

DA Mikro Şebeke Sisteminin Tasarımı ve Yönetimi

Design and Management of DC Microgrid System

Waleed Khalid Abdulkareem Albayati¹, Selçuk Alparslan AVCI¹

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Karabük Üniversitesi
khalidmostafa368@gmail.com, selcukavci@karabuk.edu.tr

Özet

Güneş enerjisi kaynakları yalnızca gün boyunca ve PV (fotovoltaik) dizi kapasitesine ve ışınım düzeyine bağlı olarak belirli derecelendirmelerle güç sağlayabilirler. Bu nedenle mümkün olduğunca maksimum düzeyde kullanılmalıdır. Ancak bazen üretilen tepe gücü, yük talebinden daha fazladır ve artan enerji şebekeye bağlı eviriciler kullanılarak veya pil depolama sistemi gibi bir depolama cihazı kullanılarak şebekeye aktarılır. Bu çalışmada, depolama sistemli şebeke bağlantılı bir DA mikro şebekesi ve 10 kW kapasiteli PV dizisi simüle edilmiştir. PV dizisinde, maksimum güç noktasını izlemek için bir P&O maksimum güç noktası izleme algoritması kullanılır. İncelenen DA mikro şebekesi, AC ve DA yükleri içerir. Önerilen sistem, tüm beklenen çalışma durumları için simüle edilmiştir. MATLAB/Simulink programı kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonuçları, simüle edilen tüm durumlarda PV dizisinin maksimum gücü sağladığını ve yük paylaşımının PV dizisinden üretilen güce ve akü sisteminde depolanan enerjiye bağlı olduğunu göstermektedir. Öncelik, yüke PV dizisinden ve ardından akülerden gerekli elektrik enerjisinin sağlanmasıdır ve daha fazla talep varsa, elektrik şebekesi bunu sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Güneş Enerjisi, Mikro Şebekeler, MPPT, P&O, Tepe Gücü

Abstract

Solar energy sources can supply power during day only and with specific ratings depending on the PV array capacity and the irradiance level, therefore it should be used as much as possible. But the sometimes the produced peak power is more than the load demand, and the remaining energy transferred on the grid using grid-tied inverters or using a storage device such as a battery storage system. In this work a grid connected DC microgrid with storage system is and PV array with 10 kW capacity is simulated. A P&O maximum power point tracking algorithm is used to track the maximum power point for the PV array. The studied DC microgrid contains AC and DC loads. The proposed system is simulated for all expected operating cases. The simulation is done using MATLAB/Simulink program. The simulation results show that the PV array provides the maximum power, and the load sharing depends on the power generated by the PV array and the energy stored in the battery system, for all the simulated cases. The necessary electrical energy from the PV array and then the batteries, and if there is more demand the utility grid will supply it.

Keywords: Solar Energy, Microgrids, MPPT, P&O, Peak Power

1. Giriş

Bu Güç sistemi, daha güvenli, daha yeşil ve daha verimli bir akıllı şebekeye dönüştürülmek üzere tasarlanmıştır [1]. Bu aşamalı geçiş, çevresel hedeflere ulaşılmasına yardımcı olabilir, şebeke son kullanıcı etkileşimlerini içerir, dağıtılmış enerji kaynaklarının (DER) büyük ölçekli kombinasyonunu destekler ve güç kontrol tekniklerine ek olarak aşamalı yönetim yöntemlerine ihtiyaç duyar.

Elektriği yüksek seviyeli gerilim sistemlerinden orta ve düşük seviyeli müşterilere çeviren dağıtılmış sistemler, güç sistemindeki güç akışlarını besleyen temel bağlantılardır [2]. Yenilenebilir kaynaklar, enerji depolama sistemi ve dağıtılmış güç jeneratörleri [3] gibi DER'ler genellikle orta veya düşük seviyeli gerilimli güç cihazlarıdır ve normalde dağıtılmış sistemler aracılığıyla güç aktarır. Hızla artan sayıda DER ile dağıtılmış sistemler, beklenilmeyen zorluklarla karşılaşılır. 2030 yılına kadar DER'lerin evrensel toplam elektrik üretiminin yaklaşık %30'unu karşıladığını varsayılır [4]. Buna bağlı olarak, optimize edilmiş enerji verimliliği ve azaltılmış kirlilik ile daha çevre dostu bir elektrik güç sistemi kurulabilir. Fakat, DER'lerin sayısının artması, birkaç DER'in aralıklı olmasının bir sonucu olarak daha büyük bir üretim-harcama dengesizlik tehlikesine yol açabilir. Ayrıca, kararlılıkla ilgili sorunlar olan: bozulan güç kalitesi, salınım frekansı ve düzensiz voltaj gibi sorunlar ortaya çıkar. IEEE Std. 1547 gibi birçok protokol [5], DER'ler ile ilgili gömülü dağıtılmış sistemlerin çalışması için yüksek standartlar oluşturan uygulamalar başlattı. Ne yazık ki, yıllar önce yalnızca temel yerel yükleri sağlamak için tasarlanmış eski dağıtılmış sistemler, bu katı isteklerle karşılaşmak için yeterli seviyede değildir. Fakat bu protokoller, DER'lerin daha düzenli olmalarını, entegrasyonlarını ve kötüye kullanılmamalarını önemli ölçüde sağlamak için zorunludur.

2. Mikro şebekeler

Mikro şebeke, farklı dağıtılmış üretim kaynaklarının (DG'ler), güç bankası sisteminin ve yüklerin toplanmasını içeren modern bir sistemdir ve kullanıcılar için, dağıtılmış üretimin mevcut olduğu bazı alanlarda güvenilir, sürdürülebilir ve fiyat açısından rekabetçi maliyet gücü sağlayarak geleneksel elektrik şebekesine yardımcı olabilir. Klasik elektrik şebekesinde güç üretimi, büyük senkron jeneratörlerden bir

iletim/dağıtım ağı aracılığıyla son kullanıcılara tek yönlü olarak akan güç ve enerji ile son derece merkezleştirilmiştir. Ancak, konvansiyonel elektrik hizmetleri ile ilgili teknolojik sorunlar ve fosil yakıtların tutuşturulmasından kaynaklanan çevresel sorunlar, yeni bir güç sistemi teknolojisi geliştirmeyi zorunlu hale getirmiştir.

