



# Değişen Çevresel Koşullar İçin Üç MGNT Algoritmasının Deneysel Doğrulaması ve Karşılaştırmalı Analizi

Göksel Gökkuş<sup>1\*</sup>, Ahmet Afşin Kulaksız<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Nevşehir HBV Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye, (ORCID: 0000-0003-4266-5556), [gokselgokkus@nevsehir.edu.tr](mailto:gokselgokkus@nevsehir.edu.tr)

<sup>2</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3216-8185), [aakulaksiz@ktun.edu.tr](mailto:aakulaksiz@ktun.edu.tr)

(2nd International Conference on Computer, Electrical and Electronic Sciences ICCEES 2021, September 1-3, 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.1005041)

**ATIF/REFERENCE:** Gökkuş, G. & Kulaksız, A. A. (2021). Değişen Çevresel Koşullar İçin Üç MGNT Algoritmasının Deneysel Doğrulaması ve Karşılaştırmalı Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (30), 17-34.

## Öz

Bu çalışma ile güneş dizi simülatörü (Solar Array Simulator, SAS) aracılığıyla oluşturulan üç farklı ortamda; değiştir ve gözle (Perturb and Observe, P&O), artımlı iletkenlik (Incremental Conductance, IC) ve bulanık mantık denetleyicisi (Fuzzy Logic Controller, FLC) tekniklerini temel alan maksimum güç noktası takibi (Maksimum Power Point Tracking, MPPT) algoritmalarının uygulamalı olarak performans analizleri yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak BK Precision firmasının güneş dizi simülatörü üzerinden sıcaklık (T) ve güneş ışımalarının (G) zamana göre değişim gösterdiği 3 farklı ortam senaryosu oluşturulmuştur. Belirtilen MGNT algoritmaları bu ortamlarda ayrı ayrı çalıştırılarak performans analizleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında yük olarak 500 W'lık omik yük (serpantinli rezistans) kullanılmış ve güneş dizi simülatöründen yüke olan güç aktarımı DA-DA (Doğru Akım, DA) yükselten (Boost, step-up) dönüştürücü üzerinden yapılmıştır. Dönüştürücünün kontrolü ve bahsedilen algoritmaların işletilmesi SMT firmasının geliştirme kartı olan Nucleo 32F103RB üzerinden yapılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** MGNT algoritması, FV Panel, DA-DA Dönüştürücü.

## Experimental Verification And Comparative Analysis Of Three MPPT Algorithms For Varying Environmental Conditions

### Abstract

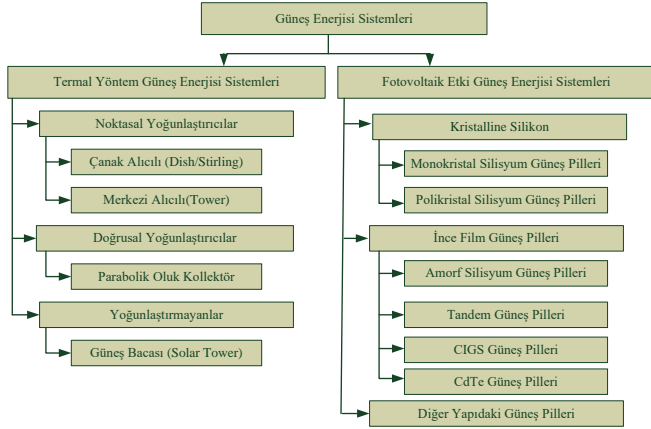
In this study, in 3 different environments created by solar array simulator (SAS); Performance analyzes of maximum power point tracking (MPPT) algorithms based on Perturb & Observe (P&O), Incremental Conductance (IC) and Fuzzy Logic Controller (FLC) techniques have been carried out. For this purpose, 3 different environment scenarios in which temperature (T) and solar radiation (G) change according to time were created on the solar array simulator of BK Precision company. Performance analyzes were made by running the specified MPPT algorithms separately in these environments. Within the scope of the study, a 500 W ohmic load was used and the power transfer from the solar array simulator to the load was made via the DC-DC Boost converter. The control of the converter and the operation of the mentioned algorithms were made on the Nucleo 32F103RB, the development board of SMT company, and the results were discussed.

**Keywords:** MPPT Algorithms, PV Panel, DC-DC Converter.

\* Sorumlu Yazar: [gokselgokkus@nevsehir.edu.tr](mailto:gokselgokkus@nevsehir.edu.tr)

## 1. Giriş

Güneş enerjisi; diğer tüm enerji kaynaklarının temelini oluşturduğu gibi tüm canlı hayatının da kaynağıdır (Yiğit&Yağcı, 2020). Güneş enerjisinden bahsedildiğinde günümüzde büyük oranda enerji üretimi akla gelirken, elektrik enerjisi üretimi güneş enerjisinden faydalandığımız alanlardan sadece biridir. Güneş enerjisinden faydalandığımız diğer alanlara örnek olarak; sağlık alanı, endüstriyel süreçler, ısıtma-soğutma-iklimlendirme, tarım, aydınlatma vb. pek çok alan sıralanabilir. Güneş enerjisi; artan enerji ihtiyacını karşılamada ve fosil kaynaklı yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişte önemli rol oynar (Yarıkkaya&Vardar, 2020; Akboy, 2019). Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimine dair kullanılan yöntemleri Foto Voltaik (FV) yöntem ve termal yöntem olmak üzere iki başlıkta incelemek mümkündür. Literatürde karşılaşılan ve güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretebilen sistemler bir sema haline getirilerek Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Güneş enerjisi sistemlerinin sınıflandırılmasına dair sema

FV yöntemin kullanılması büyük oranda esnek sistem yapıları sağlarken, çevre kirliliği de üretmez (Sundararaj et al, 2020). FV yöntemi kullanan sistemlerin çıkış karakteristikleri doğrusal değildir çünkü FV etkiyi kullanan sistemlerin enerji üretimi güneş ışınması ve sıcaklık gibi dış etkilere bağlıdır (da Rocha et al, 2019). Güneşten yayılan ve ışıma yoluyla dünya atmosferine ulaşan enerji, kayıplara uğradıktan sonra atmosferin üst kademelerinde metre kareye 1360 W civarında enerji transfer eder. Atmosferde meydana gelen kayıplar ve yer yüzeyinden yansımalar neticesinde de, geriye ortalama olarak metre karelik alana 1000 W civarında enerji kalır (Ochab et al, 2017). Enerji yoktan var olabilen bir olgu olmayıp birinden diğerine dönüşür. Dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisi bitkiler vasıtasıyla kimyasal enerjiye dönüşür. Güneş enerjisi, ısı ve ışınma etkisi ile çeşitli doğa olaylarının da oluşmasına sebep olur. Örneğin ısınan havanın yer değişmesi sonucunda rüzgar olayı oluşur (İftikhar et al, 2018).

## 2. Materyal ve Metot

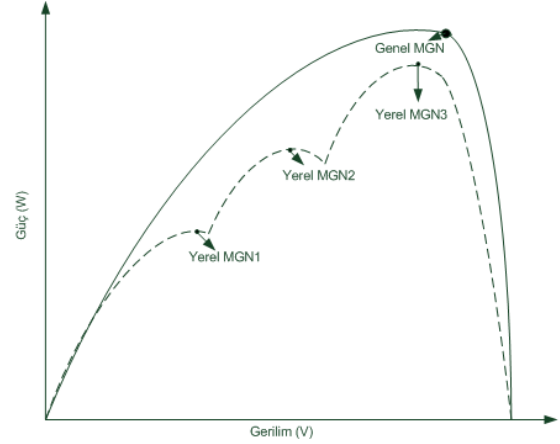
Bu bölümde; çalışma kapsamında önerilen maksimum güç noktası takibi (MGNT) ve bu maksatla oluşturulmuş algoritmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Uygulamalı karşılaştırmayı sağlayacak donanımsal bileşenler açıklanmıştır. Ek olarak istenilen çalışmayı sağlayacak gömülü sistem yapımları hakkında da bilgilere yer verilmiştir.

### 2.1. MGNT Algoritmalarına Bakış

FV panelleri kullanan güneş enerji sistemleri için MGNT algoritmalarının kullanımı açık bir biçimde verim artışı sağlar. MGNT algoritmalarının kullanımı FV panellerin verimlerinde %20-%30 arasında artış sağlar. MGNT algoritmaları sayısal veya analog teknikleri temel olarak tasarlanabilirler (Abouelela, 2020). Günümüze gelinceye kadar, MGNT algoritmaları üzerine çok geniş kapsamda ve adette çalışmalara yer verilmiştir.

Literatürde eski veya güncel teknikleri içeren 40’ın üzerinde MGNT algoritmasının olduğu bilinmektedir. Bu algoritmalar içerisinde artımlı iletkenlik ile Değiştir & Gözle teknikleri, basitliği ve kolay uygulanabilirliği sayesinde en çok çalışma yapılan algoritmalarındandır (Bhattacharyya, 2020). MGNT algoritmaları ile FV panellerden o esnada alınabilecek en yüksek gücün alınması hedeflenir.

FV panelin maksimum güç noktasını (MGN) ifade ederken iki noktadan bahsetmek mümkündür. Bunlardan birincisi yerel MGN’dir. Yerel MGN; FV panelin tam güneş alamadığı durumlarda ortaya çıkar. Bu durumlara; parçalı gölgelenme, panelin toz vb. ile kaplanması, sıcak noktaların (hot-spot) oluşması veya güneş ışınlarının panele 90 derecelik bir açı ile gelmemesi gibi durumlar örnek verilebilir. FV panelin yüzeyi temiz ve güneş ışığını istenilen açıda alabiliyor olması sonucunda ise genel (Global) MGN oluşur. Bu nokta panelin verebileceği en yüksek gücün sağlanabildiği noktadır. Şekil 2’de bir FV panele ait güç/gerilim (P/V) grafiği üzerinde yerel ve genel MGN’ni gösteren grafik verilmiştir.



Şekil 2. FV panele ait yerel ve genel MGN’ni gösterir grafik

MGNT algoritmaları, yüksek enerji potansiyelleri ve dağıtılmış enerji kaynakları niteliği sayesinde hem rüzgar hem de güneş enerji sistemleri tarafından kullanılabilir (Ram et al, 2017). Enerji dönüşüm platformlarına uygulanan MGNT teknikleri değerlendirilirken aşağıda verilen başlıklar göz önüne alınmaktadır.

Bu başlıkları;

- Kapasite Kullanım Faktörü (Capacity utilization factor)
- Maliyet (Cost)
- Enerji Tasarrufu (Energy savings)
- Geri ödeme Süresi (Payback period)
- Yaratılan Gelir (Income generated)
- İstikrar (stability) şeklinde sıralamak mümkündür.

Literatürde ele alınan 40'tan fazla MGNT algoritmasının bir kısmını panelin elektriksel parametrelerini kullanarak maksimum güç noktasına ulaşmayı hedeflerken bazıları ışık yoğunluğu ve sıcaklık değişimini (Shengqing et al, 2020), bazıları ise FV panelin MGN'da çalıştığını gösterecek başka parametreleri kullanır. Literatürde yer alan MGNT algoritmaları aşağıda listelendiği gibi belirli başlıklar altında sınıflandırılabilir.

Geleneksel teknikler:

- Değiştir ve Gözle (Perturb & Observe)
- Tepe Tırmanışı (Hill Climbing)
- Artımlı İletkenlik (Incremental Conductance)
- Açık Devre Gerilimi Metodu (Open Voltage Method)
- Sabit Gerilim Metodu (Constant Voltage Method)
- Kısa Devre Akımı Metodu (Short-Current Pulse Method)

Yapay zeka teknikleri (Artificial Intelligence):

- Bulanık Mantık Kontrol (Fuzzy Logic Control)
- Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Evrim algoritmaları (Evolutionary Algorithms):

- Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
- Geliştirilmiş PSO (Improved PSO)
- Deterministik PSO

- Değiştirilmiş PSO (Modified PSO)

Doğadan esinlenmiş teknikler (Bio-Inspired)

- Guguk Kuşu Araması (Cuckoo Search)
- Ateşböceği Algoritması (Firefly Algorithm)
- Rastlantısal Arama Metodu (Random Search method)
- Kaotik Kontrol Metodu (Chaotic control Method)
- Lineer Olmayan Kontrol Metotları (Nonlinear control methods)

MGNT algoritmalarının başarısı sabit olmayan ortam şartlarına bağlı olarak değişim gösterdiği gibi güç katını oluşturan devrelerin kabiliyetlerine bağlı olarak da değişim gösterir (Li, 2019). MGNT algoritması ile onu işletecek olan güç katının seçiminde aşağıda verilen başlıklar göz önüne alınmalıdır.

- Algoritmanın karmaşıklığı
- Dönüştürücü tasarımı
- Yakınsama hızı
- Bellek gereksinimi
- Hızlı değişim gösteren iklim koşulları altındaki performansı

Literatür taramasında karşılaşılan ve çalışma kapsamında incelenecek olan P&O, IC ve FLC tekniğini içeren MGNT algoritmalarının güneş ve rüzgar enerjisine uygulanmasına dair karşılaştırma Tablo 1'de verilmiştir.

