



HİBRİT GÜÇ SİSTEMİ İLE İKLİMLENDİRME YÜKLERİNİN OPTİMAL İŞLETİM MODELİ VE HASTANE İKLİMLENDİRME YÜKLERİ İÇİN TALEP CEVABI UYGULAMASI

Gürcan Şahin AKINCI¹, Yavuz EREN^{1*}

¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi,
Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Hibrit Güç Sistemi, Talep Cevabı, Optimizasyon, RT/GP, İklimlendirme Yükleri.</i>	Bu çalışmada, kamu kuruluşları, hastane, okul vb. gibi kurumların iklimlendirme cihazlarının yük talebinin karşılanmasında alternatif enerji kaynaklarından optimal olarak yararlanma stratejisi ele alınmıştır. İklimlendirme yüklerinin karşılanmasında rüzgar türbini (RT), güneş pili (GP) ve batarya (Bat) ile teşkil edilen hibrit güç sistemi önerilmiştir. Hibrit güç sistemi optimal talep cevabı uygulamasında kullanılmasına imkan verecek şekilde modellenmiştir. Ayrıca, hibrit kaynakların kesintili üretim karakteristikleri gereği hibrit güç sistemine şebeke gücü de ilave edilmiştir. Optimizasyon probleminde alternatif enerji kaynaklarının maksimum kapasitede kullanımı ve ilgili kaynakların öncelikli olarak iklimlendirme yüklerinin talebine cevap verecek şekilde kullanımı amaç olarak belirlenmiştir. Elde edilen karışık tamsayı lineer programlama modeli GAMS v.24.1.3 ortamında CPLEX v.12 çözücüsü ile test edilmiştir. Kış ve yaz koşulları dikkate alınarak optimal işletim modelinin benzetim çalışmaları yapılmıştır ve ilgili sonuçlar sunulmuştur.

OPTIMAL OPERATION MODEL OF HYBRID POWER SYSTEMS FOR HVAC LOADS AND DEMAND RESPONSE APPLICATIONS FOR HVAC LOADS OF AN HOSPITAL

Keywords	Abstract
<i>Hybrid Power System, Demand Response, Optimization, WT/PV, HVAC Loads.</i>	In this study, optimal power management strategy to make optimal operation of the alternative sources has been considered to meet the load demand of heating, ventilations and air conditioning (HVAC) units for public institutions, hospitals, schools, etc. A hybrid power system consisting of wind turbine (WT), photovoltaics (PV) and battery has been proposed. The system is modelled to be used in an optimal demand response application. Moreover, the grid has been added to the hybrid power system due to the intermittent generation characteristics of alternative power sources. The objectives defined by the optimization problem are the operation of the alternative power sources at maximum rate and primarily meeting the HVAC load demand by the relevant sources. The resulting mixed-integer linear programming model is tested in GAMS v.24.1.3 platform using the solver CPLEX v.12.

Alıntı / Cite

Akinci, G.Ş., Eren, Y., (2022). Hibrit Güç Sistemi ile İklimlendirme Yüklerinin Optimal İşletim Modeli ve Hastane İklimlendirme Yükleri için Talep Cevabı Uygulaması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(2), 574-586.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

G. Ş. Akinci, 0000-0002-9505-2190
Y. Eren, 0000-0001-9128-2856

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date	19.01.2022
Revizyon Tarihi / Revision Date	25.02.2022
Kabul Tarihi / Accepted Date	06.03.2022
Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2022

1. Giriş (Introduction)

Akıllı şebeke kavramı enerji güç sistemlerinin modellenmesi ve işletilmesi sürecinde köklü değişimlere sebep olmuştur. Bu değişim sürecinde alternatif enerji kaynaklarının da enerji arzında paylarının giderek artması bu

