
Araştırma Makalesi / Research Article

Mikro Şebekeler için Örnek Bir Enerji Yönetimi Uygulaması

Behçet KOCAMAN*

Bitlis Eren Üniversitesi, Tatvan Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Tatvan/Bitlis

Özet

Günümüzde enerji tüketimi giderek artmakta, çevre koruma bilinci gelişmekte ve enerji piyasasındaki serbestleşme istikrarlı ilerlemektedir. Bunların yanında dünya üzerindeki geleneksel enerji kaynakları dağılımı homojen olmamaktadır. Bu sebepler, yenilenebilir enerji kaynaklarından yeni teknolojiler geliştirilerek daha fazla yararlanmayı gerekli kılan politikalar üretmeye ve yakıt hücre tabanlı alternatif dağıtılmış üretim sistemlerine olan ilgiyi arttırmaktadır. Rüzgâr, fotovoltaik (FV) ve mikro hidroelektrik gibi enerji üretim sistemleri; umut verici ve en önemli yenilenebilir enerji teknolojileridir. Aynı zamanda yakıt hücre sistemleri; teknolojilerinin hızlı gelişmesi, yüksek verimlilikleri, çevreyi kirletici gazların sıfır veya düşük emisyonlu olması ve esnek yapıları gibi özelliklerinden dolayı, gelecekte dağıtılmış üretim uygulamalarında büyük bir potansiyel gösterecektir. Bu çalışmada, enerji dağıtım şebekelerinden veya yerleşim yerlerinden uzak tatil köyü gibi küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklı (rüzgâr, fotovoltaik, mikro hidroelektrik) hibrit bir mikro şebekenin enerji yönetimi, Microsoft Visual Studio C Sharp(C#) dilinde geliştirilen bilgisayar programıyla sağlanmıştır. Geliştirilen program ile üretim kaynaklarından alınan verilerle, yükün talep ettiği enerjinin en uygun kaynaktan karşılandığı görülmüştür. Bir günlük elde edilen sonuçlar grafiklerle analiz edilerek, enerji yönetiminin rolü açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Enerji yönetimi, Mikro şebeke, Yenilenebilir enerji kaynakları.

A Case of Energy Management Application for Microgrids

Abstract

Nowadays, consumption of energy is gradually increasing, the conscious for protecting environment is improving and liberalization in energy market is proceeding. Furthermore, the distribution of traditional energy sources is not homogeneous. These reasons are increasing interest to create policies for benefiting from renewable sources better by developing newer technology and to fuel cell based alternative distributed production systems. Energy production systems like wind, photovoltaic, micro hydroelectric are the promising and the most important renewable energy technologies. Moreover, fuel cell based systems will indicate a great potential for future applications of distributed production because of their quick developing technology, high productivity, pollutant gases with no or low emission and their elastic structures. In this study, energy management of a hybrid micro grid that was renewable energy based (wind, photovoltaic, micro hydroelectric) was provided by a computer program reformed in Microsoft Visual Studio C Sharp(C#) language in order to supply electric energy to small locations like holiday camps which were far away from energy distributing systems and other locations. It was observed that demanded energy was met by the data taken from production sources thanks to this developed program. The role of the energy management was explained by analyzing one-day results via graphics.

Keywords: Energy management, Micro grid, Renewable energy sources

* Sorumlu yazar: *bkocaman1@gmail.com*

1. Giriş

Elektrik enerjisi; iletimi, kullanımı ve kontrolü kolay, diğer enerji türlerine kolay dönüşebilen ve hayatımızda varlığı olmadan hiçbir şeyin anlam kazanmadığı temiz bir enerji türüdür. Bu enerji; insan yaşamında hayat kalitesini iyileştiren, sanayi üretimi için temel gereksinimlerden biri olan, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktördür. Artan enerji fiyatları, küresel ısınma ve iklim değişikliği, gerek dünyada gerekse ülkemizdeki nüfus artışı ve yaşam standartlarının yükselmesi, sanayi ve teknolojiye gelişmelere paralel olarak enerji talebindeki artış, hızla tükenmekte olan fosil yakıtlara bağımlılığın yakın gelecekte devam edecek olması, diğer dünya ülkelerine bağımlılıktan kurtulmak, arz güvenliği sağlamak ve yeni enerji teknolojileri alanındaki gelişmeler ülkeleri yeni arayışlara götürmektedir. Bu da elektrik enerjisi üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek oranda kullanılmasına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından dağıtılmış üretimin yaygınlaşmasıyla fosil yakıt kullanımının azalmasının yanında, iletim ve dağıtım kaynaklarında da azalma olması beklenmektedir.

Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından oldukça şanslı bir coğrafyada bulunmaktadır. Bu enerji kaynaklarının maliyetleri oldukça azdır, yenilenebilir olduklarından tükenmezler ve konvansiyonel yakıtların aksine çevre ve insan sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmazlar. Özellikle yer altı ve yer üstü kaynaklarımızın kısıtlılığı ve ülkemizin yağış rejimindeki düzensizlikler, su kaynaklarımızın elektrik üretiminde çok dikkatli bir şekilde kullanılmasını gerekli kılsa da özellikle; güneş ve rüzgâr enerjisinden yararlanarak, elektrik enerjisi üretimini tüm ülke genelinde gerçekleştirmek, gerekli yönetim ve politikalarla mümkün olabilecektir.

Ülkemizde 2012 yılının başından 31 Ağustos 2012 tarihine kadar geçen süre içerisinde üretilen elektrik miktarı 163 TWh olup kaynaklar bazında dağılımında % 70 termik ve % 30 yenilenebilir enerji kaynaklıdır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2023 yılına kadar; 36000 MW olan hidroelektrik potansiyelin tamamını kullanmayı, rüzgâr enerjisi santrallerinde 20.000 MW, jeotermal santrallerde 600 MW, güneş enerjisi santrallerinde 600 MW kurulu güce ulaşmayı ve elektrik arzındaki yenilenebilir enerji payını % 30'un üzerine çıkarmayı hedeflemektedir[1].

Geleneksel olarak yerleşim yerlerinin uzağında bulunan kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi, kayıpları azaltmak amacıyla üretim yerinde yüksek gerilime sahip olup, alternatif gerilim şeklinde iletilmekte ve dağıtım bölgesinde ise alçak gerilime indirilerek dağıtımı yapılmaktadır[2]. Önceleri, elektrik enerjisi merkezi olarak üretilip, uzak mesafelere iletim ve dağıtım yapılırken, son yıllarda ise artan tüketim ve geleneksel enerji üretimin neden olduğu çevresel sorunlardan dolayı elektrik enerjisi üretiminde merkezi olmak yerine dağıtılmış üretim sistemleri ve mikro şebekeler önem kazanmaya başlamışlardır.

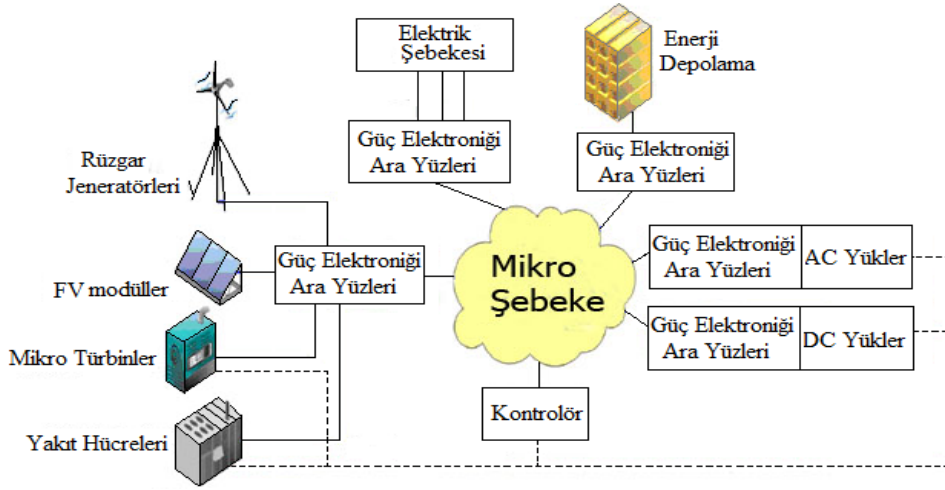
2. Mikro Şebeke

Mikro şebeke; geçen yüzyılın sonunda ortaya çıkan yeni bir enerji kaynağı ve şebeke yönetim teknolojisi olup bağımsız olarak kontrol edilen, dağıtılmış üretimle birlikte güç sağlayan elektrik şebekeleridir. Bunlar, yenilenebilir ve temiz kaynakların şebekeye dâhil olmalarına, talep tarafı yönetimi ve var olan enerjinin maksimum kullanımına izin verebilir. Temel şebekenin bir parçası ve endüstriyel/ ticari tüketici uygulamalarından oluşan bir mikro şebeke sistem, şebekeden bağımsız veya şebeke bağlantılı mod olarak çalışabilir. Şekil 1'de mikro şebeke yapısı ve bu yapıda bulunan rüzgâr türbinleri, mikro türbinler, yakıt hücreleri ve FV modüller gibi kaynaklar görülmektedir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi mikro şebekeler, güç elektroniğine dayalı dönüştürücü gibi bir ara yüzey birimi üzerinden şebekeye bağlanırlar. Güç elektroniği dönüştürücülerinin sisteme girmesi hem bağlı olduğu sistemin güç kalitesini etkiler, hem de yeni kontrol düzenlemeleri gerektirir[4].