Rüzgar, fotovoltaik (PV), biyokütle, pil, mikro türbin, yakıt hücresi vb. gibi dağıtık enerji kaynağı (DER) birimlerinin gelişmesiyle birlikte, mikro şebeke sistemleri, bu teknolojileri entegre etmede etkili bir sistem olarak artan bu teknolojilere dikkat çekmiştir. DER birimleri elektrik şebekesi sistemlerine dönüştürülür. Aslında, mikro şebekenin belirli bir tanımı yoktur ve tanım farklı bölgelere veya ülkelere göre değişebilir. Şekil 1'de PV sistemleri, rüzgar enerjisi sistemleri, birleşik ısı ve güç ünitesi (CHP), mikro türbinler, yakıt hücreleri gibi DG'lerden oluşan bir mikro şebekenin tipik yapısını göstermektedir. Mikro şebekeleri AC ve DA tür olarak sınıflandırabiliriz.

AC mikro şebekeleri mevcut AC güç şebekesine bağlanabilir, ancak sistemin kararlılığını korumak için senkronizasyon işlemi karmaşık kontrol stratejileri gerektirir. DA mikro şebekelerde ise gelişmiş verimlilik ve daha iyi kısa devre koruması vardır. Ek olarak, genellikle aynı mikro şebeke sistemine bazı senkron birimleri (örneğin dizel jeneratörler) ve bazı senkron olmayan birimleri (örneğin mikro türbin makineleri) bağlarız. Daha fazla DA yükü (özellikle Hibrit Elektrikli Araçlar) seviyesini artırarak, çoklu (iki yönlü) yol dönüştürücüler aracılığıyla hibrit AC/DA senkron ve asenkron mikro şebekeler giderek daha popüler hale gelecektir. Şekil 2, güç elektroniği arayüzlerini ve çoklu DER birimlerini içeren hibrit bir AC/DA mikro şebeke tipik sistem yapısını göstermektedir [6].

2.1. Bağımsız DA mikro şebekeler

Mikro şebekeler AC, DA veya hibrit tip olabilir. Her türün avantajları ve dezavantajları vardır. DA mikro şebekeleri sayesinde, güç elektroniği arayüzlerinin basit olduğunu ve bunun da daha az arıza noktasına yol açtığını görebiliriz. Ayrıca, geleneksel AC şebekesine göre harmonik, reaktif güç ve yüksek verimlilik olmadığı gibi bu sistemde dengesizlik sorunları da yoktur. Bu avantajlara rağmen, sistemin karşılaştığı bazı zorluklar ise; farklı sistemlerin uyum sorunları, güç sisteminin korunmasıyla ilgili sorunlar, sistem konusunda deneyimli kişilerin olmaması ve sistemde kullanılan standart iletim hatlarının olmaması gibi sıralanabilir. Bu zorlukların tümü, DA mikro şebekelerin [7] önündeki engelleri temsil eder.

2.2. Şebekeye bağlı DA mikro şebekeler

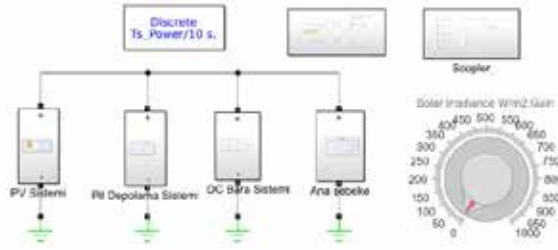
DA mikro şebekeler, baypas anahtarları aracılığıyla ortak bir bağlantı noktasındaki bir DA şebekeye bağlanarak bağımsız olarak adalı modda veya şebekeye bağlı modda çalışabilir [8]. Şekil 2.4'te gösterildiği gibi, bir DA mikro şebeke, yükü adalı modda sağlamak veya ana şebekeyi şebekeye bağlı modda beslemek için paralel olarak bağlanan ve birlikte çalışan çok sayıda dönüştürücülerden oluşur. DA mikro şebeke kontrol sistemi, voltaj değişimini azaltırken aynı zamanda derecelerine göre dönüştürücüler arasında optimum akım paylaşımını sağlamalıdır [9].

Uzman-bağımlı ve eğim kontrolü gibi birçok yaklaşım, DA mikro şebekeleri kontrol etmek için kullanılır. Uzman-bağımlı yaklaşımındaki ana dönüştürücü, DA mikro şebekenin voltajını yönetmekten ve yükü beslemek için diğer dönüştürücülere

sinyal göndermekten sorumludur. Ana dönüştürücünün arızalanması tüm sistemin arızalanmasına yol açtığından, bu sistem daha zayıf bir güvenilirliğe sahiptir [10]. Sarkma yaklaşımı, tüm dönüştürücüler bir DA mikro şebekenin voltajını yönetmekten sorumlu olduğunda yaygın olarak kullanılır. Düşme direnci ve referans voltajı, sarkma yönteminde her dönüştürücü için belirtilmesi gereken parametrelerdir. Sarkma direnci, dönüştürücü değeri kullanılarak hesaplanır. Sarkma yaklaşımı etkili bir yöntem olsa da, her bir dönüştürücüyü mikro şebekeye bağlayan hat direncinin etkileri nedeniyle birden çok dönüştürücü arasında daha az akım paylaşımı doğruluğu ve mikro şebeke voltajının yüklemeye ile düşmesi gibi birkaç dezavantajı vardır [11]. Bu makalede, sistemdeki gücü yönetmek için bu makalede eğim kontrol yaklaşımı kullanılmıştır.

