

**YENİDEN DÜZENLEŞİM İÇİN ENTROPİ TABANLI
ARAMA ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

Kağan MURAT

**Yüksek Lisans Tezi
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Erhan AKIN
AĞUSTOS-2014**

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

**YENİDEN DÜZENLEŞİM İÇİN ENTROPİ TABANLI
ARAMA ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kağan MURAT

(111129113)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14.07.2014
Tezin Savunulduğu Tarih: 04.08.2014**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan AKIN (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Arif GÜLTEN (F.Ü)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE (F.Ü)

AĞUSTOS-2014

ÖNSÖZ

Bu çalışmada PV sistemlerde gölgelenmenin neden olduğu enerji kayıplarını minimum seviyeye indirmek ve sistemden maksimum gücü elde etmek için entropi tabanlı arama algoritmaları geliştirilmektedir. Benzer konuda yapılan diğer çalışmalara nazaran önerilen yaklaşımın daha kısa sürede daha sağlıklı sonuçlar vermesi amaçlanmıştır. Özellikle, günümüzde fosil kaynaklı yakıtların giderek tükenmesi ve yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmasıyla önem kazanan PV sistemler için kullanımı kolay ve verimi yüksek bir yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda hazırlanan çalışmanın, hem araştırmacılar için bir kaynak niteliği taşımasını hem de bu alanda geliştirilen yeni yöntemler için farklı bir bakış açısı olarak değerlendirilmesini umarım.

Bu çalışma süresince her konuda kendisini arkamda hissettiğim sayın danışman hocam Prof. Dr. Erhan AKIN'a vermiş olduğu fikir ve önerilerinden dolayı teşekkür ediyorum.

Gerek deneysel çalışmalarda gerekse önerileriyle bana destek olan ve zamanını harcayan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARAKÖSE'ye her türlü desteğinden ötürü teşekkür ediyorum.

Ayrıca tez süresince desteğinden ötürü değerli arkadaşım Orhan YAMAN'a ve Mehmet BAYĞIN'a ve hayatımın her anında ilgisini, anlayışını ve desteğini benden esirgemeyen aileme çok teşekkür ediyorum.

TEŞEKKÜR

Bu tezde geliştirilen yöntemler, 112E214'nolu TUBİTAK 1001 araştırma projesi ile desteklenmiştir. Tezdeki yazılımsal ve donanımsal uygulamaların temin edilmesinde maddi desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumuna teşekkür ederim.

**Kağan MURAT
ELAZIĞ - 2014**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	V
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XI
SİMGELER LİSTESİ	XII
KISALTMALAR LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	8
1.2. Tezin Yapısı	10
2. SINIFLANDIRMA, ENTROPİ VE KARAR AĞAÇLARI İLİŞKİSİ	11
2.1. Sınıflandırma	11
2.2. Entropi	13
2.3. Karar Ağaçları.....	14
2.4. Entropi ve Karar Ağaçları Kullanarak Sınıflandırma Süreci.....	15
2.4.1. ID3 Algoritması	16
2.4.2. C4.5 Algoritması.....	18
2.5. Bir Entropi Tabanlı Karar Ağacı ile Sınıflandırma Uygulaması	20
3. FOTOVOLTAİK DİZİLERDE YENİDEN DÜZENLEŞİM	31
3.1. PV Sistem Yapısı	32
3.2. Gölgeleme Etkisi.....	36
3.3. Yeniden Düzenleşim Yaklaşımı	38

4.	ÖNERİLEN YENİDEN DÜZENLEŞİM ALGORİTMALARI	43
4.1.	Panellerin Işıma Bilgisinin Ölçümü.....	46
4.2.	Gölgelenme Oranı Ölçüm Yapısı	46
4.3.	Entropi Tabanlı Genetik Algoritma Kullanan Arama Algoritması	47
4.4.	Entropi Tabanlı Karar Ağaçları ile Sınıflandırma Algoritması	53
4.5.	Karar Verme Algoritması	60
4.6.	Kontrol Birimi.....	61
4.7.	Anahtarlama Matris Devresi.....	61
5.	DENEYSEL SONUÇLAR	64
5.1.	Deney Düzeneği.....	64
5.2.	Yeniden Düzenleşim Sonuçları	66
5.3.	Önerilen Yöntem Sonuçları	68
6.	SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR		82
ÖZGEÇMİŞ		87

ÖZET

En önemli yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için fotovoltaiik (PV) paneller kullanılır. Günümüzde güneş enerjisinden faydalanarak enerji elde etmek için bu paneller çeşitli şekillerde bağlanarak PV diziler ve hatta PV santraller oluşturulmaktadır. Ancak PV sistemlerin verimi ışık miktarı, sıcaklık ve dizinin bağlantı yapısına doğrudan bağlıdır. Özellikle kısmi gölgeli durumlar PV dizilerden elde edilen maksimum güç noktasını oldukça etkilemektedir. Bir PV diziyi maksimum güç noktasında çalıştırmak için çeşitli izleme algoritmaları kullanılır. Diğer taraftan PV dizilerden elde edilebilecek maksimum güç noktası, dizinin bağlantı yapısı değiştirilerek artırılabilir. Bunun için yeniden düzenleşim algoritmaları kullanılır.

PV dizilerde yeniden düzenleşim algoritmalarının amacı, sistemden daha yüksek gücün elde edilmesi için ortam şartlarına göre panel bağlantılarının gerçek zamanlı olarak değiştirilmesidir. Diğer bir deyişle yeniden düzenleşim, panellerin olası farklı bağlantı şekilleri arasından en uygun bağlantı düzeninin aranması ve bulunması yöntemidir. Bu işlem, dizi içerisindeki panellerin tamamına veya bir kısmına ait bağlantı düzeninin belirli ilkeler çerçevesinde değiştirilmesi ile yapılır. Literatürde bulunan yeniden düzenleşim yöntemlerinde, genellikle kabarcık sıralama gibi kullanımı zor olan algoritmalar kullanılmaktadır. Etkili bir yeniden düzenleşim algoritmasında, en yüksek gücü verecek bağlantı düzeni gerçek zamanlı olarak bulunabilmelidir.

Bu tez çalışmasında, PV dizilerde kısmi gölgelenme koşullarında sistemden maksimum gücün elde edilmesini sağlamak için yeni bir yeniden düzenleşim yaklaşımı önerilmektedir. Dizinin boyutu arttıkça oluşan milyonlarca hatta milyarlarca ihtimal arasından optimal bağlantı düzenini bulmak için entropi tabanlı genetik algoritma kullanılmaktadır. Bu yöntem yüksek doğruluklu ve etkili bir arama yöntemi sunmaktadır. Adaptif ve sabit panellerden oluşan PV sistemde, adaptif panele ait modüllerin sabit panele ait modüllere bağlanarak sistemin aynı panellerle farklı bir konfigürasyona sahip olması sağlanmaktadır. Bunun için bir anahtarlama matrisi kullanılmaktadır. Böylece, aynı koşullarda daha yüksek güç elde edilecek yapı sağlanmaktadır. Geliştirilen algoritmalara giriş parametresi olarak kısa devre akımları ve görüntü işleme ile elde edilen gölgelenme değerleri olmak üzere iki ayrı ölçüm bilgisi kullanılmıştır. Deneyler için üç adaptif panel ve dokuz sabit panele sahip sistem oluşturulmuştur ve önerilen yöntemin her boyuttaki PV

dizilerde gerçek zamanlı olarak kullanılabilir olduğu etkili sonuçlarla gösterilmektedir. Karşılaştırmalı olarak elde edilen güç-gerilim grafikleri önerilen yöntemin performansını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, bu tez kapsamında her boyuttaki PV diziler için kısmı gölge şartlarında daha yüksek güç elde etmek üzere gerçek zamanlı olarak uygulanabilen entropi tabanlı genetik algoritma kullanan yeni bir yeniden düzenleşim yöntemi önerilmektedir. Ayrıca bu yöntem simülasyon ve deneysel sonuçlarla doğrulanmaktadır.

Bu tez kapsamında hedeflenen algoritmaların geliştirilmesi için yapılan alışmalar 112E214 numaralı TÜBİTAK 1001 araştırma projesi ile desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik diziler, Yeniden düzenleşim, Maksimum güç noktası, Entropi, Genetik algoritma, Karar ağaları.

SUMMARY

DEVELOPMENT OF ENTROPY BASED SEARCHING ALGORITHMS FOR RECONFIGURATION

Photovoltaic (PV) panels are used for the conversion of solar energy which is the most important energy source into electrical energy. Nowadays, PV arrays and even PV power plants are created by connecting these panels in various ways to utilize energy from solar energy. However, the efficiency of PV systems is based directly on irradiance level, temperature and connection structure of panels. Especially, the maximum power point obtained from PV arrays is greatly affected when partial shading conditions occur on PV system. Various tracking algorithms are used to run the PV arrays with the maximum power point. On the other hand, the maximum power point can be obtained from the PV array can be increased by changing the connection structure of panels. For this process, reconfiguration algorithms are used.

The reconfiguration algorithms in PV systems is aimed to change panel connections in real time according to partial shading conditions to obtain more power from system. In other words, reconfiguration is searching and finding the most appropriate connection structure between possible connections of panels. This process is performed by changing all or some of these panel connections with certain principles. The methods in literature, are often used algorithms which are difficult to apply such as bubble sort. For an efficient reconfiguration algorithm, the connection structure which can obtain the maximum power point should be found in real time.

In this study, a new reconfiguration approach is proposed to obtain maksimum power from PV arrays with partial shading. Entropy based genetic algorithm is used to find the optimal connection structure among millions even and billions possibility. This new method is presented an efficient and high accuracy searching method. A PV system that consist of adaptive panel and fixed panel will be had a different configuration with same PV panels by connecting modules of adaptive panel to modules of fixed panel. A switching matrix circuit is used for this. Thus, the structure that obtain more power under the same conditions is provided. Two different measurement information have been used as input

parameters for developed algorithms: short circuit currents and shading ratio values obtained by image processing. For experiments, a PV system which consists of three adaptive PV panels and nine fixed PV panels is created and the method of any size to be used in real time in the PV array is illustrated by the effective results. Obtained comparative power-voltage graphs demonstrate the performance of the proposed method.

As a result, the scope of this study, a new reconfiguration method which used entropy based genetic algorithm and can be applied in real time is proposed to obtain more power under partial shading for every size of PV arrays. Also, this method is verified by simulations and experiments.

The techniques developed in this study have been supported research TUBITAK 1001 project with No: 112E214.

Key Words: Photovoltaic arrays, Reconfiguration, Maximum power point, Entropy, Genetic algorithm, Decision trees.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Kurulu bir PV sistem örneği	1
Şekil 1.2 Literatürdeki bir örneğe ait Işıma-Güç grafiği [10]	3
Şekil 1.3 PV diziler için yeniden düzenlemeye bağlı MPP değişimi	4
Şekil 1.4 Literatürde önerilen yeniden düzenleşim süreci [14]	5
Şekil 1.5 Literatürde önerilen bir yeniden düzenleşim yaklaşımı [18]	6
Şekil 1.6 Literatürde önerilen Su Do Ku yeniden düzenleşim yöntemi [19]	7
Şekil 2.1 Sınıflandırma ile ilgili model kurma süreci	12
Şekil 2.2 Sınıflandırma modelinin uygulama süreci	13
Şekil 2.3 Karar ağacı modeli	15
Şekil 2.4 Karar ağacı ilk dallanması	24
Şekil 2.5 İkinci adım sonucunda oluşan karar ağacı	27
Şekil 2.6 “Hava” niteliğinin “Bulutlu” değeri için elde edilen karar ağacı	28
Şekil 2.7 Sonuç karar ağacı	29
Şekil 3.1 Yeniden düzenleşim yöntemi güç kazancı	32
Şekil 3.2 Yeniden düzenleşim sonucunda dizi görünümü	32
Şekil 3.3 PV Hücre modeli	33
Şekil 3.4 PV hücrelerin PV dizi oluşturmaları	34
Şekil 3.5 Panel bağlantı tipleri	35
Şekil 3.6 PV dizilerde bağlantı tipleri	35
Şekil 3.7 Kısmi gölgeli bir PV dizi	36
Şekil 3.8 PV sistemlerde kısmi gölgeleme durumu	37
Şekil 3.9 Gölgeleme öncesi ve sonrası durum	37
Şekil 3.10 Bir sistemde yeniden düzenleşim	38
Şekil 3.11 Yeniden düzenleşim için anahtarlama matris devresi	39
Şekil 3.12 Yeniden düzenleşim metodu ile düzenlenmiş bir sistem	40
Şekil 3.13 Yeniden düzenleşim yöntemi öncesi ve sonrası sistemin durumu	41
Şekil 4.1 Önerilen yaklaşıma ait akış diyagramı	44

Şekil 4.2 Önerilen yaklaşımın çalışmasına ait sistem yapısı	45
Şekil 4.3 Entropi tabanlı genetik algoritma geliştirme süreci	48
Şekil 4.4 Olası bir bağlantıya ait bit gösterimi	50
Şekil 4.5 Çaprazlama ve mutasyon işlemleri	51
Şekil 4.6 Bir kromozoma ait bitsel bölge	52
Şekil 4.7 Entropi tabanlı genetik algortmada bölge yoğunluğu artırımı sözde kodu	53
Şekil 4.8 Sınıflandırma ve sonuç bulma	55
Şekil 4.9 Entropi tabanlı C4.5 algoritması sözde kodu	57
Şekil 4.10 Sınıflandırma modeli	58
Şekil 4.11 Karar ağacı ve sonuca giden yolu izleme	59
Şekil 4.12 İki algoritmanın kıyaslanma ve karar verme	60
Şekil 5.1 Hazırlanan PV sistem yapısı	65
Şekil 5.2 Sınıflandırma modeli belirlemede kullanılan yazılıma ait ekran görüntüsü	69
Şekil 5.3 Örnek veriler için bağlantı şemaları	71
Şekil 5.4 Birinci test verisi için yeniden düzenleşim işlemi öncesi ve sonrası	72
Şekil 5.5 Birinci test verisi için yeniden düzenleşim işlemi öncesi ve sonrası osiloskop verileri	72
Şekil 5.6 Birinci test verisi TCT bağlantı için yeniden düzenleşim işlemi öncesi verileri	73
Şekil 5.7 Birinci test verisi TCT bağlantı için yeniden düzenleşim işlemi sonrası verileri	73
Şekil 5.8 İkinci test verisi için yeniden düzenleşim işlemi öncesi ve sonrası	74
Şekil 5.9 İkinci test verisi için yeniden düzenleşim işlemi öncesi ve sonrası osiloskop verileri	74
Şekil 5.10 İkinci test verisi TCT bağlantı için yeniden düzenleşim işlemi öncesi verileri	75
Şekil 5.11 İkinci test verisi TCT bağlantı için yeniden düzenleşim işlemi sonraki verileri ...	75
Şekil 5.12 Daha fazla PV dizi için süre sonuçları	78

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 Eğitim kümesi	20
Tablo 2.2 Adım 1 için kazanç ölçütleri	23
Tablo 2.3 “Hava” niteliğinin “Güneşli” değeri için eğitim verileri	24
Tablo 2.4 Adım 2 için kazanç ölçütleri	26
Tablo 2.5 “Hava” niteliğinin “Bulutlu” değeri için eğitim verileri	27
Tablo 2.6 “Hava” niteliğinin “Yağmurlu” değeri için eğitim verileri	28
Tablo 4.1 Olası bir bağlantıya ait uç birleşimleri gösterimi	49
Tablo 4.2 Kısa devre akımları ve bağlantı yapıları	56
Tablo 4.3 Eğitim verileri	56
Tablo 4.4 Sayısal eğitim verilerinin etikete dönüştürülmesi	57
Tablo 4.5 İkilik ifadelerin gerçek karşılıkları	62
Tablo 5.1 PV panel karakteristik özellikleri	64
Tablo 5.2 Örnek verilere ait ışıma değerleri	66
Tablo 5.3 Örnek verilere ait gölgelenme dereceleri	67
Tablo 5.4 Eğitim veri sayısı ve sınıflandırma süresi	69
Tablo 5.5 Birinci örnek veriye ait sonuçlar	70
Tablo 5.6 İkinci örnek veriye ait sonuçlar	70
Tablo 5.7 Üç farklı yaklaşıma ait değerler	78
Tablo 5.8 Daha fazla sayıdaki PV diziye göre kıyaslama sonuçları	78

SİMGELER LİSTESİ

W	: Watt
W/m²	: Işıma
P	: Güç
V	: Gerilim
I	: Akım
<i>v_i</i>	: Veri değeri
<i>c</i>	: Sınıf
H(x)	: Entropi
<i>F_i</i>	: Sabit panel akım değeri
<i>A_i</i>	:Adaptif panel akım değeri
<i>avg(I_{sc})</i>	: Kısa devre akımları ortalaması

KISALTMALAR LİSTESİ

MPPT	: Maximum Power Point Tracking
MPP	: Maximum Power Point
PV	: Photo-voltaic
P&O	: Perturb and Observe
ID3	: Iterative Dichotomiser 3
CART	: Classification and Regreation Trees
SP	: Series-Parallel
TCT	: Total-cross-tied
BL	: Bridged link
YD	: Yeniden düzenleşim
MGN	: Maksimum güç noktası

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacının sürekli olarak artması, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin önemli ölçüde artmasına sebep olmaktadır. Çağımızda sıklıkla kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının başında şüphesiz fotovoltaiik (PhotoVoltaic - PV) sistemler gelmektedir. Toplumda artan enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik olan PV sistemler, gerek enerji üretimi konusunda sağlamış olduğu birçok avantaj olsun gerekse maliyet konusunda ortaya koyduğu avantajlar ile bu tür sistemleri yenilenebilir enerji kaynaklarının ilk sırasına koymaktadır. Şekil 1.1’de örnek bir kurulu PV sistem verilmektedir. Şekilden de görülebileceği üzere birçok ülkede bu şekilde güneş paneli tarlaları kurulmakta ve sürekli olarak bir enerji sağlanmaya çalışılmaktadır.



Şekil 1.1. Kurulu bir PV sistem örneği

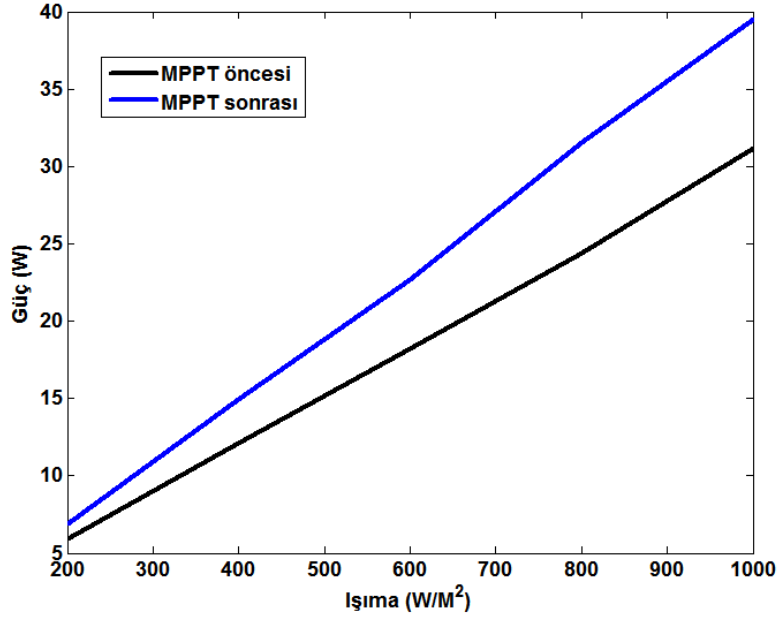
Bu tür yenilenebilir enerji kaynaklarının performansını etkileyen birçok farklı çevresel faktör bulunmaktadır. PV sistemler için bu faktörlerin başında tam veya kısmi gölgelenme durumları gelmektedir. Sistem üzerinde meydana gelen zamana bağlı kirlenmeler, çevredeki nesnelerin gün içerisinde güneşin konumuna göre bu tür sistemler üzerinde gölgeler oluşturması, uçak, kuş gibi uçan nesnelerin anlık olarak gölge oluşturması veya bulutların hareket etmesi, bu tür sistemlerin performansını doğrudan etkilemekte ve sistemden elde edilen güç miktarını önemli ölçüde düşürmektedir. Sistemden elde edilen maksimum güç

potansiyelinin düşmesi ise akım veya gerilimde meydana gelen değişikliklerden kaynaklanmaktadır [1,2].

Günümüzde PV sistemlerden elde edilen enerji miktarını arttırmaya yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle tam veya kısmi gölgelenme durumlarının meydana getirdiği durumları ortadan kaldırmaya yönelik çalışan bu uygulamalar, bu tür gölgelenmelerin meydana getirmiş olduğu negatif etkileri minimum seviyeye indirmektedir. Sistemden sağlanabilecek maksimum enerji verimliliğini elde etmeyi amaçlayan bu uygulamalar sırasıyla maksimum güç noktası izleme (MPPT) algoritmaları ve yeniden düzenleme yöntemleridir [3].

İlk olarak MPPT yöntemi incelenecek olursa, bu algoritmalar ile bir PV dizisi sisteminden mevcut koşullar altında elde edilebilecek maksimum güç noktasının hesaplanması ve sistemin sürekli olarak bu noktayı takip etmesi sağlanarak, sistemin maksimum güç seviyesinde çalıştırılması hedeflenmektedir [4-7]. Fakat bu yöntemin pratikte bazı dezavantajları vardır. MPPT yaklaşımı, mevcut şartlar altındaki bulunan sistem için özel tasarlanan bir yapıya sahiptir, yani farklı bir sistem üzerinde uygulanması için yeniden kurgulanması gerekmektedir. Ayrıca, bu yöntem de sadece o anki bağlantı düzenine bağımlı olarak çalışılmaktadır. Yani, kısmi gölgelenme şartları değiştiğinde ve bu duruma bağlı olarak farklı bağlantı olasılıkları oluşabilmesi durumları göz önüne alındığında bu yöntem yetersiz kalabilmektedir. Bu yöntem ile yapılmış bir çalışmada [8], bulanık mantık tabanlı bir MPPT yaklaşımı önerilmiştir. Çalışmada, maksimum güç noktası takibi için basitliği ve kullanım kolaylığı nedeniyle P&O (perturb and observe) metodu kullanılmıştır ve bu metod dört farklı senaryo için gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım, hem test ortamı hem de kısmi gölgelenme şartları altında test edilmiş olup hem gerçek MPPT yöntemi hem de bulanık MPPT yöntemi için farklı PV modül sayıları göz önüne alınarak karşılaştırılmalı sonuçlar verilmiştir. Maksimum güç noktasını izleme ile ilgili bir diğer çalışmada ise [9], PV diziler için ayırık MPPT yapısı sunulmuştur. Geliştirilen bu çalışmada 13 PV modül göz önüne alınarak, bu modüllerin 2-12 arasında farklı aralıklardaki gölgeli durumlarına göre işlem yapılmıştır. Farklı ışıma değerleri üzerinden testler yapılmış olup, simülasyon çalışmalarında standart MPPT ve ayırık MPPT yapısı karşılaştırılmıştır. Konu üzerine gerçekleştirilen farklı bir çalışmada [10], MPPT yaklaşımında kullanılan farklı bağlantı topolojileri üzerinden bir matematiksel model çıkarılarak işlemler gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Farklı P-V karakteristikleri kullanılarak yapılan işlemler sonucunda farklı ışıma değerleri için Şekil 1.2’de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Bu

yöntemin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlarda, yaklaşık %20 oranında bir verim sağlandığı görülmüştür.



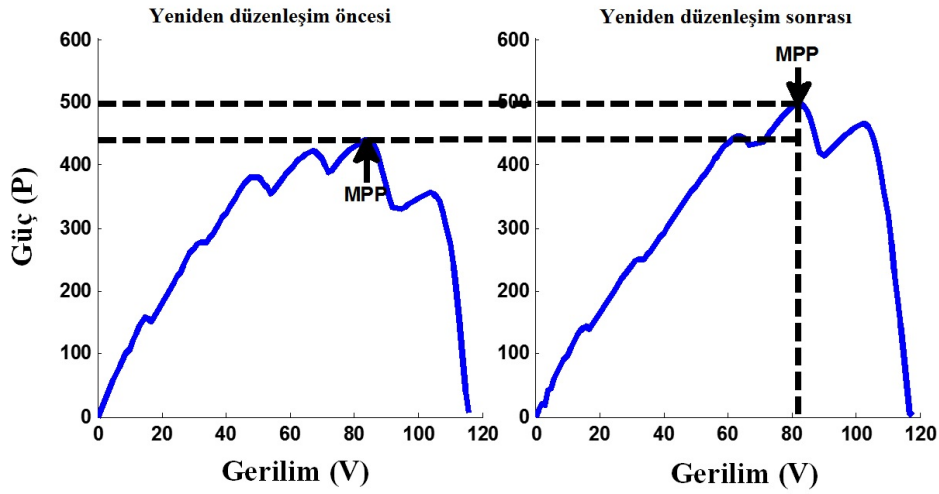
Şekil 1.2. Literatürdeki bir yönteme ait Işıma-Güç grafiği [10]

MPPT metodu ile ilgili farklı bir çalışmada [11], yine kısmi gölgeli koşullar altında çalışan PV diziler için deterministik parçacık sürü optimizasyonu yöntemi önerilmiştir. Çalışmanın temel amacı, parçacık sürü optimizasyonunda kullanılan parametrelerden biri olan hızlanma faktöründe yapılan değişimdir. Geliştirilen bu metot, geleneksel tepe tırmanma metodu kullanan bir MPPT yaklaşımı ile karşılaştırılmış ve geleneksel yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bir diğer çalışmada [12], model tabanlı bir MPPT yöntemi geliştirilmiştir. Geleneksel bir model-tabanlı yaklaşım modeli üzerinde akım, gerilim ve sıcaklık ölçümleri konusunda yapılan birtakım geliştirmeler ile bir PV modül, bir ısıma sensörü olarak geliştirilmiştir. Önerilen yöntemin sağladığı avantajlar, P-V karakteristik grafikleri ile gösterilmiştir. Konu üzerinde gerçekleştirilen bir diğer çalışmada ise [13], yirmiye yakın MPPT yöntemi sunulmuş ve bu yöntemler donanım, maliyet ve uygulamaları yönünden kıyaslanmıştır.

Literatürde yapılan çalışmaların birçoğu MPPT algoritmalarını kullanmakta olup PV dizilerde gölgelenmenin neden olduğu kayıpların üstesinden gelme amacı taşımaktadır. Fakat I-V ve P-V karakteristik değerlerinin kısmi gölgelenme şartlarında lineer bir yapıda

olmaması bu algoritmaların verimini düşürmekte ve maksimum güç noktasının elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu durumu engellemede ve MPPT metotlarının performansını arttırmada kullanılan bir diğer yöntem ise PV sistemlerde yeniden düzenleme yaklaşımıdır. Bu yöntem ile maksimum güç noktası arttırılmakta ve yine PV sistemlerin çalışma performansı önemli ölçüde geliştirilmektedir.

Yeniden düzenleme yöntemi, farklı sistemlerde ve farklı kısmi gölgeleme şartlarında maksimum verimi alabilecek şekilde geliştirilmiştir. Yani, sistemin elektriksel bağlantı düzenleri değiştirilerek sistemin dinamik bir yapıda çalışması sağlanmaktadır. Literatürde bu yöntem kullanılarak çok sayıda çalışma yapılmıştır. Fakat temel olarak bir PV dizisinin basit bir maksimum güç noktasını gösteren şeması Şekil 1.3'te yeniden düzenleme işleminden önce ve sonraki durumlar için gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi yeniden düzenleme işleminin bu tür sistemler üzerindeki etkisi yaklaşık %10 civarında olup, bu tür bir pozitif etki bile PV sistemler için oldukça önemlidir.

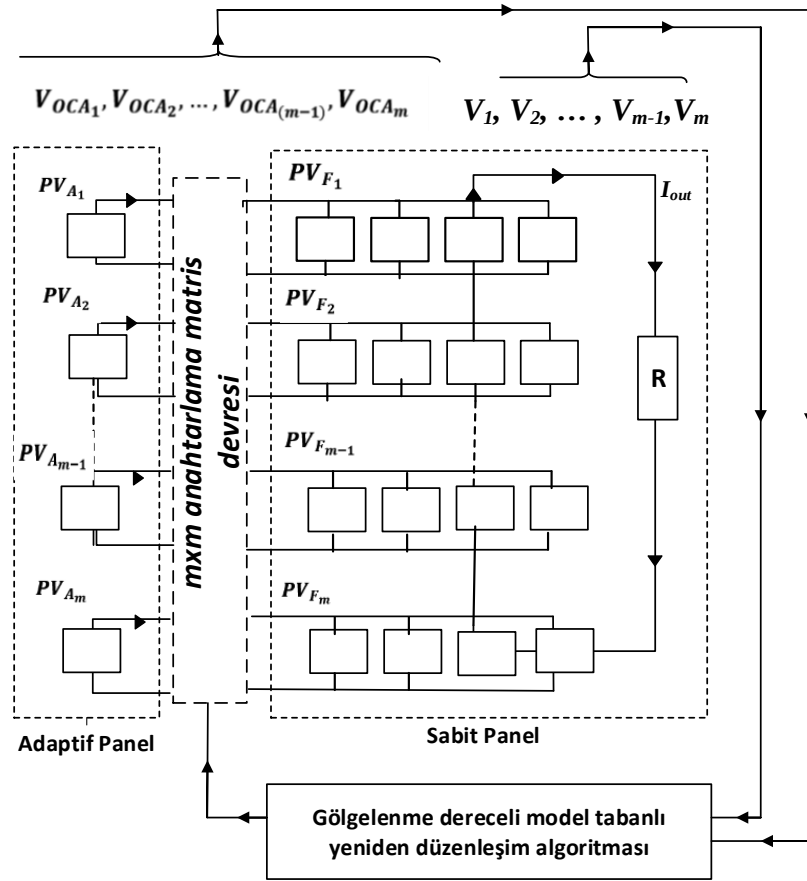


Şekil 1.3. PV diziler için yeniden düzenlemeyle ilgili MPP değişimi

Bu yaklaşım kullanılarak yapılan bir çalışmada [14], panellerden alınan gerilim ve akım değerleri kullanılmıştır. Bu değerlerle elde edilen gölgelenme dereceleri kullanılarak sistemin bağlantıları yeniden düzenlenmeye çalışılmıştır. Şekil 1.4'te gösterilen yapıyı kullanan çalışmada yaklaşımın olumlu etkilerinden bahsedilmiş ve yapılan deneylerle yöntemin avantajları gösterilmiştir. PV sistemlerde yeniden düzenleme işlemi farklı giriş değerleri hesaplanarak kullanılabilir. Ancak, bu değerler matematiksel ifadeler ve hesaplamalar gerektirdiğinden hem sistemin verimini hem de çalışma süresini doğrudan

etkilemektedir. Yeniden düzenleme yaklaşımı ile yapılan bir çalışmada [15] ise, ışıma seviyesi uyumu indeks değeri kullanılmıştır.

