Bir Eğitim Kampüsü için Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Pelin Yılmaz[(1)], M. Hakan Hocaoğlu [(2)], Alp Er Ş. Konukman [(3)]
(1) Strateji Bilimi Bölümü, (2) Elektronik Mühendisliği Bölümü, (3) Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
Gebze 41400, Kocaeli.
(1) pyilmaz@gyte.edu.tr, (2) hocaoglu@gyte.edu.tr, (3) konukman@gyte.edu.tr

Özet: *Elektrik dağıtım şirketlerinin sunduğu elektrik tarifeleri, tüketicileri Talep Yönetimi Metodunu uygulayarak temiz ve ucuz enerji elde etmeye yönlendirmiştir. Bu çalışmada, bir eğitim kampüsünün günlük ve mevsimsel elektrik talep değişimleri, talep yönetimi metodu ile birlikte analiz edilerek kampüsün ekonomik açıdan yenilenebilir enerji potansiyeli değerlendirilmiştir. Değerlendirilen talep yönetimi sistemi, fotovoltaik ve rüzgar enerji sistemlerinin oluşturduğu hibrid sistemin elektrik şebekesi ile bütünleştirilmesini kapsamaktadır. Hibrid sistemi oluşturan yenilenebilir enerji sistemleri için hesaplanan maliyet fonksiyonları ve kampüsün elektrik talebi, talep yönetimi sistemi* içerisinde *analiz edilerek kampüs için optimum yerel enerji sistemi belirlenmiştir. Ayrıca, gelecek yıllarda fotovoltaik sistemin verimindeki iyileştirmelerin sistemin toplam elektrik maliyetine etkisi incelenmiştir.*

1. Giriş

Önümüzdeki yıllar için yapılan enerji uzgörülerinde, tedarikleri güvenli ve çevre dostu olan yenilenebilir enerji sistemlerinin bir kombinasyonu olan hibrid enerji sistemlerine öncelik verileceği görülmektedir [1]. Bölgeden bölgeye değişen jeografik ve çevresel faktörlere olan bağımlılıkları ise yenilenebilir enerji sistemlerinin ve dolayısıyla hibrid enerji sistemlerinin yerel politikalar içerisinde değerlendirilmesini gerektirmektedir [2]. Bunun yanında yüksek tarifeye sahip zaman aralıklarında dış şebekeden çekilen enerjiyi ve toplam elektrik maliyetini azaltma tekniklerini kapsayan talep yönetimi metodu sayesinde, hibrid sistemlerin tasarımı ve işletimi optimize edilerek yerel enerji politikalarının kapsamı daha da artırılmıştır [3].

Bu çalışmada bir eğitim kampüsü için optimum yerel enerji sistemi tasarımı yapabilmek için ilk olarak üç çeşit veri toplanmıştır. Toplanan verilerden iki tanesi yerel karakteristiğe bağlı olan yenilenebilir potansiyel ve yıllık enerji talebi ile ilgili verileridir. Üçüncü veri ise yenilenebilir enerji sistemlerinin yatırım ve işletim giderleri ile ilgilidir. İkinci adımda ise bu veriler talep yönetimi metodu ile birlikte değerlendirilerek en ekonomik sistem belirlenmiştir. Ayrıca geleceğe yönelik olarak fotovoltaik sistemlerin verimindeki artışın toplam elektrik maliyetine etkisi de incelenmiştir.

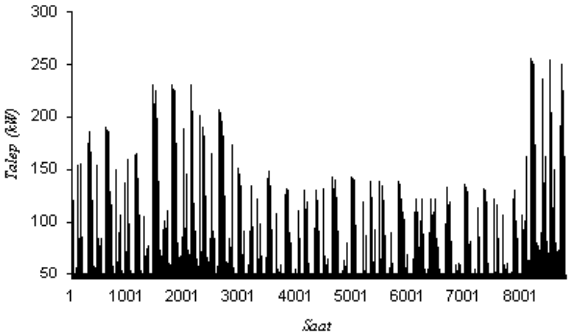
2. Talep Yönetimi

Türkiye'de, bir gün içinde üç farklı zaman aralığında uygulanan ve Tablo 1'de gösterilen elektrik tarifesi, tüketicilerin talep yönetimi tekniklerini kullanmalarına olanak vermektedir. En yüksek fiyata sahip olan 17.00-22.00 saatleri arasının, kampüs elektrik talebinin de yüksek olduğu bir zaman periyodunu içine alması, kampüs için bir talep yönetimi planlaması yapılmasını akla getirmiştir.

