



Solar Sulama Sistemleri için MPPT tabanlı Üç Fazlı Evirici Tasarımı

MPPT Based Three Phase Inverter Design for Solar Irrigation Systems

¹Muzaffer ÇAYIR , ²Harun ÖZBAY 

¹Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

²Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

¹muzaffercayir99@gmail.com, ²hozbay@bandirma.edu.tr

Araştırma Makalesi/Research Article

ARTICLE INFO

Article history

Received : 11 May 2023

Accepted : 8 July 2023

Keywords:

Photovoltaic Systems, Solar Irrigation, Induction Motor, MPPT, PSIM

ABSTRACT

Today, as a replacement for fossil-based generation, renewable energy sources have become more significant in the modern world. Photovoltaic Systems (PV) are used to obtain electrical energy from solar energy, which is among these sources. Due to their numerous benefits, in this study, a system design and simulation have been made for agricultural irrigation systems, which are among the usage areas of PV systems. In order to use the PV system in the most efficient way, the Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithms, the Incremental Conductance (IC) algorithm and the Perturb&Observe (P&O) algorithm have been revised and compared according to the characteristics of the designed system. A single-stage inverter is designed without a DC-DC converter in order to transfer the maximum power obtained from the PV panels to the load. The proposed algorithms efficiently transfer the maximum power that the PV panels can obtain under various solar irradiation conditions (between 200 and 1000 W/m²) to the system. The irrigation system with a 3 kW three-phase induction motor is simulated using the PSIM, and the results are shown in comparison, in order to assess the performance of the proposed system.

© 2023 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihleri

Gönderim : 11 Mayıs 2023

Kabul : 8 Temmuz 2023

Anahtar Kelimeler:

Fotovoltaik Sistemler, Solar Sulama, Asenkron Motor, MPPT, PSIM

ÖZET

Günümüzde fosil kaynaklı üretime alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmıştır. Bu kaynaklar arasında yer alan güneş enerjisinden, elektrik enerjisi elde etmek için Fotovoltaik Sistemler (PV) kullanılmaktadır. Bu çalışmada da PV sistemlerin kullanım alanları arasında yer alan tarımsal sulama sistemleri için bir sistem tasarımı ve benzetimi yapılmıştır. PV sistemin en verimli şekilde kullanılması için Maksimum Güç Noktası Takip (MPPT) algoritmalarından Artan İletkenlik (IC) algoritması ve Değiştir&Gözle (P&O) algoritması tasarlanan sistemin özelliklerine göre revize edilmiş ve karşılaştırılmıştır. PV panellerden elde edilen maksimum gücün yüke aktarımı için ayrıca bir DC-DC dönüştürücü kullanılmadan tek aşamalı bir evirici tasarlanmıştır. Geliştirilen algoritmalar ile 200 - 1000 W/m² arasında farklı güneş ışınımı altında PV panellerden elde edilebilecek maksimum güç sisteme yüksek verimlilikle aktarılmıştır. Önerilen sistemin performansını değerlendirmek için 3 kW'lık üç fazlı asenkron motora sahip sulama sisteminin benzetimi PSIM programı kullanılarak yapılmış ve sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

© 2023 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

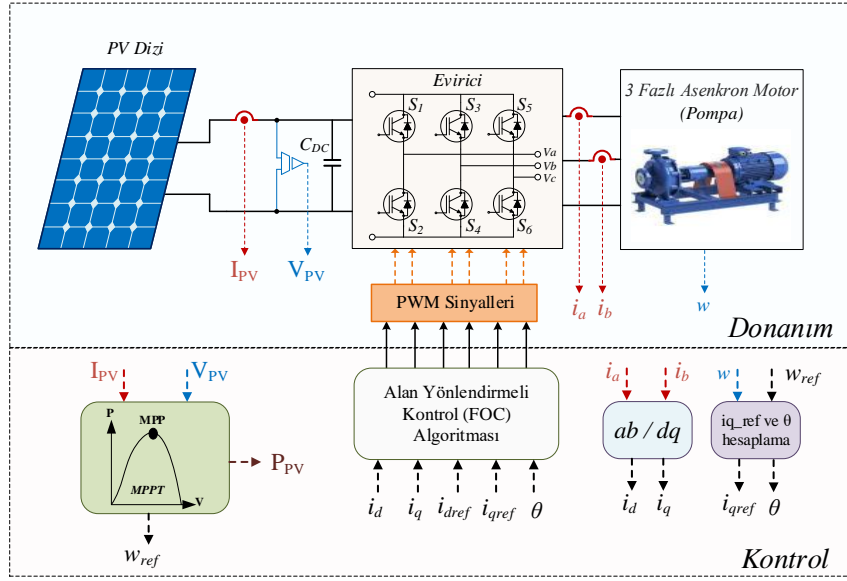
1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi günümüz dünyasında büyük bir öneme sahip ve hemen hemen hayatımızın her alanında kullanılmaktadır. Teknoloji ve sanayinin gelişmesiyle elektrik enerjisine ihtiyaç da bu doğrultuda artmaktadır. Bu ihtiyaca cevap vermek adına elektrik enerjisinin üretiminde de çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Geçmişten günümüze enerji üretiminde yoğunlukla fosil yakıtlar kullanılmıştır. Ancak, fosil yakıtların kullanımı çevremizi olumsuz yönde etkilemekte ve artan enerji ihtiyacı ile birlikte tükenmeye yüz tutmaktadır. Bu nedenle, bu kaynakların kullanımı yerine alternatif çözümler bulmak hem sürdürülebilir üretim açısından hem de çevre açısından büyük önem arz etmektedir [1]. Bu doğrultuda fosil yakıtlı enerji üretimine önemli bir alternatif yöntem olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi gün geçtikçe artmaktadır [2]. Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgar, hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle gibi doğal kaynaklardan elde edilen enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları çevreye daha az zarar verirken, doğası gereği kendini yenileyerek sınırsız bir kullanım sağlayabilmektedirler [3,4]. Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapmak birçok ekonomik ve sosyal faydayı da beraberinde getirmektedir. Bu faydalar arasında iş yaratma, ekonomik büyüme, enerji güvenliği ve daha temiz çevre sayılabilir. Enerji üretiminde, bu kaynaklar arasında yer alan güneş ve rüzgar enerjisinin kullanımı diğer kaynaklara göre daha fazladır [5]. Bu iki enerji kaynağı kendi aralarında kıyaslandığında çeşitli avantajlarından dolayı güneş enerjisi daha ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisi, dünya üzerindeki en ulaşılabilir ve en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu nedenle, günümüzde birçok ülke güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik sistemleri kullanarak enerji üretimine yönelmiştir. Fotovoltaik sistemler, şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız olarak ikiye ayrılmaktadır. Şebeke bağlantılı sistemler adından da anlaşılacağı üzere enterkonnekte şebeke ile bağlantılı olup üretilen elektrik enerjisinin şebekeye de aktarılabilirdiği sistem türüdür. Şebeke bağlantısız sistemlerde ise üretilen elektrik enerjisi yerel yüklerde kullanımlara olanak sağlamaktadır [6]. Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistemler ile birçok alanda karşılaşmak mümkündür. Özellikle yerleşimin olmadığı kırsal bölgelerde, tarımsal arazilerde, hayvancılık yapılan bölgelerde çiftlik ve meralarda, kişisel kullanım alanlarında ve günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrikli araçlar için şarj istasyonlarında kullanılmaktadır. Literatürde fotovoltaik sistemlerin kullanım alanları ve tarımsal alanda kullanımı konusunda birçok çalışma yapılmıştır. A.A.S Esmeail, S. Öncü, N. Altın gerçekleştirdikleri bir çalışmada fotovoltaik sistemlerin sulama amaçlı kullanımını ele almışlardır. Tasarlanan sistemde üç fazlı tek kademeli evirici ve asenkron motor tercih edilmiştir. Asenkron motorun hızını kontrol etmek amacıyla skaler V/f kontrol yöntemini kullanmışlardır. Tasarladıkları sistemde fotovoltaik diziden en yüksek verimi alabilmek adına maksimum güç noktası takip algoritmaları arasında yer alan P&O algoritmasını kullanmışlardır. Kullanılan algoritmanın sınanması için farklı ışınım altında elde edilen güç değerleri gözlemlenmiştir. Aynı zamanda sistemin benzetimini hem bu algoritmayı kullanarak hem de algoritma olmadan yapmışlar ve sonuçları karşılıklı olarak analiz etmişlerdir [7]. Jaipal ve T. Ramesh çalışmalarında maksimum güç noktası takibi yapan bir solar sulama sistemini incelemişlerdir. Maksimum güç noktası takibi için P&O algoritmasını tercih ederek sistemden maksimum verimi elde etmeyi amaçlamışlardır. Sistemdeki asenkron motorun hız kontrolü için alan yönlendirmeli kontrol ve doğrudan tork ve akı kontrolü yöntemlerini kullanmışlardır. Sistem standart atmosferik koşullar altında test edilmiş ve tork, hız, stator akımları gözlenmiştir. Sistemin verimli bir şekilde çalıştığı ortaya konmuştur [8]. M.A. Eltawil ve Z. Zhao çalışmalarında çok sayıda maksimum güç noktası takip yöntemini ele almışlardır. Bu konuda geleneksel yöntemlerden farklı olarak diğer yöntemleri de açıklamayı amaçlamışlardır. İncelenen yöntemler kendi aralarında kıyaslanarak alternatifler sunulmuştur. Genel anlamda teorik olarak yapılan bu çalışma MPPT algoritmasına karar verme aşamasında yardım teşkil etmektedir [9]. I.K. Abdul-Razzaq, M.M.F Sakr ve Y.G. Rashid yaptıkları çalışmada solar sulama sistemlerinde kullanılan MPPT tekniklerini incelemişler ve kıyaslamışlardır. Yapılan çalışmada 4 farklı teknik incelenmiş ve benzetimi yapılmıştır. Sistemde aynı zamanda DC-DC yükseltici dönüştürücü kullanılmıştır. Matlab programı yardımıyla benzetimi yapılan çalışmada farklı ışınım değerlerinde tüm teknikler incelenmiş ve sonuçlar alınmıştır. Sonuçlara bakılarak her bir algoritmanın farklı hususlarda gösterdikleri başarılı sonuçlar yorumlanmıştır [10].

