



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK  
FOTOVOLTAİK PANEL GÜÇ ÇIKIŞLARININ TAHMİNİ  
VE SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Erol GÜRGEN  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Yrd.Doç.Dr. Emre DANDIL**

**BİLECİK, 2017**

**Ref.No: 10170334**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK  
FOTOVOLTAİK PANEL GÜÇ ÇIKIŞLARININ TAHMİNİ  
VE SEZGİSEL ALGORİTMALAR İLE  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Erol GÜRGEN  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Yrd.Doç.Dr. Emre DANDIL**

**BİLECİK, 2017**



**BILECIK SEYH EDEBALI UNIVERSITY**

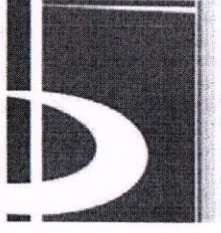
**Graduate School of Science  
Department of Energy Systems Engineering**

**PREDICTION OF PHOTOVOLTAIC PANEL POWER  
OUTPUTS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS  
AND COMPARISON WITH HEURISTIC ALGORITHMS**

**Erol GÜRGEN  
Master's Thesis**

**Thesis Advisor  
Assist.Prof. Emre DANDIL**

**BILECIK, 2017**



# BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

## FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

### YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 01/11/2017 tarih ve 56 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17/11/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Erol GÜRGEN' nin "*Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Fotovoltaik Panel Güç Çıktılarının Tahmini ve Sezgisel Algoritmalar ile Karşılaştırılması*" başlıklı tez çalışması Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

### JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Emre DANDIL

ÜYE : Yrd.Doç.Dr. Yasemin ÖNAL

ÜYE : Yrd.Doç.Dr. Barış BORU

### ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun  
.../.../..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

## TEŐEKKÖR

Bu tez çalışmasında PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu), GY (Geriye Yayılım) ve KSA (Klonal Seçim Algoritması) tabanlı eğitilen Yapay Sinir Ağları yardımıyla deneysel olarak tahmin edilmiş verilerinin, güneş paneli gerçek güç üretim değerleri ile karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca bu tez çalışmasında kullanılan güneş paneli verilerinin elde edilmesini sağlayan, deney düzeneğini kuran ve verilerin kullanılmasına izin veren (Parmaksız, vd., 2016) alıőmasının yazarlarına sonsuz Őükranlarımı sunarım.

Tez çalışmasının her safhasında desteğini eksik etmeyen danıőmanım sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Emre DANDIL'a, lisansüstü çalıőmalarımın baőtında beni doğru yönlendiren sayın Yrd.Doç.Dr. Yasemin ÖNAL'a ve manevi desteğini esirgemeyen aileme teőekkürlerim sunarım

Erol GÖRGEN

Kasım 2017

## ÖZET

Farklı zamanlarda fotovoltaik(FV) sistemlerden üretilen güç değerlerinin tahmini güneş panellerinin güvenilir bir enerji kaynağı olarak efektif kullanılması ve ekonomik kullanılması açısından gereklidir. Güneş panellerinden üretilen çıkış gücünün kestirimi aynı zamanda, güneş panellerinin kurulumu, elektrik şirketlerine rehberlik etmesi, enerjinin yönetimi ve dağıtılması ve bunun yanında en kısa sürede optimum enerjiyi elde edebilir hale gelmek ve maksimum üretim kapasitesi ulaşmaya yönelik gerekli panel adaptasyonlarının tespit edilmesi için gerekli zamandan kazanç; ek işçilik maliyetlerinin azaltılması anlamında büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, FV panellerinden elde edilen güç değerlerinin aylık olarak tahmini için farklı algoritmalar ile öğrenebilen Yapay Sinir Ağları(YSA) kullanılmıştır. Altı farklı açısız konuma yerleştirilen panellerden elde edilen güç değerlerinin tahmin edilmesinde Parçacık Sürü Optimizasyonu(PSO), Geriye Yayılım(GY) ve Klonal Seçim Algoritması(KSA) ile eğitilen YSA modellerinden yararlanılmıştır. Tahmin sonuçlarının doğrulanmasında üç popüler istatistiksel değerlendirme kriteri olan Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE), Ortalama Karesel Hataların Karekökü (RMSE) ve Varyans ( $R^2$ ) eşitliklerinden yararlanılmıştır. Her üç kriterlerden elde edilen doğrulama sonuçları incelendiğinde, hemen hemen tüm aylar için PSO algoritması ile eğitilen YSA yapısının, KSA ve GY algoritmaları ile eğitilen YSA yapılarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bazı sonuçlarda ise GY ile eğitilen YSA yapısının, PSO ile eğitilen YSA yapısına göre, sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu anlaşılmıştır.

### **Anahtar Kelimeler**

Fotovoltaik panel; güç tahmini; YSA; geriye yayılım; PSO, klonal seçim algoritması

## ABSTRACT

The prediction of power outputs generated from photovoltaic (PV) systems at different times is necessary for reliable and economical for use of solar panels. The prediction of the power output is also very important in terms of factors such as installation of solar panels, guidance of electricity companies, energy management and distribution. Determination of optimum solar panel positions and angles, providing energy productivity to maximize production capacity in a short time period is the most time consuming job for regulations for a companies. Also, adaptation of panels increases costs. Therefore, new and healthy prediction methods have a great importance to minimize these work force costs. In this study, Artificial Neural Network (ANN) model learned by heuristic algorithms are used for the prediction of power outputs obtained from PV panels monthly. Particle Swarm Optimization (PSO), Back-Propagation (BP), Clonal Selection Algorithm (CSA) are used to train ANN to predict six different PV panel located in different angles from 10 to 60 degrees. Three different popular evaluation methods which are called mean absolute percentage error (MAPE), root mean square error (RMSE), varyans ( $R^2$ ) used to do comparison. According to examination of verification results, PSO is almost most successful algorithm as a training method when it is compared with BP and CSA. It is seen for the some of the results belong to a few months that BP is slightly better than PSO.

### Keywords

Photovoltaic panel; power prediction; ANN; back-propagation; PSO, clonal selection algorithm

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
<b>JÜRİYONAY FORMU</b>	
<b>TEŞEKKÜR</b>	
<b>ÖZET.....</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>II</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>III</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>V</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>VIII</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Literatür Çalışmaları.....	2
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>5</b>
2.1. Yapay Sinir Ağları.....	5
2.2. Geriye Yayılım Algoritması Tabanlı YSA.....	7
2.2.1. İleri hesaplama .....	8
2.2.2. Geri hesaplama(yayılım) .....	9
2.3. Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Tabanlı YSA .....	10
2.4. Klonal Seçim Algoritması Tabanlı YSA.....	11
<b>3. DENEYSEL DÜZENEK VE VERİ SETİ .....</b>	<b>14</b>
3.1. Günlük Panel Verileri.....	15
3.2. Aylık Panel Verileri.....	17
3.3. Ortalama Aylık Panel Verileri.....	19
<b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>22</b>
4.1. Parametre Seçimleri.....	22
4.2. Ölçüm Doğrulama Kriterleri .....	22
4.3. Bulgular .....	23
4.3.1. 2015 Mayıs ayı panel güç tahmin sonuçları.....	23
4.3.2. 2015 Haziran ayı panel güç tahmin sonuçları .....	26
4.3.3. 2015 Temmuz ayı panel güç tahmin sonuçları.....	29
4.3.4. 2015 Ağustos ayı panel güç tahmin sonuçları.....	35
4.3.5. 2015 Eylül ayı panel güç tahmin sonuçları .....	38



4.3.6. 2015 Ekim ayı panel güç tahmin sonuçları .....	40
4.3.7. 2015 Kasım ayı panel güç tahmin sonuçları .....	43
4.3.8. 2015 Aralık ayı panel güç tahmin sonuçları.....	45
4.3.9. 2016 Ocak ayı panel güç tahmin sonuçları .....	48
4.3.10. 2016 Şubat ayı panel güç tahmin sonuçları.....	51
4.3.11. 2016 Mart ayı panel güç tahmin sonuçları .....	54
4.3.12. Nisan 2016 ayı panel güç tahmin sonuçları.....	56
4.3.13. Mayıs 2016 ayı panel güç tahmin sonuçları .....	59
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>62</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>63</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>66</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

Şekil 3.1 FV panel deney düzeneği (Parmaksız, vd., 2016). .....	14
Şekil 3.2 Fotovoltaik panel veri toplama blok diyagramı.....	14
Şekil 3.3 Ağustos 2015 için her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri. ...	15
Şekil 3.4 Kasım 2015 için her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.....	16
Şekil 3.5 Ocak 2015 için her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.....	16
Şekil 3.6 Ağustos 2015 için yaklaşık bir ay boyunca her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.....	17
Şekil 3.7 Kasım 2015 için yaklaşık bir ay boyunca her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.....	18
Şekil 3.8 Ocak 2016 için yaklaşık bir ay boyunca her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.....	18
Şekil 3.9 Ağustos 2015 için ortalama akım, gerilim ve güç değerleri.....	19
Şekil 3.10 Kasım 2015 ortalama akım, gerilim ve güç değerleri.....	20
Şekil 3.11 Ocak 2016 ortalama akım, gerilim ve güç değerleri.....	20
Şekil 3.12 Tüm aylara ait ortalama güç örüntülerine ait grafikler. ....	21
Şekil 4.1 50°'lik panel için 2015 Mayıs ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	24
Şekil 4.2 50°'lik panel için 2015 Mayıs ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	24
Şekil 4.3 50°'lik panel için 2015 Mayıs ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	25
Şekil 4.4 10°'lik panel için 2015 Haziran ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	26
Şekil 4.5 10°'lik panel için 2015 Haziran ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	27
Şekil 4.6 10°'lik panel için 2015 Haziran ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	28
Şekil 4.7 10°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	29
Şekil 4.8 10°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	30
Şekil 4.9 10°'lik panel için 2015 Haziran ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	30
Şekil 4.10 20°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	31
Şekil 4.11 20°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	32

<b>Şekil 4.12</b>	20°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	32
<b>Şekil 4.13</b>	30°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	33
<b>Şekil 4.14</b>	30°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	34
<b>Şekil 4.15</b>	30 °'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	34
<b>Şekil 4.16</b>	40 °'lik panel için 2015 Ağustos ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	36
<b>Şekil 4.17</b>	40 °'lik panel için 2015 Ağustos ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	36
<b>Şekil 4.18</b>	40 °'lik panel için 2015 Ağustos ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	37
<b>Şekil 4.19</b>	60 °'lik panel için 2015 Eylül ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	38
<b>Şekil 4.20</b>	60 °'lik panel için 2015 Eylül ayı panel güç çıkışları, GY Tabanlı YSA ile Güç Tahmini.....	39
<b>Şekil 4.21</b>	60 °'lik panel için 2015 Eylül ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	39
<b>Şekil 4.22</b>	40 °'lik panel için 2015 Ekim ayı panel güç çıkışları, PSO Tabanlı YSA ile güç tahmini.....	41
<b>Şekil 4.23</b>	40 °'lik panel için 2015 Ekim ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	41
<b>Şekil 4.24</b>	40 °'lik panel için 2015 Ekim ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	42
<b>Şekil 4.25</b>	40 °'lik panel için 2015 Kasım ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	43
<b>Şekil 4.26</b>	40 °'lik panel için 2015 Kasım ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	44
<b>Şekil 4.27</b>	40 °'lik panel için 2015 Kasım ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	44
<b>Şekil 4.28</b>	30 °'lik panel için 2015 Aralık ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	46
<b>Şekil 4.29</b>	30 °'lik panel için 2015 Aralık ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	46
<b>Şekil 4.30</b>	30 °'lik panel için 2015 Aralık ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	47
<b>Şekil 4.31</b>	20 °'lik panel için 2016 Ocak ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	48
<b>Şekil 4.32</b>	20 °'lik panel için 2016 Ocak ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	49

<b>Şekil 4.33</b> 20 °'lik panel için 2016 Ocak ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	50
<b>Şekil 4.34</b> 40 °'lik panel için 2016 Şubat ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	51
<b>Şekil 4.35</b> 40 °'lik panel için 2016 Şubat ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	52
<b>Şekil 4.36</b> 40 °'lik panel için 2016 Şubat ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	53
<b>Şekil 4.37</b> 30 °'lik panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	54
<b>Şekil 4.38</b> 30 °'lik panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	55
<b>Şekil 4.39</b> 30 °'lik panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	55
<b>Şekil 4.40</b> 50 °'lik panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	57
<b>Şekil 4.41</b> 50 °'lik panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	57
<b>Şekil 4.42</b> 50 °'lik panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	58
<b>Şekil 4.43</b> 60°'lik panel için 2016 Mayıs ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.....	59
<b>Şekil 4.44</b> 60°'lik panel için 2016 Mayıs ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.....	60
<b>Şekil 4.45</b> 60°'lik panel için 2016 Mayıs ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.....	60

**ÇİZELGELER DİZİNİ****Sayfa No**

<b>Çizelge 2.1</b> Geriye yayılımın sözde kodlarla ifadesi .....	8
<b>Çizelge 2.2</b> PSO algoritmasının sözde kodlarla ifadesi .....	10
<b>Çizelge 3.1</b> FV panel katalog değerleri .....	15
<b>Çizelge 4.1</b> Mayıs 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması .....	26
<b>Çizelge 4.2</b> Haziran 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	28
<b>Çizelge 4.3</b> Temmuz 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması ..	35
<b>Çizelge 4.4</b> Ağustos 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması ..	38
<b>Çizelge 4.5</b> Eylül 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	40
<b>Çizelge 4.6</b> Ekim 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	43
<b>Çizelge 4.7</b> Kasım 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	45
<b>Çizelge 4.8</b> Aralık 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	48
<b>Çizelge 4.9</b> Ocak 2016 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	51
<b>Çizelge 4.10</b> Şubat 2016 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması .....	53
<b>Çizelge 4.11</b> Mart 2016 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması .....	56
<b>Çizelge 4.12</b> Nisan 2016 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	59
<b>Çizelge 4.13</b> Mayıs 2016 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması .....	61

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

$P_{best}$	: Lokal En İyi Çözüm
$G_{best}$	: Global En İyi Çözüm
$P$	: Parçacık Dizisi
$V_i$	: Parçacık Hızı
$P_i$	: Parçacık Pozisyonu
$V_i(t+1)$	: Parçacık Yeni Hızı
$P_i(t+1)$	: Parçacık Yeni Pozisyonu
$t$	: Zaman
$C1, C2$	: Sosyal ve Bilişsel İlişki Sabitleri
$Rand()$	: Rastgele sayı üreten fonksiyon
$A_g$	: Antijen Kümesi
$A_b$	: Antikor Kümesi
$A_{bm}$	: Hafıza Hücreleri
$A_{bm}$	: Geriye Kalan Hücreler
$A_{gi}$	: Rastgele Antijen Kümesi
$n, N$	: Kümenin Büyüklüğünü İfade Eden Harfler
$C_i$	: Klonlanmış hücre kümesi
$B$	: Klonlama faktörü
$N_c$	: Toplam Klonlanmış Antikor Kümesi
$C_i^*$	: Mutasyona Uğramış Hücre Kümesi
$\alpha$	: Mutasyon Oranı
$p$	: Mutasyon Faktörü
$f$	: Afinite Ölçümler
$f_i^*$	: Hesaplanmış Afinite Değerler
$P_m$	: Maksimum Panel Gücü
$V_{mp}$	: Maksimum Panel Gerilimi
$I_{mp}$	: Maksimum Panel Akımı
$V_{oc}$	: Panel Açık Devre Gerilimi
$I_{sc}$	: Panel Kısa Devre Akımı
$V$	: Volt

A	: Amper
h	: Zaman(Saat)
W	: Yapay sinir ağı ağırlıkları
$\alpha_k$	: Öğrenme katsayısı
$W_{yeni}$	: Yeni Ağırlık
dE	: Hatanın türevi
$dW_1$	: İlgili indie sahip ağırlık türevi
$\delta$	: Gradient

### **Kısaltmalar**

FV	: Fotovoltaik
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
YSA	: Yapay Sinir Ağı
GY	: Geriye Yayılım
KSA	: Klonal Seçim Algoritması
RMSE	: Root Mean Square Error
MAPE	: Mean Absolute Percentage Error
$R^2$	: Hatanın Karesi (Varyans)
PV	: Photovoltaic
ANN	: Artificial Neural Network
BP	: Backpropagation
CSA	: Clonal Selection Algorithm
MSE	: Mean Square Error
MLP	: Multi-Layer Perceptron

## 1. GİRİŞ

Dünyada ve onun küçük bir yansıması olarak Türkiye’de; gelişen teknoloji beraberinde aynı oranda artan bir enerji ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Bu ihtiyacın giderilmesi için kullanılan kaynaklar incelendiğinde, bölgesel olarak farklılıklar olsa da fosil yakıt türlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Türkiye’ye ait son 1 yıllık istatistikler incelendiğinde enerji ihtiyacının %66.7’si fosil yakıtlardan, %25.3’ü hidrolikten, %8.1’i ise jeo-termal, rüzgar, güneş enerjisi ve diğer kaynaklardan elde edilmektedir (Theodoropoulos, vd., 2017). Gelişen ihtiyaçlara cevap verebilmek adına devletler mevcut politikalarını gözden geçirerek, gerek tükenme olasılığı, gerekse çevreye etkileri düşünülerek fosil yakıtlara alternatif olan enerji kaynaklarını ve üretim yöntemlerini araştırmaya başlamışlardır.

Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan yöntemlerden birisi de FV paneller yardımıyla güneş enerjisinden yararlanmaktır. Özellikle güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre temiz, sessiz, ekonomik, güvenilir ve tükenmez olması nedeniyle son zamanlarda daha da önemli hale gelmiştir (Parmaksız, vd., 2016). FV panellerden üretilen enerji, coğrafi konum, mevsimsel değişimler ve çevresel koşullar gibi faktörlere göre değişiklikler gösterebilmektedir. Buna bağlı olarak FV panellerin eğim açısının aylık, mevsimsel ve yıllık olarak değiştirilmesi ile panellerden en yüksek gücün elde edilmesi sağlanabilmektedir.

Güncel ve modern güç sistemlerinin güvenli ve ekonomik olarak işletilmesi için üretim planlamaları gerçek zamanlı, günlük, haftalık, aylık ve yıllık olarak yapılabilmektedir. Bundan dolayı, FV panel istasyonları gibi yenilenebilir güç tesislerinin güç çıkış değerlerinin ve yük eğilimlerinin kestirilmesi temel bir süreç olarak ortaya çıkmaktadır.

Solar güç istasyonlarının verimliliğinin(çıkış gücü), farklı hava koşullarına göre değişimler gösterdiği iyi bilinen bir gerçektir. Bu nedenden dolayı, son zamanlarda FV panellerin güç çıkış değerlerinin tahmin edilmesine yönelik çalışmaların önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Günümüzde FV panellerin güç tahmini için yaygın olarak kullanılan iki temel yaklaşım bulunmaktadır (Lorenz, vd., 2016). Bunlardan birincisi, solar ışınım, ortam sıcaklığı ve matematiksel modelleri kullanılarak elde edilen bazı



parametreler gibi çevresel parametrelerin tahmini yardımıyla FV sistemlerindeki aktif gücün hesaplanmasıdır. Diğerleri ise, FV sistemlerin aktif güç çıkışlarının doğrudan tahmin edilmesidir (Kudo, vd., 2009). Solar ışıma verilerinin saatlik olarak tahmin edilmesi çok zor olduğundan dolayı, Kudo vd. (2009)' un çalışmasında aktif güç çıkışı, daha önce ölçülen akım ve gerilim verilerine bağlı olarak doğrudan tahmin edilmiştir.

### 1.1. Literatür Çalışmaları

Literatürde, şimdiye kadar FV panel güç çıkışlarının tahmini için birçok yöntem önerilmiştir. Kudo vd. (2009) ve Lorenz vd. (2016), hava durumu verileri kullanarak FV panel güç çıkış karakteristiklerini ortaya koyan, çoklu doğrusal regresyon yöntemleri ve YSA modelleri kullanılarak elde edilen solar ışıma tahminlerini karşılaştırmalı birer çalışma ile sunmuşlardır.

Junseok vd. (2012) ve Li vd. (2009), Markov zincirleri kullanarak olasılıksal bir yaklaşım ile Fotovoltaik üretim merkezlerinde enerji depolama birimleri üzerine çalışma yapmışlardır.

Ran vd. (2008) ve Shi vd. (2012) ise çalışmalarında, bir makine öğrenmesi yöntemi olan Destek Vektör Makineleri ile FV panel güç çıkışlarının tahmin edilmesine yönelik çalışmalar yürütmüşlerdir.

Wang (2011) çalışmasında, yukarıdaki çalışmaların dışında, FV güç çıkışlarının tahmin edilmesinde en uygun metodun YSA olduğu bazı çalışmalarda ortaya koymuştur.

Kou vd. (2013) çalışmalarında, GY kullanarak eğitilen YSA yapısı ile meteoroloji verilerinin de kullanılması sayesinde solar panel çıkış gücü tahmini yapmışlardır.

R. Rojas (1996) ileri beslemeli GY ve Genelleştirilmiş Regresyon ile eğitilen yapay sinir ağı yardımıyla, sıcaklık ve ışıma parametre girdileri ile solar panel güç verilerinin tahmini üzerine çalışma yapmışlardır.

Nian vd. (2013), PSO evrimsel algoritmasını hibrit bir yöntem haline getirerek yapay sinir ağını eğittikleri çalışmalarında, ışınım değerlerini de girdi olarak kullanmış ve solar radyasyon tahmin çıkarımları elde etmişlerdir.

Qasrawi (2015), farklı bölgelere yerleştirilen güneş panellerinden alınan panel çıktıları ve uydulardan alınan veriler ile birlikte çok katmanlı ve GY (Levenberg-Marquardt) ile eğitilmiş YSA tasarlamışlardır. Sisteme girdi olarak nem, solar ışınım, gün ışığı süresi uzunluğu, bulutsuz hava şartları verilmiştir. Test verileri ile ağıın başarımı doğrulanmıştır.

Zhu vd. (2016), dalgacık dönüşümü(wavelet transform) yöntemi ile verilere indirgeme uygulamışlardır. Bu verileri YSA'nın eğitiminde kullandıkları hibrit bir yöntem çalışmasının ardından tekrar dalgacık ayrıştırması Yöntemi ile veriyi yapılandırma işlemine tabi tutmuşlar ve mevcut YSA çalışmalarına oranla daha az matematiksel işlem gerektiren bir çalışma ortaya çıkarmışlardır.

