



Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Verim, Salınım Miktarı ve Yakınsama Süresi Açısından Karşılaştırılması

Ufuk Badak^{1*}, Ali Bekir Yıldız²

^{1*} Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2008-6337), ufukbadak2@gmail.com

² Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4043-7859), abiyildiz@kocaeli.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 7 Kasım 2020 ve Kabul Tarihi 24 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.822975)

ATIF/REFERENCE: Badak, U. & Yıldız, A. B. (2021). Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Verim, Salınım Miktarı ve Yakınsama Süresi Açısından Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 463-472.

Öz

Yenilenebilir enerji kaynaklarından daha verimli sonuçlar elde etmek için, Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MGNI) algoritmaları güç elektroniği devreleri ile birlikte kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Değişir ve Gözlemler algoritması, Artan İletkenlik algoritması ve Empedans Uyumluluğu algoritmasının bilgisayar ortamında benzetimi yapılmış ve iki farklı çalışma durumunda simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Maksimum gücü 213.15 W olan panellerden, iki adet seri ve iki adet paralel şekilde kullanılarak, DA – DA yükseltici dönüştürücü aracılığıyla, sözü edilen algoritmalar kullanılarak yaklaşık %90 - %96,5 arası verim ile panel güçlerinin yüke aktarımı sağlanmıştır. Her bir algoritma, simülasyon sonucunda elde edilen verim, salınım miktarı ve yakınsama süreleri açısından karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Değişir ve Gözlemler algoritması, Artan İletkenlik algoritması, Empedans Uyumluluğu algoritması, Verim, Salınım miktarı, Yakınsama süresi.

Comparison of Maximum Power Point Tracker Algorithms in Terms of Efficiency, Amount of Oscillation and Convergence Time

Abstract

Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms are used in conjunction with power electronics circuits to obtain more efficient results from renewable energy sources. In this study, Perturb and Observe algorithm, Incremental Conductance algorithm and Impedance Compatibility algorithm have been simulated in the computer environment and simulated in two different operating conditions. From the panels with a maximum power of 213.15 W, using two serial and two parallel panels, the panel powers were transferred to the load with an efficiency of approximately 90% - 96.5% using the aforementioned algorithms via DA-DA converter. Each algorithm is compared in terms of efficiency, oscillation amount and convergence times obtained as a result of the simulation.

Keywords: Perturb and Observe Algorithm, Incremental Conductance Algorithm, Impedance Compatibility Algorithm, Efficiency, Oscillation Amount, Convergence Time.

* Ufuk Badak: ufukbadak2@gmail.com

1. Giriş

Dünya genelinde fosil yakıt kaynaklarının azalması, kullanılan fosil yakıtların küresel ısınmaya sebep olması ve çevreye verdiği zararlardan ötürü çevresel kaygıların artmasından dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep günümüzde git gide artmaktadır [1]. Enerji sektöründe fosil yakıtara bağımlılığı azaltmada büyük bir paya sahip olan güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemli enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir [2]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi sınırsız olması, çevre ve gürültü kirliliğine yol açmaması, yakıt gereksinimi olmaması, işletme maliyetinin düşük olması ve devlet tarafından desteklenmesi gibi avantajlara sahipken, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve enerji dönüşüm verimliliğinin düşük olması gibi dezavantajlara sahiptir [3-5].

Güneş panelleri, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Elde edilen bu elektrik enerjisi güneşin ısınım miktarına, ısınım açısına, ortam sıcaklığına, gölgelenmelere ve panel yüzey temizliğine göre değişebilmektedir [6]. Değişken olan bu parametreler ve güneş panellerinin enerji dönüşüm verimliliğinin düşük olması nedeniyle, güneş panellerinden üretilen gücün maksimum seviyede tutulması amaçlanmaktadır [7]. Bu doğrultuda literatürde birden çok Maksimum Güç Noktası İzleyici teknikleri geliştirilmiştir [8-10].

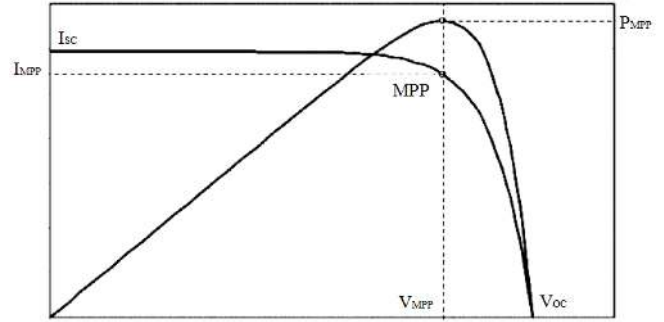
Güneş paneli uygulamalarında, sistemi maksimum güç noktasında çalıştırmak ve yüksek verimlilik elde etmek istenmektedir [11]. Bu doğrultuda, güneş panellerinde üretilen gücü, talep edilen çıkış gücüne yüksek verimlilikle transfer edebilmek için MGNİ birimi ile birlikte DA-DA dönüştürücüler kullanılmaktadır [12]. MGNİ birimi ile DA-DA dönüştürücünün doluluk oranı kontrol edilerek, panel maksimum güç noktasında çalıştırılır [13-14].

Bu çalışmada maksimum güç noktasının yerini tespit etmek için kullanılan Değiştir ve Gözlemler algoritması, Artan İletkenlik algoritması ve Empedans Uyumluluğu algoritması ele alınmıştır. Bu algoritmaların Matlab/Simulink ortamında benzetimi yapılmış, yapılan benzetimde iki farklı çalışma durumu ele alınmış ve her bir algoritmanın bu kriterlere göre simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel katkısı, bu algoritmaların verim, maksimum güç noktasındaki salınım miktarı ve yakınsama süreleri açısından karşılaştırılmasıdır.

2. Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Tanımlanması

Güneş panellerinden maksimum gücün elde edildiği noktaya maksimum güç noktası denir. Maksimum güç noktasının tespit edilebilmesi için maksimum güç takip sistemleri ve ekipmanları kullanılır. Maksimum güç noktası izleyici tekniği, belirli bir güneş ısınımı altında güneş panelinden P_{MPP} maksimum güç çıkışı elde etmek için, V_{MPP} gerilim değeri, I_{MPP} akım değerlerinin bulunması ilkesine dayanır (Şekil 1) [15]. Güneş panellerinde maksimum güç noktası, güneş ısınım miktarı, ısınım açısı, panel sıcaklığı, gölgelenme ve panel yüzey temizliği gibi değişken olan çevresel etkenlerle değişebilmektedir. Değişken olan bu parametrelerden dolayı güneş panellerinden sürekli olarak maksimum güç elde edilememektedir. Panellerden sürekli olarak maksimum güç elde

edebilmek için farklı maksimum güç noktası izleyici teknikleri geliştirilmiştir [16]. Şekil 1'de, güneş panellerinde maksimum güç noktası ve bu noktanın panel akım ve gerilimiyle ilişkisi gösterilmiştir [17].



Şekil 1. PV panel I-V ve P-V karakteristiklerine göre maksimum güç noktası

Şekil 1'deki karakteristiğe göre, her çalışma koşulu için yalnızca bir maksimum güç noktası mevcuttur. Maksimum güç noktasında PV karakteristiğine göre eğim sıfırdır. Yani $dP/dV = 0$ olmaktadır. Şekil 1'e göre maksimum güç noktası denklem 1'de ki gibi ifade edilir.

$$P_{MPP} = I_{MPP}V_{MPP} \quad (1)$$

Maksimum güç noktasının yerini tespit edebilmek için geliştirilmiş bir çok teknik mevcuttur. Bu çalışmada bu tekniklerden, Değiştir ve Gözlemler algoritması, Artan İletkenlik algoritması ve Empedans Uyumluluğu algoritması ele alınmıştır. Bu bölümde, belirlenen algoritmalar tanıtılmış, akış diyagramları gösterilmiş ve işleyişi açıklanmıştır.