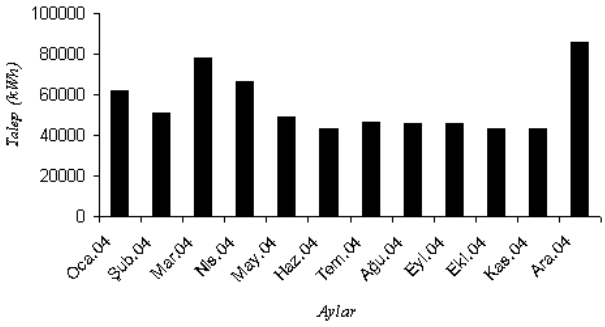
Tablo 1. Türkiye'de uygulanan elektrik tarifesi

Zaman Aralığı	Elektrik Fiyatı ($/kWh)
06:00-17:00	0.180
17:00-22:00	0.320
22:00-06:00	0.097

Kampüs için yapılacak olan bu planlama, kampüsün saatlik elektrik talep değerlerinin bilinmesini gerektirmektedir. Baz olarak alınan bir haftanın, saatlik elektrik taleplerinin bir talepölçer ile belirlenmesinin ardından, ölçülen değerlerin ortalama haftalık talebe oranlanmasıyla, yılın her haftası için saatlik elektrik talep verisi elde edilmiştir. Şekil 1 ve Şekil 2'de, sırasıyla, yıllık ve aylık elektrik talep grafikleri gösterilmiştir.

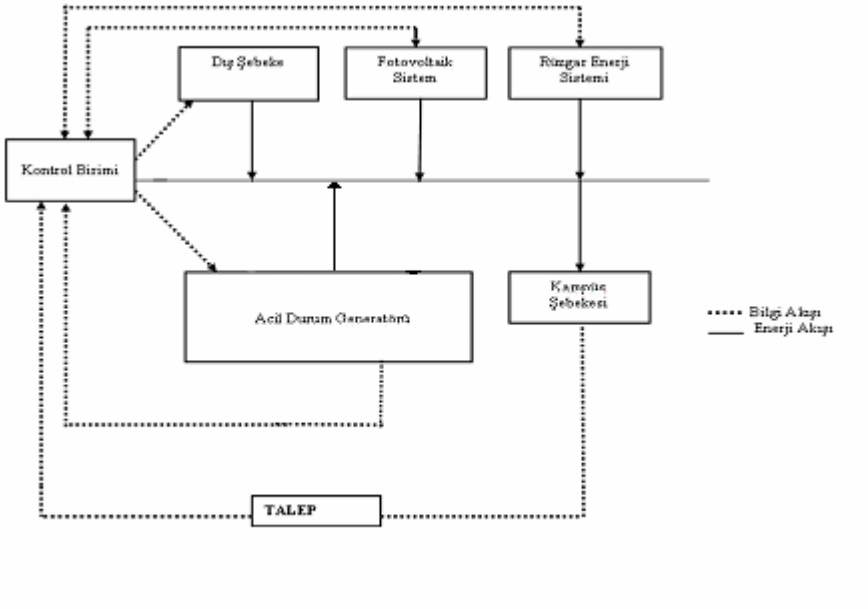


Şekil 1. Kampüs için saatlik elektrik talebi



Şekil 2. Kampüs için aylık elektrik talebi

Bununla birlikte, şehir şebekesinden çekilen elektrik enerjisinin, özellikle yüksek tarifeye sahip zaman aralıklarında, başka alternatif enerji kaynaklarıyla üretilerek karşılanması da talep yönetimi sistemlerinin bir konusudur. Kampüsün coğrafi özelliklerinin yenilenebilir enerji kaynakları için elverişli olması, bu kaynakların kombinasyonu olan bir hibrid enerji sisteminin, talep yönetimi sistemi içerisinde kullanılmasına olanak vermektedir. Şekil 3'de, bu çalışmada kullanılan talep yönetimi sistemi görülmektedir.