Yapılan bu çalışmada fotovoltaik sistemlerin tarımsal sulama alanında kullanılması ele alınmıştır. Tarımsal sulamada güneş enerjisinden yararlanmak, üretim maliyetleri dahilinde en büyük pay sahibi olan sulama maliyetini azaltacağından dolayı üretim maliyeti de azalacaktır. Geçmişten günümüze kadar olan süreçte sulama alanında dizel pompalar ve şebeke elektriği kullanılmıştır. Günümüzde dizel pompalar ve şebeke elektriğinin kullanımına, akaryakıt fiyatlarının ve elektrik tüketim maliyetinin gün geçtikçe artmasından dolayı alternatif bir yol aranmıştır. Fotovoltaik sistemler çoğu alanda olduğu gibi bu alana da önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Fakat bu sistemlerin de kendi içerisinde dezavantajları mevcuttur. Fotovoltaik sistemler ile üretimde, hava koşulları ve güneşlenme süreleri gibi parametreler dezavantaj yaratabilmektedir. Fakat bu gibi dezavantajların yarattığı verim düşüşü gibi sorunların önüne maksimum güç noktası takibi yapabilen güç elektroniği çözümleri ile geçilebilmektedir. Bu çalışmada da maksimum güç noktası takibini yüksek verimlilik ile yapabilen tek aşamalı bir fotovoltaik sulama sistemi tasarlanmıştır. Sistemde tek aşamalı evirici kullanılmasıyla dolayı hem sistemin karmaşıklığı hem de kurulum maliyeti azaltılmış özgün bir çalışma sunulmuştur. Tasarlanan sistemde kullanılan Değiştir & Gözle ve Artan İletkenlik algoritmaları incelenmiştir. MPPT algoritmalarının kullanımı da sistemin maliyetinde önemli iyileştirmeler sağlamaktadır. Önerilen sistemin benzetimi PSIM programı ile yapılmıştır ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. ÖNERİLEN SİSTEMİN TANIMI VE MODELLENMESİ

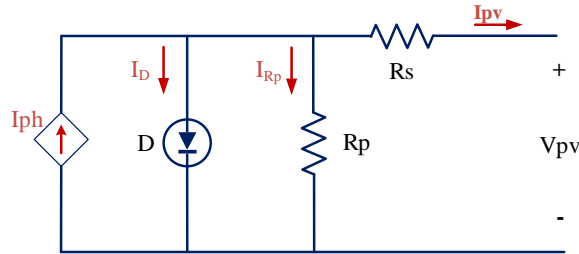
Şekil 1’de önerilen tarımsal solar sulama sisteminin blok şeması görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere bu tür bir sulama sistemi temelde PV dizi, gerilim beslemeli üç fazlı evirici, motor ve pompa kısımlarından oluşmaktadır.



Şekil 1. Önerilen solar sulama sistemi.

2.1. Fotovoltaik Hücre Modeli

Fotovoltaik hücre, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren bir yapıdır. Yarı iletken bir diyot olarak görev yaparlar. Şekil 2’de bir hücrenin eşdeğer devresi verilmiştir. Bu devrede bulunan değerler I_{PV} güneş enerjisi ile elde edilen elektrik akımını, R_s seri direnç, I yük akımını, I_D diyot akımını, R_p paralel direnci ifade etmektedir [11].



Şekil 2. Fotovoltaik hücrenin elektriksel eşdeğer devresi.

Fotovoltaik hücre üzerine düşen güneş radyasyonu ile fotovoltaik akım (I_{ph}) değeri orantılıdır. Denklem 1’de güneş radyasyonuna göre üretilen hücre akımı verilmiştir;

$$I_{PV} = [I_{SC} + K_I (T - T_{ref})] \times \frac{\lambda}{1000} \quad (1)$$

Burada; λ , kW/m^2 olarak ışıınımı; I_{SC} , fotovoltaik hücrenin 25° deki kısa devre akımını; K_I , kısa devre akımı sıcaklık sabitini ($0,0017 \text{ A/}^\circ\text{C}$); T , fotovoltaik hücrenin Kelvin olarak çalışma sıcaklığını ve T_{ref} ise referans sıcaklığı ($298,15 \text{ }^\circ\text{K}$) ifade etmektedir. Diyot akımı (I_D) ise, gerilime ve ters sızıntı akımına (I_S) bağlıdır. Diyot akımı Denklem 2’de verilmiştir;

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{qV_D}{A k T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Burada; V_D , diyot gerilimi; q , elektron yükünü ($1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$), k , Boltzman sabitini ($1,3806505 \times 10^{-23} \text{ J/K}$); A , diyot kalite faktörünü ifade etmektedir. Paralel dirençten akan akım ise Denklem 3’te verilmiştir. Fotovoltaik hücrenin akımı da Denklem 4’te verilmiştir.