3. DA mikro şebeke sistem modellemesi

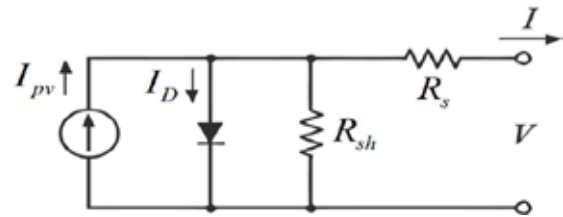
Önerilen sistem DA mikro şebeke sistemini temsil etmektedir. Sistem, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak PV dizi sisteminden, şarj kontrolörlü Batarya depolama sisteminden (EMS) ve AC & DA yüklerinden oluşmaktadır. Mikro şebeke sistemi ayrıca kontrolsüz tam köprü doğrultucu aracılığıyla elektrik şebekesine bağlanır. Önerilen sistemin her bir parçası, tüm sistemin Simulink modelini gösteren Şekil 1'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu modelde, PV dizi sisteminin ışınım seviyesini kontrol etmek için bir gösterge aracı kullanıldı.



Şekil 1: Önerilen sistem için simulink modeli.

3.1. PV sisteminin modellenmesi

Bir PV hücresi, davranışı Şekil 2'deki devre tarafından tahmin edilebilen doğrusal olmayan bir kaynaktır. Model, güneş pili davranışını matematiksel olarak tam olarak karakterize etmeyi sağlar. Modelin amacı, sıcaklık, güneş ışınımı, gerilim, akım ve maksimum güç üretimi arasındaki ilişkiyi bulmaktır. Daha sonra voltaj-akım karakteristiği çizilebilir. Sonraki bölüm, PV paneli için karakteristik eğriyi çizmek için gerekli parametreleri yaklaşık olarak belirlemenin bir yolunu açıklar.



Şekil 2: Tek diyotlu fotovoltaik hücrenin eşdeğer modeli.

Foton olayı, şekil 2'deki foton akımı IPV'sini oluşturan yük taşıyıcılarına neden olur. Bu, bir diyot ile paralel bir akım kaynağı olarak modellenilebilir. Şekil 2'de gösterildiği gibi ileri voltaj V ve diyot akımı ID'dir. Kaçak akım, akım kaynağına paralel bir direnç olarak modellenmiştir. Bu, şekil 2'de gösterildiği gibi içinden ISH akımı geçen ve metal kontak ile yarı iletken ve üst ve arka metal kontaklar arasındaki temas direnci olan Rsh şönt direncidir. Yük akımı I, güneş pilinin çıkış akımıdır [12]. Kirchhoff'un mevcut yasasına göre, çıkış akımı şu şekilde verilir:

$$I = I_{PV} - I_d - I_{SH} \quad (1)$$

Shockley diyot denklemi ile diyot üzerinden yönlendirilen akım şu şekilde tanımlanabilir:

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{q(V+I.R_S)}{mkT_C}} - 1 \right) \quad (2)$$

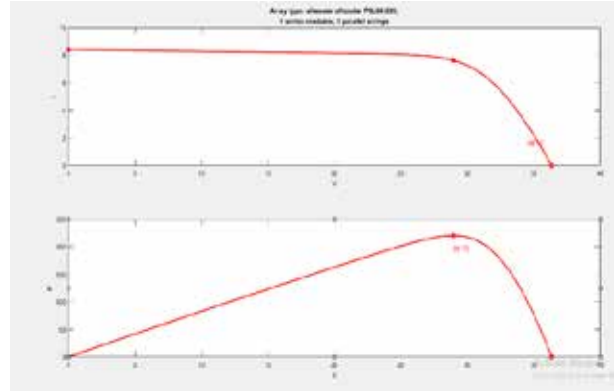
Paralel dirençten geçen akım şu denklemle gösterilebilir:

$$I_{SH} = \frac{V + I.R_S}{R_{SH}} \quad (3)$$

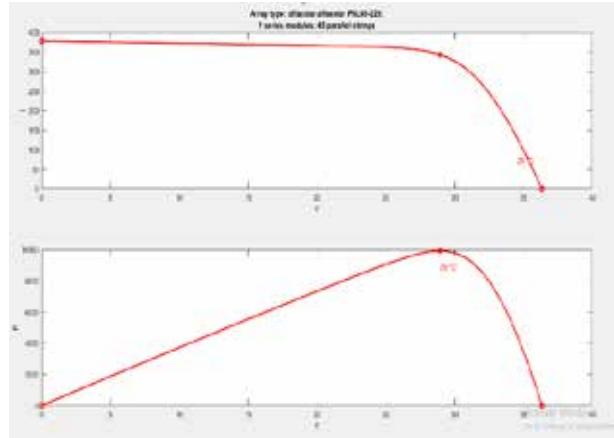
Foton akımı aşağıdaki denklemle ifade edilebilir:

$$I_{PV} = [I_{SC} + K_i(T_C - 298)] * \frac{G}{1000} \quad (4)$$

Bu sistemde kullanılan güneş paneli modeli Alfa solar P6L60-220 olup, tek seri modül oluşturmak için beş dizi paralel yöntemle bağlanmıştır. Kullanılan PV dizisi modeli için PV & IV karakteristik eğrileri; tek modül ve PV dizisi şekil 3 ve şekil 4'te gösterilmiştir. Işınlama seviyesinin değiştirilmesi PV hücre panelinde voltaj değişimlerine neden olur. PV hücre panelinin akımı doğrudan ışınlama seviyesi ile ilgilidir.



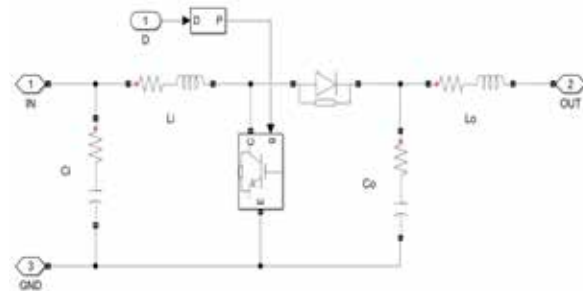
Şekil 3: PV dizisinin tek modülü için PV-IV eğrileri.



Şekil 4: PV dizi sistemi için PV-IV eğrileri.