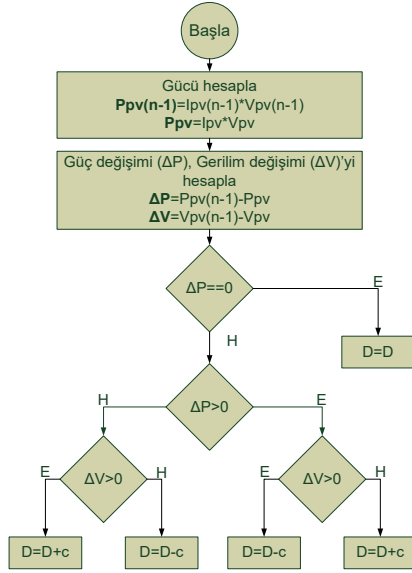
Tablo 1. P&O, IC ve FLC tekniklerini içeren MGNT algoritmalarının çeşitli başlıklar altında karşılaştırılmasına dair tablo

Algoritma Türü	Enerji Kaynağı	Algoritmanın Karmaşıklığı	Dönüştürücü Kurulumu	MGN'a Ulaşma Hızı	Hafıza Gereksinimi	Değişen Ortam Şartlarında Performansı
P&O	Rüzgar	Kolay	Orta	Orta	Düşük	Orta
	Güneş	Kolay	Kolay	Yavaş	Düşük	Düşük
IC	Rüzgar	Kolay	Karmaşık	Orta	Düşük	Orta
	Güneş	Kolay	Kolay	Düşük	Düşük	Düşük
FLC	Rüzgar	Zor	Karmaşık	Yüksek	Yüksek	Yüksek
	Güneş	Zor	Kolay	Yüksek	Yüksek	Yüksek

### 2.1.1. Değiştir ve Gözle (P&O) Tekniği

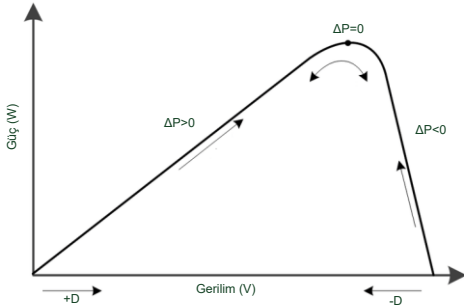
Bu teknik diğer tekniklere göre daha fazla kullanılmaktadır (Belkaid et al,2017). P&O tekniği ile panelin gerilimi kullanılarak doğrudan kontrol sinyalinin çalışma oranı (Duty, D) değiştirilebilir (Sahoo, 2020). Geleneksel yapıdaki P&O algoritması sabit adımlıdır ve bu sebeple genel MGN etrafında salınımlara sahiptir. Literatürde bu algoritmanın dezavantajlı yönlerini azaltıp iyi yönlerini öne çıkarmayı hedefleyen pek çok çalışma vardır. Adaptif (AD-P&O) veya hibrit (HB-P&O) gibi çeşitli başlıklarda geliştirmeler yapılarak sabit adımın kısıtlamalarının ortadan kaldırılması ve genel MGN etrafındaki salınımların azaltılması hedeflenmektedir (Mousa et al, 2020; Kwan&Wu, 2017). P&O algoritması panelin akım ve gerilim değerlerini kullanarak panelin MGN'a ulaşabilir. Panele bağlı sensörlerden alınan akım ve gerilim değerleri üzerinden işletilebildiği gibi çeşitli geliştirmeler ile sensör kullanmadan da MGNT yapılabilir (Liu, 2019). P&O algoritmasının çalışması şu

şekildedir: FV panelden sensörler vasıtasıyla alınan akım ve gerilim bilgisi üzerinden FV panelin o andaki sağlayabildiği güç değeri hesaplanır. Hesaplanan bu güç ve gerilim değeri üzerinden güç katını kontrol eden darbe genişlik modülasyonunun (PWM) çalışma oranı D değiştirilir (artırılır veya azaltılır). Bu değişikliğin yapıldığı güç ve gerilim değeri hafızaya alınarak bir önceki değer etiketinde kaydedilir. Bir önceki güç değeri (Ppv(n-1)) ve bir önceki gerilim değeri (Vpv(n-1)) olarak hafızaya kaydedilir. Yapılan değişiklikten sonra yeniden akım ve gerilim değeri ölçülerek güç değeri yeniden hesaplanır (Ppv=Ipv\*Vpv). Yeni ölçüm sonucunda hesaplanan güç değeri (Ppv) ile bir önceki güç değeri (Ppv(n-1)), yeni ölçülen gerilim değeri (Vpv) ile de bir önceki gerilim değeri (Vpv(n-1)) üzerinden ( $\Delta P$ ) ve ( $\Delta V$ ) değerleri hesaplanır. Tarif yapıları bu işlem Şekil 3'te verilen akış şemasına göre yapılır.



Şekil 3. P&O algoritmasının işletilmesine dair akış şeması

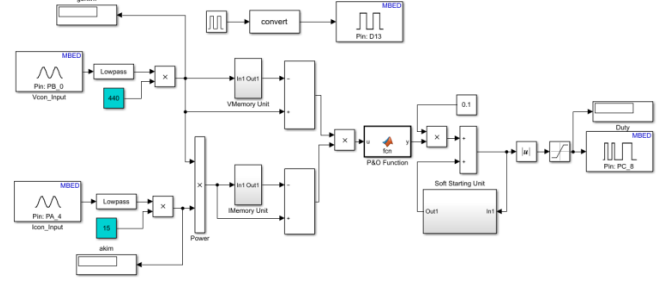
Bir FV panele ait MGN'nın tespiti güç/gerilim (P/V) eğrisi üzerinden yapılabilmektedir. Bu eğri üzerindeki yönün tespiti de güç değişimi ( $\Delta P$ ) ve gerilim değişimi ( $\Delta V$ ) üzerinden kolaylıkla yapılabilir. Şekil 4'te verilen eğri ile  $\Delta P$  ve  $\Delta V$ 'deki değişime göre Şekil 3'teki akış şeması üzerinden sürme sinyalinin çalışma oranı  $D$  değiştirilir. Akış şemasında verilen "c" P&O MGNT algoritmasının sabit adım değeridir. Çalışma kapsamında "c" değeri 0,1 olarak belirlenmiştir. P&O algoritmasının işletimi esnasında  $\Delta V$  ve  $\Delta P$ 'ye bağlı değişimler neticesinde  $D$ 'nin değerindeki artış veya azalma miktarı 0,1'dir.



Şekil 4. FV panele ait güç-gerilim eğrisi üzerinde  $\Delta P$ ,  $\Delta V$  ve  $D$ 'nin değişimi

Verilen bilgiler doğrultusunda P&O algoritmasını işletmek üzere oluşturulan Simulink modeli Şekil 5'te verilmiştir. Tasarlanan model Embedded Coder aracılığıyla geliştirme kartına yüklenerek P&O algoritmasının fiziksel ortamda çalıştırılması sağlanmıştır. Akım (PA\_4) ve gerilim (PB\_0) bilgileri geliştirme kartının analog kanallarından alınarak sayısal verilere dönüştürülmüştür. Sayısal bilgilere dönüştürülen akım ve gerilim bilgisi alçak geçiren dijital filtrelerden geçirilerek anahtarlama frekansından (20 kHz) kaynaklı gürültülerden arındırılmıştır. Bundan sonraki adımda  $\Delta V$  ve  $\Delta P$  hesaplanmış ve algoritmayı işleten fonksiyon bloğuna uygulanmıştır. Fonksiyon bloğu çıkışı ise 0,1'lik sabit adım ile PWM üretici bloğuna (PC8) uygulanmıştır. Sistem maksimum güç noktası takibine başladığında, PWM'in doluluk oranı  $D$ 'nin ani olarak ve kontrolsüz bir biçimde minimum değer olan % 0'a veya maksimum değer olan % 100'e gitmesini önlemek amacıyla yumuşak başlatma isminde bir blok tasarlanmıştır. Yumuşak başlatma bloğu, PWM çalışma oranını belirli bir seviyeye kadar

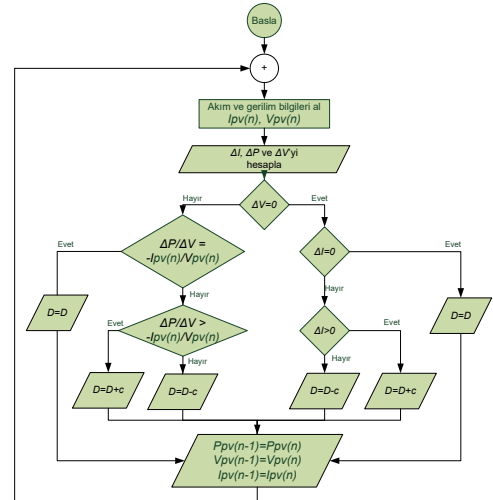
artırarak MGNT algoritmasını devreye alır ve MGNT algoritmasının sağlıklı başlamasını sağlar. Tasarlanan Simulink bloğundaki analog giriş kanalları, PWM üretici bloğu ve yumuşak başlatma bloğu çalışma kapsamındaki üç algoritmanın da yapısında bulunur. Bu blokların işlevi ve amacı her üçü içinde aynıdır. Tasarlanan Simulink bloğundaki farklı olan kısımlar ise MGNT algoritmalarını içeren fonksiyon bloğudur.



Şekil 5. P&O algoritmasının işletilebilmesi için oluşturulmuş Simulink modeli

### 2.1.2. Artımlı İletkenlik (INC) Tekniği

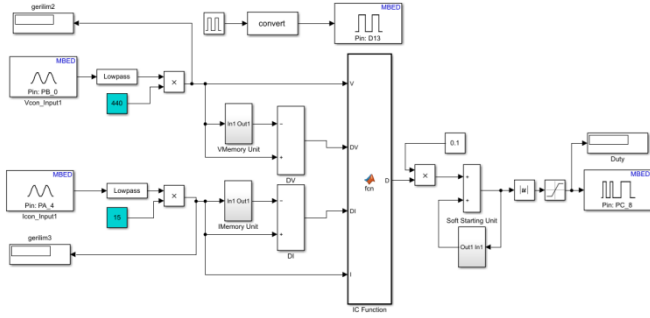
FV panelleri kullanan sistemlerin verimlerini ve ekonomisini güçlendirmek için çok miktarda algoritma vardır bunlar içerisinde en çok kullanılan ve önerilen MGNT algoritmalarından biri de artımlı iletkenlik tekniği veya algoritmasıdır (Shang et al, 2020; Wellawatta et al, 2017; Alsumiri, 2019; Kandemir et al 2018). Ek olarak artımlı iletkenlik tekniğini kullanan bu algoritma basitliği ve verimi sayesinde de yoğun olarak kullanılır. (Ammar et al, 2019; Gökkuş, 2020) Artımlı iletkenlik algoritması, FV panelin MGN'a ulaşması amacıyla sabit adımlı veya değişken adımlı olarak tasarlanmakta ve kullanılabilir (Yin et al, 2017). Bu teknik aynı zamanda FV panel ile beslenen hava araçlarının motor kontrol uygulamalarında ve motorların kontrolünü yapan DA-DA dönüştürücünün kontrolünde ve düşük maliyetli uygulamalarda da tercih edilen bir tekniktir (Ilyas et al, 2018; Sener et al, 2019; Necaibia et al, 2017). P&O algoritmasının çalışmasında olduğu gibi IC algoritmasında da bir akış şemasına ihtiyaç duyulur. IC algoritmasının işletilmesine dair oluşturulan akış şeması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. IC algoritmasına ait algoritma işletme akış şeması

Çalışma kapsamında oluşturulan IC algoritması da P&O algoritmasında olduğu gibi sabit adımlıdır. IC algoritmasında da anahtarlama elemanını sürecektek sürme sinyalinin doluluk oranı olan  $D$ , akış şemasında yer alan süreçlerden geçerek

hesaplanır. Şekil 7’de IC algoritmasını işletmek maksadıyla oluşturulan Simulink modeli görülmektedir.



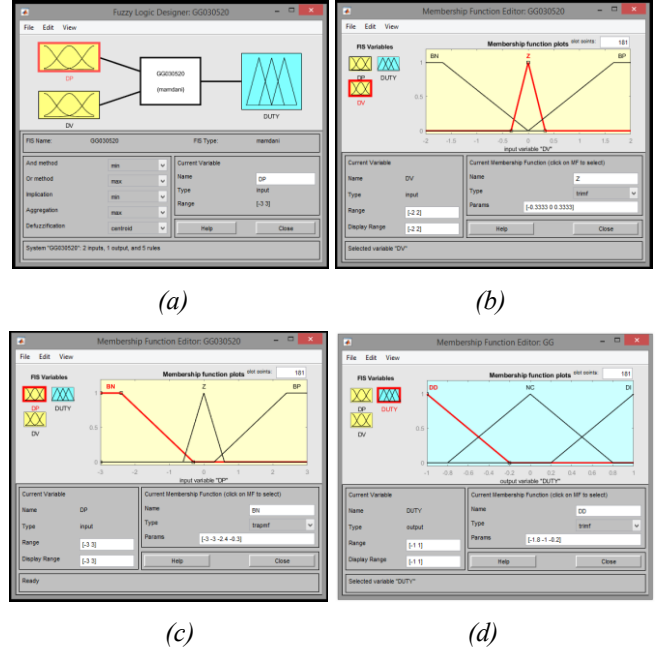
Şekil 7. IC algoritmasının işletilebilmesi için oluşturulmuş Simulink modeli

P&O’da olduğu gibi IC algoritması için tasarlanan Simulink modeli Embedded Coder aracılığıyla STM32F103RB geliştirme kartına yüklenmiştir. Akım (PA\_4), gerilim (PB\_0) pininden geliştirme kartına alınmış ve sayısal verilere dönüştürülmüştür. Dönüştürülen akım ve gerilim bilgisi alçak geçiren dijital filtrelerden geçirilerek anahtarlama frekansından kaynaklı gürültülerden arındırılmıştır. Sonraki adımda analog kanallardan alınan ve sayısal verilere dönüştürülmüş I, V üzerinden  $\Delta V$  ve  $\Delta P$  hesaplanmış ve algoritmayı işleten fonksiyon bloğuna uygulanmıştır. Fonksiyon bloğu çıkışı ise 0,1’lik sabit adım ile PWM üretici bloğuna (PC8) uygulanmıştır.

