

Fotovoltaik-Rüzgâr Hibrid Güç Sistemi Uygulaması

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Azmi Aktacir
Doç. Dr. Bülent Yeşilata,
Araş. Gör. Yusuf Işiker
Harran Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Günümüzün vazgeçilmez tüketim araçlarından olan enerjinin temiz, verimli ve ekonomik kullanımı, ülkelerin gelişmişlik düzeylerini gösteren en önemli göstergedir. Bugüne kadar dünyanın enerji ihtiyacının çoğunlukla (yaklaşık yüzde 90) fosil yakıtlardan karşılanmasından dolayı, bu yakıtla ülkelerin büyük bir bağımlılığı söz konusudur. Yakın bir gelecekte tükenme olasılığı, çevre kirliliği oluşturması ve giderek fiyatlarının artması gibi çeşitli faktörler fosil yakıtlar için önemli dezavantajlardır. Bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak ve enerji kaynaklarını çeşitlendirerek fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmak için en büyük tüketici konumunda olan gelişmiş ülkelerde dışa bağımsız ve çevre dostu yenilenebilir

enerji kaynaklarına hızlı bir yöneliş vardır. Genel olarak yenilenebilir enerji kaynakları; güneş (PV ve termal) ve rüzgâr enerjileri başta olmak üzere biokütle (odun, katı atıklar, etanol vb.), jeotermal, hidrolik, gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarını kapsamaktadır.

AB'ye tam üyelik sürecinde Türkiye, ekonomik ve sosyal hayatın bütün alanlarında olduğu gibi, enerji konusunda da Avrupa Birliği'ne uyum sağlamayı amaçlamaktadır. Bu nedenle enerji yol haritalarının oluşturulduğu dünyadaki yapısal değişimin, ülkemizi coğrafi/stratejik konumu gereği çok yakından etkileyeceği ve Türkiye için çizilen Avrupa Birliği müzakere süreci ile birlikte giderek netlesen, küreselleşme politikalarına tam uyum ve bunun devlet politikası haline gelmesi yönünde olacağına şüphe yoktur.

Amerika'dan sonra en büyük tüketici konumundaki AB'nin enerji politikasındaki hedefleri arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının payının artırılması vardır. AB uygulamalarında, 2010 yılında toplam enerjinin %12'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması, toplam elektrik tüketiminin ise %22'sinin yenilenebilir enerji kaynaklarına dayandırılması hedeflenmektedir. TÜBİTAK tarafından yürütülen Vizyon-2023 projesinde belirlenen sosyoekonomik hedefler bağlamında odaklanılması gereken teknolojik hedefler arasında,

Tablo 1: Enerji kaynaklarına göre elektrik enerjisi üretimi (106 kWh) [TÜİK]

ENERJİ KAYNAĞI	2001	2002	2003	2004	2005
Taşkömürü	4 046.0	4 093.0	8 663.1	11 998.1	13 246.2
Linyit	34 371.5	28 056.1	23 589.8	22 449.5	29 946.4
Fuel oil	8 816.6	9 504.9	8 152.7	6 689.9	5 120.8
Motorin	904.0	270.8	4.6	7.3	2.5
Doğalgaz	49 549.2	52 496.5	63 535.8	62 241.8	73 444.9
Hidrolik	24 009.9	33 683.7	35 329.5	46 083.7	39 560.5
Rüzgar	62.4	48.0	61.4	57.7	59.0
Diğer*	965.1	1 246.3	1 243.6	1 170.3	575.9
Toplam Üretim	122 724.7	129 399.5	140 580.5	150 698.3	161 956.2

*Jeotermal, sıvı kükürt, ağaç kabuğu vb.

rüzgâr, güneş ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik teknolojileri geliştirmek ve enerji üretiminde bu kaynaklara, ekonomiklikleri oranında yer verilmesi gerektiği ifade edilmektedir.

