



EGE ÜNİVERSİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİSİ
TASARIMI**

Serpil DURU ERDOĞAN

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Engin KARATEPE

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.05.01

Sunuş Tarihi : 03.06.2011

Bornova-İZMİR

2011

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİSİ
TASARIMI**

Serpil DURU ERDOĞAN

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Engin KARATEPE

Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.05.01

Sunuş Tarihi : 03.06.2011

Bornova İZMİR

2011

Serpil DURU ERDOĞAN tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Fotovoltaik Sistemlerde Yapay Sinir Ağları ile Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarımı” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 03/06/2011 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Yrd. Doç. Dr. Engin KARATEPE

Raportör Üye : Yrd. Doç. Dr. Mutlu BOZTEPE

Üye : Yrd. Doç. Dr. Koray ÜLGEN

ÖZET

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİSİ TASARIMI

DURU ERDOĞAN, Serpil

Yüksek Lisans Tezi, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi: Yrd. Doç. Dr. Engin KARATEPE

03.06.2011, 62 sayfa

Bu tezde fotovoltaik sistemlerde kısmî gölgelenme koşulları altında yapay sinir ağları ile maksimum güç noktasının nasıl izlenebildiği incelenmiştir.

Literatürde konuyla ilgili yapılan çalışmalarda FV modüllerin aldığı ışınım değerleri kullanılarak YSA' nın eğitilmesi gerçekleştirilmiştir. Sistemin maliyetini artıran bu yöntemlere karşılık, bu tez çalışmasında kısmî gölgelenme koşullarında her bir bypass diyotuna paralel bağlı FV hücrelerin üzerindeki gerilimler kullanılarak YSA eğitilmiş ve FV sistemlerde homojen olmayan çalışma koşullarında global maksimum güç noktası izleyicisinin tasarlanması amaçlanmıştır.

Kısmî gölgelenme koşullarında FV dizinin maksimum güç noktası gerilimleri incelendiğinde, gerilimlerin belirli aralıklarda değiştiği gözlenmiştir. YSA' ların eğitilmesi için gerekli veriler bu gözlemden yararlanılarak elde edilmiştir. YSA' nın eğitimi için gerilim ölçme yoluyla gerekli verilerin elde edilmesi ile ışınım ve akım ölçmeye kıyasla daha basit ve ucuz bir yol kullanılmıştır. Eğitilmiş YSA ile birlikte yardımcı bir algoritma geliştirilerek, izleme sonucu elde edilen maksimum güç noktasındaki gerilimin belli değerlerde olması sağlanmıştır.

Önerilen yöntemde YSA yapısı olarak adaptif ağ tabanlı bulanık sonuç çıkarım sistemi (ANFIS) kullanılmıştır.

Önerilen yöntemin uygulanabilirliğini araştırmak için seri bağlı iki FV modül ve seri bağlı dört FV modül olmak üzere iki ayrı sistem incelenmiştir. Önerilen yöntemin verimliliğini araştırmak için geleneksel yöntem ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen enerjiler kıyaslandığında önerilen yöntemin, seri bağlı iki modülden oluşan FV sistemde 21,11%, seri bağlı dört FV modülden oluşan FV sistemde 7,98% daha verimli olduğu görölmüştür.

Anahtar sözcükler: maksimum güç noktası izleme, kısmî gölgelenme, fotovoltaiik, yapay sinir ağları, ANFIS

ABSTRACT**DESIGN OF MAXIMUM POWER POINT TRACKER
WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK
IN PHOTOVOLTAICS**

DURU ERDOĞAN, Serpil

MSc in Solar Energy Department

Supervisor: Assistant Prof. Engin KARATEPE

June 3rd, 2011, 62 pages

In this thesis, under partial shaded conditions, maximum power point tracking with artificial neural network in photovoltaic systems has been studied.

In the studies about this subject in the literature, ANN is trained using the radiation on PV modules. Compare to these methods increase the cost of the system, in this thesis, ANN is trained using voltages on PV cells connected in paralel with every bypass diodes under partial shaded conditions and design the maximum power point tracker is intended in PV systems under non-homogeneous working conditions.

Under partial shaded conditions, the maximum power point voltages of PV arrays are analyzed, it is observed that the voltages are varied intervals. The data required to train ANN are obtained using this observaiton. With obtaining the required data for training ANN by measuring the voltage, this method is more simple and cheap than other methods using measuring the current or the radiation. Developeoping an algorithm with trained ANN, the maximum power point voltage by tracking is provided to certain values.

Adaptive Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS) are used as a ANN structure of the proposed method.

To research the feasibility of the proposed method, two PV modules connected in series and four PV modules connected in series are examined. To search the efficiency of the proposed method, proposed method is compared with the traditional method. When the obtained energy is compared with proposed

method and the traditional method, the serial connected PV system consist of two modules 21,11%, the serial connected PV system consisting of four modules 7,98% is more efficient.

Keywords: maximum power point tracking, partially shaded, photovoltaics, neural network, ANFIS

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince bana yol gösteren, benden yardım ve desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Engin KARATEPE' ye, çalışmamı kolaylaştıran, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen eşim ve kardeşime, çalışmam süresince değerli zamanlarından aldığım çocuklarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	v
ABSTRACT	.vii
TEŞEKKÜR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
2.YAPAY SİNİR AĞLARI	11
2.1 Biyolojik Model	11
2.2 Matematiksel Model	12
2.3 YSA yapıları	13
2.3.1 Çok katmanlı ağlar	13
2.3.2 Radyal tabanlı ağlar	15
2.3.3 Adaptif ağ tabanlı bulanık sonuç çıkarım sistemi	17
3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	20
4. DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	25
4.1 Düşürücü Dönüştürücüler	26

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2 Yükseltici Dönüştürücüler	26
4.3 Düşürücü Yükseltici Dönüştürücüler	27
5. MATERYAL VE YÖNTEM	29
5.1 Farklı Işınım Koşulları Altında Maksimum Güç Noktasının Tespiti	37
5.2 Fotovoltaik Modüllere Düşen Gerilimin Tespiti	37
5.3 Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi	38
5.4 DC/DC Dönüştürücünün Geriliminin Ayarlanması	40
6. TARTIŞMA	41
6.1 Seri Bağlı İki Modülden Oluşan FV Sistem	41
6.2 Seri Bağlı Dört Modülden Oluşan FV Sistem	47
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	56
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 FV sistemin genel yapısı.....	2
1.2 FV modülün karakteristiği	3
1.2a Güç-gerilim eğrisi	3
1.2b Akım-gerilim eğrisi.....	3
1.3 Maksimum güç noktası izleyicili FV sistem yapısı	3
1.4 Bir FV modülün güç-gerilim eğrisi.....	4
1.5 Bir FV dizin yapısı.....	6
1.6a Gölgeleme olmadığı durumda.....	6
1.6b Kısmî gölgeleme olduğu durumda.....	6
2.1 Bir biyolojik nöron yapısı	11
2.2 Bir nöronun matematiksel modeli.....	12
2.3 Üç katmanlı ağ yapısı.....	13
2.4 Dört katmanlı ağ yapısı	14
2.5a log-sigmoid	14
2.5b tanjant sigmoid.....	14
2.5c doğrusal	15
2.6 Radyal tabanlı ağ yapısı	16

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

2.7 Gauss fonksiyonu	16
2.8a Tip-3 bulanık mantık	17
2.8b Tip-3 eşdeğer ANFIS	17
3.1 FV modülün tek diyotlu eşdeğer devre modeli	21
3.2 FV modül akım-gerilim eğrisi	21
3.3 Tek modüllü FV sistem	23
3.4 Gölgeleme olmadığı durumda FV modülün güç-gerilim eğrisi	24
3.5 Kısmî gölgeleme durumlarında FV modülün güç-gerilim eğrileri	24
4.1a DC/DC dönüştürücü devresi.....	25
4.1b DC/DC dönüştürücünün çalışma grafiği	25
4.2 Düşürücü DC/DC dönüştürücü devresi.....	26
4.3 Yükseltici DC/DC dönüştürücü devresi.....	27
4.4 Düşürücü yükseltici DC/DC dönüştürücü devresi	27
5.1 FV modül yapısı	29
5.2 Seri bağlı iki FV modülden oluşan sistem yapısı	30
5.3 Gölgeleme olmadığında eğitilmiş YSA yapısının test performansı.....	31
5.4 Gölgeleme olmadığında eğitilmiş YSA yapısının test performansı.....	31
5.5 Kısmî gölgeleme koşullarında seri bağlı iki FV modülden oluşan FVsistemin maksimum güç noktası gerilimleri	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

5.6 1000 farklı kısmî gölgelenme koşulunda seri bağlı iki FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri.....	33
5.7 1000 farklı kısmî gölgelenme koşulunda seri bağlı dört FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri.....	33
5.8 1000 farklı kısmî gölgelenme koşulunda seri bağlı altı FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri.....	34
5.9 1000 farklı kısmî gölgelenme koşulunda seri bağlı sekiz FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri.....	35
5.10 1000 farklı kısmî gölgelenme koşulunda seri bağlı on FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri.....	35
5.11 Kısmî gölgelenme koşullarında FV sistemdeki bypass diyot sayısına göre oluşacak gerilim bandı sayısı	36
5.12 Maksimum güç noktası gerilimlerini elde etmek üzere kurulacak yapı ..	37
5.13 Bantların ortalama gerilim değerlerinden modüllerdeki gerilimleri tespit etmek için kurulacak yapı	38
5.14 Modül gerilimlerinden ortalama maksimum güç noktası geriliminin elde edilmesi için YSA yapısı	39
5.15 Modül gerilimlerinden ortalama maksimum güç noktası geriliminin elde edilmesi için kullanılacak YSA ile birlikte yardımcı program yapısı	39
5.16 YSA ile maksimum güç noktası izleyebilen FV sistem yapısı	40
6.1 Seri bağlı iki FV modülden oluşan sistem yapısı.....	41
6.2a 1. modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınım.....	42
6.2b 1. modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınım	42

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

6.2c	2. modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm	43
6.2d	2. modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm.....	43
6.2e	Maksimum güç noktası gerilimi	43
6.3	Yardımcı program akış diyagramı.....	46
6.4	Bir yüke bağlı maksimum güç noktası izleyicili FV sistem yapısı	47
6.5	FV sistemden en fazla, geleneksel yöntemle ve önerilen yöntemle elde edilebilecek enerji miktarı	47
6.6	Seri bağlı dört FV modülden oluşan sistem yapısı.....	48
6.7a	1. modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm	49
6.7b	1. modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm.....	49
6.7c	2. modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm	49
6.7d	2. modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm.....	49
6.7e	3. modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm	49
6.7f	3. modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm	50
6.7g	4. modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm.....	50
6.7h	4. modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm.....	50
6.7ı	Maksimum güç noktası gerilimi.....	50
6.8	Yardımcı program akış diyagramı.....	54
6.9	Bir yüke bağlı maksimum güç noktası izleyicili FV sistem yapısı	54

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

6.10 FV sistemden en fazla, geleneksel yöntemle ve önerilen yöntemle elde edilebilecek enerji miktarı	55
---	----

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 FV modülün özellikleri	29
5.2 FV sisteme uygulanan ışıınım koşulları	30
5.3 FV sisteme uygulanan kısmi gölgelenme koşulları	32
5.4 Bir kısmî gölgelenme koşulu ile modüllerin gerilimleri ve ortalama maksimum güç noktası gerilimi.....	40
6.1 FV modülün özellikleri	41
6.2 Çeşitli gölgelenme koşullarındaki maksimum güç noktası gerilimleri.....	42
6.3 Maksimum güç noktası gerilimlerinin ortalama değerleri	43
6.4 DC gerilim kaynağının bağlı olduğu durumlarda çeşitli ışıınım koşullarında modül gerilimleri	44
6.5 YSA eğitimi için kullanılacak veriler	45
6.6 Çeşitli gölgelenme koşullarındaki maksimum güç noktası gerilimleri.....	49
6.7 Maksimum güç noktası gerilimlerinin ortalama değerleri	51
6.8 DC gerilim kaynağının bağlı olduğu durumlarda çeşitli ışıınım koşullarında modül gerilimleri	53
7.1 Seri bağlı iki ve dört modülden oluşan FV sistemlerin performansı	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
V	Gerilim (Volt).
I	Akım (Amper)
R	Direnç (Ohm)
V_{AD}	Açık devre gerilimi (Volt).
I_{KD}	Kısa devre akımı (Amper).
V_{mgn}	Maksimum güç noktası gerilimi (Volt).
I_{mgn}	Maksimum güç noktası akımı (Amper).
G	Işınım (W/m^2).
T	Hücre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
V_{mak}	Maksimum gerilim (Volt).
I_{mak}	Maksimum akım (Amper).
P_{mak}	Maksimum güç (Watt).
V_g	Giriş gerilimi (Volt).
V_{ϕ}	Çıkış gerilimi (Volt).
T_a	Anahtarlama periyodu (saniye)
t_i	Anahtarın iletimde kalma süresi (saniye)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

t_k Anahtarın kesimde kalma süresi (saniye)

Kısaltmalar

DC Doğru akım.

AC Alternatif akım.

MGN Maksimum güç noktası.

MGNİ Maksimum güç noktası izleyici

1. GİRİŞ

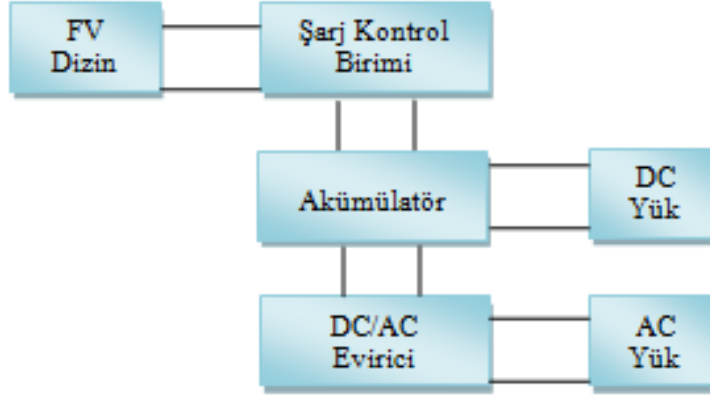
Güneş, rüzgâr, su, dalga, jeotermal, biyoenerji gibi kaynaklardan oluşan yenilenebilir enerji kaynakları, büyük bir potansiyele sahip olması nedeniyle dünyanın enerji talebinin büyük kısmını karşılayabilecek kapasitedir. Geleneksel enerji kaynaklarının ortaya çıkmasının uzun yıllar alması ve tükeniyor olması ile birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının temiz, güvenli, çeşitli, sürdürülebilir olması ve atmosferik emisyonu düşürmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasında önemli rol oynamaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en umut vadeden teknolojilerinden biri fotovoltaik (FV) sistemlerdir. Güneş ışınımından doğrudan elektrik enerjisinin elde edilebildiği FV sistemler, şebekeden uzak, daha düşük enerji taleplerinin bulunduğu bölgelerde daha uygun bir kullanım olanağı sunması ile birlikte son yıllarda şebekeye bağlı sistemler olarak kullanımı yaygınlaşmıştır.

Otonom, şebeke bağlantılı veya hibrid olarak yapılandırılan bu sistemlerde güneş ışınımının yıl içindeki değişimi nedeniyle büyük ölçüde akü kapasitesi gerekir. FV sistemin performansını etkileyen en önemli faktörler güneş ışınımı ve FV modülün sıcaklığıdır. Dolayısıyla belli bir yüke bağlı sistemin daha verimli ve ekonomik olarak tasarlanmasını sağlamak için, bulunulan bölgenin koşulları dikkate alınmalı ve her bir sistem elemanı bu koşullara göre seçilmelidir. Bu sistemlerin analitik olarak modellenmesi, değişen atmosferik koşulların sistemin çalışmasını doğrudan etkilemesi nedeniyle zordur. Bu nedenle FV sistemler doğrusal olmayan karmaşık sistemler olarak düşünülebilir.

Bir FV güç sistemi genel olarak FV dizin, şarj kontrol birimi, akümülatör, evirici, yük gibi elemanlardan oluşur (Şekil 1.1).

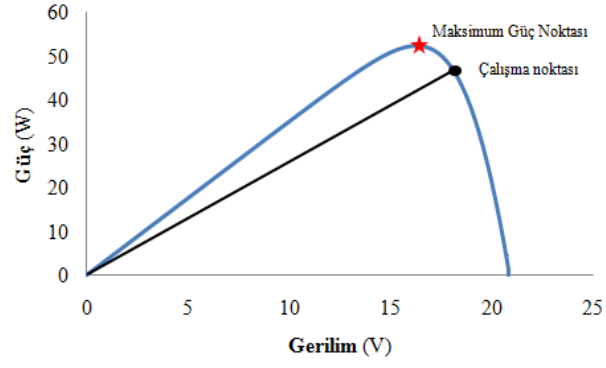
Genellikle $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 'lik boyutlarda üretilen bir FV hücreden ortalama 3-4 A civarında kısa devre akımı, 0,5-0,6 V civarında açık devre gerilimi elde edilebilmektedir. Pratikte FV hücreler şarj gerilimi (14,5V) üretebilecek biçimde seri bağlanarak FV modül oluşturulur. Genellikle bir FV modül 36 hücrenin seri bağlanmasıyla oluşur. Bir FV Sisteme bağlı olan yükün gereksinimi olan daha yüksek güçleri karşılamak amacıyla FV modüller seri ve/veya paralel bağlanarak FV dizinler oluşturulur.



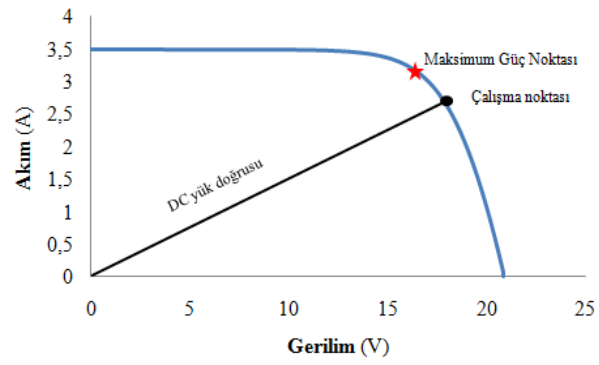
Şekil 1.1. FV sistemin genel yapısı

Bir FV hücre, akım-gerilim eğrisinin herhangi bir noktasında çalışabilir. Şekil 1.2(b)' de görüldüğü gibi güneş hücresinin akım-gerilim eğrisi, bağlı olan yükün olmaması ($V_{AD}=0$) ve açık devre olması ($I_{KD}=0$) durumları dikkate alınarak çıkarılır. Yükün çalışması için gerekli akım ve gerilim değerlerinin, güneş hücresinin akım-gerilim eğrisinde çakıştığı nokta çalışma noktasıdır ki bu nokta maksimum güç noktası olmayabilir (Şekil 1.2). Bu nedenle, doğrudan yüke bağlı sistemlerde, FV dizin, yükün ihtiyacı olan enerjiyi sağlamak için daha büyük kapasitede tasarlanmalıdır. Ayrıca FV sistemlerin maksimum çıkış gücü sağlayarak çalıştığı nokta olan maksimum güç noktası, modüle gelen güneş ışınımı ve modülün sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Yükün sürekli çalışmasını sağlamak için FV sistemler gerektiğinden fazla modül içerecek şekilde tasarlanırlar ki bu sistemin maliyetini artıran, verimini düşüren bir durumdur. Atmosferik koşullara bağlılığı dolayısıyla sistemin düşük verime sahip olması ve ilk kurulum maliyetinin fazla olması nedeniyle, sistemin maksimum güç noktasında çalışması önemlidir. Maksimum güç noktası izleyicileri, sistemin akım ve gerilimini, farklı yük ve çalışma koşullarında kontrol edebilirler (Şekil 1.3).

Aynı güneşlenme koşulları altında bir FV sistemin maksimum güç noktasını izlemek için önerilen yöntemler arasında Değiştir-Gözle (Perturb & Observe (P&O)), Tepe Tırmanma (Hill Climbing), Artan İletkenlik (Incremental Conductance (IncCond)), Sabit Gerilim (Fractional V_{AD}), Sabit Akım (Fractional I_{KD}) yöntemleri çoğunlukla kullanılırlar.(Onat ve Ersöz, 2009, Esram and Chapman, 2007)

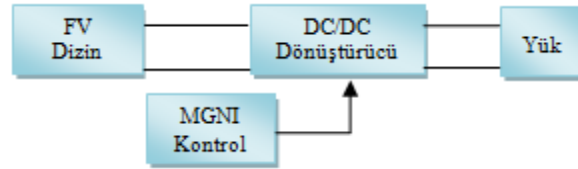


(a)



(b)

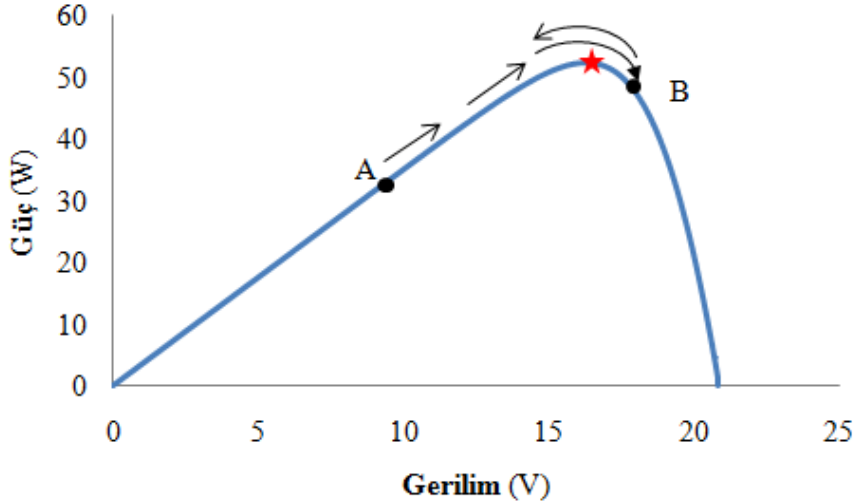
Şekil 1.2. FV modülün karakteristiği a) Güç-gerilim eğrisi, b) Akım-gerilim eğrisi



Şekil 1.3. Maksimum güç noktası izleyicili FV sistem yapısı

P&O, basit oluşu ve uygulamasının kolaylığı nedeniyle en çok kullanılan yöntemlerden biridir. FV sistemin çalışma gerilimini değiştirerek maksimum güç noktasını bulmaya çalışan bir yöntemdir. Modülün güç-gerilim eğrisi üzerinde bulunan maksimum güç noktasının sol tarafında gerilimin artmasıyla (azalmasıyla) güç artarken (azalırken), sağ tarafında gerilimin artmasıyla (azalmasıyla) güç azalır (artar). Şekil 1.4'te görüldüğü üzere Güç-Gerilim eğrisi üzerindeki herhangi bir noktada (A) çalışan modülün gerilimi artırılarak güçteki değişime bakılır. Eğer güç bir önceki noktaya göre artış göstermişse maksimum

güç noktasının sol tarafında bulunduğu ve henüz ulaşılmadığı anlaşılarak artırmaya devam edilir. Bu artırma, gücün bir önceki noktadaki değerine göre azalma göstermesine kadar periyodik olarak devam eder. Azalmanın görüldüğü noktada (B), gerilim azaltılarak bir önceki noktaya dönülür. Sistem, maksimum güç noktasının etrafında salınım yapar. Bu salınım, perturbasyon (artırma veya azaltma) aralığının düşürülmesi ile azaltılabilir. Bu durumda da maksimum güç noktasına daha geç ulaşılabacaktır (Hohm and Ropp, 2003).