### 2.1.3. Bulanık Mantık (FLC) Tekniği

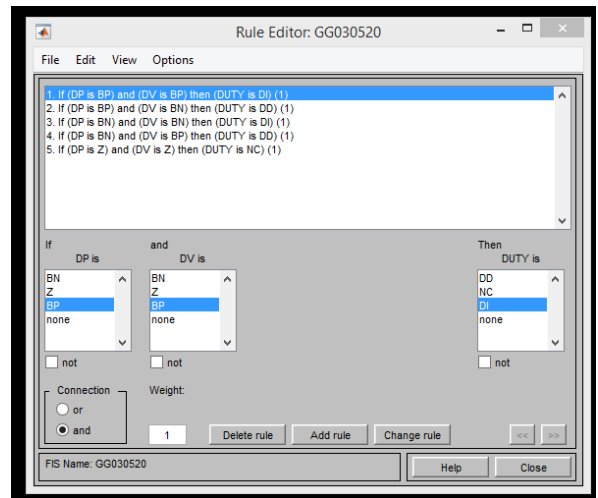
Bir FV paneleden maksimum oranda güç alınabilmesi çevre koşullarına bağlıdır ve bu çevresel koşulların başında ortam sıcaklığı ve güneş ışması gelmektedir (Robles et al, 2017). Bulanık mantık denetleyicisi panele ait akım ve gerilim değerleri üzerinden MGNT yapabildiği gibi P&O ve IC’den farklı olarak ortam sıcaklığı (T) ve güneş ışması (G) ile de FV panelin MGN’na ulaşabilir. Güneş ışması ve ortam sıcaklığını kullanan FLC tekniği basitliği, doğruluğu ve uygulanabilirliği sayesinde FV sistemler için MGNT algoritması olarak kullanılabilir (Rezk et al, 2019). FV panele uygulanan FLC aynı zamanda başka algoritmalar ile hibrit yapılar oluşturularak değişken adım tekniği ile de panelin MGN’na ulaşması sağlanabilir. Aynı zamanda FV sistemler dışında başka alanlarda da kullanılabilir. Bu maksatla; FLC ilk olarak artımlı iletkenlik tekniğini içeren bir algoritma ile birleştirilerek değişken adım olarak kullanılmıştır (Harrag&Messalti, 2018). Sayılan bu özellikleri sayesinde FV sistemlere uygulanır ve özellikle hibrit yapıdaki FLC tekniğini içeren algoritmaların değişen çevre koşulları altında daha dinamik tepkiler verdiği görülmüştür (Kulaksız et al, 2019; Tang et al, 2017; Ali et al, 2021). Benzer olarak FLC tekniği iklimsel değişimlere daha iyi tepki verebilen gelişmiş algoritmalar içerisinde yer alır (Talbi 2017). FLC, esnek tasarım özelliği sayesinde FV sistemler dışında rüzgar enerjisi dönüşüm sistemlerinde de kullanılabilir (Gouabi et al, 2021). FLC tekniğini içeren FV panellerin kullanıldığı şebekeden bağımsız sulama sistemleri için de kurulum tercihinde ön plana çıktığı akademik araştırmalar da vardır (Tawanna et al, 2020). Tüm bunların yanında geleneksel algoritmaların tam güneş ışması altında verimli çalışmalarına rağmen özellikle parçalı gölgeleme altında istenilen verimi sağlayamadığı, buna karşın parçalı gölgeleme durumunda bile FLC tekniğini içeren algoritmaların verimli çalıştığını gösteren akademik çalışmalar vardır (Verma et al, 2020). FLC tekniği üç aşamadan oluşur bunlar: bulanıklaştırma (fuzzification), kural tabanı tablo araması ve

durulaştırma (defuzzification) şeklinde sıralanabilir (Omar et al, 2019). Çalışma kapsamında oluşturulan sistemde bahsedilen üç algoritma için de ortak alt yapının kullanılması sebebiyle FLC tekniğini içeren algoritmanın diğerlerinde olduğu gibi panelin akım ve gerilimine bağlı olarak MGNT yapması hedeflenmiştir. Bu maksatla FLC tekniğine girdi olarak panel gerilimi ve panel gücü kullanılmıştır. Tasarlanan FLC tekniğine ait üyeler Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Tasarlanan FLC tekniğine ait üye fonksiyonları

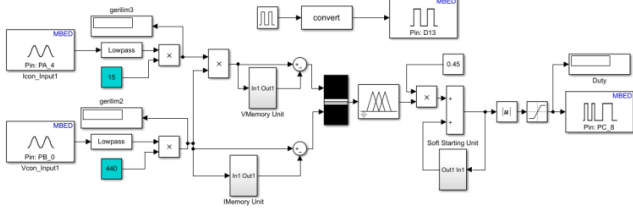
Üye fonksiyonları: Güç değişimini ifade eden ( $\Delta P$ ) yerine DP, gerilim değişimini ifade eden ( $\Delta V$ ) yerine de DV son olarak çıkış değeri olan D yerine DUTY şeklinde tanımlanmıştır. Üye fonksiyonları arasındaki ilişkiyi ifade eden kural tablosu ise Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. Algoritmayı oluşturan girdiler  $\Delta P$ ,  $\Delta V$  ve çıktı DUTY arasındaki ilişkiyi gösteren kural tablosu

Diğer iki teknikte olduğu gibi FLC tekniğini içeren algoritma için de bir Simulink modeli oluşturulmuştur. FLC tekniği için oluşturulan bu model de diğerlerinde olduğu gibi aynı alt yapıyı kullanmaktadır. FLC algoritması için tasarlanan

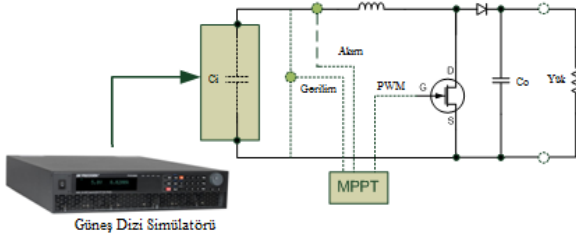
Simulink modeli Embedded Coder aracılığıyla derlenerek STM32F103RB geliştirme kartına yüklenmiştir. Panel akım (PA\_4), panel gerilim (PB\_0) pininden geliştirme kartına bağlanmıştır. Akım ve gerilim değerleri analog dijital dönüştürücü (ADC) kanalları üzerinden sayısal verilere dönüştürülmüştür. Sayısal değerlikli akım ve gerilim bilgisi alçak geçiren dijital filtrelerden geçirilerek sürme frekansının gürültülerinden arındırılmıştır. Son olarak da ADC kanallarından alınan ve sayısal verilere dönüştürülmüş I, V üzerinden DV ve DP hesaplanmış ve algoritmayı işleten FLC fonksiyon bloğuna uygulanmıştır. Fonksiyon bloğu çıkışı ise PWM üretici bloğuna (PC8) uygulanmıştır. Bu amaca yönelik tasarlanan Simulink modeli Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. FLC tekniğini içeren MGNT algoritmasının Simulink modeli

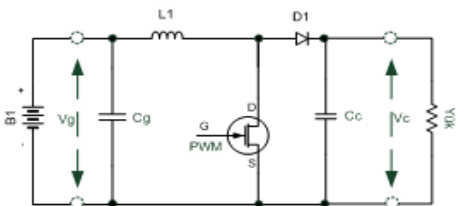
## 2.2. Donanımsal Gerçekleştirmeler

Bu bölümde çalışma kapsamında önerilen MGNT algoritmalarını işletecek olan donanımsal bileşenler hakkında bilgiler verilecektir. Önerilen sistemin genel yapısını gösterir blok şema Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Çalışma kapsamında önerilen sisteme ait blok şema

Blok şemaya göre güneş dizi simülasyonu tarafından beslenen bir güç elektroniği katı vardır. Güç elektroniği katı 32 bit mikro denetleyici (MD) tarafından kontrol edilir. MD aynı zamanda hedeflenen üç MGNT algoritmasının ayrı ayrı işletilebilmesini sağlar. Güç elektroniği katı izolesiz yapıdaki DA-DA dönüştürücü yapısındadır. Uygulaması yapılan güç katı aynı zamanda yükselten dönüştürücü yapısındadır. Çalışma kapsamında tasarım ve uygulaması yapılan yükselten dönüştürücüye ait blok şema Şekil 12'de verilmiştir. Bu dönüştürücü türü basit yapısı ve neredeyse her enerji dönüşüm sistemine kolayca adapte edilebilir bir niteliğe sahip olduğundan literatürde en çok kullanılan dönüştürücü türüdür.



Şekil 12. İzolesiz yapıdaki yükselten dönüştürücüye ait blok şema

Uygulaması yapılan yükselten dönüştürücü yapısında bir adet güç MOSFET'i kullanılmıştır ve IXYS firmasının IXFH60N50P3 modelidir. Toroidal nüveye elde sarılmış bir adet bobin içerir. Dönüştürücü yapısında IXYS firmasının DSEI120-12A modeli bir adet hızlı toparlama diyot içerir. Güç katının çalışması esnasında meydana gelen gerilim dalgalanmalarını azaltmak için de birer adet giriş-çıkış kondansatörü içerir.

İzolesiz yapıdaki yükselten dönüştürücünün giriş gerilimi, çıkış gerilimi ve anahtarlama frekansı çalışma oranı arasındaki bağlantı Denklem (1)'de verilmiştir.

$$V_c = \frac{1}{1-d} V_g \quad (1)$$

Burada  $V_c$  dönüştürücünün çıkış gerilimi,  $V_g$  dönüştürücünün giriş gerilimi ve  $d$  % cinsinden sürme sinyalinin çalışma oranıdır. Dönüştürücüyü meydana getiren diğer bileşenlerden olan çıkış kondansatörü ve bobinin değeri Denklem (2) ve (3)'te verilmiştir.

$$L > \frac{V_{g_{min}} * d}{F_s * \Delta I_L} \quad (2)$$

$$C > \frac{I_{C_{max}} * d}{F_s * \Delta V_C} \quad (3)$$

Burada  $F_s$  sürme sinyalinin frekansı,  $\Delta I_L$  bobin akımındaki müsaade edilen dalgalanma değeri,  $\Delta V_C$  çıkış gerilimindeki müsaade edilen dalgalanma değeri,  $C$  çıkış kondansatörünün değeri ve  $L$  bobinin değeridir. Tasarım ve uygulaması gerçekleştirilen dönüştürücüye ait diğer tasarımsal bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Uygulaması yapılan yükselten dönüştürücüye ait parametreler tablosu

Parametre/Malzeme	Değeri/Açıklama	Adet
Giriş Kondansatörü	1200 uF/400 V	1
Çıkış Kondansatörü	470 uF/400 V	1
Bobin	1 mH	1
Diyot	1200 V/ 75A	1
MOSFET	1200 V/1024 W	1
Anahtarlama Frekansı	40 kHz	-
Giriş Gerilimi	42 Vda	-
Çıkış Gerilimi	320 Vda	-
Panel Gücü	250 W	1
Yük (omik)	500 W/108 R	2

Uygulaması yapılan dönüştürücü birden fazla kattan meydana gelir. Bu katlar sistemin sağlıklı bir biçimde çalışmasını sağlayacak elektronik bileşenleri içerir. Bu katlar ve onlara ait detaylar aşağıda başlıklar halinde incelenmiştir;

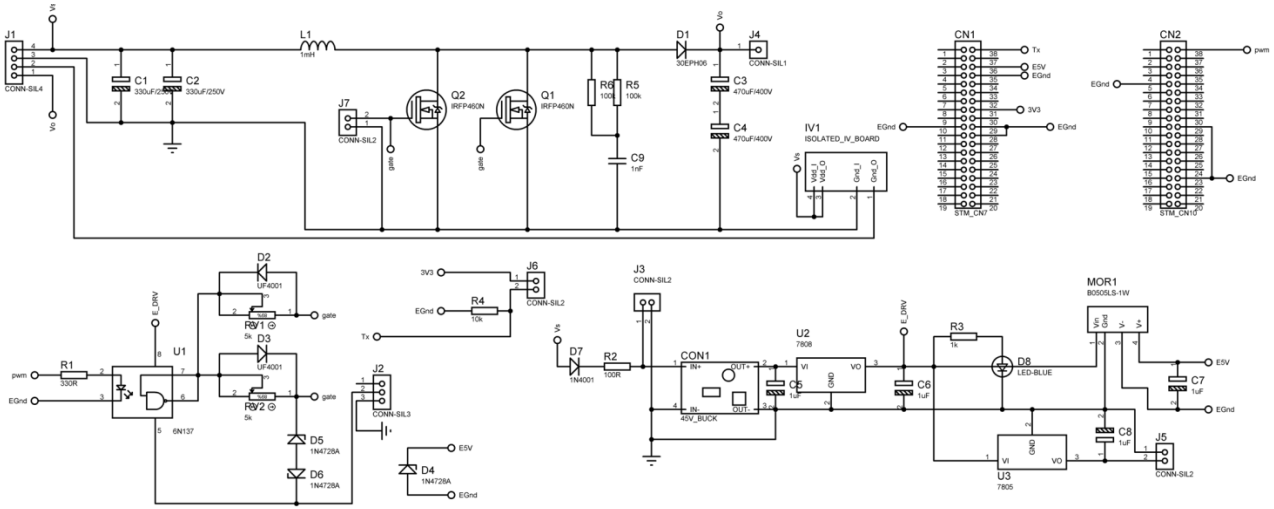
### 2.2.1. MOSFET Sürücü Katı

Sistemin kontrolünü sağlayan MD'nin çıkış geriliminin genlik değeri (3,3V) MOSFET'i sürmek için yeterli değildir. Tasarımda kullanılan MOSFET'in nominal sürülme gerilimi 10V civarındadır. Sürücü katı, MD'nin üretmiş olduğu sürme sinyalinin genliğini 0-3,3V'tan 0-10V'a yükseltir. Ek olarak bu kat optik izoleli olduğu için güç katı ile MD arasında elektriksel izolasyon da sağlar.