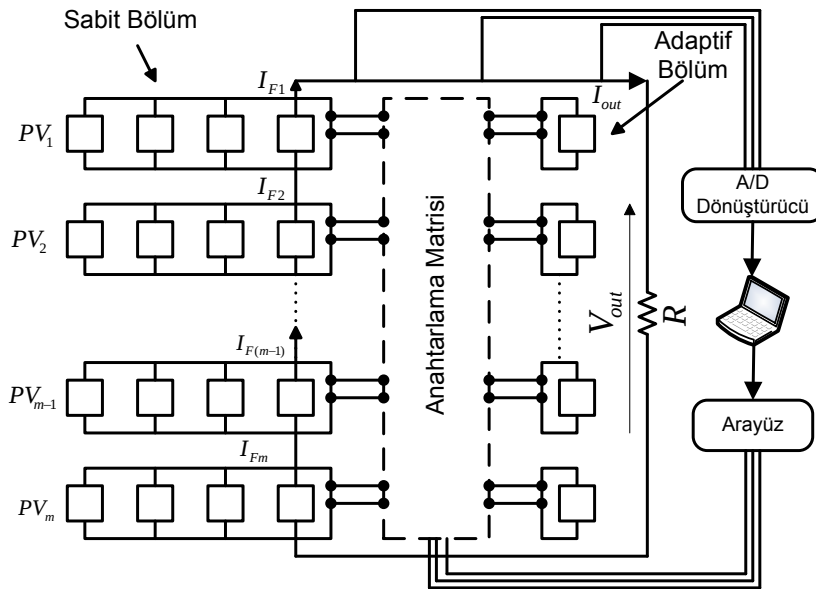
Bazı yeniden düzenleme yaklaşımlarında, PV hücrelerin elektriksel yapısı üzerinde değişiklikler önerilmiştir. Buna benzer yöntemlerde, kullanılan donanımsal araçlar hem sistemi daha karmaşık hale getirmekte hem de bu elemanlardan değeri okuma işlemi yeniden düzenleme sürecinin verimini düşürmektedir. Bu şekilde yapılan bir çalışmada [16], Electrical Array Reconfiguration (EAR) yöntemi kullanılmış ve anahtarlamalar kullanılarak dizideki parlaklık seviyeleri arasındaki farkın en az indirilmesi için matematiksel bir ifade önerilmiştir.



Şekil 1.4. Literatürde önerilen bir yeniden düzenleme süreci [14]

Yeniden düzenleme işleminde, sistemin değişen kısmi gölgeleme şartlarına hızlı cevap vermesini amaçlayan çalışmaların bazılarında sistemin olası bağlantıları arasından en verimli olanının taranması amaçlanarak farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Bu yaklaşımla yapılan çalışmada [17] güç değeri yüksek bağlantı şeklini bulmak için permütasyon

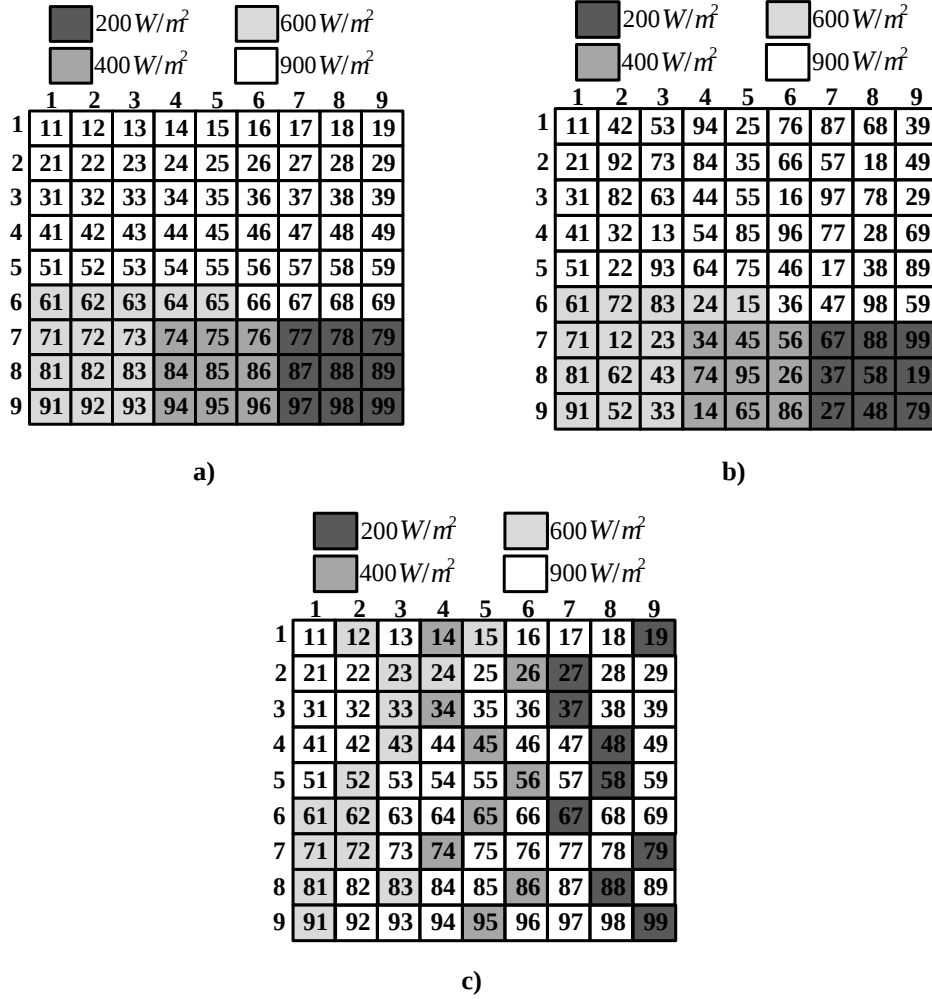
ifadeleri ve kabarcık sıralama algoritması kullanmıştır. Benzer olarak, yapılan bir diğer çalışmada [18], kabarcık sıralaması yöntemini kullanmıştır. Bu çalışmada ayrıca güç seviyelerini tahmin edebilmek için model tabanlı bir yaklaşım kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı düzenleme yöntemi önerilmiştir. İlk yaklaşımda, tek bir seferde bir adaptif dizinin anahtarlama kabarcık sıralama algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu işlemten sonra yeni panel düzeni tüm sistemin gücü analiz edilerek uygulanmıştır. İkinci yaklaşımda ise model tabanlı yaklaşım kullanarak sabit panellerin her satırındaki güç seviyelerini tahmin etmeye çalışılmıştır. Önerilen bu çalışmayı özetleyen bir blok diyagram Şekil 1.5'te verildiği gibidir.



Şekil 1.5. Literatürde önerilen bir yeniden düzenleme yaklaşımı [18]

Yeniden düzenleme ile alakalı gerçekleştirilen bir diğer çalışmada [19] ise Su Do Ku düzenleme metoduyla kısmi gölgelenmenin meydana getirmiş olduğu negatif etkiyi ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Su Do Ku düzenleme yaklaşımı, mantık tabanlı bir sayı yerleştirme işlemidir. Gerçekleştirilen bu yaklaşım ile gölgelenmenin etkisini tüm sisteme dağıtmak amaçlanmıştır. Bir PV sistemin üzerine düşen gölge miktarlarını farklı bölgelere dağıtarak aynı alt modüllerde benzer ışımlar elde edilmeye çalışılmaktadır. Çalışmada önerilen Su Do Ku tekniğine ait bir görsel Şekil 1.6'da görülmektedir. Şekil 1.6-(a)'da gösterilen kısmi gölgelenme durumu önerilen yöntem ile Şekil 1.6-(c)'deki düzene getirilmiştir. Farklı gölgelenme durumlarındaki ışıma değerleri göz önüne alınarak performans testleri yapılmıştır.

Bir başka çalışmada, PV dizilerde I-V ve P-V karakteristiklerini elde edebilmek amacıyla MATLAB tabanlı modelleme ve simülasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile tam veya kısmi gölgeli koşullarda PV dizilerin karakteristikleri elde edilmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışma deneysel olarak uygulanmış olup, verilen bazı sonuçlar ile uygulamanın doğruluğu kanıtlanmıştır [20].



Şekil 1.6. Literatürde önerilen Su Do Ku yeniden düzenleme yöntemi [19] **(a)** Panellere ait ilk görünüm **(b)** Panellerin yeniden numaralandırılmış hali **(c)** Panellerin son hali

Farklı bir sistem tasarımı öneren bir diğer çalışmada [21], yeniden düzenleme yapısı üç alt blok kullanılarak hazırlanmıştır. Bu bloklar, bir toplama ve durum birimi, bir kontrol birimi ve bir gerçekleştirme birimidir. Önerilen sistemin amacı, eşit ışıma seviyelerine sahip olmayan PV modüller arasındaki bağlantı düzenlerini yeniden düzenleyerek sistemin

performansını artırmaktır. Bu amaçla, farklı gölgelenme şartlarında sistem çeşitli seri-paralel bağlantı durumları kullanılarak test edilmiş ve gölgelenme durumlarında homojen bir durum elde edilmeye çalışılmıştır. SP bağlantı düzenini kullanan bir çalışmada [22], çekim noktaları ve kısa devre noktaları kullanılarak bir bağlantı düzeni geliştirilmiştir. Yöntemin SP bağlantısının yanı sıra bazı düzenlemeler ile TCT yapısındaki bir sistem üzerinde de kullanılabilirliğinden bahsedilmiştir. Önerilen yöntem, gerçek bir deney ortamında gölgelenme şartlarında test edilmiş ve elde edilen test sonuçları ve tahmini sonuçlar grafikler yardımıyla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu yüksek lisans tezinin amacı, tam veya kısmi gölgelenme koşulları altındaki PV sistemler için entropi tabanlı tarama algoritmalarının geliştirilmesidir. PV sistemlerin son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle beraber önemi artan bir konu haline gelmesi, bu konu üzerine yapılan çalışmalarında artmasına sebep olmuştur. Fakat özellikle bu tür sistemler üzerinde meydana gelen gölgelenmelerin sistemin performansını negatif şekilde etkilemesi, bu durumu üstesinden gelinmesi gereken bir problem haline getirmektedir.

Bu tez çalışmasında, gerçekleştirilen algoritmaların amacı, gölgelenme durumlarının PV sistemlerin çıkış gücü üzerinde meydana getirdiği verim kaybını en aza indirmek ve alınabilecek maksimum gücü sağlamaktır. Ayrıca, geliştirilen bu algoritmaların PV sistemden elde edilebilecek maksimum gücü sağlayan yeni bağlantı düzenini minimum sürede bulacak şekilde geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, önerilen yaklaşım iki tip entropi tabanlı algoritmayı kapsamaktadır. Bunlardan ilki, entropi tabanlı geliştirilen bir genetik algoritmadır. İkincisi ise, entropi tabanlı karar ağaçları ile geliştirilmiş bir sınıflandırma algoritmasıdır. Önerilen yöntemde başlangıçta giriş parametresi olarak sadece kısa devre akımları kullanılmaktadır. Bundan dolayı, gerçekleştirilen algoritma diğer tüm bilgilerden bağımsız olarak rahatlıkla çalışabilmektedir. Hem entropi tabanlı aşamada hem de genetik algoritma tabanlı yaklaşımda çalışma süresi kısa olduğundan dolayı değişen gölgelenme şartlarına ve artan PV dizisi sayısına rağmen gerçek zamanlı olarak yanıt verilebilmektedir. Ayrıca, ekstra herhangi bir donanımsal eleman kullanılmadığından sistemde bir karmaşıklık görülmemektedir. Önerilen yöntemde ikinci olarak ise görüntü işleme sonucu elde edilen gölgelenme dereceleri kullanılmaktadır. Önerilen bu yaklaşımda PV sistem sadece bir kamera ile izlenmekte ve diziler üzerinde

oluşan gölgelenmeler tespit edilmektedir. Tespit edilen bu gölgelerden bilgi çıkarımı yoluyla sistemden elde edilen ışıma değerleri ortaya çıkarılmaktadır. Son olarak ise bu ışıma değerleri entropi tabanlı genetik algoritmaya ve yine entropi tabanlı karar ağaçlarına giriş parametresi olarak verilmektedir. Sistemin her iki yöntem için kısmi gölgelenme koşulları altındaki etkisi deneysel olarak test edilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen sonuçlar, önerilen yaklaşımların hız ve kullanılabilirlik açısından avantajlarını ortaya koymaktadır. Ayrıca tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen ikinci bölüm ile kısa devre akımlarına gerek kalmadan sistemde yeniden düzenleme işlemi gerçekleştirilebilmekte ve sistemin maliyeti önemli derecede azaltılmaktadır. Literatürde yeniden düzenleme işlemi ile alakalı çeşitli çalışmalar olmasına karşın, yapılan incelemelerde bu çalışmaların gerek enerji verimliliği gerekse hesaplama ve zaman karmaşıklığı açısından önemli dezavantajlara sahip olduğu görülmüştür. Literatürdeki bu eksiklikleri giderebilmek amacıyla tez süresince yapılan bilimsel yayın çalışmaları aşağıdaki gibi verilebilmektedir.

- Karaköse, M., Murat, K., Akın, E., and Parlak., K. S., 2014. A New Efficient Reconfiguration Approach Based on Genetic Algorithm in PV Systems, *International Symposium on Industrial Electronics*, Istanbul, Turkey, 1-4 June,
- Karaköse, M., Baygın, M., Baygın, N., Murat, K., and Akın, E., 2014. An Intelligent Reconfiguration Approach Based on Fuzzy Partitioning in PV Arrays, *International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications*, Alberobello, Italy, 23-25 June.

Gerçekleştirilen bu tez çalışması ile PV sistemler üzerinde meydana gelebilecek tam veya kısmi gölgelenme durumlarının giderilmesi amaçlanmıştır. Bu sebepten dolayı çalışma kapsamında entropi tabanlı iki farklı yöntem kullanılmış olup, bu yöntemin yine iki farklı giriş parametresi ile doğruluğu test edilmiştir. Gerçekleştirilen yaklaşımlar ile PV sistemlerde güç gerilim eğrisinin geliştirilmesi sağlanmış olup, tek bir kamera aracılığıyla elde edilen ışıma değerleri kullanılarak sistemin yeniden düzenleme işlemini hızlı bir şekilde gerçekleştirebilmesi sağlanmıştır.

1.2. Tezin Yapısı

Gerçekleştirilen bu tez çalışması bölümden oluşmaktadır. Tezin birinci bölümü giriş kısmı olup, bu bölümde PV sistemler ve PV sistemlerde enerji verimliliğini sağlayan yöntemler hakkında genel bilgiler verilmektedir. Günümüzde bu sistemler üzerinde kullanılan çeşitli yöntemler detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca bu bölüm kapsamında PV sistemlere ve bu sistemlere ait yöntemlere yönelik literatür özeti şekiller ile desteklenerek verilmiş olup, tezin amacı ve kapsamı detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

İkinci bölümde, entropi, karar ağaçları ve sınıflandırma ilişkisi anlatılmıştır. İlk olarak, sınıflandırma kavramı ve çalışma şekli verilmiştir. Daha sonra, entropi konusunun sınıflandırma sürecinde kullanımı ve karar ağaçları ile gösterimi belirtilmiştir. Son olarak, bu ilişkiyi gösteren bir örnek verilmiştir.

Üçüncü bölümde, PV sistemlerin hücre yapısı gösterilmiş ve hücrenin dizi halini alması anlatılmıştır. Bununla birlikte, gölgelenme şartlarının bir PV sistem üzerindeki olumsuz etkilerinden bahsedilmiş olup, bu sorunu gidermeyi amaçlayan temel bir yöntem olan yeniden düzenleme yaklaşımı detaylı bir şekilde anlatılmıştır ve incelenmiştir.

Dördüncü bölümde, yeniden düzenleme yönteminde optimum bağlantı düzenini bulmak için önerilen entropi tabanlı arama algoritması detaylı olarak anlatılmaktadır. Önerilen yaklaşım algoritmasında ilk adım olarak, entropi tabanlı tarama algoritması ve ikinci adım olarak entropi tabanlı karar ağaçları yapısını kullanan bir sınıflandırma algoritması geliştirilmiş ve son olarak yöntemin karar verme süreci belirtilmiştir. Ayrıca bu yöntemler iki farklı girdi parametresine göre incelenmiş olup, bu giriş parametrelerinin sistemde ne şekilde ve nasıl kullanıldığına detaylı bir şekilde değinilmiştir.

Beşinci bölümde, önerilen yaklaşımdan elde edilen deneysel sonuçlar grafikler ve tablolar kullanılarak aktarılmıştır. İki farklı giriş parametresi sonucu elde edilen veriler bu bölümde verilmiş olup, entropi tabanlı önerilen iki yaklaşım için karşılaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Algoritmalar hem enerji verimliliği yönünden hem de karmaşıklık bakımından incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Altıncı ve son bölümde ise tez çalışmasında gerçekleşen süreçler değerlendirilmiş olup, önerilen yaklaşımların avantajlarından detaylıca bahsedilmiş ve sonuçlara yer verilmiştir.

2. SINIFLANDIRMA, ENTROPİ VE KARAR AĞAÇLARI İLİŞKİSİ

Sınıflandırma, veriler arasındaki ortak özellikleri kullanarak yapılan bir sonuç çıkarma işlemidir. Bir eğitim kümesinde bulunan veriler belirlenen bazı ölçütlere göre etiketlenilerek sınıflara ayrılmaya çalışılır. Bu sınıflandırma sırasında aralarındaki benzerlikler göz önüne alınır ve bu doğrultuda değerlendirilir. Sınıflandırma sonucunda, eğitim kümesi haricinde bir yeni bir verinin bu sınıflardan birine dâhil olması beklenir ve istenilen sonuç değerine ulaşılır. Sınıflandırma sürecinde, kullanılan önemli sınıflandırma niteliklerinden birisi entropidir. Entropi ile veriler arasındaki düzensizlik ölçüsü hesaplanarak sınıflandırma etiketlerinin nasıl belirleneceğine dair bir yol izlenir. Son olarak, entropi ile sınıflandırılmış veriler karar ağaçları yardımıyla gösterilir. Bir karar ağacı, adım adım sonuca götüren bir akış gösterim şeklidir. Sınıflar, kökten yaprağa doğru ağaç üzerinde dallanmalar oluşturarak sonuç değerine ulaşmayı sağlar.

2.1. Sınıflandırma

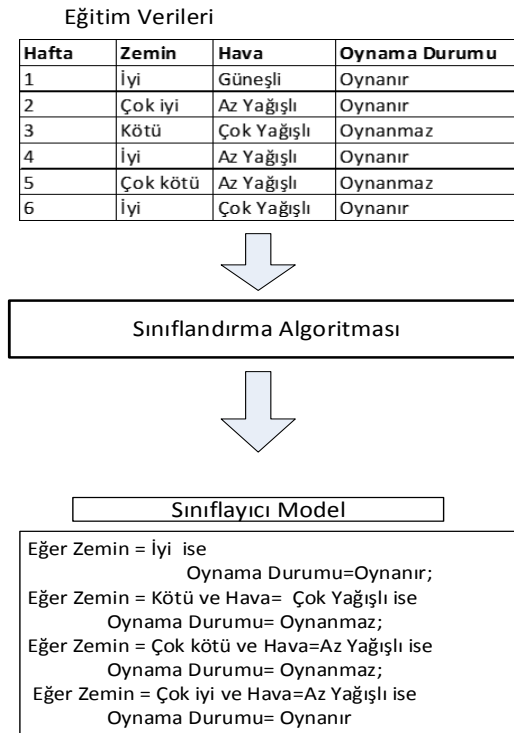
Bilişim teknolojilerinde son yıllardaki gelişmeler ile birlikte dünyada üzerindeki her türlü işlem için kullanılan veri miktarı aşırı derecede bir artış göstermiştir. Günlük hayatta yaptığımız tüm bankacılık, alışveriş, telekomünikasyon işlemleri ilgili kurumlar tarafından kayıt altına alınmakta ve bu veriler kullanılmaktadır. İşlem yapan kullanıcı sayısı göz önüne alındığında bu veri miktarının boyutu ulaştığı nokta tahmin edilebilir. Bu veri miktarındaki artış daha önceki yıllarda, sorun olarak görülürken günümüzde bu sorun, yerini var olan aşırı miktardaki veriyi işlemek ve bir sonuç almak haline dönüşmüştür.

Bu boyutlardaki verilerin incelenerek ortaya anlamlı bir sonuç çıkarılması işlemi, veri madenciliğidir. Veri ambarlarında [23] depolanan veriler, birtakım hazırlık işlemlerinden geçirildikten sonra [24] uygun forma getirilerek bu veriler arasındaki ilişki, örüntü, sapma ve eğilimler gibi benzerlikler incelenerek anlamlı bilgiler çıkarılmaya çalışılmaktadır. Veri madenciliği konusunda birçok algoritma ve yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılanlar; sınıflandırma, kümeleme ve birliktelik kurallarıdır. Sınıflandırma, verilerin birbirine benzer özelliklerine etiketlenerek sınıflara ayrılma işlemidir [25]. Kümeleme, veriler arasındaki ilişkileri kullanarak gruplara ayırma şeklinde yapılır [26]. Birliktelik kuralları ise; eldeki verilerin aralarındaki birlikte olma ilişkilerini kullanır [27].

Sınıflandırma, veri madenciliği alanında yapılan işlemlerden biridir. Veriler arasındaki benzer özellikleri kullanarak ve etiketlendirme yaparak sınıflar elde etme işlemidir. Sınıflandırma bir öğrenme algoritması yaklaşımına dayanır. Mevcut tüm veriler kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılmaz. Sınıflandırmadaki amaç, belirlenen bir sonuca götürecek veriler kullanılarak bir sınıflandırma modeli oluşturmaktır. Oluşturulan sınıflandırma modeli yardımıyla, kullanılan veriler dışındaki yeni bir verinin bu sınıflardan hangisine ait olacağı belirlenir.

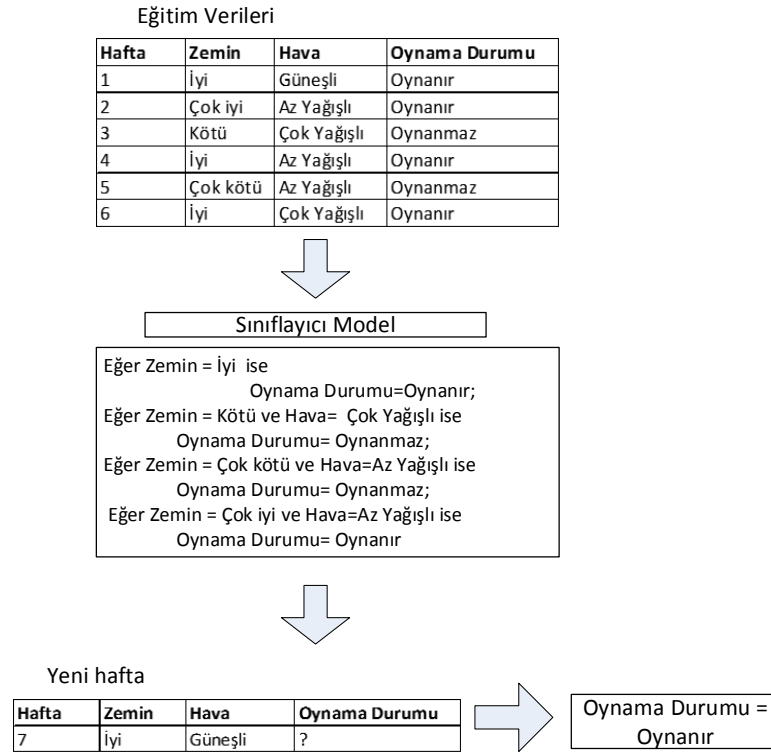
Sınıflandırma süreci iki aşamadan oluşur:

a. Öncelikle sınıflandırma işlemi için bir model ortaya konur. Bu model verilerin saklandığı alan isimleri ve veri tabanından rasgele seçilen bir grup veri (eğitim verileri) ile gerçekleştirilir. Şekil 2.1’de, hava durumu şartları göz önüne alınarak bir futbol müsabakasının yapılıp yapılamayacağına karar vermek için veriler verilmiştir. Karar verme işleminde ait sınıflandırma sürecinin ilk aşaması verilmiştir. “Hafta”, “Zemin”, “Hava Durumu” ve “Oynanma Durumu” alan adlarına sahip bir veri tabanından eğitim verileri seçilmiştir. Daha sonra bu verilere bir eğitim algoritması uygulanmış ve bir model elde edilmiştir.



Şekil 2.1. Sınıflandırma ile ilgili model kurma süreci.

b. İkinci aşama olarak elde edilen modele, yeni bir test verisi verilir. Sınıflandırma modelinin bu yeni veriden yeni bir tahmin yürütmesi beklenir. Şekil 2.2’de, elde edilen modele yeni bir kayıt girişi yapılarak bu kayda ait “Oynama durumu” değeri tahmin edilmiştir.



Şekil 2.2. Sınıflandırma modelinin uygulanma süreci

2.2. Entropi

Entropi, en genel tanımıyla herhangi bir ortam veya koşulda düzensizliğin ölçüsü olarak bilinmektedir. Bir sistemde bu ölçü artarken, bu sistemin etkilendiği farklı bir ortamda düşüşe sebebiyet vermektedir. Yani, evren veya dünya üzerinde herhangi bir çevrede herhangi bir düzen oluşturulmaya çalışılıyorsa, bu çevreye komşu olan veya bu çevreden etkilenen farklı bir çevrede bir düzensizliğe neden olunmaktadır [28]. Bu anlamda entropi, bir değerler dizisinde düzensiz bir gidişat sergileyen formların nasıl düzenli forma dönüşebileceğini ya da düzenli bir formda ne ifade edebileceğini anlatmaktadır.

İstatistiksel anlamda entropi ise ilk olarak, Claude Shannon [29] tarafından bilgi teorisi konusunda ele alınmıştır. Bilgi teorisi, bilginin nicelleştirmesini yani ölçülmesini konu alır.

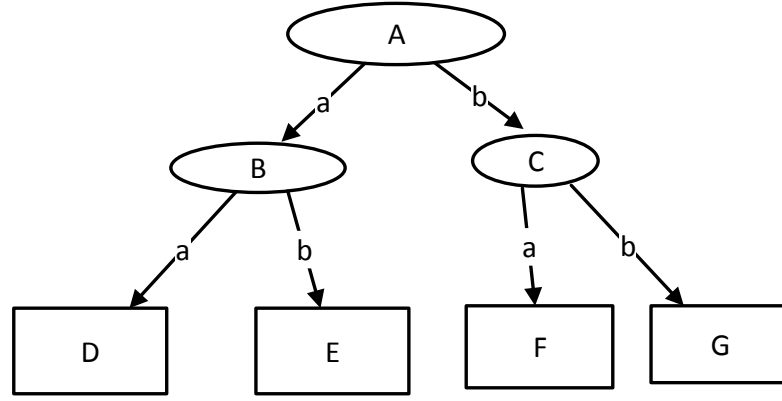
Shannon, Nyquist [30] ve Hartley'e [31] ait benzer konuda ortaya atılmış iki teoriden sonra bunları geliştirerek bir mesajın içerisindeki belirsizlik miktarı ile olasılık kavramını birleştirerek bilgi miktarını tanımlamıştır. Bu tanımlamayı yaparken düzensizlik ölçüsü olan entropi kavramını kullanmıştır. Entropi ile bulunan belirsizlik ölçüsünün sistemdeki bilgi miktarına eşit olduğunu göstermiştir. Buna göre, örneğin, bir kaynaktan gelen veriler $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ olsun. Bu n tane verinin her biri birbirinden bağımsız olarak üretilmektedir. Her birinin üretim olasılığı, p_i 'dir. Bu kaynağın entropisi yani bilgi miktarı, şu şekilde ifade edilir.

$$H(S) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i) \quad (2.1)$$

2.3. Karar Ağaçları

Bir karar ağacı, büyük sayıda veriye sahip bir kümede küçük karar verme kuralları kullanarak verilerin dağılımlarını basite indirger ve bu dağılımın basit adımlarla gösterilmesini sağlar. Karar ağacı modeli sayesinde karara ulaşma sürecinde içerisinde hangi faktörlerin göz önünde alınması gerektiği ve bu faktörlerin ne gibi değerler ürettiği süreç boyunca izlenebilmektedir. Büyük veri tabanlarında tutulan veriler, karar ağaçları yardımıyla kolay analiz edilebilir, yorumlanabilir ve sonuç çıkarılabilir bir hale getirilmektedir. Karar ağaçlarının genellikle; bir sınıfa ait olabilecek elemanın belirlenmesi, yeni olayların kategorilere ayrılabilmesi, gelecekte olması muhtemel bir olayın tahmini, sebep-sonuç arasındaki ilişkinin tanımlanması gibi analiz çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır.

Bir karar ağacı modeli; kök, dallar ve yapraklardan oluşmaktadır. Karar verme süreci, kök niteliğinden dallanmalar takip edilerek bir yaprağa ulaşma olarak tanımlanabilir. Basit bir karar ağacı yapısı Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Karar ağacı modeli

Karar ağaçlarındaki önemli konulardan biri, karar ağacının dallanma yapısının hangi kriterlere göre yapılacak olmasıdır. Bu dallanma kriterlerinin her biri için farklı algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar temel olarak şu gruplara ayrılır:

- Entropiye dayalı algoritmalar
- Sınıflandırma ve Regresyon ağaçları (CART)
- Bellek tabanlı sınıflandırma algoritmaları

Entropiye dayalı algoritmalar için, *ID3* ve *C4.5* algoritmaları; CART algoritmaları için *Twoing* ve *Gini* algoritmaları ve bellek tabanlı sınıflandırma için *k-en yakın komşu* algoritması örnek verilebilir.

2.4. Entropi ve Karar Ağacı Kullanarak Sınıflandırma Süreci

Sınıflandırma yaparken ilk olarak, sınıflandırılacak eğitim verilerine uygun algoritma belirlenir. Bu algoritmaya göre, karar ağacının hangi niteliklere göre dallanacağı ve dallanmaların aldığı etiketler oluşacaktır. Entropiye dayalı algoritmalarda, dallanmaları belirleyen kriter entropi değeridir. Ağacın olduğu her aşamada, dallanacak niteliğin sisteme göre düzensizlik ölçüsü hesaplanır. Bu şekilde oluşturulan bir karar ağacı, sınıflandırma modelini ortaya çıkaracaktır. Bu modelden elde edilen karar kuralları ise, yeni bir verinin yer aldığı sınıfı göstermektedir.

Karar ağaçlarında sınıflandırma yaparken dikkat edilmesi gereken konu, nitelik seçimidir. Yani, verilen eğitim kümesini bağımsız sınıflara optimum bölme kriteridir. Bağımsız sınıflara ayrılan veriler ağaç üzerindeki dallanmaları oluşturacaktır.

Bu amaçla en çok kullanılan üç farklı nitelik seçim ölçütü vardır. Bunlar; *bilgi kazancı* (*information gain*) ve *kazanç oranı* (*gain ratio*).

Entropi tabanlı sınıflandırma konusunda sık kullanılan iki tip algoritma; ID3 (*Iterative Dichotomiser 3*) ve C4.5 algoritmalarıdır. C4.5 algoritması, ID3 algoritmasının özelleştirilmiş bir halidir. Mevcut sınıflandırma verilerinin türlerine göre hangi algoritmanın kullanılacağına karar verilir.

2.4.1. ID3 Algoritması

ID3 algoritması, karar ağaçlarında sınıflandırma işlemini yapmak amaçlı geliştirilmiş matematiksel bir algoritmadır. İlk olarak, 1979 yılında J. Ross Quinlan tarafından geliştirilmiştir [30].