Dağıtılmış enerji kaynakları, mikro şebeke içinde hem dağıtılmış üretim hem de dağıtılmış depolama enerji olabilir. Dağıtılmış üretim teknolojileri; içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri, kombine çevrim gaz türbinleri, mikro türbinler, yakıt hücreleri, rüzgâr türbinleri, FV güneş panelleri, güneş ısı, küçük hidroelektrik, jeotermal enerjisi, biyokütle, gel-git enerjisi ve dalga enerjisi gibi üretim birimleridir. Bu üretim birimlerinden, rüzgâr türbinleri, FV, küçük hidrolik generatörler, jeotermal enerji ve yakıt pilleri dünyada toplam güç üretiminde piyasa payını artırması beklenmektedir[5]. Enerji depolama birimleri ise; Volanlar/Uçan tekerlekler (Flywheels), Süper

kapasitörler (Ultra kapasitörler), süper iletken manyetik enerji depolama (SMES, Superconduction Magnetic Energy Storage) ve elektrokimyasal pillerdir[6].



Şekil 1. Mikro şebeke yapısı[3]

Mikro şebeke yaklaşımı, dağıtılmış enerji kaynaklarının tüketicilere yakın yerleştirilebilmeleri nedeniyle oluşan oldukça etkili enerji dağıtım ve besleme sistemini, tüketicilerin teknolojik tercihlerine ve güç kalitesi taleplerine dayanan emniyetli ve güvenilir bir besleme sisteminin oluşturulması ile kesintiler sırasında şebekeden bağımsız otonom bir şekilde işletebilmek için yeterli güç üretimine ve dengeleme kaynaklarına sahip bir şebeke yapısını gerektirmektedir. Bu çalışmada, mikro şebeke olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmuş hibrit bir şebeke kullanılmıştır.

3. Hibrit Güç Üretim Sistemi

Hibrit güç üretim sistemi; uygulamada en az iki veya daha fazla ham enerji kaynağından enerji üretimini gerçekleştiren sistemler ve paralel olarak birbirlerine katkıda bulunan ünitelerdir. Hibrit sistemlerdeki amaç, enerji kaynaklarının birlikte kullanımını sağlayarak hem verimi artırmak hem de kaynaklardan birinin olmaması veya azalması durumunda diğerlerinin sistemin enerji ihtiyacını karşılamasını sağlayabilmektir. Bu tür uygulamalarda kaynak sayısını ve kaynağın tipini belirleyen en önemli faktörler, enerji üretilecek bölgede kaynağın yeterli düzeyde olması ve bazı enerji türlerinde de sistemi bir araya getirmek için yeterli düzeyde teknolojinin mevcut olmasıdır. Hidrojen, biyokütle ve yakıt hücresi gibi enerji kaynakları buna örnektir. Hibrit sistemlerin güç kalitelerinin artırılması ve kalıcı durum performanslarının incelenmesi konusu da önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır [7].

3.1. Hibrit Güç Üretim Sisteminin Faydaları

Hibrit güç üretim sistemlerinin birçok faydaları bulunmaktadır. Bu faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir[8].

- Doğal bölgesel potansiyele dayalı kullanıcıların iki veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynaklarını birleştirme imkânı olması,
- Özellikle CO₂ emisyonlarını azaltma açısından çevreyi koruması,
- Düşük maliyetli rüzgâr enerjisi ve aynı zamanda güneş enerjisi, gelecekte özellikle olası fosil ve nükleer enerji maliyet eğilimleri dikkate alındığında rekabet olabilmemesi,
- Çeşitlilik ve arz güvenliği sağlaması,
- Hızlı dağıtım- modüller ve hızlı kurulum imkânına sahip olması,
- Yakıtın bol, tükenmez ve bedava olması,
- Maliyetlerin, yakıt fiyat dalgalanmaları etkisinde olmaması nedeniyle tahmin edilebilir olması.

Güç sistemi enerji yönetimi için modelleme, önemli bir bileşendir. Doğru bir model; birim bağlantı kararına, işletme maliyetine ve emisyon seviyelerini uygun hale getirmek için elektrik hizmetlerine yardımcı olur. Bunun yanında yük talebini karşılamada önemli bir rol oynar. Asıl gerekli olan mikro şebekenin güvenilirliğidir. Günümüzde mikro şebekelerin işletilmesi ve kontrolü ile ilgili olarak önemli araştırmalar gerçekleştirilmektedir. Şebekeden bağımsız hibrit sistemler, aynı zamanda enerji üretimindeki devamlılık süresini arttırmak için bataryalardaki enerji depolamayla birleştirilebilir. Bundan dolayı mikro şebekeyi oluşturan yenilenebilir enerji kaynaklı sistemin bileşenleri olan; rüzgâr enerji üretim sistemi, FV enerji üretim sistemi, mikro hidroelektrik enerji üretim sistemi, depolama birimi, elektrolizör ve yakıt hücresi birimleri ayrı ayrı açıklanmıştır.

3.2. Mikro Şebekeyi Oluşturan Hibrit Güç Sisteminin Üretim Kaynakları

3.2.1. Rüzgâr Enerji Üretim Sistemi

Rüzgâr, güneş radyasyonunun yer yüzeyini farklı ısıtmasından kaynaklanır. Yer yüzeyinin farklı ısınması, havanın sıcaklığının, neminin ve basıncının farklı olmasına, bu farklı basınç da havanın hareketine neden olur. Dünyaya ulaşan güneş enerjisinin yaklaşık % 2'si kadarı rüzgâr enerjisine çevrilir. Türkiye'de yer seviyesinden 50 metre yükseklikte ve 7.5 m/s üzeri rüzgâr hızlarına sahip alanlarda 5 MW/km² gücünde rüzgâr santrali kurulabileceği kabul edilmiştir. Bu kabuller ışığında Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak belirlenmiştir. Bu potansiyele karşılık gelen toplam alan, Türkiye yüz ölçümünün % 1.3'üne denk gelmektedir[9].

Rüzgârdan elde edilen enerji, üretildiği yerde tüketilmek veya enterkonnekte şebekeye verilmek zorundadır. Rüzgâr enerjisi çevrim sistemlerinin (rüzgâr türbini) enerji üretimleri, tamamıyla rüzgâra bağımlı olduğundan bu sistemler, sadece rüzgârlı yörelerde kurulabilirler. Rüzgâr enerjisinin en önemli sorunlarından biri üretim ve tüketim zamanları arasındaki farktır. Bu problem ancak enerjinin depolanmasıyla çözülebilmektedir. Depolanma yöntemlerinin en önemlileri şunlardır;

- Enerjinin bataryalarla depolanması yöntemi; sadece küçük işletmelerde, başka bir çözüm olmadığı zaman kullanılır; çünkü bataryalar maddi açıdan ek bir maliyet getirir.
- Suyu elektroliz yolu ile ayrıştırıp, elde edilen hidrojen depolanması yöntemi,
- Suyu pompalayarak potansiyel enerjisini artırma yöntemi,
- Enerjinin sıkıştırılmış havada depolanması yöntemi,
- Enerjinin ısı enerji şeklinde suda depolanması da bir başka yöntemdir.

Rüzgârdan üretilen elektrik enerjisinin türbin göbek (hub) yüksekliğindeki ortalama rüzgâr hızının bir fonksiyonu olarak sınıflanması aşağıda verilmektedir. Buna göre bulunan yerin ortalama rüzgâr hızı;

- 6.5 m/s rüzgâr hızı enerji açısından orta düzey,
- 7.5 m/s rüzgâr hızı enerji açısından iyi düzey,
- 8.5 m/s ve yukarısı rüzgâr hızı enerji açısından yüksek düzey olarak değerlendirilmektedir. Q debisine sahip bir V hızındaki rüzgârın gücü;

$$P = 0.5 QV^2 \quad (1)$$

olarak belirlenir. Bu ifadede kütleli debi $Q = \rho AV$ olarak yerine yazılırsa rüzgârın gücü için;

$$P = 0.5 \rho AV^3 \quad (2)$$

elde edilir. Denk.1 ve Denk.2'de;

P : Rüzgâr türbini tarafından üretilen teorik güç(watt)

$$A = \pi D^2/4 \quad (3)$$

A : Rotor süpürme alanı (m²)

D : Rotor çapı (metre)

V : Rüzgâr hızı (m/s)

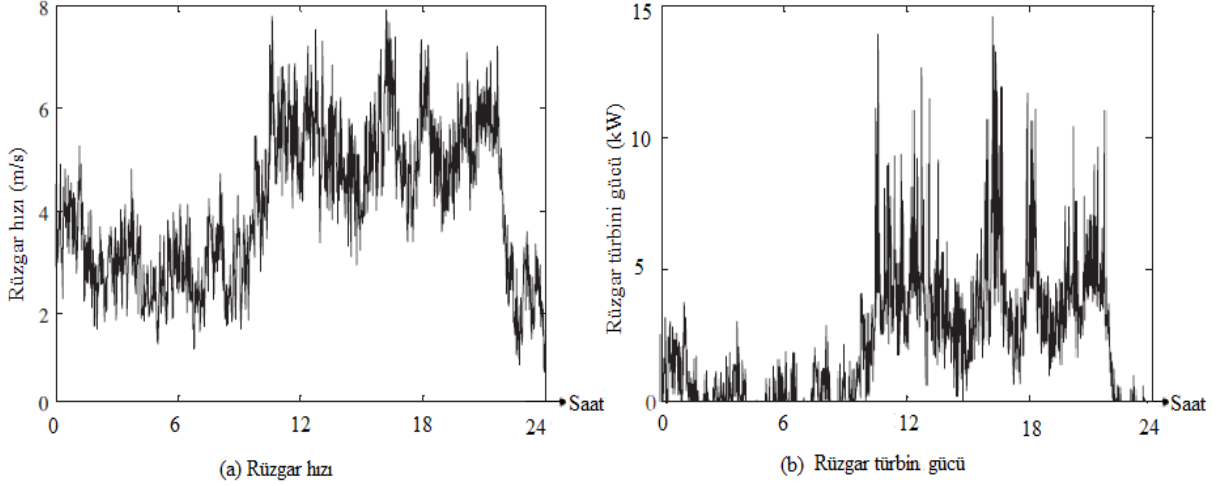
ρ : Rüzgâr türbin verimliliği (ideal şartlarda bu değer %59 alınır ve Betz Limiti olarak adlandırılır.)