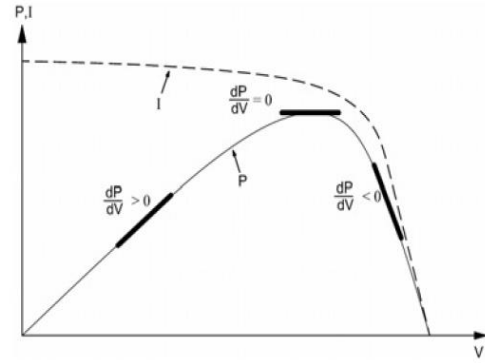
2.1. Değiştir ve Gözlemler Algoritması

Değiştir ve gözlemler algoritmasında, güneş panelinin karakteristik P-V eğrisinden ve güç-gerilim yapısından faydalanılır. Bu algoritma, sistemde sürekli olarak güneş panelinin gücünü takip eder [18]. Maksimum güç noktasına ulaşmak için, örneklenmiş olan güneş panelinin geriliminde artım veya azaltım yapılır. Yapılan gerilim artımı veya azaltımından sonra, güç değişimi hesaplanır (ΔP). ΔP değeri pozitifse, çalışma gerilimi tekrar artırılarak, güneş paneli çalışma noktası maksimum güç noktasına yaklaştırılır. Böylece gerilimde küçük hatalar oluşturularak panel gücünde meydana gelen hatanın işareti izlenir [19].

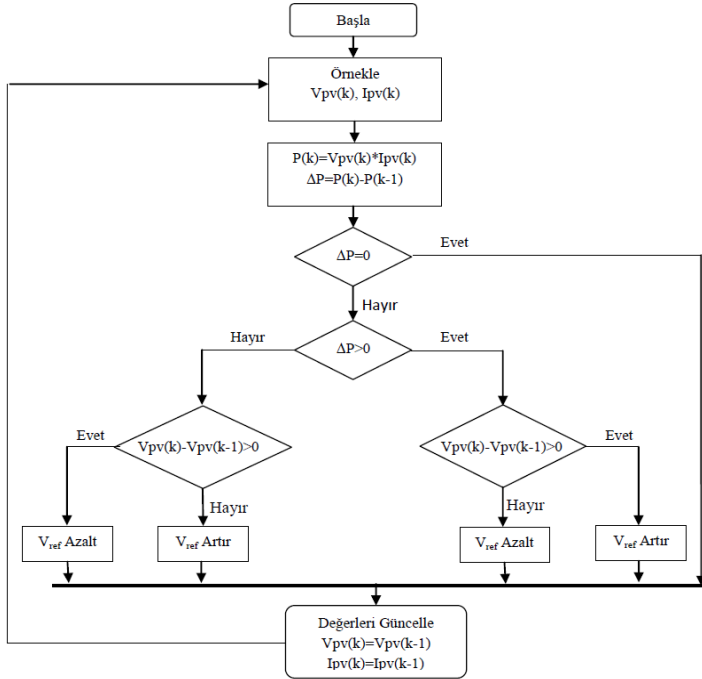
Bu algoritmada, maksimum güç noktasının sağındayken gerilim değeri artırıldığında güç değeri artacak, gerilim değeri azaltıldığında ise güç azalacaktır. Eğer maksimum güç noktasının sol tarafında gerilim değeri arttırıldığında güç azalacak, gerilim değeri azaltıldığında güç artacaktır. Bu doğrultuda gerilim değerindeki değişim ve buna bağlı olarak güçteki değişime göre bir sonraki adımdaki gerilim değişimi belirlenir. Maksimum güç noktasına ulaşabilmek için gerilim değeri değişim kararı Tablo 1'de verilmiştir. Bu algoritmanın işleyişini gösteren akış diyagramı ise Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Gerilim değeri değişimi karar tablosu

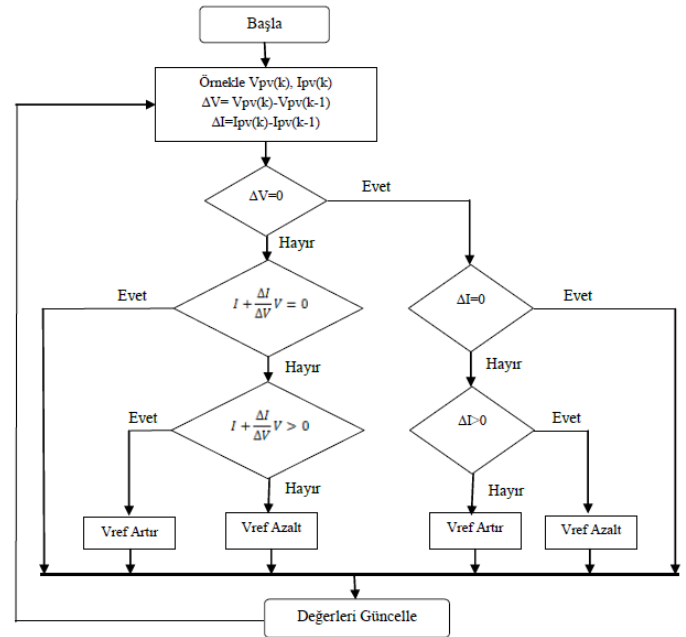
Gerilim Değerindeki Değişim	Güçteki Değişim	Değişim Yönü
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif



Şekil 3. Artan İletkenlik Algoritması Çalışma Eğrisi



Şekil 2. Değiştir ve gözlemler algoritması akış diyagramı



Şekil 4. Artan İletkenlik Algoritması Akış Diyagramı

2.2. Artan İletkenlik Algoritması

Artan iletkenlik algoritması, güneş panelinin çıkış gücünün eğiminin sıfır olduğu yeri maksimum güç noktası, eğimin pozitif olduğu yeri maksimum güç noktasının solu, eğimin negatif olduğu yeri ise maksimum güç noktasının sağı olarak belirler. Şekil 3'de Artan iletkenlik algoritmasının çalışma eğrisi gösterilmiştir. Bu eğriden yararlanılarak denklem 2, denklem 3 ve denklem 4'deki eşitlikler elde edilir. Şekil 4'de Artan iletkenlik algoritmasına dair akış diyagramı verilmiştir.

$$\frac{dP}{dV} = 0 \rightarrow \text{Maksimum Güç Noktası} \quad (2)$$

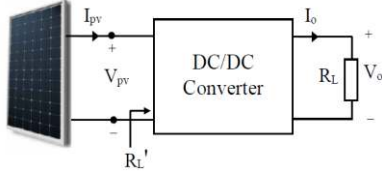
$$\frac{dP}{dV} > 0 \rightarrow \text{Maksimum Güç Noktasının Solu} \quad (3)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \rightarrow \text{Maksimum Güç Noktasının Sağı} \quad (4)$$

2.3. Empedans Uyumluluğu Algoritması

Empedans uyumluluğu algoritması, elektriksel sistemlerdeki max. güç transferi teoremine dayanmaktadır. Bu teorem ile, güneş panelinden maksimum güç sağlayabilmek için, üretilen gücün yüke en yüksek verim ile aktarılması hedeflenmektedir. Güneş panelinin verimli bir güç kaynağı olarak kullanılabilmesi için panelin iç direnci ve yük empedanslarının eşit olması gerekir. Bu eşitliği sağlayabilmek için empedans uyumluluğu yöntemi kullanılır. Maksimum güç noktası izleme algoritmalarını kullanabilmek için, aracı bir sistem olarak DA-DA dönüştürücüler ve eviriciler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, DA-DA yükseltilen dönüştürücü kullanılarak, yük ile panel arasında anahtarlamalı olarak nasıl empedansların eşitlendiği incelenmiştir.

