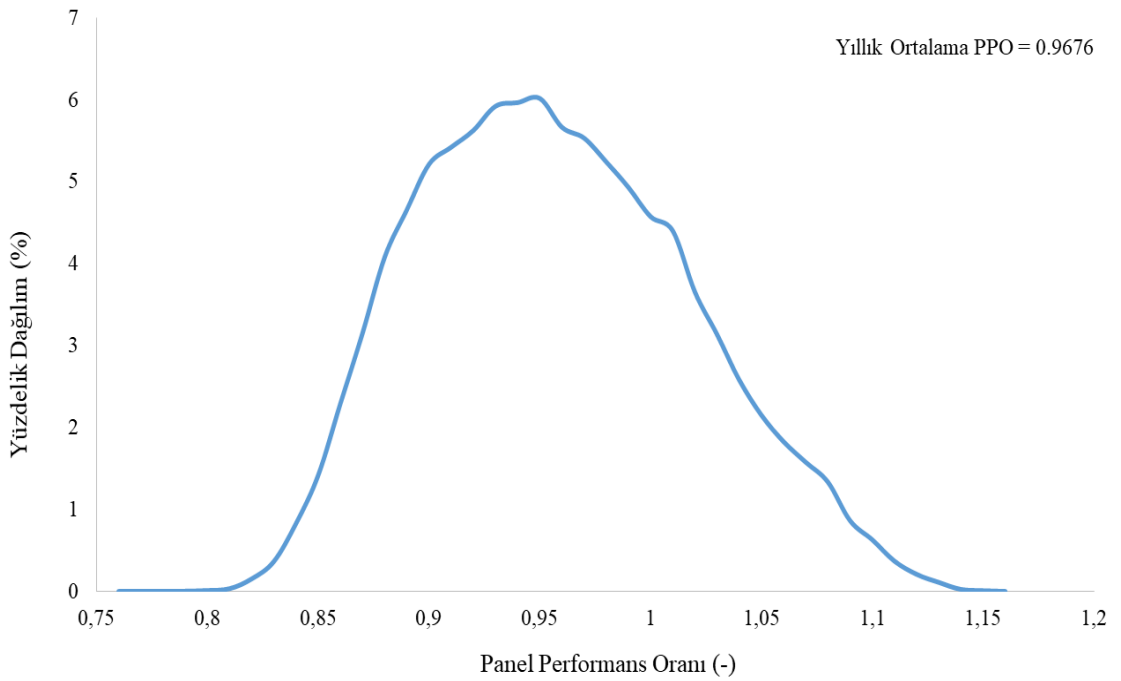
Şekil 18. Adıyaman ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



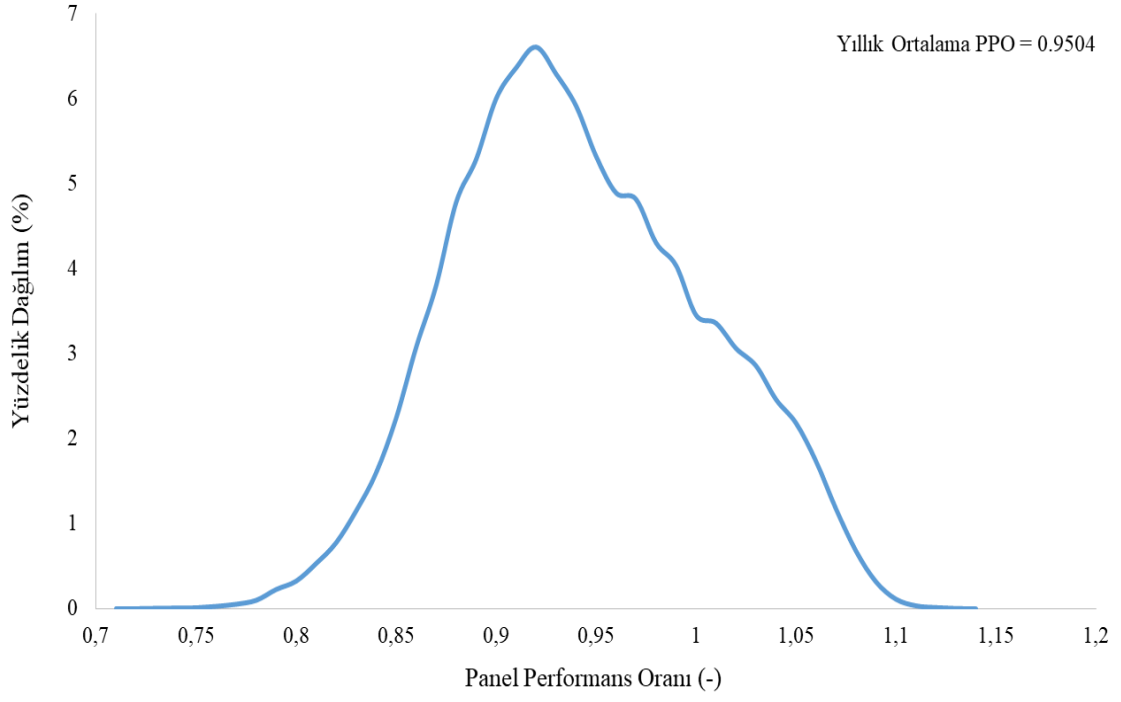
Şekil 19. Afyon ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



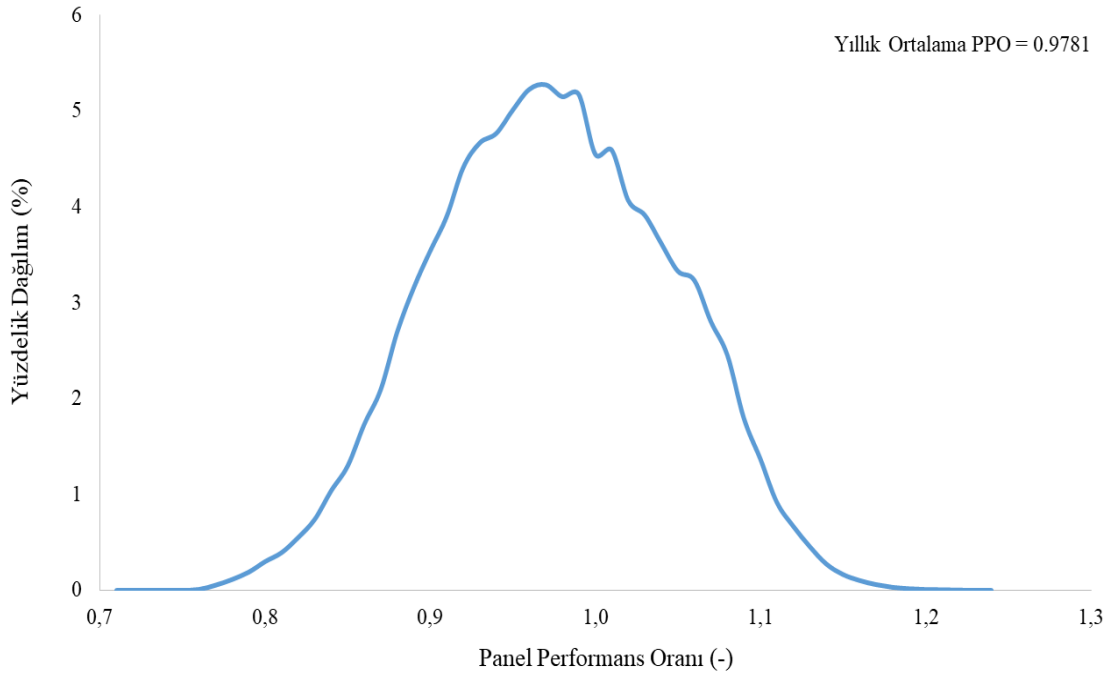
Şekil 20. Ağrı ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



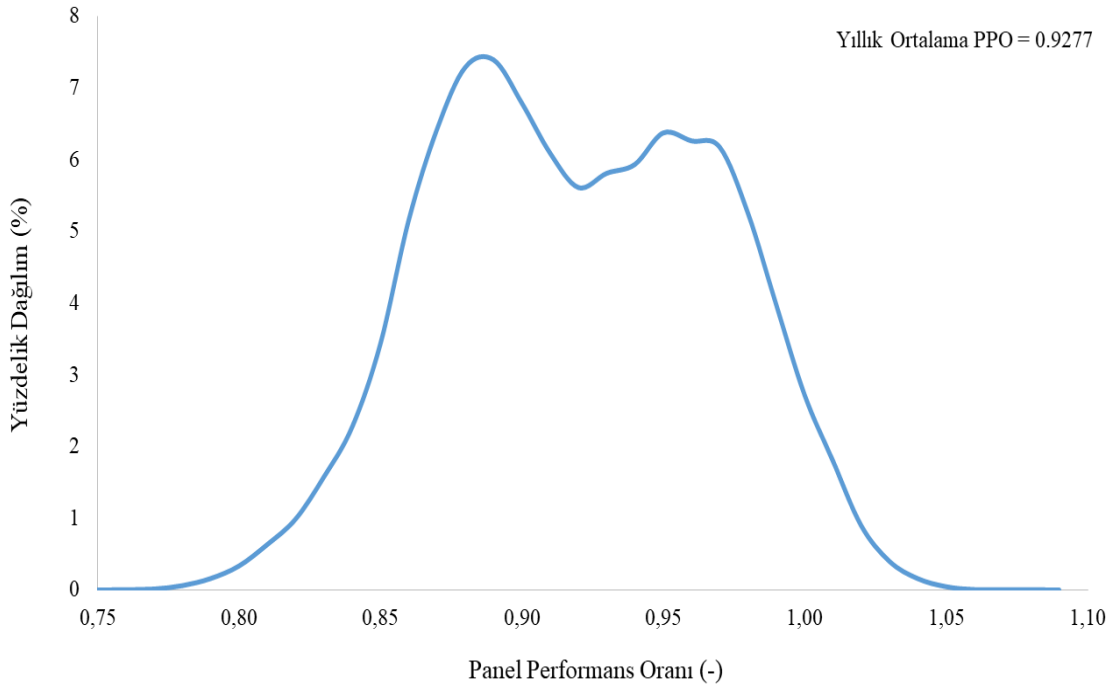
Şekil 21. Aksaray ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



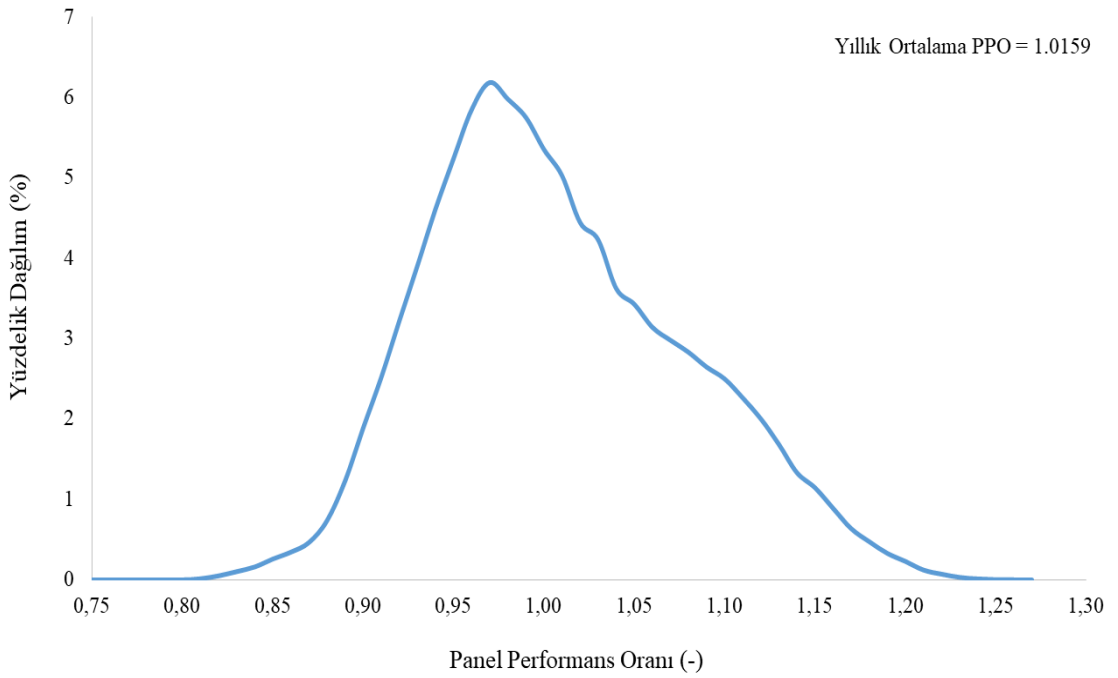
Şekil 22. Amasya ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