Lukpi's Prokop vd. (2012), ANFIS ve çok katmanlı algılayıcı (MLP) yöntemler ile bir çalışma önermişlerdir. ANFIS ve MLP'nin benzer davranışlar sergileyerek ortalama %2'lik bir kesinlikte tutarlı sonuçlar elde etmişlerdir. ANFIS'in MLP'ye nazaran daha kesin sonuçlar verdiklerini çalışmalarında belirtmişlerdir.

Jency Paulin ve Praynlin (2016), güneş panellerinde ortalama ortam ısısı, ortalama panel ısısı, dönüştürücü ortalama ısısı, solar ışınım, rüzgar hızı ve güç çıkışı verilerini girdi olarak kullanarak GY tabanlı YSA'yı eğittikleri karşılaştırmalı bir çalışma ortaya koymuşlardır.

Mashud Rana vd. (2015), farklı YSA yapılarından oluşan bir iteratif ve iteratif olmayan iki farklı yöntemin vermiş olduğu sonuçları karşılaştırarak iteratif olan yöntemin diğerlerine göre yakın sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

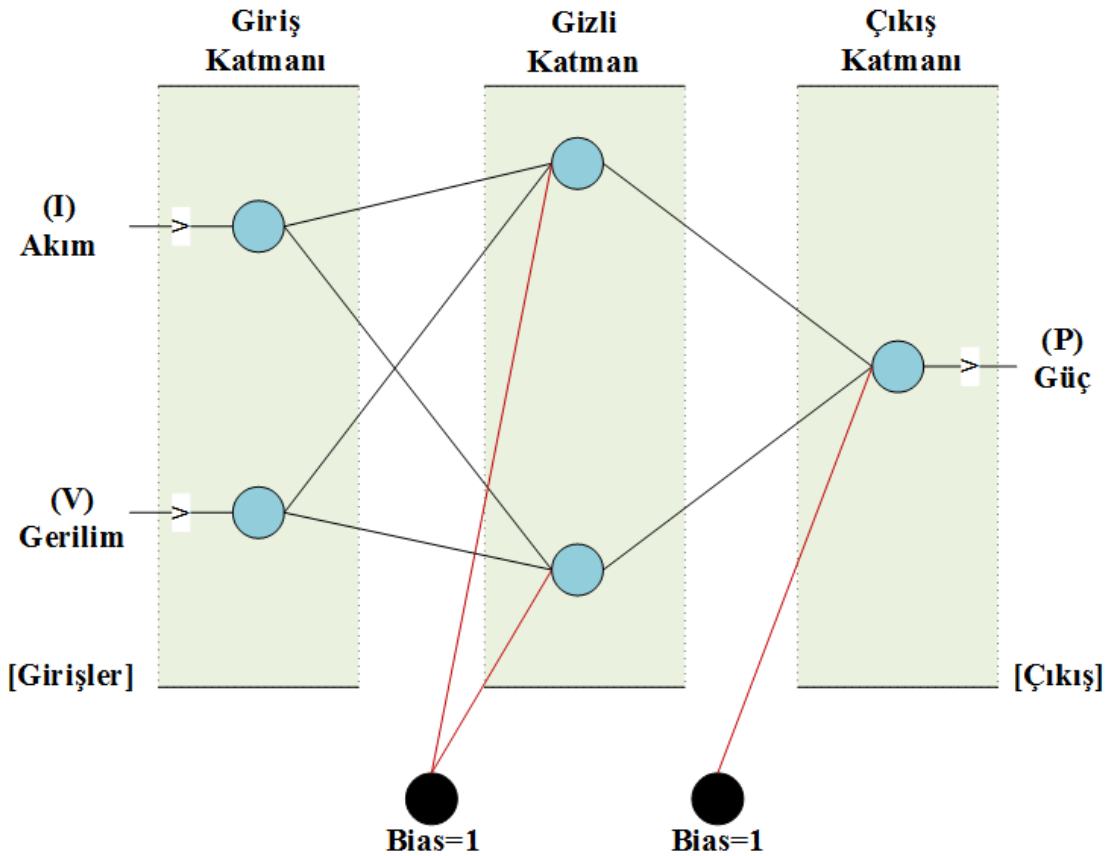
Bu çalışmada ise geriye yayılım gibi klasik algoritmalarından farklı olarak sezgisel yöntemler kullanılarak eğitilen bir YSA modeli ile farklı eğim açalarına ( $10^0, 20^0, 30^0, 40^0, 50^0, 60^0$ ) yerleştirilmiş FV panel güç çıkışlarının, akım ve gerilim değerlerine bağlı bir şekilde aylık olarak tahmin edilmesine yönelik hibrit bir yöntem önerilmiştir. Önerilen bu çalışmada, geriye yayılım algoritması yardımıyla elde edilen güç değerleri

ile PSO ve KSA sezgisel algoritmaları ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmalı değerlendirmesi de yapılmıştır. Ayrıca, yöntemin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkinliği ölçüm yapılan gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ortalama yüzdelik hatanın analizi ile doğrulanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1.Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları insan sinir sisteminin işleyiş yapısını modelleme fikrine dayalı olarak ortaya çıkan ve çok sayıda sinir hücresinin birbirine bağlanarak oluşturduğu öğrenme şeklini referans alan yapay zeka yöntemlerinden birisidir. Bunun yanında sınıflandırma, tahmin yapma, kestirim gibi problemlerde geniş olarak kullanılan etkili ve danışmanlı bir öğrenme metodudur. Günümüzde yapay sinir ağları kullanan sistemler, genellikle çok katmanlı ileri beslemeli ağ modelini ve ağın eğitilmesi için ise geriye yayılım algoritmasını kullanmaktadır (Kou, 2013). Bu çalışmada da, çok katmanlı ileri beslemeli bir ağın ağırlıklarını hem GY hem de sezgisel algoritmalar olan PSO ve KSA yöntemleri ile belirleyen bir YSA yapısı kullanılmıştır. Üç katmanlı ve ileri beslemeli bir YSA' nın temel yapısı Şekil 2.1' de gösterilmiştir.



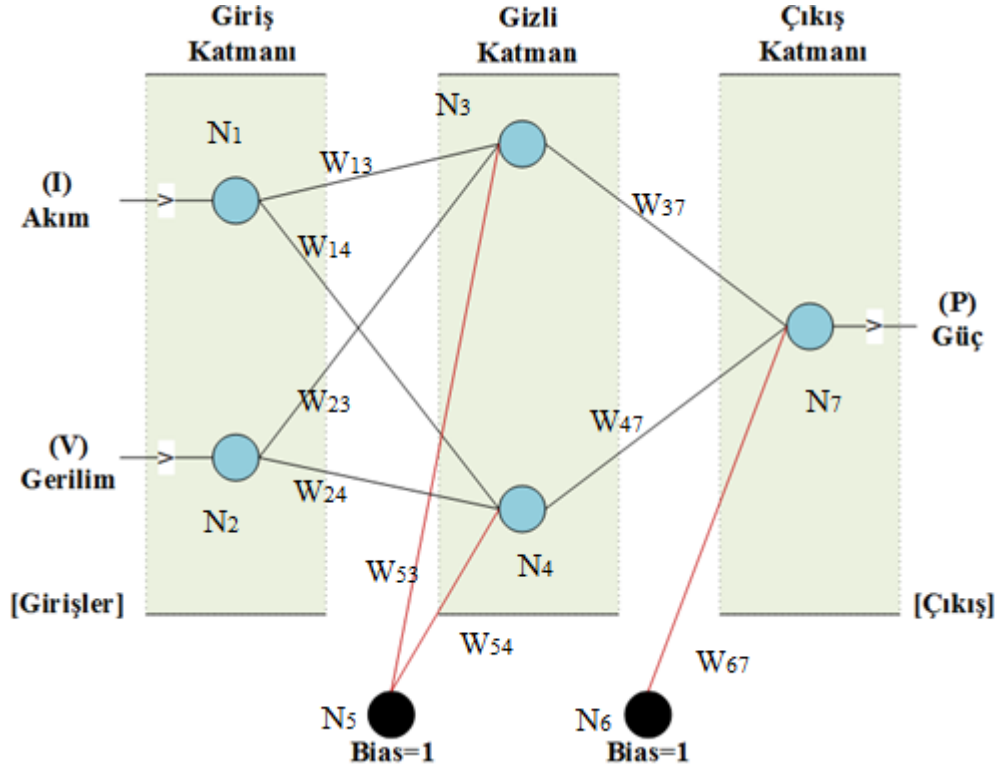
**Şekil 2.1** Çok katmanlı ve ileri beslemeli bir YSA'nın temel yapısı.

Bu çalışmada, önerilen YSA modeli giriş, gizli ve çıkış olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanı akım ve gerilim olmak üzere 2 nörona sahipken, çıkış katmanında ise güç olmak üzere 1 tane nöron bulunmaktadır. Gizli katman ise 3 tane nörona sahiptir. Gizli katmandaki nöron sayısı problemin özelliğine göre değişiklik göstermektedir. Bu problemde ağız gizli katmanında yer alan 3 nöron ile yeterli ve en iyi performansı sağladığı görülmüştür. Eğitim sonrasında V(gerilim) ve A(akım) ağa verildiğinde P(güç çıkışı) tahmin edebilir duruma gelmektedir. Ağız performansı Eşitlik 2.1' de gösterilen Ortalama Kareysel Hataya(MSE) göre hesaplanmıştır. Burada, h değeri i. örüntünün ağa sürülmesi sonrasında oluşan gerçek ve tahmin edilen çıkışlar arasındaki hatadır. N ise eğitim veri kümesindeki veri sayısını göstermektedir.

$$MSE = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N h_i^2 \quad (2.1)$$

Önerilen ağız eğitimi hem GY hem de sezgisel algoritmalar olan PSO ve KSA yöntemleri ile gerçekleştirilmiştir. Ağız eğitim verisi olarak gerçek ölçüm değerleri yapılan akım ve gerilim değerleri her bir ay için gün sayısı kadar verilmiştir. Çıkışta ise ağız her bir algoritma için ayrı ayrı hesaplanmış olduğu güç değerleri elde edilmektedir. Son aşamada ölçümü yapılan gerçek güç değerleri, ağız hesapladığı güç değerleri karşılaştırılarak ağız performansı belirlenmektedir.

Şekil 2.2'de de görüleceği gibi kullanılan 5 düğümlü (N1-N5) YSA modelini eğitmek üzere her üç algoritma da 9 farklı ağırlık değerinin(w1-w9) hesaplanması sağlanmaktadır. Giriş katmanında bulunan Akım ve Gerilim değerlerine her ay için hesaplanan ortalama değerler sunulmaktadır. Çıkış katmanında ise ilgili ay için algoritmalar tarafından tahmin edilen güç değerleri elde edilmektedir.



Sekil 2.2 Yapay Sinir Ağı hücre, bias, ağırlık ve çıkışları.

## 2.2.Geriye Yayılım Algoritması Tabanlı YSA

Geriye yayılım algoritması çok katmanlı YSA yapıları için düzenli olarak kullanılan bir algoritmadır (Kahramanlı, 2008). Bu algoritmanın öğrenme kuralı, çıkıştaki toplam hatanın en küçük düzeyde hesaplanması ile ağırlıklar için en uygun değerlere ulaşmayı hedefler (Karakuzu, 2015). Bu çalışmada, FV panel güç çıkışlarının kestirilmesi ve elde edilen sonuçların sezgisel algoritmalarla bulunan sonuçlarla karşılaştırılması amaçlarıyla geriye yayılım algoritmasından yararlanılmıştır.

Ağa verilen girdilere karşılık, ağı çıktısı hesaplanır. Beklenen çıktı değeri ile hesaplanan çıktı değerleri karşılaştırılarak çıkan hata geriye doğru ilgili bileşenler üzerine dağıtılır. Sonraki iterasyonda hatanın azaltılması sağlanır.

$$\text{Hata} = \text{Beklenen} - \text{Çıktı}$$

olacak şekilde hesaplanır.

Mevcut ağ yapısında öncelikle çıkış katmanı ile ara katman arasındaki ağırlıklar güncellenir. Daha sonra ara katmanlar arası çıkışlar ve en sonunda giriş katmanı ile gizli katman arasındaki ağırlıklar güncellenir.

**Çizelge 2.1** Geriye yayılımın sözde kodlarla ifadesi.

1:	<i>Eğitimi Örüntüsü belirlenir</i>
2:	<i>Yapay Sinir Ağı modeli oluşturulur:</i> <i>Nöron sayısı, Gizli Katman Nöronları, Çıkış Nöronları</i> <i>Öğrenme oranı <math>\eta</math> ve momentum oranı <math>\alpha</math> belirlenir</i>
3:	<i>Rastgele Bağlantı ağırlıkları (<math>W_i</math>) ve bias ağırlıkları <math>\theta_1</math> ve <math>\theta_2</math> belirlenir</i> <i>Minimum hata değeri belirlenir <math>E_{min}</math></i>
4:	<i>Her defasında 1 set girdi örüntüsü uygulayarak katmanlar arasına yayılır ve hata hesaplanır</i> <i>Hata &lt; <math>E_{min}</math> Kontrolü Yapılır</i>
5:	<i>Çıkışta elde edilen hata gizli katman ve giriş katmanı yönünde geriye yayılır ve ağırlıklar güncellenir.</i>
6:	<i>4'ten 5'e adımlar şart sağlanıncaya kadar tekrarlanır</i>

### 2.2.1. İleri hesaplama

Şekil 2.2'deki ağ üzerindeki N3 düğümünün çıkış değeri Eşitlik 2.2 ve Eşitlik 2.3 kullanılarak hesaplanır.

$$N_{3net} = N_1 * W_{13} + N_2 * W_{23} + Bias * W_{53} \quad (2.2)$$

$$Out_{N3} = \frac{1}{1 + e^{-N_{3net}}} \quad (2.3)$$

Modellenen ağ üzerindeki N4 düğümünün çıkış değeri Eşitlik 2.4 ve Eşitlik 2.5 kullanılarak hesaplanır. N5 düğümünün çıkış değeri ise Eşitlik 2.6 ve Eşitlik 2.7 kullanılarak hesaplanır.

$$N_{4net} = N_1 * W_{14} + N_2 * W_{24} + Bias * W_{54} \quad (2.4)$$

$$Out_{N3} = \frac{1}{1 + e^{-N_{4net}}} \quad (2.5)$$

$$N5net = Out_{N3} * W_{37} + Out_{N4} * W_{47} + Bias * W_{67} \quad (2.6)$$

$$Out_{N5} = \frac{1}{1 + e^{-N5net}} \quad (2.7)$$

Eşitlik 2.7’de hesaplanan  $Out_{N5}$  çıkış değeri GY algoritması tarafından hesaplanan güç değerini göstermektedir. Bu aşamadan sonra bu değer ile güneş panelinden ölçülen gerçek güç değerinin arasındaki hata hesaplanacak ve geriye yayılım işletilecektir.

### 2.2.2. Geri hesaplama (yayılım)

İleri hesaplama yapıldıktan sonra çıkışta oluşan hatanın katmanlardaki her bir düğüme yayılması sağlanarak ağırlıklarının güncellenmesi gerekmektedir. Geri hesaplama yapılırken aktivasyon fonksiyonunun (Levenberg-Marquardt) çıkışına ilgili girdinin ne kadar etki ettiğini bulmak için girdiye göre türev işlemi uygulanır.

İleri sürümlü YSA’larda kullanılan  $w$  ağırlıkları her seferinde Eşitlik 2.8’e göre güncellenerek yenilenir. Bu durumda geriye yayılım algoritmasının en önemli noktası  $\Delta w$  değerini hesaplayarak en uygun ağırlığa ulaşmaktır.

$$w_{13}^{yeni} = w_{13}^{eski} + \Delta w_{13} \quad (2.8)$$

Gerçekte hesaplanan güneş panel güç verileri  $g$  ile,  $w$  ağırlıklarıyla elde edilen değer  $y$  ile gösterilirse, en küçük kareler yöntemiyle elde edilecek hata fonksiyonu  $E_r$  Eşitlik 2.9’daki gibi hesaplanır.  $e$  ilgili ileri hesaplamadaki ağırlık hatasını göstermektedir.

$$E_r = \frac{1}{2} e^2 = \frac{1}{2} (g - y)^2 \quad (2.9)$$

Eğim düşümü (gradient) olarak bilinen bu yöntemde, Eşitlik 2.10’da görüldüğü gibi  $w$ ’ye göre kısmi türevin gösterdiği yönün tersi zamanla minimuma varacaktır. Burada  $\eta$  katsayısı 0-1 aralığında öğrenme katsayısını göstermektedir.

$$\Delta w = -\eta \frac{\partial E_r}{\partial w} \quad (2.10)$$



Ağın durdurma kriteri sağlanıncaya kadar belli bir adım sayısınca ağın tüm ağırlıkları Eşitlik 2.8, 2.9 ve 2.10'a göre sürekli olarak güncellenerek, çıkıştaki hata minimuma ulaştırılmaya çalışır. Durdurma kriteri sağlandığında ( $< 0.001$ ), son ağırlıklar ağın ağırlıkları olarak alınır ve ilgili giriş değerlerine göre, çıkıştaki güç değerleri hesaplanır.

### 2.3.Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritması Tabanlı YSA

Bu çalışmada, FV panel güç çıkışlarının tahmin edilmesi için kullanılan YSA modelinin eğitilmesi için kullanılan sezgisel tekniklerden birisi PSO algoritmasıdır. PSO bir sürü zekası alanı algoritması olup işlemsel zekanın bir alt alanıdır (Franklin, 2014). Bu algoritma popülasyon tabanlı sezgisel bir yöntemdir ve kuş, balık gibi bazı hayvanların yiyecek arama sırasında sergiledikleri davranışlardan esinlenmektedir (Dandıl, 2012; Franklin, 2014). PSO algoritmasının amacı, çok boyutlu bir düzlemde tüm parçacıklar için en uygun konumların belirlenmesidir. Algoritma başlangıçta rastgele parçacıklarla başlatılır ve sonra parçacıkların hız ve pozisyonlarının güncellenmesi ile en uygun çözüm aranır. Parçacıklar her nesilde  $Pbest$  ve  $Gbest$  olarak bilinen iki özel parçacığa göre güncellenir (Haykin, 2004). PSO algoritmasının sözde kodları aşağıdaki Çizelge 2.2' de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.2** PSO algoritmasının sözde kodlarla ifadesi.

```

1:   $P$  parçacıklarını rastgele başlat
2:   $P$  içerisinden  $Pbest$ 'i belirle
3:   $P$  içerisinden  $Gbest$ 'i belirle
4:  for (durdurma kriteri sağlanıncaya kadar)
5:    while ( $i=1 : P$ 'deki parçacık sayısı)
6:      If ( $Pbest_i$   $Pbest$ 'ten daha iyi ise)
7:         $Pbest = Pbest_i$ 
8:      end if
9:      If ( $Pbest$   $Gbest$ 'ten daha iyi ise)
10:      $Gbest = Pbest$ 
11:    end if
12:    end while
13:    while ( $i=1 : P$ 'deki parçacık sayısı)
14:       $Velocity_i$  hızları güncelle
15:       $Position_i$  pozisyonları güncelle
16:    end while
17:  end for

```

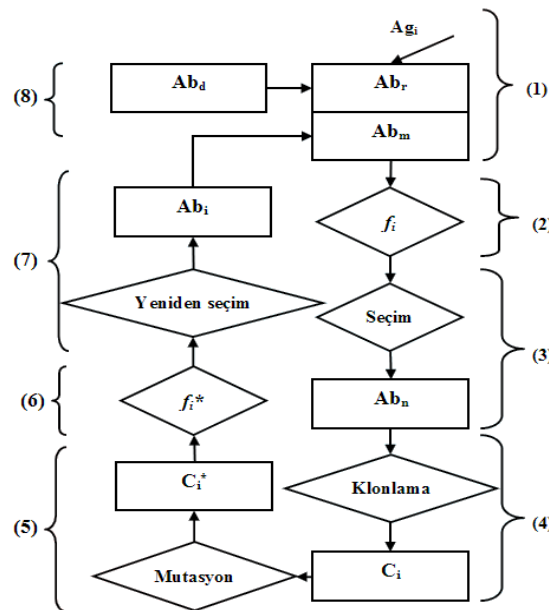
Eşitlik 2.11' de görüldüğü gibi, bir parçacığın hızı her bir iterasyonda aşağıdaki ifade edile güncellenir. Burada,  $v_i(t+1)$  i. parçacık için yeni hız,  $c_1$  ve  $c_2$  sırasıyla  $Pbest$  ve  $Gbest$  için ağırlıklandırma katsayılarıdır.  $p_i(t)$  ve  $p_i(t+1)$  ise bir  $t$  anında sırasıyla i. parçacığın pozisyonu ve yeni pozisyonudur. Bu eşitlikteki  $rand()$  fonksiyonu da 0 ve 1 arasında düzenli olarak rastgele değer üretir. Bir parçacığın pozisyonu ise Eşitlik 2.12'ye göre güncellenir.

$$v_i(t+1) = v_i(t) + c_1 \times rand() \times (Pbest_i - p_i(t)) + c_2 \times rand() \times (Gbest - p_i(t)) \quad (2.11)$$

$$p_i(t+1) = p_i(t) + v_i(t+1) \quad (2.12)$$

#### 2.4. Klonal Seçim Algoritması Tabanlı YSA

Klonal seçim prensibi, bağışıklık sisteminin bir antijenik uyarıma karşı bağışıklık cevabının temel özelliklerini tanımlamak amacıyla kullanılan bir yapay bağışıklık optimizasyon algoritmasıdır (De Castro, 2002). Bu prensibe göre sadece antijenleri tanıyan hücrelerin çoğaldığı görülmektedir. Seçilen hücreler afinite benzerlik olgunlaşması işlemine maruz kalırlar. Bu işlem ile seçilmiş olan hücrelerin antijenlere benzerliği geliştirilmiş olur (Ada, 1987; Gao, 2009). Şekil 2.3' te klonal seçim algoritmasının akış şeması ve işlem adımları gösterilmiştir.