Şekil 5 incelendiğinde, R_L' 'nin dönüştürücünün girişine yani panelin çıkışına indirgenmiş yük direnci olduğu görülmektedir. Yükün indirgenmiş halinin değerinin bağlı olduğu parametreler, denklem 5'te verilmiştir.



Şekil 5. DA – DA Dönüştürücünün girişine İndirgenmiş Yük ve Thevenin Eşdeğer Devresi

$$V_o = \frac{1}{1-D} \cdot V_{PV} \quad (5)$$

Denklem 5’de V_o yük gerilimi, V_{PV} panel gerilimi ve D kontrol sinyalinin doluluk oranıdır. Bu denklemde $\frac{1}{1-D}$ yerine N sabiti kullanılırsa, $V_o = N \cdot V_{pv}$ olacak şekilde yükseltici dönüştürücünün çıkış gerilimi ifade edilir. Denklem 6’da P_o çıkış gücü, P_{PV} panel gücüdür. Bu güçler birbirine eşit olduğunda maksimum güç transferi gerçekleştirilmiş olur.

$$P_o = P_{PV} = \frac{V_{PV}^2}{R_{PV}} = \frac{V_o^2}{R_L} \quad (6)$$

Çıkış gerilimin yerine $V_o = N \cdot V_{pv}$ eşitliği kullanılırsa denklem 7 elde edilir:

$$\frac{V_{PV}^2}{R_{PV}} = \frac{N^2 \cdot V_o^2}{R_L} \quad (7)$$

Buna göre,

$$\frac{1}{R_{PV}} = \frac{N^2}{R_L} \quad (8)$$

Denklem 8’de, N yerine Darbe Genişlik Modülasyonu’nun doluluk oranını yazılırsa, denklem 9 elde edilir.

$$D = 1 - \sqrt{\frac{R_{pv}}{R_L}} \quad (9)$$

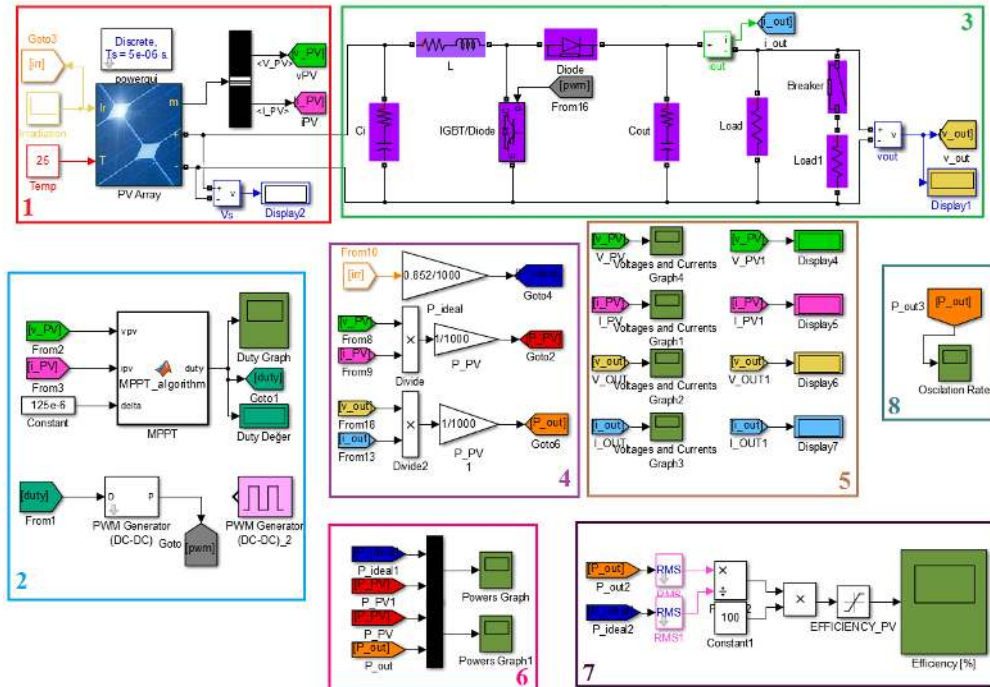
Denklem 9’a göre, yük ve panelin iç direnci dikkate alınarak maksimum güç aktarımı için gerekli kontrol sinyali üretilir. Panel girişine indirgenmiş direncin doluluk oranı ile ilişkisi, denklem 10’da verilmiştir.

$$R'_L = (1 - D^2) \cdot R_L \quad (10)$$

Bulunan doluluk oranı sayesinde her bir çevrim süresinde girişe indirgenmiş direnç bulunur. Bu işlem her bir çevrim boyunca tekrarlandığında, eğer sistemde yük, ısıtım ve sıcaklık değişimi varsa doluluk oranı tekrar hesaplanır ve girişe indirgenmiş direnç değeri güncellenir. Her bir çevrimde bu işlem yapılarak empedans uyumluluğu algoritmasının gerçekleşmesi sağlanır.

3. MGNI Matlab/Simulink Benzetimi

Tanımlanan algoritmaların Matlab/Simulink ortamında benzetiminin yapılabilmesi için Şekil 6’da verilen model tasarlanmıştır. Tasarlanan modele göre sistemin her bir çalışma durumu için verimi, sistemin maksimum güç noktasında yaptığı salınım miktarı ve sistemin yakınsama süreleri elde edilmektedir. Verim, yük gücünün ideal güce oranıdır. Salınım miktarı, sistemin maksimum güç noktasında yaptığı dalgalanmanın tepeden tepeye değişim miktarıdır. Yakınsama süresi ise sistemin maksimum güç noktasına ulaşması için gerekli olan süredir.



Şekil 6. Algoritmaların gerçekleşmesi için oluşturulan Matlab/Simulink modeli

(Burada; 1: Güneş paneli bloğu, 2:MGNI birimi bloğu, 3:DA –DA dönüştürücü bloğu, 4:Güç ölçüm bloğu, 5: Panele akım ve gerilim ile yük akım ve gerilim ölçüm bloğu, 6:İdeal, panel ve yük güçleri kıyaslama bloğu, 7:Verim değeri gözlem bloğu, 8: Maksimum güç noktasındaki salınım gözlem bloğu.)

