T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN HATAY İKLİM ŞARTLARINDA BİR UYGULAMA

Osman SONSUZ

DANIŞMAN
Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

II. DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2020

Bu çalışma, 18.06.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Doç. Dr. Cengiz Polat UZUNOĞLU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Serkan KURT
Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik Elektronik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, tez danışmanım ve değerli hocam Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ'a, tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Rana ORTAÇ KABAOĞLU'na ve her zaman sorularıma cevap verip desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Ertuğrul ADIGÜZEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doğumumdan itibaren yanımda olan, maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen ve bana her anlamda destek olan değerli annem Rukiye SONSUZ'a ve her zaman yanımda olan ve desteğini esirgemeyen sevgili eşim Fatma Hilal SONSUZ'a çok teşekkür ederim.

Haziran 2020 Osman SONSUZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **xi**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xii**
ÖZET ..... **xiv**
SUMMARY ..... **xvi**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **3**
2.1. DÜNYADA GÜNEŞ ENERJİSİ 6
2.2. TÜRKİYE'DE ELEKTRİK ENERJİSİ 7
2.3. HATAY'DA ELEKTRİK ENERJİSİ 10
2.4. FOTOVOLTAİK PANELLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ 12
2.5. FOTOVOLTAİK HÜCRELERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ 13
2.6. FOTOVOLTAİK PANEL TÜRLERİ 14
2.6.1. Monokristal Fotovoltaik Panel 14
2.6.2. Polikristal Fotovoltaik Panel 15
2.6.3. Amorf Kristal İnce Film Fotovoltaik Panel 16
2.6.4. Bakır İndiyum Fotovoltaik Panel 16
2.6.5. Galyum Arsenit Fotovoltail Panel 16
3. MALZEME VE YÖNTEM **17**
3.1. MALZEMELER 17
3.1.1. Fotovoltaik Paneller 17
3.1.2. Piranometre 18
3.1.3. Dijital Multimetre 19
3.1.4. Dijital Termometre 19
3.1.5. Temassız Ateş Ölçer 20
3.1.6. Cam Yüzey Temizleyici 20
3.2. YÖNTEM 21
3.2.1. Yapay Sinir Hücresi 21

3.2.2. Yapay Sinir Ağı Yapısı.....25
3.2.3. Ağ Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağı Modelleri 26
3.2.4. Katman Sayılarına Göre Yapay Sinir Ağı Modeleri 27
3.2.5. Öğrenme Şekillerine Göre Yapay Sinir Ağları.....28
3.2.6. Öğrenme Kurallarına Göre Yapay Sinir Ağları.....30
3.2.7. Yapay Sinir Ağlarının Tasarlanması 31
3.2.8. Yapay Sinir Ağların Performansının Değerlendirilmesi 31
4. BULGULAR.....33
4.1. DENEYSEL SONUÇLAR.....33
4.1.1. Polikristal Panellerdeki Kirliliğin Kısa Devre Akımı Üzerindeki Etkisi 33
4.1.2. Monokristal Panellerdeki Kirliliğin Kısa Devre Akımı Üzerindeki Etkisi 35
4.1.3. Polikristal Panellerdeki Kirliliğin Açık Devre Gerilimi Üzerindeki Etkisi.....37
4.1.4. Monokristal Panellerdeki Kirliliğin Açık Devre Gerilimi Üzerindeki Etkisi.....39
4.2. MODELLEME.....41
4.2.1. Temizleme İşlemi Yapılmış Polikristal Panelin YSA Modellemesi 44
4.2.2. Kirli Bırakılmış Polikristal Panelin YSA Modellemesi 46
4.2.3. Temizleme İşlemi Yapılmış Monokristal Panelin YSA Modellemesi 48
4.2.4. Kirli Bırakılmış Monokristal Panelin YSA Modellemesi 50
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 52
KAYNAKLAR.....55
EKLER.....58
EK 1. Temiz polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 58
EK 1. (devam): Temiz polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 59
EK 1. (devam): Temiz polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 60
EK 2. Kirli polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 61
EK 2. (devam): Kirli polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 62
EK 2. (devam): Kirli polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 63
EK 3. Temiz monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 64
EK 3. (devam): Temiz monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 65

EK 3. (devam): Temiz monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 66
EK 4. Kirli monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 67
EK 4. (devam): Kirli monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 68
EK 4. (devam): Kirli monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri. 69
ÖZGEÇMİŞ 70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Yıllara göre dünya genelinde kurulan güneş santrallerin toplam kurulu gücü [21]. 6

Şekil 2.2: En yüksek PV kurulu güce sahip ülkeler [21]. 7

Şekil 2.3: Yıllara göre Türkiye'deki santrallerin kurulu güçleri [22]. 8

Şekil 2.4: Kaynak bazlı kurulu güç yüzdeleri [22]. 9

Şekil 2.5: Hatay ilindeki santrallerin 2019 yılı elektrik üretim değerleri [25]. 11

Şekil 2.6: Hatay ilinin 2019 yılı elektrik tüketim değerleri [25]. 12

Şekil 2.7: Fotovoltaik hücre 13

Şekil 2.8: PV panellerin yıllık elektrik üretim kapasiteleri [28]. 14

Şekil 2.9: Monokristalli fotovoltaik yapı [30] 15

Şekil 2.10: Polikristalli fotovoltaik yapı [30]. 15

Şekil 2.11: Amorf silisyum yapılı fotovoltaik panel 16

Şekil 3.1: Panellerin çatı üzerindeki görünümleri. 17

Şekil 3.2: CEM DT- 1307 piranometre. 18

Şekil 3.3: Twintex Tm199 dijital multimetre. 19

Şekil 3.4: HTC-2 dijital termometre. 19

Şekil 3.5: Acura AC 9270 temazsız ateş ölçer. 20

Şekil 3.6: Yapay sinir hücresi. 22

Şekil 3.7: YSA yapısı. 25

Şekil 3.8: İleri beslemeli yapay sinir ağı modeli 26

Şekil 3.9: Geri beslemeli yapay sinir ağı modeli 27

Şekil 3.10: Tek katmanlı yapay sinir ağları 27

Şekil 3.11: Çok katmanlı yapay sinir ağları 28

Şekil 3.12: Danışmanlı (öğretmenli) öğrenme yapısı 29

Şekil 3.13: Danışmansız (öğretmensiz) öğrenme yapısı 29

Şekil 3.14: Takviyeli (pekiştirmeli) öğrenme yapısı.....30

Şekil 4.1: Temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin akım-zaman grafiği. 33

Şekil 4.2: Temizleme işlemi yapılmamış kirli polikristal panelin akım-zaman grafiği. 33

Şekil 4.3: Temiz ve kirli polikristal panellerin akım-zaman grafiği. 34

Şekil 4.4: Kirlilik nedeniyle polikristal panelde kaybolan akımın yüzde-zaman grafiği.....34

Şekil 4.5: Temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin akım-zaman grafiği.....35

Şekil 4.6: Temizleme işlemi yapılmamış kirli monokristal panelin akım-zaman grafiği. 35

Şekil 4.7: Temiz ve kirli monokristal panellerin akım-zaman grafiği. 36

Şekil 4.8: Kirlilik nedeniyle monokristal panelde kaybolan akımın yüzde-zaman grafiği. 36

Şekil 4.9: Temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin gerilim-zaman grafiği. 37

Şekil 4.10: Temizleme işlemi yapılmamış kirli polikristal panelin gerilim-zaman grafiği. 37

Şekil 4.11: Temiz ve kirli polikristal panellerin gerilim-zaman grafiği.....38

Şekil 4.12: Kirlilik nedeniyle polikristal panelde kaybolan gerilimin yüzde-zaman grafiği 38

Şekil 4.13: Temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin gerilim-zaman grafiği 39

Şekil 4.14: Temizleme işlemi yapılmamış kirli monokristal panelin gerilim-zaman grafiği 39

Şekil 4.15: Temiz ve kirli monokristal panellerin gerilim-zaman grafiği.....40

Şekil 4.16: Kirlilik nedeniyle monokristal panelde kaybolan gerilimin yüzde-zaman grafiği 40

Şekil 4.17: Oluşturulan YSA yapısı 42

Şekil 4.18: YSA oluşturma ekranı 43

Şekil 4.19: Temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin regresyon grafikleri 44

Şekil 4.20: Temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması.....45

Şekil 4.21: Temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması 45

Şekil 4.22: Kirli bırakılmış polikristal panelin regresyon grafikleri 46

Şekil 4.23: Kirli bırakılmış polikristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması 47

Şekil 4.24: Kirli bırakılmış polikristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması 47

Şekil 4.25: Temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin regresyon grafikleri 48

Şekil 4.26: Temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması 49

Şekil 4.27: Temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması 49

Şekil 4.28: Kirli bırakılmış monokristal panelin regresyon grafikleri 50

Şekil 4.29: Kirli bırakılmış monokristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması 51

Şekil 4.30: Kirli bırakılmış monokristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması 51

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: TEİAŞ'ın 2019 yılı elektrik kaynaklarına göre elektrik üretimi verileri [23].....10

Tablo 2.2: 2019 yılında en çok elektrik üretimi gerçekleştiren iller [25]. 11

Tablo 3.1: Panellerin teknik verileri. 18

Tablo 3.2: Toplama fonksiyonu çeşitleri [34]. 23

Tablo 3.3: Aktivasyon fonksiyonu çeşitleri [34]. 24

Tablo 3.4: Yapay sinir ağı algoritmaları ve uygulama alanları [37].....30

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
cm^2	: Santimetrekare
m^2	: Metrekare
mm	: Milimetre
mg	: Miligram
g	: Gram
µm	: Mikrometre
GW	: Gigawatt
MW	: Megawatt
GWh	: Gigawatt saat
MWh	: Megawatt saat
kwh	: Kilowatt saat
W	: Watt
V	: Gerilim
A	: Akım
P_{max}	: Maksimum güç
V_{mp}	: Maksimum güç noktasındaki gerilim
I_{mp}	: Maksimum güç noktasındaki akım
V_{oc}	: Açık devre gerilimi
I_{sc}	: Kısa devre akımı
R	: Korelasyon katsayısı
R^2	: Belirleme katsayısı

Kısaltmalar	Açıklama
LNG	: Sıvılaştırılmış Doğalgaz (Liquefied Natural Gas)
LVQ	: Doğrusal Vektör Parçalama (Linear Vector Quantization)
MAPE	: Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (Mean Absolute Percentage Error)
MLP	: Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi Layer Perceptron)
MSE	: Hata Kareleri Ortalaması (Mean Squared Error)
PV	: Fotovoltaik (Photovoltaic)
RMSE	: Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (Root Mean Square Error)
SOM	: Öz Düzenlemeli Ağ (Self Organizing Map)
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
YSA	: Yapay Sinir Ağı

ÖZET

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN HATAY İKLİM ŞARTLARINDA BİR UYGULAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Osman SONSUZ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

II. Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Rana Ortaç KABAOĞLU

Bu çalışmada, monokristal ve polikristal PV panellerdeki kirliliğin kısa devre akımı ve açık devre gerilimi üzerindeki etkisi, dış ortamda yapılan deneyler ile incelenmiştir. Deneyler Ekim 2019'dan Mayıs 2020'ye kadar 210 gün boyunca Hatay ilindeki iklim şartları altında yapılmıştır. Çalışmada 2 adet 45 W gücünde monokristal PV panel ve 2 adet 50 W gücünde polikristal PV panel kullanılmıştır. PV paneller kiremitli çatı üzerine el ile temizlenmiş ve temizlenmemiş olarak iki gruba ayrılarak yerleştirilmiştir. Monokristal ve polikristal panellerden birer tanesine düzenli aralıklarla elle temizleme işlemi yapılmıştır, diğerlerine ise yağmur dışında hiçbir temizleme işlemi yapılmamıştır. Sabah, öğle ve akşam olmak üzere gün içindeki belirli saatlerde her bir panel için kısa deve akımı, açık devre gerilimi, panel yüzey sıcaklığı ve ışınım değerleri ölçülmüştür. Ayrıca ortam sıcaklığı ve nem değerleri de ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Çevresel faktörlerin panellerin kısa devre akımını etkilediği, açık devre gerilimini önemli bir miktarda etkilemediği bulunmuştur. El ile temizlenmiş panellerin temizlenmemiş panellere göre kısa devre akımı değerlerinin daha fazla olduğu uygulamalı olarak test edilmiştir. Bundan dolayı panellerin belirli periyotlarla temizlenmesinin büyük güçlü güneş enerjisi santrallerindeki elektrik üretimini önemli miktarlarda artıracağı hesaplanmıştır. Deneyler sonucu elde edilen veriler yapay sinir ağları ile modellenmiştir.

Haziran 2020, 87 sayfa.

Anahtar kelimeler: Açık devre gerilimi, kısa devre akımı, kirlilik, panel temizliği, yapay sinir ağları.

SUMMARY

AN APPLICATION FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN HATAY CLIMATE CONDITIONS

M.Sc. THESIS

Osman SONSUZ

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ
Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. Rana ORTAÇ KABAOĞLU

In this study, the effect of pollution on monocrystalline and polycrystalline PV panels on short circuit current and open circuit voltage was investigated by external experiments. Experiments were carried out under climate conditions in Hatay province for 210 days from October 2019 to May 2020. In the study, 2 pieces of 45 W power monocrystalline PV panels and 2 pieces of 50 W power polycrystalline PV panels were used. PV panels were placed in two groups as manuelly cleaned and uncleaned on the tile roof. One of the monocrystal and polycrystalline panels was cleaned manually for regular periods, while the others were not cleaned except rain. Short circuit current, open circuit voltage, panel surface temperature and radiation values were measured for each panel at certain times during the day, in the morning, at noon and in the evening. In addition, ambient temperature and humidity values were measured and recorded. Environmental factors have been found to affect the short circuit current of the panels, not significantly affecting the open circuit voltage. It has been practically tested that manually cleaned panels have higher short circuit current values than uncleaned panels. Therefore, it has been calculated that cleaning the panels periodically will significantly increase the electricity production in powerful solar power plants. The data obtained as a result of experiments are modeled with artificial neural networks.

June 2020, 87 pages.

Keywords: Open circuit voltage, short circuit current, pollution, panel cleaning, artificial neural networks.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu var olduğundan beri hayatını devam ettirebilmek için enerjiye ihtiyaç duymuştur. Özellikle elektrik enerjisi teknolojik gelişmelerle beraber insanlığın en temel ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. İnsanlık bu temel gereksinimini yıllardır kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtlar sayesinde karşılamıştır. Günün birinde fosil yakıtlar hiç tükenmeyecekmiş gibi elektrik enerjisini kullanmaya devam etmiştir. Fakat pek çok uzman fosil yakıtların yıllar geçtikçe azalıp tükeneceğini ve artan enerji ihtiyacına karşılık veremeyeceğini söylemektedir. Bundan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenmez ve temiz bir enerji kaynağı olmasından dolayı, ülkelerin alternatif enerji kaynaklarına olan yatırımı son yıllarda çarpıcı bir şekilde artmıştır.

Tez çalışmamızın da konusu olan yenilenebilir enerji kaynağı türlerinden biri de fotovoltaik panellerdir. Bu paneller güneşten gelen fotonları elektrik enerjisine dönüştürme prensibiyle çalışır. Avantajı temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması dezavantajı ise üretim maliyetlerinin yüksek olması ve panel verimliliğinin düşük olmasıdır. Fotovoltaik sistemlerin üretim maliyetlerinin yüksek olmasının başlıca sebebi pazar payının düşük olmasıdır. Güneş enerjisi alanında çalışan uzmanlar, üretim maliyetlerini düşürmek ve fotovoltaik panellerin verimini artırmak için çalışmalar yapmaktadır. Aynı zamanda devletlerde fotovoltaik sistemlerin yaygınlaşması için bireysel ve tüzel kişilere teşvikler sunmaktadır. Bundan dolayı güneş panellerinin pazar payı yıllar geçtikçe gelişmektedir.

Nem, sıcaklık, iklim, rüzgâr, toz, yağmur gibi dış etkenler panel verimliliğini etkileyen faktörlerdendir. Ülkemiz günlük ortalama 7,5 saat güneşlenme süresi olmasına rağmen farklı iklim tiplerine sahip olması nedeniyle bu tip dış etkenlere fazlasıyla sahiptir [1]. Rüzgârın taşıdığı toz, kir ve polenler ile yağmur sularının oluşturduğu su lekeleri zamanla panellerin üzerindeki cam yüzeyi kirletmektedir. Oluşan kirlilik güneşten gelen fotonların fotovoltaik hücreye ulaşmasını engelleyerek fotovoltaik panellerin verimini azaltıcı etki yapmaktadır. Bergin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre farklı ülkelerdeki kirliliğin, fotovoltaik panellerin verimini %17-25 aralığında azalttığını tespit etmiştir [2]. Bir diğer çalışmada ise Rahman ve arkadaşları, fotovoltaik paneller üzerindeki doğal kirliliğin verimi %20'ye kadar düşürebileceğini bulmuşlardır [3].

Doğal kirliliğin fotovoltaik paneller üzerinde ne derece etkili olduğunu bulmak, panel verimliliğini artırma çalışmalarına önemli bir katkı sağlayabilir. Büyük ölçekli güneş santralleri projeleri kurulurken kirliliğin enerji üretimine etkisi hesaplanabilir. Kirlilik nedeniyle oluşabilecek enerji kayıplarını önlemek için farklı yöntemler aranabilir. Enerji üretimi ve temizlik giderleri açısından fotovoltaik panellerin temizlenme periyotları belirlenebilir. Panel temizliği açısından farklı teknolojiler ve malzemeler geliştirilebilir.

Bu tez çalışmasında, Akdeniz Bölgesi iklimi şartlarında monokristal ve polikristal fotovoltaik panellerin kirlilik faktöründen ne derece etkilendiği açıklanmaktadır. Kirliliğin paneller üzerindeki etkisini incelemek için monokristal ve polikristal fotovoltaik panellerin çıkışındaki açık devre gerilimi ve kısa devre akımı değerleri karşılaştırma yapılarak incelenmiştir. Çalışmada 2 adet 45 Watt gücünde Lexron marka monokristal fotovoltaik panel ile 2 adet 50 Watt gücünde Cansolar marka polikristal fotovoltaik panel kullanılmıştır. Fotovoltaik paneller Hatay ili Yayladağı ilçesinde bulunan Yavuz Sultan Selim Han Mesleki ve Teknik Anadolu lisesinin yemekhane binasının güney cephesine bakan çatısına kurulmuştur. Monokristal ve polikristal panellerden birer tanesine düzenli aralıklarla temizleme işlemi yapılmıştır, diğerlerine ise hiçbir temizleme işlemi yapılmamıştır. Güneşten gelen ışınım, Cem markasının DT- 1307 modeli güneş ışınımı ölçer cihazı ile ölçülmüştür. Panellerin yüzey sıcaklıkları ise Acura markasının AC-9270 modeli temassız kızılötesi termometresi yardımıyla ölçülmüştür. Ortam sıcaklığı ve nem, HTC-2 marka dijital sıcaklık nemölçer termometre ile ölçülmüştür. Panellerin kısa devre akımları ve açık devre gerilimleri Twintex markasının Tm199 modeli dijital multimetresi ile ölçülerek belli periyotlarla kaydedilmiştir. Elde edilen tüm veriler, her bir panel için yapay sinir ağlarında modellenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Günümüzde teknoloji çağının yaşanıyor olması ve ülkelerin hızla artan nüfusu enerjiye olan talebi gittikçe artırmıştır. Fosil yakıtların tükenme evresine girerek artan enerji talebini karşılayamayacak olması ülkelerin yenilenebilir enerji sistemlerine olan yatırımlarını yıllar geçtikçe artırmaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojileri içerisindeki güneş enerjisi ise, bakım ve kullanım kolaylığının olması nedeniyle son yıllarda popülaritesini artırmıştır [4]. Güneş enerjisi, konut ve işyerlerinin ısıtma ve soğutması, sıcak su üretimi, seraların ısıtılması, tarımsal sulama gibi alanlarda kullanılmaktadır [5].

Güneşten gelen foton parçacıkları, fotovoltaik hücreler vasıtasıyla direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Bir fotovoltaik modülden alınan güç çıkışı güneş pillerine ulaşan ışınım miktarına bağlıdır. Modülden ideal güç çıkışını veya optimum verimi ise birçok çevresel faktör belirler [6].

Toz parçacıklarının panellerin üzerinde birikmesi, güneş pillerinin performansını bozar ve güneş panelinin yüzeyi üzerine düşen güneş ışınımını engelleyerek üretilen güçte kayda değer kayıplara neden olur. Belli bir zamandan sonra güneş enerjisi santralleri toz birikiminden önemli ölçüde etkilenir. Özellikle büyük ölçekli güneş enerjisi santralleri toz birikiminden çok yüksek miktarda etkilenmektedir. Eğer bu etki göz ardı edilirse, santrallerin gerçek ve tahmini enerji verimi arasında büyük bir fark ortaya çıkar [7].

Toz birikimi güneş kolektörünün eğim açısı, maruz kalma süresi, iklim koşulları, rüzgâr ve toz özellikleri gibi çevresel faktörlere bağlıdır. Ayrıca, PV panellerin yüzey malzemesi toz birikimini önemli ölçüde etkileyebilir. Epoksi ile paketlenmiş polikristal silikon modül, aynı toz konsantrasyonu altında cam yüzeyli diğer modüllerden daha hızlı bozulur [8].

Malzeme ve tasarım parametrelerinin yanı sıra, PV hücresinin performansını etkileyebilecek toz, nem ve hava hızı gibi çevresel faktörler vardır. Nem, fotovoltaik pil verimliliğinde azalmaya neden olmaktadır. Yüksek rüzgâr hızı ise atmosferik havanın bağıl nemini düşürerek daha iyi verimlilik sağlamaktadır. Aynı zamanda artan rüzgâr hızı ile birlikte panel yüzeyinin yüksek sıcaklığı düşmektedir. Bunların aksine rüzgâr, tozları çevreye saçarak fotovoltaik hücrelerinin gölgelenmesine ve performansının düşmesine neden olmaktadır [9].

Boyle ve arkadaşları, doğal kirliliğin Colorado bölgesindeki fotovoltaik panellere olan etkisini araştırmışlardır. Toz birikimi ile ışın geçirgenliği arasında doğrusal biri ilişki olduğu tespit edilerek metrekarede biriken her 1 gram tozun ışık geçirgenliğini %4,1 azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca Colorado iklim şartları altında PV paneller üzerinde metrekarede günde 1 ile 50 mg arasında toz biriktiği tespit edilmiştir. Biriken tozların ise metrekarede 2 g üzeri olduğunda görülebildiği gözlemlenmiştir [10].

Gholami ve arkadaşları, toz birikiminin fotovoltaik sistemler üzerindeki etkisini incelemek için İran'ın Tahran şehrinde 9 Mayıs 2017 tarihinde başlayan 70 günlük bir deney gerçekleştirdiler. Deney sonuçlarına göre yağmursuz 70 günün sonunda metrekarede yaklaşık 6 gram toz biriktiğini ve bunun da güç çıkışını %21,47 azalttığını gözlemlemişlerdir [11].

Adinoyi ve Said, toz birikiminin PV modüllerinin güç çıkışı üzerindeki etkisi üzerine Suudi Arabistan'ın doğusundaki Dhahran ilinde bir çalışma yapmıştır. Elde ettikleri deney sonuçlarına göre tek bir toz fırtınasının fotovoltaik modülün güç çıkışının %20'ye kadar azaltabildiği tespit edilmiş, altı ayı aşan bir süre boyunca fotovoltaik modüller üzerinde temizlik yapılmazsa güç çıkışında %50'den fazla düşüş yaşanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Güneş panellerinin en az iki haftada bir temizlenmesi gerektiğini kum fırtınası meydana geldiğinde ise hemen temizlenmesi gerektiğini tavsiye etmişlerdir [12].

Klugmann-Radziemska'nın Polonya'nın Gdansk şehrinde gerçekleştirdiği çalışmanın sonuçlarına göre bir mikrometre doğal toz kalınlığının fotovoltaik sistemlerin verimliliğini %25,5 oranında azalttığını tespit etmiştir. Ayrıca tozun fiziksel özelliklerinin coğrafi alana ve çevresel koşullara bağlı olabileceğini de belirtmiştir [13].

Kazem ve Chaichan, Umman'daki toz birikmesinin PV modüllerinde neden olduğu enerji kayıplarını araştırmıştır. Üç ay boyunca Kuzey Umman'daki altı farklı yerden toplanan altı toz örneğinin fiziksel özelliklerini değerlendirmek için deney yapılmıştır. Toz parçacıklarının %64'ünün çaplarının 2 ila 63 μm arasında değiştiğini, PV modülleri üzerindeki toz birikiminin ise konuma göre değiştiği bulunmuştur. Üç aydan uzun süre hava koşullarına maruz kalındıktan sonra PV modülün verimliliğinde %35-40'a kadar bir düşüş olduğu tespit edilmiştir [14].

Chaichan ve arkadaşları, karayollarından kaynaklanan hava kirliliğinin fotovoltaik panellerin performansına olan etkisini incelemek için Aralık 2014'ten Mart 2015'e kadar 4 ay süreyle bir

çalışma yapmışlardır. Bağdat şehrindeki yüksek trafik yoğunluğuna sahip Mohammed Al-Qasim karayolu yanındaki University of Technology kampüsünde yapılan deneylerde kirlenmiş panellerin temiz panellere göre %12 daha az güç ürettiği hesaplanmıştır. Ayrıca fotovoltaik panellerin üzerinde biriken tozların içeriğinde, arabaların egzozlarından kaynaklanan yüksek oranda hidrokarbon partikül madde tespit edilmiştir [15].

Appels ve arkadaşları, kirliliğin paneller üzerindeki etkisini ölçmek için yapılan çalışmaların daha çok Ortadoğu da olduğunu ileri sürerek çalışmalarını Avrupa kıtasında bulunan Belçika da yapmıştır. Yapılan deney sonuçları, kirliliğin paneller üzerindeki etkisinin Ortadoğu da ki kadar şiddetli olmadığını göstermiştir. Yağışların sadece daha büyük toz parçacıkları (polen, 60 μm) üzerinde temizleme etkisi olduğunu, küçük toz partikülleri (2-10 μm) üzerinde çok az veya hiç temizleme etkisi olmadığı tespit edilmiştir [16].

Urrejola ve arkadaşları, Şili'nin başkenti Santiago da iki yıl boyunca yaptıkları deney çalışması sonucu temizlik ve enerji fiyatlarının ne olursa olsun 45 günlük bir temizlik süresi önermişlerdir. Aynı zamanda Santiago iklim şartlarında oluşan toz birikintilerinin günlük %0,13 ile %0,56 arasında PV panellere performans kaybettirdiğini tespit etmişlerdir [17].

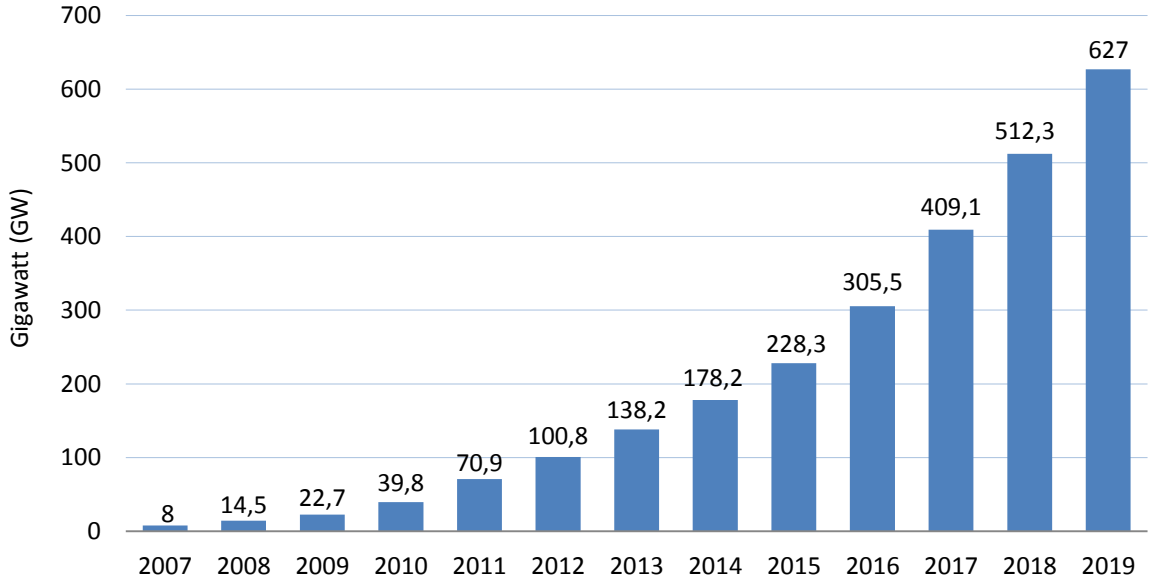
Rao ve arkadaşları, toz birikintilerin PV panellerin performansı üzerindeki etkisini incelemek için Hindistan da iç mekanda ve dış mekanda deneyler yapmışlardır. Yaptıkları deneylerin sonuçlarına göre toz birikiminin açık devre gerilimini önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir. Ancak kısa devre akımının iç mekanda yapılan deneylerde %30-40 etkilendiğini, dış mekan deneylerinde ise %4-5 etkilendiğini bulmuşlardır [18].

Zaihidee ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalarda PV panelin bir metrekaresinde biriken 20 gram tozun kısa devre akımını %15-21, açık devre gerilimini %2-6, verimliliği %15-35 oranında azalttığını bulmuşlardır. Panellerde biriken toz, gelen güneş ışınımını ve yüzey geçirgenliğini azaltıp, kısmi gölgeleme efekti uyguladığını ayrıca panel sıcaklığını artırarak PV panelin veriminin bozulmasına sebep olduğunu tespit etmişlerdir [19].

Bu çalışmada güneş enerjisi piyasasında en çok satılan monokristal (2 adet) ve polikristal (2 adet) PV paneller Hatay ilinin Yayladağı ilçesinde kurulmuştur. Monokristal ve polikristal panellerden birer tanesi düzenli aralıklarla temizlenmiştir. Diğer kalanlar ise Hatay ili Akdeniz iklimi şartları altında yağmur dışında hiç temizlenmemiştir. PV panellere yapılan test işlemlerinden sonra elde edilen veriler Yapay Sinir Ağlarında modellenmiştir.