3.2. PV sistem kontrolü

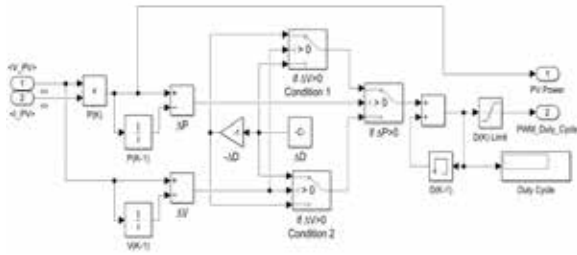
PV sistem dizileri, kritik DA yüklerine, doğrusal olmayan IV özelliklerinden dolayı doğrudan verimli bir şekilde sisteme bağlanamaz. Bu nedenle, PV sistem voltajını artırmak için DA-DA yükseltici dönüştürücü içeren PV güç kontrol sistemi kullanılacaktır [13]. DA-DA yükseltici dönüştürücü tasarım devresi şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Yükseltici dönüştürücü.

Maksimum güç izleme sistemi (MPPT), PV hücreleri tarafından çıkarılabilecek maksimum güç noktasını izlemek için kullanılır. PV ve IV eğrilerini içeren karakteristik grafikler,

güneş panelleri üzerindeki güneş ışınımından ve güneş hücrelerinin sıcaklığından etkilenecektir ve maksimum güç izleme sisteminden alınan sıcaklık ve güneş ışınım değerleri değiştikçe dalgalanacaktır. Perturb and Observation Tanique, uygulanması kolay olduğu ve daha karmaşık algoritmalarından daha az hesaplama kaynağı gerektirdiği için kullanılır. P&O algoritması için mantık akış şeması şekil 6'da gösterilmiştir. P&O, iki ardışık ölçüm noktasındaki çıkış gücünü karşılaştırarak PV panelinin voltajını veya akımını düzenler.



Şekil 6: MPPT P&O algoritması.

3.3. Enerji depolama sistemi

Yenilenebilir enerji kaynakları kesintili olduğundan, güneş enerjisi üretiminin çok az olduğu veya hiç olmadığı dönemleri telafi etmek için bir enerji depolama sistemi gereklidir. Enerji depolama sistemi temel olarak pili ve pil şarj kontrol cihazını içerir. Enerji depolama sistemi, güç dalgalanmalarının etkilerini dengeleyecek ve mikro şebeke güç sistemlerinin kurulu olduğu mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarının güvenilirliğini ve kararlılığını artıracaktır [14].

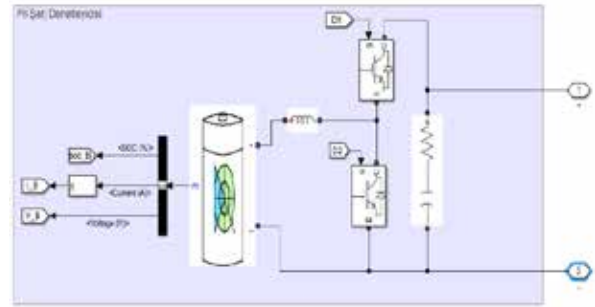
3.4. Enerji depolama sistemi kontrolü

Enerji Enerji depolama denetleyicisi, mikro şebeke sisteminde akü sistemine giden ve akü sisteminden gelen akım akışını kontrol etmek için kullanılır. Pili korumak ve DA bara voltajını düzenlemek için gerekli bir parçadır. Bu sistemde, Akü Sisteminin şarj kontrolörü olarak çift yönlü bir düşürücü - yükseltici dönüştürücü kullanılacaktır.

3.4.1. Çift yönlü dönüştürücü

Mikro şebekedeki pillerden ve pillere güç akışına izin vermek için bir düşürücü-yükseltici dönüştürücü gereklidir. Önceki düşürücü ve yükseltici dönüştürücüler, çift yönlü güç akışı özelliğine sahip değildir. Bunun nedeni, hepsinin tasarımlarında ters akım akışını engelleyen diyotların bulunmasıdır. Şekil 7'te gösterildiği gibi, düşürücü ve yükseltici dönüştürücülerin yetenekleri birleştirilerek ve diyotları anahtarlarla değiştirilerek çift yönlü bir dönüştürücü tasarlanabilir. Üstteki anahtar, dönüştürücüyü bir düşürücü dönüştürücü olarak çalıştırmak için kullanılır, gücü yüksek voltaj tarafından düşük voltaj tarafına aktarır ve alttaki anahtar, dönüştürücüyü düşük voltaj tarafından gücü aktaran bir destek dönüştürücü olarak çalıştırmak için kullanılır. yüksek gerilim tarafı Çift yönlü dönüştürücü, yenilenebilir enerji kaynaklarının dalgalanmalarını yumuşatmak ve gerilimi stabilize etmek için

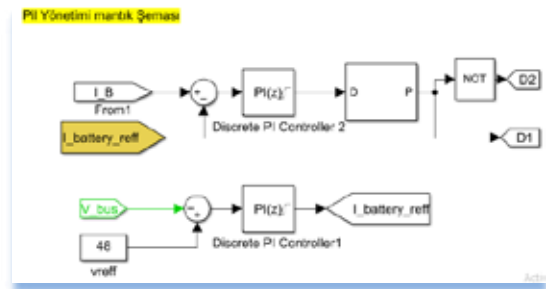
enerjinin aküye mi yoksa aküden mi gönderilmesi gerektiğini belirleyen bir şarj kontrolörü tarafından kontrol edilecektir [15].



Şekil 7: Bir düşürücü-yükseltici dönüştürücü devre şeması.

3.4.2. Enerji yönetim sistemi kontrol süreci

Pil şarj kontrolörü, tereyağından gelen veya tereyağına giden güç akışını kontrol eder. PV sistemi tarafından üretilen gücün yük gücünden fazla olması ve pil SOC'sinin değişken olması durumunda, şarj kontrol cihazı, fazla gücün pil sistemine doğru akmasına izin vermek için çift yönlü dönüştürücüyü kontrol edecektir. Diğer durumda, PV sistemi tarafından üretilen güç, yük gücünden daha azdır ve pil SOC'si değişkendir, şarj kontrolörü, pilde sıralanan gücün veri yolu sistemine doğru akmasına izin vermek için çift yönlü dönüştürücüyü kontrol edecektir. Kontrol işlemi iki döngü (gerilim döngüsü ve akım döngüsü) içerir; gerilim döngüsünde, akü referans akımını elde etmek için bara gerilimi ile bir referans gerilimi arasında bir karşılaştırma yapılır. Şarj kontrol sisteminde iki adet PI kontrolör kullanılmaktadır. Enerji yönetimi algoritması şekil 8 'te gösterilmiştir.



