



**GÖRÜNTÜ İŞLEME KULLANAN YENİDEN DÜZENLEŞİM YÖNTEMİ VE
OPTİMİZASYON TABANLI ANALİZİ**

Nursena BAYĞIN

**Yüksek Lisans Tezi
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE
AĞUSTOS-2017**

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÖRÜNTÜ İŞLEME KULLANAN YENİDEN DÜZENLEŞİM YÖNTEMİ VE
OPTİMİZASYON TABANLI ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nursena BAYĞIN

(131129108)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 10.08.2017
Tezin Savunulduğu Tarih: 25.08.2017**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE (F.Ü)

**Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Hayrettin CAN (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Mahmut SİNECEN (A.D.Ü)**

AĞUSTOS-2017

ÖNSÖZ

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında PV sistemlerde görüntü işleme tabanlı yeniden düzenleme yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen bu yaklaşım sayesinde bu sistemlerden elde edilen enerji verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen algoritmalar sayesinde paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmelerin meydana getirdiği negatif etkilerin üstesinden gelinmeye çalışılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir konuma sahip olan PV sistemler için önerilen bu yaklaşım ile kullanımı kolay, modüler ve uygun maliyetli bir çözüm sunulmuştur.

Bu tez çalışması süresince desteğini eksik etmeyen, değerli bilgileri ile sürekli olarak yol gösteren ve bana zaman harcayarak gelişimime katkı sağlayan sayın danışman hocam Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE'ye saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmam süresince desteğini eksik etmeyen değerli arkadaşım Kağan MURAT'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bana destek olan, maddi ve manevi sıkıntılara katlanan sevgili eşim Mehmet BAYĞIN ve değerli oğlum Yusuf Ali BAYĞIN'a çok teşekkür ederim.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması ve çalışma kapsamında gerçekleştirilen yöntemler, 112E214'nolu TUBİTAK 1001 araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Tezdeki bu çalışmaların gerçekleştirilmesi konusundaki maddi desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK) teşekkür ederim.

Nursena BAYĞIN
ELAZIĞ - 2017

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLolar LİSTESİ	XII
SİMGELER LİSTESİ	XIII
KISALTMALAR LİSTESİ	XIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	12
1.2. Tezin Yapısı	14
2. PV DİZİLERDE YENİDEN DÜZENLEŞİM	15
2.1. Seri-Paralel Bağlantı Yapısına Sahip Dizilerde Yeniden Düzenleşim	18
2.2. TCT Bağlantı Yapısına Sahip Dizilerde Yeniden Düzenleşim	20
2.3. S&P Bağlantı Yapısı için Anahtarlama Matrisi.....	23
2.4. TCT Bağlantı Yapısı için Anahtarlama Matrisi.....	25
3. GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE YENİDEN DÜZENLEŞİM YAKLAŞIMI.....	27
3.1. Görüntü İşleme ile Tam veya Kısmi Gölgeleme Tespiti	29
3.2. Genetik Algoritma ile Yeniden Düzenleşim Yaklaşımı	35
3.3. Kontrol ve Karar Modülü	43
4. DENEYSEL SONUÇLAR	47
4.1. Deneysel Düzenek	48
4.2. S&P Bağlantı Türü için Deneysel Sonuçlar	52

Sayfa No

4.2.1.	S&P Bağlantı Türü için Senaryo 1	53
4.2.2.	S&P Bağlantı Türü için Senaryo 2	57
4.2.3.	S&P Bağlantı Türü için Senaryo 3	60
4.2.4.	S&P Bağlantı Türü için Senaryo 4	63
4.2.5.	S&P Bağlantı Türü için Senaryo 5	67
4.3.	TCT Bağlantı Türü için Deneysel Sonuçlar	70
4.3.1.	TCT Bağlantı Türü için Senaryo 1	71
4.3.2.	TCT Bağlantı Türü için Senaryo 2	74
4.3.3.	TCT Bağlantı Türü için Senaryo 3	78
4.3.4.	TCT Bağlantı Türü için Senaryo 4	81
4.3.5.	TCT Bağlantı Türü için Senaryo 5	84
4.4.	Karşılaştırmalı Deneysel Sonuçlar	87
5.	SONUÇLAR	89
	KAYNAKLAR	92
	ÖZGEÇMİŞ	97

ÖZET

Gelişen teknoloji ile insanlığın enerjiye olan ihtiyacı giderek artmıştır. Bu ihtiyacı karşılamak için çeşitli enerji kaynakları arayışlarına girilmiştir. Enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi, elde edilmesinin kolay olması, maliyetinin düşük olması gibi nedenlerden dolayı son zamanlarda oldukça popüler hale gelmiştir. Bu enerjiden yararlanmak amacı ile güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yapılar olan fotovoltaik paneller (PV) üretilmiştir. Ancak PV dizilerden enerji elde edilirken çeşitli problemlerle karşı karşıya kalınmaktadır.

Tam veya kısmi gölgelenmeler PV dizisinde kullanılan maksimum güç takibi algoritmasının yanlış değerler üretmesine sebep olmaktadır. Bu da sistemin verimsiz çalışmasına neden olarak maksimum enerji elde edilmesini engellemektedir. Bu probleme çözüm olarak çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. PV dizilerden elde edilen enerjinin artırılmasına yönelik yapılan çalışmalardan biri yeniden düzenleme algoritmalarıdır. Bu algoritmalar ile gerçek zamanlı işlemler yapılarak en uygun panel bağlantılarının elde edilmesi sağlanır ve optimum düzen oluşturulur. Böylelikle oluşan negatif durumların etkilerinin minimuma indirilmesi amaçlanır.

Bu tez çalışmasında gölgelenme problemlerine çözüm aranarak oluşan zararların en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda görüntü işleme kullanılarak genetik algoritma tabanlı yeniden düzenleme yaklaşımı geliştirilmiştir. Yapılan çalışma görüntü işleme, genetik algoritma ve kontrol ve karar modülü olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Panellerden elde edilen gerçek zamanlı görüntüler alınarak görüntü işleme modülüne gönderilmektedir. Elde edilen işlenmiş görüntüler genetik algoritma modülüne alınarak optimum panel düzenleri oluşturulmaktadır. Son aşama olarak da kontrol ve karar modülüne gönderilmektedir. Bu modülde de elde edilen panel düzenlerinden en uygunu seçilerek optimum panel düzeni elde edilmektedir.

Bu tez kapsamında geliştirilen çalışmalar 112E214 numaralı TÜBİTAK 1001 araştırma projesi ile desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Görüntü işleme, Fotovoltaik diziler, Yeniden düzenleme, Maksimum güç noktası, Genetik algoritma,

SUMMARY

Reconfiguration Method And Optimization Based Analysis Using Image Processing

Energy requirement for human being has been increasing with the development of technology. A variety of energy sources has been started to investigate in order to supply this increasing demand. The energy sources have been divided two types of energy sources as renewable and non-renewable. Solar energy from renewable energy sources has become very popular lately due to the reasons such as being easy to get and low cost. In order to utilize of this energy, photovoltaic panels (PV), which are constructions that convert solar energy into electricity, have been produced. Thus, great amount of energy has been obtained. However, various problems are encountered when energy is generated from PV arrays.

Full or partial shadows cause the maximum power tracking algorithm used in PV array to produce incorrect values. Thus, the system is worked inefficiently and prevents obtaining maximum energy from the system. A lot of studies have been done in order to solve the problem. One of the studies for increasing the energy obtained from PV arrays is the reconfiguration algorithms. With these algorithms, real-time processing is performed to obtain the most suitable panel connections and the optimum panel layout is created. In this manner, it is intended to minimize the effects of negative states that occurred.

In this thesis study, it is aimed to minimize the damage of this problem by seeking a solution to the problems of shadowing. For this purpose, using image processing a genetic algorithm based reconfiguration approach has been developed. The study consists of three steps; image processing, genetic algorithm and control and decision module. The real time images obtained from the panels are taken and sent to the image processing module. The obtained images are processed into the genetic algorithm module to create optimum panel layouts. The final stage is sent to the control and decision module. Optimum panel layout is obtained by selecting one of the most suitable panel layout created in this module. The studies developed within the scope of this thesis were supported by the research project of TÜBİTAK 1001; the project number 112E214.

Key Words: Image processing, photovoltaic arrays, Reconfiguration, Maximum power point, Genetic algorithm.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Kurulu bir PV sistem örneği	2
Şekil 1.2 PV hücrelerden panel ve dizilerin elde edilmesi	2
Şekil 1.3 PV dizisi üzerinde oluşan gölgelenmeler	3
Şekil 1.4 MPPT'nin sistem üzerindeki etkisini gösteren grafik	4
Şekil 1.5 Yeniden düzenleştirmenin enerji verimine etkisi	4
Şekil 1.6 a) Series-Parallel bağlantı türü b) Total-Cross-Tied bağlantı türü	5
Şekil 1.7 Deneyisel MPPT sistemi [26]	6
Şekil 1.8 Ayırık MPPT'ye sahip bir PV sistemde grid bağlantısı[27]	7
Şekil 1.9 Sistemin deneyisel kurulumu [32]	9
Şekil 1.10 Literatürde önerilen bir yöntem [34]	10
Şekil 1.11 Örnek bir yeniden düzenleştirmeyi yaklaşımı [38]	11
Şekil 2.1 Geleneksel yeniden düzenleştirmeyi yaklaşımı	16
Şekil 2.2 Anahtarlama matrisinin iç yapısı	17
Şekil 2.3 S&P bağlantı düzeninin elde edilmesi (a) Bağlantısız PV paneller (b) Seri bağlanmış paneller (c) Seri dizilerin paralel bağlanması	18
Şekil 2.4 Örnek bir kısmi gölgelenme senaryosu (a) Yeniden düzenleştirmeden önce (b) Yeniden düzenleştirmeden sonra	19
Şekil 2.5 S&P bağlantı düzeni için (a) Yeniden düzenleştirmeden önce (b) Yeniden düzenleştirmeden sonra	20
Şekil 2.6 TCT bağlantı düzeninin elde edilmesi (a) Bağlantısız PV paneller (b) Paralel bağlanmış paneller (c) Paralel modüllerin seri bağlanması	21
Şekil 2.7 Örnek bir kısmi gölgelenme senaryosu (a) Yeniden düzenleştirmeden önce (b) Yeniden düzenleştirmeden sonra	22
Şekil 2.8 TCT bağlantı düzeni için (a) Yeniden düzenleştirmeden önce (b) Yeniden düzenleştirmeden sonra	22
Şekil 2.9 S&P bağlantı düzeninde anahtarlama matrisi	23
Şekil 2.10 S&P bağlantı türü için yeniden düzenleştirmeyi işleminde oluşabilecek kombinasyonlar	24
Şekil 2.11 S&P bağlantı türü için yeniden düzenleştirmeyi işlemi	24

Şekil 2.12 S&P bağlantı düzeninde anahtarlama matrisi kullanımı.....	25
Şekil 2.13 TCT bağlantı türü için yeniden düzenleşim işleminde oluşabilecek kombinasyonlar	26
Şekil 2.14 TCT bağlantı türü için yeniden düzenleşim işlemi	26
Şekil 3.1 Önerilen yeniden düzenleşim yaklaşımı	28
Şekil 3.2 Önerilen sistemin fiziksel işleyişi	29
Şekil 3.3 Önerilen yaklaşımda kullanılan görüntü işleme modülü	30
Şekil 3.4 Kısa devre akımları, grilik düzeyi ve ışıma değerleri arasındaki ilişki	32
Şekil 3.5 Örnek bir görüntü işleme senaryosu (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Erozyon (d) Dilasyon (e) Opening işlemi (f) Canny ile kenar çıkarımı	33
Şekil 3.6 Görüntü işleme tabanlı tam veya kısmi gölgelenme tespiti	34
Şekil 3.7 Genetik algoritmanın sözde kodu	35
Şekil 3.8 Genetik algoritmanın akış diyagramı	36
Şekil 3.9 S&P kodlama sistemi (a) Başlangıç durumu (b) Rastgele örnek popülasyon (c) Başlangıç Kromozomu (d) Rastgele oluşturulan kromozom	37
Şekil 3.10 TCT kodlama sistemi (a) Başlangıç durumu (b) Rastgele örnek popülasyon (c) Başlangıç Kromozomu (d) Rastgele oluşturulan kromozom	38
Şekil 3.11 Çaprazlama ve mutasyon işlemleri (a) Ebeveyn kromozomlar (b) Çocuk kromozomlar (c) Mutant kromozomlar	42
Şekil 3.12 Anahtarlama matrisi ve kontrol işlemleri	43
Şekil 3.13 Bitsel düzeyde adaptif panellerin sabit paneller ile bağlantısının ifade edilmesi ..	46
Şekil 4.1 Deneysel düzeneğin akış şeması	47
Şekil 4.2 Deneysel düzenekte kullanılan PV sistem	48
Şekil 4.3 Deneysel düzenekte kullanılan PV sistem bağlantı yapısı	49
Şekil 4.4 Deneysel düzenekte kullanılan PV sistem	51
Şekil 4.5 S&P bağlantı türü için senaryo 1 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü	53
Şekil 4.6 S&P bağlantı türü için senaryo 1 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni	54

Şekil 4.7 S&P bağlantı türü için senaryo 1 (a) Güç- Gerilim değişimi (b) Akım-Gerilim değişimi	55
Şekil 4.8 Senaryo 1 için gerçek zamanlı deneysel sonuç	56
Şekil 4.9 S&P bağlantı türü için senaryo 2 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü	57
Şekil 4.10 S&P bağlantı türü için senaryo 2 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni	58
Şekil 4.11 S&P bağlantı türü için senaryo 2 (a) Güç- Gerilim değişimi (b) Akım-Gerilim değişimi	59
Şekil 4.12 Senaryo 2 için gerçek zamanlı deneysel sonuç	59
Şekil 4.13 S&P bağlantı türü için senaryo 3 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü	60
Şekil 4.14 S&P bağlantı türü için senaryo 3 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni	61
Şekil 4.15 S&P bağlantı türü için senaryo 3 (a) Güç- Gerilim değişimi (b) Akım-Gerilim değişimi	62
Şekil 4.16 Senaryo 3 için gerçek zamanlı deneysel sonuç	63
Şekil 4.17 S&P bağlantı türü için senaryo 4 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü	64
Şekil 4.18 S&P bağlantı türü için senaryo 4 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni	65
Şekil 4.19 S&P bağlantı türü için senaryo 4 (a) Güç- Gerilim değişimi (b) Akım-Gerilim değişimi	65
Şekil 4.20 Senaryo 4 için gerçek zamanlı deneysel sonuç	66
Şekil 4.21 S&P bağlantı türü için senaryo 5 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü	67
Şekil 4.22 S&P bağlantı türü için senaryo 5 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni	68
Şekil 4.23 S&P bağlantı türü için senaryo 5 (a) Güç- Gerilim değişimi (b) Akım-Gerilim değişimi	69

Şekil 4.24 Senaryo 5 için gerçek zamanlı deneysel sonuç	69
Şekil 4.25 TCT bağlantı şeması için Simulink uygulaması	70
Şekil 4.26 TCT bağlantı türü için senaryo 1 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü	71
Şekil 4.27 TCT bağlantı türü için senaryo 1 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni	72
Şekil 4.28 TCT bağlantı türü için senaryo 1 (a) Güç- Gerilim değişimi (b) Akım-Gerilim değişimi	73
Şekil 4.29 Senaryo 1 için gerçek zamanlı deneysel sonuç	74
Şekil 4.30 TCT bağlantı türü için senaryo 2 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü	75
Şekil 4.31 TCT bağlantı türü için senaryo 2 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni	76
Şekil 4.32 TCT bağlantı türü için senaryo 2 (a) Güç- Gerilim değişimi (b) Akım-Gerilim değişimi	77
Şekil 4.33 Senaryo 2 için gerçek zamanlı deneysel sonuç	77
Şekil 4.34 TCT bağlantı türü için senaryo 3 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü	78
Şekil 4.35 TCT bağlantı türü için senaryo 3 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni	79
Şekil 4.36 TCT bağlantı türü için senaryo 3 (a) Güç- Gerilim değişimi (b) Akım-Gerilim değişimi	80
Şekil 4.37 Senaryo 3 için gerçek zamanlı deneysel sonuç	80
Şekil 4.38 TCT bağlantı türü için senaryo 4 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü	81
Şekil 4.39 TCT bağlantı türü için senaryo 4 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni	82
Şekil 4.40 TCT bağlantı türü için senaryo 4 (a) Güç- Gerilim değişimi (b) Akım-Gerilim değişimi	83

Şekil 4.41 Senaryo 4 için gerçek zamanlı deneysel sonuç	83
Şekil 4.42 TCT bağlantı türü için senaryo 5 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü	84
Şekil 4.43 TCT bağlantı türü için senaryo 5 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni	85
Şekil 4.44 TCT bağlantı türü için senaryo 5 (a) Güç- Gerilim değişimi (b) Akım-Gerilim değişimi	86
Şekil 4.45 Senaryo 5 için gerçek zamanlı deneysel sonuç	86



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1 S&P bağlantı türü için örnek bir senaryo	37
Tablo 3.2 TCT bağlantı türü için örnek senaryo	38
Tablo 4.1 Sistemde kullanılan PV paneller	50
Tablo 4.2 Sistemde kullanılan PV paneller	51
Tablo 4.3 S&P türü için senaryo 1 değişim miktarları	56
Tablo 4.4 S&P türü için senaryo 2 değişim miktarları	60
Tablo 4.5 S&P türü için senaryo 3 değişim miktarları	63
Tablo 4.6 S&P türü için senaryo 4 değişim miktarları	66
Tablo 4.7 S&P türü için senaryo 5 değişim miktarları	69
Tablo 4.8 TCT türü için senaryo 1 değişim miktarları	74
Tablo 4.9 TCT türü için senaryo 2 değişim miktarları	77
Tablo 4.10 TCT türü için senaryo 3 değişim miktarları	80
Tablo 4.11 TCT türü için senaryo 4 değişim miktarları	83
Tablo 4.12 TCT türü için senaryo 5 değişim miktarları	86
Tablo 4.13 S&P bağlantı türü için karşılaştırmalı sonuçlar	87
Tablo 4.14 TCT bağlantı türü için karşılaştırmalı sonuçlar	88

SİMGELER LİSTESİ

W	: Watt
W/m²	: Işıma
P	: Güç
V	: Gerilim
I	: Akım
S_i	: i. sabit panel
A_i	: i. adaptif panel
PU	: Popülasyon Uygunluğu
SOS	: S&P için Optimal Seçim
MO	: Modül Ortalaması
TOS	: TCT için Optimal Seçim
M_{rate}	: Mutasyon Oranı

KISALTMALAR LİSTESİ

MPPT	: Maximum Power Point Tracking
PV	: Photovoltaic
MPP	: Maximum Power Point
S&P	: Series-Parallel
TCT	: Total-Cross-Tied
RGB	: Red Green Blue
HSV	: Hue Saturation Value
GWO	: Gri Kurt Optimizasyon
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu

1. GİRİŞ

Bilim insanları, gelişen teknoloji ve buna bağlı artan enerji ihtiyacından dolayı çeşitli kaynak arayışlarına girmiştir [1, 2]. Enerji kaynakları yenilenebilir ve yenilenemeyen (tüketilebilir) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Petrol, doğalgaz, kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının maliyetlerinin yüksek olması, çevreye zarar vermesi ve tükenme tehlikesi ile karşı karşıya olması yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi arttırmaktadır [3-5]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının düşük maliyet ve az enerji kayıplarına sahip olması en önemli avantajları arasında olup bu kaynaklar üzerindeki çalışmaların artırılmasını sağlamaktadır [6]. Güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrojen, biokütle enerjisi gibi enerjiler yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir [7]. Bu tür kaynaklar kendilerini sürekli yenilemesinden dolayı çok önemli bir yere sahip olup insanoğlunun enerji kaynaklarına olan ihtiyacını en iyi şekilde karşılamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırmak için sistemlerin nasıl çalıştığının, sistemlerin yapısının ve öneminin insan hayatına katkısının bilinmesi gelecek kuşaklara yaşanabilir bir çevre bırakmak için oldukça önemlidir. Ancak bu kaynakların artıları olduğu kadar eksileri de bulunmaktadır. Düşük maliyete sahip olmalarına rağmen sistemlerin kurulum maliyetlerinin yüksek olması, çeşitli doğal sebeplerden dolayı maksimum verimin elde edilememesi gibi nedenler yenilenebilir kaynakların eksileri arasında sayılabilmektedir [8, 9]. Yapılan çalışmalar ile bu tür sorunlara çözüm bulunarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin artırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca geliştirilen çözümler ile dünya ekonomisine önemli katkılar sağlanarak yüzyıllardır süre gelen çevre kirliliklerinin önüne geçilmesi hedeflenmektedir [10].

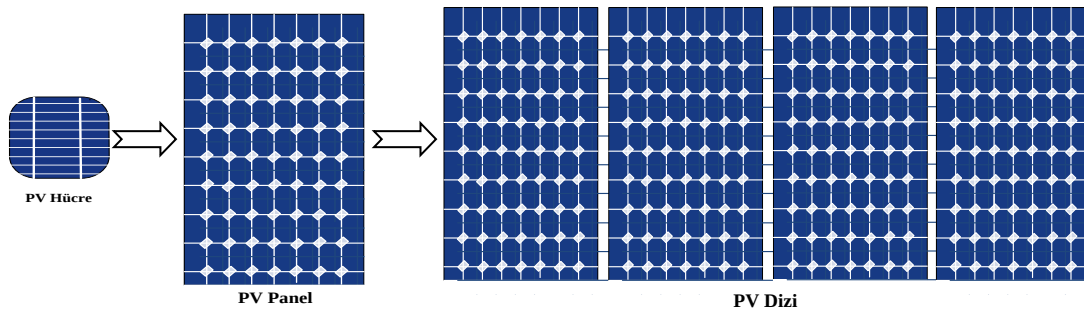
Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisini elde etmek için kullanılan fotovoltaik (PV) diziler günümüzde oldukça önemli bir yere sahiptir [11-13]. Düşük işletim maliyeti ve çevreye zarar vermemesi bu sistemlerin üzerindeki çalışmaların yoğunlaştırılmasını sağlamıştır [14]. Özellikle güneş enerjisi yönünden avantajlara sahip olan ülkemizde her geçen gün PV dizilerin önemi anlaşılmakta ve çok sayıda güneş santralleri kurulmaktadır. PV diziler sinyalizasyon, yangın gözetleme istasyonları gibi yerlerde kullanılıp enerji depolama özelliği ile elektrik kesintilerinin sık bir şekilde yaşandığı yerlerde de büyük kolaylık sağlamaktadır. Çeşitli ülkelerde büyük alanlara birden çok PV dizi yapıları kurularak güneş paneli tarlaları oluşturulup güçlü enerji

sistemleri elde edilmektedir [15]. Şekil 1.1’de 12 adet panelin bir araya getirilerek oluşturulduğu bir PV dizisi örneği görülmektedir.



Şekil 1.1. Kurulu bir PV dizi örneği

PV dizilerin yapı taşlarını hücreler oluşturmaktadır. Bu hücreler genel olarak $25\text{-}30\text{ cm}^2$ ’lik bir alana sahip olup 1 W’luk enerji üretmektedirler. Hücrelerin elektrik ağı ile bağlanıp birleştirilmesi ile oluşturulan yapılar panel olarak adlandırılmaktadır. Panellerin çeşitli konfigürasyonlarının oluşturulması ile de PV diziler meydana gelmektedir [16, 17]. Böylece yüksek enerji elde edilebilen sistemler kurulmaktadır. Şekil 1.2’de PV dizilerin nasıl oluşturulduğu gösterilmektedir.



Şekil 1.2. PV hücrelerden panel ve dizilerin elde edilmesi

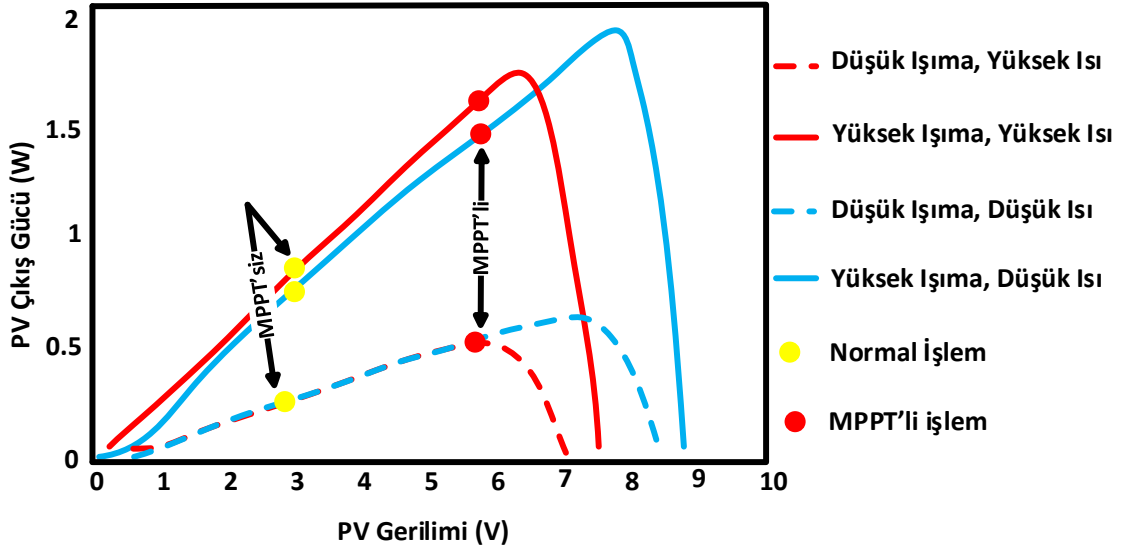
Ancak çeşitli olumsuz koşulların meydana getirdiği nedenler dolayısı ile bu sistemlerden maksimum enerji üretilmemektedir. PV diziler üzerinde oluşan kirlenmeler, zamanla oluşan yıpranmalar ve cisimlerin oluşturduğu gölgelenmeler sistemin

performansını önemli ölçüde azaltmaktadır [18]. Çevresel koşullardan dolayı oluşan gölgelenmelerin oluşturduğu negatif etkinin azaltılması yönünde çalışmalar yoğunlaşmaktadır [19]. Şekil 1.3’de bir yapıdan dolayı PV dizisinin üzerinde oluşan gölgelenme görülmektedir. Oluşan bu gölge ile sistemden elde edilen verim düşmektedir. Özellikle büyük ölçekli PV dizilerde oluşan gölgelenmeler enerji dalgalanmalarına neden olarak yüksek enerji kayıplarına sebep olmaktadır [20].



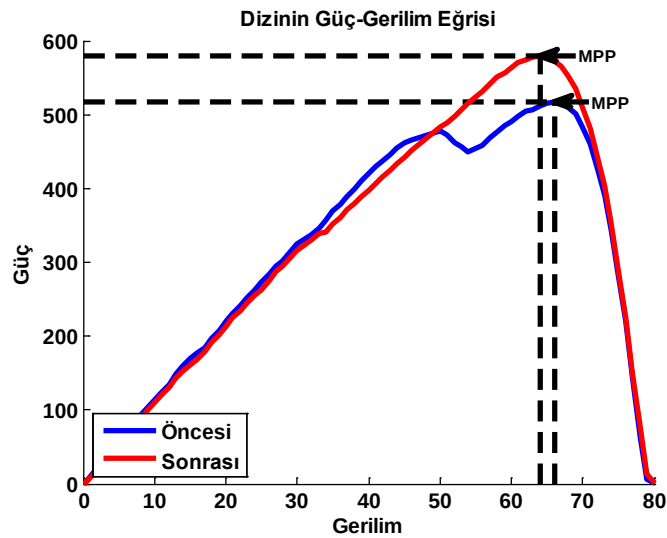
Şekil 1.3. PV dizisi üzerinde oluşan gölgelenmeler

Paneller üzerinde oluşan tam ya da kısmi gölgelenmeler bütün sistemi etkileyerek performansın düşmesine neden olmaktadır [18-20]. Bu olumsuzlukların zararlarının en aza indirilmesi ve elde edilecek enerjinin maksimumuma ulaşması için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. PV dizilerden elde edilecek enerjinin maksimum olmasını hedefleyen çalışmaların başında maksimum güç noktası takibi (MPPT) ve yeniden düzenleme yöntemi gelmektedir [21]. MPPT algoritmalarının PV dizilerden elde edilen enerjinin artması yönünde önemli katkıları bulunmaktadır. Bu algoritmalar ile sistemin güç-gerilim grafiği belirli periyotlar ile takip edilerek maksimum güç noktası bulunmaktadır ve sistemin bu düzeyde çalıştırılması sağlanmaktadır. Böylece sistemden elde edilecek verim en üst düzeye çıkarılması amaçlanmaktadır [20, 21]. Günümüzde MPPT algoritmaları PV dizilerin ayrılmaz bir parçası olarak düşünülmektedir. Şekil 1.4’te MPPT algoritmasının bir PV dizisinin performansını nasıl etkilediği görülmektedir.



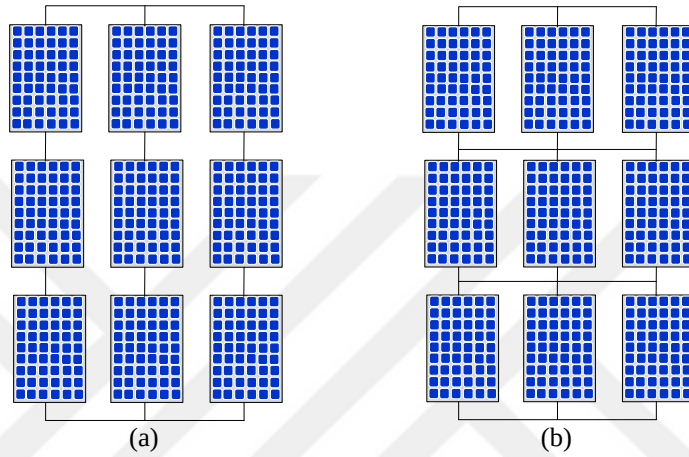
Şekil 1.4. MPPT'nin sistem üzerindeki etkisini gösteren grafik [19,49]

PV dizilerde oluşan tam ve kısmi gölgelenmelerden dolayı sistemin doğrusal olmayan akım (I), gerilim (V) ve güç (P) grafiğinden maksimum güç noktasının bulunması zorlaşmaktadır. Yeniden düzenleme yöntemi ile PV dizileri oluşturan panellerin konfigürasyonu değiştirilerek tam ve kısmi gölgeler kontrol altına alınabilmektedir. Bu işlem yapılırken adaptif panellerin bağlantı yapısı değiştirilerek en uygun konfigürasyon bulunmakta ve sisteme uygulanmaktadır. Böylece tam ve kısmi gölgelenmelerin oluşturduğu negatif durum en aza indirilerek enerji verimliliğinin artırılması sağlanmaktadır [22]. Şekil 1.5'te yeniden düzenleştirmenin PV sistemler üzerindeki etkisi görülmektedir.



Şekil 1.5. Yeniden düzenleştirmenin enerji verimine etkisi [19, 50]

Yapılan çalışmalarda çeşitli bağlanma türlerine sahip PV diziler bulunmaktadır. Ancak genel olarak iki bağlanma türü üzerinde çalışmalar artmıştır. Bu bağlantı türlerinden Series-Parallel (S&P) bağlantısı tüm güneş hücrelerinin seri bir şekilde bağlanması ve elde edilen yapının paralel bağlanması ile oluşturulmaktadır. Bir diğer bağlantı türü olan Total-Cross-Tied (TCT) bağlantısı ise hücrelerin paralel olarak birleştirilmesi ile modüllerin oluşturulması ve bu modüllerin seri bağlanması sonucunda oluşturulmaktadır [23].



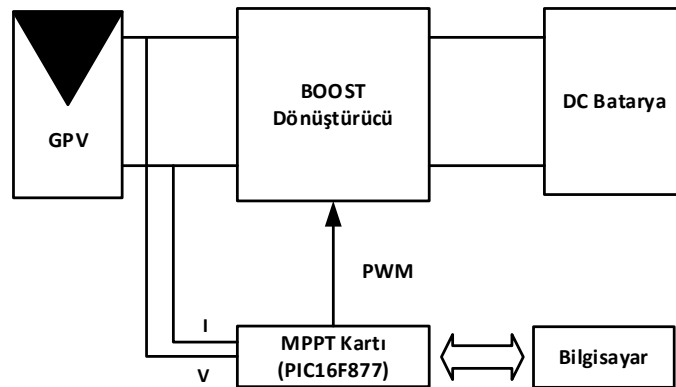
Şekil 1.6. a) Series-Parallel bağlantı türü b) Total-Cross-Tied bağlantı türü

Literatürde yenilenebilir enerji kaynakları konusu üzerine çok çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları konusunda PV sistemlere erişimin kolay olması ve kullanılabilirliği güneş panellerini bir adım daha öne taşımaktadır. Güneş panelleri üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada kısmi gölgelenme koşulları altındaki bir PV sistemde Gri Kurt Optimizasyon (GWO) tekniği kullanılarak yeni bir MPPT tasarımının elde edilmesi sağlanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada kısmi gölgelenme koşulları altındaki bir sistemin MPPT parametrelerinden doğru sonuçlar alınamamasından dolayı optimizasyon yöntemi ile iyileştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemde GWO tabanlı MPPT yöntemini doğrulamak için 4 adet seri panel modülü ve 2 adet seri panelin birbirine paralel bağlanması ile oluşturulmuş modüller kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu optimizasyon tekniği ile gölgelenme desen varyasyonlarını algılama ve yeniden başlatma açısından oldukça üstün performans sağlanarak hızlı bir yakınsama elde edilmiştir [24].

Konu üzerine gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise yine kısmi gölgelenme şartları altındaki PV sistemlere bulanık mantık uygulanmıştır. Bu çalışmada yeniden düzenleşim

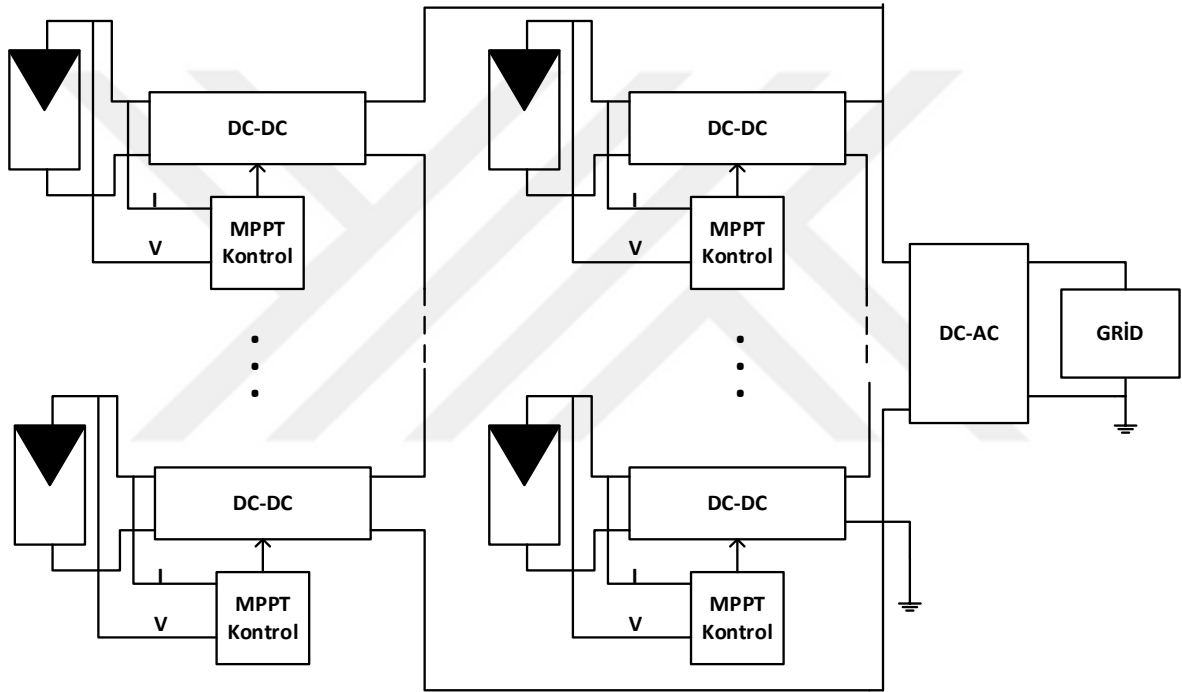
yöntemi için bir yaklaşım önerilmiş ve bu işlemi gerçekleştirebilmek için bulanık mantık kullanılmıştır. Önerilen bu yaklaşımda PV sistemin sabit panel, adaptif panel ve anahtarlama matrisi bölümlerinden oluşması sağlanmış ve dinamik bir şekilde çalışması hedeflenmiştir. Önerilen yaklaşım TCT bağlantı düzenine sahip güneş panelleri için test edilmiştir. Yine yöntemde giriş parametresi olarak ışıma ve kısa devre akım değerleri kullanılmış olup, en uygun yeni panel düzeni bu değerlere göre bulanık mantık kullanılarak tespit edilmiştir. Önerilen bu yaklaşımın en önemli amaçlarından birisi gerek küçük gerekse büyük ölçekli PV sistemlerde optimal panel düzeninin çok kısa sürede tespit edilebilmesini sağlamaktır [25].

Yine konu üzerine gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise Hill Climbing tabanlı MPPT yaklaşımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşımın doğruluğu ilk olarak Matlab/Simulink ortamında sağlanmıştır. Bu işlemin ardından gerçek bir deneysel düzenek kurulmuş sistemin doğruluğu gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Çalışmada PIC16F877 tipi mikroişlemci kullanılmış ve sistemde kullanılan MPPT algoritması bu işlemci üzerinde kodlanmıştır. Bu mikroişlemci üzerinde Hill Climbing algoritması çalıştırılarak dönüştürücünün anahtarlama cihazlarına sinyal vermesi sağlanmaktadır. Ayrıca bu işlemlerin periyodik olarak gerçekleştirilmesi ile optimum sonuca ulaşılabilmesi sağlanmaktadır. Önerilen yaklaşımın en önemli avantajları sırasıyla basitleştirilmiş bir donanım yapısına sahip olması, maliyetinin düşük olması ve hızlı MPP yakınsamaları sunmasıdır. Önerilen bu yaklaşımı özetleyen bir blok diyagram Şekil 1.7’de sunulduğu gibidir [26].



Şekil 1.7. Deneysel MPPT Sistemi [26]

PV sistemlerde MPPT yaklaşımı temelde sıklıkla kullanılan fakat gerek PV sistemin bağlantı yapısına göre gerekse çevresel koşullara bağlı olarak geliştirilen ve genelde özel bir çözüm sağlayan yaklaşımlardır. Bu noktada gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, PV diziler için ayırık MPPT yöntemi tanıtılmıştır. Çalışmalarda klasik MPPT ile ayırık MPPT'den elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve önerilen yaklaşımın doğruluğu ortaya konmuştur. Çalışma tam ve kısmi gölgeli koşullar göz önüne alınmış ve bu koşullara bağlı olarak değişen senaryolarda test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayı özetleyen örnek bir blok diyagram ise Şekil 1.8'de verilmiştir [27].



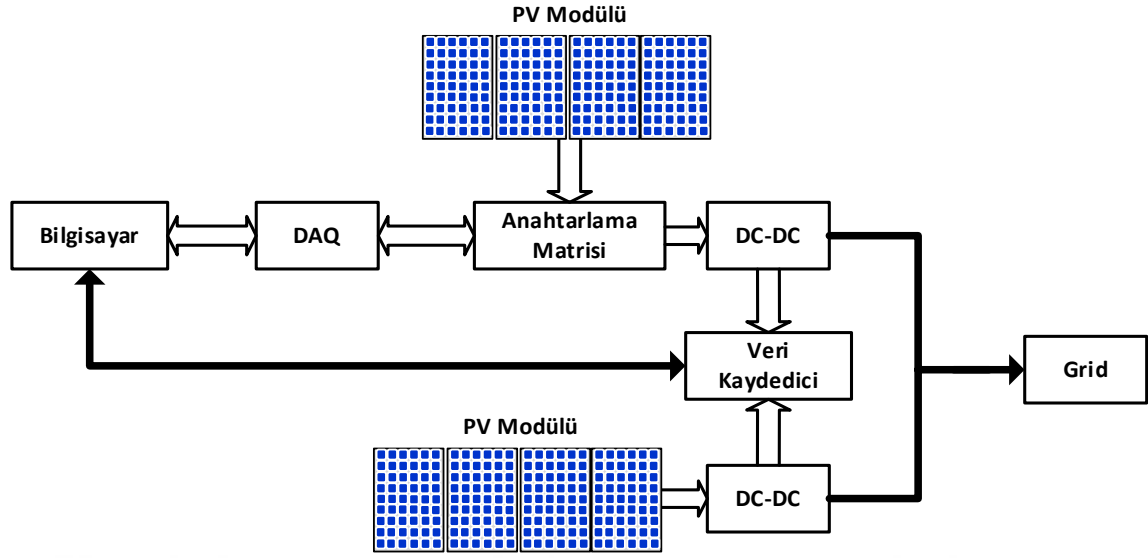
Şekil 1.8. Ayırık MPPT'ye sahip bir PV sistemde grid bağlantısı [27]

MPPT algoritmaları konusunda yapılan bir başka çalışmada yine kısmi gölgeli koşullar altındaki PV sistemler için bir optimizasyon yaklaşımı sunulmuştur. Bu çalışmada parçacık sürü optimizasyonu (PSO) tekniği kullanılmış olup, PSO'nun önemli parametrelerinden birisi olan hızlanma faktöründe yapılan değişiklikler ile MPPT'de ki değişimler gözlemlenmiştir. Önerilen yaklaşımın test işleminde Hill Climbing tabanlı MPPT yöntemi ile karşılaştırma sunulmuş olup, yöntemin doğruluğunun sağlandığı görülmüştür [28]. Literatürde MPPT konusu üzerine yapılmış oldukça fazla çalışma bulunmaktadır ve bu çalışmalar her geçen gün büyüyerek artmaktadır. Fakat MPPT konusunda yaşanan en büyük sıkıntı kısmi gölgelenme koşullarıdır. Yapılan çalışmalardan

da görülebileceği üzere MPPT konusunda gerçekleştirilen algoritmaların neredeyse birçoğu içerisinde bir optimizasyon tekniği barındırmaktadır. Bu durumun en temel sebebi kısmi gölgelenme koşulları altında panellerin lineer olmayan davranışlar sergilemesidir. Başka bir deyişle I-V ve P-V eğrisindeki dengesizlikler MPPT tekniğinin performansını önemli ölçüde düşürmektedir. Bu sebepten optimizasyon algoritmaları kullanılarak bu istenmeyen durumların üstesinden gelinmesi hedeflenmektedir [29].