ID3, nitelik seçim ölçütü olarak *bilgi kazancı* kavramını kullanır. Bunun anlamı, bir veri kümesindeki bölünmelerde entropiyi azaltarak ilerlemektir.

Algoritmanın adımları şu şekildedir:

1. Eğitim kümesindeki, hedef nitelik değeri için entropi hesaplanır.
2. Her bir niteliğin değerleri için bilgi kazancı değerleri hesaplanır.
3. Elde edilen kazançlardan, değeri en büyük olan nitelik seçilir. Seçilen bu nitelik ağacın ilk düğümü olarak belirlenir.
4. Belirlenen düğümün kayıt değerleri düğüm üzerine yerleştirilir. Bu değerler ile yeni alt dallanmalara ulaşmak için Adım 1'e dönülür.
5. Sınıflandırılacak nitelik kalmayana kadar bu adımlar rekürsif olarak devam eder.

a. Bilgi Kazancı

Dallanmaları belirleyen bir nitelik seçim ölçüsüdür. T, hedef niteliği ve X, hedef niteliği olmayan bir nitelik ise; T, X'e bağlı olarak $T_1, T_2, \dots, T_n$ alt kümelerine ayrılırsa, T'nin bir elemanının sınıfını belirlemek için gerekli bilgi, T_i 'nin herhangi bir elemanının sınıfının belirlenmesinde gerekli olan bilginin ağırlıklı ortalamasıdır [23]. O halde, T'nin sınıfını belirlemek için bilgi miktarı şu şekilde olacaktır:

$$H(X, T) = \sum_{i=1}^n \frac{|T_i|}{|T|} H(T_i) \quad (2.2)$$

Bilgi kazancı ise, sahip olunan orijinal bilgi (entropi) ile parçalanma sonrasında elde edilen bilginin farkı olarak belirtilir.

$$Kazanç(X, T) = H(T) - H(X, T) \quad (2.3)$$

Bu işlemin amacı, en yüksek bilgi kazancına sahip parçayı elde etmektir.

b. Kazanç Oranı

Bilgi kazancı ölçütü, bazı durumlarda işlem yapmamız için işe yaramayabilir. Örneğin, verilerimiz içerisinde eşsiz bir değer (Örneğin, bir ID değeri) ile işlem yaptığımızda bilgi miktarı sıfır (0) olacaktır. Yani sınıflandırma için gerekli miktarı bize sağlamayacaktır.

Bu gibi durumlar için bölünme bilgisi kavramı ortaya çıkmıştır. Bilgi kazancının bir çeşit normalizasyon işlemidir.

$$H(P_{X,T}) = - \sum_{i=1}^k \frac{|T_i|}{|T|} \log_2 \left(\frac{|T_i|}{|T|} \right) \quad (2.4)$$

Bu değer, T veri kümesinin, X nitelik işleminin k parçaya bölünmesiyle oluşan bilgiyi sunar. Bilgi kazancından farklıdır. Aynı bölüme bağlı elde edilen sınıfa uygun bilgiyi ölçer [24].

$$KazançOranı(X, T) = \frac{BilgiKazancı(X, T)}{BölünmeBilgisi(X, T)} \quad (2.5)$$

Maksimum kazanç oranına sahip nitelik bölme niteliği olarak kullanılır.

2.4.2. C4.5 Algoritması

ID3 algoritması, eğitim verileri ile ilgili bazı durumlarda sınıflandırma yapmak için yetersiz kalmaktadır. Özellikle eğitim kümesi içerisindeki veriler, sayısal olduğu durumlarda ve eksik alan içerdiği durumlarda bu algoritmanın sınıflandırma süreci işlememektedir. Bu dezavantajın üstesinden gelebilmek için Quinlan tarafından C4.5 algoritmasını geliştirmiştir.

C4.5 algoritması, ID3 algoritmasının genişletilmiş halidir. ID3 algoritmasının tüm özelliklerini içermektedir. Bu özelliklere ek olarak, bölünme bilgisi özelliğini içerir ve kayıp değerlerin giderilmesi ve sayısal özelliklerle işlem yapabilme sorunlarına çözüm getirmiştir.

a. Bölünme Bilgisi

Eğitim kümesine ait verilerde, bir niteliğin sahip olduğu değerlerin çeşidi fazla olduğunda, bu niteliğin bilgi kazancı da yüksek olacaktır [32]. Bundan dolayı, ağacın dallanması sırasındaki kuralları olumsuz etkileyecek ve sağlıklı bir dallanma yapılamayacaktır. Örneğin, eşsiz bir değere sahip bir kimlik (ID) değeri ile ilgili yapacağımız sınıflandırma da her alan için yeni bir dallanma olacaktır. Bu da, yapılan sınıflandırma işlemini anlamsız kılmaktadır.

Bu olumsuz durumun üstesinden gelmek için, bölünme bilgisi ve kazanç oranı kavramı geliştirmiştir.

b. Sayısal Özellikler

Daha önceki konuda bahsedildiği gibi, ID3 algoritması metin içerikli veriler ile işlem yapmaktadır ve bu algoritma kullanılarak sayısal değerler içeren bir eğitim kümesi sınıflandırılmamaktadır. C4.5 algoritması kullanılarak ise bu durumun üstesinden gelinmektedir.

Bu işlem için öncelikle verilen sayısal eğitim verileri için eşik değeri bulunur. Bunun için tüm veriler sıralanır ve $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ haline getirilir. Bu sıralama iki eşit parçaya ayrılır ve $\{v_1, \dots, v_i\}$ ve $\{v_{i+1}, \dots, v_n\}$ şeklini alır. Bu işlem sonucunda eşik değeri;

$$t_i = \frac{v_i + v_{i+1}}{2} \quad (2.6)$$

formülü ile hesaplanır.

Eşik değeri bulunduğundan sonra, verilen sayısal eğitim verileri nominal hale getirilir:

- $v_i < t_i$ şartına uyan veriler, “küçük”
- $v_i \geq t_i$ şartına uyan veriler ise, “büyük eşit”

şeklinde yeni değerlere sahip olur.

c. Kayıp Veriler

Kullandığımız veri tabanındaki veriler kimi zaman eksik olabilir. Yani, mevcut niteliklerin alanlarının biri veya bir kısmı eksik veya yanlış değer tipinde girilmiş olabilir. Eksik olan bu alanların miktarına göre karar ağacımız etkilenecektir. Bu durumda iki farklı yol tercih edebiliriz:

- Eksik olan alanlar veri tabanından çıkarılır.
- Eksik olan alanları da işleme dahil ederek bir algoritma izlenir.

Eğer eksik olan alan sayısı az miktarda ise birinci yol geçerli olabilir. Çok sayıdaki veri içerisinde önemsiz olan miktarda veri çıkartılması karar ağacımızı etkilemeyecektir.

Fakat eğer, bu sayı fazlaysa bu yolu izleyemeyiz. Çünkü karar ağacımız üzerindeki dallanmaları etkileyecektir. Bu da bize sağlıklı bir sınıflandırma sağlamaz. Bu gibi durumlarda şu yol izlenir:

- Kazanç oranları daha önce anlattığımız gibi hesaplanır.
- Hesapladığımız son kazanç oranı bir F faktörü kullanılarak normalize edilir.

Bahsedilen F faktörü şu şekildedir:

$$F = \frac{\text{değeri bilinen örnek sayısı}}{\text{tüm örneklerin sayısı}} \quad (2.7)$$

- İlk hesaplanan kazanç oranı ile normalize edilen arasındaki fark yeni kazanç oranı olarak alınır ve dallanma buna göre yapılır.

2.5. Bir Entropi Tabanlı Karar Ağacı ile Sınıflandırma Uygulaması

Entropi tabanlı karar ağaçları ile yapılan sınıflandırma işleminde ilk olarak mevcut veriler içerisinde bir eğitim kümesi oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu eğitim kümesi içerisinde ulaşmak istediğimiz sonucu gösteren alan hedef sınıf olarak belirlenmektedir. Bu alan ile bu alanın dışında kalan diğer alanlar arasındaki benzerlik ilişkisi göz önüne alınarak sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Bu yüzden hedef sınıfa ait değerler sabit tutularak diğer alanların bu alana göre entropi değerleri hesaplanarak işlemler yapılmaktadır. Tablo 2.1’de, ‘Cumartesi sabahı’ oyun durumunu gösteren bir eğitim kümesi verilmiştir. Bu örnek ID3 algoritması için kullanılan yaygın bir örnektir. ID3 algoritmasını ortaya atan Quinlan [33] tarafından verilen bu örneğin, adım adım karar ağacı haline getirilmesi için takip edilen işlemler adım adım gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Eğitim kümesi

No	Nitelikler				Hedef sınıf
	Hava	Isı	Nem	Rüzgâr	Oyun
1	Güneşli	Sıcak	Yüksek	Hafif	Hayır
2	Güneşli	Sıcak	Yüksek	Kuvvetli	Hayır
3	Bulutlu	Sıcak	Yüksek	Hafif	Evet
4	Yağmurlu	Ilık	Yüksek	Hafif	Evet
5	Yağmurlu	Soğuk	Normal	Hafif	Evet
6	Yağmurlu	Soğuk	Normal	Kuvvetli	Hayır
7	Bulutlu	Soğuk	Normal	Kuvvetli	Evet
8	Güneşli	Ilık	Yüksek	Hafif	Hayır
9	Güneşli	Soğuk	Normal	Hafif	Evet
10	Yağmurlu	Ilık	Normal	Hafif	Evet
11	Güneşli	Ilık	Normal	Kuvvetli	Evet
12	Bulutlu	Ilık	Yüksek	Kuvvetli	Evet
13	Bulutlu	Sıcak	Normal	Hafif	Evet
14	Yağmurlu	Ilık	Yüksek	Kuvvetli	Hayır

Bu eğitim kümesinde hedef sınıf, “Oyun” niteliğidir. O halde “Oyun” kümesi şu şekildedir:

$$Oyun = \{hayır, hayır, evet, evet, evet, hayır, evet, hayır, evet, evet, evet, evet, evet, hayır\}.$$

Buna göre C_1 sınıfı “hayır”, C_2 sınıfını “evet” olarak aldığımızda; $|C_1| = 5$ ve $|C_2| = 9$ olacaktır. Her bir sınıfın olasılıkları ise;

$$p_1 = \frac{5}{14} \quad , \quad p_2 = \frac{9}{14}$$

O halde, olasılık dağılımı; $P_{Oyun} = \left(\frac{5}{14}, \frac{9}{14}\right)$ dir. “Oyun” sınıfı için, entropi hesaplanırsa,

$$H(Oyun) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i)$$

$$H(Oyun) = - \left(\frac{5}{14} \log_2 \frac{5}{14} + \frac{9}{14} \log_2 \frac{9}{14} \right) = 0.940$$

Artık, niteliklere ait entropi ve kazanç miktarlarını bularak karar ağacının nasıl dallanacağını bulabiliriz.

1. Adım: Her bir nitelik için kazanç ölçütleri bulunur.

a) Isı niteliği için:

$$|ISI_{soğuk}| = 4, \quad |ISI_{ılık}| = 6, \quad |ISI_{sıcak}| = 4$$

Niteliklerin entropileri;

$$H(ISI_{soğuk}) = - \left(\frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} + \frac{3}{4} \log_2 \frac{3}{4} \right) = 0.811$$

$$H(ISI_{ılık}) = - \left(\frac{2}{6} \log_2 \frac{2}{6} + \frac{4}{6} \log_2 \frac{4}{6} \right) = 0.918$$

$$H(ISI_{sıcak}) = - \left(\frac{2}{4} \log_2 \frac{2}{4} + \frac{2}{4} \log_2 \frac{2}{4} \right) = 1.00$$

Bu durumda;

$$H(ISI, OYUN) = \frac{4}{14}(0.811) + \frac{6}{14}(0.918) + \frac{4}{14}(1.00) = 0.911$$

Kazanç ölçütü;

$$\begin{aligned} Kazanç(ISI, OYUN) &= H(OYUN) - H(ISI, OYUN) \\ &= 0.940 - 0.911 = 0.029 \end{aligned}$$

b) Hava niteliği için:

$$|HAVA_{güneşli}| = 5, \quad |HAVA_{yağmurlu}| = 5, \quad |HAVA_{bulutlu}| = 4$$

Niteliklerin entropileri;

$$\begin{aligned} H(HAVA_{güneşli}) &= -\left(\frac{3}{5}\log_2\frac{3}{5} + \frac{2}{5}\log_2\frac{2}{5}\right) = 0.971 \\ H(HAVA_{yağmurlu}) &= -\left(\frac{2}{5}\log_2\frac{2}{5} + \frac{3}{5}\log_2\frac{3}{5}\right) = 0.971 \\ H(HAVA_{bulutlu}) &= -\left(\frac{4}{4}\log_2\frac{4}{4} + \frac{0}{4}\log_2\frac{0}{4}\right) = 0 \end{aligned}$$

Bu durumda;

$$H(HAVA, OYUN) = \frac{5}{14}(0.971) + \frac{4}{14}(0) + \frac{5}{14}(0.971) = 0.693$$

Kazanç ölçütü;

$$\begin{aligned} Kazanç(HAVA, OYUN) &= H(OYUN) - H(HAVA, OYUN) \\ &= 0.940 - 0.693 = 0.247 \end{aligned}$$

c) Nem niteliği için:

$$|NEM_{yüksek}| = 7, \quad |NEM_{normal}| = 7$$

Niteliklerin entropileri;

$$H(NEM_{yüksek}) = -\left(\frac{4}{7}\log_2\frac{4}{7} + \frac{3}{7}\log_2\frac{3}{7}\right) = 0.985$$

$$H(NEM_{normal}) = -\left(\frac{1}{7}\log_2 \frac{1}{7} + \frac{6}{7}\log_2 \frac{6}{7}\right) = 0.592$$

Bu durumda;

$$H(NEM, OYUN) = \frac{7}{14}(0.985) + \frac{7}{14}(0.592) = 0.789$$

Kazanç ölçütü;

$$\begin{aligned} \text{Kazanç}(NEM, OYUN) &= H(OYUN) - H(NEM, OYUN) \\ &= 0.940 - 0.789 = 0.151 \end{aligned}$$

d) Rüzgar niteliği için:

$$|RÜZGAR_{hafif}| = 8, \quad |RÜZGAR_{kuvvetli}| = 6$$

Niteliklerin entropileri;

$$H(RÜZGAR_{hafif}) = -\left(\frac{2}{8}\log_2 \frac{2}{8} + \frac{6}{8}\log_2 \frac{6}{8}\right) = 0.811$$

$$H(RÜZGAR_{kuvvetli}) = -\left(\frac{3}{6}\log_2 \frac{3}{6} + \frac{3}{6}\log_2 \frac{3}{6}\right) = 1$$

Bu durumda;

$$H(RÜZGAR, OYUN) = \frac{8}{14}(0.811) + \frac{6}{14}(1) = 0.892$$

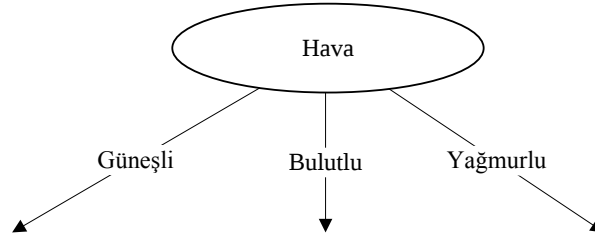
Kazanç ölçütü;

$$\begin{aligned} \text{Kazanç}(RÜZGAR, OYUN) &= H(OYUN) - H(RÜZGAR, OYUN) \\ &= 0.940 - 0.892 = 0.048 \end{aligned}$$

Tablo 2.2. Adım 1 için kazanç ölçütleri

Nitelik	Kazanç
Hava	0.246
Isı	0.029
Nem	0.151
Rüzgâr	0.048

Tablo 2.2’de her bir nitelik için elde edilen kazanç ölçütleri verilmiştir. Buna göre en büyük kazancın “Hava” olduğunu söyleyebiliriz. O halde, karar ağacımızın dallanması Şekil 2.4’teki gibi olacaktır.



Şekil 2.4. Karar ağacı ilk dallanması

2. Adım: “Hava” niteliğinin “Güneşli” değeri için dallanma bulunur.

Bu adımda, ilk dallanması belirlenen ağacın “Güneşli” değeri için alt dallanmalarına bakacağız. Bunun için, Tablo 2.1’deki eğitim verilerinden “Hava” niteliği sadece “Güneşli” olan alanları ele alacağız. Eğitim verilerimizin bu hali Tablo 2.3’teki gibi olacaktır.

Tablo 2.3. “Hava” niteliğinin “Güneşli” değeri için eğitim verileri

No	Nitelikler				Hedef sınıf
	Hava	Isı	Nem	Rüzgâr	Oyun
1	Güneşli	Sıcak	Yüksek	Hafif	Hayır
2	Güneşli	Sıcak	Yüksek	Kuvvetli	Hayır
8	Güneşli	Ilık	Yüksek	Hafif	Hayır
9	Güneşli	Soğuk	Normal	Hafif	Evet
11	Güneşli	Ilık	Normal	Kuvvetli	Evet

Bu eğitim verileri ile yeni entropi değeri;

$$H(Oyun) = -\left(\frac{3}{5}\log_2\frac{3}{5} + \frac{2}{5}\log_2\frac{2}{5}\right) = 0.970 \text{ olacaktır.}$$

Tablo 3.3’deki her bir nitelik için kazanç ölçütleri hesaplanır.

a) Isı niteliği için:

$$|ISI_{soğuk}| = 1, \quad |ISI_{sıcak}| = 2, \quad |ISI_{ılık}| = 2$$

Niteliklerin entropileri;

$$H(ISI_{soğuk}) = -\left(\frac{1}{1}\log_2 \frac{1}{1} + \frac{0}{1}\log_2 \frac{0}{1}\right) = 0$$

$$H(ISI_{sıcak}) = -\left(\frac{2}{2}\log_2 \frac{2}{2} + \frac{0}{2}\log_2 \frac{0}{2}\right) = 0$$

$$H(ISI_{ılık}) = -\left(\frac{1}{2}\log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\log_2 \frac{1}{2}\right) = 1$$

Bu durumda;

$$H(ISI, OYUN) = \frac{1}{5}(0) + \frac{2}{5}(0) + \frac{2}{5}(1) = 0.4$$

Kazanç ölçütü;

$$\begin{aligned} \text{Kazanç}(ISI, OYUN) &= H(OYUN) - H(ISI, OYUN) \\ &= 0.970 - 0.4 = 0.570 \end{aligned}$$

b) Nem niteliği için:

$$|ISI_{yüksek}| = 3, \quad |ISI_{normal}| = 2$$

Niteliklerin entropileri;

$$H(NEM_{yüksek}) = -\left(\frac{3}{3}\log_2 \frac{3}{3} + \frac{0}{3}\log_2 \frac{0}{3}\right) = 0$$

$$H(ISI_{sıcak}) = -\left(\frac{2}{2}\log_2 \frac{2}{2} + \frac{0}{2}\log_2 \frac{0}{2}\right) = 0$$

Bu durumda;

$$H(NEM, OYUN) = \frac{3}{5}(0) + \frac{2}{5}(0) = 0$$

Kazanç ölçütü;

$$\begin{aligned} \text{Kazanç}(NEM, OYUN) &= H(OYUN) - H(NEM, OYUN) \\ &= 0.970 - 0 = 0.970 \end{aligned}$$

c) Rüzgar niteliği için:

$$|RÜZGAR_{hafif}| = 3, \quad |RÜZGAR_{kuvvetli}| = 2$$

Niteliklerin entropileri;

$$H(RÜZGAR_{hafif}) = -\left(\frac{2}{3}\log_2 \frac{2}{3} + \frac{1}{3}\log_2 \frac{1}{3}\right) = 0.918$$

$$H(RÜZGAR_{kuvvetli}) = -\left(\frac{1}{2}\log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\log_2 \frac{1}{2}\right) = 1$$

Bu durumda;

$$H(RÜZGAR, OYUN) = \frac{3}{5}(0.918) + \frac{2}{5}(1) = 0.951$$

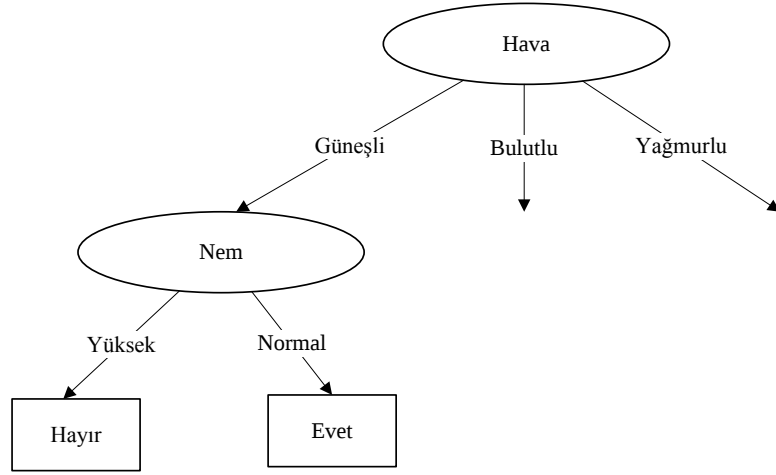
Kazanç ölçütü;

$$\begin{aligned} \text{Kazanç}(RÜZGAR, OYUN) &= H(OYUN) - H(RÜZGAR, OYUN) \\ &= 0.970 - 0.951 = 0.019 \end{aligned}$$

Elde edilen yeni kazanç ölçütleri Tablo 2.4’de verilmiştir. Tabloya göre en büyük kazanç “Nem” niteliğindedir. O halde yeni dallanmamız “Nem” niteliği üzerinden sağlanacaktır. Karar ağacının son hali Şekil 2.5’te verilmiştir.

Tablo 2.4. Adım 2 için kazanç ölçütleri

Nitelik	Kazanç
Isı	0.570
Nem	0.970
Rüzgâr	0.019



Şekil 2.5. İkinci adım sonucunda oluşan karar ağacı

“Nem” niteliğinde, “Yüksek” değerine karşı hedef sınıfta sadece “Hayır” ve “Normal” değerine karşı sadece “Evet” değeri geldiğinden bu değerler ağacın yaprak değerleri olmuştur.

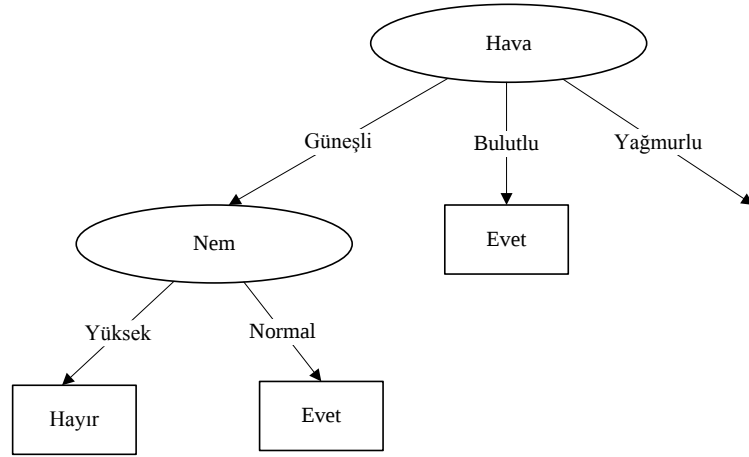
3. Adım: “Hava” niteliğinin “Bulutlu” değeri için dallanma bulunur.

Adım 2’deki eğitim verileri bu defa “Bulutlu” değeri için gerçekleştirilir. Tablo 2.1’deki verilerden “Hava” niteliği “Bulutlu” olanlar ele alınır. Bu değerler Tablo 2.5’teki gibidir.

Tablo 2.5. “Hava” niteliğinin “Bulutlu” değeri için eğitim verileri

No	Nitelikler				Hedef sınıf
	Hava	Isı	Nem	Rüzgâr	Oyun
3	Bulutlu	Sıcak	Yüksek	Hafif	Evet
7	Bulutlu	Soğuk	Normal	Kuvvetli	Evet
12	Bulutlu	Ilık	Yüksek	Kuvvetli	Evet
13	Bulutlu	Sıcak	Normal	Hafif	Evet

Yeni eğitim verilerinden görüldüğü gibi, “Hava” niteliği “Bulutlu” olduğunda hedef sınıf değeri tüm alanlar için “Evet” değerini almıştır. Bu yüzden, bu dallanma bu noktada son bulacak ve yaprak değerini alacaktır. Ağacın son hali Şekil 2.6’daki gibidir.



Şekil 2.6. “Hava” niteliğinin “Bulutlu” değeri için elde edilen karar ağacı

4. Adım: “Hava” niteliğinin “Yağmurlu” değeri için dallanma bulunur.
 “Yağmurlu” değeri için eğitim verileri aşağıdaki tablodaki gibi düzenlenir.

Tablo 2.6. “Hava” niteliğinin “Yağmurlu” değeri için eğitim verileri

No	Nitelikler				Hedef sınıf
	Hava	Isı	Nem	Rüzgâr	Oyun
4	Yağmurlu	Ilık	Yüksek	Hafif	Evet
5	Yağmurlu	Soğuk	Normal	Hafif	Evet
6	Yağmurlu	Soğuk	Normal	Kuvvetli	Hayır
10	Yağmurlu	Ilık	Normal	Hafif	Evet
14	Yağmurlu	Ilık	Yüksek	Kuvvetli	Hayır

Hedef sınıf için entropi hesaplanırsa;

$$H(Oyun) = -\left(\frac{3}{5}\log_2\frac{3}{5} + \frac{2}{5}\log_2\frac{2}{5}\right) = 0.970$$

Her bir nitelik için entropi değerleri hesaplanır.

a) Isı niteliği için:

$$|ISI_{soğuk}| = 2, \quad |ISI_{ılık}| = 3$$

Niteliklerin entropileri;

$$H(ISI_{soğuk}) = -\left(\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}\right) = 1$$

$$H(ISI_{ılık}) = -\left(\frac{2}{3}\log_2\frac{2}{3} + \frac{1}{3}\log_2\frac{1}{3}\right) = 0.918$$

Bu durumda;

$$H(ISI, OYUN) = \frac{2}{5}(1) + \frac{3}{5}(0.918) = 0.951$$

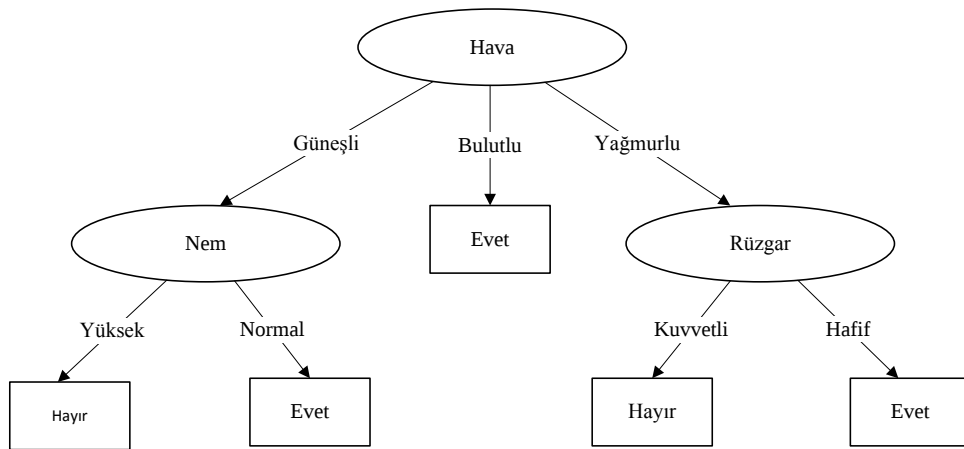
Kazanç ölçütü;

$$\begin{aligned} Kazanç(ISI, OYUN) &= H(OYUN) - H(ISI, OYUN) \\ &= 0.970 - 0.951 = 0.019 \end{aligned}$$

b) Rüzgar niteliği için kazanç ölçütü

$$|RÜZGAR_{hafif}| = 3, \quad |RÜZGAR_{kuvvetli}| = 2$$

Tablo 2.6’den görüldüğü üzere, “Rüzgar” niteliğinin “Hafif” değeri için hedef sınıf değeri tüm alanlarda “Evet”, “Kuvvetli” değeri için tüm alanlarda “Hayır” değerine sahiptir. Bu yüzden buradan yeni bir düğüm oluşmaz, yaprak değerler oluşur. Aynı zamanda karar ağacının son durumu Şekil 2.7’deki gibi oluşmuştur.



Şekil 2.7. Sonuç karar ağacı

Karar Kuralları Oluşturma

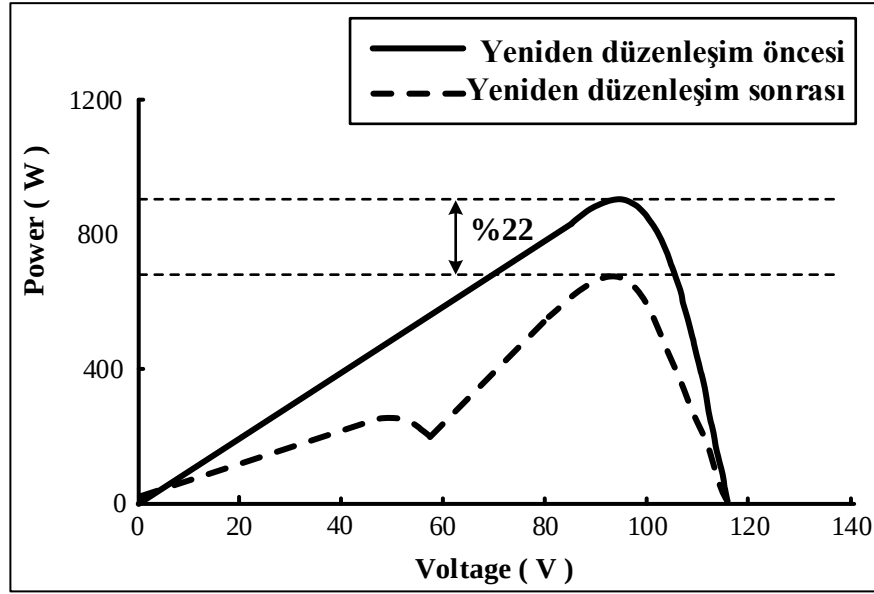
Oluşturulan karar ağağlarından, elde edilen sınıflandırmalar için karar kuralları çıkarılabilir. Bu kuralların çıkarımı IF...ELSE... yapısına sahiptir. Şekil 2.9'daki karar ağacı için karar kuralları şu şekilde olacaktır.