* İlgili yazar / Corresponding author: yeren@yildiz.edu.tr, +90-212-383-5969

değişimi ivmelendirmiştir. Çevre dostu ve verimli enerji kaynaklarının temini ve işleme alınması yanında enerji kullanımı da bir o kadar önemli bir hal almıştır. Genel olarak enerji tüketimini azaltıcı yönde geliştirilen yöntemler talep cevabı uygulamaları olarak bilinmektedir. Bu tip uygulamalar, alternatif enerji kaynaklarının optimal işletilmesi ile daha verimli sonuçlar üretebilmektedir. Talep cevabı uygulamalarının hem kullanıcı tipleri hem de elektriksel yük değerleri bakımından sınıflandırılabilen cihazlar için geliştirilmiş türleri bulunmaktadır. Bu bakımdan bakıldığında, iklimlendirme yüklerinin karşılanması da bir talep cevabı tipidir. İklimlendirme (Heating, ventilation and air conditioning-HVAC) yükleri ısıtma, soğutma ve havalandırma ekipmanlarının tamamının ihtiyaç duyduğu güç talebini temsil etmektedir. İklimlendirme yüklerinin, özellikle kamu kuruluşları veya sosyal amaçlı olarak çok sayıda insana hizmet sağlayan hastane gibi birimlerde önemli değerlere ulaştığı bilinmektedir. Bu bakımdan, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından hazırlanan Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği (BEPY) çalışmasında ortaya çıkan sonuçlara göre sağlık kuruluşları 600 kWh/m² enerji ile 750 kWh/m² enerji tüketim değerine sahip alışveriş merkezlerinden sonra en çok enerji tüketen bina tipidir (BEPY, 2008). Sağlık tesislerinin enerji tüketim değerinin dağılımı hakkında ise Shen vd. (2019) tarafından hastanelerin güç tüketim verileri ve de tüketim verilerinin sınıflandırılması konusunda detaylı bir çalışma sunulmuştur. İlgili çalışmada, sağlık kuruluşlarında iklimlendirme yüklerinin genel yük dağılımının %31'ine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla, iklimlendirme yükleri için geliştirilecek optimal talep cevabı uygulamaları araştırmacılar için önemli bir motivasyon kaynağıdır.

Bu çalışmada, kamu, hastane, okul vb. kurumların iklimlendirme yüklerinin karşılanmasında talep cevabı uygulaması ele alınmıştır. İlgili kurumların iklimlendirme yükleri yüksek güç talep ettiklerinden alternatif güç sistemlerinin kullanımı ile şebeke üzerindeki güç talebi artışının azaltılması amaçlanmıştır. Bu tür alternatif güç sistemlerinin yaygınlaşması bölgesel güç talebinin dengelenmesi ve yeni yatırım maliyetlerinin azaltılmasına doğrudan katkı sağlayacaktır. Bu amaç doğrultusunda rüzgar türbini (RT)/ güneş pili (photovoltaic) (GP) / batarya (Bat) ile teşkil edilen hibrit güç sistemi, iklimlendirme yüklerinin beslenmesi için önerilmiştir. Ayrıca, alternatif enerji kaynaklarının kesintili karakteristiklerini de dikkate alarak talep cevabının tam olarak karşılanması için elektrik şebekesi de güç sistemine dahil edilmiştir. Alternatif enerji kaynaklarının tam kapasite kullanımı ve iklimlendirme yüklerinin öncelikle alternatif enerji kaynaklarından sağlanmasını amaçlayan optimizasyon modeli sunulmuştur. Modelin testi için, hastane iklimlendirme yükleri ve yine hastaneler için önerilen alternatif enerji kaynak tipleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu çalışmada sunulan optimizasyon eğilimli hibrit güç sistemi modeli, benzer yükleri kapsayan kurumlar için kolayca uyarlanabilir şekilde verilmiştir. Ayrıca, başka alternatif güç sistemleri de genel modele kolayca eklenebilir.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Literatürde, binalardaki genel ve iklimlendirme cihazları gibi sınıflandırılmış enerji tüketimlerini optimal seviyede tutmayı amaçlayan bir çok çalışma bulunmaktadır. Sun vd. (2013) tarafından yapılmış olan çalışmada, dünyadaki enerji tüketiminin yüzde kırkına binaların sebep olduğu vurgulanarak, binaların günlük harcadığı enerji bedelini en aza indirmek için ihtiyaçlara göre değişim gösteren bir programlama tekniği önerilmiştir. Evsel enerji taleplerinin akıllı evler ile denetlenip şebeke bağlantısında uzak durumlar için bulanık mantık temelli karar verme süreci geliştirilmiştir (Arabul vd., 2017). Xu vd. (2015)'nin sunduğu çalışmada, talep edilen enerji miktarı ve üretilen enerji miktarı binada yaşayan insanların konfor seviyeleri dengede tutularak, enerji tüketimini azaltmak hedeflenmiştir. İklimlendirme yüklerinin doğurduğu talep cevabı uygulamaları incelendiğinde, Erdinc vd. (2017) tarafından, kullanıcı konforunu en az etkileyerek, iklimlendirme yüklerinin talep cevabının zaman içerisinde dinamik olarak kaydırılmasını dikkate alan bir strateji sunulmuştur. Bina otomasyonu kapsamında talep cevabı uygulaması geliştirilmesi fikrini öne çıkaran bir başka çalışmada, farklı noktalardaki iklimlendirme yüklerinin basit iletişim hatları ile talep cevabı uygulaması içerisinde etkin şekilde çalıştırılabileceği vurgulanmıştır (Goddard vd., 2014). Yine benzer amaç doğrultusunda, iklimlendirme sistemlerinin gerçek zamanlı çalışma koşullarında en uygun çalışma seviyelerini belirleyip iklimlendirme cihazlarının yük durumuna göre dengeli çalıştırılması konusunda strateji geliştirilmiştir (Hao vd., 2014). İklimlendirme cihazlarının talep cevabı uygulamalarında bir başka yaklaşım da yük atımı ile enerji talebini dengelemektir. Bu bağlamda, sıcaklık ve nem değerleri üzerindeki ayarlamalar ile enerji tasarrufu sağlayan bir stratejinin işe yaradığı, sistem üzerinde gerçekleşen yük atım performansı ile gösterilmiştir (Yuan vd., 2021). İklimlendirme yükleri için talep cevabı stratejilerinin geliştirilmesinde fiyatlandırma etkisi de dikkate alınmaktadır. Fiyatlandırma etkisinin göz önüne alındığı bir çalışmada, sabit fiyat, zamana göre fiyatlandırma, gerçek zamanlı fiyatlandırma durumlarına göre bulanık mantık kontrolcü ile iklimlendirme cihazlarının talep cevabı uygulaması içinde kullanımı ele alınmıştır (Talebi vd., 2020). Alternatif enerji kaynaklarının iklimlendirme yükleri talep cevabı uygulamalarında kullanımı üzerine de birçok çalışma literatürde mevcuttur. GP kullanımı ile hastane enerji talebine cevap vermeyi amaçlayan bir çalışma Mizuno vd. (2018) tarafından literatüre sunulmuştur. Doğal afetlere karşı, adalarda bulunan hastanelerin enerji devamlılığı için örnek bir strateji sunulmuştur. Bunun yanında, RT kurulumu ile bir hastanenin güç talebi üzerinde nasıl iyileştirmeler yapılabileceğini ortaya koyan bir başka çalışmada çeşitli RT tipleri üzerinden analizler yapılmıştır (Tahboub vd., 2011). Hastanede kullanılan iklimlendirme cihazlarının yük verilerine ait detaylı