### 2.2.2. Akım-Gerilim Okuma Katı

Bu kat her üç MGNT algoritmasının da çalışması için gerekli olan, FV panelin elektriksel parametrelerini ölçmek maksadıyla oluşturulmuştur. Bu kat ADC modülü arasında bir araçtır ve her bir parametre için birer işlemsel yükselteç katı kurulmuştur. Bu kat hem gürültüleri filtreler hem de analog sinyalleri kalibre etmek için kullanılır.

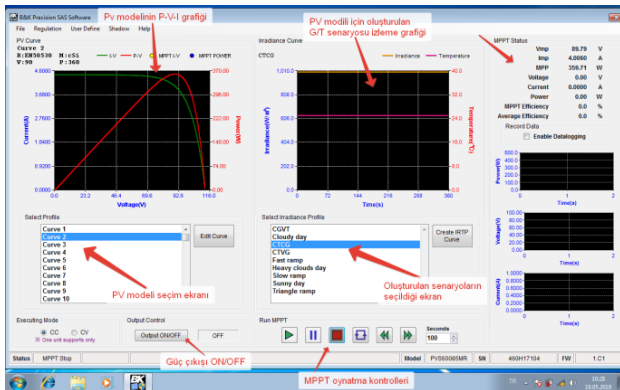
### 2.2.3. Güç Katı



Şekil 13. Çalışma kapsamında tasarım ve uygulaması yapılan elektronik karta ait devre şeması

## 2.3. Ortam Profillerinin Oluşturulması

Çalışma kapsamında, P&O, IC ve FLC algoritmalarının kendi aralarındaki verim analizlerini yapabilmek için 3 farklı güneş ışınması (G) ve ortam sıcaklığı (T) profili oluşturulmuş ve bu profiller üzerinden karşılaştırmaları sağlanmıştır. Şekil 14'te güneş simülörünün ara yüzü ve kullanımına dair detaylar görülmektedir.



Şekil 14. Güneş dizi simülörüne ait kullanıcı ara yüzü ve ara yüz araçları

Bu kat güneş dizi simülöründen elde edilen DA türündeki enerjinin yüke aktarılmasını sağlar. Güç katı izolesiz yapıdaki yükseltilen DA-DA dönüştürücüdür.

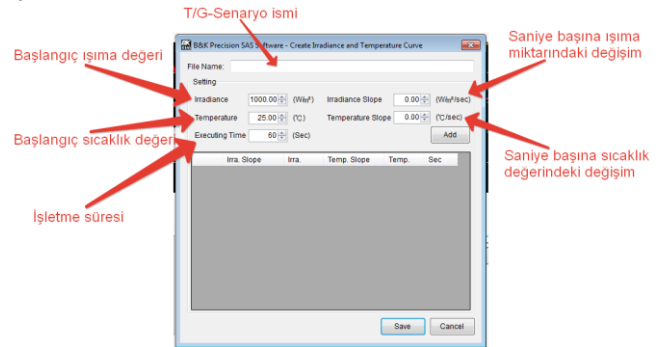
### 2.2.4. MD Katı

Mikro denetleyici katı STM firmasının 32 bitlik geliştirme kartlarından olan Nucleo STM32F103RB modelidir. MD, hem panele ait akım-gerilim değerlerini okur hem MGNT algoritmalarını işletir hem de güç katındaki anahtarlama elemanını sürmek için gerekli olan anahtarlama sinyalini üretir.

### 2.2.5. Diğer Bileşenler

Diğer bileşenler içerisinde sistemin sağlıklı çalışmasına yardımcı olan çeşitli pasif devre elemanları ve sistemin ihtiyacı olan çeşitli seviyedeki (5V-3,3V) gerilimleri sağlayan gerilim regülatörleri, sesli ve ışıklı uyarıcılardan meydana gelir. Çalışma kapsamında tasarım ve uygulaması yapılan elektronik kartın devre şeması Şekil 13'te verilmiştir.

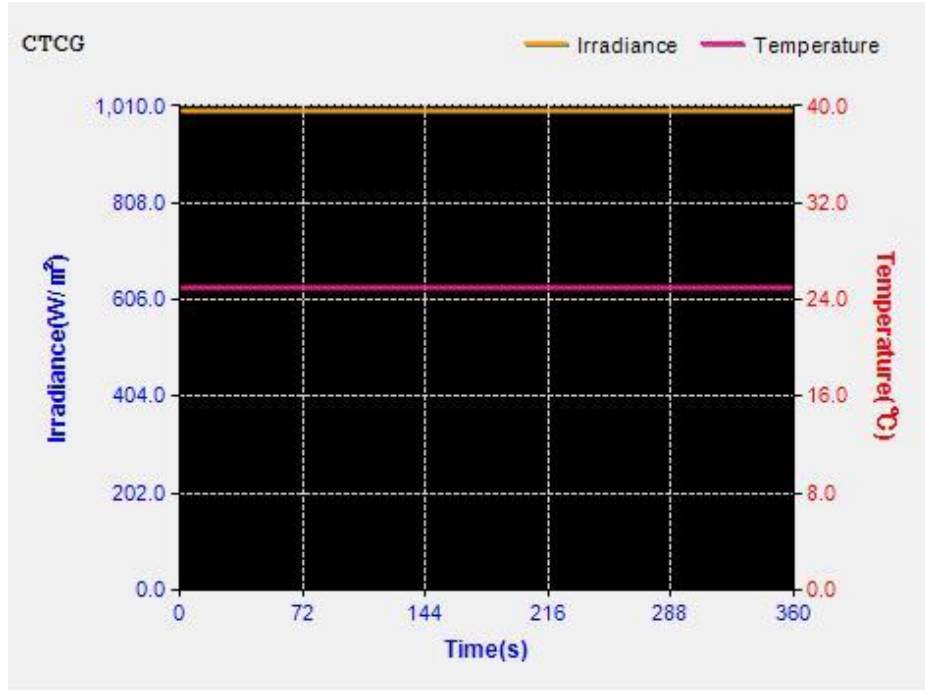
Kullanıcı bu ekran üzerinden çeşitli kontrolleri yönetebilmektedir. Firmanın sunmuş olduğu PV modelini, G/T profilini ve MGNT kontrollerini yönetebilmekte, MGNT işletimi esnasında elde edilen çıktılar gözlemlenebilmektedir. Şekil 15'te kullanıcı tarafından G/T profilinin oluşturulduğu ara yüz verilmiştir. Ara yüz ile kullanıcı kendi belirlediği güneş ışınması (G) ve panel sıcaklığını (T) belirten grafiği aşama aşama oluşturabilmektedir.



Şekil 15. Kullanıcının kendi güneş ışınması/sıcaklık profilini oluşturabileceği ara yüz

Bu kapsamda oluşturulmuş üç farklı profilden ilki sabit güneş ışınması ve sabit sıcaklık (CTCG) profilidir. Bu profilede hava

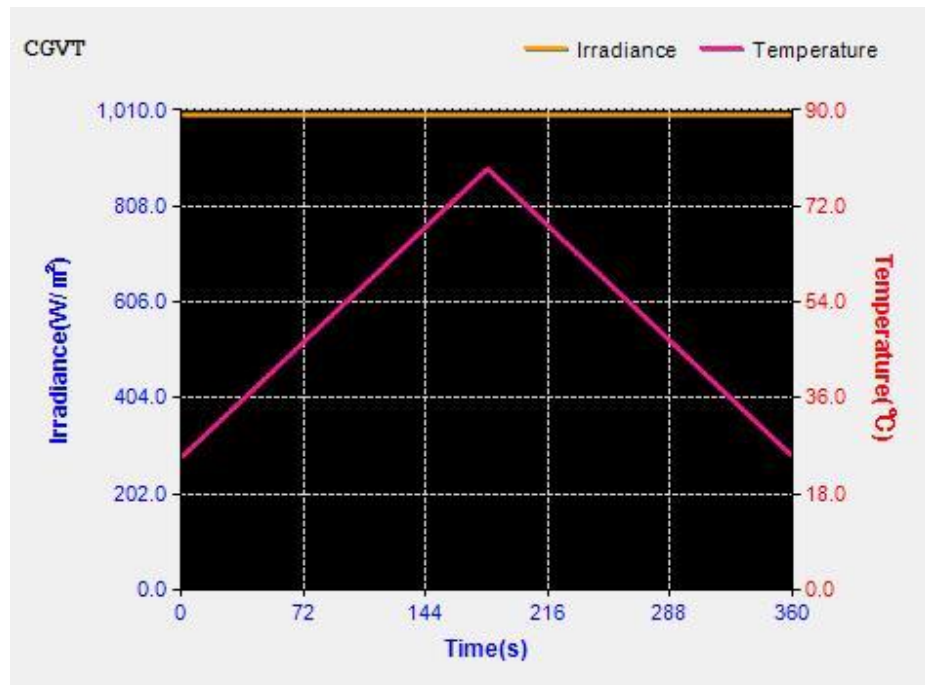
sıcaklığı 25 °C ve güneş ışınması ise 1000 W/m<sup>2</sup>'dir. İlk profile ait grafik Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 16. Sabit güneş ışınması ve sabit sıcaklık grafiği

Oluşturulan ikinci profile (CGVT) panel sıcaklığının 20 °C ile 75 °C arasında değişmesi sağlanmıştır. Değişen panel sıcaklığına karşılık güneş ışınmasının 1000 W/m<sup>2</sup>'de sabit

kalması sağlanmıştır. Oluşturulan ikinci profile ait grafik Şekil 17'de verilmiştir.

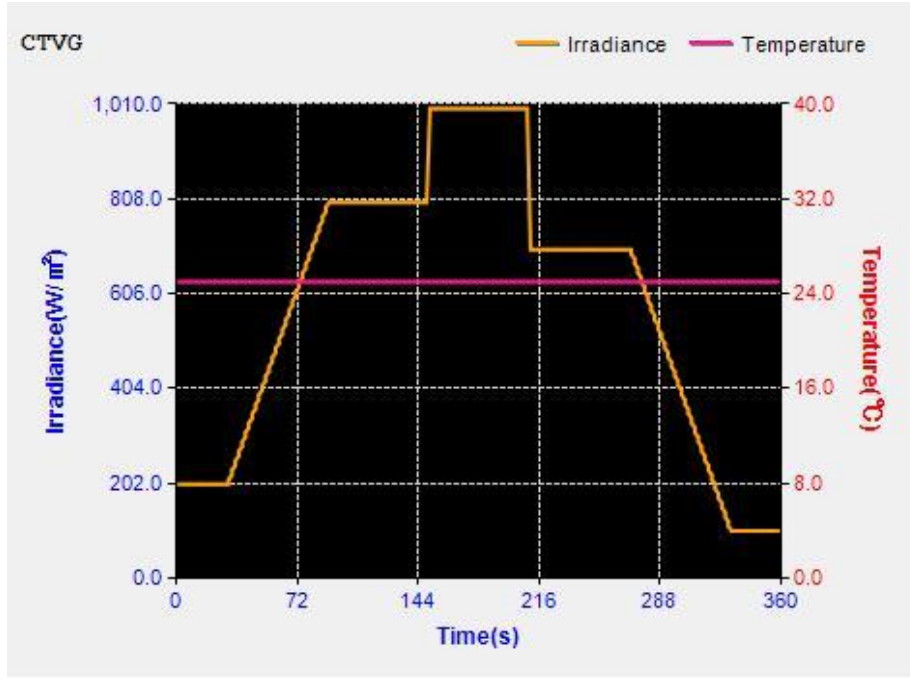


Şekil 17. Sabit güneş ışınması, değişken sıcaklık grafiği

Oluşturulan son profile ise (CTVG) panel sıcaklığı 25 °C'de sabit kalırken, güneş ışınması 200 W/m<sup>2</sup> ile 1000 W/m<sup>2</sup>

arasında değişmektedir. Son profile ait grafik Şekil 18'de verilmiştir.