Şekil 3. Talep yönetimi sistemi

Şekil 3'de gösterildiği gibi, kesik çizgilerle gösterilen bilgi akışı diyagramı enerji talebini, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimi ile ilgili bilgileri içermektedir. Optimum işletim stratejisini belirlemek için de toplanan enformasyon, kontrol biriminde değerlendirilmektedir.

Sistemde kullanılan yenilenebilir enerji sistemleri, yerel güneş ışınım yoğunluğuna (Solar Radiation Intensity-SRI) olan fotovoltaik sistemden (PV) ve rüzgar hızı özelliklerine bağlı olan rüzgar enerji sistemlerinden (RES) oluşmaktadır. İşletim sürecinde, özellikle yüksek tarife periyotlarında talep yönetimi sisteminin birer bileşeni olan yenilenebilir enerji kaynakları, ürettikleri enerji ile şebekeye bir alternatif olarak talebi karşılamaktadır. Talebi karşıladıktan sonra bir enerji fazlalığı ortaya çıkıyorsa şebekeye verilerek bir geridönüşüm sağlanmaktadır.

3. Yenilenebilir Enerji Potansiyeli

Bu bölümde, genel literatür ve kamu birimlerinden sağlanan veriler baz alınarak, yerel güneş ve rüzgar enerjisi potansiyelleri incelenmiştir. Bununla birlikte, optimizasyon çalışmasına esas olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili mevcut pazarlardan alınan veriler, ekonomik açıdan değerlendirilmiştir.

3.1 Güneş Işıması Yoğunluğu ve Fotovoltaik Sistemin Ekonomisi

Güneş enerjisi ile ilgili uygulamalar, genellikle, bulunulan bölgenin iklimsel koşullarına ve birim alan başına düşen güneş ışınımına bağlıdır. Güneşin konumundan, enlem derecesinden ve bulutluluk faktöründen dolayı bölgeden bölgeye farklılıklar gösteren güneş ışınımı yoğunluğunun mevsimsel ve saatlik değişimi, verimli bir sistemin tasarlanması açısından önemli bir etkendir bu da yerel iklimsel parametrelerin hassas şekilde bilinmesini gerektirmektedir.

Bu çalışmada ele alınan sistem için, Şekil 4'de gösterilen saatlik güneş ışınım yoğunluğu verisi, literatürde verilen ampirik formüller ile üretilmiştir [4]. PV kolektörlerden alınan etkin güneş ışınımı yoğunluğu için hesaplar, % 14 verime sahip olan ve optimum işletim için belirlenen açı ile yerleştirilen fotovoltaik kollektörler temel alınarak yapılmıştır. Şekil 5'de ise her bir mevsim için belli bir gündeki güneş ışınım yoğunluğunun değişimi gösterilmiştir.

Fotovoltaik sistemlerde üretilen enerji, sistemi oluşturan fotovoltaik modüllerin boyutlarının bir fonksiyonudur. Bundan dolayı kullanılan toplam modül alanı, enerji çıktısı açısından önemli bir parametredir. Seçilen fotovoltaik sistem örneği için, toplam modül alanı, anma gücünün P_r (kW) bir fonksiyonu olarak kabul edilmiş ve etkin enerji üretimi P_s (kW), aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

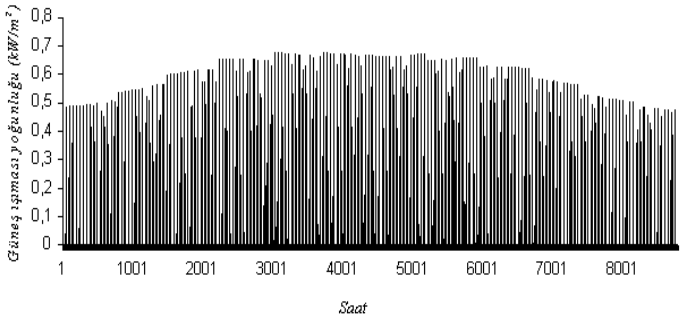
$$P_S = 7.74 \cdot P_r \cdot SRI \cdot C_f \quad \textbf{(1)}$$

Denklem (1)'de SRI kWh/m^2 birimine sahip güneş ışınımı yoğunluğunu, C_f fotovoltaik hücrenin dönüştürme faktörünü belirtmektedir. 7.74 değeri ise seçilen fotovoltaik sistemin iyilik faktörüne bağlı bir katsayıdır.