analizlere literatürde sık rastlanmayan çalışmalardır. Bu bakımdan, Prudenzi ve arkadaşları tarafından hastaneye ait elektriksel yük verilerini kaydedilip analizin yapıldığı çalışmalar önemlidir (Prudenzi vd., 2008; Prudenzi vd., 2009). Bu çalışmalarda, İtalya'nın Roma şehrindeki S. Giovanni Hastanesini uygulamalı olarak gözlem altına alınmış, hastane toplam enerji tüketimi ve iklimlendirme cihazları enerji talepleri paylaşılmıştır.

3. Sistem Tanımı ve Yöntem (System Description and Methodology)

İklimlendirme cihazlarının yük talebini karşılamak için RT/GP/Bat hibrit güç sistemi önerilmiştir. Hibrit güç sistemine ait her bir birim için optimizasyon eğilimli modeller detaylı şekilde açıklanmıştır. Modellerde her bir alt sisteme ait dönüşüm denklemleri, kapasite kısıtları, performans kısıtları vb. yapısal durum ve çalışma şartları tanımlanmıştır. Güç sistemi içine şebekeden çekilen güç de ilave edilmiştir. Böylece, alternatif enerji kaynaklarının hava şartlarına bağlı yapıları nedeniyle kesintili çalışmaları durumunda güç taleplerinin karşılanması garanti edilmiştir. Bunun yanında batarya kullanımı ile alternatif enerji kaynaklarının göreceli olarak yüksek güç üretmeleri halinde enerjilerinin kesintiye uğradıkları zamanda kullanımına da imkan sağlanmıştır. Tüm model önerilen optimal çalışma stratejisi ile bütünlük olarak iklimlendirme yükleri talep cevabı uygulaması olarak sunulmuştur.