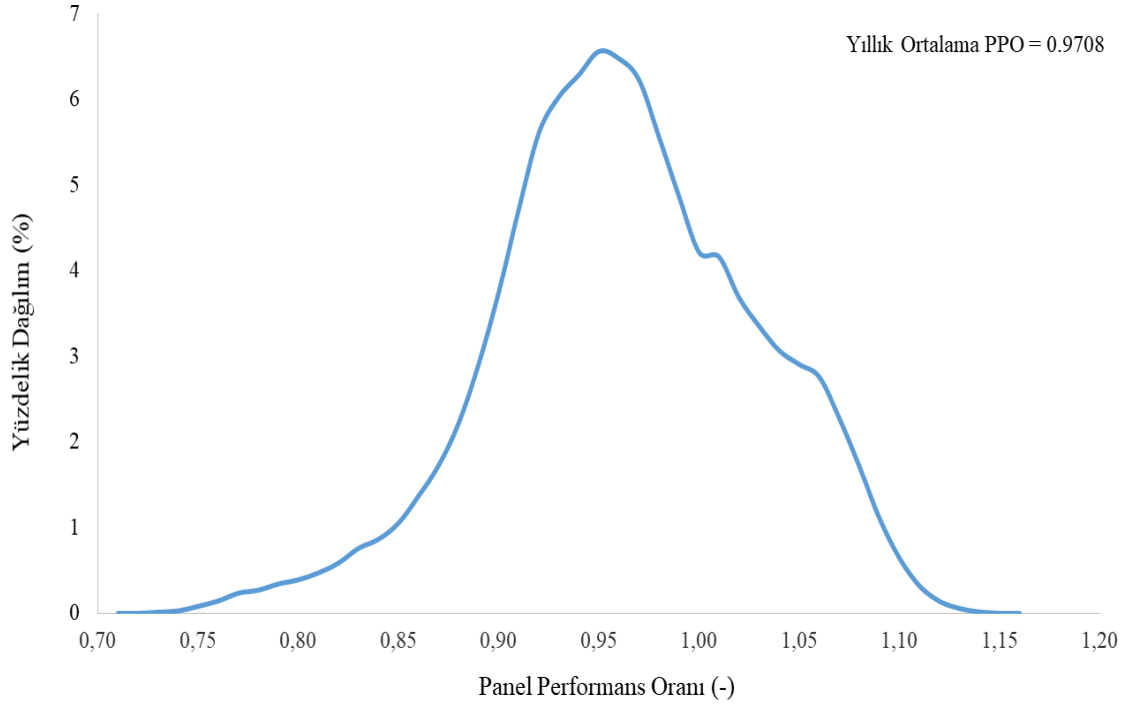
Şekil 23. Ankara ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



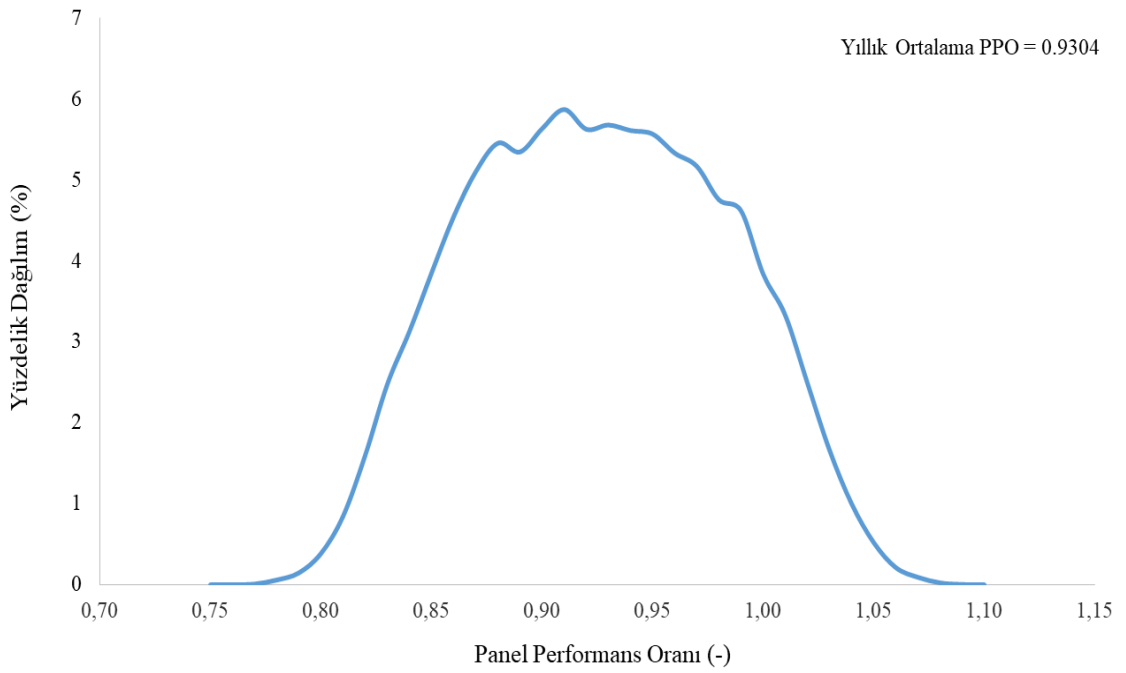
Şekil 24. Antalya ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



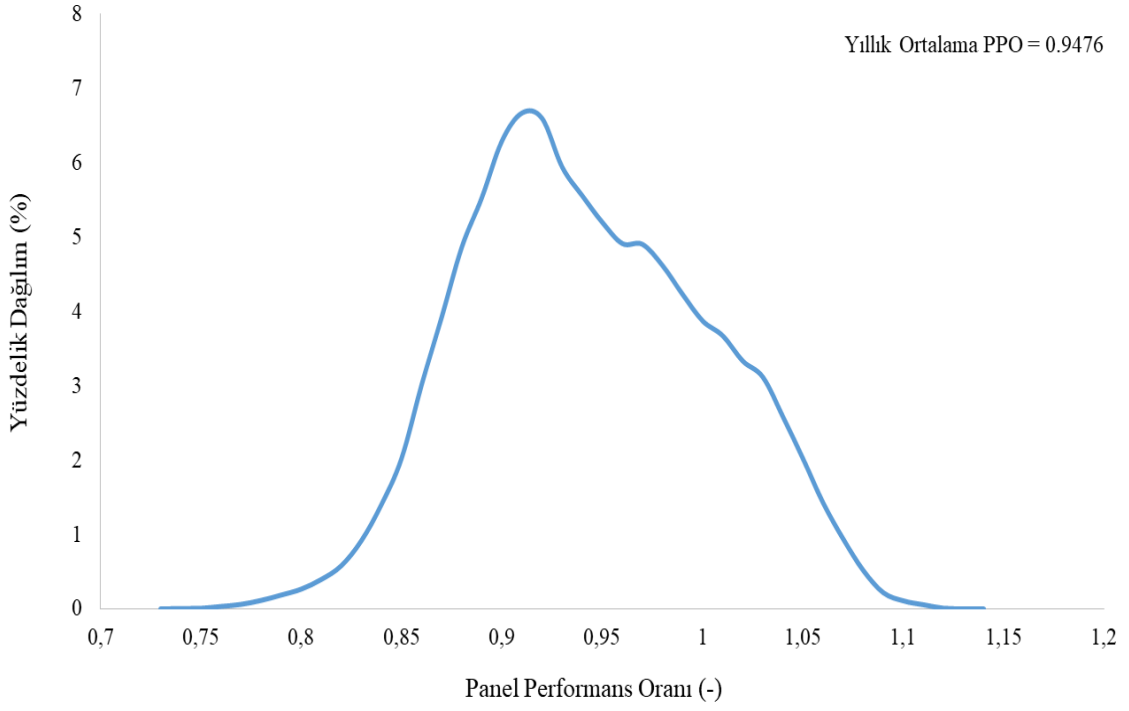
Şekil 25. Ardahan ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



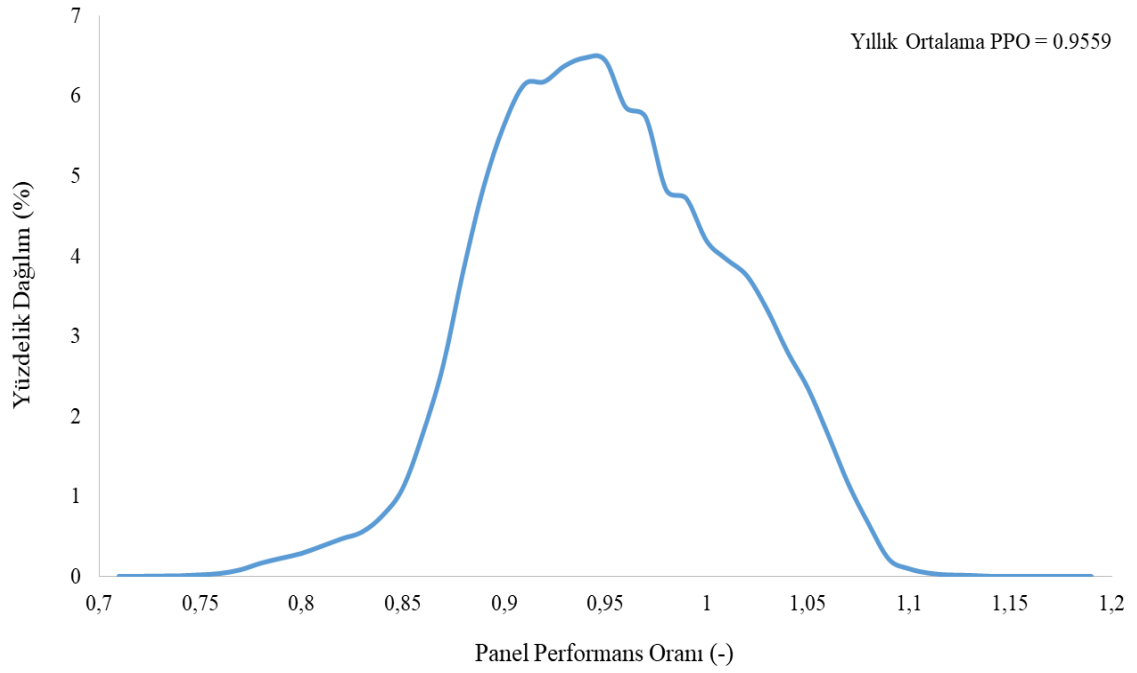
Şekil 26. Artvin ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



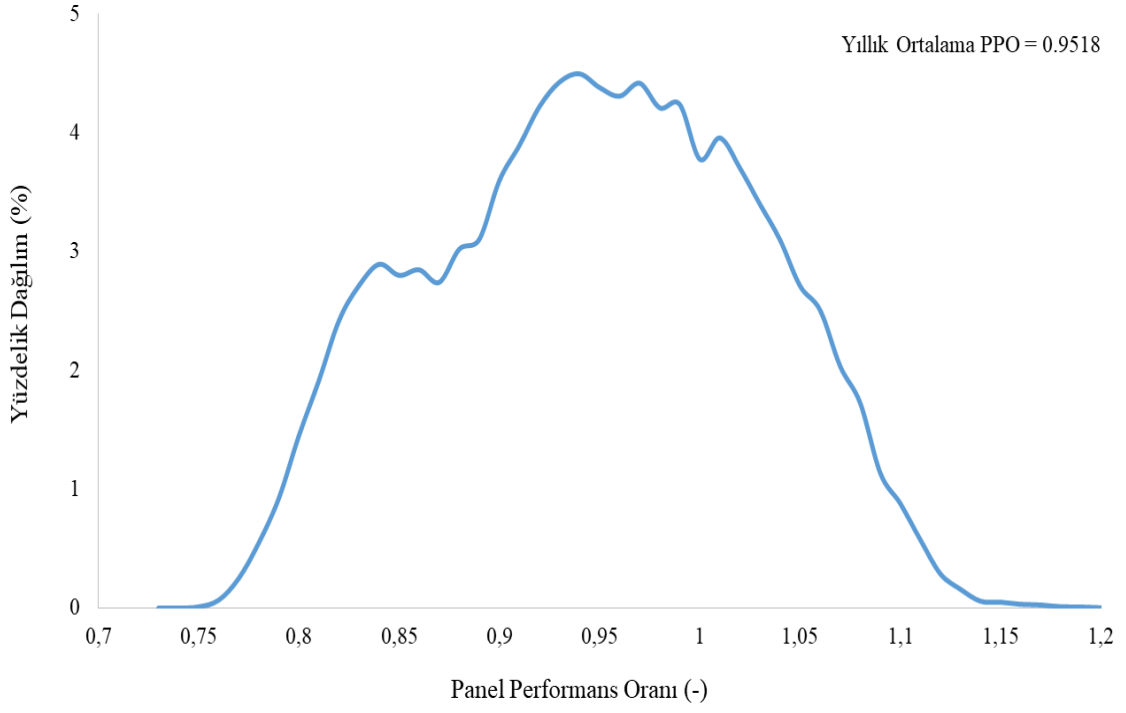
Şekil 27. Aydın ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