Tasarlanan modelde bir numaralı blokta, ışınım ve sıcaklık değerleri panele girdi olarak verilmiştir. İki numaralı blok sistemin MGNİ birimidir. MGNİ biriminde, maksimum güç noktasını tespit edecek fonksiyon bloğu mevcuttur. Burada bulunan fonksiyon bloğuna her bir algoritma için geçerli koşullar tanımlanarak, her biri için oluşturulan simülasyon modeli çalıştırılmaktadır. Fonksiyon bloğunun giriş parametreleri panel akımı ve panel gerilimi, çıkış parametresi ise doluluk oranıdır. Aynı zamanda burada elde edilen doluluk oranındaki değişim grafiksel olarak gözlemlenebilmektedir. Elde edilen doluluk oranı üç numaralı blokta bulunan yükselten DA-DA dönüştürücüde bulunan kontrol edilebilir anahtarlama elemanının tetikleme ucuna uygulanarak dönüştürücü kontrol edilir. Dört numaralı blokta, panel gücü ve yük güçleri elde edilmektedir. Bu amaçla, bir numaralı blokta ölçülen panel akım ve gerilimi ile yük güçleri belirlenmektedir. Beş numaralı blokta, bir ve üç numaralı bloklarda elde edilen panel akım ve gerilimleri ile yük akım ve gerilimleri grafiksel olarak çizdirilmiş ve sayısal değerleri anlık olarak gözlemlenmiştir. Altı numaralı blokta, dört numaralı blokta elde edilen panel ve yük güçleri, ideal güç ile kıyaslanmış ve grafiksel olarak çizdirilmiştir. Yedi numaralı blokta, yük gücü ideal güç ile oranlanmış ve verim elde edilmiştir. Elde edilen verim grafiksel olarak çizdirilmiştir. Sekiz numaralı blokta yük gücü grafiksel olarak çizdirilmiş ve sistemin maksimum güç noktasında yaptığı salınım miktarı ve yakınsama süreleri incelenmiştir. Tasarlanan modelde kullanılan güneş paneline ait elektriksel parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

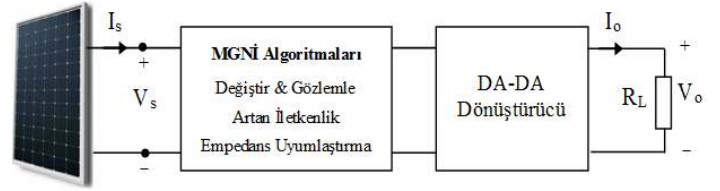
Sistemin çalışma koşulları, $t=0$.sn ile $t=2$.sn aralığında ışınım değeri 1000 W/m^2 ’dir. $t=2$.sn ile $t=4$.sn aralığında sistemin ışıma miktarında değişim olmadan sisteme paralel olarak 100Ω ’luk omik bir yük ilave edilmektedir (Çalışma koşulundaki değişim). Bu çalışma koşulları altında panel akım ve gerilimleri ile yük akım ve gerilimleri ölçülerek, panel gücü ve yük gücü ölçülmüş ve grafiksel olarak değişimleri elde edilmiştir. Elde edilen panel gücü ve yük gücü ideal güç ile kıyaslanarak, verim, salınım miktarı ve yakınsama süreleri her bir algoritma için belirlenmiştir.

Tablo 2. Kullanılan güneş panelinin elektriksel özellikleri

Parametre	Değer
Panel modeli	1Soltech ISTH-215-P
Kısa devre akımı (I_{SC})	7.84 A
Açık devre gerilimi (V_{OC})	36.3 V
Maksimum güçte akım (I_{MPP})	7.35 A
Maksimum güçte gerilim (V_{MPP})	29 V
Maksimum güç (P_{MPP})	213.15 W

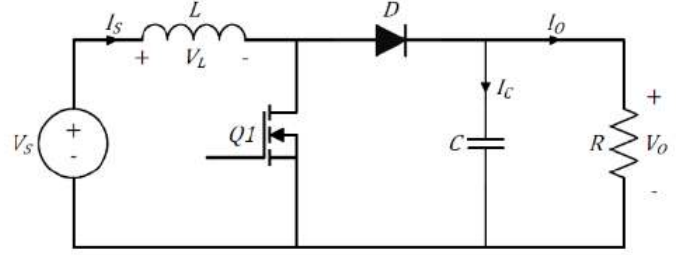
3.1. Yükselten DA – DA Dönüştürücü

Güneş panellerinden maksimum güç elde ederek yüke aktarılması için tasarlanan modelde (Şekil 6) yükselten dönüştürücü kullanılmıştır. Dönüştürücü yapısında bulunan kontrol edilebilir anahtarlama elemanı, doluluk oranı ile kontrol edilmekte ve böylece yüke maksimum güç aktarılmaktadır. Şekil 7’de görüldüğü gibi yükselten dönüştürücü MGNİ birimi ile kontrol edilmekte ve bu sayede yüke maksimum güç aktarılmaktadır.



Şekil 7. Yükselten DA – DA Dönüştürücü ve MGNİ Sistemi

Kullanılan modelde yükselten dönüştürücünün giriş gerilimi (V_s) panelin çıkış gerilimiyken, dönüştürücünün çıkış gerilimi (V_o) ise yük gerilimidir. Yükselten dönüştürücünün temel devre şeması ise aşağıda Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Yükselten DA – DA dönüştürücü devresi

Dönüştürücüde bulunan elemanların değerleri aşağıda Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Yükselten DA – DA dönüştürücü de kullanılan elemanların değerleri

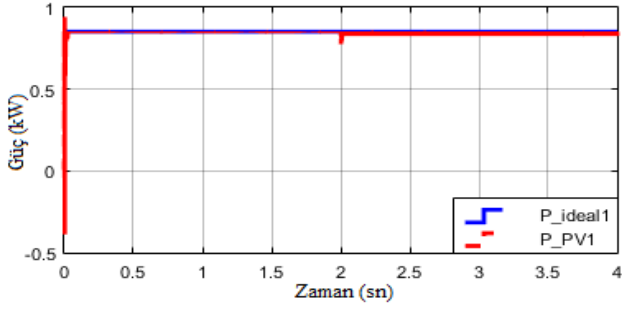
Eleman	Değer
C1 (μF)	100
L1 (mH)	2
C2 (μF)	100
R1 (Ω)	100
R2 (Ω)	100
Frekans (Hertz)	7500

3.2. Maksimum Güç Noktası İzleyici Birimli Çalışma

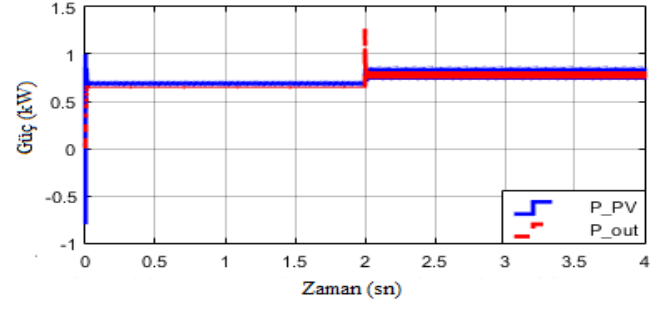
Tasarlanan modelde, Bölüm 2’de tanımlanan algoritmalara ait simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen ideal güç, panel gücü ve yük güçleri birbiri ile kıyaslanmış ve değişimleri grafiksel olarak çizdirilmiştir. Buna ek olarak, sistemi kontrol eden doluluk oranındaki değişim grafiksel olarak çizdirilmiştir. Burada elde edilen güçler ile birlikte yük ve panel güçleri oranlanarak her bir algoritma için verim elde edilmiştir. Bulunan yük güçlerine göre, her bir algoritma için maksimum güç noktasındaki salınım miktarı ve yakınsama süreleri hakkında bilgiler elde edilmiştir.

3.2.1. Değiştir ve Gözleme Algoritması

Tasarlanan model, Değiştir ve Gözleme algoritması için çalıştırılmıştır. Elde edilen ideal güç, panel gücü ve yük güçleri belirlenmiştir. Şekil 9.a’da panel gücü ile ideal güç arasındaki ilişki, Şekil 9.b’de yük gücü ile ideal güç arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 10’da ise her bir çalışma koşulunda anlık olarak doluluk oranının değişimi verilmiştir.