3.1. Hibrit Güç Sisteminin Optimizasyon Eğilimli Modellenmesi (Modelling of Hybrid Power System for Optimization Purpose)

Bu çalışmada, iklimlendirme cihazlarının güç taleplerinin karşılanmasında rüzgar ve güneş enerjisinin en yüksek seviyede kullanımı hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, RT ve GP birimlerinin optimizasyon eğilimli modelleri sunulmuştur. Ayrıca, alternatif enerji fazlalığı olması durumunda enerjinin depolanması ve de enerji yetersizliği olması durumunda enerji sağlayıcı olarak kullanmak üzere Bat birimi hibrit güç sistemine dahil edilmiş ve optimizasyon eğilimli Bat modeli de verilmiştir. Bunun yanında, bu çalışmada, özel olarak iklimlendirme cihazlarının hastane, okul gibi kamu kuruluşlarında kullanılması uygulama olarak sunulmuştur. Bu durumda iklimlendirme cihazları oldukça yüksek güç taleplerine neden olmaktadır. Dolayısıyla güç talebinin kesintiye uğramadan karşılanması ve daha güvenilir bir güç sistemi tesisi için şebeke gücü de model içine dahil edilmiştir. Ancak, şebeke gücünün sadece yetersiz alternatif enerji arzı olduğu durumda kullanılması optimizasyon problemine amaç olarak eklenmiştir. Ayrıca, iklimlendirme cihazlarının talep cevapları için daha düşük güç talep profiline sahip son kullanıcı gibi uygulamaları göz önüne alındığında, sunulan model, hibrit güç sistemi bileşenlerinin anma değerlerinin uygun seçimi ile kullanılabilir.

Rüzgar Türbini Modeli: Rüzgar hızı ile RT'nin elektrik üretimi (1) denklemi ile ifade edilmektedir (Ioan vd., 2015). Burada, $P_R(t)$ anlık RT güç üretimini, R_{tr} rotor yarıçapını, $H_r(t)$ anlık rüzgar hızını, ρ hava yoğunluğunu ve τ_R türbinin verimini temsil etmektedir. Ayrıca, ölçüm yapılan yükseklik ile rüzgar türbininin çalışma yüksekliği arasında fark var ise, (2) denklemi ile ilgili çalışma yüksekliğindeki rüzgar hızı tahmin edilebilmektedir (Tizgui vd., 2017). (2) denkleminde, Y_1 ölçüm yapılan yüksekliği, $H_{r,1}$ ise ölçüm yapılan yükseklikteki rüzgar hızını temsil etmektedir. Buna karşın, Y_2 , RT çalışma yüksekliğini $H_{r,2}$ ise bu yükseklikteki tahmini rüzgar hızını göstermektedir. α ise güç üssü denilen değişkeni tanımlamaktadır. α , türbinin bulunduğu arazi şartları ve atmosferik istikrarı değerleyen bir değişken olup (3) ile hesaplanmaktadır (Tizgui vd., 2017).

RT'nin optimizasyon problemi çerçevesinde kullanımı bazı ek kısıtların tanımlanmasını gerektirmektedir. Bu kısıtları (4-5) ile verilmiştir. (4) ile $P_R(t)$ 'nin üretilen RT gücü ($P_{R,Ur}(t)$) ve nominal RT gücünden (R_{nom}) daha küçük veya eşit olması gerektiği belirtilmiştir. $P_{R,Ur}(t)$ değeri anlık güç değerinden büyük veya eşit olabilir. Bu durum RT yararlanım durumunu ortaya koymaktadır. Böylelikle, üretilen güç miktarı optimizasyon problemine amaç olarak belirtilebilir. $P_R(t)$ anlık üretilen gücü temsil etse de, gerçekte üretilen güç hesabı (5) ile verilmektedir. (5) denkleminde, $P_{R,Gr}(t)$ gerçek RT elektriksel gücünü ve $\tau_{R,Kon}$ enerji dönüşümlerinin gerçekleştiği konverter birimlerinin ortalama verimini temsil etmektedir.