2.1. DÜNYADA GÜNEŞ ENERJİSİ

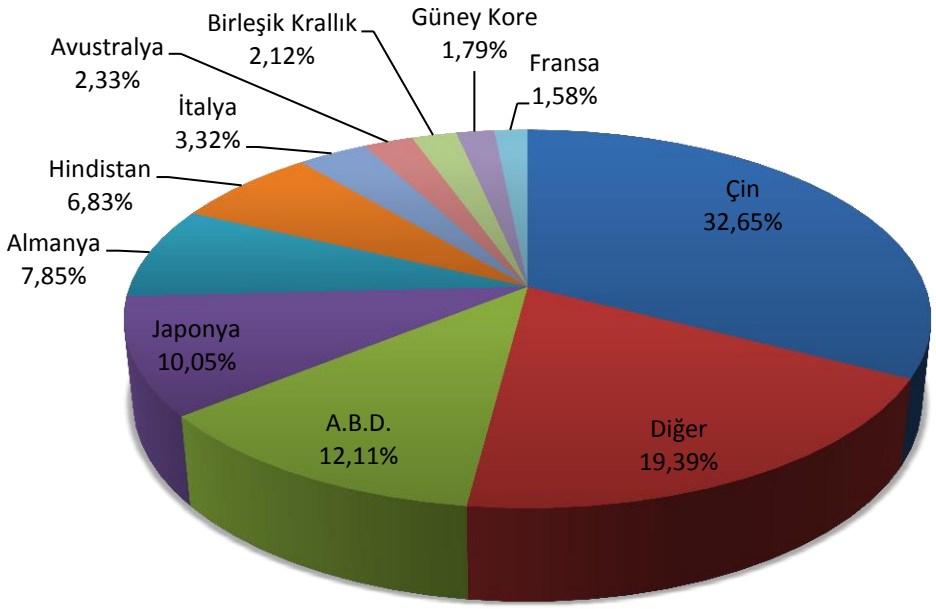
Doğrudan ya da dolaylı birçok maddenin ham maddesi olan fosil yakıtlar yıllar geçtikçe azalmakta, atmosfere salınan sera gazı miktarı ise artış göstermektedir. Bundan dolayı birçok ülke alternatif enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden elektrik üretimine olan talepte yıllar geçtikçe katlanarak artmaktadır. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi 2012 yılında 100,8 GW olan kurulu güç 2019 yılının sonunda yaklaşık altı kat artarak 627 GW değerine ulaşmıştır. Üretim teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak ilerleyen yıllarda enerji yatırımlarının daha da artması beklenilmektedir. Avrupa Fotovoltaik Sanayi Birliği SolarPower Europe'un 2023 yılı beklentilerine göre toplam kurulu güç en düşük senaryoya göre 1.043 GW, en yüksek senaryoya göre ise 1.610 GW'a ulaşacaktır [20].



Şekil 2.1: Yıllara göre dünya genelinde kurulan güneş santrallerin toplam kurulu gücü [21].

Ülkeler bazında değerlendirme yapıldığında ise güneş santrallerinin kurulu güç değerleri incelendiğinde ilk üç sırayı Çin Halk Cumhuriyeti, Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya almaktadır. Şekil 2.2'de görülüğü gibi 2019 yılının sonunda toplam kurulu gücün %32,65'lik kısmına yani 204,7 GW gücüne Çin Halk Cumhuriyeti sahiptir. Ardından %12,11 ile Amerika Birleşik Devletleri 75,9 GW kurulu güç değeri ile ikinci sırada yer almaktadır. Üçüncü sırada ise %10,05'lik pay ile 63 GW kurulu güce sahip Japonya gelmektedir. Bu değerleri

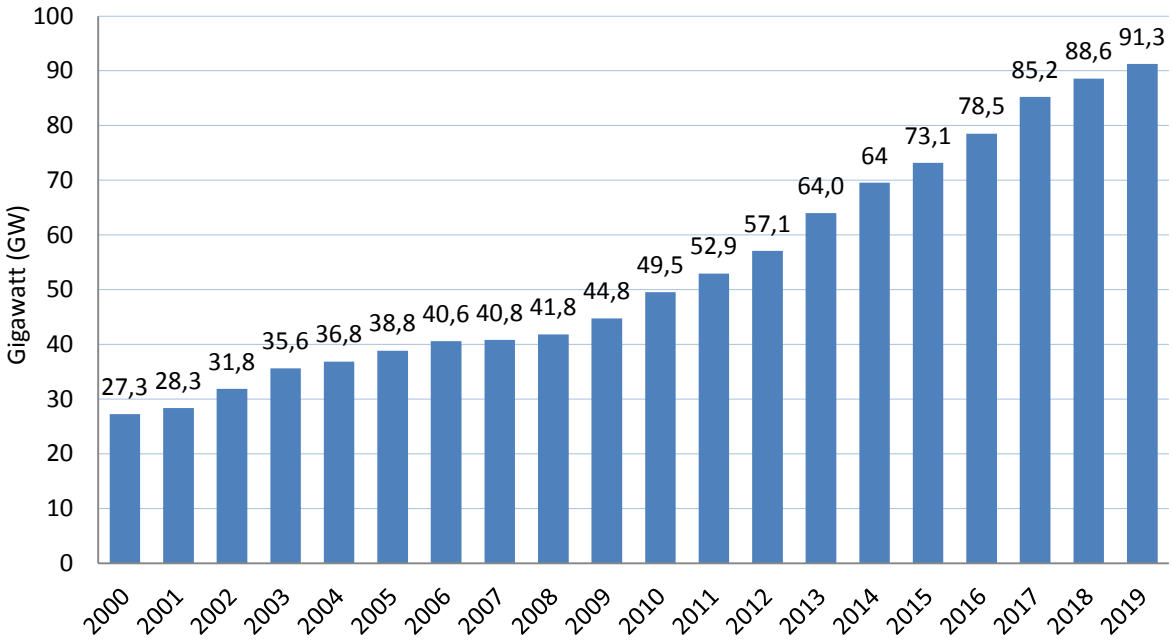
yorumlarken jeopolitik konum, nüfus, ekonomi, ham madde, iş gücü gibi etkenlerinde fotovoltaik santrallerin yatırımını etkilediğini göz önünde bulundurmak gerekir.



Şekil 2.2: En yüksek PV kurulu güce sahip ülkeler [21].

2.2.TÜRKİYE'DE ELEKTRİK ENERJİSİ

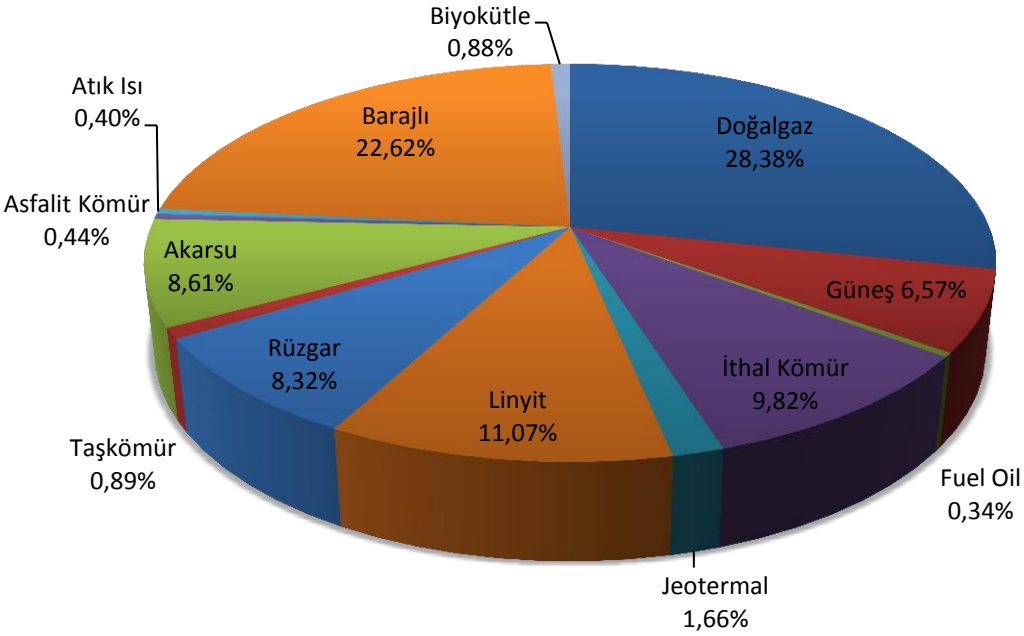
TEİAŞ'ın raporuna göre 2019 yılı Aralık ayı sonu itibariyle Türkiye'nin santrallerin kurulu gücü 91,3 GW'a ulaşmıştır. Şekil 2.3'te son yirmi yılın kurulu güç değerleri incelendiğinde yıllar geçtikçe enerji yatırımlarının arttığı gözlemlenmiştir. 2009 yılında kurulu güç 44,8 GW iken on yıl içerisinde iki katına çıkmıştır. Nüfus, sanayileşme, ekonomi, teknolojik gelişmeler gibi etkenler elektriğe olan talebi artıran sebepler olarak söylenebilir. Türkiye'de kurulan santral sayısı ise bir önceki yıla göre 2019 yılının sonunda %15,71 artarak 8.589'a yükselmiştir.



Şekil 2.3: Yıllara göre Türkiye'deki santrallerin kurulu güçleri [22].

Türkiye'de bulunan elektrik santrallerin kaynak bazlı kurulu güç değerlerine bakıldığında 25.902 MW güç değeri ve 332 santral sayısı ile doğalgaz toplam kurulu gücün %28,38'ini oluşturmaktadır. Ardından 20.642 MW güç değeri ve 124 santral sayısı ile barajlı hidrolik santraller toplam kurulu gücün %22,62 'sini oluşturmaktadır. Üçüncü sırada ise 10.101 MW güç değeri ve 48 santral sayısı ile linyit kaynaklı santraller toplam kurulu gücün %11,07'sini oluşturmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi santrali sayısında son yıllardaki devlet desteği ile beraber artış olmuştur. 2019 yılı sonu itibariyle güneş enerjisi santrali sayısı 6.901'e çıkmıştır. Toplam santral sayısının yaklaşık %80'ini güneş enerjisi santrali oluşturmuştur. Teknolojik gelişmeler ve üretim maliyetlerinin düşmesi ile birlikte bu sayının önümüzdeki yıllarda daha da artması beklenilmektedir. Kaynak bazlı kurulu güç dağılımında ise güneş enerjisi 5.995 MW güç ile toplam kurulu gücün %6,57'sini oluşturmaktadır.



Şekil 2.4: Kaynak bazlı kurulu güç yüzdeleri [22].

Tablo 2.1'de verilen Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'nin elektrik üretimi verilerine bakıldığında 2019 yılı sonundaki brüt elektrik üretimi 304.252 GWh olmuştur. 2018 yılındaki brüt elektrik üretimi değerine göre kıyaslandığında %0,38 azalma olmuştur. Elektrik üretiminin %29,21'lik kısmını 88.886 GWh üretim ile hidrolik kaynaklı santraller sağlamıştır. %21,77'lik kısmını ise 66.224 GWh üretim ile Taşkömürü, ithal kömür ve asfaltit kaynaklı santraller gerçekleştirmiştir. Doğalgaz yakıtlı elektrik üretim santralleri, 2018 yılında toplam üretimin %30,34'lük kısmını gerçekleştirirken, 2019 yılında bu oran 56.703 GWh üretim ile %18,64'e düşmüştür. Bu düşüşün temel sebebi, hidrolik kaynaklı elektrik santrallerinde elektrik üretiminin artış göstermesidir.

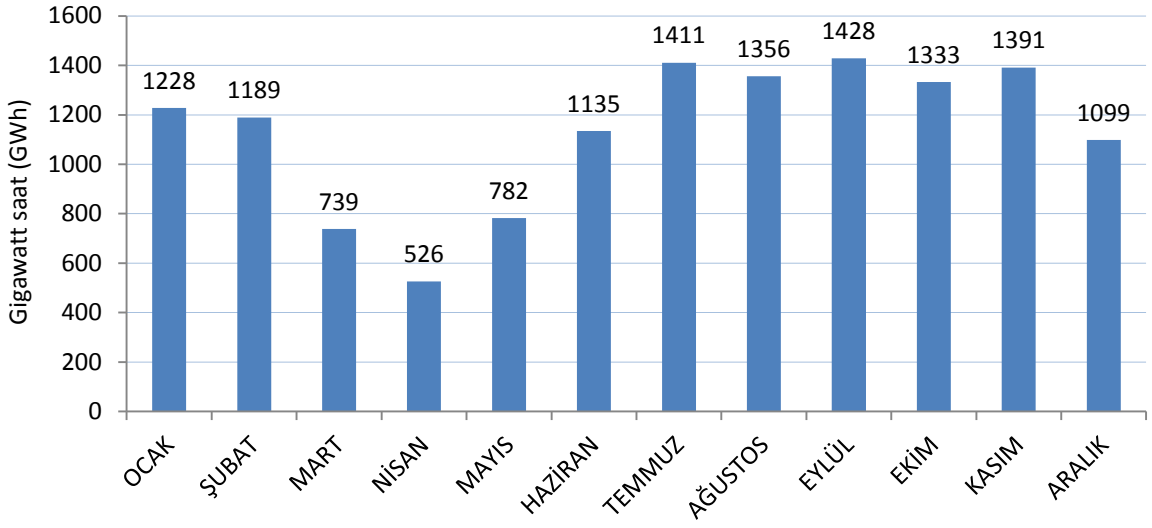
Tablo 2.1: TEİAŞ'ın 2019 yılı elektrik kaynaklarına göre elektrik üretimi verileri [23].

KAYNAK	ÜRETİM (GWh)	ORAN
TAŞKÖMÜRÜ + LİNYİT + ASFALİT	66.224	%21,77
LİNYİT	46.894	%15,41
SIVI YAKITLAR	734	%0,24
DOĞALGAZ + LNG	56.703	%18,64
YENİLENEBİLİR + ATIK	4.524	%1,49
JEOTERMAL + RÜZGÂR + GÜNEŞ	40.287	%13,24
HİDROLİK	88.886	%29,21
TOPLAM	**304.252**	**%100**

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'nin açıkladığı verilere göre 2019 yılı sonundaki brüt elektrik tüketimi 2018'e göre %0,16'lık düşüşle 303.674 GWh olmuştur [24].

2.3. HATAY'DA ELEKTRİK ENERJİSİ

Şekil 2.5'te Hatay ilindeki lisanslı ve lisanssız tüm elektrik santrallerinin aylık elektrik üretim değerleri gösterilmiştir. On iki aylık tüm veriler toplandığında Hatay'ın 2019 yılı elektrik üretim değeri 13.617 GWh çıkmaktadır. Bu değer 2019 yılı Türkiye genelindeki tüm santrallerin (lisanslı/lisanssız) ürettiği elektriğin %4,47'sine karşılık gelmektedir. En çok üretim yapılan ay 1.428 GWh ile Eylül ayı olmuştur. En az üretim yapılan ay se 526 GWh ile Nisan ayı olmuştur.



Şekil 2.5: Hatay ilindeki santrallerin 2019 yılı elektrik üretim değerleri [25].

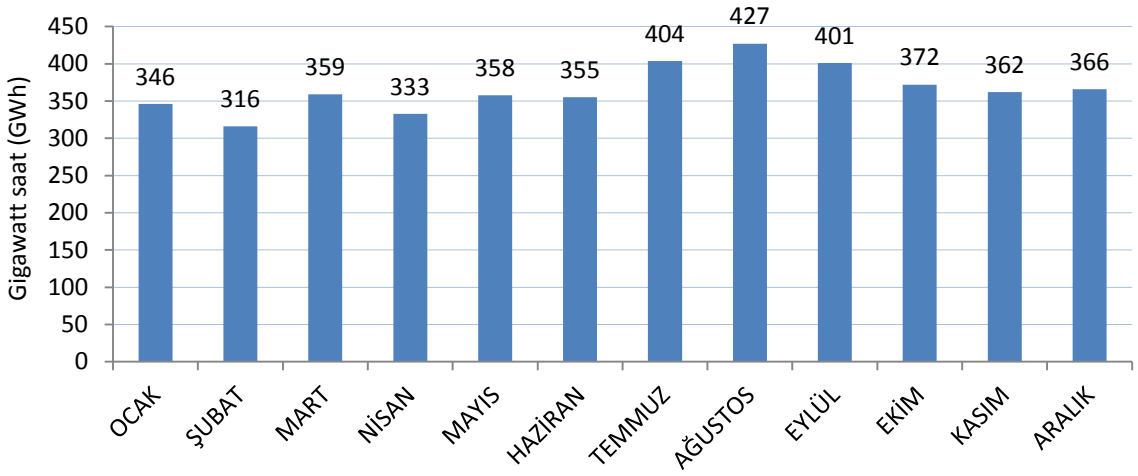
Tablo 2.2'de 2019 yılı içerisinde lisanslı ve lisanssız elektrik santrallerinde en çok üretim yapan iller verilmiştir. Hatay bu tablo içerisinde 13.617 GWh ile en çok elektrik üretim yapan dördüncü il olmuştur. İlk sırada 26.287 GWh ile Çanakkale, ikinci sırada 21.756 GWh ile Zonguldak, üçüncü sırada 17.678 GWh ile Adana yer almıştır.

Tablo 2.2: 2019 yılında en çok elektrik üretimi gerçekleştiren iller [25].

ŞEHİR	ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)
ÇANAKKALE	26.287
ZONGULDAK	21.756
ADANA	17.678
HATAY	13.617
İZMİR	13.589
MUĞLA	12.417
MANİSA	12.286
ŞANLIURFA	11.819
ELAZIĞ	10.656
KAHRAMANMARAŞ	10.309

Şekil 2.6'da 2019 yılı içerisindeki Hatay ilinin elektrik tüketim değerleri verilmiştir. On iki aylık tüm veriler toplandığında Hatay'ın 2019 yılı elektrik tüketim değeri 4.400 GWh olarak gerçekleşmiştir. En çok tüketim yapılan ay 427 GWh ile Ağustos ayı olmuştur. En az tüketim yapılan ay ise 316 GWh ile Şubat ayı olmuştur. Toplam tüketimin %44,14'lük kısmı 1.942

GWh ile sanayide, %28,05'lik kısmı 1.234 GWh ile meskende, %21,59'luk kısmı 950 GWh ile ticarethanede, %4'lük kısmı 176 GWh ile tarımsal sulamada, %2,23'lük kısmı 98 GWh ile aydınlatmada gerçekleşmiştir. 2019 Aralık ayı sonu itibariyle Hatay ili elektrik abone sayısı bir önceki yıla göre %3,02 artarak 779.263 olmuştur.



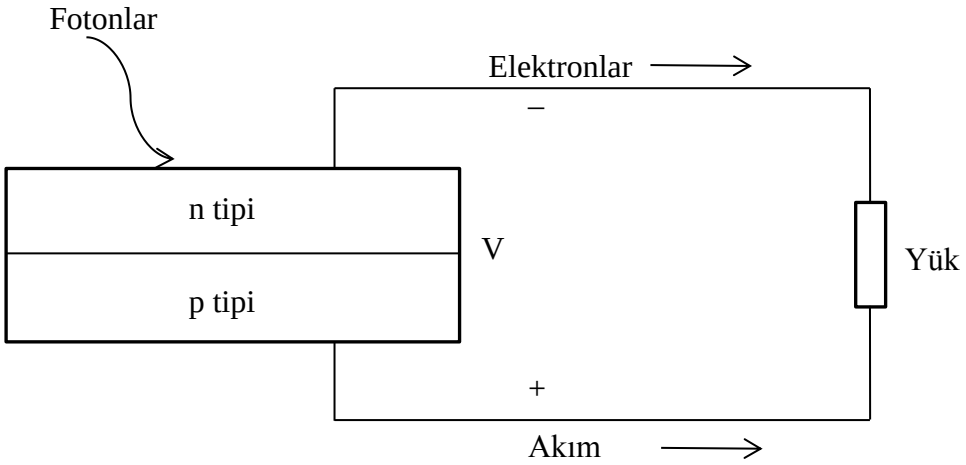
Şekil 2.6: Hatay ilinin 2019 yılı elektrik tüketim değerleri [25].

2.4. FOTOVOLTAİK PANELLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Fotovoltaik etki ile ilk defa gerilim ve akım üretmeyi 1839 yılında fizikçi Alexandre- Edmond Becquerel başarmıştır. Fransız mucit bu etkiyi güneş ışığına maruz kalan iletken bir çözeltideki elektrotta gözlemlemiştir. 1873 yılında İngiliz Elektrik Mühendisi Willoughby Smith Selenyum elementinin foto iletkenliğini keşfederek güneş pilini üretti. Fotovoltaik çalışmaları 1877 yılında W.G.Adams ve R. E. Day devam ettirdi. Yaptıkları çalışmalar sonucunda katı formdaki malzemelerinde fotovoltaik etki oluşturabileceğini buldular. Tarihler 1883 yılını gösterdiğinde ise Amerikalı Mucit Charles Fritts, selenyum elementini kullanarak %1 verimle çalışan ilk fotovoltaik pili üretti. 1954 yılında G. L. Pearson ve C. S. Fuller, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Bell Laboratuvarlarında ilk silisyumlu güneş pilini geliştirdiler. Geliştirdikleri güneş pili %6 verimle çalışmaktaydı. 1957 yıllara gelindiğinde silisyumlu fotovoltaik hücrelerin verimi %8'lere kadar ulaştı. 1958 yılında ilk defa bir uzay aracında %9 verimle çalışan güneş pilleri kullanıldı. 100 cm^2 alanda 0.1 Watt güç elde edildi. Teknolojik imkanların hızla gelişmesiyle fotovoltaik hücre verimliliği %40'lara ulaşmıştır [26].

2.5. FOTOVOLTAİK HÜCRELERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

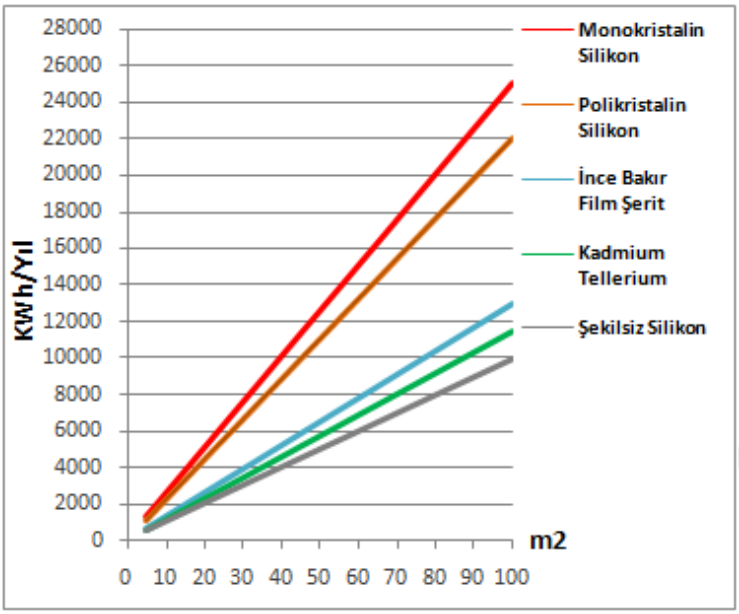
Güneş panelleri ihtiyaç duyulan gerilim ve akım değerlerine göre bir dizi fotovoltaik hücrelerden meydana gelir. Hücreler güneşten gelen ışınları içerisindeki pozitif-negatif silikon yapı vasıtasıyla elektrik enerjisine çevirir. Bu hücreler basit cihazlar olup elektrik akımının tek yönlü akışını sağlayan p-n jonksiyonlu diyotlara benzerlik göstermektedir. Her bir fotovoltaik hücrede fosfor elementiyle katkılanmış ince n tipi bir silikon tabaka ve bor elementiyle katkılanmış düz geniş bir p tipi silikon tabaka bulunur. N tipi silikon tabaka pilin negatif kutbunu oluştururken, p tipi silikon tabaka pozitif kutbunu oluşturur. Bu hücreler alt tarafından elektriği iletmesini sağlayan geniş tek bir metal iletken ile bağlantılıdır. Üst tarafından ise yüzeyin büyük kısmının ışık almasına izin veren parmak iletkenler bulunur. Negatif tip silikon içerisinde fazladan elektron vardır. Pozitif tip silikonda ise doldurulmak için bekleyen fazladan boşluklar vardır. Güneşten gelen ışık fotovoltaik hücrenin yüzeyine vurduğunda güneş enerjisinin taşıyıcıları fotonlar üst tabakayı geçerek pozitif ve negatif yüzeyler arasındaki bağlantı (junction) bölgesine gelir. Fotonlar jonksiyon bölgesindeki elektronları elektrik alanının etkisiyle bulundukları yerden üst yüzeye hareket ettirirken, boşlukları alt yüzeye ittirir. Bir yük devresini fotovoltaik hücrenin dışındaki iletkenlere bağladığımız zaman üst tabakaya hareket etmiş elektronlar negatif yüzeyi terk eder ve pozitif yüzeyin altında kullanıma hazır olan boşluklara doğru hareket eder. Bu döngü güneşten ışınım geldiği sürece devam ederek elektrik üretimini gerçekleştirmiş olur [27].



Şekil 2.7: Fotovoltaik hücre.

2.6. FOTOVOLTAİK PANEL TÜRLERİ

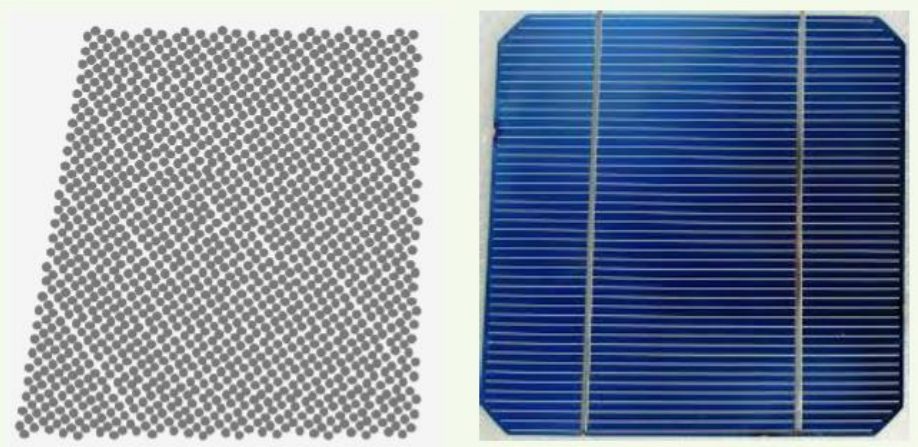
Günümüzde fotovoltaik panellerin üretiminde farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler üretim maliyeti, verim ve tercihlere göre değişiklik göstermektedir. Fiyat performans olarak en çok tercih edilen monokristal ve polikristal hücreli fotovoltaik panellerdir. Bundan dolayı tez çalışmasında monokristal ve polikristal fotovoltaik paneller kullanılmıştır. Çeşitli yöntemlerle üretilmiş bazı fotovoltaik panellerin birim alanda yıllık elektrik üretim kapasiteleri Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.8: PV panellerin yıllık elektrik üretim kapasiteleri [28].

2.6.1. Monokristal Fotovoltaik Panel

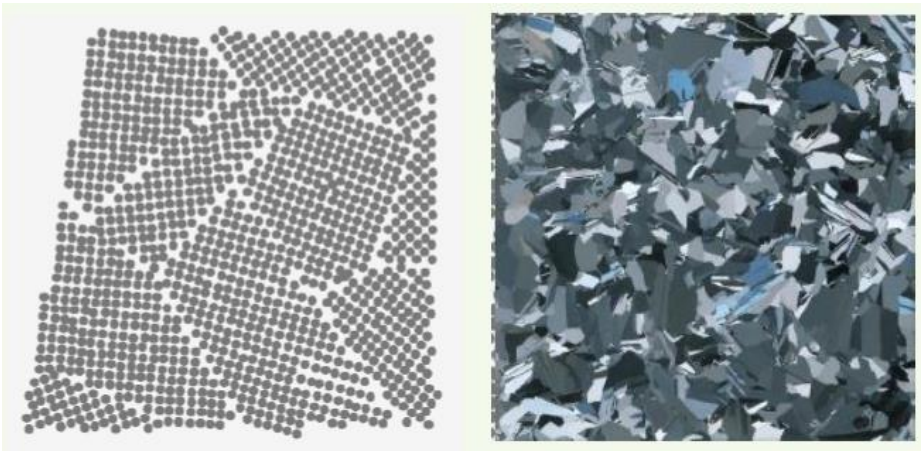
Monokristal panellerin yüzeyleri koyu mavi veya siyah renktedir. Diğer fotovoltaik panellere göre verimleri yüksek ve uzun ömürlüdür ancak üretim maliyetleri açısından daha pahalıdır. Üretimlerinde Czochralski yöntemi adı verilen bir metot kullanılmaktadır. Kullanılan yöntem, bir aşı kristalinin kristal malzemenin içerisine batırılması ile birlikte yavaş yavaş soğuk bir alana çekilerek tek ve büyük bir kristal büyütme işlemidir. [29]. Bundan dolayı Şekil 2.9'da görüldüğü gibi monokristal panellerin kristal dizilimleri düzgün dağılımlı görünmektedir.



Şekil 2.9: Monokristalli fotovoltaik yapı [30].

2.6.2. Polikristal Fotovoltaik Panel

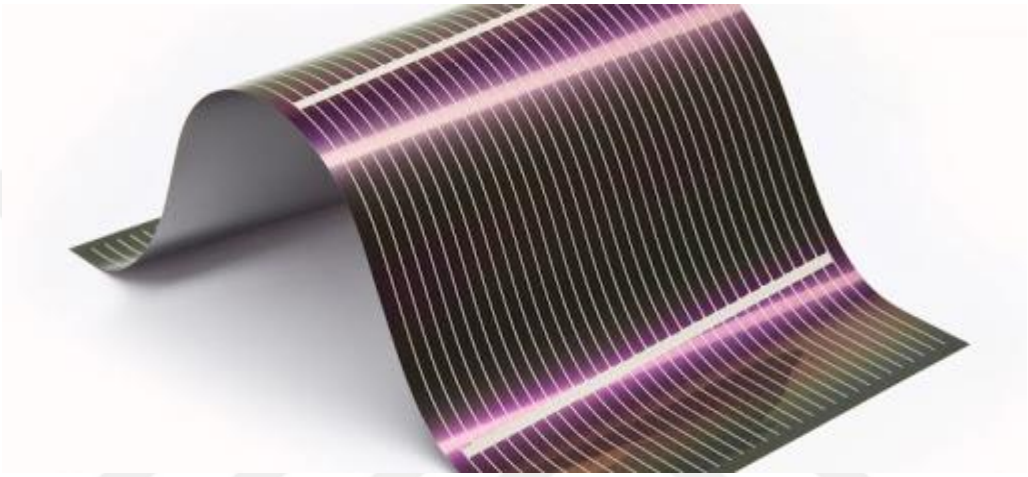
Panel çeşitlerinden bir diğeri çok kristal yapıda olan polikristal paneldir. Polikristal panellerin yüzeyleri mavi renktedir. Üretim maliyetleri açısından monokristal panellere göre daha ucuzdur. Enerji üretim verimliliği açısından monokristal fotovoltaik panellere göre daha az verimlidir. Ancak buna rağmen fiyat performans açısından değerlendirildiğinde en çok tercih edilen paneller, polikristal panellerdir. Bu panellerin yapım aşaması monokristal panellere benzerlik göstermektedir. Eriyik durumda bulunan yarıiletken silisyumun kalıplarda soğutulmasından sonra belirli boyutlarda kesilerek elde edilir. Bu yüzden Şekil 2.10'da görüldüğü gibi polikristal panellerin kristal dizilimleri monokristal panellere göre karmaşık dağılımlıdır. Bundan dolayı düşük gerilim taşırlar.



Şekil 2.10: Polikristalli fotovoltaik yapı [30].

2.6.3. Amorf Kristal İnce Film Fotovoltaik Panel

Monokristal ve polikristal paneller gibi kristal yapıda değildir. Bükülgen bir yapıya sahiptir. Koyu kahve, koyu kırmızı ve füme renginde üretilirler. Kristal yapılı panellere göre verimleri oldukça düşüktür. Bundan dolayı daha az güç gereksinim duyulan alanlarda tercih edilir. Yapımında kullanılan malzemelerin az olmasından dolayı üretim maliyetleri düşüktür. Şekil 2.11'de Amorf Silisyum yapılı fotovoltaik panel gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Amorf silisyum yapılı fotovoltaik panel.