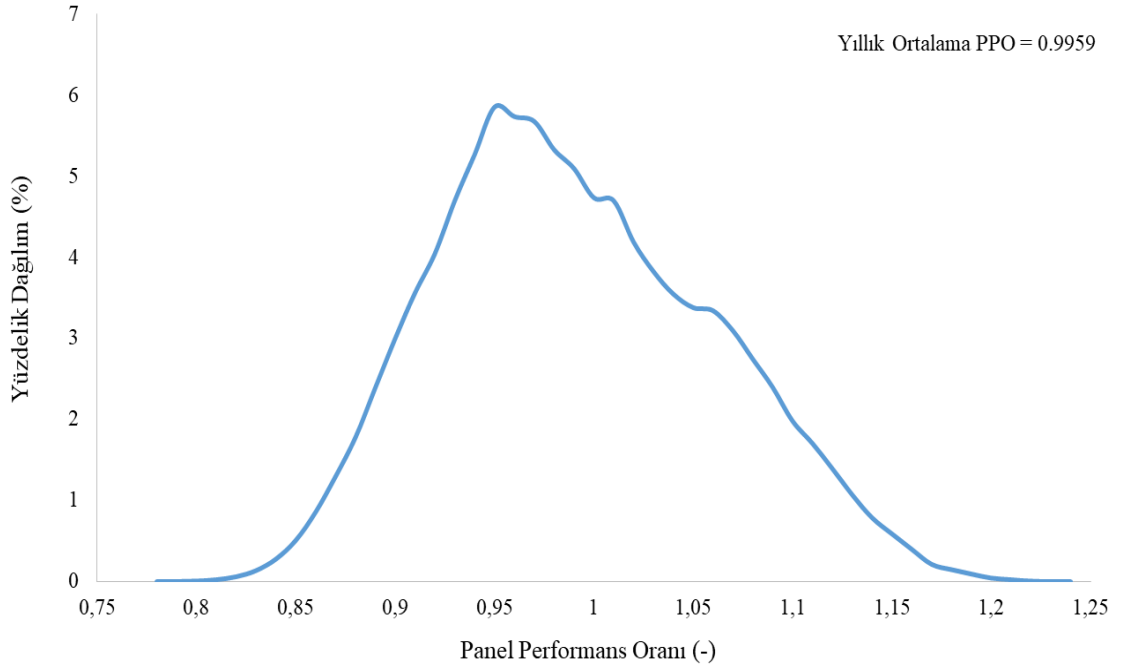
Şekil 28. Balıkesir ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



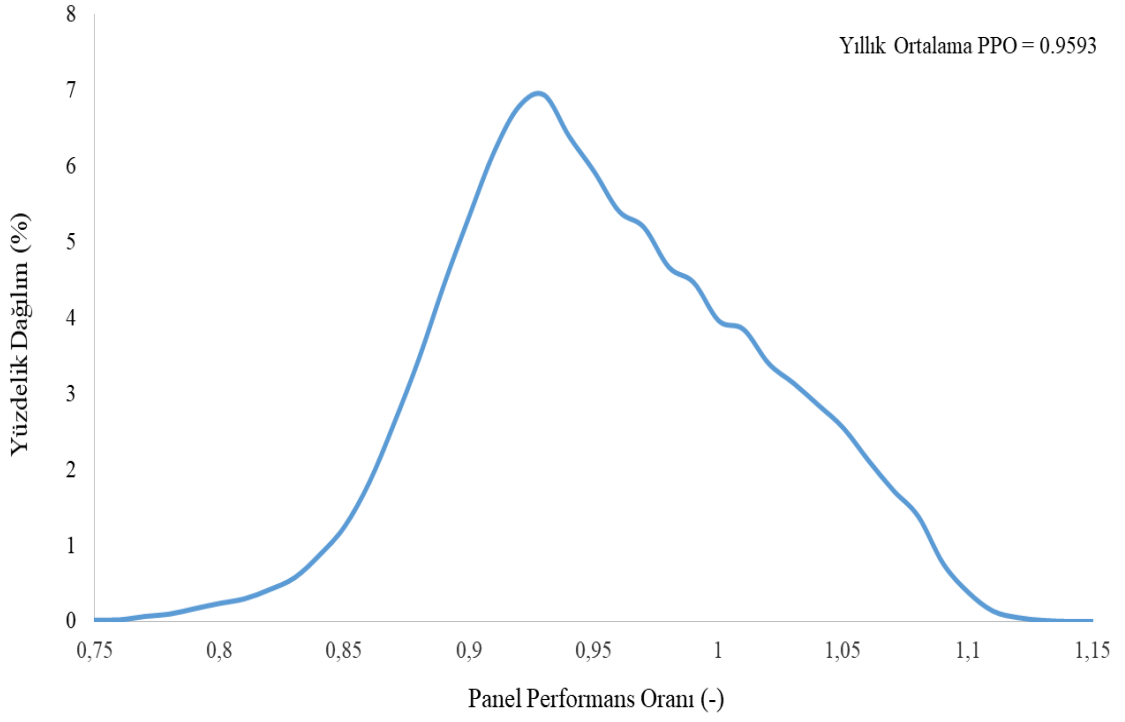
Şekil 29. Bartın ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



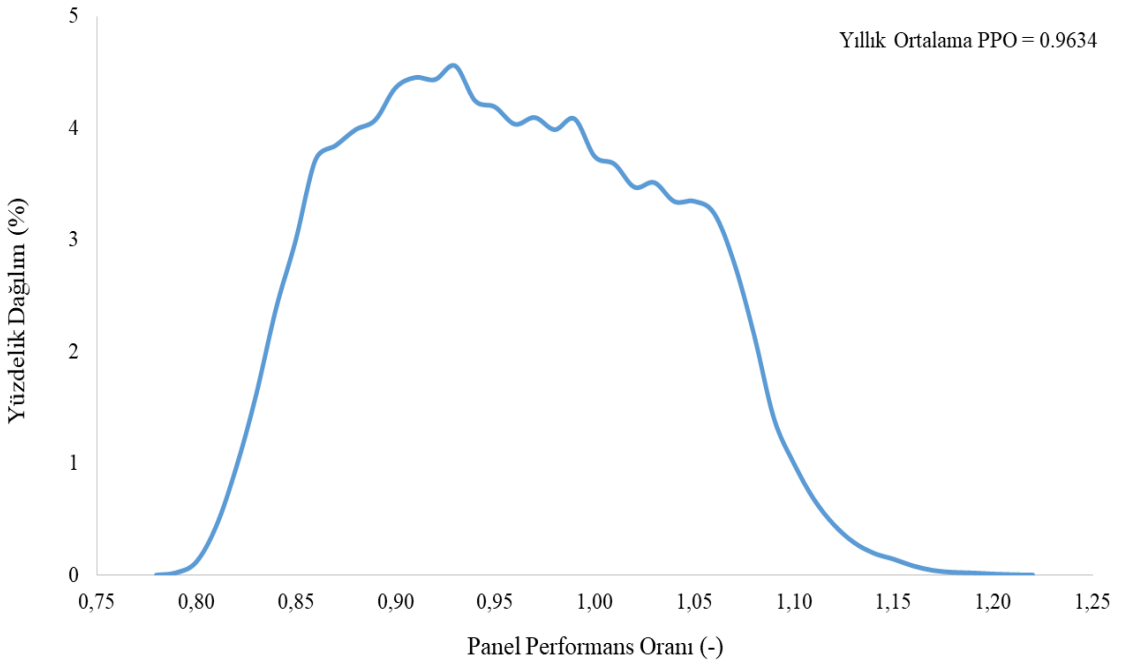
Şekil 30. Batman ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



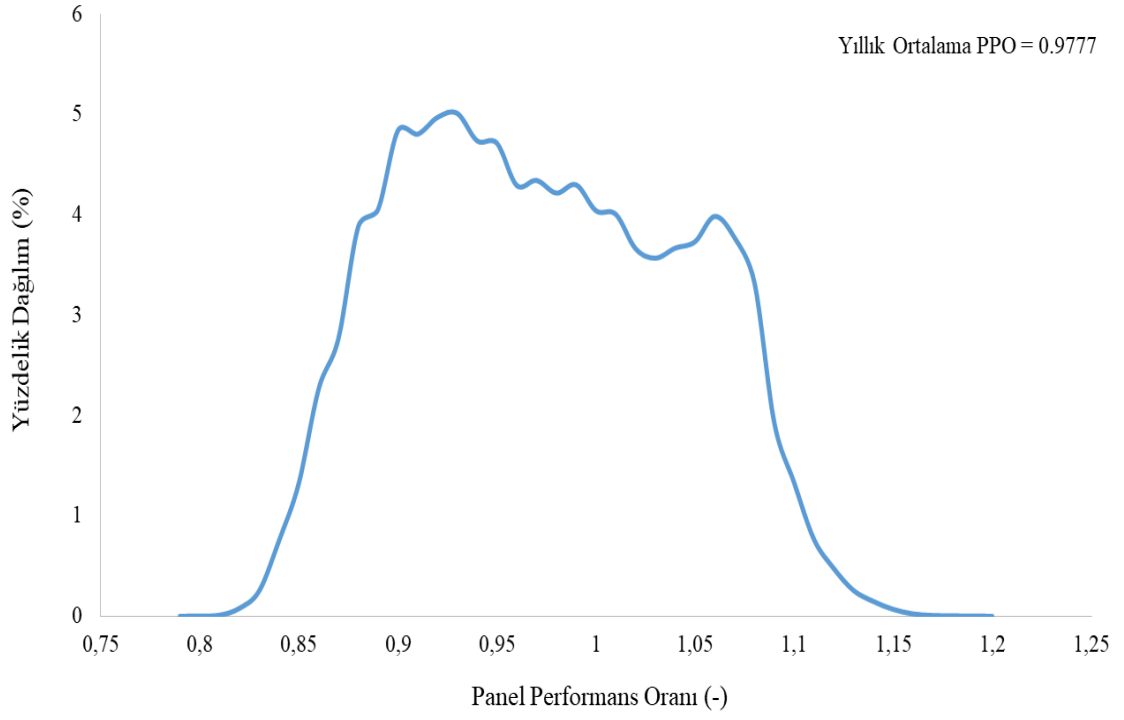
Şekil 31. Bayburt ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