**Sekil 2.3** YBS klonal seçim algoritması akış diyagramı.

Klonal seçim algoritmasının işlem adımları şu şekilde açıklanabilir. Ag antijen kümesini ve Ab antikor kümesini göstermek üzere;

1. Rastgele bir antijen (uyarıcı) kümesi ( $A_{gi}$ ) oluşturulur ve tamamı antikor (bağışıklık sistemi için koruma hücre) kümesinde ( $A_b$ ) temsil edilir. Burada  $A_b = \text{hafıza hücreleri}(A_{bm}) + \text{geriye kalan hücreler}(A_{br}) = A_g$  olduğu görülebilir.
2.  $A_b$  kümesindeki  $N$  tane  $A_b'$  nin tamamının  $A_g$  kümesi ile aradaki afinite (benzerlik-uygunluk) ölçümüne göre hesaplanan uygunluk değerlerinin matrisi ( $f_i$ ) belirlenir.
3.  $A_b$  kümesinden  $n$  tane en yüksek afiniteye sahip  $A_b'$  nin seçilmesi ve  $A_{bn}$  kümesinin oluşturulması sağlanır.
4. Seçilen  $n$  tane  $A_b$  antijenik uygunluklarına göre bağımsız olarak klonlanırlar (yeniden üretilirler) ve klonlanmış hücrelerin bulunduğu küme ( $C_i$ ) oluşturulur. En yüksek antijenik uygunluğa sahip olan hücre daha fazla klonlanır. Klonlama için Eşitlik 2.13 kullanılır. Bu eşitlikte  $N_c$  her bir antijen için toplam klonlanma sayısını,  $\beta$  klonlama faktörünü ve  $N$  toplam antikor sayısını göstermektedir (Klonlama faktörü ile antikor sayısına ait çarpımın tam sayı olmaması durumunda klonlanacak antikor sayısını belirlemek için round/yuvarlama fonksiyonu kullanılmıştır).

$$N_c = \sum_{i=1}^N \text{round}(\beta \cdot N) \quad (2.13)$$

5. Klonlanmış  $C_i$  kümesindeki hücreler antijenik uygunluklarına göre ters orantılı olarak mutasyon işlemine tabii tutulurlar ve mutasyona uğramış hücrelerin bulunduğu kümeyi ( $C_i^*$ ) oluştururlar. En yüksek uygunluğa sahip hücre, en küçük mutasyon oranına sahiptir. Böylece en az değişikliğe uğrayan hücre bu hücredir. Her bir hücre Eşitlik 2.14'teki ifadeye göre mutasyona uğrar. Bu ifadede  $\alpha$  mutasyon oranı,  $\rho$  mutasyon faktörü ve  $f$  ise afinite ölçümleridir (eşitlikte yer alan exp doğal logaritma sayısını ifade eder)

$$\alpha = \exp(-\rho \cdot f) \quad (2.14)$$

6.  $C_i^*$  klonlanmış hücrelerin kümesindeki her bir hücrenin  $A_g$  antijen kümesindeki hücrelerle ilişkili olarak afinite değerleri ( $f_i^*$ ) hesaplanır.

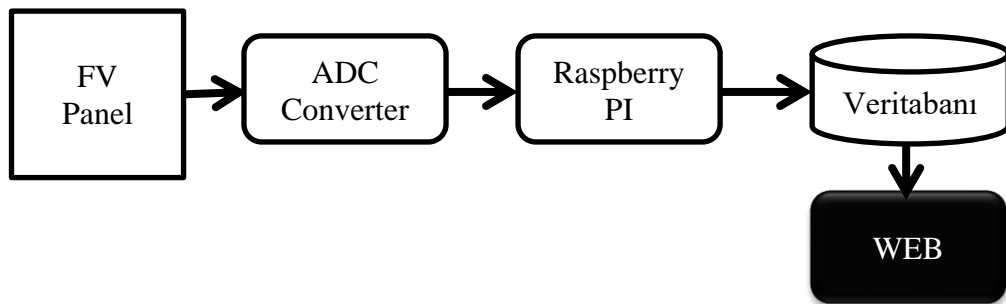
7. Olgunlaşmış  $C_i^*$  kümesinden en yüksek uygunluğa sahip  $A_b$  yeniden seçilir. Eğer bu hücrenin uygunluğu  $A_b$  hafıza hücre kümesindeki aynı sıradaki hücreden daha iyiye yer değiştirilir.
8. Son olarak,  $A_{br}$  den  $d$  tane en düşük uygunluğa sahip hücre  $A_{bd}$  kümesindeki  $d$  tane yeni hücre ile değiştirilir ve çeşitlilik sağlanmış olur.

### 3. DENEYSSEL DÜZENEK VE VERİ SETİ

Bu tez çalışmada kullanılan veriler Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi yerleşkesi içerisinde kurulan ve Şekil 3.1’ de görülen FV panel test düzeneğinden elde edilmiştir (Parmaksız, vd., 2016). Düzeneğe yerleştirilen her bir FV panel Perligh marka ve PLM-100P/12 model olup polikristal yapıya sahiptir. PV paneline ait katalog değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deney düzeneğinde  $10^0, 20^0, 30^0, 40^0, 50^0, 60^0$  olmak üzere farklı eğim açlarına yerleştirilen FV panelin gerilim değerleri gün boyunca ölçülmüştür. Ölçülen analog veriler mikrodenetleyici ile sayısal verilere dönüştürülmüştür. Daha sonra Raspberry Pi kullanılarak sayısal verilerin her 10 dakikada bir ortalaması alınarak saklanması sağlanmıştır. Her bir FV panelden ölçülen gerilim, akım ve güç gibi elektriksel verilerin toplanması, kayıt altına alınması ve analiz çalışmaları Raspberry Pi üzerine kurulu bir web sunucusu sayesinde gerçekleştirilmiştir. Böylece sistemin günün her saatinde takip edilebilmesi olanağı da bulunmaktadır. Fotovoltaik panelden veri toplama işleminin blok diyagramı Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.1 FV panel deney düzeneği (Parmaksız, vd., 2016).



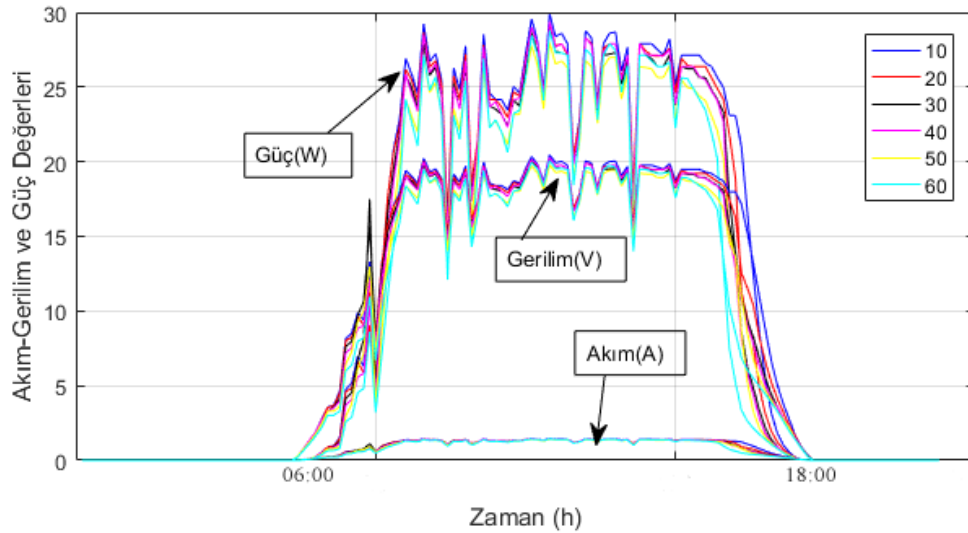
Şekil 3.2 Fotovoltaik panel veri toplama blok diyagramı.

**Çizelge 3.1** FV panel katalog değerleri.

Elektriksel / Mekanik Özellik	Değer
Maksimum panel gücü (Pm)	100 W±%3
Maksimum gerilimi (Vmp)	17.7 V
Maksimum akımı (Imp)	5.65 A
Açık devre gerilimi (Voc)	22 V
Kısa devre akımı (Isc)	6.21 A
Panel verimliliği (%)	15.3
Hücre sayısı	36 (4x9) Adet
Çalışma sıcaklığı	-40 °C...+85 °C

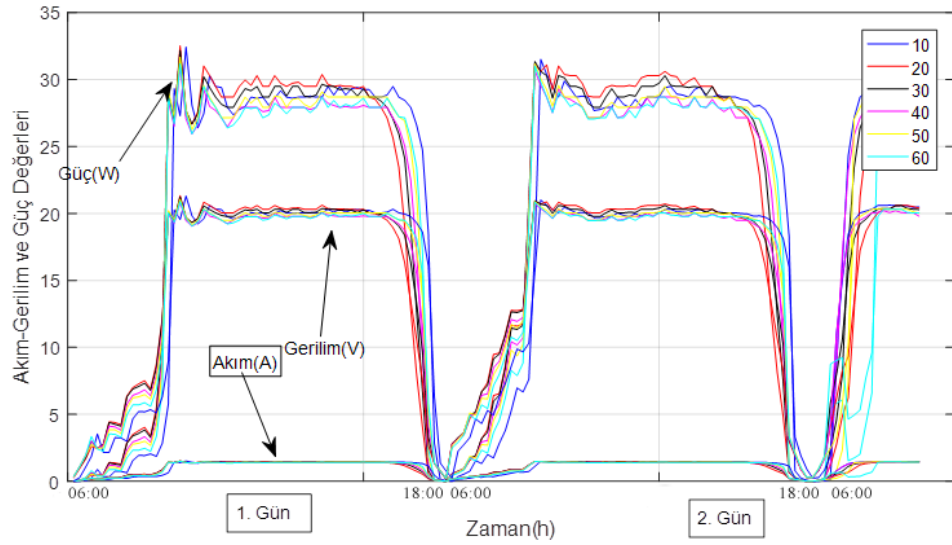
### 3.1. Günlük Panel Verileri

Yatay düzlemde  $10^0$  ile  $60^0$  arasında değişen farklı açılarda konumlandırılmış FV panellerden elde edilen akım, gerilim ve güç verileri Mayıs 2015-Mayıs 2016 tarihleri arasında bir yıl süre ile kaydedilmiş ve izlenmiştir. Şekil 3.3' te farklı açılara yerleştirilen her bir panelden 1 Ağustos 2015 tarihinde bir gün boyunca ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Ağustosun yaz ayı olması nedeniyle akım, gerilim ve güç değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.



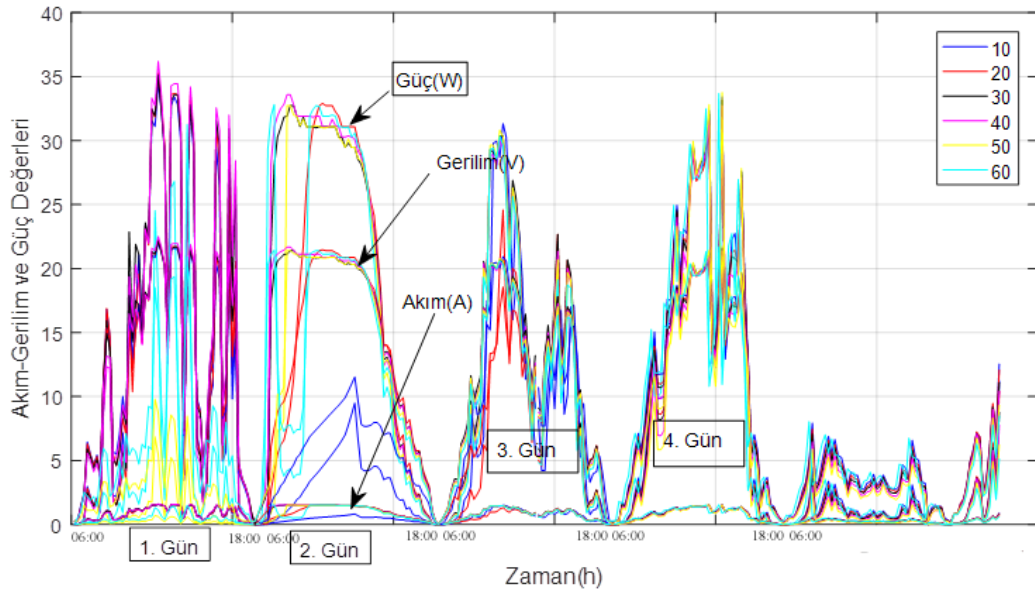
**Şekil 3.3** Ağustos 2015 için her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.

Şekil 3.4'te ise 1-2 Kasım 2015 tarihlerinde gün boyunca ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Kasım ayında güneşli gün sayısının yüksek olması ve güneşin ışınlarının nispeten yüksek açı ile gelmesi nedeniyle, elde edilen panel güç verilerinin yüksek olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.4** Kasım 2015 için her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.

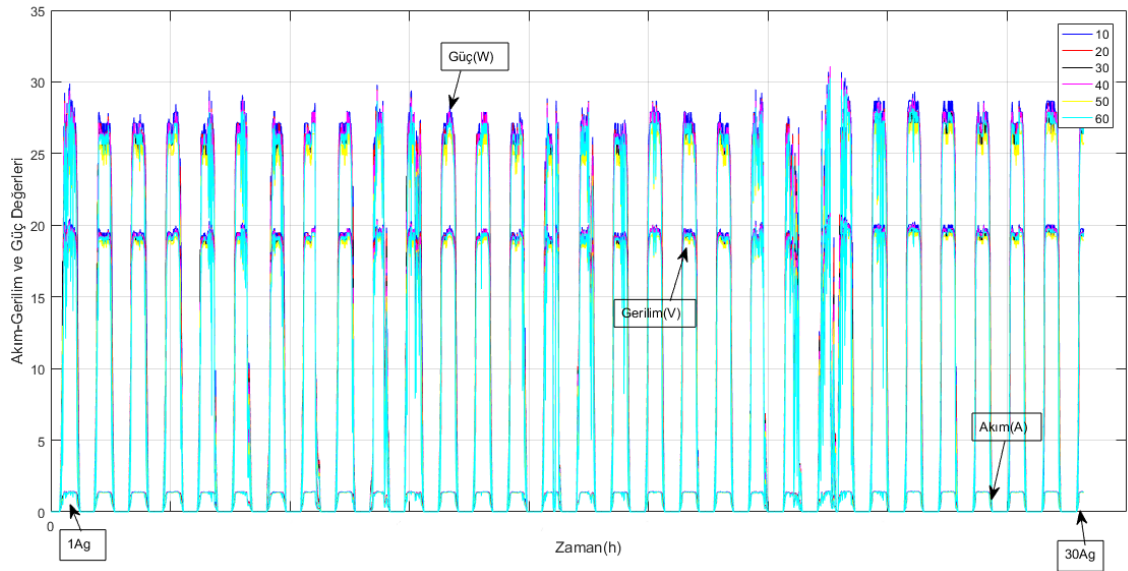
Şekil 3.5' te ise 1-4 Ocak 2017 tarihlerinde gün boyunca ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri görülmektedir. Ocak ayının kış ayı olması, güneş ışınlarının düşük açı ile gelmesi, güneşli gün sayısının az olması ve havaların soğuk olması gibi nedenlerle güneş panellerinden elde edilen güç değerlerinin yaz, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerindeki aylara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Hatta bazı günlerde kar yağışı olmasından dolayı elde edilen güç değerlerinin çok düşük düzeylerde olduğu gözlemlenmektedir.



**Şekil 3.5** Ocak 2015 için her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.

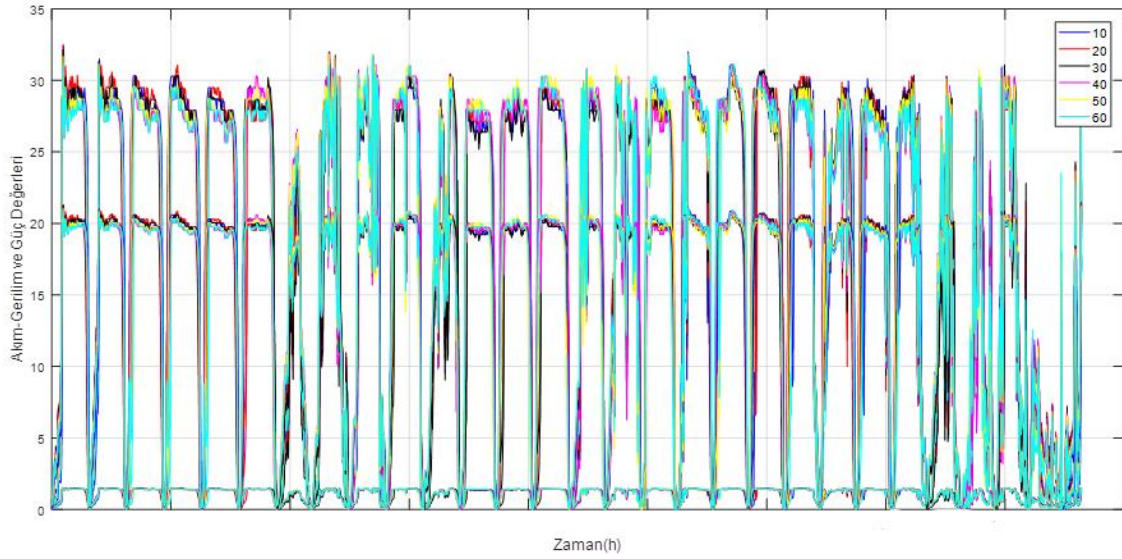
### 3.2. Aylık Panel Verileri

Şekil 3.6’ da Ağustos 2015 için, 6 farklı panelin her birisinden bir ay boyunca deney düzeneğinden elde edilen akım, gerilim ve güç değerleri grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu değerlerden de görüleceği üzere Ağustos ayı için panellerden elde edilen güç değerleri yüksek seviyede seyretmektedir. Şekil 3.7’ de 2015 Kasım ayı boyunca 6 farklı açıda yerleştirilmiş güneş panellerinden elde edilen akım, gerilim ve güç değerleri gösterilmiştir. Kasım ayında elde edilen güç değerlerinin de yaz mevsiminin aylarına benzer olarak yüksek olduğu görülmektedir.



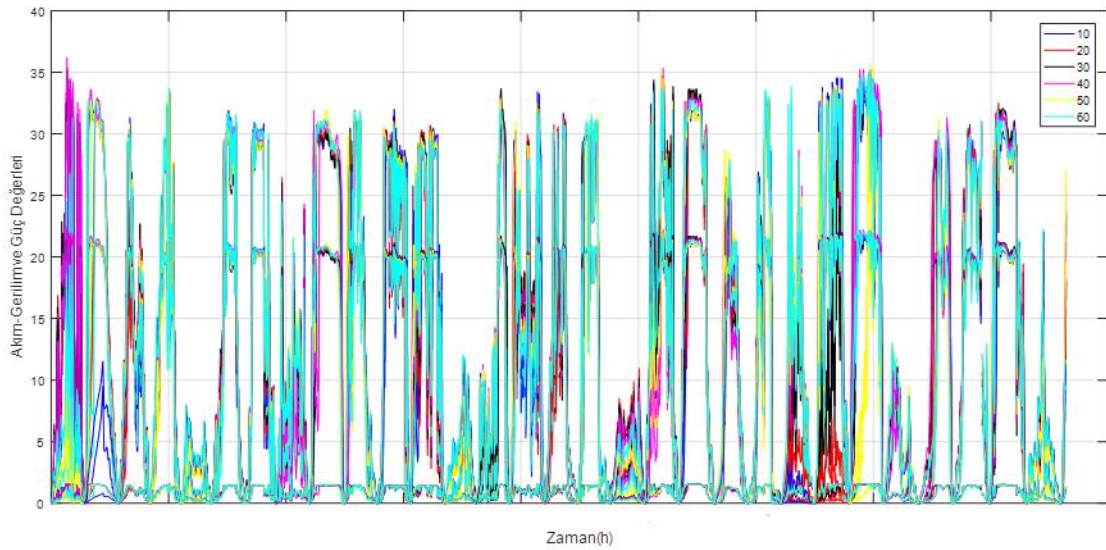
**Şekil 3.6** Ağustos 2015 için yaklaşık bir ay boyunca her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.





**Şekil 3.7** Kasım 2015 için yaklaşık bir ay boyunca her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.

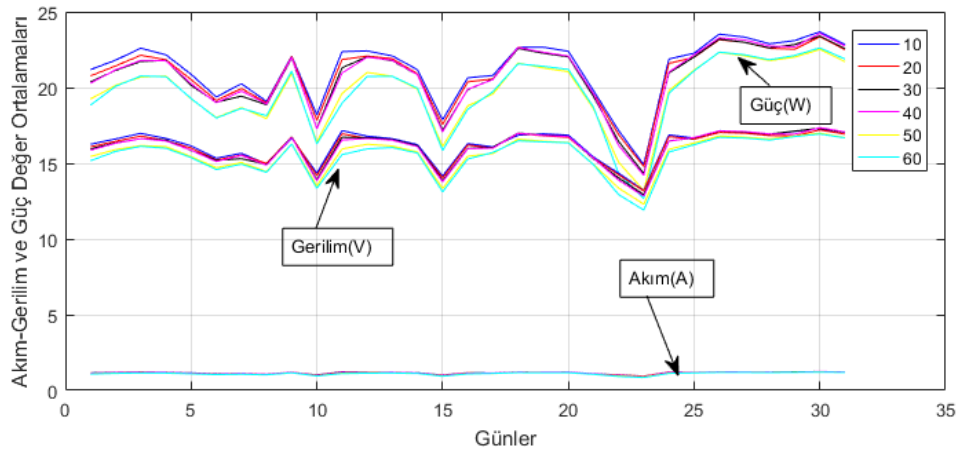
Şekil 3.8’ de ise 2016 Ocak ayı boyunca 6 farklı açıda yerleştirilmiş güneş panellerinden elde edilen akım, gerilim ve güç değerleri gösterilmiştir. Ocak ayının kış ayı olması nedeniyle elde edilen güç değerlerinin düşük olduğu, hatta bazı günlerde sifıra yaklaştığı görülmektedir.