Şekil 8: Enerji yönetimi algoritması.

3.5. DA bara sistemi

DA bara hem DA yüklerini hem de AC yükünü içerir. DA yükünün, doğrudan DA barasına bağlı toplam 5 kW gücünde dirençli yük olduğu varsayılır. AC yükü DA baraya bir tam köprü tek faz üzerinden bağlanır ve toplam güce sahip kurulum trafosu 5 kW'dır. Yani, baraya bağlı toplam yükler 10 kW'dır. DA bara voltajı 48 VDA olarak ayarlanmıştır. DA barası, tam köprü kontrolsüz doğrultucu kullanılarak ana şebeke şebekesine bağlanır ve bu nedenle şebekeye gerçek güç iletme yeteneği yoktur. Enerji depolama sistemi, PV sistemi tarafından üretilen güç, yük talebini aştığında fazla gücü korumak için kullanılır. Bu arada, PV sistemi tarafından

üretilen güç yük talebinden daha az olduğunda, depolama sistemi yükü sağlayacaktır.

3.6. DA mikro şebekelerde enerji yönetimi

3.6.1. Enerji yönetim sistemi

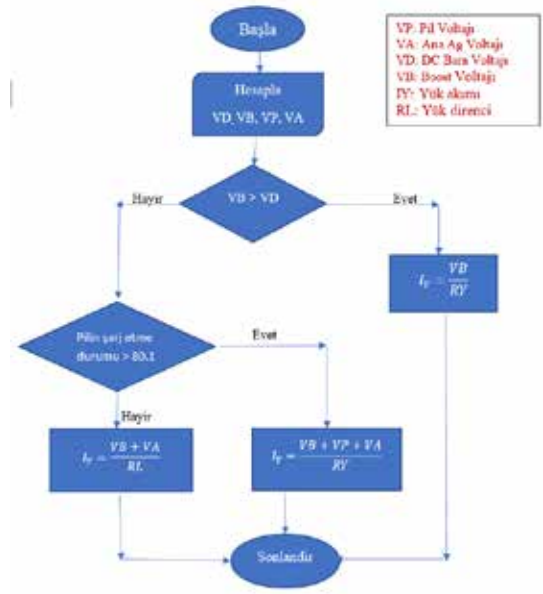
Güç yönetimi sorunlarını çözmek, birçok etkinlik ve deney yürüterek, geçtiğimiz on yıllar boyunca bazı araştırmacıların ana göreviydi. Enerji yönetimi, kaynaktan yüke akan gücün kontrol edilmesi anlamına gelir. Ve bu amacı gerçekleştirmek için; birçok farklı güç kontrol tekniği geliştirilmiştir [16]. Mikro şebekedeki güç kontrol teknikleri temel olarak aşağıdaki hedeflere ulaşmayı amaçlar:

1. Sisteme herhangi bir etkide bulunulmadan mikro şebekelerde yeni nesil dağıtılmış sistemler (DG'ler) ve dağıtılmış depolama sistemi (DS) ekleme veya çıkarma yeteneği ve esnekliği,
2. Ortak DC bara voltajındaki değişimi kolayca ve esnek bir şekilde düzenleme yeteneği,
3. Mikro şebeke içinde uygun enerji akışının kontrol edilmesini ve dengelenmesini sağlama,
4. Paralel güç dönüştürücüler arasında kararlı akım paylaşımını etkinleştirme ve güç yönetimi devresi ile güç dengesini sağlama.

Mikro şebeke enerji yönetimi, ekonomik güç dağıtımını hedefler. Enerji yönetimi, optimizasyona dayalı ve kurala dayalı yaklaşımlar olarak kategorize edilebilir. Birinci yaklaşımda, sistemin yönetimi matematiksel optimizasyon ile yapılır ve amaç fonksiyonu ve kısıtlar ile gerçekleştirilir. Ancak kural tabanlı bir yaklaşım, sistemi, çok etmenli bir sistem tarafından tanımlanan ve bulanık mantık yaklaşımlarına dayanan basit kurallara gibi ön ekli kurallara göre çalıştırır. Optimizasyon süreci, birçok kısıtlamayı karşılarken farklı yenilenebilir enerji üretimi ve yük gücü talebinin tahminini dikkate almalıdır. Bu makalede, sistemi kontrol etmek için kural tabanlı bir yaklaşım kullanılmıştır [16].

3.6.2. Enerji yönetim mekanizması

Yük paylaşımı, PV dizisi sistemi tarafından üretilen gerçek gücün miktarına bağlıdır. Güç akışı, DA-DA dönüştürücü tarafından yükseltildikten sonra PV sistemi tarafından üretilen gerilim ile tam köprü kontrolsüz doğrultucu DA çıkış gerilimi arasındaki fark olan DA-bara gerilimine bağlıdır. Şekil 9, yük paylaşım sürecinin algoritmasını göstermektedir.



Şekil 9: Yük paylaşım algoritması

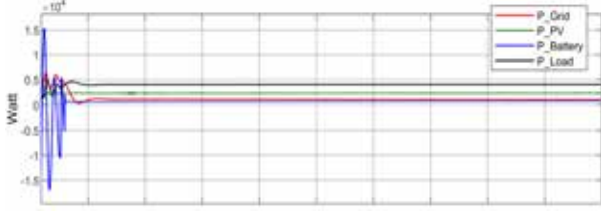
5. Sonuçlar

Toplam kapasitesi 10 kW olan bir PV dizisi, burada tipik AC ve DA yüklerine güç sağlamak için düşünülmüştür. 5 kW kapasiteli DA yükler doğrudan DA bus sistemine bağlanır. DA yüklerine eşit kapasiteli AC yükler ise tam köprü tek fazlı evirici ve yükseltici transformatör kullanılarak DA bara sistemine bağlanır. DA mikro şebeke sistemi için simülasyon sonuçları bu bölümde burada tartışılmaktadır. Sonuçlar, farklı ışınlama seviyeleri ve yük kapasiteleri altında kaydedilir. Işınlama seviyeleri 250 kW, 500 kW ve 1000 kW olarak kabul edilir. Yük kapasiteleri ise yarım yük ve tam yük olarak kabul edilir.