Literatürde kullanılan bir diğer yöntem ise yeniden düzenleştirmedir. Bu yaklaşım ile MPPT işlemlerinin performansı artırılabilen ve kısmi gölgeli panellerin meydana getirmiş olduğu dezavantajlar elimine edilebilmektedir. Yeniden düzenleştirmede işlemi temel olarak maksimum güç noktasını (MPP) artırma hedefini taşımaktadır. Yapılan işlemler neticesinde global MPP değeri artırılmakta ve buna bağlı olarak panellerden üretilen güç miktarı da artmaktadır [30]. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmaların birinde Su Do Ku yeniden düzenleştirmede yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen bu yaklaşımda panellerin elektriksel olarak değil fiziksel olarak yer değiştirilmesi sağlanmış ve bu yer değişimine bağlı olarak üretilen güç miktarı yeniden hesaplanmıştır. Sistemde temel olarak dört farklı gölgelenme durumu göz önüne alınmıştır. Gerçekleştirilen test çalışmaları ile önerilen yaklaşımdan yaklaşık olarak %30 oranında enerji verimliliği sağlanmıştır [31].

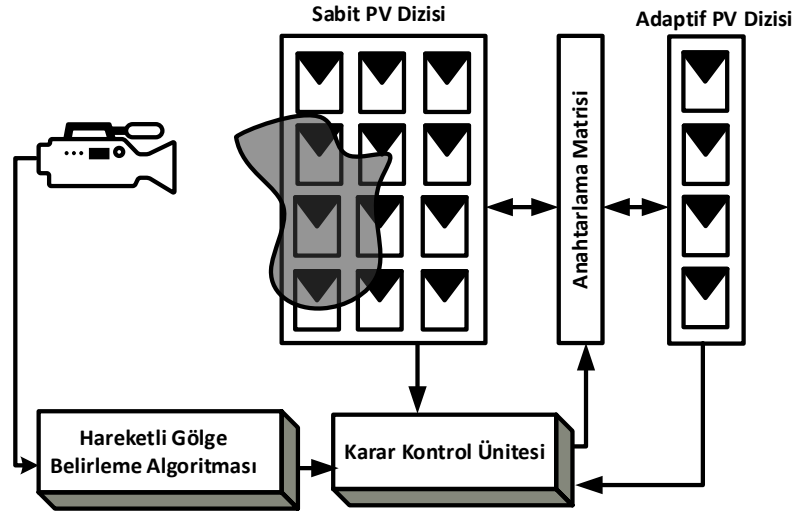
Yeniden düzenleştirmede konusunda gerçekleştirilen çalışmalardan bir diğerinde ise ışımaya değerleri üzerinden işlemler yapılmış ve yeniden düzenleştirmede sağlanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada farklı ışımaya değerlerine sahip olan panellerin enerji kayıplarını azaltabilmek ve modüller arasındaki uyumsuzluğu giderebilmek amacı hedeflenmiştir. Çalışmada yeniden düzenleştirmede işlemi gerçekleştirebilmek için kontrol edilebilir bir anahtarlama matrisi kullanılmıştır. Yapılan uygulamada gerçek zamanlı bir deneysel düzenek oluşturulmuş ve test işlemleri bu düzenek üzerinde sağlanmıştır. Test sonuçlarının başarılı olduğu bu çalışma yeniden düzenleştirmede işlemi tam olarak yansıtmakta olup, önerilen yaklaşımı özetleyen örnek bir blok diyagram Şekil 1.9'da sunulmuştur [32].



Şekil 1.9. Sistemin deneysel kurulumu [32]

Konu üzerine gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise yine kısmi gölgeli koşullar altında bulunan PV sistemlerin yeniden düzenleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Temel olarak panellerden elde edilen akım ve gerilim değerlerine dayanan bu yaklaşımda üç farklı seviyede gölgelenme durumu belirlenmiştir. Bunlar sırasıyla az gölgeli, gölgeli ve çok gölgelidir. Bu gölgelenme dereceleri kullanılarak belirli bir düzene göre adaptif panellerin sabit panellere bağlanabilmesi sağlanmış ve PV dizisinden elde edilen güç miktarında artış sağlanmıştır. Önerilen yaklaşım test edilmiş ve verimli sonuçlar sağlanmıştır [33].

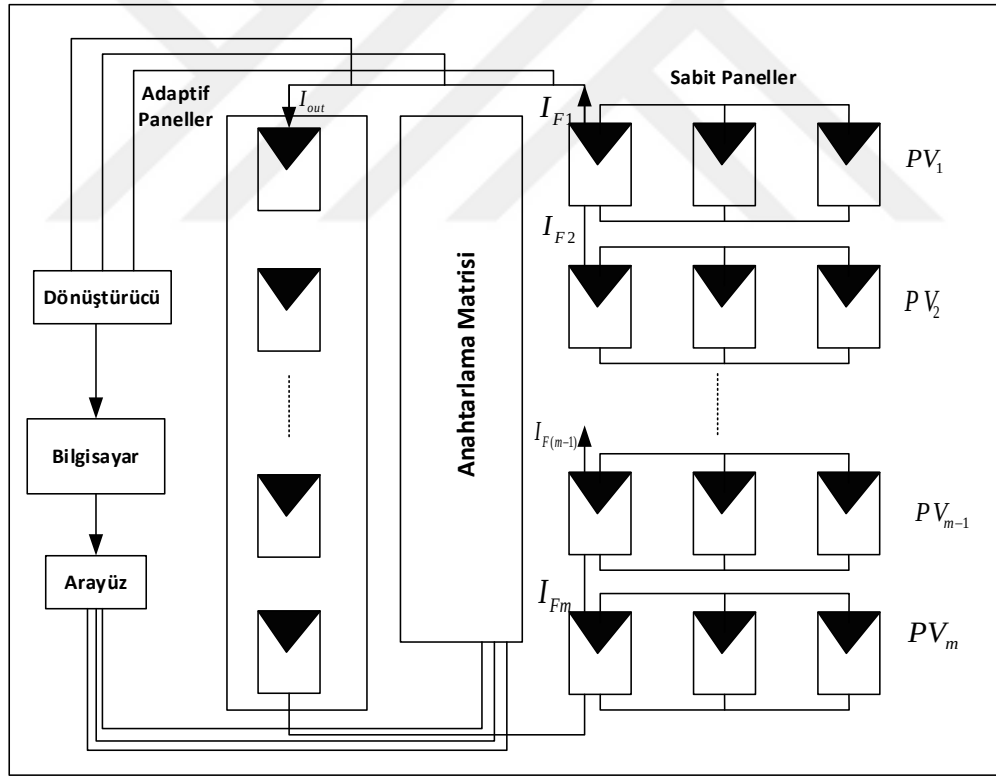
Gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise yeniden düzenleme yöntemiyle birlikte bir görüntü işleme algoritması kullanılmıştır. Çalışma temel olarak kısmi gölgeli koşulları göz önüne almakta ve paneller üzerinde meydana gelen kısmi gölgelenmeleri görüntü işleme yoluyla tespit etmektedir. Önerilen bu yaklaşımda gölgeler geçici ve kalıcı olarak iki gruba ayrılmakta ve kullanıcı tanımlı eşik zamanı değerine göre gölgenin hangi gruba ait olduğuna karar verilmektedir. Bu karar işlemine göre ya anahtarlama matrisi devreye alınmakta ya da alınmamaktadır. Çalışma üç ana birimden oluşmaktadır. Bunlardan ilk anahtarlama matrisi olup sabit ve adaptif panel dizilerini birbirine bağlamaktadır. Diğer kısım kontrol ve karar birimi olup, anahtarlama matrisi için gerekli sinyalleri hazırlamakta ve üretmektedir. Son kısım ise görüntü işleme algoritmasını çalıştıran işlemci tarafıdır. Önerilen bu yaklaşım ile yaklaşık %15 oranında bir verim sağlanmış olup, bu çalışmayı gösteren bir blok diyagram Şekil 1.10'da verilmiştir [34].



Şekil 1.10. Literatürde önerilen bir yöntem [34]

Bir önceki çalışmadaki yazarlar tarafından gerçekleştirilen bir diğer uygulamada ise yeniden düzenleşiş işleminde optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Yapay bağışıklık algoritmalarından klonal seçim prensibinin gerçekleştirildiğı bu çalışmada 3x4 boyutunda bir PV sistem oluşturulmuş ve bu sisteme bir anahtarlama matrisi yerleştirilmiştir. Anahtarlama matrisi, PV sistemin birinci ve ikinci sütunları arasına yerleştirilerek adaptif ve sabit paneller elde edilmiştir. Çalışmada temel olarak iki bölüm yer almaktadır. Bunlardan ilki optimizasyon modülü olup, giriş parametresi olarak aldığı ışıma değerlerine göre en uygun panel dağılımını tespit etmektedir. İkinci kısım ise kombinasyon modülü olup, bir önceki modülden bulunan optimal panel düzeninin uygunluğunu test etmektedir. Simülasyonlar Matlab ortamında gerçekleştirilmiş ve yaklaşık %12 oranında bir kazanım sağlanmıştır [35]. Konu üzerine gerçekleştirilen bir diğer çalışmada MATLAB tabanlı modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada seri-paralel bağlantı düzenine sahip PV sistemler için uygulama geliştirilmiş olup, ortaya konan bu uygulama ile panellerin I, V ve P gibi elektriksel karakterleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada önerilen yaklaşım, deneysel çalışmalar ile doğrulanmış ve simülasyonun net sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [36]. PV sistemler üzerinde oluşan kısmi gölgelenmeler sistemin yavaş cevap vermesine neden olarak ortalama verimi düşürmektedir. Literatürde yapılan bir çalışma ile yeniden düzenleşiş yöntemine yeni bir yaklaşım getirilmiş ve bu çalışmayla hız problemin çözülmesi amaçlanmıştır. Yeniden düzenleşiş işleminin bir parçası olan anahtarlama matrisinin çeşitli kombinasyonları incelenerek en yüksek güç elde edilecek anahtarlama yapısı oluşturulmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan PV sistem 3

panele sahip bir adaptif modül ve 3x3 TCT yapısına sahip sabit bir modülden oluşmaktadır. Bu yöntemde permütasyon işlemleri ve kabarcık sıralama algoritması kullanılmıştır. Önerilen yöntem ile sistemden yaklaşık %37.1 oranında güç artışı sağlanmıştır [37]. Genel olarak sıralama algoritmaları yeniden düzenlemlerinde sıklıkla kullanılabilir. Yine bu amaçla gerçekleştirilen bir çalışmada kabarcık sıralaması yöntemi kullanılarak panellerden elde edilen verimin artırılması amaçlanmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmada iki farklı yeniden düzenleme yöntemi önerilmiş ve adaptif bölümün anahtarlama kabarcık sıralama algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İkinci yöntemde model tabanlı bir algoritma kullanılarak PV sistemin güç seviyesi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kabarcık sıralama yönteminin kullanıldığı, genel olarak literatürde gerçekleştirilen yeniden düzenleme sistemini ve önerilen bu yaklaşımı özetleyen örnek bir blok diyagram Şekil 1.11’de verildiği gibidir [38].



Şekil 1.11. Örnek bir yeniden düzenleme yaklaşımı [38]

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Gerçekleştirilen bu yüksek lisans tezinin temel amacı tam veya kısmi gölgelenme koşulları altında bulunan PV sistemlerde enerji verimliliğinin sağlanmasıdır. Bilindiği üzere yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir potansiyele sahip olan PV sistemler gelişen teknolojiye paralel bir gelişim göstermiş olup, herkes tarafından ulaşılabilir hale gelmiştir. Ayrıca azalan üretim maliyetleri, artan kullanım ömürleri ve dayanıklılık güneş pillerinin elektrik üretiminde kullanılmasına oldukça büyük bir zemin hazırlamıştır. Ortaya konan bu tez çalışmasında da PV sistemlerin enerji verimliliğinin artırılması amacıyla görüntü işleme ve optimizasyon tabanlı yeni bir yeniden düzenleme yaklaşımı gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması boyunca gerçekleştirilen uygulamalar ile küçük veya büyük ölçekli PV sistemlerde enerji verimliliğinin artırılması hedeflenmiş ve bu hedefler sağlanmıştır. Gerçekleştirilen tez çalışmasında önerilen yaklaşım temel olarak iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla görüntü işleme modülü ve optimizasyon modülüdür. Bilindiği üzere PV sistemlerde enerji verimliliğini sağlamaya yönelik genellikle MPPT teknikleri ve algoritmaları kullanılmaktadır. Bu işlemler gerçekleştirilirken PV sisteme bağlı olan akım sensörlerinden faydalanılmakta ve kısa devre akım değerleri kullanılarak işlemler yürütülmektedir. Önerilen bu yaklaşımda ise kısa devre akım değerlerinden bağımsız olarak panellerin yapmış olduğu ışıma değerleri kullanılmakta ve yeni panel düzenleri bu değerlere göre hesaplanmaktadır.

Tez çalışmasında gerçekleştirilen uygulama ile bir PV dizisi sürekli olarak bir kamera aracılığıyla izlenmektedir. Bu işlem ile panellerin yapmış olduğu ışıma değerleri hesaplanmaktadır. Tahmin edileceği üzere panellerin yapmış oldukları ışıma değerleri ile akım değerleri birbirine doğru orantılıdır. Bu sayede herhangi bir akım sensörüne gerek kalmadan işlemler yapılabilir. Önerilen yaklaşımda PV sistem bir anahtarlama matrisine sahiptir. Bu anahtarlama matrisi PV sistemi adaptif ve sabit olmak üzere iki bölüme ayırmaktadır. Adaptif bölümdeki paneller herhangi bir fiziksel yer değiştirmeye maruz kalmadan sadece arka plandaki elektriksel bağlantılar değiştirilerek kendi içerisinde taşınabilmektedir. Kullanılan anahtarlama matrisi temel olarak rölelerden oluşmaktadır ve hangi panelin hangi noktada devreye alınacağı işlemleri belirli sinyaller ile gerçekleştirilmektedir. Görüntü işleme ile elde edilen ışıma değerleri ikinci bölüm olan optimizasyon modülüne giriş olarak verilmektedir. Optimizasyon modülünde optimizasyon

tekniklerinden olan genetik algoritma kullanılmıştır. Yöntem ışıma değerlerini giriş parametresi olarak alıp, optimal panel düzenini hesaplamaktadır. Daha sonrasında optimizasyon modülünden elde edilen en uygun sonuç anahtarlama matrisine giriş olarak verilmekte ve yeni optimal panel düzeni sisteme uygulanmaktadır. Önerilen bu yaklaşımın sayesinde PV sistemlerde tam ve kısmi gölgelenme problemlerinin üstesinden gelinebilmekte ve enerji verimliliği sağlanabilmektedir. Gerçekleştirilen bu işlemler ARM tabanlı bir kontrol kartı üzerinde ortaya konmuş ve sistem gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen yaklaşımın verimliliğini ispatlamıştır. Tez süresi boyunca yoğun literatür araştırmaları yapılmış ve bu çalışmaların temel eksiklikleri belirlenmiştir. Özellikle görüntü işleme tabanlı yöntemlerin pek bulunmadığı bu alana tez süresince yapılan bilimsel çalışmalar ile katkı sağlanmış olup, gerçekleştirilen bu bilimsel yayın çalışmaları aşağıda sunulduğu gibidir:

- Karaköse, M., Baygin, M., Baygin, N., Murat, K., and Akin, E., 2016. Fuzzy Based Reconfiguration Method Using Intelligent Partial Shadow Detection in PV Arrays, International Journal of Computational Intelligence Systems, vol. 9, no. 2, pp. 202-212.
- Karaköse, M., Baygin, M., and Baygin, N., 2014. An Analysis Approach for Optimization based Reconfiguration in Photovoltaic Arrays, International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Istanbul, Turkey, 1-4 June,
- Karaköse, M., Baygin, M., Baygin, N., Murat, K., and Akin, E., 2014. An Intelligent Reconfiguration Approach Based on Fuzzy Partitioning in PV Arrays, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), Alberobello, Italy, 23-25 June.

Tez süresi boyunca bir adet SCI-Exp, iki adet uluslararası bildiri çalışması ortaya konmuştur. Gerçekleştirilen bu tez çalışması ve bilimsel yayınlar ile PV sistemlere farklı bir bakış açısı getirilerek görüntü işleme ve optimizasyon tabanlı yeniden düzenleşim yöntemi önerilmiştir. Çalışma boyunca önerilen bu yeniden düzenleşim yaklaşımının sonucunda güç gerilim eğrisinin geliştirilmesi sağlanmış ve PV sistemlerde önemli oranda verim artışı ortaya konmuştur.

1.2. Tezin Yapısı

Gerçekleştirilen bu yüksek lisans tez çalışması 5 ana bölümden oluşmaktadır. Bu bölümlerden ilki giriş bölümü olup, PV sistemlerin temel özellikleri ve enerji verimliliği gibi temel konulara bu bölümde değinilmektedir. Kullanılan PV sistem çeşitleri, bu PV sistemlerde enerji verimliliğinin ne şekilde sağlanacağı ve tam/kısmi gölgelenme koşulları altında bu sistemlerin vereceği tepkinin ne olacağına dair bilgiler yine bu bölümde sunulmuştur. Ayrıca yapılan literatür araştırmaları da bu bölümde sunulmuş olup, gerek MPPT gerekse yeniden düzenleme konularında yapılan çalışmalar detaylıca sunulmuş ve görsel öğelerle desteklenmiştir. Son olarak bu bölümde tezin amacı ve kapsamı detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Tez çalışmasının ikinci bölümünü yeniden düzenleme oluşturmaktadır. Yine bu bölümde de literatürden çeşitli örnekler sunmaya çalışılmış ve literatürdeki tekniklerin özellikleri incelenmiştir. Ayrıca yeniden düzenlemenin ne şekilde çalıştığı, içyapısının ne olduğu ve nasıl kontrol edildiği gibi temel bilgiler yine bu bölümde sunulmaktadır.

Tezin üçüncü bölümünde önerilen yaklaşımın detayları verilmektedir. Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan yöntemler olan görüntü işleme algoritması ve optimizasyon tekniği hakkında detaylı bilgiler verilmektedir. Üçüncü bölüm iki alt başlık olarak sunulmuş olup, kullanılan algoritmaların parametreleri ve işleyişleri hakkında bilgiler bu bölümde sunulmuştur.

Dördüncü bölümde, önerilen yöntemden elde edilen deneysel veriler ve sonuçlar sunulmuştur. Grafiksel öğelerle desteklenen bu bölümde enerji-gerilim değerlerinin değişimi ve algoritmaların performansları değerlendirilmiştir. Ayrıca tez çalışması boyunca her iki bağlantı konfigürasyonu için test işlemleri gerçekleştirilmiş ve testlere ait sonuçlar ayrı alt bölümler halinde sunulmuştur.

Tez çalışmasının beşinci ve son bölümünde tez çalışması boyunca yaşananlar tekrar ortaya konmuş ve değerlendirme yapılmıştır. Önerilen yaklaşımın temel avantaj ve dezavantajları bu bölümde sunulmuş olup, geleceğe yönelik hedefler ve sonuçlar yine bu bölümde tartışılmıştır.

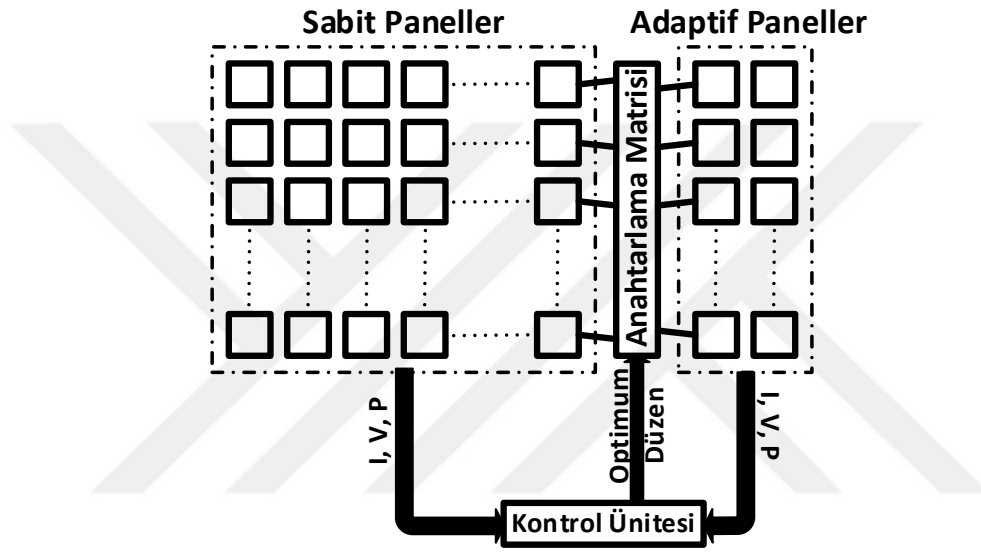
2. PV DİZİLERDE YENİDEN DÜZENLEŞİM

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahip olan PV diziler, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır. PV hücreler ve diyot modüllerinin çeşitli elektrik konfigürasyonları ile bağlanması sonucu PV diziler meydana gelmektedir. Bu yapılar ile güneşten alınan ısıma değerlerinden maksimum bir şekilde yararlanılması sağlanarak, en verimli enerji miktarının elde edilmesi amaçlanmaktadır [39]. Bunu gerçekleştirmek için statik ya da güneşi takip edebilen başka bir deyişle hareketli olan PV diziler kullanılmaktadır. Bu tür sistemlerde önceleri göz ardı edilen gölgelenmelerin, ilerleyen teknoloji ile aslında büyük miktarda enerji kayıplarına neden olduğu saptanmıştır. Bu yüzden elde edilecek enerjinin maksimum seviyeye çıkarılması için yapılan çalışmalar gölgelenmelerin oluşturduğu negatif etkileri azaltma üzerine yoğunlaşmaktadır.

PV diziler üzerinde meydana gelen tam ve kısmi gölgelenmelerin oluşturduğu enerji düşüklüğünü gidermek için yapılan çalışmalarda oldukça zor problemlerle karşılaşmaktadır. Gölgenmeler nedeniyle akım, gerilim ve güç değerleri tam olarak tespit edilememektedir. Ayrıca modüller arasındaki uyumsuzluk panellerin olumsuz bir şekilde etkilenmesine sebebiyet vermekte ve bütün sistemin zarar görmesine neden olmaktadır. Bu probleme çözüm olarak PV dizilerde genellikle MPPT yaklaşımı tercih edilmektedir. Bu yaklaşım ile sistemin maksimum güç noktası bulunarak bu noktada çalışması sağlanmaktadır. Bu yöntemde çeşitli algoritma ve DC-DC dönüştürücüler kullanılarak panellerin I-V ve P-V eğrilerindeki maksimum güç noktalarının bulunması sağlanmaktadır. Gölgenmeler MPPT'nin verimini düşürerek eğrilerden elde edilen sonuçların doğruluğunu azaltmaktadır. Buna çözüm olarak ise yeniden düzenleme yaklaşımı literatürde sunulmaktadır. Panellerin birbirleriyle çeşitli konfigürasyonlar ile bağlanması sonucu meydana gelen gölgelenmelerin oluşturduğu negatif etki azaltılmaya çalışılmaktadır.

Yeniden düzenleme yöntemi ile paneller arasındaki optimal bağlantı düzeninin oluşturulması sağlanarak tam ve kısmi gölgelenmelerin oluşturduğu verim düşüklüğünün giderilmesi hedeflenmektedir [39-41]. Bu yöntemde PV diziler sabit ve adaptif paneller olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [40]. Sistemde kullanılan anahtarlama matrisi ile bu panel grupları arasındaki bağlantı sağlanmaktadır [41]. Paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmeler durumunda belirli bir algoritmaya göre yeniden düzenleme işlemi devreye girmektedir. Genellikle panellerden elde ısıma değerleri sistem çerçevesinde

geliştirilen bir algoritma ile hesaplanarak optimal panel düzeni elde edilmektedir ve bu panel düzeni sisteme uygulanmak üzere anahtarlama matrisine gönderilmektedir [42]. Anahtarlama matrisi aracılığıyla sabit ve adaptif paneller arasında kurulan ilişki, gelen bilgiye göre yeniden düzenlenmekte ve tam veya kısmi gölgelenmenin meydana getirmiş olduğu negatif etkiler yeni panel düzeni ile en asgariye indirilmektedir [43]. Bu çerçevede düşünüldüğünde geleneksel bir yeniden düzenleme yaklaşımını gösteren blok diyagram Şekil 2.1’de gösterildiği gibidir.



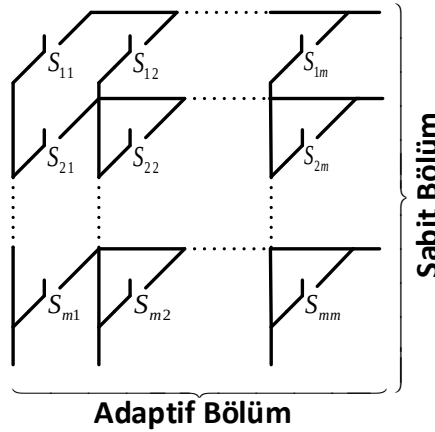
Şekil 2.1. Geleneksel yeniden düzenleme yaklaşımı [35, 50]

Yeniden düzenleme yaklaşımı ile PV dizilerde çeşitli bağlantı kombinasyonları oluşturularak tam veya kısmi gölgelenmelerin neden olduğu olumsuzlukların en asgariye indirilmesi hedeflenmektedir [44].

PV sistemlerde temel olarak iki bağlantı türü kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla S&P ve TCT bağlantı türleridir. S&P bağlantı türünde, öncelikli olarak paneller birbirine seri bir şekilde bağlanmakta ve ardından bu seri olarak bağlanmış paneller birbirine paralel olarak bağlanmaktadır. Bu şekilde oluşturulan yapıya S&P bağlantı türü adı verilmektedir. Ayrıca bu bağlantı türünde ilk aşamada gerçekleştirilen işlem sonucu meydana gelen yapıya seri diziler adı verilmektedir. Başta da belirtildiği üzere yeniden düzenleme sistemlerinde kullanılan bir diğer bağlantı türü TCT yapısıdır. Bu bağlantı türünde ise S&P’den farklı olarak ilk olarak paneller birbirlerine paralel bir şekilde bağlanmaktadır. Bu şekilde bağlantı ile modüller elde edilmektedir. Daha sonrasında bu modüller birbirlerine seri bir şekilde bağlanarak nihai TCT bağlantı şeması elde edilmektedir. Yeniden düzenleme işlemlerinde

kullanılan bağlantı türü sistemden maksimum verim elde edilebilmek açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu çerçevede düşünüldüğünde S&P bağlantı yapısına sahip bir PV sistemde her sütundaki ışıma değerlerinin birbirine eşit ya da eşite yakın olması durumunda maksimum enerji elde edilebilmektedir. TCT bağlantı türünde ise her satırın ışıma değerlerinin eşit veya eşite yakın olması durumunda en iyi verim elde edilebilmektedir.

Tam veya kısmi gölgelenmelerin negatif etkilerini azaltmak amacıyla kullanılan yeniden düzenleme yönteminde anahtarlama matrisi kullanılarak optimal panel düzeninin elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu hedefi gerçekleştirmek için kullanılan kontrol algoritmaları ile anahtarlama matrislerinin kontrolü sağlanarak istenilen bağlantı şeması ortaya konulmaktadır. Gerçekleştirilen bu işlemlerde panellerin herhangi bir fiziksel hareketi söz konusu değildir. Bu işlemin yerine panellerin arka plandaki elektriksel bağlantıları değiştirilmekte ve fiziksel bir yer değiştirme işlemi yapılmadan paneller istenilen herhangi bir noktaya taşınabilmektedir. Bu sayede paneller üzerinde dağınık bir yapıda bulunan gölgelenmeler uygun yerlere dağıtılmakta ve tam veya kısmi gölgelenme sonucu meydana gelen enerji kayıplarının önüne geçilmektedir. Şekil 2.2’de sistemde kullanılan bir anahtarlama matrisinin örnek iç yapısı görülmektedir [45].



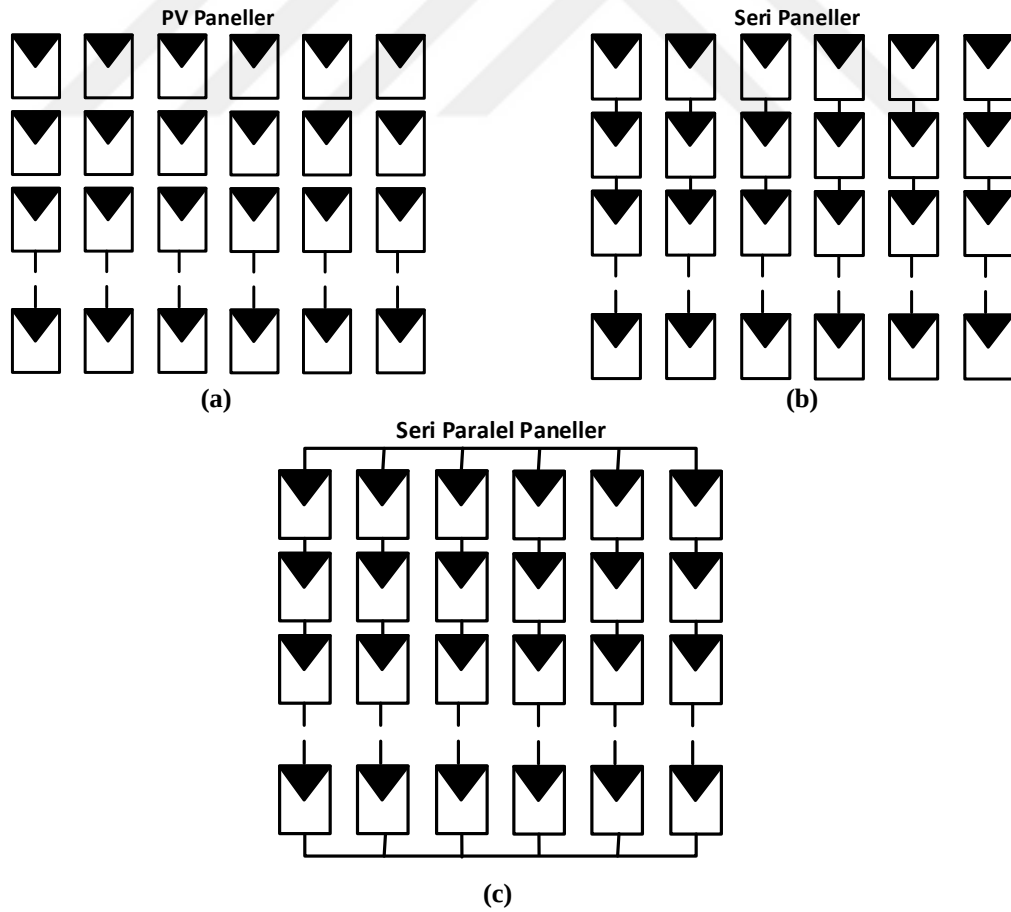
Şekil 2.2. Anahtarlama matrisinin iç yapısı [45]

PV dizilerdeki enerji verimliliğini arttırmak için kullanılan yeniden düzenleme yönteminin birçok önemli avantajı bulunmaktadır. Bu avantajların en önemlilerinden birisi MPPT işlemine yaptığı katkıdır. Bu işlemde bilindiği üzere I-V ve P-V eğrileri üzerinde MPP tespiti yapılmaktadır. Fakat paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmeler bu tespitin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Yeniden düzenleme işlemi ile bu gölgelenmelerin dezavantajları azaltılacağından MPPT işlemini etkileyen bu olumsuzluklar giderilmiş

olacaktır. Sistemin sağladığı bir diğer önemli avantaj ise gerilim ve akım değerlerindeki dengesizliklerin ortadan kaldırılmasıdır. Özellikle gölgelenmeler sonucu paneller arasında meydana gelen dengesizlikler bu sistem ile ortadan kaldırılmakta ve yine bu olumsuzluklardan dolayı oluşan arızalar asgariye indirilmektedir. Yeniden düzenleştirmiş işleminin sağladığı bir diğer en önemli avantaj ise şüphesiz enerji verimliliğidir. Ortaya konan bu sistem ile panellerden elde edilen enerji miktarında artış sağlanmakta ve sistem tam performansta kullanılabilmektedir.

2.1. Seri –Paralel Bağlantı Yapısına Sahip Dizilerde Yeniden Düzenleşim

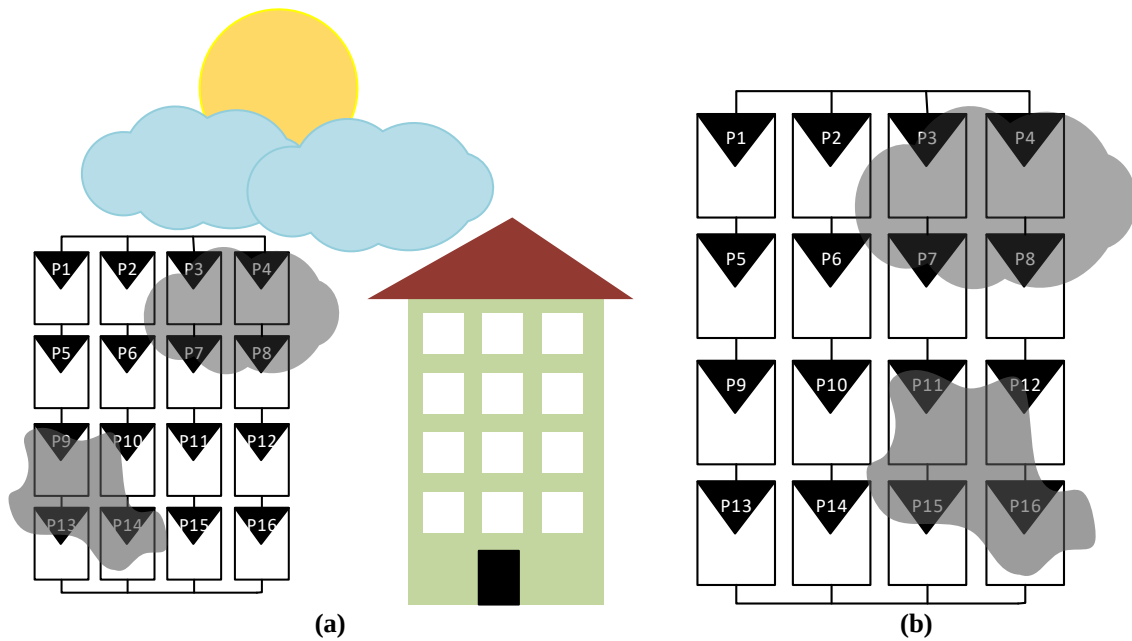
PV dizilerde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmelerin enerji verimliliğine olan negatif etkilerini azaltabilmek amacıyla kullanılan yeniden düzenleştirmiş yönteminde genel olarak Seri-Paralel ve TCT olmak üzere iki farklı türde bağlantı yapısı kullanılmaktadır [43, 44]. Şekil 2.3’de seri dizilerin oluşturulması ve elde edilen yapının paralel bağlanması ile seri-paralel bağlantı türünün meydana geldiği gösterilmektedir.



Şekil 2.3. S&P bağlantı düzeninin elde edilmesi (a) Bağlantısız PV paneller (b) Seri bağlanmış paneller (c) Seri dizilerin paralel bağlanması [48]

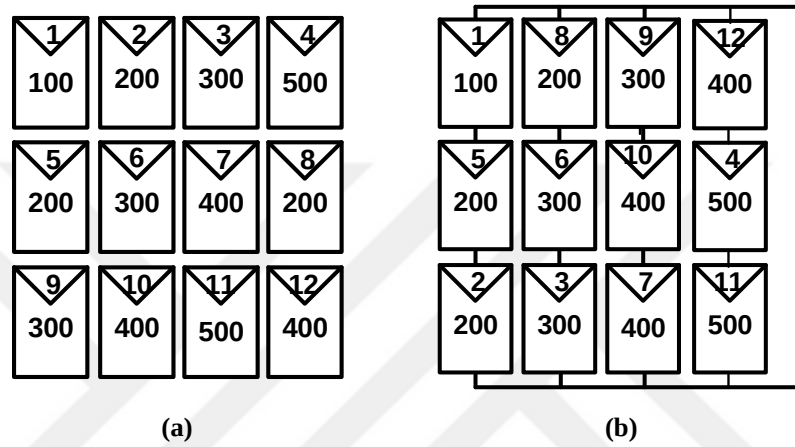
PV sistemlerden elde edilen verimin maksimum olabilmesi için sistemdeki panellerin yapmış olduğu ışıma değerlerinin de en yüksek seviyede olması gerekmektedir. Fakat tam veya kısmi gölgelenme durumlarında panellerin yapmış olduğu ışıma değerleri düştüğünden sistemden istenilen verim tam olarak elde edilememektedir. Bu sebepten buna çözüm olarak geliştirilen yeniden düzenleme yönteminde, kullanılan bağlantı türleri sistemden maksimum verim elde edilebilmek için oldukça önemli bir yere sahiptirler.

Paneller üzerinde meydana gelen gölgelenmeler paneller arasında dengesiz ışıma değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Anahtarlama matrisi kullanılarak oluşturulan bu bağlantı yapısında gölgelenme oluştuğundan sonra her bir paneldeki ışıma değeri ölçülmektedir. Panellerden elde edilen bu ışıma değerleri de kullanılarak panellerin ışıma seviyelerine göre gruplandırılması yapılmaktadır. Temel olarak S&P bağlantı yapısına sahip bir sistemde her sütundaki ışıma değerlerinin birbirine eşit ya da eşite yakın olması durumunda maksimum enerji verimliliği sağlanabilmektedir. Başka bir deyişle her bir dizideki değerin birbirine yakın olması gerekmektedir. Şekil 2.4’de bir PV dizisi üzerinde oluşan kısmi gölgelenmenin panellerdeki ışıma değerlerini nasıl etkilediği görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere her bir panelden normal koşullarda elde edilebilecek ışıma değeri maksimum 1000 W/m^2 iken oluşan gölgelenme ve çevresel etmenler ile bu değerin 100 W/m^2 seviyesine kadar düştüğü görülmektedir.



Şekil 2.4. Örnek bir kısmi gölgelenme senaryosu (a) Yeniden düzenlemeden önce (b) Yeniden düzenlemeden sonra

S&P bağlantı yapısına sahip bir PV dizisinde yeniden düzenleme işlemi yapılırken dizi içerisindeki panellerin eşit veya eşite yakın ışıma yapması beklenmektedir. Anahtarlama matrisi kullanılarak yapılacak düzenleme işleminde bu husus dikkate alındığında sistemin bütününden elde edilen verim de maksimum düzeye çıkacaktır. Bu çerçevede düşünüldüğünde oluşturulan örnek bir senaryo ve bu senaryonun S&P bağlantı düzenine sadık kalınarak oluşturulmuş yeni yapısı Şekil 2.5’de sunulmaktadır.