Ülkemizin elektrik enerjisi üretimini 2005 yılında 162 TWh olup 2006 yılında %8.7 artışla 176 TWh'e yükselmiştir [3]. Tablo 1'de kullanılan elektrik enerjisi üretimi enerji kaynaklarına göre 2001-2005 yıllarındaki dağılımları verilmiştir. 2005 yılı verilerine göre elektrik üretiminin %75'i fosil kaynaklı yakıtlardan, %24'ü hidrolik güçten, geri kalan %1'lik kısım rüzgâr başta olmak üzere jeotermal ve biokütleden elde edilmiştir [4].

Önemli miktarda yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip olan Türkiye'nin yenilenebilir enerji üretiminde en büyük payı hidroelektrik ve biokütle almaktadır. Rüzgâr ve güneş enerjisinin payları henüz çok küçük seviyede olmasına karşın, zamanla bu payların artması beklenmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2006 yılı verilerine göre, ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen toplam enerji miktarının 5.38 milyon ton eşdeğer petrol (TEP) olduğu belirtilmektedir. Bu miktarın, 3.89 milyon TEP'i hidroelektrik-jeotermal kaynaklarından, 2 bin TEP'i biyoyakıttan, 11 bin TEP'i rüzgardan, 1.81 milyon TEP'i ısı olarak jeotermal kaynaklardan, 403 bin TEP'i de ısı olarak güneşten olmuştur.

Ülkemiz rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyeli yönünden oldukça iyi bir durumda olmasına rağmen, bu potansiyel yeterince değerlendirilmemektedir. Ancak, 2005 yılında

"Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun"un [6] yasalaştırılması ile özel sektör yatırımları enerji alanına doğru yönlendirilmiştir. Bu kapsamda özel sektör tarafından kurulan rüzgâr santrallerinin sayıları giderek artmaktadır. Türkiye'de işletmeye alınan rüzgâr santrallerinin toplam kapasitesi 146.25 MW, inşaa halinde olanların 276.90 MW ve gelecekte kurulması planlanan santrallerin kapasitesi 533.20 MW'dır. Dünya Rüzgâr Enerjisi Kurumu'nun (WWEA) 2006 yılı verilerine göre, dünyadaki kurulu rüzgâr santralleri toplam kapasitesi 73904 MW olup en büyük kapasiteye sahip beş ülke sırasıyla Almanya (20622 MW), İspanya (11615 MW) ABD (11603 MW), Hindistan (6270 MW) ve Danimarka (3136 MW)'dir. Büyük artış gösteren rüzgâr enerji santrallerinin 2010 yılında 160 GW kapasiteye ulaşması beklenmektedir.

Ülkemizdeki güneş enerjisi kullanımını ağırlıklı olarak ısı uygulamaları için olmaktadır. Güneş enerjisinden doğrudan elektrik üreten fotovoltaik (PV) uygulamalar ise son zamanlarda yaygınlaşmaya başlamıştır. PV uygulamalar sokak aydınlatması, trafik sinyalizasyonu, baz istasyonu, yerleşim yerlerinden uzak alanlardaki elektrik ihtiyacının karşılanması gibi ağırlıklı olarak şebekeden bağımsız küçük sistemler olarak göze çarpmaktadır. Gerek güneş enerjisinin, gerekse rüzgâr enerjisinin sürekli bir enerji kaynağı olmaması, günün tüm anlarında etkin çalışmaması en büyük dezavantajlarıdır. Bu olumsuzluğu gidermek ve kullanımı artırmak için, en önemli uygulamalardan biri enerji kaynakları-

nın birlikte kullanıldığı hibrid sistemlerdir. Hibrid uygulamalarda, sürekli bir enerji kaynağı olmayan rüzgâr ve güneş enerjileri birlikte kullanılarak, günün büyük bir bölümünde kesintisiz enerji elde edilmesi hedeflenmektedir. Son yıllarda bu nedenle, hibrid sistemlerin optimizasyonu, performans analizi ve entegrasyonu konularında yoğun araştırmalar söz konusudur.