Şekil 1.4. Bir FV modülün güç-gerilim eğrisi

Hill Climbing yöntemi, P&O yöntemine benzemekle birlikte, bu yöntemde güç dönüştürücüsünün çalışma aralığı (duty-cycle) değiştirilerek güçteki değişim gözlenir ve maksimum çıkış gücüne ulaşılmaya çalışılır. P&O yöntemindeki dezavantajlar bu yöntemde de söz konusudur (Hohm and Ropp, 2003).

IncCond yöntemi, FV dizinin güç-gerilim eğrisinin maksimum güç noktasında sıfır, maksimum güç noktasının sağ tarafında sıfırdan küçük, sol tarafında sıfırdan büyük olması prensibine dayanır. Maksimum güç noktası, ani iletkenliğin artan iletkenlik ile kıyaslanması ile izlenir (Hohm and Ropp, 2003).

Fractional V_{AD} yöntemi, FV dizinin maksimum güç noktasındaki gerilim ile açık devre gerilimi arasındaki doğrusal ilişkiden yararlanır ($V_{mgn} \approx k_1 V_{AD}$). FV dizinin karakteristiğine dayanan k_1 katsayısı, farklı ışınım ve sıcaklık koşulları altında aynı FV dizinin V_{mgn} ve V_{AD} değerlerinin deneysel hesaplanmasıyla bulunur ki bunun yaklaşık 0,71 ile 0,78 arasında olduğu belirlenmiştir. k_1 bilindiğinde, periyodik olarak güç dönüştürücüsü bir an için kapatılır ve ölçülen V_{AD} 'den yararlanarak V_{mgn} hesaplanır. Bu yöntemin dezavantajlarından biri geçici

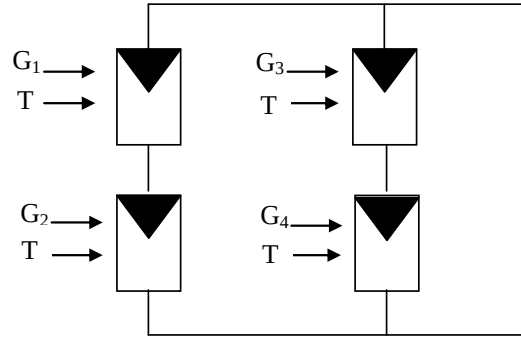
güç kaybı olmasıdır ki bunu önlemek için V_{AD} 'nin elde edilebileceği pilot hücreler kullanılır. k_1 katsayısı yaklaşık bir değer olması nedeniyle FV dizinin tam olarak maksimum güç noktasında çalışması mümkün olmayabilir (Esrām and Chapman, 2007).

Fractional I_{KD} yöntemi, çeşitli atmosferik koşullarda FV dizinin kısa devre akımı ile maksimum güç noktasındaki akım arasındaki doğrusal ilişkiden yararlanılmasıyla uygulanır ($I_{mgn} \approx k_2 I_{KD}$). Fractional V_{AD} yönteminde olduğu gibi k_2 , kullanılan FV dizine göre hesaplanır ki bu değer genellikle 0,78 ile 0,92 arasında olduğu bulunmuştur. Güç dönüştürücüsüne eklenen bir anahtar yardımıyla FV dizin periyodik olarak kısa devre yapılır ve kısa devre akımı ölçülür ve maksimum güç noktasındaki akım hesaplanır. Kısa devre akımının ölçülmesi için akım sensörünün kullanılması maliyeti artıran bir durumdur. Ayrıca akımın ölçülmesi sırasında çıkış gücü azalır ve maksimum güç noktasına ulaşılması tam olarak mümkün olmayabilir (Esrām and Chapman, 2007).

Bahsedilen maksimum güç noktası izleme yöntemleri, homojen çalışma koşulları durumunda, tüm FV modül ve hücrelerin aynı ışınmaya sahip olduğu durumlar, uygulanabilecek yöntemlerdir. Güneş ışınlamının hızlı değişmesi, gölgelenme durumlarında gölgelenen FV hücreler, yük gibi davranarak diğer hücreler tarafından üretilen enerjinin büyük bir kısmını yük gibi tüketirler ve ısınmaya neden olurlar. Gölgelenme durumlarında hücreleri bu etkiden korumak için bypass diyotu kullanılır. Bypass diyotun FV modüldeki her bir hücreye paralel bağlanması durumunda, gölgelenmeden kaynaklanan enerji kaybının büyük ölçüde azaltılabileceği düşünülebilir. Ancak bu, uygulanabilirliği ticarî olarak pek mümkün olmayan, maliyeti artıran bir durumdur. Uygulamalarda genellikle bypass diyot, seri bağlı bir grup hücreye paralel bağlanır ve gölgelenme durumlarında akımın FV hücreler üzerinden değil de bypass diyot üzerinden akması sağlanır. Bypass diyotun iletme geçtiği durumda, bypass diyota paralel bağlı olan FV hücrelerin gerilimi yaklaşık olarak 0,8V'a düşer. Bypass diyot, gölgelenmiş hücreleri zarar görmekten korumak ile birlikte FV dizinin güç-gerilim eğrisinde birden fazla lokal maksimum güç noktasının oluşmasına neden olur.

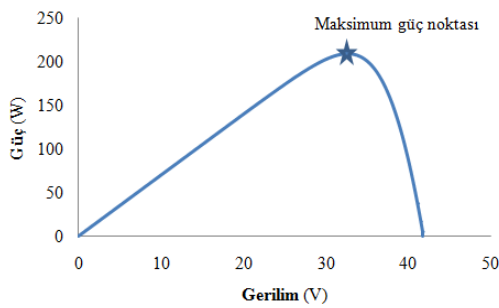
FV sistemlerde pek çok gölgelenme durumu olasıdır. Taşınabilir hareketli sistemlerde FV hücrelerin aldığı ışınlam miktarları sürekli değişirken, hareketli olmayan sistemlerde de bulutların hareketi, etrafındaki diğer varlıkların (ağaç, bina, baca vb.) gölgelemesi, üzerinin toz vs. gibi maddelerle kaplanması halinde

gölgelenme durumları oluşabilmektedir. Kısmî gölgelenme halinde bypass diyotların etkisi ile sadece bir tanesinin global, diğerlerinin lokal olduğu maksimum güç noktalarının varlığında geleneksel yöntemlerin kullanılması halinde lokal maksimumların gerçek maksimum güç noktası gibi algılanabilmesi mümkündür. Ayrıca gölgelenme durumlarının çeşitli olması dolayısıyla tek bir yöntemin maksimum güç noktasını her durumda izleyebilmesi oldukça zordur.

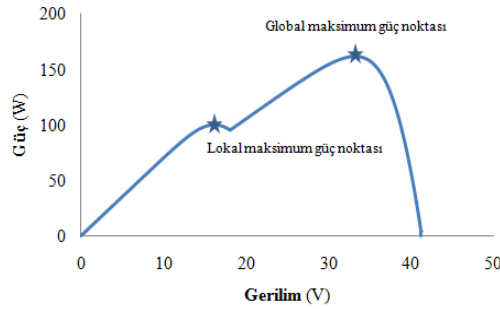


Şekil 1.5. Bir FV dizin yapısı

Şekil 1.5'te gösterildiği gibi 2x2 modülden oluşan bir FV dizini örnek olarak ele aldığımızda modüllerin tümünün üzerine 1000 W/m^2 ışınım geldiğinde FV sistemin güç-gerilim eğrisi Şekil 1.6(a)'daki gibi olurken, sadece bir modül gölgelendiği ve 500 W/m^2 ışınım geldiği diğerlerine 1000 W/m^2 ışınım geldiği durumda FV sistemin güç-gerilim eğrisi Şekil 1.6(b)'deki gibi olmakta ve biri global biri lokal olmak üzere iki maksimum güç noktası oluşmaktadır. Global ve lokal maksimum güç noktalarının yerleri ışınım değerlerine göre değişebilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 1.6. a) Gölgeleme olmadığı durumda, b) Kısmî gölgelenme olduğu durumda

İdeal ve gölgelenmenin olmadığı durumlarda en iyi maksimum güç noktasını izleme performansını başaran FV dönüştürücüler, gölgelenmeden kaynaklı güç-gerilim karakteristiğindeki bozulmalarla maksimum güç noktasını izleyemez ve toplam enerjide bir azalma olur (Bruendlinger et al., 2006).

Gao et al. (2009), daha az gerilime ihtiyaç duyan hareketli, taşınabilir sistemler için daha uygulanabilir olan paralel bağlı FV modüllerden oluşan FV sistem önermişlerdir. Önerilen sistemin karmaşık ışınım koşullarında geleneksel seri bağlı FV sisteme göre yaklaşık iki kat fazla güç üretilbildiğini göstermişlerdir.

Ahmed ve Miyatake (2008), hızlı değişen ışınım koşulları veya kısmen gölgelenmiş FV dizinlerde maksimum güç noktasının izlenmesi için Fibonacci algoritmasına dayanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde kullanılan FV panelin ışınım ve sıcaklık bilgisine önceden ihtiyaç duyulmamaktadır. Maksimum güç noktası geniş aralıklarla taranmıştır. Diğer geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında, kısmen gölgelenmiş FV modülden bu yöntemle daha fazla güç elde edildiği gözlenmiştir.

Karatepe et al. (2008)'nin önerdikleri sistemde FV dizinin her birine bir DC/DC dönüştürücüsü bağlanarak bir yapı oluşturulmuştur. Her bir FV modülün çalışma gerilimleri gözlenerek ve karşılaştırılarak gölgelenmiş modüller tespit edilmiş ve devre dışı bırakılmıştır. Böylece gölgelenmenin negatif etkisinin dizinin çıkış gücü üzerindeki etkisi azaltılmıştır.

Patel ve Agarwal (2008), gölgelenme koşullarında çalışan bir FV sistemin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiklerini açıklayarak global maksimum için bir izleme algoritması önermiştir. Açık devre geriliminin %85'ine eşit bir referans gerilimde ana program çalışmaya başlamaktadır. Herhangi bir bozulma oluncaya veya zamanlayıcı kesene kadar Hill Climbing veya P&O yöntemi uygulanarak global maksimum bulunmaya çalışılmıştır. Gölgelenme gibi herhangi bir bozulma olduğunda veya zamanlayıcı kestiğinde ana program izleme altprogramını çağırmış ve yeni global maksimum izlenmiştir. Zamanlayıcı, periyodik olarak 25s aralıklarla keserek yardımcı programı çağırmaktadır.

Nguyen ve Low (2010), FV hücrelerin güç-gerilim ilişkisinin Lipschitz fonksiyonu ile tanımlanması ve bir aralıkta Lipschitz fonksiyonunun global maksimumlarını aramak için dikdörtgenlere bölmeye dayanan bir yöntem

önermişlerdir. Önerilen algoritmanın izleme verimi ve hızı, Patel ve Agarwal'ın önerdiği algoritma ile kıyaslanmış ve daha verimli olduğu belirtilmiştir.

Nge et al. (2009), gerilim aralığında tarama yaparak global maksimum güç noktasını bulmaya yarayan bir tarama yöntemi önermişlerdir. Bu yöntem kullanıldığında önemli ölçüde güç kayıplarının olması durumunda tarama örnekleri arasındaki zaman aralığı artırılmaktadır. Ayrıca global maksimumun değişmesi durumunda hemen tarama yapılması gerekmektedir.

Syafaruddin et al. (2009), yapay sinir ağları ve bulanık mantık kullanılan bir izleme yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntemde FV dizine gelen farklı ışınlam ve gerilim değerleri ve bu değerlere karşılık gelen maksimum güç noktasındaki gerilim değerleri ile yapay sinir ağı eğitilmiş, FV dizinin çıkışındaki gerilim ile kıyaslanarak sistemin global maksimumda çalışıp çalışmadığının tespiti yapılmış ve buna göre bulanık mantık kontrolör ile DC/DC dönüştürücüye, çalışma aralığını ayarlamak üzere bir kontrol işareti gönderilmiştir.

FV sistem uygulamalarında yapay sinir ağları yaygınlıkla kullanılmaya başlanmıştır (Mellit and Kalogirou, 2008.). FV sistem tekniklerinin uygulanabilmesi için gereken meteorolojik verilerin tahmininde, FV sistemlerin boyutlandırılması, simülasyonu ve modellemesinde kullanılabilen YSA, FV sistemin maksimum güç noktasının tespit edilmesinde de kullanılabilmektedir.

Yapay sinir ağları, insan beynine benzer davranış gösteren sistemlerdir. Sistemin analitik denklemlerle tanımlanması gerekmeden, örneklerden oluşan bir veri setine göre sistem eğitilir ve yeni veriler için sistemin nasıl bir çıkış vereceğinin tahmin edilmesi istenilir.

Gölgelemenin negatif etkilerinin FV sistemi etkilememesi için kullanılan bypass diyotlar nedeniyle sistemin karakteristikleri karmaşık bir durum alır ve güç-gerilim eğrisi üzerinde birçok maksimum noktaları oluşur (Ji et al.,2009). Bu, sistemin matematiksel olarak tanımlanmasını zorlaştıran bir durumdur. Sistemin tam olarak tanımlanamadığı ve tanımlanmasının da gerekmediği durumlarda sistemlerin çözümü için yapay sinir ağlarını kullanmak mümkündür.

Literatürdeki yapılan çalışmalara bakıldığında YSA için, FV modüllerinin ışınlam değerleri giriş işareti olarak kullanılagelmiştir. Işınlam ölçmek sistemin tasarımını önemli ölçüde zorlaştırmakta ve maliyeti artırmaktadır. Bu tez

çalışmasında, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak YSA giriş işareti olarak her bypass diyotuna bağlı FV hücre grubunun gerilimleri kullanılmış ve homojen olmayan çalışma koşullarında FV sistemlerde global maksimum güç noktası izleyicisinin YSA kullanılarak tasarlanması amaçlanmıştır.

YSA' ların eğitilmesi için gerekli örnekler farklı şekillerde elde edilebilir. Bu tez çalışmasında gölgelenme koşullarında FV dizinin güç-gerilim karakteristiği incelenmiş ve gerilimin belirli aralıklardaki değerlerde değiştiği gözlemlenmiştir. Gerilimin az sayıdaki bu aralıklarda değişmesi, yapay sinir ağının eğitimi için verilerin elde edilmesinde ve buna bağlı olarak DC/DC dönüştürücünün giriş geriliminin ayarlanmasında kolaylık sağlamıştır. Her bir bypass diyota paralel bağlı olan bölümlerin gölgelenme koşullarındaki gerilimlerinin giriş değerleri, maksimum güç noktasındaki gerilim değerinin bulunduğu aralıktaki ortalama değerinin çıkış değerleri olarak kullanılarak YSA eğitilmiş ve farklı ışınım koşullarında maksimum güç noktasındaki gerilimin tahminlenmesi amaçlanmıştır. Böylece ışınım ve akım ölçmeye göre daha basit ve ucuz bir yol olan gerilim ölçme yoluyla maksimum güç noktasının izlenmesi gerçekleştirilmiştir. Eğitilmiş YSA sistemine ilave olarak ek bir algoritma geliştirilmiş, DC/DC dönüştürücüye işaret gönderilerek maksimum güç noktasındaki gerilimin, o gölgelenme koşullarındaki değerinin bulunduğu aralığın ortalama değerinde çalışması sağlanmıştır.

Bu çalışmada önerilen yöntemin uygulanabilirliğini araştırmak için seri bağlı iki FV modül ve seri bağlı dört FV modül olmak üzere iki ayrı sistem incelenmiştir.

İkinci bölümde YSA yapıları hakkında bilgi verilmiş ve bu çalışmada kullanılan yapı olan adaptif ağ tabanlı bulanık sonuç çıkarım sistemi (ANFIS) anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde FV sistemlerde YSA kullanımından bahsedilmiş, kısmî gölgelenme koşullarında FV sistemin davranışları ele alınmıştır.

Dördüncü bölümde FV sistemden elde edilen gerilim istenilen seviyeye getirmek için kullanılan DC/DC dönüştürücü topolojilerinden bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde bu tez çalışmasında önerilen yöntemin uygulama aşamaları açıklanmıştır.

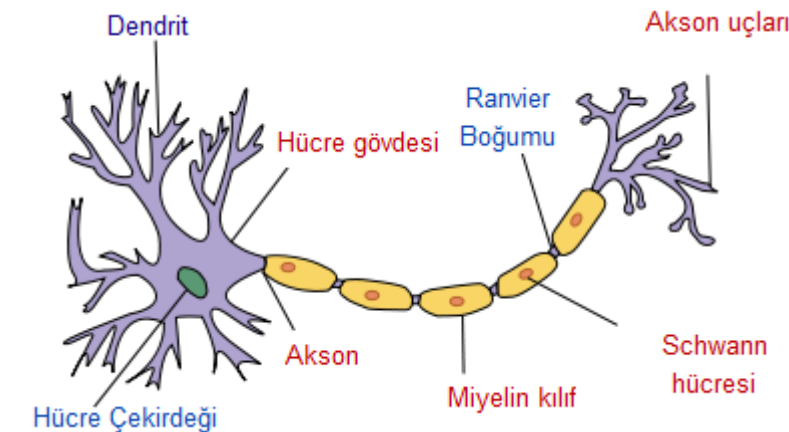
Altıncı bölümde önerilen yöntemin seri bağlı iki FV modül ve seri bağlı dört FV modülden oluşan sistemlere uygulanması ile elde edilen sonuçlar anlatılmıştır.

Yedinci bölümde önerilen yöntemin geleneksel yöntem ile karşılaştırma sonuçlarına yer verilmiş ve sistemin iyileştirilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

2. YAPAY SİNİR AĞLARI

2.1 Biyolojik Model

Şekil 2.1’de örnek olarak gösterilen bir nöron genel olarak hücre gövdesi (soma), buradan çıkan kollar dentrit ve aksondan oluşur. Bir nöron diğer nöronlardan işaret alan pek çok dentrite sahip olabilir, ancak genellikle bir aksona sahiptir. Aksonun hücre gövdesinden çıkan kısmına akson tepesi denilir. Çekirdeğin bulunduğu ve protein sentezinin yapıldığı hücre gövdesi, hücrenin kalbidir. Akson, akson tepesinde üretilen elektrik işaretlerini, uzunluğu boyuca iletir. Bu elektrik işaretlerine aksiyon potansiyelleri denilir. Aksonun diğer bitiş noktası presinaptik dallara bölünür. Aksiyon potansiyelleri, nöronların beyne bilgiyi iletmek için kullandıkları elektrik işaretleridir. Bu işaretlerin tümü aynıdır. Dolayısıyla beyin, aldığı bilgiyi, işareti aldığı yola dayanarak hesaplar. Beyin gönderilen işareti analiz eder ve bu bilgiden aldığı bilgi tipini yorumlayabilir. Myelin, aksonu çevreleyen ve yalıtın yağlı dokudur. Çoğunlukla kısa aksonlar, bu yalıtıma gerek duymaz. Aksonun yalıtılmayan kısımları vardır, bu kısımlara Ranvier boğumları denilir. Bu boğumlarda, akson boyunca giden işaret tekrar üretilir. Böylece işaretin hızlı ilerlemesi ve sabit kalması sağlanır. Sinaps, iki nöron arasındaki bölgedir. Nöronlar gerçekte fiziksel olarak dokunmazlar, sinaptik yarıklarla ayrılırlar ve elektrik işaretleri kimyasal 13 etkileşimi aracılığıyla gönderilir. İşareti gönderen nöron presinaptik hücre olarak, işareti alan nöron postsinaptik hücre olarak adlandırılır. İşaretler, hücre zarının dışındaki ve içindeki sodyum ve potasyum yoğunluğunun farkına bağlı olarak zar potansiyelinde üretilir (Jalluri and Ram, 2010)



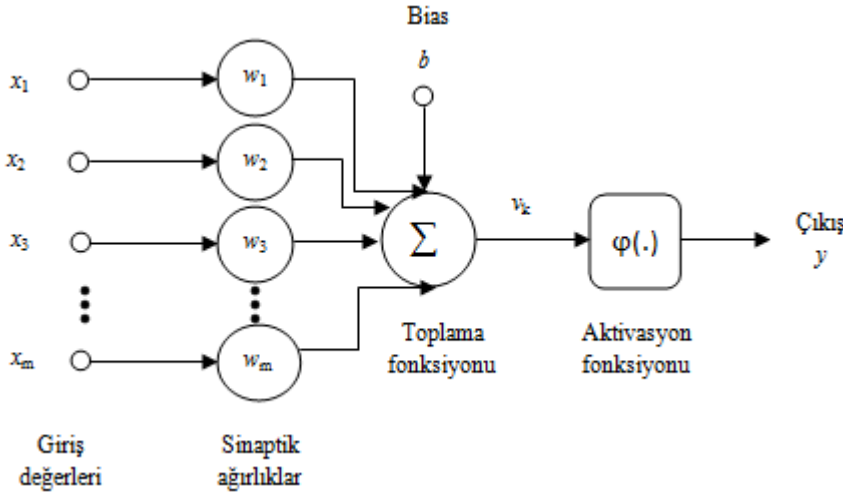
Şekil 2.1 Bir biyolojik nöron yapısı (Wikipedia, 2011)

2.2 Matematiksel Model

Yapay Sinir Ağları, nöronların basitleştirilmesiyle ortaya çıkmıştır (McCulloch and Pitts, 1943).

Bir nöronun üç temel elemanı vardır. Bunlardan biri nöronların sinapsleridir ve ağırlık değerleriyle ifade edilir. Negatif değerler bağlantının engelleyici etkisini, pozitif değerler uyarıcı etkisini gösterir. Bir diğer eleman toplama fonksiyonudur. Nöronun girişine gelen değerler toplanır. Bir diğeri ise nöronun çıkış değerini sınırlayan aktivasyon fonksiyonudur.

Bir nöron matematiksel olarak şekil 2.2' deki gibi ifade edilebilir.(Haykin, 2009)



Şekil 2.2 Bir nöronun matematiksel modeli

$x_1, x_2, \dots, x_m$ değerleri nöronun giriş değerlerini, $w_1, w_2, \dots, w_m$ değerleri sinaptik ağırlıkları, b bias değerini temsil etmek üzere;

$$u = \sum_{j=1}^m w_j x_j \quad (2.1)$$

$$y = \varphi(u + b) \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilebilirler.

2.3 YSA yapıları

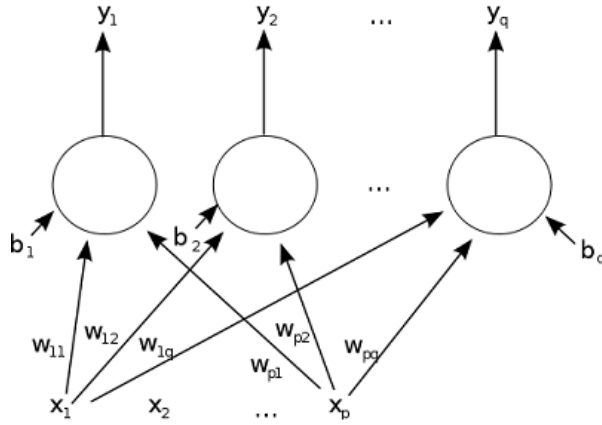
YSA yapıları, örneklerden yola çıkarak öğrenmeyi gerçekleştirirler ve elde bulunmayan veriler dolayısıyla oluşabilecek hatalara karşı toleranslıdırlar. Eğitilen yapılar tahmin ve genelleme işlemini hızlı bir şekilde yapabilirler.

Çoğunlukla kullanılan YSA yapıları, ileri beslemeli ağlar ve radyal tabanlı ağlardır.

2.3.1 Çok katmanlı ağlar

En bilinen YSA yapısıdır. Giriş katmanı, en az bir ara katman ve çıkış katmanı olmak üzere en az üç katman bulunur. Her bir katman, nöronlardan oluşur. Bilgi, girişten ara katmanlar boyunca çıkışa doğru tek yönde ilerler.

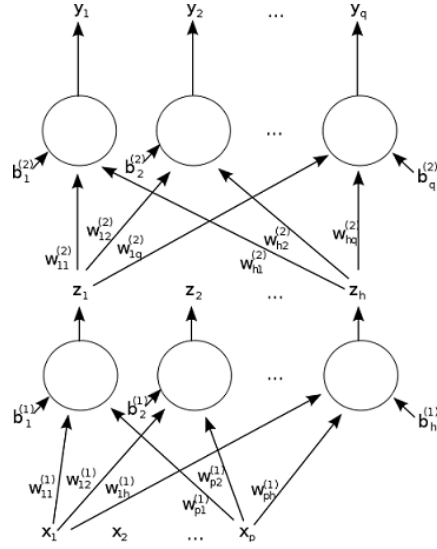
Şekil 2.3'te örnek olarak verilen üç katmanlı ağ yapısı ele alındığında, sistemin giriş-çıkış ilişkisi matris olarak denklem 2.3'teki gibi ifade edilir:



Şekil 2.3 Üç katmanlı ağ yapısı

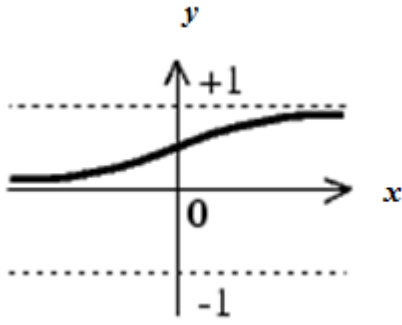
$$y = \varphi(\sum_{i=1}^p w_i x_i + b) \quad (2.3)$$

Aşağıdaki Şekil 2.4' te dört katmanlı bir YSA yapısı görülmektedir.



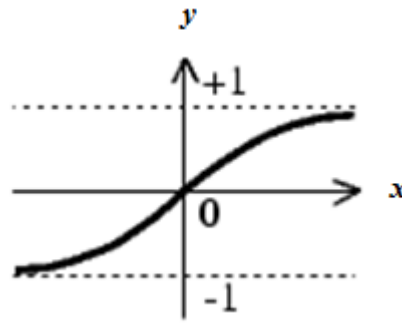
Şekil 2.4 Dört katmanlı ağ yapısı

Çok katmanlı ağlarda giriş değerlerine göre çıkış değerini hesaplamak için aktivasyon fonksiyonu olarak çoğunlukla tanjant-sigmoid, log-sigmoid, doğrusal aktivasyon fonksiyonları kullanılır. Bu fonksiyonlar Şekil 2.5' te verilmiştir.



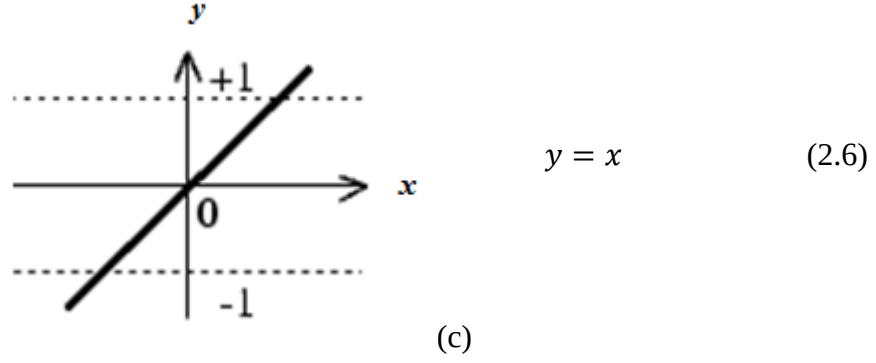
(a)

$$y = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2.4)$$



(b)

$$y = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1 \quad (2.5)$$



Şekil 2.5 a) log-sigmoid, b) tanjant sigmoid, c) doğrusal

Çok katmanlı ağlarda,

- Ara katman sayıları,
- Ara katmanlardaki nöronlar,
- Ara ve çıkış katmanlarında kullanılan aktivasyon fonksiyonları,

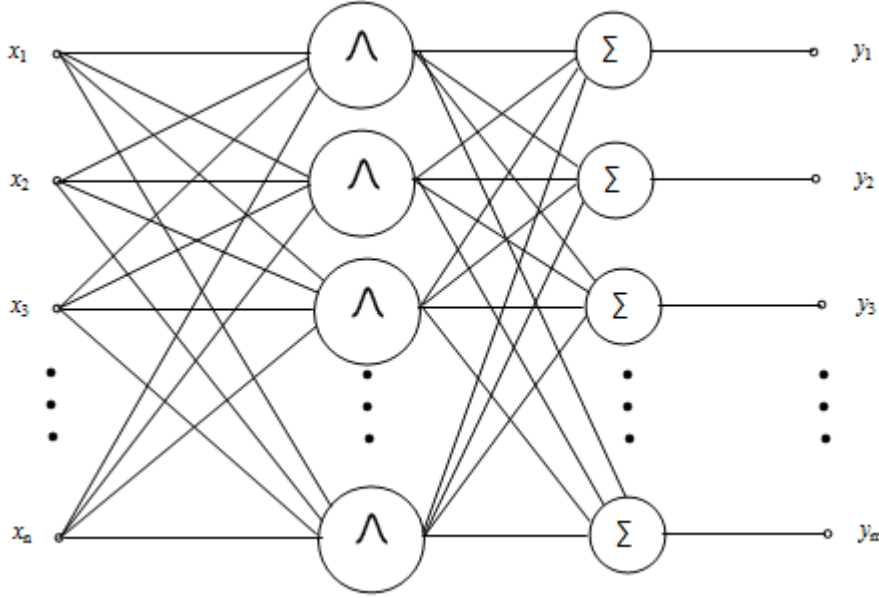
gibi parametreler değiştirilerek ağın istenilen hata değerine ulaşacak şekilde eğitilmesi sağlanır.

2.3.2 Radyal tabanlı ağlar

Eğitim süresinin uzun olması, kullanılacak ara katman ve nöron sayılarının belirlenmesinin zorluğu durumları çok katmanlı ağlarda rastlanabilen sorunlardandır.

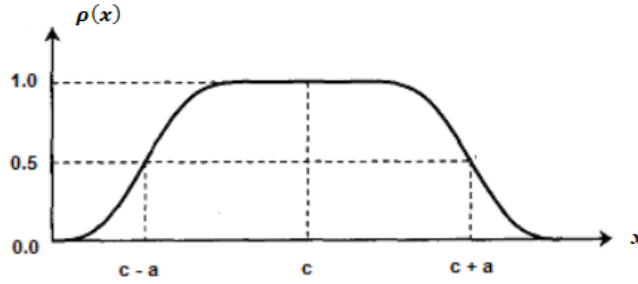
Radyal tabanlı ağların kullanımı, çok katmanlı ağlara göre daha fazla nöron gerektirebilmekle birlikte eğitiminin daha kısa sürede yapılabilmesi nedeniyle daha avantajlıdır (Ekici, 2007).

Radyal tabanlı ağlar, giriş, doğrusal olmayan radyal taban fonksiyonlu ara ve doğrusal çıkış katmanı olmak üzere üç katmandan oluşur (Şekil 2.6). Ara katmanda aktivasyon fonksiyonu olarak Gauss fonksiyonu kullanılır (Şekil 2.7).



Şekil 2.6 Radyal tabanlı ağ yapısı

Gauss fonksiyonunu i. nöron için



Şekil 2.7 Gauss fonksiyonu

$$\rho(\|x - c_i\|) = \exp\left(-\frac{\|x - c_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (2.7)$$

Burada $\|\dots\|$ ifadesi Öklid uzayını temsil eder. c_i i. nöron için merkezi, σ_i ölçekleme faktörüdür.

Çıkış katmanında, ara katmandan alınan değerler toplanır ve çıkış değerleri elde edilir. Ara katmanda k adet nöron kullanılan bir sistemde a_i çıkış katmanındaki ağırlık katsayılarını ifade etmek üzere giriş ve çıkış değerleri arasındaki ilişki denklem 2.8' deki gibi ifade edilebilir:

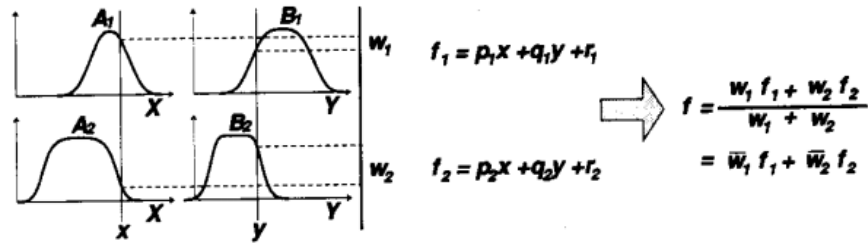
$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^k a_i \rho(\|x - c_i\|) \quad (2.8)$$

Radyal tabanlı ağların eğitiminde istenilen hata değerine ulaşıncaya kadar ara katmana nöron ilave edilir.

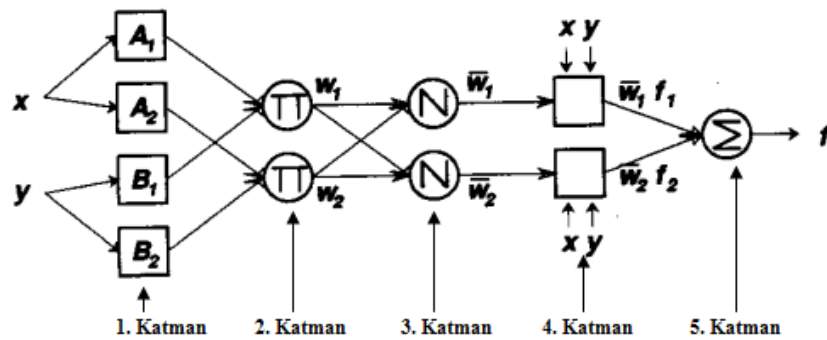
2.3.3 Adaptif ağ tabanlı bulanık sonuç çıkarım sistemi (ANFIS)

Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Sonuç Çıkarım Sistemi (ANFIS-Adaptive Network Based Fuzzy Inference Systems), yapay sinir ağlarının paralel hesaplama ve öğrenme yeteneği ile bulanık mantığın çıkarsama özelliğini kullanan bir sistemdir (Demirel vd., 2010). Sugeno tipi çıkarım sistemi ve hibrid öğrenme algoritması kullanır. ANFIS yapısında, kurallar tüm verilere göre oluşturulabilmekte veya kural oluşturulması için uzman görüşlerinden faydalanılabilmektedir.

Şekil 8'deki gibi iki girişli tek çıkışlı bir sistem şöyle ifade edilebilir. (Jang, 1993; Demirel vd. 2010):



(a)



(b)

Şekil 8 a) Tip-3 bulanık mantık, b) Tip-3 eşdeğer ANFIS

Bu sistemde kural tabanı, Takagi ve Sugeno tipinin iki bulanık if-then-else kuralını içerir.

Kural 1: Eğer $x=A_1, y=B_1$ ise $f_1 = p_1x + q_1y + r_1$,

Kural 2: Eğer $x=A_2, y=B_2$ ise $f_2 = p_2x + q_2y + r_2$

Sistemin eşdeğer devresi Şekil 8.b’de gösterilmektedir. Sistem beş katmandan oluşur.

1. Katman: Bu katmandaki her bir düğüm x i düğümünün girişi, A_i düğümünün temsil ettiği bulanık küme olmak üzere, A_i nin üyelik fonksiyonu şu şekilde tanımlanır:

$$O_i^1 = \mu_{A_i}(x) \quad (2.9)$$

Burada $\mu_{A_i}(x)$ olarak genellikle denklem 2.10 veya 2.11’ deki gibi en büyük değeri 1, en küçük değeri 0’a eşit olan gauss fonksiyonu seçilir.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x-c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \quad (2.10)$$

$$\mu_{A_i}(x) = \exp \left\{ - \left(\frac{x-c_i}{a_i} \right)^2 \right\} \quad (2.11)$$

a_i, b_i, c_i parametreleri değiştirilince fonksiyon da buna göre değişir.

2. Katman: Bu katmana gelen işaretler çarpılır ve çıkan sonuç bir sonraki katmana iletilir.

$$\omega_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y) \quad i=1,2 \quad (2.12)$$

Bu katmanda her bir düğümün çıkışı, kuralın ateşleme gücünü gösterir.

3. Katman: Bu katmanda her bir düğüme gelen değerler normalize edilir.

$$\bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2} \quad i=1,2 \quad (2.13)$$

4. Katman: Bu katmanda her bir çıkış denklem 2.14’teki gibi ifade edilir.

$$O_i^4 = \overline{\omega}_i f_i = \overline{\omega}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (2.14)$$

5. Katman: Bu katmana gelen tüm işaretler toplanır.

$$O_i^5 = \sum_i \overline{\omega}_i f_i \quad (2.15)$$

Sonuçta ANFIS sisteminin gerçek değeri elde edilir.

3. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

YSA' nın

- Matematiksel olarak ifadesi zor olan, karmaşık problemlerin çözümünde uygulanabilirliği,
- Örneklerden öğrenen sistemin, daha sonraki veri girişlerinde gerçeğe yakın sonuçlar verecek şekilde tahmin ve genelleme yeteneğinin olabilirliği,
- Eksik veya hatalı veriler olması halinde tolerans göstermesi

mümkündür.

Fotovoltaik Sistemlerin,

- Çevre şartlarına (iklim, ışıınım, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, vb.) bağılılığı nedeniyle sistemin tasarımının karmaşıklığı,
- Kurulumu için gereken verilerin elde edilmesinin maliyetli oluşu ve uzun zaman alması,
- Kurulumunda gerekli verilerin elde edilmesinde karşılaşılabilecek olumsuzluklar (cihazın arızalı oluşu, kalibrasyonunun bozuk olması, vb.) nedeniyle eksik ve/veya hatalı verilerin kaydedilmesi,
- Kurulum için elde edilen verilerin uzun dönemli veri tahmininde kullanılmasının gerekliliği

gibi olumsuz şartlarda tasarlanması gerekliliği nedeniyle YSA' nın FV sistemlerinin tasarım ve simülasyonunda uygulanabilirliği mümkün ve tercih edilen bir seçenektir.

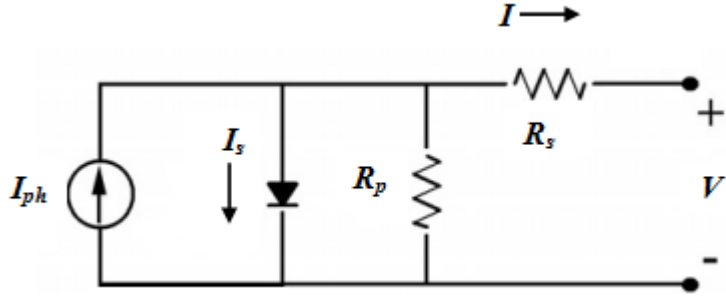
Örneğin, FV sistemin kurulacağı yerin coğrafi değişkenleri (enlem, boylam, yükseklik) kullanılarak, güneş ışıınının atmosfer dışı ışıınıma oranı olan ortalama aylık açıklık indeksi tahmininde ANFIS yapısı kullanılabilmekte, böylece uzun dönemli güneş ışıınımı tahmini yapılarak otonom bir FV sistem boyutlandırılabilir (Mellit et al., 2008).

Diğer bir uygulama olarak, YSA çok katmanlı ağ yapısı kullanılarak ortalama günlük güneş ışıınımı, hava sıcaklığı ve içinde bulunan gün bilgileri ile daha sonraki günler için güneş ışıınımı tahmini yapılabilmektedir (Mellit and Pavan, 2010).

Bir başka yerde ise ışıınım ve sıcaklık değerleri kullanılarak bir FV modülün akım-gerilim eğrisi elde edilebilmekte ve farklı ışıınım ve sıcaklık değerleri için

FV sistemden üretilebilecek enerji tahmin edilebilmektedir (Almonacid et al., 2009).

Bir FV modülün tek diyotlu eşdeğer devresi şekil 3.1’de görülmektedir. Bu modelin matematiksel olarak ifadesi denklem 3.1’de yapılmaktadır (Karatepe et al., 2007).

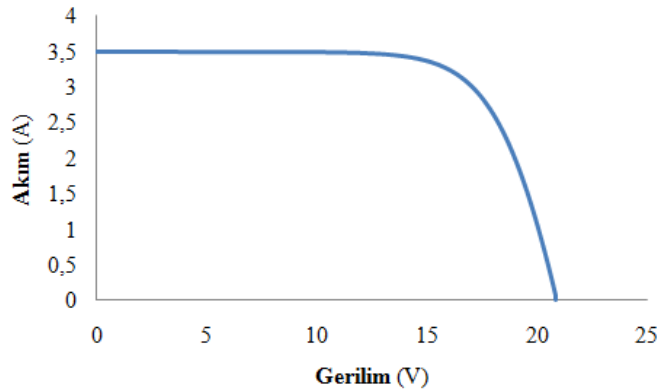


Şekil 3.1 FV modülün tek diyotlu eşdeğer devre modeli

I : FV modülün çıkış akımı, I_{ph} : fotovoltajik akım, I_s : diyot doyma akımı, q : elektrik yükü, V : modülün gerilimi, R_s : Seri direnç, n : diyotun kalite faktörü, N_s : bir modül içerisindeki seri bağlı güneş hücresi adedi, k : Boltzmann sabiti, T : hücre sıcaklığı(K), R_p : paralel direnç olmak üzere;

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{nN_s kT} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (3.1)$$

olmaktadır. Bu modülün akım-gerilim eğrisi şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2 FV modül akım-gerilim eğrisi

FV modülün akım ve gerilimi arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması, denklemdeki değişkenlerin çevre şartları (sıcaklık, ıslanım, vb.) ile değışmesi hesaplamanın zor ve karmaşık bir hal almasına neden olmaktadır.

Bir FV sisteme bağlanacak yükün seçiminde sistemden elde edilecek maksimum akım ve gerilim değeri önemli rol oynar. FV sisteme bağlanabilecek maksimum yük için gereken akım ve gerilim değeri, FV sistemden elde edilebilecek maksimum akım ve gerilimin olduğu noktadır. Dolayısıyla, yükün çalışabilmesini sağlamak amacıyla FV sistemin maksimum güç noktasında çalıştırılması önemlidir. Bunun için önerilen geleneksel yöntemlerin (P&O, IncCond, vb.) kullanışlı olmadığı durumlar (değişen ıslanım koşulları, maksimum güç noktasında salınım olması, güç kayıpları, vb.) daha önce de belirtilmişti. Literatürde bu gibi durumlar için pek çok yayında YSA' nın kullanımı önerilmektedir.

Hiyama et al.(1995), giriş değeri olarak açık devre gerilimi ve günün hangi saati olduğuna dair bilgileri kullanarak giriş, ara ve çıkış olmak üzere üç katmandan oluşan bir YSA modeli oluşturmuştur. YSA'nın çıkışında FV modülün en iyi gerilim değeri, homojen çalışma koşullarında, elde edilerek sistemden elde edilebilecek maksimum güç tahmini yapılmıştır.

Bir başka çalışmada Al-Amoudi and Zhang (2000), Radyal tabanlı YSA kullanmıştır. ıslanım, sıcaklık ve yük gerilimini giriş değeri, yük akımını çıkış değeri olarak kullanıldığı sistem eğitilerek akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiği eğrilerinin üretilmesinde kullanılmıştır. Bu model ile FV dizininin değişkenleri (I_{KD} , V_{AD} , V_{mak} , I_{mak} , P_{mak}) belirlenerek bir FV dizinin modellenmesi yapılmıştır.

Ocran et al.(2005) yaptıkları çalışmada, homojen çalışma koşulları altında, ileri beslemeli bir YSA modeli kullanmışlardır. Bir referans güneş hücresinin açık devre gerilimi ve zaman değişkeni YSA' na giriş değeri olarak alınmış ve FV panelin maksimum güç noktasındaki gerilim değeri elde edilmeye çalışılmıştır. YSA, deneylerden elde edilen sonuçlara göre eğitilmiştir. Deney ve simülasyon sonuçlarına göre verimli olduğu belirtilen yöntemin geleneksel yöntemlere göre bir diğer avantajı da gerilim ve akım sensörüne ihtiyaç duyulmamasıdır.

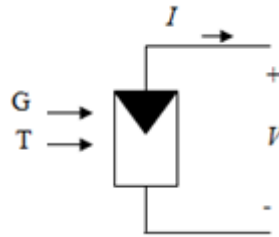
Karatepe et al.(2007) tarafından modül sıcaklığı ve ıslanım değeri giriş değeri olarak alınarak FV modülün eşdeğer devre değişkenleri (I_{ph} , I_s , R_s , n , R_p)

nin elde edilmesinde YSA yapısı kullanılmış ve farklı konfigürasyonlarda ve farklı ışınlam koşulları altında FV dizinlerin akım-gerilim karakteristikleri elde edilmiştir.

FV modüldeki hücrelerin bir kısmı gölgelendiğinde gölgelenmiş hücrelerin ürettiği akım gölgelenmemiş hücrelerin ürettiğinden daha azdır. Ayrıca gölgelenmiş hücreler, üretilen gücün bir kısmını tüketirler ve bir yük gibi davranırlar. Bu da gölgelenmiş hücrelerin ısınmasına ve zamanla zarar görmesine yol açar. Bu etkiyi ortadan kaldırmak için, FV modüldeki bağlantı kutusunda bypass diyotu kullanılır. Bypass diyotun bağlı olduğu bölümdeki hücrelerde gölgelenme olduğunda bypass diyot ileri yönde iletme geçer ve gölgelenmemiş hücrelerce üretilen akım bypass diyot üzerinden akar. Böylelikle, bypass diyot gölgelenmiş hücrelerin ısınmasını ve zarar görmesini önler. (Karatepe et al., 2007)

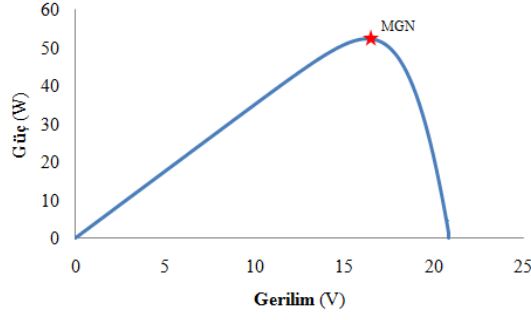
Diğer yandan gölgelenmiş bölgede akımın bypass diyotun üzerinden akması nedeniyle bağlı bulunduğu hücrelerin gerilimi diyot geriliminde kalır. Böylece FV modül tarafından üretilen güçteki azalma sınırlandırılırken FV modülün güç-gerilim eğrilerinde de bozulmalar olur. FV modülün gölgelenmediği durumda sadece tek maksimum güç noktası bulunurken, gölgelenme durumunda bir veya daha fazla yerel maksimumlar oluşur. Bu gibi durumlarda FV sistemin maksimum güç noktasının izlenilmesi zordur.

Şekil 3.3' teki gibi tek modülden oluşan bir FV sistemi ele alalım.



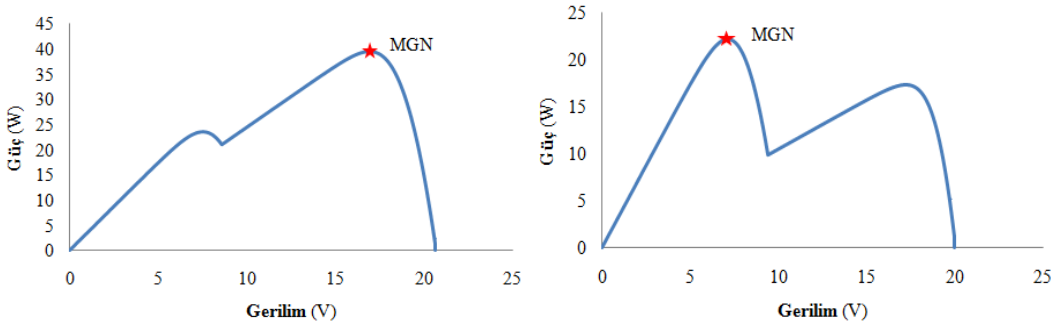
Şekil 3.3 Tek modüllü FV sistem

Gölgelenmenin olmadığı bir durumda (1000W/m^2 ışınlam, 25°C sıcaklık altında) bir FV modülün güç-gerilim eğrisi Şekil 3.4'teki gibi olur.



Şekil 3.4 Gölgeleme olmadığı durumda FV modülün güç-gerilim eğrisi

Ancak modülün bir kısmının gölgelendiği durumlarda güç-gerilim eğrileri Şekil 3.5'teki gibi olabilmektedir.



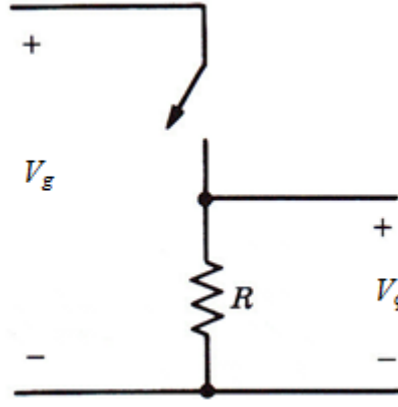
Şekil 3.5 İki farklı kısmî gölgeleme durumunda FV modülün güç-gerilim eğrileri

FV modülün güç-gerilim eğrisinden de görülebileceği gibi, sadece biri gerçek olmak üzere iki tane maksimum güç noktası bulunmaktadır. Daha önce de belirtilen geleneksel maksimum güç noktası izleme yöntemlerinin bu koşullarda yerel maksimumu global maksimum güç noktası gibi algılamaları ve asıl maksimum güç noktasını bulamamaları söz konusu olabilmektedir.

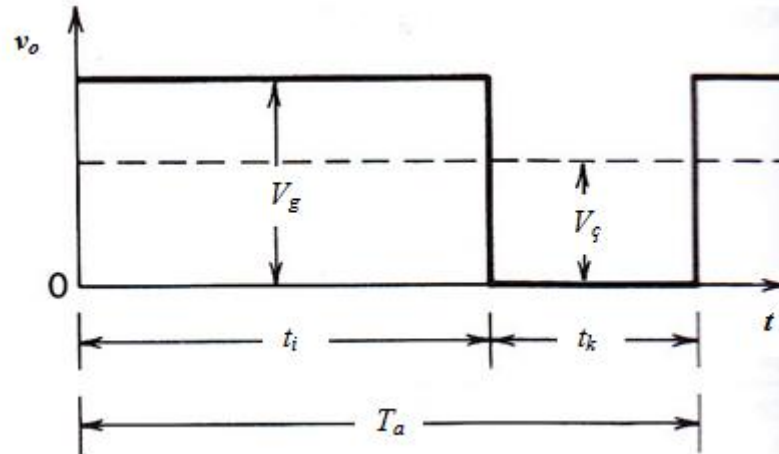
Bu tez çalışmasında, akım ve gerilim arasındaki ilişkinin karmaşıklığı, gölgeleme koşulları altında birden fazla seri bağlı modülün bulunduğu durumlarda maksimum noktalarının da birden fazla olması gibi zorluklar YSA kullanılarak aşılmaya çalışılmıştır.

4. DC/DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

En iyi eşleşmeyi sağlayarak FV sistemden elde edilen enerji ile sisteme bağlanan yükü çalıştırabilmek için FV modüller ile yük arasında farklı bağlantılar mümkündür. Maksimum güç noktası izleyici DC/DC dönüştürücüler de bunlardan biridir. Bu dönüştürücüler, FV sistemden elde edilen gerilimi, istenilen seviyeye getirmek üzere kullanılırlar. Doğru akımı bir seviyeden başka bir seviyeye getirmek için, anahtarlama dönüştürücüler bir veya daha fazla anahtar kullanırlar (Şekil 4.1). Anahtarın çalışma oranı (D), anahtarın iletimde olma süresinin anahtarlama periyoduna oranıdır. Bir DC/DC dönüştürücüde çıkış gerilimi, anahtarın iletim ve kesimde kalma süreleriyle kontrol edilebilir.



(a)



(b)

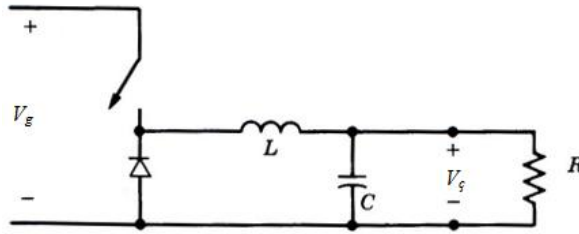
Şekil 4.1. a) DC/DC dönüştürücü devresi b) DC/DC dönüştürücünün çalışma grafiği

$$D = \frac{t_i}{T_a} \quad (4.1)$$

Farklı dönüştürücü topolojilerini sisteme uygulamak mümkündür. Bunlardan düşürücü ve yükseltici dönüştürücüler temel dönüştürücülerdir, bunların birleştirilmesiyle düşürücü yükseltici dönüştürücü tasarlanabilir. (Mohan et al., 2003)

4.1 Düşürücü Dönüştürücüler

Giriş geriliminden daha küçük çıkış gerilimi üretir. Basit bir şeması şekil 4.2' de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Düşürücü DC/DC dönüştürücü devresi

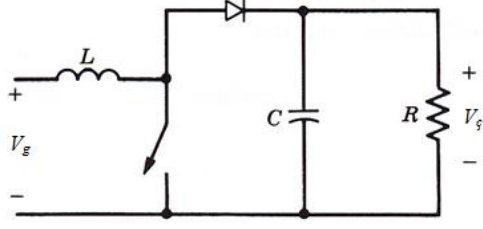
$$\frac{V_{\ç}}{V_g} = D \quad (4.2)$$

Anahtarın iletim zamanında, giriş işareti bobine ve yüke enerji sağlar. Anahtar kesimde iken bobin akımı diyot üzerinden akar ve bobinde depolanan enerjinin bir bölümü yüke aktarılır. Sistemin kararlı olduğu durumlarda kondansatörün çok büyük olduğu varsayılır. (Mohan et al., 2003)

4.2 Yükseltici Dönüştürücüler

Bu dönüştürücüler daima giriş geriliminden daha büyük bir çıkış gerilimi üretirler.

Şeması Şekil 4.3' te görülen yükseltici dönüştürücülerde, anahtar iletimde iken diyot ters kutuplandığından çıkış katı izole edilmiş olur ve girişte bobine enerji sağlanır. Anahtar kesimde iken çıkış katı bobin üzerinden enerjiyi girişten alır. Sabit bir çıkış gerilimi elde etmek için çıkış kondansatörü çok büyük olmalıdır. (Mohan et al., 2003)

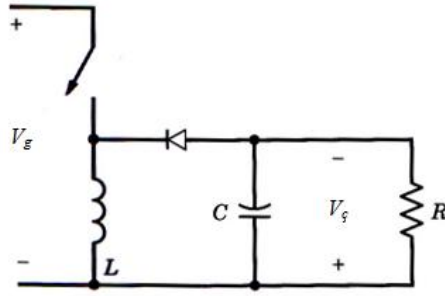


4.3. Yükseltici DC/DC dönüştürücü devresi

$$\frac{V_{\text{ç}}}{V_g} = \frac{1}{1-D} \quad (4.3)$$

4.3 Düşürücü-Yükseltici Dönüştürücüler

Düşürücü ve yükseltici dönüştürücülerin bağlantısıyla elde edilir (Şekil 4.4). Giriş geriliminden daha küçük veya daha büyük bir çıkış gerilimi istenilen yerlerde kullanılabilir.



Şekil 4.4. Düşürücü yükseltici DC/DC dönüştürücü devresi

Anahtar iletimde iken girişten gelen işarette bobin üzerinde enerji depolanır ancak diyot ters kutuplanmıştır. Anahtar kesimde iken bobinde depolanan enerji çıkışa aktarılır ancak bu sırada girişten enerji sağlanmamaktadır. Kararlı durumda çıkış kondansatörünün çok büyük olduğu varsayılarak sabit çıkış gerilimi elde edilebilir.

Çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı, bağlı olan dönüştürücülerin oranlarının çarpımına eşittir.

$$\frac{V_{\text{ç}}}{V_g} = D \frac{1}{1-D} \quad (4.4)$$

Her iki dönüştürücüdeki anahtarların çalışma oranlarının birbirine eşit olduğu varsayılır. Çalışma aralığına bağlı olarak giriş geriliminden daha yüksek veya daha düşük çıkış gerilimi elde edilebilir. (Mohan et al., 2003)

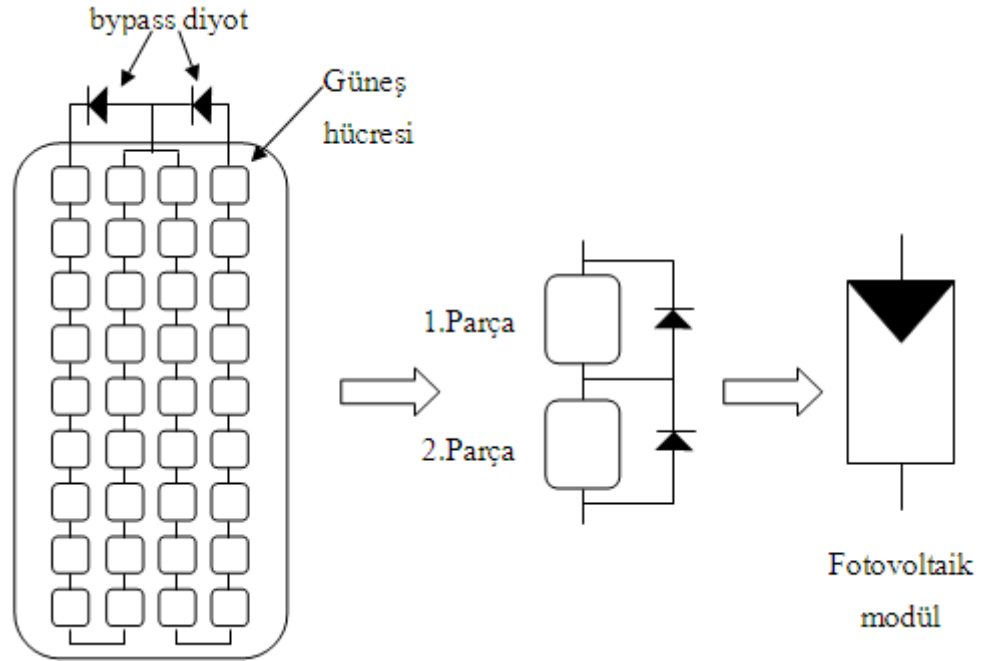
5. MATERYAL VE YÖNTEM

Önerilen global maksimum güç izleme yönteminin çalışabilirliğini ve performansını göstermek için FV modül ve düşürücü-yükseltici DC/DC dönüştürücü modelleri oluşturulmuştur. Modellenen FV modülün 1000W/m^2 ışınlım ve 25°C sıcaklık altında karakteristik özellikleri Çizelge 5.1’ de verilmiştir.

Çizelge 5.1 FV modülün özellikleri

Maksimum güç, P_{mgn} (W)	55
Açık devre gerilimi, V_{AD} (V)	21,7
Kısa devre akımı, I_{KD} (A)	3,45
Maksimum güç noktasındaki gerilim, V_{mgn} (V)	17,4
Maksimum güç noktasındaki akım, I_{mgn} (A)	3,15

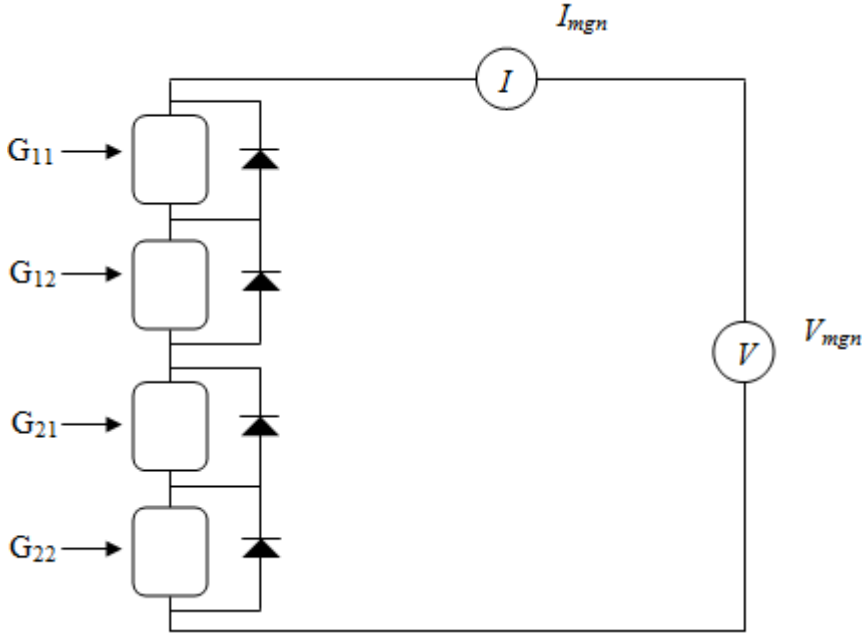
Her bir FV modül 36 adet seri bağlı güneş hücresinden oluşmaktadır. Her 18 güneş hücresine bir bypass diyotu paralel bağlanmıştır. FV modül yapısı Şekil 5.1’ de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. FV modül yapısı

Fotovoltaik sistemin davranışları belirlenirken her bir modüldeki bypass diyota paralel bağlı bölümlerin farklı ışınım koşulları altında olma durumları incelenmiştir.

Öncelikle Şekil 5.2’ deki gibi iki modülden oluşan bir FV sistem ele alınmıştır.



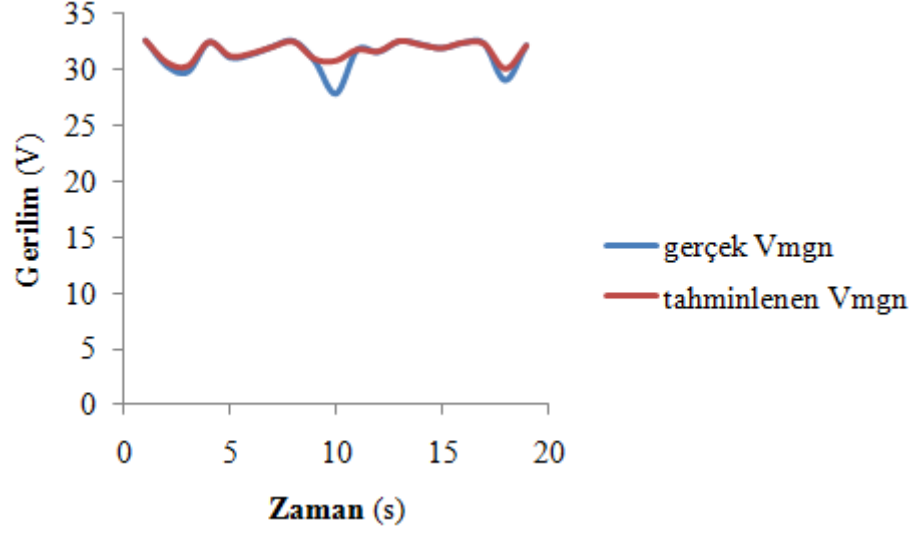
Şekil 5.2. Seri bağlı iki FV modülden oluşan sistem yapısı

Öncelikle, kısmî gölgelenmenin olmadığı, her bir bölümün eşit ışınım aldığı durumları incelenmiştir. Sistemin bu durumdaki maksimum güç noktası gerilimleri Çizelge 5.2’deki gibi olmaktadır.

Çizelge 5.2 FV sisteme uygulanan ışınım koşulları

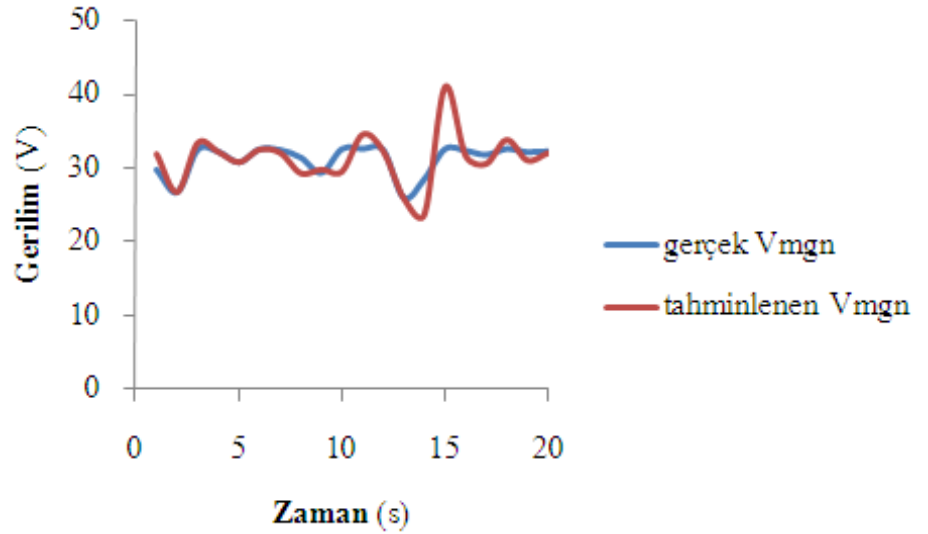
G_{11}	G_{12}	G_{21}	G_{22}	V_{mgn}
1000	1000	1000	1000	32,64
950	950	950	950	32,62
50	50	50	50	26,83
975	975	975	975	32,64
925	925	925	925	32,56
75	75	75	75	27,81

Bu durumda, maksimum güç noktası gerilimini tahminleme amacıyla ANFIS yapısı kullanılmıştır. 39 durumdan oluşan veri setinde ilk 20 durum eğitim, sonraki 19 durum da test amacıyla kullanılmıştır. 20 kural oluşmuştur. YSA yapısının eğitim hatası 0,0062, test hatası 0,748 olmuştur. Eğitilmiş YSA yapısının test aşamasındaki performansı Şekil 5.3' te görülmektedir.



Şekil 5.3. Gölgeleme olmadığında eğitilmiş YSA yapısının test performansı

Benzer şekilde kısmî gölgelemenin olmadığı bir başka durum ele alındığında maksimum güç noktasını tahminleme amacıyla eğitilmiş YSA yapısının test aşamasındaki performansı şekil 5.4' te görülmektedir.



Şekil 5.4. Gölgeleme olmadığında eğitilmiş YSA yapısının test performansı

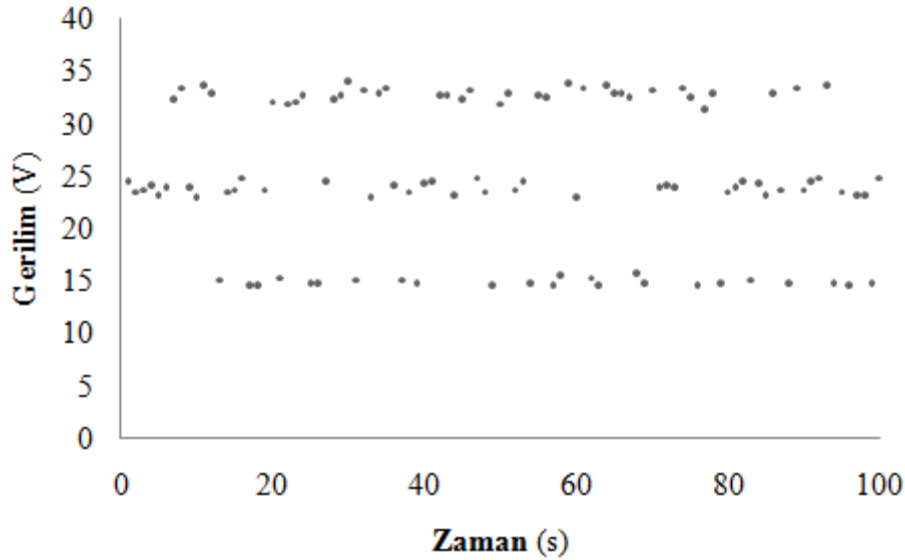
Görüldüğü üzere, tüm modüllerin eşit ışınlam aldığı durumda maksimum güç noktası geriliminin eğitilmiş YSA ile tahminlenmesinde gerçek değerlere yakın sonuçlar elde edilmektedir.

Bununla birlikte FV sistemdeki her bir modülün aldığı ışınlam aynı olmayabilir. Böyle bir durumu incelemek üzere her bir bypass diyotun bağlı olduğu bölüme Çizelge 5.3'teki gibi rastgele ışınlam gönderilmiş ve maksimum güç noktasındaki gerilim değerleri bulunmuştur.

Çizelge 5.3 FV sisteme uygulanan kısmi gölgelenme koşulları

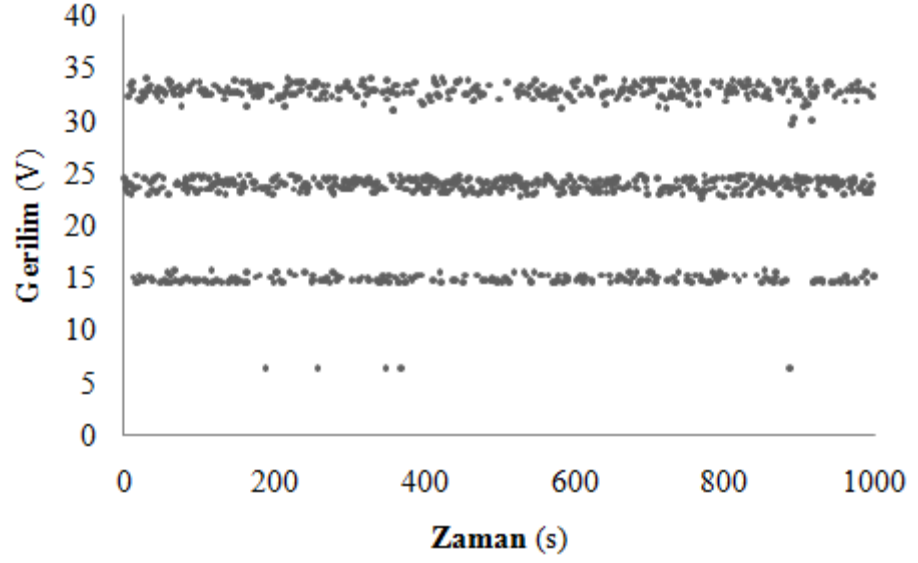
G_{11}	G_{12}	G_{21}	G_{22}	V_{mgn}
834	127	290	412	24,54
565	563	288	790	23,43
606	776	317	633	23,21
832	145	939	252	14,81

Maksimum güç noktasındaki gerilim değerleri bir grafik üzerinde Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Kısmî gölgelenme koşullarında seri bağlı iki FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri

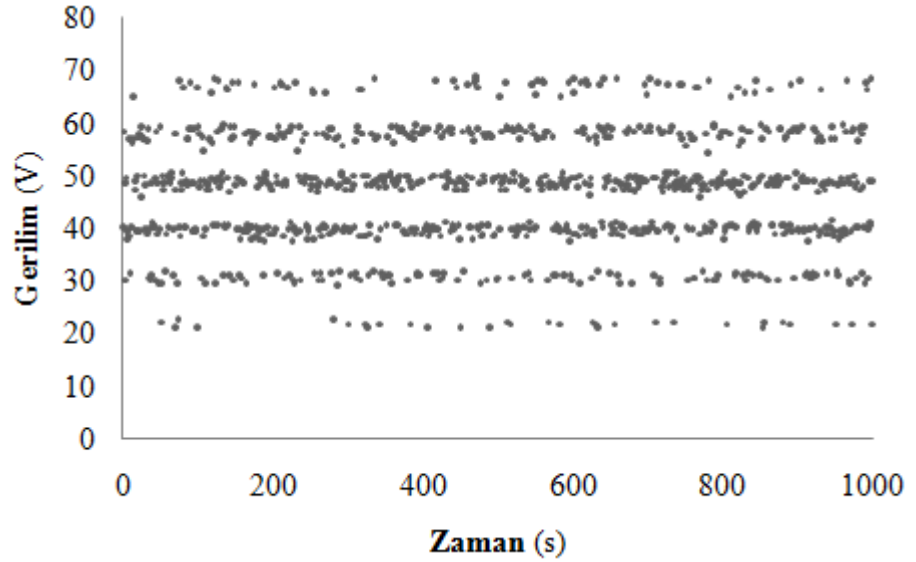
Aynı FV sistem 1000 farklı gölgelenme koşulunda incelendiğinde, Şekil 5.6'teki gibi bir durum ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.6. 1000 farklı kısmî gölgelenme koşulunda seri bağlı iki FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri

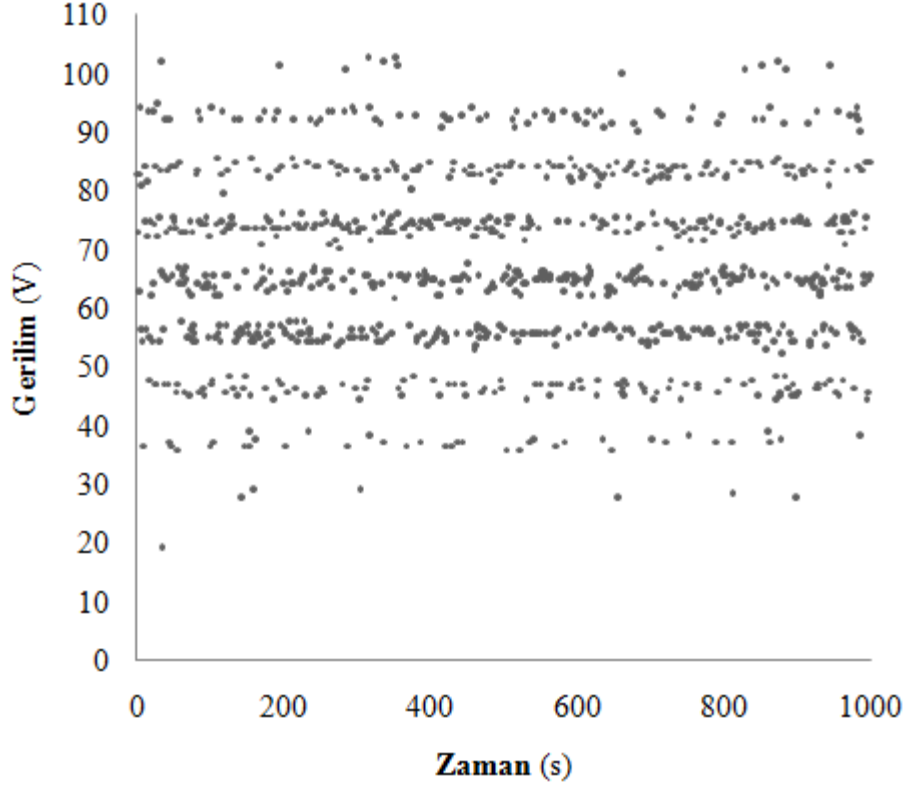
Seri bağlı iki modülden oluşan bu FV sistem için yaklaşık olarak [6,41], [14,59-15,69], [22,55-24,76], [28,08-34,05] şeklinde dört tane aralık ortaya çıkmıştır.

Benzer şekilde farklı gölgelenme koşulları altında seri bağlı dört modülden oluşan bir FV sistemin maksimum güç noktasındaki gerilimleri incelendiğinde Şekil-5.7' deki gibi olmuştur.

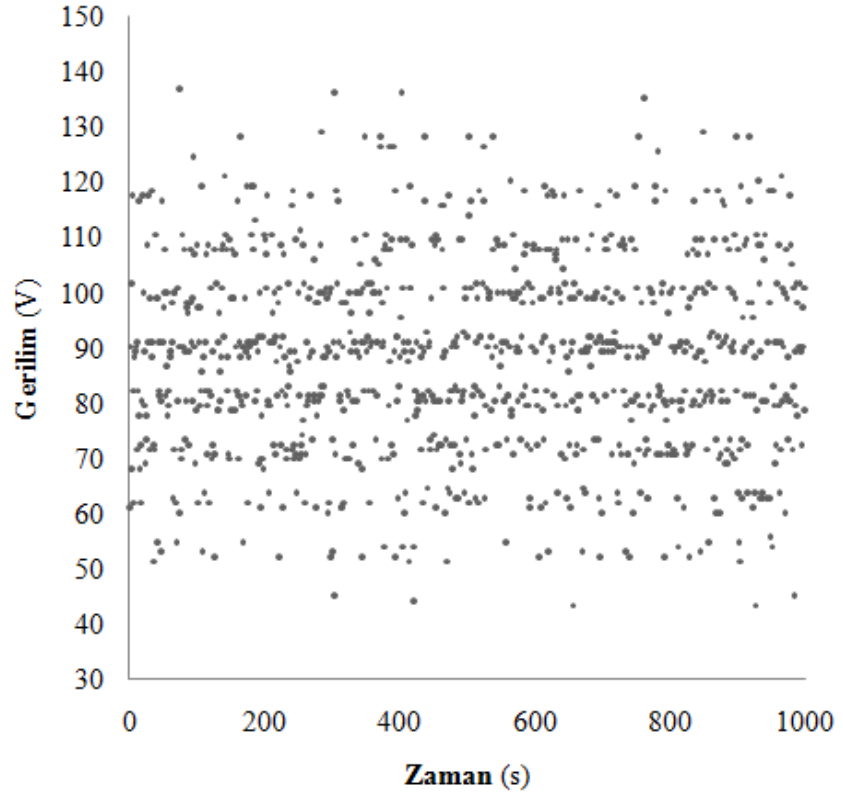


Şekil 5.7. 1000 farklı kısmî gölgelenme koşulunda seri bağlı dört FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri

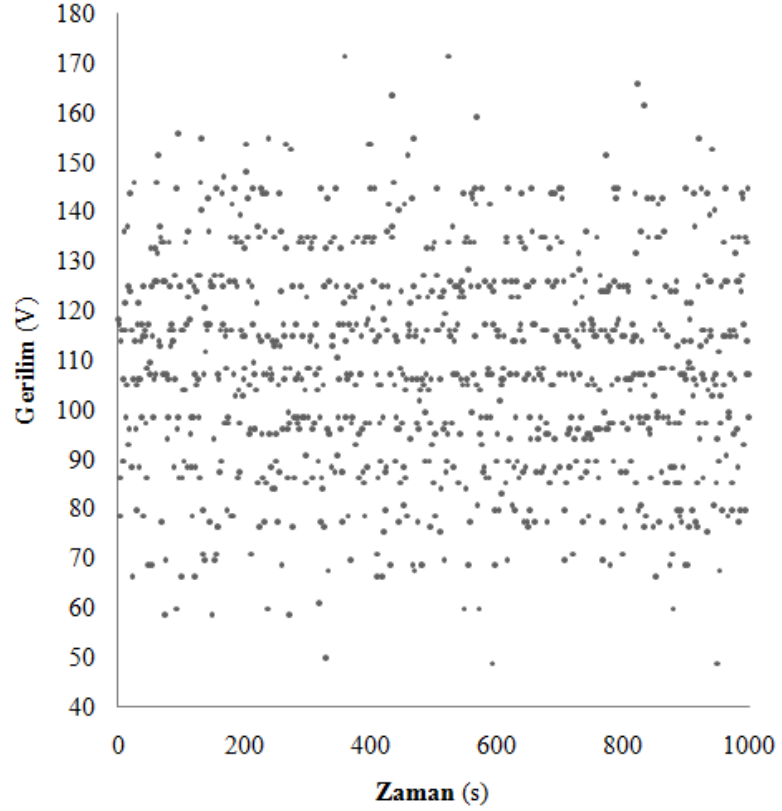
Altı modülden oluşan FV sistem için Şekil 5.8, sekiz modülden oluşan bir FV sistem için Şekil 5.9, on modülden oluşan bir FV sistem için ise Şekil 5.10'daki gibi olmuştur.



Şekil 5.8. 1000 farklı kısmî gölgelenme koşulunda seri bağlı altı FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri



Şekil 5.9. 1000 farklı kısmî gölgelenme koşulunda seri bağlı sekiz FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri



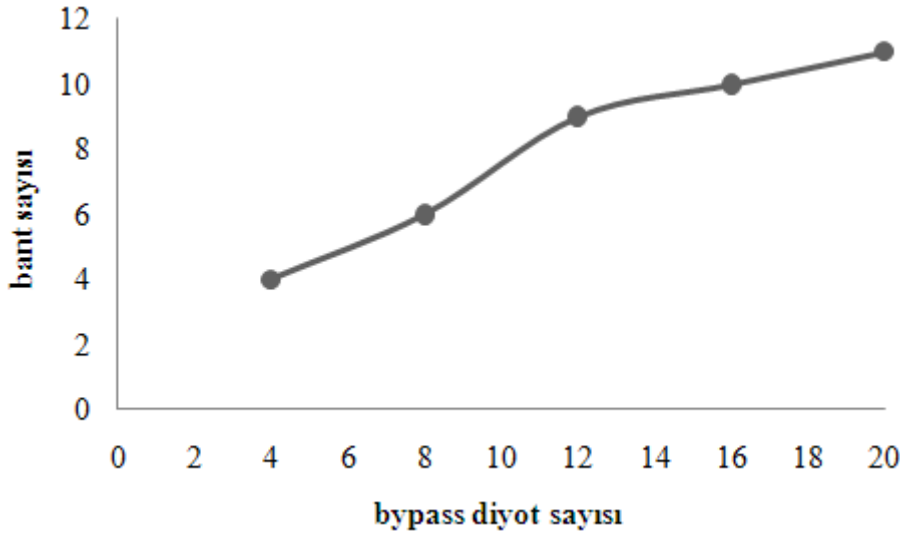
Şekil 5.10. 1000 farklı kısmî gölgelenme koşulunda seri bağlı on FV modülden oluşan FV sistemin maksimum güç noktası gerilimleri

Grafiklerden görüleceği üzere maksimum güç noktasındaki gerilimler, gölgelenme koşullarında belirli bant aralıklarında değişmektedir. FV sisteme bağlanacak DC/DC dönüştürücünün giriş geriliminin değeri her bir aralığın ortalama değerine göre ayarlanmıştır. FV sistemin gölgelenme koşullarında maksimum güç gerilimlerinin bu şekilde olması gölgelenme koşullarında,

- Modüller üzerindeki gerilimlerin ölçülerek bu değerlerin YSA yapısının eğitilmesi için giriş değerleri olarak kullanılmasında,
- DC/DC dönüştürücünün giriş geriliminin belirli değerlere ayarlanabilmesinde,

kolaylık sağlayacağı bulunmuştur.

Gölgelenme koşulları altında FV sistemin bu davranışlarına bakıldığında, maksimum güç noktasındaki gerilimler bazı aralıklarda yoğun görülürken bazı aralıklarda çok az sayıdadır. Maksimum güç noktası gerilimlerinin yoğun olduğu bölgeler dikkate alınarak bypass diyot sayısına göre bant sayısı Şekil 5.10' daki gibi olmuştur.

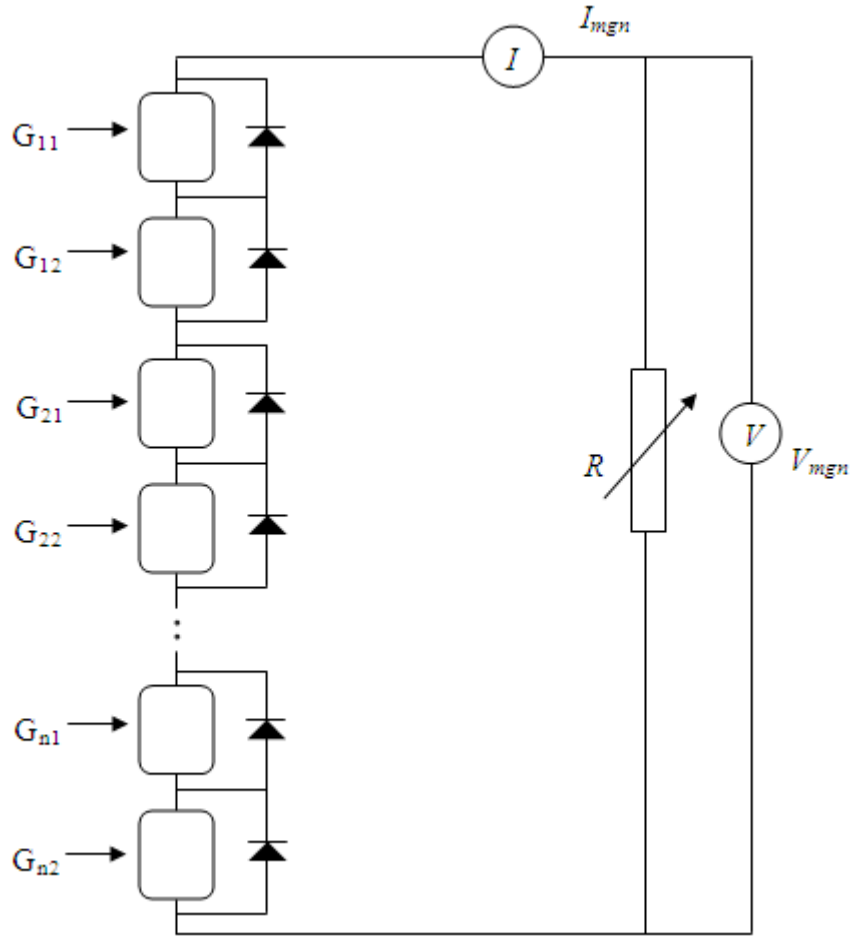


Şekil 5.11. Kısımlı gölgelenme koşullarında FV sistemdeki bypass diyot sayısına göre oluşacak gerilim bant sayısı

Bu çalışmada önerilen yöntemin uygulanması dört aşamada gerçekleşmektedir.

5.1 Farklı Işınım Koşulları Altında Maksimum Güç Noktasının Tespiti

FV Sisteme Şekil 5.12'deki gibi bir akım sensörü ve bir gerilim sensörü bağlanmıştır. Rastgele seçilen gölgelenme koşullarında sistemin maksimum güç noktasındaki akım, gerilim ve güç değerleri gözlenerek global maksimum güç noktasındaki gerilim değerleri kaydedilmiştir. Maksimum güç noktasındaki gerilimlerin belirli aralıklarda değişmesi üzerine bu aralıkların ortalama değerleri maksimum güç noktası gerilimleri olarak alınmıştır.

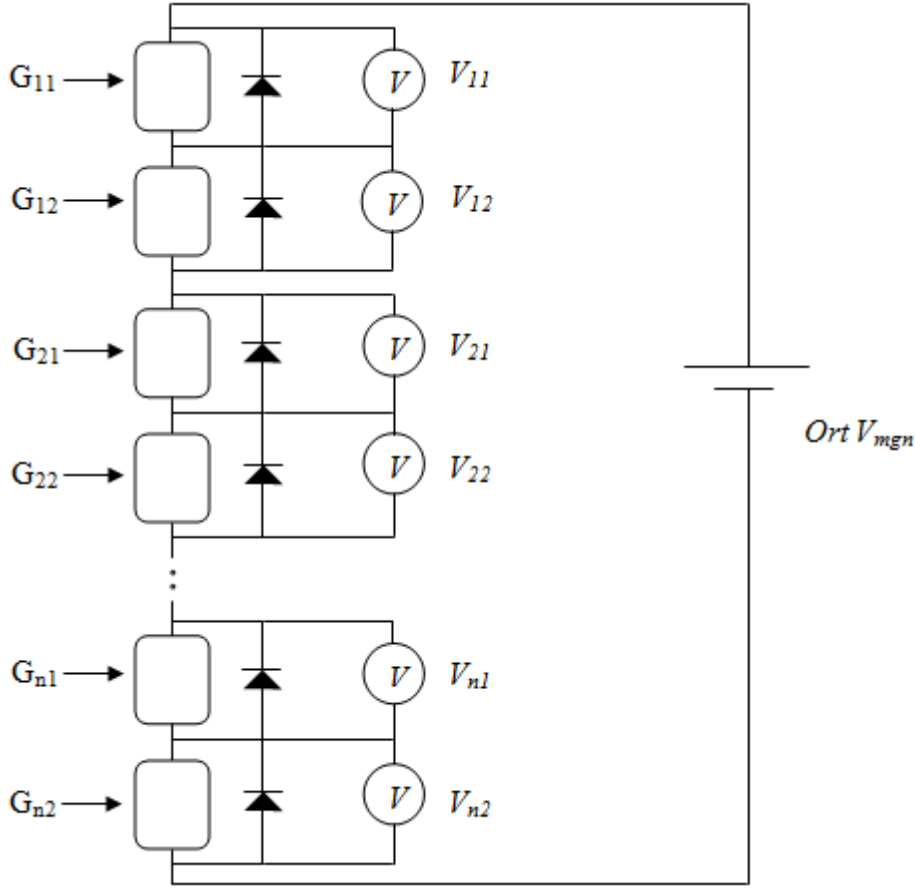


Şekil 5.12. Maksimum güç noktası gerilimlerini elde etmek üzere kurulacak yapı

5.2 Fotovoltaik Modüllere Düşen Gerilimin Tespiti

FV Sisteme bir DC gerilim kaynağı bağlanmıştır. Ayrıca her bir FV modülde bypass diyotun bağlı olduğu her bir bölüme bir gerilim sensörü paralel bağlanarak Şekil 5.13' teki yapı kurulmuştur. DC gerilim kaynağı, maksimum güç noktasındaki gerilim değerlerinin her bir aralığındaki ortalama değerine ($Ort V_{mgn}$)

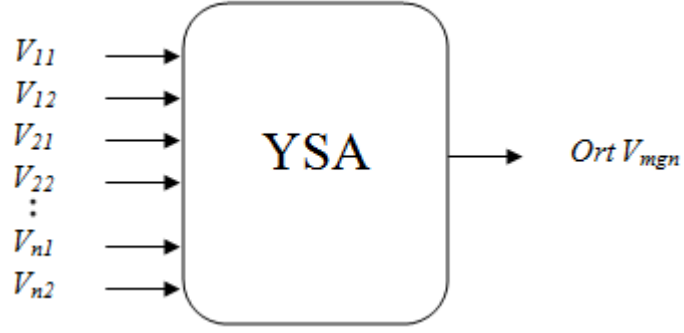
ayarlanmıştır. Her durum için ilk aşamadaki gölgelenme koşulları altında her bir FV modülün bölümlerindeki gerilim değerleri gözlemlenerek kaydedilmiştir.



Şekil 5.13. Bantların ortalama gerilim değerlerinden modüllerdeki gerilimleri tespit etmek için kurulacak yapı

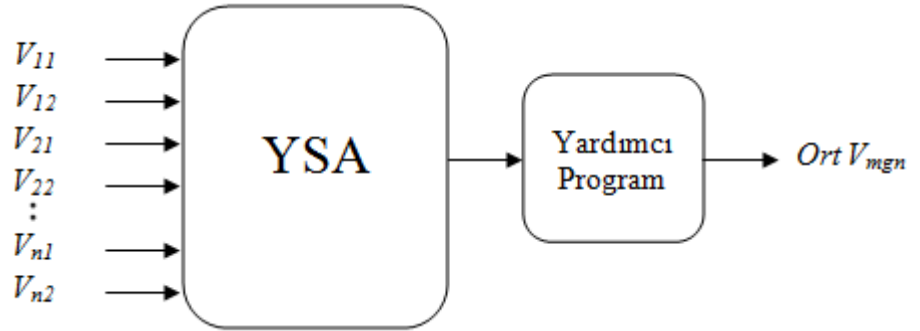
5.3 Yapay Sinir Ağının Eğitilmesi

Bu aşamada gölgelenme koşullarında kaydedilen modüller üzerindeki gerilim değerleri giriş, bu ışınım koşullarında maksimum güç noktasındaki gerilim değerleri çıkış verileri olmak üzere bir veri seti oluşturulmuştur. Bu veri setinin bir kısmı eğitim verisi olarak kullanılmış ve yapay sinir ağı eğitilmiş, bir kısmı ise test verisi olarak kullanılmış ve eğitilmiş olan yapay sinir ağı test edilmiştir. Bu yapay sinir ağının eğitilmesi ile farklı ışınım koşulları söz konusu olduğunda sistemin maksimum güç noktasındaki gerilim değerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Modül gerilimlerinden ortalama maksimum güç noktası geriliminin elde edilmesi için YSA yapısı

YSA yapısını eğitirken kullanılan verilere bakıldığında gölgelenme durumları çok farklı şekillerde olabileceği için giriş değerleri olarak kullanılan gerilim değerleri çok sayıda, buna karşılık çıkış değeri olarak kullanılan maksimum güç noktasındaki gerilim değerleri çok az sayıdadır. Çok sayıda farklı girişin aynı çıkış değerini sonuç vermesi nedeniyle YSA'nın eğitiminde zorlanılmıştır. Bazı gölgelenme durumlarında YSA, çıkış verisi olarak çok büyük veya çok küçük değerleri vermekte, bazı durumlarda ise ara değerlerde kalmaktadır. DC/DC dönüştürücünün sadece belli değerlerde ayarlanacak olması nedeniyle YSA'nın çıkış değerlerinden belli aralıklar içinde olanları en yakın maksimum güç noktasındaki gerilim değerini verecek şekilde bir yardımcı program eklenmiştir (Şekil 5.15). Yardımcı programın algoritması simülasyon sonuçlarında ayrıntılı olarak anlatılacaktır.



Şekil 5.15. Modül gerilimlerinden ortalama maksimum güç noktası geriliminin elde edilmesi için kullanılacak YSA ile birlikte yardımcı program yapısı

Örneğin gölgelenme koşullarının, modül gerilimlerinin ve maksimum güç noktasındaki gerilimin Çizelge 5.4 te olduğu duruma bakıldığında;

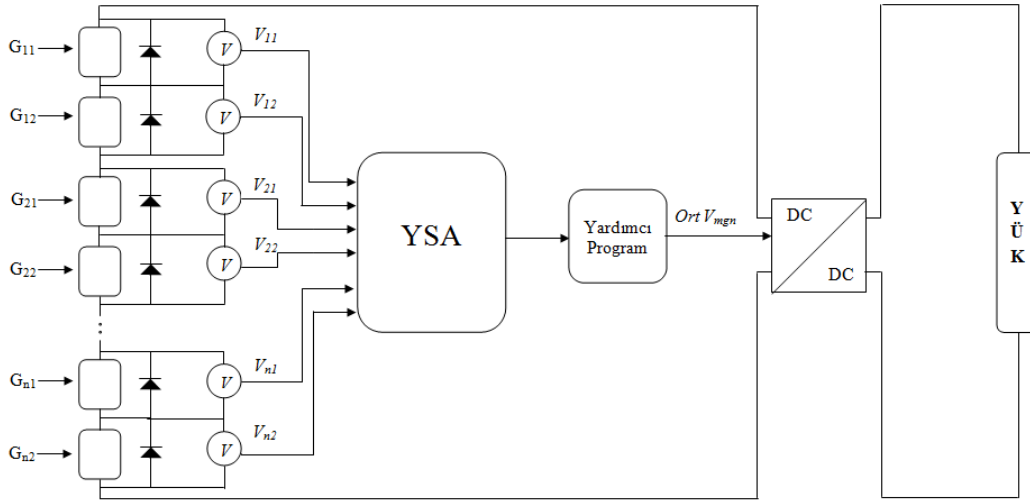
Çizelge 5.4 Bir kısmı gölgelenme koşulu ile modüllerin gerilimleri ve ortalama maksimum güç noktası gerilimi

G_{11}	G_{12}	G_{21}	G_{22}	V_{11}	V_{12}	V_{21}	V_{22}	V_{mgn}
743	933	723	483	-0,748	7,799	-0,769	-1,021	33,49

eğitilmiş YSA, böyle bir durumda maksimum güç noktasındaki gerilimi 33,49 değil de 32,86 gibi yakın bir değerde verebilmektedir. Bu durumda eklenmiş olan yardımcı program ile sonuç değeri en yakın maksimum güç noktası gerilim değerine çekilmektedir.

5.4 DC/DC Dönüştürücünün Geriliminin Ayarlanması

Şekil 5.16'da görüleceği üzere FV sisteme eğitilmiş yapay sinir ağı modeli, yardımcı program ve DC/DC dönüştürücü eklenmiştir. Farklı ışıyım koşulları altında FV modüllerden okunan gerilim değerlerine göre maksimum güç noktası geriliminin tahminlenmesi YSA ile yapılacak ve DC/DC dönüştürücünün giriş gerilimi maksimum güç noktasındaki gerilim değerinde olacak şekilde ayarlanacaktır.



Şekil 5.16 YSA ile maksimum güç noktası izleyebilen FV sistem yapısı

6. TARTIŞMA

Maksimum güç noktasının tespiti ve izlenebilmesi için kurulan sistemde her bir FV modül 36 adet seri bağlı güneş hücresinden oluşmaktadır. Her 18 güneş hücresine bir bypass diyotu paralel bağlanmıştır.

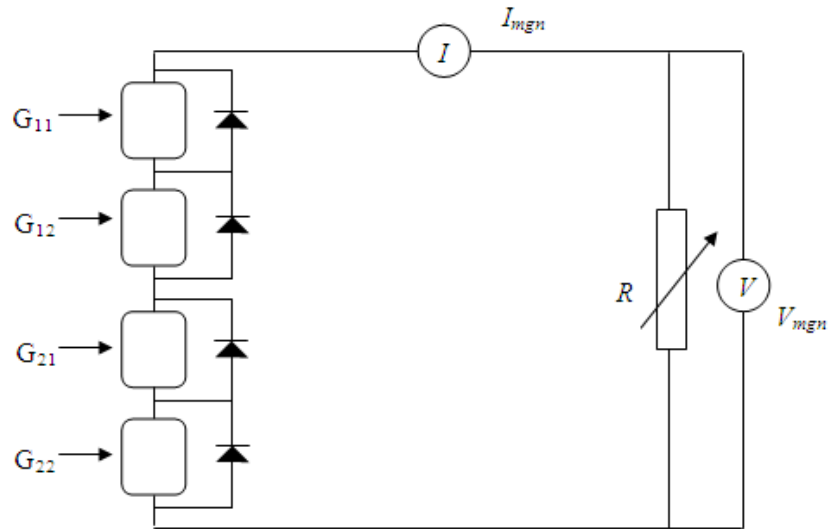
1000W/m² ışınım, 25°C sıcaklık altında kullanılan FV modülün karakteristik özellikleri Çizelge 6.1’ dedir.

Çizelge 6.1. FV modülün özellikleri

Maksimum güç, P_{mgn} (W)	52,3
Açık devre gerilimi, V_{AD} (V)	20,86
Kısa devre akımı, I_{KD} (A)	3,5
Maksimum güç noktasındaki gerilim, V_{mgn} (V)	16,3
Maksimum güç noktasındaki akım, I_{mgn} (A)	3,2

6.1 Seri Bağlı İki Modülden Oluşan FV Sistem

İlk aşamada farklı gölgelenme koşullarında maksimum güç noktası gerilimlerini belirlemek üzere Şekil 6.1’ deki yapı kurulmuştur.



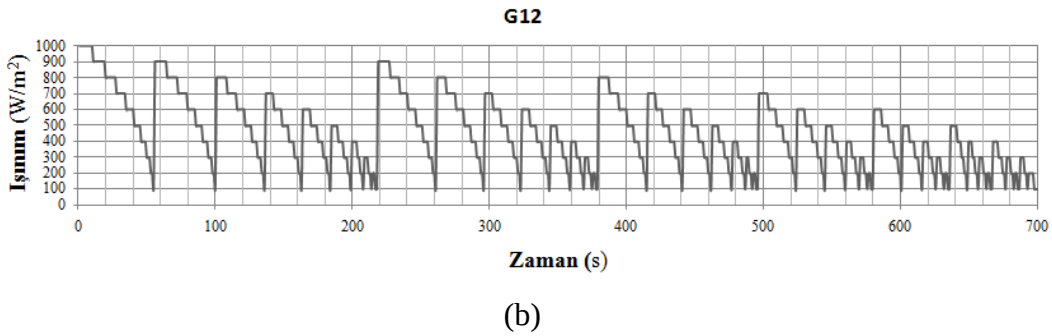
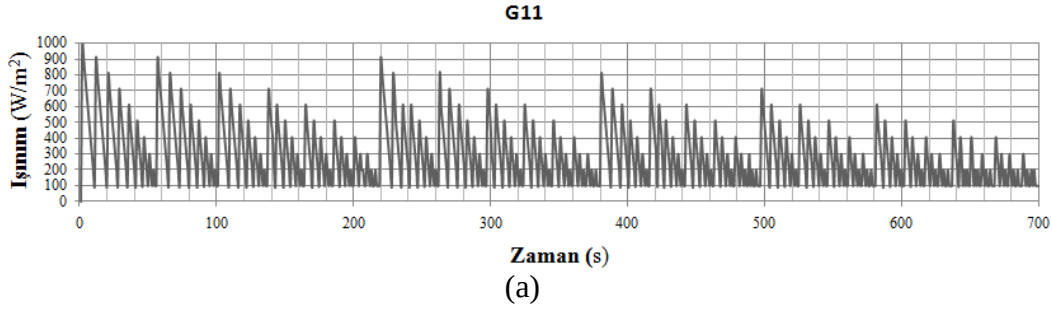
Şekil 6.1 Seri bağlı iki FV modülden oluşan sistem yapısı

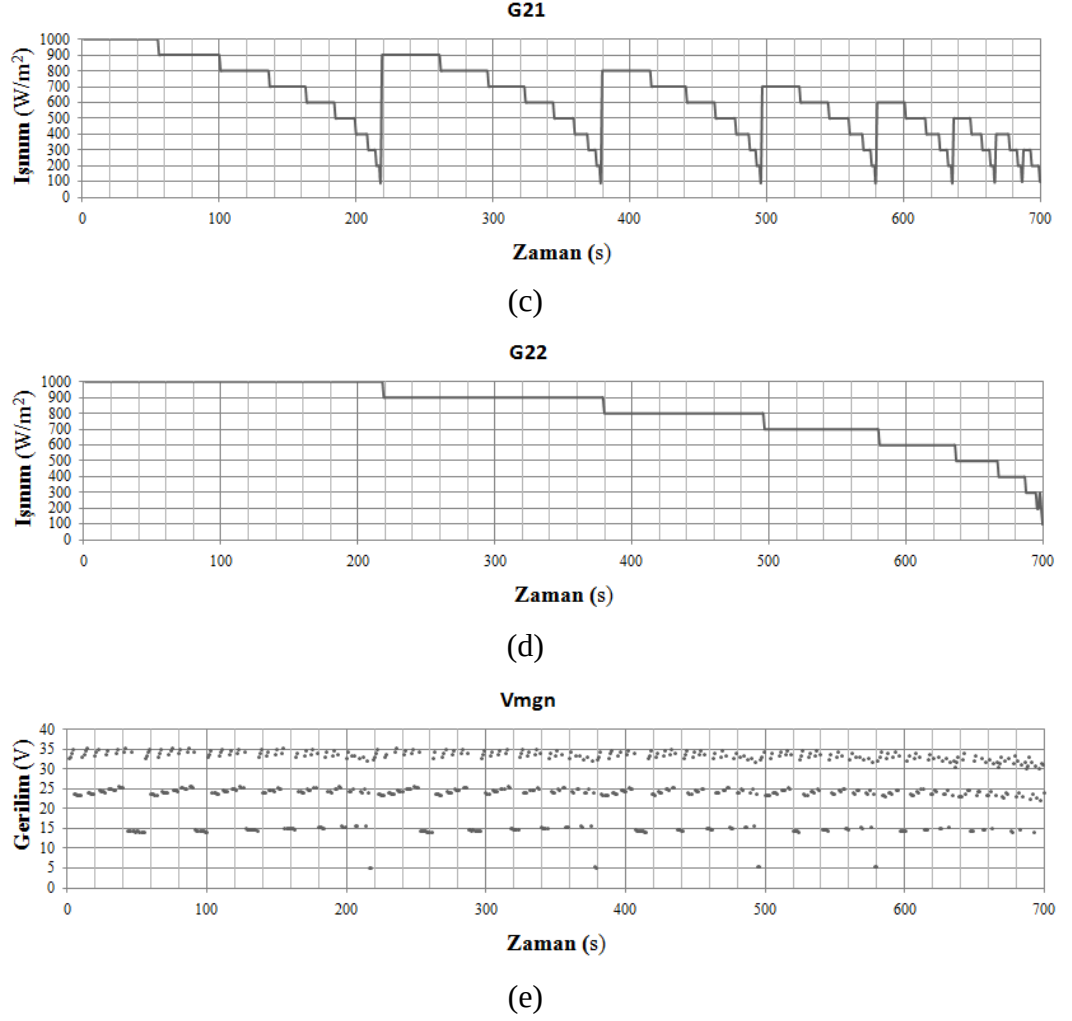
Bu yapı ile elde edilen değerler Çizelge 6.2’ de gösterilmektedir.

Çizelge 6.2 Çeşitli gölgelenme koşullarındaki maksimum güç noktası gerilimleri

G_{11}	G_{12}	G_{21}	G_{22}	V_{mgn}
1000	1000	1000	1000	32,60188
900	1000	1000	1000	33,11349
800	1000	1000	1000	34,06921
..	..	..	..	..
500	800	1000	1000	24,57876
..	..	..	..	..
200	300	900	1000	14,38381
..	..	..	..	..
100	100	200	800	5,333371
..	..	..	..	..
100	100	200	300	31,37545
100	100	200	200	30,94076
100	100	100	100	24,05471

Çizelge 6.2’de bir kısmı belirtilen 700 adet farklı ışıınım koşulları ile bu koşullar altındaki maksimum güç noktası gerilim değerleri Şekil 6.2’de gösterilmektedir. FV sistemlerde sıcaklığın dinamik davranışı ışıınıma göre oldukça yavaştır. Bu nedenle bu tez çalışmasında FV modülün sıcaklık dinamik zaman sabiti ışıınıminkinden oldukça büyük kabul edilmiş ve hızlı değişen ışıınım koşulları için modül sıcaklıkları sabit kabul edilmiştir.





Şekil 6.2. a) 1. modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, b) 1. Modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, c) 2. Modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, d) 2. Modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, e) Maksimum güç noktası gerilimi

Şekil 6.2' deki grafiklerden de görüldüğü gibi maksimum güç noktası gerilimleri, belirli aralıklarda değişmektedir. Bu FV sistem için bu aralıklarda yer alan veriler ve ortalama değerleri Çizelge 6.3' de gösterilmektedir.

Çizelge 6.3 Maksimum güç noktası gerilimlerinin ortalama değerleri

<i>Gerilim aralığı</i>	<i>Adet</i>	<i>Ortalama Gerilim</i>
5,095 - 5,454	8	5,26
13,893 - 15,747	146	14,68
21,941 - 25,663	300	24,29
29,047 - 35,322	246	33,49

İkinci aşamada FV sisteme bir DC gerilim kaynağı bağlanmıştır. Bu gerilim kaynağı, Çizelge 6.3' te belirtilen ortalama gerilim değerlerine ayarlanmıştır. DC

gerilim kaynağının her bir durumu için aynı gölgelenme koşulları tekrar sağlanarak ve bypass diyotların paralel bağlı olduğu bölümlerin gerilimleri kaydedilmiştir. Bu gölgelenme koşullarındaki maksimum güç noktası gerilimleri de kaydedilerek Çizelge 6.4 oluşturulmuştur.

Çizelge 6.4 DC gerilim kaynağının bağlı olduğu durumlarda çeşitli ışınlam koşullarında modül gerilimleri

V_{dc}	G_{11}	G_{12}	G_{21}	G_{22}	V_{11}	V_{12}	V_{21}	V_{22}	V_{mgn}	$Ort V_{mgn}$
5,26	1000	1000	1000	1000	1,315	1,315	1,315	1,315	32,602	33,49
5,26	900	1000	1000	1000	-0,705	1,988	1,988	1,988	33,113	33,49
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5,26	200	300	1000	1000	-1,440	-1,335	4,017	4,017	14,196	14,68
5,26	300	300	900	1000	-1,230	-1,230	-0,569	8,289	14,447	14,68
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14,68	800	900	900	1000	-0,705	3,548	3,548	8,289	33,424	33,49
14,68	800	800	1000	1000	-0,731	-0,731	8,071	8,071	33,430	33,49
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
14,68	700	900	1000	1000	-0,836	-0,626	8,071	8,071	34,628	33,49
14,68	200	200	900	1000	-1,233	-1,233	8,327	8,819	14,257	14,68
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
24,29	700	700	1000	1000	2,968	2,968	9,177	9,177	33,788	33,49
24,29	700	800	900	1000	-0,676	7,485	8,540	8,941	34,019	33,49
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
24,29	100	200	100	100	5,164	8,797	5,164	5,164	29,047	33,49
24,29	300	100	100	100	9,275	5,005	5,005	5,005	30,029	33,49
33,49	1000	1000	1000	1000	8,373	8,373	8,372	8,373	32,602	33,49
33,49	900	1000	1000	1000	7,764	8,575	8,575	8,575	33,113	33,49
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
33,49	100	100	200	200	7,793	7,793	8,952	8,952	30,941	33,49
33,49	100	100	100	100	8,373	8,373	8,373	8,373	24,055	24,29

Kurulan YSA modelinde elde edilen V_{11} , V_{12} , V_{21} , V_{22} değerleri giriş değeri, V_{mgn} de hangi aralıkta ise o aralığın ortalama değeri çıkış değeri olarak kullanılmıştır. Bu şekilde elde edilen 2826 değer bir arada gösterilecek olursa Çizelge 6.5' deki gibi ifade edilebilir.

Yapay sinir ağı eğitimi için veri elde edildikten sonra bu bir veri seti olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 6.5’ te de görüleceği üzere giriş değerlerinin çok farklı olduğu durumlar için çıkış değerleri sadece dört farklı değerde olmaktadır. İleri beslemeli ve radyal tabanlı yapay sinir ağları, bu şekilde olan verileri tahminlemede yetersiz kalmıştır.

Çizelge 6.5 YSA eğitimi için kullanılacak veriler

V_{11}	V_{12}	V_{21}	V_{22}	$Ort V_{mgn}$
1,315	1,315	1,315	1,315	33,49
-0,705	1,988	1,988	1,988	33,49
̈	̈	̈	̈	̈
-1,440	-1,335	4,017	4,017	14,68
-1,230	-1,230	-0,569	8,289	14,68
̈	̈	̈	̈	̈
-0,705	3,548	3,548	8,289	33,49
-0,731	-0,731	8,071	8,071	33,49
̈	̈	̈	̈	̈
-0,836	-0,626	8,071	8,071	33,49
-1,124	5,268	5,268	5,268	24,29
̈	̈	̈	̈	̈
2,968	2,968	9,177	9,177	33,49
-0,676	7,485	8,540	8,941	33,49
̈	̈	̈	̈	̈
5,164	8,797	5,164	5,164	33,49
9,275	5,005	5,005	5,005	33,49
8,373	8,373	8,372	8,373	33,49
7,764	8,575	8,575	8,575	33,49
̈	̈	̈	̈	̈
7,793	7,793	8,952	8,952	33,49
8,373	8,373	8,373	8,373	24,29

Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Sonuç Çıkarım Sistemi (ANFIS) kullanılarak çözülen bu problemde veri setinin 414 adedi eğitim için kullanılmıştır. 380 kural oluşmuştur. Eğitim hatası 0,6150 olarak belirlenmiştir. Veri setinin geri kalanı test için kullanılmıştır. Test hatası 8,6264 olmuştur. Hata değeri hesaplanırken Ortalama Karesel Hata(OKH) denklemi kullanılmıştır. Bu denklem 6.1’de verilmiştir.

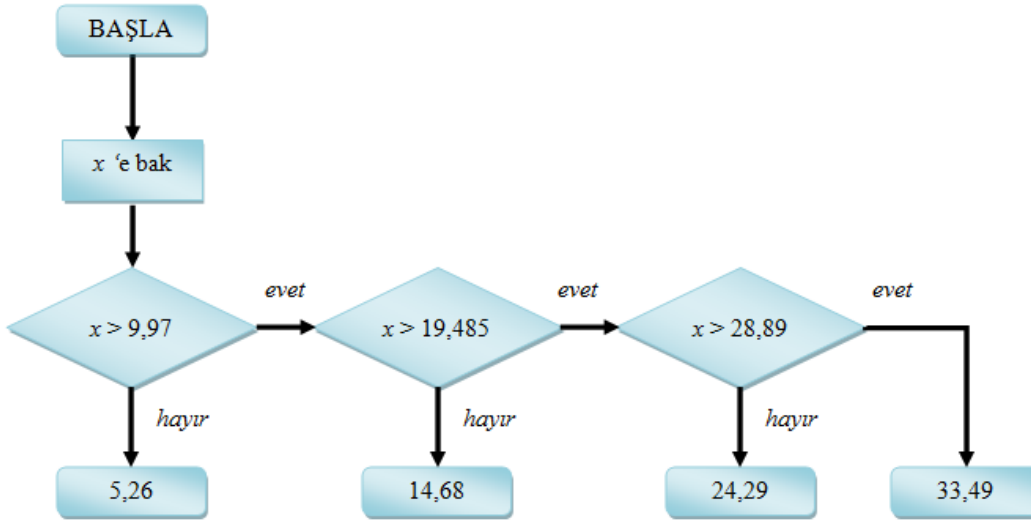
$$OKH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_{i \text{ gerçek}} - V_{i \text{ tahminlenen}})^2 \quad 6.1$$

Test hatasının bu kadar büyük değerde çıkmasında tahminleme sonucu az sayıda bazı verilerin çok farklı değere tahminlenmesinin rol oynadığı

düşünülmektedir. 2826 verinin 2137 adedinde istenilen sonuca yakın değerler elde edilebilmiştir.

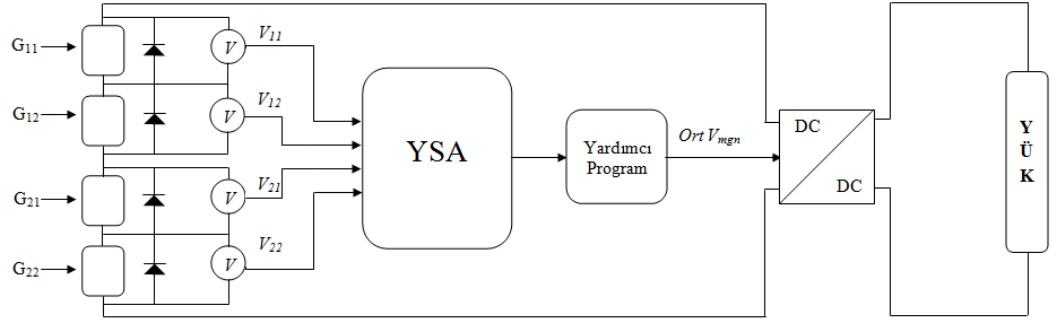
Çok farklı gölgelenme koşulları dolayısıyla giriş verilerinin fazlalılığı ve farklılığı, fazla sayıda giriş değerinin aynı sonuç değerine karşılık gelmesi, veri setinin yapay sinir ağı tarafından öğrenilmesinde büyük zorluk oluşturmuştur.

ANFIS yapısı sonucu elde edilen verilerin bir kısmı olması gereken değere yakın değerlerde çıkarken bir kısmı da çok farklı değerlerde çıkmıştır. Bu değerler bir yardımcı program yardımıyla kendisine en yakın maksimum güç noktasındaki gerilim değerine ayarlanmıştır. Yardımcı programın akış diyagramı Şekil 6.3' te görülmektedir.



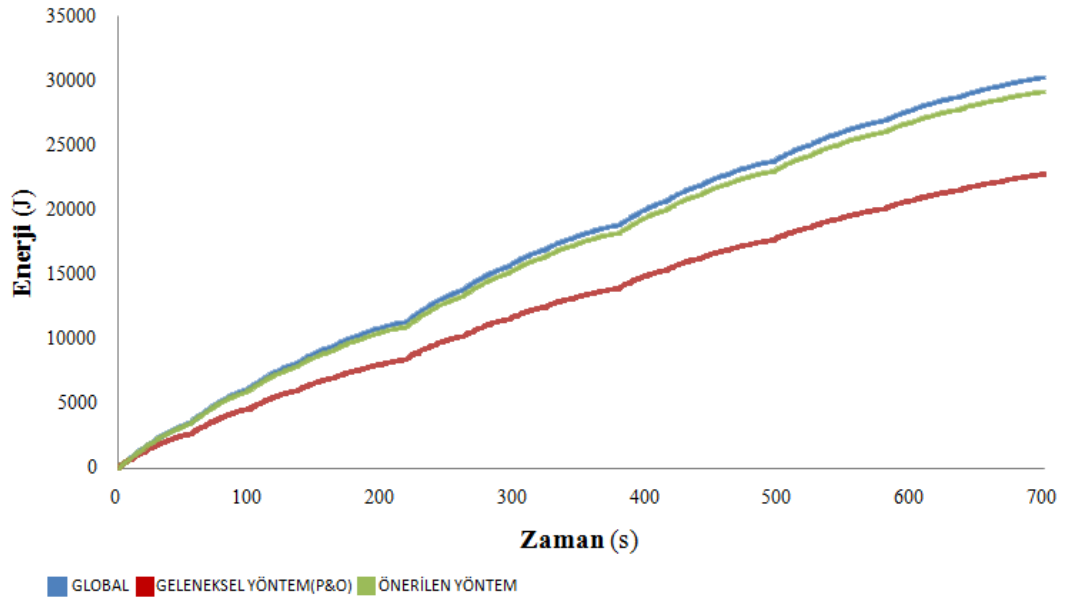
Şekil 6.3. Yardımcı program akış diyagramı

Bu şekilde oluşturulan yapı Şekil 6.4' te görülmektedir. Böyle bir sistem 700 farklı gölgelenme koşulu altında incelenmiştir. Yardımcı program olmaksızın sadece YSA ile kurulan sistemde izlenen gerilim hiçbir koşul için tam olarak istenilen değerde çıkmamıştır. Beklenen değer ± 1 aralığında sadece YSA ile kurulan sistem 568 koşul için doğru sonuç verir iken yardımcı program ile birlikte kurulan sistemde 585 koşul için sistemin olması gereken maksimum güç noktasına geldiği görülmüştür.



Şekil 6.4. Bir yüke bağlı maksimum güç noktası izleyicili FV sistem yapısı

Önerilen sistemin verimliliğinin gözlenebilmesi amacıyla global maksimum güç noktasındaki gerilim değerleri, maksimum güç noktasını açık devre geriliminden başlayıp tarayarak bulmaya çalışan P&O yöntemi kullanılarak elde edilen gerilim değerleri ve bu çalışmada önerilen yöntemle bulunan gerilim değerleriyle elde edilen enerji miktarları kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.5'te gösterilmektedir. Buradan önerilen yöntemin geleneksel yöntemle göre daha verimli olduğu görülmektedir.



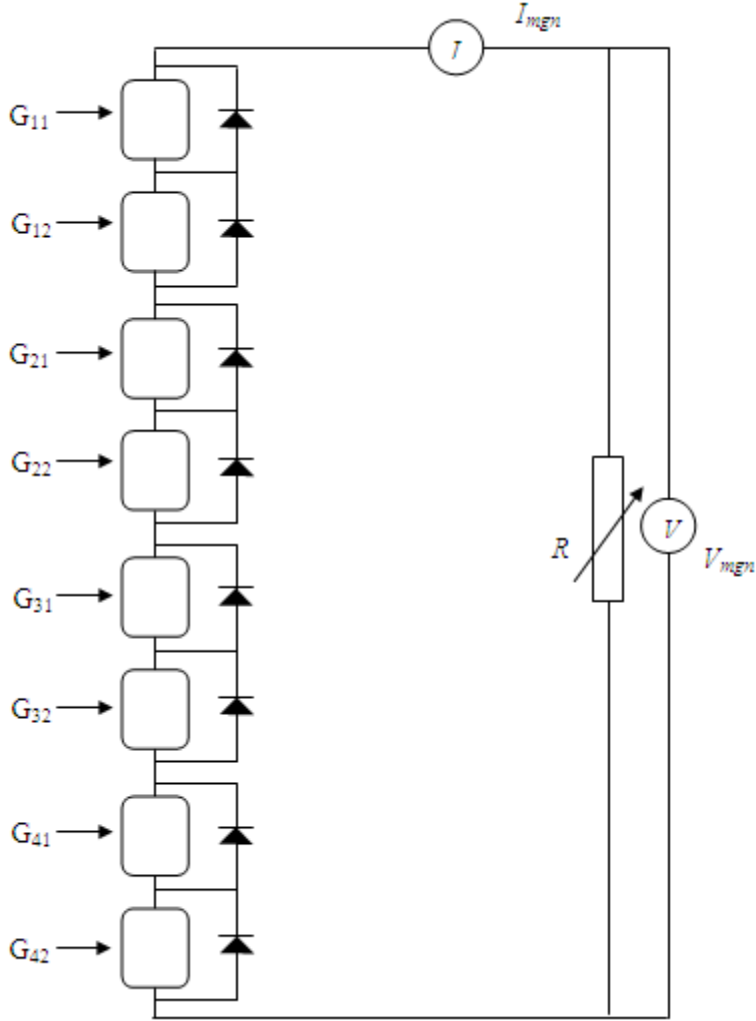
Şekil 6.5. FV sistemden en fazla, geleneksel yöntemle ve önerilen yöntemle elde edilebilecek enerji miktarı

6.2 Seri Bağlı Dört Modülden Oluşan FV Sistem

Maksimum güç noktası gerilimlerini belirlemek üzere Şekil 6,6'daki yapı kurulmuştur.

FV sistemin davranışını gözlemlemek üzere farklı gölgelenme koşulları altında kaydedilen maksimum güç noktası gerilimleri Çizelge 6,6' da görülmektedir.

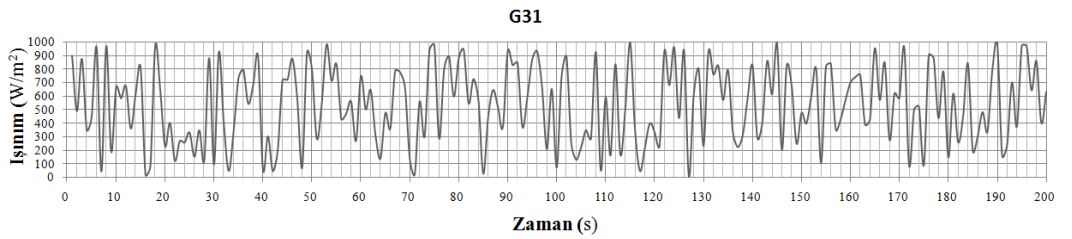
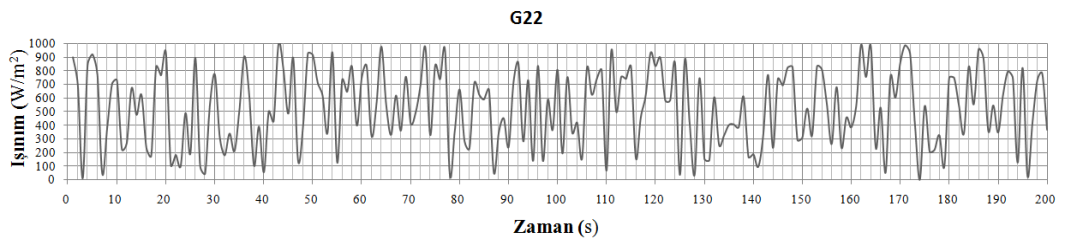
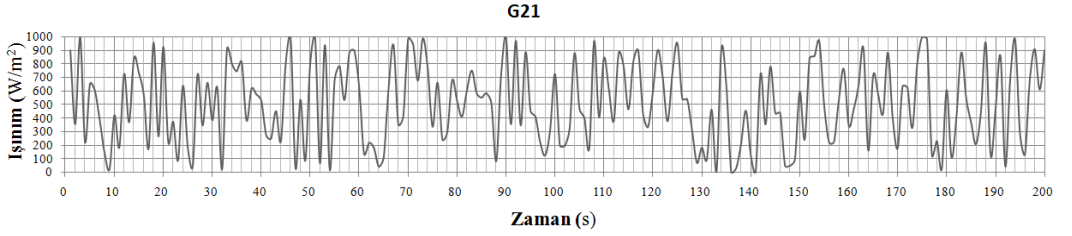
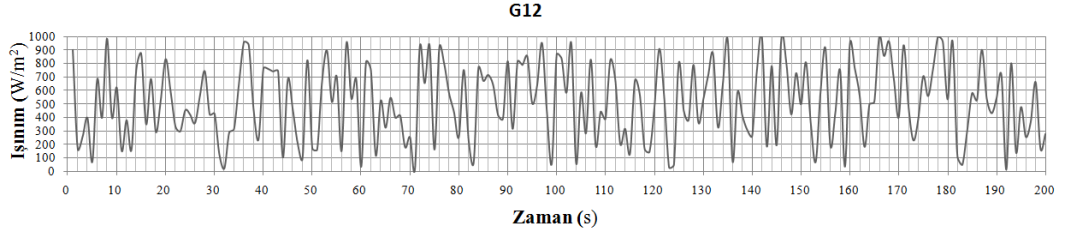
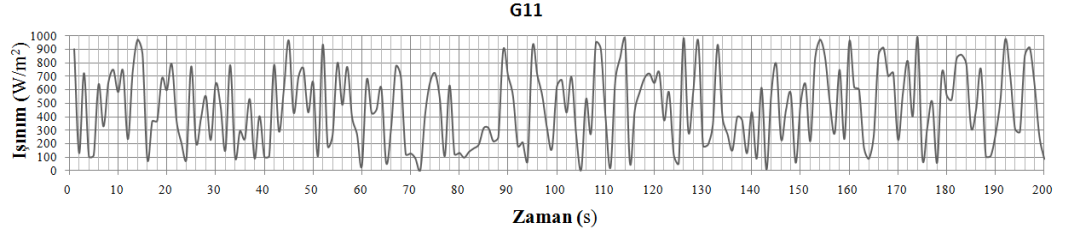
Çizelge 6,6' da bir kısmı belirtilen 200 adet farklı ışıınım koşulları ile bu koşullar altındaki maksimum güç noktası gerilim değerleri Şekil 6.7' de gösterilmektedir.

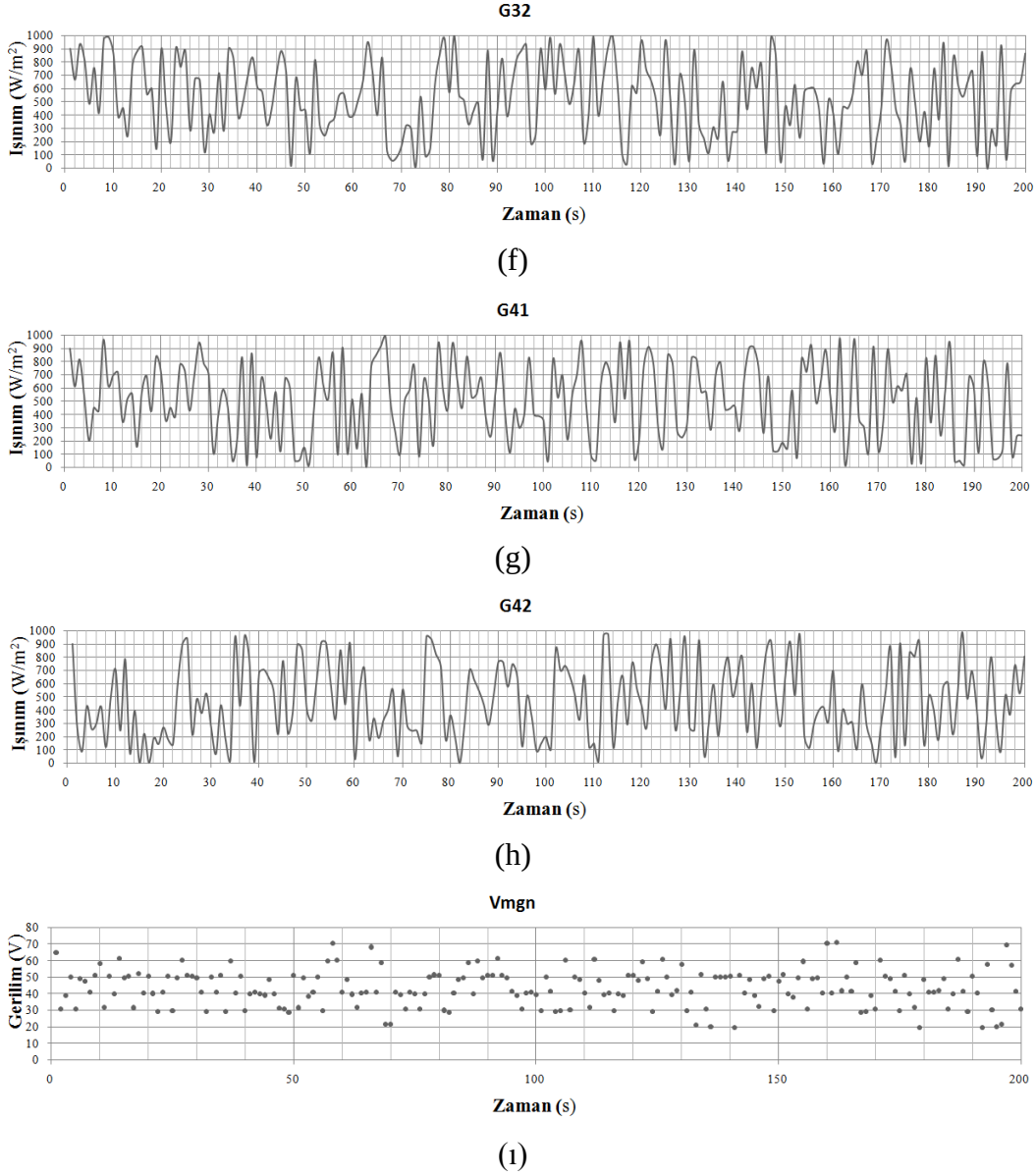


Şekil 6.6. Seri bağlı dört FV modülden oluşan sistem yapısı

Çizelge 6.6 Çeşitli gölgelenme koşullarındaki maksimum güç noktası gerilimleri

G_{11}	G_{12}	G_{21}	G_{22}	G_{31}	G_{32}	G_{41}	G_{42}	V_{mpp}
900	900	900	900	900	900	900	900	65,11
132	170	355	694	490	667	613	260	30,71
..	..	..	..	..	..	..	..	..
639	662	909	731	860	637	92	739	57,33
255	170	611	781	402	651	238	525	41,26





Şekil 6.7. a) 1. modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, b) 1. Modül 2. Bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, c) 2. Modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, d) 2. Modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, e) 3. modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, f) 3. Modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, g) 2. Modül 1. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, h) 2. Modül 2. bypass diyota paralel bağlı kısma gelen ışınlm, ı) Maksimum güç noktası gerilimi

Maksimum güç noktası gerilimleri belirli aralıklarda değişmektedir. Bu FV sistem için bu aralıklarda yer alan veriler ve ortalama değerleri Çizelge 6.7' deki gibi gözlenmiştir.

Çizelge 6.7 Maksimum güç noktası gerilimlerinin ortalama değerleri

<i>Gerilim aralığı</i>	<i>Ortalama Gerilim</i>
15 - 25	20
25 - 35	30
35 - 45	40
45 - 55	50
55 - 65	60
65 - 75	70

İkinci aşamada FV sisteme bir DC gerilim kaynağı bağlanmıştır. Bu gerilim kaynağı, Çizelge 6.7’ de belirtilen ortalama gerilim değerlerine ayarlanmıştır. DC gerilim kaynağının her bir durumu için aynı gölgelenme koşulları sağlanmış ve bypass diyotların paralel bağlı olduğu bölümlerin gerilimleri kaydedilmiştir. Bu gölgelenme koşullarındaki maksimum güç noktası gerilimleri de kaydedilerek Çizelge 6.8 oluşturulmuştur.