**Şekil 3.8** Ocak 2016 için yaklaşık bir ay boyunca her bir panelden ölçülen akım, gerilim ve güç değerleri.

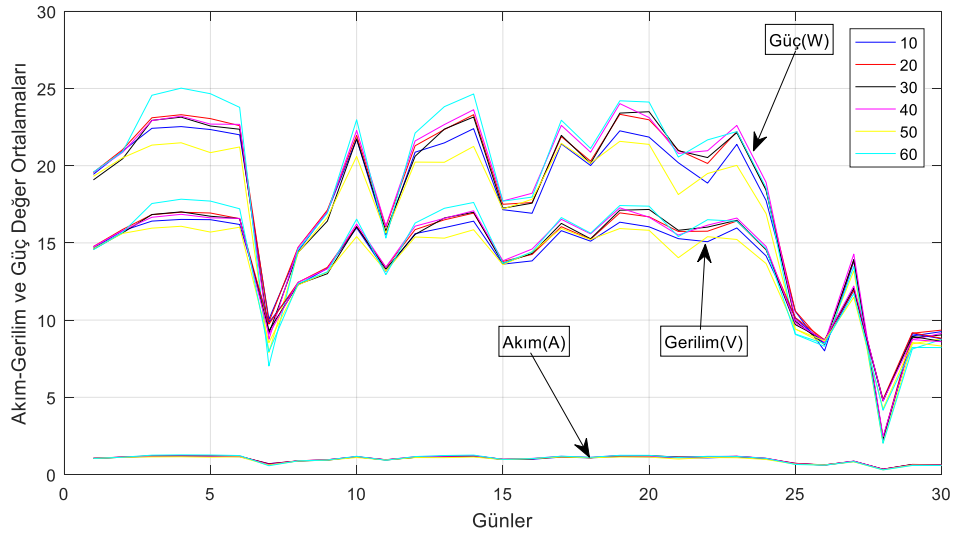
### 3.3. Ortalama Aylık Panel Verileri

Deneysel düzenedekten alınan veriler, ağın eğitimi için kullanılmadan önce indirgeme işlemi yapılmıştır. Özellikle aydınlanma süreleri farklı olan yaz ve kış ayları için farklı olacak örnekleme sayıları, günün aynı saat dilimlerinde  $06^{00}$ - $18^{00}$  arasına eşitlenmiş ve ağın eğitimi için günlük aynı örnekleme sayısı elde edilmiştir. Bu çalışmada aylık olarak FV panel güç çıkışlarının tahmini yapıldığı için, her ayın her günü için ilgili saat aralıklarında ölçülen akım ve gerilim değerlerinin günlük ortalama değerleri hesaplanarak aylık ölçümler elde edilmiştir. Şekil 3.9’ da Ağustos 2015 için  $06^{00}$ - $18^{00}$  arasında gün boyunca ortalamaları alınan akım, gerilim ve güç değerleri gösterilmektedir. Ağustosun yaz ayı olması, güneşli gün sayısının fazla olması ve güneş ışınlarının daha dik gelmesi ile üretilen akım, gerilim ve hesaplanan güç değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir.



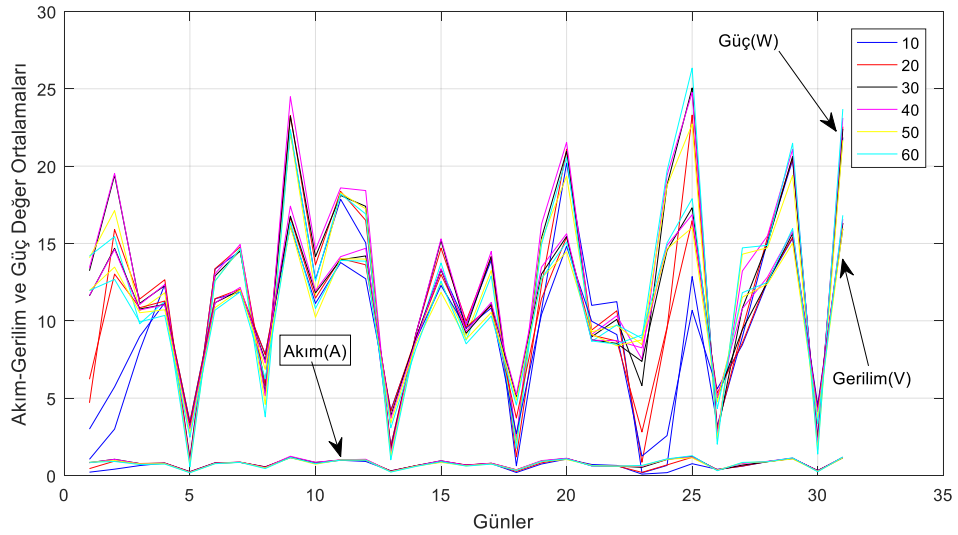
Şekil 3.9 Ağustos 2015 için ortalama akım, gerilim ve güç değerleri.

Şekil 3.10’ da ise Kasım 2015 ayı için ortalama akım, gerilim ve güç değerlerinin grafikleri gösterilmiştir. Kasım ayının sonbahar olması, havaların soğuması, güneş ışınlarının geliş açılarının değişmesiyle birlikte panellerden üretilen akım, gerilim ve elde edilen güç değerlerinin yavaş yavaş azalmaya başladığı görülmektedir.



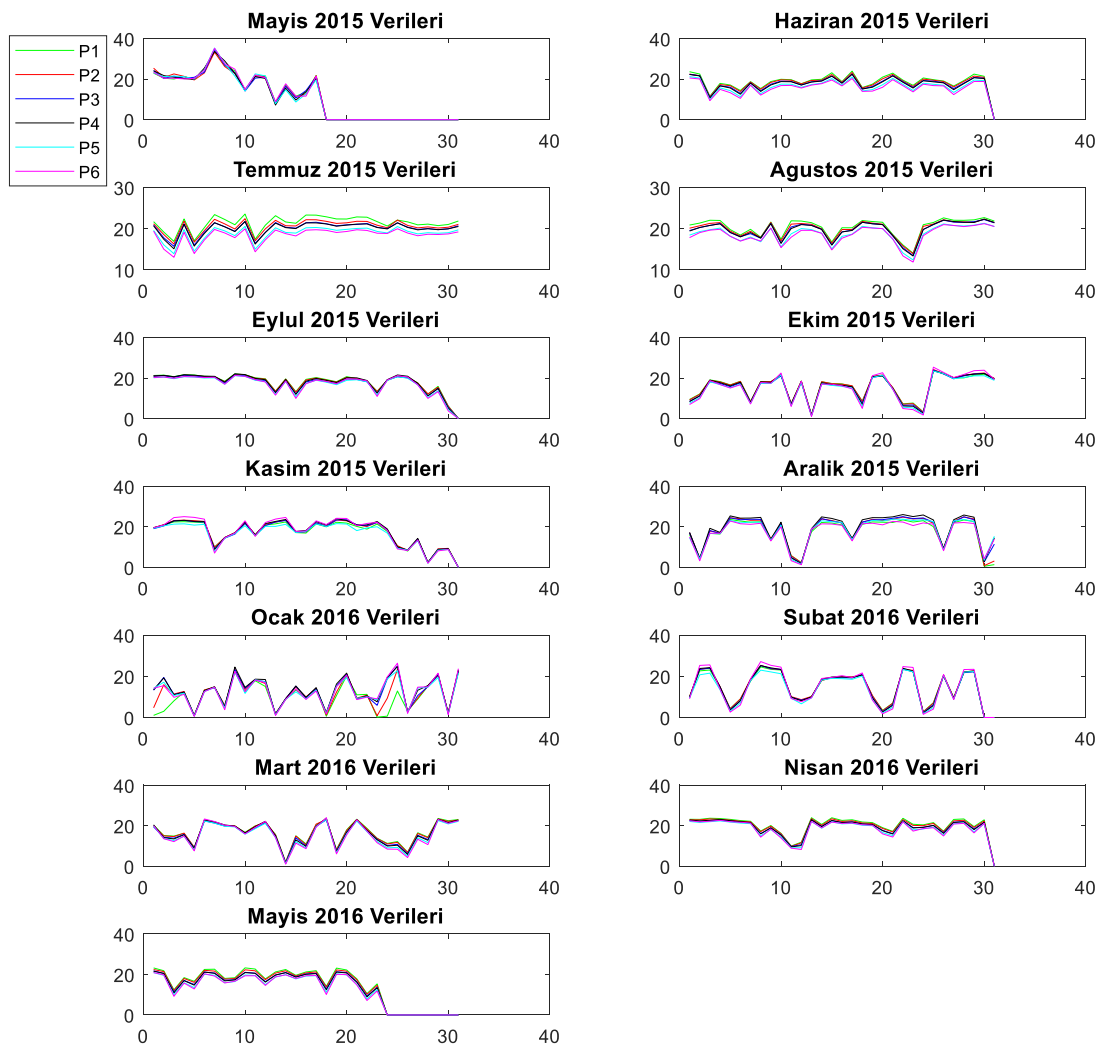
**Şekil 3.10** Kasım 2015 ortalama akım, gerilim ve güç değerleri.

Şekil 3.11’de ise Ocak 2016 ayı için ortalama akım, gerilim ve güç değerlerinin grafikleri gösterilmiştir. Ocak ayının kış ayı olması, havaların soğuması, güneş ışınlarının geliş açılarının düşmesi ve güneşli gün sayısının azalmasıyla birlikte panellerden üretilen akım, gerilim ve elde edilen güç değerlerinin oldukça azaldığı görülmektedir. Grafiklerden de görüleceği üzere bazı günlerde elde edilen güç değerlerinin neredeyse sıfıra yaklaşmaktadır.



**Şekil 3.11** Ocak 2016 ortalama akım, gerilim ve güç değerleri.

Tüm aylar için  $06^{00}$ - $18^{00}$  arasında gün boyunca elde edilen ortalama güç verilerine ait örüntü grafikleri Şekil 3.12’ de gösterilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde; güç eğrilerinin benzer eğilimler gösterdikleri, fakat açısallara göre nicelik farklarının ortaya çıktığı görülmektedir. Aynı zamanda mevsimsel değişimlere bağlı güneşin konum ve hareketinde meydana gelen değişikliklerinde paneller üzerinde ortaya çıkardığı üretim farklılıkları görülebilmektedir. Grafiğe bakılarak mevsimlere bağlı olarak panellerde yapılacak açısall adaptasyonların, verimi artırma yönünde pozitif etki edeceği kanısına da varılabilmektedir.



Şekil 3.12 Tüm aylara ait ortalama güç örüntülerine ait grafikler.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Önerilen çalışma üzerindeki tüm deneyler YSA tahmin modeli üzerinde yürütülmüştür. Ayrıca tüm işlemler ve yazılımlar i7 işlemcili Windows 10 işletim sistemine sahip bir kişisel bilgisayarda MATLAB 9.1 programı üzerinde gerçekleştirilmiştir.

### 4.1. Parametre Seçimleri

Çalışmada kullanılan çok katmanlı YSA yapısında toplam 9 adet ağırlık değerinin GY, PSO ve KSA algoritmaları ile belirlenmesi sağlanmıştır. Ağın eğitimi sırasında ilk ağırlık değerleri rastgele belirlenir. Katmanlar arasındaki bu ağırlıklar her bir algoritmanın yapısına göre minimum hata ile son değerlerine ulaştırılır. Ağın çıkış güç değerlerinin kestirilmesi esnasında her bir algoritma 30 defa çalıştırılarak, her bir çalıştırmada elde edilen sonuçların ortalaması alınarak, son FV panel güç çıkış değerleri elde edilmiştir.

PSO algoritmasında parçacık sayısı, maksimum nesil sayısı sırasıyla 30 ve 200 olarak; c1 ve c2 sabit katsayıları ise 2.0 olarak ayarlanmıştır. Klonal seçim algoritmasında maksimum nesil sayısı, antikor sayısı, klonlama faktörü ve mutasyon faktörü sırasıyla 200, 30, 0.1 ve 0.5 olarak belirlenmiştir. Geriye yayılım algoritmasında epok sayısı 200 olarak alınmıştır.

### 4.2. Ölçüm Doğrulama Kriterleri

Ölçüm sonuçlarının doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan üç popüler kriter Ortalama Mutlak Yüzde Hata(MAPE), Ortalama Karesel Hataların Karekökü(RMSE) ve Varyans ( $R^2$ )'dir. Bu üç istatistiksel kriter Eşitlik (4.1), Eşitlik (4.2) ve Eşitlik (4.3)' de gösterilmiştir. Bu kriterler önerilen YSA modeli üzerinde her bir algoritma kullanılarak tahmin edilen güç değerleri ile ölçümü yapılan gerçek güç değerleri arasındaki ilişkiyi gösterir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_i(\text{tahmin edilen}) - F_i(\text{gerçek}))^2}{n}} \quad (4.1)$$

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n |F_i(\text{tahmin edilen}) - F_i(\text{gerçek})|}{n} \quad (4.2)$$

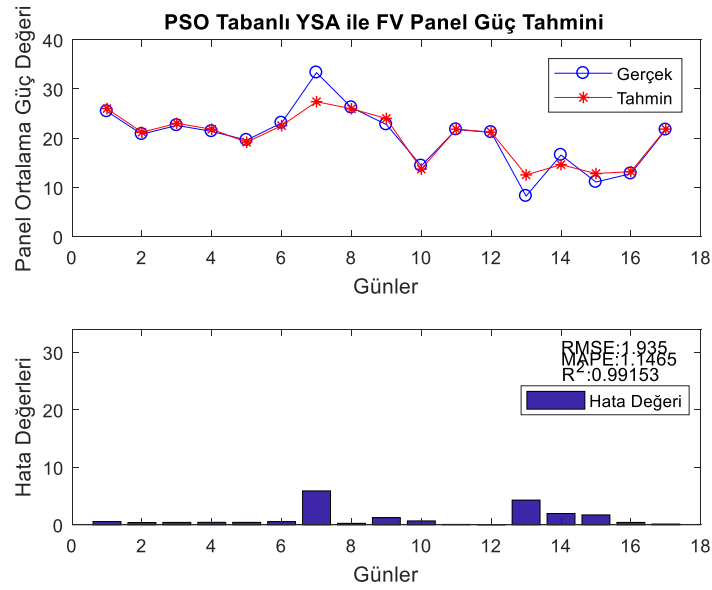
$$R^2 = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n |F_i(\text{tahmin edilen}) - F_i(\text{gerçek})|^2}{\sum_{i=1}^n (F_i(\text{gerçek}))^2} \right) \quad (4.3)$$

### 4.3. Bulgular

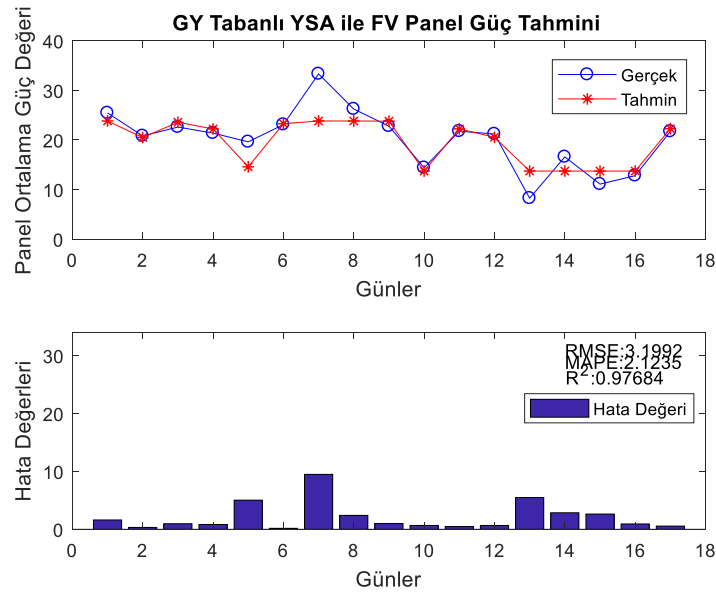
Mayıs 2015 ve Mayıs 2016 ayları arasında, her bir panelden her bir algoritma kullanılarak elde edilen FV panel güç çıkışlarının ölçüm kriterlerine göre ayrıntılı olarak karşılaştırması sırasıyla Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10, Çizelge 4.11, 4.12 ve Çizelge 4.13'te sunulmuştur. Bu ayrıntılı tablolardan da görüldüğü gibi, her ölçüm kriterinde de en iyi sonuçlar genel olarak sezgisel bir yöntem olan PSO algoritması ile eğitim yapılan YSA modelinde elde edilmiştir. Diğer bir sezgisel teknik olan KSA algoritması ile elde edilen sonuçlar ise, bazı ayların bazı açılarındaki panellerinde yüksek olsa da genellikle diğer iki algoritmaya göre daha düşüktür. Bazı tahmin sonuçlarında ise GY ile eğitilen YSA yapısının sonuçlarının PSO ile elde edilen doğrulama kriterleri değerlerine yüksek veya yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu görülmüştür.

#### 4.3.1. 2015 Mayıs ayı panel güç tahmin sonuçları

Bu tez çalışmasında önerilen yöntem ile geriye yayılım algoritması ve iki farklı sezgisel algoritma olan PSO ve KSA yöntemleri yardımıyla eğitilen YSA modelleri kullanılarak güneş panel güç çıkışlarının tahmin edilmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1'de 2015 Mayıs ayında, toplamda 18 gün için 50<sup>o</sup>'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA hibrit metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 1.935, 1.1465 ve 0.9915'tir.



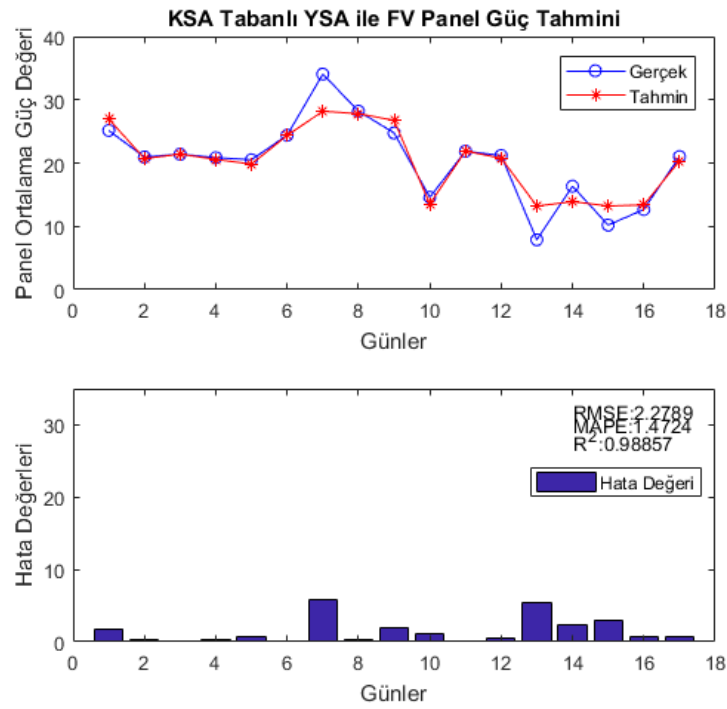
**Şekil 4.1** 50°'lik panel için 2015 Mayıs ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.



**Şekil 4.2** 50°'lik panel için 2015 Mayıs ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.2' de 2015 Mayıs ayında, toplamda 18 gün için 50°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de

görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 3.1992, 2.1235 ve 0.9768'dir. Şekil 4.3' te 2015 Mayıs ayında, toplamda 18 gün için 50<sup>o</sup>lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 2.2789, 1.4724ve 0.9886'dır.



**Şekil 4.3** 50<sup>o</sup>lik panel için 2015 Mayıs ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.1'de ise 2015 Mayıs ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Yine bu tablodan bazı panel açı değerlerindeki test verilerinin tahmin edilmesinde KSA-YSA ve GY-YSA yöntemlerinin daha başarılı olduğu görülebilmektedir.

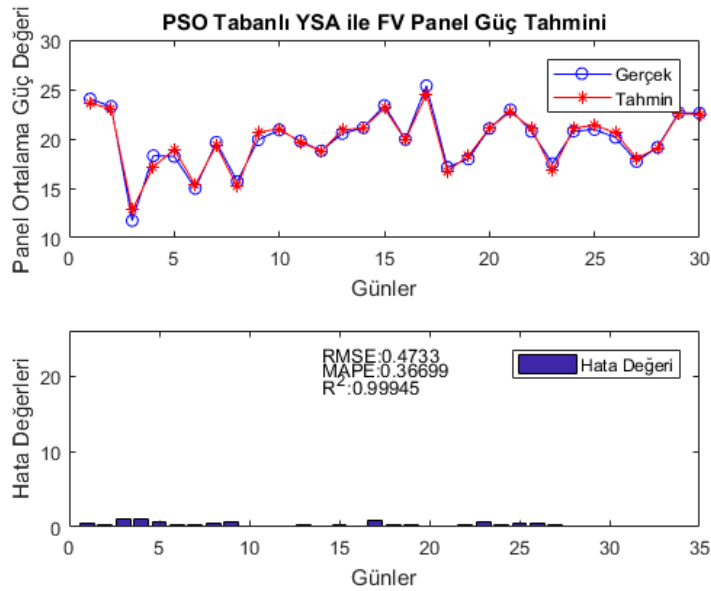


**Çizelge 4.1** Mayıs 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	2.8779	0.9372	4.0358	1.46	2.3475	3.4876	2.2122	1.2087	2.9627	2.6456	1.7307	3.2915	1.935	3.1992	2.2789	2.435	3.3804	1.95
MAPE	1.7388	0.5522	3.2527	0.9228	1.2743	2.0102	1.2632	0.772	1.926	1.2738	0.9072	2.933	1.1465	2.1235	1.4724	1.4416	1.9807	1.1949
R <sup>2</sup>	0.9847	0.9984	0.9699	0.9952	0.9875	0.9761	0.9901	0.997	0.9822	0.9861	0.9941	0.9785	0.9915	0.9768	0.9886	0.987	0.9735	0.9912

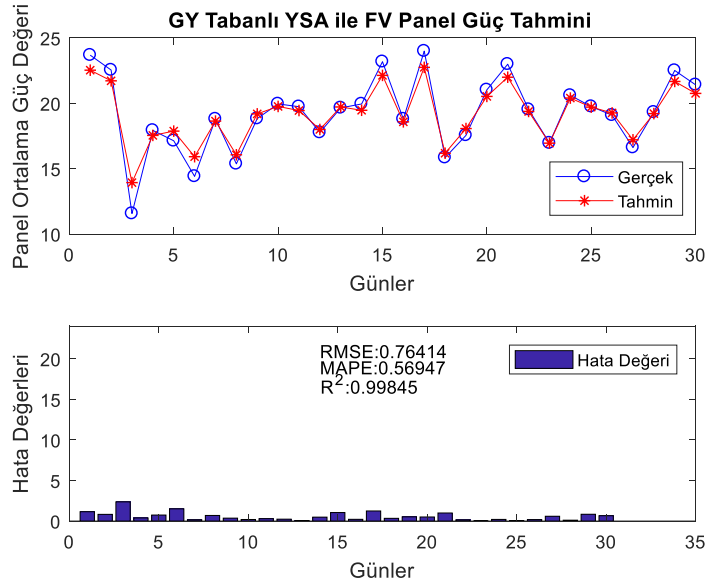
#### 4.3.2. 2015 Haziran ayı panel güç tahmin sonuçları

Şekil 4.4' te 2015 Haziran ayında 10°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.4733, 0.367 ve 0.9994'tür.