Q : Hava yoğunluğu (1.225 kg/m^3)
Bir yıllık üretilen enerji miktarı (kWh) ise;

$$W = P \cdot t \quad (4)$$

denkleminde hesaplanır. Burada t : zaman olup 8760 saat olarak alınır.

Denklem (1) ve (2)'den de anlaşıldığı gibi rüzgâr türbininden elde edilen güç, rüzgâr hızının kare veya küpü ile doğru orantılıdır. Şekil 2'de örnek olarak rüzgâr hızı ve rüzgâr türbin gücünün günlük değişimleri gösterilmiştir.



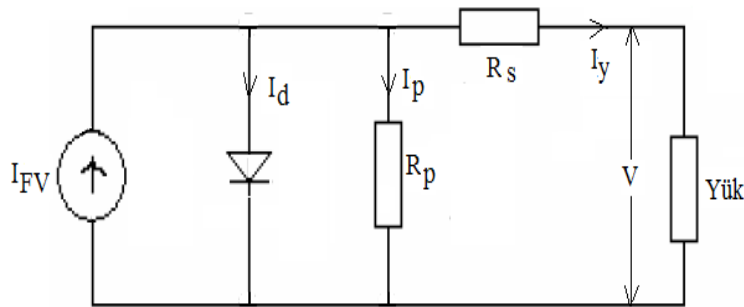
Şekil 2. Rüzgâr hızı (a) ve rüzgâr türbin gücü (b) değişimleri [10]

3.2.2. Fotovoltaik Enerji Üretim Sistemleri

Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) verilerine göre Türkiye'nin toplam yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.640 saat, ortalama toplam ışınım şiddeti metrekarede 1,311 kWh/yıl'dır. Bu miktarın tamamından yararlanılması halinde, Türkiye'nin yıllık 190 milyar kWh'lık elektrik tüketimini karşılamak için sadece 144 km²'lik bir alan yeterli olmaktadır. Bu alanın büyüklüğü 12 km x 12 km olarak, Türkiye'nin yüzölçümünün 1/5000'inden daha azdır. Teorik düzeyde de olsa, bu çarpıcı rakamlardan, ülkemizin enerji sorununu çözmede güneş enerjisi teknolojilerinin ve uygulamalarının ne denli önemli olduğu anlaşılmaktadır[11].

Işıktan elektrik enerjisi elde etmek yani fotovoltaik olay Becquerel tarafından 1839 yılında, bir elektrolit içine batırılan elektrotlardan biri üzerine ışık düşürüldüğünde bunlar arasında bir potansiyel farkın meydana geldiğini gözlemesinden bu yana bilinmesine karşın, ilk modern fotovoltaik hücrenin yapımı ancak 1954'de Amerika Birleşik Devletleri'nin Bell laboratuvarı'nda %6 verimle gerçekleştirilmiştir[12].

FV hücrenin elektrik üretimi bir akım kaynağı olarak sembolize edilir. Hücre üzerine düşen ışınım arttıkça elektrik akımı da artmaktadır. Fotovoltaik hücrenin gövdesi yarı iletken malzeme olması nedeniyle diyotla modellenmiştir. Jonksiyonda üretilen enerjinin kutulara iletilmesi sırasında oluşan kayıplar seri dirençle gösterilir. Fotovoltaik hücrenin elektriksel eşdeğer devresi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. FV hücrenin elektriksel eşdeğer devresi

FV hücrelerin akım-gerilim (I-V) karakteristik eşitlikleri Şekil 3'teki eşdeğer devreden yararlanarak Denk.5 ve Denk.6'daki gibi yazılabilir. Devrede kullanılan diyodun görevi; kaynak üzerinden geçebilecek ters akımları önlemektir.

$$I_D = I_o \left(e^{\frac{q(V + IR_s)}{kT}} - 1 \right) \quad (5)$$

$$I_y = I_{FV} - I_o \left(e^{\frac{q(V + IR_s)}{kT}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (6)$$

Burada;

I_{FV} : Güneş tarafından üretilen elektrik akımı (A)

I_d : Diyot akımı (A)

R_p : Paralel direnç (Ω)

I_p : Paralel direnç akımı (A)

R_s : Seri direnç (Ω)

I_y : Yük akımı (A)

V : FV pil çıkış gerilimi(V)

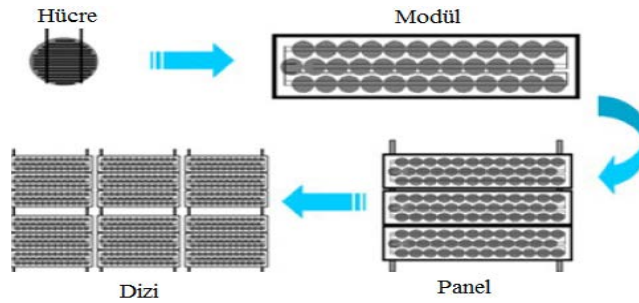
q : Elektron şarj($1,6 \times 10^{-19}$ C)

K : Boltzman sabiti ($1.3806503 \times 10^{-23}$ J/K)

T : Hücre sıcaklığı (K)

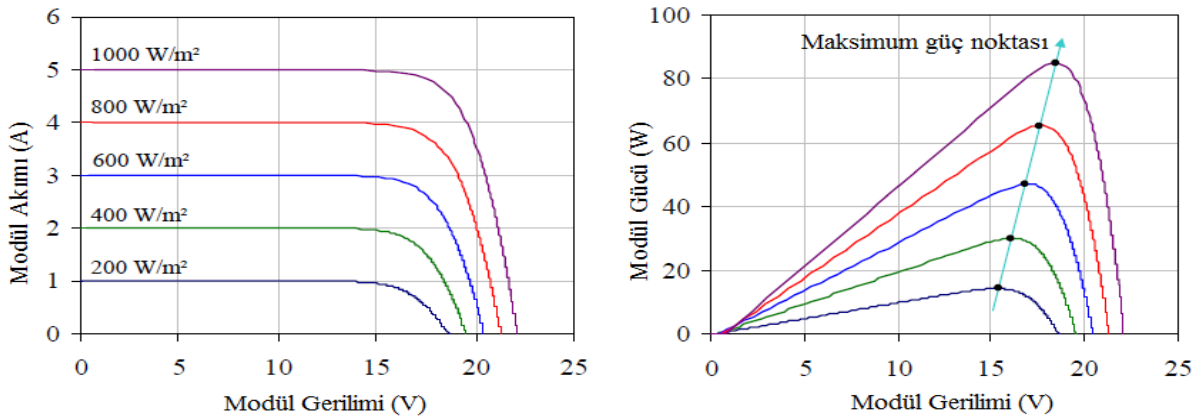
I_o : Diyot doyum akımı (A)

Çok sayıda FV hücre, birbirleriyle seri veya paralel bağlanarak modül oluşur. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirleriyle seri veya paralel bağlanarak FV panel oluşturulur. Paneller de birbirleriyle seri veya paralel bağlanarak fotovoltaik dizi meydana gelir. Böylece güneş enerjisinden bir kaç wattan megawatt'lara kadar sistem oluşturulur. Şekil 4'de fotovoltaik bir sistemin hücre-modül-panel-dizi oluşumu gösterilmiştir.



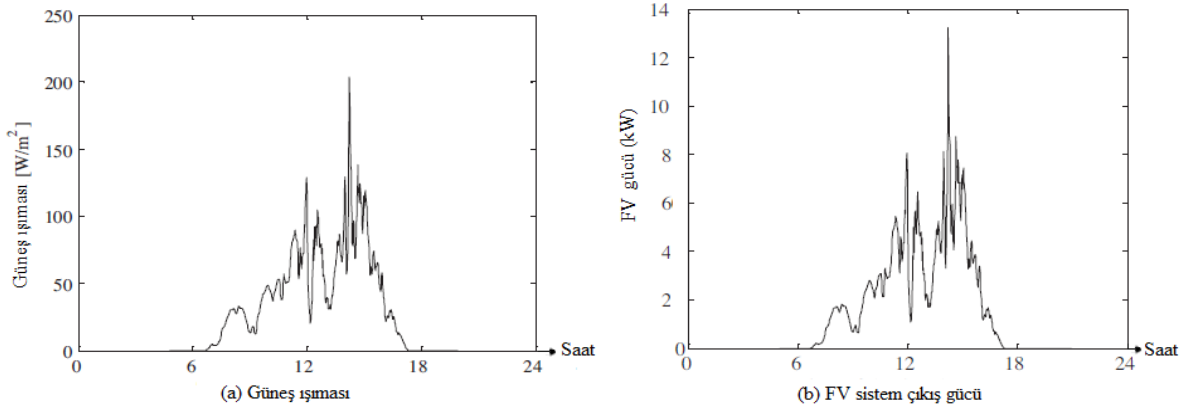
Şekil 4. Fotovoltaik hücre- dizi oluşumu

Güneş ışığından yıl boyunca optimum yararlanabilmek için, güneşi doğuşundan batışına kadar maksimum şartlarda görmek gerekir. Herhangi bir modülün akım çıkışı, üzerine gelen güneş radyasyonu ile doğru orantılıdır. Daha fazla güneş ışığı, daha fazla elektrik enerjisi demektir. Şekil 5'te 25 °C'deki FV modülün gerilim-akım ile gerilim- güç eğrisi verilmiştir.