- Kural 1.** Eğer HAVA=Güneşli ve ISI=Sıcak ise OYUN=Hayır
- Kural 2.** Eğer HAVA=Güneşli ve ISI=Ilık ve RÜZGÂR=Kuvvetli ise OYUN=Evet
- Kural 3.** Eğer HAVA=Güneşli ve ISI=Ilık ve RÜZGÂR=Hafif ise OYUN=Hayır
- Kural 4.** Eğer HAVA=Güneşli ve ISI=Soğuk ise OYUN=Evet
- Kural 5.** Eğer HAVA=Bulutlu ise OYUN=Evet
- Kural 6.** Eğer HAVA=Yağmurlu ve RÜZGÂR=Kuvvetli ise OYUN=Hayır
- Kural 7.** Eğer HAVA= Yağmurlu ve RÜZGÂR=Hafif ise OYUN=Evet

3. FOTOVOLTAİK DİZİLERDE YENİDEN DÜZENLEŞİM

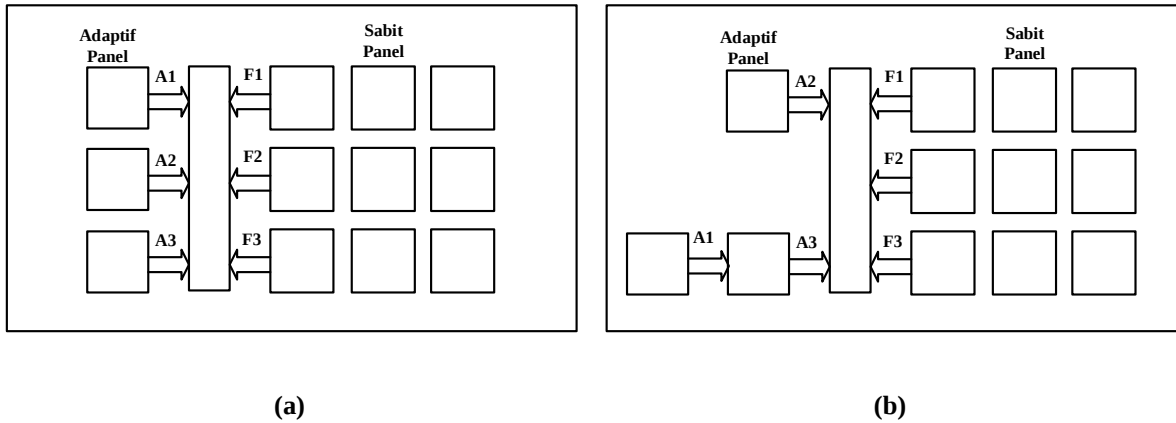
Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları olarak, en avantajlı alternatiflerden birisi PV sistemlerdir. PV sistemler, üzerine düşen güneş ışınlarını elektrik enerjisi formuna çeviren sistemlerdir. Ancak, çeşitli dış etmenlerden dolayı bu sistemler üzerinde kısmi ya da tam gölgelenme durumları oluşabilmektedir. Bu nedenden dolayı, elde edilen güç miktarı da azalan güneş ışını değerine bağlı olarak düşmektedir. PV sistemlerin performansının düşmesine neden olan bu problemin üstesinden gelebilmek için yeniden düzenleme yöntemleri kullanılmaktadır [34-36].

Yeniden düzenleme yöntemi, PV paneller arasındaki elektriksel bağlantıların değiştirilmesiyle gerçekleştirilen bir yöntemdir. Yöntemde, PV diziler adaptif ve sabit paneller olmak üzere iki panel grubu ve bu iki panel grubu arasında köprü görevi gören bir anahtarlama matris devresi bulunmaktadır. Gölgeleme durumu öncesi, tam verimle çalışan sistemde gölgeleme anından itibaren elde edilen akım değeri düşmeye başlamaktadır. Bu andan itibaren, enerji kaybını minimize etmek amacıyla sistem yeniden düzenleme sürecine girmektedir. PV paneller üzerine düşen ışınma değerleri göz önüne alınarak sistemin mevcut bağlantı düzeninden başka daha yüksek güç elde edecek şekilde hangi bağlantı düzeninde çalışabileceği, geliştirilen algoritmalarla hesaplanır. Hesaplanan bu optimal bağlantı düzeni, bir anahtarlama matrisi aracılığıyla adaptif ve sabit paneller arasındaki bağlantı uçları değiştirilerek sisteme uygulanmaktadır. Bu sayede, sistem dahilindeki paneller fiziki olarak sabit olmasına rağmen bağlantı uçlarının yer değiştirmesiyle birlikte farklı noktalardan birbirlerine bağlanmış olmaktadır. Yani, sistem değişebilen gölgeleme durumlarına göre dinamik bir yapıda çalışma yeteneği kazanmaktadır. Bu yöntem ile tasarlanan PV dizilerde gözle görülür derecede güç artışı sağlandığı gözlemlenmektedir. Şekil 3.1’de yeniden düzenleme öncesi ve sonrasında güç durumunu gösteren bir P-V grafiği verilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, yeniden düzenleme öncesinde düşen maksimum güç noktası yeniden düzenleme işlemi sonrasında artmıştır ve yaklaşık %22 oranında bir güç kazancı sağlanmıştır.



Şekil 3.1. Yeniden düzenleme yöntemi güç kazancı

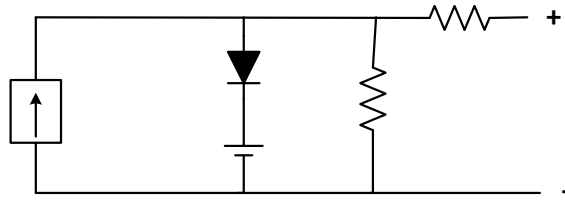
Şekil 3.2’de ise PV grafiğinde görülen güç kazancını elde etmek için sistemin yeniden düzenleme sürecinde aldığı yapıya ait temsili bir şekil görülmektedir. Diziler, henüz yeniden düzenleme sürecine başlamadan önce Şekil 3.2-(a)’daki gibi görülmektedir. Tam ışıma durumunda zaten maksimum güç elde edildiğinden bağlantılar doğrudan yapılmaktadır. Gölgeleme durumu başlangıcından itibaren yeniden düzenleme süreci aktif olur ve dizilerin yeni şekli Şekil 3.2-(b)’deki gibi olmaktadır. Diziler üzerinde oluşan gölge durumuna göre dizilerin bağlantı düzenleri bu şekilde değişecek ve yeni bağlantı düzeniyle gölgelemenin neden olduğu kayıplar minimum düzeye düşürülmeye çalışılacaktır.



Şekil 3.2. Yeniden düzenleme sonucunda dizi görünümü (a) Yeniden düzenleme öncesi (b) Yeniden düzenleme sonrası

3.1. PV Sistem Yapısı

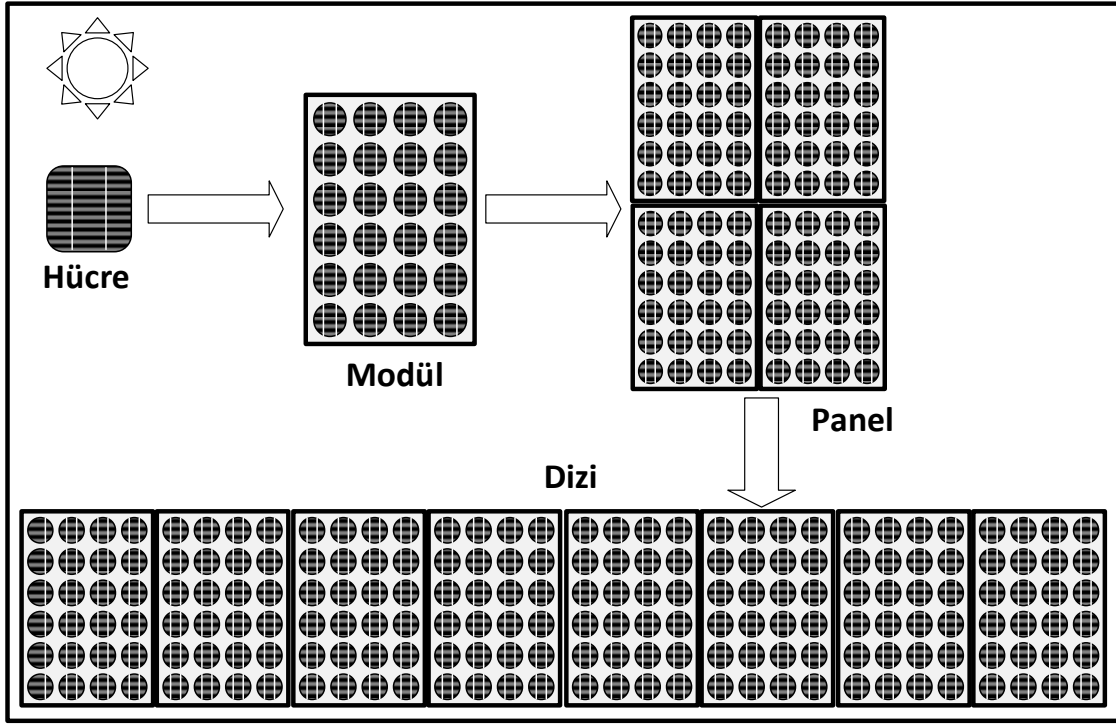
Bir PV hücre; bir akım kaynağı, diyot ve dirençlerden oluşmaktadır ve üzerine düşen güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürmektedir [37]. Üzerine aydınlanma sürekli olduğu müddetçe dönüştürdüğü enerji de devam etmektedir. Şekil 3.3'te bu şekilde çalışan bir PV hücre modeli gösterilmektedir. Normalde, bir PV sistemin çıkışı, ışınlam ve sıcaklık faktörleridir. Bu yüzden, sistemin çıkış gücü de bu değerler ile belirlenmektedir. Bu yapıdaki bir PV hücreden alınabilecek akım miktarı Eşitlik (1)'deki gibi olacaktır.



Şekil 3.3. PV hücre modeli

$$I = I_s - \left(I_0 \left[e^{\frac{V}{mV_T}} - 1 \right] \right) - \left(\frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \right) \quad (3.1)$$

PV hücreler, birleşerek PV sistemleri oluşturmaktadır. Bir hücrenin birleşerek PV dizileri oluşturduğu yapı Şekil 3.4'teki gibidir. Tipik bir PV hücre yaklaşık 1W'lık bir güç üretebilmektedir. Bu değerden daha fazla gereksinim olan durumlar için hücreler seri ve paralel bağlanarak modülleri oluştururlar. PV panel ise, ihtiyaç duyulan enerji miktarına göre modüllerin yine seri ve paralel bağlanmasıyla oluşmaktadır. Bu paneller bir araya gelerek bir düzen dahilinden dizi halini almaktadır.



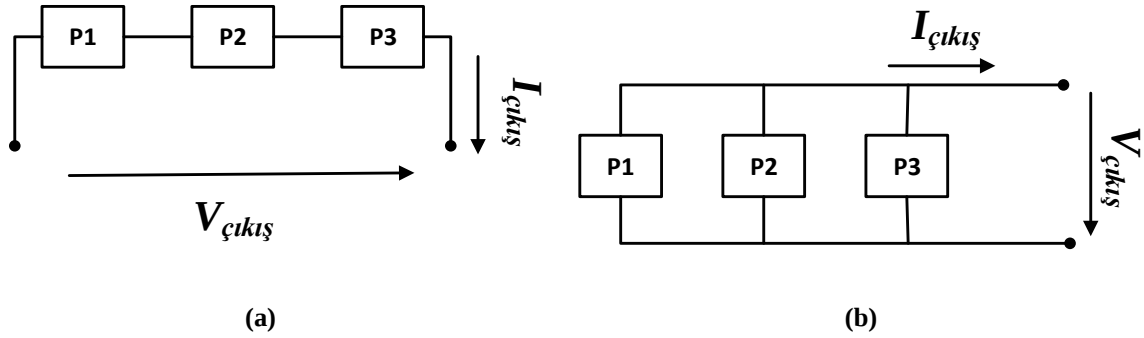
Şekil 3.4. PV hücrelerin PV dizi oluşturması

PV diziler, güneşten aldığı ışıınım değerlerine göre verimli bir yenilenebilir alternatif enerji kaynağıdır. Ancak bazı dış etkenlerden dolayı, PV hücre üzerinde kısmi veya tam gölgelenme gerçekleşebilmektedir. Bu durumda, üzerinde oluşan aydınlanma miktarına göre bir PV hücrenin üreteceği elektrik enerjisi de değişim göstermektedir [38, 39]. Yani, aydınlanma miktarı düştükçe hücrenin üreteceği akım değeri de düşmektedir. Bu da, PV hücrelerden oluşan bir sistemin veriminin düşmesine neden olmaktadır.

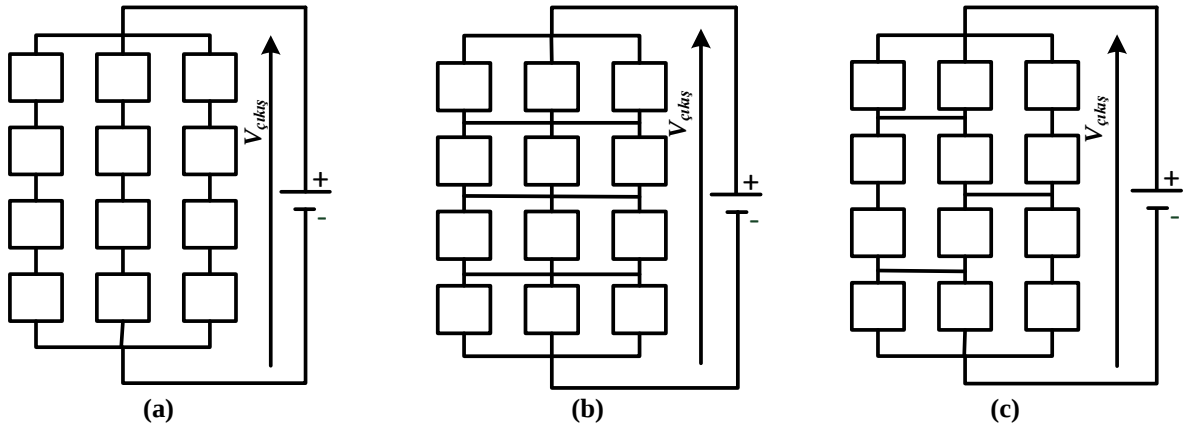
PV hücreler, Şekil 3.5'te görüldüğü gibi seri ve paralel bağlanabilmektedir. Fakat bu bağlantı şekillerinde bir PV hücre üzerine düşen aydınlanma miktarındaki değişim bağlı olduğu yapıda akım veya gerilim kaybına yol açmakta ve sistemin çıkış gücünü olumsuz etkilemektedir [40]. Daha fazla sayıda PV hücreden oluşan sistemlerde bu dezavantajın üstesinden gelmek için üç farklı bağlantı topolojisi kullanılmaktadır. Bu bağlantı topolojileri Şekil 3.6'da görülmektedir.

Şekil 3.6-(a)'da görülen SP bağlantı yapısında PV paneller seri olarak birbirine bağlanmaktadır. Seri bağlanarak oluşan diziler ise birbirine paralel olarak bağlanmaktadır. Bu bağlantı türü maliyet bakımından daha avantajlıdır ve enerji kayıplarına karşı daha duyarlıdır. Şekil 3.6-(b) ve Şekil 3.6-(c)'de görülen TCT ve BL bağlantı türleri PV dizilere daha fazla ek bağlantı gerektiren yapılardır. Bağlantı yapıları gereği farklı çıkış akımları üretebilmektedirler. TCT yapısında her bir modül bir diğeriyle seri ve paralel

bağlanmaktadır. BL yapısında ise, TCT yapısına göre daha az ara bağlantı vardır. Bundan dolayı, kablolama süresi ve kablolardan kaynaklanan kayıplar daha azdır. Fakat, özellikle büyük sayıda modülden oluşan sistemlerde TCT yapısındaki yerleşim, örüntü yapısından dolayı daha kolay sağlanır. Uygulanan sistemin gereksinimlerine göre bu bağlantı yapıları büyük önem arz etmektedir. Çünkü, bu yerleşim düzenleri sistemin çıkış akım değeri üzerinde çok önemli miktarlarda değişime sebep olmaktadır. Bu da, elde edilen verimi direkt olarak etkilemektedir. Bu üç bağlantı şekli uygulandıkları sisteme göre farklı seviyede performanslar göstermektedir [41].



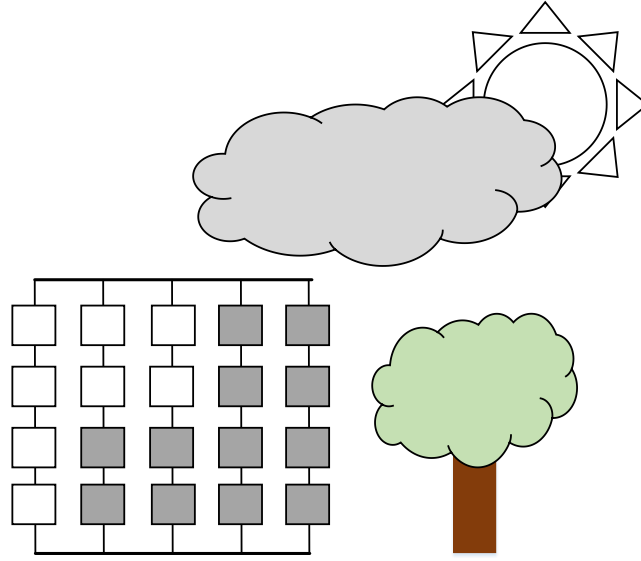
Şekil 3.5. Panel bağlantı tipleri. a) Seri bağlantı b) Paralel bağlantı



Şekil 3.6. PV dizilerde bağlantı tipleri a) SP tipi bağlantı b) TCT tipi bağlantı c) BL tipi bağlantı

3.2. Gölgeleme Etkisi

Çevredeki binalar, ağaçlar, kuşlar, bulutlar, kirlenme vs. Şekil 3.7’deki gibi çeşitli dış etmenlerden dolayı bir PV sistem üzerinde gölgelenmeler oluşabilmektedir. Bu şekilde oluşan bir gölgelenme bir PV dizi üzerinde Şekil 3.8’dekine benzer bir görüntüde oluşmaktadır. Diziler üzerinde oluşan bu gölgelenmeler bir PV hücreden elde edilen güç miktarı üzerinde etkili olmaktadır.



Şekil 3.7. Kısmi gölgeli bir PV dizi



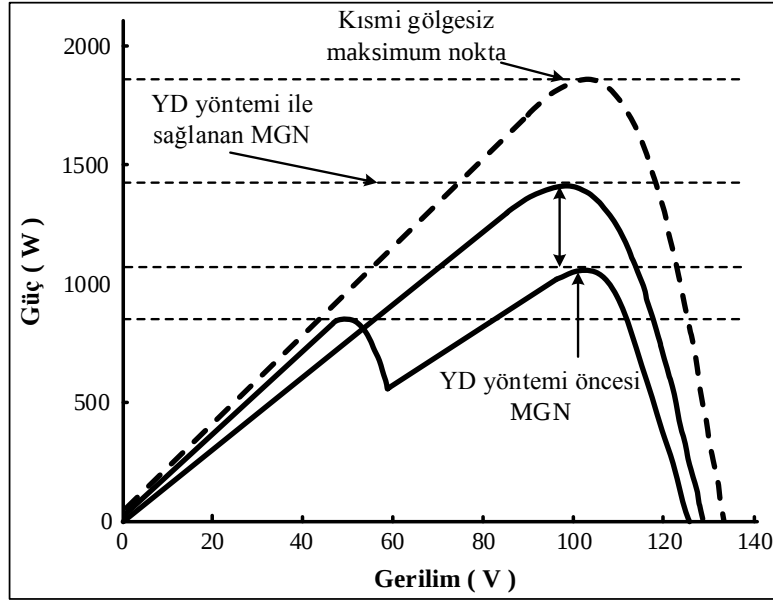
(a)



(b)

Şekil 3.8. PV sistemlerde kısmi gölgelenme durumu **a)** Tam ışımalı durum
b) Gölge oluşmuş durum

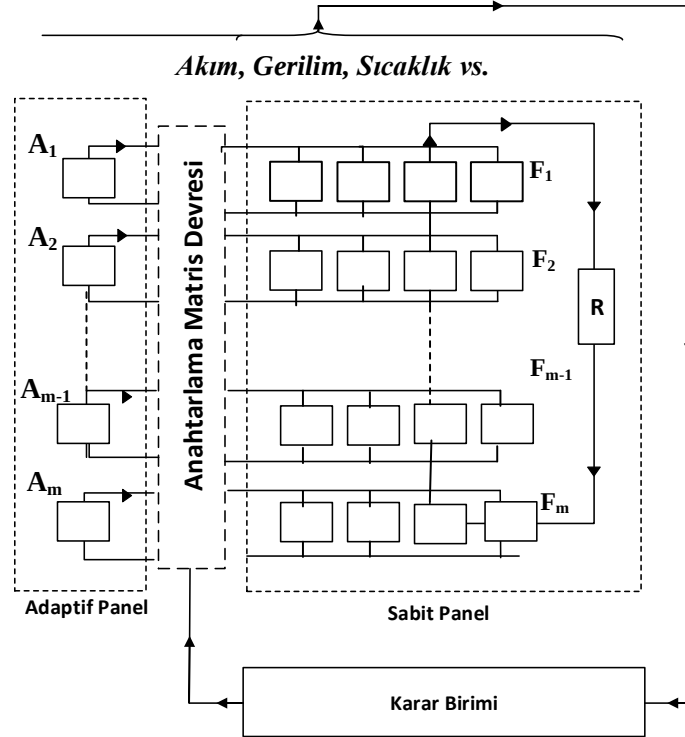
Gölgelenme, dizideki tek bir hücre üzerinde meydana gelse dahi, bu hücrenin bağlı olduğu diğer hücrelerde bundan etkilenmektedir. Yani, sistemin çıkış akımı, içerisindeki en az akım üreten hücrenin ürettiği güç nedeniyle etkilenmektedir. Şekil 3.9’da bir sisteme ait gölgesiz durumda elde edilen maksimum güç noktası noktalı çizgiyle belirtilmiştir. Bu nokta sistemin tam ışıma durumunda ulaştığı güç noktasıdır. Ancak gölgelenme sonrasında güç noktası yaklaşık 1100W seviyelerine düşmüştür. Yeniden düzenleme yönteminin sürece etki etmesiyle birlikte bu değer yaklaşık %20 oranında bir artış göstermiştir.



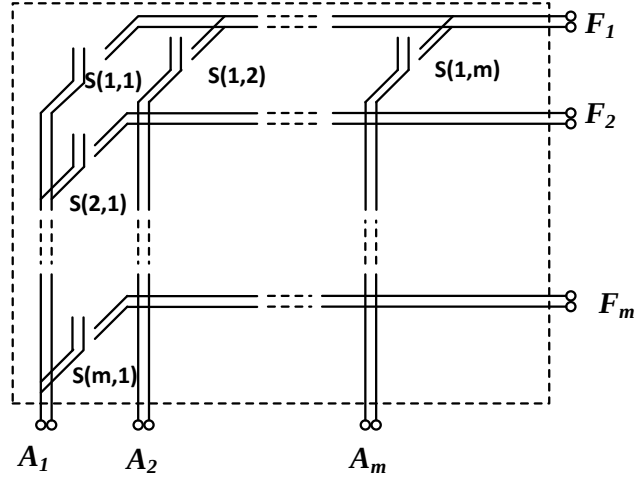
Şekil 3.9. Gölgelenme öncesi ve sonrası durum

3.3. Yeniden Düzenleşim Yaklaşımı

Yeniden düzenleşim yöntemi, sistem üzerinde bu gölgeleme şartlarında yaşanan güç azalmasını minimum hale getirmek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde, PV diziler dinamik bir bağlantı yapısına sahip olmaktadır. Böylece değişen ışıma değerlerine uyum göstererek yeni bağlantı düzenlerine göre güç elde etmektedirler. Yeniden düzenleşim yöntemine sahip bir PV dizisi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Sistem düzeni üç temel parçadan oluşmaktadır. Bunlar; sabit panel, adaptif panel ve anahtarlama matris devresidir. Sabit panel, PV sistemin yeniden düzenleşim süreci boyunca herhangi bir değişikliğe uğramayan, daha fazla hücreye sahip esas parçasıdır. Şekil 3.6'da verilen bağlantı düzenlerinden birine sahip olabilir. Bu panel üzerindeki panel satırlarının her biri, bir alt modülü oluşturmaktadır ve $m \times n$ adet panelden (n tane hücreden oluşan m tane alt modül) oluşmaktadır ($F_1, F_2, \dots, F_m$). Adaptif panel, sistemi farklı gölgeleme koşullarına karşı adapte eden parçasıdır. Sabit parçadaki alt modül sayısı kadar, yani m adet panel içerir ($A_1, A_2, \dots, A_m$) ve bu paneller sabit kısımdaki herhangi bir alt module bağlanacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.10. Bir sistemde yeniden düzenleşim

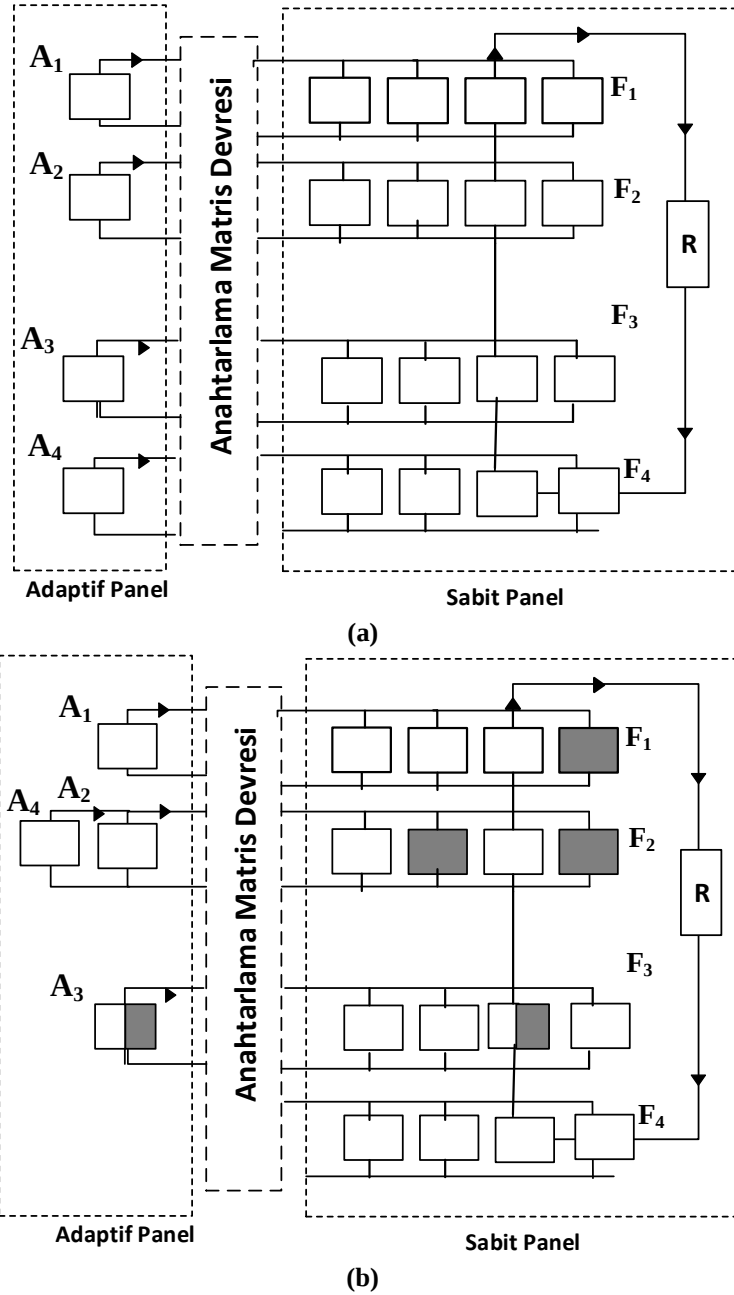


Şekil 3.11. Yeniden düzenleşim için anahtarlama matris devresi

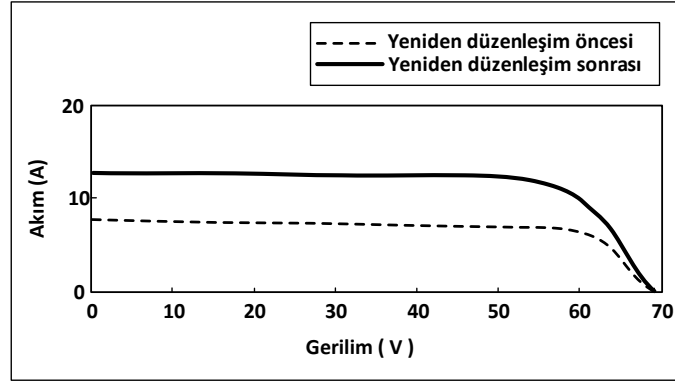
Üçüncü temel kısım ise, anahtarlama matris devresidir. Şekil 3.11’de gösterilen bu devrenin işlevi, devredeki her bir anahtarın, adaptif paneldeki herhangi bir PV paneli, sabit paneldeki herhangi bir alt module bağlamasıdır. Sistemin boyutuna göre değişebilen anahtarlama matrisleri, hem küçük ölçekli hem de büyük ölçekli PV sistemlerde yeniden düzenleşim işlemi için kullanılabilir. Her bir panelin çift kutbu olmasından dolayı anahtarlama matris devresindeki toplam anahtar elemanı sayısı $2x(mxm)$ tane olacaktır. Bu temel elemanların dışında bir de, kontrol birimi bulunmaktadır. Bu birim, sistemden elde edilen birtakım giriş parametrelerini kullanarak yeniden düzenleşim sonucunda elde edilen yeni bağlantı düzenini bulmaktadır. Daha sonra bulduğu bu yeni düzeni, anahtarlama matris devresine iletir.

Sistem üzerinde tamamen gölgesiz bir aydınlanma olduğunda, adaptif kısım sabit kısma bağlı sıradan bir sütun gibi çalışır. Yeniden düzenleşim işlemi, sistem üzerinde kısmi gölgeleme oluştuğunda başlar. PV diziler üzerinde oluşan gölge miktarına göre alt modüller bazı değerler (akım, gerilim, sıcaklık vs.) üretir. Üretilen bu değerler, bağlantı şeklinin düzeninin belirlenmesi için bir karar birimine yönlendirilir. Bu birimde, geliştirilen karar verme algoritmaları ile alt modüllerin maksimum gücü elde etmesini sağlayan yeni bağlantı düzeni belirlenir. Son olarak, bu bağlantı düzeni anahtarlama matris devresine aktarılır ve bu devre yardımıyla sistem maksimum verimi sağlayacak şekilde yeniden yapılandırılır. Şekil 3.12’de, kısmi gölgelenmeye sahip olmayan bir sistemin, kısmi gölgelenmeye maruz kaldıktan sonraki yeni bağlantı düzeni verilmiştir. Şekil 3.13’te ise benzer yapıdaki bir sistemin

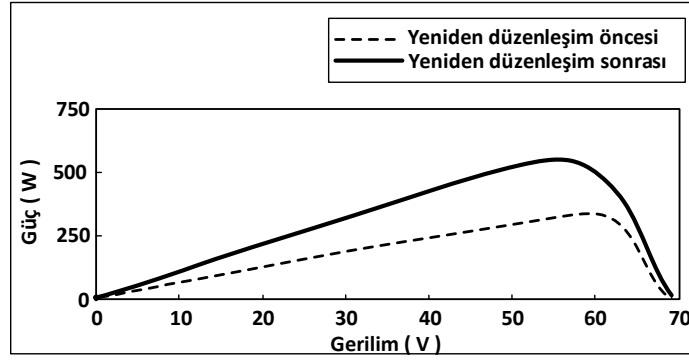
yeniden düzenleşim yapmadan önce ve yeniden düzenleşim yaptıktan sonraki P-V grafikleri verilmiştir. Özellikle, grafikteki maksimum güç noktasının gösterdiği değere bakıldığında yeniden düzenleşim işleminin gölgelenme durumları karşısında işe yarayan bir yaklaşım olduğu görölmektedir.