Bu çalışmada Harran Üniversitesi'nde uygulama ve araştırma-geliştirme çalışmalarının eş-zamanlı yürütülen "Temiz Enerjili Kampus Projesi" kapsamında tamamen bölgesel gereklilik ve uygulanabilirlik göz önüne alınarak seçilen prototip bir rüzgâr-güneş hibrid güç sistemi tanıtılmaktadır. Bölgesel güneş enerjisi potansiyelinin yüksekliği nedeniyle, güneş enerjisi teknolojilerinin etkin kullanımının bir adımı olan hibrid sistem uygulaması, Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından desteklenen proje kapsamı içerisinde yer almaktadır.

Rüzgâr-Güneş Enerjisi

Rüzgâr enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde rüzgâr jeneratörleri kullanılmaktadır. Rüzgâr jeneratörü kanadı ile aldığı enerjiyi, jeneratörde doğrudan alternatif akım (AC) olarak elektrik enerjisine dönüştürür.

AC olarak üretilen enerji doğru akıma (DC) kontrol cihazında düzenlenerek dönüştürülür. Elde edilen enerji bataryada depo edilir. Bu yolla DC yükü doğrudan kullanılabilirliği gibi invertör ile AC'ye (220V/50Hz'lik veya 110V/60Hz'lik AC) dönüştürülerek de kullanılabilir. Rüzgâr jeneratörü ile elde edilebilecek enerji miktarı (E),

$$E = \frac{1}{2} QV^2 \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Eşitlikte Q ve V sırasıyla rüzgarın debisini ve hızını göstermektedir.

Rüzgar debisi ise; ρ havanın yoğunluğunu ve A ise hız doğrultusuna dik yüzeyi göstermek kaydıyla, süreklilik denklemi kullanılarak,

$$Q = \rho AV \quad (2)$$

eşitliği ile bulunur. Eşitlik (1) yeniden düzenlendiğinde, rüzgar enerjisi ile rüzgar hızının küpü arasındaki

$$E = \frac{1}{2} \rho AV^3 \quad (3)$$

bağıntısına ulaşılır. Bu bağıntıya göre, sistem tasarımında en önemli parametre rüzgar hızı olduğundan, rüzgâr enerjisi üretiminde yer seçimi, iklim ve jeolojik yapı oldukça önemlidir.

Güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üretmek için fotovoltaik (PV) olarak adlandırılan güneş panelleri kullanılmaktadır. Yarı iletken levhalardan oluşan fotovoltaikler, güneş ışığındaki elektromanyetik dalgalar, elektronları yarı iletken plakanın bir katmanından bir diğer katmanına hareket ettirerek elektrik akımı oluşturma prensibine dayanır. Küçük hücre olarak elde edilen fotovoltaik hücreler istenilen güç ve voltaj aralığında birbirine paralel ya da seri bağlanarak farklı gerilim ve kapasitede fotovoltaik paneller elde edilir. Fotovoltaik hücre üretiminde, yarıiletken özellik gösteren silyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi maddeler farklı kaplama teknikleriyle üretilmektedir. Değiş-

ken iklim koşullarının etkisiyle güneş panellerinde güç çıktısı farklı miktarlarda olmaktadır. Bu panel yüzeyine gelen enerji, panel yapısına bağlı olarak %10 ile %30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Ticari olarak piyasaya sürülen PV panellerde nominal çalışma verimi yaklaşık olarak %15 civarındadır. Bir fotovoltaik panel tarafından üretilen elektrik enerjisinin hesabında,