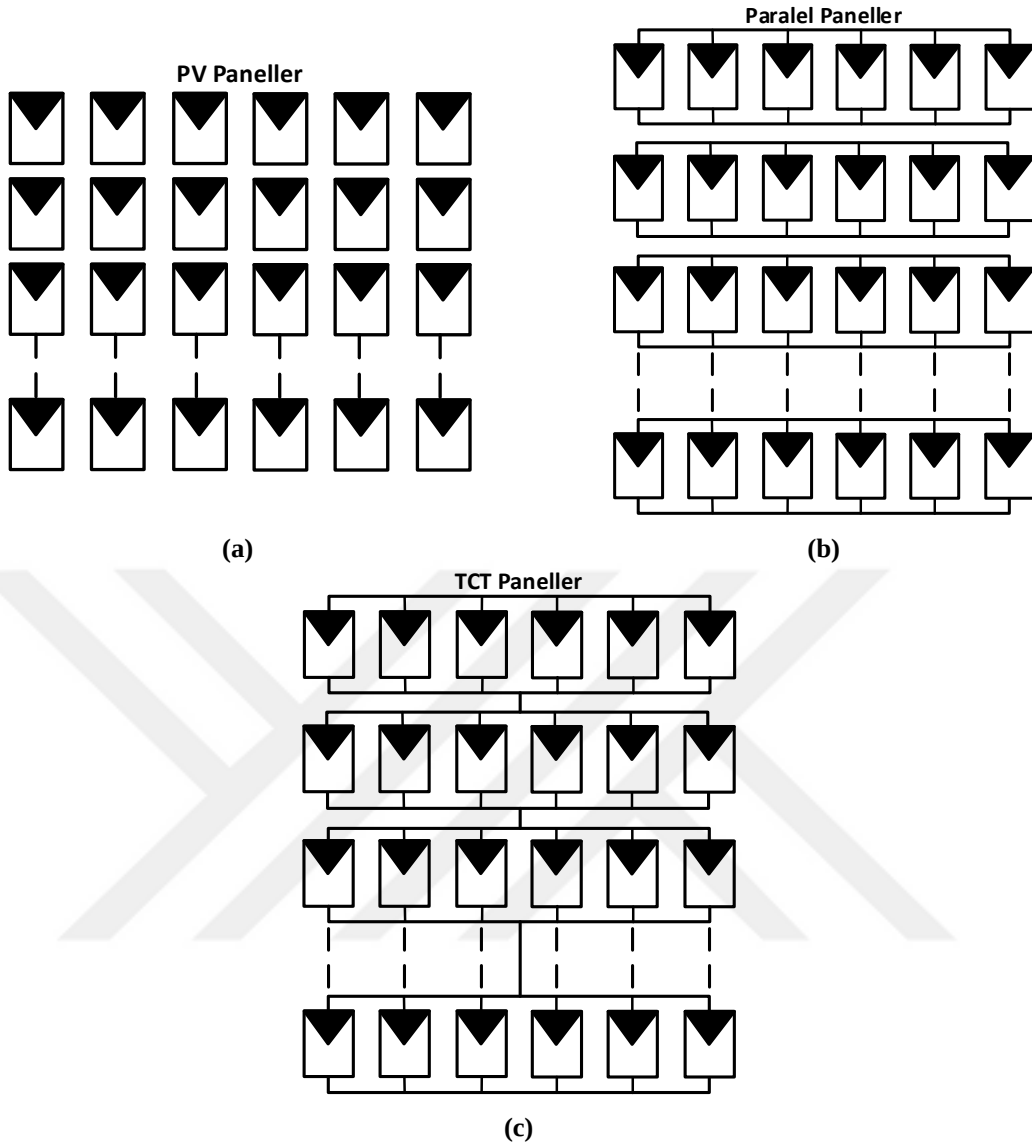


Şekil 2.5. S&P bağlantı düzeni için (a) Yeniden düzenlenişten önce (b) Yeniden düzenlenişten sonra

2.2. TCT Bağlantı Yapısına Sahip Dizilerde Yeniden Düzenleşim

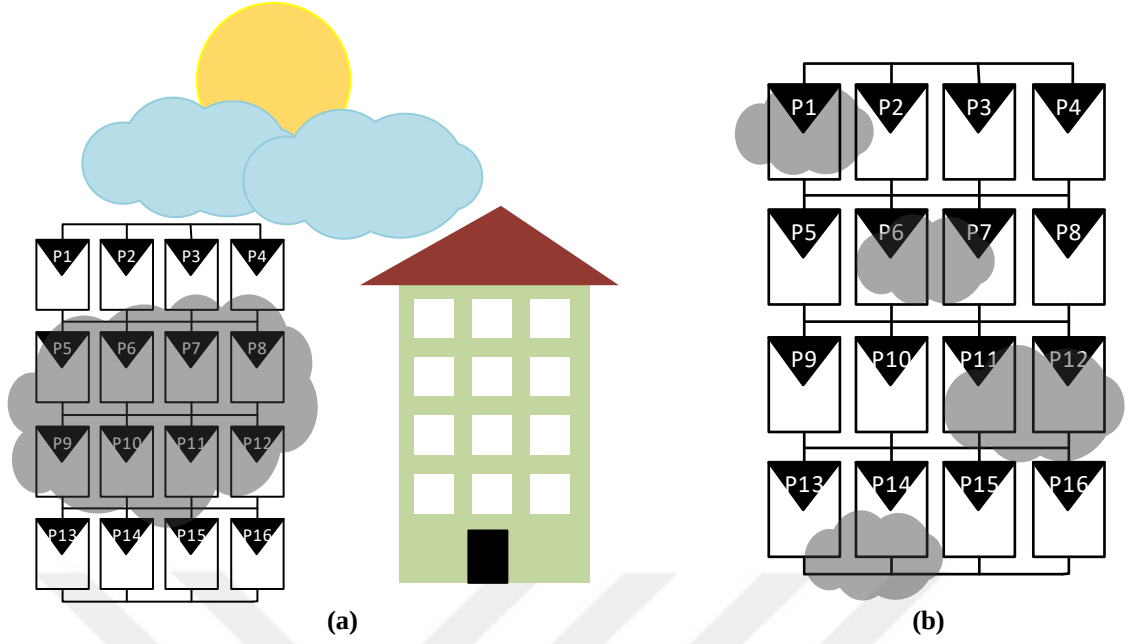
Yeniden düzenleşim ile PV dizilerde çeşitli bağlantı kombinasyonları oluşturularak gölgelenmelerin neden olduğu olumsuzlukların en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Yeniden düzenleşim işleminde kullanılan bir diğer bağlantı türü ise TCT bağlantı yapısıdır. Bu bağlantı türünde paneller öncelikle birbirine paralel olarak bağlanmaktadır. Gerçekleştirilen bu işlemde elde edilen bloklara modül adı verilmektedir. Bu bağlantı işleminin ardından birbirine paralel olarak bağlı paneller seri olarak bağlanmaktadır. Başka bir deyişle ilk aşamada oluşturulan modüller sonraki aşamada birbirine seri olarak bağlanmaktadır. Yapılan bu işlem ile TCT bağlantı yapısı elde edilebilmektedir.

Şekil 2.6’da TCT bağlantı yapısının ne şekilde oluşturulduğu adım adım verildiği gibidir. Şekilden de görülebileceği üzere PV paneller ilk olarak birbirine paralel bağlanarak modülleri oluşturmakta, modüller ise birbirine seri bağlanarak TCT bağlantı yapısını meydana getirmektedir.



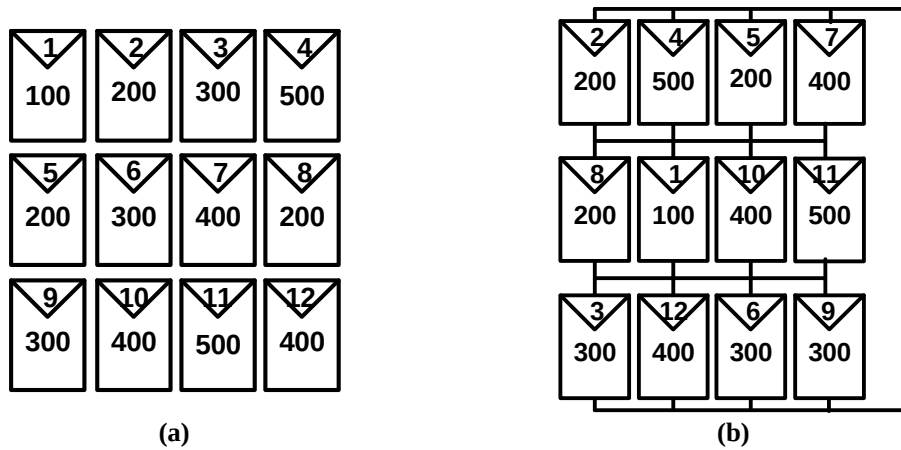
Şekil 2.6. TCT bağlantı düzeninin elde edilmesi (a) Bağlantısız PV paneller (b) Paralel bağlanmış paneller (c) Paralel modüllerin seri bağlanması [48]

Anahtarlama matrisi S&P bağlantı türünde olduğu gibi TCT bağlantı türünde de kullanılmaktadır. Kullanılan bu yapı ile panellerde herhangi bir fiziksel yer değiştirmeye gerek kalmadan tamamen elektriksel bağlantılar değiştirilerek paneller üzerinde meydana gelen gölgelenmeler farklı noktalara taşınabilmektedir. Bu sayede paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmelerin negatif etkileri en asgariye çekilebilmektedir. TCT bağlantı yapısında S&P bağlantı türünden farklı olarak modüllerin eşit veya eşite yakın ışıma yapması beklenmektedir. Bu sayede enerji verimliliği sağlanabilmektedir. S&P bağlantı türü için verilen kısmi gölgelenme örneği TCT bağlantı türü için oluşturulduğunda Şekil 2.7’de verilen durum meydana gelmektedir.



Şekil 2.7. Örnek bir kısmi gölgelenme senaryosu (a) Yeniden düzenlemeden önce (b) Yeniden düzenlemeden sonra

TCT bağlantı türüne sahip PV sistemlerde yeniden düzenleşim işlemi yapılırken modüllerin eşit veya eşite yakın ışıma yapması prensibine göre düzenleme yapılmaktadır. Yapılan bu işlem neticesinde sistemden elde edilen verim maksimize edilebilmektedir. Bu hedef doğrultusunda incelendiğinde örnek bir senaryo ve bu senaryoya göre TCT bağlantı şeması için yeniden düzenleşim işleminden sonra elde edilen sonuç Şekil 2.8’de verildiği gibidir.

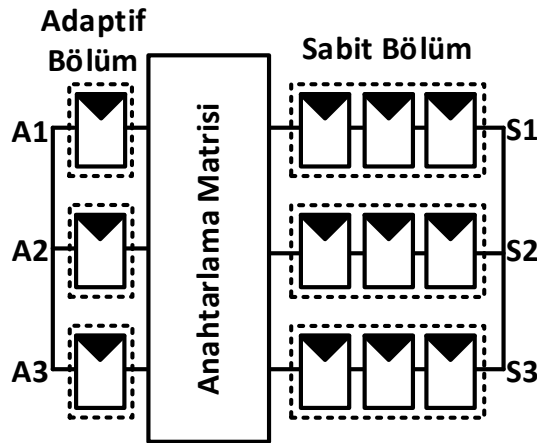


Şekil 2.8. TCT bağlantı düzeni için (a) Yeniden düzenlemeden önce (b) Yeniden düzenlemeden sonra

2.3. S&P Bağlantı Yapısı için Anahtarlama Matrisi

Yeniden düzenleşim işleminde anahtarlama matrisleri oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Tamamen rölelerden oluşan ve panellerin elektriksel bağlantılarını değiştirmeye yarayan bu yapı sayesinde herhangi bir fiziksel yer değiştirmeye gerek kalmadan panellerin konumları arka planda değiştirilebilmektedir. Bu duruma da bağlı olarak tam veya kısmi gölgelenmelerin meydana getirmiş olduğu etkiler en aza indirilebilmektedir. Bölüm başından beri belirtildiği üzere PV sistemlerde temel olarak iki bağlantı yapısı vardır. Fakat yeniden düzenleşim işlemi bu her iki bağlantı türüne de uygulanabilmekte ayrıca aynı anahtarlama matrisi yine bu her iki tür için kullanılabilmektedir.

Anahtarlama matrisinin temel görevi panelleri adaptif ve sabit olmak üzere gruplara ayırmaktadır. Bu çerçevede adaptif paneller anahtarlatabilen başka bir deyişle konumu değiştirilebilen paneller iken, sabit paneller ise üzerinde herhangi bir değişiklik yapılamayan panellerdir. Anahtarlama matrisi temel olarak panelleri iki gruba ayırdığından, matrisin sağında ve solunda kalan paneller tek bir grup olarak değerlendirilebilmektedir. Bu amaçla örnek bir S&P bağlantı düzenine sahip sistemde anahtarlama matrisinin kullanımı gösteren bir blok diyagram şekil 2.9’da verildiği gibidir.



şekil 2.9. S&P bağlantı düzeninde anahtarlama matrisi kullanımı [48]

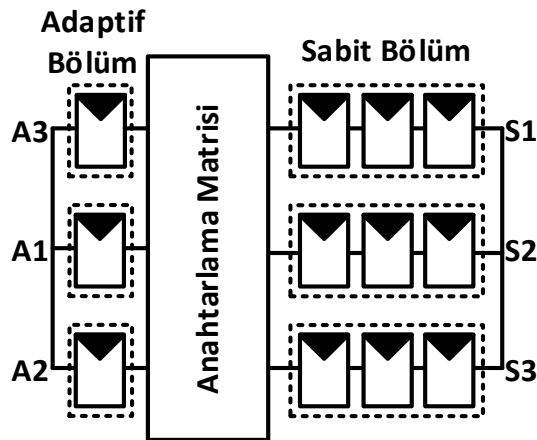
şekilden de görülebileceği üzere anahtarlama matrisi temel olarak sistemi adaptif ve sabit olmak üzere iki kısma ayırmış durumdadır. Ayrıca yine şekilden görülebileceği üzere sabit bölümdeki her bir dizi 3 adet PV panelden meydana gelmektedir. Fakat yapılan işlemlerde

kolaylık oluşturması açısından her bir seri diziye sırasıyla S1, S2 ve S3 adı verilmiştir. Bu işlemin temel sebebi anahtarlama matrisi kullanımı sonucunda meydana gelebilecek muhtemel kombinasyonları rahatlıkla hesaplayabilmektir. şekil 2.9’da verilen rnek S&P bağlantı düzeni senaryosu için anahtarlama matrisi kullanımı sonucu ortaya çıkabilecek olası kombinasyonlar şekil 2.10’da verildiği gibidir.

A1 S1	A1 S1	A2 S1
A2 S2	A3 S2	A1 S2
A3 S3	A2 S3	A3 S3
A2 S1	A3 S1	A3 S1
A3 S2	A1 S2	A2 S2
A1 S3	A2 S3	A1 S3

şekil 2.10. S&P bağlantı türü için yeniden düzenleşim işleminde oluşabilecek kombinasyonlar

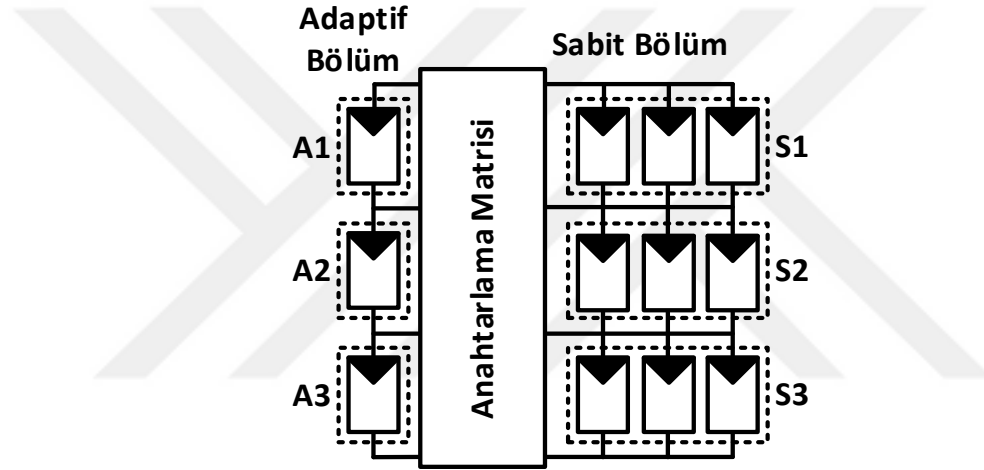
şekil 2.10’dan da görüleceği üzere adaptif bölüm sadece kendi içerisinde yer değişerek olası durumları meydana getirmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan birisi her bir adaptif bölümün (A1, A2 vs.) bir diğer sabit bölüme denk gelmesidir. Başka bir deyişle adaptif ve sabit bölüm arasında birebir şeklinde bir bağıntı mevcuttur. Bu durum S&P bağlantı düzeninin yapısından kaynaklanmaktadır. Bu sebepten bir diğer bağlantı türü olan TCT yapısında bu durumun üstesinden gelinmiştir. şekil 2.10’da verilen kombinasyonlardan bir tanesi için örnek bağlantı durumu şekil 2.11’de sunulduğu gibidir.



şekil 2.11. S&P bağlantı türü için yeniden düzenleşim işlemi [48]

2.4. TCT Bağlantı Yapısı için Anahtarlama Matrisi

Bölüm başından beri belirtildiği üzere yeniden düzenleme işleminde dikkate alınan bir diğer bağlantı türü TCT yapısıdır. Panellerin paralel olarak bağlanıp oluşturduğu modüllerin birbirine seri bir şekilde bağlanmasıyla elde edilen bu yapıda da yine aynı anahtarlama matrisleri kullanılarak değişiklik yapabilmek mümkündür. S&P bağlantı şemasına göre daha fazla esneklik sunan bu yapıda da paneller adaptif ve sabit bölüm olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Anahtarlama matrisinin TCT bağlantı düzeni için kullanımını gösteren örnek bir blok diyagram Şekil 2.12’de verildiği gibidir.



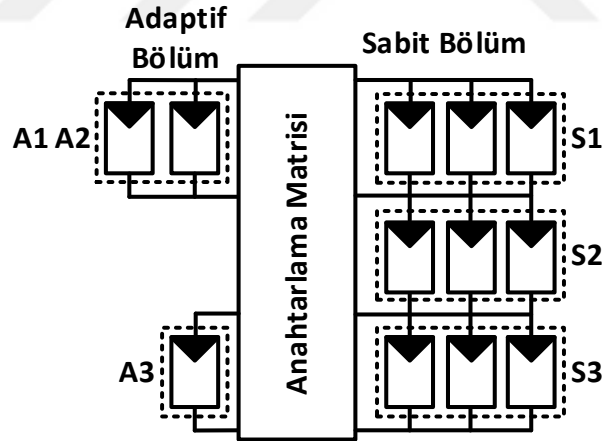
Şekil 2.12. S&P bağlantı düzeninde anahtarlama matrisi kullanımı [48]

Şekilden de görülebileceği üzere anahtarlama matrisinin kullanımı açısından S&P bağlantı türüne göre bir farklılık bulunmamaktadır. Fakat burada TCT’nin bağlantı yapısından ötürü meydana gelebilecek kombinasyonların sayısı bir hayli fazladır. Bunun sebebi ise aynı sabit bölüme birden fazla adaptif panelin bağlanabilmesidir. Başka bir deyişle adaptif bölümde bulunan A1, A2 ve A3 panellerinin tamamı S1 modülüne bağlanabilmektedir. Yine farklı bir örnek olarak A2 ve A3 panelleri S3 modülüne beraber bağlanabilirken A1 ise S2 modülüne bağlanabilmekte ve S1 modülü boşta kalabilmektedir. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında Şekil 2.12’de verilen örnek için ortaya çıkabilecek muhtemel kombinasyonların sayısı toplam 36’dır. Şekil 2.13’de bu olası kombinasyonlardan sadece belirli bir kısmı sunulmuştur.

A1 A2 S1 -- S2 A3 S3	A1 S1 A3 S2 A2 S3	A2 S1 A1 S2 A3 S3
-- S1 A2 A3 S2 A1 S3	A1 A2 A3 S1 -- S2 -- S3	

Şekil 2.13. TCT bağlantı türü için yeniden düzenleşim işleminde oluşabilecek kombinasyonlar

TCT bağlantı türünde anahtarlama matrisi kullanımıyla oluşabilecek muhtemel kombinasyonların sayısı oldukça fazladır. Ayrıca bu ihtimaller göz önüne alındığında TCT bağlantı şemasının S&P bağlantı türünü de kapsadığı görülecektir. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında TCT bağlantı türünün kullanımı daha uygun görünse de sistem kablolamasındaki karmaşıklık, kayıp ve maliyet TCT bağlantı türündeki dezavantajlardan bazılarıdır. Şekil 2.14’de TCT bağlantı türü için örnek bir yeniden düzenleşim işleminden sonraki durum gösterilmektedir.



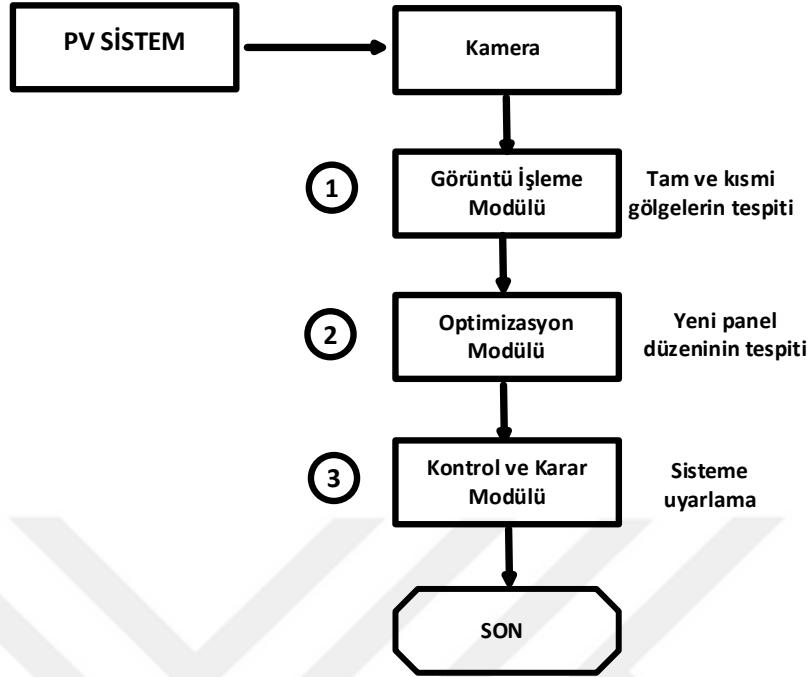
Şekil 2.14. TCT bağlantı türü için yeniden düzenleşim işlemi [48]

3. GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE YENİDEN DÜZENLEŞİM YAKLAŞIMI

Tez çalışması kapsamında önerilen görüntü işleme tabanlı yeniden düzenleşim yaklaşımı ile PV sistemlerde yeniden düzenleşim işlemlerine farklı bir bakış açısı getirilmiştir. Önceki bölümlerde de verildiği üzere PV paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenme durumları panellerden elde edilebilen maksimum enerji seviyesine oldukça asgariye indirmektedir. Bu durumun üstesinden gelebilmek amacıyla sisteme ya MPPT algoritmaları uygulanmakta veya nispeten daha yeni bir yaklaşım olan yeniden düzenleşim algoritmaları sisteme uygulanmaktadır. Ortaya konan bu tez çalışmasında da yeniden düzenleşim işlemlerine odaklanılmış olup, klasik sistemlere göre farklı bakış açıları getirilerek sistemden elde edilen verimin artırılması amaçlanmıştır.

Tez çalışması süresince ortaya konan yeniden düzenleşim sistemi temel olarak 3 ana modülden meydana gelmektedir. Bunlar sırasıyla görüntü işleme modülü, optimizasyon modülü ve kontrol-karar modülüdür. Bu çerçevede yapılan çalışmalarda görüntü işleme ile panellerin üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmeler tespit edilmekte ve bu gölgelerin grilik seviyeleri çıkarılmaktadır. Elde edilen bu grilik seviyelerine göre panellerin yapmış oldukları ısıma seviyeleri tespit edilmekte ve bu değerler daha sonra değerlendirilmek üzere optimizasyon modülüne gönderilmektedir. Optimizasyon modülünde ise genetik algoritmalar kullanılmıştır. Genetik algoritma ile S&P veya TCT bağlantı yapısına göre yeni panel düzeni belirlenmektedir. Yapılan bu işlem ile yeniden düzenleşimden sonra enerji verimliliğinin artırılması amaçlanmaktadır. Tüm bu işlemlerin ardından ise kontrol ve karar modülü devreye alınmaktadır. Bu noktada da optimizasyon modülünden elde edilen yeni panel konfigürasyonu kontrol ve karar modülüne gönderilmektedir. Bu modül ile anahtarlama matrisinde bulunan röleler kontrol edilmekte ve yeni panel konfigürasyonu fiziksel olarak elde edilebilmektedir.

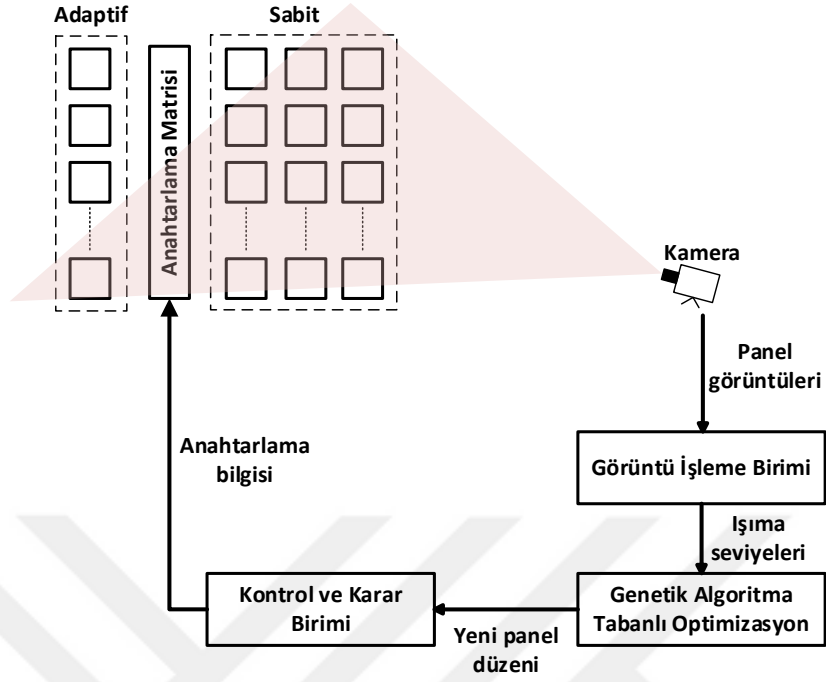
Önerilen yaklaşım temel olarak her türlü PV sisteme uygulanabilmektedir. Ayrıca bu yeni yaklaşım ile sistemlerde herhangi bir fiziksel veya donanımsal değişikliğe gerek bulunmamaktadır. Bu durum da önerilen yaklaşımın en önemli avantajlarından birisidir. Ayrıca sistemde optimizasyon modülünün kullanılması en uygun panel düzeninin tespit edilmesi açısından oldukça kolaylık sağlamaktadır. Tez kapsamında gerçekleştirilen görüntü işleme tabanlı yeniden düzenleşim yaklaşımının akışını özetleyen bir blok diyagram Şekil 3.1’de verildiği gibidir.



Şekil 3.1. Önerilen yeniden düzenleşim yaklaşımı

Şekil 3.1’den de görülebileceği üzere sistem bir kamera aracılığıyla sürekli olarak izlenmektedir. Kameradan alınan görüntü verileri ise görüntü işleme modülüne aktarılarak paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmeler tespit edilmektedir. Bu işlemin esas amacı panellerin yapmış olduğu ışığa miktarlarının tespit edilmesidir. Buradan elde edilen veriler optimizasyon modülüne aktarılarak genetik algoritmanın optimal panel düzenini tespit etmesi sağlanmaktadır. Bu sayede yeni panel konfigürasyonu belirlenmekte ve enerji verimliliğinin sağlanması için ilk adım sağlanmış olmaktadır. Son adımda ise kontrol ve karar modülü devreye girerek sistemde bulunan anahtarlama matrisine yeni düzen bilgisini göndermekte ve optimal çözümü PV sistemine uygulamaktadır. Yine sistemin bünyesinde barındırdığı argümanları ve bunların arasındaki ilişkiyi gösteren bir blok diyagram Şekil 3.2’de sunulduğu gibidir.

Sistem maliyeti oldukça düşük olduğundan ve karmaşıklık yapısı az olduğundan önerilen yaklaşım kullanılabilirlik açısından oldukça verimlidir. Ayrıca test sürecinde yapılan deneysel çalışmalar sistemin verimliliğini ortaya koymuştur. Bu bölümde her bir modül alt başlıklar halinde verilecek olup, önerilen yaklaşım detaylarıyla sunulacaktır.

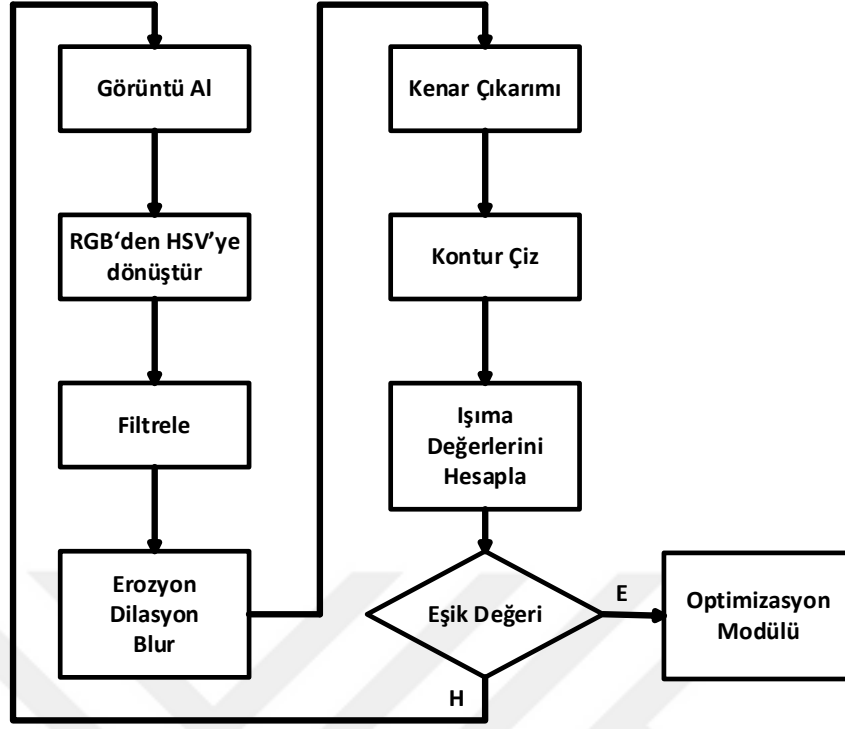


Şekil 3.2. Önerilen sistemin fiziksel işleyişi

3.1. Görüntü İşleme ile Tam veya Kısmi Gölgeleme Tespiti

Önerilen yeniden düzenleme yaklaşımının en önemli kısımlarından birisi görüntü işleme bölümüdür. Bu bölümde PV paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmeler tespit edilerek gerekli bilgi optimizasyon modülüne gönderilmektedir. Yapılan işlem temel olarak panellerin ışıma bilgilerinin elde edilmesidir. Bu sayede sistemde kullanılan akım sensörlerine gerek kalmadan gerekli işlemler yürütülebilmektedir. PV sistemlerde yeniden düzenleme işlemini yürütebilmek için genellikle kısa devre akımları veya ışıma değerleri kullanılmaktadır. Çünkü kısa devre akımı değerleri ve ışıma değerleri birbirine doğru orantılı olarak etki etmektedir.

Önerilen yaklaşımda panellerden elde edilen ışıma değerlerini ölçebilmek için tam zamanlı çalışan bir kamera sistemi kullanılmaktadır. Ayrıca bu kameradan gelen görüntüleri işleyebilmek ve gerekli bilgiyi elde edebilmek için ARM tabanlı bir kontrol kartı kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen tüm işlemler bu kontrol kartı üzerinde uygulanmakta ve tam veya kısmi gölgelenmelerden ışıma bilgisi çıkarılmaktadır. Tez süresince gerçekleştirilen bu görüntü işleme algoritmasını özetleyen bir blok diyagram Şekil 3.3’de sunulduğu gibidir.



Şekil 3.3. Önerilen yaklaşımda kullanılan görüntü işleme modülü

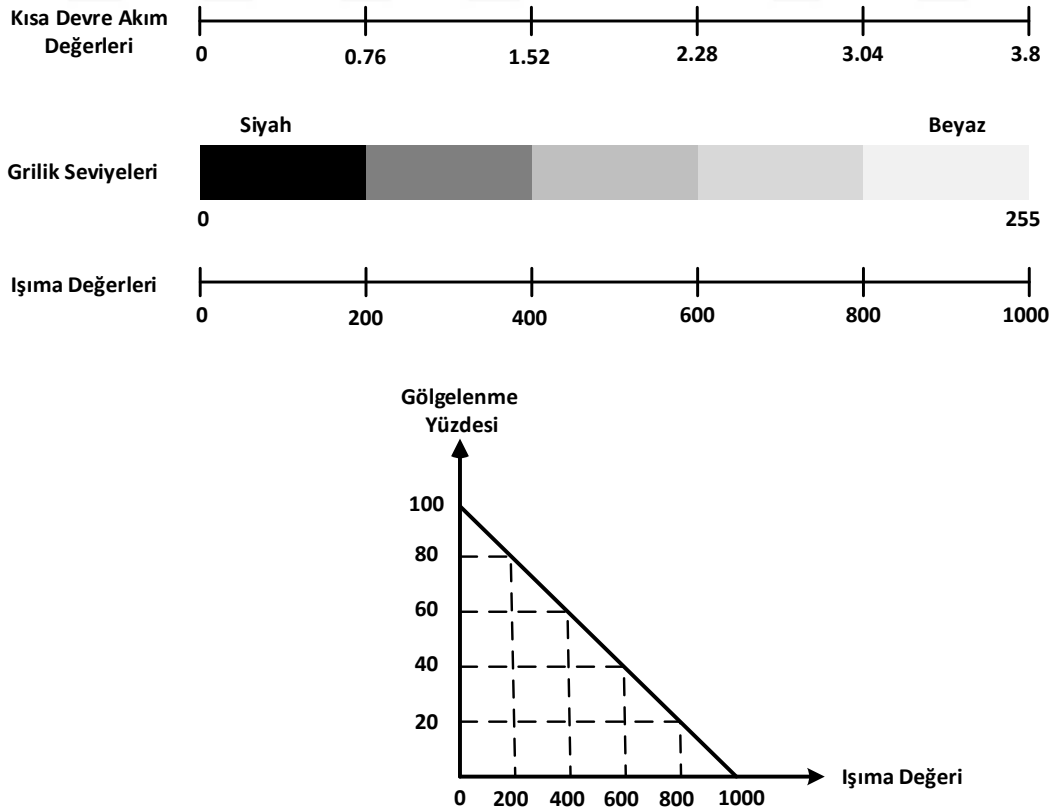
Görüntü işleme modülü temel olarak 8 adımdan meydana gelmektedir. Bu adımlar maddeler halinde aşağıda özetlendiği gibidir:

- ➔ **Görüntü Al:** Bu işlem PV sistemin bütünü izleyen bir kamera ile alınan görüntü ifade etmektedir. Bu süreçte kamera aracılığıyla sistem izlenmekte ve belirli aralıklarla görüntü kareleri alınmaktadır.
- ➔ **RGB'den HSV'ye dönüştür:** Bu işlemde kamera aracılığıyla alınan RGB formattaki görüntü HSV renk uzayına çevrililmektedir. Bu işlemin yapılmasının sebebi görüntüdeki gölgelenmeleri daha net tespit etmektir. Bu işlem sayesinde paneller üzerinde meydana gelen gölgelenmeler daha net olarak ortaya çıkarılabilmektedir.
- ➔ **Filtreleme:** Gerçekleştirilen bu işlemde görüntüdeki gürültülerin kaldırılması ve görüntünün netleştirilmesi işlemleri uygulanmaktadır. Ayrıca görüntüye çeşitli morfolojik işlemler uygulanarak gölgelenmelerin belirginleştirilmesi sağlanabilmektedir.
- ➔ **Erozyon, Dilasyon, Blur:** Yine görüntü işleme modülünde gerçekleştirilen bu işlemde gölgelenmelerin belirginleştirilmesi amacı güdülmektedir. Görüntüdeki gölgelenmelere bu işlemler belirli oranlarda uygulanarak sonucun belirgin hale getirilmesi hedeflenmektedir.

- **Kenar Çıkarımı:** Görüntü işleminde kullanılan en önemli adımlardan birisi olan kenar çıkarımında belirginleştirilen gölgelenmelerin kenarlarının tespiti işlemi yapılmaktadır. Bu süreçte Canny kenar tespit algoritması yöntemi kullanılmıştır. Bu işlemin yapılmasının temel amacı gölgelenmeleri arka plan görüntüsünden ayıklayarak panellerin grilik düzeylerini belirlemektir. Ayrıca yapılan bu işlem neticesinde eş zamanlı olarak elde edilen görüntüler üzerinde gölgelenmeler net bir şekilde işaretlenebilmektedir.
- **Kontur Çiz:** Yapılan bu işlemde kenar çıkarımı bölümünden elde edilen sonuçlar ana görüntü üzerinde çizilmektedir. Bu sayede gerçek zamanlı olarak gölgelenmelerin hareket durumu, ebatları ve hangi koordinatlarda oldukları rahatlıkla işaretlenebilmektedir.
- **Işıma Değerini Hesapla:** Gerçekleştirilen bu işlemde panellerin grilik düzeyinin tespiti yapılmaktadır. Paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmeler tespit edildikten sonra, bu gölgelenmeler arka plandan ayıklanmakta ve salt gölgelenmeler meydana çıkarılmaktadır. Bu işlemin ardından daha önceden yapılan kalibrasyon çalışmaları neticesinde elde edilen hesaplamalara göre ışıma değerleri tespit edilmektedir.
- **Eşik Değeri:** Bu ifade bir şart cümlesidir. Buradaki amaç panel üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmenin geçici olup olmadığının tespit edilmesidir. Başka bir deyişle bir örnek verilecek olursa, havada uçan bir kuş veya panellerin önüne gelen bir nesne veya bulutların hareket etmesi sonucu paneller üzerinde gölgelenmeler meydana gelebilmektedir. Fakat bu gölgelenmeler genellikle kalıcı nitelikte olmayıp belirli süre içerisinde geçen veya kaybolan gölgelenmelerdir. Bu nedenle bu gibi durumlarda sistemde gereksiz hesaplama yapmak ve buna bağlı olarak anahtarlama matrisini devreye almak oldukça gereksiz ve enerji kaybına sebep olan bir durumdur. Bu durumun önüne geçebilmek için sisteme bu şekilde bir kontrol mekanizması yerleştirilmiş ve tamamen kullanıcı tanımlı eşik değerlerine göre gölgenin kalıcı olup olmadığına karar verilmesi sağlanmıştır. Bu şart ifadesine göre eğer gölge kalıcı ise elde edilen ışıma değerleri bilgisi optimizasyon modülüne iletilmektedir. Aksi durumda ise (geçici gölgelenme veya gölgelenme olmayan durumlar) sistem tekrar başa dönmekte ve kamera yeni bir görüntü karesi alarak almış olduğu bu yeni görüntüye görüntü işleme adımlarını uygulamaktadır.