şekil 3.12. Yeniden düzenleşim metodu ile düzenlenmiş bir sistem
a) Yeniden düzenleşim öncesi b) Yeniden düzenleşim sonrası



(a)



(b)

Şekil 3.13. Yeniden düzenleme yöntemi öncesi ve sonrası sistemin durumu. **a)** I-V grafiği **b)** P-V grafiği

Yeniden düzenleme yönteminde, sistemin yapısal özelliklerinin yanı sıra süreç içerisinde yapılan bazı önemli işlemler vardır. Bu işlemler, sistemin yeniden düzenlemesi sonucunda elde edilen performans değerleri üzerinde doğrudan etkili olabilmektedir.

- **Veri alımı ve ölçüm:** PV diziler üzerinde oluşan gölgelenme şartlarında, gölgelenmenin miktarına göre PV hücreler karakteristik özelliklerine göre bazı değerler üretmektedir. Bu değerler; kısa devre akımı, açık devre gerilimi, sıcaklık, ışıma miktarı vs. gibi değerlerdir. Hem adaptif hem de sabit panelde alınabilen bu veriler, uygulanacak yeniden düzenleme yönteminde kullanılmak üzere geliştirilen algoritmalara giriş parametresi olarak sunulmaktadır.

- **Optimal bağlantıya karar verme:** Gölgeleme şartlarında dizilerden elde edilen veriler kullanılarak sistemin o an üretebileceği maksimum gücü elde edebilecek bağlantı

düzenine karar verilmektedir. Bunun için, bu düzeni bulabilecek yöntemler geliştirilmektedir.

- **Bağlantı kontrol işlemi:** Çeşitli algoritmalar, matematiksel yöntemler ve gösterimler kullanılarak belirlenen yeni bağlantı düzeni, panellerin bağlantı yapısına uygun bir formata dönüştürülmektedir. Bu sayede, sonuç sistemin tanıyabileceği bir yapıda sunulmaktadır.

- **Anahtarlama matris devresi:** Belirlenen optimal bağlantı düzeni, sisteme uygulanmak üzere anahtarlama matris devresine yönlendirilmektedir. Burada, adaptif panele ait bağlantı uçları, sabit paneldeki karşılıklarına bağlanmaktadır ve bu sayede yeni bağlantı düzeni çalışabilir duruma gelmektedir.

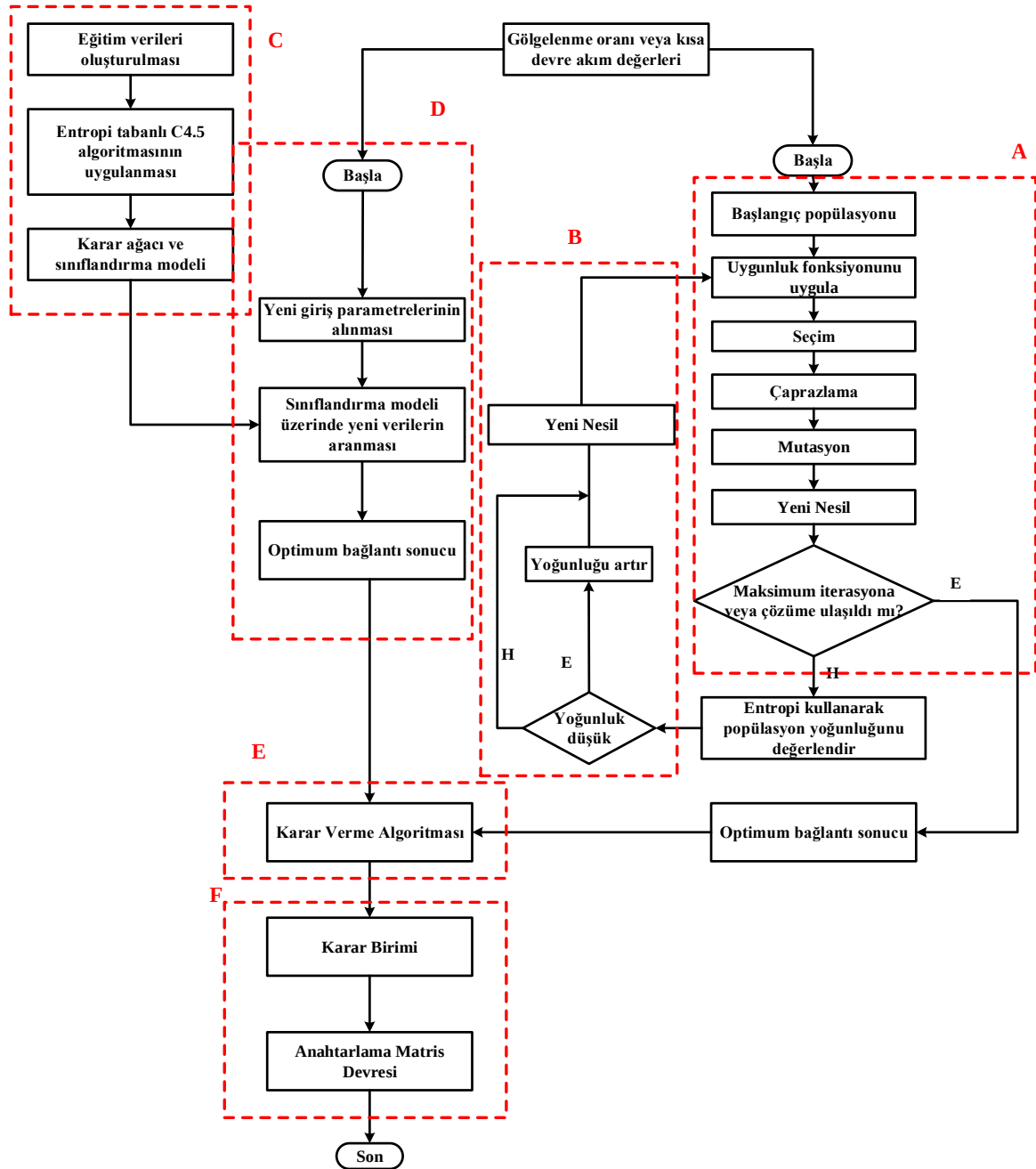
4. YENİDEN DÜZENLEŞİM İÇİN ÖNERİLEN YENİ YAKLAŞIM

Daha önceki bölümlerde, kısmi gölgelemenin, PV sistemlerde sistemin verimini etkileyen önemli bir problem olduğundan bahsetmiştik. Bu sorunun üstesinden gelebilmek için enerji kaybını minimum seviyeye indirmek gerekmektedir. Aynı zamanda, yapılacak olan işlemlerin çalışma süresi de önemlidir. Değişen gölge şartlarına karşı sistemin en hızlı seviyede cevap vermesi ve değişen şartlara göre kendini düzenlemesi gerekmektedir. Özellikle, sistemi maksimum güç düzeyinde çalıştıracak bağlantı düzeninin bulunması aşamasında sistemin çok hızlı bir yanıt bulması gerçek zamanlı çalışabilmesi açısından son derece önemlidir. Bu gerekçeler göz önüne alınarak tezin bu bölümünde yeniden düzenleşim yöntemi için entropi tabanlı arama algoritması sunulmuştur. Hem genetik algoritmaların çalışma hızı hem de sınıflandırma algoritmalarının tahmin yeteneği göz önüne alınarak bu algoritmalar entropi tabanlı olarak geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşımda sunulan algoritmalara ait bir akış diyagramı Şekil 4.1’de verilmiştir. Algoritmalar için sistemden alınan giriş parametreleri kısa devre akım değerleri veya gölgelenme oranı değerleridir. Hem sabit panelden hem de adaptif panelden alınan bu değerler önerilen algoritmaya gönderilmektedir. Önerilen yöntem altı temel algoritma bloğundan oluşmaktadır:

- A bölgesi, genetik algoritma yaklaşımıyla çalışan bölümdür. Bu bölüm, rasgele üretilen bir başlangıç popülasyonundan başlanmaktadır.
- B bölgesindeki entropi tabanlı yaklaşım bu algoritmaya dahil edilerek başlangıç popülasyonu içerisindeki kromozomlar arasındaki bit yoğunluğu hesaplanmaktadır. Algoritmanın iterasyon sayısında azalma sağlayan bu yöntem sayesinde sonuca minimum seviyede ulaşılması sağlanmaktadır.
- C bölgesinde, mevcut eğitim verileri kullanarak elde edilen entropi tabanlı bir karar ağacı yapısı belirlenmektedir. Bu metotta ise, bir eğitim kümesi üzerinden C4.5 algoritması kullanılarak bir sınıflandırma modeli geliştirilmektedir.
- D bölgesinde ise, bu sınıflandırma modeli ile yeni gelen giriş parametrelerine karşılık bağlantı düzeni tahmin edilmektedir.
- E bölgesinde ise her iki algoritmadan alınan optimum bağlantı sonuçları arasında bir karar verme süreci geliştirilmiştir.

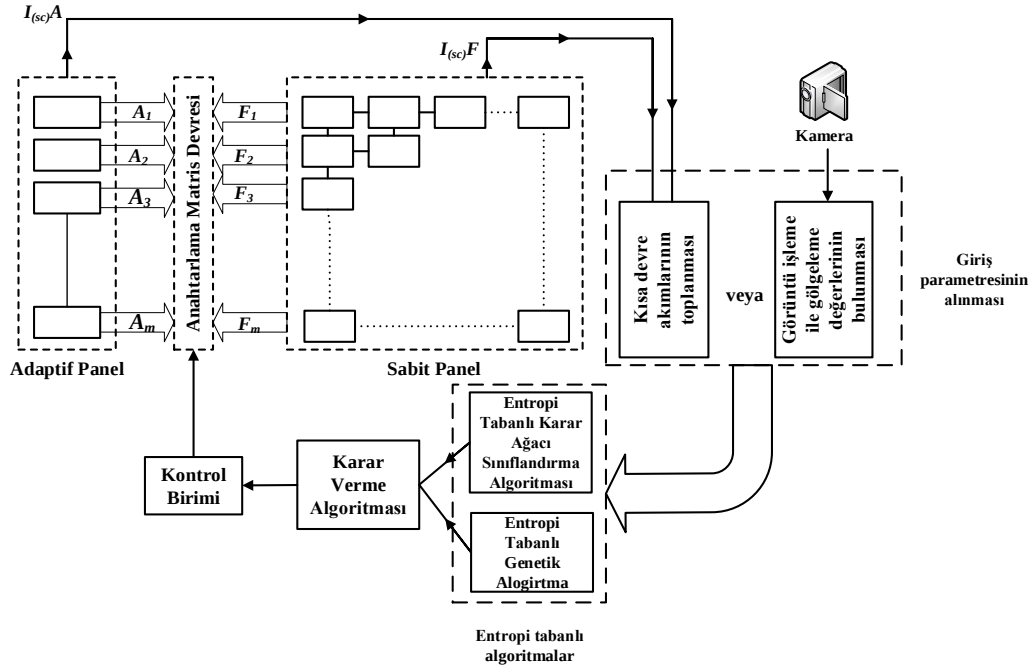
• Son olarak F bölgesi, optimum bağlantı düzeninin sisteme gönderilmesi amacını taşımaktadır.

İlerleyen bölümlerde işlemler kısa devre akımları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiş olup yapılan bu işlemler gölgelenme oranı değerleri için de geçerlidir. Bu sebepten dolayı, algoritmaların verdiği performans gölgelenme oranı değerleri için de aynı olmaktadır. Önerilen bu yaklaşıma ait tüm süreçler her iki giriş parametresi için de deneysel olarak gerçekleştirilmiş ve geçerliliği doğrulanmıştır.



Şekil 4.1. Önerilen yaklaşıma ait akış diyagramı

Bir PV sistemde yeniden düzenleşim sürecinde maksimum gücü veren bağlantı düzeninin küçük boyutlu dizilerde kolay ve uygulanabilir olmasına rağmen dizilerin boyutu büyüdükçe dezavantajlar doğurabilmektedir. Bu çalışmada, PV sistemlerde yeniden düzenleşim işlemi için gerçek zamanlı ve büyük boyutlu dizilerde uygulanabilir olan çok etkili bir yaklaşım sunulmaktadır. Büyük boyutlu bir dizide olası bağlantı şekillerinin sayısı milyarlar seviyesini bulabilmektedir. Bu ihtimaller arasından en uygun olanının belirlenmesi ise, çok uzun süreler alabilmektedir. Buna karşın, önerilen yöntem sayesinde bu işlem herhangi bir boyut ve koşuldaki sistemde çok daha uygulanabilir ve verimli sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu sayede gerçek zamanlı sistemler için daha elverişli bir yapıdadır. Önerilen yaklaşıma ait blok diyagramı Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Önerilen yaklaşımın çalışmasına ait sistem yapısı

Önerilen yaklaşıma ait sistem yapısı, üç temel parçadan oluşmaktadır. Birincisi, m adet alt modülden oluşan, TCT bağlantı yapısı ile bağlanmış ve çalışma süresince değişmeyen bir karakteristiğe sahip sabit paneldir. İkinci parça, sabit paneldeki alt modül sayısı kadar panelden oluşan adaptif paneldir. Üçüncü parça ise, adaptif ve sabit panelleri birbirine bağlayan anahtarlama matris devresidir. Bu devre, adaptif kısımdaki herhangi bir paneli

sabit kısımdaki herhangi bir modüle bağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Adaptif paneldeki her bir PV panelden ve sabit paneldeki her bir PV modülünden alınan kısa devre akım değerleri veya gölgelenme oranı değerleri bir veri toplama birimine aktarılır. Toplanan veriler, işlenmek üzere ayrı ayrı entropi tabanlı bir sınıflandırma algoritması birimine ve bir entropi tabanlı genetik algoritma uygulama birimine gönderilir. Bu iki farklı algoritma biriminin eş zamanlı çalışarak elde ettiği sonuç bir kontrol birimi yardımıyla anahtarlama matris devresine yönlendirilir ve sistem üzerinde gerçekleştirilir.

4.1. Panellerin Işıma Bilgisinin Ölçümü

Önerilen algoritmaların çalışması sürecinde iki tip giriş parametresi alınabilmektedir. Bunlar, kısa devre akım değerleri ve gölgelenme oranı değerleridir. Hem adaptif hem de sabit panellerden elde edilen bu değerler işlenmek üzere algoritmaya iletilir. Bu parametrelerin her ikisi de birbirine orantılı olarak değişim göstermektedir. Bu yüzden, sistem sonucunda aynı şekilde etki eder.

- **Kısa devre akımları:** Paneller üzerindeki ışıma miktarı her bir modülünden alınan kısa devre akımı üzerinde doğrudan etkilidir. Işıma miktarı düştükçe daha düşük, arttıkça daha yüksek kısa devre akımları elde edilebilmektedir. Aynı zamanda bu değerler panellerden kolay ölçülebilen değerlerdir. Bu sayede, zaman açısından sisteme olumsuz bir etkisi yoktur.

- **Görüntü işleme ile gölge tespiti:** Sistem üzerine yerleştirilen ve panelleri gören bir kamera sayesinde PV paneller üzerine düşen gölge miktarları ve yerleri tespit edilebilmektedir. Kameradan alınan bu görüntüler yardımıyla, görüntü işleme yöntemi ile gölgelenme oranı değerleri elde edilmektedir [42]. Elde edilen bu değerler kısa devre akımları gibi önerilen algoritmalara giriş parametresi olarak sunulmakta ve işlenmektedir. Daha sonra en yüksek gücü sağlayan bağlantı düzenini bulmak üzere sisteme dahil edilmektedir.

4.2. Gölgeleme Oranı Ölçüm Yapısı

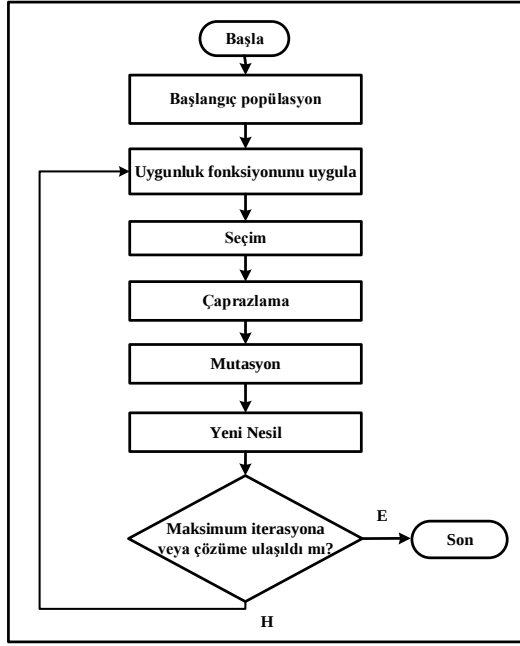
Bu çalışma kapsamındaki yeniden düzenleme sürecinde elde edilen panel ışıma değerleri kullanılmakta ve yine tez çalışması kapsamında daha önceden tasarlanmış olan entropi tabanlı sınıflandırma ve genetik algoritmaya giriş parametresi olarak verilmektedir.

Tıpkı sistemde kısa devre akımlarının kullanıldığı durumda olduğu gibi önerilen bu yaklaşımda da kontrol birimi aracılığıyla işlemler gerçekleştirilmekte ve bu birimden elde edilen en optimal düzen adaptif ve sabit dizilere uygulanmak üzere anahtarlama matrisi devresine verilmektedir. Tez çalışması kapsamında önerilen bu yaklaşımı özetleyen bir blok diyagram Şekil 4.2’de verildiği gibidir.

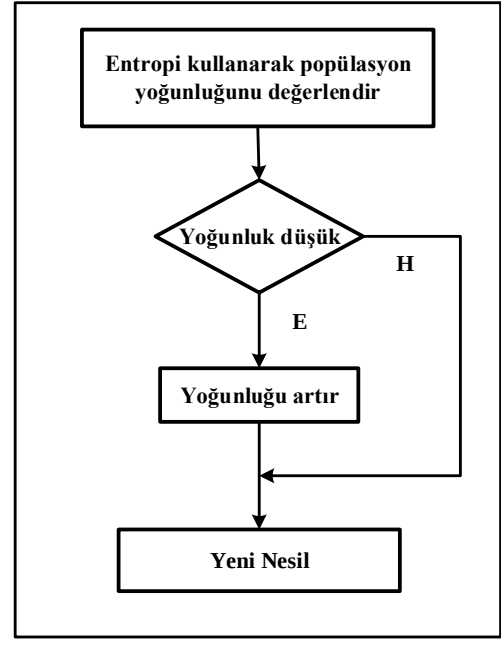
Şekilden de görülebileceği üzere sistemde mevcut bulunan adaptif ve sabit dizilerin ısıma değerleri elde edildikten sonra bu değerler entropi tabanlı geliştirilmiş olan iki farklı algoritmaya giriş parametresi olarak verilmektedir. Tasarlanan sistem bir önceki yaklaşımda olduğu gibi TCT bağlantı yapısına sahip sistem üzerinde gerçekleştirilmektedir. Sınıflandırma algoritması ve genetik algoritma bu ısıma değerlerini alarak en optimal çözümü hesaplamaya çalışmaktadırlar. Bu iki birimin kendi içerisinde bulduğu optimal çözümler ise kontrol birimine giriş parametresi olarak verilmektedir. Sistemde mevcut bulunan kontrol birimi hangi algoritmadan gelen sonucun daha iyi olduğuna karar vererek, o algoritmaya ait optimal düzeni anahtarlama matrisi devresine giriş parametresi olarak vermektedir. Son olarak ise anahtarlama matrisi devresi giriş olarak almış olduğu bu optimal panel düzenini adaptif dizilere uygulamakta ve bu dizileri sabit panellere bağlamaktadır. Önerilen yaklaşımın sonuçları kısa devre akımları kullanılarak elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında birbiriyle örtüştüğü görülmektedir. Fakat önerilen ikinci yaklaşım, ilk yöntemle göre daha ucuz maliyetli bir çözüm sunmaktadır. Her iki algoritmanın sonuçları da tezin beşinci bölümü olan deneysel sonuçlar kısmında detaylı bir şekilde incelenecektir.

4.3. Entropi Tabanlı Genetik Algoritma Kullanan Arama Algoritması

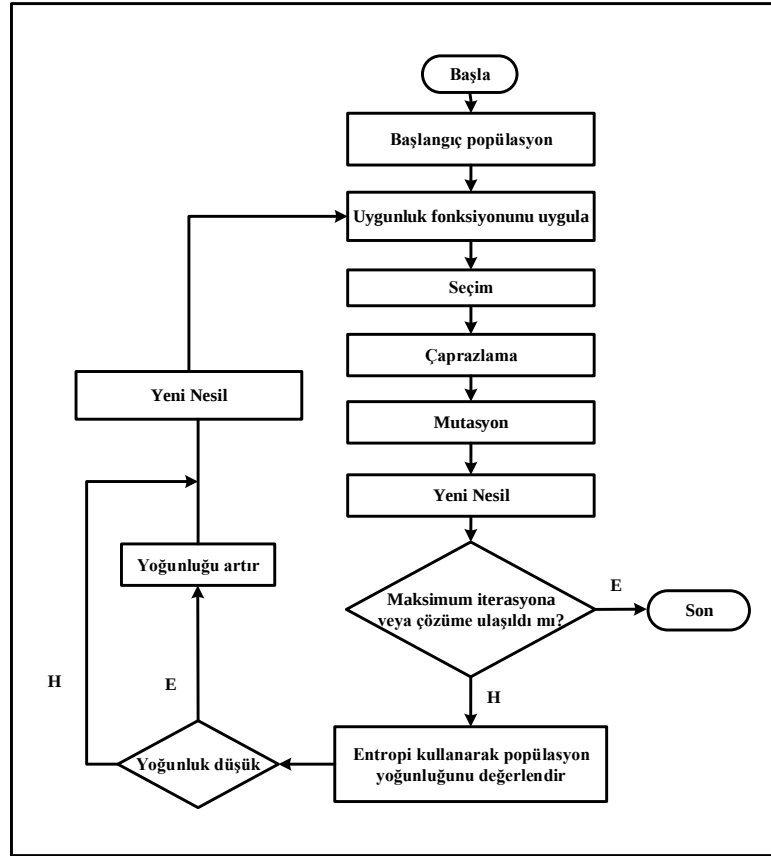
Yeniden düzenleme işleminde doğru bağlantı düzeninin belirlenmesi işlemi sistemin performansını doğrudan etkileyen bir unsurdur. Sistem üzerinde yapılan bu işlemin minimum zamanda yapılması büyük önem arz etmektedir. Bağlantı düzenini bulmak için olası tüm bağlantılar arasından hesaplamalar yapılarak sonuca ulaşılmaya çalışılması karmaşık ve zaman alan bir işlemdir. Yani, sistemin cevap verme süresini uzatan bir yöntemdir. Bunun yerine, bu tip bir tarama işlemi için genetik algoritma tabanlı bir çözümün daha etkili olduğu görülmüştür [43-45].



(a)



(b)



(c)

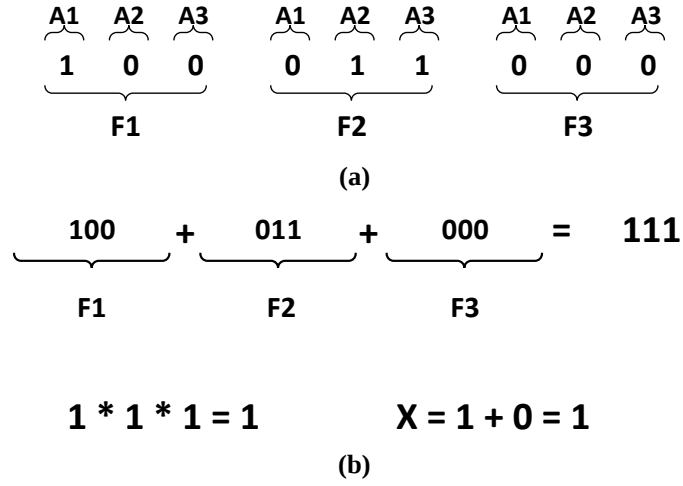
Şekil 4.3. Entropi tabanlı genetik algoritma geliştirme süreci (a) Genetik algoritma blok diyagramı (b) Entropi yardımıyla yoğunluk belirleme süreci (c) Entropi tabanlı genetik algoritma akış diyagramı

Bu açıdan önerdiğimiz yöntemde daha verimli bir şekilde sonuca ulaşabilecek etkili bir entropi tabanlı genetik algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmaya ait akış diyagramı Şekil 4.3'teki gibidir. Şekil 4.3-(a)'da görülen diyagram geleneksel bir genetik algoritma işlemidir. Bu algoritmaya ek olarak Şekil 4.3-(b)'deki entropi ile kromozomlar içerisindeki karakter yoğunluklarının tespiti işlemi geliştirilmiştir. Bu sayede, genetik algoritmanın çalışma performansı üzerinde iyileştirme sağlanmıştır. Şekil 4.3-(c)'de ise çalışma sürecinin son haline ait blok diyagramı gösterilmiştir.

Başlangıç popülasyonu oluşturma: Genetik algoritma uygulamasında ilk adım olarak doğru bir başlangıç popülasyonu oluşturulması önemlidir. Önerilen yaklaşımda, bu popülasyonu oluşturan kromozomların yapısı Tablo 4.1'deki gibi olacaktır. Tabloda, modül sayısı $m=3$ olan bir sistemdeki sabit ve adaptif panel uçları örneklendirilmiştir. F , sistemdeki sabit paneli ve A , sistemdeki adaptif paneli belirtmektedir. Tablo 4.1'deki yapıya göre, F_1 , A_1 ucuna; F_2 , A_2 ve A_3 uçlarına bağlanmış ve F_3 boş bırakılmıştır. Bu bağlantı yapısına göre bağlı olan uçları “1”, ve bağlı olmayan uçları “0” ile gösterdiğimizde her bir sabit panel ucu (F) için üç bitlik bir değer elde ederiz. Her bir bağlantı şekli (kromozom) için toplam, $m \times m$ bitlik değerler oluşacaktır. Tablo 4.1'deki örnek için oluşan bağlantı yapısı Şekil 4.4-(a)'daki gibi olacaktır. Bu yapıyı esas alan kromozomlar $[0 - 2^{m \times m}]$ aralığındaki sayılardan ikilik tabanda rasgele seçilirler ve seçilen kromozomlar başlangıç popülasyonunu oluştururlar.

Tablo 4.1. Olası bir bağlantıya ait uç birleşimleri gösterimi

Sabit Panel	Adaptif Panel
F_1	A_1
F_2	A_2, A_3
F_3	-



Şekil 4.4. Olası bir bağlantıya ait bit gösterimi **a)** Popülasyondaki bir kromozomun yapısı **b)** Bağlantı şekli mümkün olmayan kromozomların elenmesi

Uygunluk fonksiyonu uygulanması: Arama algoritmasında her bir kromozom için hesaplanacak uygunluk değeri için ilk adım, kromozomun geçerliliğinin kontrol edilmesidir. Yani rasgele oluşturulan kromozomlardan yeniden düzenleşim için yapısı mümkün olmayanların popülasyondan elenmesinin sağlanmasıdır. Bunun için, her bir kromozomdaki F 'lere karşılık gelen ifadeler ikili olarak toplanır. Çıkan sonuçtaki bitler birbiri ile çarpılır. Çıkan değer "1" ise, "0" ile toplanır, "1" den farklıysa X_{max} ile toplanır. X_{max} , kromozomun bu işlemde alabileceği maksimum değerdir. Şekil 4.4-(a)'daki kromozom yapısını ele alıp işlemi uygulayınca Şekil 4.4-(b)'deki durum elde edilmektedir.

Tarama algoritmasının belirlenmesindeki ikinci adım için kısa devre akımları veya gölgelenme oranı değerleri kullanılır. Kısa devre akımlarının kullanıldığı durumda, $I_{(sc)}F$, sabit kısma ait kısa devre akımı ve $I_{(sc)}A$, adaptif kısma ait kısa devre akımı olarak alınırsa, (4.1-4.4) denklemleri yardımıyla Y değeri hesaplanır.

$$I_{(sc)i} = I_{(sc)F_i} + I_{(sc)A_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (4.1)$$

$$\max I = \max[I_{(sc)_1}, I_{(sc)_2}, \dots, I_{(sc)_n}] \quad (4.2)$$

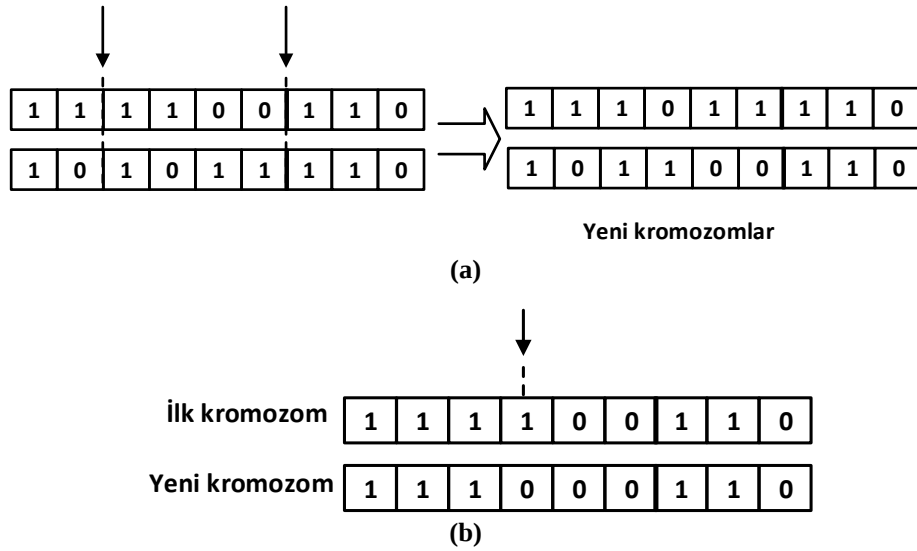
$$\min I = \min[I_{(sc)_1}, I_{(sc)_2}, \dots, I_{(sc)_n}] \quad (4.3)$$

$$Y = \max I - \min I \quad (4.4)$$

Son olarak uygunluk fonksiyonu şu şekilde olmaktadır.

$$fitness(x) = X * Y \quad (4.5)$$

Seçim, çaprazlama ve mutasyon: Seçim işlemi, popülasyon içerisinde bulunan tüm kromozomlar arasından rasgele yapılmaktadır. Çaprazlama için rasgele iki kromozom seçilir. Her bir kromozom içerisindeki genlerden rasgele belirleme yapılarak iki noktadan çaprazlama işlemi gerçekleştirilmektedir. Mutasyon işlemi ise, popülasyon içinden rasgele seçilen birine ait genlerden yine rasgele belirlenen birinin değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Şekil 4.5'te rasgele seçilen iki kromozom ile iki noktalı çaprazlama işlemi ve rasgele seçilen bir kromozomun rasgele seçilen bir bitindeki mutasyon işlemi gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Çaprazlama ve mutasyon işlemleri **a)** iki noktalı çaprazlama **b)** tek bit ile mutasyon

Yeni nesil oluşturma: Çaprazlama ve mutasyon sonucu elde edilen yeni kromozomlar popülasyona eklenir. Daha sonra uygunluk değeri en büyük üç tane kromozom popülasyon dışına atılır.

Populasyon yoğunluğunu değerlendirme: Genetik algoritma ile çalışan uygulamaların en önemli sorunlarından biri lokal optimum değere düşme ihtimalidir [46]. Bu yüzden bu tip yaklaşımlarda bu sorunun giderilmesi gerekmektedir. Bu sayede algoritmanın performansı iyileştirme sağlanmaktadır. Bu amaçla, elde edilen son popülasyon üzerinde

bilgi entropisi (information entropy-Shannon Entropy) [47] kullanılarak geliştirilen yöntem ile kromozom popülasyonu yoğunluğu değerlendirilmesi yapılmıştır.