$$P_R(t) = \frac{\pi}{2} * R_{tr}^2 * H_r^3(t) * \rho * \tau_R \quad (1)$$

$$\frac{H_{r,2}}{H_{r,1}} = \left(\frac{Y_2}{Y_1}\right)^\alpha \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.0881 \ln(H_{r,1})}{1 - 0.0881 \ln\left(\frac{Y_1}{10}\right)} \quad (3)$$

$$P_R(t) \leq P_{R,Ur}(t) \leq R_{nom}, \forall t \geq 0 \quad (4)$$

$$P_{R,Gr}(t) \leq P_R(t) * \tau_{R,Kon}, \forall t \geq 0 \quad (5)$$

GP modeli: Işınım verisinden fotovoltaik paneller vasıtasıyla elektriksel güç elde edilmesi (6) denklemi aracılığı ile açıklanmaktadır (Tanwar vd., 2018; PVC, 2021). (6) denkleminde $P_{GP}(t)$ GP panel elektriksel gücünü, GP_A GP panel toplam alanını, $G_I(t)$ anlık ışınım değerini, V_{GP} ise GP panel verimini temsil etmektedir. GP biriminin optimizasyon probleminde kullanımı, (7) ile ifade edilen, GP panelinde üretilen gücün nominal GP gücünden (GP_{nom}) küçük veya eşit olması kısıtının eklenmesini gerektirmektedir. Ayrıca, bu kısıtta, güneş enerjisinden faydalanma durumunu belirtmek için, üretilen güç ($P_{GP,Ur}(t)$) nominal güç ve anlık güç arasında verilmiştir. Bunun yanında, GP güç ünitesinin bağlı olduğu güç dönüştürücü biriminin verimini de dikkate alırsak gerçek GP gücünü ($P_{GP,Gr}(t)$) (8) ile hesaplayabiliriz.

$$P_{GP}(t) = GP_A * G_I(t) * V_{GP} \quad (6)$$

$$P_{GP}(t) \leq P_{GP,Ur}(t) \leq GP_{nom}, \forall t \geq 0 \quad (7)$$

$$P_{GP,Gr}(t) \leq P_{GP}(t) * \tau_{GP,Kon}, \forall t \geq 0 \quad (8)$$

Batarya Modeli: Batarya, hibrit enerji sistemi içerisinde, iklimlendirme yüklerinin karşılanmasında kullanılan bir diğer unsurdur. Batarya elektriksel enerjiyi depolayıp, gerekli görüldüğü durumlarda sistem yüklerinin karşılanması için enerji sistemine katkı sağlamaktadır. Bu bakımdan dinamik olarak şarj ve deşarj süreçlerinin gerçekleştiği birimdir. Çalışma sürecinde hem enerji durumu eşitliği hem de şarj ve deşarj koşullarının belirlenmesi önemlidir. Bataryanın enerji durumunu modellemek için (9-12) ifadeleri tanımlanmıştır (Erdinc, 2014). Batarya birimi tarafından depolanan enerjinin anlık durumu (BED) $Bat_{BED}(t)$ ile temsil edilmektedir. Her bir zaman aralığında $E_{BED}(t)$ değerinin hesabı yinelemeli olarak (9) eşitliği ile yapılmaktadır. (9) eşitliğinde $E_{BED}(t-1)$ bir önceki zaman aralığındaki batarya enerji durumunu, $P_{Bat,S}(t)$ anlık batarya şarj gücünü, $P_{Bat,D}(t)$ anlık batarya deşarj gücünü temsil etmektedir. $V_{rS,Bat}$ ve $V_{rD,Bat}$ parametreleri sırasıyla batarya şarj ve deşarj verimleridir. Δ parametresi elektriksel güç ve elektriksel enerji arasındaki dönüşümü sağlamakta olup, ölçüm yapılan zaman aralığının bir saat ölçüsüne göre tekrar etme değerine eşittir. $E_{BED}(t)$ kullanıldığı sistemin tasarım amaçlarına göre tanımlanacak bazı kısıtlamalara sahiptir. Bu kısıtlar (10-12) eşitlik veya eşitsizlikleri ile tanımlanmıştır. (10) eşitliği bataryanın başlangıç durumundaki enerjisini, (11-12) ifadeleri ise sırasıyla batarya enerjisinin en küçük ve en büyük değerlerini belirlemektedir. Burada, $E_{BED,b}$, başlangıç anı batarya enerji durumunu, $E_{BED,mak}$ ve $E_{BED,min}$ ise sırasıyla bataryanın en yüksek ve en düşük enerji değerini temsil etmektedir. Dolayısıyla, (9) ile hesaplanan batarya enerji durumu hesabı (10-12) kısıtları dikkate alınarak yapılmaktadır.