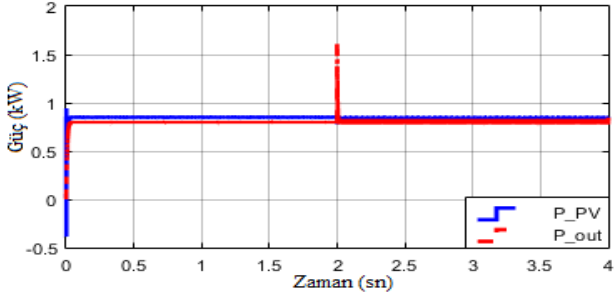


a) İdeal ve Panel güçleri



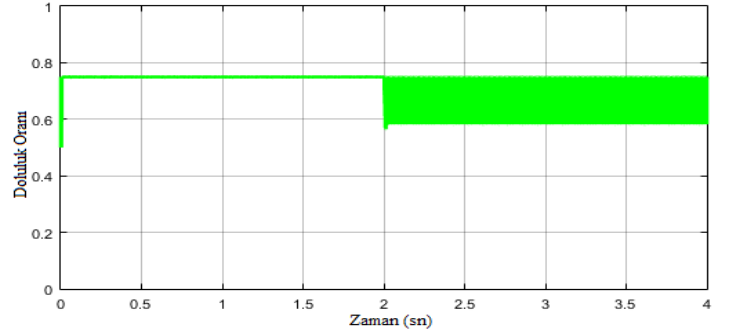
b) Panel ve Yük güçleri

Şekil 11. İdeal, Panel ve Yük güçleri

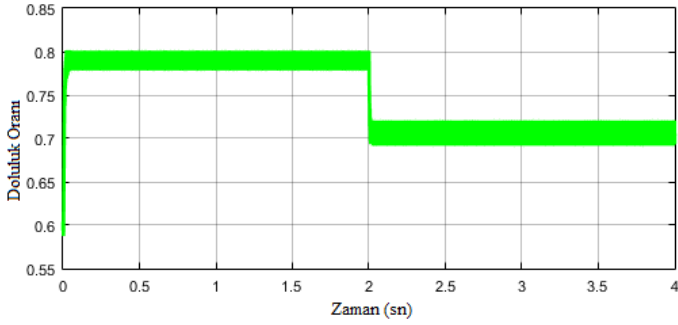


b) Panel ve Yük güçleri

Şekil 9. İdeal, Panel ve Yük güçleri



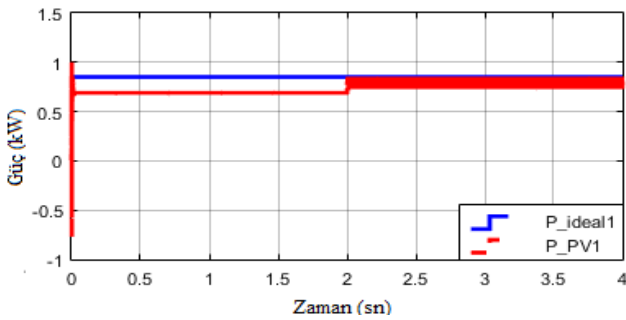
Şekil 12. Doluluk oranında ki değişim



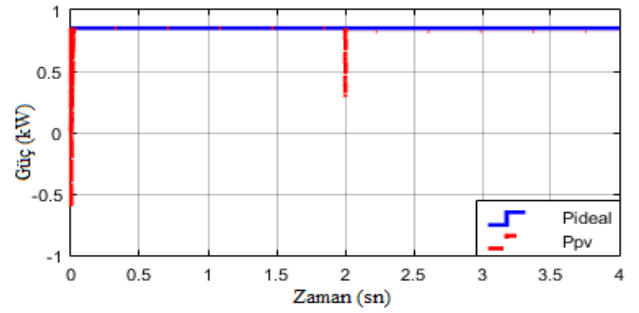
Şekil 10. Doluluk oranında ki değişim

3.2.2. Artan İletkenlik Algoritması

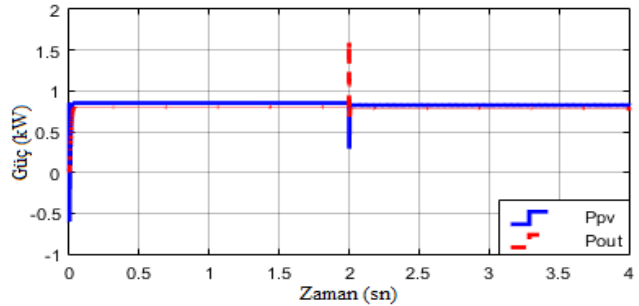
Tasarlanan model Artan İletkenlik algoritması için çalıştırılmıştır. Elde edilen ideal güç, panel gücü ve yük güçleri belirlenmiştir. Şekil 11.a'da panel gücü ile ideal güç arasındaki ilişki, Şekil 11.b'de yük gücü ile ideal güç arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 12'de ise her bir çalışma koşulunda anlık olarak doluluk oranının değişimi verilmiştir.



a) İdeal ve Panel güçleri

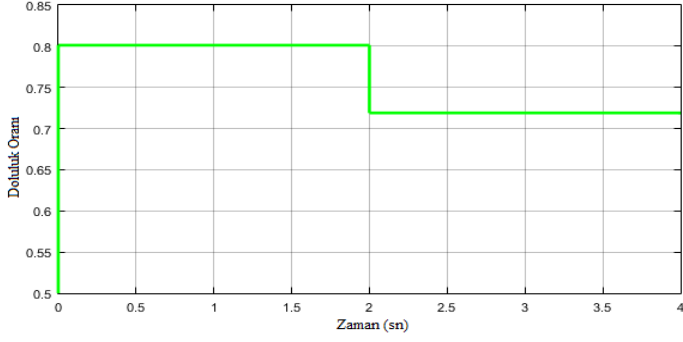


a) İdeal ve Panel güçleri



b) Panel ve Yük güçleri

Şekil 13. İdeal, Panel ve Yük güçleri

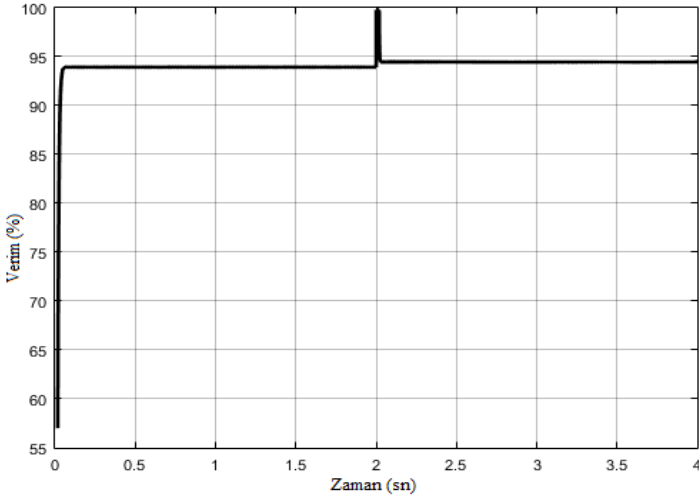


Şekil 14. Doluluk oranında ki değişim

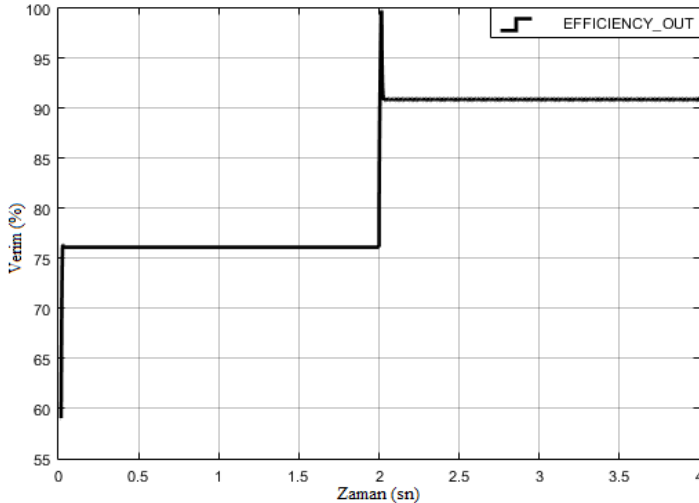
4. Matlab/Simulink Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, Bölüm 3.2’de elde edilen ideal güç, panel gücü ve yük güçleri için her bir çalışma koşulunda elde edilen verim, maksimum güç noktasındaki salınım miktarı ve yakınsama süreleri grafiksel olarak çizdirilmiş ve ortalama sayısal değerleri tablolar eşliğinde belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda ilgili başlıklar altında ele alınmıştır.