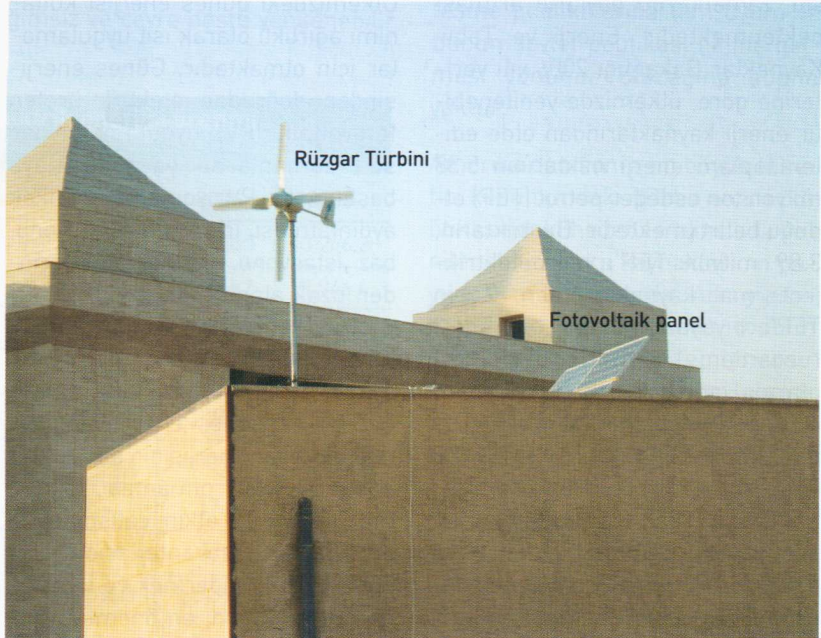
$$P = IV = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{A}\right) - 1 \right] V \quad (4)$$

denklemi kullanılmaktadır. Denklenmedeki I_L yüzeye ışınım düştüğünde üretilen akımı, I_0 karanlık devre akımı, R_s seri direnci, A termal voltajı, I ve V sırasıyla çalışma akımını ve voltajını göstermektedir. (4) denklemi ile güç hesabının yapılabilmesi için, PV panel üretici firma kataloglarında, standart test şartları (1000 W/m^2 ışınım şiddeti ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ çevre sıcaklığı) için belir-

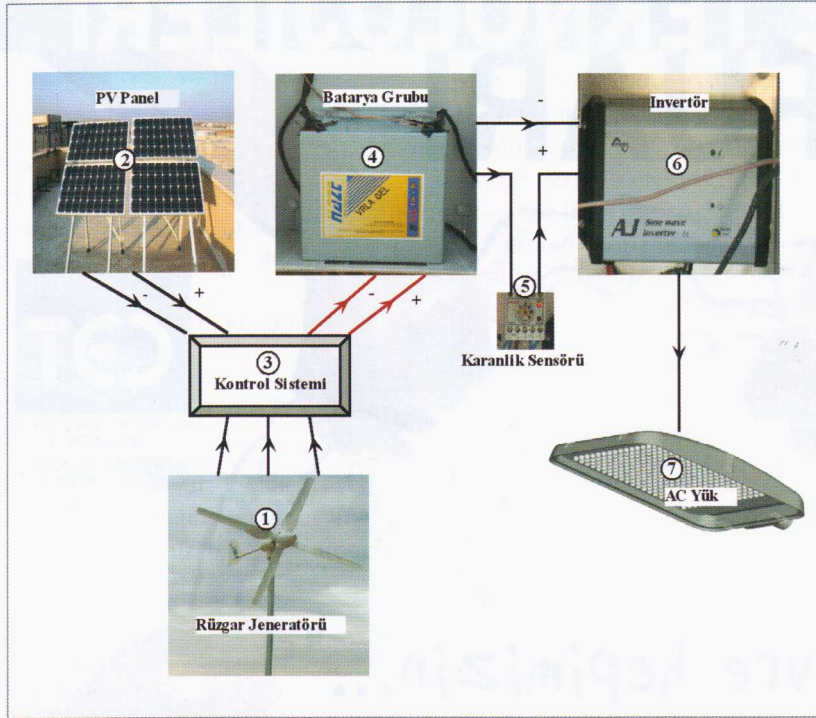
tilmiş bazı verilerden yararlanmak gereklidir. Hesap aşamaları Fıratoğlu ve Yeşilata (2004) tarafından detaylı olarak açıklanmıştır.