Şekil 18. Sabit sıcaklık ve değişken güneş ışımaya ait profil grafiği

Yukarıda detayları açıklanan ortam profillerinin işletilmesi için 360 saniyelik bir süreye ihtiyaç vardır. Bu profiller literatürdeki benzer çalışmaların incelenmesi

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

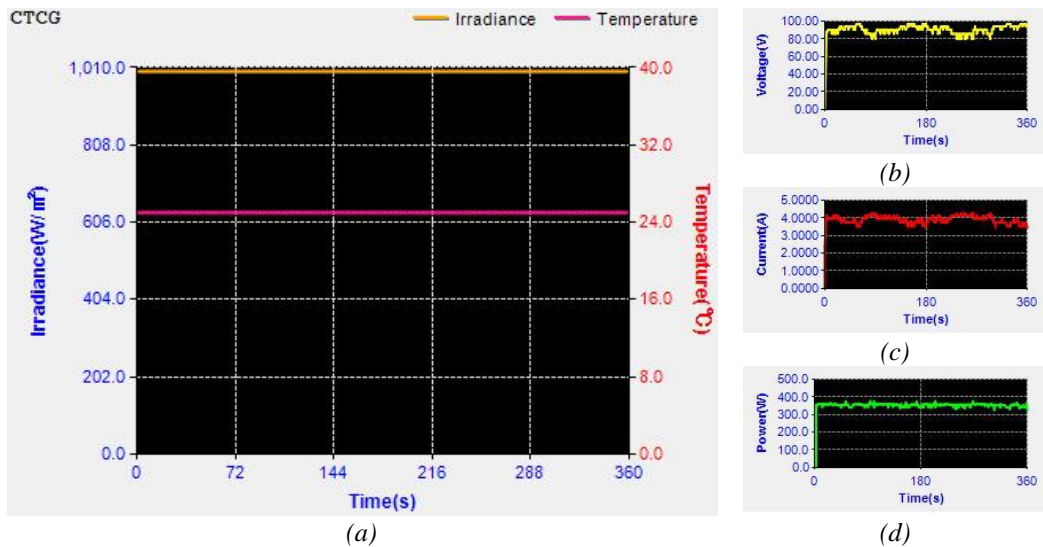
Bu bölümde çalışma kapsamında önerilen değiştir ve gözle, artımlı iletkenlik ve bulanık mantık denetleyicisi tekniğini içeren maksimum güç noktası takibi algoritmalarının 32 bitlik mikro denetleyiciye yüklenmesi ve ayrı ayrı çalıştırılması sonucunda elde edilen bulgular yer almaktadır. Bulguların daha net anlaşılabilmesi için grafikler ile görselleştirilmiştir. Görsellerin bir kısmı güneş dizi simülatörünün ara yüzünden alınmış, bir kısmı ise yine güneş

sonucunda, güneş dizi simülatörü (SAS) ara yüzü üzerinden kullanıcı tarafından oluşturulmuştur.

dizi simülatörünün veri kayıtcısına yapılan kayıtlardan çekilerek çizdirilmiştir.

#### 3.1. P&O Algoritması ve Çıktılarının Analizi

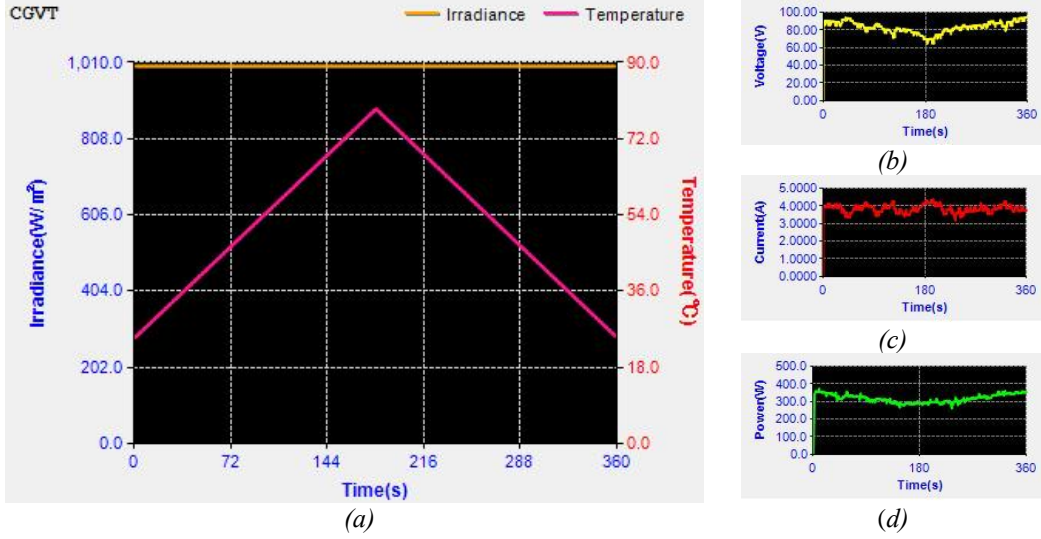
Değiştir ve gözle tekniğini içeren Simulink modeli 32-bitlik mikro denetleyiciye yüklenmiş ve yukarıda bahsedilen üç ortam profili altında davranışları gözlemlenmiştir. İlk olarak sabit sıcaklık, sabit güneş ışımaya altında elde edilen grafikler Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19(a) Sabit sıcaklık, sabit güneş ışımaya ait profil grafiği, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Şekil 19’da verilen akım ve gerilim grafiklerinden P&O algoritmasının, sürekli maksimum güç noktasına ulaşma konusunda çaba gösterdiğini ve bu noktada akım ve gerilim değerleri üzerinde sınımlara sebep olduğunu görmek mümkündür. İkinci profilde ise güneş ışınması sabit tutulurken

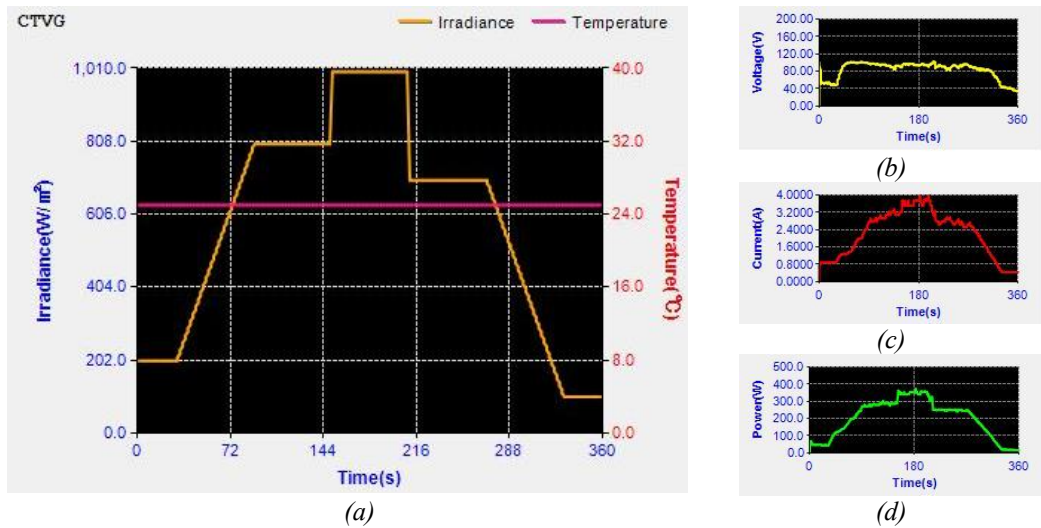
ortam sıcaklığının zamana göre değişmesi sağlanmıştır. Sıcaklık değerinin değişmesi PV paneller üzerinde fark edilir güç değişimine sebep olur. İkinci profil altında P&O algoritmasına ait grafikler Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20 (a) Sabit güneş ışınması, değişken ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Algoritma; ilk profilde olduğu gibi MGN’na ulaşmak için çaba göstermiştir. Algoritma, ortam sıcaklığın değişimi ile panel çıkışındaki değişime sınımlar yaparak ayak uydurabilmiştir. Son ortam profilinde ise ortam sıcaklığı

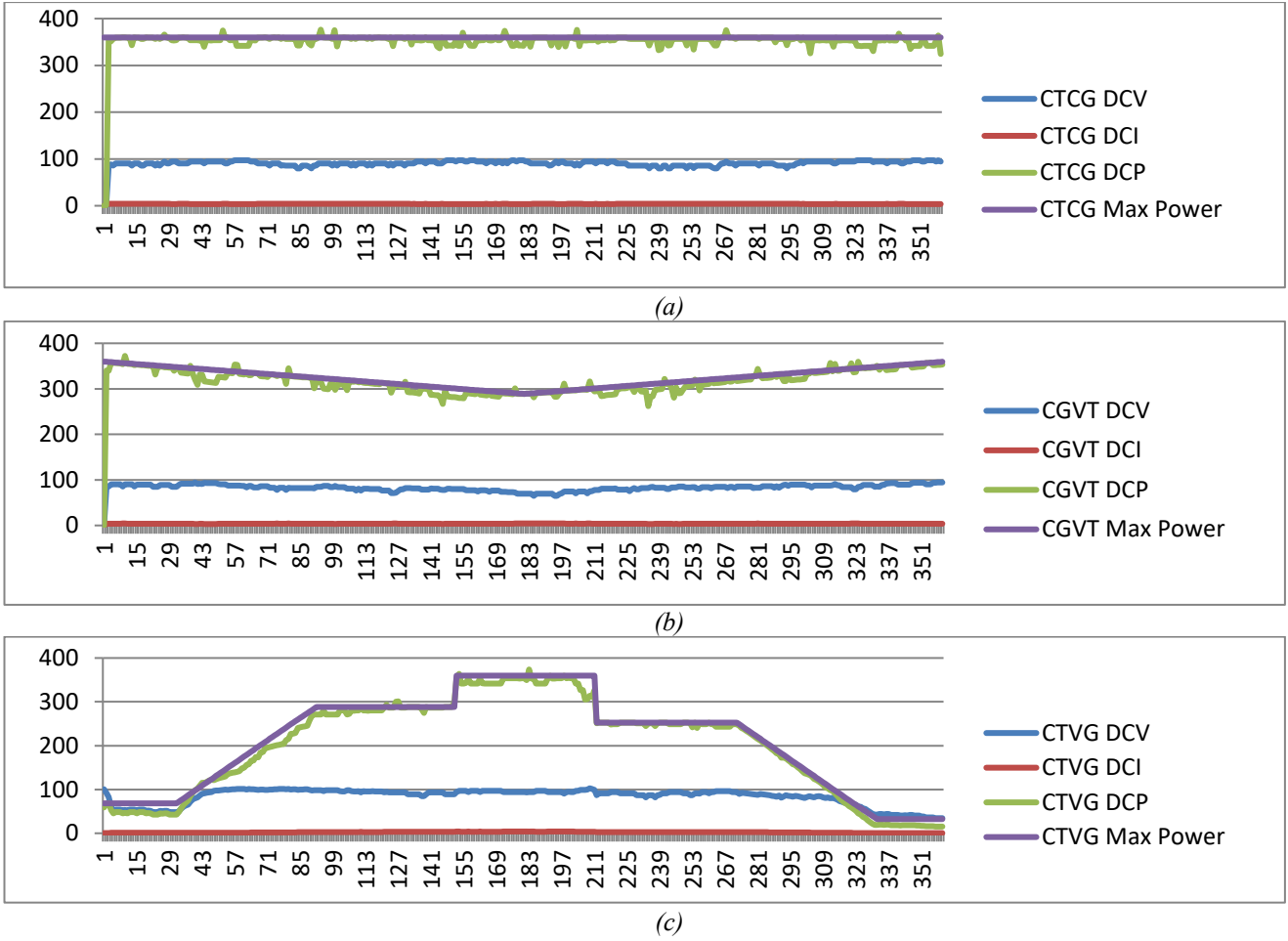
sabitken güneş ışınmasının zamana bağlı olarak değişmesi sağlanmıştır. Bu durumda P&O algoritması Şekil 21’de verilen grafikleri oluşturmuştur.



Şekil 21 (a) Değişken güneş ışınması, sabit ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Şekil 21’deki grafiklerden de anlaşılacağı üzere P&O algoritmasının, ışımadan kaynaklı büyük değişimlere ayak uydurmada kayda değer oranda başarılı olduğu güç grafiğinden görülebilmektedir. P&O algoritması tüm ortam profillerinde MGN’na ulaşma konusunda çalışmış ve MGN’nda sınımlar yapmıştır. Kullanılan güneş dizi

simülatörü MGNT algoritmalarının işletimi esnasında pek çok elektriksel veriyi kayıt edebilmektedir. Bu verilerin alınarak Excel ortamında grafiklere dönüştürülmesi mümkündür. Güneş dizi simülatörünün kayıt ettiği verilerin Excel ortamında çizilmesi sonucunda elde edilen elektriksel grafikler Şekil 22’de verilmiştir.