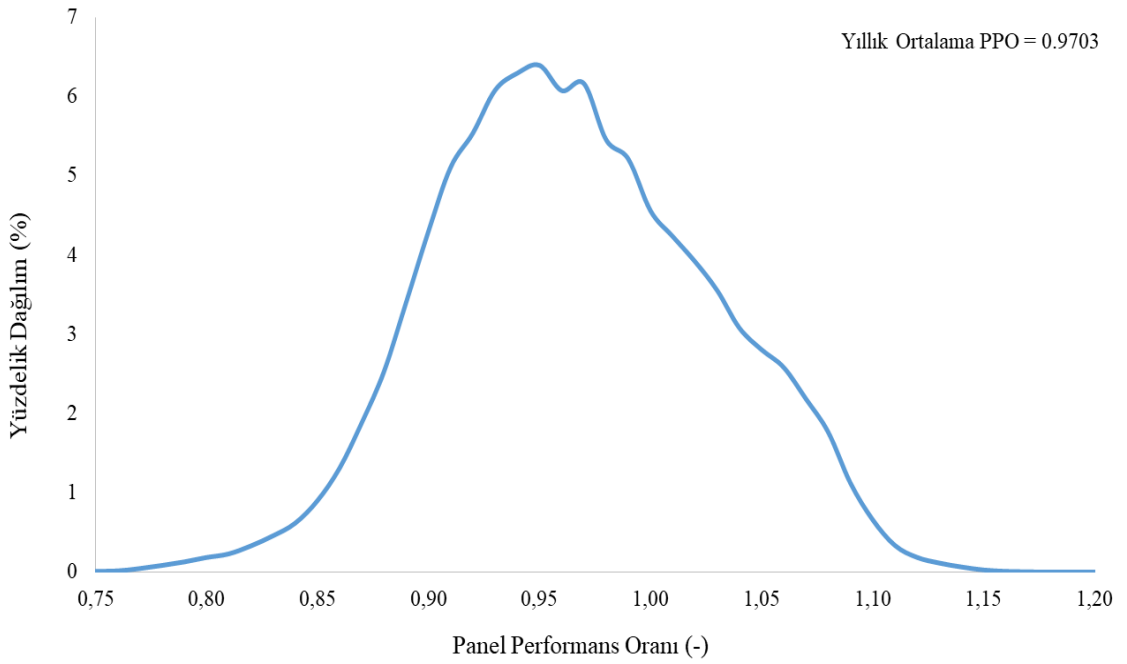
Şekil 32. Bilecik ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



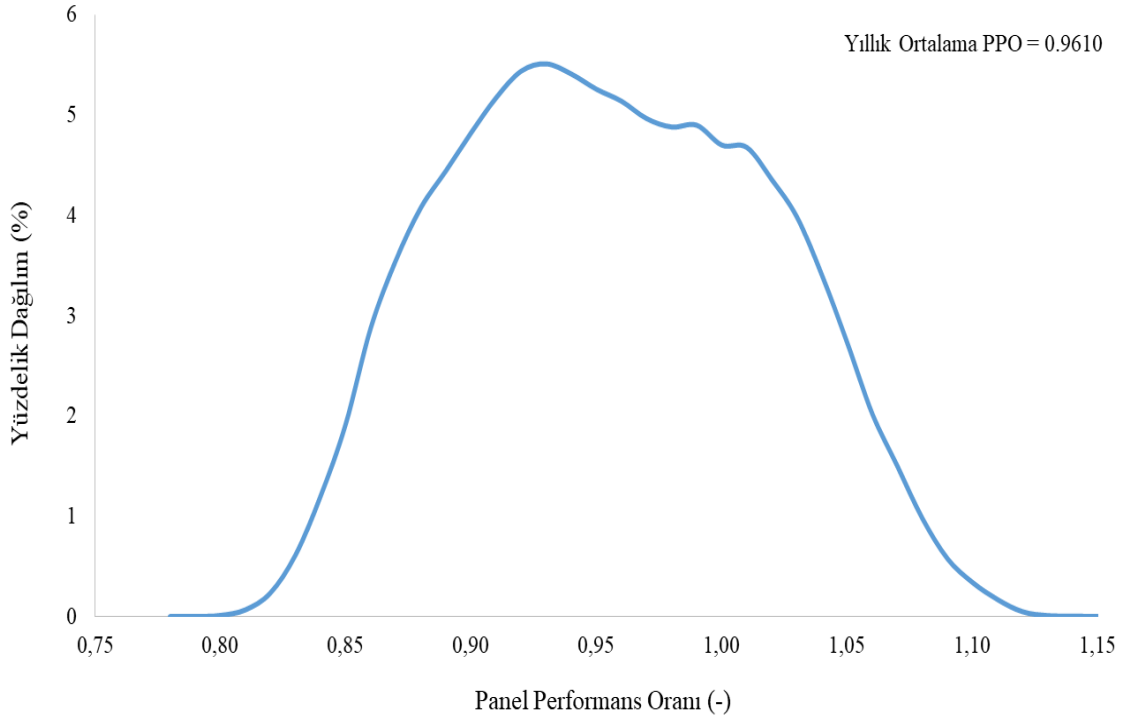
Şekil 33. Bingöl ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



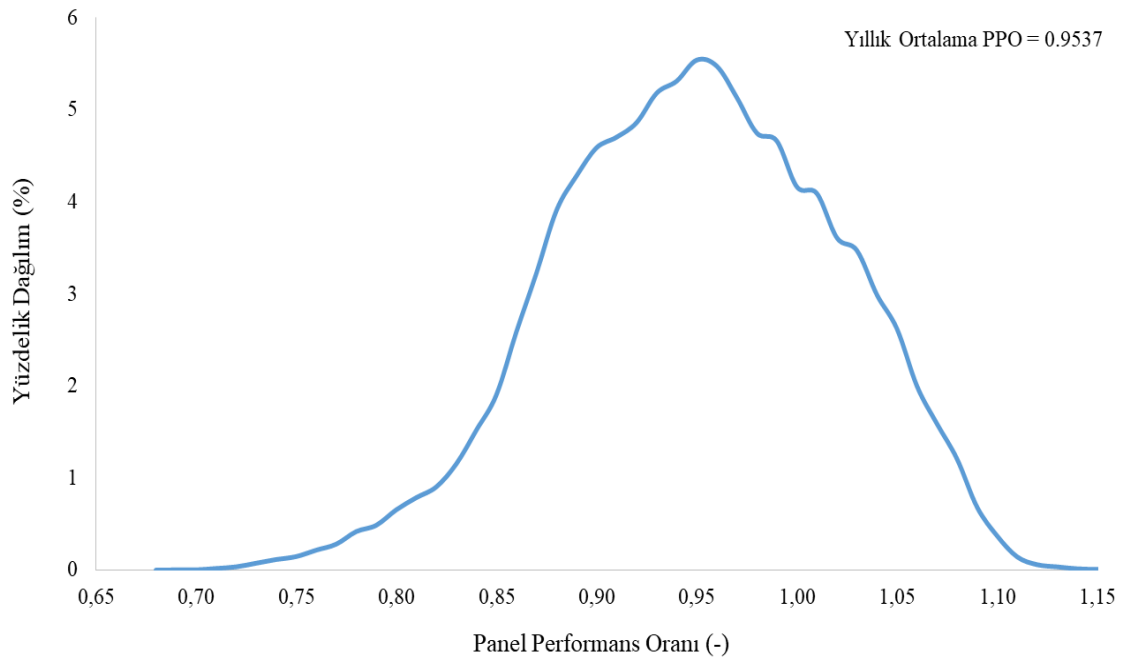
Şekil 34. Bitlis ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



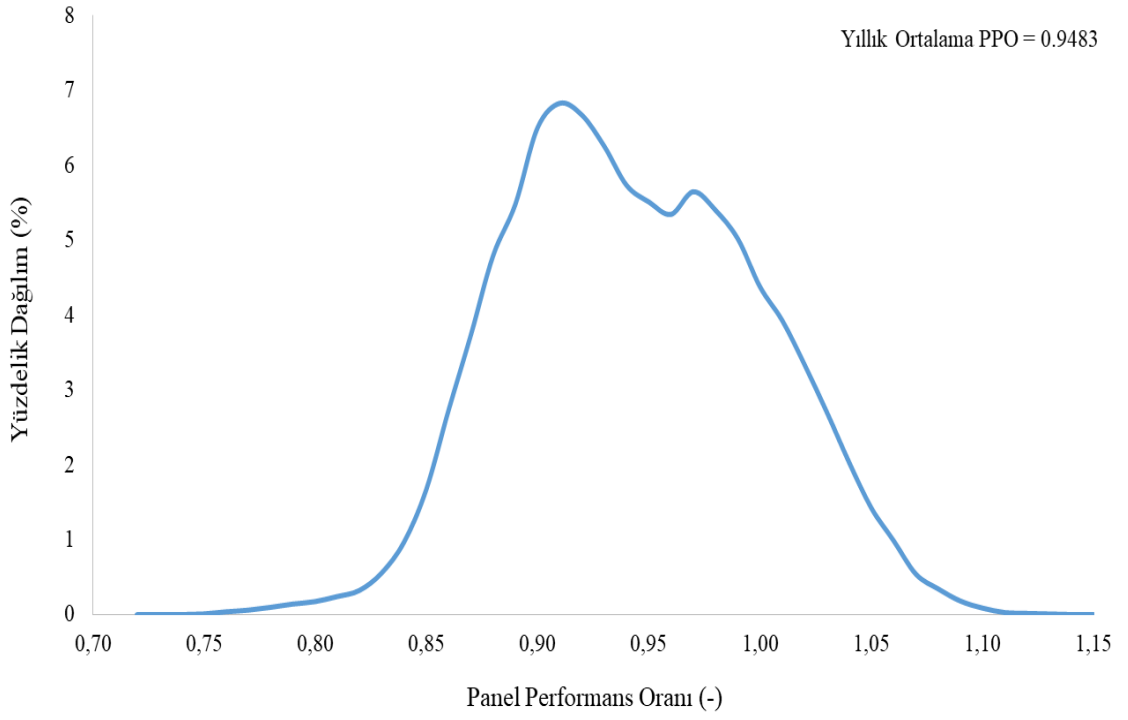
Şekil 35. Bolu ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



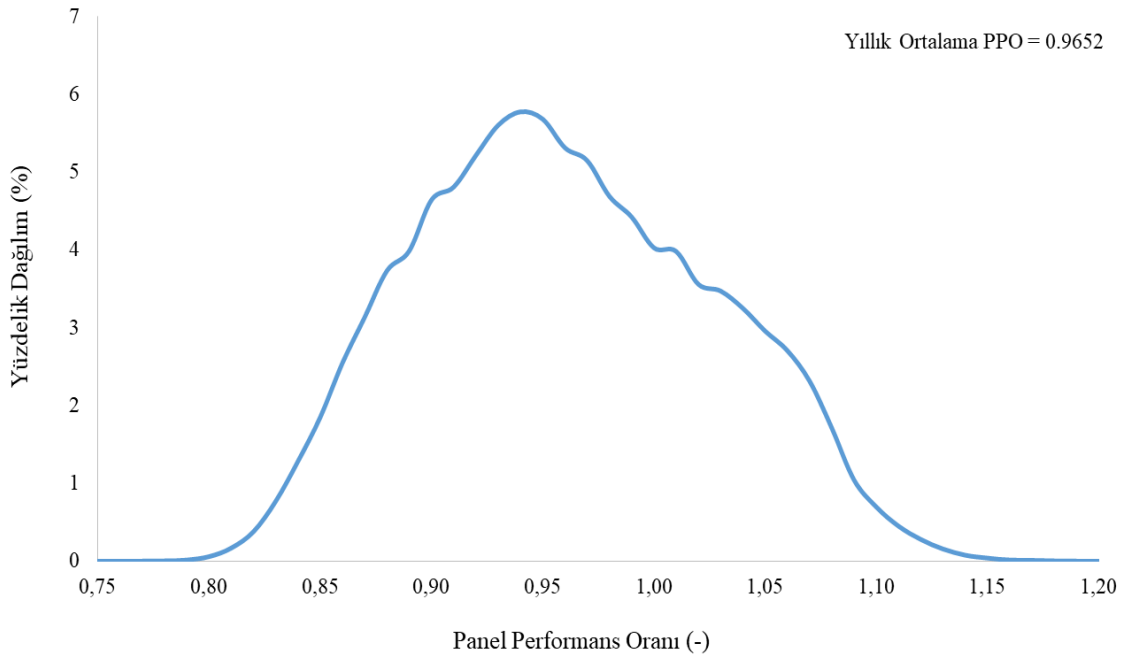
Şekil 36. Burdur ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