Rüzgar-Güneş Enerjili Hibrid Sistem

Harran Üniversitesi Osmanbey Yerleşkesi'nde yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanılarak elektrik şebekesinden bağımsız elektrik enerjisi üretimi için, rüzgâr-güneş enerjili hibrid güç sistemi kurulmuştur. Osmanbey yerleşkesi, Şanlıurfa'nın doğusunda ve merkeze 22 kilometre uzaklıkta 27000 dönüm arazi üzerine kurulmuştur. 1.1 kWh kapasitesindeki bileşik sistem yerden yaklaşık 15 metre yükseklikteki Mühendislik Fakültesi binası çatısına yerleştirilmiştir (Şekil 1). Yerel elektrik şebeke hattından bağımsız olarak çalışan hibrid sistemde üretilen enerji, fakülte binasının çeşitli bölümlerinin aydınlatılmasında kullanılmaktadır.



Şekil 1. Rüzgâr-güneş hibrid güç sistemi yerleşim planı



Şekil 2. Rüzgâr-güneş hibrid güç sistemi akış şeması

Sistem Bileşenleri

Bu sistemin akış şeması Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi 1 ve 2 noktalarında, yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr ve güneş enerjisinden faydalanmak için rüzgâr jeneratörü ve fotovoltaik güneş pilleri kullanılmaktadır.

Rüzgâr jeneratöründe alternatif akım ve PV panellerde doğru akım olarak elde edilen elektrik enerjisi, 3 noktasındaki hibrid kontrol cihazına aktarılır. Burada düzenlenen elektrik enerjisi, DC olarak 4 noktasında bulunan batarya grubunun şarjında kullanılır. Bataryalarda DC olarak depolanan enerji, aydınlatmaya ihtiyaç duyulduğu zamanlarda 5 noktasındaki karanlık sensörünün devreyi tamamlaması ile 6 noktasındaki invertörde AC'ye dönüştürülerek 7 noktasında sisteme bağlı bulunan AC aydınlatma armatürlerinin yanması sağlanır.

Enerji Bileşenlerinin Teknik Özellikleri

Mühendislik Fakültesi'nde kurulan hibrid sistemde 800 W gücündeki rüzgâr jeneratöründe 48 V'luk AC elektrik enerji üretmektedir. Rüzgâr jeneratörü yakın görünüşü Şekil 3a'da sunulmuştur. Hassas enjeksiyon kalıplama tekniği ile yeni ve hafif bir kompozit malzemeden imal edilen bu pervanenin çapı 2 metredir.

Mevcut mini rüzgâr jeneratörü yaklaşık 2.7-3.5 m/s rüzgâr hızı aralığında harekete geçebilmektedir. Sistem, enerji üretimine 4.5-5.5 m/s'lik rüzgâr hızına ulaşıldığında başlamaktadır. 20 m/sn rüzgâr hızının üzerinde ise sistem emniyeti açısından enerji üretimini kesmektedir.

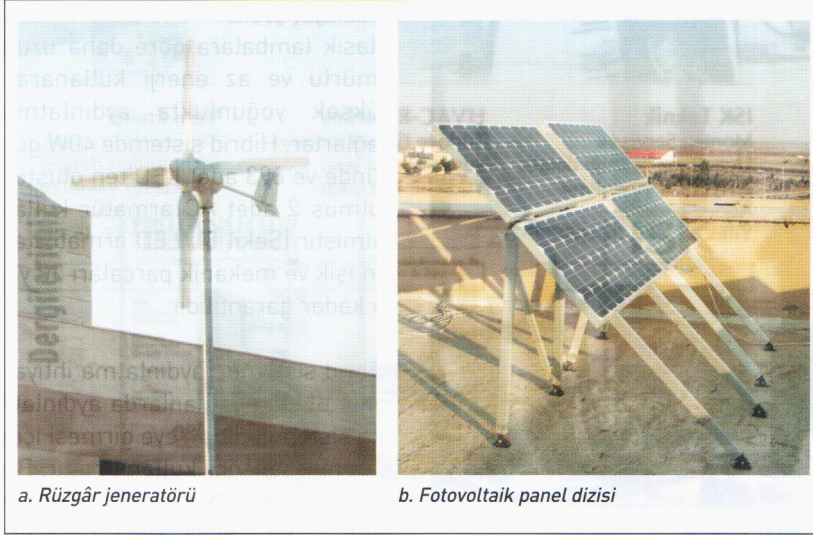
Rüzgâr jeneratörünün maksimum enerji üretimi, 12-13 m/s rüzgâr hızında olmaktadır.