2.6.4. Bakır İndiyum Fotovoltaik Panel

Bu paneller Bakır, İndiyum ve Selenyum bileşiklerinden meydana gelir. İnce film hücreli paneller içerisinde en çok verimliliğe sahip olan paneldir. Kapalı ve bulutlu havalarda diğer panellere göre verimi daha iyidir.

2.6.5. Galyum Arsenit Fotovoltail Panel

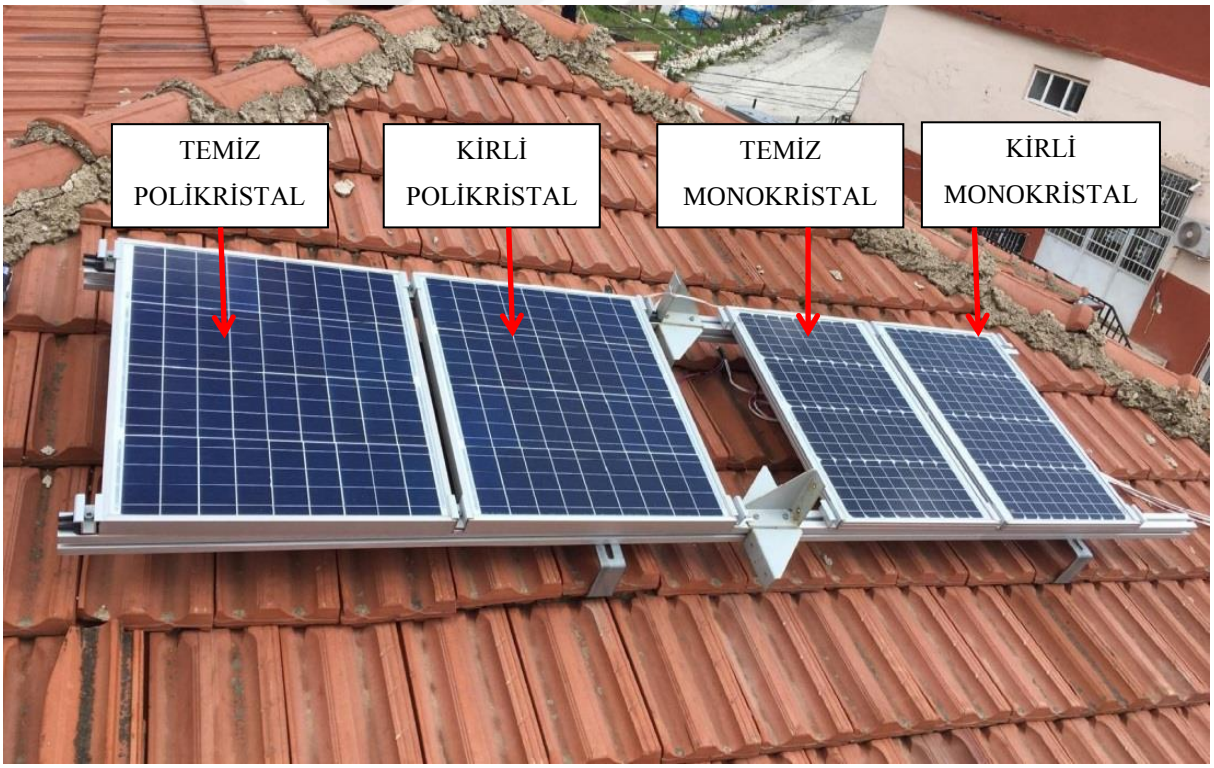
Bu paneller Galyum ve Arsenit elementlerinin bileşiklerinden meydana gelir. Verimlerinin oldukça yüksek olmasına rağmen maliyetleri de bir o kadar çoktur. Uzay uygulamalarında ve yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemlerinde daha çok kullanılmaktadır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. MALZEMELER

3.1.1. Fotovoltaik Paneller

Tez çalışmasında güneş enerjisi alanında en çok tercih edilen monokristal ve polikristal panel türleri kullanılmıştır. 2 adet 45 Watt gücünde Lexron marka monokristal fotovoltaik panel ile 2 adet 50 Watt gücünde Cansolar marka polikristal fotovoltaik panel kullanılmıştır. Monokristal ve polikristal panel çiftlerinden birer tanesi düzenli aralıklarla temizlenmiştir. Şekil 3.1'de temizlenen ve kirli bırakılan panellerin konumları gösterilmiştir. Tablo 3.1'de ise kullanılan panellerin teknik verileri gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Panellerin çatı üzerindeki görünümleri.

Tablo 3.1: Panellerin teknik verileri.

Panelin Markası	**Lexron**	**Cansolar**
Modül Tipi	Monokristal	Polikristal
Maksimum Güç (Pmax)	45W	50W
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp)	18V	17.40V
Maksimum Güç Akımı (Imp)	2.50A	2.92A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	22.10V	21.50V
Kısa Devre Akımı (Isc)	2.78A	3A
Hücre Sayısı (adet)	36	36
Boyutlar (mm)	670x430x25	660x540x25

3.1.2. Piranometre

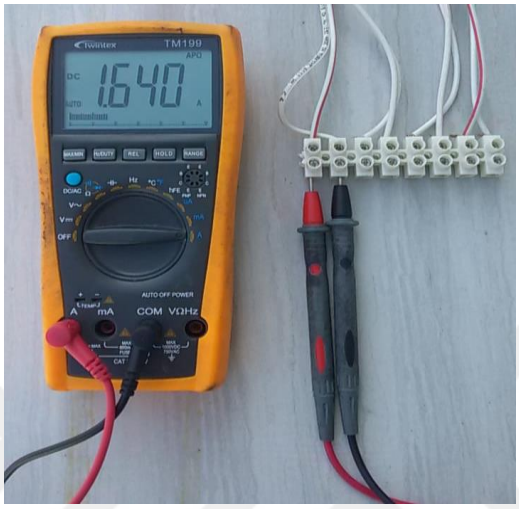
Birim yüzeye düşen güneş ışınım değerini ölçen cihazlara piranometre denir. Güneş enerjisi santrallerinin kurulum aşamasında sıklıkla kullanılır. Ayrıca Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliğine göre ön lisans başvurularında 6 ay yerinde ölçüm yapılması zorunludur [31]. Deney düzeneğindeki fotovoltaik panellerin üzerine gelen ışınım değerlerini ölçmek için Şekil 3.2'de görülen CEM markasının DT- 1307 modeli güneş ışınımı ölçer cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.2: CEM DT- 1307 piranometre.

3.1.3. Dijital Multimetre

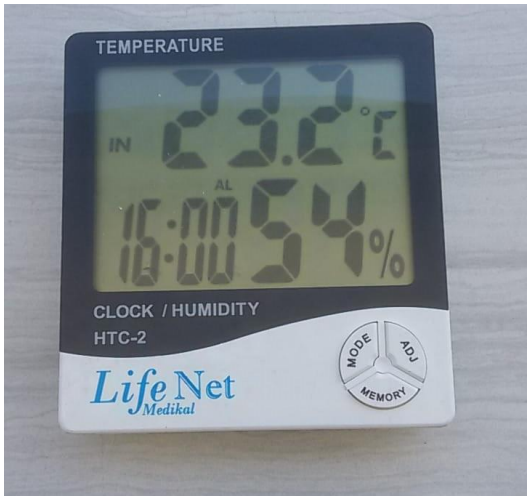
Panellerin kısa devre akımları ve açık devre gerilimleri, Twintex markasının Tm199 modeli dijital multimetresi ile ölçülerek kayıt edilmiştir. Ölçümler Şekil 3.3'te görüldüğü gibi panellerin pozitif (+) ve negatif (-) uçlarının bağlı olduğu 8'li klemens üzerinden yapılmıştır.



Şekil 3.3: Twintex Tm199 dijital multimetre.

3.1.4. Dijital Termometre

Ortamın sıcaklığını ve nemini ölçmek için HTC-2 marka dijital sıcaklık ve nemölçer termometre kullanılmıştır. Elde edilen sıcaklık ve nem değerleri, kısa devre akımları ve açık devre gerilimlerinin ölçüldüğü saatlerde not edilmiştir.



Şekil 3.4: HTC-2 dijital termometre.

3.1.5. Temassız Ateş Ölçer

Monokristal ve polikristal fotovoltaik panellerin yüzey sıcaklıkları, Acura markasının AC-9270 modeli temassız kızılötesi termometresi yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi panellerin yüzey sıcaklıklarını ölçme işlemi yapılmıştır. Elde edilen yüzey sıcaklık değerleri, kısa devre akımları ve açık devre gerilimlerinin ölçüldüğü saatlerde not edilmiştir. Yüzey sıcaklığı verileri her bir panel için ayrı ayrı ölçülmüştür.



Şekil 3.5: Acura AC 9270 temazsız ateş ölçer.

3.1.6. Cam Yüzey Temizleyici

Manuel olarak temizlenmesi gereken polikristal ve monokristal panellerin yüzeyleri iz bırakmayan bir cam temizleyicisi ile temizlenmiştir. Fotovoltaik panellerin yüzeylerinin çizilmemesi için kurulama işlemi mikrofiber bez ile yapılmıştır. Her ölçüm öncesi temizleme işlemi yapılmıştır.

3.2.YÖNTEM

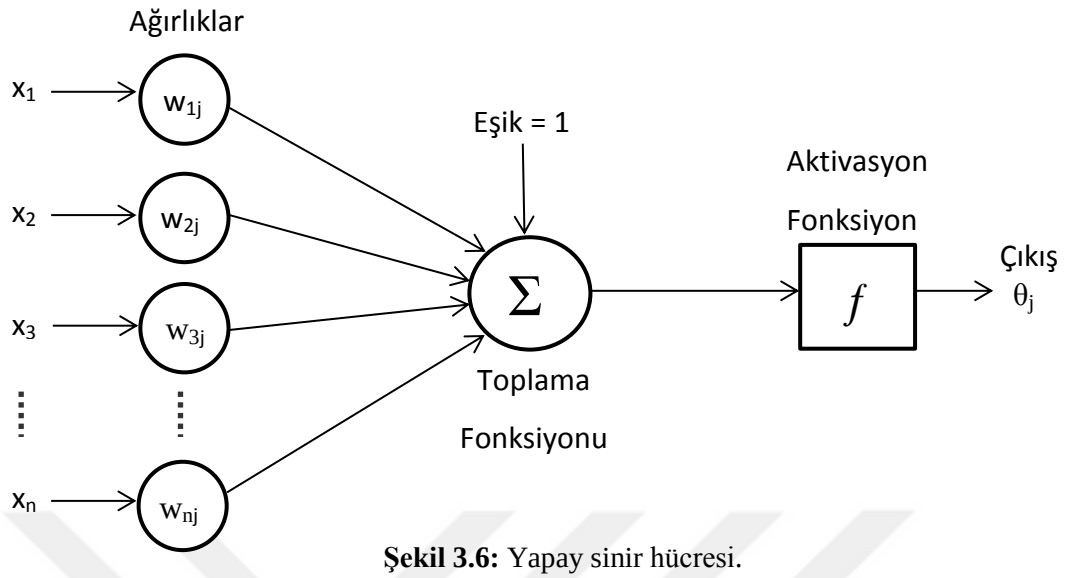
Yapay sinir ağları; insan beyninin sinir sisteminin çalışma prensibinden etkilenilerek geliştirilmiş, öğrenme fonksiyonunu kullanarak yeni bilgiler üretebilen, kendi dahili belleği olan, geçmiş tecrübelere göre yeni durumları otomatik çözen sistemlerdir. Kısacası sinir sisteminin bilgisayar ortamında yazılım programlarıyla taklit edilmesidir. Yapay sinir ağları yapısı itibari ile geleneksel bilgisayar programlarından farklı çalışır. Normal programlar önceden belli koşulları yerine getirirse bir görevi yerine getirir. Yapay sinir ağı ile eğitilmiş bir bilgisayar programı ise önceden öğrenmiş olduğu eğitim verileri ile ağırlık parametrelerini oluşturur ve yeni bir problemle karşılaştığında belli koşullara bağlı olmadan tecrübeye dayalı karar verebilir. Yapay sinir ağlarına modellenmesi zor veya mümkün olmayan problemler için geliştirilmiş bilgisayar bilimi denilebilir [32].

Yapay sinir ağlarının, problemi öğrenebilme, eğitim sırasında karşılaşmadığı örneklere de aynı tepkiyi gösterme, doğrusal olmayan problemleri çözme, uyarlanabilirlik, hatalara karşı toleranslı olabilme, donanım, hızlı bilgi işleme, analiz ve tasarım kolaylığı gibi özellikleri neticesinde bilim dünyasında farklı alanlarda etkin olmuştur ve kapsama alanı günümüzde genişleyerek büyümektedir. Bu özellikleri sayesinde, arıza analizi ve tespiti, tıp, savunma sanayi, haberleşme, üretim, otomasyon ve kontrol, istatistik ve finans gibi uygulama alanlarında problemlerin çözümünde kullanılmaya devam etmektedir [33].

Problemin çözümü için ağ yapısının oluşturulmasında ve ağırlıklarının seçiminde belli bir standardın olmaması, problemlerin yalnızca nümerik bilgiler ile gösterimi ve eğitimin nasıl bitirileceğinin bilinmemesine rağmen yapay sinir ağlarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Veri madenciliği, optik karakter tanıma, parmak izi tanıma, malzeme analizi, kalite kontrol, rota belirleme, tıbbi analizler gibi birçok alanda başarılı örneklerle karşılaşmak mümkündür [34].

3.2.1. Yapay Sinir Hücresi

Yapay sinir ağlarının temel yapısını oluşturan yapay sinir hücreleri, insanlardaki sinir sistemi hücrelerinin yani nöronların bilgisayar ortamında taklit edilmiş şeklidir. Bir yapay sinir hücresi Şekil 3.6'da görüldüğü üzere; girişler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu (birleştirme fonksiyonu), aktivasyon fonksiyonu (etkinlik) ve çıkış olmak üzere 5 ana kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 3.6: Yapay sinir hücresi.

Bilgiler dış ortamdan veya başka sinir hücrelerinden gelerek giriş vektörleri vasıtasıyla toplama fonksiyonuna aktarılır. Girişler Şekil 3.6'da görüldüğü gibi genellikle x vektörü şeklinde gösterilir. Her bir giriş sahip olduğu giriş indisi ile temsil edilir (x_1, x_2, x_3,…..x_n). Dış ortamdan veya başka sinir hücrelerinden gelen bilgiler, hücre için önem değerine göre matematiksel değerlere sahiptir. Yani girişler sahip oldukları ağırlık oranlarına göre toplama fonksiyonunu etkilerler [32].

Ağırlıklar genellikle w ile gösterilir. Her bir ağırlık bir giriş indisi ile ifade edilir. (w_{1j}, w_{2j}, w_{3j},…..w_{nj}). Yapay sinir hücresine dış ortamdan ya da başka sinir hücrelerinden aktarılan bilgilerin YSA hücresi üzerindeki etkisini belirleyen değerlerdir. Bilgiler toplama fonksiyonuna aktarılmadan önce sahip olduğu ağırlıklarla çarpılır. Katsayısı büyük olan girişin önemi daha büyük olur [34].

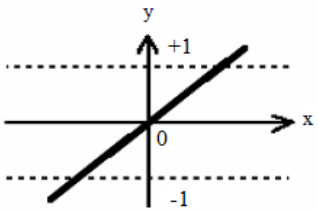
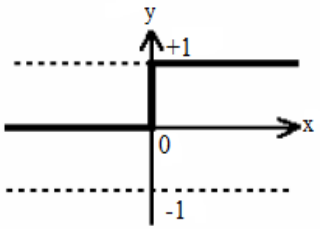
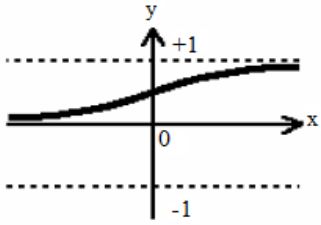
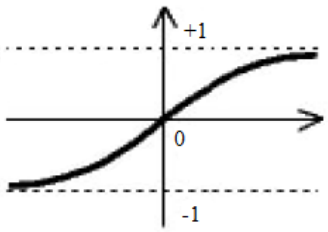
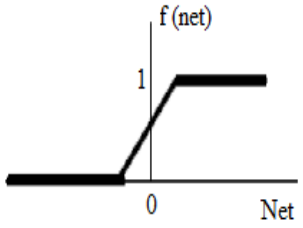
Yapay sinir ağı hücresine gelen giriş sinyallerinin net girdisi, toplama (birleştirme) fonksiyonu tarafından hesaplanır. Toplama (birleştirme) fonksiyonlarının çeşitleri Tablo 3.2'de görüldüğü gibidir. Yapılan çalışmalarda genellikle toplam fonksiyonu kullanılmaktadır.

Tablo 3.2: Toplama fonksiyonu çeşitleri [34].

Toplam	$\text{NET} = \sum_{\text{İ}}^{\text{n}} w_{ij}\ x_i + \theta_j$
Çarpım	$\text{NET} = \prod_{\text{İ}} w_{ij}\ x_i$
Minimum	NET = Min $(w_{ij}\ x_i)$
Maksimum	NET = Max $(w_{ij}\ x_i)$
Çoğunluk	$\text{NET} = \sum_{\text{İ}}^{\text{n}} \text{Sgn}\ (w_{ij}\ x_i)$

Aktivasyon fonksiyonları, toplama (birleştirme) fonksiyonunun hesaplamış olduğu net girdilere karşılık olarak hücrenin üreteceği çıkışı belirleyen fonksiyonlardır. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi deneme yanılma yoluyla yapılabilir. Çok katmanlı ağlarda genellikle sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılmaktadır [35]. Tablo 3.3'te literatürde kullanılan aktivasyon fonksiyonu çeşitleri görülmektedir.

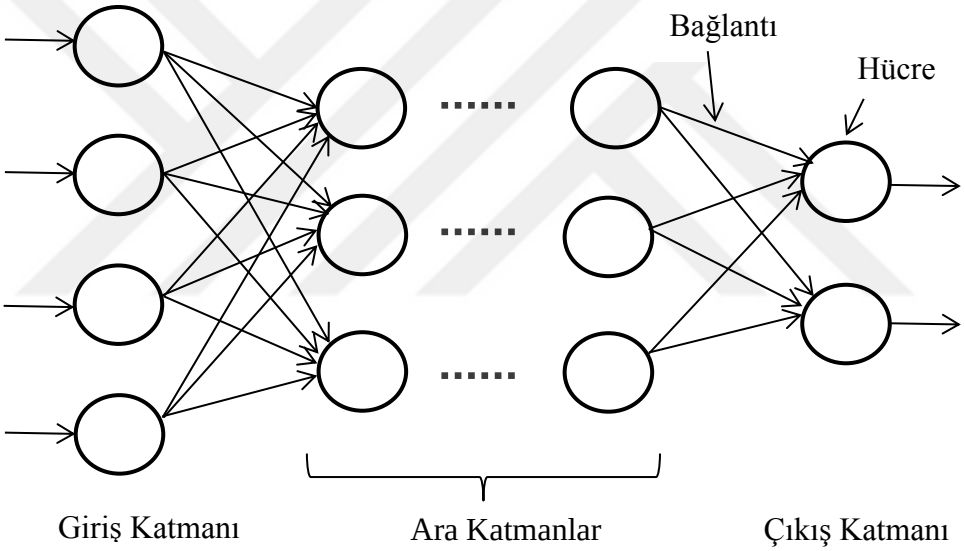
Tablo 3.3: Aktivasyon fonksiyonu çeşitleri [34].

Aktivasyon Fonksiyonu	Matematiksel Gösterimi	Grafiksel Gösterimi
Lineer Fonksiyon	F(Net) = Net	
Step Fonksiyonu	F(Net) = { 1 eğer Net ≥ θ ; 0 eğer Net ≤ θ	
Sigmoid Fonksiyonu	F(Net) = $\frac{1}{1+ e^{-Net}}$	
Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu	F(Net) = $\frac{e^{Net}+ e^{-Net}}{e^{Net}- e^{-Net}}$	
Eşik Değer Fonksiyonu	F(Net) = { 0 eğer Net ≤ 0 ; Net eğer 0 < Net < 1 ; 1 eğer Net ≥ 1	

Verilerin aktivasyon (etkinlik) fonksiyonuna sokulduktan sonra elde edilen değerleri çıkış olarak ifade edilir. Çıkışlar diğer sinir hücrelerinin girişlerine ya da yapay sinir hücresi çıkışına yönlendirilir. Genel olarak bir sinir hücresinin birden fazla girişi olabilmekle birlikte tek bir çıkışı bulunur ve bu çıkış amacına uygun olarak çoğaltılarak ilgili birimlerin girdisi olarak kullanılabilir [35].

3.2.2. Yapay Sinir Ağı Yapısı

Yapay sinir hücreleri bir araya gelerek yapay sinir ağlarının yapısını oluştururlar. Yapay sinir ağları Şekil 3.7'de görüldüğü gibi giriş katmanı, ara (gizli) katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç ana katmandan meydana gelirler. Her bir katman bir ya da birden fazla yapay sinir hücresinden oluşmaktadır.



Şekil 3.7: YSA yapısı.

Giriş katmanı, dış dünyadan gelen giriş sinyallerinin yapay sinir ağına girdiği katmandır. Dış dünyadan gelen sinyal kadar giriş sayısı bulunmaktadır. Verilerin buradan ara katmanlara aktarılmasını sağlamaktadır. Yapay sinir ağının ilk katmanını oluşturmaktadır.

Ara katmanı, giriş katmanından gelen verilerin işlendiği katmandır. Burada işlenen veriler çıktı katmanına aktarılır. Yapay sinir ağı yapısında amaca uygun olarak bir veya birden fazla gizli katman olabilir.

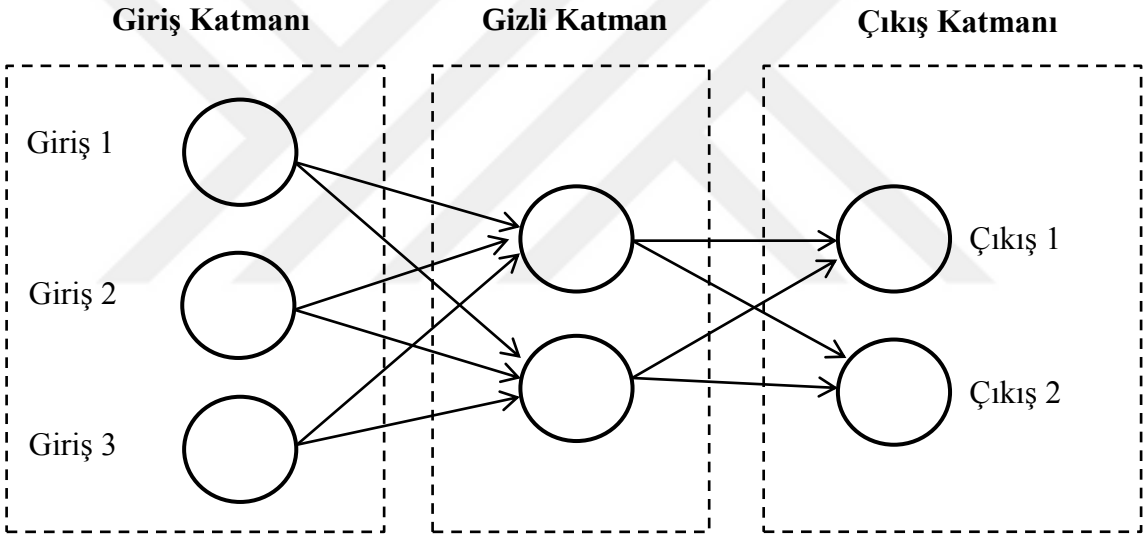
Çıkış katmanı, ara katmanda gelen verilerin işlenerek yapay sinir ağının çıktılarının üretildiği katmandır. Bu katman yapay sinir ağının son katmanını oluşturmaktadır.

3.2.3. Ağ Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağı Modelleri

Yapay sinir ağları içerisindeki yapay sinir hücrelerinin bağlantılarının akış yönlerine göre incelendiğinde ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olarak ikiye ayrılır.

- İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağı Modeli

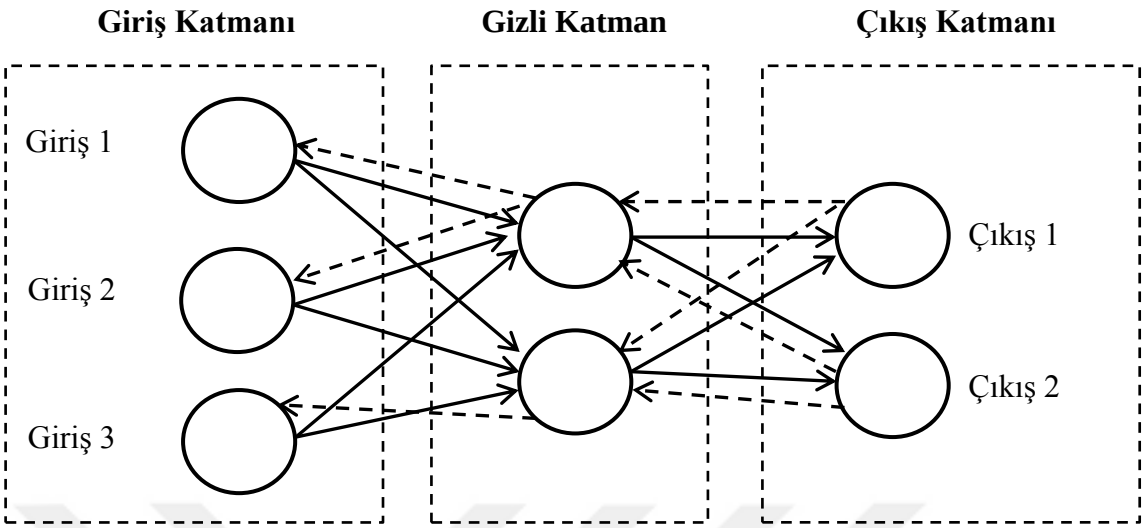
İleri beslemeli yapay sinir ağlarının tamamı katmanlara ayrılmış şekilde gözükmektedir. Veriler YSA'nın giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü olarak ilerlemektedir. Geri yönde olan herhangi bir bağlantı bulunmamaktadır. Aynı katman içerisindeki yapay sinir hücrelerinin kendi aralarında bağlantıları mevcut değildir. Akış yönüne göre ileri beslemeli ağlara örnek olarak MLP (Multi Layer Perceptron), LVQ (Linear Vector Quantization) gösterilebilir [36].



Şekil 3.8: İleri beslemeli yapay sinir ağı modeli.

- Geri Beslemeli Yapay Sinir Ağı Modeli

Geri beslemeli yapay sinir ağı modelinde veriler YSA'nın giriş katmanından çıkış katmanına doğru ilerlerken geri yönde de bir çözümleme olmaktadır. Bir yapay sinir hücresinin çıkışı aynı katman içerisindeki bir başka yapay sinir hücresine bağlanabilir. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi yapay sinir ağında geri beslemeler görülmektedir. Hafızasındaki çıkışın hem anlık hem eski değerlerinin olması nedeniyle geri beslemeli yapay sinir ağı modelleri dinamik yapıda olmaktadırlar. Akış yönüne göre geri beslemeli ağlara örnek olarak Hopfield, SOM (Self Organizing Map) ve Elman ve Jordan gösterilebilir [36].



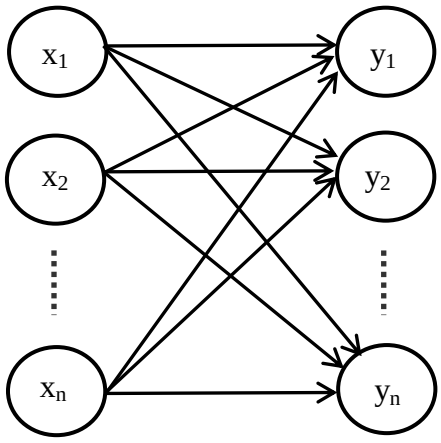
Şekil 3.9: Geri beslemeli yapay sinir ağı modeli.

3.2.4. Katman Sayılarına Göre Yapay Sinir Ağı Modeleri

Yapay sinir ağları içerisindeki katman sayısına göre incelendiğinde tek katmanlı ve çok katmanlı sinir ağları olmak üzere ikiye ayrılır.

- Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları

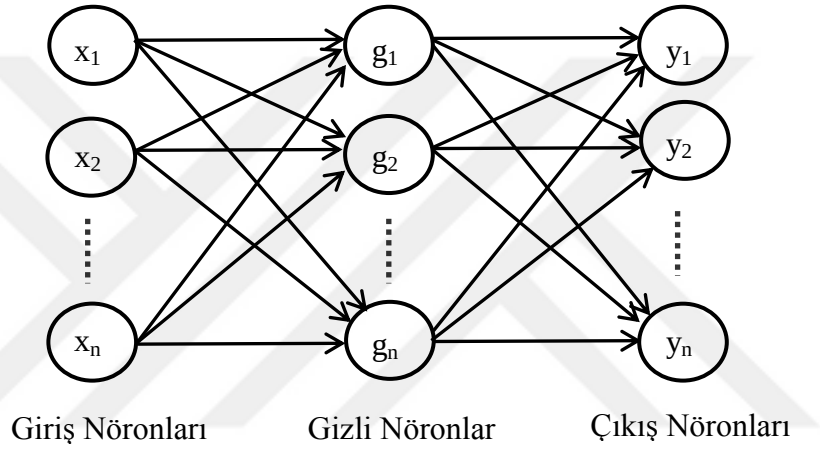
Yapay sinir ağında yalnızca giriş ve çıkış yapay sinir hücreleri varsa bu ağ tek katmanlı olmaktadır. Çünkü YSA üzerinde bir tane bağlantı katsayısı matrisi vardır. Hem ileri beslemeli ağlarda hem de geri beslemeli ağlarda tek katmanlı YSA mevcuttur. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi giriş nöronları ve çıkış nöronları arasında herhangi bir gizli katman bulunmamaktadır [33].



Şekil 3.10: Tek katmanlı yapay sinir ağları.

- Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları

Giriş ve çıkış yapay sinir hücreleri arasında sinir hücreleri varsa yapay sinir ağı çok tabakalı yapıdadır. Çünkü yapay sinir ağı üzerinde iki tane bağlantı katsayısı matrisi tanımlanabilir. Giriş sinir hücreleri ile çıkış sinir hücreleri arasındaki katmana ara (gizli) katman denmektedir. Bazı yapay sinir ağı modellerinde birden fazla gizli katman bulunabilmektedir. Uygulamalarda en çok tercih edilen modeldir. Hem ileri beslemeli ağlarda hem de geri beslemeli ağlarda çok katmanlı yapay sinir ağları mevcuttur. Şekil 3.11'de görüldüğü üzere giriş ve çıkışın arasında gizli katman bulunmaktadır [33].