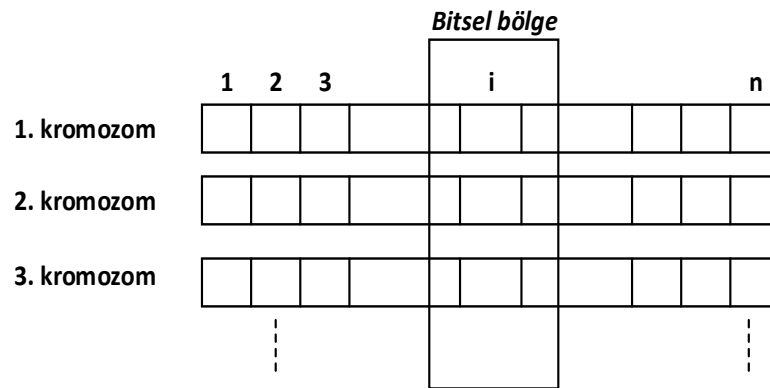
Bilgi entropisi, birbirinden düzensiz seyreden veriler üzerinde bir ölçüm yapmak için geliştirilen bir yöntemdir. Yani, herhangi bir kaynaktan gelen veriler $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ise, Bu n tane veri bağımsız olarak üretilmektedir. Her birinin üretim olasılığı p_i ise bu kaynağın entropisi şu şekilde tanımlanır;

$$H(s) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2(p_i) \quad (4.6)$$

Algoritmaya göre, her yeni popülasyon oluşumunda popülasyonun *bitsel bölge (locus)* yoğunluğu hesaplanır. Şekil 4.6'da popülasyondaki kromozomlara ait *bitsel bölge (locus)* gösterilmiştir. Buna göre, her bir bölgeye ait yoğunluğu bulmak için kullanılacak entropi denklemi Eşitlik 4.8'de görüldüğü gibi olacaktır. Burada, n_{ik} , k geninin i . bitsel bölgede görünme sayısıdır.

$$H(i) = - \sum_{i=1}^n p_{ik} \log_2(p_{ik}) \quad (4.7)$$

$$p_{ik} = \frac{n_{ik}}{\text{population_size}} \quad (4.8)$$



Şekil 4.6. Bir kromozoma ait bitsel gölge

Bölge yoğunluğu, bir eşik değeri kullanılarak değerlendirilir. Bu eşik değeri, uygulanacak popülasyona göre deneysel olarak belirlenebilir. Yoğunluğu bu değerden küçük olan bölgelerin sayısı belirlenir. Bu sayı, daha önce belirlenen bir kontrol sabiti ile kıyaslanır. Kontrol sabitinden küçük ise algoritmaya devam edilir. Büyük veya eşit ise, yoğunluk artırımı yapılır. Bölge yoğunluğu belirleme ve yoğunluk artırımına ait sözde kod yapısı aşağıda görüldüğü gibidir.

1. Popülasyondaki her bir bit bölgesi için bölge yoğunluğunu hesapla.
2. $sayı=0$ olarak ayarla. Her $H(i)$ değerini eşik değeri ile kıyasla. Eğer $H(i) \leq esik_deger$ ise bir sonraki i indeksine geç ve $sayı=sayı+1$ olarak ayarla.
3. eğer $sayı \geq n/a$ ise adım (4)'e değilse adım (6)'e git.
4. $[popülasyon_boyutu/a, popülasyon_boyutu-1]$ aralığından rasgele tam sayı üret.
5. Popülasyondan rasgele kromozomlar seç ve bölgeler arasında rasgele genleri değiştir.
6. Çalışmayı durdur.

Şekil 4.7. Entropi tabanlı genetik algorithmada bölge yoğunluğu artırımı sözde kodu

Değerlendirme: İstenilen maksimum iterasyona veya tekrarlanan bir çözüme ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilerek uygulamanın sonlandırılmasına karar verilir.

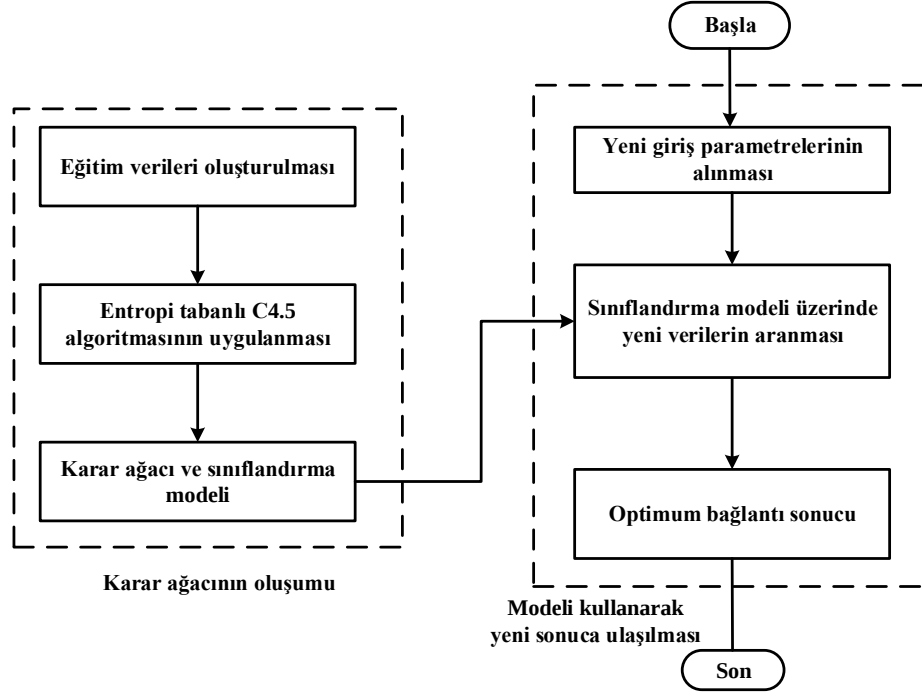
4.4. Entropi Tabanlı Karar Ağaçları ile Sınıflandırma Algoritması

Sınıflandırma, veriler arasındaki ortak birtakım özellikler kullanılarak yapılan bir veri düzenleme işidir [48]. Amaç, bir sistemden alınan eğitim verileri kullanarak bir sınıflandırma modeli oluşturmaktır. Oluşturulan model sayesinde eğitim amaçlı kullanılan verilerin dışında yeni bir verinin bu sınıflardan hangisine ait olacağı belirlenir. Sınıflandırma işlemi iki aşamalı olarak yapılır. İlk olarak, sınıflandırma işlemi için bir model hazırlanır. Bu model, verilere ait alan adları ve bir miktar eğitim verisi kullanılarak yapılır. Eğitim verilerine bir sınıflandırma algoritması uygulanır ve sınıflayıcı model elde edilir. İkinci olarak ise, yeni bir veri sınıflayıcı modele giriş olarak verilir ve sonuç vermesi beklenir.

Sınıflandırma işlemi uygulanan eğitim verilerinin gösterimi için en uygun yollardan biri ise karar ağaçlarıdır [49]. Karar ağaçları, sınıflandırma işlemi yapıldıktan sonra sınıflayıcı model içerisindeki kurallar için bir akış şeması oluşturma işlemidir. Bir karar ağacı; kök, dal ve yapraklardan oluşur.

Bir karar ağacı oluştururken dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri, dallanma işleminin hangi niteliğe göre belirlenecek olmasıdır. Yani, hangi niteliğin kök, hangi niteliğin ise ağaçta derinliğe neden olacağının belirlenmesidir. Bunun için, kullanılan algoritmalarından biri entropi tabanlı C4.5 algoritmasıdır [50]. Bu algoritma, dallanma niteliğinin belirlenmesi için daha önceki konuda tartışılan bilgi entropisini kullanır.

PV sistemlerde optimum bağlantı şeklini bulmak için, yeniden düzenleme sürecinde değişen gölgelenme şartlarına göre her defasında işlemler yapılmaktadır. Bu işlemlerin karmaşıklığına göre sistemin yanıt verme süresi değişmektedir. Önerilen yöntemde ise, farklı gölgelenme şartlarına göre elde edilen bağlantı düzenleri kullanılarak bir eğitim kümesi elde edilmektedir. Elde edilen bu eğitim kümesi entropi tabanlı sınıflandırma algoritması kullanılarak bir karar ağacı şeklinde yapılandırılır. Bu işlem, yeniden düzenleme işleminin ilk yapılandırılması sırasında sisteme bir kere tanıtılır ve her gölgelenme koşuluna göre sadece karar ağacı üzerinde tarama işlemi gerçekleştirilerek maksimum gücü veren bağlantı şekline ulaşılmaktadır. Bu sayede, bağlantı düzenini değiştiren gölgelenme şartlarında sadece sınıflandırma etiketleri izlenerek sonuca ulaşıldığından bu işlem kısa sürede tamamlanabilmektedir. Önerilen entropi tabanlı sınıflandırma algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 4.8’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.8. Sınıflandırma ve sonuç bulma

A. Eğitim verilerinin oluşturulması:

Önerilen algoritmada, ilk adım olarak eğitim verileri oluşturulur. Eğitim verileri oluşturulurken giriş parametresi olarak, adaptif panele ve sabit panele ait kısa devre akımları ve bu akım değerlerine bağlı olarak elde edilen bağlantı düzeni alınır. Elde edilmesi beklenen bağlantı düzeninde amacımız, her bir alt modülden alınan çıkış güç değerlerinin birbirine en yakın olması gerektiğinden tüm kısa devre akımlarının ortalamasını alırız (Eşitlik 4.9-4.12). Daha sonra bir sabit dizinin (F), bu ortalama değerine karşın kendisine bağlanan adaptif paneller (A) ile bağıntısını bulmak için eğitim verilerimize bir sabit dizi ucu (F_i) ve bu uca bağlanan adaptif bağlantı ucu (A_i) değerlerini alırız. Bağlantı düzeni yapısı ise, daha Şekil 4.4-(a)'da gösterildiği gibi oluşturulur. Üç alt modüle sahip bir PV sistem için bazı kısa devre akımları ve bu akım değerlerine bağlı olarak elde edilen bağlantı düzenine ait değerler Tablo 4.2'de verilmiştir. Bu değerlerden elde edilen eğitim verileri ise Tablo 4.3'de görüldüğü gibi olmaktadır.

$$sum(I_{sc}F) = F_1 + F_2 + + F_n \quad (4.9)$$

$$sum(I_{sc}A) = A_1 + A_2 + + A_n \quad (4.10)$$

$$sum(I_{sc}) = sum(I_{sc}F) + sum(I_{sc}A) \quad (4.11)$$

$$avg(I_{sc}) = sum(I_{sc}) / count(submoul) \quad (4.12)$$

Tablo 4.2. Kısa devre akımları ve bağlantı yapıları

A ₁	A ₂	A ₃	F ₁	F ₂	F ₃	Bağlantı yapısı
3.794	3.415	3.035	11.38	10.24	9.106	001 010 100
3.035	2.277	1.518	11.38	11.38	11.38	100 010 001
3.605	3.415	1.897	11.38	10.24	9.106	001 010 100
2.466	3.035	3.605	10.24	8.158	5.122	000 010 101
2.087	3.035	1.138	7.589	6.261	6.071	001 100 010
...	...	...	...	...	...	

Tablo 4.3. Eğitim verileri

A ₁	A ₂	A ₃	F	$avg(I_{sc})$	Bağlantı yapısı
3.794	3.415	3.035	11.38	13.66	001
3.035	2.277	1.518	11.38	13.66	100
3.605	3.415	1.897	11.38	11.2	001
2.466	3.035	3.605	10.24	10.88	000
2.087	3.035	1.138	7.589	8.73	001
...	...	...	...	...	...

B. Karar ağacı oluşturma:

Entropi tabanlı sınıflandırma algoritması olarak genel olarak kullanılan iki tip algoritma vardır. Bunlar ID3 ve C4.5 algoritmalarıdır [51]. Önerilen yöntemde, eğitim verileri sayısal veriler olduğundan karar ağacı çıkarımında C4.5 algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmaya ait adımlar Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

1. Sayısal olan kısa devre akım değerlerini etiketler formuna dönüştür.
2. Eğitim kümesindeki bağlantı yapısı (hedef nitelik) için entropi hesapla.
3. Her bir dallanma niteliği ($A_1, A_2, A_3, F, avg(I_{sc})$) için kazanç oranını hesapla.
4. En büyük kazanç oranına sahip niteliği kök düğüm yap. Bu niteliğe ait kayıt değerlerini yerleştir. Bu değerler ile yeni dallanmaları belirlemek için adım (3)'e dön.
5. Sınıflandırılacak nitelik kalmayana kadar bu adımları rekürsif olarak tekrarla.

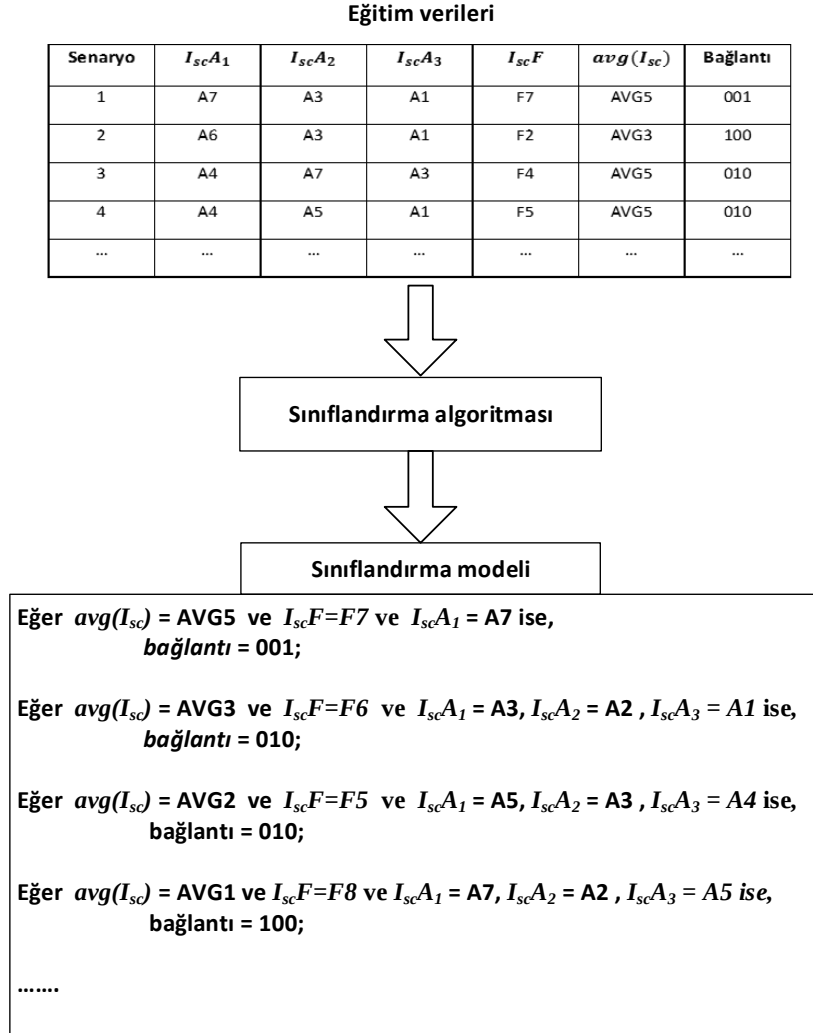
Şekil 4.9. Entropi tabanlı C4.5 algoritması sözde kodu

Tablo 4.4. Sayısal eğitim verilerinin etikete dönüştürülmesi

$I_{sc}A$ $min = 0.789, max = 3.794$		$I_{sc}F$ $min = 2.277, max = 11.38$		$avg(I_{sc})$ $min = 3.036, max = 15.174$	
Değer aralığı	Etiket	Değer aralığı	Etiket	Değer aralığı	Etiket
0.789-1.139	A1	2.277-3.415	F1	3.036-4.553	AVG1
1.139-1.519	A2	3.415-4.553	F2	4.553-6.070	AVG2
1.519-1.900	A3	4.553-5.691	F3	6.070-7.587	AVG3
1.900-2.279	A4	5.691-6.829	F4	7.587-9.104	AVG4
2.279-2.659	A5	6.829-7.967	F5	9.104-10.621	AVG5
2.659-3.039	A6	7.967-9.105	F6	10.621-12.138	AVG6
3.039-3.419	A7	9.105-10.243	F7	12.138-13.655	AVG7
3.419-3.794	A8	10.243-11.380	F8	13.655-15.174	AVG8

Sayısal değerli kısa devre akımları etiketlendirirken sınıflandıracak niteliğe göre farklı etiketlendirmeler uygulanır. Yani, adaptif panele ait kısa devre akımları, sabit dizi kısa devre akımı ve akım ortalaması için bu işlem ayrı ayrı yapılır. Önerilen yöntemde, ilk olarak her bir nitelik türünün eğitim verileri içindeki minimum ve maksimum değerleri belirlenmektedir. Daha sonra, bu aralık değeri uygun aralıklara bölünerek her bir aralık etiketlendirilmektedir. Önerilen yöntem için sekiz tane aralık belirlenmiştir. Kullanılan etiketlendirme işlemi Tablo 4.4'teki gibidir. Eğitim verilerinin tamamı nominal hale

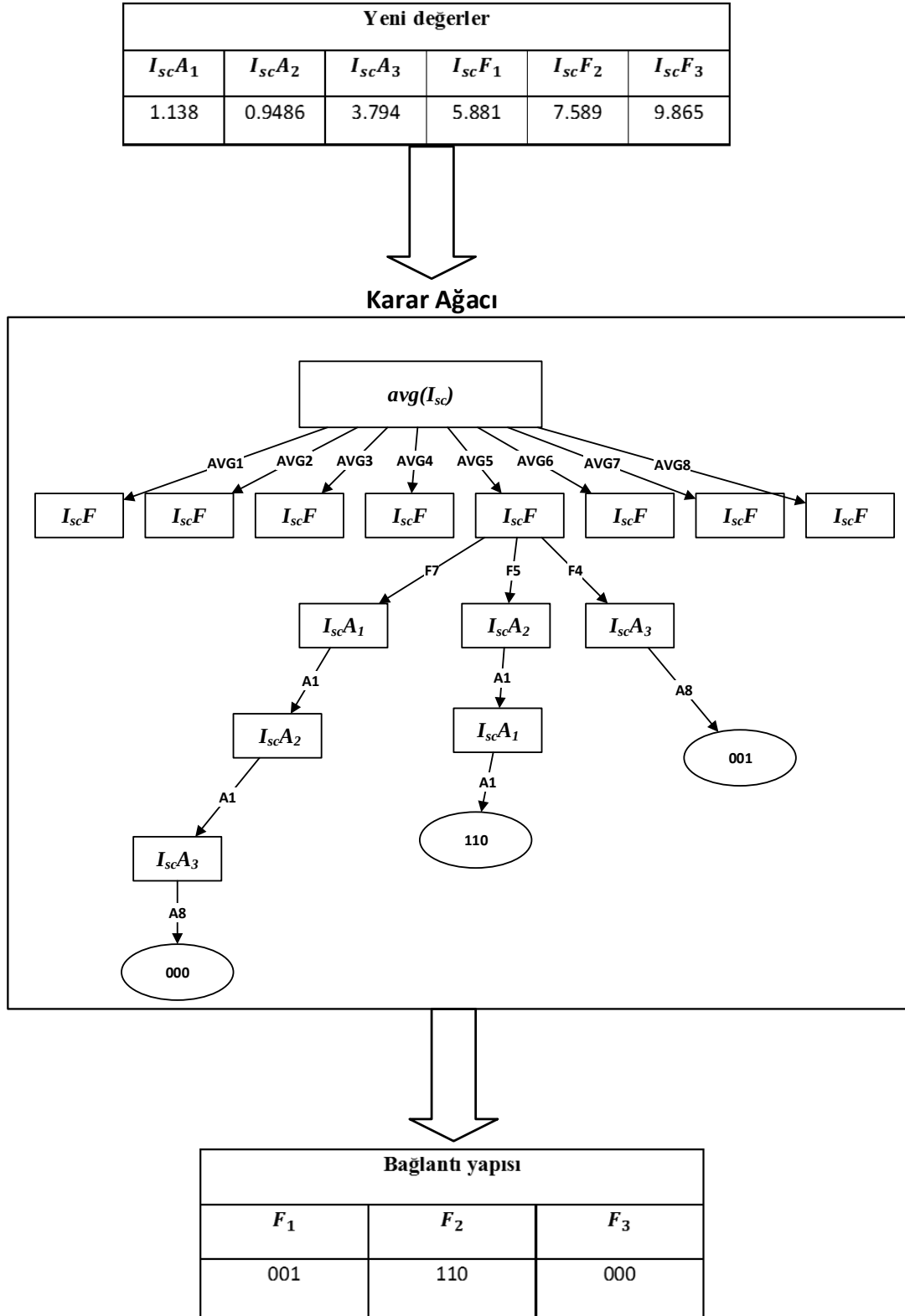
getirildikten sonra, sınıflandırma algoritması uygulanır ve karar ağacı elde edilir. Sınıflandırıcı modelin yapısı Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Sınıflandırma modeli

C. Yeni giriş parametreleri için karar ağacını tarama:

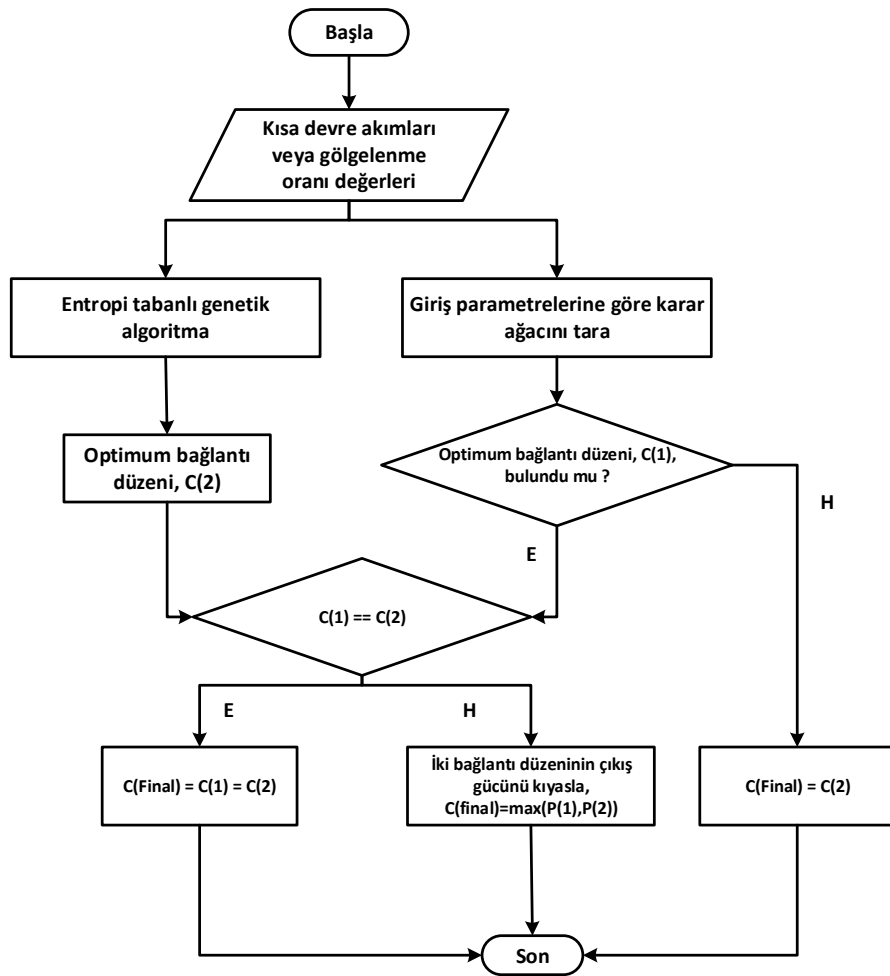
Elde edilen sınıflandırma modeli, bir karar ağacı haline getirilmektedir. Bu yapı sayesinde, sisteme yeni verilen giriş parametreleri ile ağacın dallanma nitelikleri üzerinden hedef nitelik olan bağlantı düzeni sonucuna kolayca ve hızlıca varılabilmektedir. Oluşturulan sınıflandırma modeline uygun karar ağacı ile algoritmaya yeni verilen bir bağlantı düzeninin bulunması Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Karar ağacı ve sonuca giden yolu izleme

4.5. Karar Verme Algoritması

Önerilen her iki yaklaşım da giriş parametresi olarak sabit ve adaptif panele ait kısa devre akımlarını veya gölgelenme oranı değerlerini alarak eş zamanlı olarak çalışmaktadır. Ancak, entropi tabanlı sınıflandırma yaklaşımı, eğitim verilerinin sistemin kurulumu sürecinde sınıflandırması yapıldığından çalışma esnasında sadece karar ağacı üzerinde tarama işlemi yapmaktadır. Bu nedenden dolayı, bu yaklaşımın cevap süresi daha kısa olmaktadır. Karar verme sürecine ait akış diyagramı Şekil 4.12’de görülmektedir.



Şekil 4.12. İki algoritmanın kıyaslanması ve karar verme

Karar ağacının taranması işlemi sonuca ulaştığında, bir sonuç değerinin elde edilip edilmediğine bakılmaktadır. Eğer, bir değer bulunmuş ise, $C(1)$, bu değer entropi tabanlı genetik algorithmadan elde edilen sonuç, $C(2)$, ile kıyaslanmaktadır. Her iki değer eşit ise, optimum bağlantı düzeni bu değerlerden birine eşittir. Eşit değil ise, çıkış gücü yüksek olan

bağlantı düzeni, optimum olandır. Eğer, karar ağacının taranması sonunda bir değere ulaşılmamışsa veya ulaşılan değerin bağlantı düzeni mümkün değilse bu durumda, entropi tabanlı genetik aloritmadan elde edilen bağlantı düzeni optimum olarak kabul edilir.

4.6. Kontrol Birimi

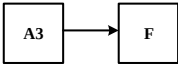
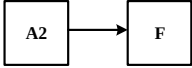
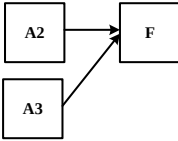
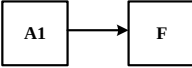
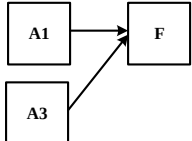
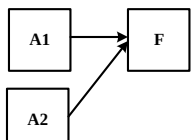
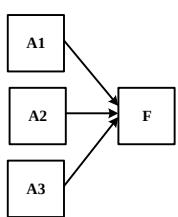
Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen bir diğer bölüm ise kontrol birimidir. Bu birim karar verme algoritması sonucu elde edilen optimal panel düzenini giriş parametresi olarak almaktadır. Karar verme algoritması birimi optimal panel düzenlerini ikilik düzende oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında oluşturulan kontrol birimi ise bu ikilik düzeni giriş parametresi olarak almakta ve bu ikilik ifadeleri reel değerlere dönüştürmektedir. Başka bir deyişle ikilik ifadede ki panel durumlarının adaptif karşılıklarını üretmektedir. Tablo 4.5'te bu ikilik ifadelerin karşılıkları detaylı bir şekilde verilmektedir. Tablo 4.5'ten de görülebileceği üzere her ikilik düzenin bir reel karşılığı bulunmaktadır. Örneğin sabit dizilerden herhangi bir satır için elde edilen ikilik ifade sırasıyla 0, 1, ve 1 ise bu ifadenin karşılığı olarak o satıra bağlanacak adaptif paneller sırasıyla A2 ve A3'dür. Gerçekleştirilen kontrol birimi ile optimal düzenler tam olarak elde edilmekte ve anahtarlama matrisine uygulanmak üzere gönderilmektedir. Kontrol birimi temel olarak yazılımsal olarak gerçekleştirilen son bölümdür ve bu bölümün çıkışı olarak optimal panel düzenleri elde edilmektedir.

4.7. Anahtarlama Matris Devresi

Anahtarlama matrisi devresi, paneller arasındaki elektriksel bağlantıyı kendisine gelen giriş parametrelerine göre düzenleyen son kısım olup, almış olduğu optimal panel yapısını adaptif ve sabit dizilere uygulamaktadır. Yeniden düzenleşim işleminin ana noktası olan bu birim içerisinde barındırdığı çok sayıda röle ile bağlantıları değiştirerek yeniden düzenleyebilmektedir. Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında verilen Bölüm 3.3 incelendiğinde sistemde kullanılan anahtarlama matrisinin çalışma mantığı daha net bir şekilde görülecektir.

Tablo 4.5. İkilik ifadelerin gerçek karşılıkları

Onluk Düzen	İkilik Düzen	Bağlantı Düzeni	Bağlantı Şekli
0	000	-	
1	001	A3	
2	010	A2	
3	011	A2-A3	
4	100	A1	
5	101	A1-A3	
6	110	A1-A2	
7	111	A1-A2-A3	

Anahtarlama matrisine elde edilen optimal düzenin uygulanması sonucu sistemden enerji yönünden önemli bir ölçüde verim sağlanacaktır. Tez alışması kapsamında tasarlanan ve önerilen yeniden düzenleşim yaklaşımının sağladığı avantajlar maddeler halinde aşağıda verildiği gibidir;

- Çalışma kapsamında önerilen entropi tabanlı karar ağacı ile sınıflandırma ve yine entropi tabanlı genetik algoritma ile PV sistemlerde meydana gelen tam veya kısmi gölgelenmelerin negatif etkileri azaltılmaya çalışılmıştır,
- Tez kapsamında gerçekleştirilen bu her iki algoritma kısa devre akımı ve gölgelenme dereceleri kullanılarak iki farklı giriş parametresi için test edilmiş ve enerji verimliliği yönünden önemli kazanımların sağlandığı görülmüştür,
- Her iki algoritmanın hızlı bir şekilde çalışması bu tür sistemlerde bir problem olarak ortaya çıkan zaman sorununu önemli ölçüde kaldırmaktadır,
- Önerilen yaklaşım ile literatürde gerçekleştirilen yeniden düzenleşim yöntemlerine farklı bir bakış açısı getirilmiş olup, önemli katkılar sağlanmıştır.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, kısmi gölgelemenin PV sistemler üzerindeki olumsuz etkisini en aza indirilmesi ve sistemin bu olumsuz duruma en kısa sürede cevap vermesi amaçlanmıştır. Bunun için önerilen yeni yaklaşıma ait iki farklı deney yapılmıştır. İlk deneyde, yöntemin performansını ölçmek için 3x4 boyutunda bir PV sistem kullanılmıştır ve sistemin farklı sayıdaki eğitim ve popülasyon verisi değerlerine göre davranışı incelenmiştir. İkinci deneyde ise, önerilen yöntemin farklı yöntemlerle kıyaslaması yapılmıştır. Algoritmalara giriş parametresi olarak verilen kısa devre akım değerleri ve gölgelenme dereceleri gerçek bir PV sistemden ölçülerek elde edilmiştir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneysel sonuçlar bölümü 3 başlık altında incelenecek olup, bunlar sırasıyla deney düzeneği, yeniden düzenleme sonuçları ve önerilen yöntemden elde edilen sonuçlar kısımları olarak verilecektir.