Şekil 37. Bursa ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



Şekil 38. Çanakkale ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı



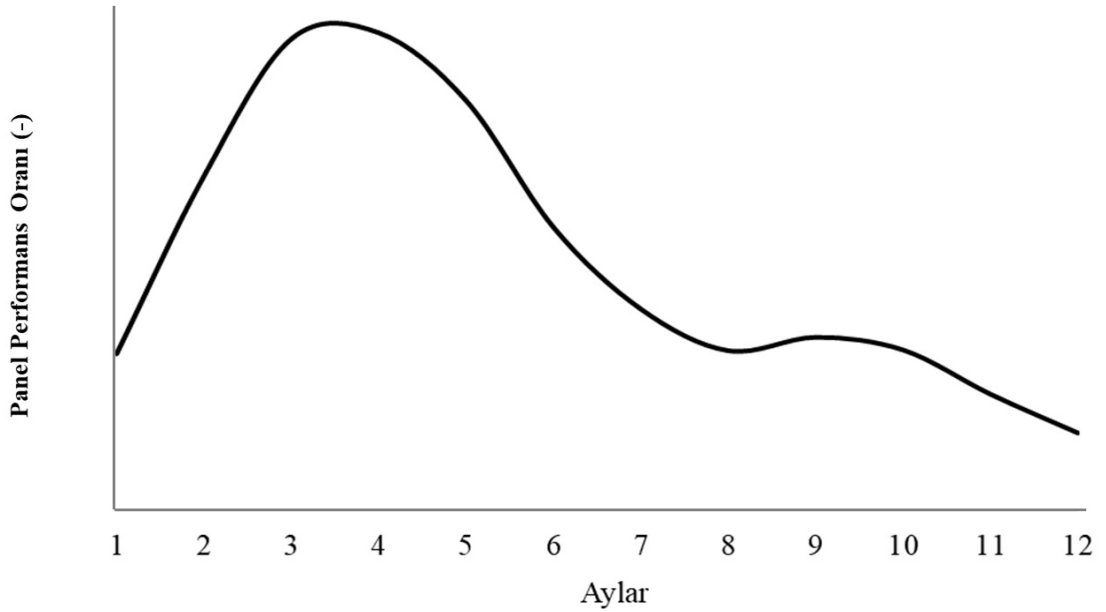
Şekil 39. Çankırı ili için yıllık bazda panel performans oranı dağılımı

3. BULGULAR

81 il için aylık bazdaki Panel Performans Oranı grafiklerinde 4 farklı dağılım karakteristiği belirlenmiştir. Bu grafik karakteristikleri ayrı ayrı incelenmiş ve 4 farklı grafik karakteristiğine uyan ya da yakın karakteristiğe sahip olan iller belirlenmiştir.

3.1. Dağılım Karakteristiği I

Bu gruba dahil olan illerde panel performans oranı ocak ayından itibaren düzgün bir şekilde yükselerek mart-nisan aylarında en yüksek PPO değerine ulaşmaktadır. Nisan sonundan itibaren ağustos ayına kadar giderek düşen PPO değeri ağustos-eylül ayları arasında çok az bir yükseliş gösterdikten sonra ekim ayından aralık ayının sonuna kadar düşüş gösterip bu aydan itibaren tekrar yükselişe geçmektedir.

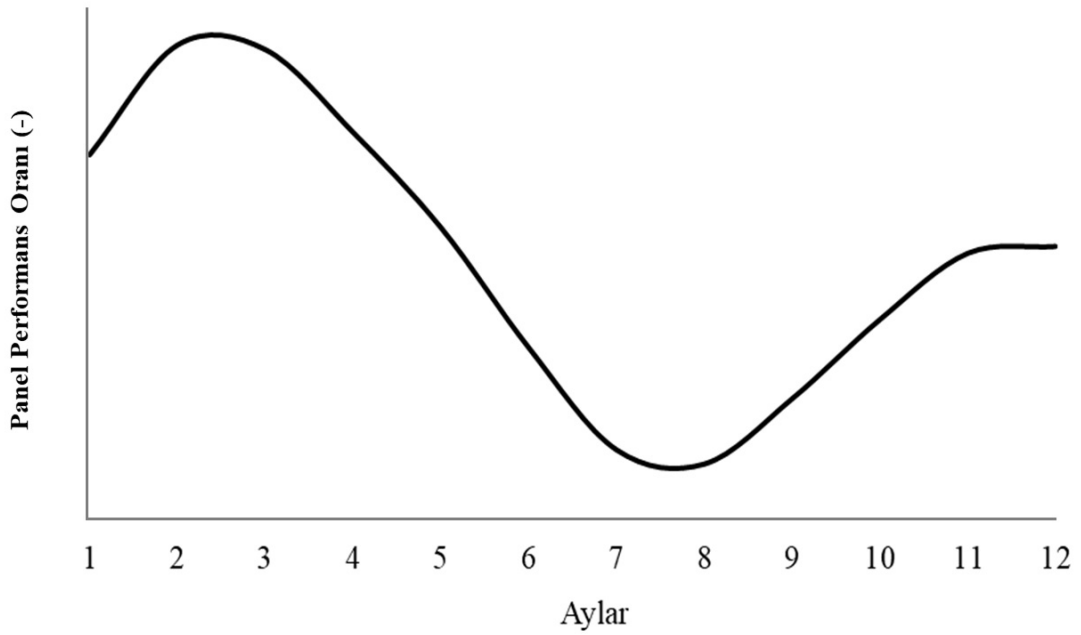


Şekil 40. Dağılım Karakteristiği I

Birinci dağılım karakteristiği gösteren iller aşağıda verilmiştir; Artvin, Balıkesir, Bilecik, Bolu, Bursa, Çanakkale, Giresun, İstanbul, İzmir, Kırklareli, Kocaeli, Ordu, Rize, Sakarya, Samsun, Sinop, Tekirdağ, Trabzon, Zonguldak, Bartın, Yalova, Düzce.

3.2. Dağılım Karakteristiği II

Bu gruba dahil olan illerde panel performans oranı ocak ayından itibaren düzgün bir şekilde yükselerek şubat-mart aylarında en yüksek PPO değerine ulaşmaktadır. Mart sonundan itibaren temmuz ayına kadar giderek düşen PPO değeri temmuz-ağustos ayları arasında hemen hemen sabit ilerleyen PPO ağustos ayından itibaren kasım ayına kadar yükseliş gösterdikten sonra kasım-aralık arası sabit devam edip bu aydan itibaren tekrar yükselişe geçmektedir.

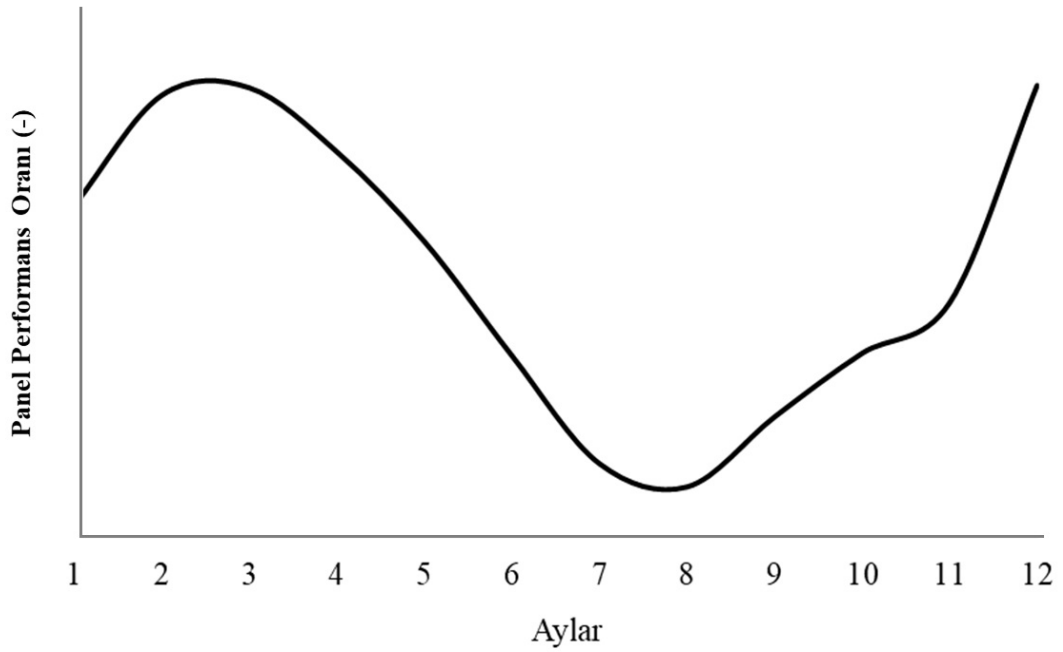


Şekil 41. Dağılım Karakteristiği II

İkinci dağılım karakteristiği gösteren iller aşağıda verilmiştir; Adana, Adıyaman, Afyon, Ağrı, Antalya, Aydın, Bingöl, Bitlis, Burdur, Çankırı, Denizli, Diyarbakır, Edirne, Elazığ, Erzincan, Erzurum, Gaziantep, Hakkâri, Hatay, Isparta, Mersin, Kars, Kayseri, Kırşehir, Konya, Malatya, Manisa, Kahramanmaraş, Mardin, Muğla, Muş, Nevşehir, Niğde, Siirt, Tunceli, Şanlıurfa, Van, Karaman, Kırıkkale, Batman, Şırnak, Iğdır, Kilis.

3.3. Dağılım Karakteristiği III

Bu gruba dahil olan illerde panel performans oranı ocak ayından itibaren düzgün bir şekilde yükselerek şubat-mart aylarında en yüksek PPO değerine ulaşıyor. Mart sonundan itibaren temmuz ayına kadar giderek düşen PPO değeri Temmuz-Ağustos ayları arasında yavaş azalan bir hareket gösterip ağustos sonundan itibaren kasım ayına kadar yükseliş gösterip bu yükseliş kasım başından aralık sonuna kadar daha sert bir yükseliş hareketi gösterir.

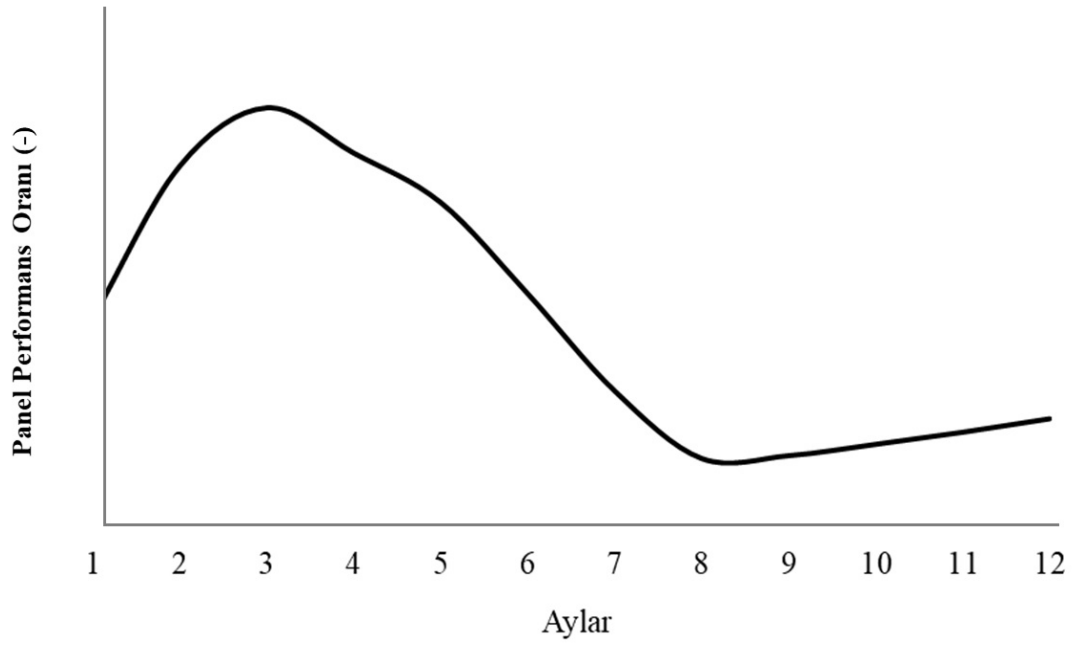


Şekil 42. Dağılım Karakteristiği III

Üçüncü dağılım karakteristiği gösteren iller aşağıda verilmiştir; Aksaray, Ardahan

3.4. Dağılım Karakteristiği IV

Bu gruba dahil olan illerde panel performans oranı ocak ayından itibaren düzgün bir şekilde yükselerek mart ayında en yüksek PPO değerine ulaşmaktadır. Mart sonundan itibaren ağustos ayına kadar giderek düşen PPO değeri ağustos ayından başlayarak aralık sonuna kadar yükselmeye devam eder ancak bu yükseliş çok yavaş olmaktadır.