Şekil 5. Güneş ışığına göre akım –gerilim ve gerilim-güç eğrisi

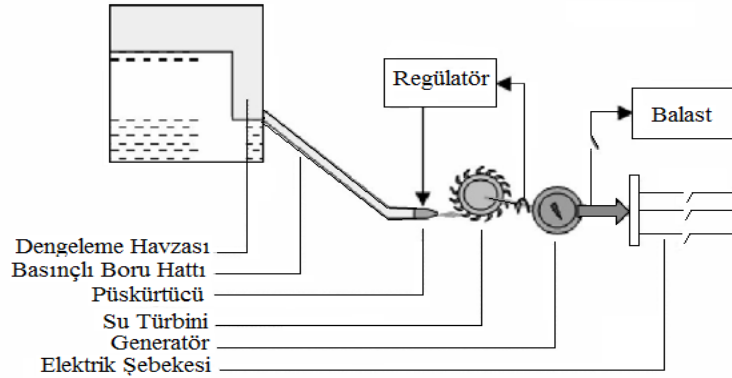
FV sistemden elde edilen güç, güneş ışınımı ile doğru orantılıdır. Şekil 6'da örnek olarak güneş ışınması ve FV gücünün günlük değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 6. Günlük güneş ışınması (a) ve FV sistemin çıkış gücü (b) değişimleri [10]

3.2.3. Mikro Hidroelektrik Enerji Üretim Sistemi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından hidrolik enerji, uzun süredir yaygın olarak kullanılmaktadır. Hidroelektrik güç üretim sistemi, suyun potansiyel enerjisi kullanılarak elektrik üretilmesi esasına dayanır. Barajlarda depolanan su, yuksekten akıtılarak türbine çarptırılır. Bununla birlikte türbin dönmeye başlar ve suyun potansiyel enerjisi bu türbinde mekanik enerjiye dönüşmüş olur. Bu mekanik enerji yardımıyla generatör mili döndürülerek generatörden gerilim üretilir. Mikro hidroelektrik santralin şeması Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Mikro hidroelektrik santral şeması [13]

Hidroelektrik santrallerde elde edilen güç, denklem (7)'de verilmiştir.

$$P = \gamma \cdot H \cdot Q \cdot \eta \text{ (kW)} \quad (7)$$

Burada;

γ : Suyun birim hacim ağırlığı (9,81 kN/m³)

H : Düşü (m)

Q : Debi (m³/sn)

$$\eta = \eta_H \cdot \eta_T \cdot \eta_G \quad (8)$$

η_H : Düşü verimi

η_T : Türbin verimi

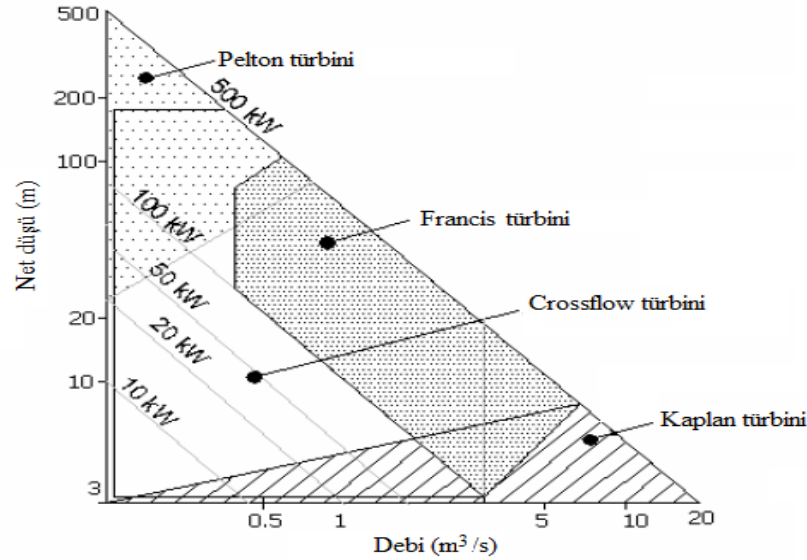
η_G : Generatör verimi

Gücü 100kW'tan küçük mikro türbinlerde verim % 60-80 arasındadır. Üretilen enerjinin verimini, güç santralının tasarımı, topoğrafya ve hidrolojiye bağlı olan aşağıdaki parametreler belirler [14].

- Mevcut suyun miktarı,
- Sel baskını, suyun yönünün değiştirilmesi gereksinimleri ve sızıntı nedeniyle su kaybı,
- Bir hidrolik santral tesisindeki üst su yüzeyi ile alt su yüzeyi arasındaki, yani su girişi ile su çıkışı arasındaki yükseklik farkı olan su düşüsü veya hidrolik düşü,
- Sürtünme ve hız değişkenliğinden dolayı su taşımadaki hidrolik kayıpları,
- Elektrokimyasal ekipmanların enerji dönüşümündeki verimliliğidir.

Bir hidroelektrik santralin (HES) kurulması için temel iki unsur olan; su debisi ile hidrolik düşü değerleri, üzerine santral kurulacak olan nehrin, yağış alanının büyüklüğüne ve bu yağış alanına düşen yıllık yağış miktarına göre azalır veya çoğalır [15].

Hidroelektrik santrallerde pelton, francis, kaplan ve crossflow gibi su türbinleri kullanılmaktadır. Kullanılacak türbin seçimi; generatörün hızı, suyun düşü yüksekliği ve akışı (debi) gibi karakteristiklere bağlıdır. Mikro HES uygulamalarında uygun türbin tipi ve gücünün seçilebilmesi için geliştirilip hazırlanan grafik (abak) Şekil 8'de verilmiştir. Enerji üretilecek nehir veya barajın net düşü yüksekliği ve debisi bilindiği takdirde şekildeki abak kullanılarak santral için uygun türbin tipi ve gücü bulunabilir.

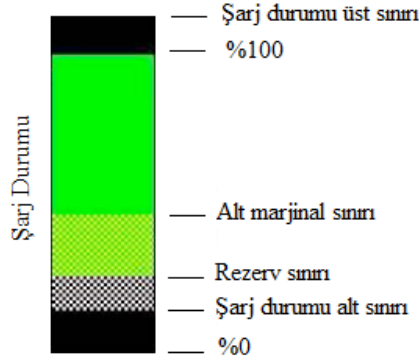


Şekil 8. Küçük hidroelektrik türbinlerin net düşü-debi abağı [16]

3.2.4. Depolama Birimi

Mikro şebekelerde kullanılan enerji depolama teknolojileri; elektrik üretim ve dağıtım şirketleri, tesis işletmecileri ve elektrikli araç üreticileri için oldukça önemli bir ilgi alanıdır. Büyük miktarlarda enerjinin depo edilebilmesi elektrik şirketlerinin çalışmaları için büyük bir esneklik sağlayabilir. Bu sayede, talep edilen enerjinin aynı anda üretilmesine gerek kalmaz[17]. Depolama birimi olarak primer bataryalar kullanılır, fakat bu bataryalar şarj edilemez. Şarj edilebilir olanlar sekonder bataryalardır. Şekil 9'da bataryanın şarj durumu sınırları görülmektedir. Şekil 9'da şarj durumu sınırları verilen bataryanın aşırı şarj veya deşarj olmaması için gerekli olan sınırların bilinmesi gerekir. Bu sınırları korumak için şarj kontrol devrelerinden faydalanılır.

Batarya ve ultra kapasitörler hibrit sistemlerde birleşmiş faydaları olan tamamlayıcı teknolojilerdir. Her iki teknoloji karşılaştırıldığında dikkate alınan iki temel özelliği her bir cihazın enerji ve güç yoğunluğudur. Tablo 1'de her iki teknolojinin karşılaştırılması verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi ultra kapasitör, bataryadan daha büyük güç yoğunluğuna ve daha kısa sürede daha fazla enerji sağlaması özelliğine sahiptir. Bunun tersine batarya ultra kapasitörle karşılaştırıldığında, daha uzun zamanda ve daha düşük güçler için daha yüksek enerji yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 9. Şarj durumu sınırları sınıflandırılması [18]

Tablo 1. Batarya ve ultra kapasitör karşılaştırılması[19]

	Ultra kapasitör	Batarya
Gerilim	2.7V/hücre	2V/hücre
Sıcaklık	-40 ⁰ C - +65 ⁰ C	-20 ⁰ C - +50 ⁰ C
Verim	0.85 – 0.98	0.7 – 0.85
Yaşam döngüsü	>500,000	1000
Güç yoğunluğu	<10,000 W/kg	<1000 W/kg
Enerji yoğunluğu	1 – 10 Wh/kg	10 – 100 Wh/kg
Şarj zamanı	0.3 – 30 s	1 – 5 h
Deşarj zamanı	0.3 – 30 s	0.3 – 3 h

3.2.5. Elektrolizör

Hidrojen gazı çok yönlü kullanılabilirliği, yakıtın taşınması, enerji yoğunluğu, çevreye etkileri, efektif maliyet gibi alternatif enerji kaynaklarının genel özelliklerine tümü ile uyan tek enerji kaynağıdır [20]. Geleceğin enerji kaynağı olarak gösterilen hidrojen; kokusuz, renksiz, tatsız ve saydam bir yapıya sahiptir. Dünyadaki en küçük ve en hafif element olup yeryüzünde serbest halde bulunmazlar. Doğal bir yakıt olmayıp su, hava, kömür ve doğal gaz gibi değişik hammaddelerden üretilen sentetik bir yakıttır. Tanklarda kolayca depolanabilmesi, ağır ve pahalı bataryalara gerek duyulmaması, istenildiğinde yüksek verimle tekrar elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi hidrojenin önemini artırmıştır.