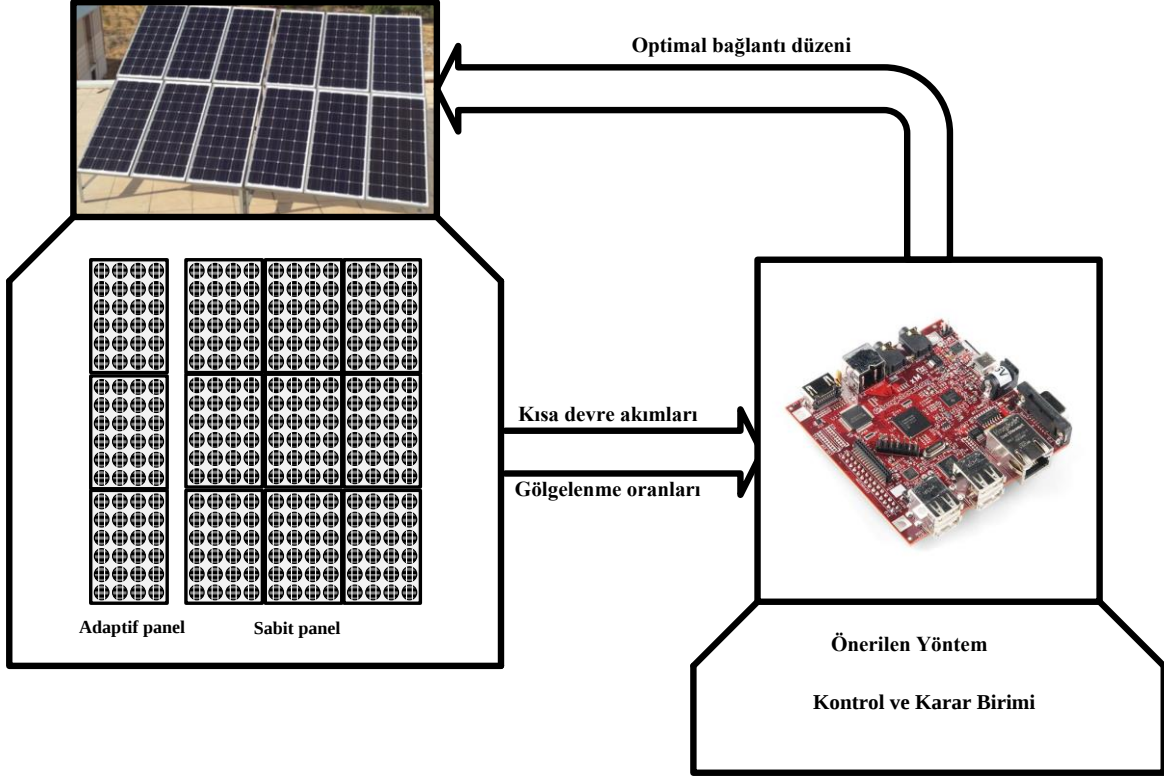
5.1. Deney Düzeneği

Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında 3x4 boyutuna sahip bir PV sistem deney düzeneği kurulmuştur. Kurulan bu düzenek kapsamında SP ve TCT yapıları olmak üzere iki farklı bağlantı şeması elde edilmiş olup, gerçekleştirilen deneyler ve bu deneylere bağlı olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deney düzeneği kurulumu sırasında kullanılan PV paneller Lorentz LC80-12M model olup, panellere ait karakteristik özellikler Tablo 5.1’de verildiği gibidir.

Tablo 5.1. PV panel karakteristik özellikleri

Nitelik	Değer
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
Hücre Teknolojisi	Mono kristal

Daha öncede belirtildiği gibi, önerilen yaklaşımları test edebilmek amacıyla gerçek bir deney düzeneği kurulmuştur. Tez çalışması kapsamında oluşturulan deney düzeneği Şekil 5.1’de verildiği gibidir.



Şekil 5.1. Hazırlanan PV sistem yapısı

Şekil 5.1’den de görülebileceği üzere deney düzeneğinde 3x1 boyutuna sahip adaptif dizi bölümü gerçekleştirilmiş ve bu dizinin yanına 3x3 boyutunda bir sabit paneller dizisi eklenmiştir. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen önerilen yaklaşım ve kontrol karar birimi ise deneyler sırasında temin edilen ARM tabanlı bir kart olan BeagleBoard XM modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşım iki farklı giriş parametresine göre çalışabilmekte olup, bu parametreler sırasıyla kısa devre akımları ve panellerin gölgeleme dereceleridir. Yine ARM tabanlı kart üzerinde gerçekleştirilen kontrol ve karar birimi sayesinde, önerilen yaklaşımlardan elde edilen güç değerleri karşılaştırılmakta ve hangisinin en iyi verimi sağladığına karar verilerek ortaya çıkarılan optimal düzen, PV dizisi sistemine uygulanmak üzere anahtarlama matrisine verilmektedir.

5.2. Yeniden Düzenleşim Sonuçları

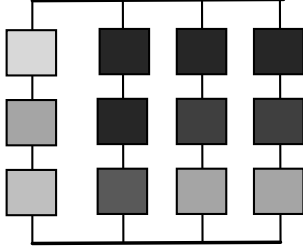
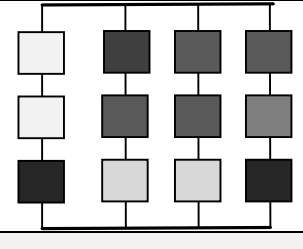
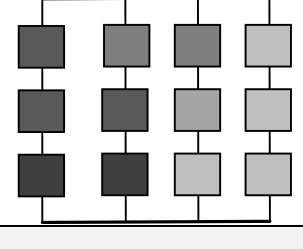
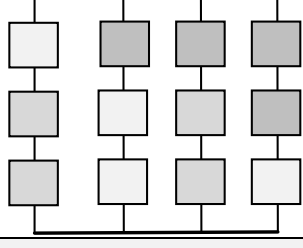
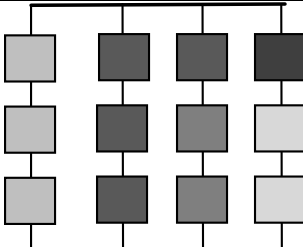
Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında olabildiğince farklı şartlarda veriler elde edilmiş ve çeşitli gölgelenme koşulları altında sistemin verdiği tepkiler ölçülmeye çalışılmıştır. 3x4 bağlantı düzenine sahip PV sistem için gerçekleştirilen bu deney düzeninde hem seri-paralel hem de TCT yapılı düzenleşimler sağlanmış ve işlemler bu iki farklı bağlantı konfigürasyonları için gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşımın doğruluğunu test etmek amacıyla bir çok farklı veri kullanılmış olup, bu verilerden iki farklı gölgelenme durumuna ait kısa devre akımları ve gölgelenme dereceleri sırasıyla Tablo 5.2 ve 5.3’de verildiği gibidir.

Tablo 5.2 ve 5.3’den de görülebileceği üzere kısa devre akımları ve gölgelenme dereceleri değer olarak birbirlerine paraleldir. Ayrıca Tablo 5.2’de bu değerlere ait gölgelenme durumlarını gösteren şematik çizimler de verilmiş olup, tez çalışması kapsamında önerilen yeniden düzenleşim yaklaşımı ile diziler üzerindeki gölgelenmelerin negatif etkileri ortadan kaldırılmıştır.

Tablo 5.2. Örnek verilere ait ışıma değerleri

No	Adaptif Panel Işıma (W/m ²)	Sabit Panel Işıma (W/m ²)		
1	900	200	200	200
	700	200	250	300
	800	400	500	700
2	950	300	350	350
	1000	500	450	300
	200	800	800	200
3	300	700	700	900
	300	700	800	900
	300	700	900	900
4	1000	800	800	800
	900	1000	800	800
	900	1000	900	900
5	800	300	300	300
	800	300	400	700
	800	300	400	700

Tablo 5.3. Örnek verilere ait gölgelenme dereceleri

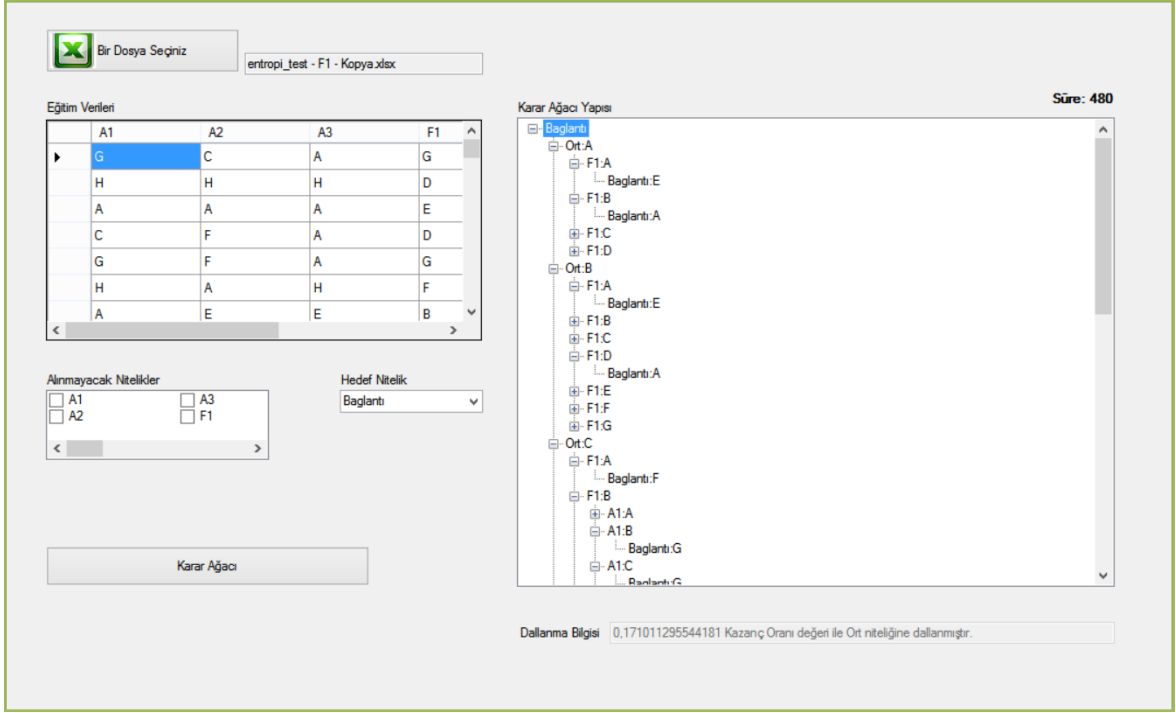
No	I _{sc} A (A)	I _{sc} F (A)	Gölgelenme Şekli
1	3.415	2.277	
	2.656	2.846	
	3.035	6.071	
2	3.605	3.794	
	3.794	4.743	
	0.7589	6.830	
3	1.138	8.727	
	1.138	9.106	
	1.138	9.486	
4	3.794	9.106	
	3.415	9.865	
	3.415	10.62	
5	3.035	3.415	
	3.035	5.132	
	3.035	5.312	

5.3. Önerilen Yöntem Sonuçları

Yeniden düzenleşim işlemi ile ilgili yapılan çalışmalarda optimum bağlantı düzenini bulmak için genellikle sistemden sıcaklık, gerilim, akım gibi değerler alınmaktadır ve bu değerler farklı matematiksel formüllerle işlenerek yeni çözümler üretilmeye çalışılmaktadır. Ancak, bu gibi matematiksel modeller, sistemin değişen gölgelenme şartlarına cevap verme süresini uzattığından ötürü özellikle büyük boyutlu PV dizilerde verimi etkilemektedir. Önerilen yaklaşımda ise, algoritmalara giriş parametresi olarak PV dizilere ait kısa devre akımları veya gölgelenme dereceleri verilmektedir. Tam veya kısmi gölgelenmiş durumda olan bir sistemde, kısa devre akımlarının ve gölgelenme derecelerinin ölçülmesi hem kolay hem de kısa sürede yapılabilecek bir işlemdir. Bu yönüyle, sistemin cevap verme süresini oldukça kısaltmaktadır ve performansı olumsuz yönde etkilememektedir.

Gerçekleştirilen tez çalışması kapsamında, entropi tabanlı genetik algoritma ve entropi tabanlı karar ağaçları kullanılarak yapılan sınıflandırma işleminde, gerçek kısa devre akım değerleri ve bu değerlere karşılık gelen bağlantı düzenleri kullanılarak başlangıç popülasyonu ve eğitim verileri oluşturulmuştur. Entropi tabanlı genetik algoritmada başlangıç popülasyonundaki kromozom sayısı 20 ila 500 arasında farklı değerlerde test edilmiştir. Bu algoritmadaki uygulanan değişkenlerden çaprazlama işlemi için 3 bit kullanılmıştır ve mutasyon oranı 0.01 belirlenmiştir. Sınıflandırma işlemi için ise, 200 ila 500 arasında değişen sayılarda eğitim verisi kullanılmıştır. Mevcut veriler sayısal değerler olduğundan karar ağacı çıkarımında C4.5 algoritması kullanılmıştır.

Önerilen yöntemdeki sınıflandırma işleminde oluşturulan sınıflandırma modeli, her sistem için bir kere yapılan bir işlemdir. Sahip olduğu panel yapısına göre farklı ışınlam değerlerinde aldığı bağlantı yapıları göz önüne alınarak hazırlanan eğitim kümesi, sistemin ilk kurulumunda sınıflandırma işlemine tabi tutulmaktadır. Daha sonra sisteme yeni gelen kısa devre akım değerlerine göre bu model kullanılarak olası bağlantı düzeni tahmin edilmektedir. Önerilen sınıflandırma algoritması sürecinde sınıflandırma modelinin bulunması için geliştirilen bir yazılıma ait ekran görüntüsü Şekil 5.2’de verilmiştir. Belirlenen bir eğitim kümesi tez kapsamında gerçekleştirilen yazılıma tanımlandıktan sonra, veriler içerisindeki hedef nitelik ve varsa sınıflandırmaya dâhil edilmeyecek veri sınıfları belirlenir. Daha sonra, oluşturulan karar ağacı sınıflandırma modeli belirlenir.



Şekil 5.2. Sınıflandırma modeli belirlemede kullanılan yazılıma ait ekran görüntüsü

Bu bakış açısıyla mevcut sistem için farklı eğitim kümelerine karşılık gelen sınıflandırma modeli oluşturma süreleri Tablo 5.4’de görüldüğü gibidir. Kullanılan sistemdeki panel sayısı düşüktür ve sınıflandırma süreleri de bu boyutla orantılıdır. Panel sayısı arttıkça sınıflandırma süreci artacaktır. Ancak bu işlemin sadece sistem kurulumunda yapıldığı göz önüne alındığında bu sürenin sistemin çalışması esnasında bir anlamı olmamaktadır. Gerçekleştirilen sınıflandırma işleminin aynısı gölgelenme dereceleri içinde yapılmıştır. Bu değerler içinde ortaya çıkan sınıflandırma süreleri yine Tablo 5.4’de verildiği gibidir.

Tablo 5.4. Eğitim veri sayısı ve sınıflandırma süresi

Eğitim verisi sayısı	Kısa devre akımları için sınıflandırma süresi (ms)	Gölgelenme derecesi için sınıflandırma süresi (ms)
200	480	440
250	495	478
400	780	795
1000	1450	1375

Tez çalışması süresince yürütülen deneysel işlemler birçok farklı gölgelenme koşulu, kısa devre akımı ve gölgelenme dereceleri için gerçekleştirilmiştir. Bölüm başında da belirtildiği üzere örnek oluşturma adına bu verilerden sadece iki tanesi deneysel sonuçlar kapsamında verilmiştir. Bu veriler Tablo 5.2 ve 5.3’de verilen değerlere sahip olup, bu değerlerin eğitim verisi, başlangıç popülasyonu kromozom sayısı ve bu değerlere karşılık gelen bağlantı düzeni, işlem süresi ve doğru sonuç alma oranları Tablo 5.5 ve 5.6’da verildiği gibidir. Verilen iki farklı veri için oluşturulan bu iki tablo incelendiğinde, düşük veri sayılarında dahi önerilen yaklaşımın doğru sonuca hızlı bir şekilde ulaşabildiği rahatlıkla görülecektir. Bunun yanında, işlem süreleri de algoritmaların daha büyük boyutlardaki bir PV sistemde çalışması halinde bile değişen şartlara kısa sürede cevap verebileceğini ortaya koymaktadır.

Tablo 5.5. Birinci örnek veriye ait sonuçlar

Sınıflandırma algoritmasında kullanılan eğitim verileri sayısı	Başlangıç popülasyonunda kullanılan kromozom sayısı	Bağlantı			İşlem süresi (ms)	Doğru sonuç alma oranı (%)
		F ₁	F ₂	F ₃		
200	20	011	100	000	813	15
250	50	011	100	000	1.700	28
300	100	011	100	000	2.850	58
400	300	011	100	000	5.980	83
500	500	011	100	000	8.400	100

Tablo 5.6. İkinci örnek veriye ait sonuçlar

Sınıflandırma algoritmasında kullanılan eğitim verileri sayısı	Başlangıç popülasyonunda kullanılan kromozom sayısı	Bağlantı			İşlem süresi (ms)	Doğru sonuç alma oranı (%)
		F ₁	F ₂	F ₃		
200	20	010	100	001	958	10
250	50	010	100	001	1.950	22
300	100	010	100	001	3.450	45
400	300	010	100	001	6.100	75
500	500	010	100	001	8.850	100

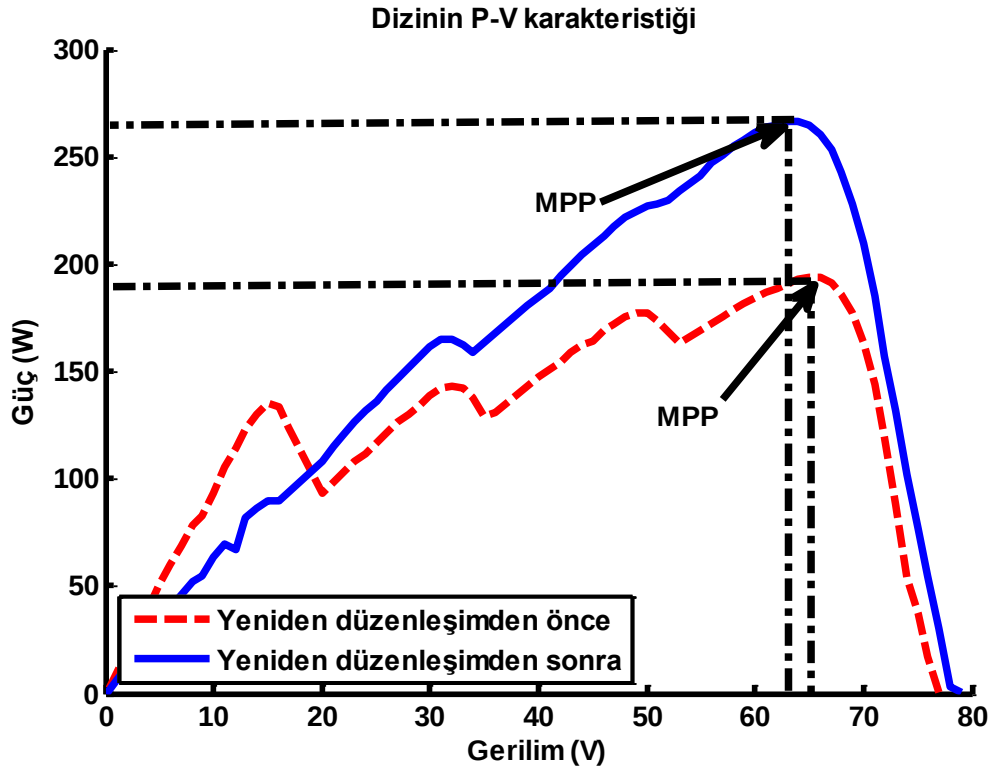
Tablo 5.5 ve 5.6'dan da görülebileceği üzere önerilen yaklaşım tarafından bulunan bağlantı şemalarının ortaya çıkarılması süresi oldukça kısadır. Ayrıca yine tablodan anlaşılabilceği üzere kullanılan veri sayısına göre doğru sonuç alma oranı yüzdesi oldukça yüksek bir durumdadır. Tablo 5.5 ve 5.6'da önerilen yaklaşımdan elde edilen ikilik düzendeki optimal bağlantı konfigürasyonlarının reel değer karşılıkları birinci ve ikinci test verisi için sırasıyla Şekil 5.3 (a) ve (b)'de verildiği gibidir.

Adaptif Panel	Sabit Panel	Adaptif Panel	Sabit Panel
A2, A3	F1	A2	F1
A1	F2	A1	F2
-	F3	A3	F3

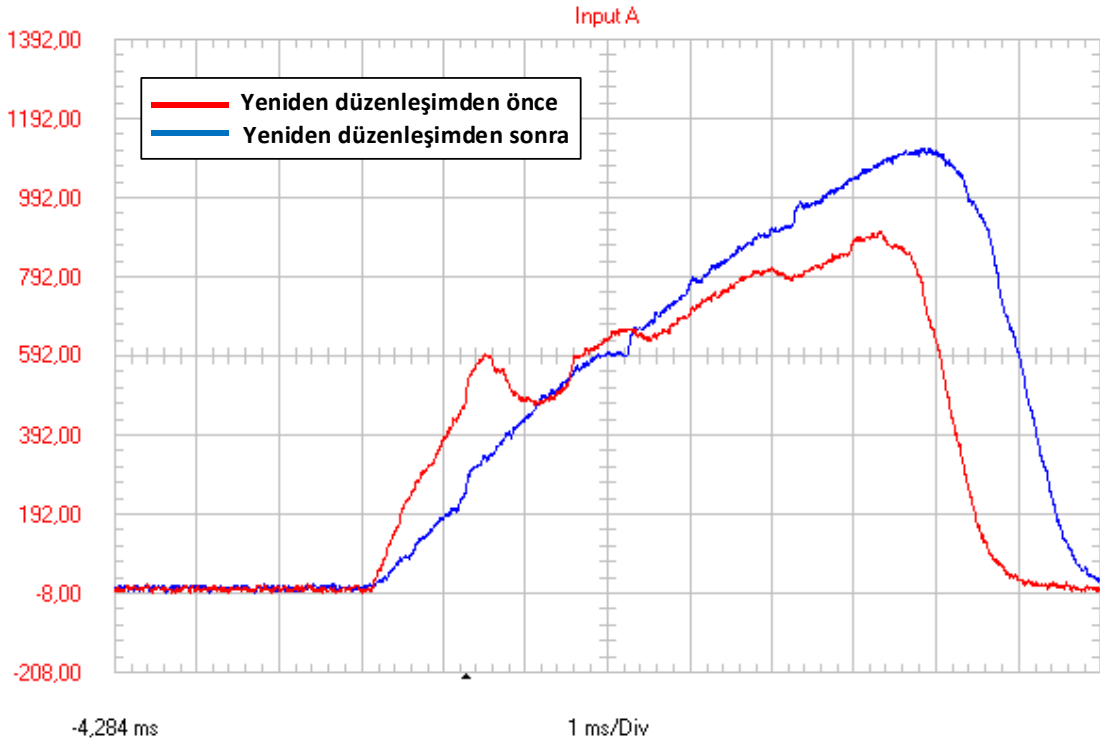
(a) (b)

Şekil 5.3. Örnek veriler için bağlantı şemaları (a) Tablo 5.5 değerlerine ait bağlantı (b) Tablo 5.6 değerlerine ait bağlantı şeması

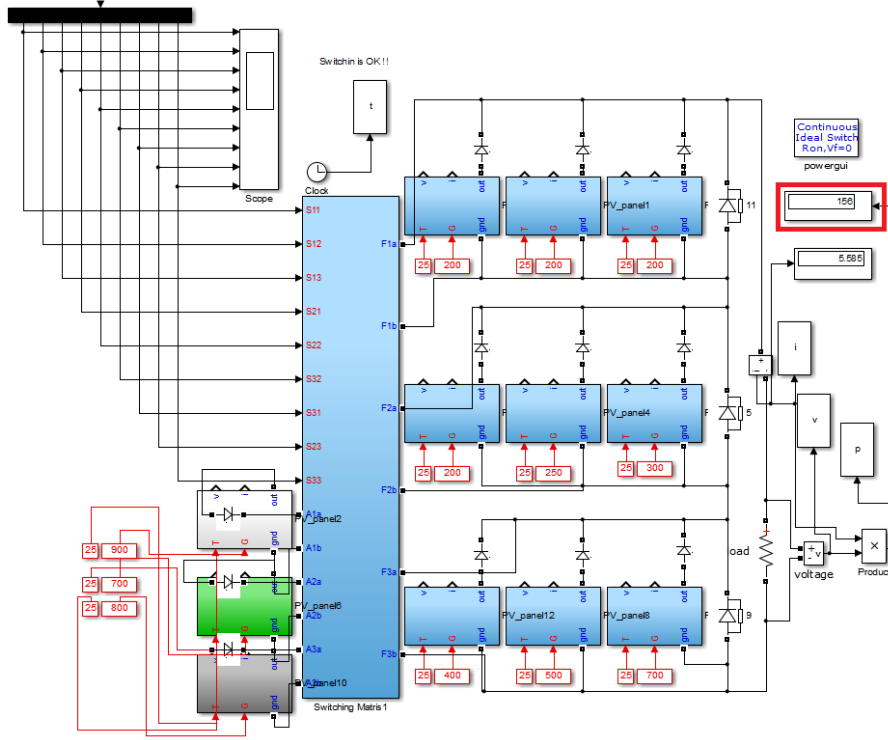
Birinci ve ikinci test verilerine ait P-V grafikleri ve osiloskop sonuçları elde edilmiştir. Bununla birlikte, elde edilen bu sonuçların TCT bağlantı düzenine sahip bir yeniden düzenleşim işlemi dahilinde gösterdiği sayısal sonuçlar bir simülasyon ortamı kullanılarak gösterilmiştir [52]. Bu sonuçlardan, Şekil 5.4 ila Şekil 5.7 arasındaki sonuçlar birinci test verilerine, Şekil 5.8 ila Şekil 5.11 arasındaki sonuçlar ise ikinci test verilerine aittir.



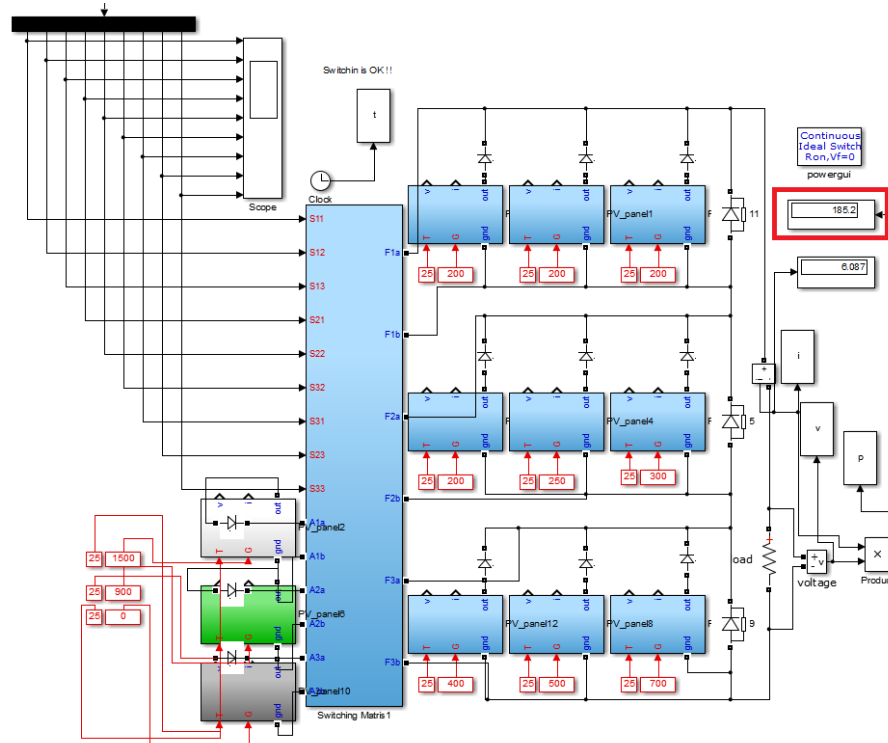
Şekil 5.4. Birinci test verisi için yeniden düzenleştirim işlemi öncesi ve sonrası



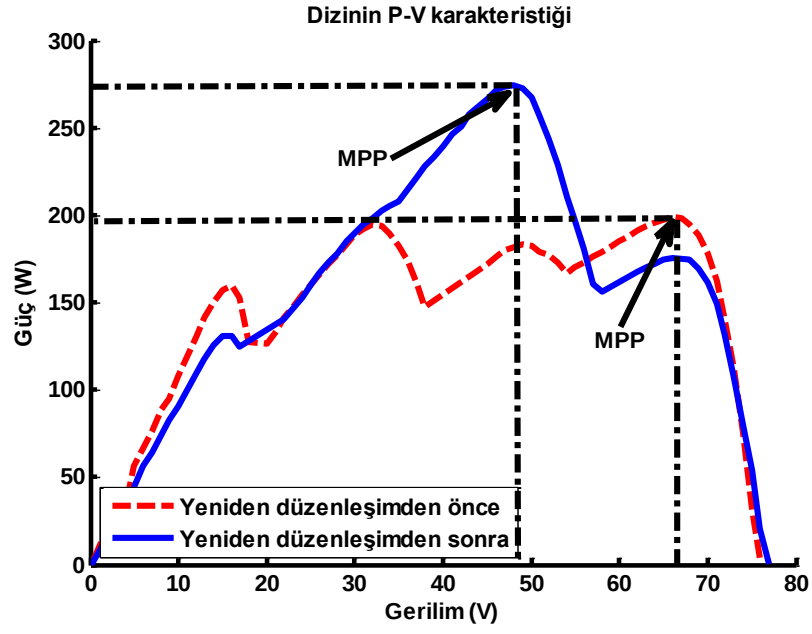
Şekil 5.5. Birinci test verisi için yeniden düzenleştirim işlemi öncesi ve sonrası osiloskop verileri



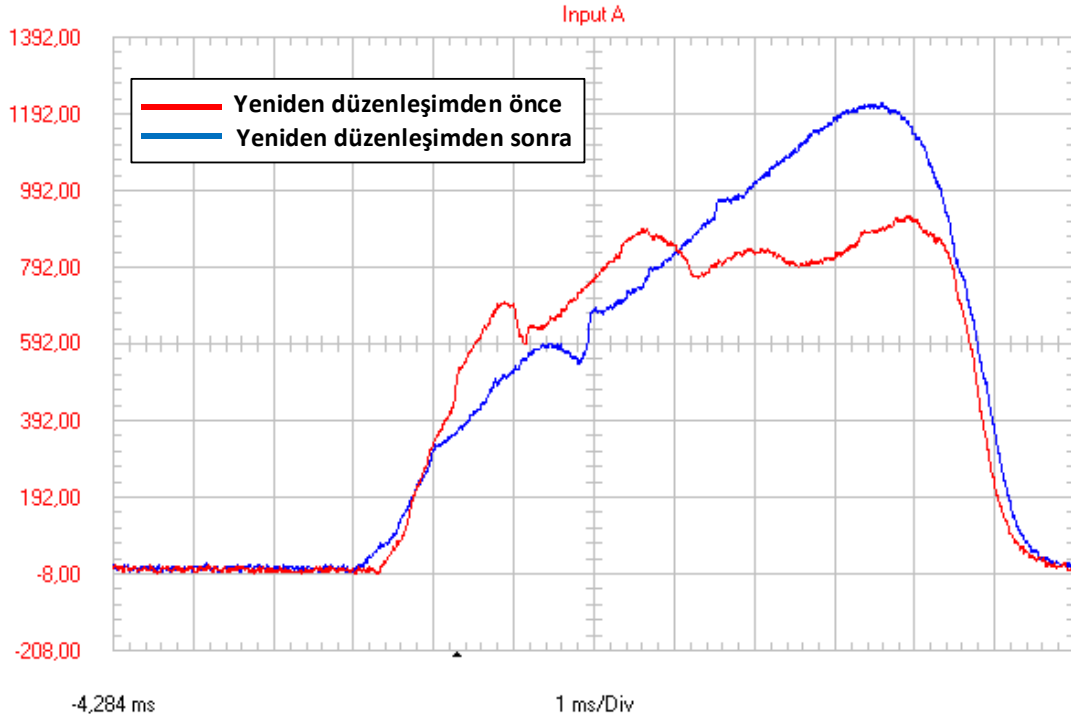
Şekil 5.6. Birinci test verisi TCT bağlantı için yeniden düzenleşim işlemi öncesi verileri