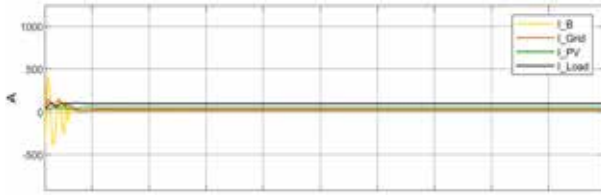
Durum 1: 250 W/m² Güneş Işınımı ve 0,5 yük

Bu durumda ışınlama seviyesi 250 W/m² olarak kabul edilir. Sistem yüklerinin yarı kapasitesi sistem barasına bağlanır. Sistemin güç göstergeleri şekil 10'da gösterilmiştir. Sistem akım ve gerilim eğrileri ise şekil 11 ve şekil 12'de gösterilmiştir. Sonuç olarak, PV sistemin ürettiği güç 2,5 kW'dır. Bus'a bağlı sistem yükleri ise 5 kW'dır. Böylece, PV sistemi yüklerin yarısına güç sağlar ve geri kalan yükler akü ve şebeke sistemi tarafından desteklenir. Akü deşarj modunda olacak ve aküde

depolanan gücün %20'sini aldıktan sonra akü duracak ve şebeke yükü beslemeye başlayacaktır.



Şekil 10: 250W/m² ve 0,5 yük durumunda sistem için güç göstergeleri



Şekil 11: 250W/m² ve 0,5 yük durumunda sistem akımları

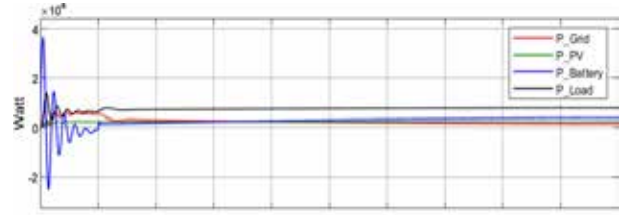


Şekil 12: 250W/m² ve 0,5 yük durumunda sistem gerilimleri

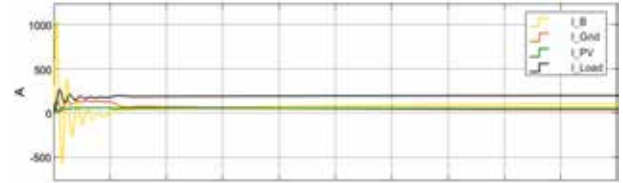
Durum 2: 250 W/m² Güneş Işınımı ve tam yük

Bu durumda ışınım seviyesi 250 W/m² olarak kabul edilir. Sistem yüklerinin tam kapasitesi sistem bus'a bağlanır. Sistemin güç göstergeleri şekil 13'te gösterilmektedir. Sistem akım ve gerilim eğrileri ise şekil 14 ve şekil 15'te gösterilmektedir. pil tepkisi şekil 16'te gösterilmiştir. Bu durumda PV sistem sadece 2,5 kW üretmektedir. DA baraya bağlanan yüklerin toplam kapasitesi ise 10 kW'dır. Böylece, PV sistemi yükün yalnızca 0,25'ine güç sağlar ve pil ve şebeke yükün geri kalan 0,75'ine güç sağlar. Akü deşarj modunda olacak ve aküde depolanan

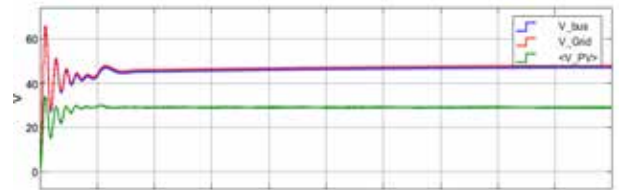
gücün %20'sini aldıktan sonra akü duracak ve şebeke yükü beslemeye başlayacaktır.



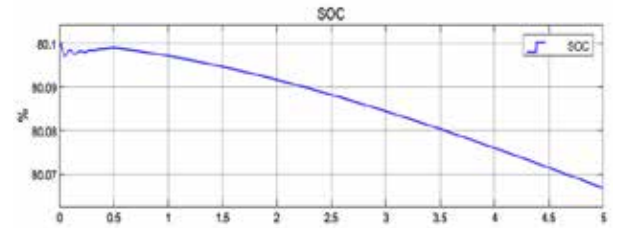
Şekil 13: 250W/m² ve tam yük durumunda sistem için güç göstergeleri



Şekil 14: 250W/m² ve tam yük durumunda sistem akımları



Şekil 15: 250W/m² ve tam yük durumunda sistem gerilimleri

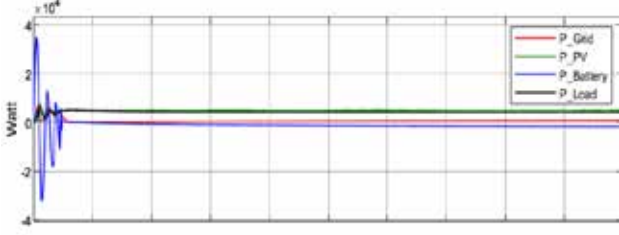


Şekil 16: 250W/m² ve tam yük durumunda sistemin pil tepkisi

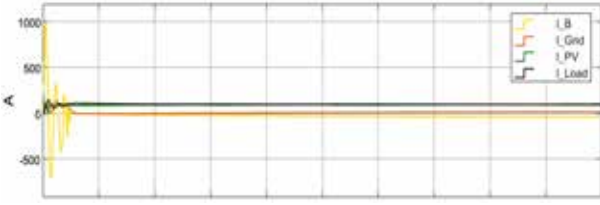
Durum 3: 500 W/m² Güneş Işınımı ve 0,5 yük