Elektrolizörler, yakıt hücrelerinin tersi prensibine göre çalışmaktadır. Proton Geçirgen Membran (PEM, Proton Exchange Membrane), alkali ve katı oksit elektrolizörler olmak üzere üç çeşit elektrolizör vardır. Ticari olarak iki tip elektrolizör mevcuttur.

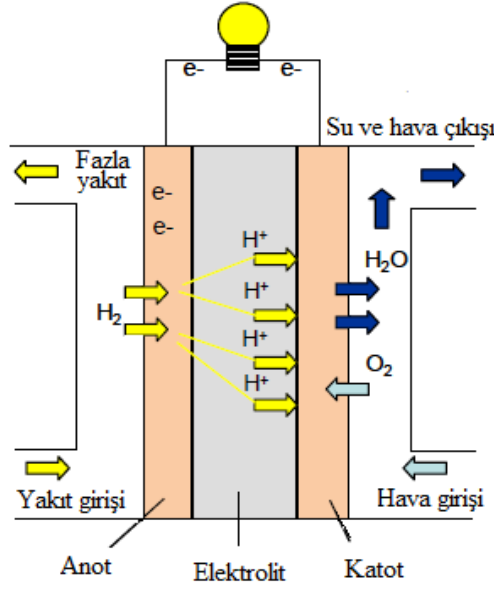
Alkali Elektrolizör; daha çok bilinen sıvı elektrolit içinde yapılan günümüzde yaygın olarak kullanılan elektrolizördür. Fakat alkali elektrolizörlerin verimlerinin düşük olması, üretilen hidrojen ve oksijen gazları içerisindeki safsızlıklar, çalışma sırasında elektrot tabakalarının korozyonu sebebiyle zamanla verimin düşmesi gibi dezavantajları bulundurmaktadır [21].

PEM elektrolizör ise daha yüksek performansla çalışması, yüksek basınçta hidrojen üretilmesi, kompakt bir yapıya sahip olması ve yüksek saflıkta hidrojen üretmesi gibi avantajlarından dolayı daha çok tavsiye edilen bir yöntemdir. Elektrolizöre su pompadan elektrik ise güç kaynağından verilir. Su, hidrojen ve oksijene ayrışır. Ayrışan hidrojen, yakıt pilinde hava ile birleşerek elektrik enerjisine dönüşür. PEM elektrolizörlerde yakıt hücrelerinde olduğu gibi anot ve katot bölümleri bulunmaktadır. Anotta su, hidrojen iyonuna, oksijen gazına ve elektronlara ayrışmaktadır. Elektronlar güç kaynağından çekilir. Hidrojen iyonları sadece protonun geçirebildiği polimerik membran üzerinde katoda geçmektedir. Güç kaynağından gelen elektronlarla bu hidrojen iyonları birleşerek hidrojen gazı oluşturmaktadır. Böylece anotta oksijen gazı oluşurken, katotta hidrojen gazı oluşur.

3.2.6. Yakıt Hücresi

Yakıt hücresi (yakıt pili), kimyasal enerjinin doğrudan elektrik enerjisi ve ısıya dönüştüğü elektrokimyasal enerji dönüşüm sistemi olup bir tür bataryadır. Yakıt olarak genellikle hidrojen kullanılmaktadır. Ancak metan, doğal gaz, etanol, metanol ve son dönemlerde benzin kullanabilen yakıt pilleri denemelerinden de olumlu sonuç alınmıştır[22]. Burada, hidrojen ve oksijen arasındaki

elektrokimyasal reaksiyon ile güç üretilir. Yakıt hücrelerinin temel yapısı Şekil 10’da görüldüğü gibi bir çift elektrot ve bir elektrolitten meydana gelmiştir.



Şekil 10. Yakıt hücresi kimyasal reaksiyonu [23]

Biraz farklı özelliklere sahip alkali (Alkaline Fuel Cell, AFC), proton değişimli membran (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, PEMFC), fosforik asit (Phosphoric Acid Fuel Cell, PAFC), erimiş karbonat (Molten Carbonate Fuel Cell, MCFC) ve katı oksit (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) yakıt hücre teknolojileri vardır. Temel belirgin fark, yakıt hücresinin tasarım ve çalışma özellikleri üzerinde çok kapsamlı etkileri olan elektrolittir. Tüm yakıt hücreleri bir doğru akım (DC) ve hücre gerilimi ile seri hücre sayısına bağlı olarak gerilim oluşturur. Bundan başka gerilim, yük ve yakıt hücresinin zamanla yıpranmasıyla değişir. Alternatif akım (AC) gerilim elde etmek için güç düzenleyicinin DC/AC dönüşüm, akım, gerilim ve frekans kontrolüne sahip olması gerekmektedir. Yakıt hücresi dış ortama güç sağlamanın yanında, pompalar, fanlar ve kontrol sistemi gibi iç enerji ihtiyacını da karşılar. Yakıt hücreleri ürettikleri ısı, kullandıkları elektrolit, ürettikleri güç gibi verilerle karşılaştırılabilirler. Tablo 2’de farklı 5 adet yakıt hücresinin özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Farklı yakıt hücrelerinin karşılaştırılması [24]

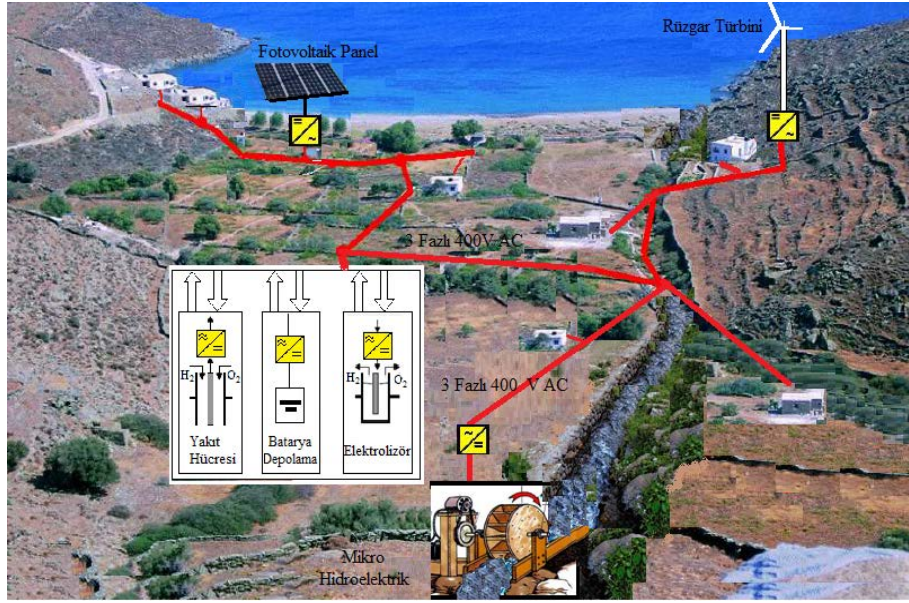
	Fosforik asit yakıt hücresi (PAFC)	Katı oksit yakıt hücresi (SOFC)	Erimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC)	Polimer elektrolit yakıt hücresi (PEMFC)	Alkali yakıt hücresi (AFC)
Elektrolit	Fosforik asit	Çinko üzerine tutturulmuş yitria (YSZ)	Karbonat	Polimer iyon değişim filmi	Potasyum hidroksit
Elektrolitteki taşıyıcı	H ⁺	O ₂ ²⁻	CO ₃ ²⁻	H ⁺	OH
Hücre metaryali	Karbon	Seramik vb.	Nikel, paslanmaz çelik vb.	Karbon	Karbon
Güç yoğunluğu (W/kg)	120-180	15-20	30-40	350-1500	35-105
Yakıt türü	H ₂ , Hidrokarbonlar, fosil yakıtlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂ , Hidrokarbonlar	H ₂
Sıcaklık (°C)	200	1000	600-700	80	80
Güç üretim verimi (%)	37-42	60-70	45-60	60	42-73
Uygulama alanları	Ticari uygulamalar (oteller, hastaneler vb.)	Ticari uygulamalar, sanayi uygulamaları, elektrik santralleri	Elektrik santralleri	Ulaşım araçları, askeri sistemler	Uzay çalışmaları

Tablo 2’de görüldüğü gibi güç yoğunluğu açısından PEM yakıt hücresi diğerlerine göre daha üstün durumdadır. Enerji verimliliği açısından ise, alkali yakıt hücreleri en yüksek verime ulaşabilmektedir.

4. Mikro Şebekelerde Enerji Yönetimi

Enerji Yönetimi; ürün kalitesinden, güvenlikten veya çevresel tüm koşullardan fedakârlık etmeksizin ve üretimi azaltmaksızın enerjinin verimli kullanımı doğrultusunda yapılandırılmış ve organize edilmiş disiplinli bir çalışmadır. Enerji yönetiminin amacı; ülkemizin enerji arz güvenliğinin ve verimliliğinin sağlanması, enerji kaynaklarında çeşitliliğin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması, elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı ve kullanımında kayıpların azaltılması, ekonomik, sosyal kalkınma, rekabet gücü ve ulusal güvenlikte önemli bir yer tutan enerji alanında, Ar-Ge ve yenilik faaliyetlerini gerçekleştirmektir.