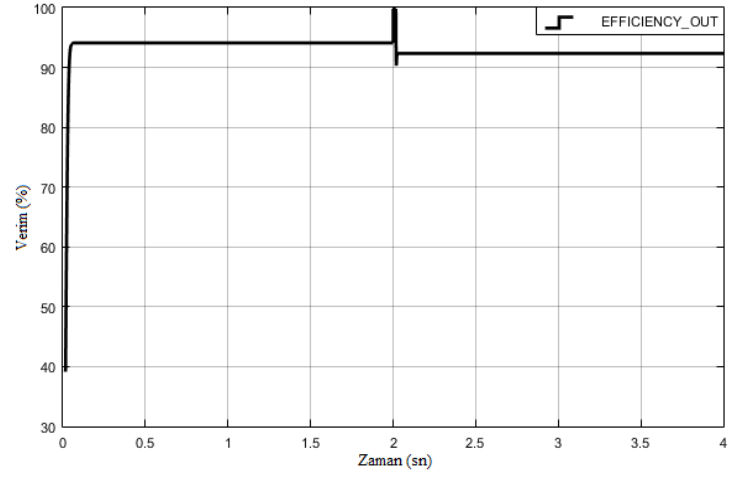
4.1. Verim



Şekil 15. Değiştir ve Gözlem algoritması için verim



Şekil 16. Artan İletkenlik algoritması için verim



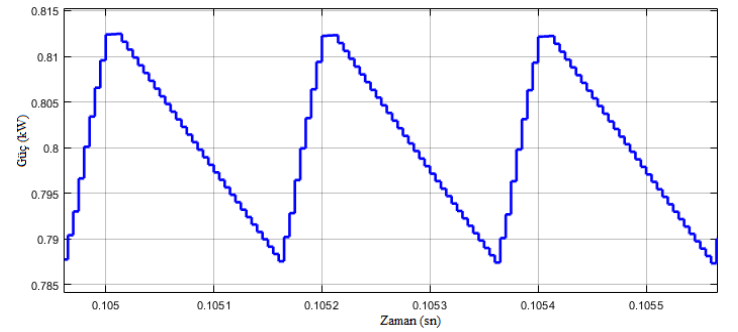
Şekil 17. Empedans Uyumluluğu algoritması için verim

Tablo 4. Her bir algoritmaya ait verim değerleri

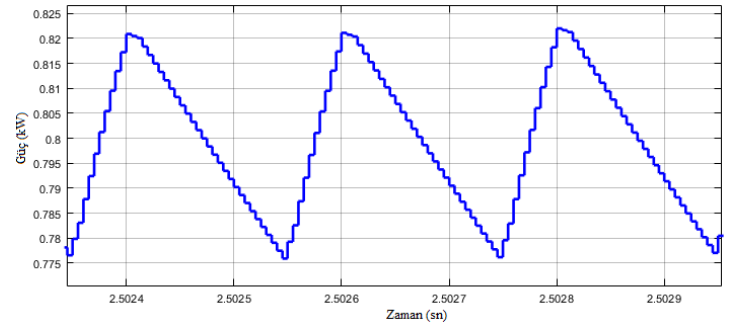
Algoritmalar	Zaman (sn)	
	0-2 sn Verim (%)	2-4 sn Verim (%)
Değiştir ve Gözlemle	93.93	94.46
Artan İletkenlik	76.14	90.93
Empedans Uyumluluğu	94.11	92.34

4.2. Salınım Miktarı

Tanımlanan her bir algoritma için, her bir çalışma koşulunda elde edilen maksimum güç noktasındaki salınım miktarlarının belirli kesit aralığındaki grafikleri Şekil 18, Şekil 19, Şekil 20’de verilmiştir. Elde edilen maksimum güç noktasındaki salınım miktarının tepeden tepeye sayısal değerleri ise Tablo 5’de verilmiştir.

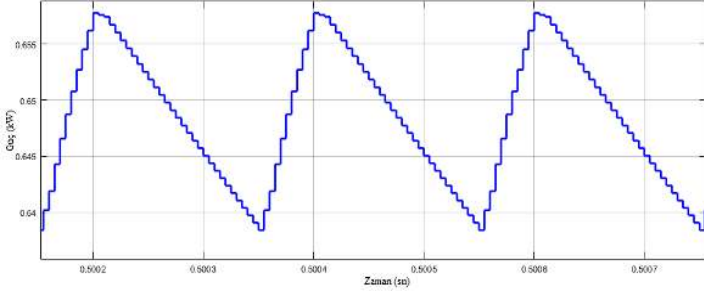


a) $t=0. sn$ ve $t=2.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti

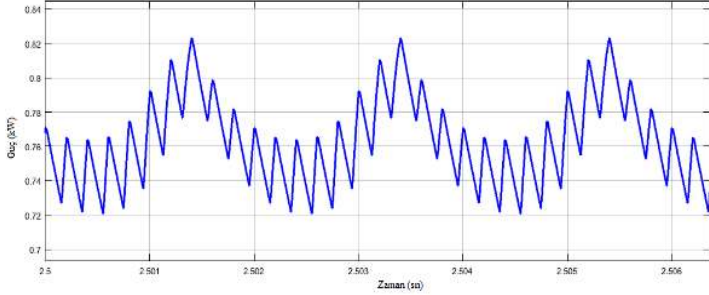


b) $t=2. sn$ ve $t=4.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti

Şekil 18. Değiştir ve gözlemle algoritması için maksimum güç noktasında belirli kesir aralığında salınım miktarı

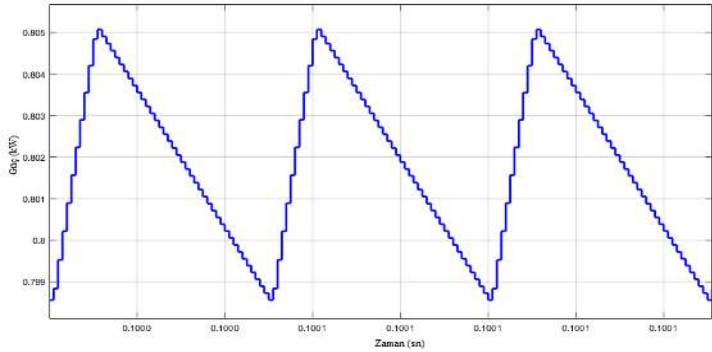


a) $t=0. sn$ ve $t=2.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti

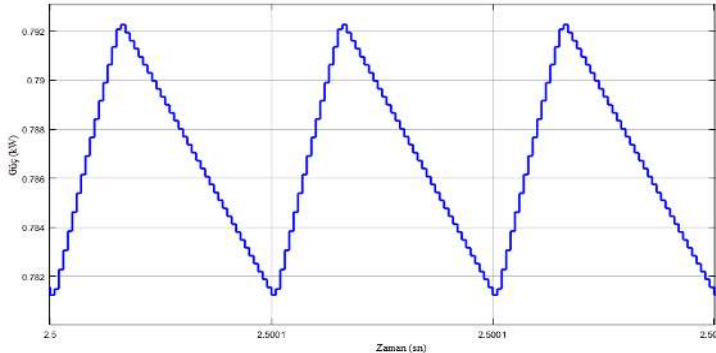


b) $t=2. sn$ ve $t=4.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti

Şekil 19. Artan iletkenlik algoritması için maksimum güç noktasında belirli kesir aralığında salınım miktarı



a) $t=0. sn$ ve $t=2.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti



b) $t=2. sn$ ve $t=4.sn$ aralığında maksimum güç noktasında salınım miktarı kesiti