$$I_{Rp} = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V_{PV} + I_{PV} \cdot R_p}{R_p} \quad (3)$$

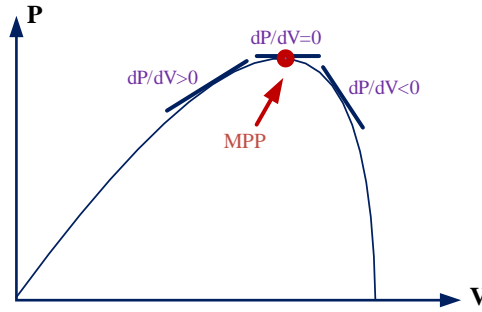
$$I_{PV} = I_{ph} - I_D - I_{Rp} \quad (4)$$

Denklem 2 ve Denklem 3 tekrar Denklem 4 üzerinde yerine koyulursa, fotovoltaik hücrenin akımı Denklem 5 ile elde edilmiş olur.

$$I_{PV} = I_{ph} - I_s \left(e^{\left(\frac{q(V_{PV} + I_{PV} \cdot R_p)}{A \cdot k \cdot T} \right)} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + I_{PV} \cdot R_p}{R_p} \quad (5)$$

2.2. Maksimum Güç Noktası Takip Algoritması

Maksimum güç noktası takibi (MPPT) algoritmaları, güneş panelleri gibi fotovoltaik kaynakların en verimli güç çıkışını elde etmek için kullanılmaktadır. Evirici devresi için kullanılan anahtarlama sinyallerinin görev oranı, sistemde kullanılan MPPT algoritmaları tarafından ayarlanmaktadır. Bu algoritmalar arasında yer alan Değiştir-gözle ve Artan İletkenlik algoritmaları bu tür sistemler için sıkça tercih edilen algoritmalarlardır [12-14]. Şekil 3'te MPPT güç noktaları incelendiğinde, güneş panelinin çıkış gücündeki eğimin sıfır olduğu yeri maksimum güç noktası olarak belirler.



Şekil 3. MPPT algoritması güç-gerilim karakteristiği.

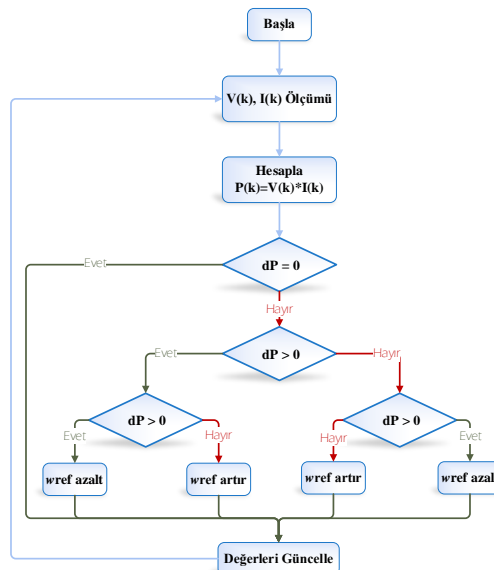
2.1.1. Değiştir-Gözle (P&O) Algoritması

Değiştir-gözle algoritması literatürde çok kullanılan ve diğer yöntemlere nazaran daha basit olan bir yöntemdir. Bu yöntemde öncelikle panel gerilimi ve akımı ölçülür ve panel gücü ilk durumda hesaplanır. Gerilimdeki veya akımdaki değişimler göz önünde bulundurularak panelin gücü ikinci kez hesaplanır. Sonuçta hesaplanan bu iki güç arasında fark yok ise algoritma başa döner ve yeniden güç hesapları yapar. Eğer güç değerleri arasındaki fark sıfırdan büyük veya sıfırdan küçük ise bu kez algoritma panel gerilimine ve değişimine bakar. Bu iki gerilim değeri arasındaki farka bakılarak, yarı iletken anahtarın görev oranı değiştirilir ve böylece maksimum güç noktası takibi yapılmış olur. Denklem 6 ve Denklem 8 arasındaki eşitlikler değiştir&gözle algoritmasını ifade etmektedir [15-17]. Şekil 4'te değiştir-gözle (P&O) algoritmasına ilişkin akış diyagramı verilmiştir.

$$P = V_{pv} * I_{pv} \quad (6)$$

$$dP/dV = 0 \quad (7)$$

$$dP/dV_{pv} = \frac{d(V_{pv} * I_{pv})}{dV} = 0 \quad (8)$$

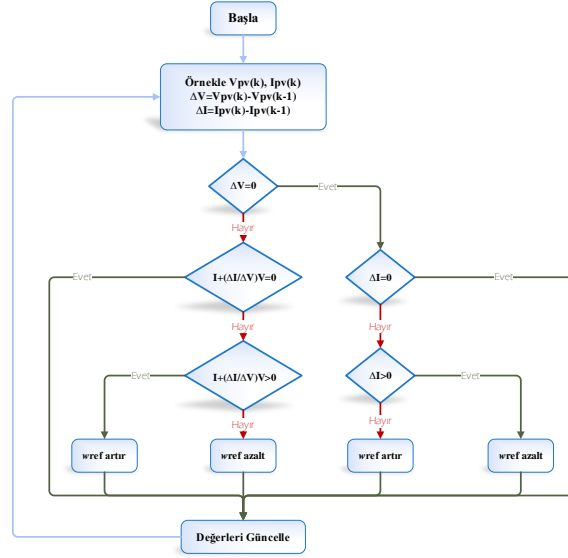


Şekil 4. Değiştir-Gözle (P&O) algoritması akış diyagramı.

2.1.1. Artan İletkenlik (IC) Algoritması

Artan iletkenlik yaklaşımı, PV çıkışının güç türevinin sıfıra eşit olduğu fikrine dayanmaktadır. Bu yaklaşım, performans açısından en iyilerden biri olarak kabul edilir, ancak daha pahalı ve karmaşık bir kontrol devresine ihtiyaç duymaktadır. Bir MPPT sisteminin optimum performans özellikleri arasında yeterli izleme hassasiyeti, hız, minimum sabit durum hatası ve yüksek verimlilik bulunur [18-20]. MPPT'de artan iletkenlik yöntemiyle elde edilen gerilim oranı da Denklem 7'de gösterildiği gibi sıfırdır. Denklem 9 artan iletkenlik algoritmasının temel bağıntısını vermektedir. Şekil 5'te ise Artan iletkenlik algoritmasına dair akış diyagramı verilmiştir.

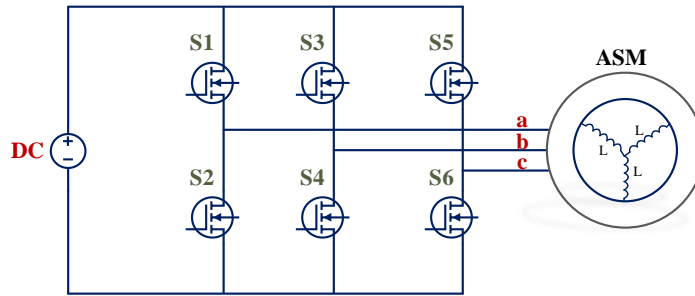
$$\frac{d(V*I)}{dV} = I + V * \frac{dI}{dV} = 0 \quad (9)$$



Şekil 5. Artan İletkenlik (IC) algoritması akış diyagramı.