Bu çalışmada kullanılan şebekeden bağımsız yenilenebilir enerji kaynaklı olan rüzgar türbini, FV panel, mikro hidroelektrik santral, yakıt hücresi, batarya ve elektrolizörden oluşmuş hibrit mikro şebeke Şekil 11’de verilmiştir.



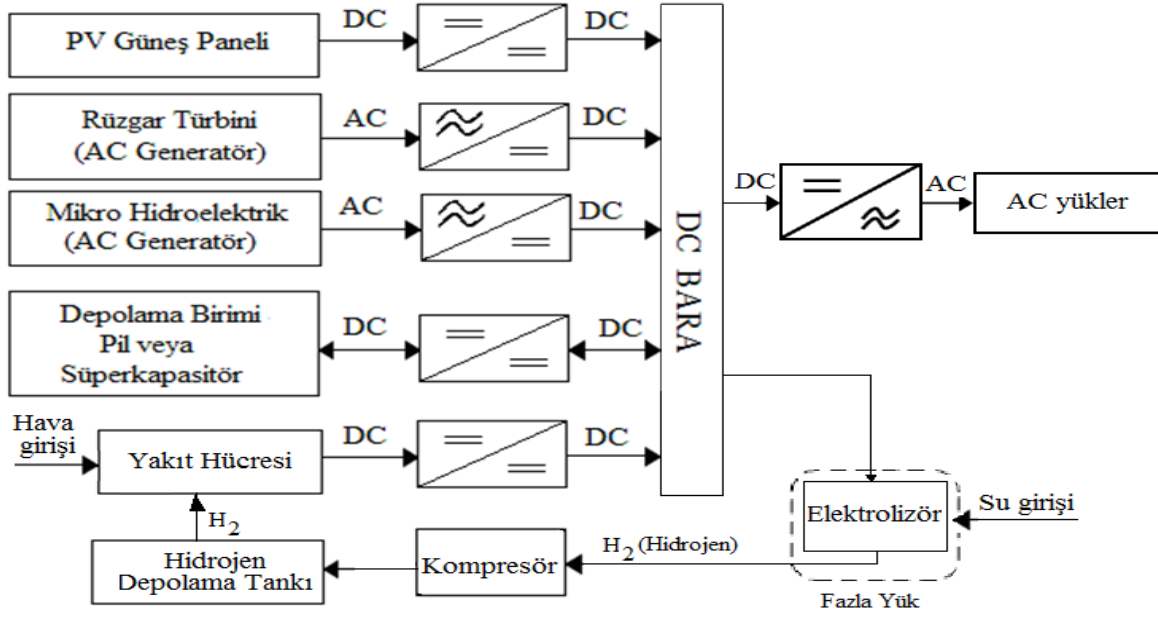
Şekil 11. Şebekeden bağımsız örnek hibrit bir mikro şebeke

Şekil 11’de görülen şebeke, toplam kurulu gücü 30240 W ve toplam talep gücü 18144 W olan yerleşim yerini beslemektedir. Yük ihtiyaçlarını karşılamak üzere kullanılan alçak gerilim hattı, üç fazlı (400V, 50 Hz) olarak düşünülmüştür. Yakıt hücresi, batarya ve elektrolizör birimleri bu hat üzerine gerekli dönüştürücüler yardımıyla bağlanmıştır. Mikro şebeke sisteminde kullanılan birimler ve özellikleri Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Mikro şebeke sistemi birimleri ve özellikleri

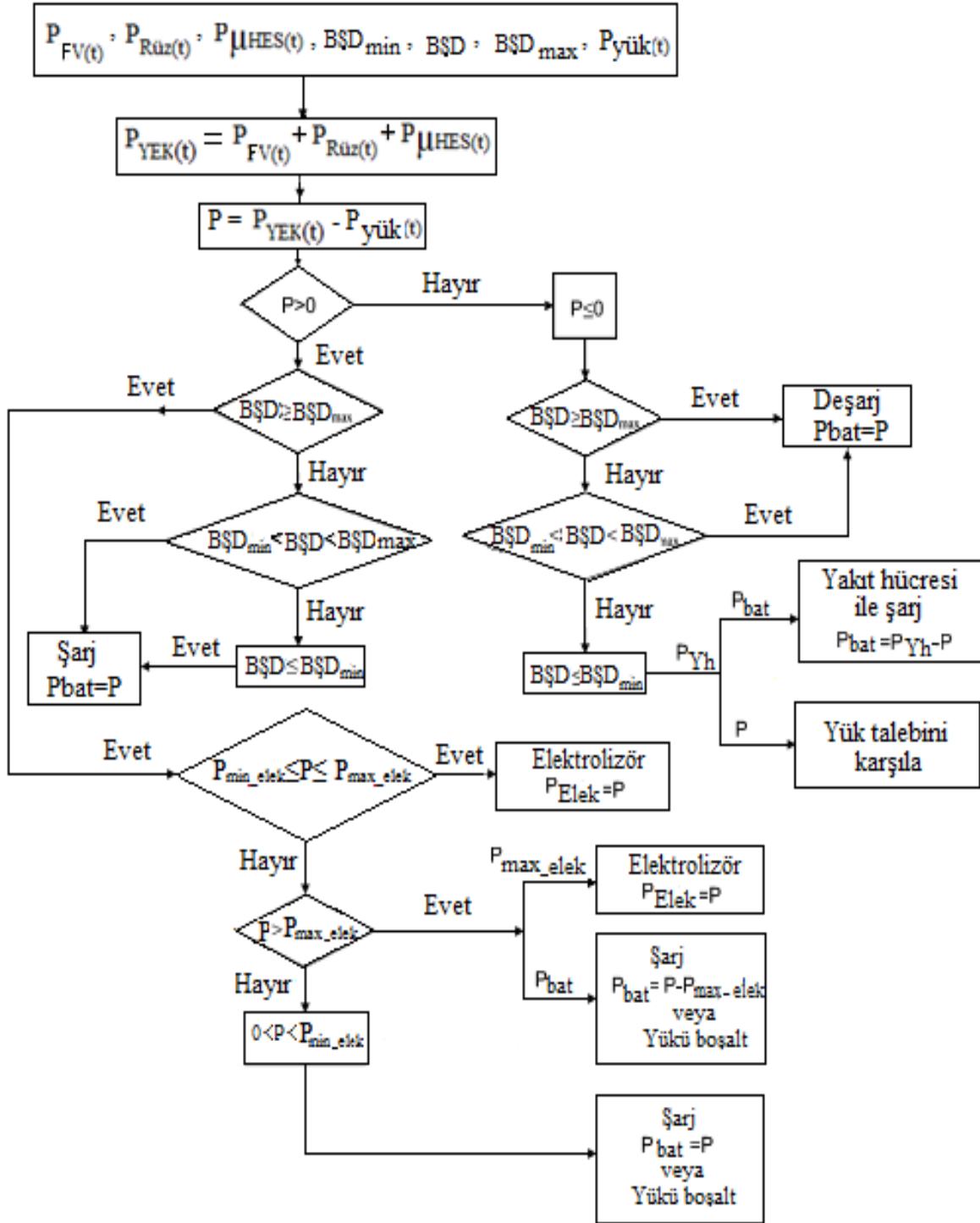
Kaynak	Tipi ve kurulu gücü	FV panel , 10 kWp
	Tipi ve kurulu gücü	Rüzgar türbini ,15 kWp
	Tipi ve kurulu gücü	Mikro hidroelektrik , 8 kWp
Batarya	Tipi ve enerji kapasitesi	Kurşun asit, 4 kWh
Elektrolizör	Tipi ve gücü	PEM, 4 kWp
Hidrojen Depolama	Tipi	Basınçlı tanklar(137 bar)
	Yoğunluk kapasitesi	2856 Nm ³ H ₂
	Enerji kapasitesi	10,127 kWh
Yakıt Hücresi	Tipi ve gücü	PEM, 4 kWp

Yenilenebilir enerji kaynaklı mikro şebekede yapılan enerji yönetimi ile üretim kaynaklarının hibrit bağlanarak üretilmiş oldukları elektrik enerjisini yüke aktarmak veya yükün ihtiyacından fazla olan kısmı depolama biriminde (batarya veya süper kapasitör) ihtiyaç olduğunda kullanılması için depolanması sağlanacaktır. Bataryanın dolu olduğu durumlarda, üretilen enerji ya doğrudan yüke aktarılacak ya da daha sonra yakıt hücresinde kullanılmak üzere hidrojen üretimi için elektrolizör'e yönlendirilecektir. Bataryanın aşırı şarj veya aşırı deşarj olmaması için şarj regülatörü kullanılmaktadır. Bataryanın minimum şarjı %40 ve maksimum şarjı %80 seçilmiştir. Ayrıca güç üretimindeki kaynakların enerji üretimi yapmadığı ve bataryanın boş olduğu durumlarda yükün ihtiyacı olan enerjinin bir kısmı yakıt hücresinden karşılanması, enerji yönetimi ile yapılacaktır. Böylece enerji üretim birimleri ile yük arasında sürekli bir enerji akışı olması hedeflenmektedir. Program için oluşturulan mikro şebekeli sistemin blok diyagramı Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Mikro şebekeli sistemin blok diyagramı

Şekil 12'de verilen blok diyagramdan görüldüğü gibi rüzgâr türbininden, güneş panellerinden, mikro hidroelektrik santrallerinden ve yakıt hücresinden elde edilen elektrik enerjileri aynı DC barada toplanması ve evirici (DC/AC) yardımıyla alternatif akım şebekesine dolayısıyla yüke yönlendirilmesi sağlanmıştır. Yükün enerjisiz kalmasını önlemek için oluşturulan hibrit sistemle entegre bir enerji yönetim stratejisi belirlenmiş, anlık enerji ihtiyacını, hangi kaynakların devrede olduğunu ve sistemin diğer birimlerinin durumlarını göstermek için Microsoft Visual Studio C Sharp dilinde bilgisayar programı geliştirilmiştir. Benzer çalışmalardan alınan veriler, veri tabanına aktarılarak programın bu verileri kullanması sağlanmıştır. Kullanılan program için oluşturulan kontrol stratejisinin blok diyagramı Şekil 13'te görülmektedir.