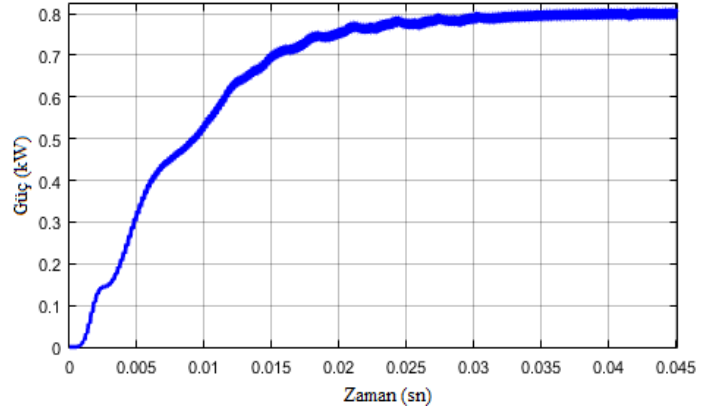
Şekil 20. Empedans uyumluluğu algoritması için maksimum güç noktasında belirli kesir aralığında salınım miktarı

Tablo 5. Her bir algoritmaya ait salınım miktarları

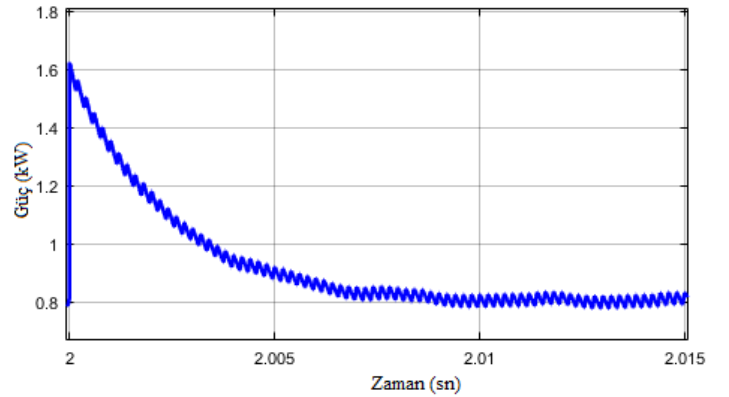
Algoritmalar	Zaman (sn)	
	0-2 sn Salınım (ΔW)	2-4 sn Salınım (ΔW)
Değiştir ve Gözlemle	25	58
Artan İletkenlik	13.5	81
Empedans	5.9	11
Uyumluluğu		

4.3. Yakınsama Süresi

Tanımlanan her bir algoritma için, her bir çalışma durumunda sistemin maksimum güç noktasına ulaşması için gerekli olan yakınsama süreleri Şekil 21, Şekil 22, Şekil 23'de verilmiştir. Her bir çalışma durumu için belirlenen yakınsama sürelerinin sayısal değerleri ise Tablo 6'da verilmiştir.



a) $t=0. sn$ ve $t=2.sn$ aralığında yakınsama süresi



b) $t=2. sn$ ve $t=4.sn$ aralığında yakınsama süresi

Şekil 21. Değiştir ve gözlemle algoritması için yakınsama süreleri

Tablo 6. Her bir algoritma için yakınsama süreleri

Algoritmalar	Zaman (sn)	
	0-2 sn Y.Süresi (ms)	2-4 sn Y.Süresi (ms)
Değiştir ve Gözlemler	20	15
Artan İletkenlik	25	25
Empedans	45	8
Uyumluluğu		

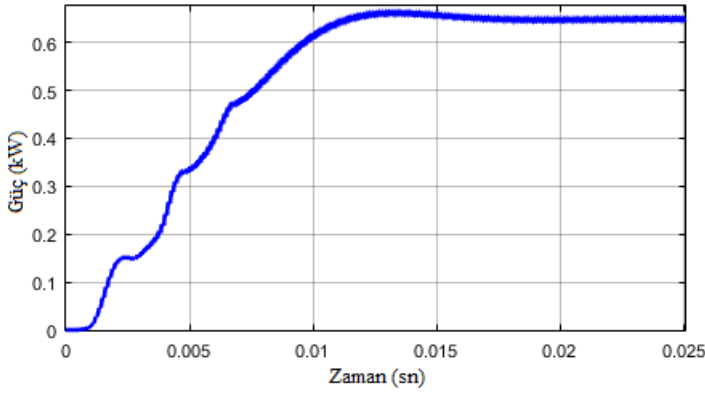
5. Sonuçlar

Bu çalışmada, MGNİ algoritmaları verim, maksimum güç noktasındaki salınım miktarı ve yakınsama süreleri açısından incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu algoritmalar arasında, ilk çalışma durumunda ($t=0.sn$ ve $t=2.sn$ aralığı) en yüksek verime ulaşan Empedans Uyumluluğu algoritmasıyken, ikinci çalışma aralığındaki ($t=2.sn$ ve $t=4.sn$ aralığı) değişim durumunda en yüksek verime Değiştir ve Gözlemler algoritması ulaşmaktadır. Bunun sebebi, ilk durumda herhangi bir değişim yokken Empedans Uyumluluğu algoritması maksimum güç transferi yapabilmekte ve yük değişimi olmadığı için sisteme kolayca adapte olabilmektedir. İkinci çalışma durumunda sisteme paralel omik 100Ω 'luk yük ilave edildiğinde Empedans Uyumluluğu algoritması yük değişiminden olumsuz etkilenmekte ve Değiştir ve Gözlemler algoritmasına göre daha az verimle çalışmaktadır.

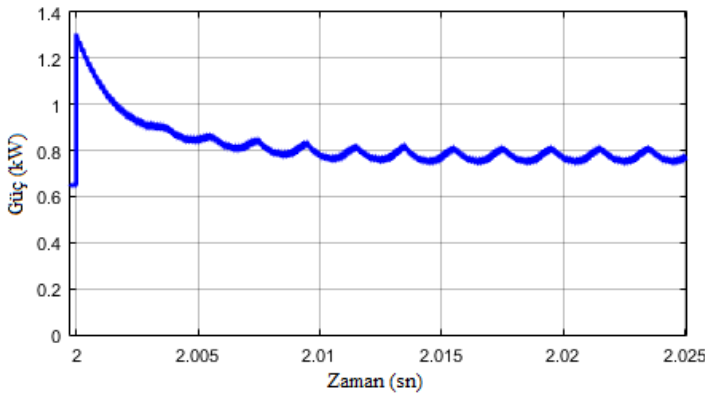
Maksimum güç noktasındaki salınım miktarı açısından değerlendirme yapıldığında, birinci çalışma aralığında ($t=0.sn$ ve $t=2.sn$ aralığı) ve ikinci çalışma aralığında ($t=2.sn$ ve $t=4.sn$ aralığı) en az salınımı Empedans Uyumluluğu algoritması sağlamaktadır. Bunun sebebi, bu algoritmanın maksimum güç transferi ilkesine dayanıp maksimum güç noktasının yerini tespit ediyor olmasıdır.