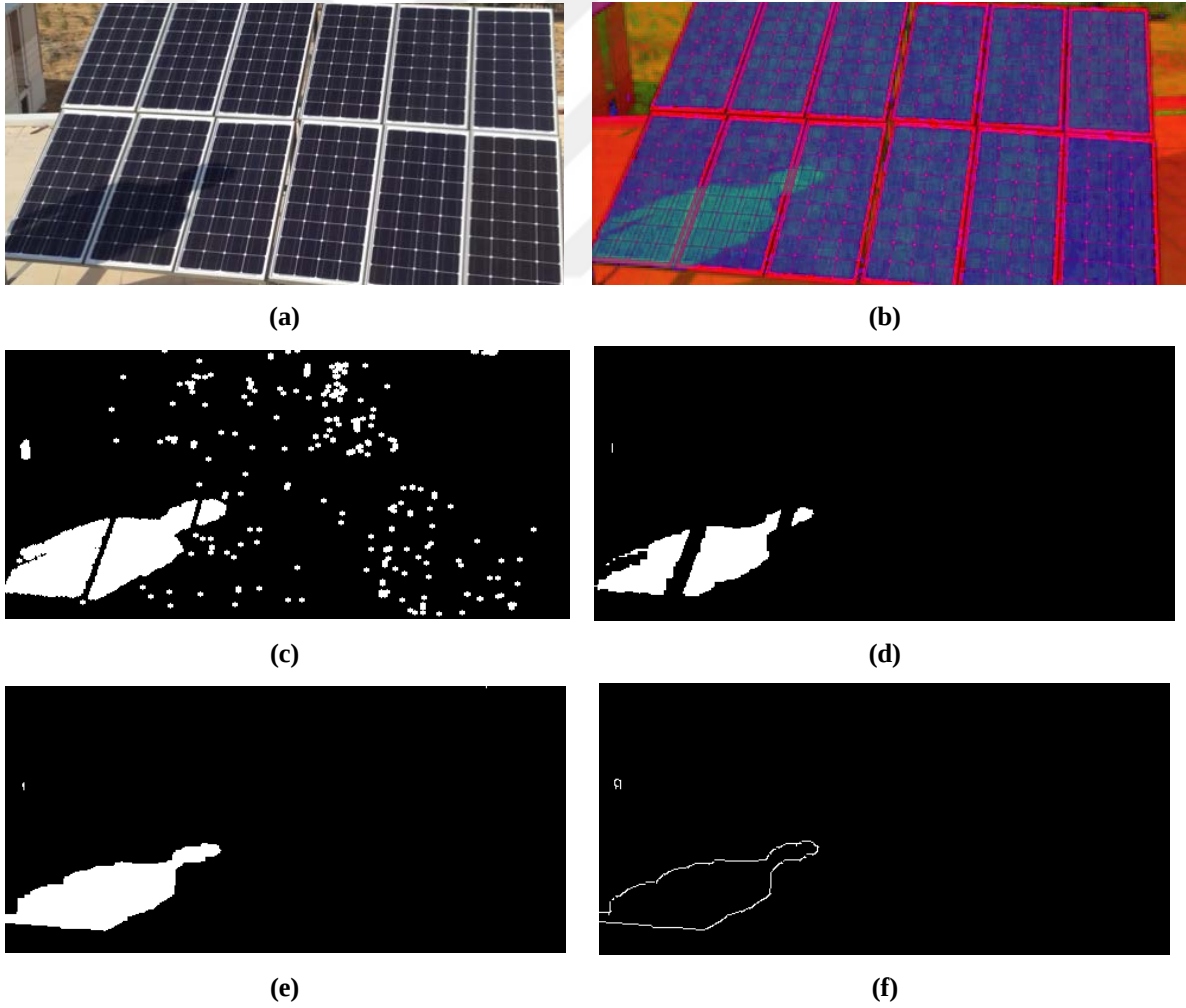
Bölüm başında da belirtildiği üzere yeniden düzenleme işleminde temel olarak 2 parametreye dayanarak işlemler yapılmaktadır. Bunlar sırasıyla kısa devre akımları ve ışıma değerleridir. Bilindiği üzere kısa devre akımları ve ışıma değerleri arasında paralel bir ilişki vardır. Başka bir deyişle bu değerler doğru orantılıdır ve bu durum dikkate alınarak işlemlerde kolaylık sağlanabilmektedir. PV sistemlerin neredeyse tamamında akım sensörleri kullanılmaktadır. Tez çalışması süresince de yapılan işlemlerde bu akım sensörlerinden faydalanılmıştır. Yapılan işlemlerde görüntü işleme sonucu elde edilen ışıma değerlerinin doğrulanması kısa devre akımlarının kontrol edilmesi ile sağlanmaktadır. Bu sayede sistemin kalibrasyonu sağlanmış ve test işlemleri daha doğru bir şekilde yürütülmüştür.

Görüntü işleme ile panellerin grilik düzeyleri belirlenmektedir. Bu grilik düzeyleri kullanılarak panellerin ışıma değerleri elde edilebilmekte buna bağlı olarak da kısa devre akımları sağlanabilmektedir. Önerilen bu yeni yaklaşım sayesinde akım sensörlerinin de kullanımına gerek kalmadan gerekli hesaplamalar rahatlıkla yapılabilmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda görüntü işleme tabanlı ışıma değerlerinin elde edilmesini gösteren bir grafik Şekil 3.4’de verildiği gibidir.



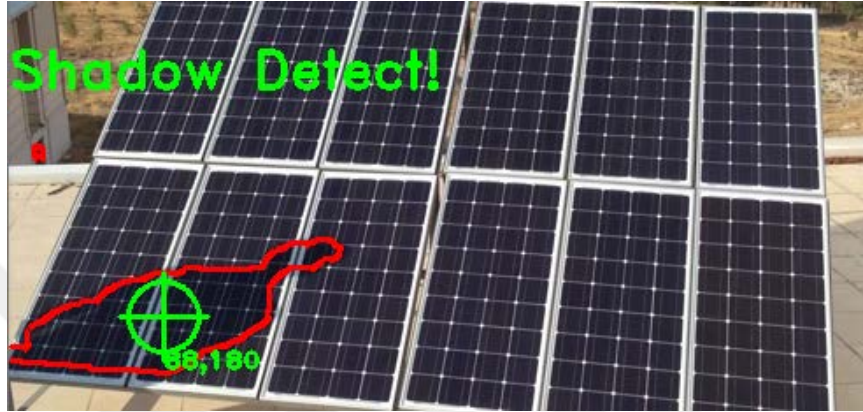
Şekil 3.4. Kısa devre akımları, grilik düzeyi ve ışıma değerleri arasındaki ilişki

Şekil 3.4'den de görülebileceği üzere kısa devre akımları 0 ile 3.8 arasında değişmektedir. Başka bir deyişle panel gölgesiz olduğunda tam seviyede akım üretirken diğer yandan tam seviyede de ısıma yapmaktadır. Gri renk seviyeleri ise 0 ile 255 arasında değişmektedir. Bu skalaya göre gerekli ölçeklendirme yapılarak kısa devre akımları ve ısıma değerleri arasındaki doğrudan ilişki sağlanmış durumdadır. Gölgeleme yüzdesi kavramı ise bir panel yüzde kaç oranında gölgeli durumda bulunduğu bilgisinin elde edilmesi için kullanılmaktadır. Yapılan tüm bu işlemler neticesinde paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmeler rahatlıkla tespit edilebilmekte ve buna bağlı olarak yürütülen algoritmalar sayesinde bu gölgelenmelerin meydana getirmiş olduğu negatif etkiler bertaraf edilebilmektedir. Ayrıca Şekil 3.3'de verilen akış diyagramı özetleyen örnek bir senaryo Şekil 3.5'de sunulmaktadır.



Şekil 3.5. Örnek bir görüntü işleme senaryosu (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Erozyon (d) Dilasyon (e) Opening işlemi (f) Canny ile kenar çıkarımı

Şekil 3.5’den de görülebileceği üzere ilk yapılan işlem renk uzayı değişikliğidir. Renk uzayı değişikliğinin sağladığı en önemli avantaj gölgeyi daha belirgin hale getirmesidir. Bu durum halihazırda Şekil 3.5-(b)’de net bir şekilde görülebilmektedir. Geriye kalan işlemler ise gölgenin sınırlarını tam olarak belirleyebilmek ve meydana gelen gürültülerden arındırmak amacıyla kullanılmaktadır. Nihai olarak elde edilen sonuç görüntüsü ise Şekil 3.6’da verildiği gibidir.



Şekil 3.6. Görüntü işleme tabanlı tam veya kısmi gölgelenme tespiti

Şekil 3.6’dan da görülebileceği üzere son işlem konturların çizilmesidir. Bu sayede gölgelenmenin ebatları net bir şekilde görülebilmektedir. Ayrıca gölgelenme yüzdesi Şekil 3.5-(e)’de verilen görüntü üzerinden hesaplanabilmektedir. Siyah piksellerin beyaz piksellere olan oranı bulunarak gölgelenme yüzde bulunabilmektedir. Yine Şekil 3.6’da verildiği üzere tam veya kısmi gölgelenmenin meydana geldiği noktanın merkez koordinat değerleri sistemde gösterilmektedir. Bu noktada panellerin merkez koordinatları bilinmektedir ve bulunan gölgelerin merkez noktaları bu koordinatlar ile eşleştirilmektedir. Bu sayede gölgenin bulunduğu konum belirlenebilmektedir. Sistem gerçek zamanlı olarak çalışmaktadır. Ortaya konan görüntü işleme algoritması ARM tabanlı bir kontrol kartı üzerinde yürütülmektedir. Gerçek zamanlı olarak alınan görüntüler işlendikten ve gerekli bilgiler elde edildikten sonra, bu bilgiler optimizasyon modülüne gönderilmekte ve bu modül devreye alınmaktadır.

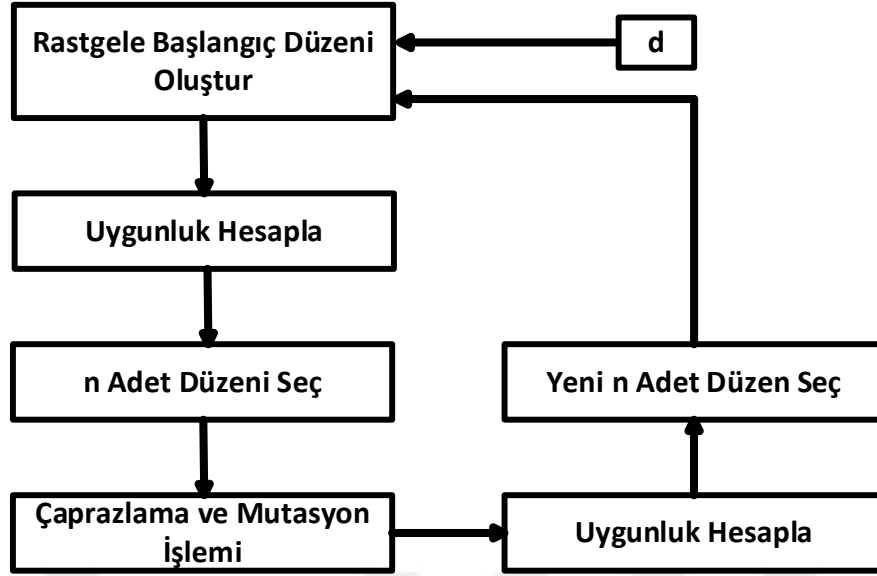
Görüntü işleme yaklaşımının getirmiş olduğu en önemli avantaj sistemin maliyetini ve karmaşıklığını azaltmasıdır. Sadece bir kamera ve kontrol kartı kullanılarak gerçekleştirilen bu işlem sadece akım sensörlerinin kullanıldığı sistemlere nazaran daha uygun ve kolay çözüm sunabilmektedir. Ayrıca bu yaklaşımın küçük veya büyük ölçekli tüm sistemlerde kullanılabilmesi sistemin bir diğer önemli avantajını oluşturmaktadır.

3.2. Genetik Algoritma ile Yeniden Düzenleşim Yaklaşımı

Tez süresince gerçekleştirilen çalışmaların bir diğer bölümü genetik algoritma ile yeniden düzenleşim işleminin gerçekleştirilmesidir. Bu bölümde görüntü işleme modülünden elde edilen veriler ışığında optimizasyon işlemi gerçekleştirilmekte ve elde edilen veriler kontrol ve karar birimine iletilmektedir. Bu süreçte optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritmalar tercih edilmiştir. Özellikle uygulanabilirliğinin kolay olması, hızlı çözüm üretmesi ve karmaşık yapıda olmaması en önemli tercih sebeplerindendir. Genetik algoritmalar literatürde birçok farklı alanda kullanılmakta ve tercih edilmektedir [46, 47]. Literatürde yoğun olarak kullanılmasının en temel sebebi büyük çözüm uzaylarında hızlı işlem yapabilmesidir. Çalışma prensibi sayesinde büyük boyutlu çözüm alanlarında en optimal sonucu büyük bir başarı oranı ile tespit edebilmektedir. Bu sebepten gerçekleştirilen bu tez çalışmasında da tercih edilmiştir. Önerilen yaklaşımın ikinci bölümünü oluşturan bu modül görüntü işleme modülünden ışıma değerlerini giriş parametresi olarak almaktadır. Daha sonrasında optimizasyon modülü bu ışıma değerlerine göre rastgele başlangıç popülasyonu oluşturmakta ve optimizasyon işlemini başlatmaktadır. Önerilen yaklaşımda da aktif olarak kullanılan bu yöntemin sözde kodu Şekil 3.7’de verildiği gibidir. Ayrıca bu optimizasyon yönteminin akış diyagramını gösteren bir blok diyagram Şekil 3.8’de sunulduğu gibidir.

- ① Kromozomlardan oluşan başlangıç popülasyonunu oluşturur.
- ② Kromozomların uygunlukları hesaplanır.
- ③ En iyi uygunluğa sahip n adet kromozom seçilir.
- ④ Seçilen n adet kromozomun benzerlik dereceleriyle doğru orantılı olarak, seçilen bireylerin çaprazlama işlemi gerçekleştirilir.
- ⑤ Kromozomlardan uygunluk derecesi yüksek olanlar daha az olacak şekilde mutasyona uğratılır.
- ⑥ Mutasyona uğramış kromozomların uygunluk dereceleri belirlenir.
- ⑦ En çok uygunluk derecesine sahip n adet kromozomun yeniden seçilmesi işlemi gerçekleştirilir.
- ⑧ En düşük uygunluk derecesine sahip d adet kromozomun yeni üretilen kromozomlar ile yer değiştirmesi işlemi gerçekleştirilir.

Şekil 3.7. Genetik algoritmanın sözde kodu



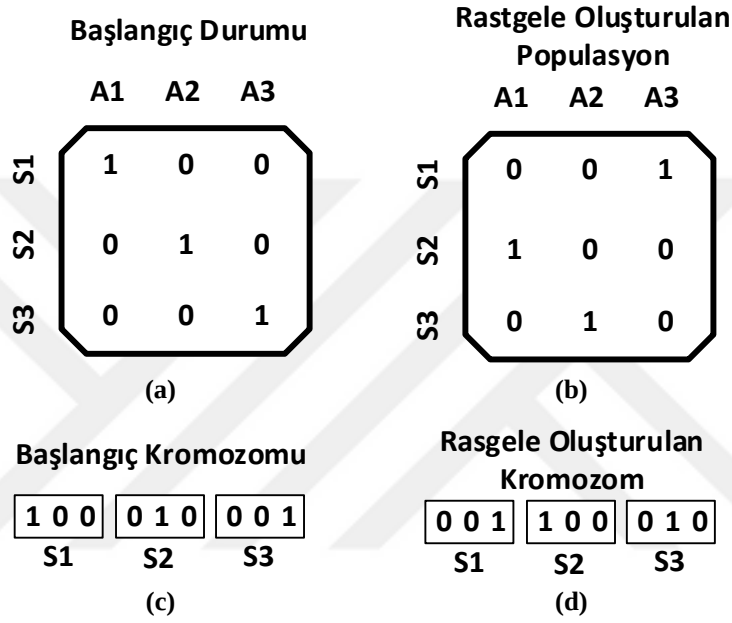
Şekil 3.8. Genetik algoritmanın akış diyagramı [51]

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen genetik algoritma tabanlı yeniden düzenleme yaklaşımının temel amacı PV sistemleri bağlantı türlerine göre yeniden düzenlemektir. Bu sayede tam veya kısmi gölgelenmelerin meydana getirmiş olduğu negatif etkiler minimize edilebilmektedir. Aşağıda maddeler halinde Şekil 3.8’de verilen sistemin işleyişi adım adım özetlenmektedir.

➔ **Rastgele Başlangıç Düzeni Oluştur:** Optimizasyon algoritmalarının neredeyse tamamında ilk aşamada bir popülasyon oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu rastgele popülasyonların uygunlukları hesaplanmakta ve iyi uygunluğa sahip bireyler kötülerle yer değişmektedir. Fakat bu işlemin yapılabilmesi için bir kodlama türünün belirlenmesi ve sistemin bu kodlamaya göre ifade edilmesi gerekmektedir. Literatürde permütasyon, ikilik kodlama gibi çeşitli teknikler mevcut bulunsada bu çalışmada ikilik kodlama tercih edilmiştir. Sistemde rastgele popülasyon oluşturulurken bağlantı türünden kaynaklı bazı kısıtlamalar mevcuttur. Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere S&P bağlantı türünde adaptif ve sabit paneller arasında birebir ilişki bulunmaktadır. Başka bir deyişle her bir adaptif panel bir sabit panele bağlanmak zorundadır. Bu durum göz önüne alındığında S&P bağlantı türü için kodlamaya örnek teşkil edecek bir senaryo ve kodlama durumu sırasıyla Tablo 3.1 ve Şekil 3.9’da verildiği gibidir.

Tablo 3.1. S&P bağlantı türü için örnek bir senaryo

Adaptif Panel	Sabit Panel
A_3	S_1
A_1	S_2
A_2	S_3



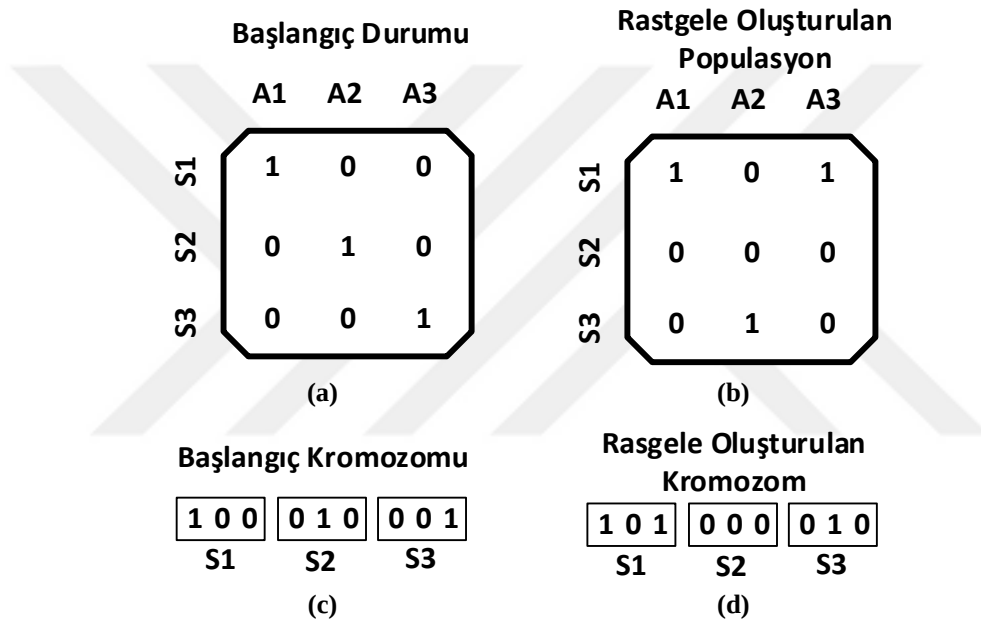
Şekil 3.9. S&P kodlama sistemi (a) Başlangıç durumu (b) Rastgele örnek popülasyon (c) Başlangıç Kromozomu (d) Rastgele oluşturulan kromozom

Şekil 3.9'dan da görülebileceği üzere sistem öncelikle başlangıç bağlantı durumundadır. Her bir sabit panele bağlanan adaptif panel 3 bit ile ifade edilmektedir. Bu bitlerden ilki birinci adaptif paneli, ikinci bit ikinci adaptif paneli ve artan şekilde diğer bitler diğer adaptif panelleri göstermektedir. Eğer bitin değeri 1 ise, o adaptif panelin belirlenen sabit panellere bağlandığını göstermektedir. Bu çerçevede düşünülerek rastgele bir popülasyon oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu popülasyonun sayısı sistemin büyüklüğüne göre değişebilmekte ve tamamen kullanıcı tanımlı bir değerdir. Nihai olarak tüm bitler bir araya getirildiğinde kromozomlar elde edilmektedir. Her bir kromozomdaki bitler toplandığında “1 1 1” değerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu durumun temel sebebi S&P bağlantı türünden kaynaklanmaktadır. Bölüm başında da belirtildiği üzere S&P bağlantı türünde adaptif ve sabit paneller birebir örtüşmektedir. Rastgele başlangıç popülasyonu da oluşturulurken bu durum göz önüne alınmakta ve popülasyon bu kısıtlamaya göre meydana

getirilmektedir. Ayrıca TCT bağlantı düzeni için örnek bir senaryo ve kromozom yapısı Tablo 3.2 ve Şekil 3.10'da sunulduğu gibidir.

Tablo 3.2. TCT bağlantı türü için örnek bir senaryo

Adaptif Panel	Sabit Panel
A_1A_3	S_1
---	S_2
A_2	S_3



Şekil 3.10. TCT kodlama sistemi (a) Başlangıç durumu (b) Rastgele örnek populasyon (c) Başlangıç Kromozomu (d) Rastgele oluşturulan kromozom

Şekilden de görülebileceği üzere TCT bağlantı türünde aynı anda birden fazla adaptif panel tek bir sabit satıra bağlanabilmektedir. Bu durum TCT bağlantı şemasının yapısından ileri gelmektedir. Ortaya konan bu yaklaşım ile TCT bağlantı düzeninde panellerden elde edilen verimin maksimize edilmesi amaçlanmaktadır. Tıpkı S&P bağlantı türünde olduğu gibi bu bağlantı türünde de populasyon sayısı kullanıcı tanımlıdır. Fakat TCT bağlantı türünde anahtarlama matrisine bağlı olarak elde edilebilecek muhtemel bağlantı sayısı fazla olduğundan ötürü populasyon boyutunun yüksek seçilmesi çözüm uzayında optimal çözümün bulunması açısından oldukça önemli olacaktır. Bu çerçevede önerilen yaklaşım sayesinde rastgele oluşturulacak kromozomlar ile hem S&P hem de TCT bağlantı türleri için optimal çözüm bulunabilmektedir.

→ **Uygunluk Hesapla:** Genetik algoritmaların çalışma performansını etkileyen en önemli parametrelerden birisi de şüphesiz uygunluk fonksiyonudur. Algoritmanın verimini doğrudan etkileyen ayrıca sistemin oldukça hızlı bir şekilde çözüm üretmesini sağlayan bu fonksiyonlar genellikle probleme özgü olup, en uygun sonucu bulmayı hedeflemektedir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında tam veya kısmi gölgelenmeye maruz kalmış panellerden maksimum verimi elde edebilmek amacıyla önerilmiş iki farklı uygunluk fonksiyonu bulunmaktadır. Bu fonksiyonlar sırasıyla S&P ve TCT bağlantı düzenleri için oluşturulmuş ve test edilmiştir. Bu duruma bağlı olarak oluşturulan fonksiyonlardan ilki S&P bağlantı türü için olup, bu işlemi gösteren ifadeler Denklem 3.1 ve 3.2’de sunulduğu gibidir.

$$PU_k = \sum_{i=1}^m \min(Dizi_i) \quad (3.1)$$

$$SOS = \max(PU_k) \quad (3.2)$$

$k = \text{Popülasyon Sayısı}$

$m = \text{Satır Sayısı}$

$PU = \text{Popülasyon Uygunluğu}$

$SOS = \text{S\&P için Optimal Seçim}$

Her iki denklemden de görülebileceği üzere sistemde öncelikle diziler içerisinde minimum ışımayı yapan panel bulunmaktadır. Her dizi için bu işlem yapıldıktan sonra bu dizilerin toplamı alınmakta ve popülasyon uygunluğu adındaki bir dizide depolanmaktadır. Tüm popülasyon için işlemler tamamlandığında popülasyon uygunluğu dizisindeki maksimum değer alınmakta ve böylelikle optimal çözüm tespit edilmektedir.

Bu denklemler kullanılarak S&P bağlantı düzeni için maksimum verimin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Denklemdaki temel amaç tam veya kısmi gölgelenmenin dizi üzerinde meydana getirmiş olduğu negatif etkiyi azaltmaktır. Bilindiği üzere S&P bağlantı düzeninde dizi içerisindeki panellerin eşit veya eşite yakın ışıma yapması beklenmektedir. Bu sebepten her dizi içerisindeki minimum ışıma değeri dikkate alınmakta ve bu dizilerdeki minimum değerler toplanmaktadır. Sonuç olarak toplam ne kadar yüksek ise sistemden elde edilen verim de o derece yüksektir.

Benzer durum TCT bağlantı durumu için oluşturulduğunda ise sırasıyla Denklem 3.3, 3.4 ve 3.5 elde edilmektedir.

$$MO_i = \frac{\sum_{j=1}^n I_j}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3.3)$$

$$PU_k = \sum_{i=1}^{m-1} |MO_{i+1} - MO_i| \quad (3.4)$$

$$TOS = \min(PU_k) \quad (3.5)$$

I = Işıma Değerleri

MO = Modül Ortalaması

m = Satır Sayısı

n = Sütun Sayısı

PU = Popülasyon Uygunluğu

TOS = TCT için Optimal Seçim

Denklemlerden de görülebileceği üzere TCT bağlantı düzeni için öncelikli olarak modüllerin ortalaması hesaplanmaktadır. Bu noktada bir modüldeki panellerin yapmış olduğu ışıma değerleri toplanmakta ve modül içerisindeki toplam panel sayısına bölünmektedir. Bu işlemin ardından ise modüllerin farkı alınmakta, alınan bu farkların toplamı elde edilmekte ve bu toplam değerleri popülasyon uygunluğu dizisinde depolanmaktadır. Son adımda ise bu dizideki minimum değer alınarak en iyi uygunluğa sahip yeni düzen tespit edilmektedir.

Önerilen bu uygunluk fonksiyonları sayesinde PV sistemlerde boyut ve bağlantı türü farkı olmaksızın tüm sistemlerde optimal çözüm hesaplanabilmektedir. Bu sayede tam veya kısmi gölgelenmelerin meydana getirmiş olduğu negatif etkiler ve enerji kayıpları minimum seviyeye indirilebilmektedir. Ayrıca Şekil 3.8’de verilen genetik algoritmanın akış şemasında yer alan “Uygunluk Hesapla” işlemlerinin her ikisi de verilen bu denklemleri kullanmaktadır. Yine belirtildiği üzere popülasyon boyutu tamamen kullanıcı tanımlı olup, genellikle PV sistemlerin boyutuna göre seçilmektedir. Uygunluk hesaplama işleminin ardından sırasıyla Seçim, Çaprazlama ve Mutasyon işlemleri gelmektedir.

→ **Seçim:** Genetik algoritmalarda seçim işlemlerinde farklı teknikler kullanılabilir. Bu yöntemlerden en bilineni rulet tekerleğidir. Fakat bu tez çalışması kapsamında elitizm yaklaşımı tercih edilmiştir. Başka bir deyişle mevcut popülasyon içerisinde en iyi uygunluğa sahip bireyler seçilmekte ve çaprazlama ile mutasyon işlemlerine tabi tutulmaktadır. Ayrıca bu noktada yapılan seçim işleminde kaç tane kromozomun kullanılacağı yine kullanıcıya bırakılmıştır. Fakat tez çalışması kapsamında yapılan testlerde bu değer genellikle iki adetle sınırlı tutulmuş ve çaprazlama ile mutasyon işlemleri bu iki kromozom üzerinden gerçekleştirilmiştir. Buna bağlı olarak genetik algoritmanın iterasyon sayısı arttırılmış ve optimal çözüme bu şekilde ulaşılabilmesi sağlanmıştır.

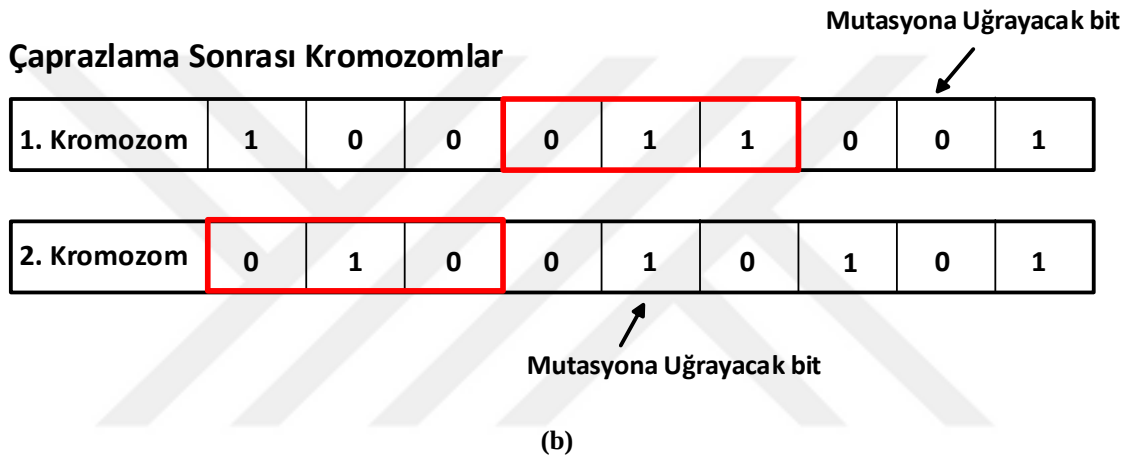
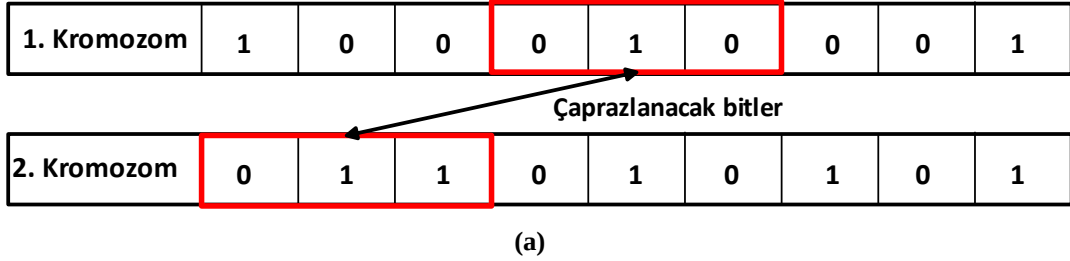
→ **Çaprazlama ve Mutasyon:** Çaprazlama ve mutasyon işlemleri genetik algoritmalarda kullanılan bir diğer önemli adımdır. Özellikle kromozomlardaki genler arasında yapılan değişimler ve yine gendeki herhangi bir bitin değiştirilmesi prensibine dayanan bu işlemler sayesinde popülasyonda çeşitlilik amaçlanmaktadır.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında çaprazlama işlemi iki noktalı çaprazlama olacak şekilde yapılmıştır. Ayrıca bu çaprazlama işleminde kullanılacak olan kromozomlar bir önceki adımda belirtilen elitizm yaklaşımına göre seçilmiş kromozomlardır. Başka bir deyişle en iyi uygunluğa sahip seçilmiş iki farklı kromozomdan meydana gelmektedir. Bu kromozomlar ebeveynler olup, çaprazlama sonucu çocuk kromozomlar elde edilmektedir. Bu çerçevede örnek bir senaryo için başlangıç kromozomlarını ve çaprazlama sonucu elde edilen çocuk kromozomları gösteren bir blok diyagram Şekil 3.11-(a) ve (b)'de sunulduğu gibidir. Çaprazlama sonrası ise mutasyon işlemi bu çocuk kromozomlara uygulanmaktadır. Mutasyon işlemi bir bireyi değişikliğe uğratarak çeşitlilik sağlanması amacıyla kullanılmaktadır. Fakat bu işlemde mutasyon oranı adında bir denklem tercih edilmektedir. Bu çerçevede sistemden rastgele bir değer üretilmesi sağlanmakta ve üretilen bu değer mutasyon oranı değerinden küçük olması durumunda kromozomlara mutasyon işlemi uygulanmaktadır. Bunun temel sebebi en iyi uygunluğa sahip bireylerin kaybolmasının önüne geçilmek istenmesidir. Yapılan bu işlem ile en iyi uygunluğa sahip bireyler korunurken, bunun yanında popülasyonda da çeşitlilik sağlanmış olacaktır. Bu oranı gösteren ifade Denklem 3.6'da sunulduğu gibidir. Ayrıca çocuk kromozomlara uygulanan mutasyon işlemini gösteren örnek bir blok diyagram Şekil 3.11-(c)'de verildiği gibidir.

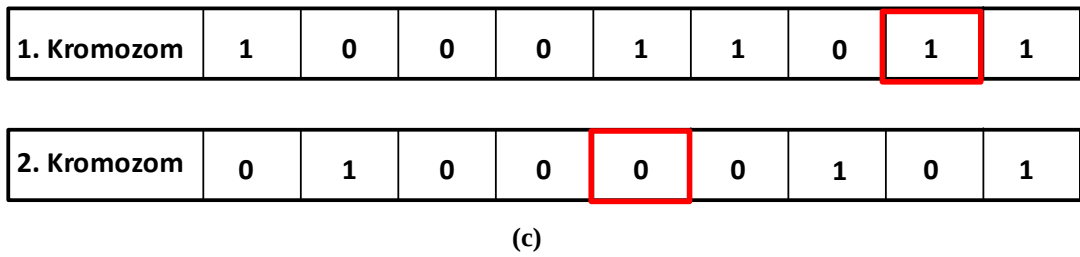
$$M_{rate} = e^{-p(PU_k/\max(PU_k))} \quad (3.6)$$

M_{rate} = Mutasyon Oranı

Başlangıç Kromozomları



Mutasyon Sonrası Kromozomlar

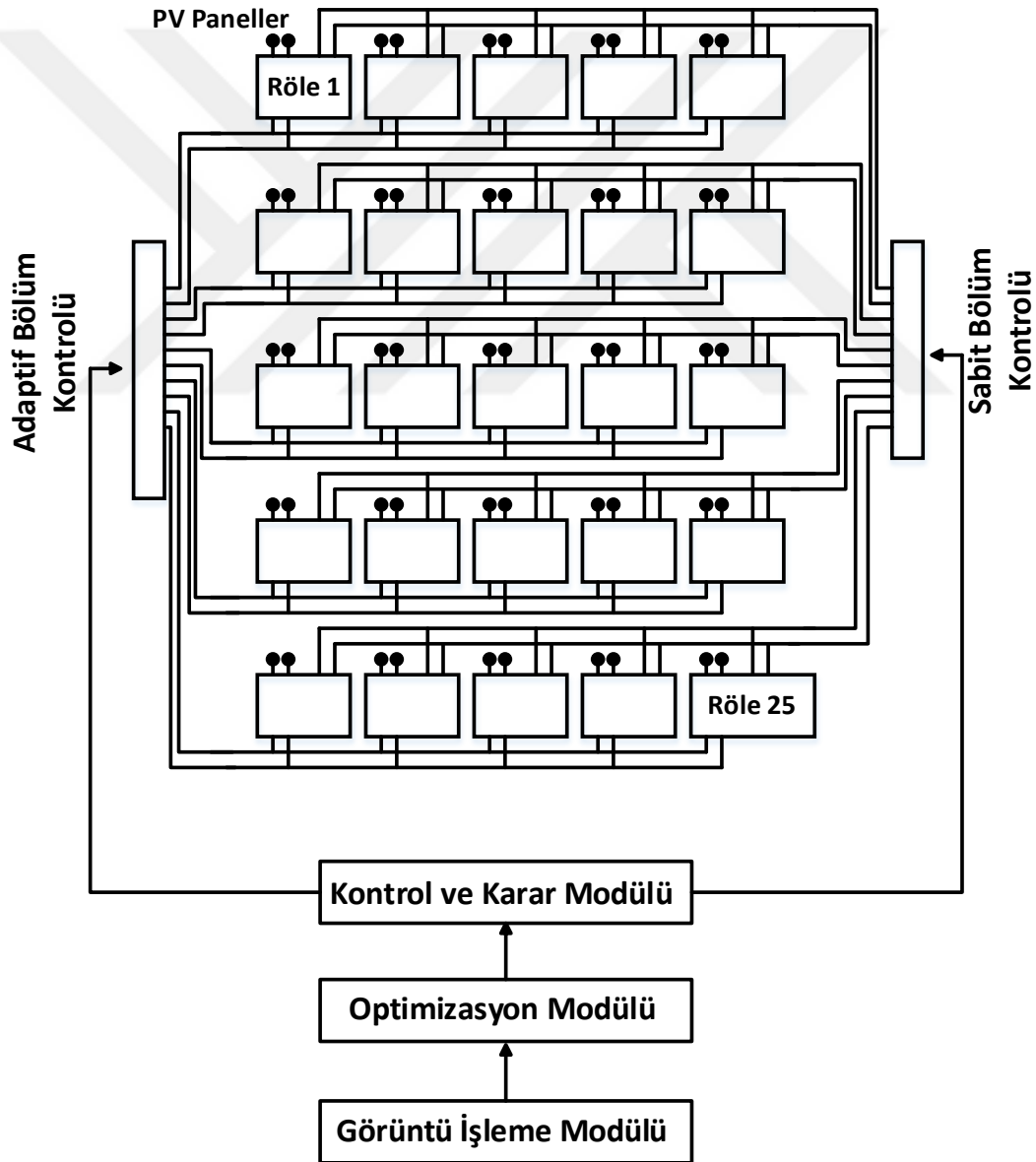


Şekil 3.11. Çaprazlama ve mutasyon işlemleri (a) Ebeveyn kromozomlar (b) Çocuk kromozomlar (c) Mutant kromozomlar

Tüm bu işlemlerin ardından tekrar uygunluk hesapla ve seçim işlemleri bu kromozomlara uygulanmaktadır. Uygunluk hesaplama işleminde verilen denklemler kullanılırken, seçim işleminde de diğer bölümde olduğu gibi elitizm yaklaşımı seçilmiştir. Son adımda gerçekleştirilen seçim işleminde ki amaç popülasyondaki kötü uygunluğa sahip bireyler ile en iyi uygunluğa sahip bireyleri değiştirmektir. Bu sayede popülasyondaki bireyler her bir iterasyonda giderek daha iyi uygunluğa ulaşacaklardır.

3.3. Kontrol ve Karar Modülü

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen son bölüm ise kontrol ve karar modülüdür. Bu bölümde optimizasyon modülünden alınan bilgiler anahtarlama matrisinin anlayacağı bir hale getirilmekte ve gerekli bilgiler sisteme gönderilmektedir. Çalışma süresince gerçekleştirilen anahtarlama matrisi 5x5 boyutundadır ve tamamen rölelerden meydana gelmektedir. Başka bir deyişle anahtarlama matrisine bağlı olan paneller elektriksel sinyaller gönderilerek kontrol edilebilmektedir. Bu çerçevede oluşturulan sisteme ait bir blok diyagram Şekil 3.12’de verildiği gibidir.



Şekil 3.12. Anahtarlama matrisi ve kontrol işlemleri

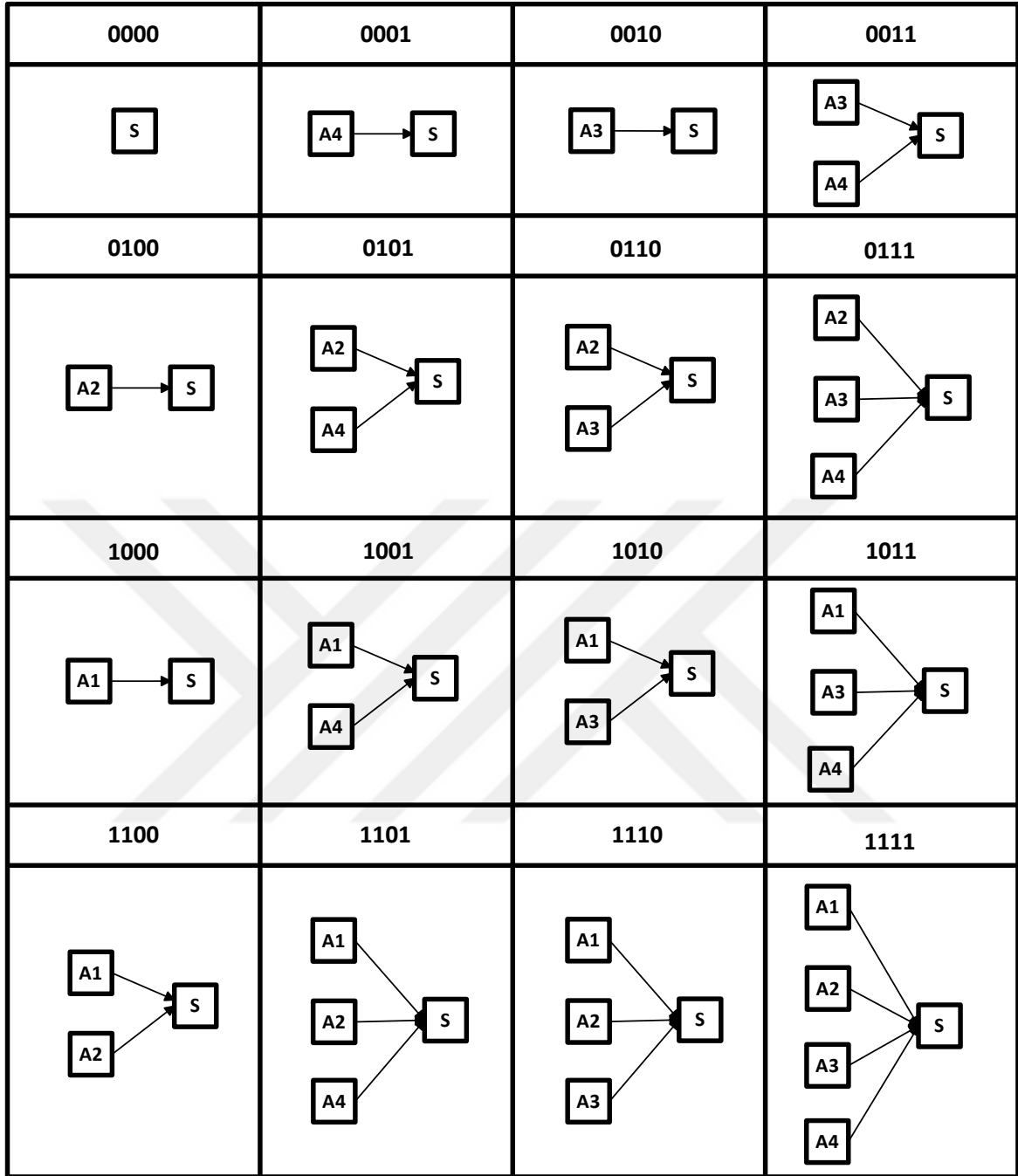
Şekil 3.12’den de görülebileceği üzere anahtarlama matrisi 25 adet röleden oluşmaktadır. Ayrıca sisteme bağlı adaptif ve sabit bölümleri ayrı ayrı kontrol edebilmek için iki adet denetleyici bulunmaktadır. Bu denetleyiciler ise kontrol ve karar modülüne bağlanmaktadır. Bu sayede bu modülden gelecek bilgilere göre anahtarlama matrisini kontrol edebileceklerdir.