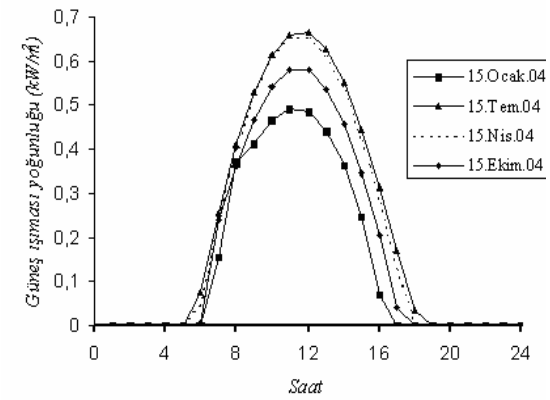
Fotovoltaik sistemin maliyetini hesaplayabilmek için seçilecek sistemin çeşidi, boyutları, beklenen servis ömrü kurulum ve dönüştürücü fiyatları değerlendirilmiştir [5]. Bu çalışma için seçilen fotovoltaik sistem, 25 yıl üzerinden amortize edilerek, talep yönetimi planlaması için optimum maliyeti bulmak amacıyla, ekonomik verilerle birlikte analiz edilmiş ve saatlik enerji maliyeti (Cpv), Denklem (2) de belirtildiği gibi formülleştirilmiştir.

$$C_{pv} = 10610 \cdot P_r / 219150 \quad \textbf{(2)}$$

Denklem (2)'de C_{pv} fotovoltaik sistemin saatlik maliyetini belirtmektedir ve \$/kWh cinsinden verilmektedir.



Şekil 4. Bir yıl için saatlik güneş ışınım yoğunluğu



Şekil 5. Bir günlük güneş ışınım yoğunluğu

3.2 Rüzgar Güç Yoğunluğu ve Rüzgar Enerji Sistemi Ekonomisi

Elektrik üretimi için rüzgardan yararlanılabilinmesi, yerel rüzgar güç yoğunluğu karakteristiğine ve seçilen rüzgar enerjisi sisteminin teknik özelliklerine bağlıdır. Birim alanda beklenen rüzgar gücünü hesaplamakta kullanılan rüzgar güç yoğunluğu, rüzgar hızının ve havanın özkütlesinin bir fonksiyonudur. Buna bağlı olarak da toplam kullanılabilir rüzgar enerjisinin değeri Denklem (3) ile bulunabilir.

$$P_w = P_w' \cdot A_r = (1/2) \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A_r \quad \textbf{(3)}$$

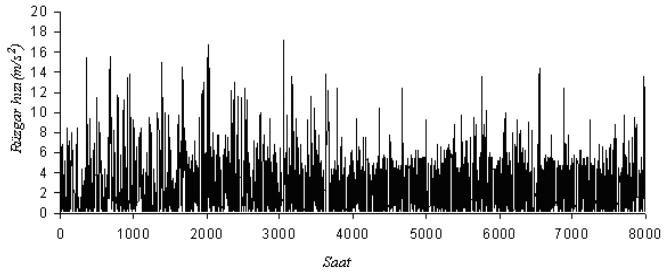
Denklem (3)'de P_w kullanılabilir rüzgar enerjisini, P_w' rüzgar güç yoğunluğunu, ρ havanın özkütlesini, v rüzgar hızını, A_r rotorun süpürme alanını belirtmektedir.

Bununla birlikte, bir rüzgar türbininden alınabilecek elektrik gücü, sistemin kapasite faktörüne ve jeneratör, pervane gibi mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren araçların verimliliklerine bağlıdır. Kapasite faktörü, sistemin belirlenen bir sürede ürettiği enerjinin, azami üretilebileceği enerjiye oranıdır. Türbin elektrik güç üretimi (P_{we}) Denklem (4) ile hesaplanabilmektedir.