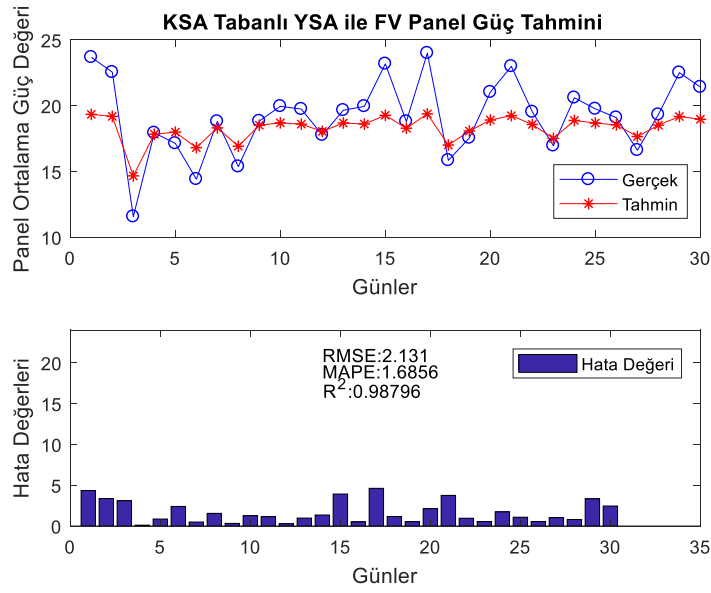
**Şekil 4.4** 10°'lik panel için 2015 Haziran ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.5’ te 2015 Haziran ayında 10<sup>o</sup>’lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.7641, 0.5695 ve 0.9985’dir.



**Şekil 4.5** 10<sup>o</sup>’lik panel için 2015 Haziran ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.6’ da ise 2015 Haziran ayında 10<sup>o</sup>’lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 2.131, 1.6856 ve 0.9880 olup, oldukça yüksek hataları ifade etmektedir.



**Şekil 4.6** 10°'lik panel için 2015 Haziran ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

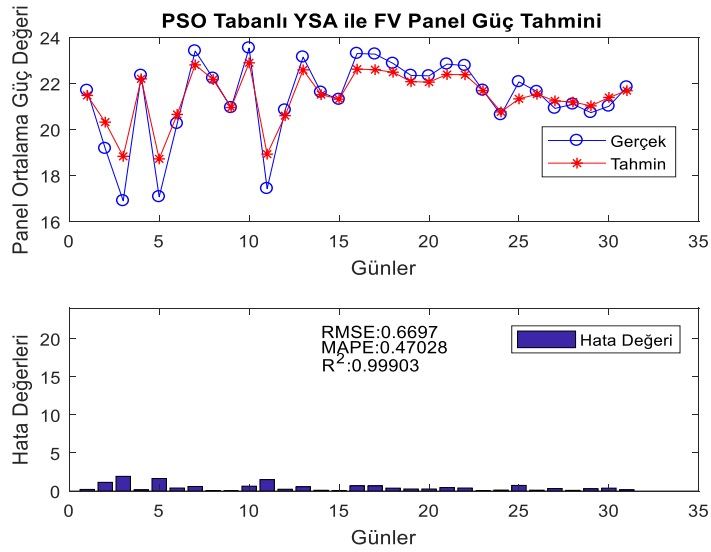
Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.2'de ise 2015 Haziran ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bazı testlerde ise GY-YSA'nın PSO-YSA sonuçlarına yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu gözle çarpmaktadır.

**Çizelge 4.2** Haziran 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	<b>0.4733</b>	0.7641	2.131	<b>0.4236</b>	0.5072	0.7887	<b>0.68</b>	0.9776	1.9834	<b>0.5592</b>	<b>0.5571</b>	1.2603	<b>0.4629</b>	<b>0.4326</b>	1.224	0.6144	<b>0.4481</b>	1.7285
MAPE	<b>0.367</b>	0.5695	1.6856	<b>0.3401</b>	0.4144	0.5954	<b>0.5121</b>	0.7879	1.5216	<b>0.4077</b>	<b>0.3486</b>	0.7749	<b>0.3777</b>	<b>0.3074</b>	1.0383	0.5008	<b>0.3287</b>	1.4241
R <sup>2</sup>	<b>0.9994</b>	0.9997	0.9880	<b>0.9995</b>	0.9993	0.9984	<b>0.9987</b>	0.9772	0.9893	<b>0.9991</b>	<b>0.9990</b>	0.9956	<b>0.9993</b>	<b>0.9994</b>	0.9953	0.9987	<b>0.9993</b>	0.99

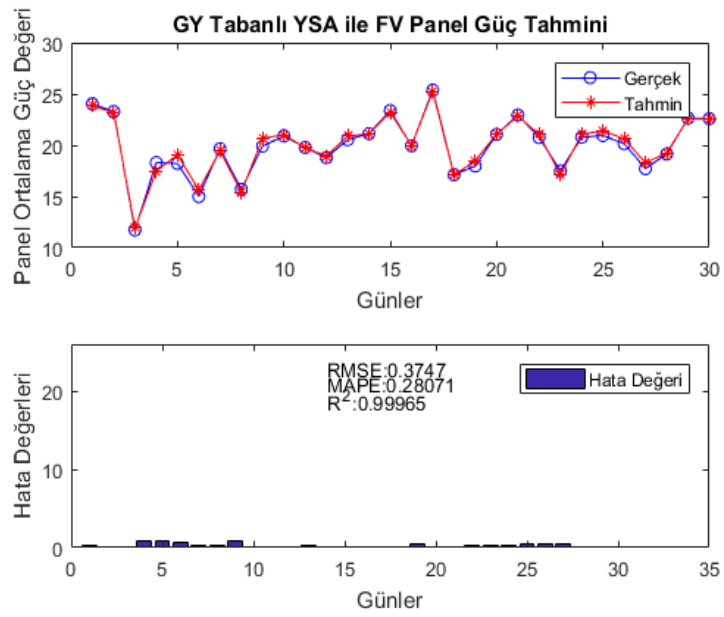
### 4.3.3. 2015 Temmuz ayı panel güç tahmin sonuçları

Şekil 4.7’ de 2015 Temmuz ayında 10<sup>0</sup>’lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.6697, 0.4702 ve 0.9990’tür.

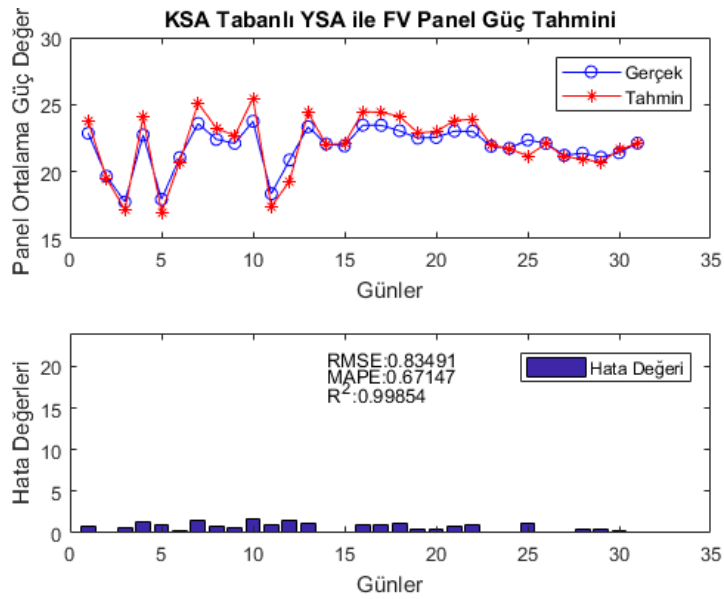


**Şekil 4.7** 10<sup>0</sup>’lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.8’ de ise 2015 Temmuz ayında 10<sup>0</sup>’lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.3747, 0.2807 ve 0.9997’dir.



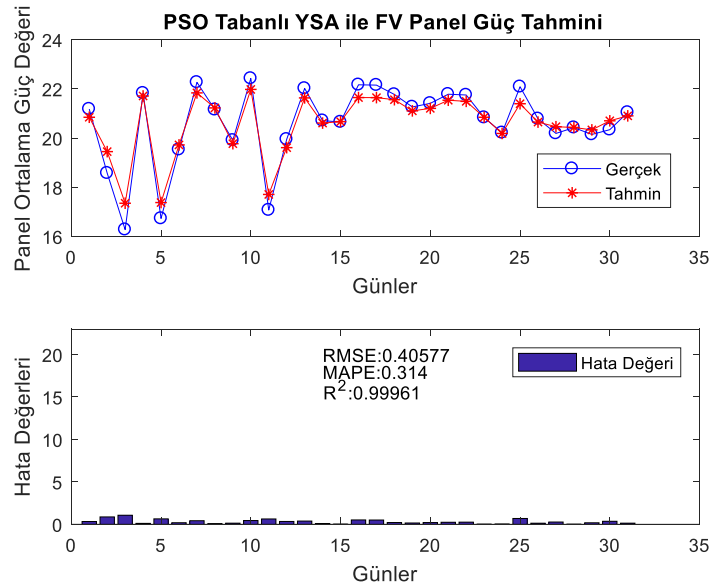
**Şekil 4.8** 10<sup>0</sup>'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.



**Şekil 4.9** 10<sup>0</sup>'lik panel için 2015 Haziran ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

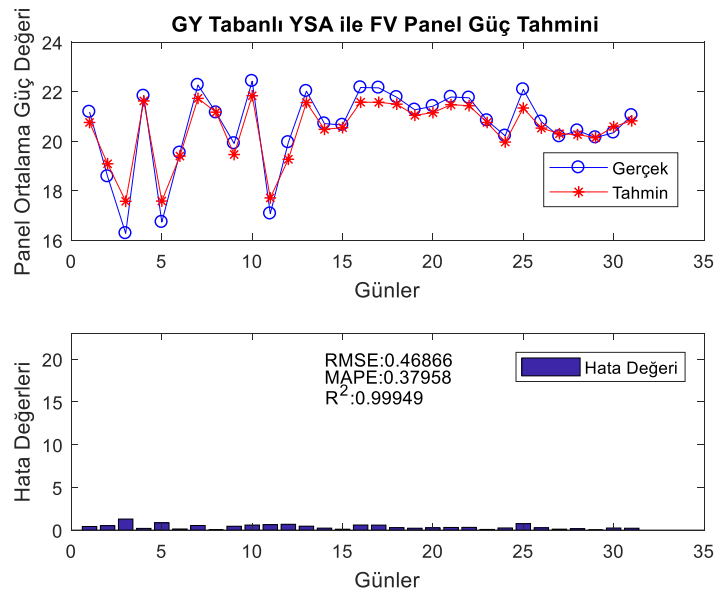
Şekil 4.9' da ise 2015 Temmuz ayında 10<sup>0</sup>'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata

değerleri sırasıyla 0.8349, 0.6714 ve 0.9885'tir. Şekil 4.10' da 2015 Temmuz ayında 20°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.4058, 0.314 ve 0.9996'dır.

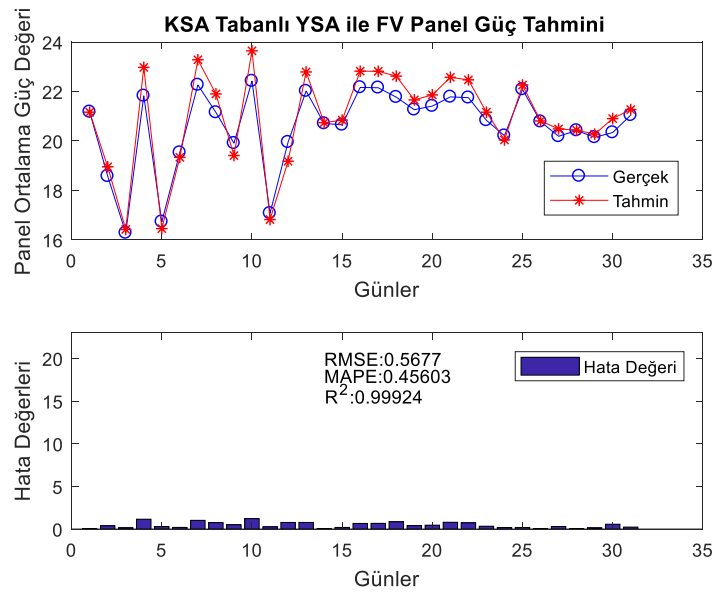


**Şekil 4.10** 20°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.11' de ise 2015 Temmuz ayında 20°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.4687, 0.3796 ve 0.9995'tir.



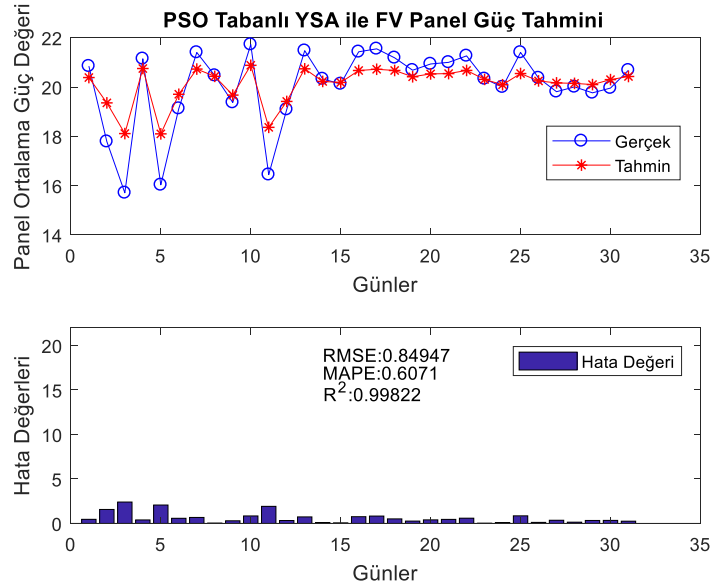
**Şekil 4.11** 20°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.



**Şekil 4.12** 20°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.12' de ise 2015 Temmuz ayında 20°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata

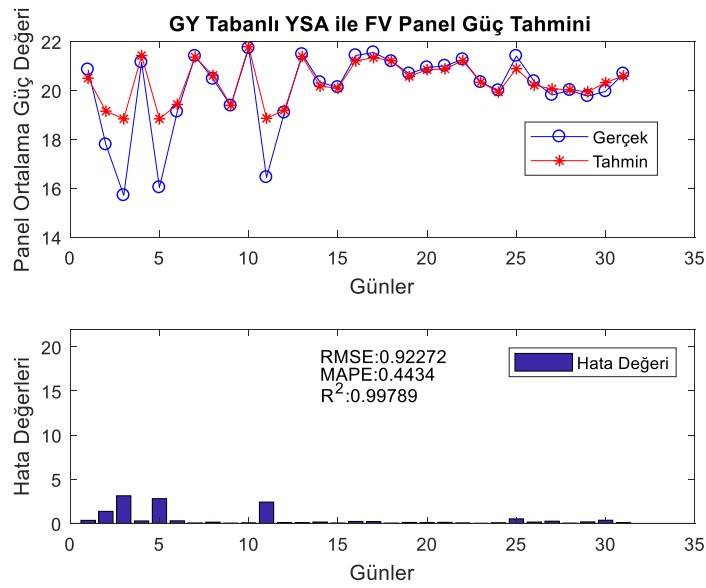
değerleri sırasıyla 0.5677, 0.4660 ve 0.9992'dir. Şekil 4.13' te 2015 Temmuz ayında 30°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.8494, 0.6071 ve 0.9982'dir.



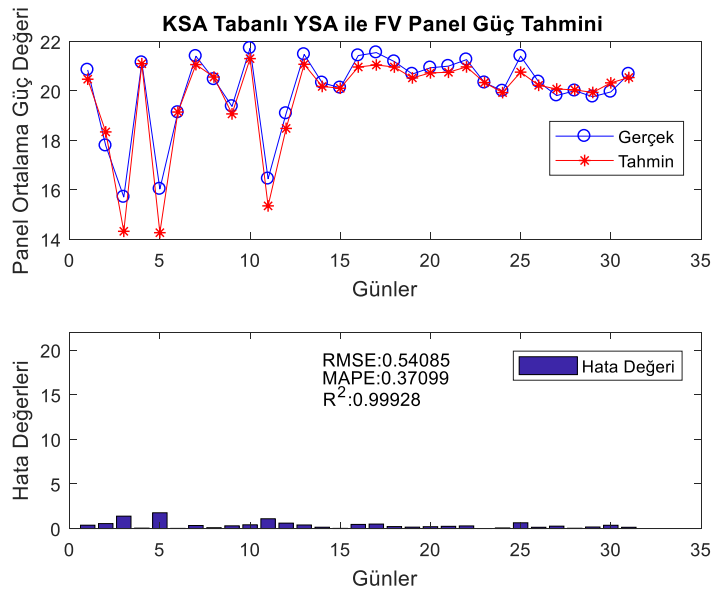
**Şekil 4.13** 30°'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.14' te ise 2015 Temmuz ayında 30°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.9227, 0.4434 ve 0.9979'dur.





**Şekil 4.14** 30<sup>o</sup>'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.



**Şekil 4.15** 30<sup>o</sup>'lik panel için 2015 Temmuz ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.15' te ise 2015 Temmuz ayında 30<sup>o</sup>'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata

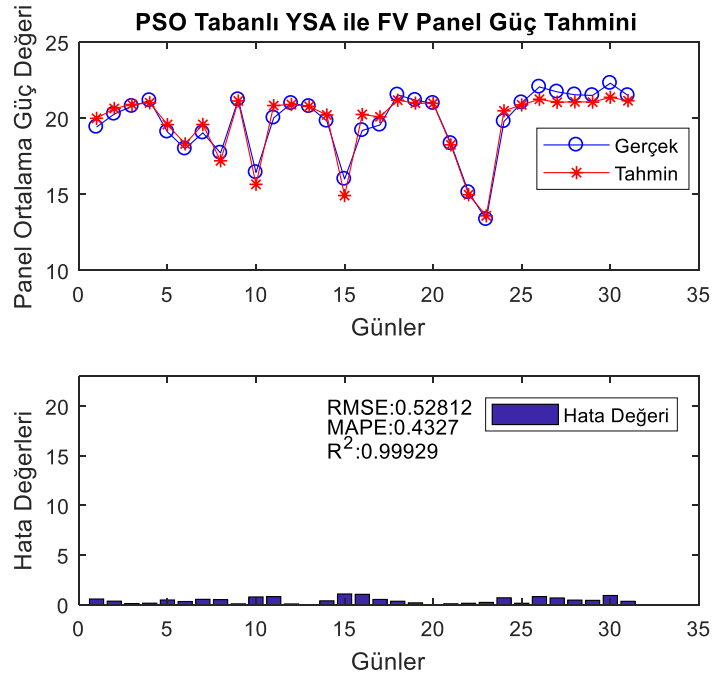
değerleri sırasıyla 0.5408, 0.3710 ve 0.9992'dir. Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının PSO-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.3'te ise 2015 Temmuz ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bazı testlerde ise GY-YSA'nın PSO-YSA sonuçlarına yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu göze çarpmaktadır.

**Çizelge 4.3** Temmuz 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

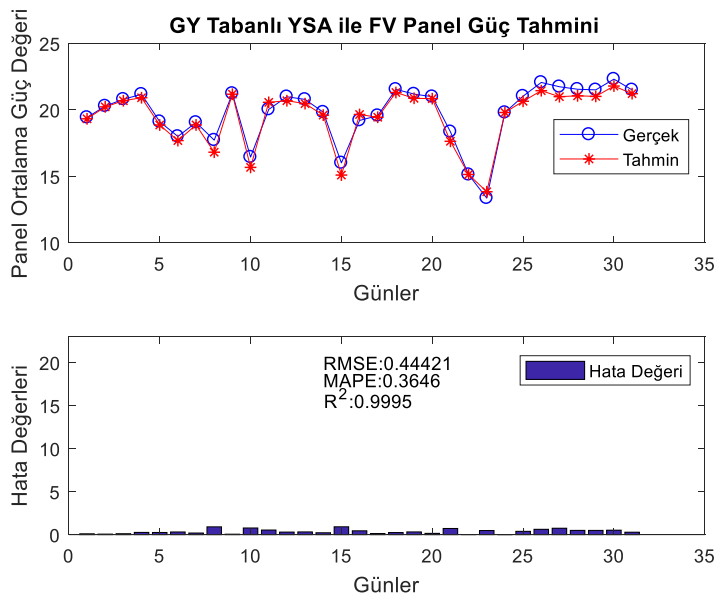
	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	0.4733	0.7641	2.131	0.4236	0.5072	0.7887	0.68	0.9776	1.9834	0.5592	0.5571	1.2603	0.4629	0.4326	1.224	0.6144	0.4481	1.7285
MAPE	0.367	0.5695	1.6856	0.3401	0.4144	0.5954	0.5121	0.7879	1.5216	0.4077	0.3486	0.7749	0.3777	0.3074	1.0383	0.5008	0.3287	1.4241
$R^2$	0.9994	0.9997	0.9880	0.9995	0.9993	0.9984	0.9987	0.9772	0.9893	0.9991	0.9990	0.9956	0.9993	0.9994	0.9953	0.9987	0.9993	0.99

#### 4.3.4. 2015 Ağustos ayı panel güç tahmin sonuçları

Şekil 4.16' da 2015 Ağustos ayında 40°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.5281, 0.4327 ve 0.9992'dir.



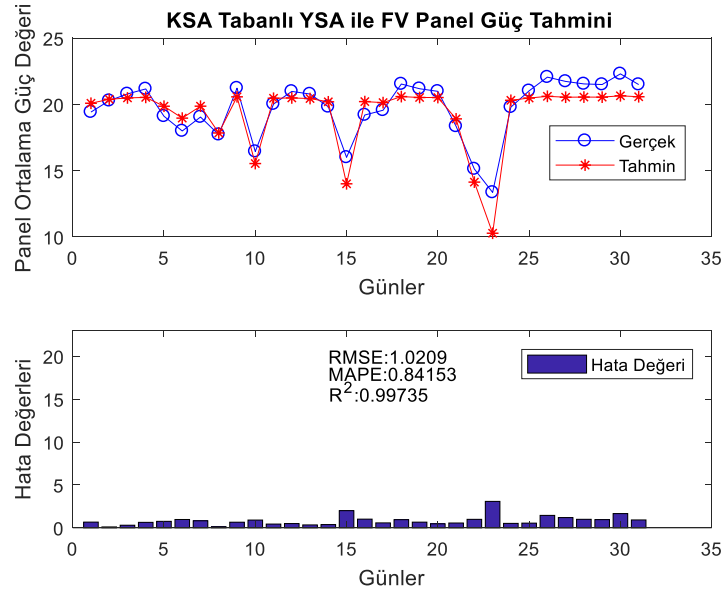
**Şekil 4.16** 40<sup>o</sup>lık panel için 2015 Ağustos ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.