2.3. Asenkron Motor ve Evirici Modeli

Solar sulama sistemde pompa olarak kullanılan asenkron motorun sürülmesi için DA/AA evirici devre yapıları kullanılmaktadır. Eviriciler, sabit bir DA gerilimi, istenilen frekans ve genlikte bir AA gerilime dönüştürürler. Evirici yapısını oluşturan anahtarlar her birine sinyal uygulanır ve bu anahtarlar tetiklenmiş olur. Düşük güçlü uygulamalarda tek fazlı eviriciler yeterli olabilirken, yüksek güç uygulamalarında üç fazlı eviriciler kullanılmaktadır. Üç fazlı eviricilerde, evirici devre, çıkışta üç faz gerilim dalgalarının elde edilebilmesi için karşılıklı olarak $2\pi/3$ derece faz farklı üç adet yarım köprüden oluşmaktadır [21]. Aynı kolun anahtarlar (örneğin, S1 ve S2), aynı anda iletimde olamaz. Şekil 6'da gerilim beslemeli üç fazlı bir eviricinin ve asenkron motorun temel devre yapısı görülmektedir.



Şekil 6. Gerilim beslemeli üç fazlı bir eviricinin ve asenkron motorun temel yapısı.

Fotovoltaik sistemden elde edilen gerilim, gerekli işlemlerden sonra evirici tarafından motora aktarılmaktadır. Bu işlemler arasında motor kontrol yöntemleri yer almaktadır. Bu yöntemlerden biri de alan yönlendirmeli kontrol (FOC) yöntemidir. Bu yöntem skaler kontrol yöntemine göre, tork kontrolü sırasında tork yükselme süresinde, hız kontrolü sırasında ise çözünürlük, hız sınırı, dinamik doğruluk gibi hususlarda üstünlük sağlamaktadır. Alan yönlendirmeli kontrol yönteminde, sistemde kullanılan üç fazlı yıldız bağlı bir asenkron motorun eviriciden aktarılan stator akımları, senkron hızda dönen d-q koordinasyon sisteminde, id ve iq bileşenlerine dönüştürülür. Denklem 10'da stator akımlarının dq bileşenlerine dönüştürmek için kullanılan matematiksel model verilmiştir. Stator gerilimleri ise d-q koordinasyon sistemindeki akımlar kullanılarak Denklem 11'de hesaplanmaktadır [22-24].

$$\begin{bmatrix} i_{s0} \\ i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} * \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\theta_s & \cos\left(\theta_s - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta_s + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta_s & -\sin\left(\theta_s - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta_s + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} V_{sd} &= R_s * i_{sd} - \omega_s * \left[\sigma * L_s * i_{sq} + \frac{L_m}{L'_r} * \psi_{rq} \right] + \frac{d}{dt} \left[\sigma * L_s * i_{sd} + \frac{L_m}{L'_r} * \psi_{rd} \right] \\ V_{sq} &= R_s * i_{sq} - \omega_s * \left[\sigma * L_s * i_{sd} + \frac{L_m}{L'_r} * \psi_{rd} \right] + \frac{d}{dt} \left[\sigma * L_s * i_{sq} + \frac{L_m}{L'_r} * \psi_{rq} \right] \end{aligned} \quad (11)$$

Burada; i_{sd} , i_{sq} , V_{sd} , V_{sq} , sırasıyla koordinasyon sistemindeki stator faz akım ve gerilimlerini ifade etmektedir. Ayrıca, R_s , stator faz sargı direncini; L_s , stator endüktansını; L'_r , statora indirgenmiş rotor endüktansını; L_m , mıknatıslama endüktansını ve σ , kaçak endüktansı ifade etmektedir. Stator güç kayıpları ihmal edilirse, stator besleme gerilimi kullanılarak üç fazlı asenkron motorun momenti (T) Denklem 12'den hesaplanabilir.

$$T = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot \frac{V_s^2}{\pi f} \cdot \frac{R_r/s}{(R_r + R_r/s)^2 + (X_{ls} + X_{lr})^2} \quad (12)$$

Burada; P , çift kutup sayısını; V_s , stator gerilimini; R_r , rotor direncini; X_{ls} , stator endüktif reaktansını; X_{lr} , rotor endüktif reaktansını ve s , kaymayı ifade etmektedir. Solar sulama sistemindeki pompanın birleşik tork dinamikleri ise Denklem 13 ile tanımlanabilir.

$$T_e = J * \frac{d\omega}{dt} + B * \omega \quad (13)$$

Burada; J , eylemsizlik momentini; ω , rotor açısal hızını ve B , sönüm katsayısını ifade etmektedir. Afinite Kanunları, hız ile diğer fan veya pompa değişkenleri arasındaki ilişkiyi tanımlar [25]. Bu yasaya göre, akıştaki değişim (Q), hızdaki değişimle orantılıdır; basma yüksekliğindeki (H) değişim, hızın karesindeki değişim ile orantılıdır ve güçteki değişim (P), hızdaki değişimin küpüyle orantılıdır. Denklem 14'te verildiği gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} Q &= \omega \\ H &= \omega^2 \\ P &= \omega^3 \end{aligned} \quad (14)$$

3. SOLAR SULAMA SİSTEMİ PSIM MODELİ

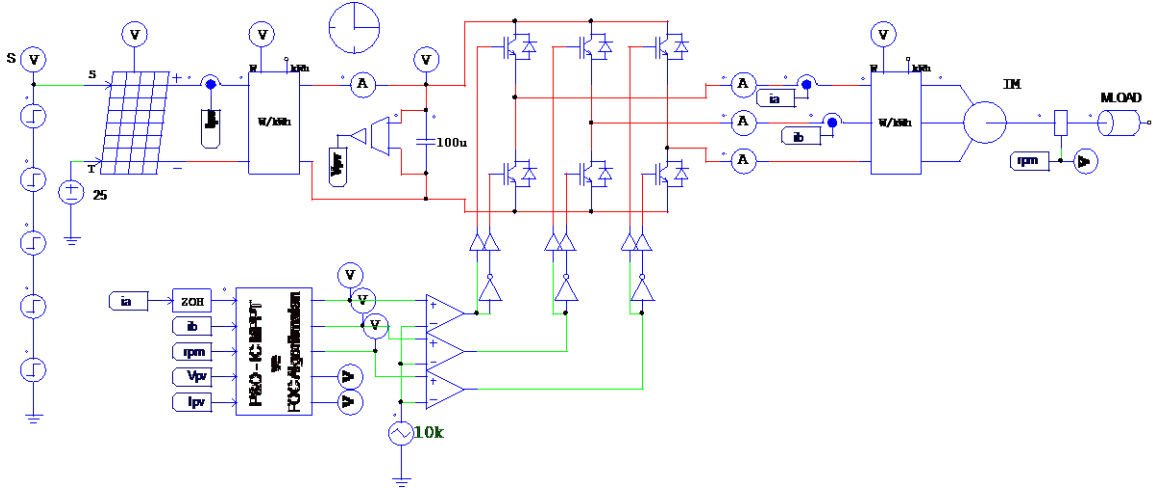
Önerilen solar sulama sisteminin benzetimi Tablo 1'deki parametreler kullanılarak PSIM yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımı ve benzetimi yapılan solar sulama sistemi, 1000 W/m² ve 25°C standart hava şartlarında yaklaşık olarak 3 kW güç aktarabilen PV dizisine sahiptir. Benzetimi yapılan solar sulama sistemi Şekil 7'de verilmiştir. Sistemin kontrol edilmesi amacıyla programda C blok kullanılmış ve C kodları ile P&O - IC MPPT algoritmaları ve alan yönlendirmeli kontrol (FOC) kullanılarak motor sürme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Motor ve PV dizi parametreleri.