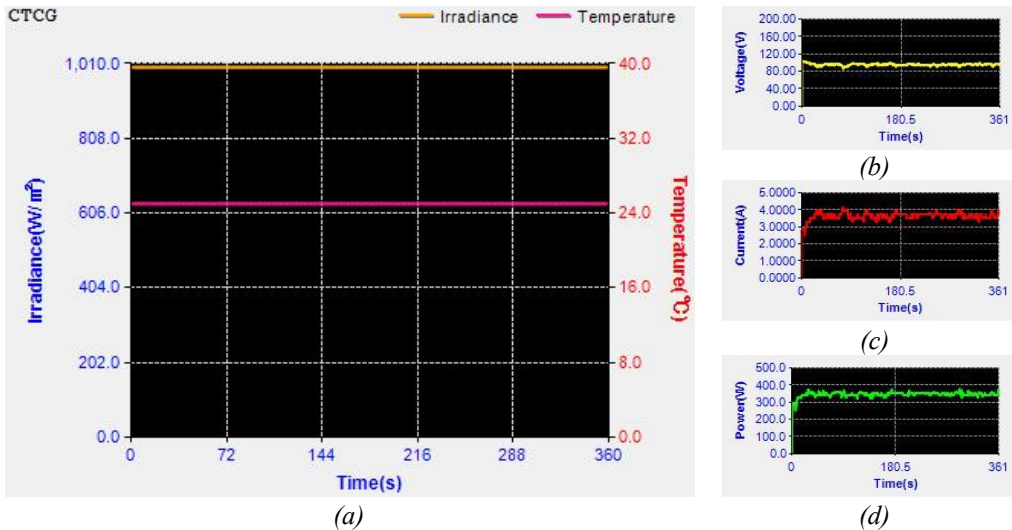


Şekil 22. P&O tekniğinin üç ortam profili altındaki elektriksel veri grafikleri. (a) sabit sıcaklık ( $T$ ), sabit güneş ışınması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (b) değişken sıcaklık ( $T$ ), sabit güneş ışınması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (c) sabit sıcaklık ( $T$ ), değişken güneş ışınması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP)

### 3.2. IC Algoritması ve Çıktılarının Analizi

Değiştir ve gözle algoritmasında olduğu gibi artımlı iletkenlik algoritması da, panelin akımı ve gerilimi üzerinden FV panelin MGN'na ulaşmayı amaçlar. IC algoritmasının da

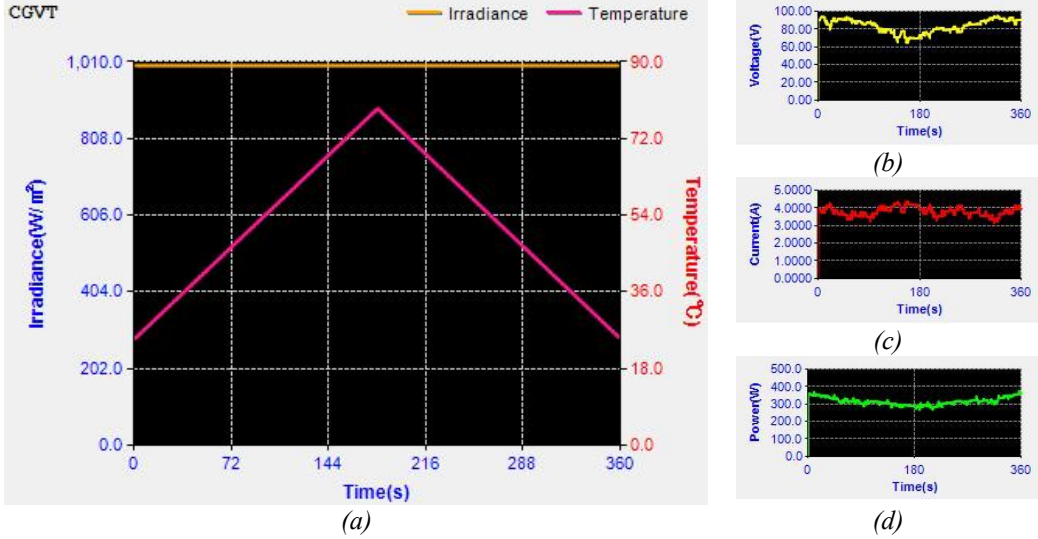
üç ortam profili altında davranışları gözlemlenmiştir. İlk olarak sabit sıcaklık, sabit güneş ışınması altındaki davranışı Şekil 23'teki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 23 (a) Sabit sıcaklık, sabit güneş ışınmasına ait profil grafiği, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Şekil 23'te verilen akım ve gerilim grafiklerinden IC algoritmasının sürekli maksimum güç noktasına ulaşma çabası içerisinde olduğu görülmektedir. IC algoritmasının özellikle akım değeri üzerinde sınımlara sebep olduğunu

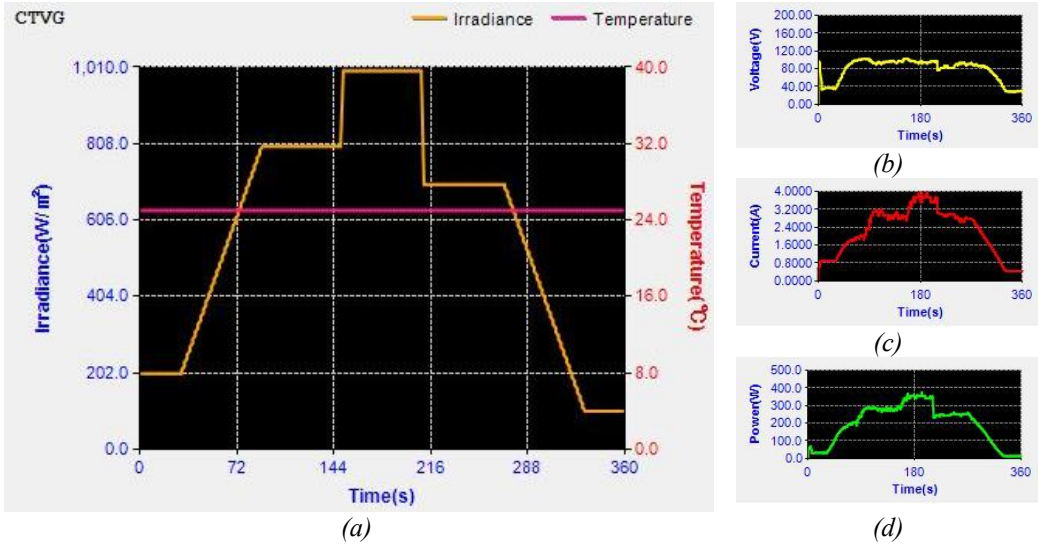
akım grafiğinden görmek mümkündür. Güneş ışımasının sabit tutulduğu ancak ortam sıcaklığının zamana göre değişmesinin sağlandığı ikinci profilde IC tekniğini içeren MGNT algoritmasının incelenmesi Şekil 24'te verilmiştir.



Şekil 24 (a) Sabit güneş ışması, değişken ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

İkinci profilde IC algoritması, ilk profilden farklı olarak hem akım hem gerilim değerleri üzerinde sınımlara sebep olmasına rağmen maksimum güç noktasına çok yakın

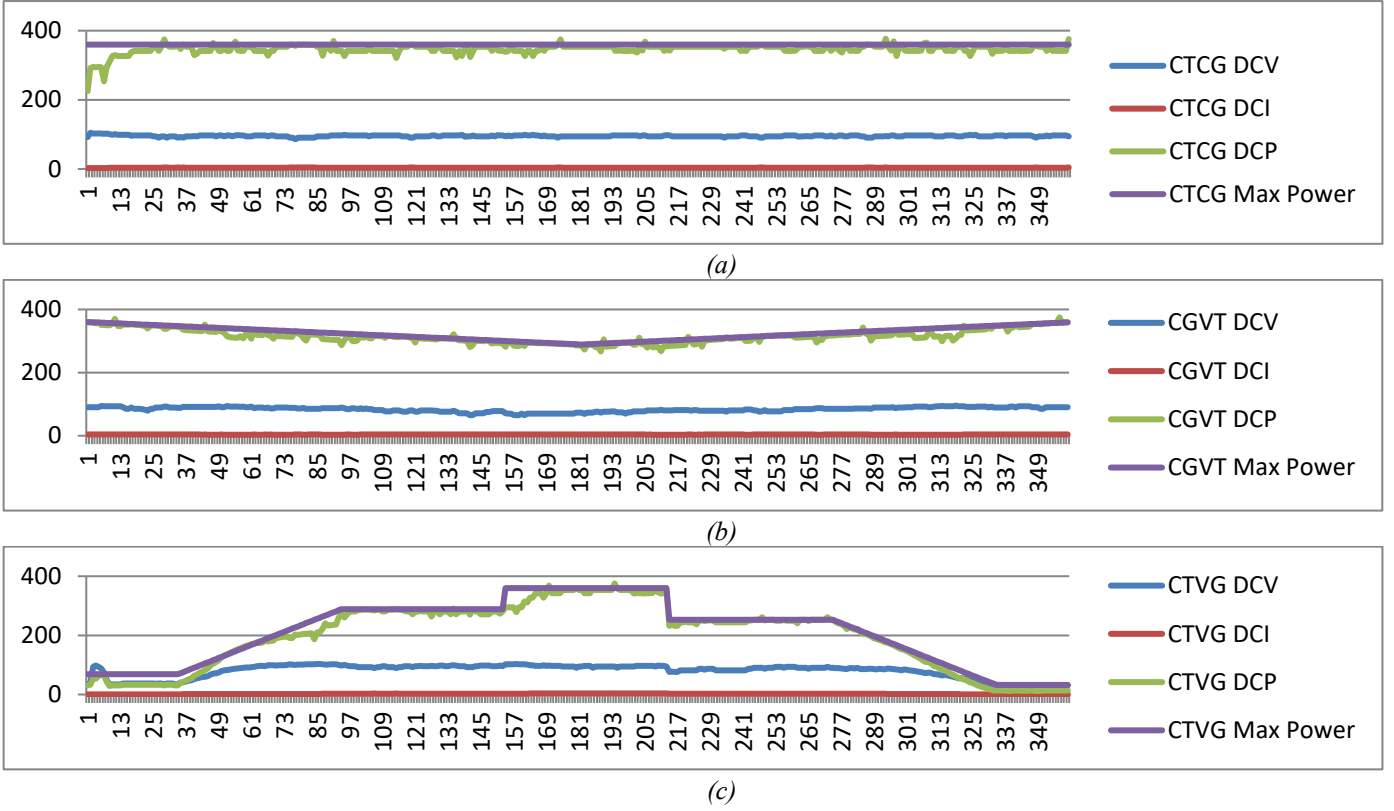
seyretmiştir. Son profilde ise sabit sıcaklık değişken güneş ışması altında IC tekniğinin davranışları incelenerek Şekil 25'te grafikleri verilmiştir.



Şekil 25 (a) Değişken güneş ışması, sabit ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Son profil ile ortam sıcaklığı sabitken güneş ışımalarının zamana bağlı olarak değişmesi sağlanmıştır. Bu durumda oluşan grafiğe göre güneş ışımadaki değişimin PV paneller üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olduğu görülebilmektedir. Artımlı iletkenlik algoritması bütün ortam

profilleri üzerinde aynı şekilde davranmış ve MGN'na ulaşma konusunda çalışmış ve P&O'ya göre daha az sınımlar yapmıştır. IC tekniği ile tasarlanan MGNT algoritmasının üç farklı ortam profili altındaki elektriksel değerlerin grafiksel değişimi Şekil 26'da verilmiştir.

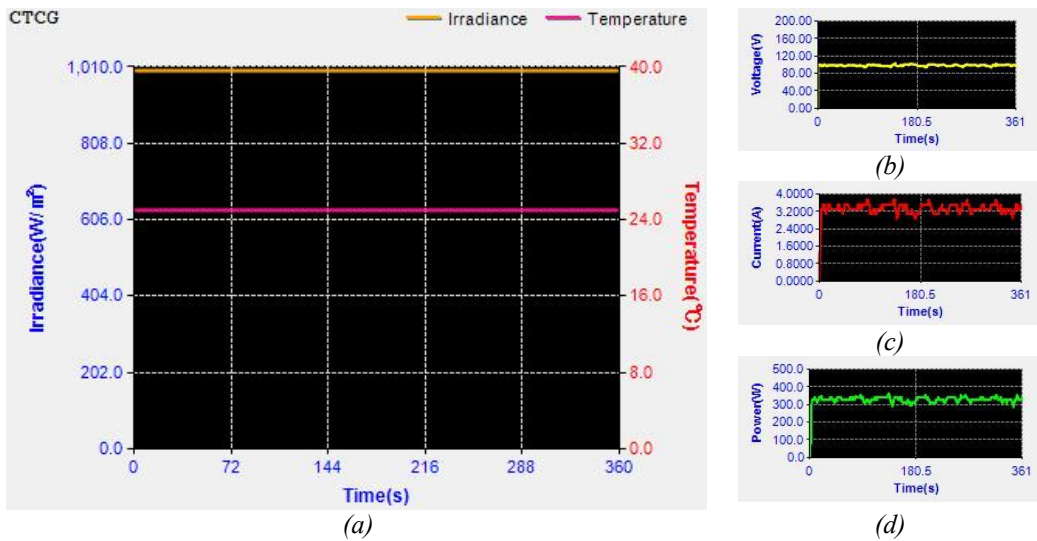


Şekil 26. IC tekniğinin üç ortam profili altındaki elektriksel veri grafikleri. (a) sabit sıcaklık (T), sabit güneş ışınması (G) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (b) değişken sıcaklık (T), sabit güneş ışınması (G) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (c) sabit sıcaklık (T), değişken güneş ışınması (G) altında dönüştürücünün giriş gerilim (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP)

### 3.3. FLC Algoritması ve Çıktılarının Analizi

Bulanık mantık denetleyicisi tekniği ile oluşturulan MGNT algoritması için oluşturulan Simulink modeli derlenerek 32-bitlik mikro denetleyiciye yüklenmiştir. Diğer iki tekniğin çalıştırıldığı ortamlar altında bulanık mantık denetleyicisi

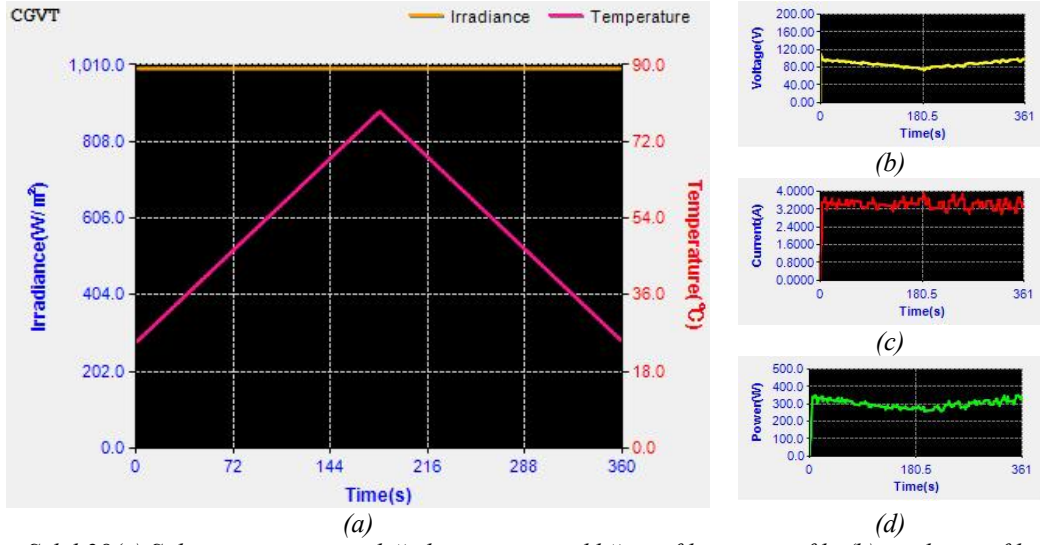
teknikinin analizi yapılmıştır. Birinci durumda ilk profil olan sabit sıcaklık ve sabit güneş ışınması altında denemeler yapılmış ve Şekil 27’de verilen grafikler elde edilmiştir.