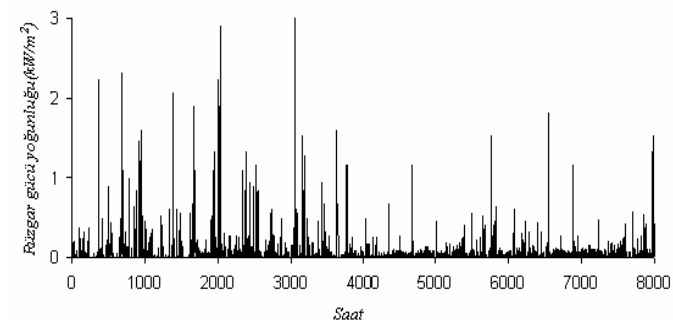
$$P_{we} = P_w \cdot \eta \cdot C_p \quad \textbf{(4)}$$

Ayrıca rüzgar enerji sisteminin güç çıkışını etkileyen diğer önemli parametreleri ise türbinin düşük-kesim (cut-in) ve yüksek-kesim (cut-off) hızlarıdır. Çok düşük hızlarda rüzgar türbini elektrik üretemez. Düşük-kesim hızını aştıktan sonra türbin kullanılabilir enerji üretmeye başlar. Eğer rüzgar hızı yüksek-kesim hızını aşarsa, türbin hasar görmemek için kendisini kapatır ve elektrik üretimine son verir [6]. Böylece türbinin teknik özellikleri ile sistemin kurulacağı bölgenin karakteristiğinin birbirini tamamlaması, verimli bir sistemin kurulumu için gereklidir. Havanın özkütlesi ve rüzgar hızı karakteristiği, mevcut bölgenin topografisi, yapay rüzgar kırıcıları ve sıcaklık-basınç değişimleri gibi yerel faktörlerin etkisi altında olduğundan, rüzgar enerji sistemlerinin tasarımı kurulacağı bölgenin özellikleri gözönünde bulundurularak yapılmalıdır.

Şekil 6'da gösterilen yerel saatlik rüzgar hızı verileri, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir [7]. Veriler incelendiğinde bahar dönemi boyunca rüzgar hızlarının daha yüksek olmasına karşın mevsimsel ortalama rüzgar hızlarının arasındaki farkın çok büyük olmadığı görülmektedir. Ayrıca yüksek rüzgar hızlarının genel olarak, kampüsün enerji talebinin yüksek olduğu periyotlarla çakışması, rüzgar enerji sisteminin talep yönetim sistemi içerisinde etkin şekilde kullanılmasını sağlamaktadır. Bölgesel saatlik rüzgar hızı verileri, sırasıyla 3 m/s ve 25 m/s düşük-kesim ve yüksek-kesim hızları ile sınırlandırılmış, ortalama 20 m-25 m yükseklikte hareket merkezine ve % 30 kapasite faktörüne sahip olan rüzgar türbinlerinin teknik özellikleri gözönünde bulundurularak, saatlik rüzgar güçlerinin elde edilmesinde kullanılmıştır [8]. Saatlik rüzgar gücü verilerine temel oluşturan saatlik rüzgar yoğunluğu verileri şekil 7'de gösterilmektedir.

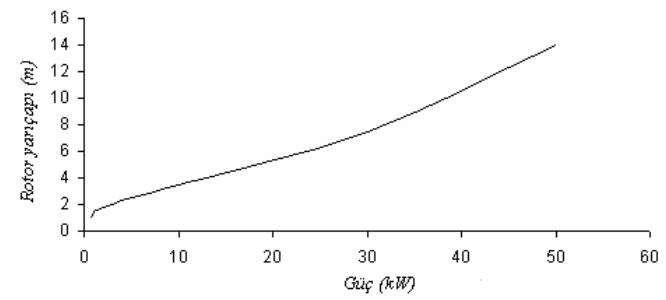


Şekil 6. Gebze Bölgesi için saatlik rüzgar hızları



Şekil 7. Saatlik rüzgar güç yoğunluğu

Rüzgar türbininin rüzgardan elde ettiği enerjiyi belirleyen diğer önemli bir parametre ise rotorun süpürdüğü alandır. Bundan dolayı rüzgar türbininin rotor yarıçapı ve anma gücü arasındaki bağıntı optimum bir sistemi seçebilmek için gerekli bir etmendir. Şekil 8, bu çalışma için seçilen türbin tipleri için ortaya konan rotor yarıçapı ve anma gücü arasındaki ilişki sunulmaktadır.