Yakınsama süresi açısından değerlendirme yapıldığında, birinci çalışma aralığında ($t=0.sn$ ve $t=2.sn$ aralığı) en ideal sistem Değiştir ve Gözlemler algoritmasıyken, ikinci çalışma aralığında ($t=2.sn$ ve $t=4.sn$ aralığı) en ideal sistem Empedans Uyumluluğu algoritmasıdır. Bu durumda Artan İletkenlik algoritması daha yavaş ilerlemektedir. Bunun sebebi, Artan iletkenlik algoritmasının hesap işlemlerinin, Değiştir Gözlemler ve Empedans Uyumluluğu algoritmalarına göre fazla zaman almasıdır. Aynı zamanda Artan İletkenlik Algoritması ortam değişimlerine tepki süresi değiştir ve gözlemler algoritmasına göre daha uzundur.

Tüm algoritmalar için eşit şartlar sağlandığında ve sistemde herhangi bir yük değişimi olmadığında, Empedans Uyumluluğu algoritması daha yüksek verimlere ulaşılmasında daha iyi bir seçenek olacaktır. Eğer sistemde değişken omik yükler mevcutsa bu durumda daha yüksek verim değerlerine ulaşabildiği için Değiştir ve Gözlemler algoritmasının kullanılması daha uygun olacaktır. İleriki çalışmalarda değişken omik ve endüktif yük durumları ele alınabilir.

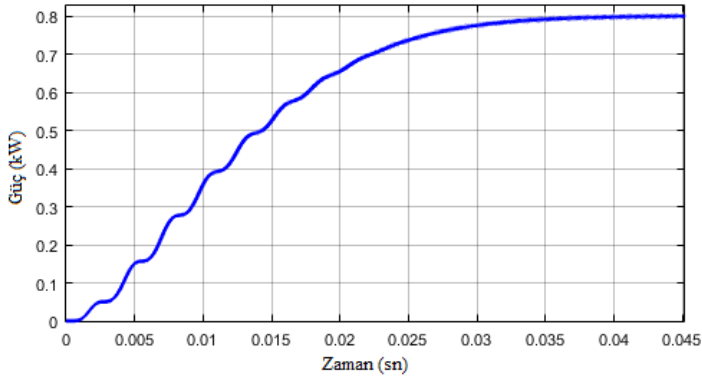


a) $t=0.sn$ ve $t=2.sn$ aralığında yakınsama süresi

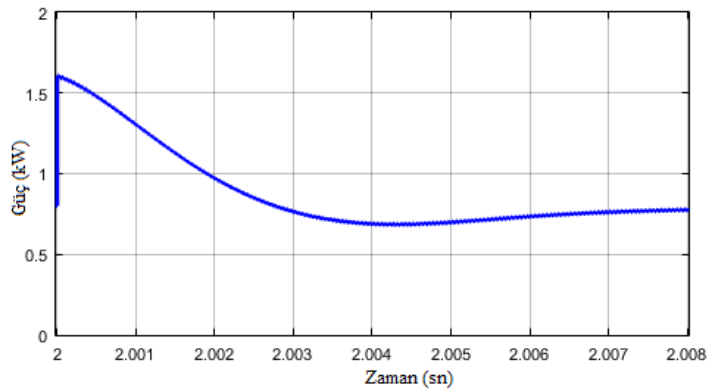


b) $t=2.sn$ ve $t=4.sn$ aralığında yakınsama süresi

Şekil 22. Artan iletkenlik algoritması için yakınsama süreleri



a) $t=0.sn$ ve $t=2.sn$ aralığında yakınsama süresi



b) $t=2.sn$ ve $t=4.sn$ aralığında yakınsama süresi

Şekil 23. Empedans uyumluluğu algoritması için yakınsama süreleri

Kaynakça

- [1] Özbay, H., et al., 2016, “Farklı Eğim Açılarındaki Fotovoltaik Panellerin Elektriksel Ölçümlerinin Raspberry Pi ile İzlenmesi”, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 4.2.
- [2] Düz, H., 2016 , “Storing solar energy inside compressed air through a heat machine mechanism”, Gazi University Journal of Science, 29.2, 245-251.
- [3] Karafil, A., Ozbay, H. and Oncu, S., 2020, “Design and Analysis of Single Phase Grid Tied Inverter with PDM MPPT Controlled Converter”, IEEE Transactions on Power Electronics 35.5, 4756-4766.
- [4] Wenham, S. R., 2012, “Applied Photovoltaics”, Routledge, London, 29-39.
- [5] Leva S., Zaninelli D., and Contino R., 2007, “Integrated Renewable Sources for Supplying Remote Power Systems”, WSEAS Transactions on Power Systems, 2,2, 41–48.
- [6] Reisi A. R., Moradi M. H., Jamasb S., Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 19, 433-443.
- [7] Koizumi H., Kurokawa K., 2005, “A Novel Maximum Power Point Tracking Method for PV Module Integrated Converter”, 36th IEEE Power Electronics Specialists Conference, (PESC'05), 2081-2086, USA.
- [8] Basoglu ME., Cakir B., 2016, “Comparisons of MPPT performances of isolated and non-isolated DC-DC converters by using a new approach”, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 60, 1100-1113.
- [9] Ibnelouad A.; et al.; 2017, “A Comprehensive Comparison of the Classic and Intelligent Behavior MPPT Techniques for PV Systems”, 14th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), Morocco.
- [10] Kumar S.; Sahu HS.; Nayak SK.; 2019, “Estimation of MPP of a Double Diode Model PV Module From Explicit I-V Characteristic”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.66, Issue 9.pp.7032-4042.
- [11] Heydari, M., Khoramikia, H., & Fatemi, A., 2019, “High-voltage gain SEPIC-based DC–DC converter without coupled inductor for PV systems”, IET Power Electronics, 12.8, 2118-2127.
- [12] Gupta PP., Kishore GI.; Tripathi RK., 2019, “Implementing High Gain DC-DC Converter with Switched Capacitor for PV System”, Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), India.
- [13] Yadav I.; Maurya SK.; 2020, “Modelling and Analyzing of DC-DC Converter for Solar Pump Applications”, Int. Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control, India.
- [14] Kırıcıoğlu O., Yıldız AB., 2015, “Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Eşdeğer Devresine Ait Büyük Sinyal Analizi”, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu.
- [15] Nakir İ., 2007, “Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,75.
- [16] Aslıhan K., 2010, “DA Çevirici Temelli Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin İncelenmesi ve Simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,82.
- [17] Tevfik K., 2013. “50W Led TV Uygulamaları İçin Güneş Enerjili Bir Güç Kaynağı Tasarımı ve Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara,121.
- [18] Tekeshwar P.S., Dixit T.V., 2014, “Modelling and Analysis of Perturb & Observe and Incremental Conductance MPPT Algorithm for PV Array Using Cuk Converter”, IEEE Student's Conference on Electrical, Electronics and Computer Science.
- [19] Rajiv R., Yatendra Y., Umashankar S. Vijayakumar D., 2013, “Modeling and Simulation of Incremental Conductance MPPT Algorithm Based Solar Photo Voltaic System using CUK Converter”.