PV Panel Parametreleri		
Açık devre gerilimi	V_{oc}	36 V
Kısa devre akımı	I_{sc}	9,8 A
MPP gerilimi	V_{mp}	34,22 V
MPP akımı	I_{mp}	8,83 A
Seri bağlı panel sayısı	N_s	10 adet
Motor Parametreleri		
Anma gerilimi	V_{rms}	300 V
Frekans	f_s	50 Hz
Nominal devri	n_s	1000 d/d
Stator sargı direnci	r_s	0,294 Ω
Rotor sargı direnci	r_r	0,156 Ω
Stator sargı endüktansı	L_s	1,39 mH
Rotor sargı endüktansı	L_r	0,74 mH
Mıknatıslanma endüktansı	L_m	41 mH
Çift kutup sayısı	$2P$	6

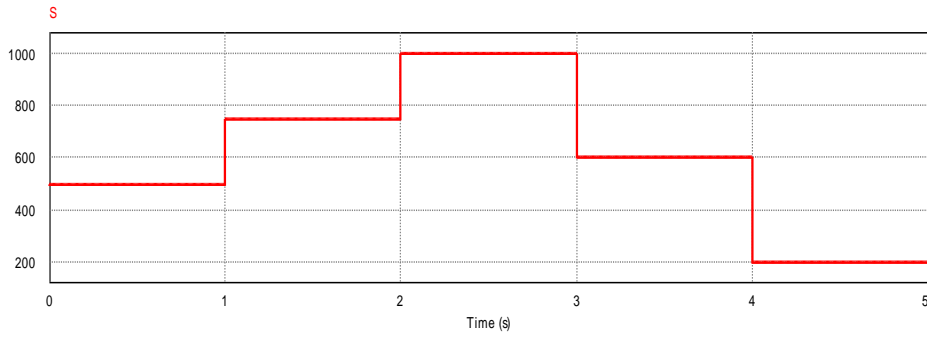
Fotovoltaik sistemlerin verimi çeşitli faktörlerden etkilenebilmektedir. Bu faktörler arasında özellikle ışınım şiddeti ve sıcaklıklar büyük rol oynamaktadır. MPPT algoritmaları da verimin artırılması ve korunması noktasında her şartta başarı göstermelidir. Yapılan benzetim çalışmasının amacı da farklı ışınım değerlerinde maksimum güç noktasının takibini gözlemlemek ve başarılı bir şekilde yapılmasını desteklemektir. Benzetim çalışmasında sıcaklığı sabit tutmak şartıyla 500, 750, 1000, 600 ve 200 W/m² ışınım durumlarında P&O ve IC algoritmaları test edilmiştir. Çalışmadaki senaryoya göre ışınım değerlerinin değişimi Şekil 8'de verilmiştir.

Benzetim çalışması sonucunda elde edilen güç değerleri ve güç takibinin gösterimi P&O tekniği için Şekil 9'da verilmektedir.

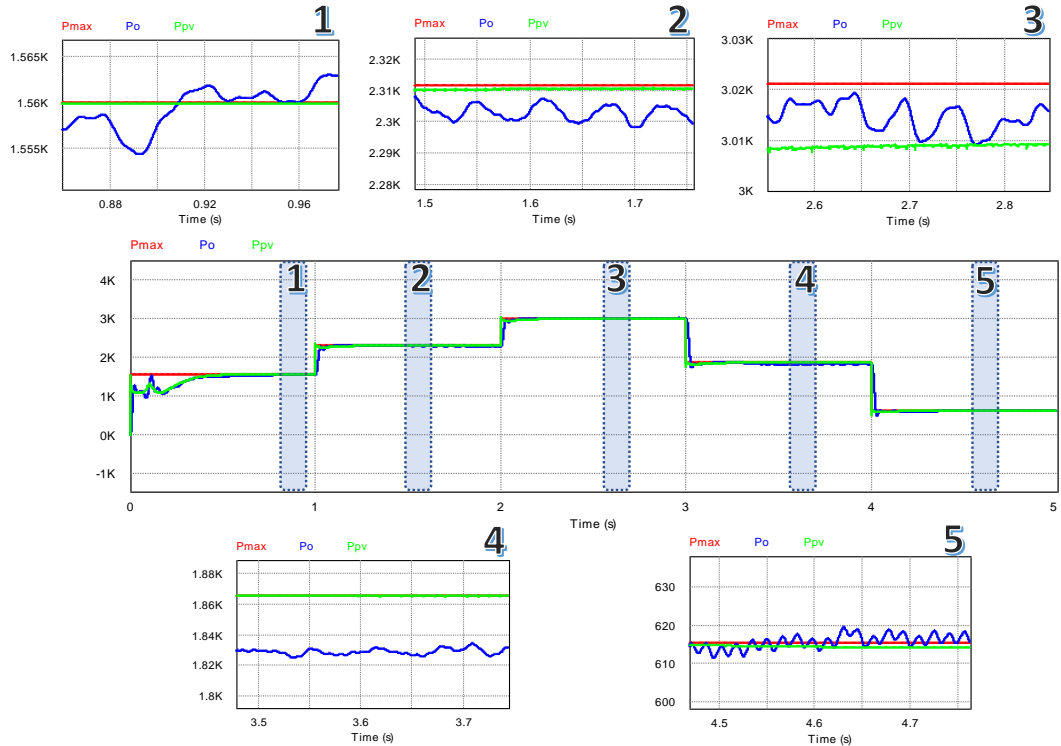


Şekil 7. Önerilen solar sulama sisteminin PSIM devresi.

Verilen şekilde P_{max} değeri sistemde kullanılan fotovoltaik dizinin maksimum gücünü, P_{pv} değeri fotovoltaik dizinin anlık verdiği gücü ve P_o değeri motorun giriş gücü değerini ifade etmektedir.

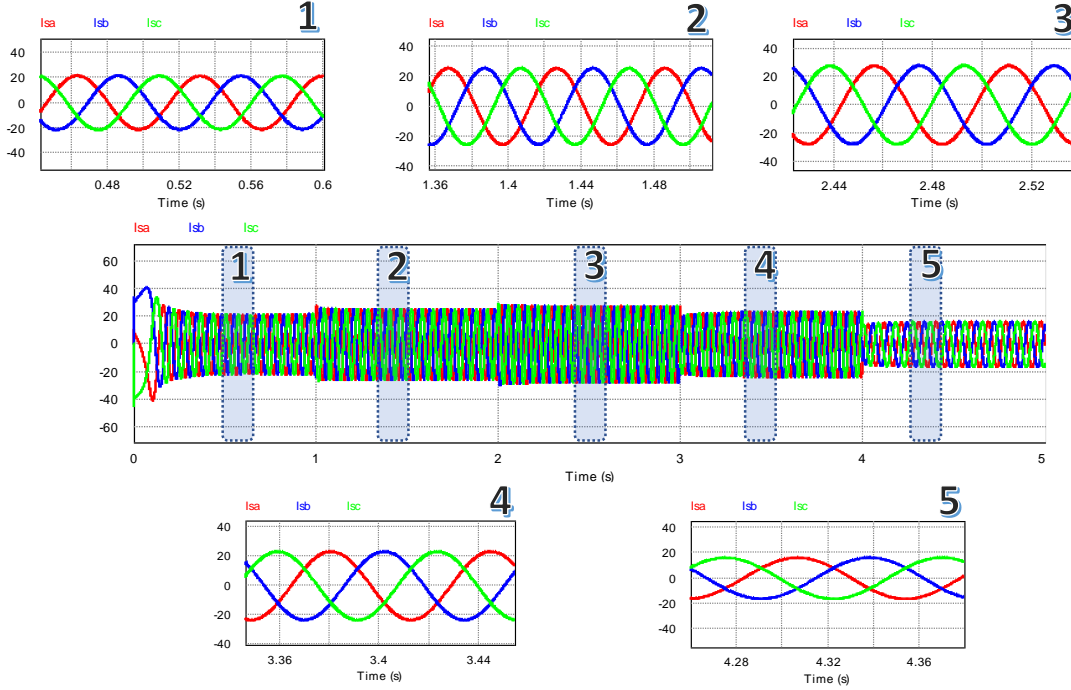


Şekil 8. Benzetim çalışmasındaki senaryoya göre ışınım değişimi.