Şekil 8. Anma gücün bir fonksiyonu olarak rotor yarıçapı

Şekil 8'de sunulan veriler arasındaki korelasyon, üçüncü dereceden bir denklem ile ifade edilebilmektedir. Bu denklemin katsayıları ise parametre kestirimi ile elde edilerek Denklem (5) oluşturulmuştur.

$$R_r = (0.0001 \cdot P_r^{\,3}) - (0.0062 \cdot P_r^{\,2}) + (0.3076 \cdot P_r) + 1.01283$$

(5)

Denklem (5)'de rotor yarıçapı R_r ve anma gücü P_r sırasıyla m ve kW birimlerine sahiptir.

Bununla birlikte bu çalışmada optimum entegre bir sistem tasarımı için seçilen rüzgar enerji sisteminin ekonomisi de incelenmiştir [9]. Rüzgar enerji sisteminin maliyeti, mevcut pazardaki türbin verileri incelenerek, anma gücünün bir fonksiyonu olarak belirlenerek 20 yıl üzerinden amortize edilmiştir. Yine dördüncü dereceden bir polinom şeklinde belirlenen maliyet fonksiyonunun katsayıları, parametre kestirimi ile bulunmuştur ve Denklem (6) ile gösterilmiştir.

$$C_{wes} = [0.00492 \cdot (P_r)^4 - 4.79 \cdot (P_r)^3 + 152.48 \cdot (P_r)^2 + 2111.3 \cdot P_r + 5001.5] / 175320$$

(6)

C_{wes} ,$/kWh olarak rüzgar enerji maliyetini belirtmektedir.

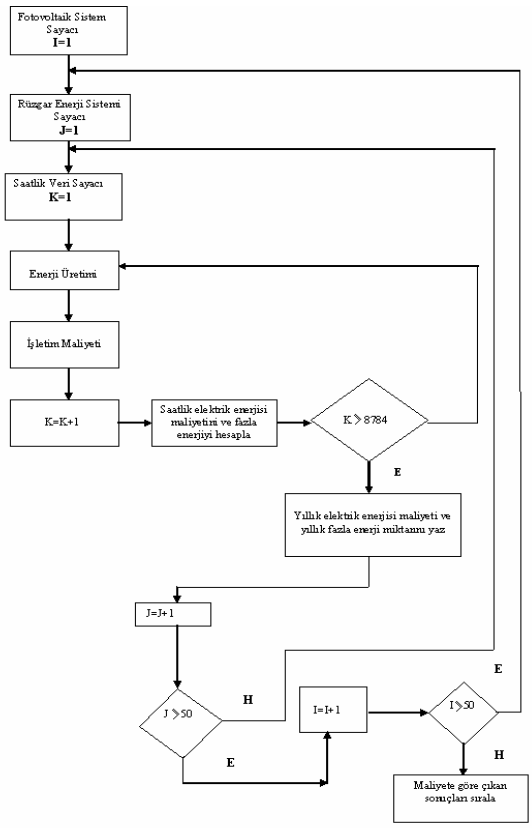
4. Sistem Optimizasyonu

Kampüs elektrik maliyetini minimize etmek amacıyla, Şekil 3'de gösterilen yenilenebilir enerji kaynaklarının tasarım parametreleri, grid arama yöntemi ile optimize edilmiştir. Şekil 9'da sunulan algoritma, bu çalışmada talep yönetimi sistemi içerisinde kullanılan 1 kW ile 50 kW arasında kapasiteye sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının bütün kombinasyonları için saatlik işletim maliyetini, saatlik enerji üretimini, saatlik artan enerjiyi ve toplam sistem maliyetini hesaplayabilmektedir. Hesaplama işlemi bir önceki yılın saatlik rüzgar hızı, saatlik güneş ışınımı yoğunluğu ve saatlik kampüs talep değerlerine dayandırılmaktadır. Azami anma gücü, güneş ve rüzgar enerji sistemleri için, kampüs de kullanılabilecek alanın kısıtlı olması gibi sebeplerden dolayı 50 kW olarak seçilmiştir.