Kontrol ve karar modülü, optimizasyon modülünden almış olduğu bilgiyi uygulanabilirlik ölçüsünde değerlendiren ve denetleyicilere aktaran kısımdır. Bir önceki bölümde de bahsedildiği üzere optimizasyon modülü en uygun panel düzenini tespit etmektedir. Ayrıca bu panellerin bağlantı şeması bitsel olarak ifade edilmektedir. Optimizasyon modülü bu bilgiyi hesapladıktan sonra kontrol ve karar modülüne iletmektedir. Kontrol ve karar modülü ise denetleyicileri ne şekilde konfigüre edeceğini belirlemekte ve daha sonra sistemi yeniden düzenlemektedir. Şekil 3.13’de dört adet adaptif panele sahip olan sistemin üretebileceği bitsel değerler ve bu değerlerin karşılığı olan bağlantı şemaları sunulmaktadır.

Tez çalışması kapsamında önerilen bu yaklaşımın en önemli avantajı tam veya kısmi gölgelenmelerin meydana getirmiş olduğu negatif etkilerin ortadan kaldırılabilmesidir. Önerilen bu yaklaşım sayesinde enerji verimliliği maksimum düzeye çıkarılabilmekte ve sistemden elde edilen güç miktarı arttırılabilmektedir. Çalışma kapsamında önerilen bu sistemin en önemli avantajları maddeler halinde aşağıda sunulduğu gibidir:

- Önerilen yaklaşımda gölgelerin miktarları ve konumları tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen görüntü işleme yazılımı ile tespit edilebilmektedir.
- Bu çerçevede sistemin gerekli kalibrasyon ayarları başlangıçta yapılmakta ve daha sonrasında sistem herhangi bir müdahaleye gerek kalmaksızın gerçek zamanlı olarak çalışabilmektedir.
- Sistemde temel olarak görüntü işleme yazılımları kullanıldığı için akım sensörü gibi sistemin maliyetini ve karmaşıklığını arttırabilecek unsurlar ortadan kaldırılabilir.
- Sistem yazılımsal olarak çalıştığı için küçük veya büyük ölçekli sistemlere rahatlıkla uygulanabilmekte ve herhangi bir ek maliyet getirmemektedir.
- Çalışma kapsamında gerçekleştirilen bir diğer modül olan optimizasyon modülü ile panellerin yeniden düzenleşimi sorunsuz bir şekilde sağlanabilmektedir.

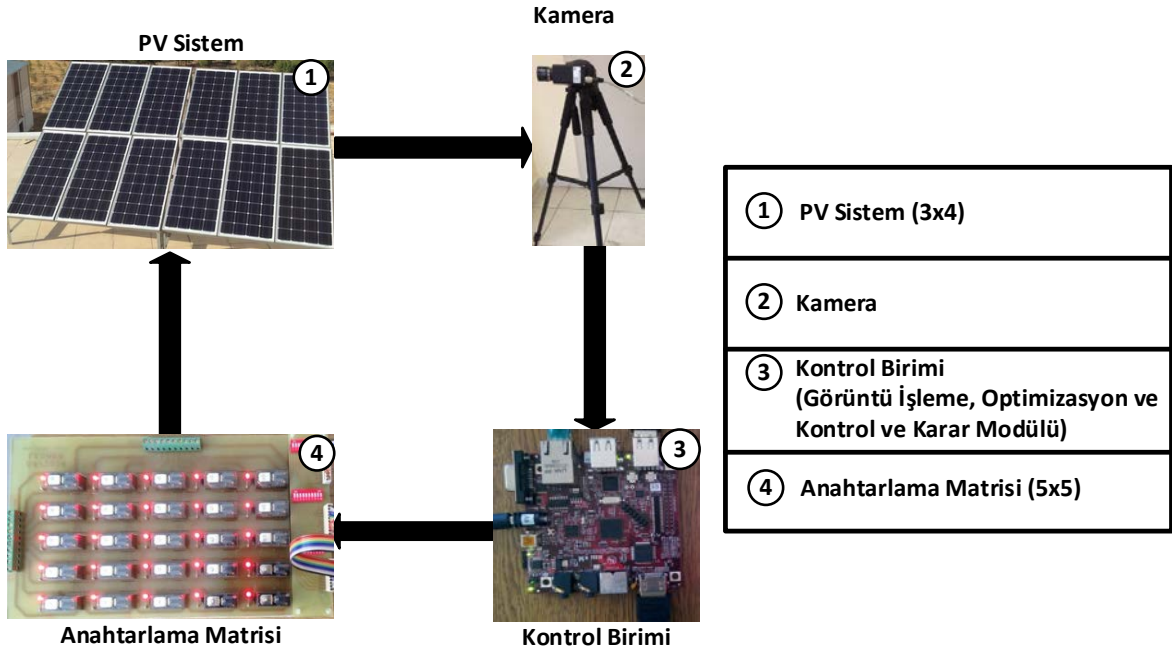
- Optimizasyon modülü bir hesaplama aracı olarak kullanıldığından sisteme herhangi bir yük getirmemekte ve tam veya kısmi gölgelenme koşullarında panellerin optimum düzenini tespit edebilmektedir.
- Optimizasyon modülünde kullanılan genetik algoritmalar sayesinde yeniden düzenleşim için çok hızlı ve etkili sonuçlar elde edilebilmektedir.
- Tıpkı görüntü işleme modülünde olduğu gibi bu bölümde hem küçük hem de büyük ölçekli sistemler için rahatlıkla kullanılabilir. Bu modülünde tamamen yazılımsal olması bu duruma olanak sağlayan en önemli etkenlerden birisidir.
- Diğer bölümler de bahsedildiği üzere PV sistemlerde temel olarak kullanılan iki bağlantı türü vardır. Tez çalışmada önerilen yaklaşım ve belirlenen uygunluk fonksiyonları sayesinde bağlantı türünden bağımsız olarak hem S&P hem de TCT bağlantı türleri için optimal bağlantı düzenleri hesaplanabilmektedir.
- Sistem modüler bir yapıya sahip olduğundan ötürü kullanıcıların uygunluk fonksiyonunu değiştirebilmesi olanağı mevcuttur. Bu sayede sistem geliştirilecek yeni algoritmalara rahatlıkla adapte olabilecektir.
- Sistemin son bölümü olan kontrol ve karar modülü ile anahtarlama matrisi kolaylıkla kontrol edilebilmektedir.
- Sistemde kullanılan anahtarlama matrisi ile panellerin yerleri herhangi bir fiziksel değişikliğe gerek kalmadan değiştirilebilmektedir. Bu sayede paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmelerin negatif etkileri azaltılabilmekte ve enerji verimliliği maksimum seviyeye çıkarılabilmektedir.
- Anahtarlama matrisinin tamamen rölelerden oluşması ve bu rölelerin kontrol ve karar modülü ile kontrol edilebilmesi sayesinde paneller istenildiği şekilde bağlanabilmektedir. Başka bir deyişle birbirinden farklı konumlarda olan paneller bir araya getirilebilmekte veya başka bir konuma taşınmak istenen paneller rahatlıkla taşınabilmektedir.
- Ayrıca sistemin bitsel olarak kontrol edilebilmesi sayesinde adaptif paneller kolaylıkla ifade edilebilmekte bunun yanında panellerin bağlantı şemasının da anlaşılabilmesi kolaylaşmaktadır.
- Önerilen yaklaşımın en önemli avantajı tamamen modüler ve esnek bir yapıda olmasıdır. Bu sayede yaklaşıma istenilen yeni modüller eklenebilir, değişiklik yapılabilir veya çıkartma işlemi gerçekleştirilebilir.



Şekil 3.13. Bitisel düzeyde adaptif panellerin sabit paneller ile bağlantısının ifade edilmesi

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında PV sistemler üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmelerin oluşturmuş olduğu negatif etkiler giderilmeye çalışılmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda gerçekleştirilen görüntü işleme algoritması ile paneller üzerinde meydana gelen gölgelenmeler tespit edilmekte ve bu gölgelere ait bilgi çıkarımı yapılmaktadır. Sistemde temel olarak 3x4 boyutunda bir PV sistem, bir kamera, bir anahtarlama matrisi ve ARM tabanlı bir kontrol kartı kullanılmıştır. Görüntü işleme sonucu elde edilen ışıma değerleri kontrol kartında işlenmekte ve çıkarılan bilgiler yine kontrol kartı üzerinde gerçekleştirilmiş olan genetik algoritma tabanlı optimizasyon modülü tarafından değerlendirilmektedir. Sistemin son aşamasında ise optimizasyon modülü kullanılarak elde edilen bilgiler kontrol ve karar modülüne gönderilmekte, bulunan optimal panel düzeni anahtarlama matrisi aracılığıyla sisteme uygulanmaktadır. Bu sayede tam veya kısmi gölgelenmelerin olumsuz etkileri minimize edilebilmektedir. Bu çerçevede düşünüldüğünde deneysel düzeneğin akışı gösteren bir blok diyagram Şekil 4.1’de verildiği gibidir.



Şekil 4.1. Deneysel düzeneğin akış şeması

Şekil 4.1'den de görülebileceği üzere sistem temel olarak 4 bölümden oluşmaktadır. Bunların ilki PV sistemdir. Bu sistemi izleyen bir kamera ile PV sistem sürekli olarak gözlemlenmektedir. Bu kameradan alınan görüntü verileri anlık olarak ARM tabanlı kontrol kartına iletilmektedir. Bu kontrol kartı üzerinde ise görüntü işleme, optimizasyon, kontrol ve karar modülleri yürütülmektedir. Tüm bu işlemlerin tek bir kart üzerinde yürütülmesi sistemi basite indirgemekte ve maliyeti aşağı çekmektedir. Sistemin dördüncü ve son bölümü ise anahtarlama matrisidir. Panellerin elektriksel olarak yeniden düzenlenebilmesine olanak sağlayan bu yapı ile tam veya kısmi gölgelenmelerin negatif etkileri azaltılabilmektedir.

4.1. Deneysel Düzenek

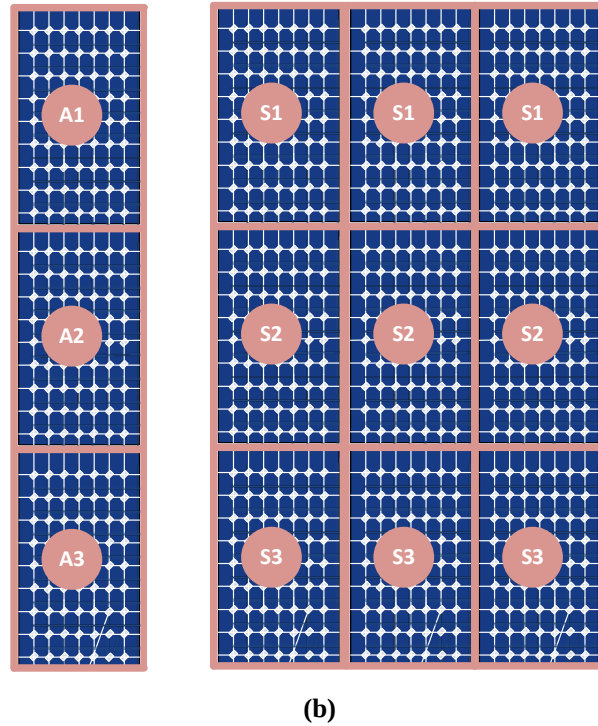
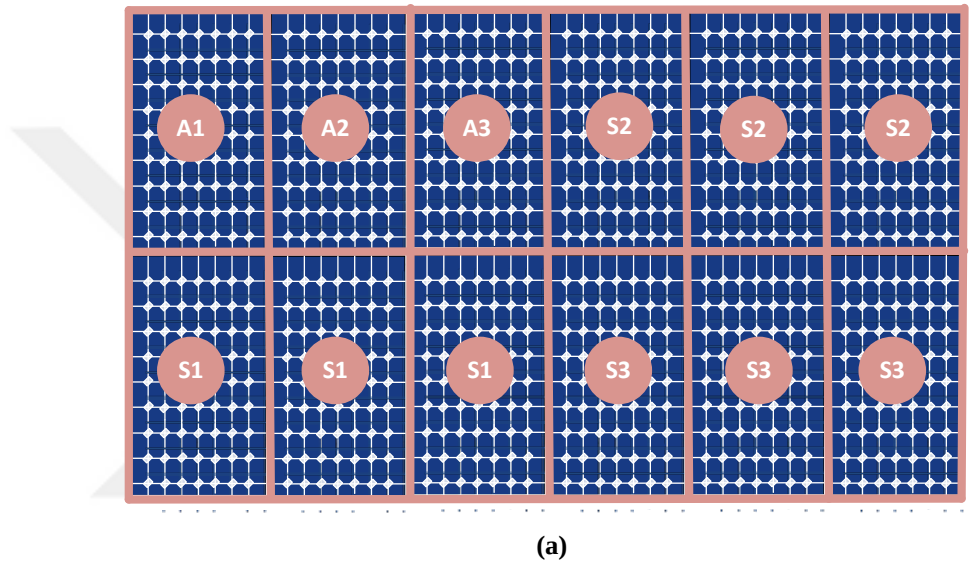
Tahmin edilebileceği üzere önerilen yeniden düzenleme yaklaşımının en temel ögesi PV panellerdir. Bu paneller sayesinde güneşten alınan ışık bilgisi elektriksel verilere dönüştürülebilmektedir. Başka bir deyişle sistemin kalbi PV paneller ve bu panellerin bir araya gelerek oluşturduğu PV sistemlerdir. Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında kullanılan PV sistem 3x4 boyutunda meydana getirilmiştir. Ayrıca sistemin arka planındaki bağlantı yapıları da değiştirilerek S&P ve TCT bağlantı türleri elde edilmektedir. Bu çerçevede oluşturulan PV sisteme ait deneysel düzenden elde edilmiş bir görüntü Şekil 4.2'de sunulduğu gibidir.



Şekil 4.2. Deneysel düzende kullanılan PV sistem

Şekilden de görülebileceği üzere sistemde toplam 12 adet PV panel kullanılmaktadır. Bu panellerden 3 tanesi adaptif bölüm için kullanılırken diğer kalanlar ise sistemin sabit

bölümünü meydana getirmektedir. Bölüm başında da belirtildiği üzere sistem 3x4 olacak şekilde dizayn edilmiştir. Her ne kadar Şekil 4.2’de verilen düzenekte sistem 2x6 boyutunda görünse de sistemin arka planında yapılan elektriksel düzenlemeler sayesinde sistem 3x4 boyutuna getirilmiştir. Bu durumun sebebi yer kaynaklı problem ile beraber güneş ışınlarından daha fazla yararlanabilme amacından ötürüdür. Yine bu çerçevede deneysel düzeneğin arka planında gerçekleştirilen sistemi özetleyen bir blok diyagram Şekil 4.3-(a) ve (b)’de verildiği gibidir.



Şekil 4.3. Deneysel düzenekte kullanılan PV sistem bağlantı yapısı

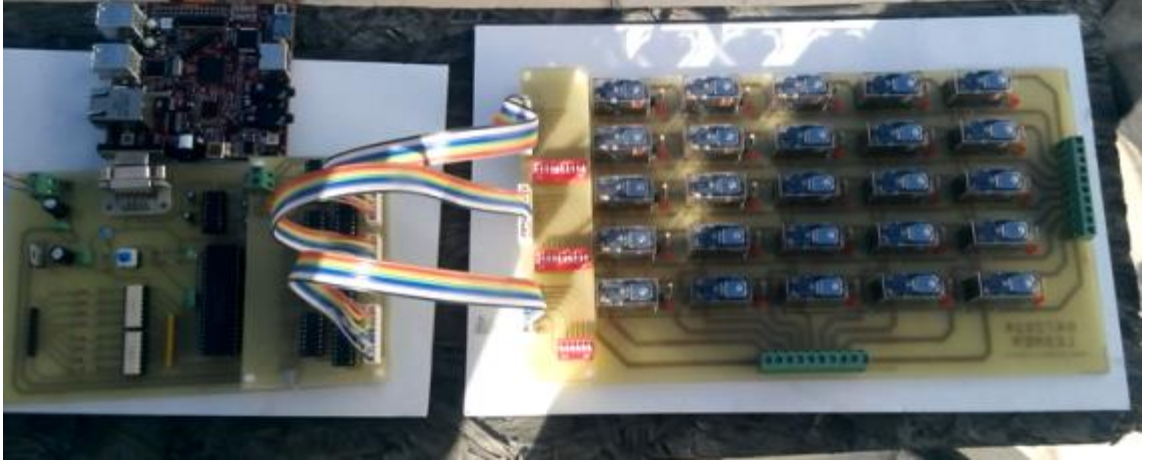
Şekil 4.3’den de görülebileceği üzere sistem 2x6 boyutunda görünse bile arka plandaki bağlantılar sayesinde 3x4 boyutunda bir PV sistem elde edilmiştir. Ayrıca bu PV sistemde kullanılan PV panellerin özellikleri Tablo 4.1’de sunulduğu gibidir.

Tablo 4.1. Sistemde kullanılan PV paneller

Nitelik	Değer
Marka	Lorentz
Model	LC80-12M
Maksimum Güç (+%15/-%5)	80Wp
Maksimum Akım	4.6A
Maksimum Gerilim	17.2V
Kısa Devre Akımı	5.0A
Açık Devre Gerilimi	22.4V
Maksimum Sistem Gerilimi	600V
Seri Hücrelerin Sayısı	36
Paralel Hücrelerin Sayısı	1
Hücre Teknolojisi	Mono Kristal

Yine şekilden de görülebileceği üzere adaptif bölümler 3x1 boyutunda iken sabit bölümler 3x3 boyutunda meydana getirilmiştir. Buna bağlı olarak tüm sistem 3x4 boyutunda inşa edilmiştir.

Çalışmada kullanılan bir diğer önemli ekipman anahtarlama matrisi ve ARM tabanlı kontrol kartıdır. Bölüm başında da belirtildiği üzere ARM tabanlı kontrol kartı üzerinde görüntü işleme, optimizasyon ve kontrol ve karar modülleri işlem yapabilmektedir. Bu sayede tüm modüller tek bir kontrol kartı üzerinde gerçekleştirilmekte ve optimum panel düzeni çıkış olarak alınabilmektedir. Sistemde bulunan kontrol kartının modeli BeagleBoardXM’dir. Bu ARM tabanlı kontrol kartı üzerinde Linux tabanlı bir işletim sistemi mevcuttur. Bu sebepten kartın kullanımı normal bir bilgisayara benzemekte ve oldukça kolaydır. Ayrıca sistemde kullanılan anahtarlama matrisi yine diğer bölümlerde de belirtildiği üzere tamamen rölelerden meydana gelmektedir. Bu röleler aracılığıyla paneller kontrol edilebilmekte ve bağlantılar istenildiği şekilde düzenlenebilmektedir. Bu sistemi özetleyen bir blok diyagram Şekil 4.4’de verildiği gibidir.



Şekil 4.4. Deneyisel düzende kullanılan PV sistem

Şekil 4.4'den de görülebileceği üzere tez çalışması kapsamında tasarlanan anahtarlama matrisi 5x5 boyutunda olup, yine bu boyutlardaki PV sistemi destekleyebilecek kapasiteye sahiptir. Anahtarlama matrisi proje süresince tasarlanmış olup, ARM tabanlı kontrol kartı ile haberleşme işlemini RS-232 portu aracılığıyla gerçekleştirmektedir. Sistemde kullanılan kameradan alınan görüntüler kontrol kartına iletilerek çalışma kapsamında gerçekleştirilen modüller sırasıyla uygulanmaktadır. Son adımda karttan elde edilen optimal panel düzeni seri port aracılığıyla anahtarlama matrisine iletilmekte ve bu yeni panel düzeni sisteme uygulanmaktadır.

Sistemde kullanılan ekipmanların belirli düzeylerde enerji kayıpları söz konusudur. Fakat yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen kazanımlar bu kayıpların yanında oldukça fazladır. Nitekim deneysel olarak yapılan çalışmalar bu durumu kanıtlar niteliktedir. Yine tez kapsamında yürütülen çalışmalar neticesinde, kullanılan bu ekipmanların tüketmiş oldukları enerji miktarları ve sebep oldukları kayıplar Tablo 4.2'de sunulduğu gibidir.

Tablo 4.2. Sistemde kullanılan PV paneller

Ekipman	Tüketim Miktarı
Akım, Gerilim sensörleri	Sisteme göre değişken
Kamera	~5W
*Anahtarlama Matrisi	~2.5W
ARM Tabanlı Kontrol Kartı	6.5W

*Tablodaki değerler 3x4 PV sistem için hesaplanmıştır.

Tablo 4.2 incelendiğinde sistemin tamamının çektiği güç miktarı yaklaşık 13.65 W olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca bu tabloda verilen değerlerin tamamı sistemin tam kapasite halinde çalışması durumu için geçerlidir. Örneğin ARM tabanlı kontrol kartının hesaplama işlemleri ve anahtarlama sinyallerini üretmesi durumu gözetilmiştir. Veya anahtarlama matrisinin adaptif panellerinin tamamının yer değiştirdiği varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu noktada akım ve gerilim sensörlerinin kullanımı sisteme göre değişkenlik göstermektedir. Daha büyük ölçekli sistemlerde, sistem ile doğru orantılı olarak hem maliyet hem de tüketim artabilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada bu sensörlere ihtiyaç duyulmadan, sadece görüntü işleme yazılımı ile tüm süreç işletildiğinden bu ekipmanların hesaplanması işlemi yapılmamıştır.

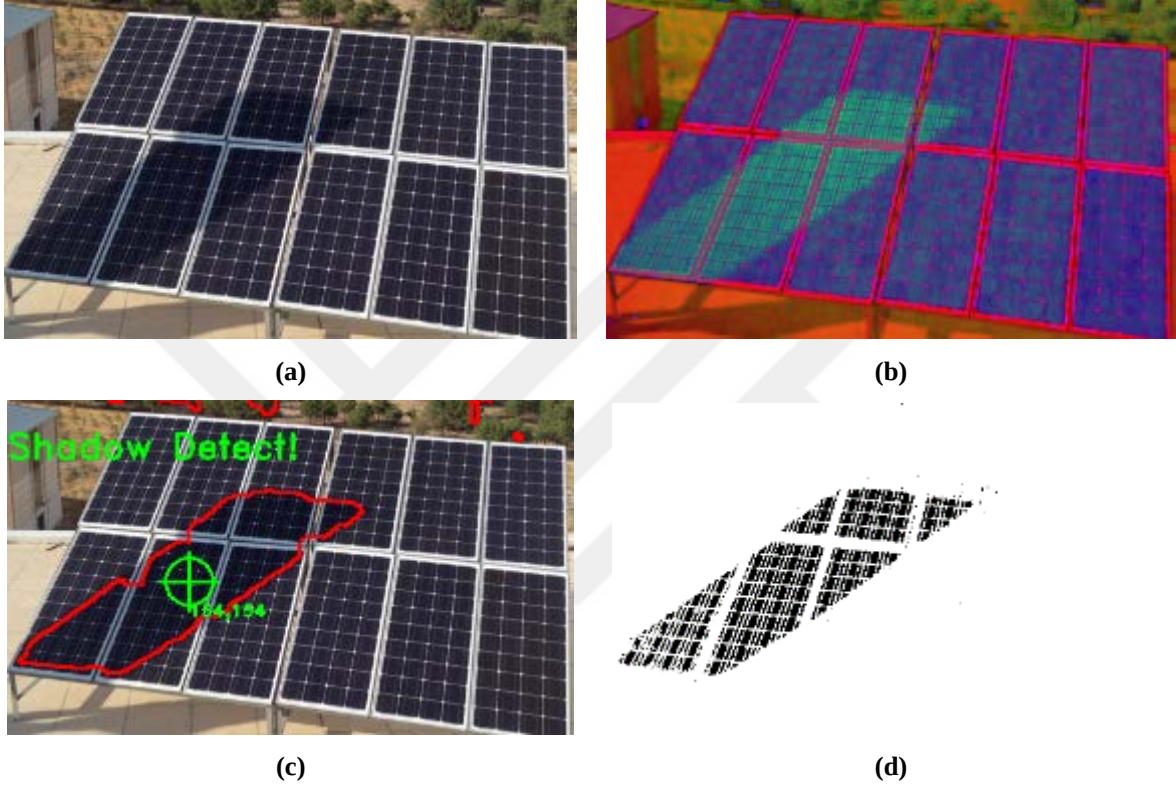
Gerçekleştirilen bu tez çalışması süresince hem S&P hem de TCT bağlantı türleri için çok sayıda deneysel çalışma yürütülmüştür. Tez çalışmasının bu bölümünde bu deneysel çalışmaların sadece bir kısmı her iki bağlantı türü içinde sunulmaktadır. Gerçekleştirilen bu deneysel çalışmalar görüntü işleme sonuçları, simülasyon sonuçları ve gerçek zamanlı sonuçlar şeklinde verilecek olup, olabildiğince farklı senaryolar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu bölümde her iki bağlantı türü için de 5 adet olmak üzere toplam 10 adet farklı senaryo üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Sistemden ilk olarak görüntüler alınmış ve görüntü işleme modülüne verilmiştir. Bu modülde sistemdeki panellerin yapmış olduğu ışıma değerleri görüntü işleme yöntemleriyle tespit edilmiş ve elde edilen bu bilgiler optimizasyon modülüne iletilmiştir. Optimizasyon modülünde genetik algoritma kullanılarak yeniden düzenleme işlemi için optimal panel düzeni tespit işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak kontrol ve karar modülünde yeni panel düzeninin uygulanabilirliği araştırılmış ve seri port aracılığıyla gerekli bilgiler anahtarlama matrisine gönderilmiştir.

4.2. S&P Bağlantı Türü için Deneysel Sonuçlar

Bölüm başında da belirtildiği üzere deneysel çalışmalar 2 bağlantı türü için ayrı ayrı olacak şekilde yürütülmüştür. Bu bağlantı türleri için oldukça fazla deneysel çalışmalar yürütülmüş olup, tez çalışmasında sadece belirli ve ayırıcı senaryolar sunulmuştur. Sonuçlar sistemden elde edilen kazanımları ve nihai bağlantı düzenini göstermektedir. Ayrıca simülasyon ve gerçek zamanlı çalışmalardan elde edilen sonuçlarda her senaryo için alt başlık halinde sunulmaktadır.

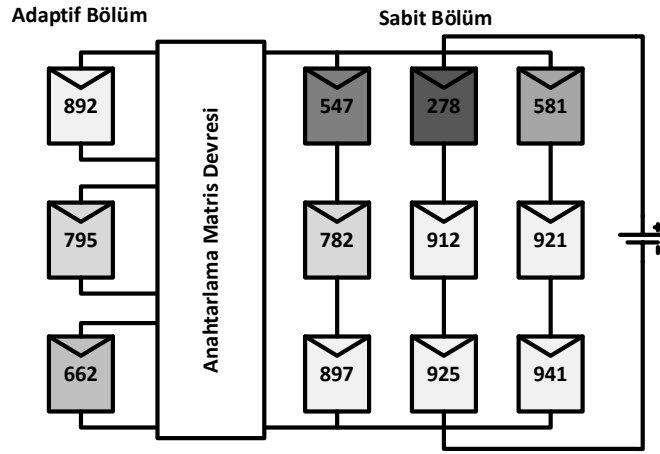
4.2.1 S&P Bağlantı Türü için Senaryo 1

Tez çalışması süresince gerçekleştirilen deneysel çalışmalar neticesinde S&P bağlantı türü için elde edilen kısmi gölgelenmeleri örnek senaryolardan birisi ve bu senaryonun görüntü işleme sonucu elde edilen çıktıları Şekil 4.5’de sunulduğu gibidir.

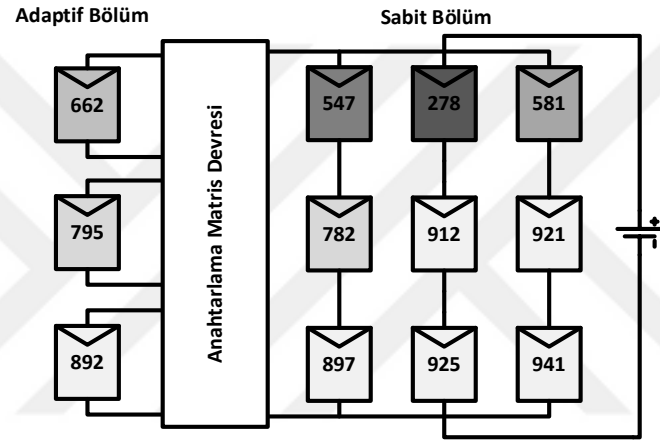


Şekil 4.5. S&P bağlantı türü için senaryo 1 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü

Şekil 4.5’den de görülebileceği üzere sistemden ilk olarak bir kamera aracılığıyla görüntü alınmakta ve kontrol kartına iletilmektedir. Bu işlemin ardından görüntüde renk uzayı değişim işlemi uygulanmakta ve görüntü RGB renk uzayından HSV renk uzayına dönüştürülmektedir. Bu işlemin ardından görüntüye çeşitli morfolojik işlemler, erozyon ve dilasyon işlemleri uygulanmış olup, sonuç olarak belirlenen kısmi gölgelenmenin sınırları tespit edilmiştir. En sonunda elde edilen görüntüye eşikleme işlemi uygulanarak gölgenin tam olarak hangi paneller üzerinde olduğu ve ne kadarlık bir etkiye sahip olduğu tespit edilmektedir. S&P bağlantı düzeni için gerçekleştirilen bu senaryoda elde edilen başlangıç ışıma değerleri ve panellerin yeniden düzenleme işlemi sonucu yaşadığı değişimi gösteren bir blok diyagram Şekil 4.6-(a) ve (b)’de verildiği gibidir.



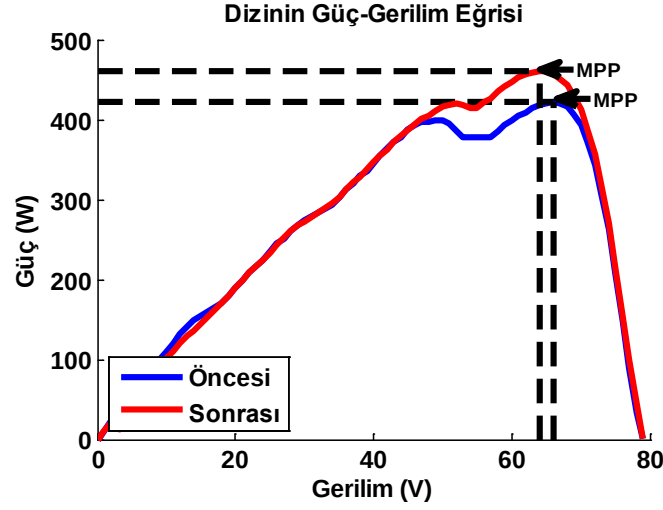
(a)



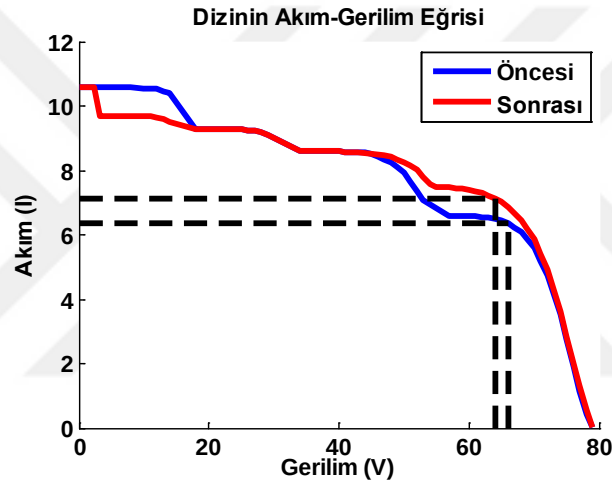
(b)

Şekil 4.6. S&P bağlantı türü için senaryo 1 **(a)** Başlangıç bağlantı düzeni **(b)** Sonuç bağlantı düzeni

Şekil 4.6'dan da görülebileceği üzere optimizasyon modülünden elde edilen sonuçlar ile S&P bağlantı düzenine sahip sistem A3-S1, A2-S2 ve A1-S3 bağlantısı haline gelmiştir. Bilindiği üzere S&P bağlantı türünde bağlantılar birebir oranında eşleşmek zorundadır ve yeni bağlantı şeması da bu ilkeye bağlı olarak elde edilmelidir. Bu durum gözetilerek elde edilen bu bağlantı şeması için öncelikli olarak sonuçlar simülasyon ortamında test edilmiştir. Bu senaryo için elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 4.7-(a) ve (b)'de verildiği gibidir. Bu sonuçların ilki güç-gerilim eğrisinin değişimini gösterirken diğeri akım-gerilim değişime ait sonuçları vermektedir.



(a)



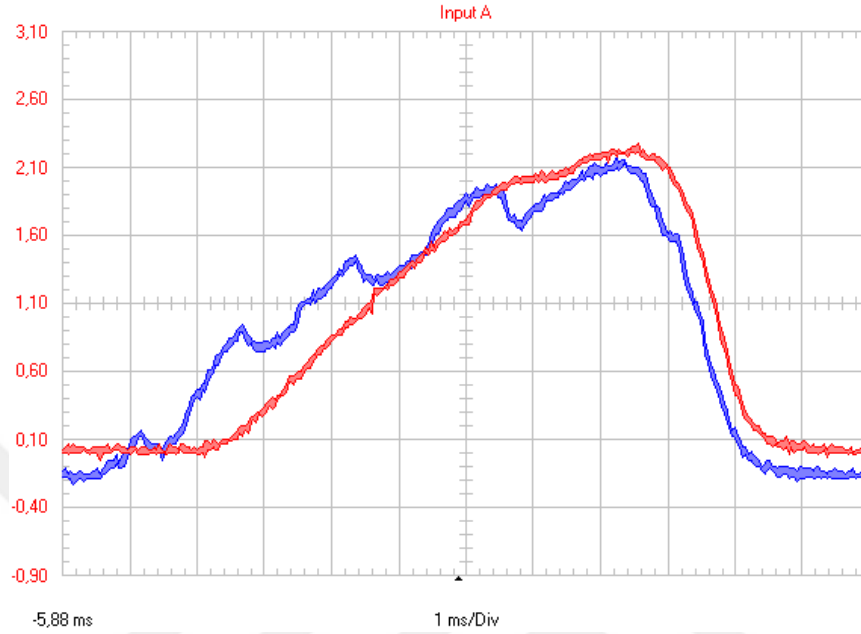
(b)

Şekil 4.7. S&P bağlantı türü için senaryo 1 **(a)** Başlangıç bağlantı düzeni **(b)** Sonuç bağlantı düzeni

Şekil 4.7-(a)'dan da görülebileceği üzere mavi renk başlangıç durumunun değişimini gösterirken kırmızı renk ile belirtilen çizgi yeniden düzenleştirm işleminden sonra elde edilen güç değişimini göstermektedir. Maksimum güç noktası bu işlemler için oldukça önemli olup, temel hedef bu değerin daha da artırılmasını sağlamaktır. S&P bağlantı türü için gerçekleştirilen bu senaryoda MPP değerinin değişiminin pozitif yönde olduğu gözlemlenmiştir.

Bu noktada yapılan deneysel çalışmalar ile elde edilen bu değerlerin doğrulaması işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı yapılan testlerde sisteme bir adet osiloskop bağlanmış ve güç-gerilim değerinin değişimi yeniden düzenleştirmeden önce ve sonrası için değerlendirilmiştir. Bu sonuçları gösteren bir gerçek zamanlı osiloskop verisi Şekil 4.8'de

verildiği gibidir. Ayrıca bu senaryo için elde edilen güç değişim miktarları ve farklar detaylı bir şekilde Tablo 4.3’de sunulmuştur.



Şekil 4.8. Senaryo 1 için gerçek zamanlı deneysel sonuç

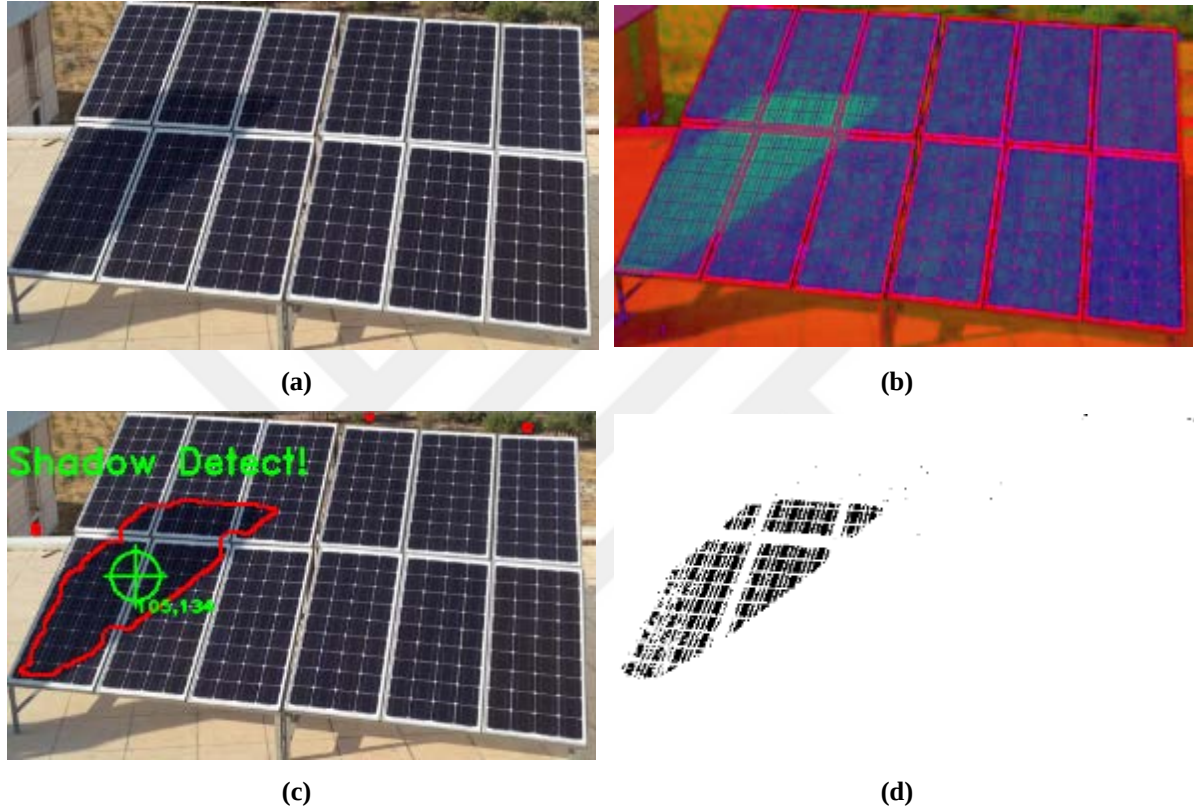
Tablo 4.3. Senaryo 1 için değişim miktarları

Özellik	Değer
Başlangıç MPP değeri (W)	421,80
Sonuç MPP değeri (W)	459,96
Fark miktarı (W)	38,162
Değişim miktarı (%)	9,0476

Tablo 4.3’den de görülebileceği üzere sistemden elde edilen verim yaklaşık %9’dur. PV sistemlerde enerji kazanımı oldukça önemli bir konudur. Bu sistemlerden kazanılacak çok miktarlardaki verimler bile bu sistemlerin gelişimi açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bu çerçevede düşünüldüğünde tam veya kısmi gölgelenmelerin meydana getirdiği negatif etkilerden kurtulmanın yanı sıra böyle bir verim elde edilmesi sistemin kullanılabilirliğini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ayrıca sistemin maliyetinin oldukça düşük olması bir diğer tercih sebebidir. Tablodan da görülebileceği üzere yaklaşık 38 W enerji verimliliği sağlanmış olup, büyük ölçekli sistemlerde bu değer daha da katlanarak artabilecektir.