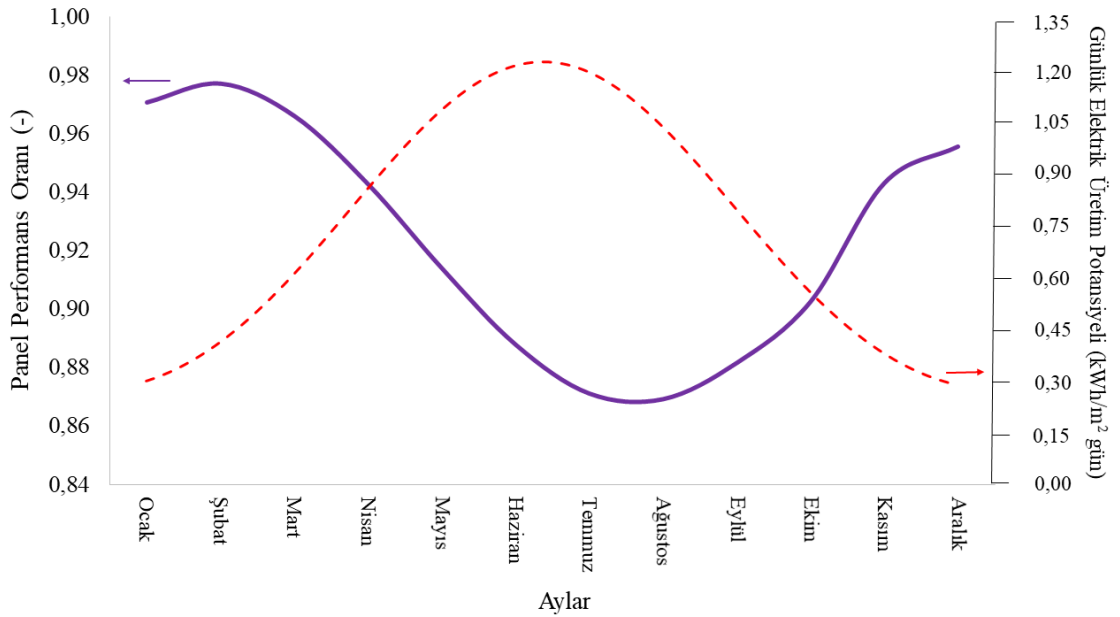


Şekil 43. Dağılım Karakteristiği IV

Dördüncü dağılım karakteristiği gösteren iller aşağıda verilmiştir; Amasya, Ankara, Çorum, Eskişehir, Gümüşhane, Kastamonu, Kütahya, Sivas, Tokat, Uşak, Yozgat, Bayburt, Karabük, Osmaniye.

4. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Panel Performans Oranının yüksek olması güneş panelinden elde edilebilecek elektrik miktarının da yüksek olacağı anlamına gelmemektedir. Burada en önemli etkenlerden biri güneş enerjisi miktarıdır. Bu bağlamda Şekil 44'de Adana ili için aylara bağlı ortalama panel performan oranı ile metre kare panel başına üretilebilecek elektrik miktarı ilişkisi gösterilmiştir. PPO ile elektrik üretim miktarı arasında tam bir simetri bulunmamaktadır. Görüleceği üzere iki aylık bir kayma oluşmaktadır. Üretilen elektrik miktarı bağlamında Haziran döneminde daha yüksek bir orana ulaşılabilirken, PPO oranının en düşük olduğu nokta Ağustos dönemine rastlamaktadır. PPO oranının en düşük değere Ağustos döneminde ulaşmasının en önemli sebebi Ağustos ayında illerde en yüksek sıcaklık ortalamalarının görünüyor olmasıdır.

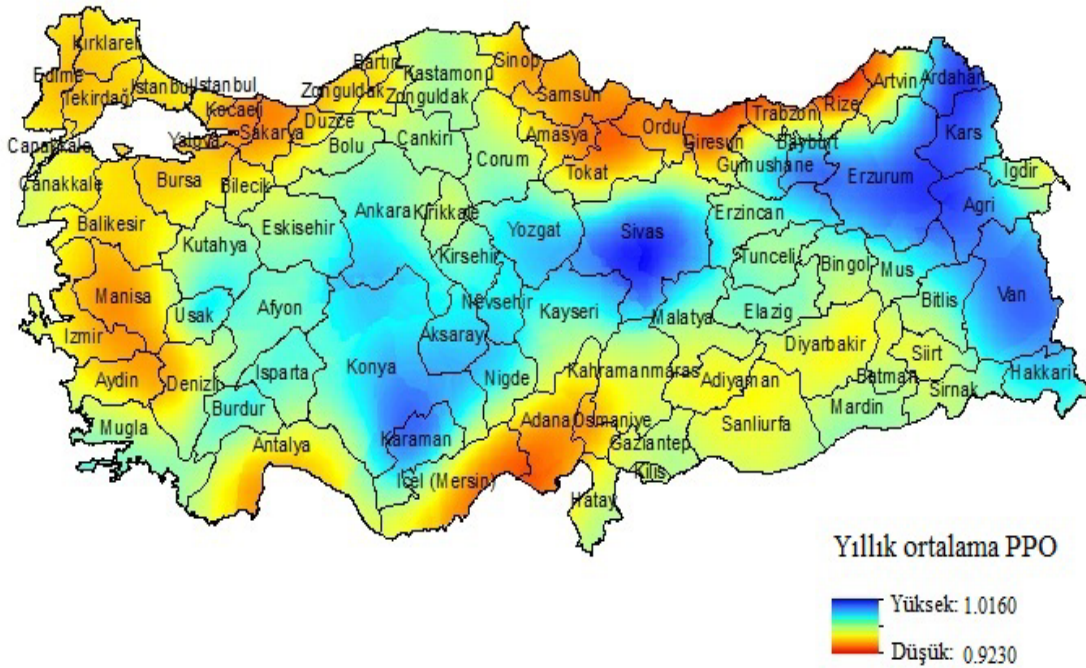


Şekil 44. Adana için aylara bağlı ortalama PPO-elektrik üretimi ilişkisi

PPO herhangi bir bölgede kullanılacak güneş panelinin referans koşullar olan 25°C ortam sıcaklığı ve 1000 W/m² güneş radyasyonuna oranla ne kadar iyi çalışıp çalışmayacağını verecektir. Güneş panelinin kurulduğu bölgenin ortam sıcaklığı ve gelen güneş radyasyon miktarı test koşullarından daha iyiye PPO yükselecek ve 1'i aşacaktır. Örneklendirmek gerekirse ortam sıcaklığı 15 °C, gelen radyasyon 1000 W/m²

ya da daha yüksek olursa bu referans şartlardan daha iyi ortam şartlarının sağlandığını ve PPO'nun 1'in üzerinde olacağını gösterecektir.

Bu tez çalışması sonucunda, tüm Türkiye için yıllık ortalama panel performans dağılım haritası hazırlanarak Şekil 45'de sunulmuştur. Şekil 45'de görüldüğü üzere Sinop-Artvin arasındaki kıyı şeridinde en düşük PPO değerleri bulunurken Özellikle Sivas, Erzurum, Ardahan, Kars, Ağrı, Van, Konya ve Karaman illerinde oldukça yüksek PPO değerleri oluşmaktadır.

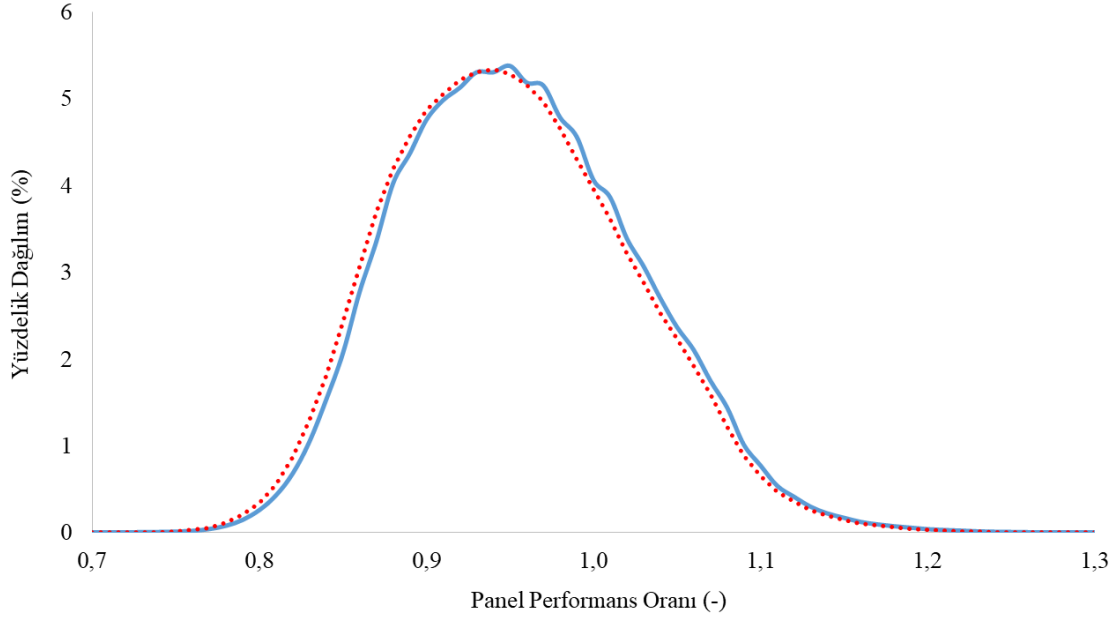


Şekil 45. Tüm Türkiye için yıllık ortalama panel performans dağılım haritası

Panel performans dağılım haritasından görüleceği üzere yıllık ortalama panel performans oranı 1.0160 ile 0.9230 arasında değişiklik göstermektedir. En yüksek ve düşük performans oranı arasında 0.093 oranında bir fark oluşmaktadır.

Şekil 45'den görüldüğü üzere en yüksek panel performans oranına iki ayrı üçgende rastlanmaktadır. Bunlar sırasıyla; Ardahan-Erzurum-Van üçgeni ve Sivas-Ankara-Karaman üçgenidir. Yıllık performans oranının en düşük olduğu iller genel olarak Kacaeli, Sakarya, Manisa, İzmir, Aydın, Mersin ve Adana olarak karşımıza çıkmaktadır.

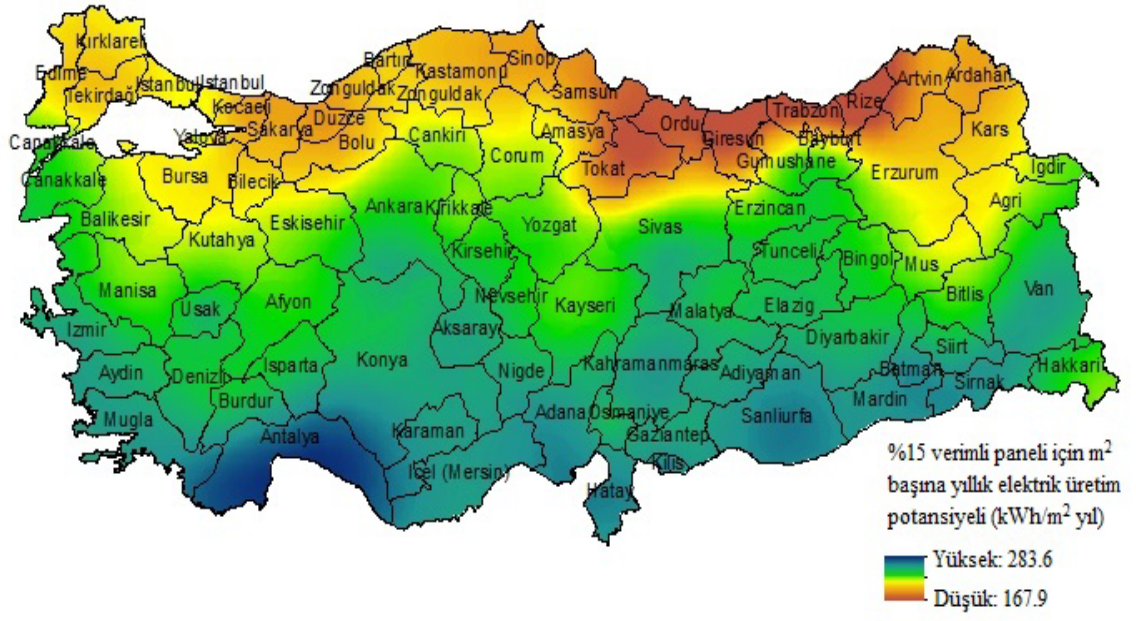
Tüm Türkiye için panel performans oranının yıllık dağılımı tespit edilerek aşağıda Şekil 46'da sunulmuştur.