**Şekil 4.17** 40<sup>o</sup>lık panel için 2015 Ağustos ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.17' de ise 2015 Ağustos ayında 40<sup>o</sup>lık panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm

sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.4442, 0.3646 ve 0.9995'tir. Şekil 4.18' de ise 2015 Ağustos ayında 40'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 1.0209, 0.8415 ve 0.9973 olup oldukça yüksek hata değerleridir.



**Şekil 4.18** 40'lik panel için 2015 Ağustos ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

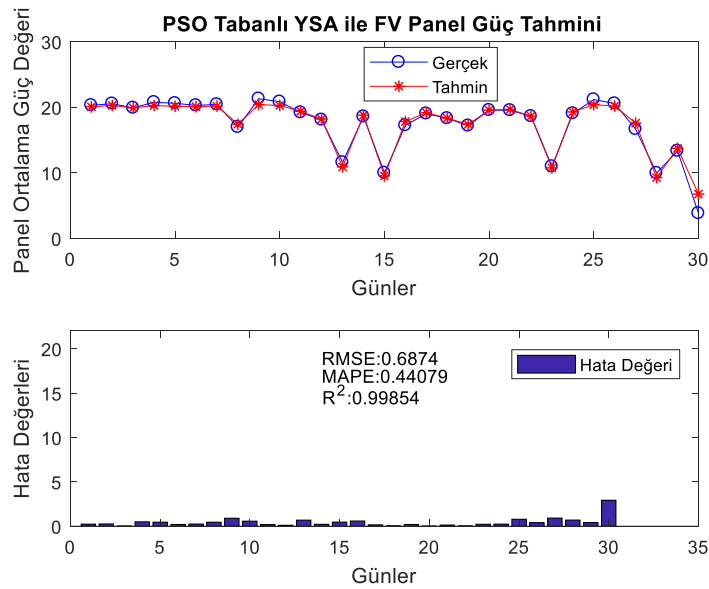
Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.4'te ise 2015 Ağustos ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.4** Ağustos 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
MAPE	<b>0.2064</b>	0.3983	1.6298	<b>0.3218</b>	0.498	1.8586	<b>0.2895</b>	1.4148	1.3676	0.5281	<b>0.4442</b>	1.0209	<b>0.3421</b>	0.8469	1.6843	<b>0.297</b>	0.8477	2.3376
RMSE	<b>0.2707</b>	0.5206	1.9599	<b>0.4955</b>	0.6163	2.6569	<b>0.3685</b>	1.8958	2.5553	0.4327	<b>0.3646</b>	0.8415	<b>0.4475</b>	1.4792	1.9736	<b>0.3544</b>	1.0919	2.5298
R <sup>2</sup>	<b>0.9998</b>	0.9992	0.9892	<b>0.9993</b>	0.999	0.9821	<b>0.9997</b>	0.991	0.9837	0.9992	<b>0.9995</b>	0.9974	<b>0.9995</b>	0.9942	0.9896	<b>0.9996</b>	0.9965	0.9814

#### 4.3.5. 2015 Eylül ayı panel güç tahmin sonuçları

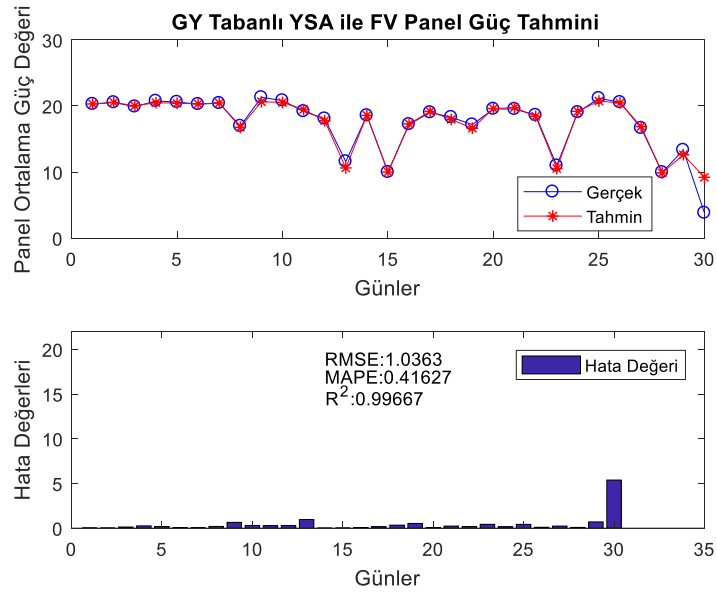
Şekil 4.19' da 2015 Eylül ayında 60°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.6874, 0.4408 ve 0.9985'tir.



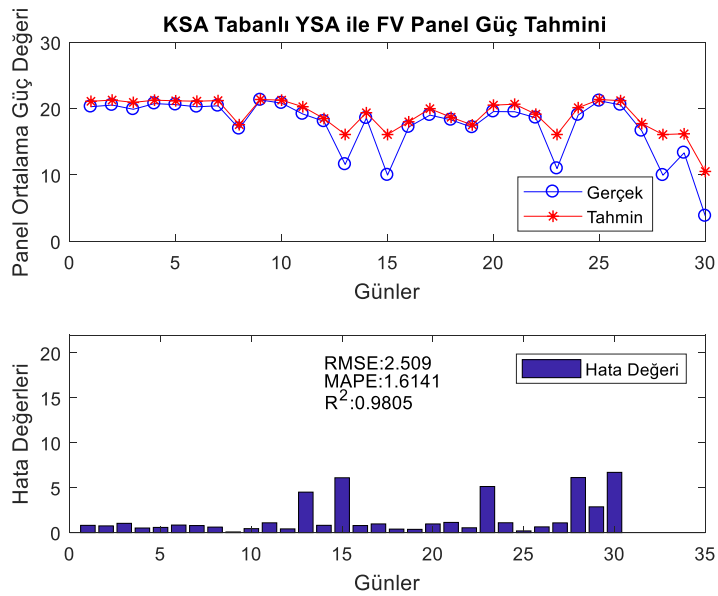
**Şekil 4.19** 60 °'lik panel için 2015 Eylül ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.20' de ise 2015 Eylül ayında 60°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler

görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 1.0363, 0.4162 ve 0.9967'dir.



**Şekil 4.20** 60 0'lik panel için 2015 Eylül ayı panel güç çıkışları, GY Tabanlı YSA ile güç tahmini.



**Şekil 4.21** 60 0'lik panel için 2015 Eylül ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

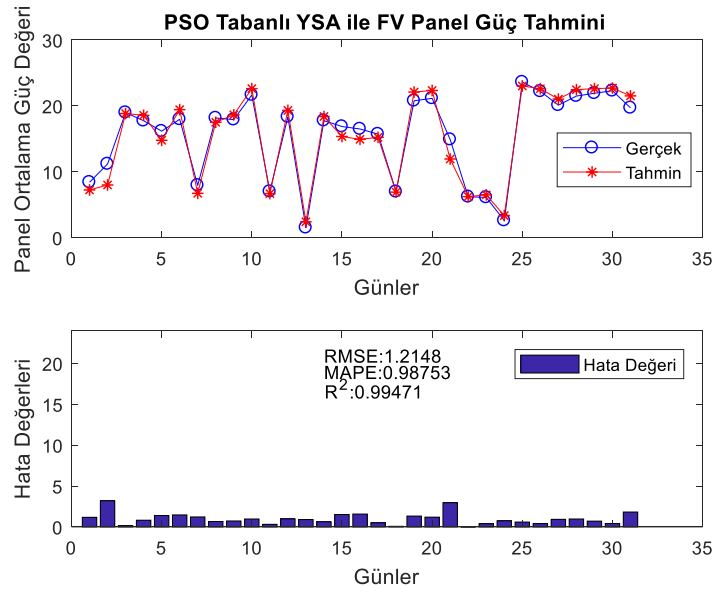
Şekil 4.21’ de ise 2015 Eylül ayında 60<sup>o</sup>’lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 2.509, 1.6141 ve 0.9805 olup oldukça yüksek hata değerleridir. Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.5’te ise 2015 Eylül ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bazı testlerde ise GY-YSA’nın PSO-YSA sonuçlarına yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu göze çarpmaktadır.

**Çizelge 4.5** Eylül 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

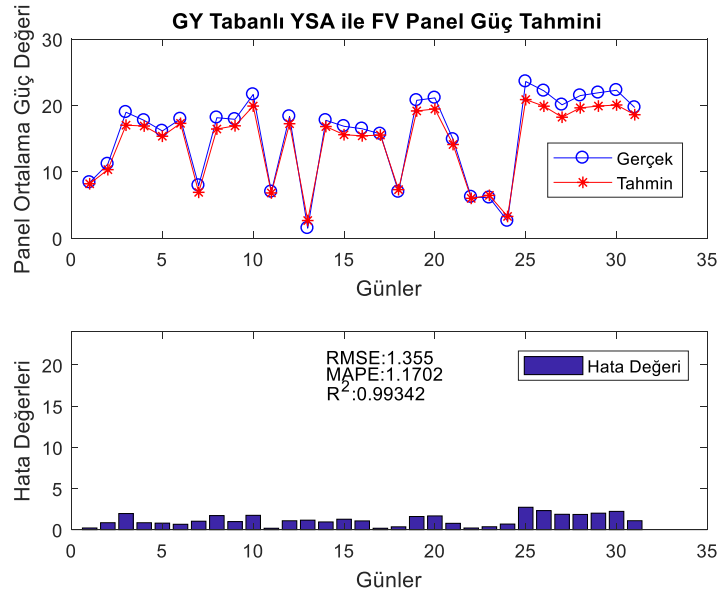
	10 <sup>o</sup>			20 <sup>o</sup>			30 <sup>o</sup>			40 <sup>o</sup>			50 <sup>o</sup>			60 <sup>o</sup>		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
<b>RMSE</b>	<b>0.9773</b>	2.1064	1.9764	<b>1.0769</b>	1.4069	1.9629	<b>0.5987</b>	0.8805	1.4135	1.5466	<b>0.5417</b>	1.8145	<b>1.0245</b>	2.5431	1.1381	<b>0.6874</b>	1.0363	2.509
<b>MAPE</b>	<b>0.6662</b>	0.7897	1.787	<b>0.7813</b>	0.7848	1.4367	<b>0.2671</b>	0.3270	1.0309	0.725	<b>0.2617</b>	1.3881	<b>0.8741</b>	1.7256	0.9706	<b>0.4408</b>	0.4163	1.6141
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>0.9976</b>	0.9876	0.9903	<b>0.9971</b>	0.9944	0.9903	<b>0.9989</b>	0.9976	0.9947	0.994	<b>0.9993</b>	0.9917	<b>0.9971</b>	0.9797	0.9964	<b>0.9985</b>	0.9967	0.9805

#### 4.3.6. 2015 Ekim ayı panel güç tahmin sonuçları

Şekil 4.22’ de 2015 Ekim ayında 40<sup>o</sup>’lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 1.2148, 0.9875 ve 0.9947’dir.



**Şekil 4.22** 40 0'lik panel için 2015 Ekim ayı panel güç çıkışları, PSO Tabanlı YSA ile güç tahmini.

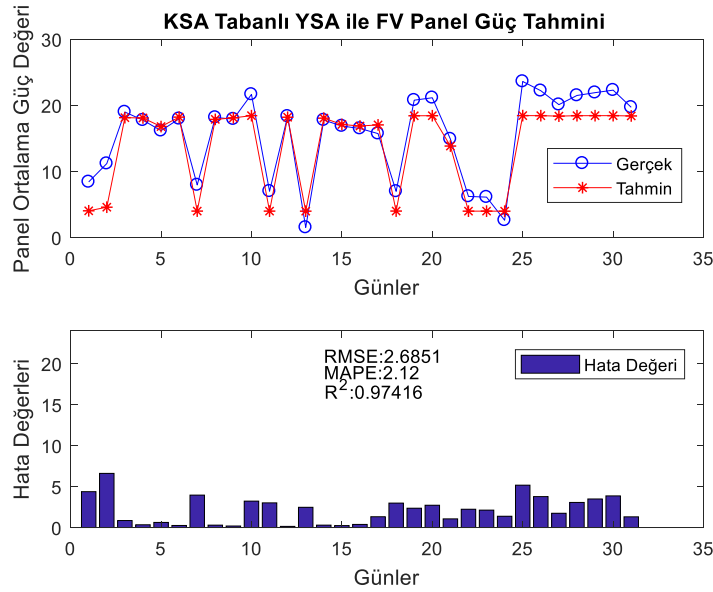


**Şekil 4.23** 40 0'lik panel için 2015 Ekim ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.23' te ise 2015 Ekim ayında 40 0'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri



sırasıyla 1.355, 1.1702 ve 0.9934'tür. Şekil 4.24' te ise 2015 Ekim ayında 40°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 2.6851, 2.12 ve 0.9741 olup oldukça yüksek hata değerleridir.



**Şekil 4.24** 40 °'lik panel için 2015 Ekim ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

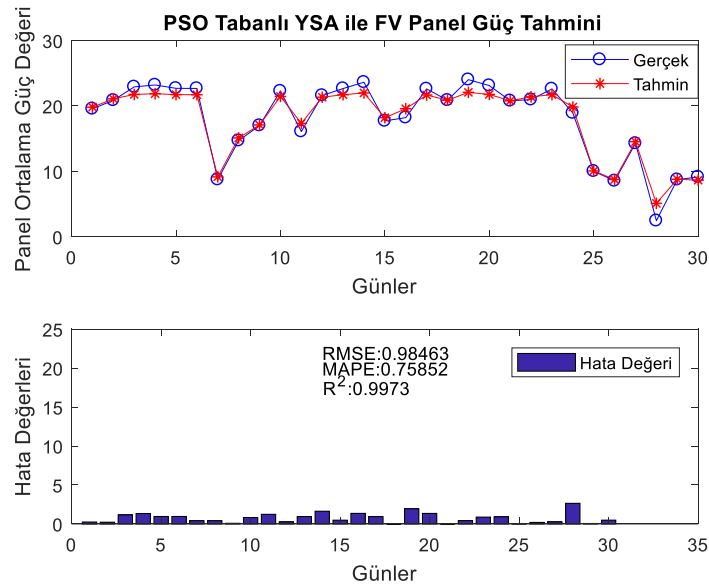
Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, GY-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının PSO-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.6'da ise 2015 Ekim ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi GY-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bazı testlerde ise PSO-YSA'nın GY-YSA sonuçlarına yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu göze çarpmaktadır.

**Çizelge 4.6** Ekim 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	10 <sup>o</sup>			20 <sup>o</sup>			30 <sup>o</sup>			40 <sup>o</sup>			50 <sup>o</sup>			60 <sup>o</sup>		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	1.3398	<b>0.5767</b>	3.1105	1.0588	<b>0.4681</b>	2.3289	0.8323	<b>0.4064</b>	2.0207	<b>1.2148</b>	1.355	2.6851	<b>0.7575</b>	<b>0.7106</b>	2.2993	1.3251	<b>0.4291</b>	2.1467
MAPE	0.8769	<b>0.4132</b>	2.3045	0.7072	<b>0.3827</b>	1.8723	0.6162	<b>0.3409</b>	1.6724	<b>0.9875</b>	1.1702	2.12	<b>0.5617</b>	<b>0.5421</b>	1.8453	0.9434	<b>0.3536</b>	1.7432
R <sup>2</sup>	0.994	<b>0.9989</b>	0.9676	0.9963	<b>0.9993</b>	0.9821	0.9976	<b>0.9994</b>	0.9857	<b>0.9947</b>	0.9934	0.9742	<b>0.9979</b>	<b>0.9982</b>	0.9807	0.994	<b>0.9994</b>	0.9843

#### 4.3.7. 2015 Kasım ayı panel güç tahmin sonuçları

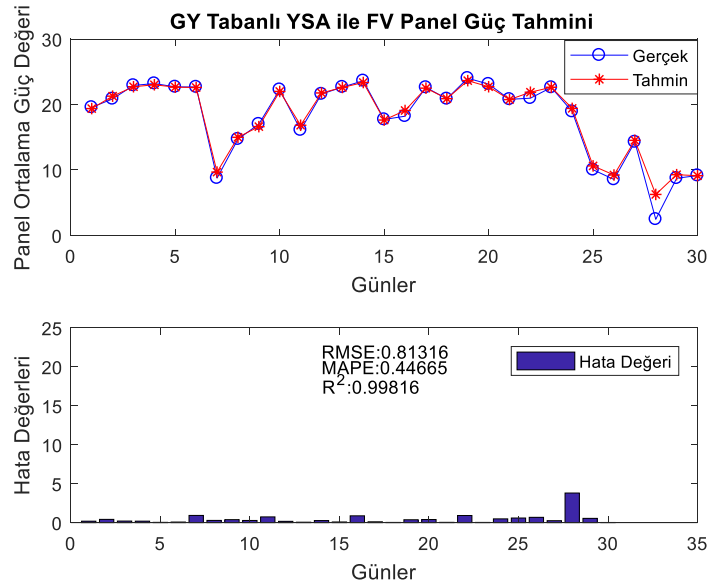
Şekil 4.25' te 2015 Kasım ayında 40<sup>o</sup>'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.9846, 0.7585 ve 0.9973'dir.



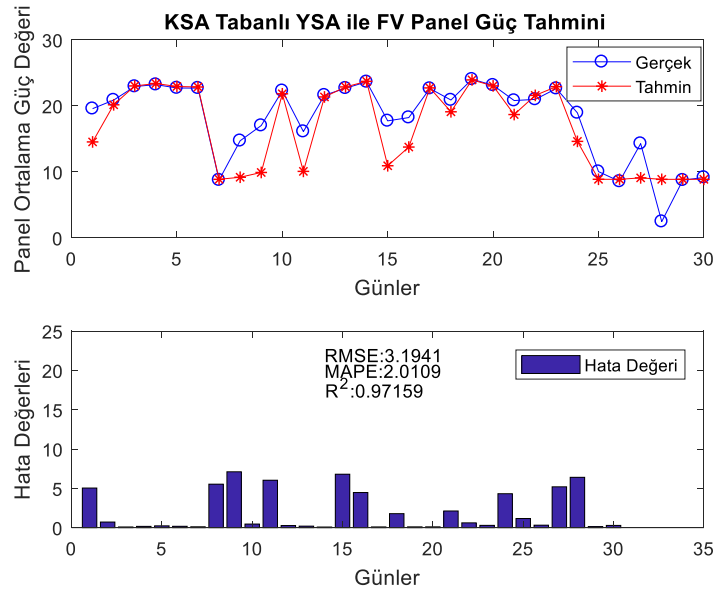
**Şekil 4.25** 40<sup>o</sup>'lik panel için 2015 Kasım ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.26' da ise 2015 Kasım ayında 40<sup>o</sup>'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin

grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.8131, 0.4466 ve 0.9981'dir.



**Şekil 4.26** 40 °'lik panel için 2015 Kasım ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.



**Şekil 4.27** 40 °'lik panel için 2015 Kasım ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

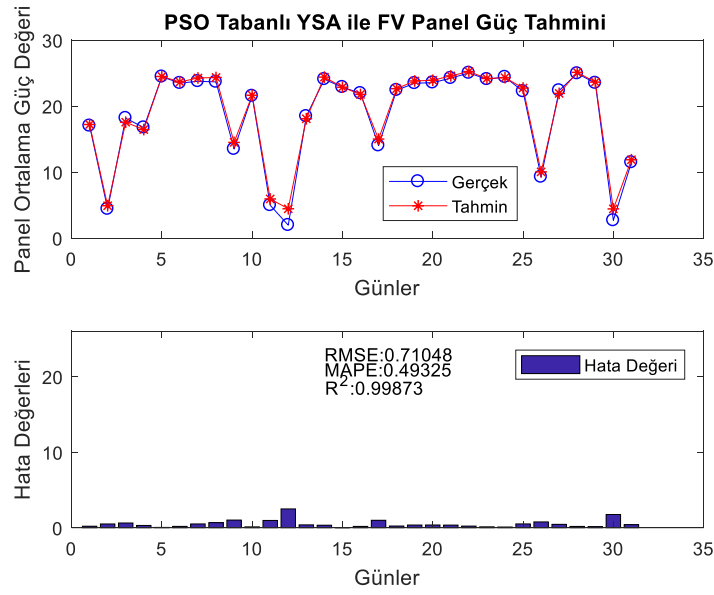
Şekil 4.27’ de ise 2015 Kasım ayında 40°lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 3.1941, 2.0109 ve 0.9715 olup oldukça yüksek hata değerlerini temsil etmektedir. Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.7’de ise 2015 Kasım ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bazı testlerde ise GY-YSA’nın PSO-YSA sonuçlarına yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu göze çarpmaktadır.

**Çizelge 4.7** Kasım 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

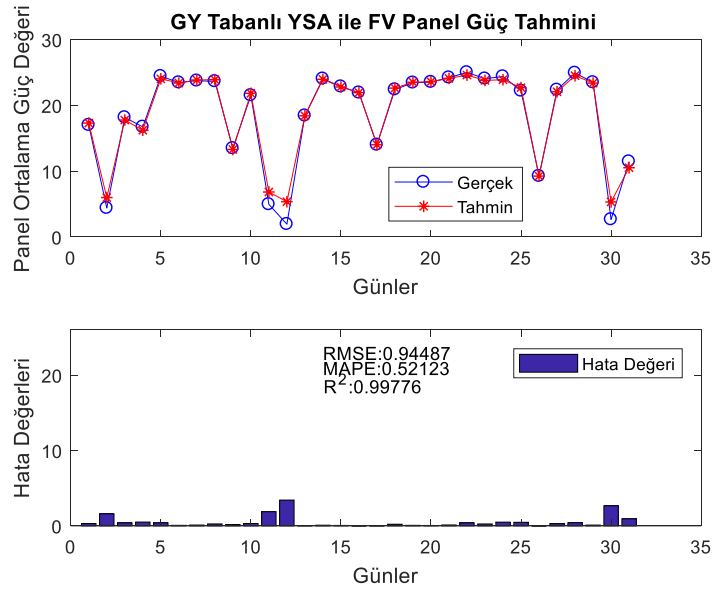
	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	1.2961	3.0883	2.6942	1.1911	1.2578	2.3434	0.9113	0.9296	2.6445	0.9846	0.8132	3.1941	1.0103	1.0707	2.7193	1.453	0.4696	1.9908
MAPE	0.927	2.0227	2.3614	0.7427	0.5594	1.7672	0.5532	0.5069	1.9952	0.7585	0.4467	2.0109	0.6397	0.4908	1.9751	0.9674	0.3854	1.4303
$R^2$	0.995	0.9714	0.9782	0.996	0.9955	0.9845	0.9976	0.9975	0.9798	0.9973	0.9981	0.9716	0.9967	0.9963	0.9763	0.9943	0.9994	0.9894

#### 4.3.8. 2015 Aralık ayı panel güç tahmin sonuçları

Şekil 4.28’ de 2015 Aralık ayında 30°lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.7104, 0.4932 ve 0.9987’dir.