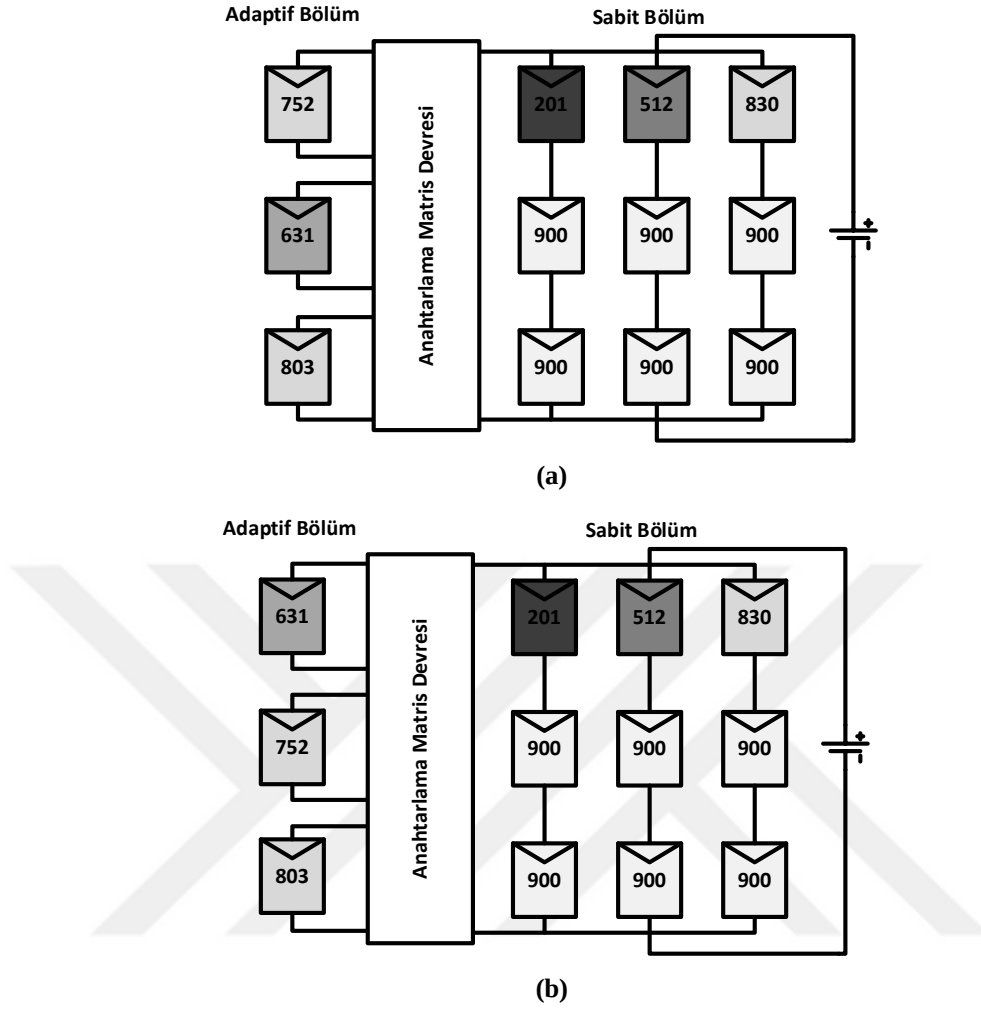
4.2.2 S&P Bağlantı Türü için Senaryo 2

Çalışma kapsamında elde edilen bir diğer senaryoda ise adaptif panellerin tamamının kısmi gölgelenmesi sağlanmıştır. Bu senaryoya ait elde edilen görüntü işleme algoritmasının sonuçları Şekil 4.9’da verildiği gibidir.



Şekil 4.9. S&P bağlantı türü için senaryo 2 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü

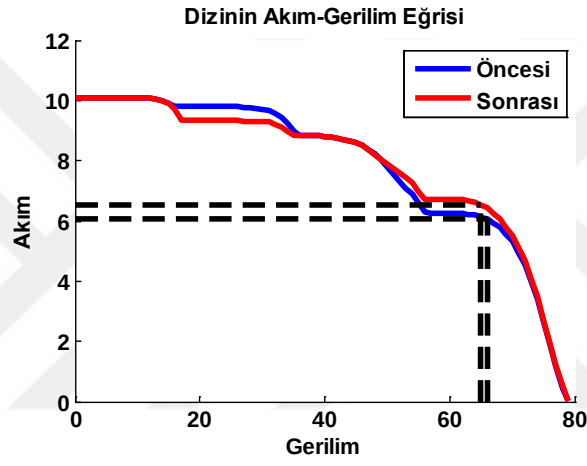
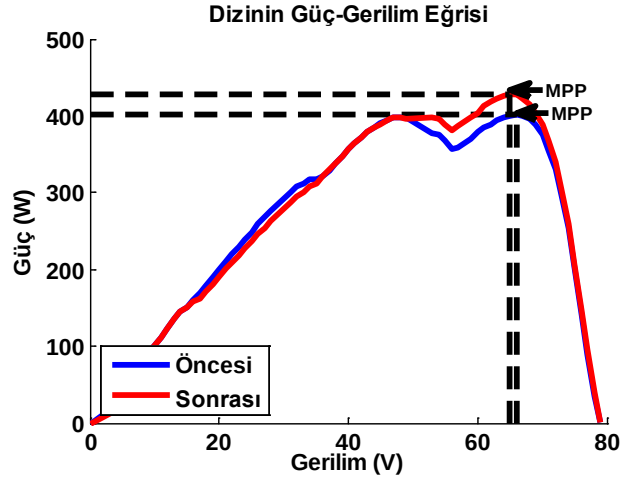
Şekil 4.9-(a)’dan da görülebileceği üzere PV sistemde hem adaptif hem de sabit panellerin bir bölümü kısmi gölgelenmiş durumdadır. Bu senaryoya ait başlangıç durumu ve ışıma değerleri Şekil 4.10-(a)’da sunulduğu gibidir. Ayrıca optimizasyon modülünün işleme koyulması ve buna bağlı olarak yeniden düzenleme işleminin yapılması sonucu Şekil 4.10-(b)’de verildiği gibidir.



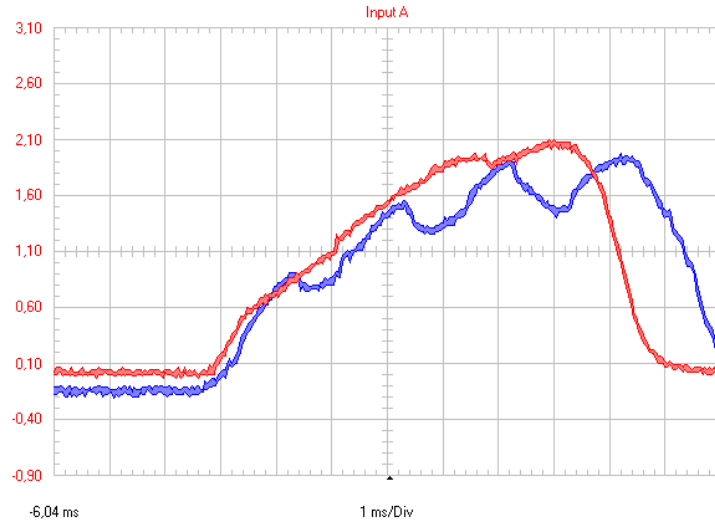
Şekil 4.10. S&P bağlantı türü için senaryo 2 **(a)** Başlangıç bağlantı düzeni **(b)** Sonuç bağlantı düzeni

S&P bağlantı düzeni için elde edilen bu senaryoda başlangıç düzeni A1-S1, A2-S2 ve A3-S3 iken yeniden düzenleme işleminin ardından A2-S1, A1-S2 ve A3-S3 bağlantı düzeni elde edilmiştir. Bu değişime bağlı olarak elde edilen ve yeniden düzenleme işleminden önce ile sonrasını gösteren güç-gerilim ve akım-gerilim grafiklerinin değişimi sırasıyla Şekil 4.11-(a) ve (b)'de sunulduğu gibidir.

Bu grafiklerden de görülebileceği üzere MPP üzerinde yaklaşık %6.5 oranında bir pozitif yönde bir değişim sağlanmıştır. Yine bu senaryonun güç-gerilim eğrisinin gerçek zamanlı olarak elde edilmiş sonuçları Şekil 4.12'de verilmiştir. Ayrıca bu senaryoda elde edilen değişim miktarları ise detaylı bir şekilde Tablo 4.4'de verildiği gibidir.



Şekil 4.11. S&P bağlantı türü için senaryo 2 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni



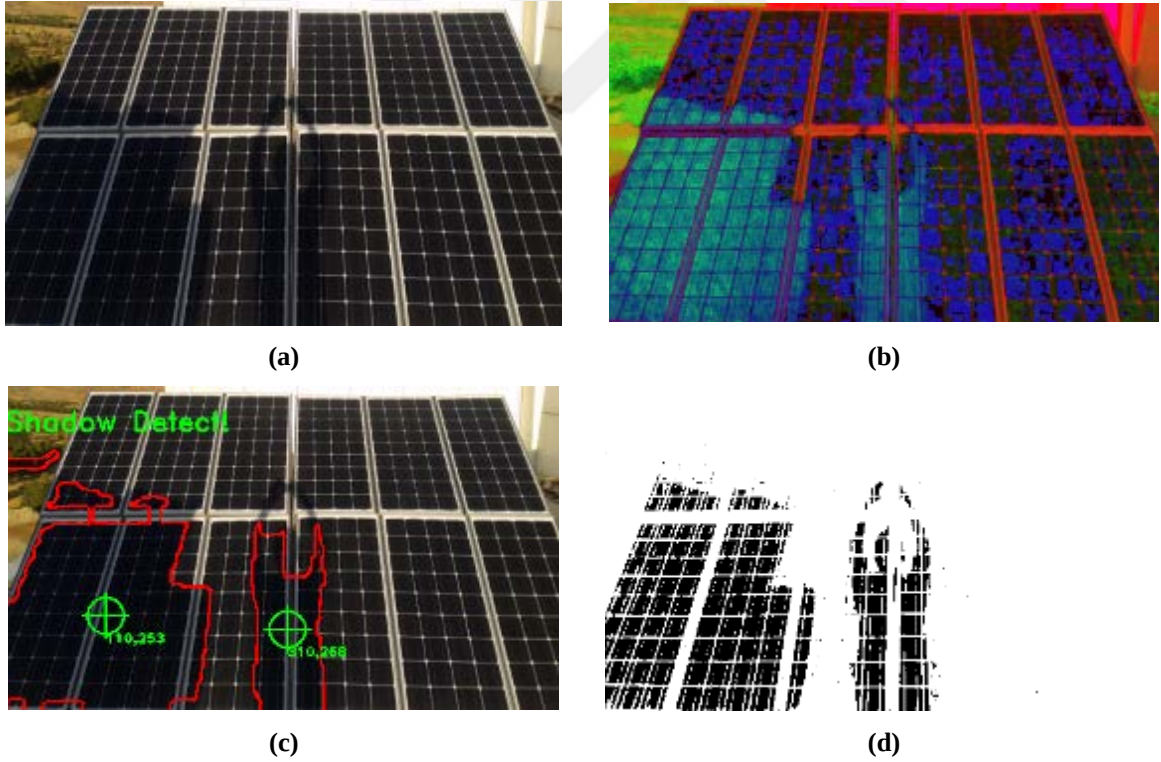
Şekil 4.12. Senaryo 2 için gerçek zamanlı deneysel sonuç

Tablo 4.4. Senaryo 2 için değişim miktarları

Özellik	Değer
Başlangıç MPP değeri (W)	401,691
Sonuç MPP değeri (W)	428,121
Fark miktarı (W)	26,4296
Değişim miktarı (%)	6,5795

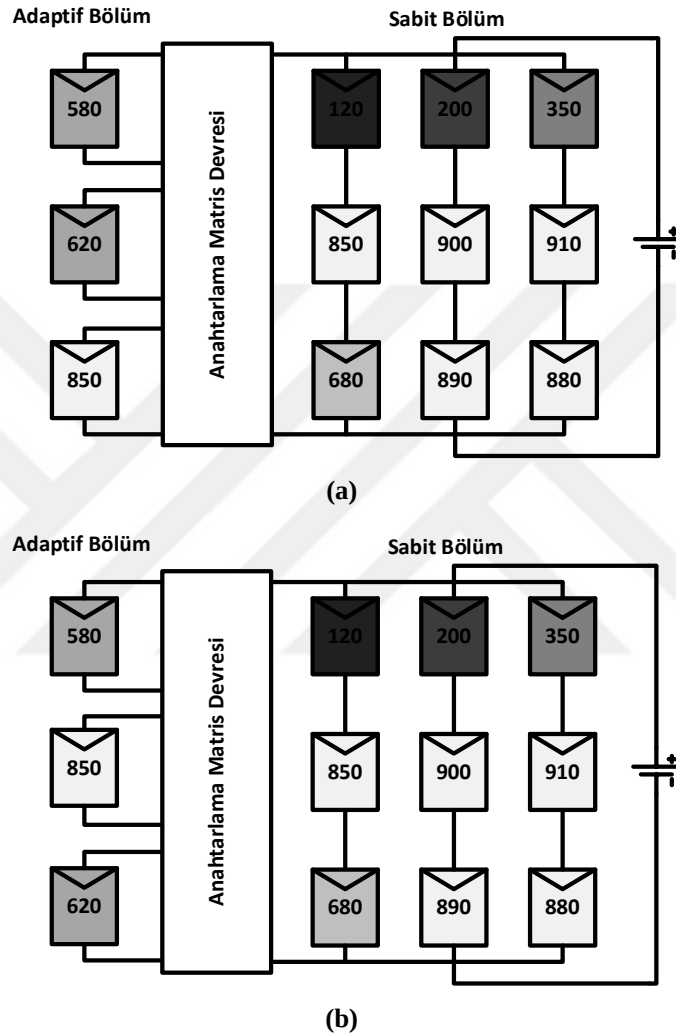
4.2.3 S&P Bağlantı Türü için Senaryo 3

Tez çalışması süresince gerçekleştirilen bir diğer senaryoda ise PV sistemdeki paneller üzerinde birden fazla gölgeli alan oluşturulması sağlanmıştır. Başka bir deyişle aynı zaman diliminde birden fazla kısmi gölgelenme paneller üzerinde oluşturulmuştur. Bu durumu gösteren görüntü ve görüntü işleme algoritması sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 4.13’de verildiği gibidir.



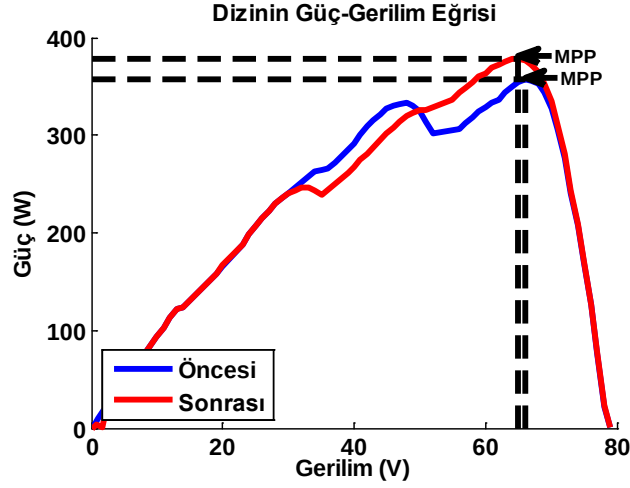
Şekil 4.13. S&P bağlantı türü için senaryo 3 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü

Şekil 4.13’den de görülebileceği üzere görüntü işleme algoritması gerçek zamanlı olarak aynı anda birden fazla oluşan tam veya kısmi gölgelenmeleri tespit edebilmektedir. Bu bilgiler ışığında elde edilen ışıma değerleri ve yeniden düzenleşim işlemi sonucu Şekil 4.14’de verildiği gibidir.

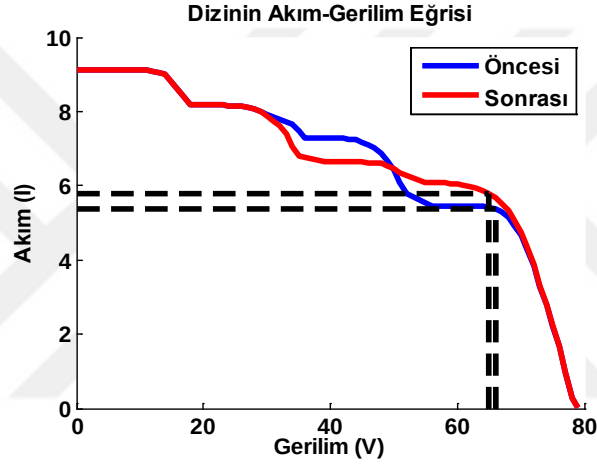


Şekil 4.14. S&P bağlantı türü için senaryo 3 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni

Şekil 4.14’den de görülebileceği üzere adaptif bölümden A1 panelinde herhangi bir değişiklik yaşanmamış ve S1’e bağlanmış durumdadır. Yine algoritmadan elde edilen sonuca göre A3-S2’ye ve A2-S3’e bağlanmıştır. Bu bağlantı değişimi sonucu elde edilen güç-gerilim ve akım-gerilim grafiklerinin değişimi Şekil 4.15-(a) ve (b)’de sunulduğu gibidir.



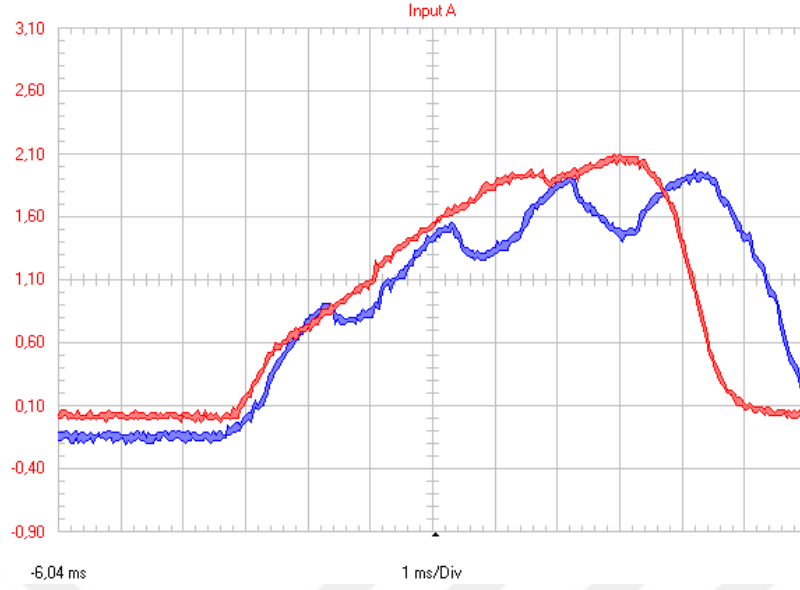
(a)



(b)

Şekil 4.15. S&P bağlantı türü için senaryo 3 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni

Gerçekleştirilen bu senaryo için yaklaşık %6 oranında bir enerji kazanımı sağlanmış durumdadır. Aynı senaryo için yapılan saha testlerinde yeniden düzenleme işleminden önce ve sonrasının değişimine ait bir güç-gerilim grafiği Şekil 4.16'da verilmektedir. Ayrıca bu senaryo için grafiklerdeki MPP noktalarının değişimini ve toplam kazancı gösteren sonuçlar ise Tablo 4.5'de sunulduğu gibidir.



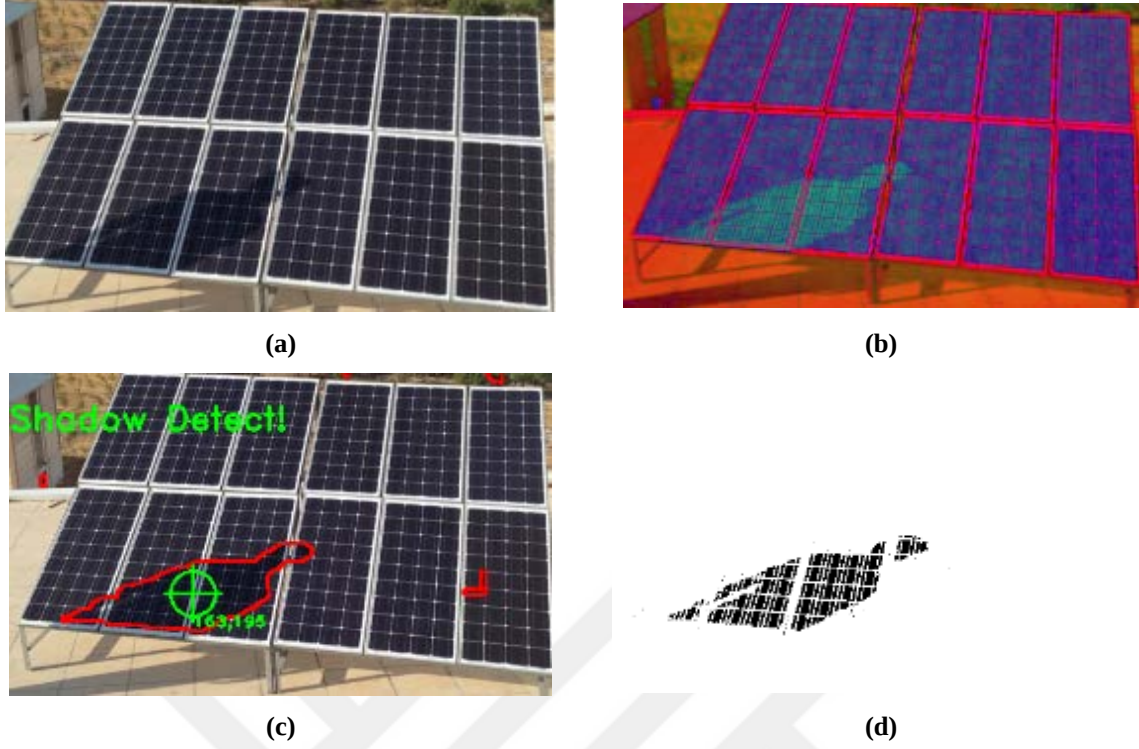
Şekil 4.16. Senaryo 3 için gerçek zamanlı deneysel sonuç

Tablo 4.5. Senaryo 3 için değişim miktarları

Özellik	Değer
Başlangıç MPP değeri (W)	356,64
Sonuç MPP değeri (W)	378,93
Fark miktarı (W)	22,2805
Değişim miktarı (%)	6,2471

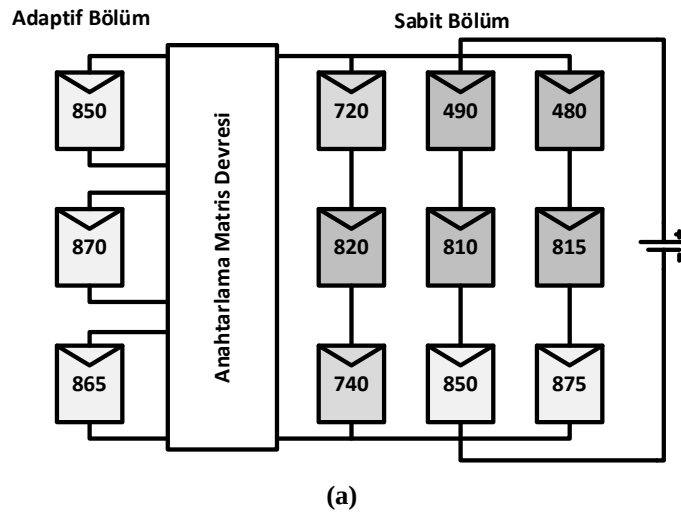
4.2.4 S&P Bağlantı Türü için Senaryo 4

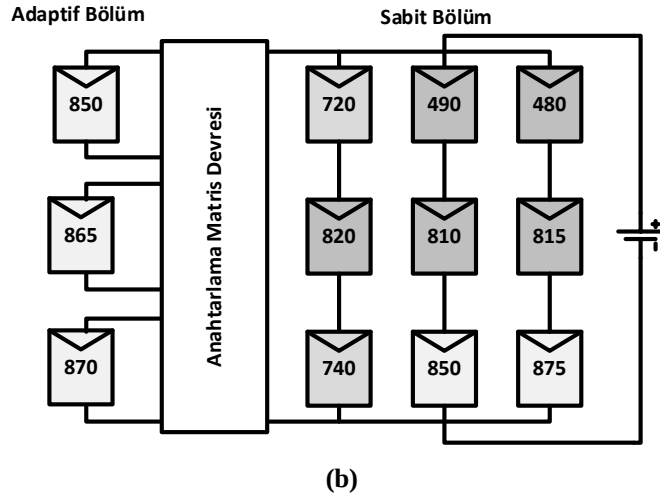
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen bir diğer senaryoda ise yine birden fazla sabit panelin kısmi gölgelenmesi sağlanmış olup, adaptif panellerin ise neredeyse tama yakın ışıma yapması sağlanmıştır. Bu senaryo için kameradan elde edilen orijinal görüntü ve bu görüntüye uygulanan görüntü işleme algoritmasının sonuçlarını gösteren görüntüler Şekil 4.17’de sunulduğu gibidir.



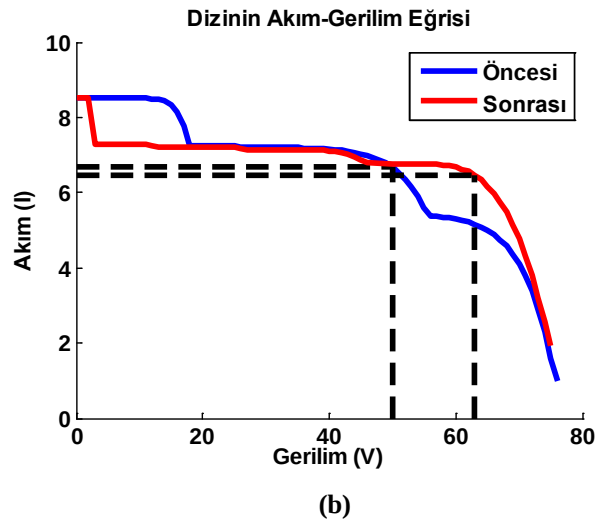
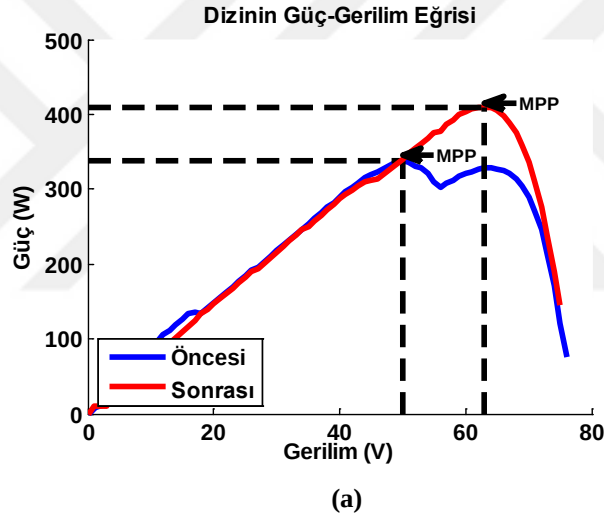
Şekil 4.17. S&P bağlantı türü için senaryo 4 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü

Şekil 4.17’de verilen senaryo için elde edilen başlangıç ve yeniden düzenleme işlemi sonuçları ise Şekil 4.18’de verildiği gibidir. Şekilden de görülebileceği üzere optimizasyon modülünde yürütülen yeniden düzenleme işleminin ardından A1-S1, A3-S2 ve A2-S3 bağlantı şemaları elde edilmiştir. Ayrıca bu değişime ait simülasyon sonuçları ise Şekil 4.19’da verildiği gibidir.



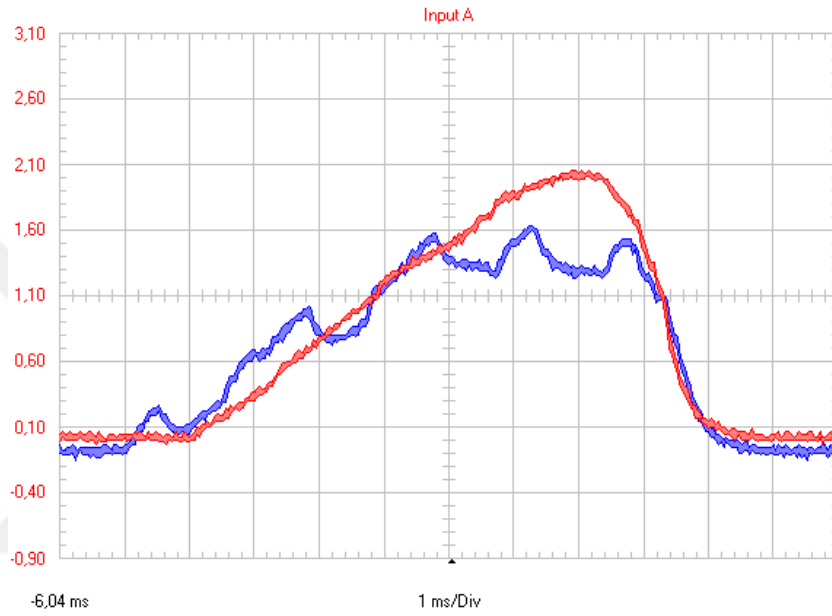


Şekil 4.18. S&P bağlantı türü için senaryo 4 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni



Şekil 4.19. S&P bağlantı türü için senaryo 4 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni

Gerçekleştirilen bu senaryoda oldukça yüksek oranda bir kazanım sağlanmıştır. Yapılan testlerde bu kazanımın güç-gerilim eğrisi üzerinde yaklaşık %22 oranında bir gelişme sağladığı görülmüştür. Gerçekleştirilen bu simülasyon çalışmasının ardından yapılan gerçek zamanlı testler de ise sistemin benzer sonucu verdiği gözlemlenmiş olup, bu sonuca ait bir grafik Şekil 4.20’de verildiği gibidir. Ayrıca MPP değerlerinin değişimini gösteren sonuçlar ise Tablo 4.6’da verildiği gibidir.



Şekil 4.20. Senaryo 4 için gerçek zamanlı deneysel sonuç

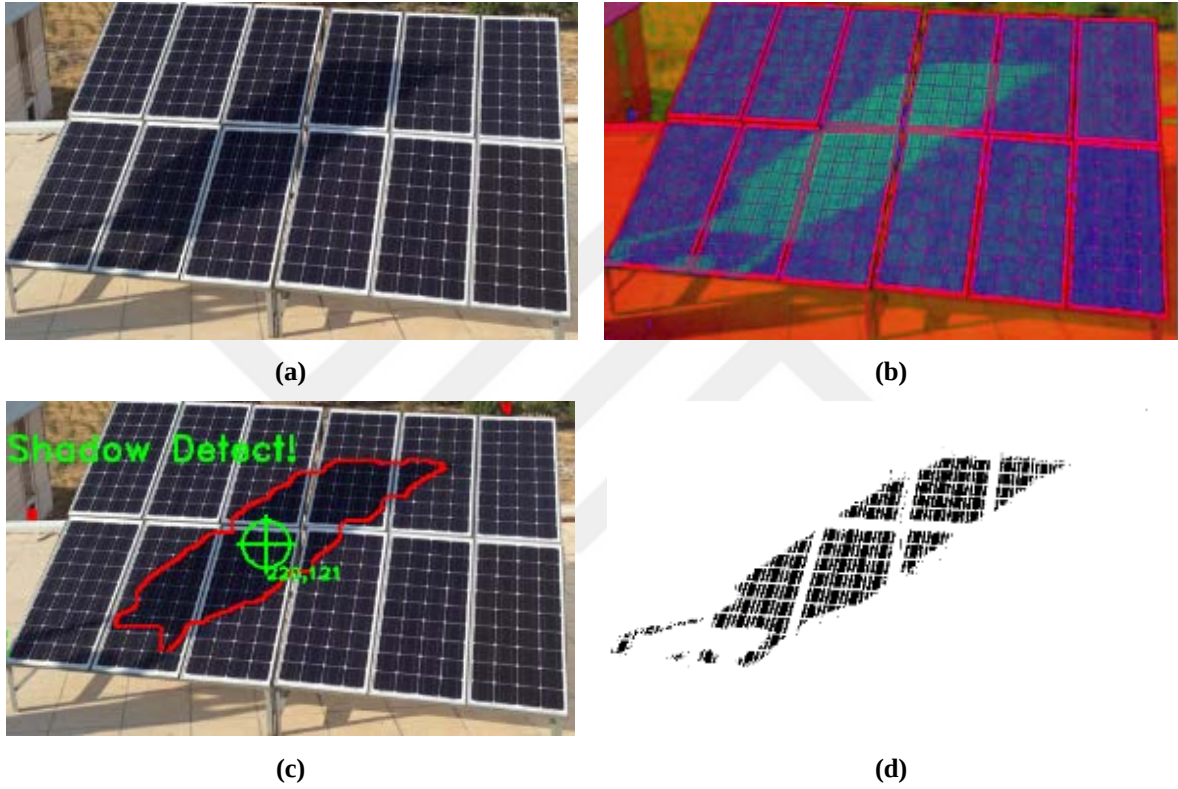
Tablo 4.6. Senaryo 4 için değişim miktarları

Özellik	Değer
Başlangıç MPP değeri (W)	337,1
Sonuç MPP değeri (W)	410,0
Fark miktarı (W)	72,81
Değişim miktarı (%)	21,59

Tablo 4.6’dan da görülebileceği üzere gerçekleştirilen bu senaryoda yaklaşık %22 oranında bir kazanım bu değere bağlı olarak 72W gibi yüksek oranda enerji artışı sağlanmış ve tüm senaryolar içerisinde en büyük gelişim elde edilmiştir. Bu durumun temel sebebi sabit panellerin kısmi gölgelenme durumuna maruz kalması ve yeniden düzenleme işleminden sonra tüm bu negatif etkilerin giderilebilmesidir.

4.2.5 S&P Bağlantı Türü için Senaryo 5

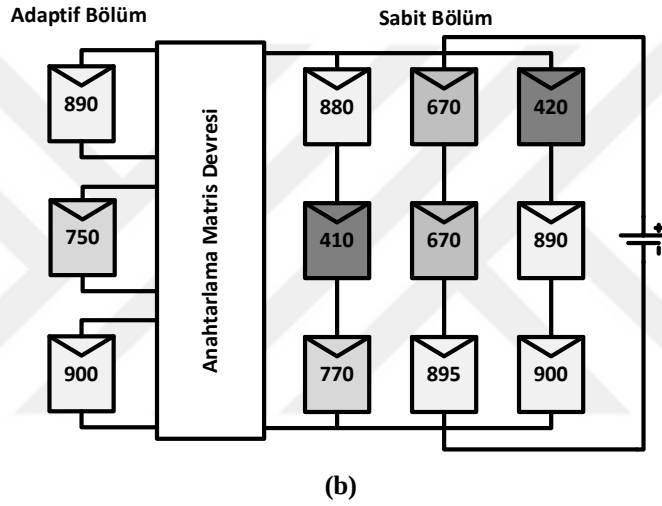
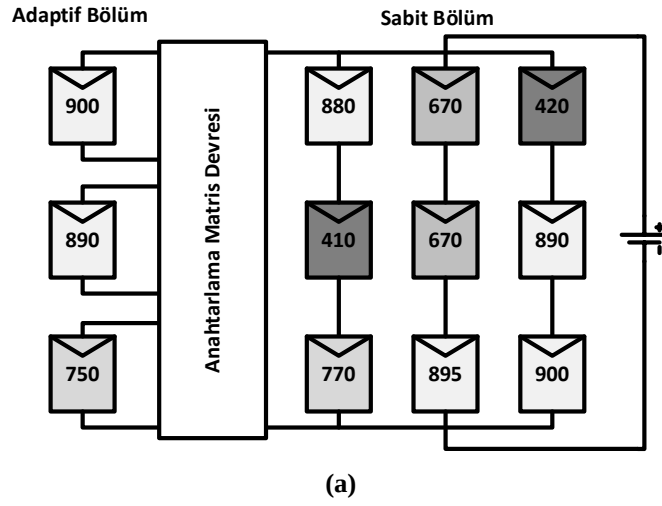
Bu çalışma süresince gerçekleştirilen birçok deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların paylaşıldığı bu bölümde, S&P bağlantı türü için gerçekleştirilen bir diğer senaryoya ait elde edilen gölgelenme durumları ve görüntü işleme sonucu elde edilen çıktılar Şekil 4.21’de sunulduğu gibidir.



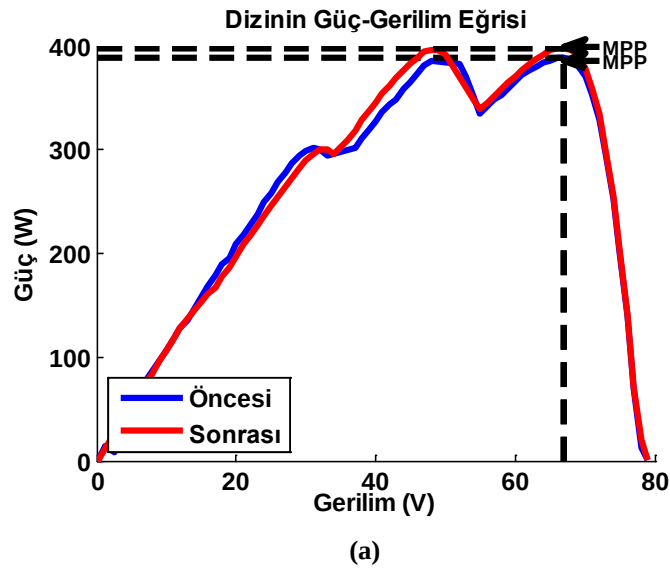
Şekil 4.21. S&P bağlantı türü için senaryo 5 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü

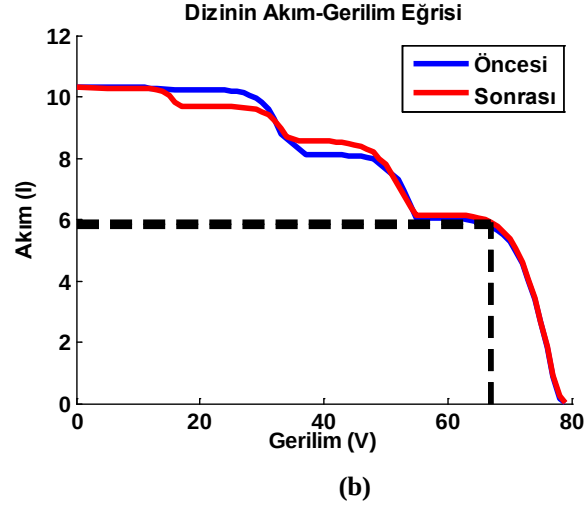
Gerçekleştirilen bu senaryoda bütün sabit panellerin ve A3 numaralı adaptif panelin kısmi gölgelenmesi sağlanmıştır. S&P bağlantı türü için gerçekleştirilen bu son senaryoya ait elde edilen ışıma değerleri Şekil 4.22-(a)’da sunulduğu gibidir. Ayrıca yeniden düzenleme işleminin sonucunda elde edilen yeni bağlantı düzenini gösteren bir blok diyagram ise Şekil 4.22-(b)’de sunulduğu gibidir.

Şekil 4.22’den de görülebileceği üzere sistemde A3-S1, A1-S2 ve A2-S3 bağlantı şeması yeniden düzenleme işleminin ardından elde edilmiştir. Bu sonuca bağlı olarak elde edilen değişimleri gösteren grafikler Şekil 4.23’de verildiği gibidir.



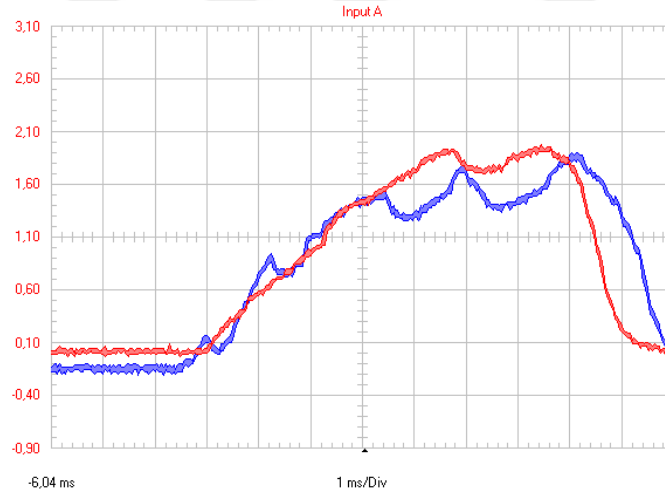
Şekil 4.22. S&P bağlantı türü için senaryo 5 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni





Şekil 4.23. S&P bağlantı türü için senaryo 5 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni

Gerçekleştirilen bu senaryo sonucu elde edilen kazanım yaklaşık %2.5 oranındadır. Bu değişime ait gerçek zamanlı sonuç grafiği Şekil 4.24’de verilirken, yine değişimi gösteren sonuçlar Tablo 4.7’de verildiği gibidir.