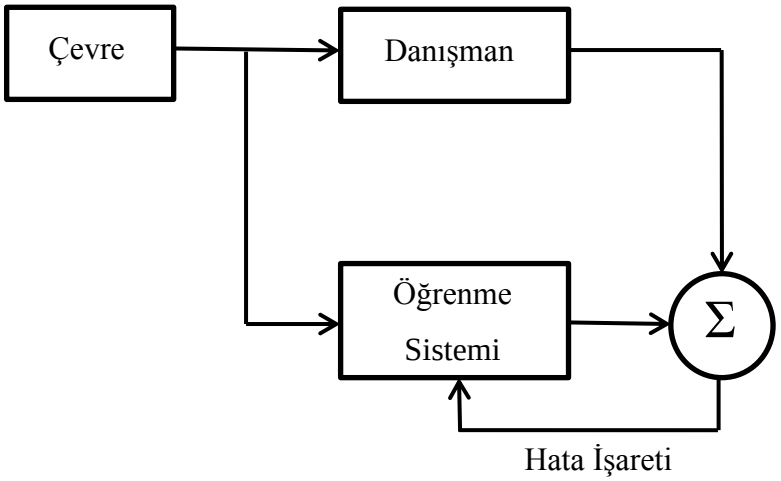
Şekil 3.11: Çok katmanlı yapay sinir ağları.

3.2.5. Öğrenme Şekillerine Göre Yapay Sinir Ağları

Günümüze kadar literatürde birçok yapay sinir ağı öğrenme algoritması geliştirilmiştir. Bu öğrenme algoritmaları danışmanlı (öğretmenli), danışmansız (öğretmensiz) ve takviyeli (pekiştirmeli) öğrenme olmak üzere üç ana gurupta ele alınmaktadır.

- Danışmanlı (Öğretmenli) Öğrenme

Danışmanlı (öğretmenli) öğrenmede yapay sinir ağına giriş verileri ile birlikte tasarımcı tarafından verilen çıkış değerleri de verilmektedir. YSA'nın eğitimi süresince her bir giriş verisi sonucu oluşan çıkış değerleri tasarımcı tarafından verilen çıkış değerler ile kıyaslanır. YSA çıkışları ile beklenen çıkışlar arasındaki hata payı hesaplanarak ağırlıklar yeniden düzenlenir. YSA istenilen çıkış verilerine ulaşana kadar ağırlık değerlerini sürekli günceller. İstenilen çıkış verileri yakalandığında eğitim süreci sonlanmış olur. Şekil 3.12'de danışmanlı (öğretmenli) öğrenmenin yapısı görülmektedir [32].



Şekil 3.12: Danışmanlı (öğretmenli) öğrenme yapısı.

- Danışmansız (Öğretmensiz) Öğrenme

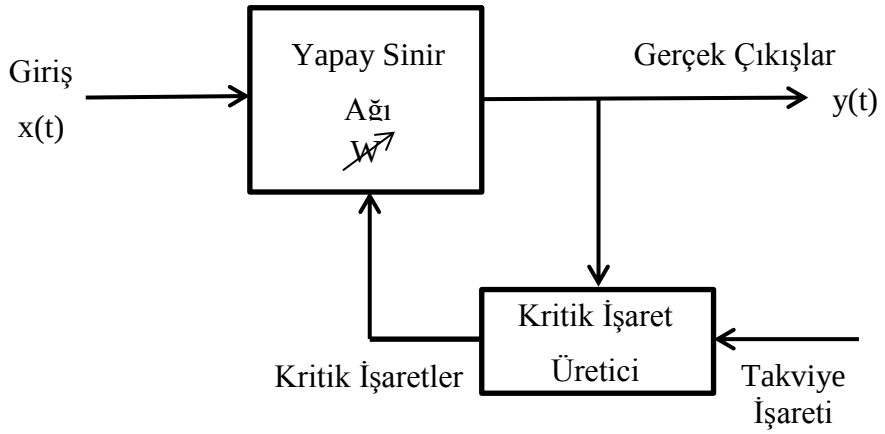
Danışmansız (öğretmensiz) öğrenmede YSA'nın eğitimi için sisteme sadece giriş değerleri verilir. Giriş değerlerine karşılık tasarımcı tarafından herhangi bir çıkış değeri ağa verilmez. Bundan dolayı danışmanlı öğrenmede olduğu gibi çıkışlar arasında hata payı hesaplanarak bir kıyaslama yapılamaz. YSA giriş değerlerine göre çıkış değerlerini sınıflandırmak zorundadır. Bu olay kendi kendine öğrenme olarak adlandırılır. Bu öğrenme biçimi genellikle daha önceden belli olmayan durumlara karşılık uygun çıkış değerleri verilmesi ve öğrenmenin devamlı sürmesi durumlarında tercih edilir. Bundan dolayı literatürde kullanım oranı azdır. Şekil 3.13'te danışmansız (öğretmensiz) öğrenmenin yapısı görülmektedir [32].



Şekil 3.13: Danışmansız (öğretmensiz) öğrenme yapısı.

- Takviyeli (Pekiştirmeli) Öğrenme

Danışmanlı (öğretmenli) öğrenmede olduğu gibi yapay sinir ağına herhangi bir çıkış değeri verilmez. YSA'nın her iterasyonu sonucunda oluşan çıkış değerinin iyi ya da kötü olup olmadığına dair ağa bilgi verilir. YSA verilen iyi ya da kötü bilgisine göre kendini yeniden düzenler. Bundan dolayı yapay sinir ağı öğrenerek ve sonuç çıkararak işlemine devam eder [34]. Şekil 3.14'te takviyeli (pekiştirmeli) öğrenmenin yapısı görülmektedir.



Şekil 3.14: Takviyeli (pekiştirmeli) öğrenme yapısı.

3.2.6. Öğrenme Kurallarına Göre Yapay Sinir Ağları

YSA'nın eğitimi için öğrenme algoritmaları önemli bir yere sahiptir. Yapay sinir ağlarında birçok öğrenme algoritmaları mevcuttur. Bazı YSA algoritmaları bazı uygulama alanlarında daha başarılıdır. Tablo 3.4'te yapay sinir ağı algoritmaları ve uygulama alanlarından bazıları görülmektedir.

Tablo 3.4: Yapay sinir ağı algoritmaları ve uygulama alanları [37].

Uygulama Tipi	Yapay Sinir Ağı
Öngörü tanıma	• Geriyayılım • Delta Bar Delta • Geliştirilmiş Delta Bar Delta • Yönlendirilmiş Rastsal Tarama • Geri Yayılım İçinde Self Organizing Map • Higher Order Neural Networks
Sınıflandırma	• Learning Vektor Quantization • Counter-Propagation • Olasılıklı Yapay Sinir Ağları
Veri ilişkilendirme (Data Association)	• Hopfield • Boltman makinesi • Bidirectional Associative Memory • Spantion-Temproal Pattern Recogniation
Veri kavramlaştırma (Data Conceptualization)	• Adaptive Resonance Network • Self Organizing

3.2.7. Yapay Sinir Ağlarının Tasarlanması

Yaklaşımlar ve deneyimler yapay sinir ağlarında başarıya ulaşmak için önemli etkenlerdendir. YSA'nın başarılı olabilmesi için uygun yöntemi belirlemek çok önemlidir. Bir yapay sinir ağını geliştirirken aşağıda verilen kararlara dikkat edilmesi gerekir.

- Yapay sinir ağı mimarisinin seçilmesi
- Öğrenme algoritmasının seçimi ve parametrelerinin ayarlanması,
- Nöron sayısının belirlenmesi,
- Transfer ve toplama fonksiyonlarının seçimi
- Yapay sinir hücresindeki fonksiyonların karakteristik özelliklerinin belirlenmesi,
- Ara katman sayısı ve ara katman nöron sayılarının belirlenmesi,
- Eğitim ve test verisinin belirlenmesi,
- Performans Fonksiyonun Seçimi [38].

Yapay sinir ağları uygun parametrelerle tasarlanması sonucunda başarılı sonuçlar ortaya çıkacaktır. YSA'nın çıkış süresinin kısa olması için ağın büyüklüğünün küçük olması gerekmektedir. Bu sayede yapay sinir ağında hızlı sonuçlara ulaşılabilecektir [38].

3.2.8. Yapay Sinir Ağların Performansının Değerlendirilmesi

Yapay sinir ağı modellerinin performans değerlendirilmesinde birçok istatistiksel test yöntemi kullanılmaktadır. Test yöntemleri YSA'nın eğitimi için önemli hususlarındandır. Literatürde performans değerlendirilmesinde kullanılan bazı test yöntemleri ; Belirleme katsayısı (R^2), Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE), Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE), Hata Kareleri Ortalaması (MSE)'dır.

Belirleme katsayısı, tasarımcının ölçüm değeri ile yapay sinir ağının tahmin ettiği değer arasında doğrusal bir ilişkinin var olup olmadığını gösteren istatistiksel bir test yöntemidir. Belirleme katsayısının değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Bu değerin 1'e yakın olması yapay sinir ağından hesaplanan değer ile gerçekte ölçülen değer arasındaki doğrusal bağlılığın güçlü olduğunu gösterir. Değerin 0'a yakınlaşması ise ölçüm değerleri ile model tahmini değerlerin birbirinden uzak olduğunu göstermektedir. Eşitlik 3.1'de görüldüğü gibi belirleme katsayısı (R^2) korelasyon katsayısının (R) karesidir [39].

$$R^2=\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(g_i-\bar{g}_i)(h_i-\bar{h}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(g_i-\bar{g}_i)^2\sum_{i=1}^{n}(h_i-\bar{h}_i)^2)}}\right]^2 \quad (3.1)$$

Hata Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMSE), tasarımcının gerçek ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerler arasındaki hata oranlarını belirlemek amacıyla kullanılan bir test yöntemidir. Eşitlik 3.2'de formülde hesaplanan değerin sıfıra yakın olması istenir. Sıfıra yaklaşması YSA'nın tahmin ettiği değerin gerçek değere yakın olduğunu gösterir [40].

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(g_i - h_i)^2} \quad (3.2)$$

Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE), belirli bir ölçekten bağımsız olup değerleri yüzde olarak hesaplamaktadır. İdeal değeri sıfır olduğu için hesaplanan değerin sıfıra yakın olması istenir. Sıfıra yakın olması YSA'nın tahmin ettiği değerin gerçek değere yakın olduğunu gösterir. Eşitlik 3.3'te verilen formüle göre hesaplanmaktadır [34].

$$\text{MAPE} = \frac{100}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{h_i-g_i}{h_i}\right| \quad (3.3)$$

Hata Kareleri Ortalaması (MSE), YSA çıkışlarının hedef vektöre ne kadar uzaklıkta olduklarını belirler. Sıfıra yakın olması YSA'nın tahmin ettiği değerin gerçek değere yakın olduğunu gösterir. Hata değerlerinin karesinin ortalaması alınarak hesaplanır [35].

$$\text{MSE} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} ej^2 \quad (3.4)$$

Denklemlerdeki eşitliklerde;

g_i: YSA'nın tahmin ettiği değer,

$\bar{g}_i$: YSA'nın tahmin ettiği değerlerin ortalaması,

h_i: Gerçek ölçüm sonucu oluşan değerler,

$\bar{h}_i$: Gerçek ölçüm sonucu oluşan değerlerin ortalaması,

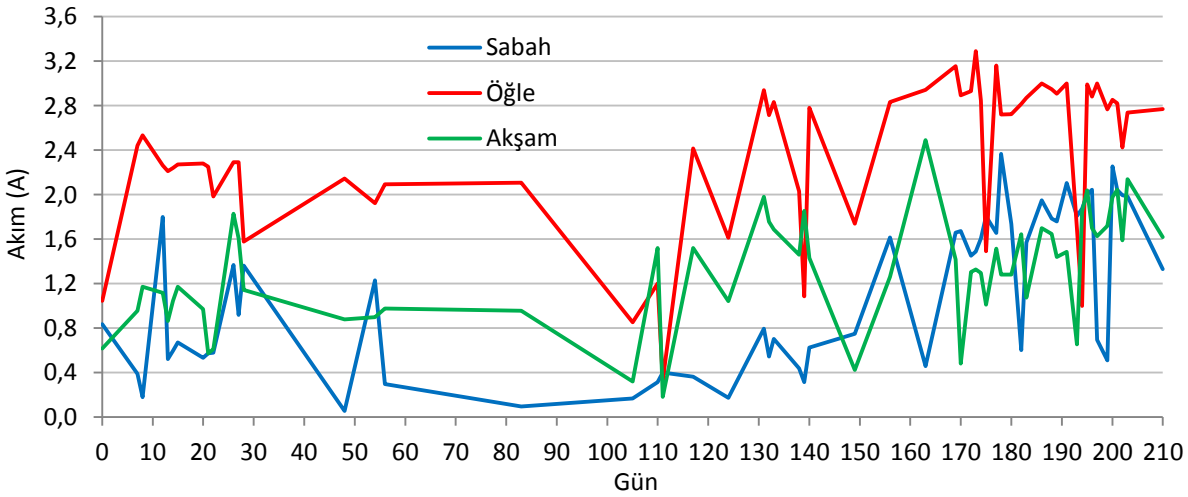
ej: Hata değerleridir.

4. BULGULAR

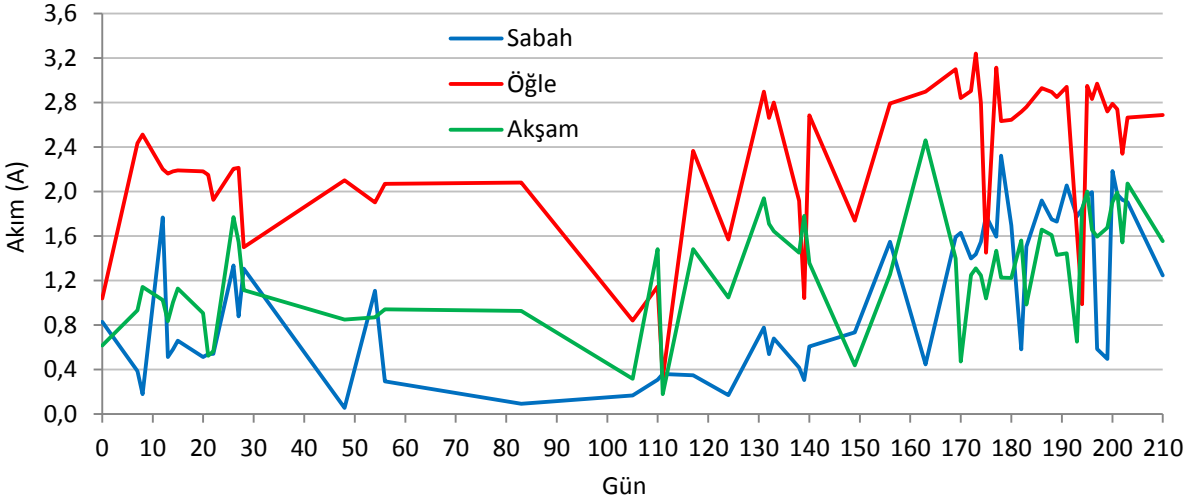
4.1. DENEYSEL SONUÇLAR

4.1.1. Polikristal Panellerdeki Kirliliğin Kısa Devre Akımı Üzerindeki Etkisi

Temizleme işlemi yapılmış ve kirli bırakılmış polikristal panellerin kısa devre akımları 23 Ekim 2019 ile 20 Mayıs 2020 tarihleri arasında günde üç kez 210 gün boyunca ölçülmüş ve kısa devre akım değerleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

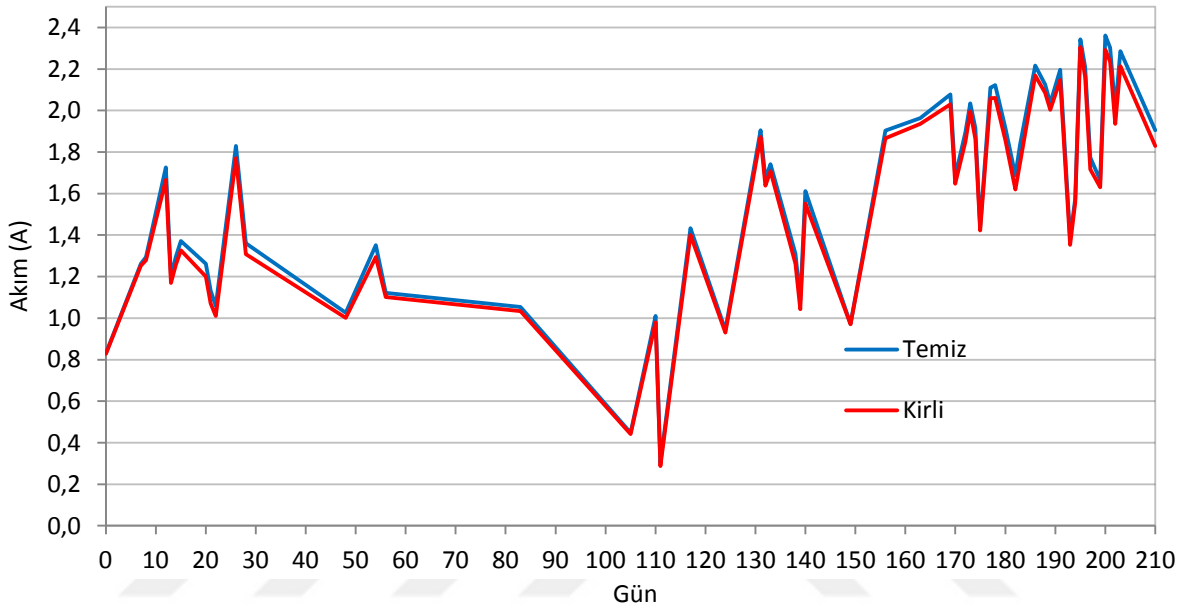


Şekil 4.1: Temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin akım-zaman grafiği.



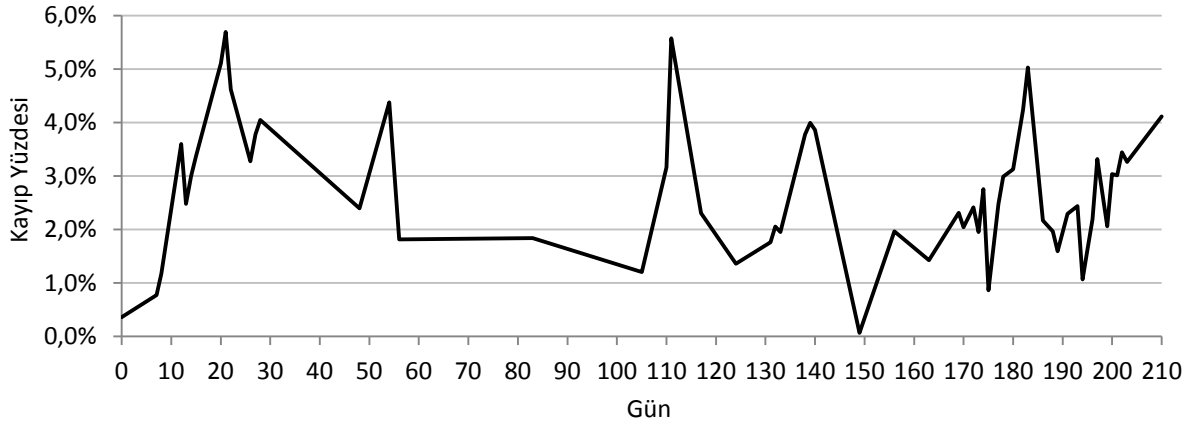
Şekil 4.2: Temizleme işlemi yapılmamış kirli polikristal panelin akım-zaman grafiği.

Temiz ve kirli polikristal panellerin kısa devre akım değerlerinin karşılaştırma yapılabilmesi için günlük ortalamaları alınarak tek bir grafik üzerinde Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Her ölçüm öncesinde temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin ortalama kısa devre akımı 210 günün sonunda 1,599 A olmuştur. Yağmur dışında elle herhangi bir temizleme işlemi yapılmayan polikristal panelin ortalama kısa devre akımı ise 210 günün sonunda 1,558 A olmuştur.



Şekil 4.3: Temiz ve kirli polikristal panellerin akım-zaman grafiği.

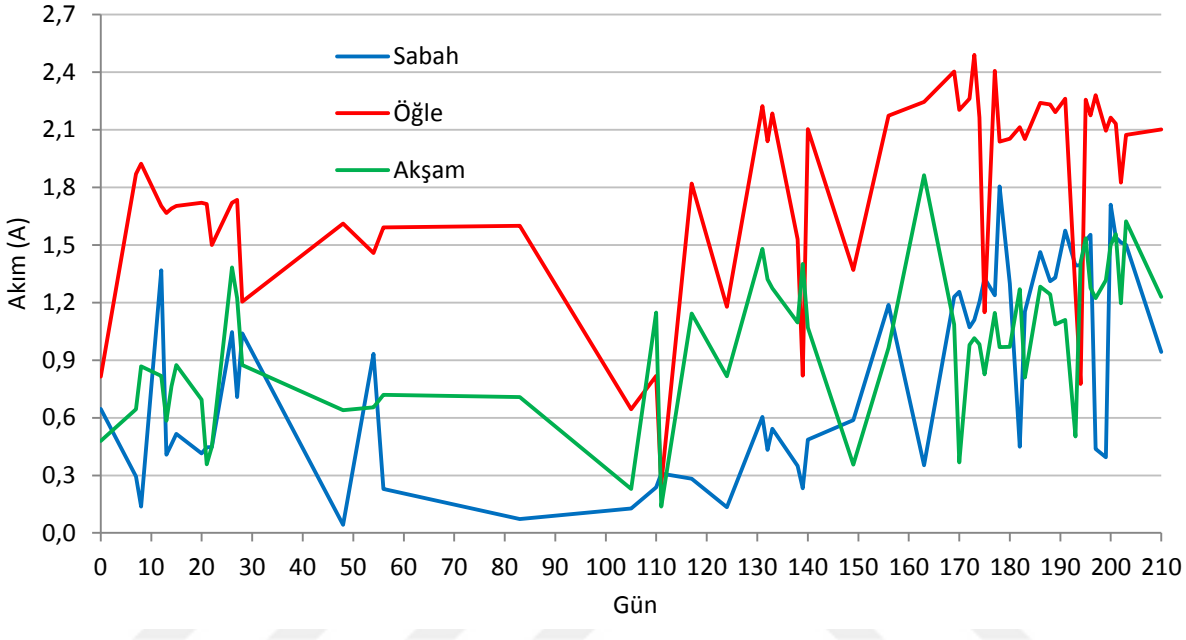
Yapılan her ölçüm sonucu kirli polikristal paneldeki akımın temiz polikristal panele göre kaybolan kısa devre akım yüzdesi zamana bağlı olarak Şekil 4.4'te verilmiştir. En yüksek kayıp, ölçümlerin başladığı 21.gün olan 13 Kasım 2019 tarihinde %5,70 olarak gerçekleşmiştir.



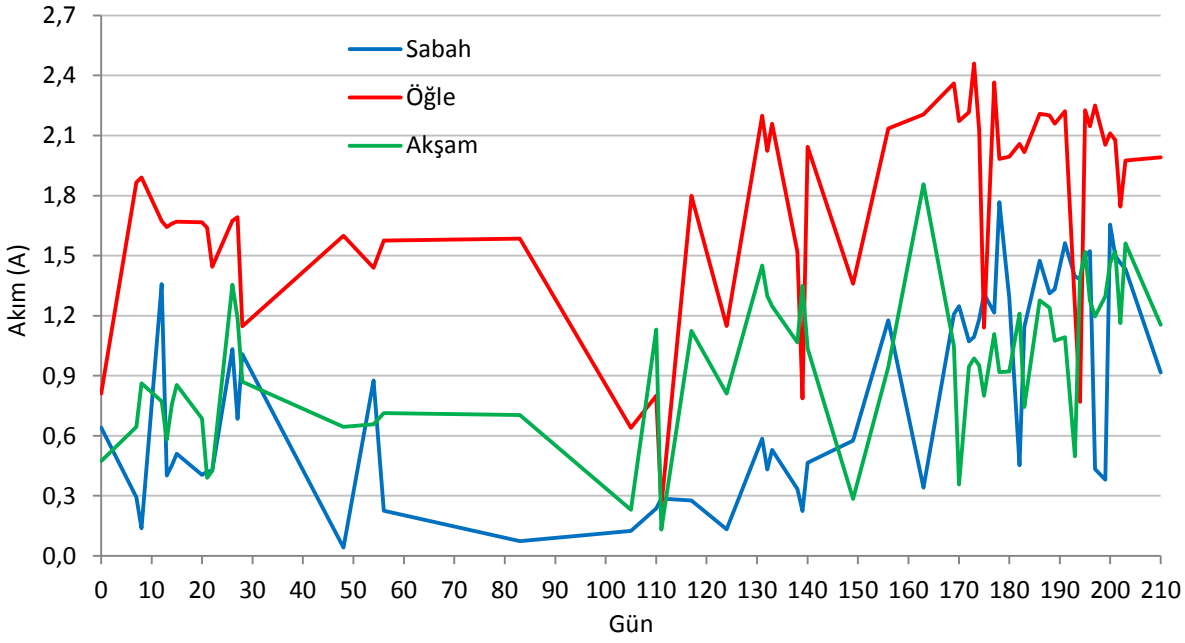
Şekil 4.4: Kirlilik nedeniyle polikristal panelde kaybolan akımın yüzde-zaman grafiği.

4.1.2. Monokristal Panellerdeki Kirliliğin Kısa Devre Akımı Üzerindeki Etkisi

Temizleme işlemi yapılmış ve kirli bırakılmış monokristal panellerin kısa devre akımları 23 Ekim 2019 ile 20 Mayıs 2020 tarihleri arasında günde üç kez 210 gün boyunca ölçülmüş ve kısa devre akım değerleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

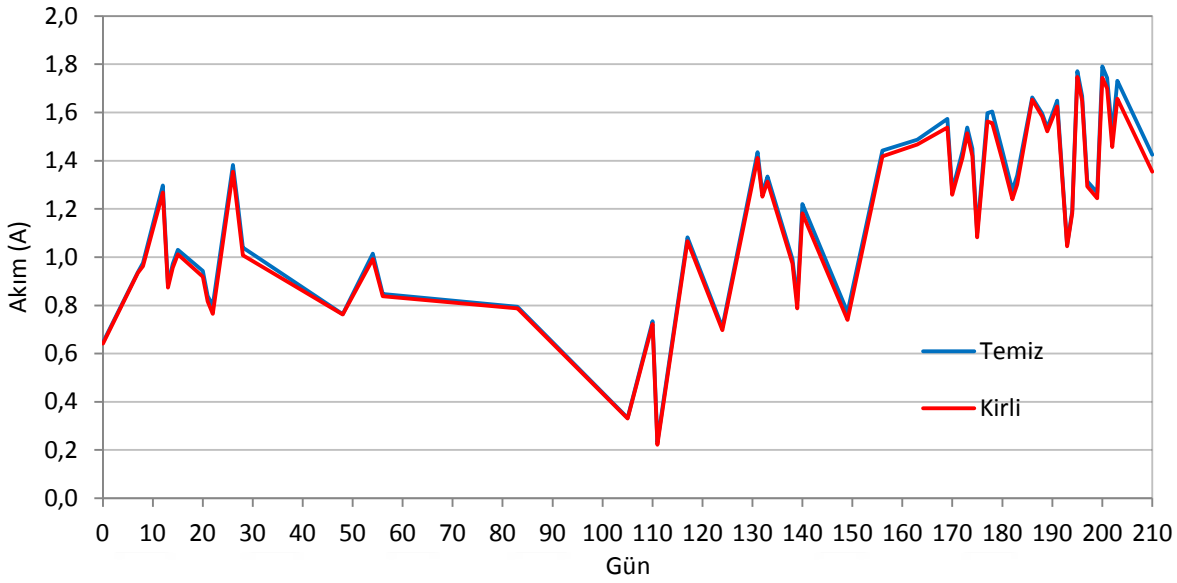


Şekil 4.5: Temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin akım-zaman grafiği.



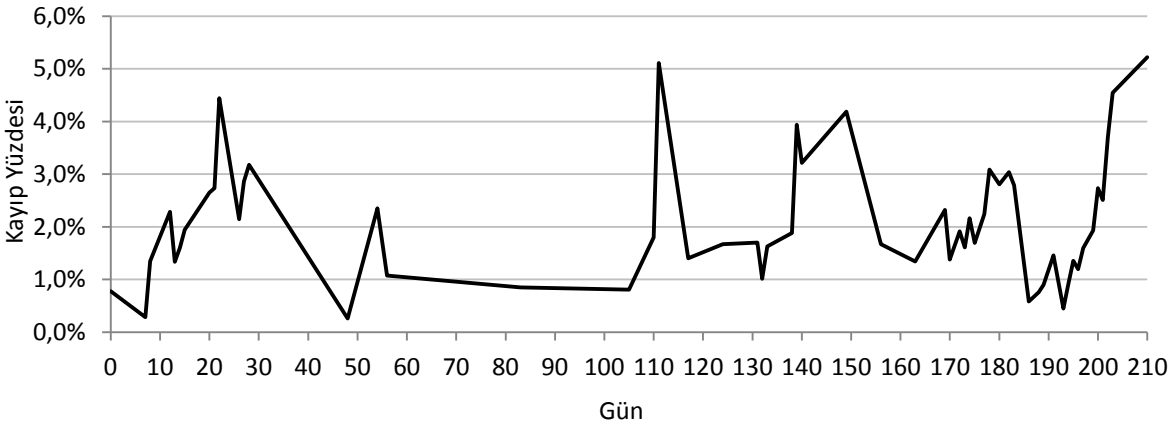
Şekil 4.6: Temizleme işlemi yapılmamış kirli monokristal panelin akım-zaman grafiği.

Temiz ve kirli monokristal panellerin kısa devre akım değerlerinin karşılaştırma yapılabilmesi için günlük ortalamaları alınarak tek bir grafik üzerinde Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Her ölçüm öncesinde temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin ortalama kısa devre akımı 210 günün sonunda 1,207 A olmuştur. Yağmur dışında elle herhangi bir temizleme işlemi yapılmayan monokristal panelin ortalama kısa devre akımı ise 210 günün sonunda 1,183 A olmuştur.



Şekil 4.7: Temiz ve kirli monokristal panellerin akım-zaman grafiği.

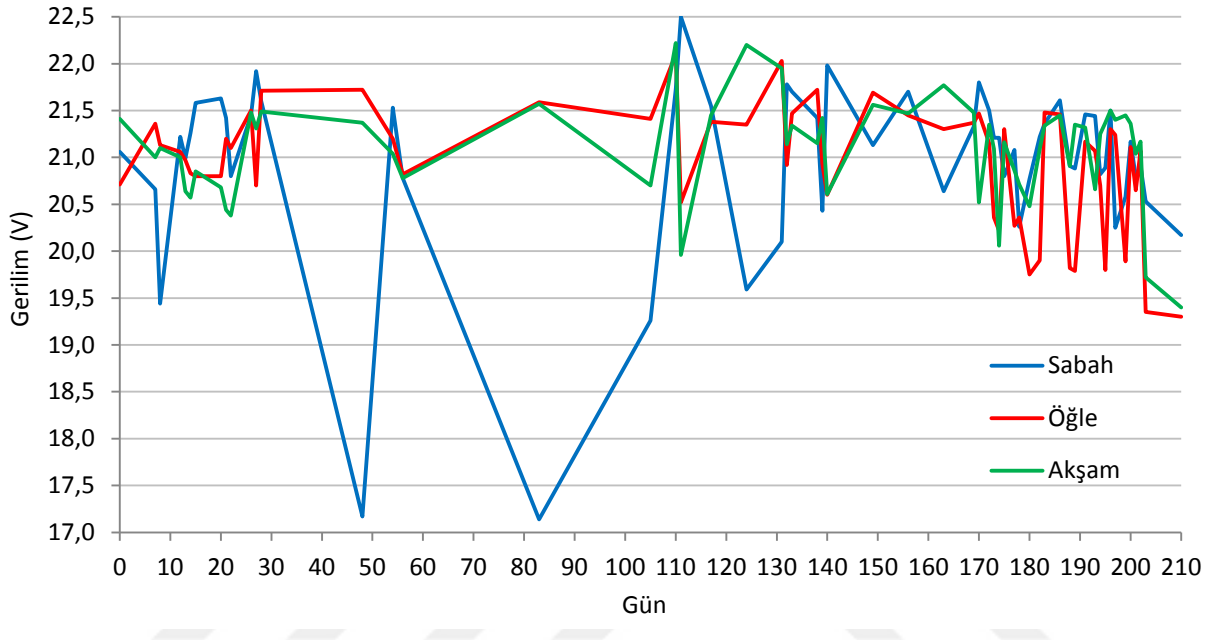
Yapılan her ölçüm sonucu kirli monokristal paneldeki akımın temiz monokristal panele göre kaybolan kısa devre akım yüzdesi zamana bağlı olarak Şekil 4.8'de verilmiştir. En yüksek kayıp, ölçümlerin başladığı 210.gün olan 20 Mayıs 2020 tarihinde %5,22 olarak gerçekleşmiştir.