AC jeneratöründe, jeneratörün çekme gücünü (drag torque) azaltan bir rotor manyetik devresi oluşturan özel stator sayesinde rotor ile jeneratör arasında daha iyi bir uyum sağlanmakta ve etkin rüzgâr hızı alanı genişletilmektedir. Böylece yıllık enerji üretimi artırılmaktadır. Jeneratörün kendi karakteristiğine uyumlu şekilde tasarlanan manyetik fren aleti, yapıyı basitleştirmekte ve çalışma güvenilirliğini artırmaktadır. Sonuç olarak burada kullanılan rüzgâr jeneratörünün düşük başlangıç rüzgâr hızı, yüksek sistem verimliliği, çalışma esnasında düşük titreme ve alçak ses, bakım ve kurulumunun kolay olması en önemli özellikleridir. Bu cihazda geleneksel küçük rüzgâr enerjisi dönüşüm sisteminde sıklıkla karşılaşılan kablo karışıklığı sorunu da ortadan kaldırılmıştır.

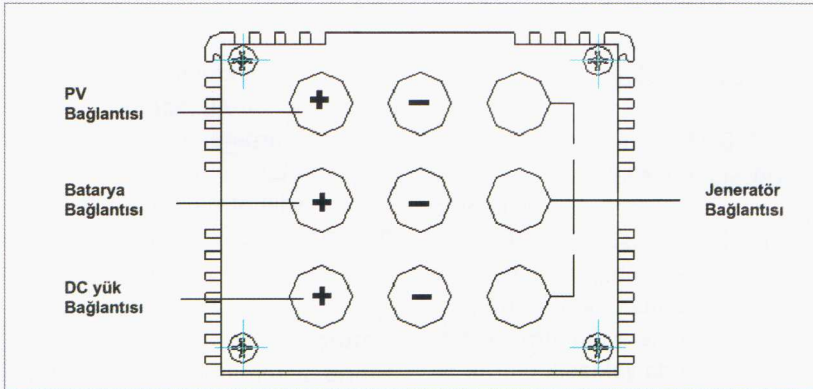
Hibrid sisteme, rüzgâr enerjisinin yetersiz olduğu durumlarda, sistemin enerji üretiminin devamını sağlamak amacıyla fotovoltaik güneş panelleri ilave edilmiştir. Hibrid sistemde, 4 adet monokristal hücreden oluşan 60W/12V paneller seri bağlanarak 48V DC elektrik enerjisi üretilmiştir. PV panel grubu güneşe doğru ve yer düzlemiyle 50°'lik bir açıyla yerleştirilmiştir. Şekil 3b'de hibrid sisteminde kullanılan PV panel dizisi gösterilmiştir.