Şekil 4.24. Senaryo 5 için gerçek zamanlı deneysel sonuç

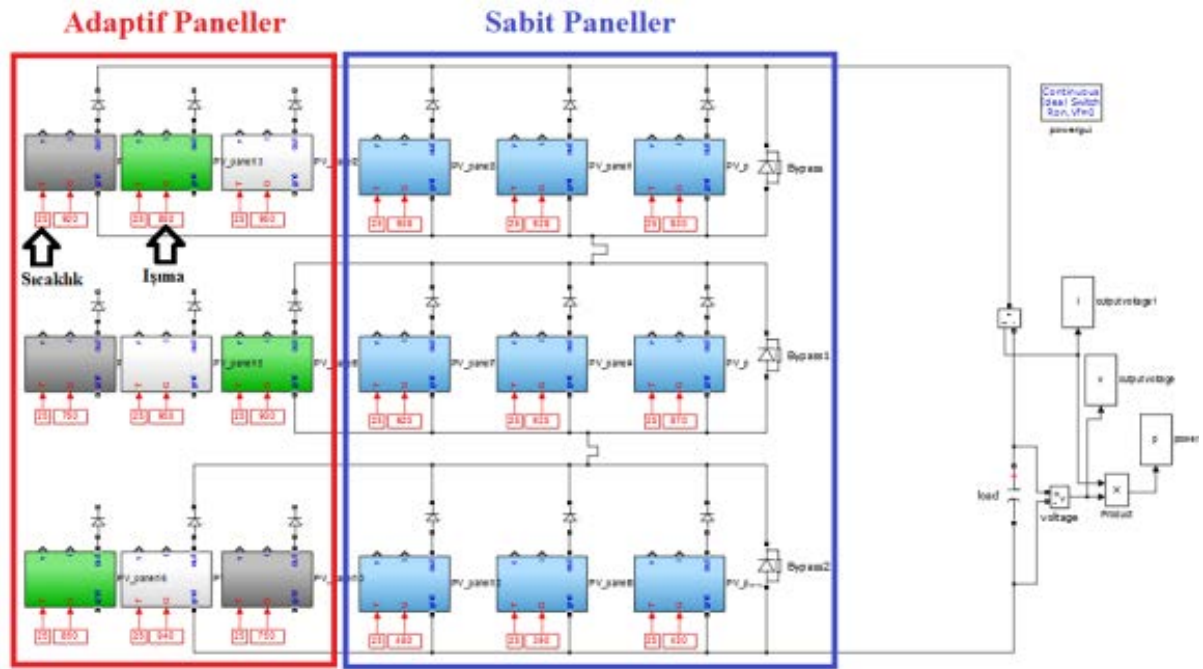
Tablo 4.7. Senaryo 5 için değişim miktarları

Özellik	Değer
Başlangıç MPP değeri (W)	389,32
Sonuç MPP değeri (W)	398,19
Fark miktarı (W)	8,8656
Değişim miktarı (%)	2,2771

4.3. TCT Bağlantı Türü için Deneysel Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda literatürde sıklıkla kullanılan iki bağlantı türü olan S&P ve TCT bağlantı türleri incelenmiştir. Diğer bölümlerde de bahsedildiği üzere önerilen yaklaşım bağlantı türlerinden bağımsız olarak sisteme uygulanabilmekte ve işlemler yürütülebilmektedir.

TCT bağlantı şeması için yapılan çalışmalarda simülasyon testleri için Simulink ortamında bir uygulama hazırlanmıştır. Ayrıca optimizasyon modülünde S&P bağlantı türünden farklı olarak yeni bir uygunluk fonksiyonu oluşturulmuş ve yeniden düzenleşim işlemleri bu fonksiyona göre yürütülmüştür. Bu çerçevede hazırlanan uygulamaya ait bir ekran görüntüsü Şekil 4.25’de verildiği gibidir.



Şekil 4.25. TCT bağlantı şeması için Simulink uygulaması

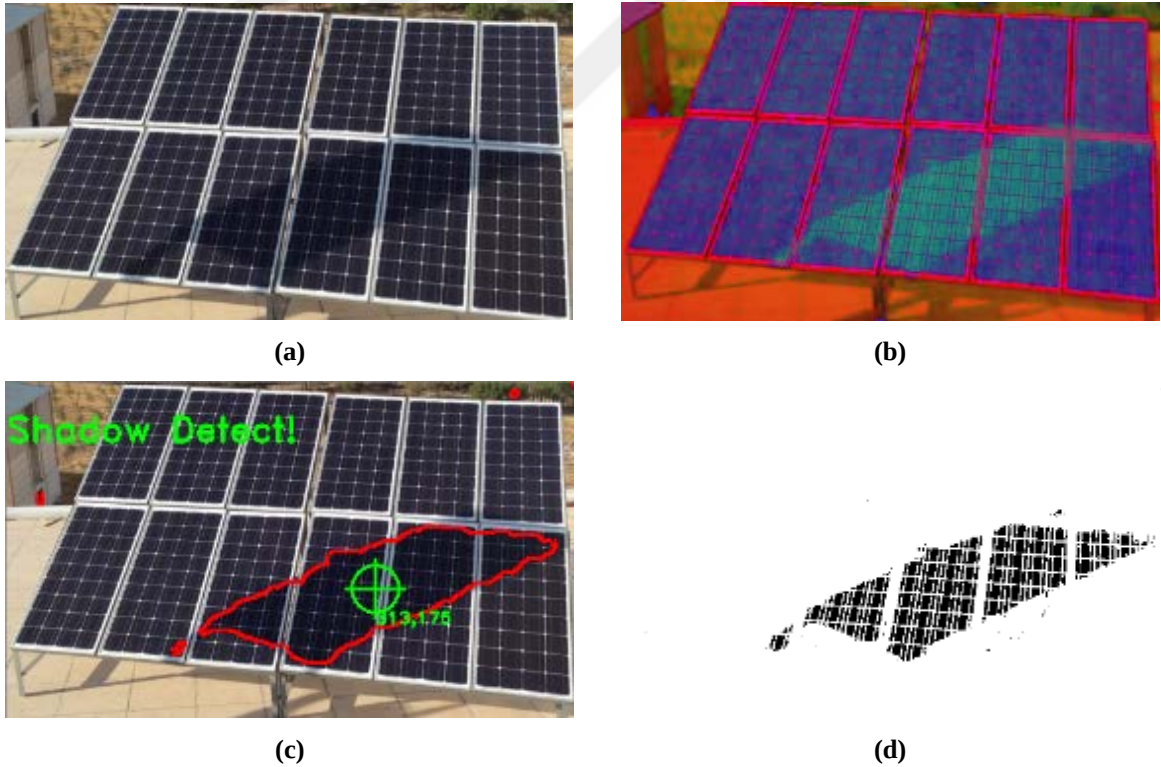
Şekil 4.25’den de görülebileceği üzere sistem adaptif ve sabit panellerden meydana gelmektedir. Adaptif panellerin her bir satırında 3 adet panel bulunmaktadır. Bu işlemin sebebi aynı satıra bağlanacak olan adaptif panelleri tekrar düzenlememek içindir. Bu çerçevede gri renkli bloklar A1’i, yeşil renkli bloklar A2’yi ve beyaz renkli bloklar ise A3 numaralı adaptif panelleri temsil etmektedir. Yapılacak yeniden düzenleşim işlemi sonucu

adaptif paneller aynı satıra bağlanacak olursa, t panellerin yerini değiştirme işlemi yapılmayacak olup, sadece bağlantılar düzenlenerek işlemin tamamlanması sağlanacaktır.

Gerçekleştirilen diğer uygulamaların tamamı S&P bağlantı düzeninde kullanılan uygulamalar ile birebir aynıdır. Tıpkı S&P bağlantı türünde olduğu gibi TCT bağlantı türü için birçok deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasının bu bölümünde TCT için gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan sadece belirli bir kısmı sunulmuş olup, bu senaryolar alt başlıklar halinde ilerleyen bölümlerde incelenmiştir.

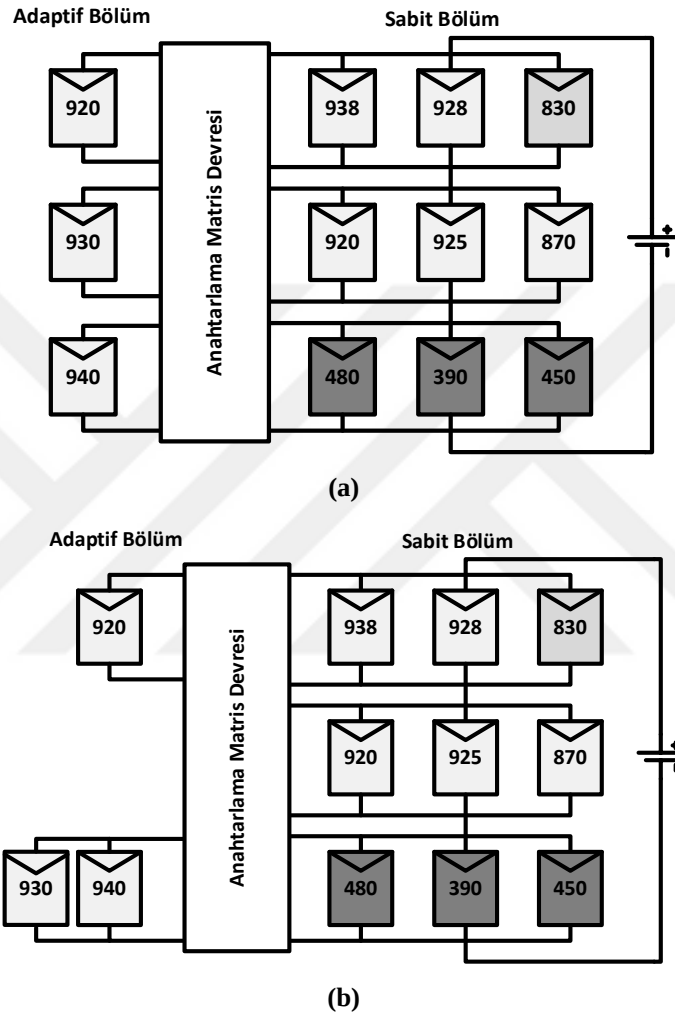
4.3.1 TCT Bağlantı Türü için Senaryo 1

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda TCT bağlantı türü için elde edilen senaryolardan birisi Şekil 4.26’da verildiği gibidir. Tıpkı S&P bağlantı türündeki senaryolarda olduğu gibi burada da alınan görüntü ve görüntü işleme algoritmasından elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 4.26. TCT bağlantı türü için senaryo 1 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü

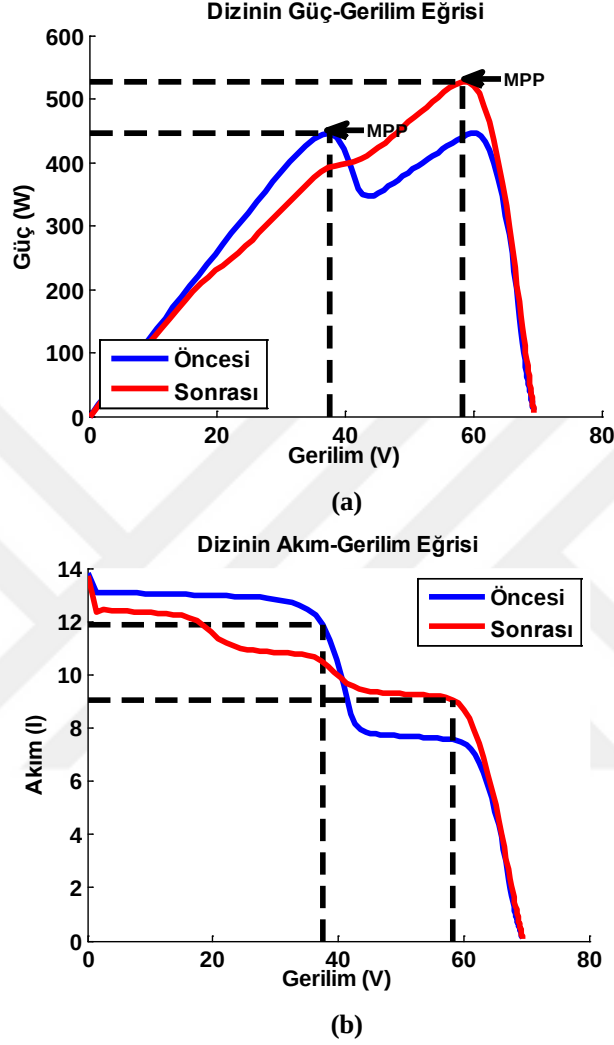
Şekilden de görülebileceği üzere sabit panellerin neredeyse tamamının kısmi gölgelenmesi sağlanmış olup, adaptif panellerde herhangi bir gölgelenme meydana gelmemiştir. Bu bilgiler ışığında başlangıç durumu ve yeniden düzenleme işleminin ardından elde edilen ışıma değerlerine bağlı değişimler Şekil 4.27’de verildiği gibidir.



Şekil 4.27. TCT bağlantı türü için senaryo 1 **(a)** Başlangıç bağlantı düzeni **(b)** Sonuç bağlantı düzeni

Şekil 4.27’den de görülebileceği üzere sistem önemli ölçüde değişikliğe uğramış durumdadır. Diğer bölümler de bahsedildiği üzere TCT bağlantı türünde S&P’den farklı olarak tek bir sabit panel satırına birden fazla adaptif panel bağlanabilmektedir. Bu çerçevede elde edilen sonuca göre A1 paneli S1’e bağlanırken A2 ve A3 paneli sistemi dengeleyebilmek için S3 satırına bağlanmıştır. Yine bu duruma bağlı olarak S2 satırı boşta bırakılmış ve herhangi bir adaptif panel bu satıra bağlanmamıştır.

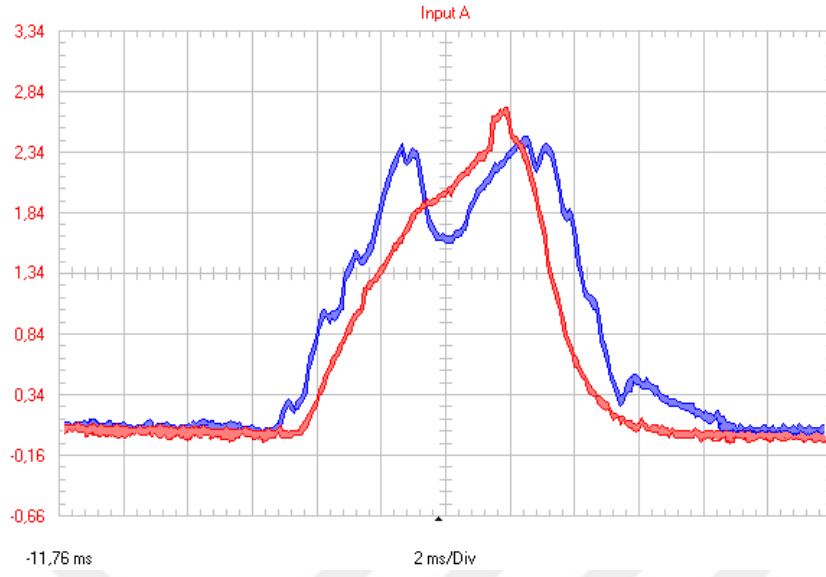
Bu değişikliğe bağlı olarak elde edilen güç-gerilim ve akım-gerilim grafiklerinin durumu sırasıyla şekil 4.28-(a) ve (b)'de sunulduğu gibidir.



şekil 4.28. TCT bağlantı tr için senaryo 1 **(a)** Başlangıç bağlantı düzeni **(b)** Sonuç bağlantı düzeni

şekil 4.28'den de görülebileceği üzere oldukça iyi bir oranda kazanım sağlanmışır. Temel olarak yapılan deneyselalışmalarda TCT bağlantı türünde bu durum ile karşılaşılmışır. Özellikle TCT bağlantı trnnalışma prensibi düşünüldüğünde ve bu prensibe bağlı olarak birden fazla adaptif panelin tek bir satıra bağlanabilmesi durumu dikkate alındığında bu kazanımın esas kaynağı ortaya çıkmaktadır.

Bu senaryoya bağlı olarak gerçekleştirilen gerçek zamanlı testlerden elde edilen sonuçlar şekil 4.29'da sunulduğu gibidir. Ayrıca MPP değerlerinin yeniden dzenleşimden önce ve sonrasını gösteren sayısal değerler Tablo 4.8'de verildiği gibidir.



Şekil 4.29. Senaryo 1 için gerçek zamanlı deneysel sonuç

Tablo 4.8. Senaryo 1 için değişim miktarları

Özellik	Değer
Başlangıç MPP değeri (W)	445,5111
Sonuç MPP değeri (W)	526,7620
Fark miktarı (W)	81,2509
Değişim miktarı (%)	18,2376

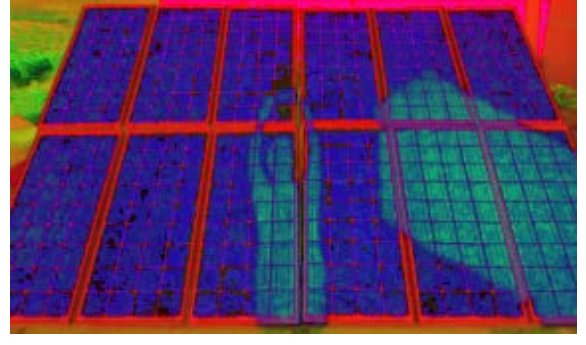
Tablodan da görülebileceği üzere yeniden düzenleme işleminin ardından yaklaşık 81W ve buna bağlı olarak %18 gibi bir oranda enerji verimliliği sağlanmıştır. PV sistemlerde bu kazanım oldukça yüksek olup, yeniden düzenleme işleminin etkinliği net bir şekilde görülebilmektedir.

4.3.2 TCT Bağlantı Türü için Senaryo 2

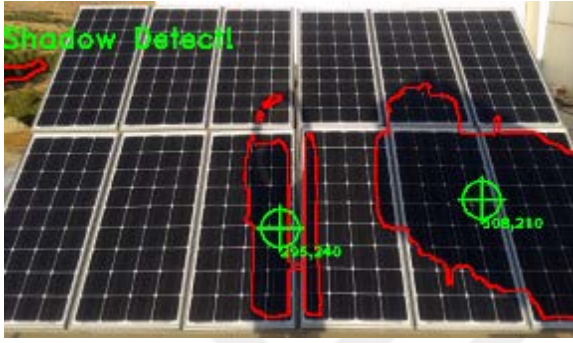
TCT bağlantı düzeni için gerçekleştirilen bir başka senaryo da ise PV sistem üzerinde iki farklı alanda gölgelenme durumu meydana getirilmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen bu senaryoda bulutların geçmesine bağlı olarak PV sistem üzerinde genel bir gölgelenme meydana gelmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında elde edilen bu senaryoya ait görüntüler Şekil 4.30’da verildiği gibidir.



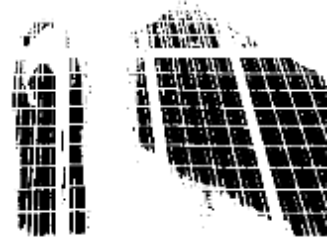
(a)



(b)



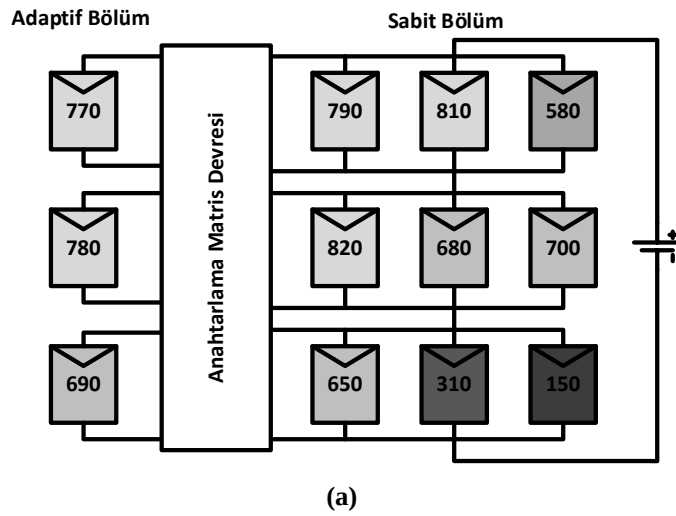
(c)

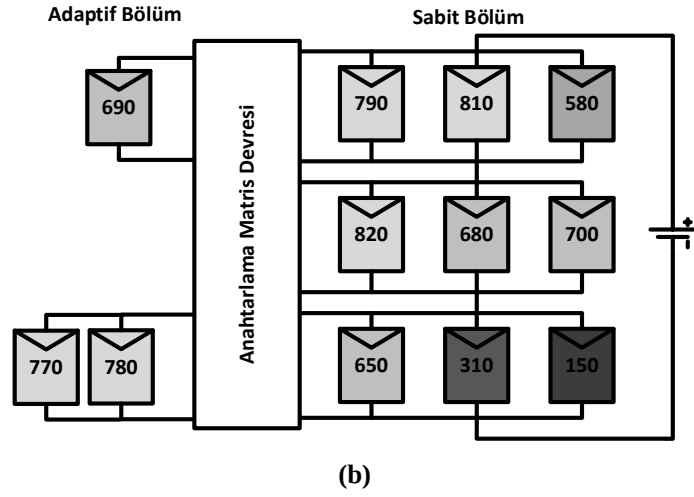


(d)

Şekil 4.30. TCT bağlantı türü için senaryo 2 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü

Şekilden de görülebileceği üzere sistem üzerinde meydana gelen iki farklı gölgelenme de sorunsuz bir şekilde tespit edilebilmiştir. Görüntü işleme modülünden elde edilen ışıma değerleri ve yeniden düzenleme işleminden sonra ortaya çıkan yeni panel konfigürasyonu Şekil 4.31’de verilmektedir.

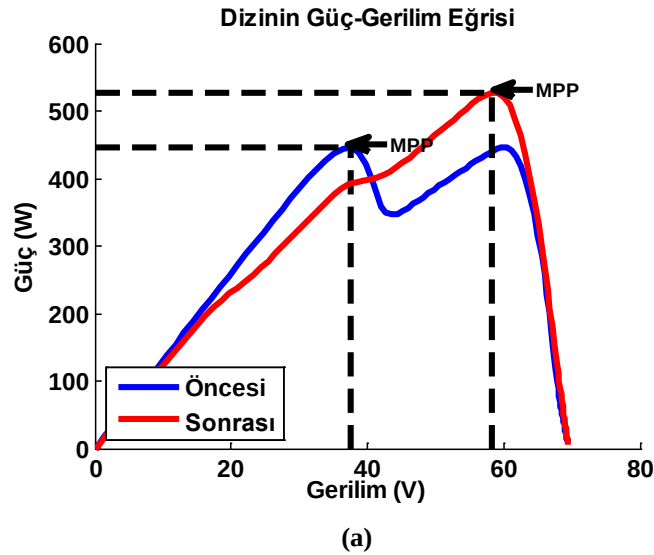


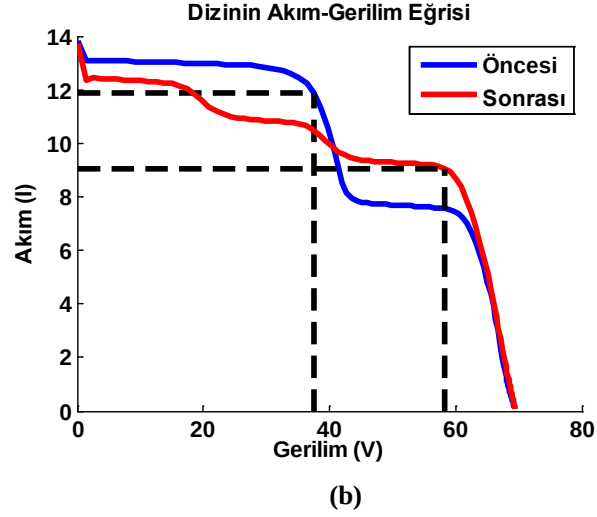


Şekil 4.31. TCT bağlantı türü için senaryo 2 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni

Deneyisel çalışmalar neticesinde elde edilen bu senaryo da yeniden düzenleme işleminin ardından A3-S1 ve A1-A2-S3 bağlantıları elde edilmiştir. S2 ise boş bırakılmıştır. Bu bağlantı düzenine göre elde edilen simülasyon sonuçları Şekil 4.32’de verildiği gibidir.

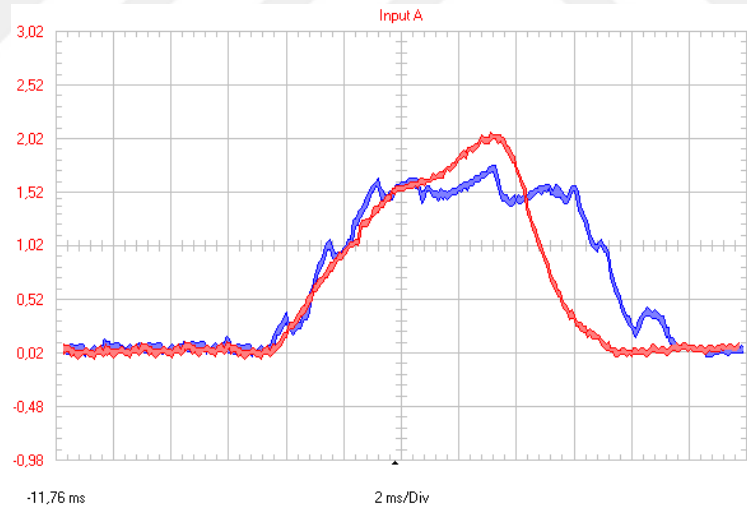
Şekil 4.32’den de görülebileceği üzere sistemde MPP değerleri yaklaşık %17 oranında bir gelişim göstermiş olup toplamda 62W’lık bir verim sağlanmıştır.





Şekil 4.32. TCT bağlantı türü için senaryo 2 **(a)** Başlangıç bağlantı düzeni **(b)** Sonuç bağlantı düzeni

Gerçekleştirilen bu senaryo bağlı olarak elde edilen gerçek zamanlı güç değişim grafiği ve MPP değerleri sırasıyla Şekil 4.33 ve Tablo 4.9’da verildiği gibidir.



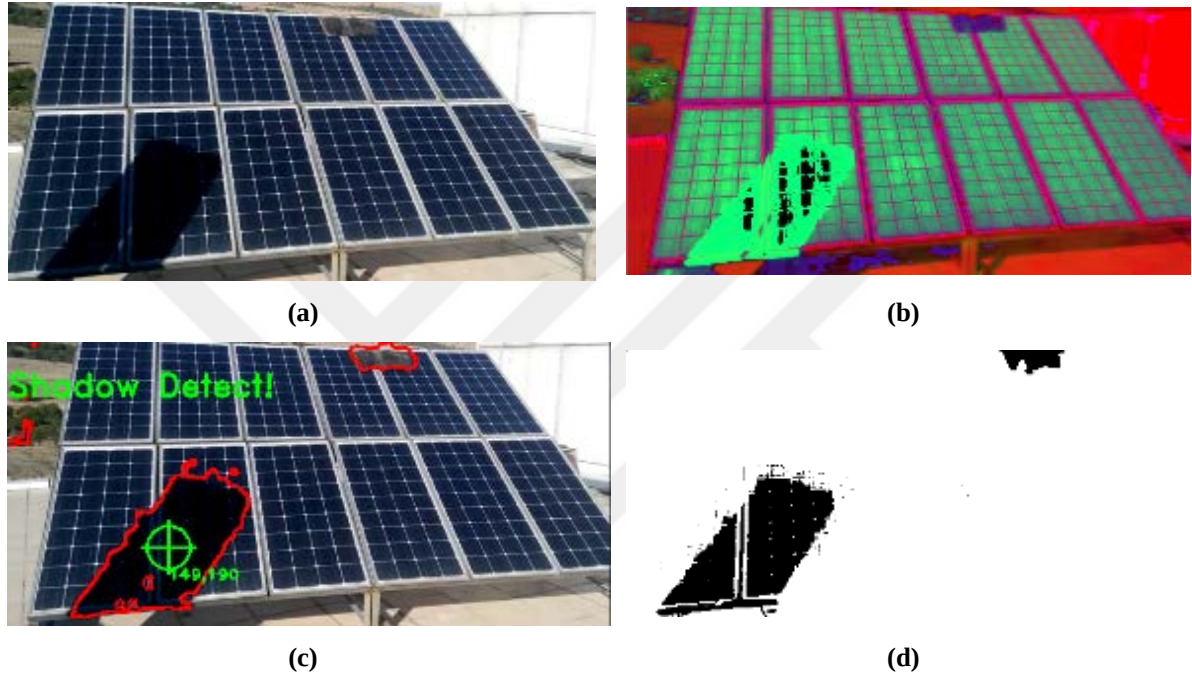
Şekil 4.33. Senaryo 2 için gerçek zamanlı deneysel sonuç

Tablo 4.8. Senaryo 2 için değişim miktarları

Özellik	Değer
Başlangıç MPP değeri (W)	423,8967
Sonuç MPP değeri (W)	512,6378
Fark miktarı (W)	88,7411
Değişim miktarı (%)	20,9346

4.3.3 TCT Bağlantı Türü için Senaryo 3

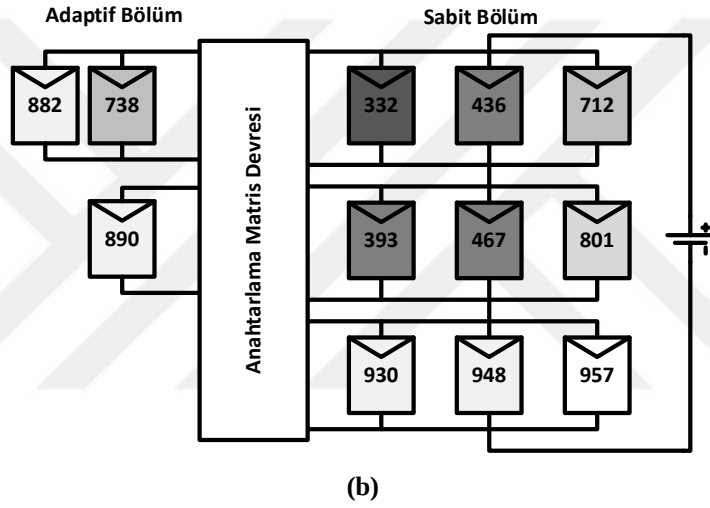
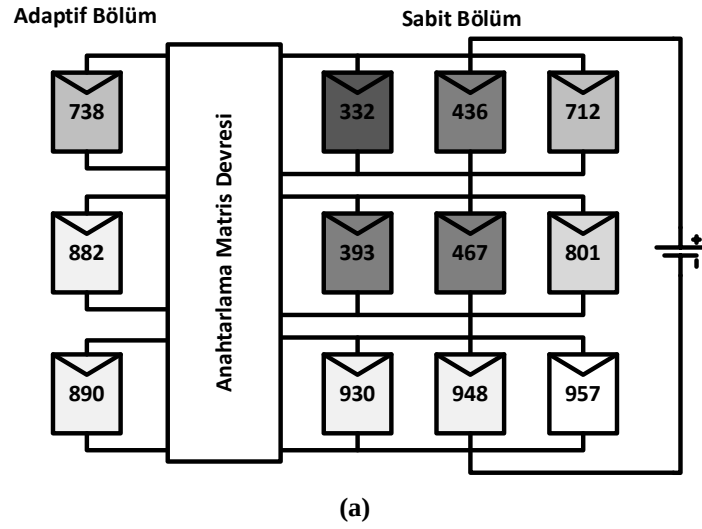
Gerçekleştirilen bir diğer yeni senaryoda hem PV sistem üzerinde kısmi bir gölgelenme oluşturulmuş hem de PV sistem üzerine bir obje koyularak panellerin ürettiği enerji miktarının düşürülmesi sağlanmıştır. Deneysel çalışmalar sürecinde elde edilen bu senaryoya ait görüntüler Şekil 4.34’de verildiği gibidir.



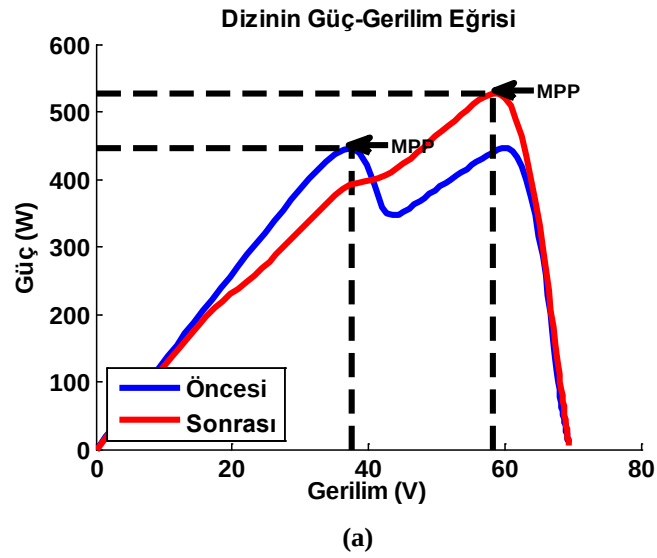
Şekil 4.34. TCT bağlantı türü için senaryo 3 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü

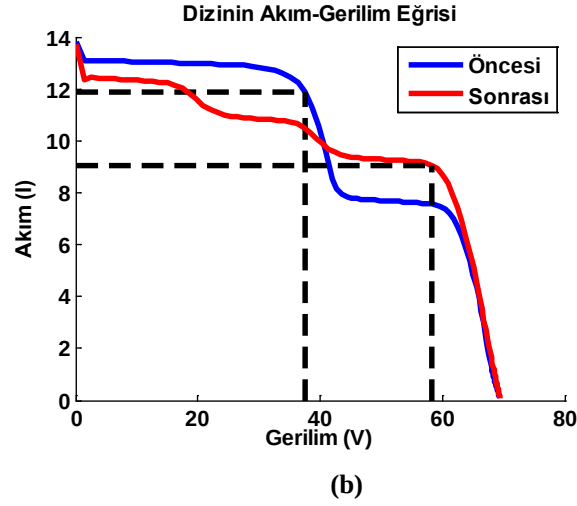
Bu senaryoya göre elde edilen yapılan yeniden düzenleme işleminin sonuçları ise Şekil 4.35’de verildiği gibidir. Şekilden de görülebileceği üzere A1-A2-S1 ve A3-S2 bağlantı şeması elde edilmiştir. Bu senaryoda da S3 satırı boşta kalmıştır.

Ortaya konan bu yeniden düzenleme işleminin sonucunda elde edilen değişimleri gösteren grafikler 4.36’da sunulduğu gibidir. Yaklaşık %13’lük bir verimliliğin sağlandığı bu senaryoda toplam 58W’lık bir enerji artışı elde edilmiştir.



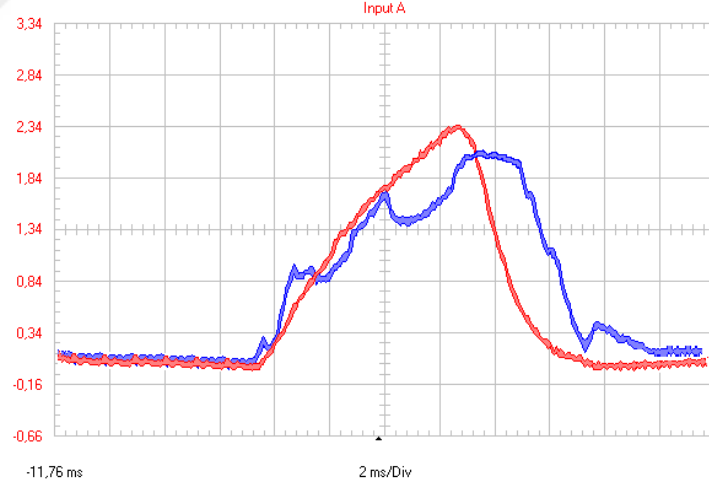
Şekil 4.35. TCT bağlantı türü için senaryo 3 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni





Şekil 4.36. TCT bağlantı türü için senaryo 3 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni

Tez çalışması süresince gerçekleştirilen bu senaryo için ortaya konan gerçek zamanlı çalışmalarda elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 4.37’de sunulmuş olup, MPP değerlerinin değişimi Tablo 4.9’da verilmiştir.



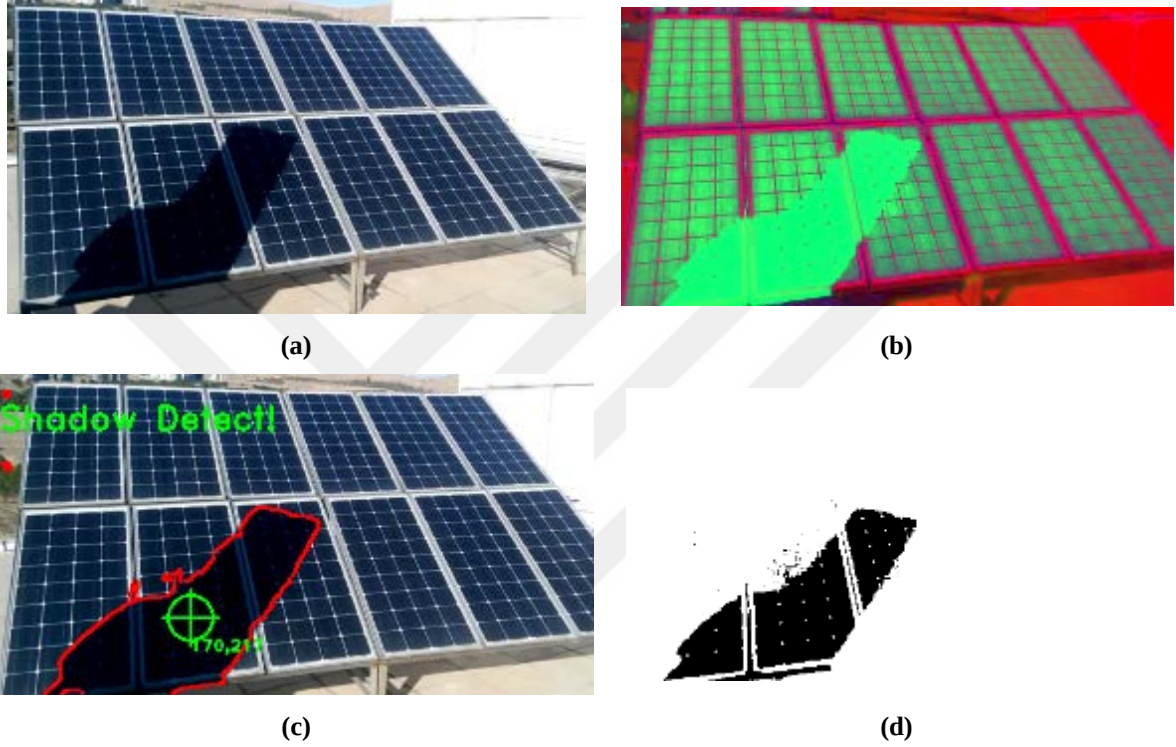
Şekil 4.37. Senaryo 3 için gerçek zamanlı deneysel sonuç

Tablo 4.9. Senaryo 3 için değişim miktarları

Özellik	Değer
Başlangıç MPP değeri (W)	428,9114
Sonuç MPP değeri (W)	511,5566
Fark miktarı (W)	82,6452
Değişim miktarı (%)	19,2686

4.3.4 TCT Bağlantı Türü için Senaryo 4

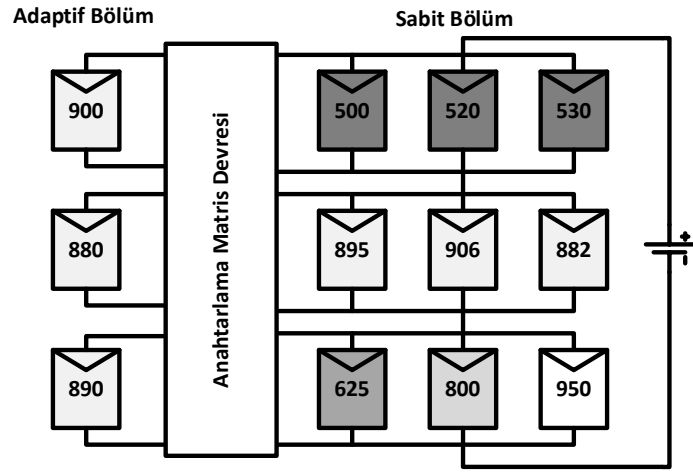
TCT bağlantı türü için gerçekleştirilen bu senaryoda S1 sabit panellerin tamamının kısmi gölgelenmesi sağlanmıştır. Bu senaryoya ait örnek görüntü ve görüntü işleme algoritmasından elde edilen sonuçlar Şekil 4.38’de sunulmaktadır.