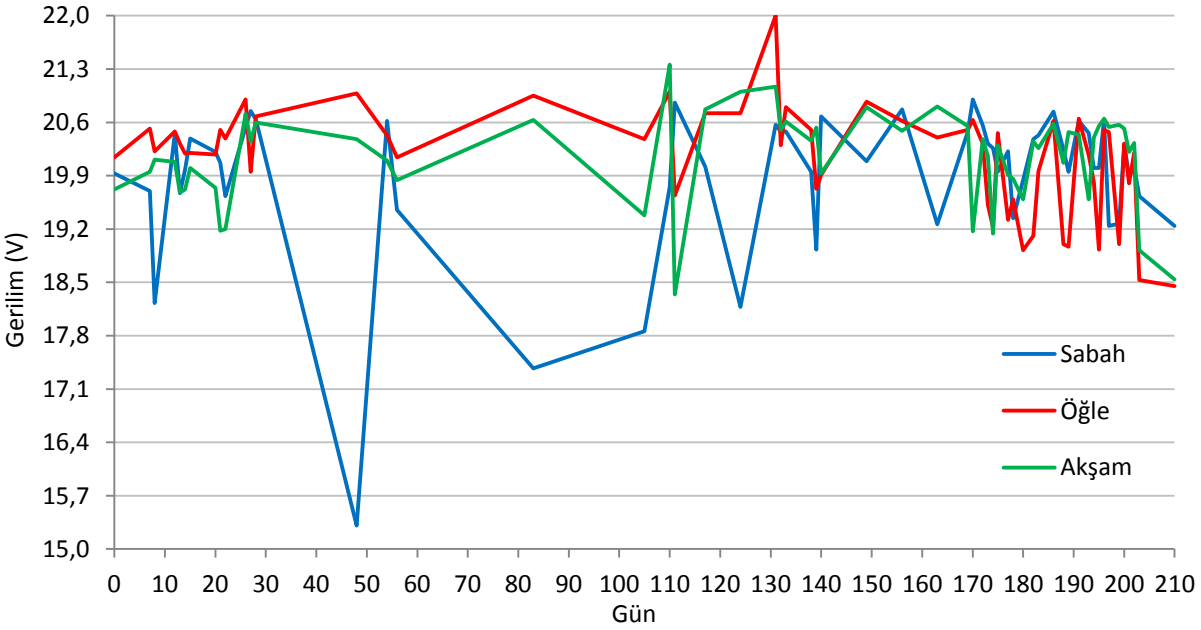
Şekil 4.8: Kirlilik nedeniyle monokristal panelde kaybolan akımın yüzde-zaman grafiği.

4.1.3. Polikristal Panellerdeki Kirliliğin Açık Devre Gerilimi Üzerindeki Etkisi

Temizleme işlemi yapılmış ve kirli bırakılmış polikristal panellerin açık devre gerilimleri 23 Ekim 2019 ile 20 Mayıs 2020 tarihleri arasında günde üç kez 210 gün boyunca ölçülmüş ve açık devre gerilim değerleri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

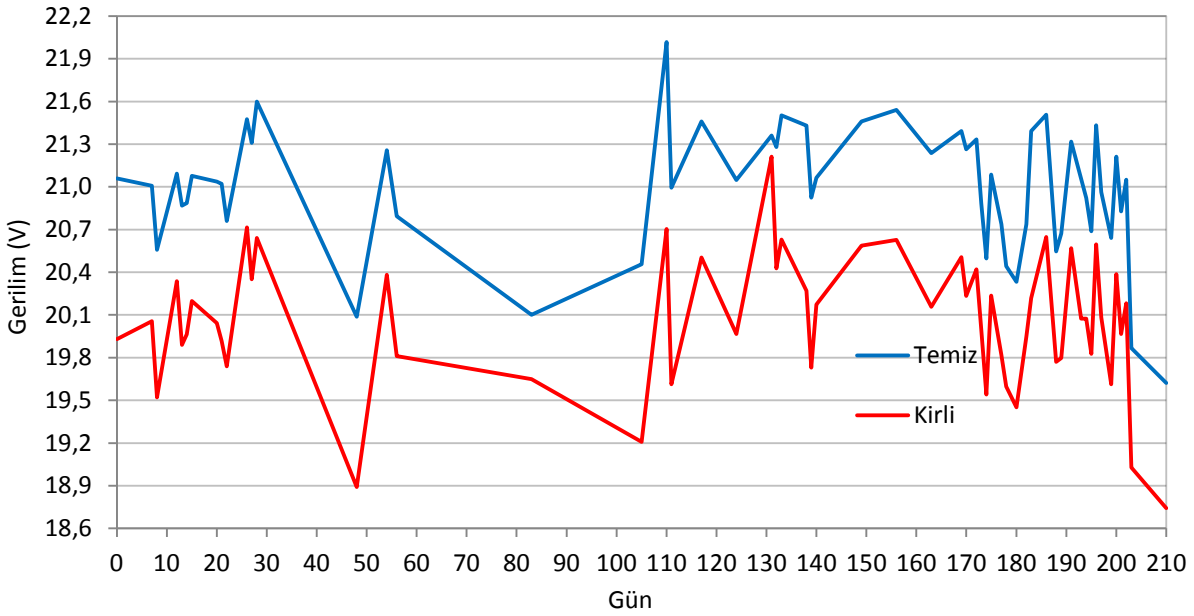


Şekil 4.9: Temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin gerilim-zaman grafiği.



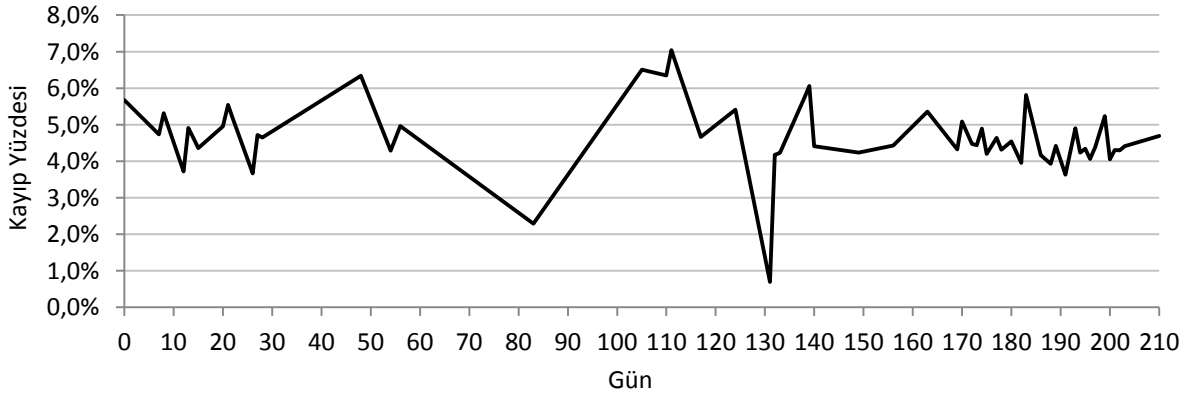
Şekil 4.10: Temizleme işlemi yapılmamış kirli polikristal panelin gerilim-zaman grafiği.

Temiz ve kirli polikristal panellerin açık devre gerilimi değerlerinin karşılaştırma yapılabilmesi için günlük ortalamaları alınarak tek bir grafik üzerinde Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Her ölçüm öncesinde temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin ortalama açık devre gerilimi 210 günün sonunda 20,986 V olmuştur. Yağmur dışında elle herhangi bir temizleme işlemi yapılmayan polikristal panelin ortalama açık devre gerilimi ise 210 günün sonunda 20,055 V olmuştur.



Şekil 4.11: Temiz ve kirli polikristal panellerin gerilim-zaman grafiği.

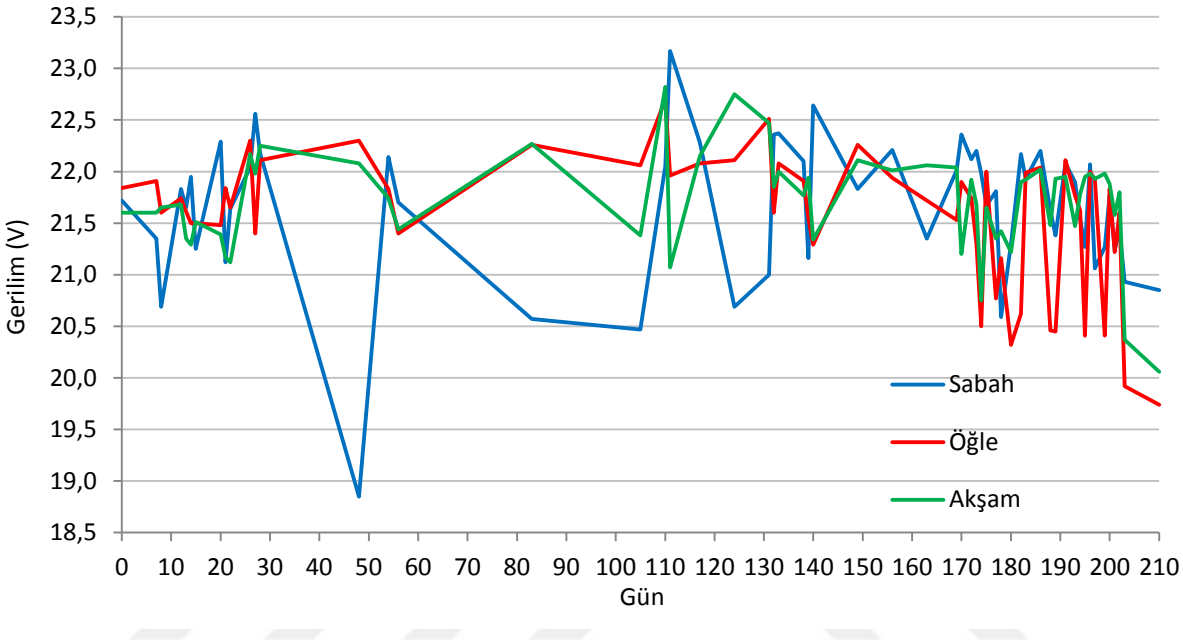
Yapılan her ölçüm sonucu kirli polikristal paneldeki gerilimin temiz polikristal panele göre kaybolan açık devre gerilim yüzdesi zamana bağlı olarak Şekil 4.12'de verilmiştir. En yüksek kayıp, ölçümlerin başladığı 111.gün olan 11 Şubat 2020 tarihinde %7,04 olarak gerçekleşmiştir.



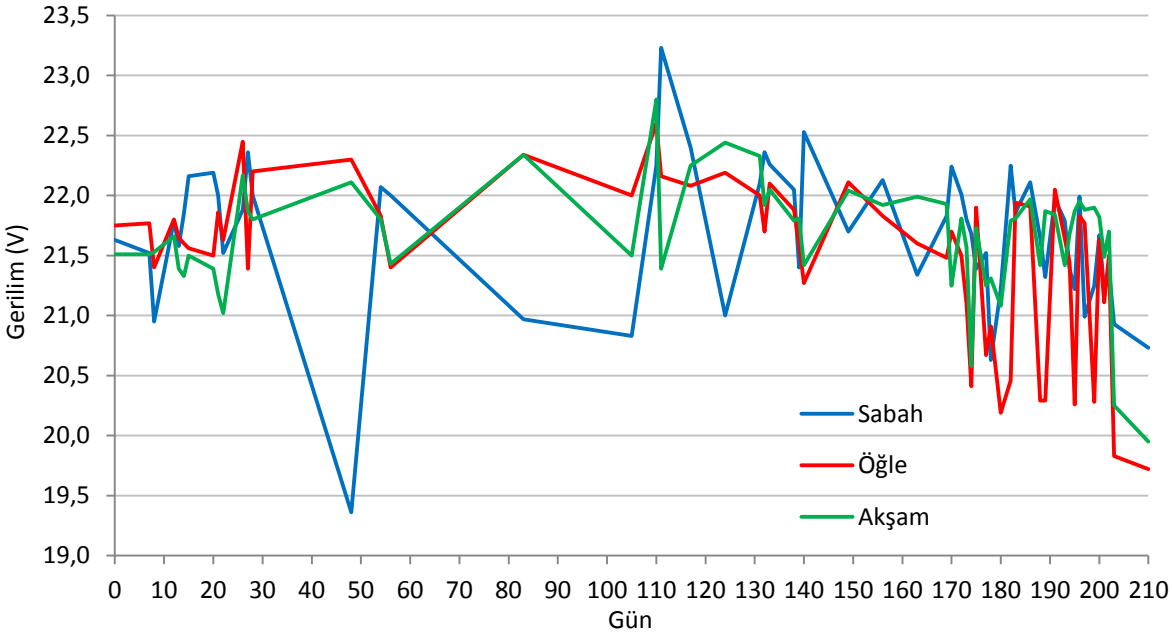
Şekil 4.12: Kirlilik nedeniyle polikristal panelde kaybolan gerilimin yüzde-zaman grafiği.

4.1.4. Monokristal Panellerdeki Kirliliğin Açık Devre Gerilimi Üzerindeki Etkisi

Temizleme işlemi yapılmış ve kirli bırakılmış monokristal panellerin açık devre gerilimleri 23 Ekim 2019 ile 20 Mayıs 2020 tarihleri arasında günde üç kez 210 gün boyunca ölçülmüş ve açık devre gerilim değerleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te gösterilmiştir.

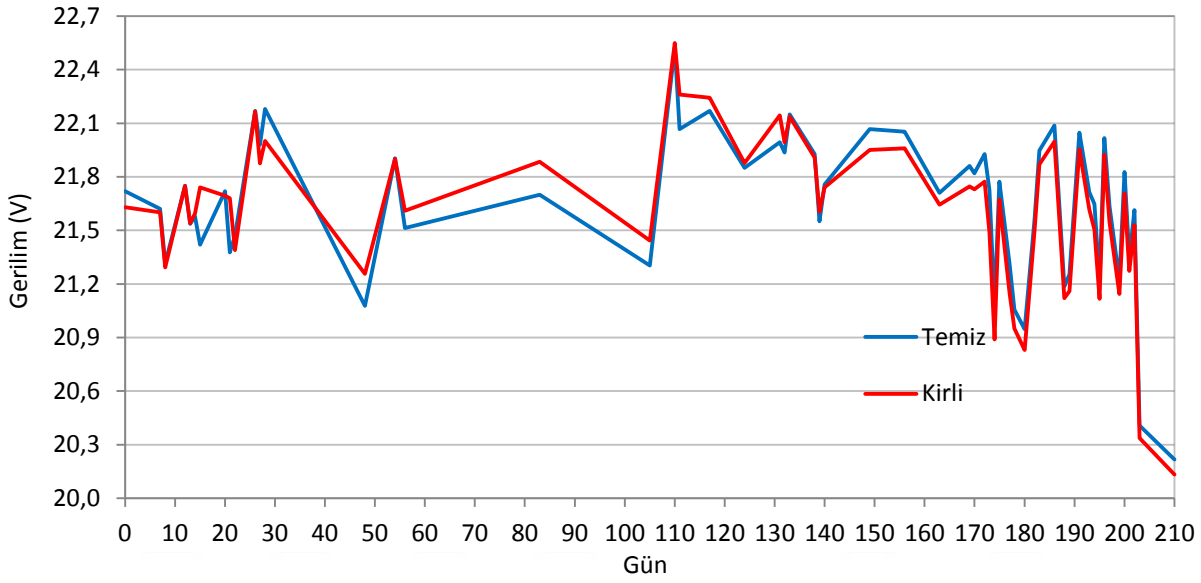


Şekil 4.13: Temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin gerilim-zaman grafiği.



Şekil 4.14: Temizleme işlemi yapılmamış kirli monokristal panelin gerilim-zaman grafiği.

Temiz ve kirli monokristal panellerin açık devre gerilimi değerlerinin karşılaştırma yapılabilmesi için günlük ortalamaları alınarak tek bir grafik üzerinde Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Her ölçüm öncesinde temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin ortalama açık devre gerilimi 210 günün sonunda 21,641 V olmuştur. Yağmur dışında elle herhangi bir temizleme işlemi yapılmayan monokristal panelin ortalama açık devre gerilimi ise 210 günün sonunda 21,609 V olmuştur.



Şekil 4.15: Temiz ve kirli monokristal panellerin gerilim-zaman grafiği.

Yapılan her ölçüm sonucu kirli monokristal paneldeki gerilimin temiz monokristal panele göre kaybolan açık devre gerilim yüzdesi zamana bağlı olarak Şekil 4.16'da verilmiştir. En yüksek kayıp, ölçümlerin başladığı 173.gün olan 13 Nisan 2020 tarihinde %1,1 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.16: Kirlilik nedeniyle monokristal panelde kaybolan gerilimin yüzde-zaman grafiği.

4.2. MODELLEME

Tez çalışmasında Hatay ili iklim şartlarında oluşan fotovoltaik panellerdeki kirliliğin etkisi sınırlı sayıda verilerle incelenmiştir. Kirliliğin etkisini farklı zaman dilimlerinde oluşan çevresel faktörler için değerlendirebilmek adına çalışmanın bu bölümünde elde edilen veriler yapay sinir ağları ile modellenmiştir.

Yapay sinir ağı modellemesi temiz polikristal, kirli polikristal, temiz monokristal ve kirli monokristal fotovoltaik paneller için ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir modelleme için 210 gün boyunca belirli periyotlarda ölçülen 137 adet ölçüm verisi kullanılmıştır. Veri setinin %70'i eğitim aşamasında, %15'i doğrulama aşamasında, %15'i ise test aşamasında kullanılmıştır.

Yapay sinir ağındaki hata oranlarını azaltmak için elde edilen tüm veriler normalize edilmiştir. Normalizasyon yöntemi olarak min-max normalizasyon yöntemi seçilmiştir. Denklem 4.1'de verilen formüle göre tüm veriler 0-1 aralığına indirgenmiştir. Normalize edilmiş veriler EK 1, EK 2, EK 3 ve EK 4'te gösterilmiştir.

$$x^{i} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \tag{4.1}$$

x^{i} = Normalize edilmiş veri

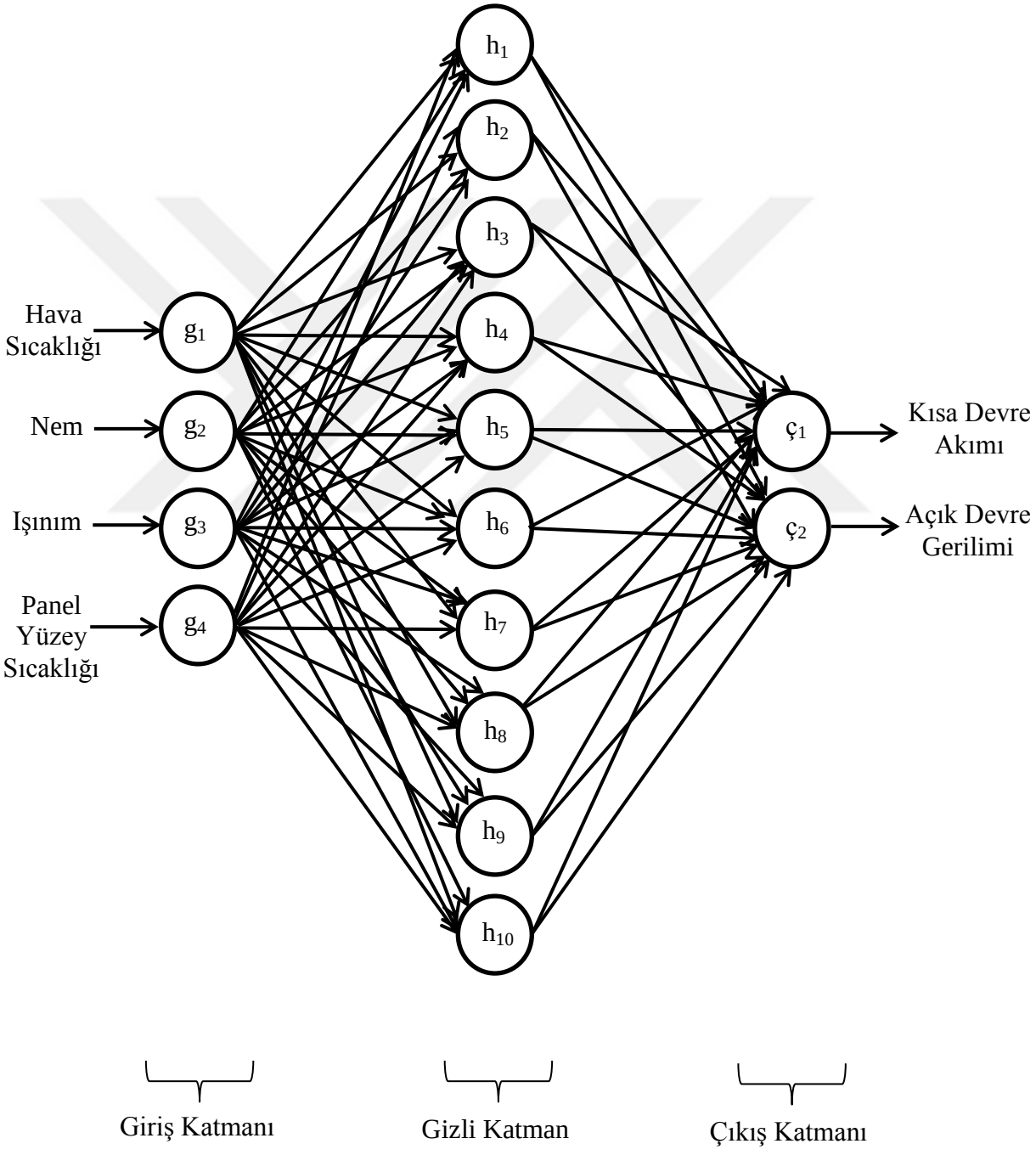
x = Normalize edilecek veri

x_{max} = Veri seti içerisindeki en büyük değer

x_{min} = Veri seti içerisindeki en küçük değer

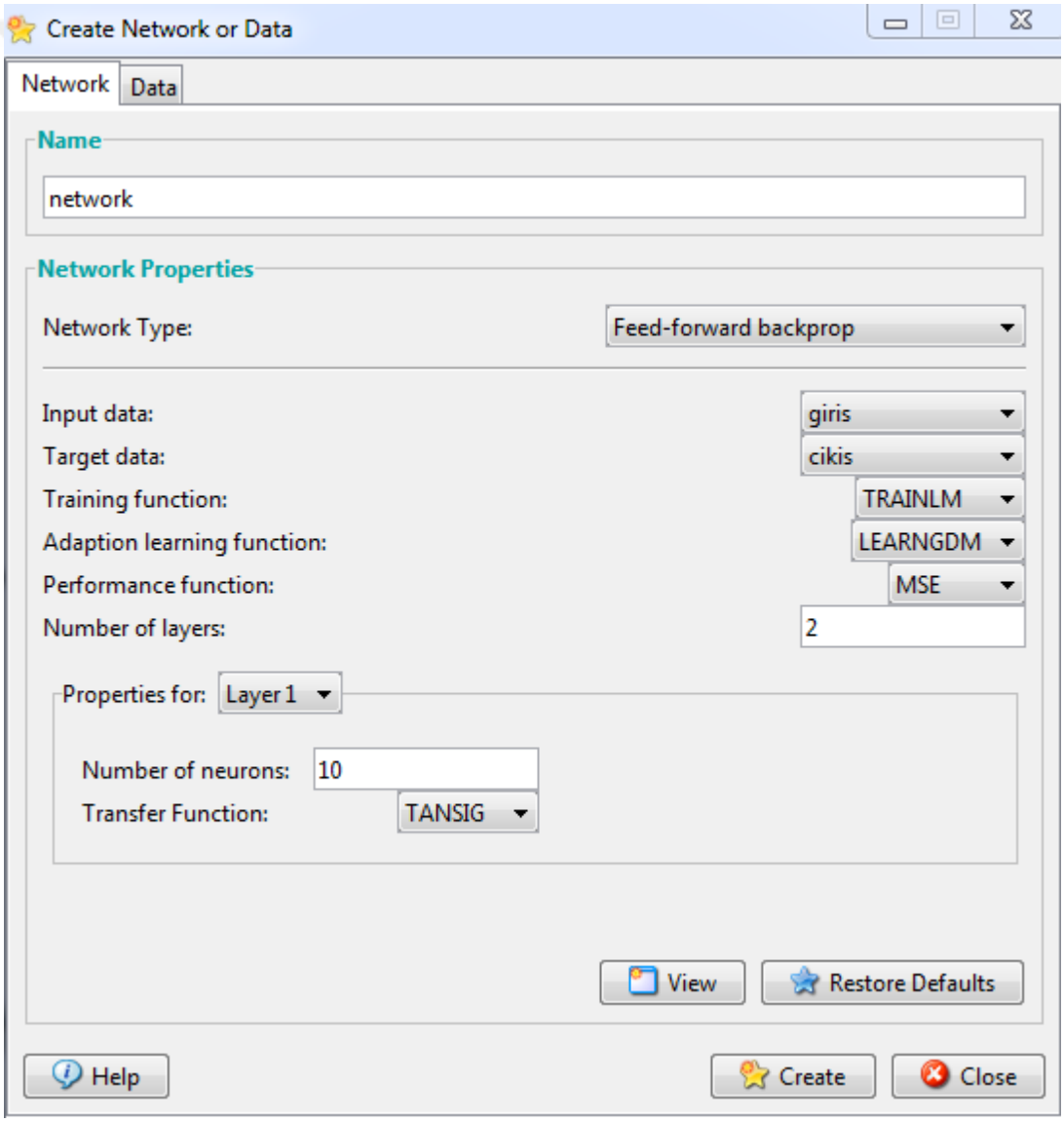
Oluşturulan yapay sinir ağı modelleri MATLAB programının nntool fonksiyonu ile hazırlanmıştır. Her bir modelleme için Şekil 4.17'de görülen yapay sinir ağı mimarisi kullanılmıştır. Yapay sinir ağının giriş katmanını hava sıcaklığı, nem, ışınım ve panel yüzey sıcaklığı verileri oluşturmaktadır. Çıkış katmanlarını ise fotovoltaik panellerin kısa devre akımı ve açık devre gerilimi verileri oluşturmaktadır. Yapay sinir ağı modellerinin başarılı tahminler yapabilmesi için çeşitli sayıda gizli nöronlar modellemeleri oluştururken denenmiştir. Gizli katmandaki nöron sayısı 10 olarak belirlendiğinde en başarılı tahmini yapan modellemenin gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

Şekil 4.17'de görüldüğü üzere oluşturulan yapay sinir ağı modelleri ileri beslemeli ağ modellerindendir. Katman sayılarına göre değerlendirildiğinde gizli katmana sahip olmasından dolayı oluşturulan yapay sinir ağları çok katmanlıdır. Tüm yapay sinir ağı modellemelerinde literatürde en çok kullanılan danışmanlı (öğretmenli) öğrenme metodu kullanılmıştır.



Şekil 4.17: Oluşturulan YSA yapısı.

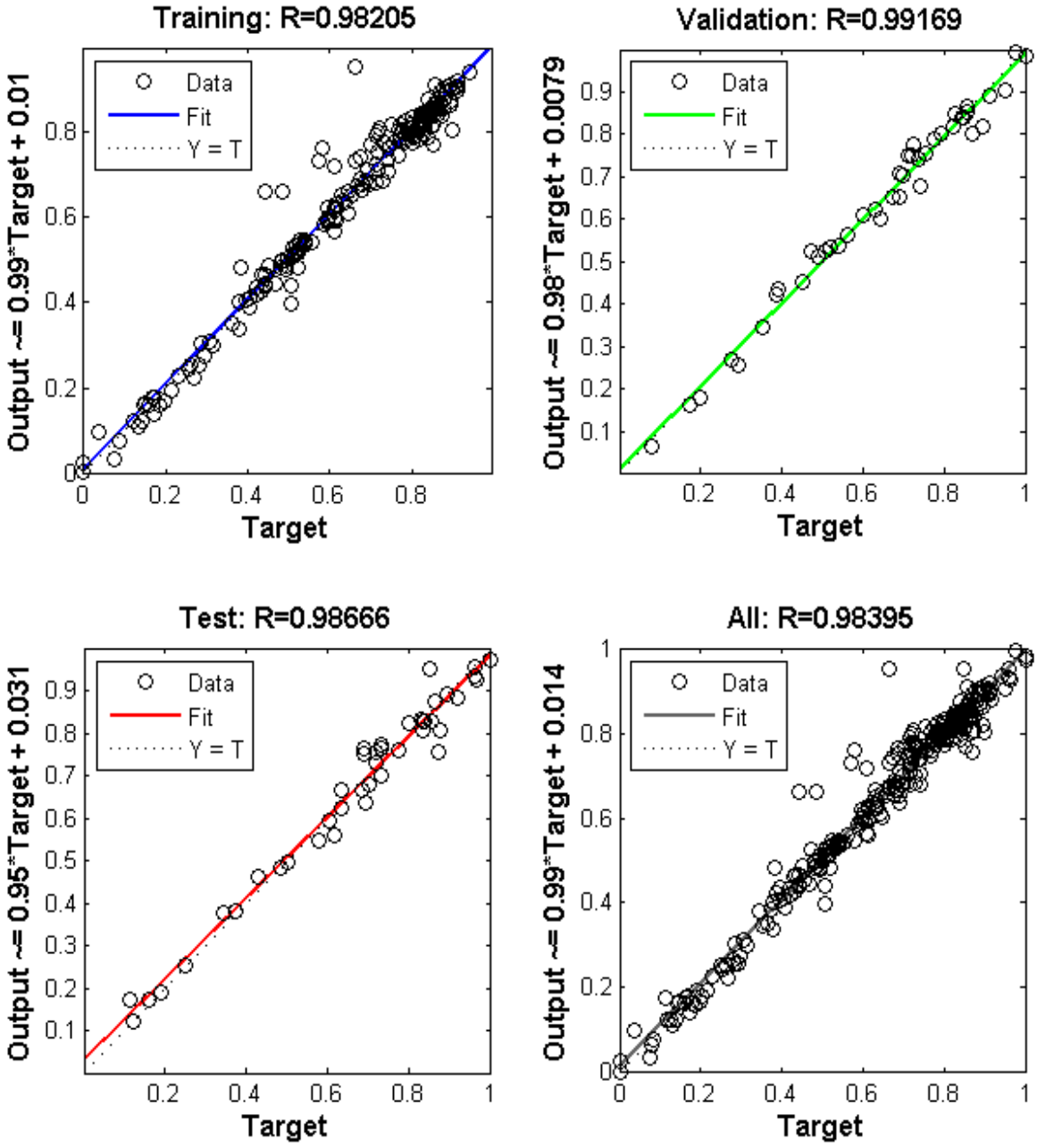
Şekil 4.18'de modellemelere ait yapay sinir ağı oluşturma ekranı görülmektedir. Dört farklı YSA modelide aynı fonksiyonlar seçilerek oluşturulmuştur. Yapay sinir ağı modellerinde ağ tipi olarak ileri beslemeli geri yayılımlı (feed-forward backprop) ağ seçilmiştir. Eğitim algoritması olarak hızlı ve başarılı sonuçlar vermesi nedeniyle ağırlık ve eşik değerlerini ayarlayan Levenberg-Marquand (trainlm) tercih edilmiştir. Öğrenme fonksiyonu olarak learngdm seçilmiştir. Yapay sinir ağlarının performansının değerlendirilmesinde korelasyon katsayısı ve hata kareleri ortalaması (MSE) ölçüt alınmıştır. Başarılı korelasyon değerleri vermesi nedeniyle aktivasyon fonksiyonu olarak hiperbolik tanjant fonksiyonu olan tansig transfer fonksiyonu ayarlanmıştır.