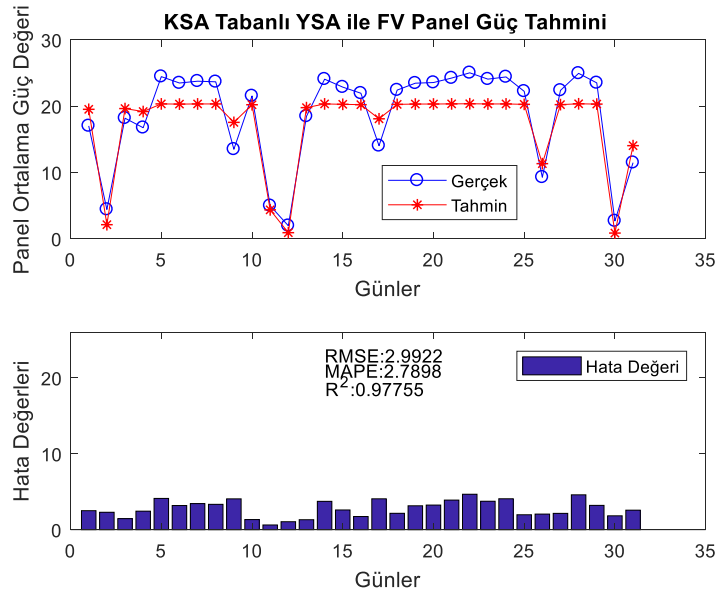
**Şekil 4.28** 30'lik panel için 2015 Aralık ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.



**Şekil 4.29** 30'lik panel için 2015 Aralık ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.29' da 2015 Aralık ayında 30'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri

sırasıyla 0.9448, 0.5212 ve 0.9977'dir. Şekil 4.30' da ise 2015 Aralık ayında 30'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 2.9922, 2.7898 ve 0.9775 olup oldukça yüksek hata değerlerini göstermektedir.



**Şekil 4.30** 30 'lik panel için 2015 Aralık ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

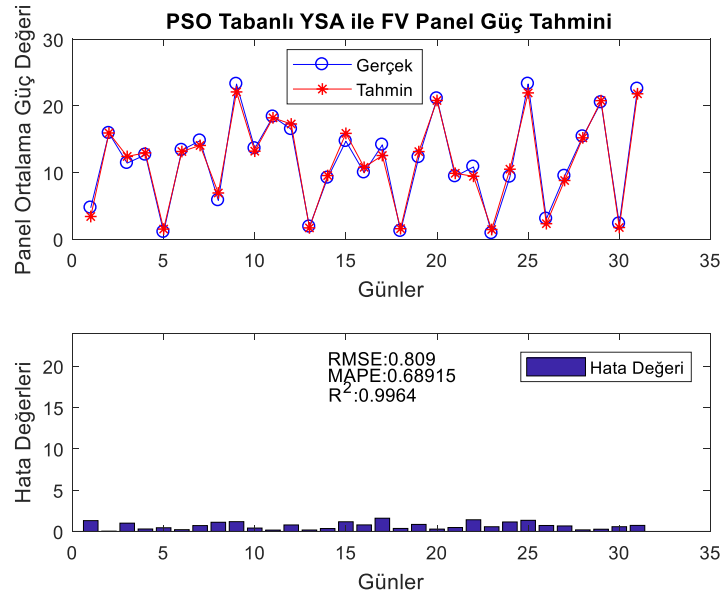
Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.8'de ise 2015 Aralık ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.8** Aralık 2015 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
MAPE	0.2064	0.3983	1.6298	0.3218	0.4980	1.8586	0.7105	0.9449	2.9922	0.4363	1.7628	2.0853	0.3421	0.8469	1.6843	0.2970	0.8477	2.3376
RMSE	0.2707	0.5206	1.9599	0.4955	0.6163	2.6569	0.4933	0.5212	2.7898	0.6572	2.225	2.9719	0.4475	1.4792	1.9736	0.3544	1.0919	2.5298
R <sup>2</sup>	0.9998	0.9992	0.9892	0.9993	0.9990	0.9821	0.9987	0.9978	0.9776	0.999	0.9885	0.9796	0.9995	0.9942	0.9896	0.9996	0.9965	0.9814

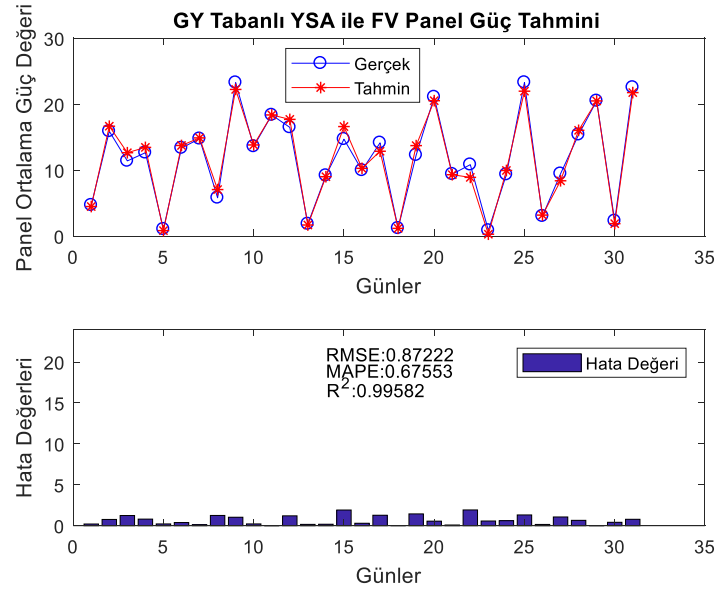
#### 4.3.9. 2016 Ocak ayı panel güç tahmin sonuçları

Şekil 4.31’ de 2016 Ocak ayında 20°’lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.809, 0.6891 ve 0.9964’tür.



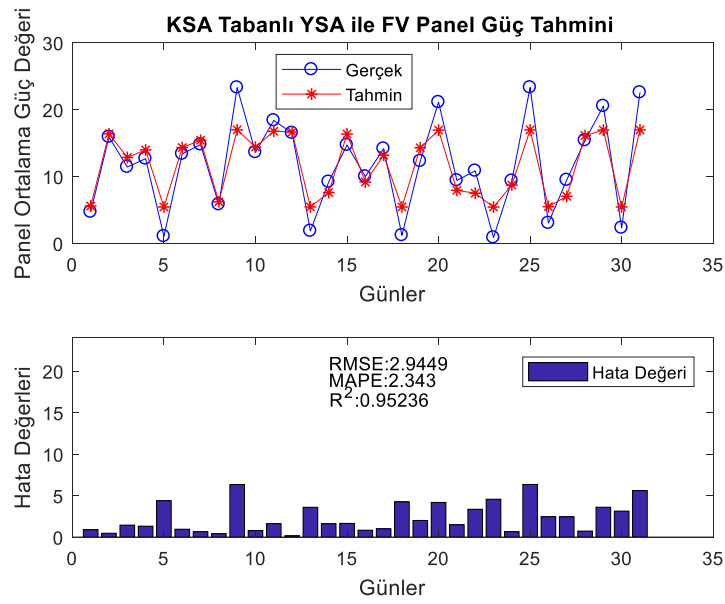
**Şekil 4.31** 20 °’lik panel için 2016 Ocak ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.32' de ise 2016 Ocak ayında 20<sup>o</sup>lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.8722, 0.6755 ve 0.9958'dir.



**Şekil 4.32** 20<sup>o</sup>lik panel için 2016 Ocak ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.





**Şekil 4.33** 20 °'lik panel için 2016 Ocak ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

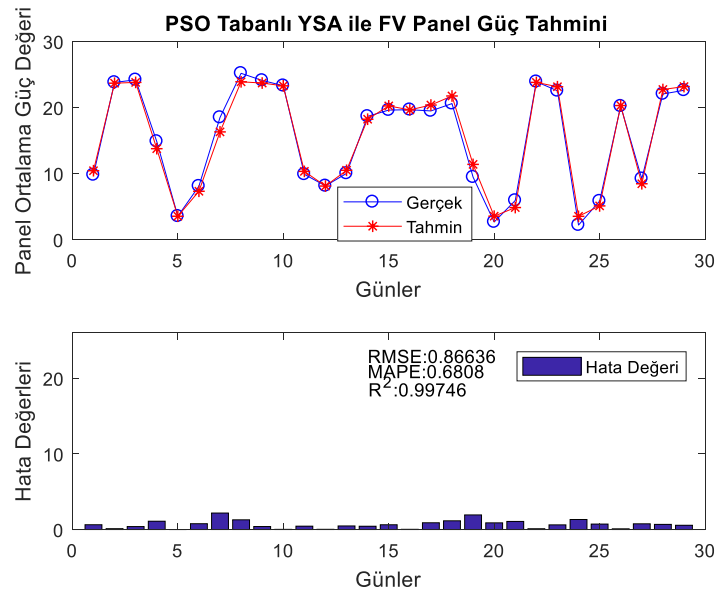
Şekil 4.33' te ise 2016 Ocak ayında 20°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 2.9449, 2.343 ve 0.9523 olup oldukça yüksek hata değerlerini göstermektedir. Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.9'da ise 2016 Ocak ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bazı testlerde ise GY-YSA'nın PSO-YSA sonuçlarına yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu göze çarpmaktadır.

**Çizelge 4.9** Ocak 2016 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

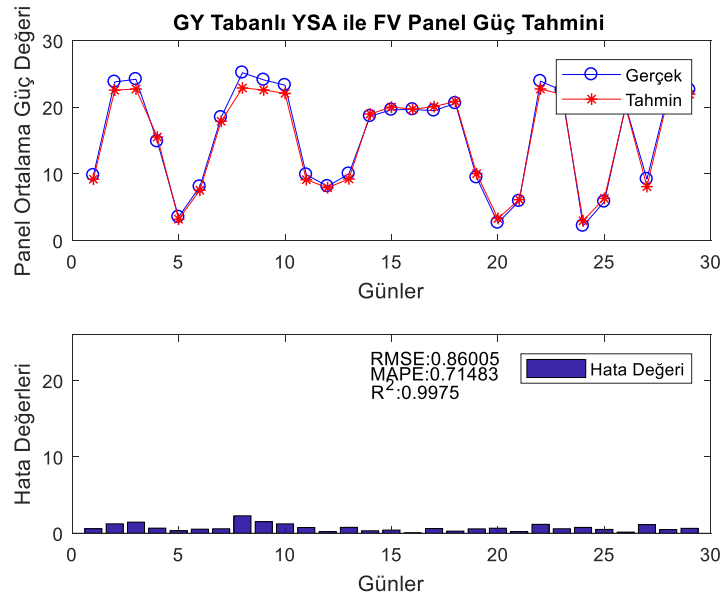
	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	2.2731	<b>0.9609</b>	2.3525	<b>0.809</b>	0.8722	2.9449	<b>2.0002</b>	2.3023	3.474	2.7556	<b>0.8026</b>	4.33	<b>0.9988</b>	2.4225	3.4318	<b>1.7651</b>	2.7014	3.0438
MAPE	1.3975	<b>0.7794</b>	1.8044	<b>0.6892</b>	0.6755	2.343	<b>1.5819</b>	1.6077	2.7922	2.3856	<b>0.6424</b>	3.6729	<b>0.802</b>	1.9684	2.988	<b>1.2911</b>	1.7702	2.5026
R <sup>2</sup>	0.9648	<b>0.9937</b>	0.9623	<b>0.9964</b>	0.9958	0.9524	<b>0.9805</b>	0.9742	0.9413	0.9651	<b>0.997</b>	0.9139	<b>0.9948</b>	0.9691	0.9381	<b>0.9846</b>	0.964	0.9543

#### 4.3.10. 2016 Şubat ayı panel güç tahmin sonuçları

Şekil 4.34' te 2016 Şubat ayında 40°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.8663, 0.6808 ve 0.9974'tür.

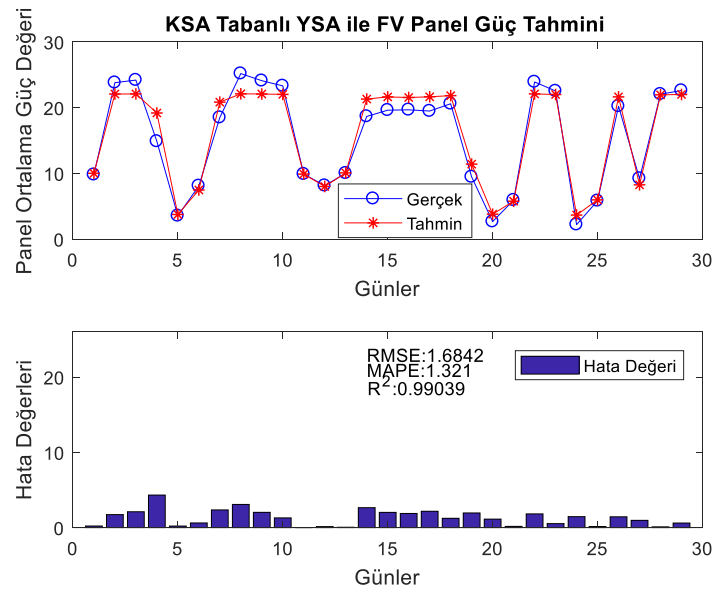


**Şekil 4.34** 40 °'lik panel için 2016 Şubat ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.



**Şekil 4.35** 40 °'lik panel için 2016 Şubat ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.35' te ise 2016 Şubat ayında 40°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.8601, 0.7148 ve 0.9975'tir. Şekil 4.36' da ise 2016 Şubat ayında 40°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 1.6842, 2.321 ve 0.9903'tür.



**Şekil 4.36** 40 °'lik panel için 2016 Şubat ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

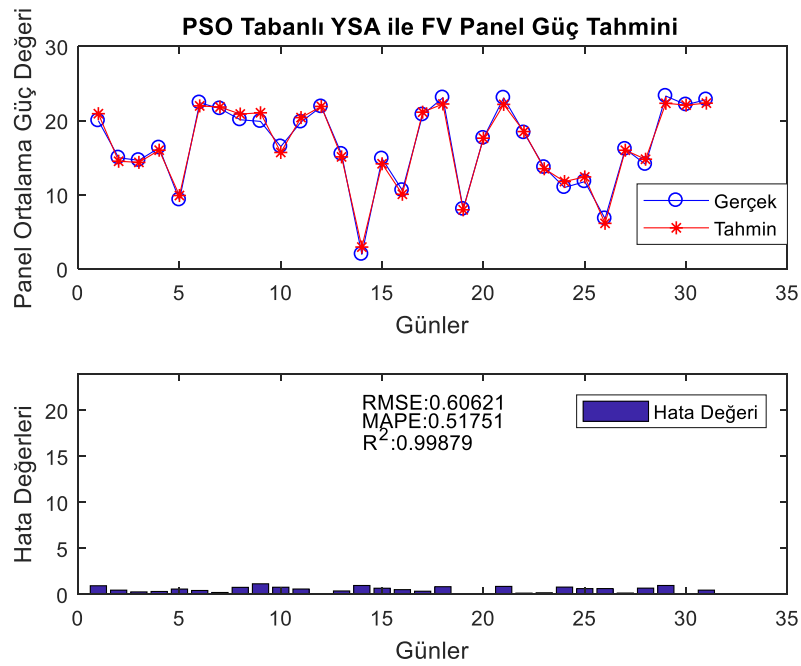
Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.10'da ise 2016 Şubat ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bazı testlerde ise GY-YSA'nın PSO-YSA sonuçlarına yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu gözle çarpmaktadır.

**Çizelge 4.10** Şubat 2016 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	<b>0.8329</b>	1.0665	4.4269	<b>0.9883</b>	2.9233	2.6103	<b>0.6056</b>	0.9612	3.364	<b>0.8664</b>	<b>0.8601</b>	1.6842	<b>0.755</b>	0.8489	2.2634	2.4925	<b>0.5319</b>	3.8902
MAPE	<b>0.6911</b>	0.7711	3.788	<b>0.8386</b>	2.1887	1.9573	<b>0.4803</b>	0.6319	2.8266	<b>0.6808</b>	<b>0.7148</b>	1.321	<b>0.6512</b>	0.6136	1.7801	1.967	<b>0.4518</b>	2.8655
R <sup>2</sup>	<b>0.9976</b>	0.9961	0.9323	<b>0.9967</b>	0.9713	0.9772	<b>0.9987</b>	0.9968	0.961	<b>0.9975</b>	<b>0.9975</b>	0.9904	<b>0.9978</b>	0.9972	0.9807	0.9801	<b>0.9991</b>	0.9516

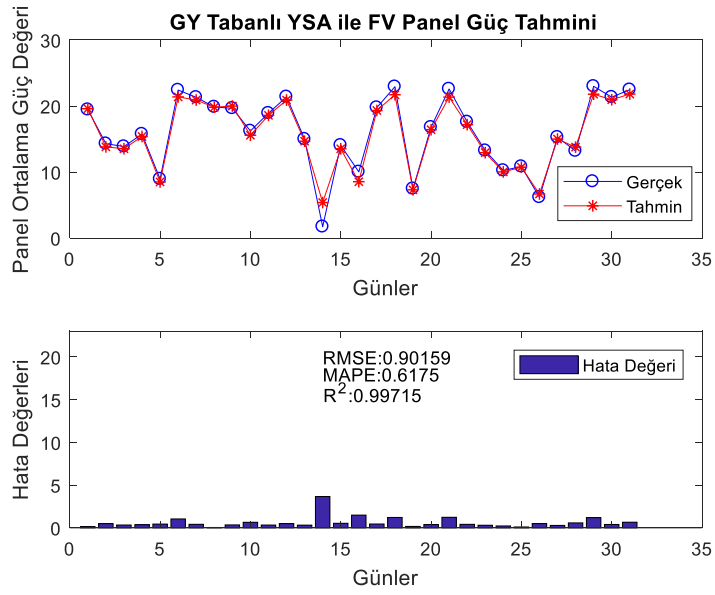
#### 4.3.11. 2016 Mart ayı panel güç tahmin sonuçları

Şekil 4.37' de 2016 Mart ayında 30<sup>o</sup>lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.6062, 0.5175 ve 0.9987'dir.

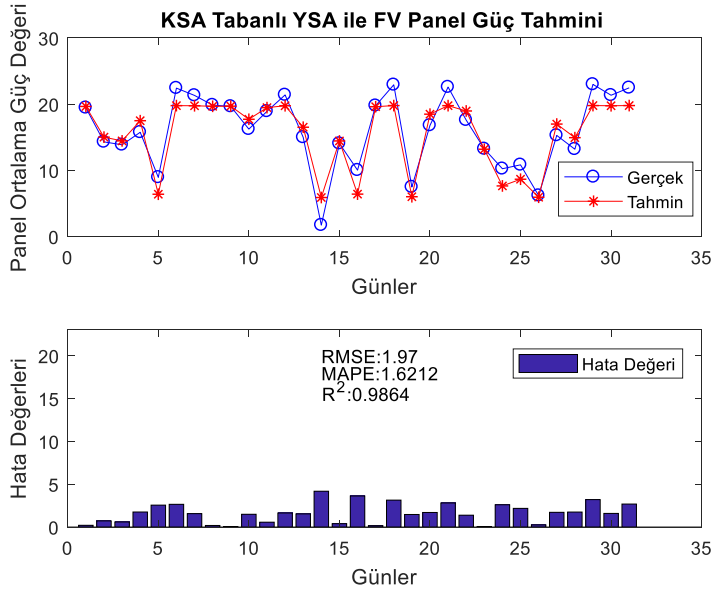


**Şekil 4.37** 30 °lik panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.38' de ise 2016 Mart ayında 30<sup>o</sup>lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.9015, 0.6175 ve 0.9971'dir.



**Şekil 4.38** 30'lık panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.



**Şekil 4.39** 30'lık panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.39' da ise 2016 Mart ayında 30'lık panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata

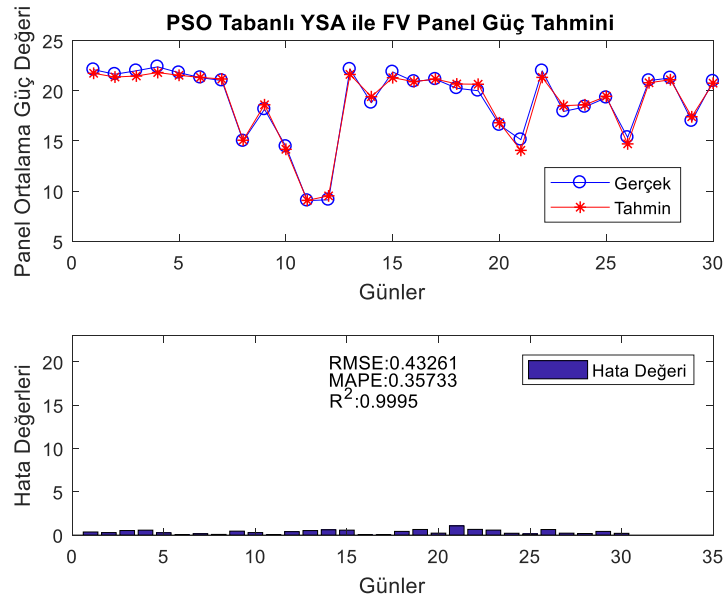
değerleri sırasıyla 1.97, 2.6212 ve 0.9864'tür. Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.11'de ise 2016 Mart ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolannmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bazı testlerde ise GY-YSA'nın PSO-YSA sonuçlarına yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu göze çarpmaktadır.