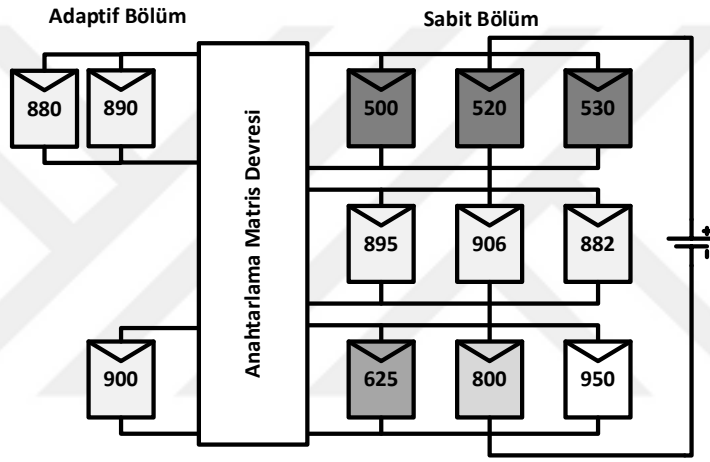
Şekil 4.38. TCT bağlantı türü için senaryo 4 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü

Bu senaryonun başlangıç ve sonuç bağlantı düzenlerini gösteren blok diyagramlar Şekil 4.39’da verildiği gibidir. Şekilden de görüleceği üzere A2 ve A3 adaptif panelleri S1 satırına bağlanmış durumdadır. A1 adaptif paneli ise tek başına S3 sabit satırına bağlanmıştır. Diğer senaryolarda da olduğu gibi S2 sabit satırı boş bırakılmıştır. Bu değerler genetik algoritma tarafından hesaplanan ve belirlenen sonuçlardır.

Sistemin yeniden düzenleme işlemine bağlı olarak gösterdiği değişimler olan güç-gerilim ve akım-gerilim grafikleri sırasıyla Şekil 4.40-(a) ve (b)’de verilmiştir. Grafiklerden de görüleceği üzere enerji konusunda %9 oranında bir artış sağlanmıştır. Bu senaryo için gerçekleştirilen saha testi sonucunda elde edilen değişimler ise Şekil 4.41’de sunulmaktadır. Ayrıca bu senaryonun MPP değerlerinin değişimi Tablo 4.10’da verildiği gibidir.

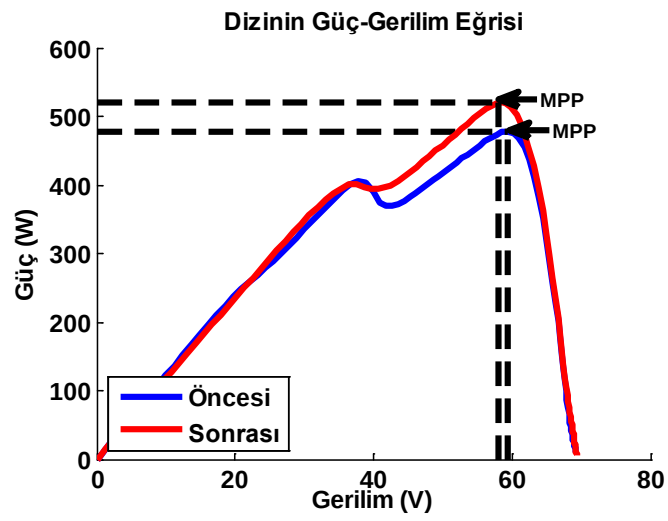


(a)

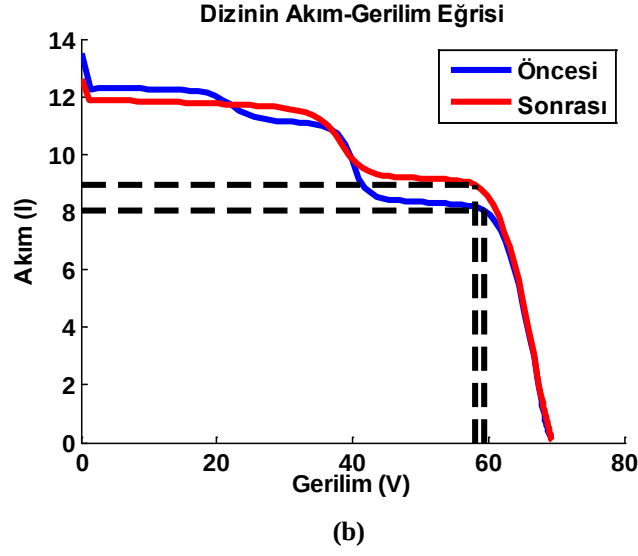


(b)

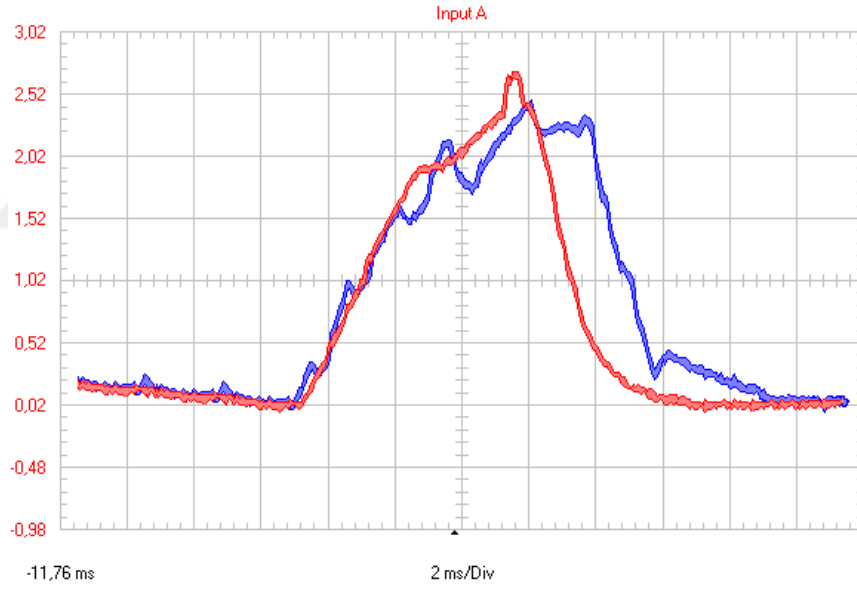
Şekil 4.39. TCT bağlantı türü için senaryo 4 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni



(a)



Şekil 4.40. TCT bağlantı türü için senaryo 4 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni



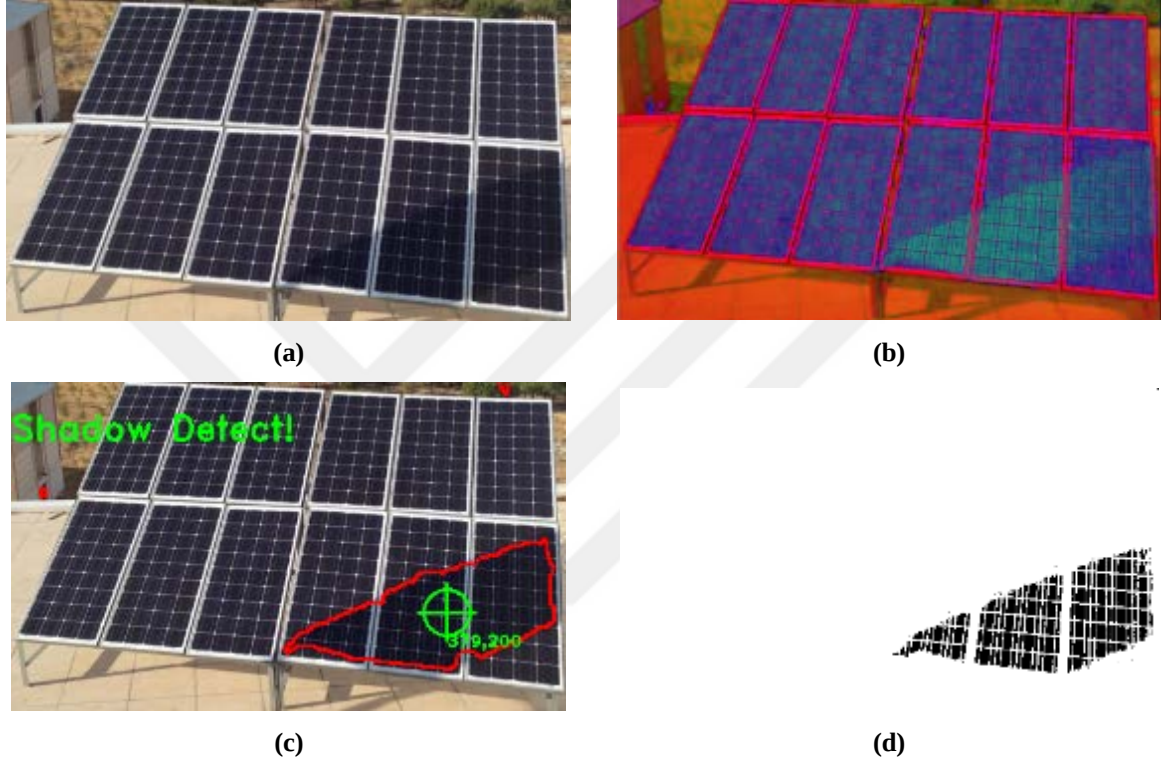
Şekil 4.41. Senaryo 4 için gerçek zamanlı deneysel sonuç

Tablo 4.10. Senaryo 4 için değişim miktarları

Özellik	Değer
Başlangıç MPP değeri (W)	478,3419
Sonuç MPP değeri (W)	519,6918
Fark miktarı (W)	41,3499
Değişim miktarı (%)	8,6444

4.3.5 TCT Bağlantı Türü için Senaryo 5

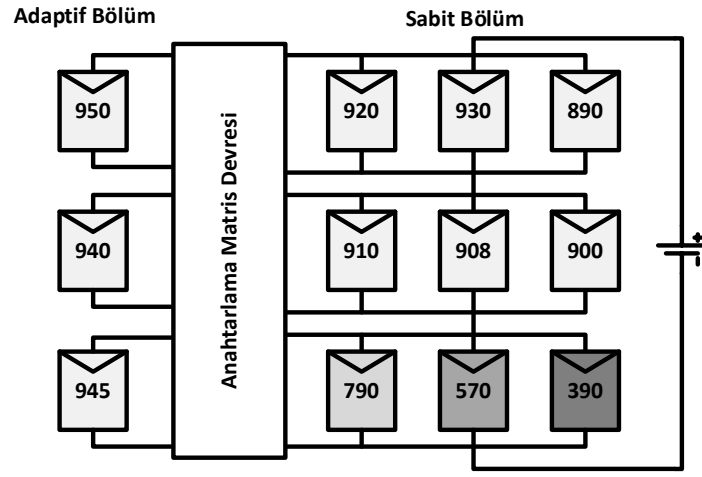
TCT bağlantı türü için gerçekleştirilen son senaryoda S3 sabit panellerinin tamamının kısmi gölgelenmesi sağlanmıştır. Bu durumu gösteren görüntüler Şekil 4.42’de sunulduğu gibidir.



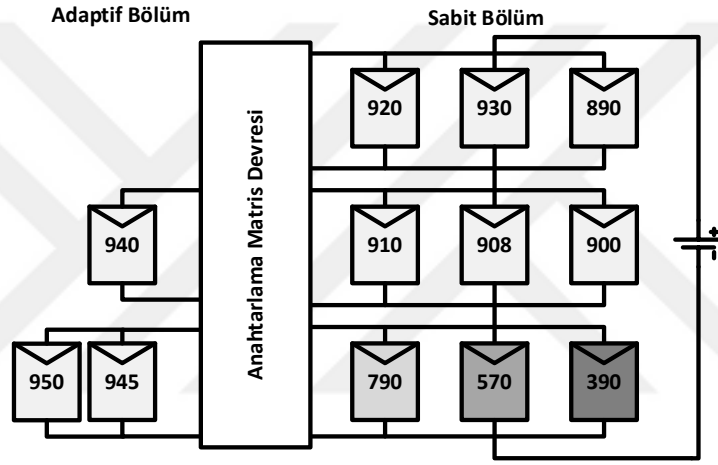
Şekil 4.42. TCT bağlantı türü için senaryo 5 (a) Orijinal görüntü (b) RGB to HSV (c) Sınırları belirlenmiş gölge (d) Eşiklenmiş gölge görüntüsü

Bu senaryo için gerçekleştirilen yeniden düzenleme işleminde elde edilen sonuçlar Şekil 4.43’de detaylı bir şekilde verilmektedir. Bu işlemde A2-S2 ve A1-A3-S3 bağlantı şeması elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen simülasyon çalışmalarında bu senaryo için yaklaşık %2 oranında bir kazanım elde edilmiştir. Bu simülasyon işleminin sonuçlarını gösteren grafikler Şekil 4.44’de sunulduğu gibidir. Diğer bölümlerde de bahsedildiği üzere PV sistemlerde en ufak bir enerji artışı bile çok büyük verim sağlamaktadır. Bu çerçevede gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen sonucu gösteren bir grafik Şekil 4.45’de verilmektedir. Ayrıca MPP değerlerinin değişimi Tablo 4.11’de verildiği gibidir.

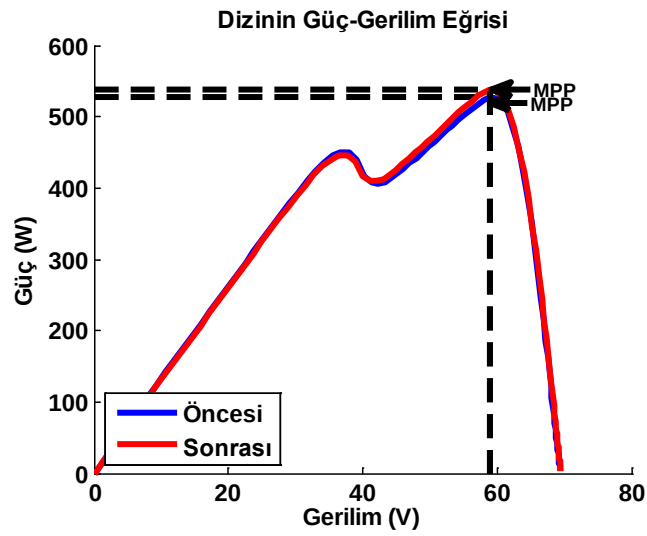


(a)

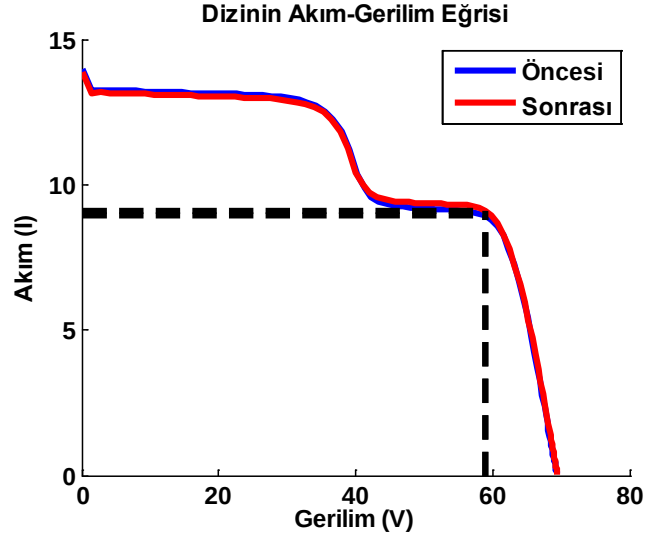


(b)

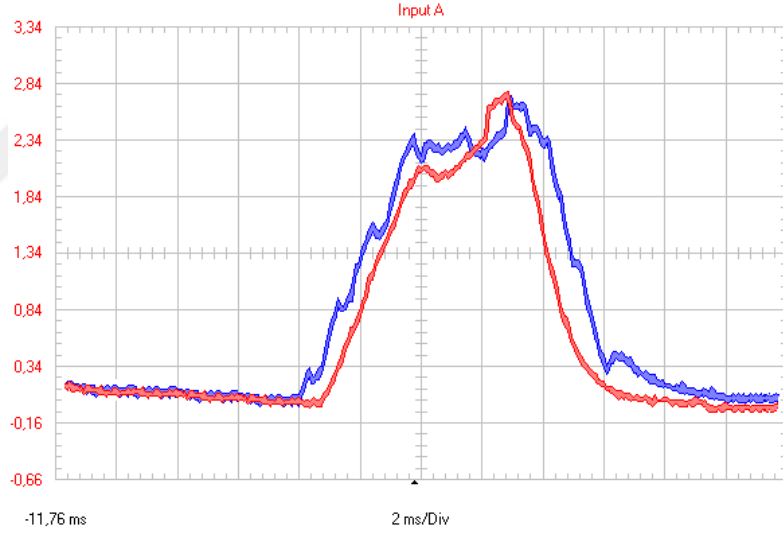
Şekil 4.43. TCT bağlantı türü için senaryo 5 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni



(a)



Şekil 4.44. TCT bağlantı türü için senaryo 5 (a) Başlangıç bağlantı düzeni (b) Sonuç bağlantı düzeni



Şekil 4.45. Senaryo 5 için gerçek zamanlı deneysel sonuç

Tablo 4.11. Senaryo 5 için değişim miktarları

Özellik	Değer
Başlangıç MPP değeri (W)	523,6144
Sonuç MPP değeri (W)	537,0730
Fark miktarı (W)	10,4586
Değişim miktarı (%)	1,9860

4.4. Karşılaştırmalı Deneysel Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında önerilen yaklaşımın en temel amacı tam veya kısmi gölgelenme koşulları altındaki PV sistemlerden elde edilebilecek enerji miktarını arttırmaktır. Bu amaçla kullanılan yeniden düzenleme yaklaşımı sayesinde PV sistem içerisindeki panellerin elektriksel bağlantıları değiştirilebilmekte ve paneller istenilen noktaya taşınabilmektedir.

Önerilen yaklaşımda kullanılan görüntü işleme modülü, optimizasyon modülü ve kontrol karar modülü ile PV sistemlere farklı bir bakış açısı getirilmiş olup, literatürdeki yeniden düzenleme yaklaşımlarına kıyasla daha basit, kolay ve ucuz maliyetle kurulabilecek bir yapı oluşturulmuştur. Bu hedefler doğrultusunda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile sistemin doğruluğu ve performansı gözlemlenmiş olup, eksiklikleri giderilmiştir. Literatürde sıklıkla kullanılan iki bağlantı türü için gerçekleştirilen bu yaklaşımda enerji anlamında önemli ölçüde kazanımlar sağlanmıştır. Bu noktada S&P bağlantı türü için senaryolara bağlı olarak elde edilen verimler detaylı bir şekilde Tablo 4.12’de sunulmaktadır.

Tablo 4.12. S&P bağlantı türü için karşılaştırmalı sonuçlar

Senaryo No	Başlangıç MPP (W)	Sonuç MPP (W)	Yüzde (%)	Fark 1 (Sonuç (W)-Başlangıç (W))	Fark 2 (Fark 1(W)-Kayıp(W))
1	421,80	459,96	9,0476	38,162	24,512
2	401,691	428,121	6,5795	26,4296	12,7796
3	356,64	378,93	6,2471	22,2805	8,6305
4	337,1	410,0	21,59	72,81	59,16
5	389,32	398,19	2,2771	8,8656	-4,7844
Toplam	1906,551	2075,201	9,148	168,5477	100,2977
Ort.	381,3102	415,0402	9,148	33,710	20,06

Tablo 4.12’den de görülebileceği üzere gerçekleştirilen tüm senaryoların ortalamasına göre yaklaşık %9’luk bir enerji verimliliği sağlanmıştır. Ayrıca bu %9’luk dilim ortalama 33.7W’lık bir enerji artışına tekabül etmektedir. Önceki bölümlerde de verildiği üzere sistemin toplam harcadığı güç miktarı 13.65W’dır. Bu durum da dikkate alındığında böylesi küçük bir sistemde ortalama 20W enerji kazanımı elde edilmiştir. Tablo tekrar incelenirse 5 numaralı senaryonun Fark 2 değerinin negatif çıktığı görülecektir. Normalde 8.8W’lık bir

enerji artışı ilk duruma göre sağlanmıştır. Fakat sistemin kayıpları da göz önüne alındığında yeniden düzenleştirmiş işleminin ardından bir enerji kaybı söz konusu olmuştur. Önerilen yaklaşımın dezavantajlarından birisi gibi görünse de araya konulacak basit bir kontrol modülü devresi ile bu durumun önüne geçilebilecektir. Gerçekleştirilen bu karşılaştırmanın TCT bağlantı şeması için detaylı bir durumu ise Tablo 4.13’de verildiği gibidir.

Tablo 4.13. TCT bağlantı türü için karşılaştırmalı sonuçlar

Senaryo No	Başlangıç MPP (W)	Sonuç MPP (W)	Yüzde (%)	Fark 1 (Sonuç (W)-Başlangıç (W))	Fark 2 (Fark 1(W)-Kayıp(W))
1	445,511	526,762	18,237	81,25	67,6
2	361,6631	423,89	17,207	62,233	48,583
3	428,9114	486,5566	13,439	57,645	43,995
4	478,3419	519,6918	8,65	41,35	27,7
5	523,6144	537,0730	1,986	10,4586	-3,1914
Toplam	2238,0418	2493,9734	11,903	252,9366	184,688
Ort.	447,6083	498,7946	11,903	50,58732	36,9376

Tablo 4.13’den de görülebileceği üzere sistemde yaklaşık %12 oranında bir artış sağlanmıştır. Buna bağlı olarak yaklaşık 51W kazanım sağlanmış olup, sistem kayıpları bu kazanımdan düşüldüğünde ortalama 37W’lık bir enerji artışı sağlanmıştır.

Her iki tablo da karşılaştırıldığında TCT bağlantı düzenine sahip sistemlerde daha fazla kazanım olduğu görülecektir. Bunun sebebi TCT bağlantı düzeninin daha esnek bir yapıya sahip olması ve buna bağlı olarak anahtarlama matrisi kullanılarak elde edilebilecek ihtimallerin sayısının fazla olmasıdır. Buna rağmen S&P bağlantı türünde de azımsanmayacak derecede verimlilik sağlanmış olup, her iki bağlantı türü içinde sistemin avantajı doğrulanmıştır.

5. SONUÇLAR

Günümüzde enerjiye olan ihtiyacın sürekli olarak artması fakat mevcut enerji kaynaklarının ise sürekli olarak tükenmesi dünya üzerinde büyük bir çelişki meydana getirmektedir. Özellikle ters orantılı olarak ilerleyen bu süreç neredeyse dünya üzerindeki bütün ülkeleri yeni kaynak ve çözüm arayışına itmektedir. Bu noktada enerji konusuna bir çözüm olarak sunulan yenilenebilir enerji kaynakları bu problem için oldukça önemli bir çıkış noktası haline gelmektedir. Dünyanın giderek en büyük problemi haline gelen enerji sorununun bu tarz enerji kaynakları ile üstesinden gelinmesi gelecek yüzyıldaki en büyük hedeflerden birisidir. Özellikle rüzgar ve güneş enerjisi gibi çeşitli tekniklerle dünya üzerindeki enerji probleminin giderilmesi en önemli amaçlardandır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında literatürde kendisine fazlasıyla yer bulan ve üzerine oldukça fazla çalışılan konulardan birisi PV sistemlerdir. Bu sistemler yenilebilir enerji kaynakları arasında oldukça popüler bir yere sahiptir. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi amacını taşıyan bu sistemler potansiyel verimleri ve maliyet konusundaki avantajlarından ötürü son yıllarda önemli bir tercih noktası haline gelmiştir. Özellikle ülkemizin yıllık güneşlenme miktarları şehirler bazında dikkate alındığında bu sistemlerin ülkemiz açısından sunacağı avantaj ve getiriler oldukça fazladır. Nitekim son zamanlarda bu sistemlere yapılan yatırımlar ve kurulan güneş enerjisi santralleri PV sistemlerin ülkemiz açısından önemini net bir şekilde ortaya koymaktadır.

PV sistemler temel olarak güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren sistemler olarak adlandırılmaktadır. Fakat bu sistemlerin temel çalışma yapısı ve verimliği panellerin almış olduğu ışık miktarı, ortamın sıcaklığı ve panellerin birbirleriyle olan bağlantılarına doğrudan bağlıdır. Bu parametrelerde yaşanacak herhangi bir sıkıntı bu sistemlerin çalışmasını doğrudan etkileyebilmekte ve panellerin verimini önemli ölçüde düşürebilmektedir. Özellikle bu sistemler üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmeler, bulutlar, panellerin kirlenmesi veya yağış olması gibi çeşitli etkenlerden sürekli olarak etkilenmektedir. Fakat literatürde yapılan çalışmalar ile bu durumların üstesinden gelinmesi hedeflenmekte ve bu sistemlerin enerji verimliliğinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar incelendiğinde temel olarak iki yöntem karşımıza çıkmaktadır. Bunlar sırasıyla MPPT ve yeniden düzenleşim işlemleridir. MPPT ile sistemin maksimum güç noktasında çalışması sağlanmaktadır ve bu işlem için çeşitli güç izleme algoritmaları kullanılmaktadır. Bu yöntem

ve algoritmalar günümüzde gerçekleştirilen neredeyse tüm PV sistemlerde aktif olarak kullanılmakta ve bu sistemler ile ayrılmaz bir bütün haline gelmiş durumdadırlar. Fakat bu noktada ortaya konulan bir diğer yöntem ise yeniden düzenleme işlemidir. MPPT yöntemlerine nispeten oldukça yeni bir yöntem olan bu yaklaşımda, PV sistem içerisinde kullanılan panellerin arasındaki bağlantıların değiştirilmesi ve buna bağlı olarak sistemden elde edilen enerji miktarının artırılması amaçlanmaktadır. Bu yeni yaklaşımda ise çeşitli algoritmalar kullanılmakta ve sistemden elde edilebilecek maksimum enerji seviyesini sağlayacak optimal panel düzenleri tespit edilmektedir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, PV sistemlerde oldukça fazla enerji kaybına sebep olan tam veya kısmi gölgelenme durumlarının üstesinden gelinmeye çalışılmıştır. Bu amaçla görüntü işleme ve optimizasyon tabanlı bir yeniden düzenleme yaklaşımı önerilerek, sistemin maksimum enerji düzeyine çıkarılması hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda panellerin elektriksel olarak bağlantılarını değiştirebilmek için bir anahtarlama matrisi tasarlanmış ve sistemde aktif olarak kullanılmıştır. Tez çalışması süresince geliştirilen sistemde temel olarak bir kamera aracılığıyla sistem izlenmekte ve anlık olan bu sistemin görüntüsü alınmaktadır. Bunun amacı sistem üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmeleri görüntü işleme yoluyla tespit etmektir. Ayrıca sistemde bulunan bir ARM tabanlı kontrol kartı ile alınan bu görüntüler işlenmektedir. İşlenen bu görüntülerden ise ışıma değerleri bilgisi elde edilmektedir. Bu amaçla yapılan testlerde sistemde mevcut bulunan akım sensörleriyle kısa devre akımları tespit edilmiştir. Daha sonrasında bu değerler görüntü işleme algoritmasından elde edilen ışıma değerleriyle kıyaslanmış ve sistemin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Sistemi meydana getiren ikinci modül olan optimizasyon algoritmasına bu ışıma değerleri giriş parametresi olarak verilmektedir. Genetik algoritmaların kullanıldığı bu modülde ise enerji verimliliğini sağlayacak olan optimal panel düzeni hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu optimal panel düzeni ise kontrol ve karar modülüne iletilmektedir. Bu modülde bu panel düzeninin sisteme uygulanabilirliği kontrol edilmekte ve sonuç olumlu ise bu bilgi sistemde kullanılan anahtarlama matrisine iletilmektedir. Anahtarlama matrisi temel olarak rölelerden oluşan bir yapı olup, PV sistemde kullanılan güneş panellerinin bağlantı yapısını değiştirmeye olanak sağlayan bir modüldür. PV sistemi adaptif ve sabit olmak üzere iki bölüme ayıran bu sistem ile paneller herhangi bir fiziksel yer değiştirmeye gerek kalmadan tamamen elektriksel olarak istenilen herhangi bir noktaya taşınabilmektedir. Çalışma kapsamında önerilen bu yaklaşım ile paneller üzerinde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmelerin negatif etkileri ortadan kaldırılmakta buna bağlı olarak sistemden elde

edilebilecek enerji miktarı maksimum düzeye çıkarılmaktadır. Önerilen yaklaşım bağlantı türünden bağımsız olarak çalışmakta olup, küçük veya büyük ölçekli PV sistemlerde sorunsuz bir şekilde kullanılabilir. Tez çalışması süresince gerçekleştirilen bu yöntemde çalışmalar hem simülasyon hem de saha testleri olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ise detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bu çerçevede gerçekleştirilen bu yaklaşımın getirmiş olduğu avantajlar maddeler halinde aşağıda sıralandığı gibidir:

- Önerilen yaklaşım sayesinde PV sistemlerde oldukça büyük bir problem olan tam veya kısmi gölgelenme durumlarının negatif etkileri azaltılmıştır.
- Önerilen bu yeniden düzenleşim yaklaşımı ile enerji verimliliği sağlanmış ve PV sistemlere yeni bir bakış açısı getirilmiştir.
- Yapılan simülasyon ve deneysel çalışmalar ile önerilen yaklaşımın avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiş sistemin doğruluğu ispatlanmıştır.
- Tez çalışması süresince önerilen uygunluk fonksiyonları ile bu yaklaşımın bağlantı türünden bağımsız olarak çalışabilmesi sağlanmıştır.
- Gerçekleştirilen farklı senaryolar ile sistemin hangi durumlarda ne tür tepkiler verdiği gözlemlenmiş ve buna bağlı olarak sistemin etkili sonuçlar verebilmesi sağlanmıştır.
- Sistemin modüler bir yapıda çalışması sağlanmış olup, ileride yapılacak olan ekleme veya çıkarmalar ile sistemin geliştirilmesinin önü açık bırakılmıştır.
- Gerçek zamanlı yapılan testler sayesinde önerilen bu yaklaşımın uygulanabilirliği kanıtlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Nyugen, T. L., Low, K. S., 2010. A global maximum power point tracking scheme employing DIRECT search algorithm for photovoltaic systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 3456-3467, October 2010.
- [2] Maki, A., Valkealahti, S., 2012. Power losses in long string and parallel-connected short strings of series-connected silicon-based photovoltaic modules due to partial shading conditions, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 173-183, March 2012.
- [3] Wang, Y., Lin, X., Kim, Y., Chang, N., Pedram, M., 2012. Enhancing efficiency and robustness of a photovoltaic power system under partial shading, *13th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED)*, 592-600, 19-21 March 2012.
- [4] Lin, X., Wang, Y., Yue, S., Shin, D., Chang N., Pedram, M., 2012. Near-optimal, dynamic module reconfiguration in a photovoltaic system to combat partial shading effects, *49th ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)*, 516-521, 3-7 June 2012.
- [5] Storey, J. P., Wilson, P. R., Bagnall, D., 2013. Improved optimization strategy for irradiance equalization in dynamic photovoltaic arrays, *IEEE 27th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel*, 1-5, 3-7 June 2013.
- [6] Rabinovici, R., Dagan, T., 2012. Assessment of solar irradiance in large-scale photovoltaic fields by means of video processing, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2946-2956, 14-17 Nov. 2012.
- [7] Wang, Y., Lin, X., Pedram, M., Kim, J., Chang, N., 2013. Capital cost-aware design and partial shading-aware architecture optimization of a reconfigurable photovoltaic system, *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*, 1-4, 18-22 March 2013.
- [8] Patel, H., Agarwal, V., 2008. Maximum power point tracking scheme for pv systems operating under partially shaded conditions, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1689-1698, April 2008.
- [9] L, C. H., Hsieh, V. L., Chen, C. S., Hsu, C. T., Ku, T. T., 2012. Optimization of photovoltaic penetration in distribution systems considering annual duration curve of solar irradiation, *IEEE Transactions on Power Systems*, 1090-1097, May 2012.

- [10] **Baygin, M., Karakose, M.**, 2014. Image processing based analysis of moving shadow effects for reconfiguration in PV arrays, *IEEE International Energy Conference (ENERGYCON)*, 683-987, 13-16 May 2014.
- [11] **Candela, R., Dio, V. D., Sanseverino, E. R., Romano, P.**, 2007. Reconfiguration techniques of partial shaded pv systems for the maximization of electrical energy production, *International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP '07)*, 716-719, 21-23 May 2007.
- [12] **Tria, L. A. R., Escoto, M. T., Odulio, C. M. F.**, 2009. Photovoltaic array reconfiguration for maximum power transfer, *IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 1-6, 23-26 Jan. 2009.
- [13] **Chaaban, M. A., Alahmad, M., Neal, J., Shi, J., Berryman C., Cho, Y., Lau, S., Li, H., Schwer, A., Shen, Z., Stansbury, J., Zhang, T.**, 2010. Adaptive photovoltaic system, *36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, 3192-3197, 7-10 Nov. 2010.
- [14] **Karakose, M., Murat, K., Akin, E., Parlak, K. S.**, 2014. A new efficient reconfiguration approach based on genetic algorithm in PV systems, *International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 1-4 June 2014.
- [15] **Balato, M., Costanzo, L., Vitelli, M.**, 2015. Multi-Objective optimization of PV arrays performances by means of the dynamical reconfiguration of PV modules connections, *International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, 1646-1650, 22-25 Nov. 2015.
- [16] **Paraskevadaki, E. V., Papathanassiou, S. A., Vitelli, M.**, 2011. Evaluation of MPP voltage and power of mc-Si PV modules in partial shading conditions, *IEEE Transactions on Power Systems*, 923-932, September 2011.
- [17] **Santos, P. D., Vincente, E. M., Ribeiro, E. R.**, 2011. Reconfiguration methodology of shaded photovoltaic panels to maximize the produced energy, *Power Electronics Conference (COBEP)*, 700-706, 11-15 Sept. 2011.
- [18] **Cheng, Z., Pang, Z., Liu, Y., Xue, P.**, 2010. An adaptive solar photovoltaic array reconfiguration method based on fuzzy control, *Proceedings of the 8th World Congress on Intelligent Control and Automation*, 700-706, 6-9 July 2010.
- [19] **El-Dein, M. Z., Kazerani, M., Salama, M. M. A.**, 2012. Optimal photovoltaic array reconfiguration to maximize power production under partial shading, *11th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 1-6, 18-25 May 2012.

- [20] **Brunton, S. L., Rowley, C. W., Kulkarni, S. R., Clarkson, C.,** 2010. Maximum power point tracking for photovoltaic optimization using ripple-based extremum seeking control, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2531-2540, October 2010.
- [21] **Safari, A., Mekhilef, S.,** 2011. Simulation and hardware implementation of incremental conductance mppt with direct control method using cuk converter, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1154-1161, April 2011.
- [22] **Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo G., Vitelli, M.,** 2005. Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 963-973, July 2005.
- [23] **Nyugen, D., Lehman, B.,** 2008. An adaptive solar photovoltaic array using model-based reconfiguration algorithm, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2644-2655, July 2008.
- [24] **Mohanty, S., Subudhi, B., Ray, P. K.,** 2016. A new mppt design using grey wolf optimization technique for photovoltaic system under partial shading conditions, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 181-188, January 2016.
- [25] **Karakose, M., Baygin, M., Baygin, N., Murat, K. and Akin, E.,** 2014. An intelligent reconfiguration approach based on fuzzy partitioning in pv arrays, *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, 1-5, 23-25 June 2014.
- [26] **Abouobaida, H., Khayat, M. E., Cherkaoui, M.,** 2014. Low cost and high efficiency experimental MPPT based on Hill Climbing approach, *Journal of Electrical Engineering*, 1-6, January 2014.
- [27] **Femia, N., Lisi, G., Petrone, G., Spagnuolo, G. and Vitelli, M.,** 2008, Distributed maximum power point tracking of photovoltaic arrays: novel approach and system analysis, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2610-2621, 2008.
- [28] **Ishaque, K., Salam, Z.,** 2013. A deterministic Particle Swarm Optimization maximum power point tracker for photovoltaic system under partial shading condition, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 3195-3206, August 2013.
- [29] **Cristaldi, L., Faifer, M., Rossi, M., Toscani, S.,** 2014. An Improved Model-Based Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Panels, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63-71, January 2014.

- [30] **Chin, C. S., Chin, Y. K., Kiring, A., Kin Teo, K. T.,** 2012. Fuzzy Logic Based MPPT for PV Array under Partially Shaded Conditions, *International Conference on Advanced Computer Science Applications and Technologies (ACSAT)*, 133-138, 26-28 November 2012.
- [31] **Rani, B. I., Ilango, G. S. and Nagamani, C.,** 2013. Enhanced power generation from PV array under partial shading conditions by shade dispersion using Su Do Ku configuration, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 594-601, July 2013.
- [32] **Quesada, G. V., Gispert, F. G., Lopez, R. P., Lumbreas, M. R., Roca, A. C.,** 2009. Electrical PV Array Reconfiguration Strategy for Energy Extraction Improvement in Grid-Connected PV Systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 4319-4332, November 2009.
- [33] **Liu, Y., Pang, Z. and Cheng, Z.,** 2010. Research on an adaptive solar photovoltaic array using shading degree model-based reconfiguration algorithm, *Control and Decision Conference (CCDC)*, 2356-2360, May 2010.
- [34] **El-Dein, M. Z., Kazerani, M., Salama, M. M. A.,** 2013. Optimal Photovoltaic Array Reconfiguration to Reduce Partial Shading Losses, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 145-154, January 2013.
- [35] **Karakose, M., Baygin, M., Baygin, N.,** 2014. An Analysis Approach for Optimization Based Reconfiguration in Photovoltaic Arrays, *International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, 954-959, 1-4 June 2014.
- [36] **Patel, H., Agarwal, V.,** 2008. MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 302-310, March 2008.
- [37] **Parlak, K. S.,** 2013. A New Reconfiguration Method for PV Array System, *The 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, 1476-1481, 10-13 Nov 2013.
- [38] **Nyugen, D., Lehman, B.,** 2008, A Reconfigurable Solar Photovoltaic Array under Shadow Conditions, *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 980-986, February 2008.
- [39] **Paja, C. A., Bastidas, J. D., Montes, A. J., Gispert, F. G., Goetz, M.,** 2012. Mathematical model of total cross-tied photovoltaic arrays in mismatching conditions, *IEEE 4th Colombian Workshop on Circuits and Systems (CWCAS)*, 1-6, 1-2 Nov. 2012.

- [40] **Storey, J., Wilson, P. R., Bagnall, D.,** 2014. The Optimized-String Dynamic Photovoltaic Array, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 1768-1776, April 2014.
- [41] **Patnaik, B., Sharma, P., Trimurthulu, E., Duttagupta, S. P., Agarwal, V.,** 2011. Reconfiguration strategy for optimization of solar photovoltaic array under non-uniform illumination conditions, *37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 1859-1864, 19-24 June 2011.
- [42] **Balato, M., Manganiello, P., Vitelli, M.,** 2014. Fast Dynamical Reconfiguration algorithm of PV Arrays, *Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, 1-8, 25-27 March 2014.
- [43] **Karakose, M., Baygin, M., Parlak, K. S.,** 2014. A new real-time reconfiguration approach based on neural network in partial shading for PV arrays, *International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*, , 633-637, 19-22 Oct. 2014.
- [44] **Karakose, M., Baygin, M., Baygin, N., Murat, K. and Akin, E.,** 2016. Fuzzy Based Reconfiguration Method Using Intelligent Partial Shadow Detection in PV Arrays, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 202-212, January 2016.
- [45] **Parlak, K. S.,** 2014, PV Array Reconfiguration Method under Partial Shading Conditions, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems (ELSEVIER)*, 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.06.042.
- [46] **Baygin, M., Karakose M.,** 2013. Immunity-Based Optimal Estimation Approach for a New Real Time Group Elevator Dynamic Control Application for Energy and Time Saving, *The Scientific World Journal*, Article ID 805343, 12 pages, doi: 10.1155/2013/805343, 2013.
- [47] **Zeren, F., Baygin M.,** 2015. Genetik Algoritmalar ile Optimal Portföy Seçimi: BİST-30 Örneği, *Journal Of Business Research Turk*, 309-324, 2015.
- [48] **Manna, D. L., Vigni, V. L., Sanseverino, E. R., Dio V. D., Romano, P.,** 2014. Reconfigurable electrical interconnection strategies for photovoltaic arrays: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33(2014) 412–426
- [49] **Viola, F., Romano, P., Miceli, R., Spataro, C., Schettino, G.,** 2017, Technical and Economical Evaluation on the Use of Reconfiguration Systems in Some EU Countries for PV Plants, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 53, No. 2, March/April 2017

- [50] **Mahmoud, Y., El-Saadany, E.**, 2017, Fast Reconfiguration Algorithm for Improving the Efficiency of PV Systems, The 8th International Renewable Energy Congress (IREC 2017)
- [51] **Ebrahimi, B., Rahmani, M., Ghodsypour, S.,H.**, 2017, A new simulation-based genetic algorithm to efficiency measure in IDEA with weight restrictions, Measurement 108 (2017) 26–33



ÖZGEÇMİŞ

Nursena BAYĞIN, 1987 yılında Batman’ da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Batman’da tamamladı. 2006 yılında Batman Anadolu Lisesini bitirdikten sonra 2006 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümüne başladı. Bu bölümü 2011 yılında tamamladıktan sonra özel bir şirkette çalışmaya başladı. 2013 yılında Kafkas Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Yazılım Anabilim dalında araştırma görevlisi olarak işe başladı ve hala aynı görevde devam etmektedir.