Şekil 4.18: YSA oluşturma ekranı.

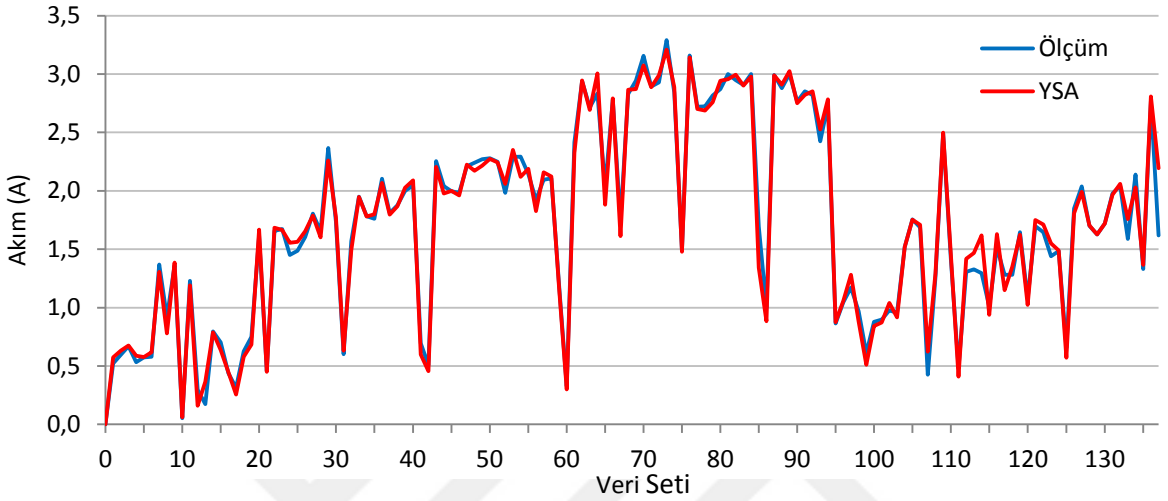
4.2.1. Temizleme İşlemi Yapılmış Polikristal Panelin YSA Modellemesi

Temizleme işlemi yapılmış polikristal fotovoltaik panelin yapay sinir ağı ile modellenmesi sonucu Şekil 4.19'da görülen regresyon eğrileri ortaya çıkmıştır. Grafiklerde görüldüğü üzere YSA modelinin korelasyon katsayıları eğitim aşamasında 0,98205, doğrulama aşamasında 0,99169, test aşamasında 0,98666 ve modelin tamamında 0,98395 olarak hesaplanmıştır. Ayıca tüm çıkış verilerinin hata kareleri ortalaması (MSE) 0,039 olarak hesaplanmıştır.



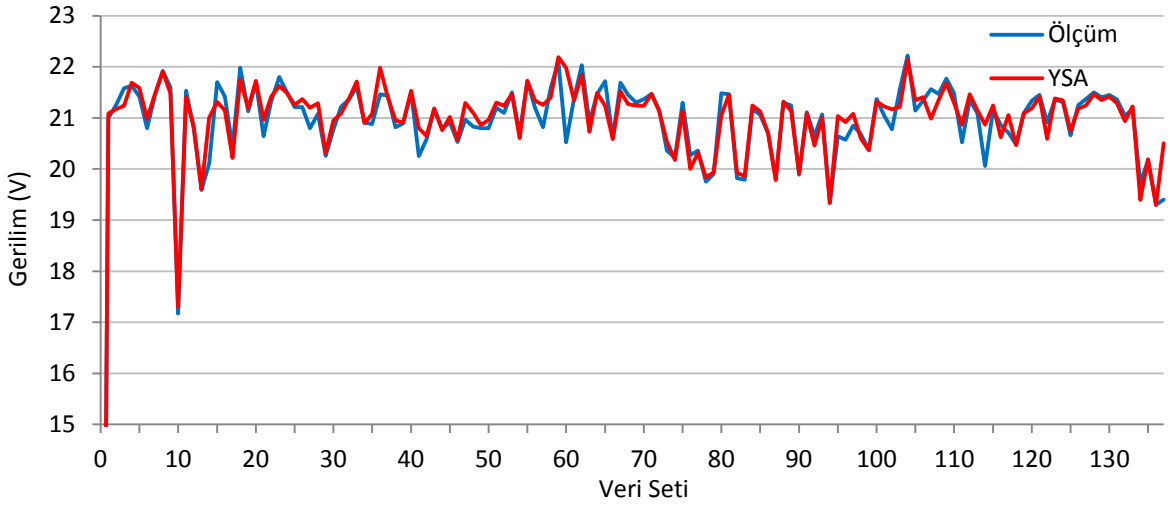
Şekil 4.19: Temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin regresyon grafikleri.

Temiz polikristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerler Şekil 4.20'de tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Hata kareleri ortalaması (MSE) 0,009 hesaplanan kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerlerin yüksek oranda uyumlu olduğu Şekil 4.20'de gözükmektedir.



Şekil 4.20: Temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması**.**

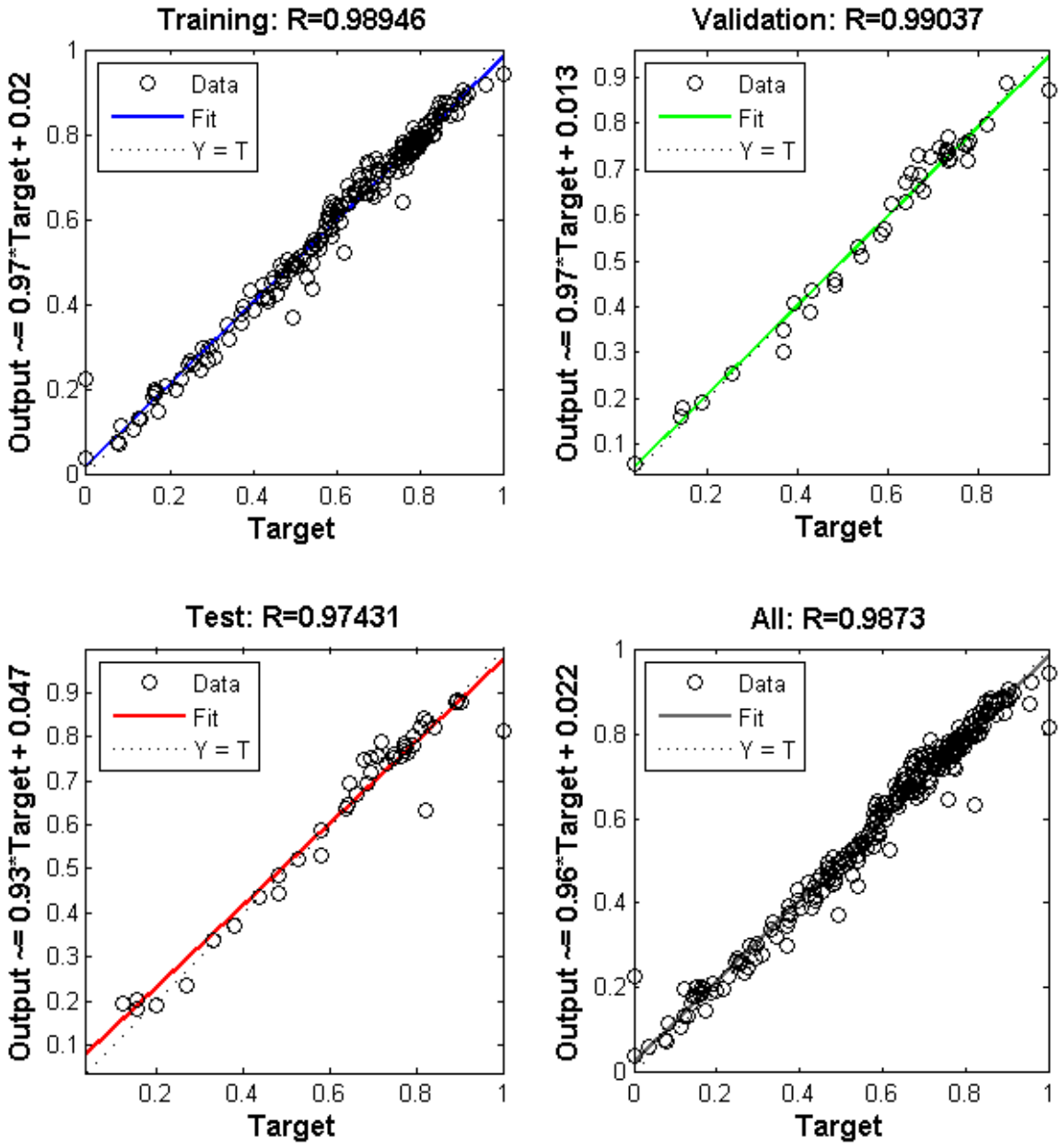
Temiz polikristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerler Şekil 4.21'de tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Hata kareleri ortalaması (MSE) 0,069 hesaplanan açık devre gerilim ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerlerin yüksek oranda uyumlu olduğu Şekil 4.21'de gözükmektedir.



Şekil 4.21: Temizleme işlemi yapılmış polikristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

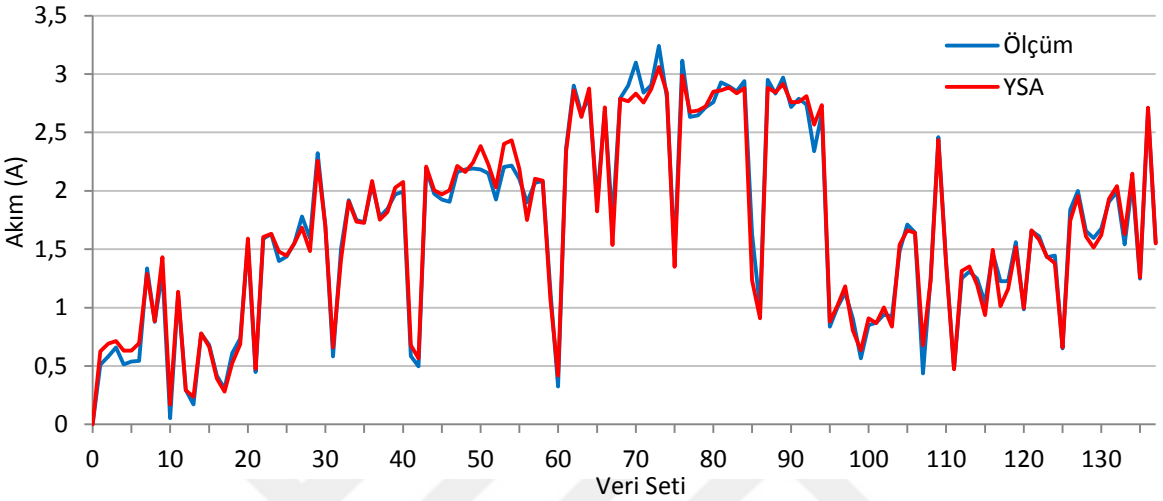
4.2.2. Kirli Bırakılmış Polikristal Panelin YSA Modellemesi

Kirli bırakılmış polikristal fotovoltaik panelin yapay sinir ağı ile modellenmesi sonucu Şekil 4.22'de görülen regresyon eğrileri ortaya çıkmıştır. Grafiklerde görüldüğü üzere YSA modelinin korelasyon katsayıları eğitim aşamasında 0,98946, doğrulama aşamasında 0,99037, test aşamasında 0,97431 ve modelin tamamında 0,9873 olarak hesaplanmıştır. Ayıca tüm çıkış verilerinin hata kareleri ortalaması (MSE) 0,041 olarak hesaplanmıştır.



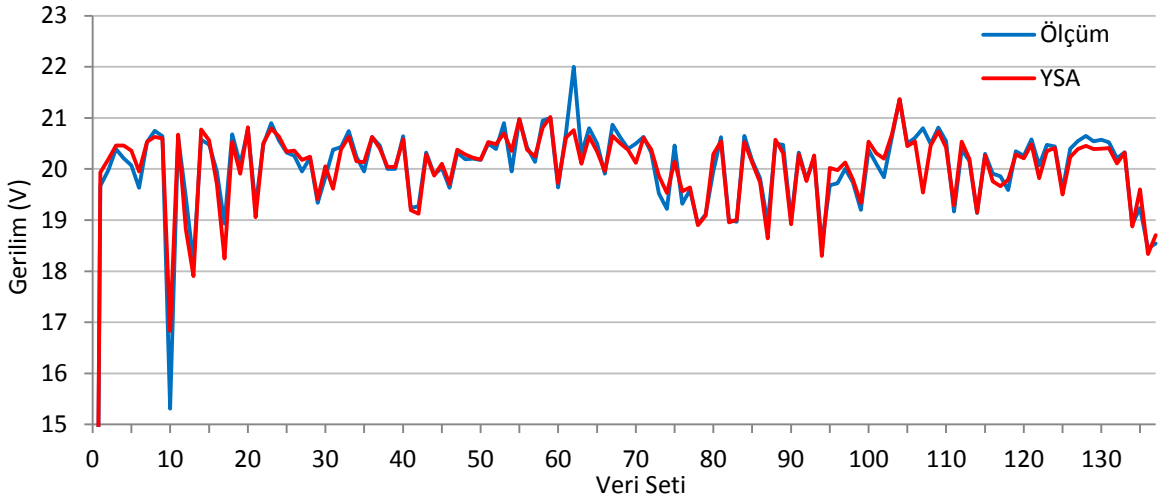
Şekil 4.22: Kirli bırakılmış polikristal panelin regresyon grafikleri.

Kirli polikristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerler Şekil 4.23'te tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Hata kareleri ortalaması (MSE) 0,008 hesaplanan kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerlerin yüksek oranda uyumlu olduğu Şekil 4.23'te gözükmektedir.



Şekil 4.23: Kirli bırakılmış polikristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

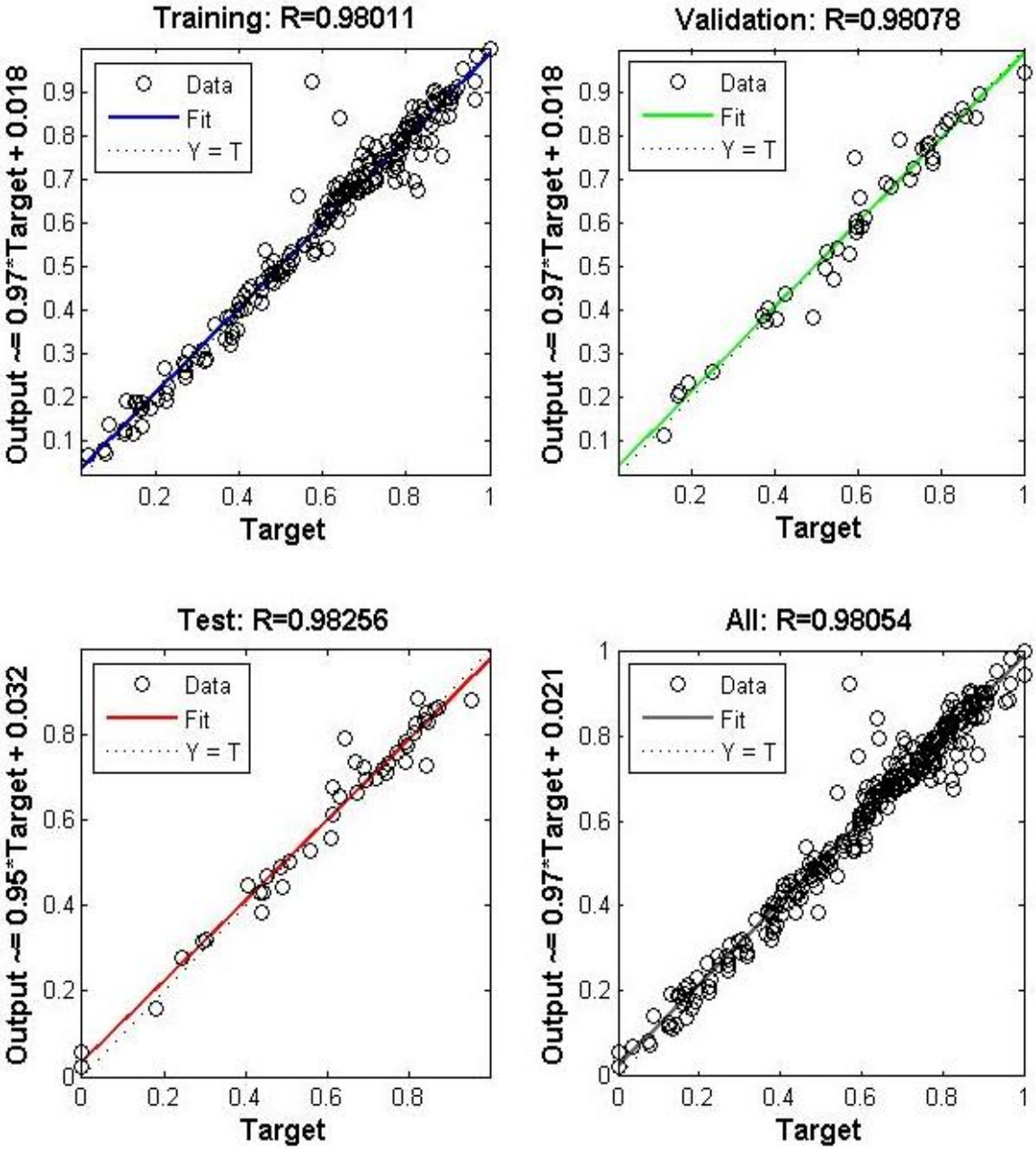
Kirli polikristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerler Şekil 4.24'te tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Hata kareleri ortalaması (MSE) 0,074 hesaplanan açık devre gerilim ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerlerin yüksek oranda uyumlu olduğu Şekil 4.24'te gözükmektedir.



Şekil 4.24: Kirli bırakılmış polikristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

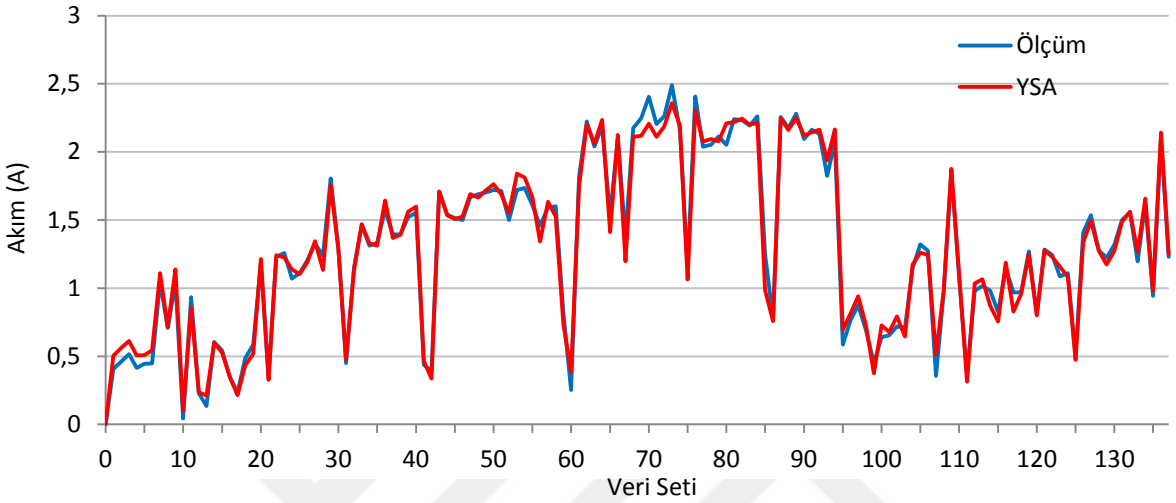
4.2.3. Temizleme İşlemi Yapılmış Monokristal Panelin YSA Modellemesi

Temizleme işlemi yapılmış monokristal fotovoltaik panelin yapay sinir ağı ile modellenmesi sonucu Şekil 4.25'te görülen regresyon eğrileri ortaya çıkmıştır. Grafiklerde görüldüğü üzere YSA modelinin korelasyon katsayıları eğitim aşamasında 0,98011, doğrulama aşamasında 0,98078, test aşamasında 0,98256 ve modelin tamamında 0,98054 olarak hesaplanmıştır. Ayıca tüm çıkış verilerinin hata kareleri ortalaması (MSE) 0,028 olarak hesaplanmıştır.



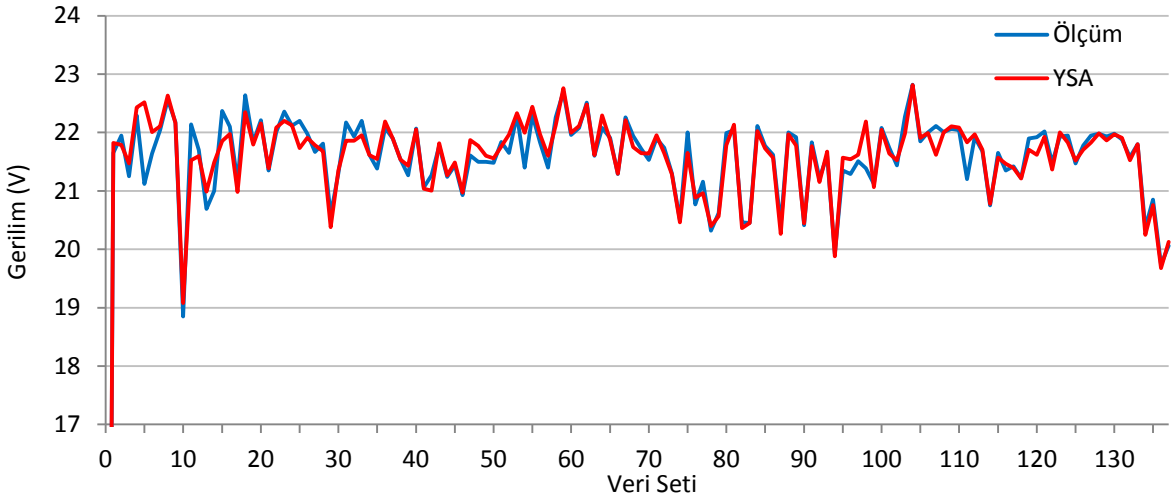
Şekil 4.25: Temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin regresyon grafikleri.

Temiz monokristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerler Şekil 4.26'da tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Hata kareleri ortalaması (MSE) 0,005 hesaplanan kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerlerin yüksek oranda uyumlu olduğu Şekil 4.26'da gözükmektedir.



Şekil 4.26: Temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

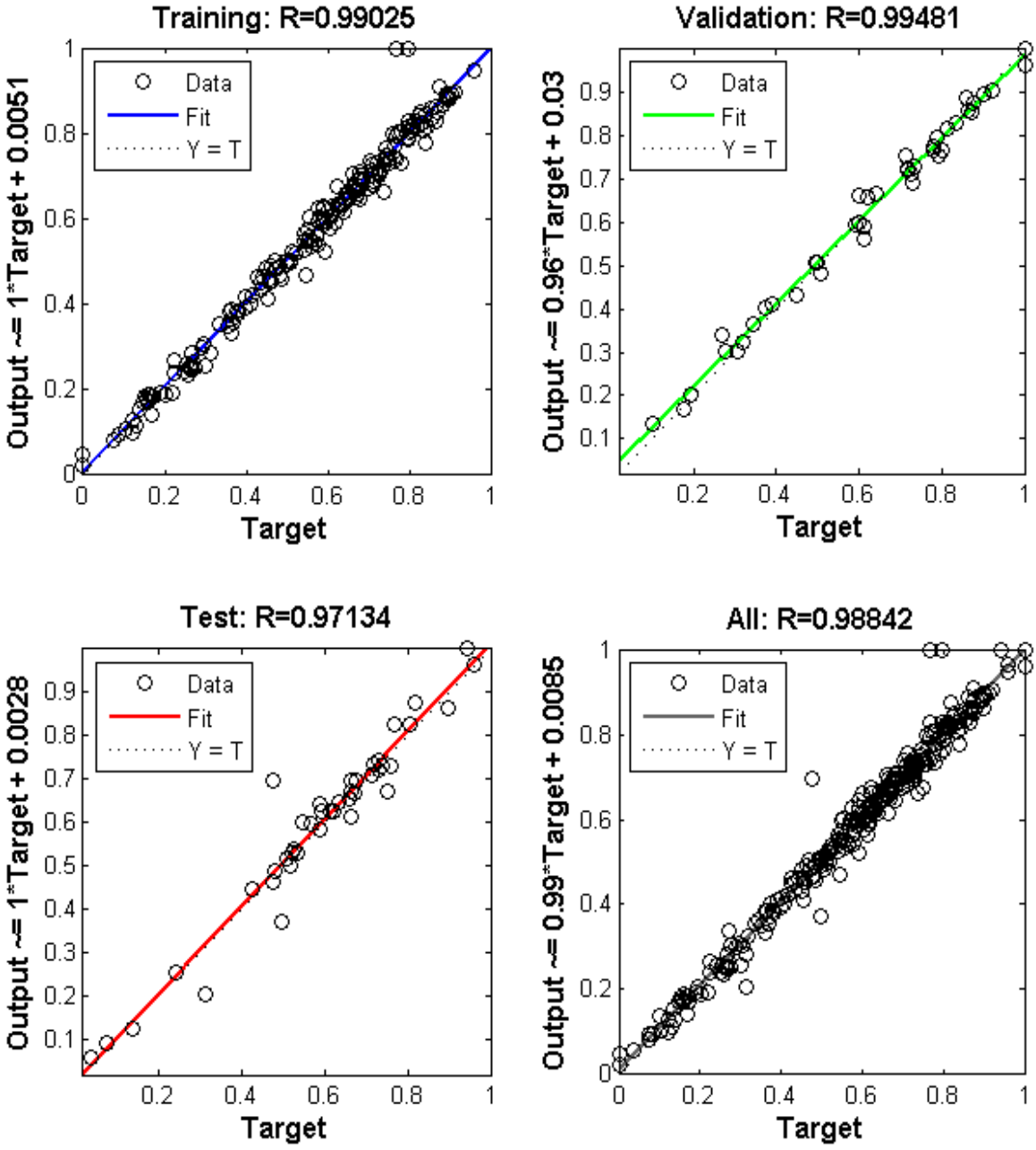
Temiz monokristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerler Şekil 4.27'de tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Hata kareleri ortalaması (MSE) 0,051 hesaplanan açık devre gerilim ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerlerin yüksek oranda uyumlu olduğu Şekil 4.27'de gözükmektedir.



Şekil 4.27: Temizleme işlemi yapılmış monokristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

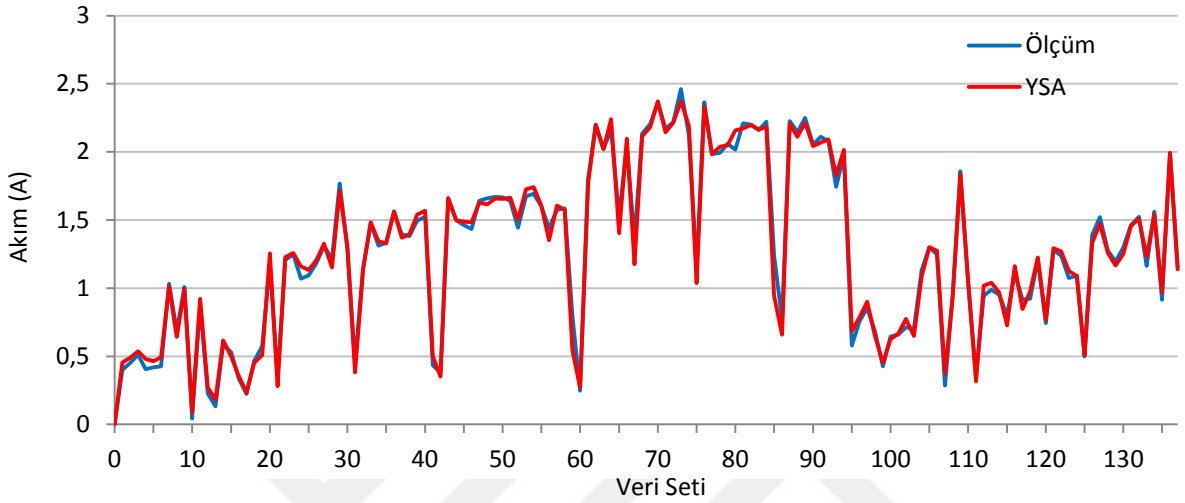
4.2.4. Kirli Bırakılmış Monokristal Panelin YSA Modellemesi

Kirli bırakılmış monokristal fotovoltaik panelin yapay sinir ağı ile modellenmesi sonucu Şekil 4.28'de görülen regresyon eğrileri ortaya çıkmıştır. Grafiklerde görüldüğü üzere YSA modelinin korelasyon katsayıları eğitim aşamasında 0,99025, doğrulama aşamasında 0,99481, test aşamasında 0,97134 ve modelin tamamında 0,98842 olarak hesaplanmıştır. Ayıca tüm çıkış verilerinin hata kareleri ortalaması (MSE) 0,012 olarak hesaplanmıştır.



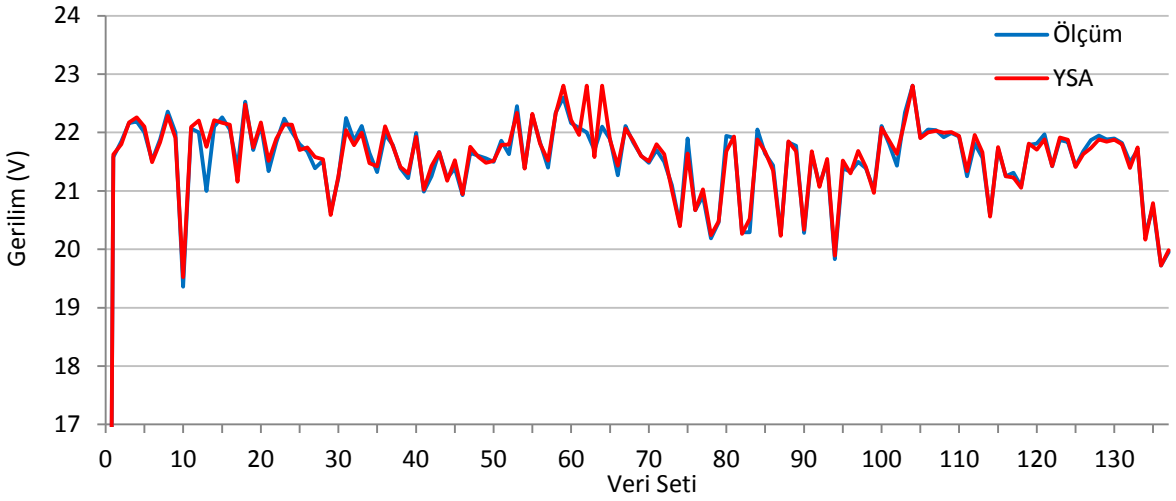
Şekil 4.28: Kirli bırakılmış monokristal panelin regresyon grafikleri.