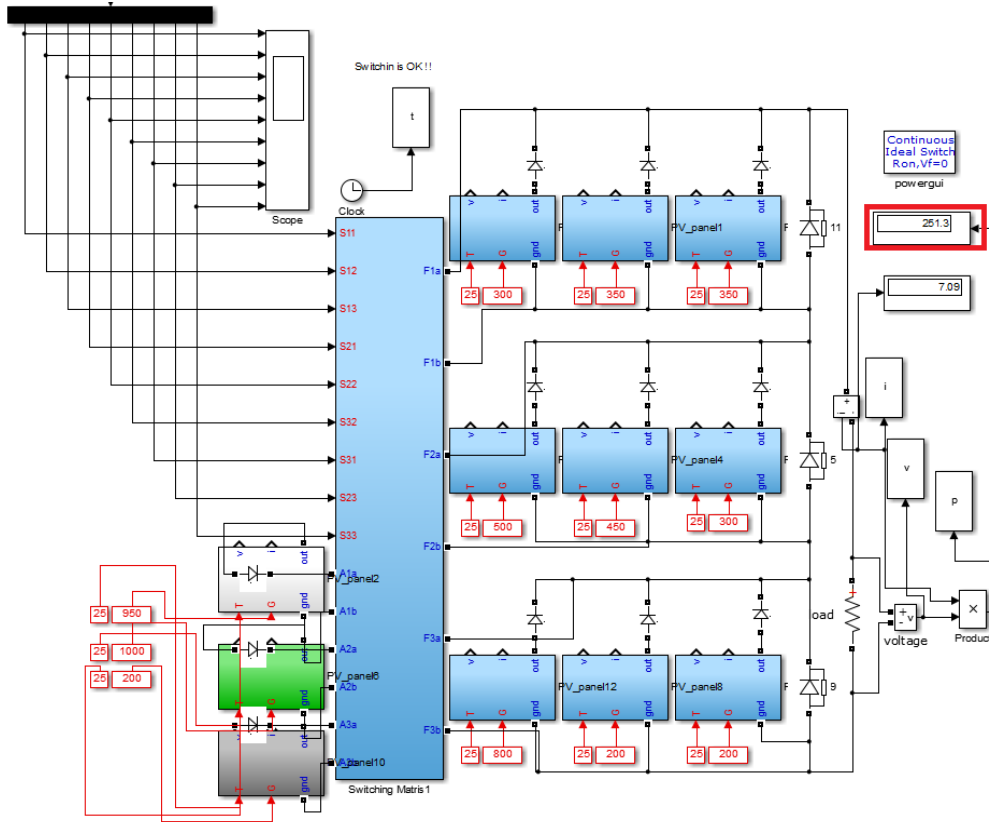
Şekil 5.7. Birinci test verisi TCT bağlantı için yeniden düzenleşim işlemi sonrası verileri



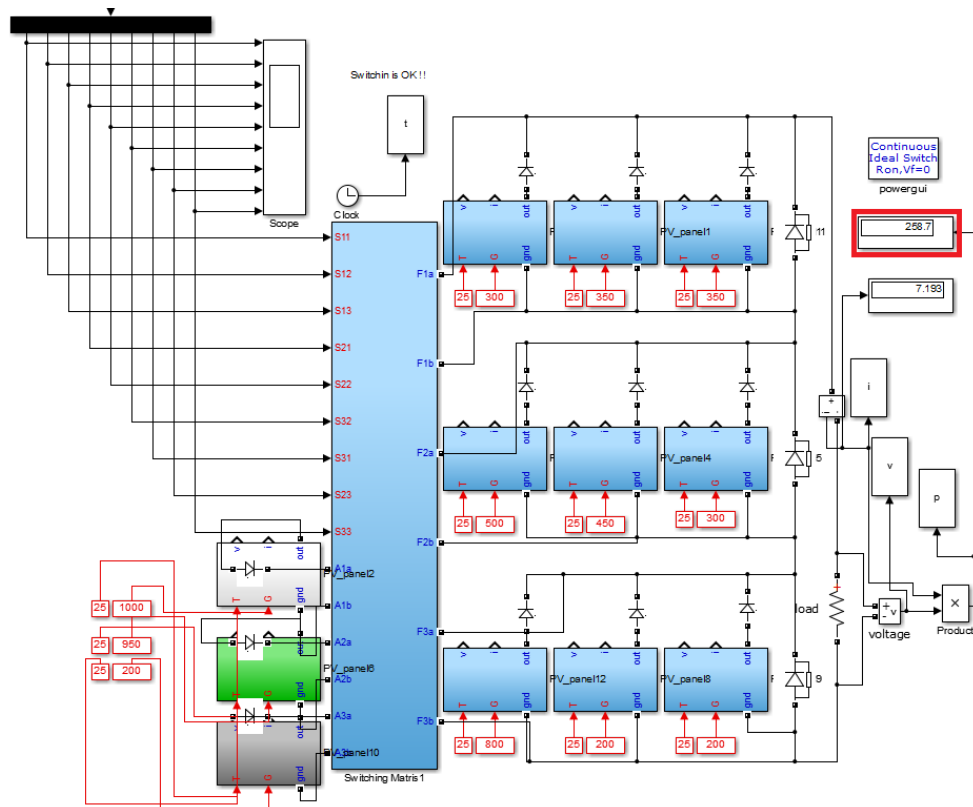
Şekil 5.8. İkinci test verisi için yeniden düzenleştirim işlemi öncesi ve sonrası



Şekil 5.9. İkinci test verisi için yeniden düzenleştirim işlemi öncesi ve sonrası osiloskop verileri



Şekil 5.10. İkinci test verisi TCT bağlantı için yeniden düzenleşim işlemi öncesi verileri



Şekil 5.11. İkinci test verisi TCT bağlantı için yeniden düzenleşim işlemi sonraki verileri

Birinci eğitim verisi için SP ve TCT bağlantı düzenleri sonucunda elde edilen grafikler ve şemalar incelendiğinde sistemden önemli ölçüde kazanım sağlandığı rahatlıkla görülebilecektir. Seri-paralel bağlantı düzeni için güç gerilim eğrisinde elde edilen verim bir yeniden düzenleştirmiş işleminden önceki duruma göre yaklaşık %35 oranında artış göstermiştir. Bu artış miktarı TCT bağlantı yapısına sahip sistem için yaklaşık %20 civarında ölçülmüştür. Deney düzeneği üzerinde yapılan ölçümler ile bu sonuçlar doğrulanmış olup, önerilen yaklaşımın enerji yönünden olan verimliliği net bir şekilde ortaya konmuştur. İkinci örnek test verisi için elde edilen sonuçlar ise Şekil 5.8’de verilmiş olup, yine bu veriye ait deney düzeneğinden elde edilmiş osiloskop görüntüsü Şekil 5.9’de incelenmiştir. Ayrıca TCT bağlantı konfigürasyonu için yeniden düzenleştirmiş işleminden önceki ve sonraki durumları gösteren diyagramlar sırasıyla Şekil 5.10 ve 5.11’de verildiği gibidir.

İkinci test verisi için ortaya çıkan sonuçlar incelendiğinde, bu sonuçların birinci test verisinden elde edilenler ile benzerlik gösterdiği görülebilmektedir. Bölüm başında da belirtildiği üzere gerçekleştirilen deneysel çalışmalar sırasında çok farklı ve fazla sayıda veriler ile işlemler gerçekleştirilmiş olup, önerilen yaklaşımın doğruluğu bu verilerle test edilmiştir. Neredeyse gerçekleştirilen tüm farklı gölge durumları ve değerleri için enerji yönünden önemli avantajlar sağlanmış olup, yapılan sınıflandırma işleminin ise doğruluğu her yeni veriden sonra biraz daha arttırılmıştır. Ayrıca gerçekleştirilen sistemin zaman yönünden ortaya koymuş olduğu sonuçlar, literatürde yapılan çalışmalar ile kıyaslandığından farkını ortaya koymaktadır. Şekil 5.10’da yeniden düzenleştirmiş işlemi öncesi durumun gösterildiği ikinci veri için, yeniden düzenleştirmiş işleminden sonraki durumu gösteren bir blok diyagram Şekil 5.11’de verildiği gibidir.

Tez çalışmasında önerilen yöntemin üstünlüğünü ortaya koyabilmek amacıyla farklı iki çalışmada [16, 36] kullanılan yeniden düzenleştirmiş yöntemleri çalışma kapsamında önerilen yaklaşım ile kıyaslanmıştır. Bu çalışmaların ilkinde [16], olası bağlantı düzenlerinin tamamı permütasyon yoluyla elde edilmiştir. Daha sonra, bunlar arasından bağlantısı yeniden düzenleştirmiş yaklaşımına uygun olmayanlar elenmektedir. Kalanlar arasından kabarcık sıralaması yöntemiyle en ideali bulunmaktadır. İkinci yöntemde [36] ise, model tabanlı bir yaklaşım sunulmaktadır. Bu yolla elde edilen foto-generated akımlar arasından sıralama ve ekleme işlemleri yapılarak sistem iyileştirilmeye çalışılmaktadır.

Bu üç yöntemin kıyaslanması işleminde, üç farklı yeniden düzenleştirmiş çalışmasının kısmi gölgeleme şartlarında aynı boyuttaki bir sistem üzerinde cevap verme süreleri

değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.7’de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, önerilen yöntem diğer yöntemlere göre çok daha hızlı işlem yapabilme kapasitesine sahiptir.

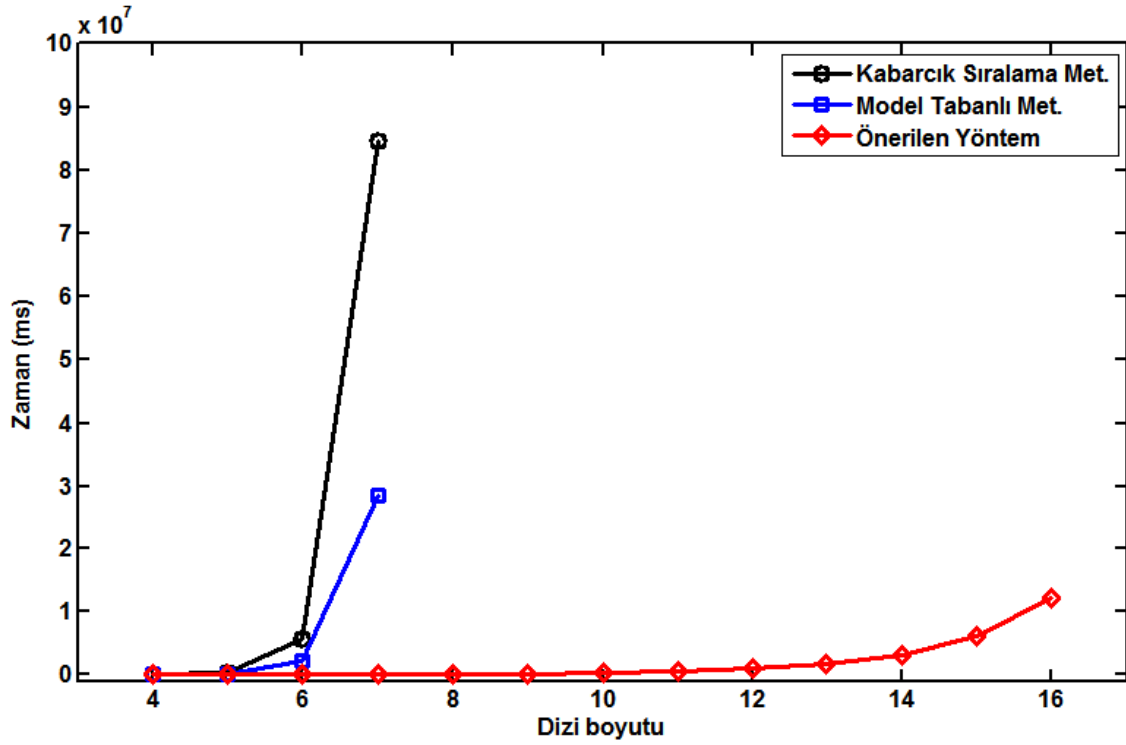
Tablo 5.7. Üç farklı yaklaşıma ait değerler

Yeniden düzenleme metodu	İşlem süresi (ms)
Kabarcık sıralama [16]	21.200
Model tabanlı [36]	8.000
Önerilen yaklaşım	3.139

Daha sonra, her üç yöntemin karmaşıklığından yola çıkılarak farklı boyutlardaki diziler üzerindeki çalışma süreleri incelenmiştir. Bunun için, dizi sayıları 4 ile 10 arasında değiştirilerek hesaplamalar yapılmıştır. Yeniden düzenleme işlemi ile optimum bağlantı düzenini bulmayı amaçlayan, iki farklı yöntem ve önerilen yaklaşım kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırmaya ait elde edilen veriler, Tablo 5.8’de gösterildiği gibidir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.12’de grafiksel olarak gösterilmektedir.

Tablo 5.8. Daha fazla sayıdaki PV diziye göre kıyaslama sonuçları

Dizi boyutu	Olası bağlantı sayısı $P\left(\frac{2^n}{n}\right)$	Kabarcık sıralama [16]	Model tabanlı yaklaşım [36]	Önerilen yaklaşım
4x4	43.680	24 sn.	11 sn.	5 sn.
5x5	24.165.120	375 sn.	148 sn.	15 sn.
6x6	5.3982e+010	93 dk.	36 dk.	0,8 dk.
7x7	4.7641e+014	23 saat	8 saat	0,2 saat
8x8	1.6518e+019	15 gün	7 gün	4,4 dk.
9x9	2.2528e+024	8 ay	4 ay	7,5 dk.
10x10	1.2130e+030	11 yıl	4 yıl	12 dk.



Şekil 5.12. Daha fazla PV dizi için süre sonuçları

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, önerilen yöntemin bir PV sistem üzerindeki kısmi gölgeleme şartlarında olumlu etkisi görülmektedir. İlk deneye göre alınan sonuçlar incelendiğinde önerilen yöntemin değişen şartlara göre gözle görülür bir şekilde hızlı çalıştığını görülmektedir. Bununla beraber, eğitim verilerinin ve popülasyon sayısındaki artış, yöntemin etkisini ve verimliliğini de artırmaktadır. Ayrıca, farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar ile yapılan kıyaslamaya göre önerilen yaklaşımı sistemi daha yüksek bir performans ile çalışmaktadır. İkinci deneyde ise, bir PV sistemdeki dizi sayısı artırıldığında önerilen yöntemin avantajlarını daha net görülmektedir. Özellikle, dört ve daha fazla PV diziye sahip sistemlerde, olası bağlantı şekillerinin sayısı çok yüksek sayılara ulaşmaktadır. Bu durumda, bu bağlantı şekillerinden en iyi olanının bulunması için kullanılan yöntem, sistemin performansı açısından belirleyici etken olmaktadır. Bu sayede, gerçek zamanlı sistemlerde önerilen yöntem çok daha verimli olmaktadır.

6. SONUÇLAR

Günümüzde dünyada nüfusun giderek artıyor olması ve sanayileşme hızı fosil yakıt kaynaklı çalışan makine ve araçların kullanımını giderek artırmaktadır. Bu tür enerji kaynakları ise, dünya üzerinde kısıtlı miktarda bulunmakta ve rezervlerinin gün geçtikçe tükenme safhasına geldiği tahmin edilmektedir. Bu yüzden, enerji sorununun çözümü adına yenilenebilir ve doğal enerji kaynaklarından yararlanma yoluna gidilmiştir. Bu enerji kaynaklarının en önemlisi güneş enerji sistemleri, yani PV sistemlerdir. Diğer enerji kaynaklarına göre daha çok verim elde edebilme potansiyeli ve maliyet hesaplarından dolayı PV sistemlerin gelişimi ve kullanımı son yıllarda artan bir grafik çizmektedir.

PV sistemler, üzerine düşen güneş ışınlarından faydalanan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Ancak, bu dönüştürme sürecinde karşılaşılan önemli bir sorun, gölgelenmedir. PV diziler üzerinde çeşitli sebeplerden dolayı, gölgelenmeler meydana gelmektedir. Bu durum, sistemin üreteceği enerji miktarında kayıplara neden olmaktadır. Bu enerji kaybını minimum düzeye indirmek ve sistemden maksimum gücü elde etmek için PV diziler üzerinde birtakım yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bir tanesi MPPT'dir. Bu yöntemle, sistem hesaplanan bir maksimum güç noktasını takip ederek verimini yüksek tutmaya çalışmaktadır. MPPT yöntemi literatürde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Geliştirilen yöntemlerden bir diğeri ise yeniden düzenleşim yöntemidir. Bu yöntem ise, sistemi iki farklı panel ile yapılandırmakta ve bir anahtarlama matrisi kullanmaktadır. Bu araçları kullanarak, panellerin elektriksel bağlantılarını değiştirmektedir ve sisteme dinamik bir yapı kazandırmaktadır.

Bu tez çalışmasında, PV sistemler üzerinde gölgelenme durumunun neden olduğu enerji kayıplarının minimuma indirilmesi için yeni bir yeniden düzenleşim yaklaşımı önerilmiştir. Yeniden düzenleşim yönteminde performansı etkileyen en önemli kısım optimum bağlantı şekline ulaşılması işlemidir. Bu işlemde en hızlı ve doğru sonucu almak için entropi tabanlı algoritmalar geliştirilmiştir. Önerilen algoritmalarından ilki, entropi tabanlı bir genetik algoritmadır. Geleneksel bir genetik algoritma, daha iyi verim alabilmek için entropi kavramı kullanarak geliştirilmiştir. Bu sayede, daha az iterasyonda daha sağlıklı sonuçlar alabilecek şekilde tasarlanmıştır. İkinci algoritma ise, entropi tabanlı karar ağaçları kullanılarak bir sınıflandırma yöntemidir. Bir eğitim kümesi kullanarak elde edilen sınıflandırma modeli

sayesinde sistemin farklı gölgelenme koşullarında ürettiği değerlere karşılık gelen bağlantı düzenine karar ağacı üzerinde izlenen bir yol ile kısa sürede ulaşılmaktadır.

Geliştirilen algoritmalar, giriş parametresi olarak iki tip veri almaktadır. Bunlar, kısa devre akımları ve gölgelenme oranı değerleridir. Kısa devre akımları, sistemin üzerine düşen ışıma değerlerinin doğrudan etkilediği ve aynı oranda değişen değerlerdir. Yani, bir PV panel aldığı ışık miktarına göre kısa devre akımı üretmektedir. Bu yüzden, hesaplamalarda sağlıklı sonuçlar üretebilmektedir. Bununla beraber bu değerler sistemden kolay ölçülebilen değerler olduğundan algoritmaların çalışmasında olumsuz bir etkiye neden olmamaktadır. İkinci tip parametre, gölgelenme oranı değerleridir. PV sistemdeki panelleri görece şekilde yerleştirilen bir kamera ile elde edilmektedir. Kamera tarafından alınan görüntüler, görüntü işleme yöntemi kullanılarak işlenmektedir ve bu sayede hangi panel üzerinde ne derece bir gölgelenme olduğu belirlenmektedir. Elde edilen bu bilgilerle gölgelenme oranı değerleri hesaplanmakta ve algoritmalara giriş parametresi olarak sunulmaktadır. Sabit panel, adaptif panel ve anahtarlama matrisinden oluşacak şekilde tasarlanan yeniden düzenleme yaklaşımı aldığı her iki tip parametreye göre çalışabilmektedir. Entropi tabanlı genetik algoritma sürecinde gelen giriş parametrelerine göre rastgele değerlerden oluşan bir başlangıç popülasyonu oluşturulmaktadır. Bu başlangıç popülasyonundaki kromozomların uygunluk fonksiyonları hesaplanarak seçim, çaprazlama ve mutasyon süreçlerinden sonra elde edilen yeni nesil üzerinde entropi kullanılarak bit yoğunluğu hesabı yapılmıştır. Elde edilen bu değere göre algoritmanın sonuca daha hızlı ve doğru sonucu üretmesi sağlanmıştır. Geliştirilen ikinci algoritma olan entropi tabanlı karar ağaçları kullanılarak yapılan sınıflandırma işleminde ise giriş parametresi türüne göre bir eğitim kümesi elde edilmiş ve sınıflandırma modeli çıkarılmıştır. Model çıkarma sürecindeki veriler sayısal değerler olduğundan C4.5 algoritması kullanılmıştır. Sistemin değişen durumlarda ürettiği değerlere göre bu sınıflandırma modeli üzerinden maksimum gücü veren bağlantı düzenine ulaşılmıştır. Son olarak, önerilen her iki algoritma kullanılarak bulunan optimum bağlantı düzeni değerleri bir karar verme algoritması ile değerlendirilerek en uygunu belirlenmekte ve sonuç kontrol birimine iletilmektedir. Daha sonra bu bağlantı düzeni, anahtarlama matris devresi yardımıyla sisteme uygulanmaktadır.

Çalışmada önerilen yöntem, farklı gölgelenme durumlarında elde edilen kısa devre akımları ve gölgelenme oranı değerleri kullanılarak bir sistem üzerinde çalıştırılmıştır. İlk olarak sistemin ürettiği sonuçlar incelenmek üzere gerçek bir PV sistem üzerinde deneyler yapılmış ve sistemin güç kazancının arttığı görülmüştür. Daha sonra, yöntemden elde edilen

sonuçlar literatürdeki kabarcık sıralama ve model tabanlı yaklaşım sunan iki farklı metot ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar; tablolar, grafikler ve şekiller yardımıyla sunulmuştur.

Gerçekleştirilen bu tez çalışması PV sistemlerde enerji verimliliğini artırmaya yönelik olup, elde edilen deneysel sonuçlar hem işlem hızı hem de doğruluğu açısından yöntemin geçerliliğini göstermiştir. Önerilen yaklaşımın bir PV sistem için sağladığı avantajlar şu şekilde sayılabilir:

- Kısmi gölgeleme şartlarında en uygun bağlantı düzeni bulunabilmektedir.
- Yapılan diğer çalışmalara nazaran sonuca çok daha hızlı bir sürede ulaşılmaktadır.
- Algoritmalar giriş parametresi olarak kısa devre akım değerlerini veya gölgelenme oranı değerlerini almaktadır. Bu değerler ölçümü kolay değerlerdir ve algoritmaların çalışma performansını düşürmez.
- Sistemden bağımsızdır. Yani her türlü PV sistem üzerinde çalışabilmektedir.
- Özellikle, gerçek zamanlı çalışan sistemler üzerinde etkili sonuçlar vermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Ramaprabha, R., Mathur, B. L.**, 2009. Impact of partial shading on solar PV module containing series connected cells, *Intenational Journal of Recent Trends in Engineering*, 56-61, November 2009.
- [2] **Alonso-Garcia, M. C., Ruiz, J. M., Herrmann, W.**, 2006. Computer simulation of shading effects in photovoltaic arrays, *Renewable Energy*, 1986-1993, 2006.
- [3] **Bidram, A., Davoudi, A., Balog, R. S.**, 2012. Control and circuit tecniques to mitigate partial shading effects in photovoltaic arrays, *IEEE Journal of Photovoltaics*, 532-547, October 2012.
- [4] **Nyugen, T. L., Low, K. S.**, 2010. A global maximum power point tracking scheme employing DIRECT search algorithm for photovoltaic systems, *IEEE Tansactions on Industrial Electronics*, 3456-3467, October 2010.
- [5] **Carannante, G., Fraddanno, C., Pagano, M., Piegari, L.**, 2009. Experimental performance of MPPT algorithm for photovoltaic sources subject to inhomogeneous insolation, *IEEE Tansactions on Industrial Electronics*, 4374-4381, November 2009.
- [6] **Balato, M., Vitelli, M.**, 2013. A Hybrid MPPT Technique Based on the Fast Estimate of the Maximum Power Voltages in PV Applications, *8th International Conference and Exhibition on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, 1-7, 27-30 March 2013.
- [7] **Vaidya, V., Wilson, D.**, 2013. Maximum power tracking in solar cell arrays using time-based reconfiguration, *Renewable Energy*, 74-81, February 2013.
- [8] **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.
- [9] **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.
- [10] **Eh-helw, H., Hassanien, M., Ashour, H. A.**, 2013. Maximum Power Point Tracking for Irregular Irradiance of a Photovoltaic Array, *12th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 52-57, May 2013.

- [11] **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, 2013.
- [12] **Esram, T., Chapman, P. L.**, 2007, Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 439-450, June 2007.
- [13] **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.
- [14] **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, Chinese, May 2010.
- [15] **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.
- [16] **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.
- [17] **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, Vienna, Austria, 10-13 Nov 2013.
- [18] **Nyugen, D., Lehman, B.**, 2008, A Reconfigurable Solar Photovoltaic Array under Shadow Conditions, *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 980-986, February 2008.
- [19] **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, 17 July 2013.
- [20] **Patel, H., Agarwal, V.**, 2008. MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23, 302-310, March 2008.
- [21] **Cipriani, G., La Cascia, D., Di Dio, V., Miceli, R.**, 2014. Photovoltaic Plant Array Reconfiguration: Design of a New Device, *International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)*, 1-6, 25-27 March.

- [22] **Bastidas-Rodriguez, J. D., Ramos-Paja, C. A., Saavedra-Montes, A. J.,** 2013. Reconfiguration analysis of photovoltaic arrays based on parameters estimation, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 35, 50-68, June 2013.
- [23] **Şentürk, A.,** 2006, Veri Madenciliği Kavram ve Teknikler, Ekin Basım Yayın Dağıtım, Bursa.
- [24] **Özkan, Y.,** 2013. Veri Madenciliği Yöntemleri, 2. Basım, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.
- [25] **Han, J. and Kamber, M.,** 2006, Data Mining Concepts and Tecniques, Second Edition, San Francisco.
- [26] http://en.wikipedia.org/wiki/Statistical_classification, Statistical Classification, 25 Haziran 2014.
- [27] **Jerzy, S.,** 2008, Data Mining-Clustering, <http://www.cs.put.poznan.pl/jstefanowski/sed/DM-7clusteringnew.pdf>, 25 Haziran 2014.
- [28] http://en.wikipedia.org/wiki/Association_rule_learning, Association Rule Learning, 25 Haziran 2014.
- [29] **Rifkin, J. ve Howard, T.,** Entropi Dünyaya Yeni Bir Bakış, 2010, İz Yayıncılık, İstanbul.
- [30] **Shannon, C.E.,** 1948, A Mathematical Theory of Communication, *The Bell System Technical Journal*, 379-423, October 1948.
- [31] **Harry, N.,** 1924. Certain Factors Affecting Telegraph Speed, *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, 412-422, New York, January 1924.
- [32] **Ralph, H.,** 1927. Transmission of Information, *International Congress of Telegraphy and Telephony*, 535-564, Lake Como, Italy, September 1927.
- [33] **Quinlan, J. R.,** 1986. Induction of Decision Trees, *Machine Learning*, 81-106, March 1986.
- [34] **Gao, L., Dougal, R. A., Liu, S. and Iotova, A. P.,** 2009. Parallel-Connected Solar PV System to Address Partial and Rapidly Fluctuating Shadow Conditions, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 1548-1556, May 2009.

- [35] **Sharma, P., Patnaik, B., Trimurthulu, E., Duttagupta, S. P. and Agarwal, V.,** 2011. *37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 1859-1864, 19-24 June 2011.
- [36] **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*, Alberobello, Italy, 23-25 June.
- [37] **Salmi, T., Bouzguenda, M., Gastli, A., Masmoudi, A.,** 2012. MATLAB/Simulink based modelling of solar photovoltaic cell, *International Journal of Renewable Energy Research*, 2, 213-219, .
- [38] **Kajihara, A., Harakawa, T.,** 2005. Model of photovoltaic cell circuits under partial shading, *IEEE International Conference on Industrial Technology*, 866-870, December 2005.
- [39] **Alonso-Garcia, M. C., Ruiz, J. M., Chenlo, F.,** 2006. Experimental study of mismatch and shading effects in the I-V characteristic of a photovoltaic module, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 329-340, 2006.
- [40] **Nyugen, D., Lehman, B.,** 2008. An Adaptive Solar Photovoltaic Array Using Model-Based Reconfiguration Algorithm, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55, 2644-2655, July 2008.
- [41] **Kaushika, N. D., Gautam, N. K.,** 2003. Energy yield Simulations of Interconnected Solar PV Arrays, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 127-135, March 2003.
- [42] **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, 2014.
- [43] **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.
- [44] **Singh, B., Singh, A.,** 2008. Havrda and Charvat Entropy Based Genetic Algorithm for Travelling Salesman Problem, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 8, 312-319, May 2008.
- [45] **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*, June 2014,.

- [46] **Tsujimura, Y., Gen M.**, 1998. Entropy-based genetic algorithm for solving TSP, *Second International Conference on Knowledge Based Intelligent Electronic Systems*, 285-291, April 1998.
- [47] **Chen, Z.**, 2010. Fault Diagnosis of Gear Box Based on Information Theory, *2010 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 1239-1242, 26-28 May 2010.
- [48] **Shahrokhi, N., Dehzad, R., Sahami, S.**, 2011. Targeting Customers with Data Mining Techniques: Classification, *2011 International Conference on User Science and Engineering (i-USEr)*, 212-215, December, 2011.
- [49] **Li, L., Zhang, X.**, 2010. Study of Data Mining Algorithm on Decision Tree, *2010 International Conference on Computer Design and Applications (ICCD)*, 1, 155-159, June 2010.
- [50] **Li, R., Wei, X., Yu, X.**, 2009, The Improvement of C4.5 Algorithm and Case Study, *2009 Second International Symposium on Computational Intelligence and Design*, 190- 192, December 2009.
- [51] **Kesavaraj, G., Sukumaran, Dr. S.**, 2013, A Study on Classification Techniques in Data Mining, *2013 Fourth International Conference on Computing Communications and Networking Technologies (ICCCNT)*, 1-7, July 2013.
- [52] **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.

ÖZGEÇMİŞ

Kağan MURAT, 1986 yılında Elazığ’ da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ’da tamamladı. 2004 yılında Elazığ Mehmet Akif Ersoy Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesini bitirdikten sonra 2006 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümüne başladı. Bu bölümü 2011 yılında tamamladıktan sonra aynı yıl aynı bölümün yüksek lisans programına başladı. Aynı zamanda, 2010 yılında özel bir yazılım firmasında işe başladı ve hala aynı firmada Bilgisayar Mühendisi olarak devam etmektedir.