Bu durumda radyasyon seviyesi 500 W/m² olarak kabul edilir. Sistem yüklerinin yarı kapasitesi sistem barasına bağlanır. Sistemin güç göstergeleri şekil 17'de gösterilmiştir. Sistem akım ve gerilim eğrileri ise şekil 18 ve şekil 19'da gösterilmiştir. Bu durumda ise PV sistem 5 kW gerçek güç üretmektedir. Ayrıca DC baraya bağlı DC & AC yüklerin toplam kapasitesi ise 5 kW'dır. Bu nedenle, PV sistemi yüklerin tamamına güç sağlar ve akü ve şebeke yükün beslenmesinde etkisi yoktur. Akü sistemi şekil 20'de gösterildiği gibi şarj modunda kalacaktır. PV sistemi tarafından üretilen güç, yük sistemi tarafından talep edilen güce eşit olduğundan, akü sistemi ana şebekeden şarj olacaktır. Bu nedenle, şekil 20'de pilin şarj

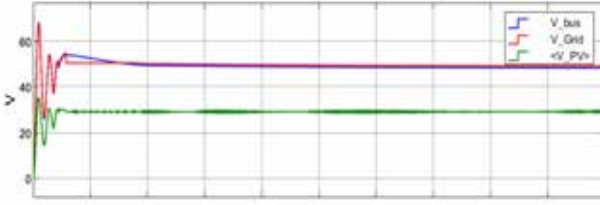
modunda olduğunu ve şekil 17'de şebeke gücünün eşit olmadığını göstermektedir.



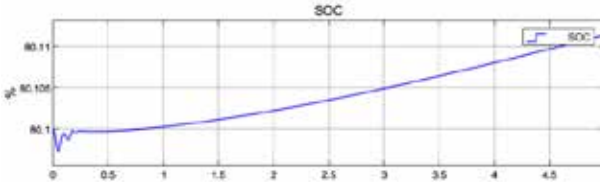
Şekil 17: 500W/m² ve 0,5 yük durumunda sistem için güç göstergeleri



Şekil 18: 500W/m² ve 0,5 yük durumunda sistem akımları



Şekil 19: 500W/m² ve 0,5 yük durumunda sistem gerilimleri

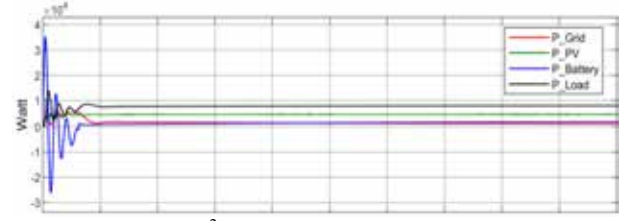


Şekil 20: 500W/m² ve 0,5 yük durumunda sistemin pil tepkisi

Durum 4: 500 W/m² Güneş Işınımı ve tam yük

Bu durumda ışınım seviyesi 500 W/m² olarak kabul edilir. Sistem yüklerinin tam kapasitesi sistem bus'a bağlanır. Sistemin güç göstergeleri şekil 21'de gösterilmektedir. Sistem akım ve gerilim eğrileri ise şekil 22 ve 23'de gösterilmektedir. Bu durumda ise, PV sistem 5 kW gerçek güç üretmektedir ve DA baraya bağlı DA & AC yüklerin toplam kapasitesi 10 kW'dır. Böylece, PV sistemi yüklerin %50'sine güç sağlarken, batarya ve şebeke, yükün geri kalan %50'sine güç sağlar. Akü sistemi deşarj moduna geçecek ve şarj durumu (SOC) deşarj moduna

geçecek ve akü bittiğinde şebeke yükü beslemeye başlayacaktır. Akü tepkisi şekil 24'te gösterilmiştir.



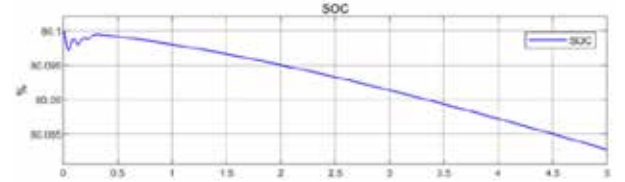
Şekil 21: 500W/m² ve tam yük durumunda sistem için güç göstergeleri



Şekil 22: 500W/m² ve tam yük durumunda sistem akımları



Şekil 23: 500W/m² ve tam yük durumunda sistem gerilimleri

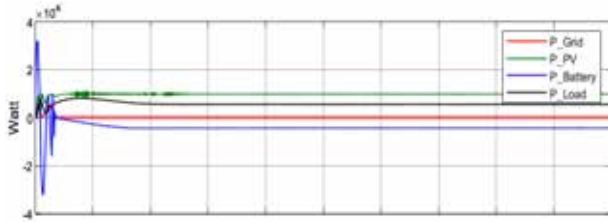


Şekil 24: 500W/m² ve tam yük durumunda sistemin pil tepki

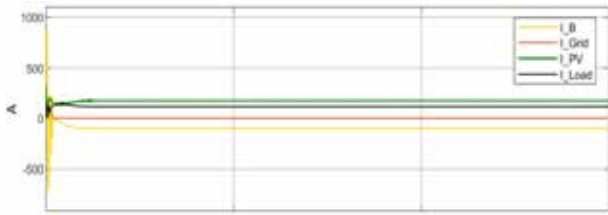
Durum 5: 1000 W/m² Güneş Işınımı ve 0,5 yük

Bu durumda ise, ışınım seviyesi 1000 W/m² olarak kabul edilir. Sistem yüklerinin yarı kapasitesi sistem barasına bağlanır. Sistemin güç göstergeleri şekil 25'de gösterilmektedir. Şekil 26 ve 27'de ise sistem akım ve gerilim eğrileri gösterilmektedir. Batarya ve şebeke, yükün geri kalan %50'sine güç sağlar. Bu durumda ise, PV sistem 10 kW gerçek güç üretmektedir ve DA baraya bağlı DA & AC yüklerin toplam kapasitesi 5 kW'dır. Böylece, PV sistemi yüklerin %100'üne güç sağlar ve fazla güç depolama sistemine yüklenir. Akü şarj modunda kalırken, şebeke yükün beslenmesine katılmaz. FV Sistem gücü nedeniyle, maksimum yükü karşılayacaktır ve mikro şebeke sisteminin genel performansı, yarı yüklü veya tam yüklü

durumda aynı kalacaktır. Bu nedenle, sonuçlar yalnızca yarım yük durumunda kaydedilir.