Şekil 27 (a) Sabit sıcaklık, sabit güneş ışınmasına ait profil grafiği, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Bulanık mantık denetleyici tekniğinin diğer tekniklere göre, sabit sıcaklık ve ışımada daha fazla salınım yaptığı gözlemlenebilmektedir. Ek olarak FLC tekniğini içeren algoritmanın özellikle akım değeri üzerinde salınımlara sebep

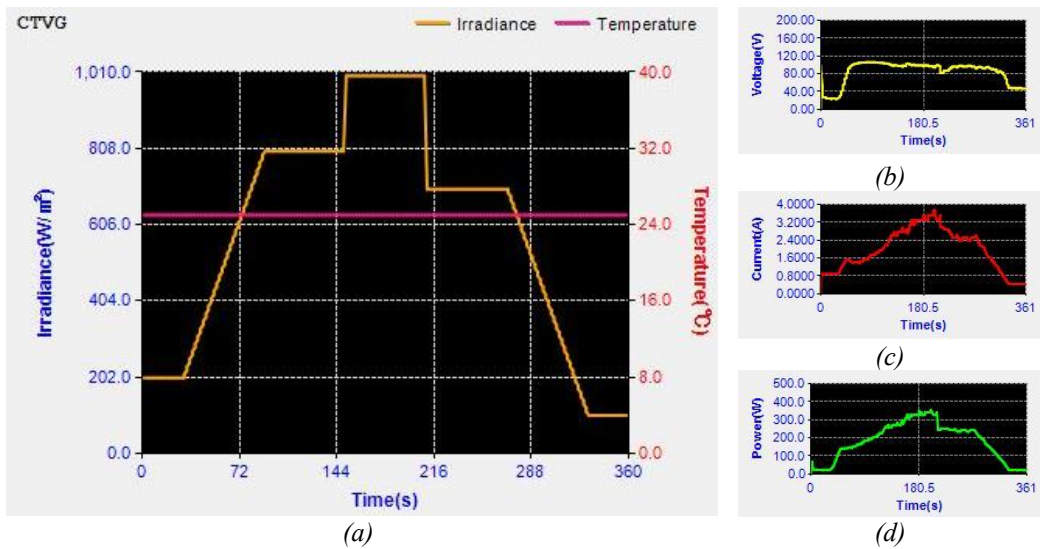
olduğunu görmek mümkündür. İkinci aşamada güneş ışımasının sabit tutularak, ortam sıcaklığının zamana göre değişmesi sağlanmıştır. Bu profil altında FLC tekniğini içeren MGNT algoritmasının incelenmesi Şekil 28'de verilmiştir.



Şekil 28(a) Sabit güneş ışması, değişken ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Şekil 28'den de anlaşılacağı üzere FLC tekniğinin bir önceki ortamdaki davranışlarını tekrarladığı görülebilmektedir. Son ortam profilinde ise sabit sıcaklık, değişken güneş ışması

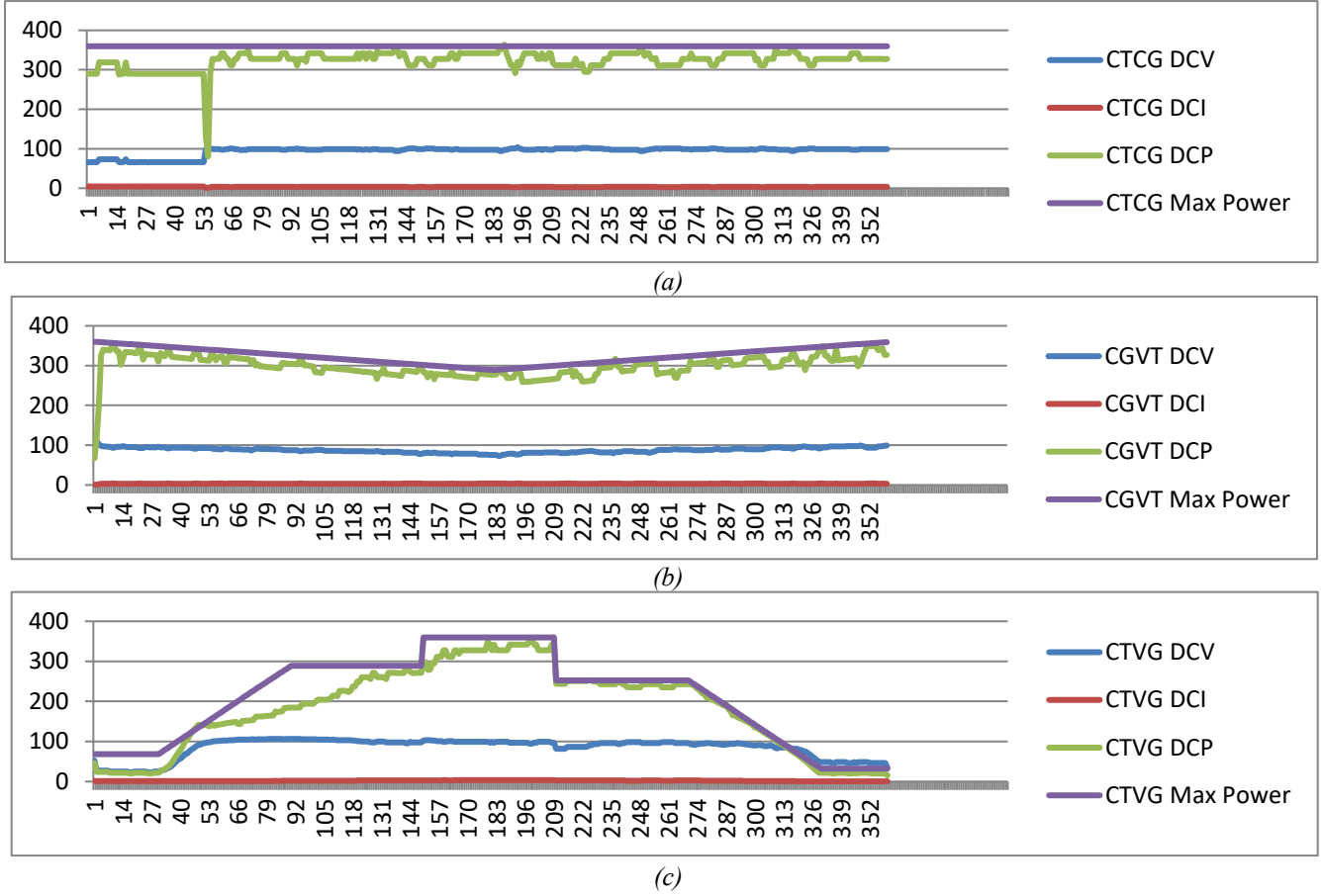
altında FLC tekniğinin davranışları incelenerek Şekil 29'da grafikleri verilmiştir.



Şekil 29 (a) Değişken güneş ışması, sabit ortam sıcaklığı profiline ait grafik, (b) seçilen profil altında panel çıkış gerilimi grafiği, (c) panelden çekilen akım, (d) panelin sağladığı güç grafiği

Şekil 29'dan görüldüğü üzere FLC tekniğinin özellikle güneş ışımasının büyük değişimlere ayak uydurmada belirgin oranda başarısız olduğunu görmek mümkündür. Bu durumun sebebi sonuçlar ve tartışma bölümünde detaylıca açıklanmıştır.

FLC tekniğini içeren MGNT algoritmasının işletimi esnasında elektriksel veriler üzerinde meydana gelen değişimlerin grafikleri Şekil 30'da verilmiştir.

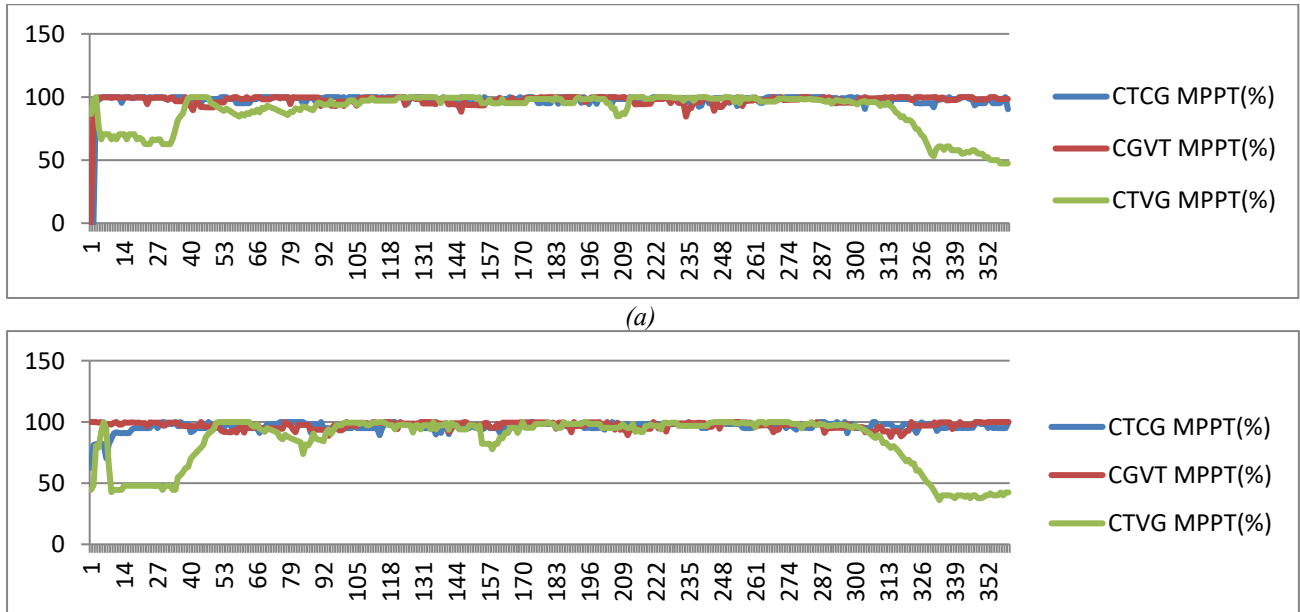


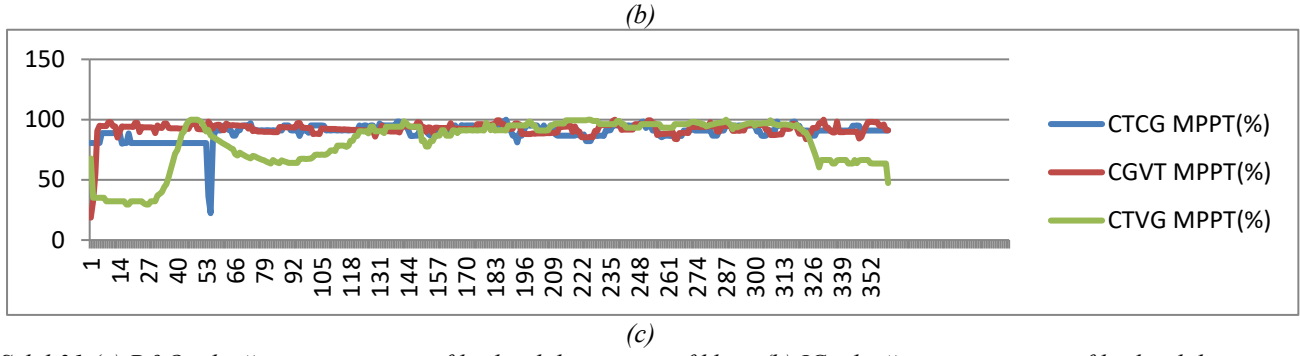
Şekil 30. FLC tekniğinin üç ortam profili altındaki elektriksel veri grafikleri. (a) sabit sıcaklık ( $T$ ), sabit güneş ışıması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilimi (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (b) değişken sıcaklık ( $T$ ), sabit güneş ışıması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilimi (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP), (c) sabit sıcaklık ( $T$ ), değişken güneş ışıması ( $G$ ) altında dönüştürücünün giriş gerilimi (DCV), akımı (DCI) ve çıkış gücü (DCP)

### 3.4. P&O, IC ve FLC algoritmalarının verim analizleri

Şekil 31'deki grafiklerden anlaşılmaktadır ki özellikle güneş ışımasının değişimi her üç MGNT tekniğini de olumsuz etkilemektedir. Genel maksimum güç noktasından yerel maksimum güç noktasına geçmesi veya tersi durumda algoritmalar yeni maksimum güç noktasını ararken güç grafiklerinin bozulduğu gözlemlenmiştir. Her yönden aynı donanımsal ve yazılımsal ortamda olmalarına rağmen verimleri

bakımından en iyi P&O, ikinci sırada IC ve son sırada FLC'nin geldiği gözlemlenebilir. Güneş simülatörü, MGNT'leri işletmesi sırasında panel akımını, gerilimini ve gücünü ölçerek MGNT verimini kendi veri tabanına kaydeder. Algoritmalar arasındaki bu sıralamaya güneş simülatörünün veri tabanından alınan verim değerlerinin çizdirilmesi ile ulaşılmıştır.