Hibrid Sistem Regülâtörü

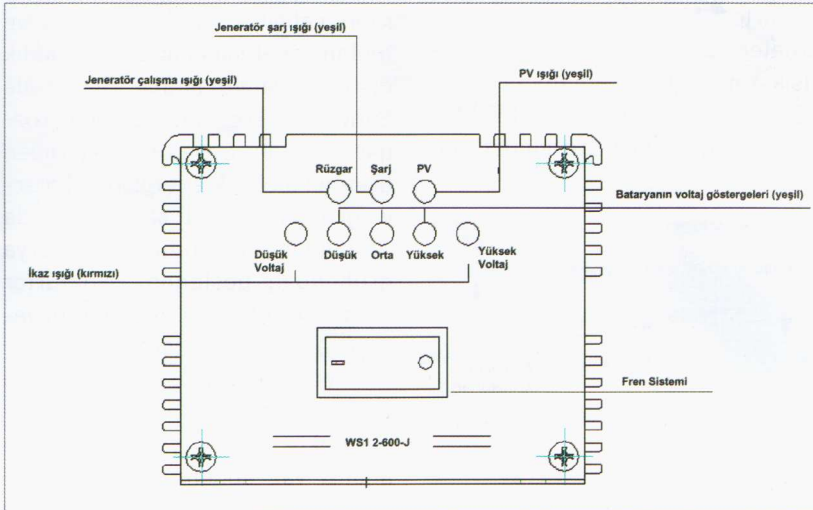
PV ve jeneratörden gelen enerji mikro işlemci tabanlı hibrid kontrol cihazında düzenlenir. Şekil 4'te hibrid kontrol cihazı bağlantı şeması sunulmuştur. Cihaz üzerinde 9 soket bulunmaktadır. Rüzgâr jeneratörü için üç, güneş panelleri, batarya grubu ve DC yük için ikişer soket bulunmaktadır.



Şekil 3. Hibrid sistem enerji kaynakları



Şekil 4. Hibrid kontrol cihazı bağlantı şeması



Şekil 5. Hibrid kontrol cihazı kumanda paneli

PV ve jeneratörden kontrol cihazına gelen elektrik enerjisi, güneşli ve rüzgarlı anlarda her ikisinden veya güneş ve rüzgardan birisinin olduğu anda sadece birinden gelebilir. Bu tamamen çalışma anındaki güneş ve rüzgârın durumuna bağlıdır. Şekil 5'te hibrid kontrol cihazının kumanda paneli gösterilmiştir.

Şekil 5'ten görüldüğü gibi, kumanda panelinin üst tarafında bulunan 3 adet gösterge ışığı, PV ve jeneratör devrede olduğunda ve batarya grubu şarj edildiğinde yanmaktadır. Batarya grubu hibrid kontrol cihazından gönderilen enerji ile şarj edilmektedir. Dolayısıyla batarya grubunun voltajı sistemden gelen enerji miktarına göre değişmektedir. Pano üzerinde ikinci sırada bulunan gösterge lambaları, batarya grubunun voltaj seviyesini düşük, orta ve yüksek olarak 3 farklı seviyede göstermektedir. Batarya grubunun minimum ve maksimum voltaj aralıklarına ulaştığında (44V ve 53V) kontrol panelinde bulunan diğer 2 gösterge lambası ile uyarı vermekte, aynı zamanda sesli olarak da uyarılmaktadır. Jeneratörün kendi karakteristiğine uyumlu şekilde tasarlanan yeni manyetik fren tertibatı ile sistemin çalışma güvenliği sağlanmaktadır. Kontrol paneli üzerine fren butonu yerleştirilmiştir. Bu buton açık konumdayken jeneratör çalışır vaziyettedir. Kapalı, yani fren konumuna aldığımızda ise jeneratör rotoru dönmemektedir.

Enerji Depolama Ünitesi (Batarya Bank)

Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji DC olarak doğrudan kullanılabilir gibi, bataryalarda da depolanarak enerjinin üretilme-



Şekil 6. Hibrid sistem batarya bankası

diği zamanlarda kesintisiz olarak kullanılabilir. Genellikle 12V olarak üretilen bataryalar ile ihtiyaca ve uygulamaya göre seri veya paralel bağlanarak farklı gerilim ve kapasitede batarya grupları oluşturulabilir. Taşıtlarda kullanılan klasik bataryaların en önemli özellikleri kısa sürede yüksek akım ve güç vermeleridir. Sulu sistem olarak bilinen bu tip bataryaların kapalı alanlarda kullanımları, çıkardıkları asit salgıları nedeniyle risklidir. Bu tip bir riski taşımayan kapalı sistem kuru ve jel tipi bataryalar, PV uygulamalarında tercih edilirler. Bu bataryaların uzun işletme ömürlü olması, daha fazla sayıda şarj-deşarj yapması, depolanan enerjinin büyük kısmının kullanılabilir olması ve bakım gerektirmesi en önemli özellikleridir. Hibrid sistemde 4 adet 12V/55 Ah'lık jel tipi batarya seri olarak bağlanarak kullanılmıştır (Şekil 6).