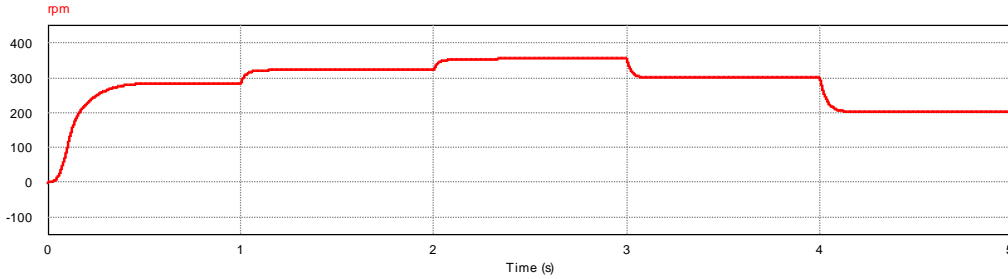
Şekil 9. P&O algoritması için güç grafikleri.

Şekil 9'dan da anlaşılacağı üzere ışınım değeri artış gösterdikçe fotovoltaik dizinin ürettiği güç değeri de artmaktadır. Benzer şekilde ışınım değerinin azaldığı durumlarda da üretilen güç değeri düşmektedir. Değişken ışınım değerleri asenkron motorun stator akımlarında da değişikliğe sebep olmaktadır. Şekil 10'da P&O algoritması için faz akımları gösterilmiştir. I_{sa} , I_{sb} ve I_{sc} sırasıyla a,b,c faz akımlarını ifade etmektedir. Akım grafiklerine bakıldığında ışınım değeri arttığında akım değerlerinde de artış olduğu gözlenmektedir.

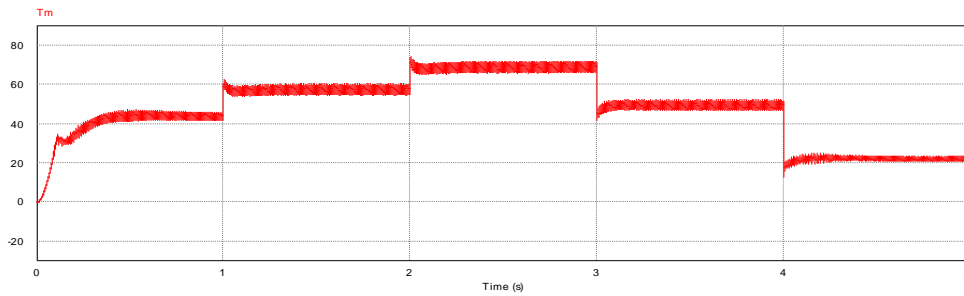


Şekil 10. P&O algoritması için asenkron motor stator akımları.

Sistemde kullanılan asenkron motorun hızı, değişen ışınım miktarlarında üretilen güce göre değişiklik göstermektedir. İlk çalışmada P&O algoritmasının kullanımı ile asenkron motorun hız değişimi Şekil 11 ile sunulmaktadır. Şekilden de anlaşılacağı üzere ışınım değeri arttıkça asenkron motorun da hızı bu doğrultuda artmaktadır. P&O algoritması kullanımında asenkron motorun tork değerlerinin değişimi ise Şekil 12'de verilmiştir.



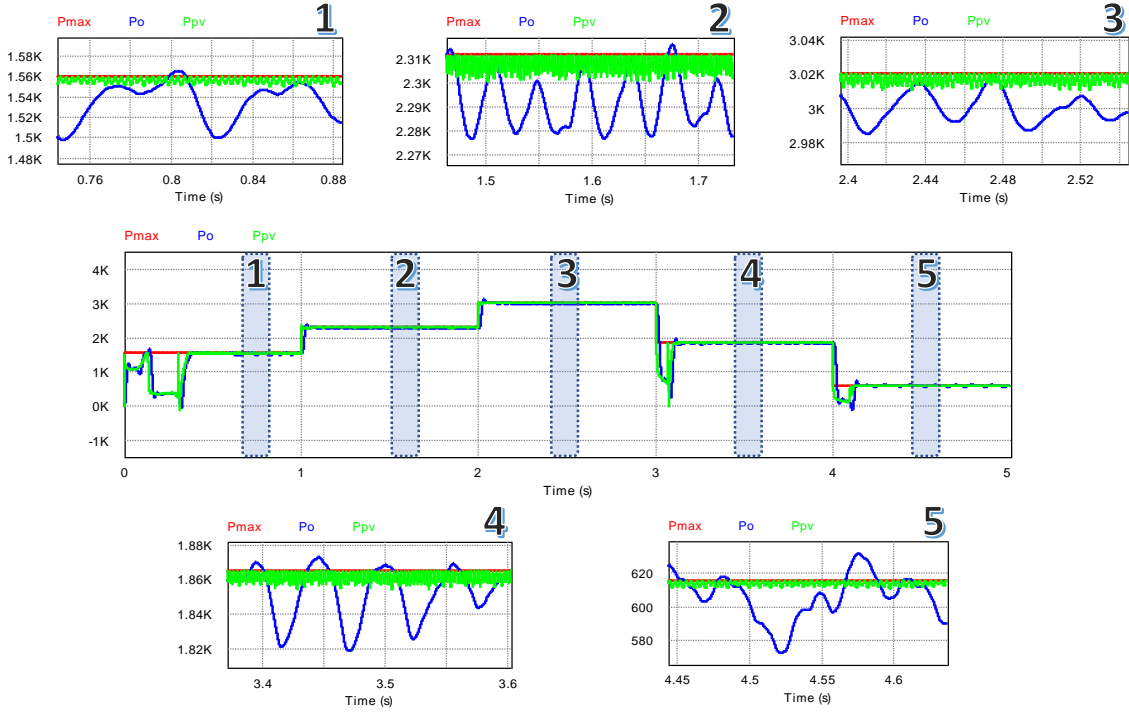
Şekil 11. P&O algoritmasında asenkron motor hız değişimi.



Şekil 12. P&O algoritmasında asenkron motor tork değişimi.