Şekil 25: 1000W/m² ve 0,5 yük durumunda sistem için güç göstergeleri



Şekil 26: 1000W/m² ve 0,5 yük durumunda sistem akımları



Şekil 27: 1000W/m² ve 0,5 yük durumunda sistem gerilimleri

6. Sonuçlar

DA yükü, AC yükü, MPPT sistemli PV dizisi ve Şekil 1'de açıklandığı gibi akü depolama sisteminden oluşan ve incelenen şebekeye bağlı DA mikro şebekesi, beklenen tüm çalışma durumları için simüle edilmiştir. Işınım seviyesi sıfır W/m²'den 1kW/m²'ye kadar derecelendirilmiştir. Beş çalışma durumu simüle edilmiştir ve tüm bu durumlarda PV dizisi maksimum güçte çalışmaktadır. P&O MPPT algoritmasının kullanılması, önerilen DA-DA yükseltici dönüştürücüye maksimum güç noktasını yüksek performansla izleme yeteneği verir.

PV dizi ve pil depolama sisteminden yükleri beslemek için seçilen öncelikli iki kaynağın değeri, yük talebinden daha az olduğunda, elektrik şebekesi gerekli enerji miktarını tamamlayacaktır. Pil şarjının sadece PV dizi gücüne bağlı olmasını sağlayacak şekilde tasarlanan BMS, ayrıca PV dizisi tarafından üretilen güç yük talebinden daha az olduğunda pilin yükleri beslemesini sağlar, ayrıca elektrik şebekesinden pil şarjını önerir.

Simülasyon sonuçları, önerilen sistemin hem yüksek hem de düşük ışınım seviyesinde yüksek performansını göstermektedir ve bundan dolayı önerilen sistem açık ve bulutlu havalarda kullanılabilir. Yük talebini aşan tüm

PV enerjisinin depolanmasını sağlamak için, akümülatör sisteminin minimum kapasitesi, PV dizisi maksimum gücü ile yük kapasitesi arasındaki farktan daha yüksek olmalıdır. Kontrolörlerin izolasyonu (MMPT & BMS) ile sistem daha güvenilir hale getirilir ve hızlı yanıt verir.

7. Kaynaklar

- [1] N. Pragma, R.K. Nema and S. Rangnekar. A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 2096-2103, 2009.
- [2] J.M. Guerrero, P.C. Loh, T. Lee and M. Chandorkar. Advanced Control Architectures for Intelligent Microgrids – Part II: Power Quality, Energy Storage, and AC/DC MicroGrids, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, pp. 1263-1270, 2012.
- [3] M. F. Akorede, H. Hizam, and E. Pouresmaeil. Distributed energy resources and benefits to the environment, *Renew. Sustain. energy Rev.*, vol. 14, pp. 724–734, 2010.
- [4] T. Adefarati, N. B. Papy, M. Thopil, and H. Tazvinga. Non-renewable distributed generation technologies: A review, *Handb. Distrib. Gener.*, pp. 69–105, 2017.
- [5] T. Funabashi. *Integration of Distributed Energy Resources in Power Systems*, Academic Press, Japan, 2016.
- [6] G. D. Wenzhong. *Energy storage for sustainable microgrid*, Academic Press, Japan, 2015.
- [7] K. Shah, P. Chen, A. Schwab, K. Shenai, S. Gouin-Davis, and L. Downey. Smart efficient solar DC micro-grid, 2012 *IEEE Energytech*, pp. 1–5, 2012.
- [8] J. M. Guerrero, J. C. Vasquez, J. Matas, L. G. De Vicuña, and M. Castilla. Hierarchical control of droop-controlled AC and DC microgrids—A general approach toward standardization, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, pp. 158–172, 2010.
- [9] M. Mokhtar, M. I. Marei, and A. A. El-Sattar. A control scheme for islanded and grid-connected DC microgrids, 2017 *Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, pp. 176–180, 2017.
- [10] R. A. F. Ferreira, H. A. C. Braga, A. A. Ferreira, and P. G. Barbosa. Analysis of voltage droop control method for dc microgrids with Simulink: Modelling and simulation, 2012 *10th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications*, pp. 1–6, 2012.
- [11] G. Niyitegeka, J. Choi, and Y. Ok. Improved droop control for effective load sharing and voltage regulation in DC microgrids, 2016 *Electric Power Quality and Supply Reliability (PQ)*, pp. 125–132, 2016.
- [12] K. Dubey and M. T. Shah. Design and simulation of Solar PV system, 2016 *International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT) IEEE*, pp. 568–573, 2016.
- [13] M. H. Rashid. *Power electronics: circuits, devices, and applications*, Pearson Education, India, 2009.
- [14] A. K. Podder, N. K. Roy and H. R. Pota. MPPT methods for solar PV systems: a critical review based on tracking nature, *IET Renewable Power Generation*, vol. 13, pp. 1615-1632, 2019.
- [15] J. A. Grant. *Design and Simulation of a DC Microgrid for a Small Island in Belize*, *Sustain. Energy Eng. Sch. Energy*, 2018.
- [16] D. W. Gao. *Energy storage for sustainable microgrid*, Academic Press, Japan, 2015.

Özgeçmişler



Waleed Khalid Abdulkareem Albayati, Lisans derecesini Kerkük Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden aldı. Yüksek lisans derecesini 2023 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden almıştır. Araştırma alanları MPPT ve yenilenebilir enerji konularıdır.



Dr. Selçuk Alparslan Avcı, 1984 yılında Karabük'te doğdu. Lisans derecesini 2007 yılında Kırıkkale Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden aldı. Yüksek lisans ve doktora derecelerini Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden sırası ile 2014 ve 2021 yıllarında almıştır. 2022 yılından beri Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır. Araştırma alanları elektromanyetik alanlar, plazma ortamlar, sayısal yöntemler, anten tasarımı ve yenilenebilir enerji konularıdır.