5. Sonuçlar ve Tartışma

Toplam maliyet minimize edildiğinde, optimum sistemin, 120556 $/yıl maliyete ve 14435 kW/yıl fazla enerjiye neden olan 50 kW kapasiteye sahip rüzgar enerji sistemi ile gerçekleştirildiği görülmektedir. Kampüs talebi sadece konvansiyonel şebekeden sağlandığında ise toplam yıllık enerji maliyeti 123091 $/yıl olduğu görülmektedir. Bundan

dolayı talep yönetimi sisteminin uygulanmasıyla birlikte yıllık olarak yaklaşık 3000 $ tasarruf edileceği görülmektedir.



Şekil 9. Talep yönetimi sistemi algoritması

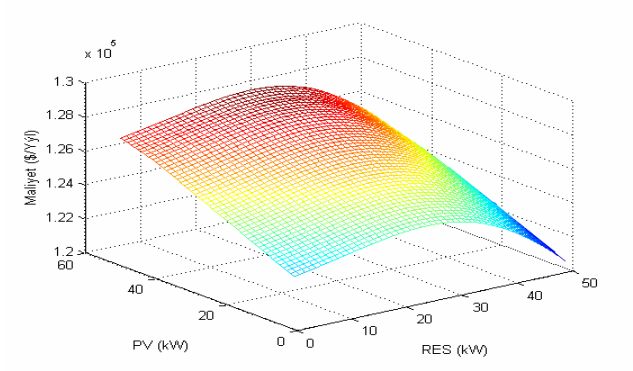
Optimizasyon sonuçları incelendiğinde ortaya çıkan diğer bir sonuç ise Tablo 2'de listelenen sistem kombinasyonlarının da konvansiyonel sistem ile yaklaşık olarak aynı seviyede enerji maliyetine sahip olduklarıdır. Gelecek yıllarda ve yatırım süresi içerisinde petrol ve doğalgaz fiyatlarındaki artışın Türkiye'deki elektrik tarifesi fiyatlarını da artıracağının gözönünde bulunması ile yapılacak bir değerlendirme, listelenen sistem kombinasyonlarının ekonomik olarak etkin bir şekilde kullanılabileceğini ve uzun dönemlerde daha da fazla kar edilmesini sağlayacağını ortaya koymaktadır.

Table 2. Optimum sistem tasarımına yakın olan diğer kombinasyonlar

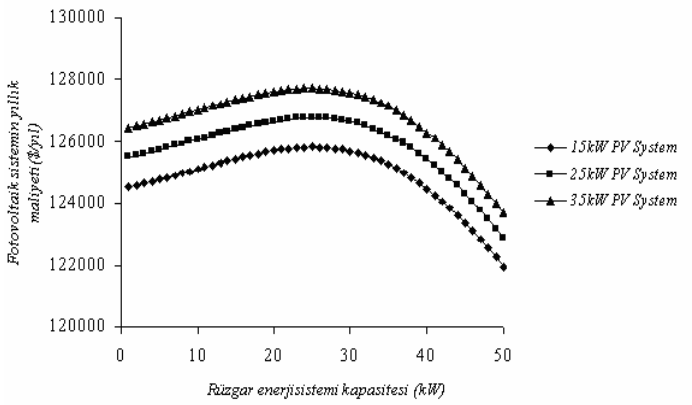
Optimum sistem maliyetine yakın olan sistem kombinasyonları	Fotovoltaik Sistem (kW)	Rüzgar Enerji Sistemi (kW)
1	24	49
2	12	45
3	7	43
4	28	50

Şekil 10'da, grid arama algoritmasından edinilen sonuçlar toplu olarak gösterilmektedir. Fotovoltaik sistemin kapasitesi arttırıldıkça yıllık toplam maliyette de artış gözlendiğinden, fotovoltaik sistemlerin, kampüsün konumu açısından bakıldığında pahalı bir alternatif enerji kaynağı olduğu anlaşılmaktadır. Diğer yandan, rüzgar enerji sistemi kapasitesi 25 kW aştığında maliyeti daha düşük bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 11'de 15 kW, 25 kW, ve 35 kW anma gücüne sahip fotovoltaik sistemler için rüzgar enerji sisteminin kapasite değişiminin, yıllık maliyet üzerindeki etkisi gösterilmektedir.