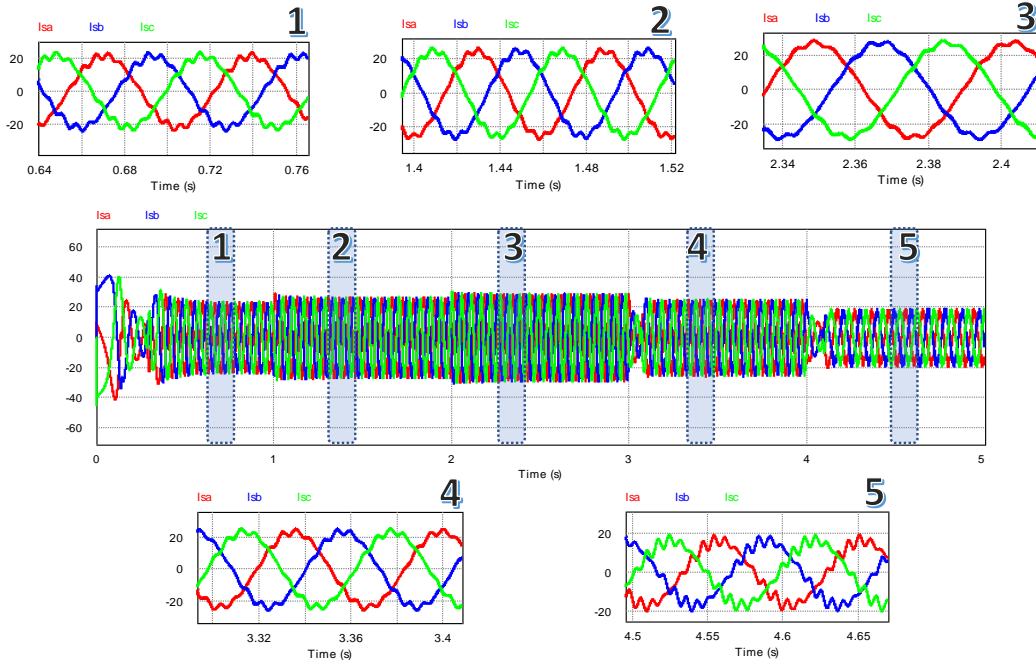
P&O algoritması ile yapılan benzetim çalışması sonucunda sistem fotovoltaik dizinin maksimum gücü ve motora aktarılan güç değerleri analiz edilerek MPPT verimi elde edilmiştir.

Aynı senaryo IC algoritması kullanılarak tekrar edilmiş ve sonuçlar alınmıştır. Bu teknikte de P&O'da olduğu gibi benzer değerler gözlenmiştir. Şekil 13'te IC algoritması kullanılarak elde edilen güç değerleri sunulmuştur.



Şekil 13. IC algoritması için güç grafikleri.

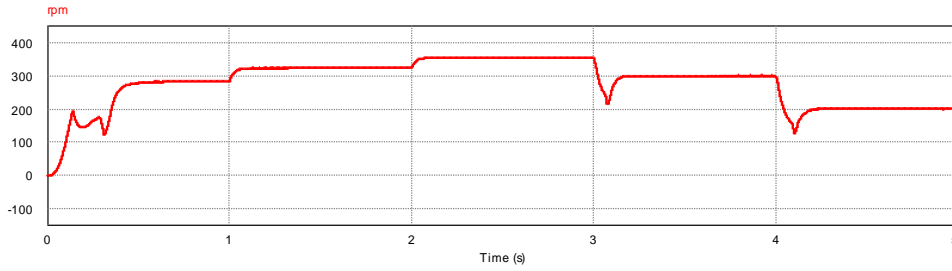
Şekil 13'e bakıldığında IC algoritmasının maksimum gücü takip ettiği görülebilir. Fakat IC algoritması, P&O algoritmasına göre daha dinamik bir yapıya sahip olduğundan çalışma esnasında akım ve güç grafiklerinden de anlaşılacağı üzere salınımlar meydana gelmektedir. Aynı zamanda ışınlım değerlerinin değiştiği anlarda maksimum güce yaklaşımları zaman alabilmektedir. P&O algoritmasında olduğu gibi bu teknikte de ışınlım değiştiğinde sistemde kullanılan asenkron motorun stator faz akımları da bu doğrultuda değişiklik göstermektedir. Şekil 14'te a,b,c fazlarına ait akımlar grafiksel olarak verilmektedir.



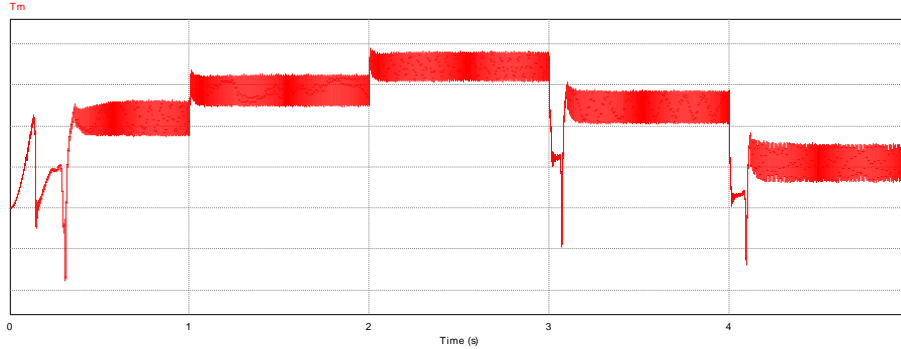
Şekil 14. IC algoritması için asenkron motor stator akımları.

IC algoritması uygulanan sistemde faz akımları incelendiğinde, akım sinyallerinde bozulmalar olduğu gözlemlenmiştir. Sistemin yararlandığı ışınlım miktarının değişimi, aynı zamanda algoritma da değiştiği için motor hızını etkilemektedir. ışınlım miktarının artması ile hızın bu doğrultuda arttığı Şekil 15'te sunulmuştur. Şekil

incelendiğinde düşük ışınım miktarında motor hızının anlık olarak bozulduğu gözlemlenmektedir. Son olarak bu teknik ile yapılan benzetim sonucunda motorun tork değeri grafiksel olarak Şekil 16'da verilmektedir.



Şekil 15. IC algoritmasında asenkron motor hız değişimi.



Şekil 16. IC algoritmasında asenkron motor tork değişimi.

Tork grafiğine bakıldığında uygulanan algoritma sonucunda salınımların oldukça fazla olduğu görülmektedir. Oluşan salınımların motora bağlı yükte sarsılmaya neden olacağından sulama sistemindeki su akışını da etkilemektedir. Bu durum sistem için dezavantaj yaratabilmektedir. P&O ve IC algoritmaları ile yapılan benzetim çalışması sonucunda sistemin verdiği sonuçlar analiz edilerek Tablo 2'de sunulmuştur. Sistemin veriminin hesaplanmasında sistem çıkış gücü P_o ve fotovoltaik diziden üretilen güç değeri P_{pvmax} kullanılmıştır.

Tablo 2. P&O ve IC algoritmaları için benzetim sonuçları.

	İşınım (W/m ²)	P_{pvmax} (W)	P_o (W)	η_{MGNT} (%)	n_r (d/dk)	T_m (N.m)
P&O	500	1560	1552	99,4	283	43,97
	750	2310	2304	99,7	324	57,6
	1000	3021	3015	99,8	355	69,15
	600	1865	1840	98,6	300	49,66
	200	615	614	99,8	201	22,46
IC	500	1560	1542	98,8	283	43,96
	750	2311	2292	99,1	324	57,63
	1000	3021	3005	99,4	355	69,1
	600	1865	1851	99,2	300	49,47
	200	615	606	98,5	201	22,24