Kirli monokristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerler Şekil 4.29'da tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Hata kareleri ortalaması (MSE) 0,003 hesaplanan kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerlerin yüksek oranda uyumlu olduğu Şekil 4.29'da gözükmektedir.



Şekil 4.29: Kirli bırakılmış monokristal panelin kısa devre akımı ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

Kirli monokristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerler Şekil 4.30'da tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Hata kareleri ortalaması (MSE) 0,021 hesaplanan açık devre gerilim ölçüm değerleri ile YSA'nın tahmin ettiği değerlerin yüksek oranda uyumlu olduğu Şekil 4.30'da gözükmektedir.



Şekil 4.30: Kirli bırakılmış monokristal panelin açık devre gerilimi ölçüm değerleri ile YSA tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Teknolojik ilerlemelerle birlikte elektrik enerjisine olan bağlılık gün geçtikçe artmaktadır. İnsanoğlu elektrik enerjisine olan ihtiyacını yıllardır fosil yakıtlar vasıtasıyla karşılamıştır. Ancak fosil yakıtların tükenme evresine girmesi ve ekolojik dengeyi bozması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına olan yönelim son yıllarda artmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından biri de sonsuz enerji kaynağı olan güneş enerjisidir. Devletlerin yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisine olan teşvikleri ve temiz bir enerji kaynağı olması sayesinde fotovoltaik panel kurulumları dünya genelinde yaygınlaşmıştır. Bundan dolayı fotovoltaik panellerin verimliliğini artırma üzerine yapılan deneysel çalışmalar günümüzde önem kazanmıştır.

Bu çalışmada Hatay ilindeki çevresel faktörlerin monokristal ve polikristal fotovoltaik paneller üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmada toplanan tüm veriler 23 Ekim 2019'dan 20 Mayıs 2020'ye kadar 210 gün boyunca kayıt edilmiştir. Monokristal ve polikristal panellerden birer tanesine her ölçüm öncesi temizleme işlemi yapılmıştır, diğerlerine ise yağmur dışında hiçbir temizleme işlemi yapılmamıştır. Çevresel faktörler sonucu oluşan kirliliğin panellere olan etkisini incelemek için kısa devre akımı ve açık devre gerilimi verileri ölçüt olarak alınmıştır.

Çevresel faktörlerin oluşturduğu etmenlerin fotovoltaik panellerin kısa devre akımlarına olan etkisi Şekil 4.3 ve Şekil 4.7'de grafikler üzerinden verilmiştir. Grafikler değerlendirildiğinde yapılan tüm ölçümlerde temiz fotovoltaik panellerin kısa devre akım değerleri kirli bırakılan fotovoltaik panellere göre daha yüksek değerde çıkmıştır. İki panel arasında oluşan kısa devre akım farkının oluşma sebebi olarak panel yüzeyinde biriken tozun PV hücre üzerine düşen güneş ışınımını engellemesi gösterilebilir. Kirli polikristal panel temiz polikristal panele göre 210 gün sonunda ortalama %2,7 oranında kısa devre akımını kaybetmiştir. Kirli monokristal panel temiz monokristal panele göre ise 210 günün sonunda ortalama %2,08 oranında kısa devre akımını kaybetmiştir. Kısa devre akımlarındaki kayıpların oransal olarak düşük kalmasına neden olarak deneysel çalışmaların yağmurlu günlerin sayısının yüksek olduğu aylarda yapılması gösterilebilir. Panel türlerine göre değerlendirildiğinde ise toz birikintisinin polikristal paneli monokristal panele göre daha fazla etkilediği ölçülmüştür. İstisnai

durumlarda monokristal panelin polikristal panele göre yüzde olarak daha fazla akım kaybettiği ölçümlerin monokristal panelin üzerinde ki kuş pisliklerinden kaynaklandığı gözlemlenmiştir.

Çevresel faktörlerin açık devre gerilimleri üzerindeki etkisi Şekil 4.11 ve Şekil 4.15'te grafikler üzerinden verilmiştir. Monokristal fotovoltaik temiz ve kirli panellerin açık devre gerilimleri değerlendirildiğinde küçük oranlarda gerilim kayıpları ortaya çıkmıştır. Kirli monokristal panel temiz monokristal panele göre 210 günün sonunda ortalama %0,15 oranında açık devre gerilimi kaybetmiştir. Bunun sebebi olarak açık devre gerilim değerlerini panel yüzey sıcaklığı verilerinin değiştirdiği söylenebilir. Temiz ve kirli monokristal panel arasındaki ortalama yüzey sıcaklığı farkı hesaplandığında %0,42 çıkması bu durumu destekler niteliktedir. Polikristal fotovoltaik temiz ve kirli panellerin açık devre gerilimleri değerlendirildiğinde ise monokristal panellere göre yüksek oranda kayıplar ortaya çıkmıştır. Kirli polikristal panel temiz polikristal panele göre 210 gün sonunda ortalama %4,65 oranında açık devre gerilimini kaybetmiştir. Bunun sebebi olarak üretim aşamasında kaynaklanan hatadan dolayı yüksek gerilim kayıplarının ortaya çıktığı düşünülmektedir. Her iki polikristal panelin aynı şartlar altında eşit kısa devre akımı değerleri vermesine rağmen farklı açık devre gerilimi değerleri vermesi buna kanıt olarak gösterilebilir.

Tez çalışmasında çevresel faktörlerin fotovoltaik paneller üzerindeki etkisi sınırlı verilerle belirli bir zaman diliminde incelenmiştir. Verilerin kapsamını genişletmek için her bir panel için yapay sinir ağı modellemesi gerçekleştirilmiştir. Yapay sinir ağı modellerinin giriş nöronlarını hava sıcaklığı, nem, ışınım ve panel yüzey sıcaklığı verileri oluşturmuştur. Çıkış nöronlarını ise panellerin kısa devre akımı ve açık devre gerilimi değerleri oluşturmuştur. Bütün panellerde ileri beslemeli geri yayılımlı Levenberg-Marquand eğitim algoritması seçilmiştir. Gizli nöron sayısı 10 olarak ayarlanmıştır. Eğitim algoritması ve gizli nöron sayısı seçiminde hızlı ve başarılı sonuçlar vermesi dikkate alınmıştır.

Temiz ve kirli polikristal panellerin YSA modellemelerinin regresyon eğrileri Şekil 4.19 ve Şekil 4.22'de verilmiştir. Yapay sinir ağlarının performansının değerlendirilmesinde ölçüt alınan korelasyon katsayısı temiz polikristal panelde 0,98395, kirli polikristal panelde 0,9873 olarak hesaplanmıştır. Bir diğer ölçüt alınan hata kareleri ortalaması (MSE) değeri temiz polikristal panelde 0,039, kirli polikristal panelde 0,041 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan korelasyon katsayılarının 1'e, hata kareleri ortalamasının (MSE) 0'a yakın olması gerçek

ölçüm değerleri ile yapay sinir ağlarının tahmin ettiği değerler arasında güçlü bir ilişki olduğunu ve hata oranının düşük kaldığını göstermiştir.

Temiz ve kirli monokristal panellerin YSA modellemelerinin regresyon eğrileri Şekil 4.25 ve Şekil 4.28'de verilmiştir. Yapay sinir ağlarının performansının değerlendirilmesinde ölçüt alınan korelasyon katsayısı temiz monokristal panelde 0,98054, kirli monokristal panelde 0,98842 olarak hesaplanmıştır. Bir diğer ölçüt alınan hata kareleri ortalaması (MSE) değeri temiz monokristal panelde 0,028, kirli monokristal panelde 0,012 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan korelasyon katsayılarının 1'e, hata kareleri ortalamasının (MSE) 0'a yakın olması gerçek ölçüm değerleri ile yapay sinir ağlarının tahmin ettiği değerler arasında güçlü bir ilişki olduğunu ve hata oranının düşük kaldığını göstermiştir.

Panelleri etkileyen çevresel faktörlerin verilerini 12 ay boyunca her gün toplanması, yağmurun ve rüzgârın etkisinin incelenebilmesi için ölçüm verilerine dâhil edilmesi, günün her saniyesi kesintisiz veri toplayan sistemlerin kurulması, farklı temizlik malzemelerin ve temizleme teknolojilerinin kullanılması gibi öneriler ileride yapılacak olan çalışmalar için tavsiye edilebilir.

Bu deneysel çalışma sonucunda, panel yüzeylerinde biriken tozların PV hücre üzerine düşen ışınımları engelleyerek panellerin kısa devre akımlarını daha çok etkilediği ve panel temizliğinin kısa devre akım değerlerini artırdığı tespit edilmiştir. Hatay ilinde bulunan panellerin kısa dönem aralıklarla temizlenmesinin büyük güçlü güneş santrallerdeki elektrik üretimini önemli miktarda artıracağı ancak temizlik ve işçilik maliyetleri düşünüldüğünde artan elektrik üretiminin maliyeti karşılamayacağı hesaplanmıştır.

Yapılan deneysel çalışma sonucu her bir panel için oluşturulan yapay sinir ağı modellemeleri ile yağmur dışında hiç bir temizleme işlemi yapılmayan ve kısa dönem aralıklarla elle temizlenen monokristal ve polikristal panellerin kurulu olduğu Hatay ilindeki güneş santrallerinin elektrik üretimi tahmini yapılabilir. Ayrıca günün üç farklı saatinde yapılan ölçümler sayesinde güneş enerjisi santrallerindeki uygun panel temizleme periyotları belirlenebilir.

KAYNAKLAR

[1]. http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes (Ziyaret Tarihi: 16.03.20).

[2]. Bergin, M.H., Ghoroi, C., Dixit, D., Schauer, J.J., Shindell, D.T., 2017, Large reductions in solar energy production due to dust and particulate air pollution, Environmental Science Technology Letters, 4, 339–344.

[3]. Rahman, M.M., Islam, M.A., Karim, A.H.M.Z., Ronee, A.H., 2012, Effects of natural dust on the performance of PV panels in Bangladesh, International Journal of Modern Education and Computer Science, 10, 26–32.

[4]. Öztürk, H., 2013, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Birsen Yayınevi, İstanbul.

[5]. Varınca, K., Gönüllü, M.T., Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 21-23 Haziran 2006, Eskişehir.

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

[7]. Saidan, M., Albaali, A.G., Alasis, E., Kaldellis, J.K., 2016, Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment, Renewable Energy, 92, 499-505.

[8]. Jiang, H., Lu, L., Sun, K., 2011, Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of solar photovoltaic (PV) modules, Atmospheric Environment, 45, 4299-4304.

[9]. Mekhilef, S., Saidur, R., Kamalisarvestani, M., 2012, Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 2920-2925.

[10]. Boyle, L., Flinchpaugh, H., Hannigan, M.P., 2015, Natural soiling of photovoltaic cover plates and the impact on transmission, Renewable Energy, 77, 166-173.

[11]. Gholami, A., Khazaee, I., Eslami, S., Zandi, M., Akrami, E., 2018, Experimental investigation of dust deposition effects on photo-voltaic output performance, Solar Energy, 159, 346–352.

[12]. Adinoyi, M.J., Said, S.A.M., 2013, Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules, Renewable Energy, 60, 633-636.

[13]. Klugmann-Radziemska, E., 2015, Degradation of electrical performance of a crystalline photovoltaic module due to dust deposition in northern Poland, Renewable Energy, 78, 418-426.

[14]. Kazem, H.A., Chaichan, M.T., 2016, Experimental analysis of the effect of dust's physical propertieson photovoltaic modules in Northern Oman, Solar Energy, 139, 68-80.

[15]. Chaichan, M.T., Mohammed, B.A., Kazem, H.A., 2015, Effect of pollution and cleaning on photovoltaic performance based on experimental study, International Journal of Scientific & Engineering Research, 6 (4), 594- 601.

[16]. Appels, R., Lefevre, B., Herteleer, B., Goverde, H., Beerten, A., Paesen, R., Medts, K.D., Driesen, J., Poortmans, J., 2013, Effect of soiling on photovoltaic modules, Solar Energy, 96, 283-291.

[17]. Urrejola, E., Antonanzas, J., Ayala, P., Salgado, M., Ramirez-Sagner, G., Cortes, C., Pino, A., Escobar, R., 2016, Effect of soiling and sunlight exposure on the performance ratio of photovoltaic technologies in Santiago, Chile, Energy Conversion and Management, 114, 338-347.

[18]. Rao, A., Pillai, R., Mani, M., Ramamurthy, P., 2014, Influence of dust deposition on photovoltaic panel performance, Energy Procedia, 54, 690-700.

[19]. Zaihidee, F.M., Mekhilef, S., Seyedmahmoudian, M., Horan, B., 2016, Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65, 1267-1278.

[20]. SolarPower Europe, 2019, Global Market Outlook For Solar Power 2019–2023, Brussels, ISBN: 9789082714326.

[21]. International Energy Agency -Photovoltaic Power Systems Programme, 2020, Snapshot of Global PV Markets, ISBN: 978-3-906042-94-7.

[22]. https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari (Ziyaret Tarihi: 17.03.20).

[23].https://www.teias.gov.tr/tr-TR/aylik-elektrik-uretim-tuketim-raporlari (Ziyaret Tarihi: 17.03.20).

[24]. https://www.teias.gov.tr/tr-TR/rakamlarla-elektrik-iletimi (Ziyaret Tarihi: 17.03.20).

[25].https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-23-3/elektrikaylik-sektor-raporlar(Ziyaret Tarihi: 18.03.2020).

[26]. http://fotonik.gazi.edu.tr/posts/download?id=16955 (Ziyaret Tarihi: 21.03.2020).

[27]. Luque, A., Hegedus, S., 2011, Handbook of photovoltaic science and engineering, John Wiley & Sons.

[28]. http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/ (Ziyaret Tarihi: 24.03.2020).

[29]. Çıngı, A., 2019, Güneş Enerjisi Elektrik Santrallerinde Kullanılan Fotovoltaik Panellerin Enerji Verimliliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[30]. Yalçın, L., 2017, Hatay İli FV Güneş Elektriği Fizibilite Çalışması, Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, ISBN: 978-605-64717-5-9.

[31]. Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, 2013, Resmi Gazete, 28809, 2 Kasım 2013.

[32]. Uztemur, M., 2019, Yapay Sinir Ağları ile Optik Karakter Tanıma, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

[33]. Fausett, L., 1994, Fundamentals of neural networks: architectures, algorithms, and applications, Prentice-Hall, Inc..

[34]. Öztemele, E., 2012, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.

[35]. Yıldırım, H., 2019, Yapay Sinir Ağları İle Termik Santral Kazan Kontrolü, Yüksek Lisans, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü.

[36]. Krishnamoorthy, C. S., Rajeev, S., 2018, Artificial intelligence and expert systems for engineers, CRC press.

[37]. Sağıroğlu, Ş., Beşdok E., Erler, M., 2003, Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1 : Yapay Sinir Ağları, Ufuk Yayıncılık, Kayseri.

[38]. Hassoun, M. H., 1995, Fundamentals of artificial neural networks, MIT press.

[39]. Doğan, E., Ateş, A., Yılmaz, E.C., ve Eren, B., 2008, Application of Artificial Neural Networks to Estimate Wastewater Treatmen Plant Inlet Biochemical Oxygen Demand, Environmental Progress, 27 (4), 439-446.

[40]. Yılmazel, Ö., Afşar, A., Yılmazel, S., 2018, Konut Fiyat Tahmininde Yapay Sinir Ağları Yönteminin Kullanılması, Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi, 20, 285- 300.

EKLER

EK 1. Temiz polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

	TEMİZ POLİKRİSTAL PANELİN GERÇEK ÖLÇÜM VERİLERİ						TAHMİN VERİLERİ	
	H. Sıcaklığı	Nem	P. Sıcaklığı	Işınım	Akım	Gerilim	Akım	Gerilim
1	0,408	0,679	0,241	0,213	0,145	0,756	0,160	0,775
2	0,401	0,661	0,218	0,252	0,167	0,810	0,179	0,793
3	0,357	0,750	0,179	0,282	0,190	0,873	0,192	0,806
4	0,310	0,518	0,124	0,262	0,148	0,883	0,165	0,894
5	0,340	0,464	0,166	0,257	0,161	0,842	0,162	0,875
6	0,476	0,571	0,281	0,236	0,163	0,719	0,174	0,754
7	0,517	0,000	0,378	0,564	0,406	0,848	0,387	0,852
8	0,303	0,357	0,169	0,366	0,267	0,941	0,224	0,938
9	0,381	0,375	0,357	0,540	0,404	0,877	0,412	0,854
10	0,286	0,696	0,036	0,000	0,000	0,000	0,002	0,026
11	0,371	0,732	0,307	0,450	0,363	0,863	0,351	0,840
12	0,354	0,536	0,013	0,091	0,075	0,715	0,033	0,724
13	0,177	0,893	0,094	0,036	0,037	0,479	0,096	0,483
14	0,224	0,714	0,147	0,342	0,229	0,580	0,227	0,759
15	0,286	0,661	0,141	0,277	0,201	0,897	0,180	0,821
16	0,252	0,732	0,083	0,144	0,119	0,842	0,122	0,787
17	0,279	0,768	0,114	0,059	0,080	0,646	0,062	0,603
18	0,207	0,607	0,055	0,235	0,177	0,952	0,162	0,905
19	0,395	0,661	0,339	0,238	0,215	0,784	0,194	0,796
20	0,473	0,732	0,335	0,564	0,482	0,897	0,499	0,902
21	0,388	0,768	0,266	0,119	0,125	0,687	0,122	0,752
22	0,510	0,554	0,440	0,567	0,496	0,824	0,504	0,841
23	0,435	0,625	0,350	0,574	0,500	0,917	0,498	0,882
24	0,469	0,625	0,392	0,535	0,432	0,857	0,464	0,854
25	0,439	0,714	0,480	0,543	0,443	0,800	0,467	0,809
26	0,418	0,625	0,467	0,574	0,480	0,800	0,494	0,832
27	0,527	0,446	0,533	0,613	0,541	0,719	0,536	0,798
28	0,432	0,625	0,494	0,557	0,495	0,774	0,478	0,816
29	0,517	0,696	0,754	0,741	0,714	0,612	0,681	0,623
30	0,463	0,750	0,575	0,609	0,520	0,713	0,532	0,749
31	0,449	0,661	0,393	0,193	0,169	0,802	0,179	0,775
32	0,463	0,946	0,425	0,525	0,468	0,830	0,444	0,834
33	0,418	0,964	0,420	0,663	0,586	0,879	0,585	0,900
34	0,456	0,875	0,558	0,614	0,535	0,741	0,533	0,738
35	0,486	0,714	0,550	0,611	0,527	0,735	0,539	0,772
36	0,476	1,000	0,401	0,694	0,633	0,850	0,623	0,953
37	0,469	0,929	0,469	0,616	0,542	0,846	0,539	0,839
38	0,510	0,714	0,578	0,631	0,563	0,723	0,561	0,749
39	0,483	0,857	0,583	0,679	0,601	0,737	0,610	0,740
40	0,480	0,804	0,469	0,688	0,615	0,857	0,629	0,864
41	0,507	0,839	0,456	0,154	0,198	0,610	0,168	0,718
42	0,500	0,696	0,323	0,138	0,141	0,675	0,124	0,688

EK 1. (devam): Temiz polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

43	0,500	0,768	0,550	0,719	0,680	0,792	0,665	0,795
44	0,541	0,857	0,607	0,659	0,614	0,717	0,594	0,710
45	0,561	0,643	0,572	0,658	0,600	0,741	0,601	0,762
46	0,537	0,875	0,641	0,657	0,596	0,665	0,590	0,674
47	0,626	0,554	0,519	0,700	0,666	0,752	0,671	0,817
48	0,592	0,536	0,571	0,700	0,676	0,725	0,655	0,778
49	0,619	0,464	0,625	0,718	0,685	0,719	0,668	0,731
50	0,670	0,000	0,583	0,767	0,688	0,719	0,685	0,751
51	0,592	0,286	0,536	0,733	0,679	0,798	0,677	0,818
52	0,626	0,500	0,524	0,658	0,596	0,778	0,620	0,805
53	0,558	0,000	0,476	0,805	0,691	0,857	0,710	0,851
54	0,571	0,000	0,629	0,782	0,692	0,699	0,638	0,680
55	0,531	0,429	0,382	0,703	0,646	0,901	0,660	0,902
56	0,456	0,643	0,495	0,619	0,578	0,798	0,548	0,825
57	0,558	0,464	0,547	0,703	0,630	0,723	0,650	0,809
58	0,293	0,786	0,398	0,710	0,634	0,875	0,639	0,838
59	0,041	0,000	0,176	0,373	0,354	0,976	0,346	0,994
60	0,000	0,161	0,000	0,060	0,085	0,663	0,076	0,953
61	0,259	0,571	0,459	0,772	0,730	0,834	0,702	0,827
62	0,337	0,661	0,417	0,921	0,892	0,962	0,894	0,925
63	0,405	0,732	0,658	0,848	0,822	0,743	0,816	0,705
64	0,422	0,589	0,539	0,931	0,859	0,851	0,912	0,855
65	0,510	0,536	0,536	0,634	0,611	0,901	0,565	0,805
66	0,476	0,607	0,718	0,869	0,842	0,679	0,846	0,676
67	0,551	0,500	0,370	0,535	0,521	0,895	0,482	0,862
68	0,646	0,357	0,567	0,866	0,858	0,848	0,869	0,811
69	0,612	0,179	0,589	0,891	0,893	0,818	0,871	0,806
70	0,697	0,000	0,589	0,950	0,958	0,832	0,933	0,806
71	0,578	0,268	0,534	0,889	0,877	0,851	0,875	0,851
72	0,663	0,339	0,597	0,901	0,889	0,788	0,907	0,784
73	0,561	0,625	0,719	1,000	1,000	0,632	0,974	0,666
74	0,585	0,339	0,793	0,901	0,862	0,604	0,876	0,595
75	0,592	0,518	0,480	0,494	0,444	0,818	0,440	0,785
76	0,711	0,339	0,806	0,957	0,960	0,614	0,955	0,561
77	0,612	0,714	0,745	0,819	0,824	0,632	0,818	0,624
78	0,619	0,536	0,881	0,832	0,825	0,511	0,814	0,528
79	0,803	0,000	0,815	0,851	0,854	0,541	0,836	0,548
80	0,544	0,679	0,619	0,891	0,870	0,853	0,893	0,768
81	0,497	0,696	0,552	0,901	0,910	0,850	0,897	0,849
82	0,582	0,643	0,875	0,901	0,894	0,525	0,909	0,546
83	0,619	0,518	0,875	0,881	0,882	0,519	0,880	0,533
84	0,578	0,536	0,580	0,901	0,910	0,792	0,903	0,806
85	0,578	0,661	0,453	0,446	0,507	0,772	0,398	0,784
86	0,588	0,696	0,470	0,292	0,292	0,699	0,256	0,702
87	0,622	0,571	0,915	0,898	0,908	0,521	0,907	0,517
88	0,636	0,482	0,553	0,873	0,873	0,818	0,883	0,822
89	0,565	0,643	0,607	0,914	0,910	0,806	0,918	0,786
90	0,690	0,625	0,857	0,822	0,838	0,539	0,834	0,543
91	0,551	0,714	0,608	0,856	0,865	0,780	0,855	0,774

EK 1. (devam): Temiz polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

92	0,619	0,554	0,718	0,863	0,855	0,689	0,865	0,652
93	0,687	0,536	0,586	0,769	0,732	0,772	0,764	0,760
94	0,694	0,429	1,000	0,853	0,829	0,432	0,844	0,428
95	0,493	0,607	0,411	0,317	0,250	0,687	0,254	0,765
96	0,551	0,589	0,476	0,370	0,306	0,673	0,310	0,742
97	0,592	0,607	0,455	0,426	0,345	0,729	0,379	0,774
98	0,558	0,232	0,426	0,376	0,283	0,695	0,256	0,679
99	0,592	0,571	0,367	0,168	0,172	0,636	0,141	0,633
100	0,449	0,536	0,243	0,340	0,255	0,832	0,244	0,821
101	0,401	0,625	0,340	0,337	0,261	0,766	0,253	0,803
102	0,480	0,661	0,406	0,373	0,285	0,715	0,305	0,791
103	0,218	0,607	0,229	0,371	0,278	0,871	0,267	0,802
104	0,024	0,000	0,212	0,597	0,453	1,000	0,453	0,984
105	0,378	0,625	0,494	0,607	0,526	0,786	0,525	0,827
106	0,422	0,607	0,461	0,590	0,505	0,826	0,511	0,839
107	0,473	0,732	0,393	0,188	0,115	0,869	0,176	0,756
108	0,531	0,518	0,367	0,450	0,373	0,851	0,383	0,827
109	0,544	0,411	0,439	0,782	0,753	0,911	0,755	0,893
110	0,541	0,446	0,426	0,507	0,422	0,853	0,434	0,817
111	0,398	0,643	0,259	0,121	0,132	0,663	0,110	0,732
112	0,534	0,643	0,364	0,475	0,387	0,828	0,421	0,850
113	0,575	0,500	0,478	0,498	0,393	0,776	0,437	0,788
114	0,728	0,000	0,674	0,470	0,383	0,572	0,483	0,732
115	0,466	0,679	0,331	0,347	0,296	0,790	0,274	0,806
116	0,707	0,286	0,597	0,550	0,451	0,731	0,487	0,683
117	0,442	0,411	0,519	0,442	0,379	0,701	0,339	0,769
118	0,711	0,393	0,583	0,448	0,379	0,655	0,400	0,653
119	0,571	0,268	0,497	0,584	0,492	0,776	0,485	0,777
120	0,507	0,643	0,375	0,364	0,316	0,826	0,299	0,796
121	0,493	0,750	0,451	0,588	0,508	0,848	0,524	0,840
122	0,738	0,393	0,611	0,552	0,492	0,741	0,512	0,678
123	0,558	0,804	0,426	0,515	0,428	0,828	0,463	0,834
124	0,493	0,786	0,428	0,510	0,442	0,822	0,444	0,827
125	0,534	0,643	0,342	0,188	0,186	0,691	0,160	0,709
126	0,531	0,750	0,513	0,604	0,555	0,808	0,542	0,794
127	0,541	0,625	0,525	0,653	0,613	0,832	0,598	0,806
128	0,534	0,821	0,436	0,568	0,509	0,857	0,509	0,850
129	0,541	0,696	0,445	0,540	0,486	0,838	0,486	0,828
130	0,565	0,768	0,442	0,564	0,515	0,848	0,514	0,841
131	0,551	0,732	0,503	0,644	0,594	0,830	0,591	0,816
132	0,643	0,536	0,585	0,663	0,615	0,766	0,620	0,746
133	0,639	0,482	0,489	0,564	0,474	0,792	0,526	0,802
134	0,769	0,232	0,861	0,697	0,644	0,505	0,610	0,441
135	0,697	0,536	0,641	0,458	0,394	0,594	0,406	0,599
136	0,850	0,214	0,998	0,839	0,839	0,422	0,851	0,421
137	1,000	0,000	0,824	0,554	0,483	0,442	0,661	0,661

EK 2. Kirli polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

	KİRLİ POLİKRİSTAL PANELİN GERÇEK ÖLÇÜM VERİLERİ						TAHMİN VERİLERİ	
	H.Sıcaklığı	Nem	P.Sıcaklığı	Işınım	Akım	Gerilim	Akım	Gerilim
1	0,408	0,679	0,239	0,213	0,144	0,652	0,179	0,691
2	0,401	0,661	0,228	0,252	0,165	0,698	0,200	0,730
3	0,357	0,750	0,163	0,282	0,190	0,759	0,207	0,769
4	0,310	0,518	0,138	0,262	0,144	0,732	0,181	0,770
5	0,340	0,464	0,157	0,257	0,152	0,712	0,181	0,755
6	0,476	0,571	0,279	0,236	0,153	0,646	0,201	0,694
7	0,517	0,000	0,364	0,564	0,402	0,780	0,388	0,781
8	0,303	0,357	0,157	0,366	0,259	0,813	0,261	0,795
9	0,381	0,375	0,341	0,540	0,394	0,797	0,432	0,791
10	0,286	0,696	0,036	0,000	0,000	0,000	0,037	0,227
11	0,371	0,732	0,307	0,450	0,331	0,794	0,339	0,802
12	0,354	0,536	0,012	0,091	0,075	0,619	0,075	0,525
13	0,177	0,893	0,105	0,036	0,037	0,429	0,058	0,388
14	0,224	0,714	0,146	0,342	0,227	0,786	0,228	0,817
15	0,286	0,661	0,143	0,277	0,197	0,773	0,191	0,785
16	0,252	0,732	0,091	0,144	0,114	0,694	0,106	0,657
17	0,279	0,768	0,119	0,059	0,079	0,541	0,071	0,440
18	0,207	0,607	0,057	0,235	0,174	0,803	0,147	0,780
19	0,395	0,661	0,333	0,238	0,214	0,714	0,198	0,688
20	0,473	0,732	0,333	0,564	0,470	0,816	0,483	0,823
21	0,388	0,768	0,262	0,119	0,124	0,590	0,132	0,560
22	0,510	0,554	0,431	0,567	0,482	0,771	0,487	0,777
23	0,435	0,625	0,353	0,574	0,495	0,836	0,495	0,819
24	0,469	0,625	0,378	0,535	0,422	0,785	0,448	0,796
25	0,439	0,714	0,464	0,543	0,434	0,749	0,437	0,752
26	0,418	0,625	0,464	0,574	0,470	0,740	0,469	0,755
27	0,527	0,446	0,522	0,613	0,542	0,694	0,512	0,727
28	0,432	0,625	0,484	0,557	0,483	0,734	0,448	0,737
29	0,517	0,696	0,729	0,741	0,712	0,602	0,691	0,613
30	0,463	0,750	0,564	0,609	0,516	0,677	0,516	0,709
31	0,449	0,661	0,384	0,193	0,166	0,758	0,190	0,644
32	0,463	0,946	0,422	0,525	0,456	0,765	0,426	0,759
33	0,418	0,964	0,417	0,663	0,586	0,812	0,582	0,795
34	0,456	0,875	0,546	0,614	0,532	0,737	0,528	0,724
35	0,486	0,714	0,547	0,611	0,526	0,694	0,524	0,721
36	0,476	1,000	0,397	0,694	0,628	0,794	0,638	0,795
37	0,469	0,929	0,467	0,616	0,541	0,770	0,533	0,761
38	0,510	0,714	0,577	0,631	0,562	0,701	0,554	0,707
39	0,483	0,857	0,594	0,679	0,601	0,701	0,619	0,707
40	0,480	0,804	0,467	0,688	0,609	0,797	0,635	0,788
41	0,507	0,839	0,456	0,154	0,167	0,587	0,196	0,580
42	0,500	0,696	0,333	0,138	0,139	0,592	0,160	0,571
43	0,500	0,768	0,557	0,719	0,669	0,749	0,676	0,743
44	0,541	0,857	0,619	0,659	0,603	0,685	0,612	0,682
45	0,561	0,643	0,575	0,658	0,587	0,704	0,601	0,716
46	0,537	0,875	0,656	0,657	0,581	0,646	0,613	0,657