Enerji Dönüştürücü (İnvertör)

AC yük beslenen sistemlerde, DC doğrudan kullanılmadığı için AC yük ile batarya grubu arasında DC'yi AC dönüştürmek için invertör olarak adlandırılan dönüştürücüler kullanılır (Şekil 7).

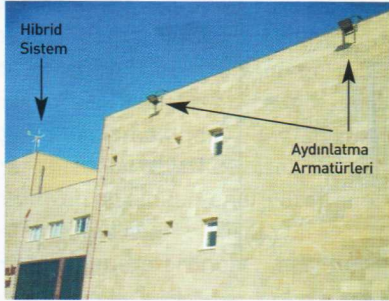
Hibrid sistemde kullanılan invertörün özellikleri ise Giriş Gerilimi: 48V DC, Giriş Toleransı: +/- % 20, Verim: →%85, Çıkış Gerilimi: 220V AC, Çıkış Toleransı: +/- % 1, PWM Frekansı: 10 kHz, Çıkış Frekansı:



Şekil 7. İnvertör

50 kHz, Çıkış Gücü: 50VA-100 kVA ve aşırı akım, yüksek ısı, yüksek ve düşük gerilime karşı korumalıdır.

AC Yük (Aydınlatma Projektörleri) Hibrid sistemde elde edilen elektrik enerjisi, örnek bir uygulama olarak, Mühendislik Fakültesi binası yanındaki otopark sahasının aydınlatmasında kullanılmıştır. Hibrid sistem ile aydınlatma armatürleri arasında yaklaşık olarak 50 metrelik bir mesafe vardır. Bu sistemde kullanılan aydınlatma armatürleri, Light Emitting Diode kelimelerinden kısaltılmış olan ve "Işık Yayan Diyot" anlamına gelen LED'li projektörlerdir. LED'ler elektrik enerjisini ışığa dönüştüren



Şekil 8. AC armatürlerin binaya montajı

yarı iletken devre elemanlarıdır. Klasik lambalara göre daha uzun ömürlü ve az enerji kullanarak yüksek yoğunlukta aydınlatma sağlarlar. Hibrid sistemde 40W gücünde ve 693 adet LED'ten oluşturulmuş 2 adet AC armatür kullanılmıştır (Şekil 8). LED armatürlerin ışık ve mekanik parçaları 20 yıla kadar garantilidir.

Hibrid sistemde aydınlatma ihtiyacının olduğu zamanlarda aydınlatma sisteminin devreye girmesi için karanlık sensörü kullanılmıştır. Bu sensör ile ayarlanan ışık şiddetine göre sistem açılır veya kapatılır. Bir nevi anahtar görevi görmektedir. Karanlık algıladığı anda 0-30 saniye bekleme süresinden sonra enerji verilmektedir. Işık algılandığında ise 30-60 saniye bekleme süresinin ardından enerji kesilerek sistemin kontrolü sağlanmaktadır. Farklı aydınlatma şiddeti ve çalışma süresine yönelik kontrol ve ayarlamalar da yapılabilmektedir.

Sonuç

Hibrid sistemin kurulumundan itibaren geçen yaklaşık 3 aylık çalışma döneminde, sistem elemanlarının çalışma karakteristikleri ve toplam enerji bilançosuna yönelik ölçümler yapılmaktadır. Bu süreçte Şanlıurfa yerel koşullarında, rüzgar jeneratörü ve PV sistemden üretilen elektrik enerjisinin, batarya grubunu sürekli şarjlı durumda tutabildiği gözlenmiştir. Batarya grubundan beslenen armatürler ile geceleri kesinti olmadan güvenilir aydınlatma temin edilebilmektedir. Hibrid sistemin çalışma performansına yönelik ölçümler sürmekte olup, sayısal değerlerin analizi yaz dönemlerini kapsayacak şekilde genişletilerek rapor edilecektir. **Y/E**