Şekil 13. Kontrol stratejisinin blok diyagramı

Burada;

- $P_{YEK(t)}$: Yenilenebilir enerji kaynakları gücü (kW)
 $BŞD$: Batarya şarj durumu (%)
 $BŞD_{min}$: Bataryanın Minimum Şarj durumu
 $BŞD_{max}$: Bataryanın Maksimum Şarj durumu
 P_{elek} : Elektrolizör gücü (kW)
 P_{yh} : Yakıt hücresi gücü (kW)
 P_{bat} : Batarya gücü (kW) olarak belirlenmiştir.

Rüzgar, FV ve mikro hidroelektrik üretim kaynaklarından üretilen toplam güç, yükün talep ettiği güçten daha büyük olması durumunda, bataryanın şarj durumuna bakılır. Bataryanın şarj durumu

maksimum değerine eşit veya büyükse, bu durumda fazla gücün elektrolizörün maksimum ve minimum değerleri arasında bir değerde ise elektrolizör H₂ üretmesi için çalıştırılır. Eğer fazla güç değeri, elektrolizör'ün maksimum değerinden büyük ise elektrolizör çalıştırılır ve geriye kalan güç atık yüke yönlendirilir. Fazla güç değeri, sıfır ile elektrolizör'ün minimum değeri arasında ise bu durumda elektrolizör çalıştırılmaz ve fazla güç, ya batarya şarjına ya da atık yüke yönlendirilir. Bataryanın şarj durumu maksimum seviyeye ulaştığında şarj süreci kontrolör yardımıyla durdurulur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen güç, yükün talep ettiği güce eşit veya daha az ise bu durumda bataryanın şarj durumuna bakılır. Eğer batarya şarj durumu maksimum seviyesinin üzerinde veya minimum ile maksimum değeri arasında ise depolanan enerjiden kontrolör yardımı ile deşarj durumu başlar. Batarya şarjı azalarak minimum seviyeye ulaştığında, sistemden bataryanın bağlantısı kesilir. Bu durumda yakıt hücresi çalıştırılarak hem bataryanın şarj edilmesi hem de yükün ihtiyacı olan güç yakıt hücresi tarafından karşılanır. Üretilen toplam enerji ve yük talebi eşit olduğunda batarya şarj durumu değişmeden kalacaktır.

Microsoft Visual Studio C Sharp dilinde yazılan bilgisayar programı çalıştırıldığında ekrandan istenilen saat (örneğin saat 04:00) seçilip çözümler kutucuğu tıkladığında ekrana Şekil 14'te görülen o anki güç durumu gelmektedir.

Yük Talebi Gücü:	7.4 kW	Yakıt Hücresi:	0 kW
Rüzgar Enerjisi Gücü:	0.5 kW	Batarya:	1.9 kW
Güneş Enerjisi Gücü:	0 kW	Batarya Şarj Durumu:	3.3 %66
Mikro Hidroelektrik Gücü:	5 kW		

BATARYA DEŞARJ EDİLİYOR VE KARŞILANAN GÜÇ:1,9 kW

Şekil 14. Saat 04:00 için enerji durumu

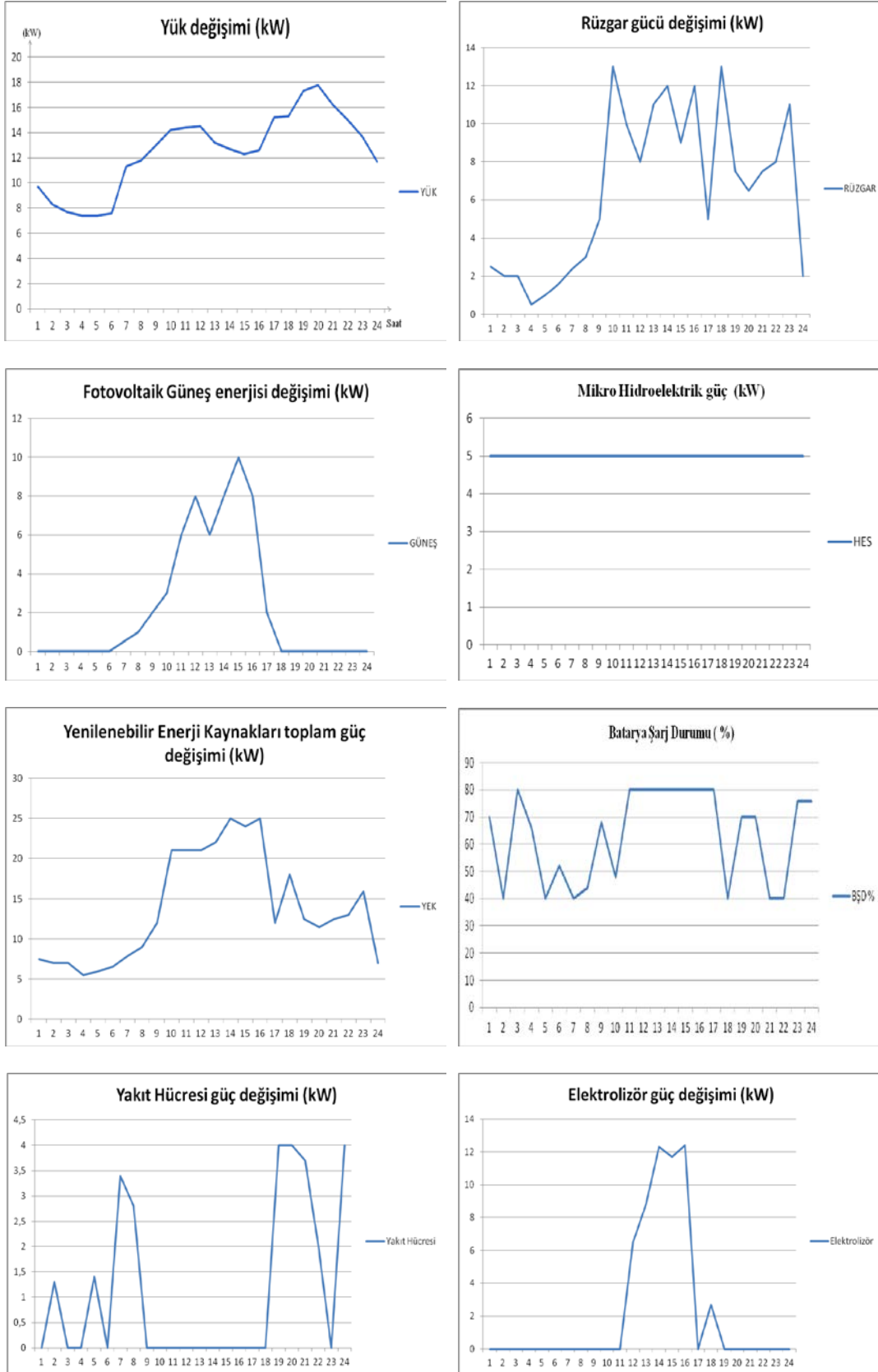
Şekil 14'te görüldüğü gibi saat 04:00'te güneş enerjisinden elektrik üretilmemekte ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji yükün talebi olan 7.4 kW'ı karşılamadığından batarya, yükün ihtiyacı olan 1.9 kW enerjiyi karşılamaktadır.

Yük Talebi Gücü:	14.5 kW	Yakıt Hücresi:	0 kW
Rüzgar Enerjisi Gücü:	8 kW	Batarya:	0 kW
Güneş Enerjisi Gücü:	8 kW	Batarya Şarj Durumu:	4 %80
Mikro Hidroelektrik Gücü:	5 kW		

ELEKTRİZÖR GÜCÜ 4 kW,BATARYAYI 2,5 kW GÜCÜYLE ŞARJ YAP VEYA YÜKÜ BOŞALT

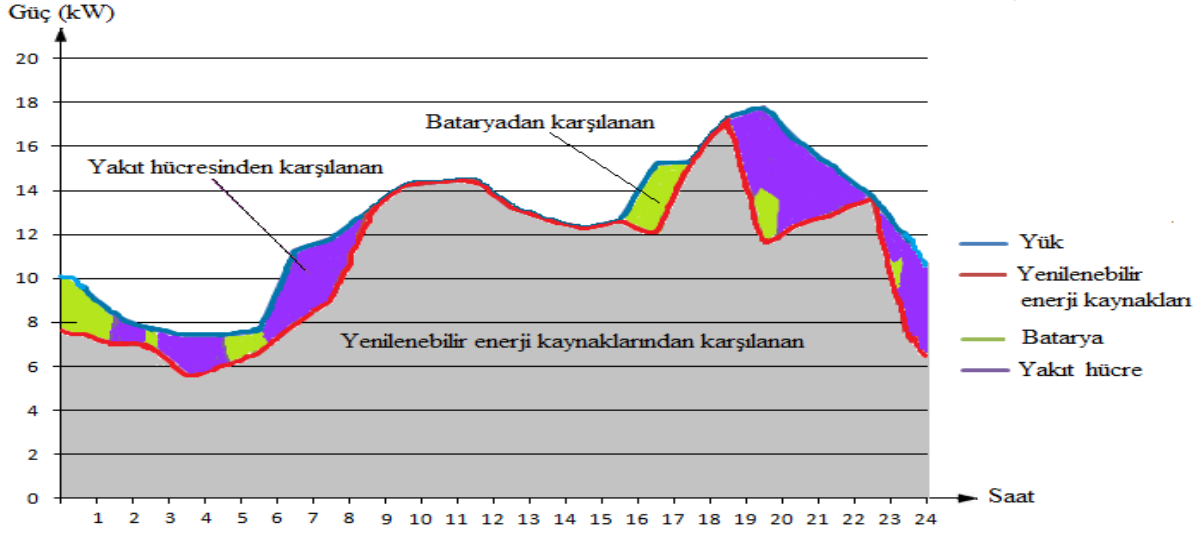
Şekil 15. Saat 12:00 için enerji durumu

Şekil 15'te görüldüğü gibi saat 12:00'de yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerji miktarı, yükün talebinden fazla olduğu için batarya şarj oluncaya kadar şarjı sağlanır ve fazla kalan enerji (4 kW) daha sonra kullanılmak üzere hidrojen üretimi için elektrolizör'e yönlendirilmektedir. Aynı programla günün her saati için program ayrı ayrı çalıştırılıp 24 saatlik değerler ile, Şekil 16'daki grafikler elde edilir.