Şekil 46. Tüm Türkiye için yıllık panel performans oranı dağılımı

Panel performans oranı ile güneş enerji potansiyelinin çarpımı sonucunda üretilebilecek elektrik miktarı ortaya çıkmaktadır. %15 panel verimine sahip 1 m² panel için üretilebilecek elektrik miktarının dağılım haritası Şekil 45'de sunulmuştur. Metre kare başına en düşük elektrik üretim potansiyeli 167.9 kWh olurken, en yüksek elektrik üretim potansiyeli 283.6 kWh olarak belirlenmiştir. Metre kare panel alanı başına üretilebilecek en yüksek ve düşük elektrik miktarları arasındaki fark 115.7 kWh olarak hesaplanmıştır.

Elektrik üretim potansiyelinin il sınırları içerisinde en fazla değişim gösterdiği il Sivas olarak karşımıza çıkmaktadır. Sivas ilinin karadeniz kısmına bakan bölgelerde elektrik üretim potansiyeli düşerken, Kahramanmaraş bölgesine bakan kısımlarında elektrik üretim potansiyeli artmaktadır.



Şekil 47. Türkiye için metrekare panel başına elektrik üretim miktarı haritası

5. ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Türkiye için yıllık ortalama panel performans dağılım haritası incelendi. Bu yüksek lisans çalışmasının devamında aşağıdaki çalışmalar gerçekleştirilebilir.

Türkiye için daha hassas sonuçlar elde edebilmek için daha fazla ölçüm istasyonuna ihtiyaç vardır ve istasyon sayısı arttırılmalıdır

Herhangi bir ilde güneş panellerinden elektrik üretmek amacıyla yatırım yapılacaksa PPO göz önünde bulundurulmalı ve buna bağlı olarak yatırım yapılacak ile hangi karakteristikte güneş paneli seçimi yapılmalıdır konusu dikkate alınmalıdır.

Saatlik bazda panel performans dağılım haritasının Türkiye için oluşturulması.

Öncelikli olarak Avrupabirliği ülkelerinin panel performans dağılım haritasının oluşturulması ve bu haritalama işleminin en son nihayi hedefte Tüm dünya ölçeğinde oluşturulması.

KAYNAKLAR

- Akyuz. E., Coskun. C., Oktay. Z., and Dincer. I., 2012.** A novel approach for estimation of photovoltaic exergy efficiency. *Energy*, 44, 1059–1066.
- Anis. W.R., Mertens. R. P., and Van Overstraeten. R. J., 1983.** Calculation of solar celloperating temperature in a flat plate PV array. In: *Proceedings of Fifth EC Photovoltaic Solar Energy Conference*. Athens, Greece, October 12–16, 520–524
- Ba. M., Ramenah, H., Tanougast. C., 2018.** Forseeing energy photovoltaic output determination by a statistical model using real module temperature in the north east of France. *Renewable Energy*, 935-948.
- Bastidas. J.D., Franco. E., Petrone. G., Ramos-Paja. C. A., and Spagnuolo. G., 2013** A model of photovoltaic fields in mismatching conditions featuring an improved calculation speed. *Electric Power Systems Research*, 81-90.
- Bazilian. M., Prasad. D., 2002.** Modelling of a photovoltaic heat recovery system and its role in a design decision support tool for building professionals. *Renewable Energy*, 27, 57–68.
- Bergene. T., Løvvik. O. M., 1995.** Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells. *Solar Energy*, 55, 453–462.
- Chenni. R., Makhlof. M., Kerbache. T., and Bouzid. A., 2007.** A detailed modelling method for photovoltaic cells. *Energy*, 32, 1724–1730.
- Chow. T.T., He. W., and Ji. J., 2006.** Hybrid photovoltaic-thermosyphon water heating system for residential application. *Solar Energy*, 80, 298–306
- CLEFS CEA. 2004.** Influence of temperature on photovoltaic module efficiency. *CLEFS CEA*, No: 50/51 – Winter 2004 –2005. 119.
- Coşkun. C., Toygar. U., Sarpdağ O., and Oktay Z., 2017.** Sensitivity analysis of implicit correlations for photovoltaic module temperature: A review. *Journal of Cleaner Production*, 164, 1474 – 1484.
- Cristofari. C., Poggi. P., Notton. G., and Muselli. M., 2006.** Thermal modeling of a photovoltaic module. In: *Proceedings of Sixth IASTED International Conference on ‘Modeling Simulation and Optimization’*, Gaborone, Botswana, September, 11–13. 273–278.
- Daliento, S., Chouder, A., Guerriero, P., Pavan, M. A., Mellit, A., Moeini, R., and Tricoli. P., 2017.** Monitoring, Diagnosis, and Power Forecasting for Photovoltaic Fields: A Review. *International Journal of Photoenergy*, 13.
- Duffie. J.A., Beckman. W.A., 2006.** *Solar Energy Thermal Processes*. Third ed. Wiley, Hoboken, NJ, 23, 3.

- Durisch. W., Urban. J., and Smestad. G., 1996.** Characterisation of solar cells and modules under actual operating conditions. *Renewable Energy*, 8, 359–366.
- Esen. H., Kapıcıoğlu. A., 2015.** Farklı Yüksekliklere Yerleştirilen Güneş Pillerinin Verimlerinin İncelenmesi. *Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, 4, 198- 204.
- Evans. D. L., Florschuetz. L. W., 1977.** Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight concentration. *Solar Energy*, 19, 255–262.
- Evans. D. L., 1981.** Simplified method for predicting photovoltaic array output. *Solar Energy*, 27, 555–560.
- Hove. T., 2000.** A method for predicting long-term average performance of photovoltaic systems. *Renewable Energy*, 21, 207–229.
- Irodionov. A.E., Kurenkova. V.A., Potapov. V.N., and Strebkov. D.S., 1989.** Choice of resistance for elements of photovoltaic system's external switching. *Geliotechnika*, 25, 18-21.
- Kamuyu. W. C. L., Lim. J.R., Won. C.S., and Ahn. H.K., 2018.** Prediction Model of Photovoltaic Module Temperature for Power Performance of Floating PVs. *Energy*, 11, 447.
- Kou. Q., Klein. S.A., and Beckman. W.A., 1998.** A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems. *Solar Energy*, 64, 33–40.
- Kurtz. S., Whitfield. K., Miller. D., Joyce. J., Wohlgemuth. J., and Kempe. M., 2009.** Evaluation of high-temperature exposure of rack mounted photovoltaic modules. In: 34th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2399–2404.
- Lasnier. F., Ang. T.G., 1990.** *Photovoltaic Engineering Handbook*. CRC Press, New York, 80.
- Miloudi. L., Acheli. D., 2017.** Sun trajectory and PV module I–V characteristics estimation using neural networks. 8th International Renewable Energy Congress (IREC). Tunisia, March, 21-23
- Mohring. H.D., Stellbogen. D., Schaffler. R., Oelting.S., Gegenwart. R., Konttinen. P., Carlsson. T., Cendagorta. M., and Hermann. W., 2004.** Outdoor performance of polycrystalline thin film PV modules indifferent European climates. In: Proceedings of 19th EC Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, France, June, 7–11.
- Mondol. J.D., Yohanis. Y.G., and Norton. B., 2007.** Comparison of measured and predicted long term performance of a grid connected photovoltaic system. *Energy Convers Management*, 48, 1065-1080.

- Notton. G., Cristofari. C., Mattei. M., and Poggi. P., 2005.** Modelling of a double-glass photovoltaic module using finite differences. *Applied Thermal Engineering*, 25, 2854–2877
- Peters. I. M., Liu. H., Reindl. T., and Buonassisi. T., 2018.** Global Prediction of Photovoltaic Field Performance Differences Using Open-Source Satellite Data. *Joule*, 2, 307–322.
- Perlman. J., McNamara. A., and Strobino. D., 2005.** Analysis of PV system performance versus modelled expectations across a set of identical PV systems. In: *Proceedings of ISES Solar World Congress “Bringing Water to the World”*. August 6–12. Orlando. FL
- Ravindra. N.M., Srivastava. V.K., 1979.** Temperature dependence of the maximum theoretical efficiency in solar cells. *Solar Cells*, 1, 107–109.
- Risser. V. V., Fuentes. M. K., 1983.** Linear regression analysis of flat-plate photovoltaic system performance data. In: *Proceedings of the Fifth E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference*, Athens, Greece, October, 17–21, 623–627.
- Siegel. M. D., Klein. S.A., and Beckman. W. A., 1981.** A simplified method for estimating the monthly-average performance of photovoltaic systems. *Solar Energy*, 26, 413–418.
- Skoplaski. E., Palyvos. J. A., 2009.** Operating temperature of photovoltaic modules: a survey of pertinent correlations. *Renewable Energy*, 34, 23–29.
- Skoplaki. E., Boudouvis. A. G., and Palyvos. J. A., 2008.** A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 92, 1393–1402.
- Uberti. F. D., Faranda. R., Leva. S., and Ogliari. E., 2010.** Performance ratio of a PV power plant: Different panel technologies comparison. *Proceedings of the Solar Energy Technology*, 13-24.
- Yamaguchi. T., Okamoto. Y., and Taberi. M., 2003.** Investigation on abundant photovoltaic power generated by 40 kW PV system in Wakayama National College of Technology. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 75, 597–601.
- Yümsek. Ö., 2010.** Güneş pillerinde maksimum güç noktası takip sistemleri. Yüksek lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Ankara, Türkiye, 144 s., 7-9
- Zhu. Z., Yang. H., Jiang. R., and Wu. Q., 2004.** Investigation of conjugate heat transfer in a photovoltaic wall. *Heat Transfer-Asian Research*, 33, 117–128.

URL-1, 2018. <https://jeotermalenerji.weebly.com/jeotermal-enerji.html> (10 Temmuz 2018).

URL-2, 2018. <https://enerjienstitusu.org/2017/03/02/turkiye-ruzgar-enerji-potansiyelinde-25te-birini-kullaniyor/> (10 Temmuz 2018).

URL-3, 2018. <https://enerjienstitusu.org/2016/07/08/turkiye-gunes-enerjisi-potansiyelini-kullanamiyor/> (10 Temmuz 2018).

URL-4, 2018. http://www.solar-academy.com/menu_detay.asp?id=1091 (25 temmuz 20018)



EKLER

Tablo 11. Türkiye'deki tüm şehirlerin aylık ve yıllık olarak panel çıkış ortalama elektrik üretim potansiyeli

Şehir	Elektrik Üretimi (kWh/m ² .ay)					
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Adana	10.38	14.38	19.95	26.27	31.47	34.06
Adıyaman	10.18	14.14	19.79	26.21	31.44	33.69
Afyon	8.18	11.80	17.45	24.35	30.44	33.68
Ağrı	7.57	11.20	16.80	23.21	29.08	31.99
Amasya	7.04	10.42	15.73	22.13	27.90	30.96
Ankara	8.03	11.64	17.34	24.26	30.43	33.77
Antalya	12.01	16.19	21.76	27.85	32.57	34.45
Artvin	6.94	10.36	15.39	21.18	26.19	28.70
Aydın	9.75	13.62	19.26	25.80	31.13	33.68
Balıkesir	7.50	10.98	16.52	23.21	29.17	32.21
Bilecik	7.05	10.47	15.86	22.38	28.13	31.19
Bingöl	8.37	12.06	17.72	24.43	30.34	33.16
Bitlis	7.97	11.61	17.37	24.21	30.23	33.16
Bolu	6.88	10.29	15.54	21.83	27.37	30.31
Burdur	9.19	13.00	18.74	25.58	31.36	34.26
Bursa	7.01	10.46	15.92	22.51	28.30	31.29
Çanakkale	8.08	11.69	17.43	24.34	30.33	33.38
Çankırı	7.46	10.92	16.30	22.98	28.96	32.13
Çorum	7.36	10.82	16.26	22.89	28.90	32.12
Denizli	9.02	12.78	18.45	25.18	30.84	33.69
Diyarbakır	9.57	13.39	19.02	25.58	31.05	33.39
Edirne	7.13	10.51	15.88	22.25	28.08	31.07
Elazığ	9.16	12.96	18.64	25.32	31.14	33.88
Erzincan	8.22	11.85	17.46	24.19	30.27	33.42
Erzurum	7.27	10.86	16.30	22.61	28.35	31.21
Eskişehir	7.65	11.18	16.69	23.50	29.47	32.69
Gaziantep	10.00	13.93	19.61	26.11	31.48	33.98
Giresun	7.06	10.35	15.10	20.45	24.78	26.48
Gümüşhane	7.14	10.60	16.01	22.45	28.32	31.44
Hakkâri	8.24	11.93	17.66	24.55	30.55	33.45
Hatay	10.41	14.38	20.05	26.50	31.90	34.63
Isparta	8.83	12.58	18.31	25.23	31.15	34.18
Mersin	10.15	14.09	19.73	26.24	31.72	34.48
İstanbul	6.99	10.43	15.90	22.52	28.35	31.32
İzmir	9.49	13.34	19.04	25.65	31.18	33.89
Kars	7.22	10.77	16.14	22.35	28.04	30.92
Kastamonu	6.93	10.33	15.55	21.84	27.40	30.30
Kayseri	8.30	11.92	17.53	24.33	30.45	33.67
Kırklareli	7.03	10.45	15.84	22.32	27.99	30.94
Kırşehir	8.38	12.06	17.71	24.57	30.68	33.88