4. SONUÇ

Bu çalışmada fotovoltaik sistemlerin tarımsal sulama alanında kullanılmak üzere MPPT tabanlı tek aşamalı bir evirici tasarımı yapılmıştır. Önerilen sistemde yaklaşık 3 kW güç sağlayabilen bir fotovoltaik dizi kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada hem karmaşık yapıların hem de maliyet artışının önüne geçilmek amaçlanmıştır. Bu sebeple sistemde herhangi bir DA-DA dönüştürücü yapısı kullanmadan doğrudan tek seviyeli evirici yapısı kullanılarak tasarım yapılmıştır. Böylece devre daha basit bir yapıya indirgenmiş ve dönüştürücünün oluşturacağı maliyet ortadan kalktığı için sistemin kurulum maliyetine katkı sağlanmıştır. Benzetim çalışması atmosferik değişimler göz önüne alınarak farklı ışınım değerlerinde ve farklı MPPT teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç grafiklerine bakıldığında her iki MPPT algoritması da güç takibini düzgün bir şekilde yaparak görevini başarıyla yerine getirdiği görülmektedir. Fakat bu iki algoritmanın birbirlerine karşı olan avantajları karar verme aşamasında detaylı incelemeye yöneltilmektedir. Maksimum gücün takip edildiğini görmek amacıyla iki teknik için de güç grafiklerine bakıldığında, IC tekniğinde P&O tekniğine kıyasla çok daha fazla salınımlar olduğu gözlemlenmektedir. Ayrıca P&O tekniği ışınım miktarından dolayı oluşan güç değişimlerinde maksimum gücü daha hızlı bir şekilde yakalayabilmektedir. Sisteme gelen ışınım miktarının değişimi asenkron motor stator akımlarını da etkilemiştir. Uygulanan tekniklerin ve ışınım değerlerinin değişimi motor hızını ve torkunu da

etkilemektedir. İki algoritmanın uygulanması sonucunda, P&O tekniğinde motor hızında daha düzgün davranışlar görülmektedir. IC tekniğinde ise ışının anlık değişmesi motor hızında bozulmalara neden olmuştur. Motor torku konusunda da benzer şekilde P&O tekniğinin kullanımı IC tekniğine nazaran daha az salınım göstermektedir. Her iki algoritmanın da %99'un üzerinde MPPT verimi sağladığı görülmektedir. Fakat IC tekniğinde verim yüksek olsa da diğer çıktılarına bakıldığında özellikle stator akımlarında yarattığı salınımların P&O tekniğine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Benzetim sonuçlarına göre, önerilen sistemin 200 – 1000 w/m² güneş radyasyonu arasında 3 kW'lık PV panellerden elde edilebilecek maksimum gücü asenkron motora başarılı şekilde aktardığı görülmektedir. Sistemde tasarlanan alan yönlendirmeli kontrol algoritmasının da pompa olarak kullanılan üç fazlı asenkron motorun tork kontrolünü başarılı şekilde yaptığı anlaşılmaktadır.

Yazar Katkıları

Tüm yazarların çalışmadaki katkı oranları eşittir.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Destek ve Teşekkür Beyanı

Bu çalışma Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje Numarası: BAP-22-1004-007.

KAYNAKÇA

- [1] C. Şahin, M. Karaçor and H. Özbay “Yenilenebilir enerji kaynağı kurulum gücü minimize katsayısının belirlenmesi”, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi vol. 15, pp. 404-411, 2019.
- [2] O. Bingöl, and B., Özkaya “A comprehensive overview of soft computing based MPPT techniques for partial shading conditions in PV systems,” Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, vol. 7, no. 4, pp. 926-939, 2019.
- [3] R. Şenol “Tarımsal sulama ve güneş enerjisi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, vol. 27, no. 3, pp. 519 – 526, 2012.
- [4] A. Karafil, H. Özbay, M. Kesler “Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi,” Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 2016.
- [5] İ. Yavuz, and H. Özbay “Rüzgar Türbinlerinde Kurulum ve Bakım Süreçleri: Bandırma Örneği”, Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi vol. 2, no. 2, pp. 58-68, 2020.
- [6] F., Kantaroğlu, “Fotovoltaik sistemler”, Türk Tesisat Mühendisleri Derneği, TTMD, 2010.
- [7] A.A. Esmail, S. Öncü, N. Altın “MPPT controlled three phase PV supplied water pumping system”, 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence, IEEE, pp. 1-5, 2021.
- [8] T. Ramesh “Solar powered based water pumping system using perturb and observation MPPT technique,” In 2018 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS), pp. 1-6, IEEE, 2018.
- [9] M.A. Eltawil, Z. Zhao “MPPT Techniques for Photovoltaic Applications”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 25, pp. 793-813, 2013.
- [10] I.K. Abdul-Razzaq, M.M.F. Sakr, Y.G. Rashid “Comparison of PV panels MPPT techniques applied to solar water pumping system”, International Journal of Power Electronics and Drive Systems, vol. 12, no. 3, pp. 1813-1822, 2021.
- [11] C. Sachin, and K.B. Shah “Solar photovoltaic fed induction motor for water pumping system using MPPT algorithm”, Int. J. Electr. Electron. Eng, vol. 7, no. 3, pp. 31-42, 2018..
- [12] S.S., Chandel, M.N. Naik, and R. Chandel “Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 49, pp. 1084-1099, 2015.
- [13] H. Özbay, S. Öncü, and M. Kesler “SMC-DPC based active and reactive power control of grid-tied three phase inverter for PV systems”, International Journal of Hydrogen Energy, vol. 42, no. 28, pp. 17713-17722, 2017.
- [14] O.N. Mahmmoud, S.R. Mehdi, K.S. Gaeid, and A.L. S. Al-Tameemi “Solar cell split source inverter for induction motor with computer control”, International Journal of Power Electronics and Drive Systems, vol. 14, no. 1, pp. 174-184, 2023.
- [15] Y.E. Keskin, M.E. Başoğlu, İ.G. Tekdemir, B. Çakır “Fotovoltaik Sistemlerde Değişir Gözle ve Artan İletkenlik Algoritmalarının Karşılaştırılması”, Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, pp. 91-95, 2014.
- [16] H. Özbay “Rezonans Dönüştürücülü Fotovoltaik Batarya Şarj Sistemi”, Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi vol. 2, no. 1, pp. 11-20, 2020.
- [17] U. Badak, A.B. Yıldız “Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Verim, Salınım Miktarı ve Yakınsama Süresi Açısından Karşılaştırılması,” Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, vol. 21, pp. 463-472, 2021.

- [18] A. Loukriz, H. Mourad and M. Sabir “Simulation and experimental design of a new advanced variable step size Incremental Conductance MPPT algorithm for PV systems”, ISA transactions vol. 62, pp. 30-38, 2016.
- [19] H. Özbay “PSIM simulation of flyback converter for P and O and IC MPPT algorithms”, European Journal of Engineering and Natural Sciences, vol. 2, no. 1, pp. 204-209, 2017.
- [20] H. Alrajoubi, S. Öncü, S. Kivrak “An MPPT Controlled BLDC Motor Driven Water Pumping System”, 10th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), pp. 116-119, 2021.
- [21] A. Karakaya “Asenkron Motorun Modellenmesi ve Modern Denetim Yöntemleri ile Hız Analizi”, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, vol. 7, no. 2, pp. 497-502, 2017.
- [22] A.Y. Yousef, and S.M. Abdelmaksoud “Review on field oriented control of induction motor”, Int. J. Res. Emerg. Sci. Technol, vol. 2, pp. 5-16, 2015.
- [23] A. Pal, S. Das, and A.K. Chattopadhyay “An improved rotor flux space vector based MRAS for field-oriented control of induction motor drives”, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 33, no. 6, pp. 5131-5141, 2017.
- [24] I.M. Mehedi, N. Saad, M.A. Magzoub, U.M. Al-Saggaf, and A.H. Milyani “Simulation analysis and experimental evaluation of improved field-oriented controlled induction motors incorporating intelligent controllers”, IEEE Access, vol. 10, pp. 18380-18394, 2022.
- [25] S. Özdemir, N. Altin, I. Sefa, and G. Bal “PV supplied single stage MPPT inverter for induction motor actuated ventilation systems” elektronika ir elektrotehnika, vol. 20, no. 5, pp. 116-122, 2014.