EK 2. (devam): Kirli polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

47	0,626	0,554	0,536	0,700	0,662	0,749	0,677	0,758
48	0,592	0,536	0,557	0,700	0,668	0,729	0,662	0,743
49	0,619	0,464	0,580	0,718	0,671	0,731	0,686	0,734
50	0,670	0,000	0,557	0,767	0,668	0,728	0,731	0,729
51	0,592	0,286	0,502	0,733	0,658	0,776	0,682	0,780
52	0,626	0,500	0,491	0,658	0,587	0,759	0,620	0,774
53	0,558	0,000	0,459	0,805	0,675	0,836	0,737	0,805
54	0,571	0,000	0,608	0,782	0,678	0,694	0,746	0,754
55	0,531	0,429	0,358	0,703	0,643	0,848	0,670	0,846
56	0,456	0,643	0,488	0,619	0,580	0,765	0,532	0,758
57	0,558	0,464	0,560	0,703	0,633	0,722	0,643	0,738
58	0,293	0,786	0,386	0,710	0,636	0,843	0,638	0,822
59	0,041	0,000	0,143	0,373	0,343	0,851	0,319	0,853
60	0,000	0,161	0,000	0,060	0,085	0,647	0,114	0,660
61	0,259	0,571	0,454	0,772	0,726	0,809	0,717	0,793
62	0,337	0,661	0,433	0,921	0,893	1,000	0,880	0,815
63	0,405	0,732	0,622	0,848	0,819	0,746	0,809	0,716
64	0,422	0,589	0,502	0,931	0,862	0,821	0,886	0,796
65	0,510	0,536	0,502	0,634	0,585	0,776	0,556	0,752
66	0,476	0,607	0,670	0,869	0,826	0,688	0,835	0,695
67	0,551	0,500	0,372	0,535	0,529	0,831	0,466	0,798
68	0,646	0,357	0,560	0,866	0,860	0,794	0,858	0,776
69	0,612	0,179	0,594	0,891	0,893	0,761	0,852	0,757
70	0,697	0,000	0,588	0,950	0,956	0,776	0,872	0,720
71	0,578	0,268	0,522	0,889	0,874	0,795	0,848	0,792
72	0,663	0,339	0,594	0,901	0,894	0,749	0,884	0,758
73	0,561	0,625	0,736	1,000	1,000	0,629	0,943	0,681
74	0,585	0,339	0,811	0,901	0,861	0,584	0,875	0,631
75	0,592	0,518	0,479	0,494	0,438	0,770	0,407	0,723
76	0,711	0,339	0,784	0,957	0,961	0,599	0,921	0,636
77	0,612	0,714	0,722	0,819	0,810	0,640	0,824	0,647
78	0,619	0,536	0,860	0,832	0,813	0,540	0,826	0,536
79	0,803	0,000	0,812	0,851	0,836	0,568	0,838	0,565
80	0,544	0,679	0,616	0,891	0,849	0,695	0,878	0,745
81	0,497	0,696	0,550	0,901	0,903	0,794	0,881	0,782
82	0,582	0,643	0,860	0,901	0,892	0,552	0,888	0,545
83	0,619	0,518	0,860	0,881	0,878	0,547	0,873	0,553
84	0,578	0,536	0,566	0,901	0,906	0,798	0,887	0,780
85	0,578	0,661	0,453	0,446	0,495	0,726	0,371	0,721
86	0,588	0,696	0,462	0,292	0,293	0,674	0,268	0,662
87	0,622	0,571	0,922	0,898	0,909	0,541	0,888	0,498
88	0,636	0,482	0,555	0,873	0,872	0,776	0,875	0,786
89	0,565	0,643	0,622	0,914	0,915	0,771	0,898	0,747
90	0,690	0,625	0,865	0,822	0,836	0,552	0,849	0,539
91	0,551	0,714	0,608	0,856	0,858	0,749	0,850	0,743
92	0,619	0,554	0,722	0,863	0,843	0,671	0,865	0,666
93	0,687	0,536	0,594	0,769	0,718	0,731	0,788	0,741
94	0,694	0,429	1,000	0,853	0,820	0,481	0,841	0,446

EK 2. (devam): Kirli polikristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

95	0,493	0,607	0,383	0,317	0,245	0,653	0,259	0,705
96	0,551	0,589	0,447	0,370	0,298	0,659	0,303	0,698
97	0,592	0,607	0,439	0,426	0,337	0,701	0,354	0,720
98	0,558	0,232	0,414	0,376	0,267	0,662	0,235	0,671
99	0,592	0,571	0,355	0,168	0,160	0,581	0,182	0,603
100	0,449	0,536	0,231	0,340	0,250	0,758	0,269	0,781
101	0,401	0,625	0,313	0,337	0,256	0,716	0,255	0,747
102	0,480	0,661	0,384	0,373	0,279	0,677	0,297	0,731
103	0,218	0,607	0,184	0,371	0,274	0,795	0,246	0,802
104	0,024	0,000	0,211	0,597	0,449	0,904	0,466	0,906
105	0,378	0,625	0,451	0,607	0,520	0,776	0,505	0,768
106	0,422	0,607	0,428	0,590	0,499	0,792	0,498	0,782
107	0,473	0,732	0,389	0,188	0,121	0,821	0,196	0,632
108	0,531	0,518	0,363	0,450	0,377	0,774	0,371	0,770
109	0,544	0,411	0,467	0,782	0,755	0,822	0,747	0,811
110	0,541	0,446	0,406	0,507	0,422	0,783	0,418	0,765
111	0,398	0,643	0,264	0,121	0,132	0,577	0,131	0,594
112	0,534	0,643	0,360	0,475	0,376	0,758	0,395	0,781
113	0,575	0,500	0,465	0,498	0,394	0,725	0,408	0,731
114	0,728	0,000	0,651	0,470	0,374	0,572	0,358	0,574
115	0,466	0,679	0,336	0,347	0,309	0,746	0,276	0,741
116	0,707	0,286	0,600	0,550	0,444	0,688	0,452	0,665
117	0,442	0,411	0,493	0,442	0,368	0,680	0,301	0,651
118	0,711	0,393	0,557	0,448	0,368	0,640	0,347	0,670
119	0,571	0,268	0,474	0,584	0,473	0,753	0,459	0,744
120	0,507	0,643	0,369	0,364	0,292	0,740	0,295	0,732
121	0,493	0,750	0,448	0,588	0,503	0,788	0,505	0,774
122	0,738	0,393	0,606	0,552	0,488	0,712	0,479	0,674
123	0,558	0,804	0,419	0,515	0,432	0,771	0,434	0,753
124	0,493	0,786	0,420	0,510	0,437	0,767	0,416	0,762
125	0,534	0,643	0,338	0,188	0,187	0,640	0,190	0,626
126	0,531	0,750	0,518	0,604	0,560	0,761	0,531	0,737
127	0,541	0,625	0,509	0,653	0,611	0,783	0,597	0,759
128	0,534	0,821	0,426	0,568	0,503	0,798	0,489	0,769
129	0,541	0,696	0,443	0,540	0,484	0,782	0,459	0,760
130	0,565	0,768	0,442	0,564	0,509	0,786	0,492	0,761
131	0,551	0,732	0,491	0,644	0,581	0,779	0,589	0,763
132	0,643	0,536	0,580	0,663	0,608	0,732	0,623	0,718
133	0,639	0,482	0,479	0,564	0,467	0,750	0,494	0,749
134	0,769	0,232	0,857	0,697	0,634	0,540	0,657	0,533
135	0,697	0,536	0,636	0,458	0,374	0,587	0,378	0,642
136	0,850	0,214	0,995	0,839	0,827	0,469	0,835	0,452
137	1,000	0,000	0,823	0,554	0,471	0,483	0,469	0,508

EK 3. Temiz monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

	TEMİZ MONOKRİSTAL PANELİN GERÇEK ÖLÇÜM VERİLERİ						TAHMİN VERİLERİ	
	H.Sıcaklığı	Nem	P.Sıcaklığı	Işınım	Akım	Gerilim	Akım	Gerilim
1	0,408	0,679	0,237	0,213	0,149	0,705	0,188	0,748
2	0,401	0,661	0,213	0,252	0,172	0,781	0,213	0,740
3	0,357	0,750	0,153	0,282	0,194	0,605	0,233	0,660
4	0,310	0,518	0,135	0,262	0,152	0,866	0,189	0,901
5	0,340	0,464	0,155	0,257	0,165	0,572	0,191	0,924
6	0,476	0,571	0,280	0,236	0,166	0,703	0,205	0,795
7	0,517	0,000	0,368	0,564	0,410	0,804	0,436	0,820
8	0,303	0,357	0,161	0,366	0,272	0,935	0,275	0,953
9	0,381	0,375	0,351	0,540	0,408	0,839	0,448	0,833
10	0,286	0,696	0,029	0,000	0,000	0,000	0,023	0,058
11	0,371	0,732	0,321	0,450	0,364	0,829	0,334	0,674
12	0,354	0,536	0,015	0,091	0,076	0,718	0,080	0,692
13	0,177	0,893	0,100	0,036	0,038	0,463	0,070	0,539
14	0,224	0,714	0,141	0,342	0,230	0,542	0,228	0,665
15	0,286	0,661	0,157	0,277	0,204	0,887	0,198	0,756
16	0,252	0,732	0,093	0,144	0,125	0,819	0,125	0,787
17	0,279	0,768	0,132	0,059	0,078	0,582	0,071	0,538
18	0,207	0,607	0,040	0,235	0,181	0,955	0,160	0,880
19	0,395	0,661	0,337	0,238	0,223	0,751	0,195	0,742
20	0,473	0,732	0,336	0,564	0,468	0,846	0,478	0,833
21	0,388	0,768	0,255	0,119	0,127	0,630	0,116	0,640
22	0,510	0,554	0,419	0,567	0,485	0,796	0,490	0,814
23	0,435	0,625	0,354	0,574	0,496	0,884	0,484	0,844
24	0,469	0,625	0,351	0,535	0,420	0,824	0,448	0,825
25	0,439	0,714	0,441	0,543	0,436	0,844	0,433	0,727
26	0,418	0,625	0,439	0,574	0,475	0,788	0,469	0,770
27	0,527	0,446	0,497	0,613	0,525	0,710	0,532	0,739
28	0,432	0,625	0,480	0,557	0,489	0,746	0,446	0,713
29	0,517	0,696	0,766	0,741	0,721	0,438	0,700	0,385
30	0,463	0,750	0,574	0,609	0,513	0,617	0,507	0,630
31	0,449	0,661	0,383	0,193	0,167	0,836	0,177	0,758
32	0,463	0,946	0,426	0,525	0,454	0,776	0,446	0,758
33	0,418	0,964	0,412	0,663	0,581	0,844	0,583	0,782
34	0,456	0,875	0,529	0,614	0,519	0,698	0,526	0,696
35	0,486	0,714	0,546	0,611	0,526	0,637	0,519	0,679
36	0,476	1,000	0,384	0,694	0,626	0,814	0,654	0,840
37	0,469	0,929	0,460	0,616	0,552	0,768	0,542	0,768
38	0,510	0,714	0,559	0,631	0,553	0,678	0,551	0,676
39	0,483	0,857	0,597	0,679	0,604	0,610	0,620	0,650
40	0,480	0,804	0,473	0,688	0,617	0,811	0,636	0,806
41	0,507	0,839	0,457	0,154	0,162	0,557	0,172	0,551
42	0,500	0,696	0,328	0,138	0,144	0,610	0,120	0,543
43	0,500	0,768	0,547	0,719	0,681	0,736	0,681	0,747

EK 3. (devam): Temiz monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

44	0,541	0,857	0,626	0,659	0,612	0,602	0,610	0,609
45	0,561	0,643	0,579	0,658	0,601	0,652	0,599	0,664
46	0,537	0,875	0,675	0,657	0,596	0,524	0,606	0,534
47	0,626	0,554	0,529	0,700	0,664	0,695	0,674	0,761
48	0,592	0,536	0,549	0,700	0,673	0,668	0,663	0,735
49	0,619	0,464	0,587	0,718	0,679	0,668	0,684	0,693
50	0,670	0,000	0,578	0,767	0,685	0,662	0,703	0,683
51	0,592	0,286	0,497	0,733	0,683	0,753	0,672	0,733
52	0,626	0,500	0,495	0,658	0,596	0,705	0,616	0,784
53	0,558	0,000	0,445	0,805	0,685	0,869	0,735	0,877
54	0,571	0,000	0,600	0,782	0,692	0,642	0,723	0,793
55	0,531	0,429	0,371	0,703	0,641	0,869	0,665	0,905
56	0,456	0,643	0,467	0,619	0,578	0,751	0,531	0,786
57	0,558	0,464	0,564	0,703	0,633	0,642	0,651	0,693
58	0,293	0,786	0,389	0,710	0,636	0,859	0,606	0,825
59	0,041	0,000	0,167	0,373	0,317	0,970	0,283	0,984
60	0,000	0,161	0,000	0,060	0,086	0,783	0,140	0,793
61	0,259	0,571	0,441	0,772	0,726	0,814	0,698	0,822
62	0,337	0,661	0,433	0,921	0,891	0,922	0,882	0,914
63	0,405	0,732	0,625	0,848	0,816	0,693	0,825	0,695
64	0,422	0,589	0,497	0,931	0,876	0,814	0,896	0,867
65	0,510	0,536	0,502	0,634	0,608	0,771	0,559	0,760
66	0,476	0,607	0,657	0,869	0,842	0,615	0,851	0,616
67	0,551	0,500	0,371	0,535	0,542	0,859	0,472	0,846
68	0,646	0,357	0,567	0,866	0,871	0,778	0,846	0,731
69	0,612	0,179	0,594	0,891	0,900	0,723	0,848	0,705
70	0,697	0,000	0,581	0,950	0,965	0,675	0,884	0,703
71	0,578	0,268	0,502	0,889	0,883	0,768	0,845	0,782
72	0,663	0,339	0,597	0,901	0,907	0,728	0,876	0,704
73	0,561	0,625	0,723	1,000	1,000	0,617	0,946	0,613
74	0,585	0,339	0,831	0,901	0,866	0,416	0,879	0,406
75	0,592	0,518	0,467	0,494	0,453	0,793	0,417	0,705
76	0,711	0,339	0,789	0,957	0,967	0,484	0,924	0,512
77	0,612	0,714	0,710	0,819	0,815	0,582	0,831	0,532
78	0,619	0,536	0,845	0,832	0,821	0,370	0,838	0,389
79	0,803	0,000	0,804	0,851	0,846	0,446	0,832	0,433
80	0,544	0,679	0,599	0,891	0,821	0,791	0,885	0,738
81	0,497	0,696	0,540	0,901	0,898	0,804	0,889	0,828
82	0,582	0,643	0,854	0,901	0,895	0,406	0,900	0,381
83	0,619	0,518	0,847	0,881	0,878	0,403	0,882	0,403
84	0,578	0,536	0,536	0,901	0,907	0,821	0,886	0,799
85	0,578	0,661	0,432	0,446	0,494	0,736	0,386	0,724
86	0,588	0,696	0,426	0,292	0,300	0,698	0,292	0,685
87	0,622	0,571	0,898	0,898	0,905	0,393	0,900	0,356
88	0,636	0,482	0,536	0,873	0,871	0,793	0,866	0,785

EK 3. (devam): Temiz monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

89	0,565	0,643	0,600	0,914	0,914	0,773	0,902	0,738
90	0,690	0,625	0,853	0,822	0,839	0,393	0,849	0,402
91	0,551	0,714	0,593	0,856	0,866	0,751	0,859	0,734
92	0,619	0,554	0,708	0,863	0,854	0,597	0,866	0,580
93	0,687	0,536	0,588	0,769	0,728	0,693	0,774	0,711
94	0,694	0,429	0,997	0,853	0,830	0,270	0,867	0,260
95	0,493	0,607	0,398	0,317	0,222	0,630	0,266	0,685
96	0,551	0,589	0,422	0,370	0,295	0,615	0,316	0,678
97	0,592	0,607	0,439	0,426	0,340	0,670	0,367	0,697
98	0,558	0,232	0,419	0,376	0,267	0,640	0,280	0,841
99	0,592	0,571	0,365	0,168	0,167	0,572	0,135	0,557
100	0,449	0,536	0,243	0,340	0,244	0,814	0,280	0,804
101	0,401	0,625	0,312	0,337	0,250	0,728	0,260	0,702
102	0,480	0,661	0,392	0,373	0,277	0,652	0,307	0,674
103	0,218	0,607	0,191	0,371	0,272	0,861	0,246	0,788
104	0,024	0,000	0,217	0,597	0,452	1,000	0,462	0,999
105	0,378	0,625	0,454	0,607	0,522	0,756	0,498	0,771
106	0,422	0,607	0,436	0,590	0,504	0,793	0,491	0,792
107	0,473	0,732	0,384	0,188	0,128	0,821	0,191	0,698
108	0,531	0,518	0,359	0,450	0,377	0,796	0,383	0,794
109	0,544	0,411	0,470	0,782	0,744	0,809	0,749	0,820
110	0,541	0,446	0,391	0,507	0,427	0,804	0,436	0,815
111	0,398	0,643	0,263	0,121	0,133	0,592	0,111	0,751
112	0,534	0,643	0,366	0,475	0,383	0,773	0,405	0,786
113	0,575	0,500	0,459	0,498	0,397	0,713	0,418	0,720
114	0,728	0,000	0,637	0,470	0,384	0,479	0,339	0,486
115	0,466	0,679	0,343	0,347	0,320	0,705	0,291	0,685
116	0,707	0,286	0,581	0,550	0,451	0,630	0,468	0,658
117	0,442	0,411	0,503	0,442	0,378	0,647	0,321	0,641
118	0,711	0,393	0,547	0,448	0,379	0,597	0,374	0,595
119	0,571	0,268	0,467	0,584	0,502	0,768	0,492	0,719
120	0,507	0,643	0,377	0,364	0,314	0,773	0,310	0,697
121	0,493	0,750	0,450	0,588	0,507	0,798	0,504	0,775
122	0,738	0,393	0,606	0,552	0,491	0,662	0,485	0,634
123	0,558	0,804	0,416	0,515	0,427	0,776	0,457	0,794
124	0,493	0,786	0,418	0,510	0,436	0,781	0,425	0,750
125	0,534	0,643	0,333	0,188	0,188	0,660	0,176	0,673
126	0,531	0,750	0,520	0,604	0,558	0,738	0,529	0,720
127	0,541	0,625	0,521	0,653	0,610	0,781	0,593	0,750
128	0,534	0,821	0,441	0,568	0,504	0,788	0,502	0,790
129	0,541	0,696	0,448	0,540	0,482	0,776	0,462	0,760
130	0,565	0,768	0,450	0,564	0,520	0,788	0,503	0,785
131	0,551	0,732	0,498	0,644	0,596	0,763	0,590	0,771
132	0,643	0,536	0,582	0,663	0,618	0,688	0,621	0,673
133	0,639	0,482	0,482	0,564	0,471	0,743	0,500	0,743
134	0,769	0,232	0,843	0,697	0,646	0,383	0,660	0,351
135	0,697	0,536	0,619	0,458	0,368	0,504	0,383	0,481
136	0,850	0,214	1,000	0,839	0,842	0,224	0,857	0,209
137	1,000	0,000	0,801	0,554	0,485	0,305	0,493	0,322

EK 4. Kirli monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

	KİRLİ MONOKRİSTAL PANELİN GERÇEK ÖLÇÜM VERİLERİ						TAHMİN VERİLERİ	
	H.Sıcaklığı	Nem	P.Sıcaklığı	Işınım	Akım	Gerilim	Akım	Gerilim
1	0,408	0,679	0,242	0,213	0,148	0,645	0,170	0,658
2	0,401	0,661	0,237	0,252	0,170	0,724	0,185	0,710
3	0,357	0,750	0,177	0,282	0,194	0,814	0,204	0,818
4	0,310	0,518	0,136	0,262	0,150	0,823	0,181	0,843
5	0,340	0,464	0,180	0,257	0,156	0,767	0,174	0,797
6	0,476	0,571	0,287	0,236	0,158	0,628	0,186	0,620
7	0,517	0,000	0,361	0,564	0,410	0,733	0,401	0,719
8	0,303	0,357	0,169	0,366	0,266	0,872	0,248	0,851
9	0,381	0,375	0,354	0,540	0,400	0,767	0,392	0,740
10	0,286	0,696	0,034	0,000	0,000	0,000	0,020	0,048
11	0,371	0,732	0,325	0,450	0,345	0,788	0,364	0,795
12	0,354	0,536	0,020	0,091	0,076	0,767	0,095	0,827
13	0,177	0,893	0,103	0,036	0,038	0,477	0,058	0,696
14	0,224	0,714	0,153	0,342	0,225	0,797	0,237	0,829
15	0,286	0,661	0,173	0,277	0,202	0,843	0,189	0,817
16	0,252	0,732	0,103	0,144	0,121	0,782	0,129	0,806
17	0,279	0,768	0,128	0,059	0,075	0,593	0,079	0,523
18	0,207	0,607	0,062	0,235	0,175	0,922	0,170	0,907
19	0,395	0,661	0,337	0,238	0,220	0,680	0,193	0,693
20	0,473	0,732	0,337	0,564	0,469	0,805	0,502	0,818
21	0,388	0,768	0,267	0,119	0,123	0,576	0,099	0,627
22	0,510	0,554	0,435	0,567	0,482	0,718	0,490	0,736
23	0,435	0,625	0,356	0,574	0,499	0,837	0,503	0,808
24	0,469	0,625	0,357	0,535	0,426	0,770	0,462	0,806
25	0,439	0,714	0,470	0,543	0,435	0,709	0,452	0,680
26	0,418	0,625	0,473	0,574	0,471	0,674	0,481	0,694
27	0,527	0,446	0,521	0,613	0,524	0,590	0,531	0,645
28	0,432	0,625	0,510	0,557	0,485	0,628	0,459	0,634
29	0,517	0,696	0,755	0,741	0,713	0,369	0,691	0,357
30	0,463	0,750	0,581	0,609	0,515	0,541	0,525	0,550
31	0,449	0,661	0,391	0,193	0,170	0,840	0,140	0,779
32	0,463	0,946	0,435	0,525	0,456	0,727	0,452	0,704
33	0,418	0,964	0,416	0,663	0,592	0,799	0,596	0,766
34	0,456	0,875	0,535	0,614	0,525	0,666	0,539	0,614
35	0,486	0,714	0,558	0,611	0,534	0,570	0,532	0,599
36	0,476	1,000	0,405	0,694	0,629	0,759	0,630	0,799
37	0,469	0,929	0,471	0,616	0,559	0,706	0,550	0,702
38	0,510	0,714	0,572	0,631	0,555	0,590	0,559	0,596
39	0,483	0,857	0,598	0,679	0,601	0,541	0,619	0,564
40	0,480	0,804	0,468	0,688	0,612	0,765	0,631	0,746
41	0,507	0,839	0,444	0,154	0,162	0,474	0,189	0,483
42	0,500	0,696	0,336	0,138	0,140	0,549	0,128	0,600
43	0,500	0,768	0,552	0,719	0,667	0,672	0,670	0,669

EK 4. (devam): Kirli monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

44	0,541	0,857	0,622	0,659	0,603	0,541	0,602	0,527
45	0,561	0,643	0,575	0,658	0,588	0,590	0,598	0,629
46	0,537	0,875	0,659	0,657	0,575	0,456	0,596	0,461
47	0,626	0,554	0,516	0,700	0,662	0,666	0,656	0,697
48	0,592	0,536	0,553	0,700	0,669	0,651	0,651	0,647
49	0,619	0,464	0,581	0,718	0,673	0,640	0,668	0,617
50	0,670	0,000	0,552	0,767	0,672	0,622	0,667	0,627
51	0,592	0,286	0,488	0,733	0,661	0,727	0,671	0,706
52	0,626	0,500	0,496	0,658	0,580	0,660	0,604	0,707
53	0,558	0,000	0,427	0,805	0,675	0,898	0,696	0,865
54	0,571	0,000	0,609	0,782	0,682	0,590	0,703	0,588
55	0,531	0,429	0,354	0,703	0,644	0,855	0,646	0,860
56	0,456	0,643	0,479	0,619	0,578	0,718	0,542	0,712
57	0,558	0,464	0,562	0,703	0,634	0,593	0,647	0,627
58	0,293	0,786	0,373	0,710	0,638	0,866	0,634	0,862
59	0,041	0,000	0,131	0,373	0,313	0,942	0,207	1,000
60	0,000	0,161	0,000	0,060	0,085	0,814	0,094	0,831
61	0,259	0,571	0,456	0,772	0,727	0,791	0,713	0,755
62	0,337	0,661	0,451	0,921	0,892	0,767	0,892	1,000
63	0,405	0,732	0,599	0,848	0,820	0,680	0,818	0,646
64	0,422	0,589	0,482	0,931	0,876	0,797	0,909	1,000
65	0,510	0,536	0,485	0,634	0,611	0,733	0,563	0,728
66	0,476	0,607	0,643	0,869	0,828	0,555	0,850	0,603
67	0,551	0,500	0,367	0,535	0,545	0,799	0,469	0,786
68	0,646	0,357	0,561	0,866	0,866	0,718	0,858	0,727
69	0,612	0,179	0,598	0,891	0,895	0,651	0,885	0,650
70	0,697	0,000	0,590	0,950	0,959	0,616	0,964	0,625
71	0,578	0,268	0,512	0,889	0,881	0,680	0,869	0,710
72	0,663	0,339	0,621	0,901	0,900	0,622	0,898	0,660
73	0,561	0,625	0,744	1,000	1,000	0,506	0,963	0,482
74	0,585	0,339	0,843	0,901	0,861	0,305	0,888	0,301
75	0,592	0,518	0,476	0,494	0,454	0,738	0,411	0,662
76	0,711	0,339	0,810	0,957	0,961	0,381	0,948	0,380
77	0,612	0,714	0,724	0,819	0,803	0,451	0,803	0,484
78	0,619	0,536	0,883	0,832	0,807	0,241	0,826	0,257
79	0,803	0,000	0,821	0,851	0,834	0,320	0,830	0,324
80	0,544	0,679	0,613	0,891	0,817	0,750	0,875	0,674
81	0,497	0,696	0,549	0,901	0,896	0,741	0,881	0,747
82	0,582	0,643	0,875	0,901	0,893	0,270	0,891	0,263
83	0,619	0,518	0,861	0,881	0,876	0,270	0,878	0,338
84	0,578	0,536	0,545	0,901	0,902	0,782	0,886	0,734
85	0,578	0,661	0,439	0,446	0,497	0,663	0,374	0,672
86	0,588	0,696	0,441	0,292	0,301	0,605	0,255	0,578
87	0,622	0,571	0,920	0,898	0,903	0,262	0,895	0,253
88	0,636	0,482	0,549	0,873	0,871	0,718	0,855	0,723

EK 4. (devam): Kirli monokristal panelin normalize edilmiş ölçüm verileri ile YSA tahmin değerleri.

89	0,565	0,643	0,615	0,914	0,913	0,701	0,899	0,674
90	0,690	0,625	0,874	0,822	0,832	0,267	0,827	0,283
91	0,551	0,714	0,607	0,856	0,856	0,660	0,838	0,675
92	0,619	0,554	0,721	0,863	0,842	0,509	0,847	0,497
93	0,687	0,536	0,590	0,769	0,704	0,622	0,738	0,635
94	0,694	0,429	0,998	0,853	0,800	0,137	0,815	0,154
95	0,493	0,607	0,391	0,317	0,222	0,590	0,266	0,627
96	0,551	0,589	0,465	0,370	0,296	0,573	0,307	0,563
97	0,592	0,607	0,433	0,426	0,336	0,622	0,355	0,676
98	0,558	0,232	0,407	0,376	0,266	0,590	0,252	0,597
99	0,592	0,571	0,370	0,168	0,159	0,483	0,169	0,467
100	0,449	0,536	0,225	0,340	0,249	0,799	0,241	0,790
101	0,401	0,625	0,311	0,337	0,255	0,709	0,258	0,727
102	0,480	0,661	0,394	0,373	0,278	0,602	0,303	0,661
103	0,218	0,607	0,173	0,371	0,274	0,866	0,251	0,828
104	0,024	0,000	0,217	0,597	0,450	1,000	0,431	1,000
105	0,378	0,625	0,436	0,607	0,519	0,744	0,520	0,739
106	0,422	0,607	0,411	0,590	0,499	0,782	0,510	0,768
107	0,473	0,732	0,391	0,188	0,100	0,779	0,136	0,777
108	0,531	0,518	0,370	0,450	0,373	0,744	0,370	0,767
109	0,544	0,411	0,475	0,782	0,751	0,765	0,741	0,770
110	0,541	0,446	0,408	0,507	0,416	0,747	0,422	0,750
111	0,398	0,643	0,265	0,121	0,130	0,549	0,113	0,575
112	0,534	0,643	0,379	0,475	0,373	0,712	0,403	0,755
113	0,575	0,500	0,471	0,498	0,391	0,642	0,412	0,669
114	0,728	0,000	0,650	0,470	0,376	0,355	0,384	0,349
115	0,466	0,679	0,357	0,347	0,313	0,689	0,284	0,695
116	0,707	0,286	0,598	0,550	0,441	0,549	0,463	0,550
117	0,442	0,411	0,505	0,442	0,362	0,567	0,333	0,544
118	0,711	0,393	0,559	0,448	0,364	0,500	0,386	0,492
119	0,571	0,268	0,471	0,584	0,483	0,706	0,490	0,713
120	0,507	0,643	0,382	0,364	0,290	0,712	0,300	0,682
121	0,493	0,750	0,451	0,588	0,511	0,759	0,517	0,733
122	0,738	0,393	0,616	0,552	0,495	0,599	0,507	0,601
123	0,558	0,804	0,428	0,515	0,427	0,730	0,449	0,742
124	0,493	0,786	0,425	0,510	0,434	0,721	0,433	0,731
125	0,534	0,643	0,342	0,188	0,189	0,599	0,193	0,596
126	0,531	0,750	0,522	0,604	0,559	0,674	0,534	0,660
127	0,541	0,625	0,525	0,653	0,611	0,730	0,591	0,691
128	0,534	0,821	0,448	0,568	0,510	0,753	0,503	0,733
129	0,541	0,696	0,455	0,540	0,477	0,733	0,465	0,722
130	0,565	0,768	0,458	0,564	0,519	0,738	0,500	0,732
131	0,551	0,732	0,504	0,644	0,588	0,715	0,585	0,709
132	0,643	0,536	0,590	0,663	0,612	0,619	0,607	0,590
133	0,639	0,482	0,490	0,564	0,464	0,680	0,491	0,693
134	0,769	0,232	0,863	0,697	0,628	0,259	0,619	0,233
135	0,697	0,536	0,630	0,458	0,361	0,398	0,383	0,416
136	0,850	0,214	1,000	0,839	0,806	0,105	0,807	0,105
137	1,000	0,000	0,818	0,554	0,460	0,172	0,454	0,182

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Osman SONSUZ
Doğum Yeri	Konya
Doğum Tarihi	15.02.1992
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0 538 580 8971
E-Posta Adresi	osmansonsuz@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	12.06.2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler