T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU YÖNTEMİNE DAYALI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME ALGORİTMASININ İNCELENMESİ

Rafa Othman Hussein ELSHARA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin GÜLTEPE

MART - 2021
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Rafa Othman Hussein ELSHARA tarafından hazırlanan "**Parçacık Sürü Optimizasyonu Yöntemine Dayalı Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritmasının İncelenmesi**" adlı tez çalışmasının savunma sınavı **26.03.2021** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Yasemin GÜLTEPE Kocaeli Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Prof. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI Kastamonu Üniversitesi	.....
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Cevat RAHEBİ İstanbul Ayvansaray Üniversitesi	.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitü Müdürü Prof. Dr. İzzet ŞENER .....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Rafa Othman Hussein ELSHARA

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU YÖNTEMİNE DAYALI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME ALGORİTMASININ İNCELENMESİ

RAFA OTHMAN HUSSEIN ELSHARA

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ YASEMİN GÜLTEPE

Bu tezde, güneş enerjisi sistemlerinde parçacık sürü optimizasyon yöntemini kullanarak, maksimum güç noktası takip algoritmasını belirleme problemi ele alınmıştır. Tipik olarak, güneş enerjisi hücrelerinin nitelikleri kurulumdan önce üretici tarafından deneysel veriler kullanılarak belirtilmiştir. Ölçüm veya tespit açısından ilgi çekici birkaç güneş enerjisi dejenerasyon mekanizması vardır. Bu nedenle güneş enerjisi parametrelerinin zaman içinde periyodik olarak aktif bir biçimde ölçülmesi fayda sağlayacaktır. Tipik bir güneş enerjisi sisteminin eşdeğer modeli için, maksimum güç noktası takip algoritmasını iyileştirmek amacıyla parçacık sürü optimizasyon yöntemine dayalı akıllı bir yöntemden geliştirilen bir metodoloji önerilmiştir. Bu metodolojiyi kapsayan yöntem, güneş enerjisi sisteminin periyodik olarak güncellenmesine izin verir ki bu güncelleme, sistemde azami güç çıkışını bulmak amacıyla kullanılabilir. Sonuç olarak, PV güç dönüşüm verimliliği için ışınlama değeri 1000 Watt/m^2 olduğu yerde 1400 Watt/m^2 elde edilmiştir. Böylelikle PV güç dönüşüm verimliliği için ışınlama değerinde %40'lık bir artış sağlanmıştır. Önerilen yöntemin ve MPPT yönteminin doğruluğu %95,45'dir. Bu doğruluk, Maksimum Güç, modül başına hücre ve Açık devre voltajı (Volt) için sırasıyla 244,62 (Watt), 60 (Ncell) ve 37,2 (Volt) olarak elde edilir.

ANAHTAR KELİMELER: Maksimum Güç Noktası İzleme, Parçacık sürü optimizasyonu, Güneş enerjisi

Mart 2021, 56 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

INVESTIGATION OF THE MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHM BASED ON PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD

RAFA OTHMAN HUSSEIN ELSHARA

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING
SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. YASEMİN GÜLTEPE

In this thesis, the problem of determining the maximum power point tracking algorithm using the particle swarm optimization method in solar energy systems is discussed. Typically, the characteristics of solar cells are specified by the manufacturer using experimental data before installation. There are several solar degeneration mechanisms that are interesting for measurement or detection. For this reason, it will be beneficial to actively measure solar energy parameters periodically over time. For the equivalent model of a typical solar energy system, a methodology developed from a smart method based on particle swarm optimization method is proposed to improve the maximum power point tracking algorithm. The method incorporating this methodology allows the solar system to be updated periodically, which can be used to find the maximum power output in the system. As a result, 1400 Watt / m2 is obtained where the irradiation value for PV power conversion efficiency is 1000 Watt / m2. Thus, an increase of 40% has been achieved in the irradiation value for PV power conversion efficiency. The accuracy of the proposed method and MPPT method is 95.45%. This accuracy is achieved as 244.62 (Watt), 60 (Ncell) and 37.2 (Volt) for Maximum Power, cell per module, and Open circuit voltage (Volt), respectively.

KEYWORDS: Maximum Power Point Tracking, Particle swarm optimization, Solar energy

March 2021, 56 Page

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasemin GÜLTEPE'ye teşekkürü borç bilirim.

Tez izleme toplantılarında jüri üyesi olarak görev alan Prof. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI'na ve Dr. Öğr. Üyesi Cevat RAHEBİ'ye değerli önerileri ve çalışmaya olan katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının her aşamasında bana destek veren, çalışmamla ilgili beni yüreklendiren ve manevi hiçbir yardımlarını esirgemeden yanımda olan sevgili aileme ve yakınlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kastamonu Üniversitesinde aldığım eğitim için yaptıkları destekten dolayı Libya Hükümetine ve Türkiye'deki Libya Büyükelçiliğine teşekkür ederim.

Rafa Othman Hussein ELSHARA

Kastamonu, 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI ..... **ii**
TAAHHÜTNAME ..... **iii**
ÖZET ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TEŞEKKÜR ..... **vi**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
TABLOLAR DİZİNİ ..... **iix**
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **x**
1. GİRİŞ **1**
2. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU **9**
2.1 Optimizasyon Süreci 11
2.2 Parçacık Sürü Optimizasyon Denklemleri 12
2.3 Dinamik Analiz 13
2.4 Açık Döngü Dinamikleri 16
2.5 N Boyut İçin Genelleme 17
2.6 Kapalı Döngü Dinamikleri 22
2.5 İstenilen Konum 23
3. FOTOVOLTAİK SİSTEM **28**
3.1 Donanım Bileşenlerinin Tarifi 28
3.2 Fotovoltaik Panel 28
3.3 DC/DC Çeviri 31
3.4 İnvertör 33
3.5 Yük.. 36
3.6 Maksimum Güç Noktası İzleme 36
3.7 Gelişme Seviyesi 37
3.7.1 Tedirgeme ve Gözleme 37
3.7.2 Artımlı İletkenlik 38
3.7.3 Değişken Adım Artımlı İletkenlik 38
3.7.4 Hava Sensörüne Dayanan Algoritmalar 39
3.7.5 İşlemciye Dayanan Algoritmalar 39
3.7.6 Tekil Sensör Algoritmaları 40
3.8 Parçacık Sürü Optimizasyonun Avantajları ve Dezavantajları.. 42
4. SİMÜLASYON SONUCU **43**
4.1 Maksimum Güç Noktası İzleme Dayalı Parçacık Sürü Optimizasyonu 43
4.2 Yükseltici Dönüştürücü 43
5. SONUÇ **49**
KAYNAKLAR **51**
ÖZGEÇMİŞ **56**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1 Güneş Enerjisi Sistemleri 3
Şekil 1.2 Yenilebilir Enerji Teknolojilerinin Teknik Potansiyeli 4
Şekil 1.3 Küresel Düzeyde Toplam Kurulu FV Kapasitesi 5
Şekil 2.1 Uygunluk Değerinin Grafiğin Yüksekliği Olduğu Kesintili Bir 2-B Uygunluk Fonksiyonu 10
Şekil 2.2 "En Güçlü Olanın Hayatta Kalması" Sürecinin Görselleştirilmesi 11
Şekil 2.3 M Değeri -0,5 Olarak Ayarlanmış Kapalı Döngü 1-D PSO Sisteminin KökYeralanı Grafiği 17
Şekil 2.4 M Değeri -0,5 Olarak Ayarlanmış Kapalı Döngü 1-D PSO Sisteminin Kök Yeralanı Grafiği 17
Şekil 2.5 Denklem 2.28'de Görülen Kapalı Döngü Dinamiklerinin Blok Diyagramı 23
Şekil 2.6 Denklem 2.36'nın İstenen Bir Konumu Nasıl Seçtiğinin Görselleştirilmesi 26
Şekil 3.1 Amerika Birleşik Devletleri'nin Güneş Haritası 29
Şekil 3.2 Güneş Paneli Eşdeğer Devresi 29
Şekil 3.3 Farklı Işınım Seviyeleri İçin I-V Eğrileri 30
Şekil 3.4 Farklı Sıcaklık Seviyeleri İçin I-V Eğrileri 31
Şekil 3.5 DC-DC Dönüştürücü Devre Şeması 32
Şekil 3.6 DC-DC Dönüştürücü Gerilimleri ve Akımları 33
Şekil 3.7 Üç Fazlı İnventör Topolojisi 33
Şekil 3.8 İnventer Kontrolü İçin PWM Sinyalleri 35
Şekil 3.9 Üç Fazlı İnverter Çıktısı 35
Şekil 3.10 Tedirgeme ve Gözlem Algoritmasının Akış Şeması 37
Şekil 3.11 Artımlı İletkenlik Algoritmasının Akış Şeması 39
Şekil 3.12 Kesirli Açık Devre Voltaj Algoritmasının Akış Şeması 41
Şekil 3.13 Chen Tek Sensör Yönteminin Akış Şeması 42
Şekil 4.1 Tüm FV Sisteminin Blok Şeması 43
Şekil 4.2 DC-DC Yükseltici Dönüştürücü 44
Şekil 4.3 Önerilen Yöntemin Simulink Modeli 44
Şekil 4.4 Zamana Karşı FV Gücü-PSO, Işınım FV ve Yükseltici Dönüştürcü Voltajı 45
Şekil 4.5 Demux Çıktısı 45
Şekil 4.6 PSO ile PSO'suz FV Gücü Arasında Karşılaştırma 46
Şekil 4.7 FV Yükseltici Dönüştürücü Gerilim ve Akımı 46
Şekil 4.8 FV Panel Özellikleri 47
Şekil 4.9 Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim 48

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1.1 Farklı Yenilebilir Enerji Sektörleri Arasında Küresel Güç Kapasitesinin Karşılaştırılması (Birim: GW) 5
Tablo 1.2 Güneş Enerjisi Üretim Kapasitesi İçin 2015 Küresel Sıralaması 6
Tablo 4.1 FV Sistemi İçin Parametre 47
Tablo 4.2 Yükseltici Dönüştürücü Parametresi 48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ABD : Amerika Birleşik Devletleri
AC : Alternatif Akım
CSP : Güneş Termik Santrali
DC : Doğru Akım
EJ : Exajoule
FOCV : Kesirli Açık Devre Voltajı
FV : Fotovoltaik
GHG : Sera Gazı
GW : Gigawatt
I : Akım
kW : KiloWatt
LTI : Doğrusal Zamanla Değişmeyen
MPPT : Maksimum Güç Noktası İzleme
MW : Megawatt
PSO : Parçacık Sürü Optimizasyonu
PWM : Sinyal Genişlik Modülasyonu
RNG : Rastgele Sayı Üretici
SISO : Tek Girdili Tek Çıktılı
V : Gerilim

1. GİRİŞ

Güneş teknolojilerinin uzun bir geçmişi vardır. 1860 ve Birinci Dünya Savaşı arasında, güneşin ısısını yakalayarak buhar, tahrik motorları ve sulama pompaları üretmek için bir dizi teknoloji geliştirilmiştir. Fotovoltaik güneş pili hücreleri 1954'de Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Bell Laboratuvarlarında icat edildi ve 1950'lerin sonlarından beri uzayda elektrik üretimi için kullanıldı. Yetmişli yıllardaki petrol etkisi, takip eden yıllarda güneş enerjisi teknolojilerinin geliştirilmesi ve ticarileştirilmesi açısından büyük ilgi gördü. Bununla birlikte, 1970'lerde ve 80'lerin başında, bu yeni ortaya çıkan güneş enerjisi endüstrisi, petrol fiyatlarındaki keskin düşüş ve sürdürülebilir politikaların kalıcı olmaması nedeniyle çöktü. Güneş enerjisi piyasaları son zamanlarda muazzam bir büyüme gösterdi ve 2000 yılının başından bu yana ivme kazandı. Güneşe dayalı elektrik üretim kapasitesinin tam kapasitesi, doksanlı yılların başında neredeyse ihmal edilebilir kapasiteden 2010'nun sonunda 40 GW'ın üzerine çıkarak büyük bir artış sağlamıştır (Timilsina vd., 2012).

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte güneş enerjisi de etkileyici bir teknolojik değişim geçirdi. İlk güneş teknolojileri küçük ölçekli fotovoltaik (FV) hücrelerden meydana gelirken, en son teknolojiler şebekelerde güneş yoğun enerji ve büyük ölçekli FV sistemler ile görülmektedir. Güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet düşüşü son 30 yılda açıkça görülmektedir. Örnek olarak; yüksek güç bandına sahip güneş modüllerinin fiyatı 1982 yılında 27.000$/kW'dan 2006 yılında 4000$/kW'a düşmüştür. Bir FV sisteminin kurulma maliyeti, 1992 yılında 16.000$/kW'dan 2008 yılında yaklaşık 6000$/kW'a düşmüştür.

Güneş enerjisi piyasasının hızlı genişlemesi ile birlikte fosil yakıt fiyatlarında artan değişkenliğini de dikkate aldığımızda bir dizi yardımcı politika aracı da kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir: Fosil yakıtların çevresel dışsallıkları, özellikle sera gazı (GHG) emisyonları (Kabir vd., 2018; Tripathi, 2014).

Güneş, dünya gezegeni için hiç bitmeyen maliyetsiz bir enerji kaynağıdır. Yani bir güneş enerjisidir. Günümüzde yeni teknolojiler önemli ivme kazanmıştır. Tasarruflu güneş enerjisinden elektrik üretmek için kullanılmaktadırlar. Bu yaklaşımlar

hâlihazırda kanıtlanmıştır ve geleneksel hidro-olmayan yenilenebilir teknolojilere alternatifler olarak dünya çapında yaygın olarak uygulanmaktadır. Teorik olarak güneş enerjisi, toplanması ve tedariği için gerekli teknolojiler mevcutsa, tüm dünyanın enerji taleplerini verimli bir şekilde karşılama imkânına sahiptir. Yılda yaklaşık dört milyon exajoule (1EJ = 1018J) güneş enerjisi dünyaya ulaşıyor. 5×104 EJ'nin rahatlıkla toplanabilmesi gerekmektedir. Bu büyük potansiyele ve artan farkındalığa rağmen, güneş enerjisinin küresel enerji arzına katkısı hala ihmal edilebilir düzeydedir (Sampaio ve González, 2017).

Güneş araştırmalarıyla ilgili bir başka büyük olasılık, son yıllarda karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik mevcut küresel yönelimle birlikte, temel bir küresel çevresel, sosyal ve ekonomik sorunun çözülmesidir. Örneğin, 696.544 metrik ton CO_2 emisyonu, Kaliforniya ve ABD'de 113.533 ev tipi güneş enerjisi sistemlerinin kurulmasıyla azaltılır veya önlenebilir. Bu nedenle, güneş teknolojilerinin benimsenmesi, enerji güvenliği, iklim değişikliği, işsizlik vb. sorunlar ile birlikte bunlarla ilişkili sorunları da önemli ölçüde hafifletecektir. Ek olarak güneş enerjisi kullanımının gelecekte ulaştırma sektöründe önemli bir rol oynaması ve akaryakıt taşımacılığına ihtiyaç duyulmaması beklenmektedir. Güneş enerjisini elektrik üreten fotovoltaik paneller aracılığıyla toplamak, yenilenebilir enerji alanında en umut verici pazarlardan biri olarak kabul edilir. Hızlı büyüme perspektifi ve yüksek yatırım seviyeleri sayesinde fotovoltaik pazarı, özellikle Avrupa, Çin ve Amerika Birleşik Devletleri'nde olmak üzere artık dünya çapındadır. Özellikle Brezilya'da güneş enerjisinin eklenmesinin ardından önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Enerji matrisinin lansmanı ve tek seferlik güneş enerjisi ihaleleri, hidroelektrik enerjideki düşüş ve şu anda Brezilya'nın ana enerji matrisi olan elektrik fiyatlarındaki artış nedeniyle zorluklarla karşılaşılmıştır (Nagenborg, 2018).

Küresel nüfus enerji kaynaklarındaki hızlı artışla birlikte, daha fazlasına olan talep inkar edilemez. Fosil enerji kaynakları güneş enerjisi tüm dünyada sınırlı ilgi görmektedir ve tamamen çevre dostu bir alternatiftir. Güneş dönüşüm sistemleri düşük verimlilikten muzdariptir. Bu nedenle enerjinin güneş ışınlarından yüksek verimli bir teknoloji ile toplanması temel amaçtır. Nanoteknoloji, bu boşluğu doldurmak için yeni bir alan açmıştır. Nanofluid/nano akışkan, güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini

artırmada önemli bir rol oynar (Ahmed vd., 2014). Bu tez çalışmasında genel olarak güneş sistemlerinde akışkan olmayan uygulamalarla ilgili önceki çalışmalar incelenmiş ve analiz edilmiştir. Şekil 1.1'de örnek bir güneş enerjisi sistemi gösterilmektedir.

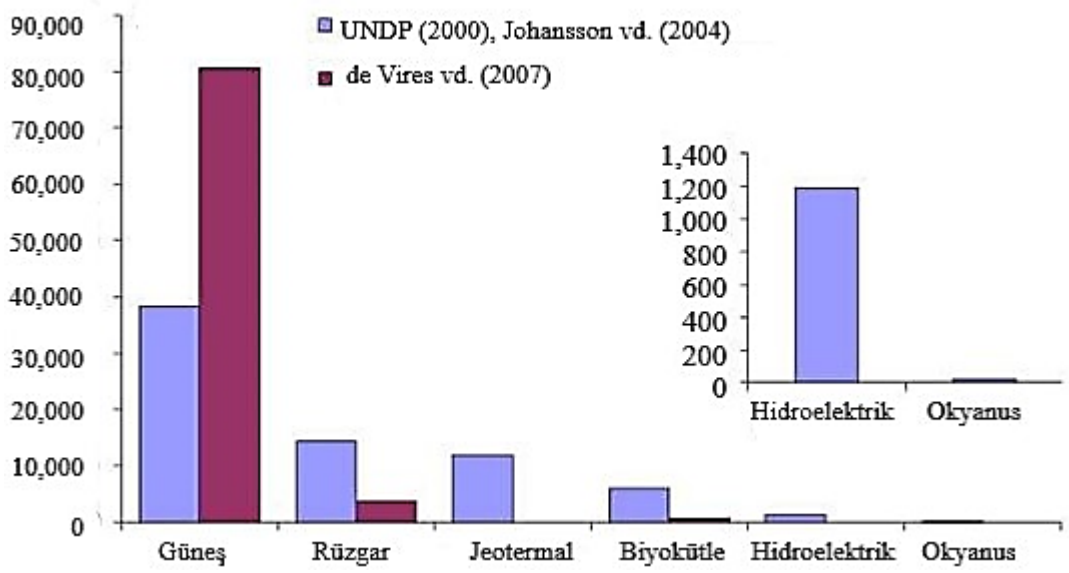


Şekil 1.1 Güneş enerjisi sistemleri

Güneş enerjisi, doğrudan güneş ışığına veya güneş ışığının ürettiği ısıya atfedilebilecek enerji kaynaklarını ifade eder. Güneş enerjisi teknolojileri şu şekilde sınıflandırılabilir: Pasif ve aktif; termal ve fotovoltaik; konsantre olan ve konsantre olmayan. Pasif güneş enerjisi teknolojisi, yalnızca ısıyı veya ışığı başka biçimlere dönüştürmeden enerji toplar. Örneğin, bina tasarımı yoluyla gün ışığı veya ısı kullanımını en üst düzeye çıkarmayı içerir. Buna karşın, aktif güneş enerjisi teknolojisi, güneş enerjisinin onu depolamak veya başka uygulamalar için dönüştürmek için kullanıldığı anlamına gelir. Genel olarak iki gruba ayrılabilir: FV ve termal güneş enerjisi.

FV teknolojisi, ışık kuantumunda bulunan ışıma enerjisini, ışık yarı iletken bir malzemenin üzerine düştüğünde elektrik enerjisine dönüştürerek elektron uyarımına ve iletkenlikte güçlü bir artışa neden olur. Güneş termal teknolojisi, doğrudan termal veya ısıtma uygulamasında yahut elektrik üretiminde güneşten gelen ısıyı kullanır. Buna göre iki kategoriye ayrılabilir: Elektriksiz güneş enerjisi ve güneş termal enerjisi. Birincisi tarımsal kurutma, güneş enerjili su ısıtıcıları, güneş hava ısıtıcıları, güneş soğutma sistemleri ve güneş ocakları (yemek pişirme, vb.) gibi uygulamaları içerir

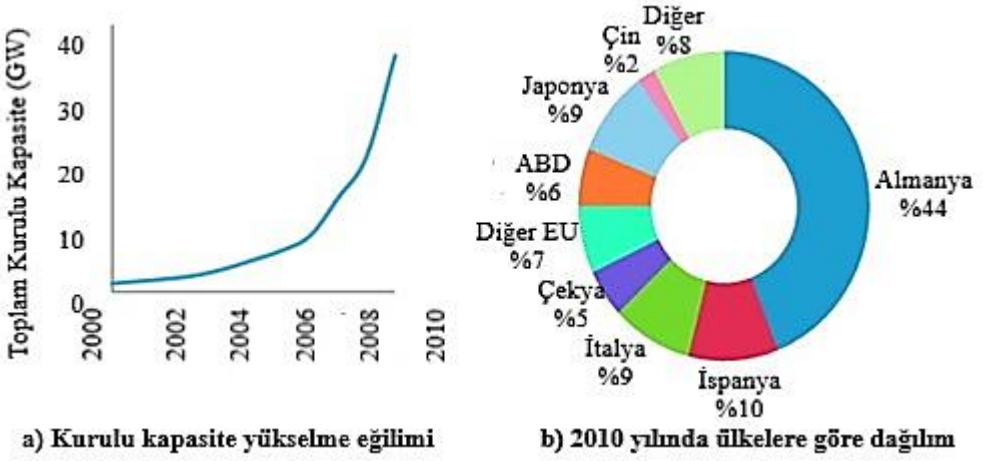
(Borchers vd., 2014). İkincisi ise, aynı zamanda konsantre güneş enerjisi (CSP) olarak da bilinen, elektrik üretimi amacıyla buhar üretmek için güneşten gelen ısının kullanılmasını ifade eder. Şu anda piyasada dört tip CSP teknolojisi mevcuttur: Parabolik Geçirgen, Fresnel Aynası, Güç Kulesi ve Güneş Toplayıcı. Güneş enerjisi, en büyük yenilenebilir enerji kaynağımızdır (Zhang vd., 2013). Dünyanın yüzeyine ulaşan etkili güneş radyasyonu/ışınımı, en yüksek enlemlerde yaklaşık 0,06 kW/m^2 ile düşük enlemlerde 0,25 kW/m^2 arasında değişir. Şekil 1.2'de mevcut teknolojilerle güncel dönüşüm verimliliklerini kullanarak farklı yenilenebilir enerji seçeneklerinin teknik olarak uygulanabilme potansiyeli karşılaştırılmıştır (Byrne vd., 2010). Bölgesel bazda bile, dünyanın en iyi bölgelerindeki güneş enerjisinin teknik potansiyeli, bu bölgelerdeki mevcut toplam birincil enerji tüketiminden kat kat daha büyüktür.



Şekil 1.2 Yenilenebilir enerji teknolojilerinin teknik potansiyeli

Aralık 2010 itibariyle FV için küresel kurulu kapasite yaklaşık 40 GW4, bunun %85'i şebekeye bağlı ve %15'i ise şebeke dışıdır. Bu pazara, şu anda pazarın %80'inden fazlasını oluşturan kristalin silikon bazlı FV hücreleri hâkimdir. Piyasanın geri kalanında, destekleyici bir alt katman üzerinde üst üste konmuş fotovoltaik katmanlarla üretilen hücrelerin kullanıldığı, neredeyse yalnızca ince film teknolojileri yer alır. Küresel kurulu kapasite trendi için küresel düzeyde FV'nin toplam kurulu kapasitesi, Şekil 1.3a'da gösterilmektedir. Şekil 1.3b'de gösterildiği gibi çok az sayıda ülke ise FV pazarını oluşturur. Ancak bazı ülkelerde önemli pazar büyümesi söz konusudur. Özellikle, Çek Cumhuriyeti'nde Aralık 2010 itibariyle yaklaşık 2 GW olan

güneş FV kapasitesi, 2008'de neredeyse sıfırdı. 2010 yılında Hindistan'ın kümülatif kurulu FV kapasitesi 102 MW ve Çin ise 893 MW kümülatif kapasitesine sahipti (Tripathi, 2014).



Şekil 1.3 Küresel düzeyde toplam kurulu FV kapasitesi

Çoğu yenilenebilir enerji kaynağı (rüzgar, güneş, gelgit dalgası, hidro, vb.) gün, mevsim, yıl ve hatta bir coğrafi konum bazında değişiklik gösterir. Farklı yenilenebilir enerji sektörleri arasında küresel güç kapasitelerinin bir karşılaştırması Tablo 1.1'de listelenmiştir.

Tablo 1.1 Farklı yenilenebilir enerji sektörleri arasında küresel güç kapasitesinin karşılaştırılması (Birim: GW)

Sıra	**Enerji**	**Yıl**		
		2013	2014	2015
1	Toplam Yenilenebilir Enerji	1578	1712	1849
2	Hidroelektrik	1018	1055	1064
3	Bio-enerji	88	93	106
4	Jeotermal	12,1	12,8	13,2
5	Güneş FV	138	177	227
6	Yoğunlaşan güneş ısısı	3,4	4,4	4,8
7	Rüzgar enerjisi kapasitesi	319	370	433

Pek çok ülkede yenilenebilir enerji kullanımı geleneksel enerji kaynaklarının yanı sıra rekabetçi bir şekilde takip edilmekte ve böylece ulusal enerji üretimine önemli bir katkı

sağlamaktadır. Örneğin, güneş FV; İtalya, Yunanistan ve Almanya'daki elektrik talebini tahmini olarak %7,9; %7,6 ve %7,0 oranında katkıda bulunmaktadır. Güneş FV kapasiteleri, 2004'ten 2015'e yaklaşık 3,7-225 GW değerleri arasında değişim göstermiştir.

Tablo 1.2 Güneş enerjisi üretim kapasitesi için 2015 küresel sıralaması

Dünya sıralaması	**Ülke adı**	**2015 yılı toplam kapasitesi (MW)**	**2015 yılında kurulan (MW)**
1	Çin	43.180	15.130
2	Almanya	39.553	1418
3	Japonya	33.300	10.000
4	ABD	27.400	7260
5	İtalya	19.160	700
6	Birleşik Krallık	8437	3109
7	İspanya	6967	6946
8	Fransa	6680	1020
9	Avustralya	5049	913
10	Hindistan	4680	2048

2015 yılında, 161 milyar dolarlık toplam yatırım ile ilave 59 GW ile toplam güneş enerjisi kapasitesi kuruldu. Ancak Avrupa, yaklaşık 100 GW kurulu kapasitesiyle hala en fazla güneş enerjisine sahip kıtadır. 2015 yılında, Avrupa için güneş enerjisi kapasitesi 8 GW artarken, yalnızca İngiltere, Almanya ve Fransa ise 5,3 GW (%75 oranında) olarak büyümüştür. Bununla birlikte, Çin yaklaşık olarak toplam kurulu güneş enerjisi kapasitesinde çok başarılı olmuştur. Aralık 2015 itibarıyla 43 GW, Almanya'daki küresel sıralamada uzun süredir listededir. Dahası, Çin ayrıca 2020 yılına kadar güneş enerjisi kapasitesini 150 GW'a çıkarmayı planlamaktadır. Amerikan Güneş Enerjisi Endüstrileri Birliği'ne göre, Amerika Birleşik Devletleri'nin toplam güneş FV kapasitesi 2017'de 45 GW'a ulaşabilir. Avustralya'da 2015 yılında rüzgâr enerjisinden üretilen 774 MW'a karşı 913 MW üretilen güneş enerjisi, yeni enerjilerin en önemli kaynağı haline geldi. İlginç bir şekilde, aynı yıl Avustralya'da 1300 MW'lık kömür enerjisi hizmet dışı bırakıldı. Bu durum, geleneksel kömüre

dayalı enerji üretimini değiştiren ve daha yeşil bir dünyaya ulaşan harika bir yolculuk olarak takdir görmüştür. Hindistan'da olan güneş enerjisi şebekesi 3743 (Mart 2015), 6762 (Mart 2016) ve 8062 MW (Temmuz 2016) kapasiteye ulaştı. Bu tür gelişmelerle Hindistan şu anda 2022 yılına kadar güneş enerjisini şaşırtıcı bir şekilde 100.000 MW'a çıkarmayı planlıyor. Benzer şekilde Avrupa cephesinde, Fransa kilometre başına 5.000 tane eve enerji sağlamak için yeterli temiz enerji sağlayabilecek 1.000 kilometrelik bir güneş yolu inşa edilmesi planlanmaktadır (Lu vd., 2020). Özetlemek gerekirse, Tablo 1.2'de mevcut güneş enerjisi üretim kapasiteleri ve 2015 sonunda dünya sıralamaları listelenmektedir.

Bu tezde, güneş enerjisi sistemlerinde Maksimum güç noktası takibi (MPPT) performansını artırmak için parçacık sürü optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. MPPT, her koşulda güç çıktısını en üst düzeye çıkarmak amacıyla rüzgar türbinleri ve FV güneş sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Esas olarak güneş enerjisi için kullanılsa da genellikle değişken güce sahip kaynaklar için geçerlidir: Örneğin, optik güç aktarımı ve termofotovoltaik.

FV güneş sistemlerinde, invertör sistemleri, harici şebekeler, batarya kümeleri veya diğer elektrik yükleri ile olan ilişkileri açısından birçok farklı konfigürasyon mevcuttur. Güneş enerjisinin nihai hedefi ne olursa olsun, MPPT'nin ele aldığı temel sorun, güneş hücresinden güç aktarımının verimliliğinin güneş panellerine düşen güneş ışığı miktarına, güneş panelinin sıcaklığına ve yükün elektriksel özelliklerine bağlı olmasıdır. Güneş paneline düşen güneş ışığı miktarı ve panelin sıcaklığı değiştikçe, en yüksek güç aktarım verimliliğini veren yük karakteristiği de değişmektedir. Böylece güç transferini en yüksek verimlilikte tutmak amacıyla yük karakteristiği değiştiğinde sistemin verimliliği optimize edilebilir. Bu yük karakteristiği maksimum güç noktası (MPP) olarak adlandırılır ve MPPT, bu noktayı bulma ve yük karakteristiğini orada tutma işlemidir. Elektrik devreleri, fotovoltaik hücrelere gelişi güzel yükler sunmak ve ardından voltajı, akımı veya frekansı diğer cihazlara veya sistemlere uyacak şekilde dönüştürmek amacıyla tasarlanabilir. MPPT, en kullanışlı güç çıkışını almak için hücrelere sunulacak en iyi yükü seçme sorununu çözer.

Tez çalışmasında, Partikül Sürü Optimizasyonu (PSO) yönteminin modellenmesi ve enerji açısından en iyi MPPT noktasının bulunması amaçlanmıştır. Hesaplamada PSO, parçacıkların doğadaki davranışını andıran bir sezgi ötesi (meta-heuristic) yaklaşımı ifade etmektedir.

PSO yöntemlerinin çıkışı, Kennedy, Eberhart ve Shi adlı araştırmacılara atfedilmektedir. Başlangıçta, bir kuş veya balık sürüsündeki canlı organizmalar tarafından tanımlanan hareket gibi sosyal davranışları modellemek üzere tasarlanmışlardır. Daha sonra algoritma sadeleştirilmiş ve optimizasyon problemlerine uygun olduğu görülmüştür. PSO, "parçacıklar" olarak adlandırılan bir aday çözüm popülasyonundan bir problemi optimize etmemize izin verir ve bunları, parçacıkların konumu ve hızını hesaba katan matematiksel kurallara göre arama alanı boyunca hareket ettirir. Her parçacığın hareketi, o ana değin bulunduğu en iyi yerel konumdan ve diğer parçacıkların arama uzayını geçerken buldukları en iyi küresel konumlardan etkilenir. Bunun teorik temeli, parçacık bulutunun en iyi çözümlere hızla yakınlaşmasını sağlamaktır.

PSO meta-sezgiseldir (meta-heuristic). Çünkü optimize edilecek problem hakkında ya çok az hipotez varsayar veya hiç varsaymaz. Geniş bir aday çözümler uzayına uygulanabilir. Bununla birlikte, tüm meta-sezgisel yaklaşımlar gibi, PSO da her durumda en uygun çözümü elde etmeyi garanti etmez.

Simulink, dinamik sistemlerin modellenmesi, simülasyonu ve analizi için kullanılan bir yazılım paketidir. Simulink, MATLAB ile birlikte bütünleşik olarak çalışan bir similasyon ortamıdır. Sürekli zamanlı ve ayrık zamanlı sistemleri veya her ikisini de içeren hibrit sistemleri desteklemektedir.

Bu tez çalışmasında Matlab-Simulink, PSO yönteminin modellenmesi ve enerji açısından en iyi MPPT noktasının bulunması amacıyla kullanılmıştır.

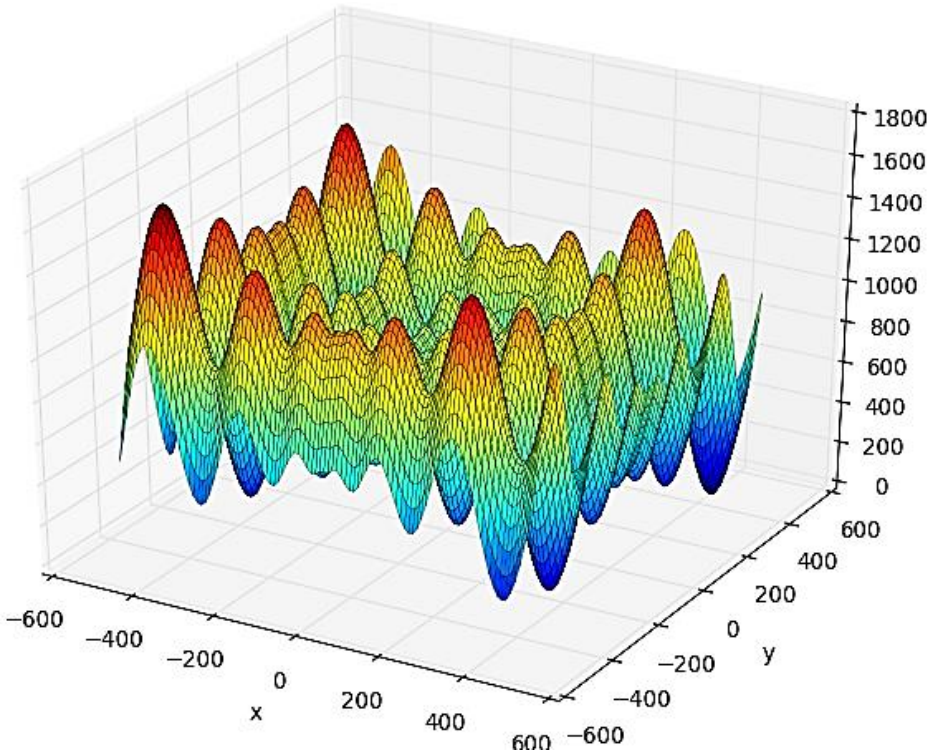
2. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Parçacık sürü optimizasyonu esnasında (herhangi bir optimizasyon işlemi gibi), bazı işlevler için bir girdi değerleri alanı araştırılır. İşlem, işlevin aralığında en yüksek (veya en düşük) çıktı değerini üreten, etki alanındaki en iyi girdi kümesini arar. Bu girdi değerleri güç, kuvvet veya konum gibi parametreler olabilirken, çıktı değerleri performans, verimlilik veya maliyet gibi parametreler olabilir. Bazı dünya dışı cisimlere yönelik bir robotik araştırma görevi durumunda çıktı, istenen bazı kaynakların (veya genellikle görevin ilgilendiği kaynağın yakınında bulunan bir kaynağın) konsantrasyonunu gösteren bir sensör okumasıdır. Bu girdi-çıktı ilişkisini temsil eden işleve, Uygunluk Fonksiyonu (veya optimizasyon en aza indirme amacındaysa Maliyet Fonksiyonu) denir.

Optimizasyon sürecinden önce, bu Uygunluk Fonksiyonu, hâlihazırda kesintili bir fonksiyon değilse, kesintili hale getirilmelidir. Bu hale getirme sayesinde, kayan nokta hatalarının uygunluk fonksiyonu değerlerinin, gözlemi etkilemesi engellenir. N giriş parametresiyle (bağımsız değişkenler) bir optimizasyon için, uygunluk fonksiyonunun N boyutu vardır. Uygunluk fonksiyonunu kesintili hale getirmek için, her bir ilgili giriş/input ekseni için bir maksimum ve minimum değer ve ayrıca her eksen boyunca kesinti noktaların sayısı seçilmelidir (Kotsiantis ve Kanellopoulos, 2006). Bu parametrelerin seçimi sırasında aşağıdakiler önemlidir:

- Giriş parametrelerindeki herhangi bir gürültünün şekli ve büyüklüğü. Örneğin uygunluk işlevinin örnekleri bir sensörden alınması.
- Örnekleme teoremi olarak bilinen Nyquist teoremi, uygunluk işlevinin çıktısı periyodik olabilir veya periyodik bileşenlere sahip olması.
- Çıktı parametrelerindeki herhangi bir gürültünün şekli ve büyüklüğü. Örneğin bir sensörden uygunluk fonksiyonunun örnekleri alınması.

Kesikli hale getirme süreci, arama uzayında ayrı konumların veya bölmelerin, N boyutlu bir örgüsünü ortaya çıkarmaktır. Bunun bir görselleştirmesi, iki boyutlu durum açısından Şekil 2.1'de görülebilir.



Şekil 2.1 Uygunluk değerinin grafiğin yüksekliği olduğu kesintili bir 2-B uygunluk fonksiyonu

Bu kesikli hale getirme sürecinde bir denge sağlanmalıdır. Kesikli bölme çok büyükse, uygunluk değeri bölme içinde çok fazla değişecektir. Bu durumda, uygunluk fonksiyonu birden fazla değer alacaktır. Kesikli bölme çok küçükse, belirli bir konumdaki bir sensörden gelen gürültü, birden çok bölmeye yayılabilir (Kotsiantis ve Kanellopoulos, 2006).

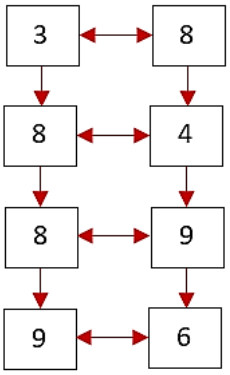
Optimizasyon işlemi sırasında, arama alanının bu kesikli hale getirilmesi bellekte saklanır. Uygunluk fonksiyonundaki noktalar örneklenirken, uygunluk değerleri saklanır. Kesikli hale getirme durumunu bellekte depolayan uygulamalar için, N sayısı ile ifade edilen boyutların sayısı ve bir eksen üzerindeki ayrık noktaların sayısı makinenin (bilgisayar, vb.) belleğiyle sınırlıdır. Burada, sunulan uygulama kavram kanıtı amacı nedeniyle sunulan simülasyonlar makinede mevcut bellekten daha büyük boyutlarda parametre alanlarına sahip uygunluk fonksiyonları kullanılmaz. Geniş parametre alanlarına sahip uygunluk fonksiyonlarını ele alan uygulamalarında, kesikli verileri depolamak için dosyalarında, veri tabanlarında ve ağ soketlerinde daha yüksek gecikme yöntemleri kullanılmalıdır.

2.1 Optimizasyon Süreci

Optimizasyon sürecinin bir sonraki yinelemesinde/adımında örneklenecek olan uygunluk fonksiyonu noktası, "parçacık" olarak adlandırılır. Dünya dışı araştırma görevimizde bu parçacıklar, arama alanındaki doğal kaynaklar için arama konumlarını seçen farklı robotlardır. Bu parçacıkların uygunluk fonksiyonu ile ilgili hareketi oldukça düzensiz görünebilir. Parçacık Sürüsü Optimizasyonunun adı bu düzensiz hareketten gelir.

Yeni örnekler bulunduğunda, mevcut en iyilerle (her sırayla) karşılaştırılır. En iyi uygunluğa (daha yüksek sayı veya daha koyu renk özelliğine göre) sahip olan örnek "sonraki karşılaştırmaya" kadar hayatta kalır.

Parçacık sürü optimizasyonu, en iyi uygunluk değerine sahip örneği belirlemek için "en güçlü olanın hayatta kalması" yöntemini kullanır. Optimizasyon süreci, uygunluk fonksiyonunun maksimum değerini bulurken, en iyi uygunluk değeri en yüksek değerdir. Optimizasyon süreci, uygunluk fonksiyonunun minimum değerini bulurken, en iyi uygunluk değeri en düşüktür. Her parçacık için, en iyi uygunluk değerine sahip örneği belirleyen basit bir rutin vardır. Yeni örnekler keşfedildikçe, bunlara karşılık gelen uygunluk değerleri son "en iyi uygunluk" örneğiyle karşılaştırılır. Uygunluk puanı daha iyi olduğunda, yeni örnek "en iyi uygunluk" örneği olur. Uygunluk daha kötüyse, eski değer hayatta kalır. Uygunluk değerleri tam olarak eşitse, yeni veya eski örnek, tek düze dağılıma göre rastgele seçilir. Bu süreç, Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 "En güçlü olanın hayatta kalması" sürecinin görselleştirilmesi

Bu süreç boyunca, her parçacık, parçacığın bulduğu en iyi uygunluk örneğinin konumunu belirler. Bu en iyi örnek "Yerel En İyi" olarak adlandırılır. Bu "en güçlü olanın hayatta kalması" süreci, tüm parçacıkların bulduğu en iyi örneği belirlemek için "Yerel En İyi" örnekler kümesinden tekrarlanır. Buradaki en iyi örnek, "Küresel En İyi" veya "Komşuluğun En İyisi" olarak adlandırılır. Bu sonraki "en güçlünün hayatta kalması" prosedürü, Şekil 2.2'deki her karşılaştırmada bulunan farklı "Yerel En İyi" konumları, "Yeni Örnekler" girdi değerleri olarak kullanır. Bu, Küresel En İyi'nin farklı Yerel En İyi örnekler arasında en uygun olanı olduğu ve en az bir parçacık (duruma göre belki daha fazla) için Küresel ve Yerel En İyi örneklerin aynı olduğu anlamına gelir.

Burada, gerçekleştirilen simülasyonlar sırasında uygulama merkezileştirilir ve her parçacık bilgisayardaki aynı bellek alanına erişime sahiptir. Bununla birlikte, bir robotik araştırma görevi sırasında, her robotun yeni keşfedilen örnekleme bilgilerinin konumlarını ve değerlerini diğer robotlara (telsiz iletişimi kullanarak) iletmesi gerekir. Her bir robot algoritmayı bağımsız olarak yürütürken, bu iletişim merkezi simülasyona eşdeğer bir ortam sağlar.

2.2 Parçacık Sürü Optimizasyon Denklemleri

Bir parçacığın sonraki örneklemesi gereken konumun seçimi, aşağıdaki Denklem 1 ile temsil edilir (Helwing vd., 2012).

$$\vec{x}(k+1) = \vec{x}(k) + \Delta\vec{x}(k+1) \quad (1)$$

$$\Delta\vec{x}(k+1) = \chi\left\{\Delta\vec{x}(k) + c_1\vec{r_1}(k) \otimes \left[\vec{L}_{best}(k) - \vec{x}(k)\right] + c_2\vec{r_2}(k) \otimes \left[\vec{G}_{best}(k) - \vec{x}(k)\right]\right\}$$

Burada, $k \in Z+$, PSO algoritmasının geçerli zaman adımı veya yinelemesidir. N değeri (her vektörün boyutu), örneklenen uygunluk fonksiyonundaki boyutların sayısıdır. Parçacığın bir sonraki örnekleme konumu ve mevcut örnekleme konumu sırasıyla $\vec{x}(k+1)$ ve $\vec{x}(k)$ ile verilmiştir. Örnekleme konumundaki bir sonraki değişiklik ve örnekleme konumundaki mevcut değişiklik, sırasıyla $\Delta\vec{x}(k+1)$ ve $\Delta\vec{x}(k)$ ile verilmiştir. Konum, Yerel En İyi konum olarak bilinir ve bu parçacığın bu zaman

dilimine kadar bulduğu en iyi uygunluk değerine sahip konumdur. Konum, Küresel (veya Komşuluk) En İyi konum olarak bilinir ve herhangi bir parçacığın bu zaman dilimine kadar bulduğu en iyi uygunluk değerine sahip konumdur. Bir $\vec{r}_1(k)$ vektörü, Yerel Rastgele Vektör olarak bilinen ve [0,1) aralığında üretilen rastgele bir vektördür. Bir $\vec{r}_2(k)$ vektörü, Yerel Rastgele Vektör olarak bilinen ve [0,1) aralığında üretilen rastgele bir vektördür. Bu vektörlerin ikisi de tek düze dağılıma göre oluşturulur. X, c_1 ve c_2 skalerleri sırasıyla Kısıtlama Faktörü, Yerel Ağırlık ve Komşu Ağırlığı olarak ifade edilir. Son olarak, $\otimes$ sembolü, eleman-eleman vektör çarpımı olan Hadamard çarpımını belirtir. Aşağıdaki Bölüm 2.3'de, bu parametrelerin davranışı incelenmiştir.

Bu dünya dışı maden arama senaryosunda, N = 2, çünkü dünya dışı cismin iki boyutlu yüzeyi, uygunluk işlevimizin arama alanıdır. Okuyucu, geleneksel PSO literatüründe $\Delta\vec{x}$ (k) terimine $\vec{v}$ (k) hızı olarak atıfta bulunmasına rağmen, v (k) ifadesinin, algoritmanın bir sonraki yinelemesinde parçacık konumundaki değişikliği ifade ettiğini dikkate almalıdır. Bir sonraki bölümünde bu denklemlerin dinamik analizini okuyucu için daha açık hale getirmek için, burada $\Delta\vec{x}$ (k) notasyonu kullanılacaktır. Burada, bir sonlu fark denklemleri sistemi olduğundan, bu denklemlerin dinamikleri analiz edilerek sistemin davranışı daha iyi anlaşılabilir (Bratton ve Kennedy, 2007).

2.3 Dinamik Analiz

PSO denklemleri başlangıçta doğadaki kuş sürülerini gözlemleyerek oluşturulmuştur. Deneysel gözlemden geliştirildikleri için, kökenleri sağlam bir matematiksel çerçeve veya teori üzerine kurulamamıştır. Bu denklemler, bir sonlu fark denklemleri sistemi olduğundan genel olarak literatürde hangi parametre setinin dinamik olarak kararlı olduğu incelenmiştir (Clerc ve Kennedy, 2002; Jin'no, 2009; Jin'no ve Shindo, 2010). Burada, PSO denklemlerinin yeni bir genelleştirilmiş N boyutlu durum-uzay temsili türetilecektir. Denklemlerin bu temsili, dinamik teoride PSO için bir temel sağlar. PSO sisteminin performansını ve kararlılığını ayarlamak için kök yer eğrisi, Nyquist eğrileri, faz düzlemi ve benzeri ortak analiz araçları kullanılmaktadır.

İlk olarak Denklem 2, kısıtlama faktörü ile çarpılarak basitleştirilebilir, şöyle ki;

$$\Delta\vec{x}(k+1) = M\Delta\vec{x}(k) + C_1\vec{r_1}(k) \otimes \left[\vec{L}_{best}(k) - \vec{x}(k)\right] + C_2\vec{r_2}(k) \otimes \left[\vec{G}_{best}(k) - \vec{x}(k)\right] \quad (2)$$

Bu formülde M, Atalet Ağırlığı olarak anılır ve $C_1 = \chi c_1$, $C_2 = \chi c_2$. Okuyucular, $\chi = M$ olduğunu dikkate almalıdır. Bu ayrı isimlendirme, burada bu formüldeki PSO denklemlerini inceleyen geçmiş literatür ile tutarlılığı korumak için kullanılır (Jin'no ve Shindo, 2010).

Kök yer eğrisi gibi analiz araçlarını kullanmak için PSO denklemlerinin tek boyutlu formu incelenir. Bu analiz yapıldıktan sonra Denklem 3, Denklem 4, Denklem 5, Denklem 6, Denklem 7, Denklem 8 daha sonraki bölümlerde genelleştirilecektir. Bu tek boyutlu sadeleştirmeyi yaparak, tüm vektörler skaler hale gelir ve $\otimes$ skaler çarpma haline gelir.

$$x(k+1) = x(k) + \Delta x(k+1) \quad (3)$$

$$\Delta x(k+1) = M\Delta x(k) + C_1 r_1 [L_{best} - x(k)] + C_2 r_2 [G_{best} - x(k)]$$

$u(k)$ öyle tanımlansın ki;

$$u(k) = C_1 r_1 [L_{best} - x(k)] + C_2 r_2 [G_{best} - x(k)] \quad (4)$$

şu şekilde sonuçlansın;

$$\Delta x(k+1) = M\Delta x(k) + u(k) \quad (5)$$

$\Delta x(k+1)$ için çözüldüğünde şu elde edilsin;

$$\Delta x(k+1) = x(k+1) - x(k) \quad (6)$$

bu da şu sonucu verecektir;

$$x(k+1) - x(k) = M [x(k) - x(k-1)] + u(k) \quad (7)$$

$\vec{y}(k) = [y_1(k), y_2(k)]^T$ olarak tanımlanırsa;

$$y_1(k) = x(k-1)\ y_2(k) = x(k)\ y_2(k+1) = x(k+1) \tag{8}$$

Bu şekilde yerine koyarak, aynı zaman serisinde bir adım geçmişe bakabiliriz. Bir sonraki örnekleme konumuna ve mevcut örnekleme konumuna bakmak yerine, denklemler şimdi geçerli örnekleme konumunu ve son örnekleme konumunu inceler. Denklem 9 ve Denklem 10, durum-uzay şekline sokulabilir:

$$\begin{bmatrix} y_1(k+1) \\ y_2(k+1) \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} y_1(k) \\ y_2(k) \end{bmatrix} + Bu(k) \tag{9}$$

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -M & M+1 \end{bmatrix},\ B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\ C &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix},\ D = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{10}$$

Burada $\vec{y}$ (k), y_1 (k) son konum ve y_2 (k) mevcut konum olmak üzere durum vektörüdür. U (k) girişi skalerdir ve bu formda çıktı mevcut y_2 (k) pozisyonudur. Bu durum uzayı formunda, Denklem 4'de yapılan ikamenin artık bir hata terimi ile çarpılan kapalı döngü kazancı olarak yorumlanabileceği görülebilir. Bu hata terimi, parçacığın yakınsamaya çalıştığı istenen $G_{en\ iyi}$ ($L_{en\ iyi}$) konumu ile mevcut konumu arasındaki farktır. Burada u (k) açık döngü girdisidir. Bu girdinin hesaplandığı kapalı döngü formu daha sonraki Bölüm 2.5'de tartışılmıştır.

PSO konusuna ait genel literatürde, "Sürü Patlaması" olarak bilinen bir olgu yer almaktadır. "Sürü Patlaması"; algoritmanın stokastik davranışı, parçacıkların pozisyonundaki değişikliğin sınırsızca monoton bir şekilde büyümesine neden olduğunda meydana gelir (Clerc ve Kennedy, 2002). Bu davranış, sonsuz bir hacmi doldurmak için genişleyen bir gaza benzerdir. Bu istenmeyen bir davranıştır ve parçacıkların istenen herhangi bir arama konumunu asla takip etmediği bir duruma neden olur. Benzer dinamik analizler yapan geçmiş makaleler, bu patlama davranışının nedenini belirlemiştir. Davranış, Yerel Rastgele Vektörü belirlemek amacıyla Rastgele Sayı Üreticisi (RNG) terimlerinin ve sistemi kararsız yapan kapalı döngü kazancını seçen Komşu Rastgele Vektörünün (Clerc ve Kennedy, 2002; Jin'no, 2009; Jin'no ve Shindo, 2010; Shindo ve Jin'no, 2013; Trelea, 2003) bir sonucudur. Bu nedenle, uygun skaler kazanımların seçilmesi zorunludur.

2.4 Açık Döngü Dinamikleri

Denklem 11 ile belirtilen bu sistemin açık döngü dinamikleri, bu parçacığın arama uzayını keşfederken örnekleme konumunu belirler. İlk olarak, kontrol edilebilirlik ve gözlemlenebilirlik ortaya konulmalıdır. Sistem kontrol edilebilir değilse, sistemi kararlı hale getirecek kapalı bir döngü kazancı bulunmamaktadır. Kararlılık olmadan "Sürü Patlaması" davranışının hiç gerçekleşmemesini sağlamak mümkün değildir. Gözlenebilirlik isteğe bağlıdır. Ancak özelliğin doğru olması, bir uygulamanın gerçekleştirilmesi için seçebileceği herhangi bir filtreleme veya tahmine yardımcı olacaktır.

Kontrol edilebilirlik ve gözlenebilirlik matrisleri sırasıyla $\mathbb{C}$ ve $\mathbb{O}$ olarak temsil edilir ve şu şekilde gösterilir:

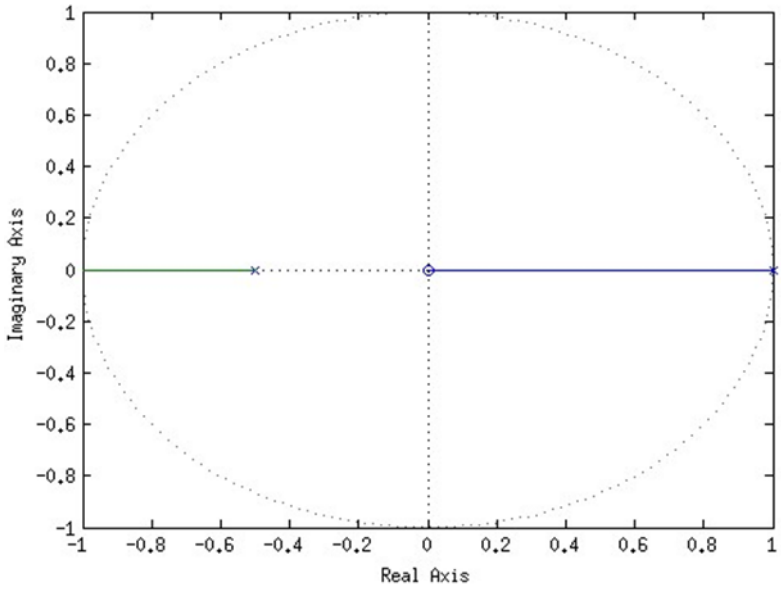
$$\mathbb{C} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & M+1 \end{bmatrix}, \mathbb{O} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -M & M+1 \end{bmatrix} \tag{11}$$

Her ikisi de tam derecelidir, yani sistemin hem tamamen gözlemlenebilir hem de tamamen kontrol edilebilir olduğu anlamına gelir. Sistemin açık döngü kutupları, Denklem 12 ile şu şekilde gösterilir:

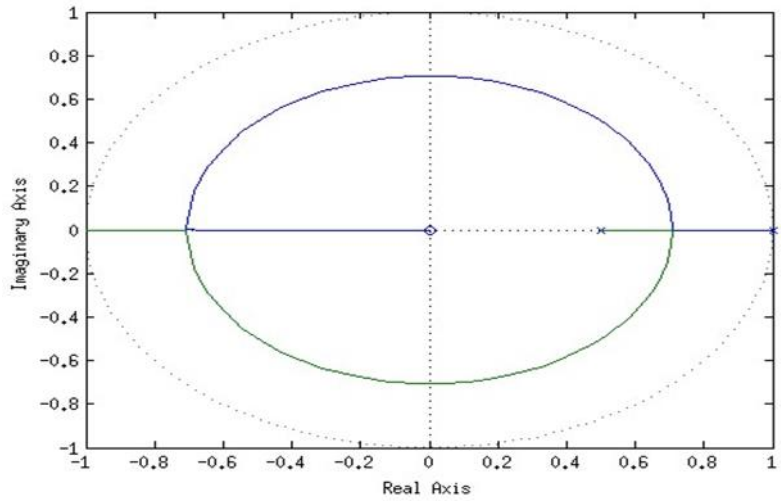
$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ M \end{bmatrix} \tag{12}$$

Bu, M'nin seçimine bağlı olarak, açık döngü sisteminin marjinal olarak kararlı olduğu anlamına gelir. Optimizasyon algoritmasının işlemesi için, bu sistemin kapalı döngü geri besleme kazancı kullanılarak dengede tutulması gerekir.

Sistem, Tek-Girdili Tek Çıktılı (SISO) doğrusal, zamanla değişmeyen (LTI) bir sistem olduğundan, uygun bir kapalı döngü kazancı seçmek için geleneksel kontrol analiz tekniklerinin çoğu kullanılabilir. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de, sistemin kök yer eğrisi grafikleri sırasıyla M = 0,5 ve M = -0,5 olarak görülebilir. Kapalı döngü kazanç matrisi incelenmeden önce, N boyutlu bir uygunluk fonksiyonu için genelleştirilmiş durum sunulmalıdır.



Şekil 2.3 M değeri -0,5 olarak ayarlanmış kapalı döngü 1-D PSO sisteminin kök yer alanı grafiği



Şekil 2.4 M değeri -0,5 olarak ayarlanmış kapalı döngü 1-D PSO sisteminin kök yer alanı grafiği

2.5 N Boyut İçin Genelleme

Daha önce, Denklem 11'in tek boyutlu durumuna basitleştirilmesi için yerine koyma metodu gerçekleştirilmişti. Kapalı döngü kazanç seçimi tartışılmadan önce genel N boyutlu durum incelenir. N boyutlar için PSO için açık döngü denklemleri, Denklem 13 ile şu şekilde gösterilmektedir:

$$\vec{x}(k+1) = \vec{x}(k) + \Delta\vec{x}(k+1) \tag{13}$$

$\Delta\vec{x}(k+1) = \vec{x}(k) + \Delta\vec{x}(k+1) = M\Delta\vec{x}(k) + \vec{u}(k)$

Denklem 6'da yapılan aynı yerine koyma metodu tekrar yapılarak Denklem 14 ile şu şekilde ifade edilir:

$$\vec{x}(k+1) - \vec{x}(k) = M[\vec{x}(k) - \vec{x}(k-1)] + \vec{u}(k) \quad (14)$$

Şimdi, durum vektörünü Denklem 9'da kullanılan ile aynı yöntemle tanımlayarak, zaman serilerinin son konum ve mevcut konum açısından görüntülenmesi sağlanır. Denklem 9'da durumlar $\vec{y}(k) = [y_1(k), y_2(k)]^T$ olarak tanımlanmıştır. Burada N boyutu durumunda, durumlar son konum olarak ve $\vec{c}(k)$ mevcut konum olarak tanımlanacaktır. Bu tanım, okuyucunun aşağıdaki bölümlerde uygunluk fonksiyonunun boyutuna göre, hangi durumlarla eşleştiğini daha kolay görselleştirmesini sağlar. Yerine koyma metoduyla Denklem 15'de kullanılır.

$$\vec{\ell}(k) = \vec{x}(k-1) \quad (15)$$

$$\vec{c}(k) = \vec{x}(k)$$

$$\vec{c}(k+1) = \vec{x}(k+1)$$

Aşağıdaki Denklem 2.16'a ulaşılır:

$$\vec{\ell}(k+1) = \vec{c}(k) \quad (16)$$

$$\vec{c}(k+1) - \vec{x}(k) = M\left[\vec{c}(k) - \vec{\ell}(k)\right] + \vec{u}(k)$$

burada $\vec{u}(k)$ mevcut girdidir. Bu vektörlerin her birini bileşenlerine bölerek, Denklem 17 elde edilir:

$$\ell_x(k+1) = c_x(k) \quad (17)$$

$$\ell_y(k+1) = c_y(k)$$

...

$\ell_N(k+1) = c_N(k)$

$c_x(k+1) = -M\ell_x(k) + (M+1)c_x(k) + u_x(k)$

$c_y(k+1) = -M\ell_y(k) + (M+1)c_y(k) + u_y(k)$

...

$c_N(k+1) = -M\ell_N(k) + (M+1)c_N(k) + u_N(k)$

burada N, uygunluk fonksiyonunun boyut sayısıdır. Bu, durum uzay formuna yeniden düzenlenebilir ve Denklem 18 elde edilir:

$$\vec{x}(k+1) = A\,\vec{x}(k) + B\,\vec{u}(k) \tag{18}$$

$$\vec{y}(k) = C\,\vec{x}(k) + D\,\vec{u}(k)$$

Burada;

$$A = \left[\begin{array}{cccc:cccc} 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ \hdashline -M & 0 & \dots & 0 & M+1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -M & \dots & 0 & 0 & M+1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -M & 0 & 0 & \dots & M+1 \end{array}\right], \; B = \left[\begin{array}{cccc} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \hdashline 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{array}\right]$$

$$C = \left[\begin{array}{cccc:cccc} 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array}\right], \; D = \left[\begin{array}{cccc} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{array}\right] \tag{19}$$

Ve

$$\vec{x}(k+1) = \begin{bmatrix} \ell_x(k+1) \\ \ell_y(k+1) \\ \vdots \\ \ell_N(k+1) \\ \hdashline c_x(k+1) \\ c_y(k+1) \\ \vdots \\ c_N(k+1) \end{bmatrix}, \; \vec{x}(k) = \begin{bmatrix} \ell_x(k) \\ \ell_y(k) \\ \vdots \\ \ell_N(k) \\ \hdashline c_x(k) \\ c_y(k) \\ \vdots \\ c_N(k) \end{bmatrix}$$
$$\vec{u}(k) = \begin{bmatrix} u_x(k) \\ u_y(k) \\ \vdots \\ u_N(k) \end{bmatrix}, \; \vec{y}(k) = \begin{bmatrix} y_x(k) \\ y_y(k) \\ \vdots \\ y_N(k) \end{bmatrix} \tag{20}$$

Burada Denklem 11'deki genel durum ile tek boyutlu durum uzayı modeli arasındaki simetriyi vurgulamak için kesikli çizgiler kullanılmıştır. Bu denklem sisteminin önemli bir yönü, uygunluk fonksiyonunun her bir boyutunun dinamiklerinin tamamen ayrılmış (eşleşmemiş) olmasıdır. Durumların kendilerinin ayrılmadığına dikkat etmek önemlidir. Uygunluk fonksiyonunun her boyutu için iki durum söz konusudur. Bunlar; her eksendeki geçerli konum ve son konumdur. Bu iki durum eşleştirilmiştir, ancak diğer tüm boyutlar boyunca durumlardan ayrışmıştır. Her boyut boyunca girdiler de ayrıştırılır, yani x boyutu girdisi yalnızca x boyutunu etkiler ve y boyutu girdisi yalnızca y boyutunu etkiler. Bu ayrıştırma önemlidir çünkü tek boyutlu sistem için gerçekleştirilen tüm analizler genel durum için hala geçerlidir. Her eksenin dinamikleri ayrı tek boyutlu sistemler olarak ele alınabilir. Açık döngü kutupları şunlardır:

$$\begin{bmatrix} \lambda_{\ell x} \\ \lambda_{\ell y} \\ \vdots \\ \lambda_{\ell N} \\ \hdashline \lambda_{cx} \\ \lambda_{cy} \\ \vdots \\ \lambda_{cN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \\ \hdashline M \\ M \\ \vdots \\ M \end{bmatrix} \tag{21}$$

Uygunluk fonksiyonunun her boyutunun dinamikleri ayrışmış olduğundan,

dinamiklerin tümünün her boyutun aynı olması şartı gerekmez. Atalet ağırlığını bir vektör haline getirerek, açık döngü PSO denklemleri şu hale dönüşür:

$$\begin{aligned} \vec{x}(k+1) &= \vec{x}(k) + \vec{\Delta x}(k+1) \\ \vec{\Delta x}(k+1) &= \vec{M} \otimes \vec{\Delta x}(k) + \vec{u}(k) \end{aligned} \tag{22}$$

burada A öyledir ki;

$$A = \left[\begin{array}{cccc:cccc} 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ \hdashline -M_x & 0 & \dots & 0 & M_x+1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -M_y & \dots & 0 & 0 & M_y+1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -M_N & 0 & 0 & \dots & M_N+1 \end{array}\right] \tag{23}$$

ve şurada yer alan açık döngü kutuplarıyla birlikte

$$\left[\begin{array}{c} \lambda_{\ell x} \\ \lambda_{\ell y} \\ \vdots \\ \lambda_{\ell N} \\ \hdashline \lambda_{cx} \\ \lambda_{cy} \\ \vdots \\ \lambda_{cN} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \\ \hdashline M_x \\ M_y \\ \vdots \\ M_N \end{array}\right] \tag{24}$$

Atalet ağırlığını bir vektör haline getirmek; sistemin doğal frekansı, zaman sabiti ve sönümleme oranı gibi parametrelerin, uygunluk fonksiyonunda her bir boyut için bağımsız olarak ayarlanmasını sağlar. Bu genelleştirilmiş durum uzay sistemi için kontrol edilebilirlik ve gözlemlenebilirlik matrislerini incelersek, sistemin tam dereceyle hem tamamen gözlemlenebilir hem de tamamen kontrol edilebilir olduğunu görürüz. Tam kontrol edilebilirlik, gözlemlenebilirlik ve ayrıştırılmış dinamiklerin

özellikleri, bir uygunluk bölgesinde sanal olarak keşif dinamiklerinin sezgisel beklentisiyle tutarlıdır.

2.6 Kapalı Döngü Dinamikleri

Durum uzayı gösteriminin genelleştirilmiş bir N boyutlu formu türetildiğine göre, kapalı döngü dinamikleri incelenebilir. Kapalı döngü kazanç matrisi K ve hata vektörü $\vec{e}$ ise

$$K = \left[\begin{array}{cccc:cccc} 0 & 0 & \dots & 0 & K_x & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & K_y & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & K_N \end{array}\right], \; \vec{e} = \left[\begin{array}{c} e_{last_x}(k) \\ e_{last_y}(k) \\ \vdots \\ e_{last_N}(k) \\ \hdashline e_{cur_x}(k) \\ e_{cur_y}(k) \\ \vdots \\ e_{cur_N}(k) \end{array}\right] \tag{25}$$

K'nin köşegen üzerinde yer almayan terimlerinin sıfır (0) olması gerekli değildir. Ancak bu terimlerin sıfır olması için kazanç matrisinin seçilmesiyle, açık döngü sisteminin ayrıştırılmış doğası korunur. Tam durum vektör geri bildiriminin, matris çarpımı açısından boyutları karşıladığına dikkat etmek önemlidir zira matris çarpımı (A − BK 2N × 2N'dir). Ancak durum vektörünün son konum kısmı göz ardı edilir ve B ve K matrislerinde bu konumlara denk gelen değerler sıfırdır. Bu, kapalı döngü kutupları oluşturur, öyle ki;

$$\lambda_i = \frac{(M_i - K_i + 1) \pm \sqrt{K_i^2 - 2K_iM_i - 2K_i + (M_i - 1)^2}}{2} \tag{26}$$

burada i ∈ [x, y, ..., N]. Bu denklemden, sistem için sabit M ve K değerleri şunu sağlar

$$-1 < M_i < 1 \tag{27}$$

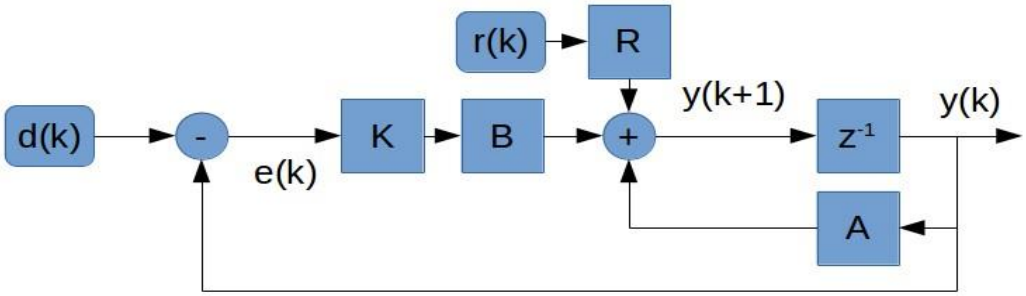
$$0 < K_i < (2M_i + 2)$$

PSO'nun geleneksel versiyonu, geri besleme terimleri için kazanç değerlerini değiştirerek parçacığın dinamiklerine Brownian benzeri (rastgele) bir hareket eklemeye çalışır. Literatür taramasında kısıtlama faktörü, yerel ağırlık ve komşu ağırlığı seçimini kullanır, böylece rasgele vektörler bu parçacığın kararlığında bir kayba neden olmaz (Clerc ve Kennedy, 2002). Literatürdeki diğer çalışmalarda, PSO algoritmasının tamamen kararlı (deterministik) bir versiyonu kullanılır ve Brownian benzeri hareketi tamamen ortadan kaldırır (Jin'no ve Shindo, 2010). Kapalı döngü kazançlarının değiştirilmesi sistemin hem kararlılığını hem de performansını etkilediğinden, çıkış sinyalinde rastgelelik elde etmek için bu yöntemi kullanmak çok doğru olmayabilir. Burada bunun yerine, sabit K ve M kazanç değerleri seçilerek daha korunumlu bir yaklaşım kullanılır. Bu değerlerin bilinen bir kararlılığı, performansı ve belirli bir gürültü miktarına karşı dayanıklılığı vardır. Bu deterministik çıktıyla, rasgelelik daha sonra bu sinyale dönüştürülür. Örneğin;

$$\vec{x}(k+1) = A\,\vec{x}(k) + BK\,\vec{e}(k) + R\,\vec{r}(k) \tag{28}$$

burada $\vec{x}$ (k) durum vektörü, $\vec{e}$ (k) hata vektörü, R rastgele terim için bir kazançtır.

$\vec{r}$ (k), belli bir aralıkta ve bir dağılımda bir RNG'den alınan örneklerin vektörüdür. Denklem 28'deki kapalı döngü dinamiklerinin blok diyagramı Şekil 2.5'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Denklem 2.28'de görülen kapalı döngü dinamiklerinin blok diyagramı

2.7 İstenilen Konum

Bu bölümde, PSO Denkleminin durum uzayı formu için, istenen örnekleme konumunun seçimi tartışılmaktadır. Bu konum, önceki bölümün kapalı döngü

dinamiklerinin izleyeceği konumdur. Şekil 2.5'de yön, verilen parçacığın keşfetmekte olduğu konumu temsil etmektedir.

Bu konumun seçimi, PSO algoritmasının optimizasyon kısmının ayrılmaz bir parçasıdır. Orijinal PSO algoritmasında, istenen konumu seçen denklem, konumu hesaplamak için rastgele oluşturulan kapalı döngü kazançlarını kullanır. Burada istenen yer seçim denklemi türetilir. Açık döngü dinamiklerini incelemek için Denklem 29'da yerine koyma işlemi yapılmıştır.

$$\vec{u}(k) = C_1\vec{r}_1(k) \otimes \left[\vec{L}_{best}(k) - \vec{c}(k)\right] + C_2\vec{r}_2(k) \otimes \left[\vec{G}_{best}(k) - \vec{c}(k)\right] \tag{29}$$

Bu denklemi genişletmek, Denklem 30'u verecektir.

$$\vec{u}(k) = C_1\vec{r}_1(k) \otimes \vec{L}_{best}(k) - C_1\vec{r}_1(k) \otimes \vec{c}(k) + C_2\vec{r}_2(k) \otimes \vec{G}_{best}(k) - C_2\vec{r}_2(k) \otimes \vec{c}(k) \tag{30}$$

Benzer terimlerin gruplandırması sonucunda Denklem 31 elde edilir.

$$\vec{u}(k) = C_1\vec{r}_1(k) \otimes \vec{L}_{best}(k) + C_2\vec{r}_2(k) \otimes \vec{G}_{best}(k) - [C_1\vec{r}_1(k) + C_2\vec{r}_2(k)] \otimes \vec{c}(k) \tag{31}$$

(2.31)

K seçilen olsun, Denklem 32'de $K^{\rightarrow}(k)$ gösterilmiştir.

$$K^{\rightarrow}(k) = C_1\,\vec{r}_1(k) + C_2\,\vec{r}_2(k) \tag{32}$$

Okuyucu, şimdiye kadar gerçekleştirilen analizin sabit bir kapalı döngü kazancı K kullanılmasını seçmesine rağmen, PSO denkleminin konvansiyonel formunun zaman içinde bu kazanç değişikliğine sahip olduğuna dikkat etmelidir. Bu değişiklik, her k zaman adımında üretilen rastgele vektörler $\vec{r}_1$ (k) ve $\vec{r}_2$ (k) nedeniyledir. İstenen konum denkleminin türetilmesi için $K^{\rightarrow}$ (k) kullanılacaktır. Bu, okuyucuya istenen konumun hem PSO algoritmasının konvansiyonel versiyonunda hem de burada kullanılan durum-uzay versiyonunda nasıl kullanıldığına dair bir fikir vermek içindir.

Denklem 31'de $K^{\rightarrow}$ (k) yerine koyma işlemi sonucunda Denklem 33 elde edilir.

$$\vec{u}(k) = C_1\vec{r}_1(k) \otimes \vec{L}_{best}(k) + C_2\vec{r}_2(k) \otimes \vec{G}_{best}(k) - \vec{K}(k) \otimes \vec{c}(k) \tag{33}$$

Son olarak, ortak çarpanların kaldırılmasıyla Denklem 34 elde edilir.

$$\vec{u}(k) = \vec{K}(k) \otimes \left\{ \left[\frac{C_1\vec{r}_1(k)}{\vec{K}(k)} \otimes \vec{L}_{best}(k) + \frac{C_2\vec{r}_2(k)}{\vec{K}(k)} \otimes \vec{G}_{best}(k) \right] - \vec{c}(k) \right\} \tag{34}$$

K$^{\rightarrow}$ bir vektör olduğu için, sunulan bölme sembollerinin normal vektör bölmesini değil, eleman vektör bölmesini (Hadamard çarpımı) temsil ettiğini not etmek önemlidir. Bu formda girdi, bir K kazanımı olan kapalı döngü geri bildirim terimi beklentilerine ve $\vec{d}(k)$ tarafından verilen istenen konuma uygundur.

$$\vec{u}(k) = \vec{K}(k) \otimes (\vec{d}(k) - \vec{c}(k)) \tag{35}$$

$$\vec{d}(k) = \frac{C_1\vec{r}_1(k)}{\vec{K}(k)} \otimes \vec{L}_{best}(k) + \frac{C_2\vec{r}_2(k)}{\vec{K}(k)} \otimes \vec{G}_{best}(k) \tag{36}$$

Denklem 36'da $C_1 = 0$ seçildiğinde, Denklem 37 ile sadeleştirilmiş hali elde edilir.

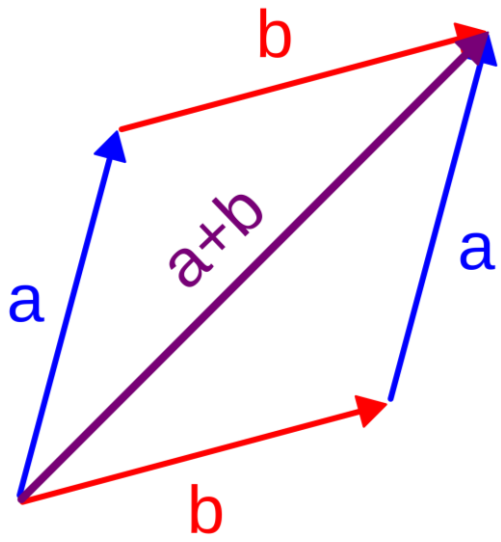
$$\vec{d}(k) = \vec{G}_{best}(k) \tag{37}$$

Bunun yerine $C_2 = 0$ seçilirse, Denklem 38 ile sadeleştirilmiş hali elde edilir.

$$\vec{d}(k) = \vec{L}_{best}(k) \tag{38}$$

Parçacığın sırasıyla küresel (global) veya yerel en iyi konumları izlemek için kontrol edilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

C_1 veya C_2 sıfır olmadığında hangi konumun izlendiğini görselleştirmek için vektör toplamanın görselleştirilmesi yararlıdır. Şekil 2.6'da, yerel en iyi konum $^{\rightarrow}$a ile verilirse ve küresel en iyi konum b ile verilirse, izlenen konum bu iki vektör tarafından oluşturulan açının içindeki bir konumdur (rastgele vektörlerin $^{\rightarrow}r_1$ (k) ve $^{\rightarrow}r_2$ (k)). Mor çizgi $^{\rightarrow}$a + $^{\rightarrow}$b'yi temsil eder ve $C_1 = C_2$ ve $^{\rightarrow}r_1$ (k) = $^{\rightarrow}r_2$ (k) olduğunda durum böyledir.



Şekil 2.6 Denklem 2.36'nın istenen bir konumu nasıl seçtiğinin görselleştirilmesi

Literatür taramasında bu ilişki dikkate alınmıştır ve hem C_1 hem de C_2'nin ağırlıklandırılması araştırılmıştır. C_1'i daha yüksek ağırlıklandırarak, her parçacığın kendi ayrı yerel en iyi konumunu izleme olasılığı daha yüksektir. Bu nedenle, arama alanı daha iyi keşfedilebilir. C_2 ağırlığının daha yüksek olmasıyla, tüm parçacıkların küresel en iyi konumunu izleme olasılığı daha yüksektir. Bu nedenle, sürü sonunda küresel en iyi pozisyona yakınsayacaktır. C_1 ve C_2 arasındaki oran değeri kontrol edilerek, parçacık sürüsünün davranışını kontrol etmek mümkündür (Trelea, 2003).

Bununla birlikte, C_1 ve C_2 kapalı döngü kazancını etkilediğinden, C_1 ve C_2 sistemin kararlılığını ve performansını etkileyecektir. Bu nedenle sürünün davranışını bu parametreleri kullanarak kontrol etmeye çalışmak akıllıca değildir. Son bölümde tartışılan yaklaşıma benzer şekilde, C_1 ve C_2'yi sabit değerler olarak bırakmak ve sürünün davranışını bu çalışmada sunulan alternatif bir yöntem kullanarak kontrol etmek daha iyidir.

Bu tez çalışmasında sunulan kavram kanıtı simülasyonları, istenen konum olarak yalnızca yerel en iyi konumu kullanır. Doğal kaynakların robotlar tarafından araştırılması uygulanmasında, söz konusu kaynaklarda yüksek konsantrasyonların belirlenmesi ile ilgilenilmektedir. Uygulama, robotların (parçacıklar) arama alanında en yüksek konsantrasyona sahip konuma yakınsamasıyla ilgilenmez. Bu nedenle, yerel en iyi konumu izleme, $C_1 = 1$ ve $C_2 = 0$ ile kullanılır. Bu, literatür taramasında önerilen konfigürasyondur, arama alanının yalnızca küresel en iyiyi izlemekten daha iyi

keşfedilmesini sağlar (Kameyama, 2009). Yerel en iyi konumu izlemeyi seçerek, istenen konumun, zaman içinde değişen bir kapalı döngü kazancına bağlı olmadığına dikkat etmek de önemlidir. Bu nedenle söz konusu konfigürasyon, PSO'nun durum-uzayı gösterimi ile kullanımı açısından uygundur. Arama alanının daha iyi araştırılması için, gelecekteki bir çalışma, arama alanındaki en düşük uygunluk değerine sahip konumları belirlemek amacıyla Bayes Regresyonu gibi bir fonksiyon yaklaşım tekniğinin kullanılması tercih edilebilir.

3. FOTOVOLTAİK SİSTEM

Fosil yakıtlar, yüzyıllardır küresel enerji pazarının dayanak noktası olmuştur. Fosil yakıt ithalatına bağımlılığın etkileri ve fosil yakıtların çevre üzerindeki etkisi nedeniyle, fosil yakıt bazlı elektrik üretiminin yerine geçecek yenilenebilir enerji kaynaklarına yüksek talep vardır. Bu yenilenebilir enerji kaynaklarından bazıları güneş, rüzgar ve hidroelektriktir. Fotovoltaik güç olarak da bilinen güneş enerjisi, kullanılabilirliği ve düşük bakım maliyetleri nedeniyle popüler bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Şekil 3.1'deki haritada gösterildiği gibi, güneş enerjisi herhangi bir yerde üretilebilir (Martins vd., 2007). Sürekli bir güç kaynağı olmasa da, düzenli olarak elektrik üretmek için güneş enerjisi kullanılabilir. Güneş paneli uzak bölgeler için önemli bir kaynak olabilir. Örneğin, bir elektrik şebekesine bağlı olmayan uzak bir konumda elektrik enerjisi sağlamak amacıyla güneş enerjisi kullanılabilir (Boveri, 2016). Güneş, güvenilir bir mikro şebeke oluşturmak için diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla kombine edilebilir (Ratsame, 2012).

3.1 Donanım Bileşenlerinin Tarifi

Aşağıdaki bölüm, bir fotovoltaik enerji toplama sisteminde kullanılan temel bileşenlerin bir tarifidir. Bir fotovoltaik sistem genellikle bir FV kaynak ve FV kaynağından Doğru Akım (DC) güç almak ve bunu daha yüksek voltajlı Alternatif Akımı (AC) gücüne veya DC gücüne dönüştürmek için yapılandırılmış bir dönüştürücü içerir.

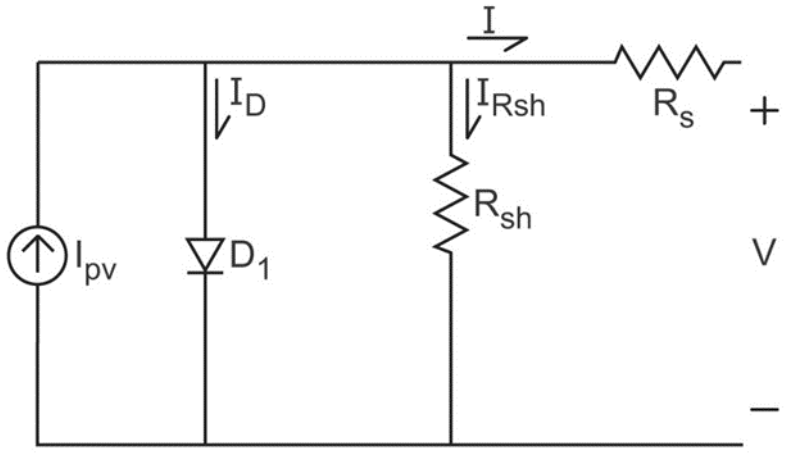
3.2 Fotovoltaik Panel

FV paneli, bir ışık kaynağı kullanarak doğru akım güç üretmede kullanılan bir araçtır. Bir FV paneli genellikle bir akım kaynağı olarak modellenir (Rahman vd., 2016).



Şekil 3.1 Amerika Birleşik Devletleri'nin güneş haritası

Şekil 3.2'de eşdeğer bir devre gösterilmektedir, burada I_{PV} güneş paneli tarafından üretilen akımı, D_1 gerilime bağlı kaybedilen akımı, R_{sh} şönt direnci nedeniyle kaybedilen akımı ve R_s seri direnci temsil etmektedir. Bir güneş panelinin çıkış akımı ve çıkış voltajı birbirine bağlı olduğundan, bir güneş panelinin çıkış gücü bir akım-gerilim (I-V) eğrisi ile temsil edilir.

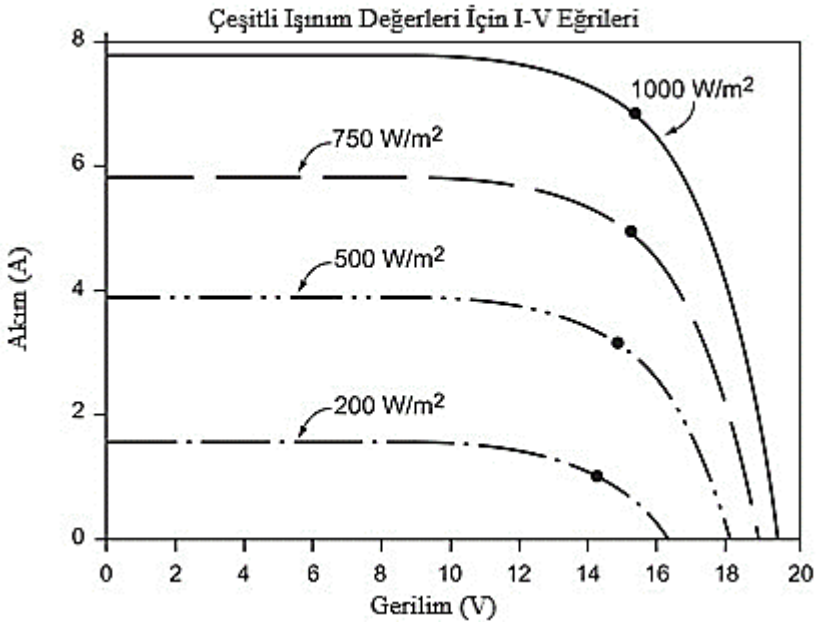


Şekil 3.2 Güneş paneli eşdeğer devresi

Bir güneş paneli tarafından üretilen maksimum akım (kısa devre akımı) ve maksimum gerilim (açık devre voltajı), iki ana değişkene bağlıdır: Panel sıcaklığı ve güneş ışınımı. Işıma, güneş paneli tarafından soğurulan ışık yoğunluğunun metre kare başına watt (W/m^2) cinsinden ölçülen ölçüsüdür. Güneş ışınımı öncelikle güneş paneli tarafından üretilen maksimum akımı etkiler. Şekil 3.3'de gösterildiği gibi, ışınım arttıkça

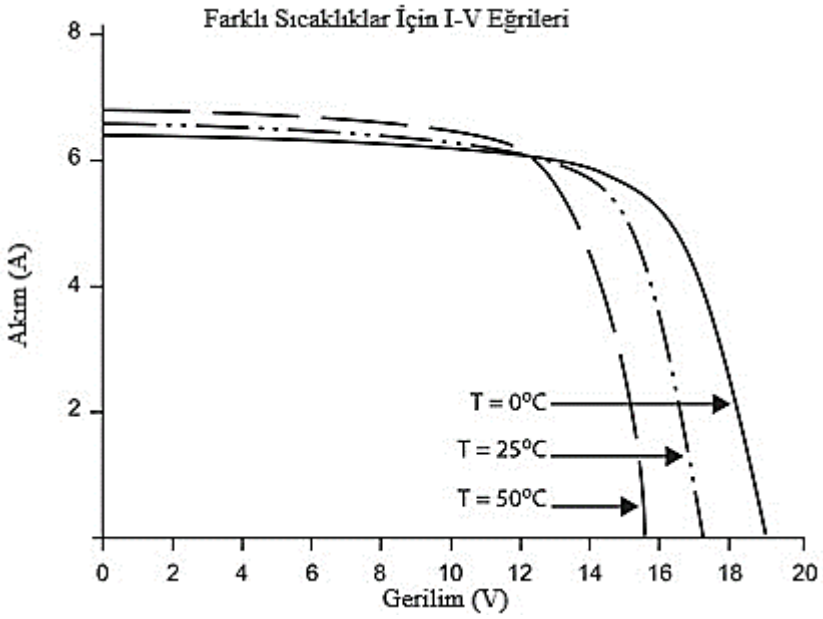
maksimum akım artar ve ışınım azaldıkça azalır. Güneş ışığına göre ışıma değişim oranı tipik olarak saniyede %60'ı geçmez (Huquw vd., 2013).

Işınım, güneş panelinin güneş ışığına göre konumundan da etkilenir. Bazı FV sistemleri, güneş panelini bir gün boyunca güneşe bakacak şekilde fiziksel olarak hareket ettirmek için bir güneş ışığı izleyici kullanır (Gupta ve Saxena, 2016).



Şekil 3.3 Farklı ışınım seviyeleri için I-V eğrileri

Panel sıcaklığı esas olarak maksimum çıkış voltajını etkiler. Şekil 3.4'de gösterildiği gibi, sıcaklık azaldıkça maksimum çıkış voltajı artar ve sıcaklık arttıkça maksimum çıkış voltajı azalır (Hussein vd., 1995). Ortam sıcaklığı, rüzgar ve yağmur gibi hava koşulları panel sıcaklığını etkiler. Güneş ışınımı ayrıca panel sıcaklığını da etkiler.



Şekil 3.4 Farklı sıcaklık seviyeleri için I-V eğrileri

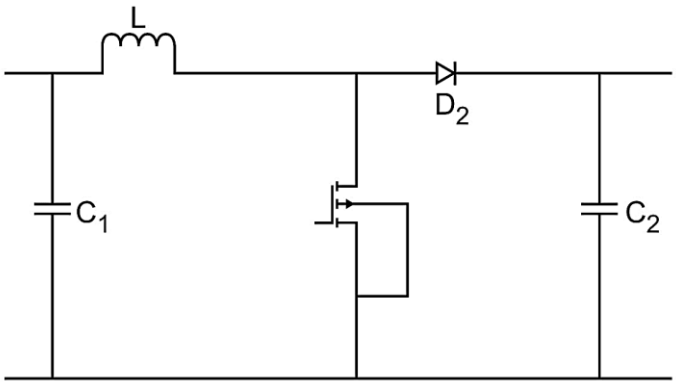
Bazı şirketler, devre sistemini güneş panelinin kendisi ile bütünleştirmeye başlamıştır. Örneğin, bazı güneş panelleri artık çıkış gücünü maksimize etmek amacıyla küçük DC-DC optimize ediciler içermektedir (Hester vd., 2015; Hart-Shai vd., 2018). Diğer güneş panelleri, güç çıkışı ve arıza verilerini toplayan veri kaydedicileri barındırmaktadır.

Güneş panelleri, istenen çıkış akımı ve çıkış voltajına göre diziler halinde birleştirilebilir. Örneğin, çıkış voltajını artırmak için güneş panelleri seri olarak bağlanabilir. Çıkış akımını artırmak için güneş panelleri, paralel olarak bağlanabilir.

3.3 DC/DC Çeviri

Panel ile üretilen DC gücünü almak için güneş panelinin çıkışına bir dönüştürücü bağlanmıştır. Bu dönüştürücü, genellikle DC-DC iyileştirici (optimizer) olarak da bilinen bir DC-DC dönüştürücü içerir. DC-DC dönüştürücü, Al-Gizi (2016) çalışmasında bir anahtarlama cihazının görev döngüsünü değiştirerek yük özelliklerini ihtiyaca göre değiştirmede kullanılmıştır (Al-Gizi, 2016). Bir DC-DC dönüştürücü devre şeması Şekil 3.5'de verilmektedir. Gösterilen DC-DC dönüştürücü bir yükseltici dönüştürücüdür, yani DC-DC dönüştürücü tarafından güç çıkışının voltajı, alınan gücün voltajından daha büyüktür. Genel olarak bir FV kaynağına bağlanan diğer bir

DC-DC dönüştürücü türü, giriş gücünün voltajından daha düşük bir voltajla DC gücü veren bir gerilim azaltıcı (buck) konvertördür.



Şekil 3.5 DC-DC dönüştürücü devre şeması

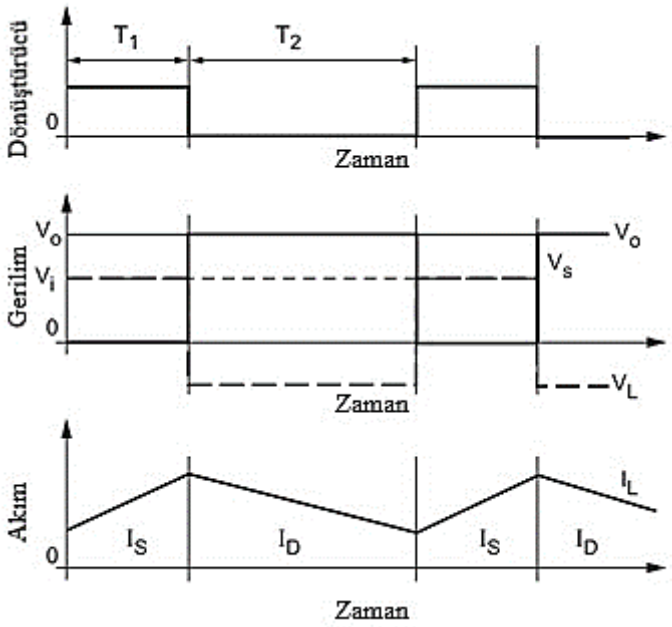
DC-DC dönüştürücünün anahtarını çalıştırmanın etkisi Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Şekil 3.6'daki birinci grafik, DC-DC dönüştürücü anahtarın durumunu temsil eder.

Değerlerin yüksek olması anahtarın kapalı olduğu ve düşük olması ise anahtarın açık olduğu anlamına gelir. İkinci grafikte gösterildiği gibi, V_i giriş voltajı V_o çıkış voltajından daha düşüktür. Üçüncü grafik, yükseltici dönüştürücünün indüktöründen geçen akımı gösterir.

Bir yükseltici dönüştürücünün giriş voltajı ve çıkış voltajı arasındaki ilişki aşağıdaki Denklem 39 ile ifade edilebilir; burada V_{out}, çıkış voltajı, V_{in} giriş voltajı ve D, görev döngüsüdür.

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1 - D} \tag{39}$$

Bir voltaj kaynağına bağlı bir yükseltici dönüştürücü, sabit bir giriş voltajına sahip olacaktır. Bununla birlikte, aşağıda daha ayrıntılı olarak göreceğimiz gibi, bir FV panele bağlı bir yükseltici dönüştürücü, DC-DC dönüştürücünün görev döngüsünü ayarlayarak güneş paneli çıkış voltajını kontrol edebilir.

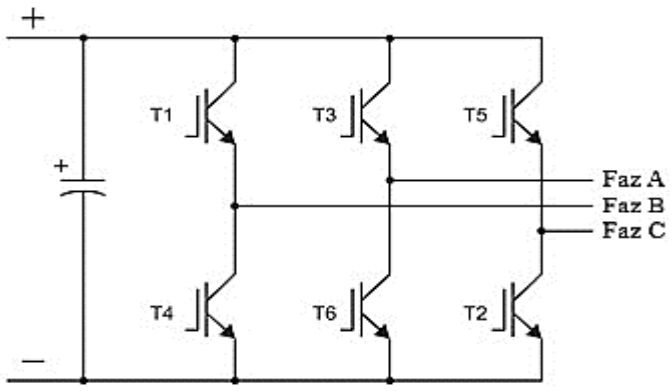


Şekil 3.6 DC-DC dönüştürücü gerilimleri ve akımları

DC-DC dönüştürücü, sistemin istenen verimliliğine bağlı olarak farklı konfigürasyonda düzenlenebilir. Optimum verimlilik için, her bir güneş paneli ayrı bir DC-DC optimize ediciye bağlanmıştır. Diğer düzenlemelerde, bir panel dizisi için tek bir DC-DC optimize edici kullanılabilir (Libo vd., 2007).

3.4 İnvertör

FV kaynağına bağlanan dönüştürücü, DC gücünü DC-DC dönüştürücüden, AC gücüne dönüştüren bir invertör de içerebilir (Marouani ve Bacha, 2009). Şekil 3.7'de üç fazlı bir invertör topolojisi gösterilmektedir. İnvertörün her anahtarı, Faz A, Faz B ve Faz C için sinüzoidal akım dalgası oluşturacak şekilde kontrol edilir.

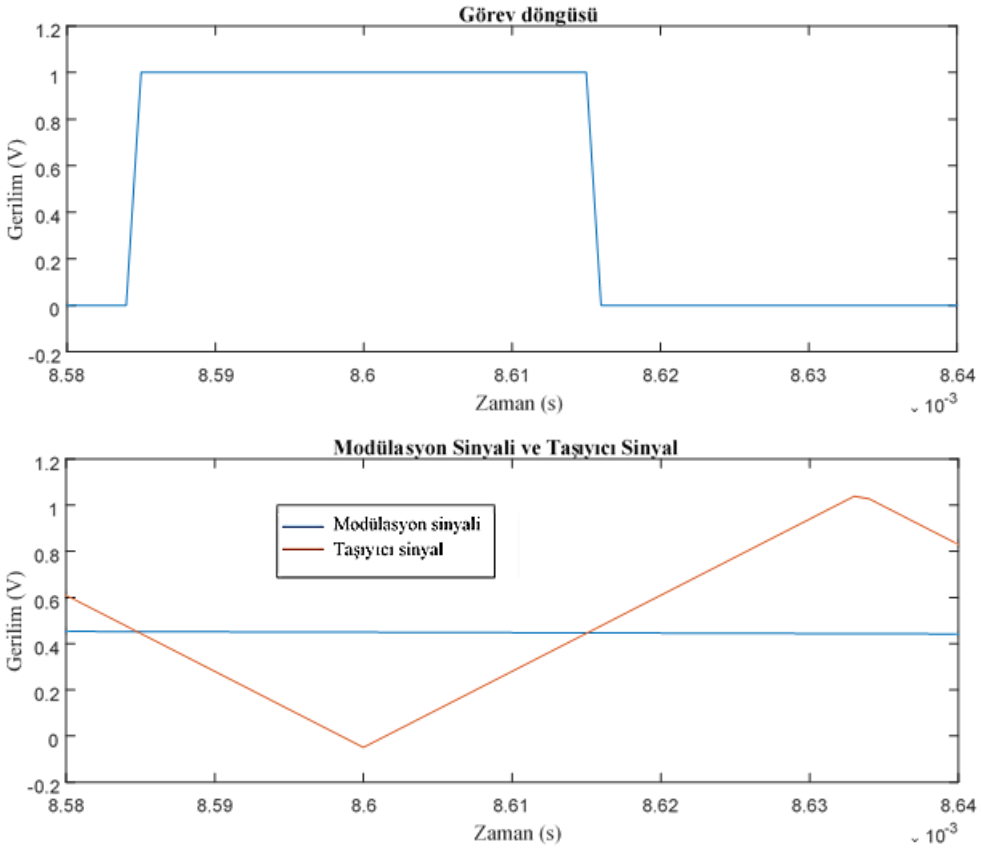


Şekil 3.7 Üç fazlı invertör topolojisi

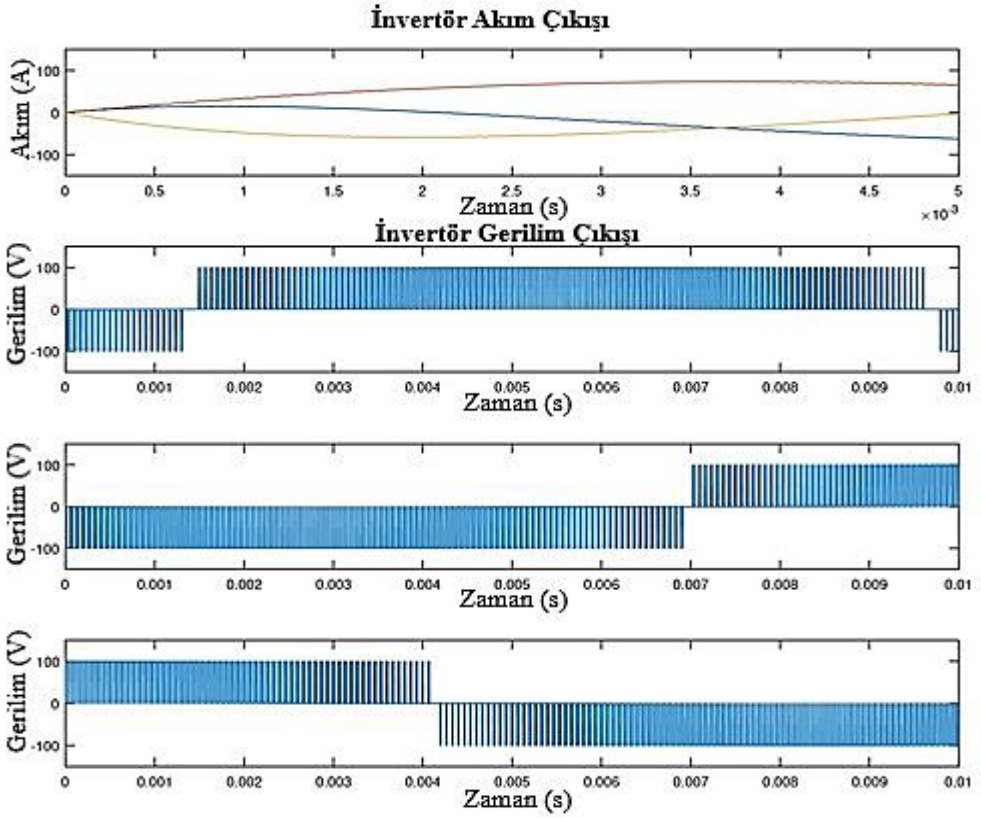
İnvertörün anahtarları ve DC-DC dönüştürücünün anahtarları, atım genişlik modülasyonu veya sinyal genişlik modülasyonu (PWM) adı verilen bir kontrol stratejisi kullanılarak kontrol edilebilir (Liu ve Sánchez-Sinencio, 2015). Şekil 3.8'deki ikinci grafikte gösterildiği gibi bir aktivasyon sinyali üretmek için, bir karşılaştırıcı, Şekil 3.8'deki ilk grafikteki sinyaller gibi bir modüle edici sinyal ve taşıyıcı sinyal alır. Taşıyıcı sinyal, yüksek frekanslı bir dalga biçimidir, genellikle üçgen bir dalga veya testere dişi dalgadır. Modüle edici sinyal, istenen bir dönüştürücü çıktısını elde etmek amacıyla kontrol edilebilir. Örneğin, bir invertör, istenen çıkış frekansına eşit bir frekansa sahip bir sinüzoidal modülasyon sinyali kullanacaktır. Taşıyıcı sinyal modülasyon sinyalini her geçtiğinde, anahtara giden aktivasyon sinyali değiştirilir (açılır/kapatılır).

PWM kullanan üç fazlı bir sürücünün çalışması Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Gösterilen voltaj çıkışlarını üretmek için invertör çalıştırılarak sinüzoidal bir akım üretilir.

İnvertörler ayrıca yumuşak anahtarlama için pasif bileşenler veya MPPT gibi ek unsurlar içerebilir (Chen vd., 2013). DC-DC dönüştürücüler bir veya daha fazla güneş paneline bağlanabildiği gibi, bir invertör de tek bir güneş paneline veya bir güneş paneli dizisine bağlanabilir. Güneş paneli dizilerine bağlanan invertörlere "dizi (string) invertörler" denir. Bir invertörün birçok güneş paneline bağlanması daha ucuzken, panellerden birinin gölgede kalması durumunda çıktı verimi düşebilir. İnvertör, az sayıda güneş panelinden güç aldığında, mikro dönüştürücü olarak da bilinen mikro invertör olarak adlandırılır. Mikro invertörler genellikle dizi invertörlere nazaran verimlidir ve seri olarak birlikte düzenlendiklerinde, daha büyük bir dizinin çıkış gücünü en üst düzeye çıkarmak için ayrı ayrı kontrol edilebilirler (Chiu vd., 2012).



Şekil 3.8 İnventör kontrolü için PWM sinyalleri



Şekil 3.9 Üç fazlı inverter çıktısı

3.5 Yük

Güç dönüştürücüye bir yük bağlanır ve bu yük güneş paneli tarafından üretilen gücü alır. Yük; bir şebeke, bir pil, bir mikro şebeke veya bir motor gibi elektrik gücünü alacak şekilde yapılandırılmış herhangi bir cihaz olabilir (Dubovsky, 2012).

3.6 Maksimum Güç Noktası İzleme

Güç, akım çarpı gerilime eşit olduğundan, I-V üzerinde gücün maksimize edildiği bir nokta vardır. Bu noktaya maksimum güç noktası denir. DC-DC dönüştürücüyü çalıştırmak için bir denetleyici kullanılır, böylece güneş panelinin çıkış voltajı, maksimum güç noktasına karşılık gelen voltaj olur. MPP'yi izlemek için bir referans akım kullanılabilmesine rağmen, genellikle bu çok dengesiz olarak görülür. Denetleyicinin MPP'yi izlemek için DC-DC dönüştürücüyü çalıştırdığı sürece maksimum güç noktası takibi denir. Güneş paneli ışık şiddetinde ve sıcaklıkta değişiklikler oldukça, maksimum güç noktası değişir. Bu nedenle, denetleyicinin amacı, güneş panelinin I-V eğrisindeki değişiklikleri hızlı bir şekilde tespit etmek ve yeni maksimum güç noktasını belirlemektir (Urtasun vd., 2013).

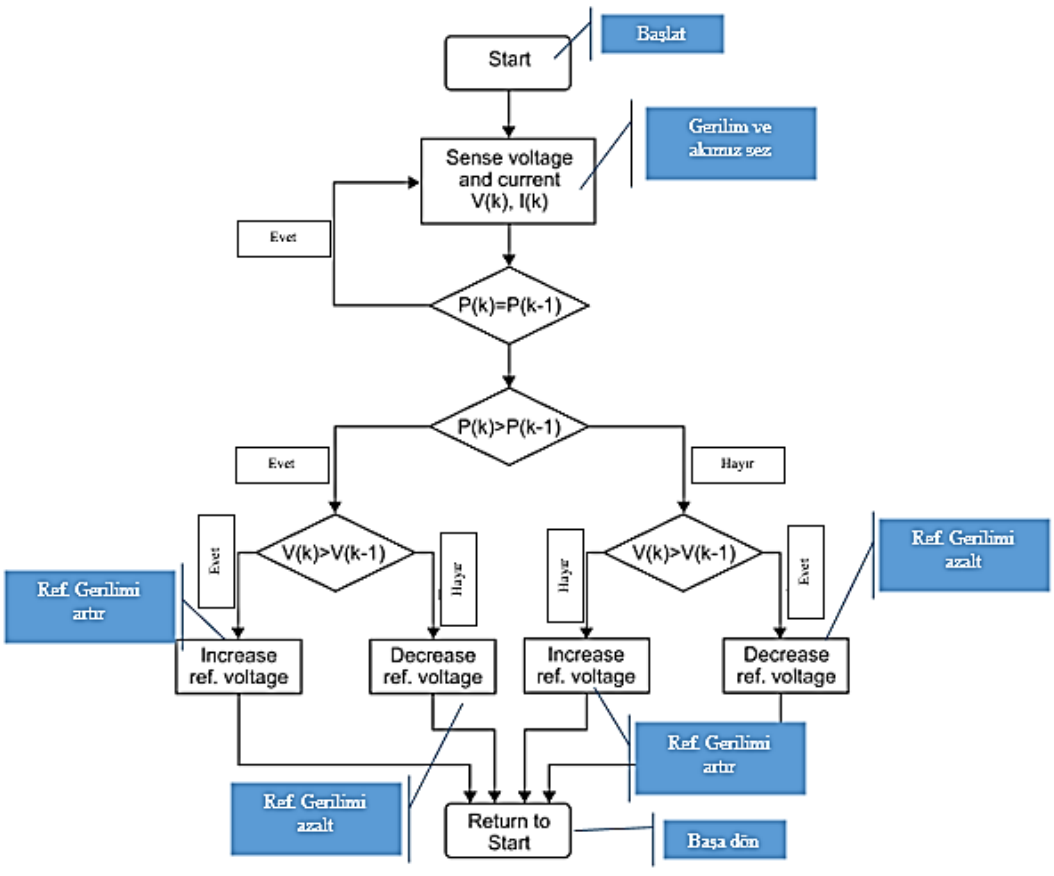
DC-DC dönüştürücüyü çalıştırmak için yapılandırılan denetleyiciye genellikle MPPT denetleyicisi denir. MPPT denetleyici tarafından MPP'yi takip etmek için bir veya daha fazla sensör kullanılabilir. Bilinen MPPT algoritmalarında kullanılan sensörlerden bazıları voltaj sensörleri, akım sensörleri, sıcaklık sensörleri ve ışık sensörlerini içerir (Cuiping vd., 2016). Çoğu MPPT denetleyicisi dijital devre içerirken, bazı MPPT denetleyicileri yalnızca analog devre kullanır. Bazı durumlarda MPPT denetleyici, bir DC-DC dönüştürücü yerine bir invertörü kontrol etmek için kullanılabilir (Wareesri ve Po-Ngam, 2016). Bazı MPPT denetleyicileri, kontrol stratejisini yük türüne göre ayarlar. Birden çok MPPT denetleyicisine sahip FV sistemleri için kablosuz ağ kullanarak gerçekleştirilen koordinasyon, güç dalgalanmasını önleyebilir.

3.7 Gelişme Seviyesi

Her MPPT denetleyicisi, maksimum güç noktasını takip amacıyla depolanmış bir algoritmayı yürütür. Çok sayıda MPPT algoritması mevcuttur (Subudhi ve Pradhan, 2012). Bu bölümün alt başlıkları altında, sınırlı işlem gücü ve bellek depolamasına sahip bir mikro denetleyici tarafından yürütülebilen MPPT algoritmalarına özellikle dikkat edilerek, bazı MPPT algoritmaları tartışılmıştır.

3.7.1 Tedirgeme ve Gözleme

En yaygın MPPT algoritmalarından biri "tedirge ve gözle"dir (Zhang vd., 2014). Tedirge ve gözle algoritması, Şekil 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.10 Tedirgeme ve gözlem algoritmasının akış şeması

Bir gerilim sensörü ve bir akım sensöründen alınan ölçümleri kullanılarak, güneş paneli çıkış gücü hesaplanır. Mevcut güç değeri, en son güç değeriyle karşılaştırılır. Mevcut güç değeri önceki güç değerinden büyükse, önceki görev döngüsü ayarıyla

aynı görev döngüsü ayarı yapılır. Mevcut güç değeri önceki güç değerinden daha düşükse, ters görev döngüsü ayarı yapılır. Örneğin, önceki ölçümden güç arttıysa ve son görev döngüsü ayarı görev döngüsünü azalttıysa, görev döngüsü tekrar azaltılır. Algoritma, MPP'yi takip etmek için sürekli olarak yürütülür. "Tedirge ve gözle", ışınım veya sıcaklıktaki hızlı değişiklik dönemlerinde yanlış bir şekilde izlenebilir. Algoritma, görev döngüsü ayarlamasının değerini değiştirerek veya görev döngüsü ayarlamaları arasındaki süreyi geciktirerek optimize edilebilir (Manganiello vd. 2015).

Tedirge ve gözle yönteminin birçok varyasyonu mevcuttur (Osaka ve Sato, 2016). Varyasyonlar arasında ışınımdaki değişimler sırasında "tedirge ve gözle" kullanımı ve sabit durumlar sırasında başka bir algoritma kullanımı yer alır. Ayrıca bunlar arasında pompalama uygulamaları için voltaj yerine motor frekansının ölçülmesi ve MPP'ye olan yakınlığı değerlendirmek için bir seferde üç tedirgeme algoritması yürütmek de bulunur.

3.7.2 Artımlı İletkenlik

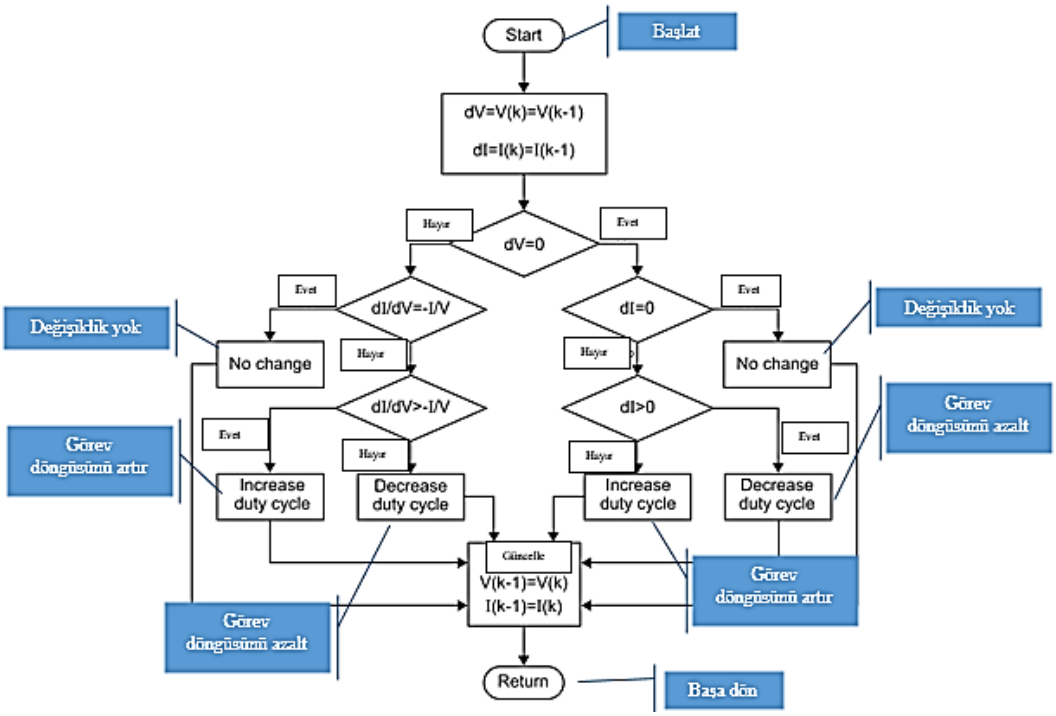
Artımlı iletkenlik, diğer bir yaygın çift sensör algoritmasıdır (Elgendy, 2016). Algoritma Şekil 3.11'de gösterilmektedir. Bu algoritmanın temeli, MPP'de dP / dV'nin sıfır, voltaj/gerilim Vmpp'nin altında olduğunda pozitif ve voltaj/gerilim Vmpp'den büyük olduğunda negatif olmasıdır. DP / dV değerini hesaplamak için akım, gerilim ile birlikte örneklenir. "tedirge ve gözle" gibi, artımlı iletkenlik gürültüye karşı hassastır.

3.7.3 Değişken Adım Artımlı İletkenlik

Değişken adım iletkenlik, artımlı iletkenliğe benzeyen başka bir MPPT algoritmasıdır (Ravari ve Zarchi, 2015).

Artımlı iletkenliğin dezavantajlarından biri, dönüştürücünün MPP'den ne kadar uzakta çalıştığına bakılmaksızın, görev döngüsü ayarlamalarının eşit olmasıdır. Değişken adım artımlı iletkenlik, MPP'ye olan yakınlığa bağlı olarak görev döngüsü ayarını belirler. Algoritmanın bazı varyasyonları, adım boyutunu belirlemek için güç ve akım arasındaki ilişkiyi kullanır. Diğer varyasyonlar, algoritmayı "tedirge ve gözle" ile öyle

birleştirilir ki, geçişken durumlarda değişken adım kullanılırken ve sabit durum için "tedirge ve gözle" kullanılır (Hsieh vd., 2015; Pulli ve Hellberg, 2016; Strum, 2017). Yine de diğer varyasyonlarda, değişken adım, aşağıda daha ayrıntılı olarak açıklanan fraksiyonel açık devre voltajı adı verilen bir teknikle birleştirilir.



Şekil 3.11 Artımlı iletkenlik algoritmasının akış şeması

3.7.4 Hava Sensörüne Dayanan Algoritmalar

Çok sayıda MPPT algoritması, MPPT'yi hesaplamak için sıcaklık ve ışınım ölçümlerini kullanır (Min, 2014). Örneğin, bir algoritma, sıcaklık ve ışık şiddeti ölçümünü kullanarak bir tablodan voltaj referans değerini tespit eder. Diğer yöntemler, MPP'yi belirlemek için sıcaklık ölçümlerini, ışınım ölçümlerini ve sistem parametrelerini kullanarak bir sistem modeli oluşturur.

3.7.5 İşlemciye Dayanan Algoritmalar

Bir dizi MPPT algoritması, önemli işleme yeteneklerine sahip bir donanım yapılandırması gerektirir (Li vd., 2016; Mao vd., 2016; Marquez vd., 2016;). Bu algoritmalarda, bir sistem modeli oluşturmak veya karmaşık hesaplamalar yapmak söz

konusudur. Örneğin, bazı denetleyiciler MPPT'yi izlemek için bulanık mantık veya balık sürüsü algoritması kullanır. Bu tezin amacı, düşük maliyetli bir mikro denetleyici için bir MPPT yöntemi geliştirmek olduğundan, bu ağır donanım algoritmalarının daha ayrıntılı olarak açıklanmasına gerek görülmemiştir.

3.7.6 Tekil Sensör Algoritmaları

MPPT algoritmalarının küçük bir alt kümesi, maksimum güç noktasını izlemek için tek bir sensör kullanır. Tek bir sensör kullanmanın faydalarından biri, iki sensörlü bir sisteme kıyasla ölçüm hatalarının azaltılmasıdır (Abdourrziq vd., 2016). Bazı tek sensör algoritmaları, en iyi bilinen kesirli kısa devre algoritması olan bir akım sensörü kullanır. Algoritma, güneş panelinin kısa devresini ölçerek ve ölçülen kısa devre akımını bir kazançla çarparak bir akım referans değeri tanımlar. Algoritma, geniş bir ışınım ve sıcaklık aralığında maksimum güç noktasını takip edememektedir.

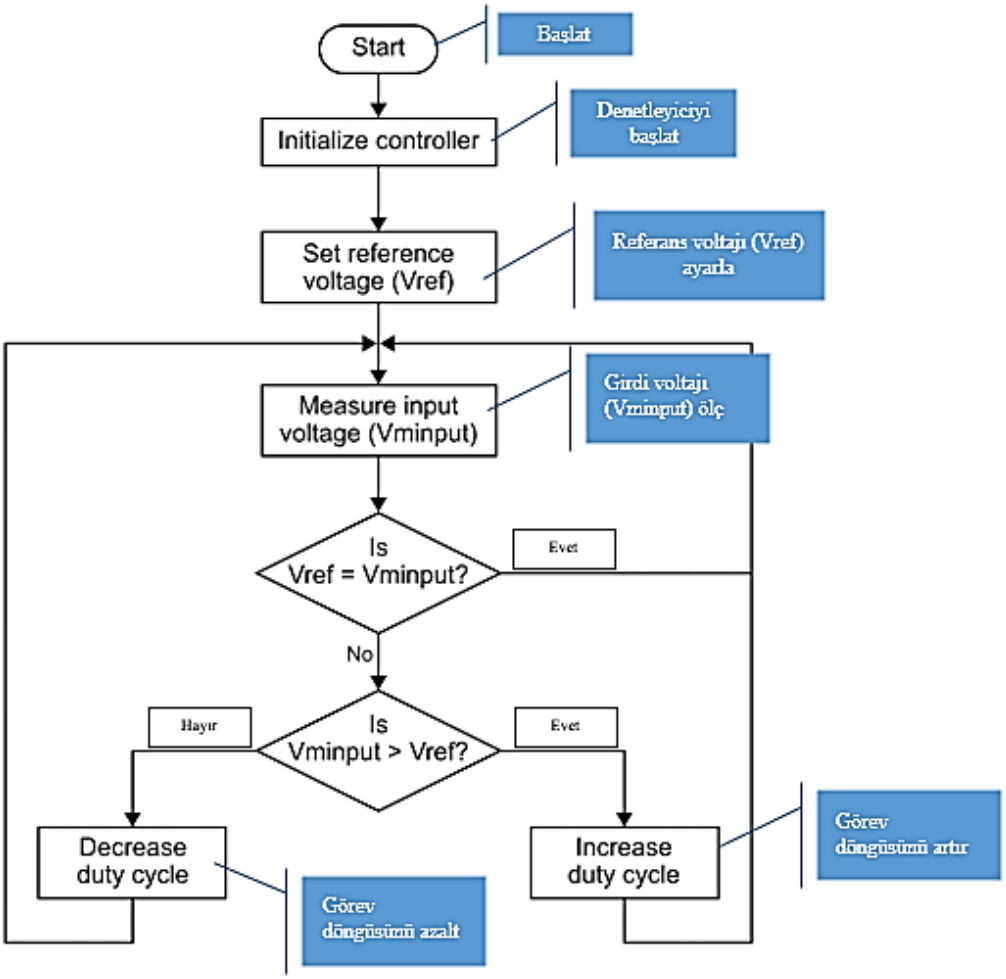
Diğer tek sensör yöntemleri, maksimum güç noktasını izlemek için akım ölçümlerini ve görev döngüsü değerini kullanır. Bir algoritmada, akım ölçümü ve görev döngüsü değeri, voltajı tahmin etmek için kullanılır. Başka bir algoritmada, akım, maksimum güç noktasını takip etmek için dönüştürücü ile yük arasındaki akımı ölçer.

Akım sensörü kullanmayan tek sensör algoritmaları bunun yerine bir voltaj sensörü kullanır. Düşük maliyeti ve basitliği nedeniyle gerilim sensörleri akım sensörlerine tercih edilir. Örneğin, bir voltaj sensörü, ölçülen voltajı 0 ile 3.3V arasındaki bir voltaj aralığına bölen, seri olarak bağlanmış iki direnç kadar basit olabilir. Voltaj bölücünün çıkışı, doğrudan bir mikro denetleyicide analogdan dijitale bir kanala iletilebilir.

Bir voltaj sensörü kullanan en iyi bilinen tek sensör algoritması, kesirli açık devre voltajı (FOCV) yöntemidir (Bekker vd Beukes, 2004).

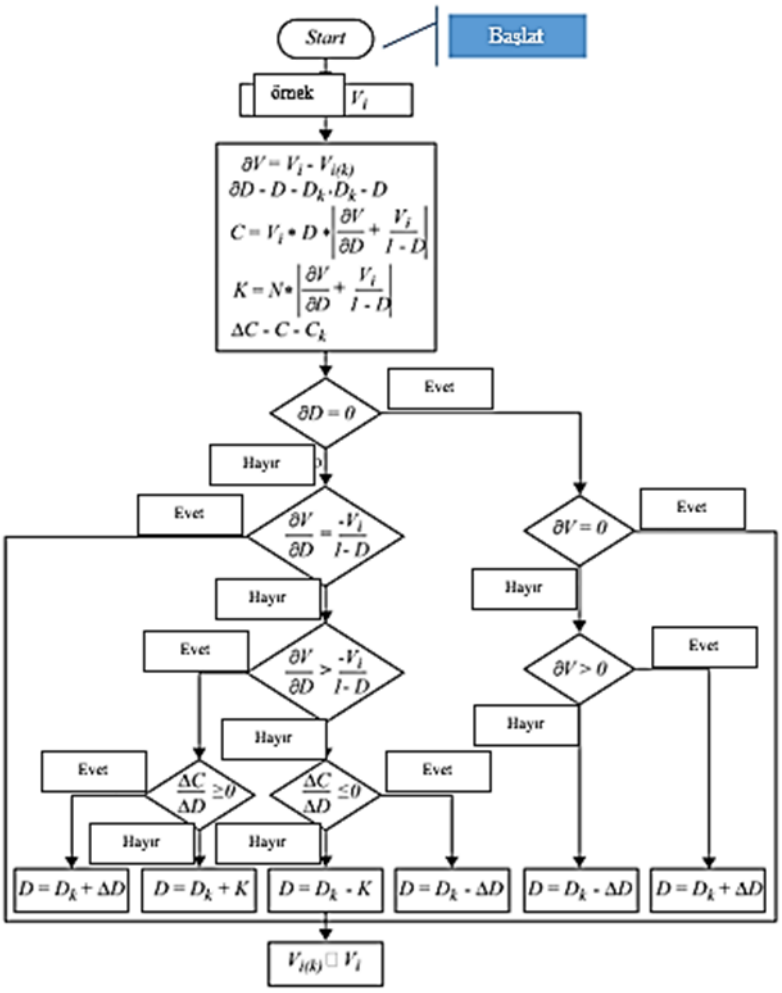
FOCV yöntemi Şekil 3.12'de gösterilmektedir. İlk olarak, güneş paneli yükten geçici olarak ayrılır. Yük yeniden bağlanmadan önce açık devre voltajı ölçülür. Ölçülen voltaj, bir voltaj referans değeri elde etmek için sabit bir kazançla çarpılır. Diğer tek sensör algoritmaları gibi, fraksiyonel açık devre voltaj algoritması, geniş bir ışıma ve sıcaklık seviyeleri aralığında maksimum güç noktasını izlemez. Bazı varyasyonlarda,

ölçüm frekansı ve adım boyutu MPP'yi daha verimli bir şekilde takip etmek için ayarlanır (Sivaramakrishnan, 2016).



Şekil 3.12 Kesirli açık devre voltaj algoritmasının akış şeması

Diğer tek sensör algoritmaları, maksimum güç noktasını izlemek için bir voltaj ölçümü ve görev döngüsü değerini kullanır (Chen ve Lai, 2014). Yie-Tone Chen tarafından geliştirilen bu algoritmalardan birisi, Şekil 3.13'de gösterilmektedir. Chen, MPP'yi izlemek için voltaj ölçümlerindeki farkı, görev döngüsü değerindeki farkı, akım voltaj ölçümünü ve mevcut görev döngüsü ölçümünü kullanır.



Şekil 3.13 Chen tek sensör yönteminin akış şeması

3.8 Parçacık Sürü Optimizasyonun Avantajları ve Dezavantajları

Partikül Sürü Optimizasyonuna dayalı PSO denetleyicilerine dair temel avantajları, zayıf noktalar ve eleştiriler aşağıda açıklanmıştır:

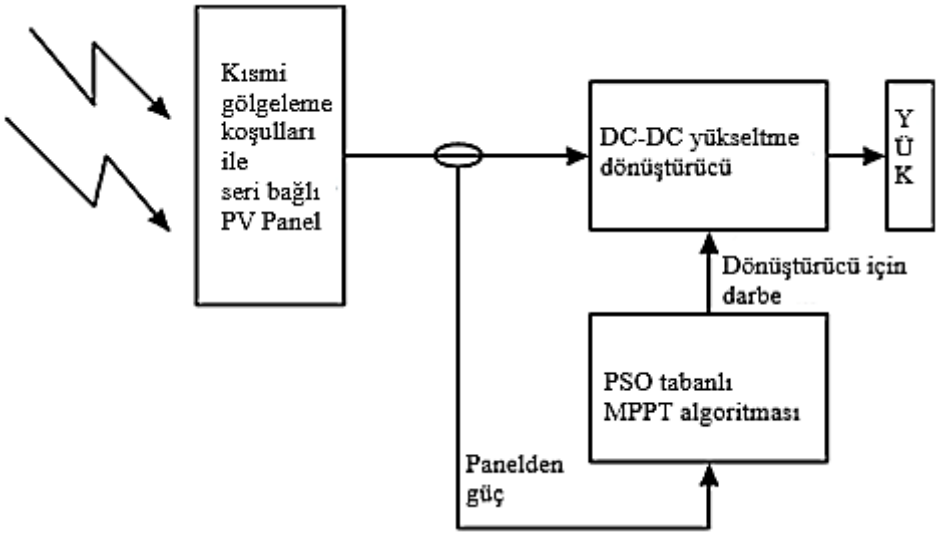
Avantajlar olarak; uygulamasının basit olması, ayarlanacak birkaç parametresi olması, paralel hesaplama yapabilmesi, sağlamlık sağlaması, küresel ideal ortamı bulmada daha yüksek olasılık ve verimliliğe sahip olması, hızlı bir şekilde birleşebilmesi, kısa hesaplama süresine sahip olması ve doğru matematiksel modelleri bulmakta zorluk çeken problemleri çözmek için verimli olması sayılabilir.

Dezavantajlar olarak ise; ilk tasarım parametrelerini tanımlamanın zor olabilmesi, saçılma sorunlarını çözemeyebilme ihtimali ve zamanından önce birleşebilir ve özellikle karmaşık problemlerde yerel bir minimuma düşebilme ihtimali sayılabilir.

4. SİMÜLASYON SONUCU

4.1 Maksimum Güç Noktası İzleme Dayalı Parçacık Sürü Optimizasyonu

Bu tezde, kısmi gölgeleme koşullarında FV sisteminin maksimum güç noktası izleme performansını iyileştirmek için PSO algoritmasına dayalı bir MPPT algoritması sunulmuştur. Önerilen kontrol şeması, ateş böceği algoritmasına sahip maksimum güç noktası takip dönüştürücüsüne (Yükseltici dönüştürücü) sahip FV panelinden (kısmi gölgeleme koşulunda) oluşur. Şekil 4.1'de tüm FV sisteminin blok şeması gösterilmiştir.



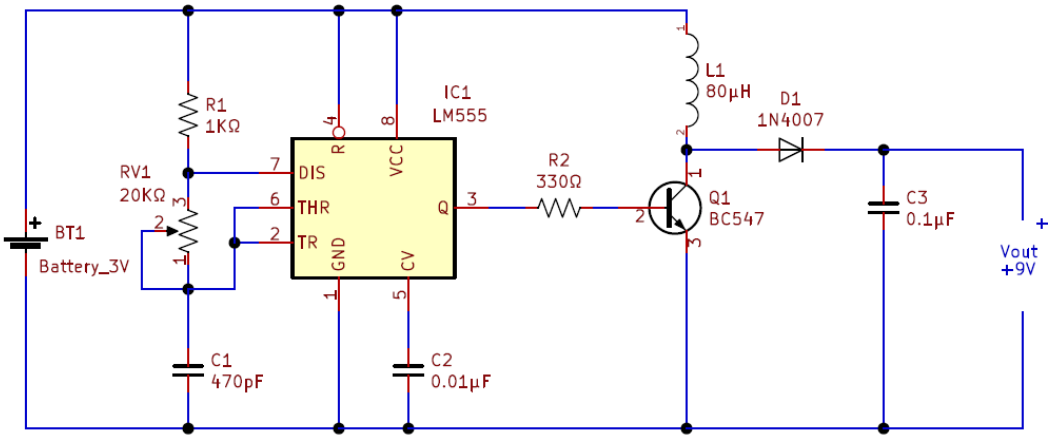
Şekil 4.1 Tüm FV sisteminin blok şeması

PSO algoritması, yükseltici dönüştürücü için rastgele oluşturulmuş bir görev döngüsü setidir.

4.2 Yükseltici Dönüştürücü

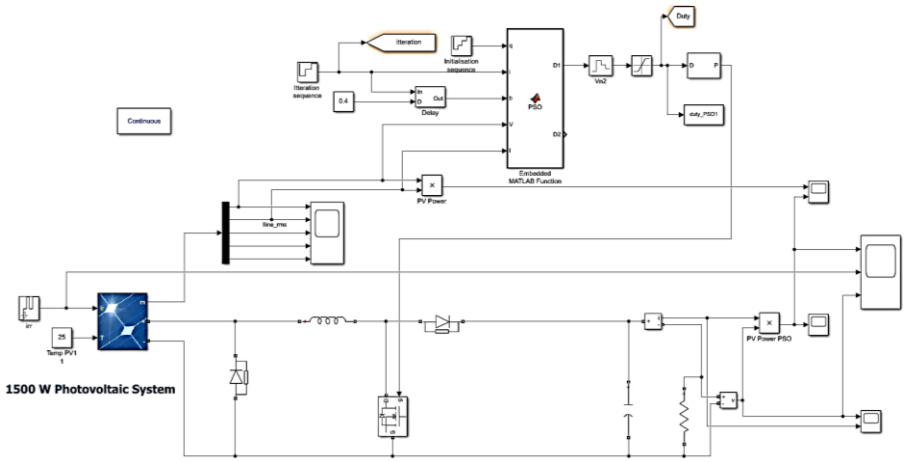
Anahtarlamalı güç kaynakları, DC-DC dönüştürücüler dahil olmak üzere birçok amaç için kullanılan sistemlerdir. Günümüz enerji sistemlerinde DC güç üreten güç kaynakları bulunsa da bu kaynakların sağladığı gerilim değerleri bazı yapılar için yeterli olmamaktadır. Yüksek gerilim gereken DC devrelerinde akü paketleri oluşturularak istenilen gerilim değerlerine ulaşılabilir ancak bu yeterli parametre

sağlayan bir çözüm olsa da yapı malzemesi, kullanım alanı ve ağırlık gibi birçok yönden teorik olarak yeterli dezavantajlar sağlamaktadır. DC-DC dönüştürücüler bu noktada istenilen voltaj değerlerini elde etmek için tasarlanmıştır. Yükseltici dönüştürücüler, DC dönüştürücülerdir. İnverterin tasarımı, uygulanan gerilim değerini artırarak çıkış geriliminin elde edilmesine dayanmaktadır. DC-DC yükseltici dönüştürücü, Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



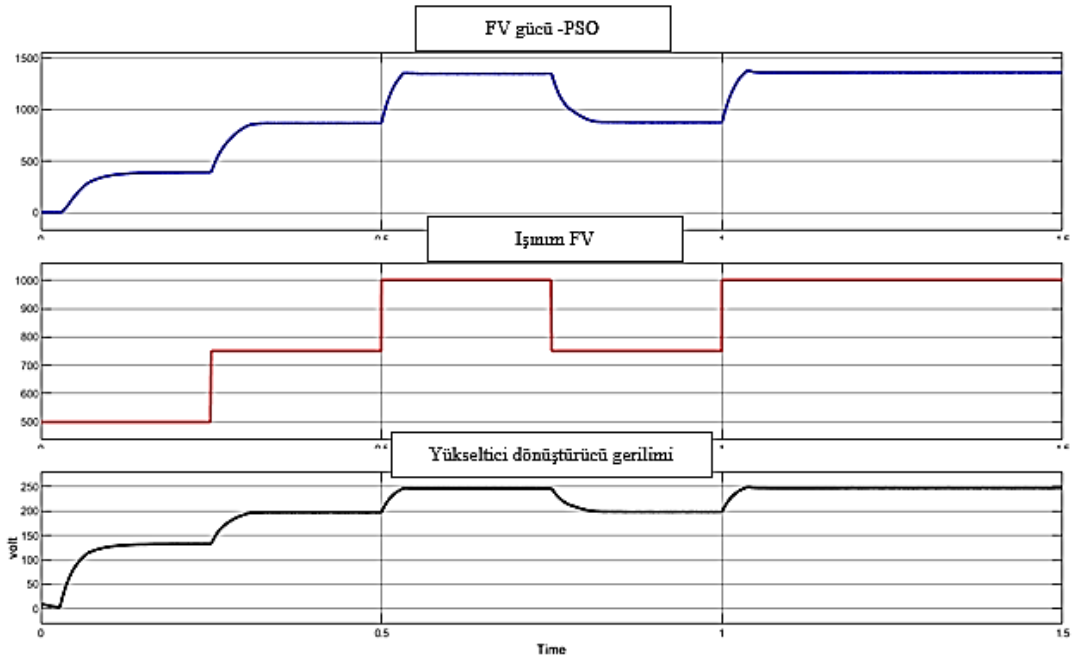
Şekil 4.2 DC-DC yükseltici dönüştürücü

Önerilen yöntemin Simulink modeli, Şekil 4.3'de gösterilmektedir.



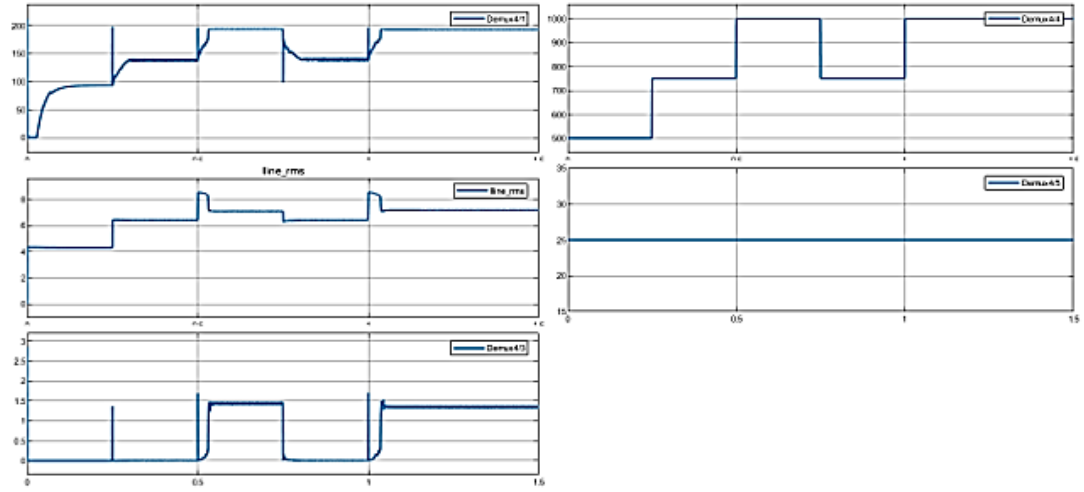
Şekil 4.3 Önerilen yöntemin simulink modeli

FV gücü - PSO, FV ışınımı ve zamana karşı yükseltici dönüştürücü gerilimi Şekil 4.4'de gösterilmektedir.



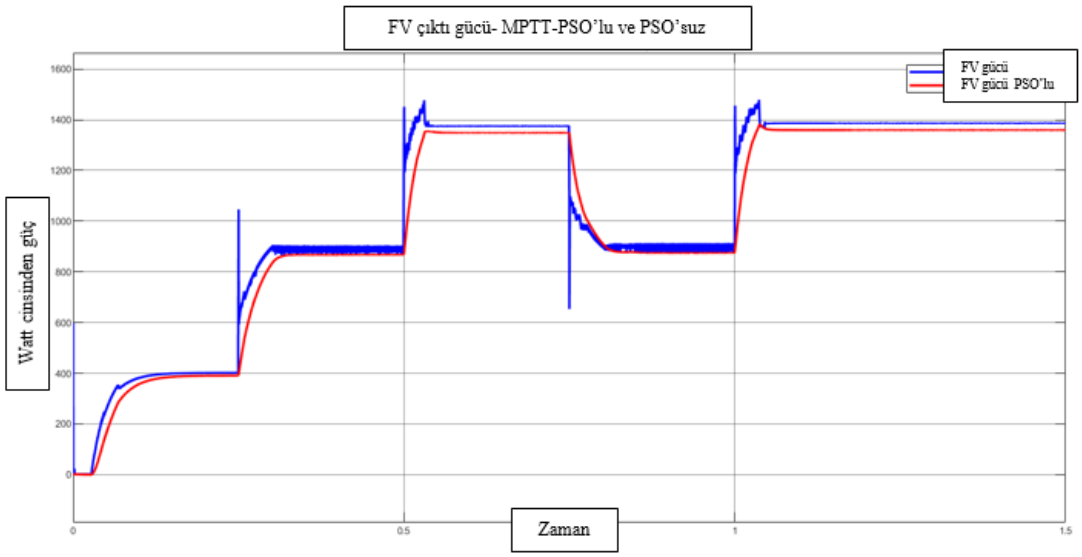
Şekil 4.4 Zamana karşı FV gücü - PSO, ışınım FV ve yükseltici dönüştürücü voltajı

Demux çıktısı, Şekil 4.5'de gösterilmektedir.



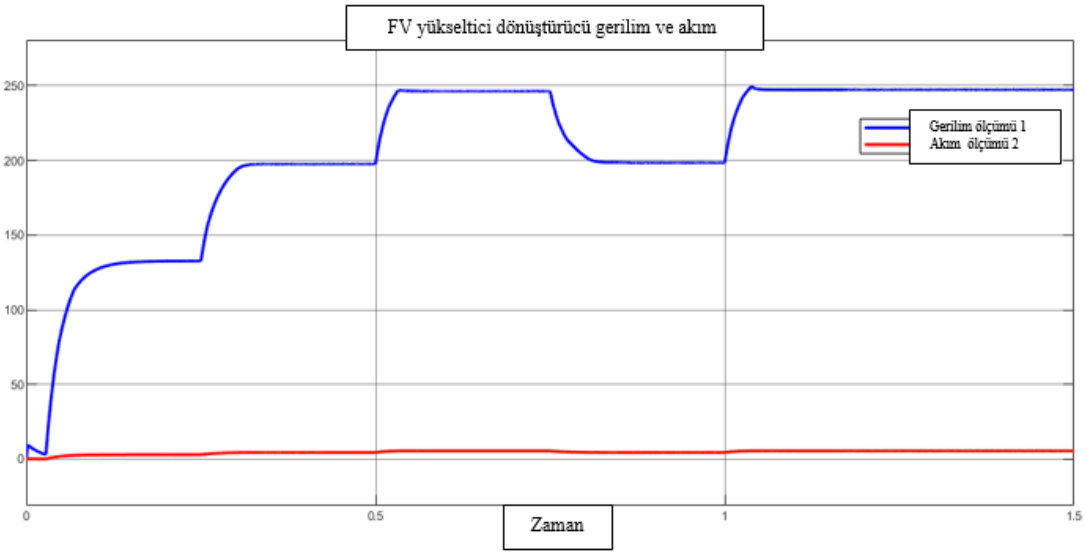
Şekil 4.5 Demux çıktısı

FV ile üretilen gücün, PSO ile ve PSO'suz olarak karşılaştırılması, Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



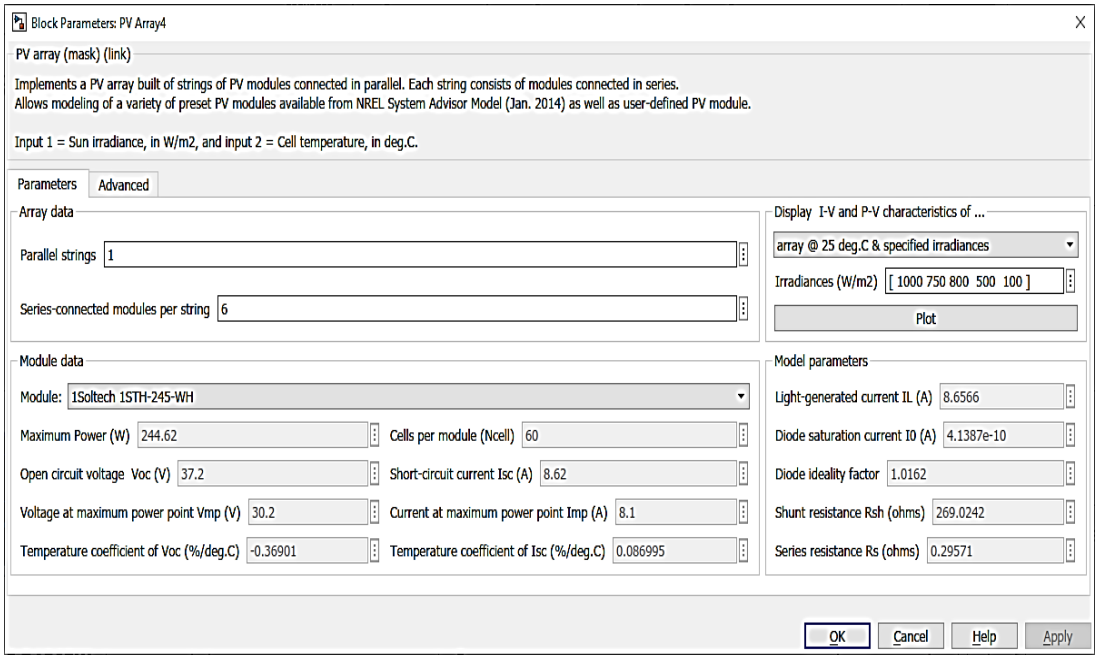
Şekil 4.6 PSO ile ve PSO'suz FV gücü arasında karşılaştırma

FV yükseltici dönüştürücü gerilim ve akımı, Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7 FV yükseltici dönüştürücü gerilim ve akımı

FV panelin özellikleri, Şekil 4.8'de gösterilmektedir.



Şekil 4.8 FV panel özellikleri

FV sistemi için parametre Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

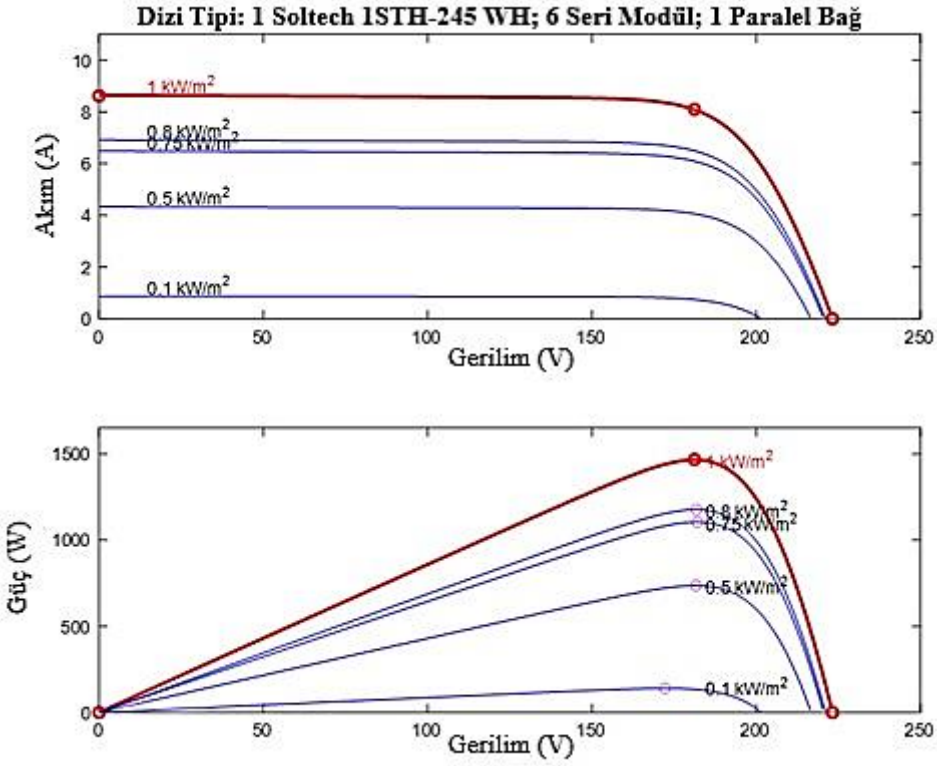
Tablo 4.1 FV sistemi için parametre

Modül verisi	**Değer**
Maksimum Güç (W)	244,62
Modül başına hücre (Ncell)	60
Açık devre gerilimi Voc (V)	37,2
Kısa devre akımı Isc (A)	8,62
Maksimum güç noktasında voltaj Vmp (V)	30,2
Maksimum güç noktasında akım Imp (A)	8,1
Voc sıcaklık katsayısı (% / derece C)	-0,36901
Isc sıcaklık katsayısı (% / derece C)	0,08995
Modül Parametresi	**Value**
Işık kaynaklı akım IL (A)	8,6566
Diyot doygunluk akımı I0 (A)	4,1387e-10
Diyot ideallik faktörü	1,0162
Şönt direnci Rsh (ohm)	269,0242
Seri direnç Rs (ohm)	0,29571

Tablo 4.1 Yükseltici dönüştürücü parametresi

Parametre	**Değer**
Endüktör	1e-2 H
Kapasitör	500e-6 µF
Direnç	45Ω
Anahtar Frekansı	60KHz

I-V ve Güç-V eğrisi, Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9 Akım-gerilim ve güç-gerilim

5. SONUÇ

Güneş enerjisi, güneş ışığının, konsantre güneş enerjisi kullanılarak bir fotovoltaik sistem vasıtasıyla doğrudan ve dolaylı olarak elektriğe dönüştürülmesidir. Konsantre güneş enerjisi sistemleri, güneş ışığını yoğunlaştırmak için lensler, aynalar ve izleme sistemleri kullanır. Fotovoltaik sistemler ayrıca bir fotoelektrik etki kullanarak ışığı elektrik akımına dönüştürür. Konsantre güneş enerjisi santralleri 1980'lerde inşa edilmiştir. 354 MW kapasiteli dünyanın en büyük güneş enerjisi santrali, Mojave Çölü'nde bulunuyor. İran'da güneş enerjisi kullanımının örnekleri, Yazd Güneş Enerjisi Santrali ve Şiraz Güneş Enerjisi Santralidir. Güneş enerjisi, herhangi bir biçimde enerji elde etmek amacıyla güneş radyasyonunun doğrudan kullanımına dayanan alternatif bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi yenilenebilir bir enerji kaynağı kullanır ve "çevre dostudur" yani kullanımın aktif aşamasında zararlı atık üretmez. Güneş enerjisi üretimi, dağıtılmış enerji üretimi kavramına çok iyi uymaktadır. Güneş enerjisi: güneş ışınlarını emen bir yüzeyi ısıtmada ve ardından ısıyı dağıtmakta kullanmaktadır (daha sonra ısınmış suyun ısıtma, sıcak su temini veya buhar güç jeneratörlerinde kullanılması için su veya tuz içeren bir kazan/tank güneş ışınımına odaklanılmıştır). Konsantre güneş sistemlerini (CSP) özel bir güneş enerjisi istasyonu türü olarak ayırt etmek gelenektendir. Bu kurulumlarda, güneş ışınlarının enerjisi, bir mercek ve ayna sistemi kullanılarak yoğunlaştırılmış bir ışık demetine odaklanır. Bu ışın, çalışma sıvısını ısıtmak için bir termal enerji kaynağı olarak kullanılır.

PSO yöntemlerinin çıkışı Kennedy, Eberhart ve Shi adlı araştırmacılara atfedilir. Başlangıçta, bir kuş sürüsü veya bir balık sürüsündeki canlı organizmalar tarafından tanımlanan hareket gibi sosyal davranışları modellemek için tasarlanmışlardır. Algoritma daha sonra basitleştirilmiş ve optimizasyon problemlerine uygun olduğu görülmüştür. Kennedy ve Eberhart'ın kitabında PSO ve sürü zekasının sayısız teorik yönü anlatılmaktadır. PSO, "parçacıklar" olarak adlandırılan bir aday çözüm popülasyonu sayesinde bir problemi optimize etmeye olanak tanır ve bunları, parçacıkların konumu ve hızını hesaba katan matematiksel kurallara göre arama alanı boyunca hareket ettirir. Her parçacığın hareketi, şimdiye kadar bulunan en iyi yerel konumundan ve ayrıca arama uzayını geçerken diğer parçacıklar tarafından bulunan en iyi küresel konumlardan etkilenir. Bunun teorik temeli, parçacık bulutunun en iyi

çözümlere hızla yakınlaşmasını sağlamaktır. PSO, optimize edilecek problem hakkında ya çok az hipotez varsaydığı veya hiç varsaymadığı ve aday çözümlerin geniş alanlarına uygulanabileceği için meta-sezgiseldir. Bununla birlikte, tüm meta-sezgisel yaklaşımlar gibi PSO da her durumda optimal bir çözüm elde etmeyi garanti etmez.

Bu tezde, güneş enerjisi sistemleri için parçacık sürü optimizasyon yöntemini kullanarak maksimum güç noktası takip algoritmasını belirleme problemini ele alınmıştır. Tipik olarak, güneş pili hücrelerinin karakteristik özellikleri kurulumdan önce, üretici tarafından deneysel verilere dayanarak verilir. Ölçüm veya tespit etmek için, ilgi çekici birkaç güneş enerjisi dejenerasyon mekanizması mevcuttur. Bu nedenle güneş enerjisi parametrelerinin zaman içinde periyodik olarak aktif olarak ölçülmesi avantajlıdır. Tipik bir güneş enerjisi sisteminin eşdeğer modeli için, maksimum güç noktası takip algoritmasını iyileştirmek için parçacık sürüsü optimizasyon yöntemine dayalı akıllı bir yöntemden geliştirilen bir metodoloji öneriyoruz. Bu yöntem, sistemin çıkışında maksimum gücü bulmayı güncellemek için kullanılabilen güneş enerjisi sisteminin periyodik olarak güncellenmesine izin verir.

Algoritmanın belirli yönleri, uygulamaya bağlı olarak optimize edilebilir. Örneğin, öne sürülen algoritma, 55 Hz frekansta giriş voltajını örnekler. Giriş voltajı 2 Hz gibi çok daha düşük bir frekansta örneklenirse, algoritma kararlı durum çalışması sırasında çok daha verimli olacak, ancak ışık değişimlerine daha yavaş yanıt verebilecektir. Gözlemlenen ışınımın sürekli dalgalandığı göz önüne alındığında, algoritmayı voltaj örnekleme frekansını artırarak geçici koşullar için optimize etmek daha faydalı olabilir.

KAYNAKLAR

Abdourrziq, M. A., Ouassaid, M., & Maaroufi, M. (2016). Single-sensor based MPPT for photovoltaic systems. *International Journal of Renewable Energy Research*, 6(2): 570-579.

Ahmed, S., Islam, M. T., Karim, M. A., & Karim, N. M. (2014) Exploitation of Renewable Energy for Sustainable Development and Overcoming Power Crisis in Bangladesh. *Renewable Energy*, 72: 223-235.

Al-Gizi, A. G. (2016). Comparative study of MPPT algorithms under variable resistive load. *2016 International Conference on Applied and Theoretical Electricity*, 1-6.

Bekker, B., & Beukes, H. J. (2004). Finding an optimal PV panel maximum power point tracking method. *7th Africon Conference in Africa (IEEE Cat. No. 04CH37590)*, 2: 1125-1129.

Borchers, A. M., Xiarchos, I., & Beckman, J. (2014). Determinants of wind and solar energy system adoption by US farms: A multilevel modeling approach. *Energy Policy*, vol. 69, pp. 106–115.

Boveri, A. B. (2016). Technical Application Papers No. 10: Photovoltaic Plants. *Technical Application Papers*.

Bratton, D., & Kennedy, J. (2007). Defining a standard for particle swarm optimization. *IEEE swarm intelligence symposium*, 120-127, Honolulu, HI, USA.

Byrne, J., Mathai, M. V., Kurdgelashvili, L., & Kumar, A. (2010). World solar energy review: Technology, markets and policies. *Center for Energy and Environmental Policy.*

Chen, L., Amirahmadi, A., Zhang, Q., Kutkut, N., & Batarseh, I. (2013). Design and implementation of three-phase two-stage grid-connected module integrated converte. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29(8): 3881-3892.

Chen, Y., & Lai, J. (2014). A novel variable step-size MPPT method for PV system with single sensor. *IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, 718-722.

Clerc, M., & Kennedy, J. (2002). The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space. *IEEE Transactions on Evolutionary computation*, 6 (1): 58-73.

Cuiping, L., Junwu, Z., Junhui, L., & Zhizhong, Y. (2016). Grid-connected PV system modeling and control based on the variable step size of MPPT algorithm. *2016 China International Conference on Electricity Distribution*, 1-6.

Dubovsky, S. (2012). Maximum power point tracking charge controller with coupled inductor multi-phase converter. Google Patents (US20100264869A1).

Elgendy, M. A. (2016). Comparative investigation on hill climbing MPPT algorithms at high perturbation rates. *7th International Renewable Energy Congress*, 1-6.

Gupta, A. K., & Saxena, R. (2016). Review on widely-used MPPT techniques for PV applications. *2016 International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security (ICICCS-INBUSH)*, 270-273.

Har-Shai, L., Zohar, A., Yoscovitch, I., Galin, Y., & Handelsman, L. (2018). Photovoltaic panel circuitry. Google Patents (US10381977B2).

Helwig, S., Branke, J., & Mostaghim, S. (2012). Experimental analysis of bound handling techniques in particle swarm optimization. *IEEE Trans. Evol. Comput.*, 17 (2): 259-271.

Hester, R. K., Dhople, S. V., & Sridhar, N. (2011). High efficiency wide load range buck/boost/bridge photovoltaic micro-converter. *2011 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*.

Hsieh, G. C., Hsieh, H. I., & Chan, C. K. (2015). Photovoltaic system having power-increment-aided incremental-conductance maximum power point tracking controller using variable-frequency and constant-duty control and method thereof. Google Patents (20130249295).

Huque, M. A., Coley, S. J., & Key, T. S. (2013). Evaluating dynamic maximum power point tracking with variable solar irradiance. *39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC) PART 2*, 68-75.

Hussein, K. H., Muta, I., Hoshino, T., & Osakada, M. (1995). Maximum photovoltaic power tracking: An algorithm for rapidly changing atmospheric conditions. *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 142(1): 59-64.

Jin'no, K. (2009). A novel deterministic particle swarm optimization system. *Journal of Signal Process.*, 13(6): 507-513.

Jin'no, K., & Shindo, T. (2010). Analysis of dynamical characteristic of canonical deterministic PSO. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 1-6.

Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K.-H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects." *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 82: 894-900.

Kameyama, K. (2009). Particle swarm optimization-A survey. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 92(7): 1354–1361.

Kotsiantis, S., & Kanellopoulos, D. (2006). Discretization Techniques: A Recent Survey. *GESTS Int. Trans. Comput. Sci. Eng.*, 32(1): 47-58.

Li, X., Wen, H., Jiang, L., Xiao, W., Du, Y., & Zhao, C. (2016). An improved MPPT method for PV system with fast-converging speed and zero oscillation." *IEEE Transactions on Industry Applications*, 52(6): 5051-5064.

Libo, W., Zhengming, Z., & Jianzheng, L. (2007). A single-stage three-phase grid-connected photovoltaic system with modified MPPT method and reactive power compensation. *IEEE Transaction on Energy Conversion*, 22(4): 881-886.

Liu, X., & Sánchez-Sinencio, E. (2015). A highly efficient ultralow photovoltaic power harvesting system with MPPT for internet of things smart nodes. *IEEE Transaction on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 23(12): 3065-3075.

Lu, Y., Khan, Z. A., Alvarez-Yuehong, M. S., Zhang, Y., Huang, Z., & Imran, M. (2020). A Critical Review of Sustainable Energy Policies for the Promotion of Renewable Energy Sources. *Sustainability* 12(12): 5078.

Manganiello, P., Ricco, M., Petrone, G., Monmasson, E., & Spagnuolo, G. (2015). Dual-Kalman-filter-based identification and real-time optimization of PV systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(11): 7266-7275.

Mao, M., Duan, Q., Yang, Z., & Duan, P. (2016). Modeling and global MPPT for PV system under partial shading conditions using modified artificial fish swarm algorithm. *2016 IEEE International Symposium on Systems Engineering:* 1-7.

Marouani, R., & Bacha, F. (2009). A maximum-power-point tracking algorithm applied to a photovoltaic water-pumping system. *8th International Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems & Electric Drives Joint Symposium*, 1-6.

Marquez, A., Leon, J. I., Vazquez, S., Franquelo, L. G., Carrasco, J. M., & Galvan, E. (2016). Binary search based MPPT algorithm for high-power PV systems. *10th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering*, 168-173.

Martins, F. R., Pereira, E. B., & Abreu, S. L. (2007). Satellite-derived solar resource maps for Brazil under SWERA project. *Solar Energy*, 81(4): 517-52.

Nagenborg, S. (2018). Towards a Participatory Renewable Energy Transition in Latin America: Social Enterprises and the Promotion of Decentralized Solar Energy

Systems. Mater's Thesis, *The Department of International Environment and Development Studies, Norwegian University of Life Sciences*, Norway.

Min, B.-S. (2014). Apparatus and method for tracking maximum power point and method of operating grid-tied power storage system using the same. Google Patents (US8837182B2).

Osako, K., & Sato, Y. (2016). Solar photovoltaic system including a power conditioner. Google Patents (US9310822B2).

Pulli, T., & Hellberg, J. (2016). Maximum power point tracking. Google Patents, 05-Jan-2016.

Rahman, M. W., Bathina, C., Karthikeyan, V., & Prasanth, R. (2016). Comparative analysis of developed incremental conductance (IC) and Perturb & Observe (P&O) MPPT Algorithm for Photovoltaic Applications. *10th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*, 1-6.

Ratsame, C. (2012). A new switching charger for photovoltaic power system by soft-switching. *12th International Conference on Control, Automation and Systems*, 1522-1526.

Ravari, F. K., & Zarchi, H. A. (2015). A fast and robust maximum power point tracker for photovoltaic systems using variable structure control approach. *23rd Iranian Conference on Electrical Engineering*, 1647-1652.

Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74: 590-601.

Shindo, T., & Jin'no, K. (2013). Analysis of dynamics characteristic of deterministic PSO. *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, 4(4): 451-461.

Sturm, G. D. (2017). Single Sensor Maximum Power Point Tracking Algorithm for Photovoltaic Applications. Purdue University, ProQuest Dissertations Publishing.

Subudhi, B., & and Pradhan, R. (2012). A comparative study on maximum power point tracking techniques for photovoltaic power systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 4(1): 89-98.

Timilsina, G. R., Kurdgelashvili, L., & Narbel, P. A. (2012). Solar energy: Markets, economics and policies. *Renew. Sustain. energy Rev.*, 16(1): 449-465.

Trelea, I. C. (2003). The particle swarm optimization algorithm: Convergence analysis and parameter selection. *Information Processing Letters*, 85 (6): 317-325.

Tripathi, A. K. (2014). Application of Solar Energy for Lighting in Opencast Mines, Department of Mining Engineering. National Institute of Technology, Rourkela-169 008, India.

Urtasun, A., Sanchis, P., & Marroyo, L. (2013). Adaptive voltage control of the DC/DC boost stage in PV converters with small input capacitor. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(11): 5038-5048.

Yang, C., Chang, Y., Li., C., Cheng, S., Huang, Q., Chuang, C., Chiu, H., Lo, Y., kuo, M., Huang, Y., Jean, Y., & Huang, Y. (2012). A module-integrated isolated solar microinverter. *IEEE 10th International Conference on Industrial Informatics*, 60(2): 781-788.

Wareesri, W., & Po-Ngam, S. (2016). A three-phase PV-pump inverter with maximum power point tracking (MPPT) controller. *13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, 1-4.

Zhang, Z., Chen, W., & Chen, M. (2014). Optimization of the maximum power point tracking method for peak-current controlled flyback micro-inverter. *2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, 800-805.

Sivaramakrishnan, S. (2016). Linear extrapolated MPPT-an alternative to fractional open circuit voltage technique. *2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy (PESTSE)*, 1-4.