Şekil 16. Bir günlük enerji değişimlerinin durumunu gösteren grafikler

Şekil 16’da bir günlük yük talebi, yenilenebilir enerji kaynaklarından (rüzgar, güneş ve hidrolik) elde edilen enerji durumu, yakıt hücre, elektrolizör ve batarya şarj durumları ayrı ayrı verilmiştir. Bu değerlere göre, bir günlük yük talebinin saatler bazında hangi enerji kaynaklarından sağlandığı Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. Bir günlük talep edilen yükün, enerji üretim birimlerinden karşılanması

Şekil 17’de görüldüğü gibi, günün ilk saatlerinden saat 09:00’a kadar ve 15:00-24:00 saatleri arasında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin yeterli gelmediği zamanlarda, yükün enerji ihtiyacı batarya ve/veya yakıt hücresi tarafından karşılanmıştır. Sonuç olarak yükün enerji ihtiyacı gün boyunca karşılanmış olmaktadır. Tüm üretim kaynaklarından günlük üretilen toplam enerji; 368.1 kWh’tır. Üretilen enerjinin, mikro şebekede bulunan kaynaklara göre dağılımları ve yüzdeleri Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Bir günlük üretilen elektrik enerjisinin kaynakları ve yüzdeleri

Kaynak	Enerji(kWh)	Üretim (%)
FV Paneller	53,5	14,5
Rüzgar	158,6	43,08
Mikro hidroelektrik	120	32,6
Batarya	20	5,4
Yakıt hücresi	16	4,42

Tablo 4’te görüldüğü gibi, gün boyunca üretilen enerjinin %43,08’i (en büyük pay) rüzgar türbininden ve %3,93’ü (en küçük pay) ise bataryadan karşılanmıştır. Gün boyunca yükün tükettiği enerji ise 299 kWh’tır. Fazla olan enerjinin bir miktarı, elektrolizör’de daha sonra yakıt hücresinde kullanılmak üzere hidrojen üretiminde, geriye kalan kısmı ise batarya şarjında kullanılmıştır. Bataryaların maksimum şarj olması durumunda elektrolizörün maksimum gücünden fazla kalan güç, atık yüke aktararak boşaltılmıştır.

5. Sonuç ve Öneriler

Elektrik enerjisine olan talebin gün geçtikçe artmasından dolayı, diğer dünya ülkelerine bağımlılıktan kurtulmak, arz güvenliği sağlamak ve elektrik enerjisi üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek oranda kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından dağıtılmış üretimin yaygınlaşmasıyla fosil yakıt kullanımının azalması yanında, iletim ve dağıtım kaynaklarında azalma olması da beklenmektedir. Enerji yönetimi, kuruluşların enerji politikalarını belirlemesi, amaç ve hedefleri doğrultusunda oluşturduğu enerji yönetim programları çerçevesinde

enerji tüketimini yönetmesi ve enerji yönetim sisteminin performansını değerlendirerek iyileştirmelerin sağlanmasına dayanmaktadır. Bu çalışmayla enerji dağıtım şebekelerinden veya yerleşim yerlerinden uzak tatil köyü gibi küçük yerleşim birimlerinin elektrik enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklı hibrit bir mikro şebekede enerji yönetimi yapılarak yükün enerji ihtiyacının sürekli karşılanması sağlanmıştır. Elektrolizör ve yakıt hücresinin sık sık çalıştırılıp durdurulması bir taraftan performansı azaltırken diğer taraftan da ömrü kısaltmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının kısa süreli değişkenliğinde depolama birimi önemli bir bileşen olmaktadır. Enerji yönetimi, üretim kaynaklarının değişik şartlardaki üretiminin yük talebinin karşılanmasını sağlamak ve işletme bakım maliyetlerinin mantıklı bir seviyede tutması açısından önemlidir. Enerji yönetimi yapılmasıyla özellikle güneşten enerji üretilmediği sabah ve gece saatlerinde yükün talep ettiği güç, diğer üretim birimlerinden karşılanmıştır. Daha büyük yük taleplerinin olduğu yerler için de enerji yönetiminin yapılması yük taleplerinin karşılanması açısından büyük önem taşımaktadır. Böylece şebekelerdeki yük talebini karşılamada enerji yönetiminin önemli bir rolü olduğu anlaşılmaktadır.

Kaynaklar

1. Türkiye'nin Hidroelektrik Potansiyeli. http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/h_turkiye_potansiyel.aspx .(Erişim Tarihi: 08.02.2014)
2. Sevgi L. 2005. EMC, Güç Kalitesi ve Harmonik Analizi, Endüstri & Otomasyon Dergisi.
3. Şimşek B. 2011. Lisanssız Elektrik Üreticilerinin Elektrik Dağıtım Sistemine Bağlantı Usul ve Esasları ile ilgili Teknik Sorunlar Semineri.
4. Basa Arsoy A., Perdahçı C., 2010. Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Dağıtılmış Üretim, Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı (ICCI),13 Mayıs 2010, İstanbul.
5. Özdemir E. 2007. Dağılımı Enerji Üretim Sistemleri ve Yardımcı Hizmetler, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 12. Ulusal Kongresi ve Fuarı.
6. Kocaman B. 2013. Akıllı Şebekeler ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2(1): 119-127.
7. Demirtaş M. 2008. Güneş ve Rüzgâr Enerjisi Kullanılarak Şebeke İle Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarımı ve Uygulaması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 191s, Ankara.
8. Ismail Abdel-Qader M. S. 2008. Simulation of Hybrid Power System Consisting of Wind Turbine, FV, Storage Battery and Diesel Generation Network: Design, Optimization and Economical Evaluation, An-Najah National University, Yüksek Lisans tezi, Nablus, Palestine
9. Rüstemli S., Çıbuk M., Oral F., Aydın M. C., Kocaman B., Güntaş Ö. 2013. Bitlis Eren Üniversitesi Yenilenebilir Enerji Kaynakları Raporu.
10. Yumurtacı R. 2013. Role of Energy Management in Hybrid Renewable Energy Systems: Case Study-Based Analysis Considering Varying Seasonal Conditions, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 21: 1077-1091.
11. <http://repa.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> (Erişim Tarihi: 08.02.2014)
12. Chapin D. M., Fuller C. S. and Pearson N. G. L.1954. A New p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power, Journal of Applied Physics. 25: 676-677.
13. Ibrahim Bt N. A. 2012. Modelling of Micro Hydroelectric System Design, University Tun Hussein Onn, Master thesis, Malaysia.
14. Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Seyboth K., Matschoss P., Kadner S., Zwickel T., Eickemeier P., Hansen G., Schlomer S., Von Stechow C., 2011. Hydropower, In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge University Press.

15. Özdemir M. T. 2002. Küçük Güçlü Hidroelektrik Santrallerde Düşü, Debi, Yük ve Verim İlişkileri, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 75s, Elazığ.
16. Paish O. 2002. Small Hydro Power: Technology and Current Status, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 6:537-556.
17. Rahman S. 2012. Advanced Energy Technologies
<http://www.crcnetbase.com/doi/abs/10.1201/b12056-5> (Erişim tarihi: 27.02.2013).
18. Lasseter R., Erickson M. 2009. Integration of Battery-Based Energy Storage Element in the CERTS Microgrid, CERTS.
19. Glavin M. 2012. Optimisation of a Hybrid Energy Storage System for Autonomous Photovoltaic Applications, National University, Doktora tezi, Ireland.
20. Veziroğlu T. N. , Barbir F., Int. J., 1992. Hydrogen Energy, 17: 391–404.
21. Becerikli F. 2011. Yüksek Basıncılı PEM (Proton Geçirgen Membran) Elektrolizör Geliştirilmesi ve Çalışma Parametrelerinin Performansa Etkisi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 75s., Niğde.
22. Solmaz R. 2009. Hidrojen Gazı Eldesi ve Metanol Elektrokoksasyonu İçin Katalitik Elektrot Geliştirilmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 181s, Adana.
23. Mohd Zamri Che W., 2011. Dynamic Simulation and Intelligent Management of Distributed Generation, Universität Duisburg-Essen, Doctorate thesis, Malaysia.
24. Hidrojen Yakıt Pili Çeşitleri Nelerdir?, <http://www.bilgiustam.com/hidrojen-yakit-pili-cesitleri/>. (Erişim tarihi 14.02.2014)