Şekil 31 (a) P&O tekniğinin üç ortam profili altındaki verim grafikleri, (b) IC tekniğinin üç ortam profili altındaki verim grafikleri, (c) FLC tekniğinin üç ortam profili altındaki verim grafikleri

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada güneş ışınması ve ortam sıcaklığının kullanılması ile üç adet ortam profili oluşturulmuş ve güneş dizi simülörünün güneş paneli gibi davranması sağlanmıştır. Güneş dizi simülörünün ürettiği DA türündeki elektrik enerjisi ile DA-DA dönüştürücü üzerinden yükün beslenmesi sağlanmıştır. Ek olarak tasarlanan sistem üzerinde günümüzde popüler olan P&O, IC ve FLC tekniğini temel alan MGNT algoritmalarının uygulaması yapılarak bulgularının analizi yapılmıştır. Önerilen çalışma kapsamında oluşturulan sistem Şekil 32’de verilmiştir.

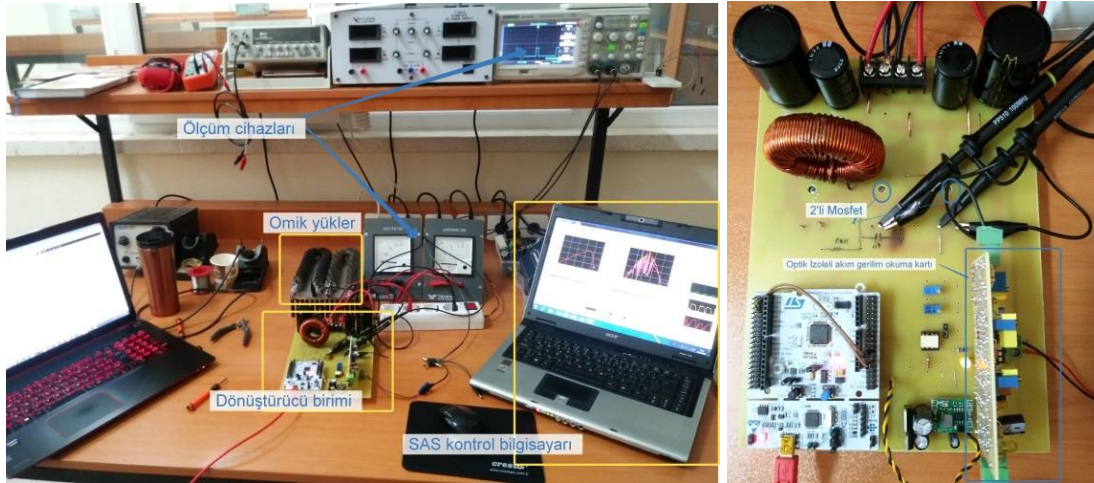
Sistemin çalışması esnasında elde edilen bulguların tartışması başlıklar halinde yapılmıştır:

- FLC algoritmasının verimini artırabilmek için dönüştürücü giriş akım ve gerilimi dışında; panel veya ortam sıcaklığı ve güneş ışınması bilgileri kullanılabilir. FLC tekniğinin çıkış gücündeki salınımların bu derece fazla olmasındaki en temel neden Şekil 8 ve 9’da verilen FLC tasarım detaylarından da anlaşılabilir. Üzere fonksiyon üye sayısının az olmasıdır. Fonksiyon üyelerinin sayısının artırılması ile salınımların azaltılması mümkün olabilir.
- P&O, IC ve FLC tekniklerini içeren MGNT algoritmaları MGN’na ulaştıklarında bu noktada kalabilmek için yaptıkları denemeler sonucunda salınımlar meydana gelmektedir. Bu salınımlar, MGNT tekniklerinin tasarımı sırasında sabit adım yerine değişken adım kullanılması veya FLC tekniği için üye fonksiyonlarının sayısını artırarak azaltılabilir.
- Tekniklerin tasarımlarında kullanılan değişken adım yöntemi aynı zamanda algoritmaya,

sistemlerin maksimum güç noktasına daha hızlı ulaşmasında da yardımcı olur.

- MGNT algoritmalarının verimlerin artırılması ve MGN’ndaki salınımlar, tasarım esnasında kullanılan akım-gerilim sensörleri ve okuma devrelerinin üzerinde yapılacak geliştirmeler ile azaltılabilir.
- Yükselten dönüştürücü yapısındaki bobin üzerinde anahtarlama sırasında vuruntular oluşur. Bu vuruntular akım ve gerilim değerleri üzerinde zıplamalara sebep olur.
- Tasarlanan DA-DA dönüştürücülerin izolesiz olması bu dönüştürücülerin kontrol edilmesi esnasında ciddi problemler çıkarabilmektedir. İzolesiz yapılarda ortak şase oluşur, bu durum okunan akım ve gerilim değerinde hatalara dolayısıyla MGNT algoritmalarının yanlış işlemesine sebep olur.
- Ek olarak izolesiz yapılar, sistemi kontrol eden mikro denetleyicinin çalışma esnasında tıkanmasına, reset atmasına ve aşırı gerilim yüzünden bozulmasına sebep olabilir.
- Tasarım esnasında güç katının diğer bileşenlerden optik olarak izole edilmesi ile bu durumlardan sakınılmıştır.
- Öneri olarak, izolesiz DA-DA dönüştürücü yerine yüksek frekanslı transformatör kullanılan Fly-Back Boost veya Forward Boost dönüştürücü yapılarına yer verilmesi ile izolasyon sağlanabilir bunun sonucunda da kontrol kolaylığı sağlanabilir.
- DA-DA dönüştürücü çıkışındaki omik yük yerine endüktif yapıdaki DA yükleri de (DA motorları) bağlanabilir ve incelemeler yapılabilir.





Şekil 32. Çalışma kapsamında tasarım ve uygulaması yapılan çalışmaya ait detaylar

## Kaynakça

- Ali, M. N., Mahmoud, K., Lehtonen, M., & Darwish, M. M. (2021). An efficient fuzzy-logic based variable-step incremental conductance MPPT method for grid-connected PV systems. *Ieee Access*, 9, 26420-26430.
- Abouelela, M. (2020). Power Electronics for practical implementation of PV MPPT. In *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems* (pp. 65-105). Springer, Cham.
- AKBOY, E. Modelling and Control of A High Power Factor Grid Connected PV Sytem Under Varying Irraditions. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (17), 794-802.
- Alsumiri, M. (2019). Residual incremental conductance based nonparametric MPPT control for solar photovoltaic energy conversion system. *IEEE Access*, 7, 87901-87906.
- Ammar, H. H., Azar, A. T., Shalaby, R., & Mahmoud, M. I. (2019). Metaheuristic optimization of fractional order incremental conductance (FO-INC) maximum power point tracking (MPPT). *Complexity*, 2019.
- Belkaid, A., Colak, I., & Kayisli, K. (2017). Implementation of a modified P&O-MPPT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. *Electrical Engineering*, 99(3), 839-846.
- Bhattacharyya, S., Samanta, S., & Mishra, S. (2020). Steady Output and Fast Tracking MPPT (SOFT-MPPT) for P&O and InC Algorithms. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 12(1), 293-302.
- da Rocha, N. M. M., Brighenti, L. L., Passos, J. C., & Martins, D. C. (2019). Photovoltaic Cell Cooling as a Facilitator for MPPT. *IEEE Latin America Transactions*, 17(10), 1569-1577.
- Gökkuş, G., (2020). Meteorolojik Verileri Kullanan Mppt Kontrollü Rüzgar-Güneş Hibrit Enerji Sistemi Tasarımı Ve Uygulaması, (Doktora Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Gouabi, H., Hazzab, A., Habbab, M., Rezkallah, M., & Chandra, A. (2021). Experimental implementation of a novel scheduling algorithm for adaptive and modified P&O MPPT controller using fuzzy logic for WECS. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*.
- Harrag, A., & Messalti, S. (2018). How fuzzy logic can improve PEM fuel cell MPPT performances?. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(1), 537-550.
- Iftikhar, R., Ahmad, I., Arsalan, M., Naz, N., Ali, N., & Armghan, H. (2018). MPPT for photovoltaic system using nonlinear controller. *International Journal of Photoenergy*, 2018.
- Ilyas, A., Ayyub, M., Khan, M. R., Jain, A., & Husain, M. A. (2018). Realisation of incremental conductance the MPPT algorithm for a solar photovoltaic system. *International Journal of Ambient Energy*, 39(8), 873-884.
- Kandemir, E., Borekci, S., & Cetin, N. S. (2018). Comparative Analysis of Reduced-Rule Compressed Fuzzy Logic Control and Incremental Conductance MPPT Methods. *Journal of Electronic Materials*, 47(8).
- Kulaksiz, A. A., ALHAJOMAR, F., & GOKKUS, G. (2019). Rapid Control Prototyping based on 32-Bit ARM Cortex-M3 Microcontroller for Photovoltaic MPPT Algorithms. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 9(4), 1938-1947.
- Kwan, T. H., & Wu, X. (2017). High performance P&O based lock-on mechanism MPPT algorithm with smooth tracking. *Solar Energy*, 155, 816-828.
- Li, S. (2019). A variable-weather-parameter MPPT control strategy based on MPPT constraint conditions of PV system with inverter. *Energy Conversion and Management*, 197, 111873.
- Liu, L., Huang, C., Mu, J., Cheng, J., & Zhu, Z. (2019). A P&O MPPT with a novel analog power-detector for WSNs applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, 67(10), 1680-1684.
- Mousa, H. H., Youssef, A. R., & Mohamed, E. E. (2020). Hybrid and adaptive sectors P&O MPPT algorithm based wind generation system. *Renewable Energy*, 145, 1412-1429.
- Necaibia, S., Kelaiaia, M. S., Labar, H., & Necaibia, A. (2017). Implementation of an improved incremental conductance MPPT control based boost converter in photovoltaic applications. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 18(4).

- Ochab, P., Kokoszka, W., Kogut, J., Skrzypczak, I., Szyszka, J., & Starakiewicz, A. (2017, December). Passive Residential Houses with the Accumulation Properties of Ground as a Heat Storage Medium. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 95, No. 4, p. 042017). IOP Publishing.
- Omar, F. A., Gökkuş, G., & Kulaksız, A. A. (2019). Şebekeden Bağımsız FV Sisteminde Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmalarının Değişken Hava Şartları Altında Karşılaştırmalı Analizi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(3), 585-594.
- Ram, J. P., Rajasekar, N., & Miyatake, M. (2017). Design and overview of maximum power point tracking techniques in wind and solar photovoltaic systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1138-1159.
- Rezk, H., Aly, M., Al-Dhaifallah, M., & Shoyama, M. (2019). Design and hardware implementation of new adaptive fuzzy logic-based MPPT control method for photovoltaic applications. *Ieee Access*, 7, 106427-106438.
- Robles Algarín, C., Taborda Giraldo, J., & Rodriguez Alvarez, O. (2017). Fuzzy logic based MPPT controller for a PV system. *Energies*, 10(12), 2036.
- Sahoo, J., Samanta, S., & Bhattacharyya, S. (2020). Adaptive PID controller with P&O MPPT algorithm for photovoltaic system. *IETE Journal of Research*, 66(4), 442-453.
- Sener, E., Turk, I., Yazar, I., & Karakoç, T. H. (2019). Solar powered UAV model on MATLAB/Simulink using incremental conductance MPPT technique. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*.
- Shengqing, L., Fujun, L., Jian, Z., Wen, C., & Donghui, Z. (2020). An improved MPPT control strategy based on incremental conductance method. *Soft Computing*, 24(8), 6039-6046.
- Shang, L., Guo, H., & Zhu, W. (2020). An improved MPPT control strategy based on incremental conductance algorithm. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 5(1), 1-8.
- Sundararaj, V., Anoop, V., Dixit, P., Arjaria, A., Chourasia, U., Bhambri, P., ... & Sundararaj, R. (2020). CCGPA-MPPT: Cauchy preferential crossover-based global pollination algorithm for MPPT in photovoltaic system. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 28(11), 1128-1145.
- Talbi, B., Krim, F., Rekioua, T., Laib, A., & Feroura, H. (2017). Design and hardware validation of modified P&O algorithm by fuzzy logic approach based on model predictive control for MPPT of PV systems. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 9(4), 043503.
- Tawanna, N., Takkabutr, F., Kesutha, A., & Wongsathan, R. (2020). MAXIMIZING EFFICIENCY OF A PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEM USING THE MPPTBASED FUZZY LOGIC CONTROLLER. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 27(4).
- Tang, S., Sun, Y., Chen, Y., Zhao, Y., Yang, Y., & Szeto, W. (2017). An enhanced MPPT method combining fractional-order and fuzzy logic control. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 7(2), 640-650.
- Verma, P., Garg, R., & Mahajan, P. (2020). Asymmetrical interval type-2 fuzzy logic control based MPPT tuning for PV system under partial shading condition. *ISA transactions*, 100, 251-263.
- Wellawatta, T. R., Seo, Y. T., Lee, H. H., & Choi, S. J. (2017, October). A regulated incremental conductance (r-INC) MPPT algorithm for photovoltaic system. In 2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (pp. 2305-2309). IEEE.
- YARIKKAYA, S., & Vardar, K. (2020). Rapid Prototype Development of Single Phase Grid Connected PV Inverter Using Stm32f4 and Matlab. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 213-223.
- Yiğit, S., & YAĞCI, M. (2020). Modelling of Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Module Using Incremental Conductance Method. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1-5.
- Yin, L., Yu, S., Zhang, X., & Tang, Y. (2017). Simple adaptive incremental conductance MPPT algorithm using improved control model. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 9(6), 065501.