**Çizelge 4.11** Mart 2016 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

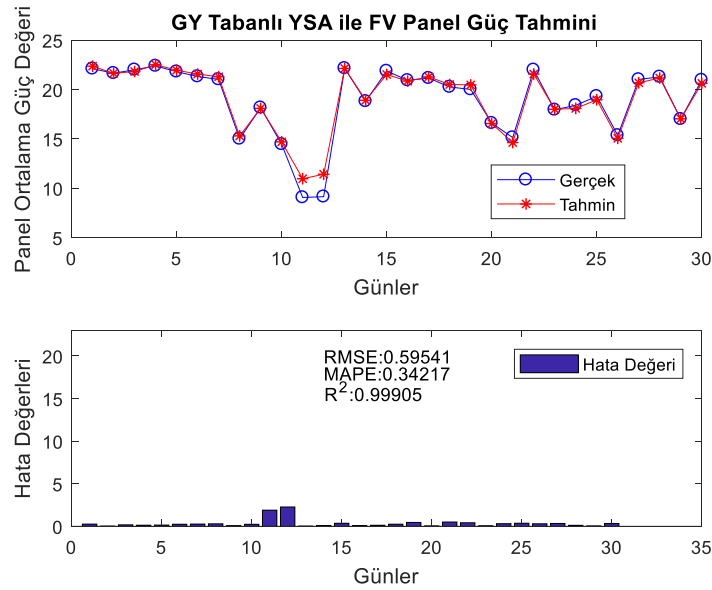
	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	0.7351	0.8717	3.1311	1.2833	1.2936	2.3203	0.6062	0.9016	1.97	0.8050	1.3947	2.8144	0.5493	1.2218	2.4523	1.9727	0.4781	2.5036
MAPE	0.4501	0.7255	2.8836	0.7652	1.1149	1.4805	0.5175	0.6175	1.6212	0.6058	1.083	2.2878	0.4055	0.6977	1.7416	1.3987	0.3251	1.8937
R <sup>2</sup>	0.9982	0.9977	0.9695	0.9946	0.9945	0.9831	0.9987	0.9972	0.9864	0.9978	0.9933	0.9748	0.9989	0.9945	0.9793	0.9871	0.9992	0.9792

#### 4.3.12. Nisan 2016 ayı panel güç tahmin sonuçları

Şekil 4.40' da 2016 Nisan ayında 50°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.4326, 0.3573 ve 0.9995'tir.



**Şekil 4.40** 50 °'lik panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.

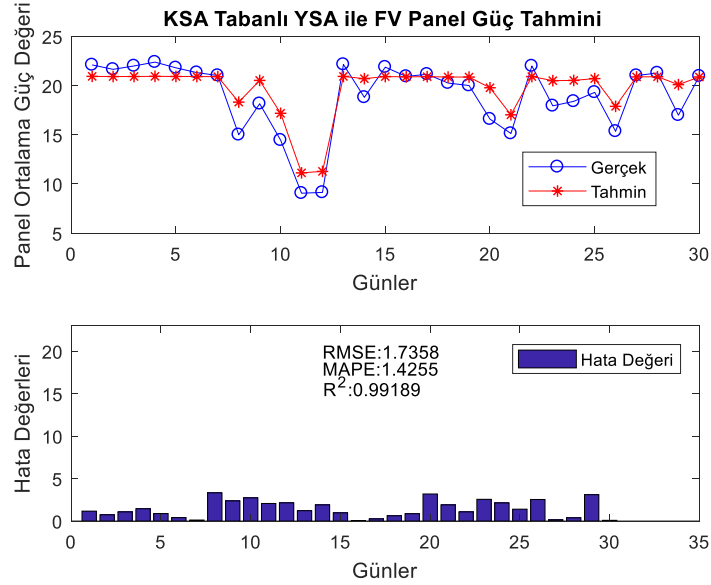


**Şekil 4.41** 50 °'lik panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.41' de ise 2016 Nisan ayında 50°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.5941, 0.3421 ve 0.9990'dır. Şekil 4.42' de ise 2016 Nisan ayında 50°'lik



panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 1.7358, 2.4255 ve 0.9918'dir.



**Şekil 4.42** 50 °'lik panel için 2016 Mart ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

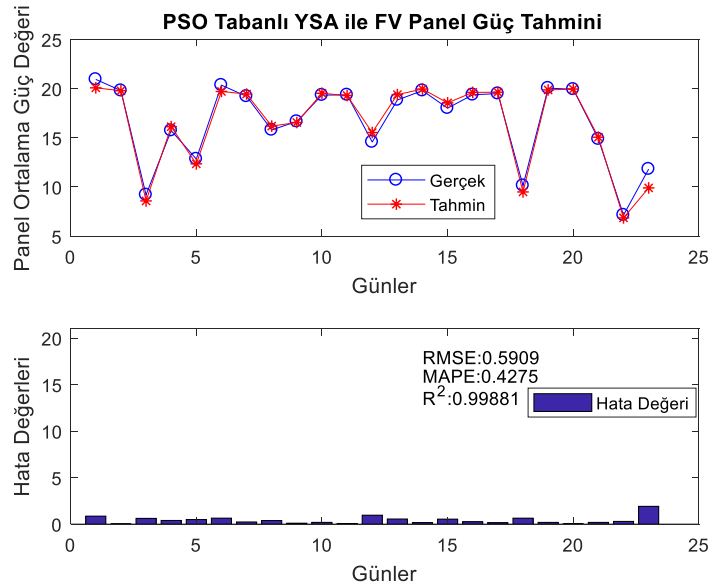
Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.12'de ise 2016 Nisan ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Bazı testlerde ise GY-YSA'nın PSO-YSA sonuçlarına yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu gözle çarpmaktadır.

Çizelge 4.12 Nisan 2016 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	10°			20°			30°			40°			50°			60°		
	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	0.4787	0.5791	1.2077	0.6062	0.7393	1.618	0.4746	0.5484	1.7474	0.5191	0.7576	1.4773	0.4326	0.5954	1.7358	0.7893	0.4777	1.6527
MAPE	0.3761	0.3054	0.9729	0.5175	0.4135	1.063	0.3862	0.454	1.5709	0.4282	0.4444	1.0913	0.3573	0.3422	1.4255	0.59	0.3398	1.3546
R <sup>2</sup>	0.9995	0.9992	0.9967	0.9988	0.9982	0.9914	0.9994	0.9992	0.9924	0.9993	0.9986	0.9945	0.9995	0.9991	0.9919	0.9983	0.9994	0.9926

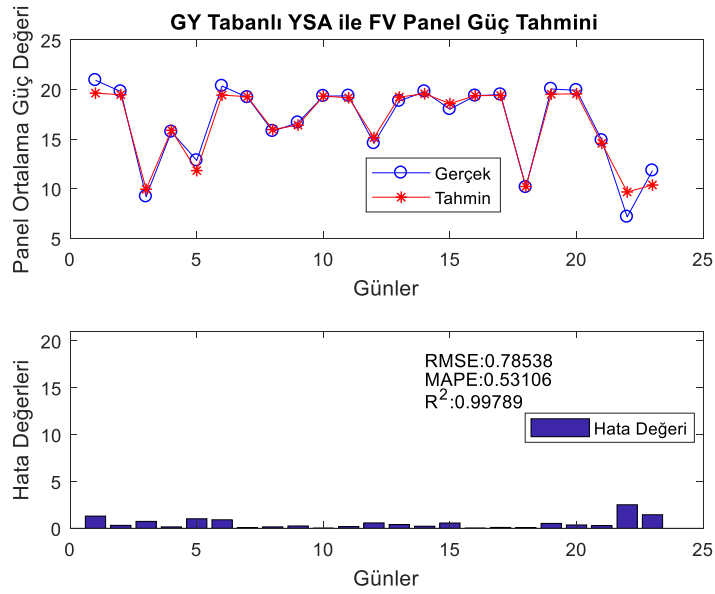
#### 4.3.13. Mayıs 2016 ayı panel güç tahmin sonuçları

Şekil 4.43' te 2016 Mayıs ayında 60°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve PSO-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.5909, 0.4275 ve 0.9988'dir.

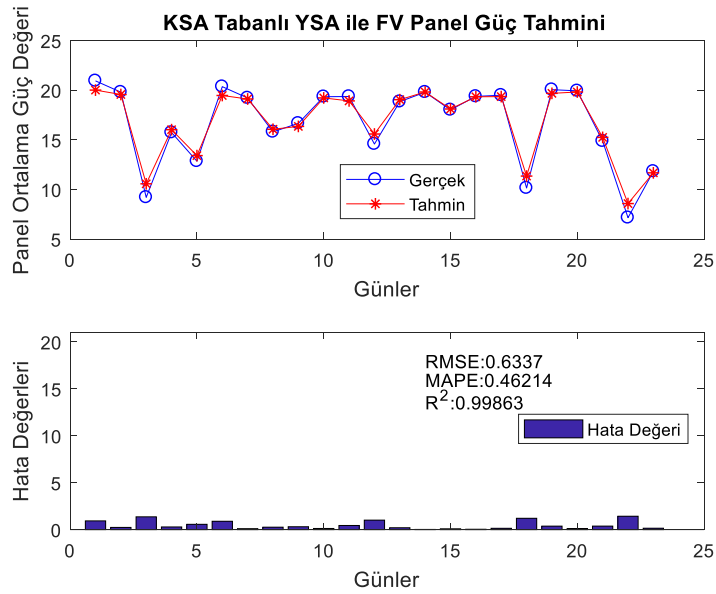


Şekil 4.43 60°'lik panel için 2016 Mayıs ayı panel güç çıkışları, PSO tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.44' te ise 2016 Nisan ayında 60°'lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve GY-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve  $R^2$  ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 0.7853, 0.5310 ve 0.9978'dir.



Şekil 4.44 60°'lik panel için 2016 Mayıs ayı panel güç çıkışları, GY tabanlı YSA ile güç tahmini.



Şekil 4.45 60°'lik panel için 2016 Mayıs ayı panel güç çıkışları, KSA tabanlı YSA ile güç tahmini.

Şekil 4.45’ te ise 2016 Mayıs ayında 60<sup>o</sup>’lik panel üzerinde, gerçek güç değerleri ve KSA-YSA metodu ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmasına ilişkin grafikler görülmektedir. Ayrıca bu grafik üzerinde RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri ile hesaplanan hata değerleri de görülmektedir. Bu hata değerleri sırasıyla 1.6337, 2.4621 ve 0.9986’dır. Bu grafiksel sonuçlar RMSE, MAPE ve R<sup>2</sup> ölçüm sonuçları doğrulama kriterleri bakımından değerlendirildiğinde, PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının GY-YSA ve KSA-YSA sonuçlarına göre daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında Çizelge 4.13’te ise 2016 Mayıs ayında her farklı açıdaki paneller için PSO-YSA, GY-YSA ve KSA-YSA tahmin sonuçları ayrıntılı olarak tablolanmıştır. Bu tablolardan da görülebileceği gibi PSO-YSA ile elde edilen tahmin sonuçlarının genel olarak diğerlerine göre daha başarılı olduğu görülmektedir.

**Çizelge 4.13** Mayıs 2016 Tüm paneller için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

		10 <sup>o</sup>			20 <sup>o</sup>			30 <sup>o</sup>			40 <sup>o</sup>			50 <sup>o</sup>			60 <sup>o</sup>		
		PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA	PSO-YSA	GY-YSA	KSA-YSA
RMSE	0,5545	<b>0,5513</b>	1,4323	<b>0,5208</b>	0,9789	1,0678	0,9057	<b>0,7609</b>	1,0205	<b>0,4601</b>	0,7285	1,012	<b>0,6006</b>	1,7195	1,0899	<b>0,5909</b>	0,7854	0,96337	
MAPE	0,4492	<b>0,389</b>	1,2618	<b>0,4151</b>	0,6539	0,9225	0,6967	<b>0,5894</b>	0,8934	<b>0,3416</b>	0,4487	0,8894	<b>0,4744</b>	0,9186	0,9114	<b>0,4275</b>	0,5311	0,4621	
R <sup>2</sup>	0,9992	<b>0,9992</b>	0,9948	<b>0,9993</b>	0,9974	0,9969	0,9976	<b>0,9983</b>	0,9969	<b>0,9994</b>	0,9984	0,9969	<b>0,9988</b>	0,9901	0,996	<b>0,9988</b>	0,9979	0,9986	

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada geriye yayılım algoritmasının yanında iki farklı sezgisel yöntem kullanılarak eğitilen bir YSA modeli ile farklı eğim açlarına ( $10^0, 20^0, 30^0, 40^0, 50^0, 60^0$ ) yerleştirilmiş FV panel güç çıkışlarının, akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak aylık olarak tahmin edilmesine yönelik hibrit bir yöntem geliştirilmiştir. Önerilen bu çalışmada, gerçek güç değerleri ile geriye yayılım algoritması yanında PSO ve KSA sezgisel algoritmaları ile elde edilen güç değerlerinin karşılaştırılmalı değerlendirilmesi de yapılmıştır. Ayrıca, yöntemin elde edilen sonuçlar üzerindeki etkinliği ölçüm yapılan gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki ortalama yüzdelik hatanın analizi ile doğrulanmıştır.

Çalışmada tahmin sonuçlarının gerçek güç değerleri ile doğrulanmasında, MAPE, RMSE ve  $R^2$  istatistiksel kriterlerinden yararlanılmıştır. Her üç kriterlerden elde edilen doğrulama sonuçlarına bakıldığında, önceki bölümdeki çizelgelerden de görülebileceği üzere hemen hemen tüm aylar için PSO algoritması ile eğitilen YSA yapısının, KSA ve GY algoritmaları ile eğitilen YSA yapılarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bazı sonuçlarda ise GY ile eğitilen YSA yapısının, PSO ile eğitilen YSA yapısına göre, sonuçlar birbirine yakın olmakla birlikte daha başarılı olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak deneysel akım ve gerilim değerleri kullanılarak PSO algoritması ile eğitilen YSA'nın güç tahmin sonuçlarının gerçek güç değerleri benzer eğilimler gösterdiği görülmüştür.

Bundan sonraki aşamada ağa verilecek girdi sayısının artırılması, güneş ışınım verisi gibi ek giriş parametrelerin ölçülmesi, tahmin başarımını artırma yönünde etki edecektir.

## KAYNAKLAR

- Parmaksız, H., Karafıl, A., Özbay, H. Ve Kesler, M., "Farklı Eğim Açılarındaki Fotovoltaik Panellerin Elektriksel Ölçümlerinin Raspberry Pi ile İzlenmesi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 711-718 (2016).
- Lorenz, E., Hurka, J., Heinemann, D., et al. "Irradiance forecasting for the power prediction of grid-connected photovoltaic systems.", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2-10 (2009).
- Kudo, M., Nozaki, Y. and Endo, H., "Forecasting electric power generation in a photovoltaic power system for an energy network." *Electrical Engineering in Japan*, 16-23 (2009).
- Elminir, H.K., Azzam, Y.A. and Younes, F.I., "Prediction of hourly and daily diffuse fraction using neural network, as compared to linear regression models," *Energy*, 1513-1523 (2007).
- Sulaiman, S.I., Rahman, T.K. A., Musirin, I., et al., "Artificial neural network versus linear regression for predicting Grid-Connected Photovoltaic system output." *Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, 2012 IEEE International Conference on*: 170-174 (2012).
- Li, Y., Niu, J., "Forecast of power generation for grid-connected photovoltaic system based on Markov chain.", *Power and Energy Engineering Conference, APPEEC 2009*, Asia-Pacific. 1-4 (2009).
- Ying-zi, L., Ru, L., Jin-cang, N., "Forecast of power generation for grid connected photovoltaic system based on grey model and Markov chain.", *Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2008, 3rd IEEE Conference on*, USA, 1729-1733 (2008).
- Junseok, S., Krishnamurthy, V., Kwasinski, A., et al., "Development of a Markov-Chain-Based Energy Storage Model for Power Supply Availability Assessment of Photovoltaic Generation Plants.", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 1-10 (2012).
- Ran, L., Guang-min, L.. "Photovoltaic power generation output forecasting based on support vector machine regression technique.", *CNKI Journal of Electric Power*, 2008-02 (2008).

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Shi, J., Lee, W. J., Liu, Y., et al., "Forecasting Power Output of Photovoltaic Systems Based on Weather Classification and Support Vector Machines.", *IEEE Transactions on Industry Applications*, (2012).
- Wang, F., Mi, Z., Su, S. and C. Zhang, "A practical model for single-step power prediction of grid-connected PV plant using artificial neural network.", in *Innovative Smart Grid Technologies Asia (ISGT)*, 1-4 (2011).
- Ting-Chung, Y., Hsiao-Tse, C., "The forecast of the electrical energy generated by photovoltaic systems using neural network method", in *Electric Information and Control Engineering (ICEICE)*, 2758-2761 (2011).
- Kou, J., et al., "Photovoltaic power forecasting based on artificial neural network and meteorological data.", *TENCON 2013-2013 IEEE Region 10 Conference (31194)*, Xian, China, (2013).
- Dandil, E., Çevik, K.K., "Yapay sinir ağları için .net platformunda görsel bir eğitim yazılımının geliştirilmesi.", *International Journal of Informatics Technologies*, 519-28 (2012).
- Kahramanli, H., Allahverdi, N., "Design of a hybrid system for the diabetes and heart diseases.", *Expert Systems with Applications*, 35 (1): 82-89 (2008).
- Yalcin, N., Tezel, G., Karakuzu, C., "Epilepsy diagnosis using artificial neural network learned by PSO.", *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 23 (2): 421-432 (2015).
- Franklin, S.W., Rajan, S., "Computerized screening of diabetic retinopathy employing blood vessel segmentation in retinal images.", *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 34 (2): 117-124 (2014).
- Haykin, S., "Neural Network: A comprehensive foundation.", *Neural Networks*, (2004).
- De Castro, L.N., Von Zuben, F.J., "Learning and optimization using the clonal selection principle.", *Evolutionary Computation*, 6(3):239-251(2002).
- Ada, G.L., and Nossal, G., "The clonal-selection theory", *Scientific American*, 257(2):62 (1987).

### **KAYNAKLAR (Devam Ediyor)**

- Gao, X.Z., “Clonal optimization-based negative selection algorithm with applications in motor fault detection”, *Neural Computing and Applications*, 18(7): 719-729 (2009).
- Saberian, A., Hizam, H., Radzi, M.A.M., AbKadir ,M.Z.A., Mirzaei, M., “Modelling and Prediction of Photovoltaic Power Output Using Artificial Neural Networks”, *Hindawi Publishing Corp. International Journal of Photoenergy*, (2014).
- Zhang, N. et al, “Solar Radiation Prediction Based on Particle Swarm Optimization and Evolutionary Algorithm Using Recurrent Neural Networks”, *IEEE Annual System Conference*, (2013).
- Rojas, R., “Neural Networks”, Springer-Verlag, Berlin, (<https://page.mi.fu-berlin.de/rojas/neural/chapter/K7.pdf> ), 163 (1996).
- Qasrawi, I., Awad, M., “Prediction of the Power Output of Solar Cells Using Neural Networks: Solar Cells Energy Sector in Palestine”, *International Journal of Computer Science and Security (IJCSS)*, (2015).
- Zhu, H., Li, X., “A Power Prediction Method for Photovoltaic Power Plant Based on Wavelet Decomposition and Artificial Neural Networks”, *Energies*, **9(11)**: doi:10.3390/en9010011, (2016).
- Prokop, L.,et al. “Photovoltaic Power Plant Output Estimation by Neural Networks and Fuzzy Inference”, *IDEAL 2012*, 810–817 (2012).
- Paulin, B.J., Praynlin, E., “Solar Photovoltaic Output Power Forecasting Using Back Propagation Neural Network”, *ICTACT Journal on Soft Computing*, (2016).
- Rana, M., et. al., “Forecasting Solar Power Generated by Grid Connected PV Systems Using Ensembles of Neural Networks”, *International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, Ireland (2015).
- Theodoropoulos, K., et al., “Monthly Electricity Statistics”, *International Energy Agency*, (<https://www.iea.org/media/statistics/surveys/electricity/mes.pdf>), (2017)



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Erol GÜRGEN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Osmaneli / 28.03.1985



### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilgisayar  
Mühendisliği Bölümü

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri :

**Dandıl, E., Gürgen, E.,** “Prediction of Photovoltaic Panel Power Output using Artificial Neural Networks Learned by Heuristic Algorithms: A Comparative Study (Sezgisel Algoritma Tabanlı Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Fotovoltaik Panel Güç Çıktılarının Tahmini: Karşılaştırmalı Bir Çalışma), Uluslararası Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Kongresi (UBMK’17), p. 417-422, Antalya, Türkiye.

### İş Deneyimi

Stajlar : Savronik A.Ş. (120 Gün)  
Metasoft Bilgi İşlem Hizmetleri (30 Gün)

İş Deneyimi:

ACD Bilgi İşlem Hizmetleri Ltd. Şti.: 09.2009-12.2010

Unvan :Yazılım Uzmanı

Görev : Üretimden veri toplama sistemi arayüz geliştirme ve Üretim İzleme ekranları, Üretim raporları hazırlamak (C#,WPF ve MSSQL)

**Mefro Wheels Turkey Jant Sanayi A.Ş. 01.2011-10.2015**

**Ünvan:** Bilgi İşlem Mühendisi- B sınıfı İş Güvenliği Uzmanı

**Görev:**

Şirket bünyesinde yer alan tüm Bilgi Teknolojileri alt yapısı ile ilgili gerekleri tespit edip, planlayıp gerekli aksiyonların alınmasını sağlamak. (Data Hatları, Server Sanallaştırma -Vmware,ESXi, Microsoft Server Urunleri Kurulum ve Yönetimi-2003 R2, 2008 R2,2012R2), Active Directory Yönetimi, SAP MM ve PP Modülleri

Kullanımı, Veri toplama sisteminin kurulması ve Yönetimi, Network Kablolama, Backbone switchlerin yönetimi, Stok alanı takibi için kullanılan el terminallerinin yönetimi, kurulumu, gerektiğinde sorun tespiti ve tamirati, Şirket genelinde kullanılan yazıcıların kurulum ve yönetimi [barkod, laserjet, inkjet], Yıllık bakım anlaşmaları ve Destek sözleşmeleri [UPS, Yazılım Destek, Yazılım Versiyon], Son kullanıcı desteği. Bu göreve ek olarak haziran 2013 tarihinden itibaren ayrılan kadar asıl işime ek olarak B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı olarak görev almaktaydım.

### **Petlas Lastik Sanayi A.Ş. 10.2016-....**

**Unvan** Proje ve Sistem Mühendisi

**Görev:** Şirket bünyesinde yer alan tüm bilgi işlem alt yapısının işletilmesini sağlamak. Data Hatları, Server Sanallaştırma, Active Directory, Network, Son Kullanıcı Desteği, DLP çözümlerinin yürütülmesi, Firewall (Cybearoam), Storage (Huawei), ERP (IFS Tanım ve Planlama Modülleri) Sorumluluğu

### **İletişim**

Adres : Hacıoğlu 213. Sok. No:4 Kat:2 Osmaneli-BİLECİK  
Güldiken Mah. Şht. Muzaffer Kılıçaslan Cad. Özdemir Apt. 5/6 Merkez-KIRŞEHİR  
Tel : 5557000713  
E-Posta Adresi : erolgurgen@gmail.com

### **Yabancı Dil Bilgisi**

-İngilizce

-Okuma (iyi), Yazma (iyi), Dinleme (iyi), Konuşma(iyi)

**Tarih:27.10.2017**