Kurulan YSA modelinde elde edilen V_{11} , V_{12} , V_{21} , V_{22} , V_{31} , V_{32} , V_{41} , V_{42} değerleri giriş değeri, V_{mgn} de hangi aralıkta ise o aralığın ortalama değeri çıkış değeri olarak kullanılmıştır. Bu şekilde 1200 veri seti elde edilmiştir.

Yapay sinir ağı eğitimi için veri elde edildikten sonra bu bir veri seti olarak kaydedilmiştir.

Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Sonuç Çıkarım Sistemi (ANFIS) kullanılarak çözülen bu problemde veri setinin 1000 adedi eğitim için kullanılmıştır. 998 kural oluşmuştur. Eğitim hatası $4,7 \times 10^{-6}$ olarak belirlenmiştir. Veri setinin geri kalanı yapay sinir ağı yapısının testi için kullanılmıştır. Test hatası 6,9074 olmuştur.

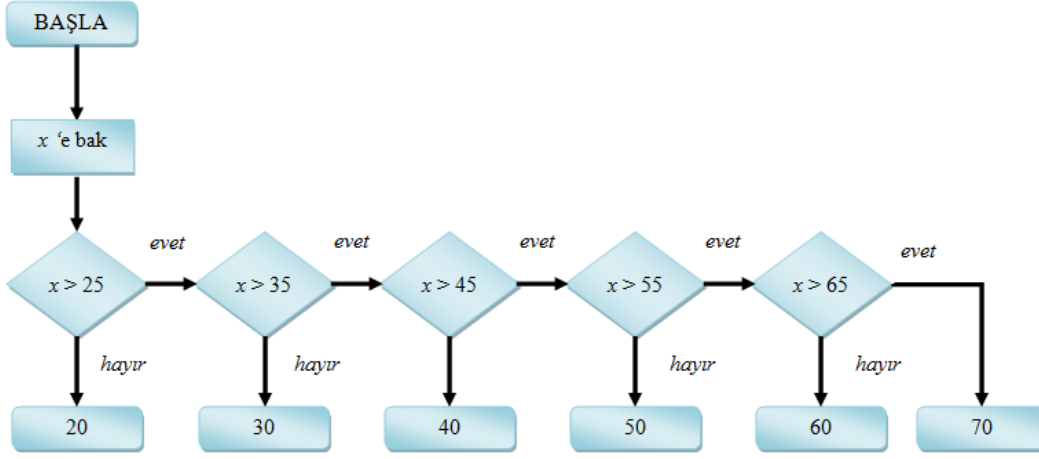
ANFIS yapısı sonucu elde edilen verilerin bir kısmı olması gereken değere yakın değerlerde çıkmıştır. Bu değerler bir yardımcı program yardımıyla kendisine en yakın maksimum güç noktasındaki gerilim değerine ayarlanmıştır. Yardımcı programın akış diyagramı Şekil 6.8’ de görülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre Şekil 6.9’ daki yapı oluşturulmuştur. Yardımcı program olmaksızın sadece YSA ile kurulan sistemde izlenen gerilim hiçbir koşul için tam olarak istenilen değerde çıkmamıştır. Beklenen değer ± 1 aralığında sadece YSA ile kurulan sistem 147 koşul için doğru sonuç verir iken yardımcı program ile birlikte kurulan sistemde 174 koşul için sistemin olması gereken maksimum güç noktasına geldiği görülmüştür. Sonuçlara bakıldığında

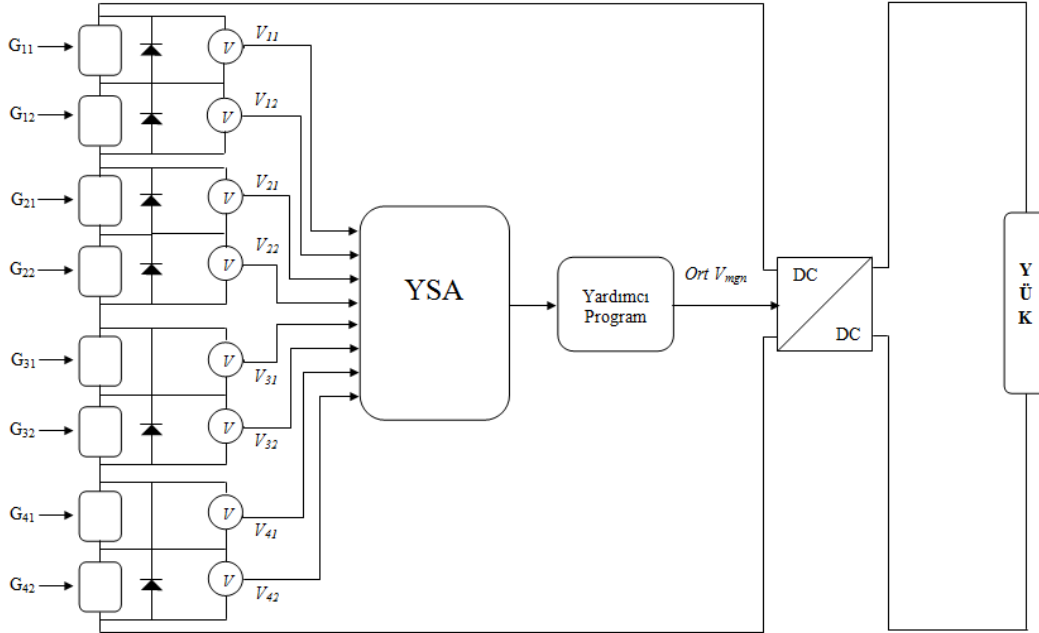
tahminleme için YSA' nın iyi eğitilebildiği, yardımcı program yardımıyla sistemin daha da iyileştirildiği görülmüştür.

Çizelge 6.8 DC gerilim kaynağının bağlı olduğu durumlarda çeşitli ışınlım koşullarında modül gerilimleri

V_{dc}	G_{I1}	G_{I2}	G_{21}	G_{22}	G_{31}	G_{32}	G_{41}	G_{42}	V_{I1}	V_{I2}	V_{21}	V_{22}	V_{31}	V_{32}	V_{41}	V_{42}	V_{mgn}	Ort V_{mgn}
20	900	900	900	900	900	900	900	900	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	65,11	70
20	132	170	355	694	490	667	613	260	-1,07	-1,03	-0,84	8,56	-0,70	8,37	7,65	-0,94	30,71	30
20	723	258	997	10	877	934	819	87	-0,70	-1,19	8,74	-1,45	7,96	8,44	-0,43	-1,37	39,14	40
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
30	900	900	900	900	900	900	900	900	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	3,75	65,11	70
30	132	170	355	694	490	667	613	260	-0,97	-0,93	-0,73	9,07	6,69	8,97	8,73	-0,83	30,71	30
30	723	258	997	10	877	934	819	87	-0,63	-1,12	9,00	-1,38	8,53	8,79	8,10	-1,30	39,14	40
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
40	900	900	900	900	900	900	900	900	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	65,11	70
40	132	170	355	694	490	667	613	260	-0,83	-0,79	5,28	9,48	8,84	9,42	9,29	-0,70	30,71	30
40	723	258	997	10	877	934	819	87	7,78	-1,05	9,22	-1,31	8,88	9,06	8,64	-1,23	39,14	40
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
50	900	900	900	900	900	900	900	900	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	6,25	65,11	70
50	132	170	355	694	490	667	613	260	-0,73	-0,69	8,66	9,71	9,27	9,67	9,57	4,56	30,71	30
50	723	258	997	10	877	934	819	87	9,76	1,93	10,08	-0,86	9,96	10,02	9,89	-0,78	39,14	40
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
60	900	900	900	900	900	900	900	900	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	65,11	70
60	132	170	355	694	490	667	613	260	-0,64	3,69	9,18	9,90	9,56	9,86	9,78	8,68	30,71	30
60	723	258	997	10	877	934	819	87	10,08	9,17	10,33	-0,68	10,23	10,28	10,18	0,39	39,14	40
..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..	..
70	900	900	900	900	900	900	900	900	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	8,75	65,11	70
70	132	170	355	694	490	667	613	260	4,20	8,10	9,33	9,97	9,66	9,94	9,86	8,94	30,71	30
70	723	258	997	10	877	934	819	87	10,21	9,48	10,44	0,16	10,35	10,39	10,30	8,67	39,14	40

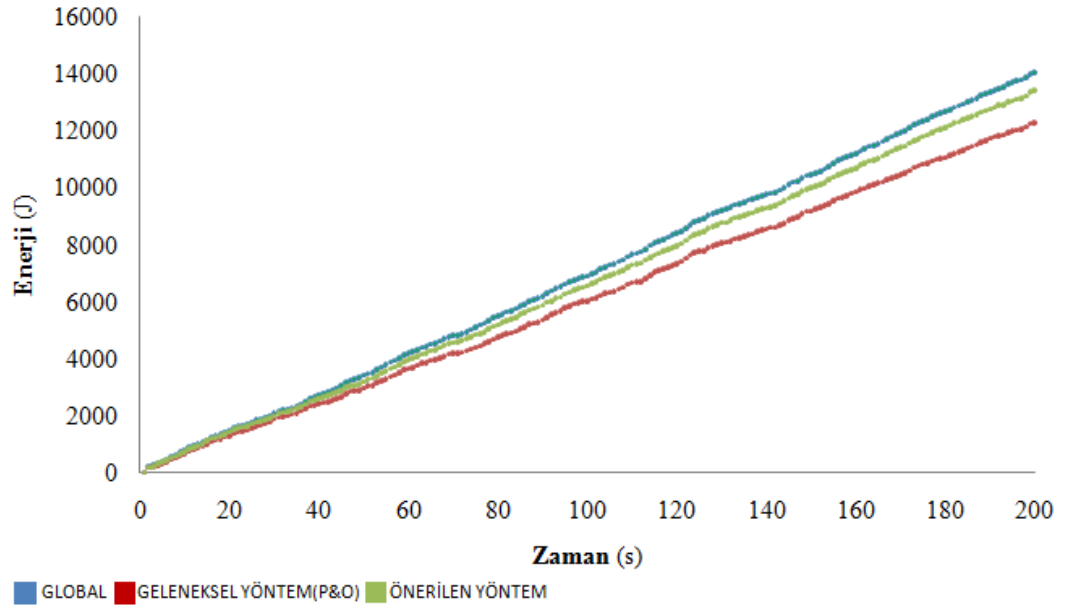


Şekil 6.8. Yardımcı program akış diyagramı



Şekil 6.9. Bir yüke bağlı maksimum güç noktası izleyicili FV sistem yapısı

Sistemin verimliliğini gözlemek üzere global maksimum güç noktasındaki gerilim değerleri, maksimum güç noktasını açık devre geriliminden başlayıp tarayarak bulmaya çalışan P&O yöntemi kullanılarak elde edilen gerilim değerleri ve bu çalışmada önerilen yöntemle bulunan gerilim değerleriyle elde edilen enerji miktarları kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.10' da görülmektedir.



Şekil 6.10 FV sistemden en fazla, geleneksel yöntemle ve önerilen yöntemle elde edilebilecek enerji miktarı

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

FV sistemlerde maksimum güç noktasının izlenmesi, kurulum maliyetinin yüksek, sistem verimliliğinin düşük olması nedeniyle önemlidir. Sistemin tamamının eşit ışınlam aldığı durumlarda maksimum güç noktasının izlenmesi için önerilen geleneksel yöntemlerin yanı sıra YSA kullanmak da tercih edilebilir bir yöntemdir.

Ancak kısmî gölgelenmenin olduğu durumlarda FV sistemin güç-gerilim eğrilerinden de gözlemlenebileceği üzere global maksimumun yanında lokal maksimumların da oluşması, geleneksel yöntemlerle maksimum güç noktasının izlenmesini zorlaştırmaktadır.

Kısmî gölgelenme koşullarında FV sistemin davranışları incelendiğinde, sistemin maksimum güç noktası gerilimlerinin belirli aralıklar içerisinde değiştiği gözlenmiştir. Çok farklı ışınlam durumlarına karşılık maksimum güç noktası gerilimlerinin bu aralıklar içerisinde belirli bant aralıklarında değişiyor olması ve her bypass diyotuna ait modül parçasının üzerindeki gerilimlerin kolaylıkla ölçülebilmesi, sistemin YSA kullanılarak eğitilmesi için gereken verilerin elde edilmesini kolaylaştırmıştır. Aynı zamanda geliştirilen bu yöntem ile ışınlam veya akım ölçülerek daha zor ve daha pahalı araçlar kullanılması yerine gerilim ölçülerek daha kolay ve ucuz bir yöntem kullanılmıştır.

Bununla birlikte iki modülün seri bağlanmasıyla oluşturulan FV sistemde, ışınlam koşullarının çeşitliliğinin fazla olması nedeniyle YSA'nın eğitilmesinde kullanılacak giriş değerlerinin fazla olması, buna rağmen çıkış değerlerinin sadece dört değerden oluşması, YSA'nın eğitimini zorlaştırmıştır. Farklı giriş setlerinin aynı çıkış değerine göre eğitilmesi YSA sistemlerde çözülmesi gereken bir araştırma konusudur. Bu nedenle, ileri beslemeli ve radyal tabanlı YSA yapıları, bu şekilde oluşturulan bir test veri setini kullanarak tahminleme yapmada yetersiz kalmıştır. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Sonuç Çıkarım Sistemi (ANFIS)'nin, çok fazla giriş değerine karşılık az sayıda çıkış değerinin olduğu durumlarda tahminlemede etkili bir yöntem olduğu gözlenmiştir. ANFIS yapısı ile veri setinin eğitiminde gerçek değerlere çok yakın sonuçlar elde edilmesine rağmen, test sırasında gerçek değerlerden farklı değerlere de sapmalar olmuştur. Test sonucu ortaya çıkan farklı değerler için, aralıklar tanımlanmış ve bu aralıklardaki değerlerin o aralık için tanımlanan ortalama gerilim değerine gitmesi için yardımcı bir algoritma kullanılarak sistemin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Böylece

ANFIS ve yardımcı programdan oluşan yapıdan tahminleme sonucu elde edilecek değerin yine ilk başta tanımlanmış olan gerilim değerine gitmesi gerçekleşmiştir.

Dört modülden oluşan FV sistemin modül gerilimlerinden maksimum güç noktasının tahminlenmesi için ANFIS in eğitilmesinde, iki modüllü sisteme kıyasla daha başarılı olunmuştur. Buna çıkış değerlerinin farklılığının artmış olması neden olmuştur.

Bu çalışmada önerilen yöntem, YSA yapılarının öğrenme performansına bağlı olarak başarılıdır. Denklem 7.1' de verilen ifadeye göre önerilen yöntem ile geleneksel yöntemin performansları çizelge 7.1' de gösterilmiştir.

$$Performans = \frac{Enerji_{sistem}}{Enerji_{global}} * 100 \quad (7.1)$$

Çizelge 7.1. Seri bağlı iki ve dört modülden oluşan FV sistemlerin performansı

FV Sistem	Performans	
	Geleneksel Yöntem	Önerilen Yöntem
Seri bağlı iki FV modül	75,22%	96,33%
Seri bağlı dört FV modül	87,43%	95,41%

Çizelge 7.1' den görüleceği üzere bu çalışmada önerilen yöntem, geleneksel yöntemden seri bağlı iki modülden oluşan FV sistemde 21,11%, seri bağlı dört FV modülden oluşan FV sistemde 7,98% daha kazançlıdır.

Kısmî gölgelenme koşullarında maksimum güç noktasının izlenmesi ile amaçlanan, güç noktası izleyicisinin global maksimum noktasında çalışmasıdır. Önerilen bu yöntemle izleyici, tam olarak global maksimumda çalışmamakla birlikte global maksimumun bulunduğu aralıkta ve mümkün olduğunca ona yakın değerde çalışmaktadır. Sistemin tam olarak global maksimumda çalışması, bu çalışmada önerilen yöntemin ardından P&O veya Hill Climbing yöntemlerinden biri kullanılarak sağlanabilir. Böylece önerilen yöntemle maksimum güç noktası izleyicisi, global maksimuma yaklaştırılırken, geleneksel yöntemlerden biri ile gerilim artırılarak veya azaltılarak global maksimum noktasına ardışık iki aşamada ulaşılabilir. Literatürde farklı yöntemler kullanılarak iki aşamalı

tekniklerin geliştirilmesine çalışılmaktadır (Kobayashi et al., 2003). Bununla birlikte P&O veya Hill Climbing yöntemlerinin performansı ısıtım değişim dinamiğine çok bağlıdır (Hohm and Ropp, 2003). Bu durum YSA sistemin giriş parametrelerinin ısıtım koşulları ile olan ilişkisinin bozulmasına neden olabileceğinden YSA çıkışında tahminlenen optimum gerilimde yanlışlıklara neden olabilecektir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Ahmed, N.A. and Miyatake, M.**, 2008, A novel maximum power point tracking for photovoltaic applications under partially shaded insolation conditions, *Electric Power System Research*, 78, 777-784p.
- Al-Amoudi, A. and Zhang, L.**, 2000, Application of radial basis function Networks for solar-array modelling and maximum power-point prediction, *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 147(5), 310-316p.
- Almonacid, F., Rus, C., Pérez, P.J., and Hontoria, L.**, 2009, Estimation of the energy of a PV generator using artificial neural network, *Renewable Energy*, 34(12), 2743-2750p.
- Bruendlinger, R., Bletterie, B., Milde, M. and Oldenkamp, H.**, 2006, Maximum power point tracking performance under partially shaded PV array conditions. Proceedings of the 21st European PVSEC, Dresden, Germany, 2157–2160p.
- Demirel, Ö., Kakilli, A. ve Tektaş, M.**, 2010, ANFIS ve ARMA modelleri ile elektrik enerjisi yük tahmini, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Ankara, 25(3), 601-610s.
- Ekici, S.**, 2007, Elektrik Güç sistemlerinde Akıllı Sistemler Yardımıyla Arıza Tipi ve Yerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 90s.
- Esram, T. and Chapman, P.L.**, 2007, Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(2), 439-449p.
- 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*, 56(5), 1548-1556p.
- Haykin, S.**, 2009, Neural Networks and Learning Machines, Pearson Education, Inc., 3rd edition, 11p.
- Hiyama, T., Kouzuma, S., and Imakubo, T.**, 1995, Identification of optimal operating point of PV modules using neural network for real time maximum power tracking control, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 10(2), 360-367p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Hohm, D.P., and Ropp, M.E.**, 2003, Comparative study of maksimum power point tracking algorithms, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 11, 47-62p.
- Jalluri, S.R. and Ram, B.V.S.**, 2010, A neuro fuzzy controller for introduction machines drives, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 19(2), 102-108p.
- Jang, J.S.R.**, 1993, ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665-685p.
- Ji, Y.H., Kim, J.G., Park, S.H., Kim, J.H. and Won, C.Y.**, 2009, C-language based PV array simulation technique considering effects of partial shading, *IEEE International Conference on Industrial Technology*, Gippsland, 1-6p.
- Karatepe, E., Hiyama, T., Boztepe, M. and Çolak, M.**, 2008, Voltage based power compensation system for photovoltaic generation system under partially shaded insolation conditions, *Energy Conversion and Management*, 49, 2307-2316p.
- Karatepe, E., Boztepe, M., and Çolak, M.**, 2007, Development of a suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded solar cells, *Solar Energy*, 81(8), 977-992p.
- Kobayashi, K., Takano, I. and Sawada, Y.**, 2003, A study of a two-stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions, *IEEE [Power Engineering Society General Meeting](#)*, 2612-2617p.
- McCulloch, W.S. and Pitts, W.**, 1943, A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, 115-133p.
- Mellit, A. and Kalogirou S.A.**, 2008, Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications:a review, *Energy and Combustion Science*, 34(5), 574-632p.
- Mellit, A., Kalogirou, S.A., Shaari, S., Salhi, H., and Hadj Arab, A.**, 2008, Methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas, *Renewable Energy*, 33(7), 1570-1590p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Mellit, A., and Pavan, A.M.**, 2010, A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy, *Solar Energy*, 84(5), 807-821p.
- Mohan, N., Undeland, T.M., Robbins, W.P.**, 2003, Power Electronics: converters, applications, and design, John Wiley&Sons, New Jersey, 802p.
- Nge, C.L., Yordanov, G., Midtgård, O.M., Saetre, T.O. and Norum L.**, 2009, A comparative simulation analysis of maximum power point tracking approaches, 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Germany, 3668-3672p.
- Nguyen, T.L. and Low, K.S.**, 2010, A global maksimum power point tracking scheme employing DIRECT search algorithm for photovoltaic, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57(10), 3456-3467p.
- Ocran, T.A., Cao, J., Cao, B. and Sun, X.**, 2005, Artificial neural network maximum power point tracker for solar electric vehicle, *Tsinghua Science and Technology*, 10(2),204-208p.
- Onat, N. ve Ersöz, S.**, 2009, Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası izleyici algoritmalarının karşılaştırılması, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 50-56s.
- Patel, H. and Agarwal, V.**, 2008, Maximum power point tracking scheme for PV systems operating under partially shaded conditions, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 55(4), 1689-1698p.
- Syafaruddin, Karatepe, E. and Hiyama, T.**, 2009, Artificial neural network-polar coordinated fuzzy controller based maximum power point tracking control under partially shaded conditions, *IET Renewable Power Generation*, 3(2), 239-253p.
- Wikipedia**, “Sinir Hücresi”, <http://tr.wikipedia.org/wiki/N%C3%B6ron> (Erişim tarihi: 12 Mart 2011)

ÖZGEÇMİŞ

Serpil DURU ERDOĞAN, 22 Haziran 1981 tarihinde Samsun'da doğdu. Orta ve lise öğrenimini Samsun'da tamamladı. 1997 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2001 yılında mezun oldu. 2003 yılında Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Ordu Müessese Müdürlüğü'nde Elektrik Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2005 yılında evlenerek İzmir'e yerleşti. 2009 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimi almaya başladı. Halen, Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. İzmir İl Müdürlüğü'nde mühendis olarak görevine devam etmektedir. Evlidir ve iki çocuğu vardır. İngilizce bilmektedir.