Şekil 11'i oluşturan veriler, fotovoltaik sistemdeki kapasite artışının aslında toplam yıllık maliyetin artması olarak değerlendirilebileceğini belirtmektedir. Ayrıca 25-30 kW aralığındaki rüzgar enerji sistemi ile 15-35 kW aralığındaki fotovoltaik sistemlerin kombinasyonlarının en pahalı işletim maliyetleri ile sonuçlandığı görülmektedir. Rüzgar enerji sisteminin gücü artırıldıkça ve bununla birlikte fotovoltaik sistemin kapasitesi düşürüldükçe, talep yönetimi açısından optimum dizayna ulaşılmaktadır.

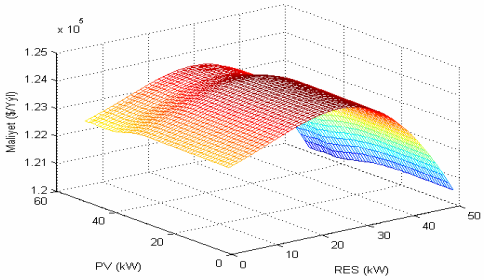


Şekil 10. Optimum sistem kombinasyonunun yıllık elektrik maliyeti



Şekil 11. Rüzgar kapasite değişiminin yıllık toplam elektrik maliyeti üzerindeki etkisi

İlave olarak, gelecek yıllarda yeni malzemelerin kullanılması ve geliştirilmesi ile birlikte fotovoltaik kolektörlerin veriminin artacağı beklenmektedir. Fotovoltaik sistem fiyatlarının sabit kalacağı varsayılarak verimdeki % 14 -25 aralığındaki değişimin, yıllık toplam maliyete olan etkisi ile ilgili geleceğe yönelik bir analiz yapılmıştır. Bu analizde, dönüştürme faktörü % 18 olduğunda, yıllık toplam maliyetin 120188 $/yıl'a düştüğü ortaya çıkmaktadır. Şekil 2'de dönüştürme faktörünün % 18 olarak alındığı grid arama algoritmasının sonuçları sunulmaktadır.



Şekil 12. % 18 verime sahip PV sistem için toplam maliyet eğrisi

Şekil 12 incelendiğinde, rüzgar enerji sisteminde yine 25 kW ve daha yüksek anma güçlerinde maliyetin düşmekte olduğu görülmektedir. Bunun yanında fotovoltaik sistemler içinde 35 kW ve daha yüksek kapasitelerde yıllık maliyetin düştüğü gözlenmektedir.

6-Sonuç

Bu çalışmada, bir eğitim kampüsü için hibrid sistem ile entegre şekilde tasarlanan talep yönetimi metodunun ekonomik potansiyeli incelenmiştir. Sonuçlar yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji maliyetini düşürme yönünde yararlanılabilceğini göstermiştir. Kampüsün konumu rüzgar enerji sistemlerinin uygulanmasına olanak vermesine rağmen, yenilenebilir enerji kaynakları büyük kapasitelerde kurulduğunda optimum sonuçlar alınmaktadır. Bununla birlikte fazla enerjinin depolanması ve gerektiğinde elektrik enerjisi olarak kazanımı ile çevre dostu bir geridönüşüm ortamı da yaratılacaktır. Konvensiyonel kaynakların tükenebilecek olması gözönünde bulundurularak bütünleşik yenilenebilir hibrid teknolojilerin, talep yönetimi sistemleri ile birlikte tasarlanacak yerel uygulamaları üzerinde önemle durulmalıdır.

Kaynaklar

[1] Topcu Y. I., Ulengen F., " Energy for the future : an integrated decision aid for the case of Turkey ", Energy' 29, 137-154, 2004.

[2] Nakken T., Hexeberg I., Hagen F. E., "Renewable Hydrogen Sources", Norsk Hydro ASA., 2004

[3] Ashari, M., Nayar, C.V., Keerthipala W.W.L. "Optimum operation strategy and economic analysis of a photovoltaic-diesel-battery-mains hybrid uninterruptible power supply", Renewable Energy, 22, 247-254, 2001.

[4] Tiris, M.,Tiris, C., Erdalli Y. :Gunes Enerjili Su Isıtma Sistemleri, Enerji Sistemleri ve Çevre AraştırmaEnstitüsü, TÜBİTAK-Marmara Araştırma Merkezi Matbaası, Gebze, Kocaeli, 1997.

[5] http://www.ips-solar.com

[6] http://www.dti.gov.uk

[7] Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü

[8] http://www.windpower.org

[9] http://www.fortiswindenergy.com