Tablo 11 (devam). Türkiye'deki tüm şehirlerin aylık ve yıllık olarak panel çıkışı ortalama elektrik üretim potansiyeli

Şehir	Elektrik Üretimi (kWh/m ² .ay)						(kWh/m ² .yıl)
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Adana	33.32	29.52	23.86	17.90	13.00	9.74	263.9
Adıyaman	32.61	28.93	23.62	17.84	12.87	9.57	260.9
Afyon	32.92	28.78	22.74	16.32	11.10	7.91	245.7
Ağrı	30.91	26.78	21.05	15.11	10.26	7.29	231.2
Amasya	30.30	26.25	20.52	14.58	9.79	6.84	222.5
Ankara	33.08	28.91	22.82	16.31	11.03	7.78	245.4
Antalya	33.35	29.74	24.55	18.94	14.17	10.92	276.5
Artvin	27.80	23.91	18.58	13.18	8.90	6.30	207.4
Aydın	33.00	29.32	23.73	17.64	12.55	9.23	258.7
Balıkesir	31.76	27.68	21.67	15.44	10.39	7.30	233.8
Bilecik	30.53	26.47	20.66	14.65	9.80	6.83	224.0
Bingöl	32.10	28.07	22.35	16.28	11.19	8.05	244.1
Bitlis	32.07	27.97	22.08	15.95	10.85	7.72	241.2
Bolu	29.53	25.52	19.90	14.08	9.43	6.58	217.2
Burdur	33.42	29.43	23.63	17.34	12.10	8.79	256.8
Bursa	30.67	26.66	20.88	14.76	9.82	6.80	225.0
Çanakkale	32.73	28.66	22.67	16.26	11.00	7.80	244.4
Çankırı	31.32	27.22	21.36	15.22	10.31	7.25	231.4
Çorum	31.38	27.23	21.32	15.15	10.19	7.15	230.8
Denizli	33.00	29.10	23.36	17.12	11.91	8.63	253.1
Diyarbakır	32.32	28.61	23.19	17.35	12.34	9.07	254.9
Edirne	30.43	26.46	20.73	14.78	9.92	6.94	224.2
Elazığ	32.88	28.94	23.25	17.14	12.00	8.73	254.0
Erzincan	32.51	28.37	22.45	16.21	11.07	7.93	243.9
Erzurum	30.13	26.00	20.39	14.60	9.86	6.96	224.5
Eskişehir	31.97	27.83	21.91	15.56	10.52	7.44	236.4
Gaziantep	33.01	29.21	23.72	17.79	12.75	9.44	261.0
Giresun	25.27	21.54	16.73	11.92	8.17	5.98	193.8
Gümüşhane	30.63	26.50	20.67	14.68	9.88	6.91	225.2
Hakkâri	32.43	28.30	22.38	16.22	11.10	7.95	244.7
Hatay	33.90	29.98	24.26	18.23	13.17	9.78	267.2
Isparta	33.37	29.30	23.38	17.00	11.75	8.48	253.6
Mersin	33.69	29.78	24.01	17.87	12.81	9.52	264.1
İstanbul	30.67	26.63	20.78	14.68	9.76	9.19	227.2
İzmir	33.26	29.46	23.77	17.55	12.34	6.31	255.3
Kars	29.87	25.76	20.13	14.39	9.71	6.85	222.1
Kastamonu	29.45	25.48	19.92	14.13	9.51	6.64	217.5
Kayseri	32.86	28.72	22.72	16.37	11.19	8.01	246.0
Kırklareli	30.25	26.30	20.59	14.64	9.80	6.83	223.0
Kırşehir	33.09	28.94	22.91	16.53	11.32	8.10	248.1

Tablo 11 (devam). Türkiye'deki tüm şehirlerin aylık ve yıllık olarak panel çıkışı ortalama elektrik üretim potansiyeli

Şehir	Elektrik Üretimi (kWh/m ² .ay)					
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Kocaeli	6.70	10.07	15.29	21.46	26.83	29.50
Konya	9.40	13.23	18.92	25.66	31.52	34.47
Kütahya	7.62	11.14	16.69	23.49	29.54	32.80
Malatya	9.13	12.92	18.58	25.24	31.08	33.90
Manisa	8.15	11.72	17.31	24.06	29.82	32.75
Kahramanmaraş	10.02	13.94	19.56	26.04	31.41	33.97
Mardin	10.41	14.45	20.19	26.66	31.87	34.13
Muğla	10.11	14.10	19.83	26.45	31.80	34.32
Muş	7.81	11.44	17.03	23.56	29.43	32.34
Nevşehir	8.31	11.98	17.68	24.56	30.72	33.98
Niğde	9.39	13.23	18.93	25.66	31.48	34.49
Ordu	7.01	10.31	15.08	20.49	24.83	26.55
Rize	8.65	11.42	15.10	18.91	21.65	22.26
Sakarya	6.72	10.08	15.30	21.51	26.94	29.68
Samsun	6.65	10.02	15.20	21.34	26.56	28.96
Siirt	9.56	13.41	19.11	25.70	31.24	33.64
Sinop	6.67	10.07	15.33	21.61	26.97	29.50
Sivas	7.98	11.65	17.35	24.20	30.47	33.90
Tekirdağ	6.84	10.26	15.64	22.13	27.76	30.60
Tokat	6.89	10.22	15.07	20.64	25.44	27.74
Trabzon	7.66	10.71	15.11	19.77	23.38	24.56
Tunceli	8.89	12.65	18.30	24.99	30.84	33.64
Şanlıurfa	10.61	14.66	20.34	26.72	31.83	34.16
Uşak	9.07	12.92	18.80	25.78	31.76	34.90
Van	9.00	12.85	18.74	25.62	31.68	34.63
Yozgat	7.71	11.28	16.90	23.74	29.91	33.21
Zonguldak	6.73	10.15	15.50	21.91	27.51	30.29
Aksaray	9.39	13.23	18.93	25.66	31.48	34.49
Bayburt	7.57	11.16	16.74	23.39	29.47	32.70
Karaman	10.15	14.14	19.84	26.37	31.94	34.69
Kırıkkale	7.89	11.41	16.92	23.70	29.74	32.94
Batman	9.80	13.70	19.45	26.06	31.70	34.22
Şırnak	10.41	14.45	20.19	26.66	31.87	34.13
Bartın	6.88	10.29	15.63	22.09	27.80	30.79
Ardahan	7.27	10.82	15.94	21.64	26.70	29.14
Iğdır	7.69	11.21	16.69	23.28	29.34	32.47
Yalova	7.22	10.68	16.24	23.03	29.02	32.11
Karabük	7.00	10.36	15.61	22.07	27.77	30.83
Kilis	10.88	14.92	20.53	26.77	31.75	34.04
Osmaniye	8.94	12.66	18.24	24.94	30.63	33.58
Düzce	6.75	10.09	15.17	21.15	26.34	28.94

Tablo 11 (devam). Türkiye'deki tüm şehirlerin aylık ve yıllık olarak panel çıkış ortalama elektrik üretim potansiyeli

Şehir	Elektrik Üretimi (kWh/m ² .ay)						Toplam (kWh/m ² .yıl)
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Kocaeli	28.82	24.92	19.53	13.73	9.16	6.37	212.4
Konya	33.69	29.69	23.83	17.52	12.28	8.96	259.2
Kütahya	32.13	27.95	21.94	15.61	10.51	7.41	236.9
Malatya	32.96	29.01	23.27	17.14	12.01	8.73	254.0
Manisa	32.15	28.21	22.39	16.16	11.06	7.88	241.7
Kahramanmaraş	33.08	29.25	23.68	17.75	12.76	9.45	261.0
Mardin	33.07	29.37	23.96	18.14	13.11	9.77	265.2
Muğla	33.43	29.63	24.10	18.04	12.92	9.54	264.3
Muş	31.23	27.16	21.43	15.46	10.53	7.51	234.9
Nevşehir	33.23	29.05	22.95	16.51	11.25	8.02	248.2
Niğde	33.69	29.68	23.84	17.51	12.26	8.95	259.1
Ordu	25.34	21.60	16.78	11.95	8.18	5.97	194.1
Rize	20.72	17.47	13.68	10.20	7.79	6.72	174.6
Sakarya	29.03	25.12	19.54	13.81	9.20	6.40	213.3
Samsun	27.97	24.05	18.71	13.21	8.81	6.16	207.6
Siirt	32.56	28.76	23.27	17.39	12.35	9.08	256.1
Sinop	28.58	24.61	19.15	13.50	8.99	6.25	211.2
Sivas	33.21	28.97	22.81	16.26	10.96	7.72	245.5
Tekirdağ	29.85	25.85	20.14	14.23	9.49	6.58	219.4
Tokat	26.75	22.93	17.84	12.74	8.68	6.20	201.1
Trabzon	23.12	19.60	15.22	10.99	7.81	6.10	184.0
Tunceli	32.59	28.58	22.89	16.80	11.69	8.50	250.4
Şanlıurfa	33.21	29.58	24.19	18.32	13.30	9.94	266.9
Uşak	34.17	30.07	24.06	17.50	12.08	8.69	259.8
Van	33.71	29.58	23.58	17.25	11.91	8.60	257.2
Yozgat	32.46	28.20	22.10	15.74	10.60	7.48	239.3
Zonguldak	29.55	25.53	19.84	13.96	9.26	6.41	216.6
Aksaray	33.69	29.68	23.84	17.51	12.26	9.24	259.4
Bayburt	31.77	27.55	21.60	15.41	10.38	7.33	235.0
Karaman	33.85	29.98	24.30	18.15	12.96	9.57	265.9
Kırıkkale	32.20	28.08	22.12	15.84	10.78	7.65	239.3
Batman	33.26	29.54	24.02	17.90	12.71	9.31	261.7
Şırnak	33.07	29.37	23.96	18.14	13.11	9.77	265.1
Bartın	30.14	26.11	20.39	14.37	9.57	6.65	220.7
Ardahan	27.99	24.01	18.73	13.39	9.12	6.57	211.3
Iğdır	31.66	27.63	21.82	15.65	10.55	7.45	235.4
Yalova	31.49	27.38	21.39	15.12	10.06	7.01	230.7
Karabük	30.05	26.06	20.41	14.51	9.74	6.80	221.2
Kilis	33.14	29.47	24.06	18.29	13.41	10.12	267.4
Osmaniye	33.04	29.04	23.14	16.83	11.74	8.53	251.3
Düzce	28.18	24.32	18.93	13.41	9.00	6.30	208.6

ÖZGEÇMİŞ

Tarık PAMUKÇU, 19/01/1983 tarihinde Nusaybin'de doğdu. İlköğretimini 1997 yılında Rize/Merkez Mehmet Akif İlköğretim Okulu'nda ve Orta Öğretimini 2000 yılında Rize/Merkez Ali Metin Kazancı Rize Lisesi'nde tamamladı. 06/09/2004 tarihinde başladığı lisans eğitimini 07/07/2010 tarihinde Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2015 yılında Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans öğrenimini halen devam ettirmektedir. MS Doğal Mühendislik Firmasında makine mühendisi olarak 2018 yılı itibariyle görev yapmaktadır. Orta seviyede İngilizce bilen Tarık Pamukçu, evli ve 1 çocuk babasıdır.