$$E_{BED}(t) = E_{BED}(t-1) + \frac{P_{Bat,S}(t) * V_{rS,Bat}}{\Delta} - \frac{P_{Bat,D}(t) * V_{rD,Bat}}{\Delta} \quad (9)$$

$$E_{BED}(t) = E_{BED,b} \quad (10)$$

$$E_{BED}(t) \leq E_{BED,mak} \quad (11)$$

$$E_{BED}(t) \geq E_{BED,min} \quad (12)$$

$Bat_{BED}(t)$ hesabı, (9) denkleminde görüldüğü üzere $P_{Bat,S}(t)$ ve $P_{Bat,D}(t)$ ile dinamik olarak değişmektedir. $P_{Bat,S}(t)$ ve $P_{Bat,D}(t)$ değişimi üzerinde de kısıtlar tanımlanmalıdır. Bu kısıtlar (13-14) ile verilmiştir. Bu kısıtlar sırasıyla batarya şarj ve deşarj güçlerini, $K_{S,Bat}$ ve $K_{D,Bat}$ parametreleri ile sınırlamaktadır. $K_{S,Bat}$ ve $K_{D,Bat}$ parametreleri sistem gereksinimlerine bağlı olarak kullanılan batarya kapasitelerine göre belirlenmektedir. $P_{Bat,nom}$ ise seçilen bataryanın anma güç değeridir. (15-16) ile sırasıyla, deşarj ve şarj güçlerinin batarya anma değerinden küçük veya eşit olması sağlanmıştır.

$$P_{Bat,S}(t) \leq K_{S,Bat} * P_{Bat,nom} \quad (13)$$

$$P_{Bat,D}(t) \leq K_{D,Bat} * P_{Bat,nom} \quad (14)$$

$$P_{Bat,D}(t) \leq P_{Bat,nom} \quad (15)$$

$$P_{Bat,S}(t) \leq P_{Bat,nom} \quad (16)$$

Son olarak, batarya çalışma koşulları içinde şarj ve deşarj durumlarının zamansal olarak çakışmalarını sağlanmalıdır. Bir diğer deyişle, bataryanın aynı anda şarj ve deşarj olması önlenmelidir. Bu problemin çözümü için (17-18) kısıtları sunulmuştur. Burada, K çok büyük bir tam sayıyı, b_{Bat} ise ikili değişken tipini temsil etmektedir. b_{Bat} değişkeni 0 veya 1 değeri alabileceğinden her bir çalışma anında (17) veya (18) denklemlerinden sadece biri eşitlik veya eşitsizliğin sağ tarafında sıfırdan farklı bir değere sahip olacaktır. Böylece, şarj veya deşarj güçlerinden en az biri her zaman sıfır olacaktır.

$$P_{Bat,S}(t) \leq K * b_{Bat} \quad (17)$$

$$P_{Bat,D}(t) \leq K * (1 - b_{Bat}) \quad (18)$$

3.2 Güç Sistemi Yük Paylaşımları (Load Sharing of the Power System)

Önceki bölümde, iklimlendirme cihazlarının güç talebini karşılamada kullanılacak alternatif enerji kaynaklarının optimizasyon eğilimli modelleri verilmiştir. Bu bölümde ise bu kaynakların güç paylaşımında nasıl kullanılacağı ve optimizasyon probleminin eşitlik ve eşitsizlik kısıtlarının hepsini hangi maliyete karşın çözümde kullanılacağı açıklanacaktır. Ele alınan problemin çözümünde RT gücünün tamamıyla iklimlendirme yüklerini karşılaması amaçlanmaktadır. Bunun yanında, eğer RT gücü iklimlendirme cihazlarının talep ettiği miktardan fazla ise diğer yükleri beslemek için kullanılması öngörülmektedir. Dolayısıyla RT gücü iki değişken ile, (19)'da verildiği şekilde optimizasyon probleminde dahil edilmiştir. Burada $P_{R,IY}(t)$, anlık iklimlendirme yüklerinin RT tarafından karşılanan kısmını, $P_{R,DY}(t)$ ise RT gücünün artan kısmını göstermektedir. Dolayısıyla, $P_{R,DY}(t)$ iklimlendirme dışındaki yükleri beslemede kullanılan RT gücünü temsil etmektedir.

$$P_{R,Gr}(t) = P_{R,IY}(t) + P_{R,DY}(t) \quad (19)$$

Çalışmada ana amaç iklimlendirme cihazlarının güç talebine cevap vermek olduğundan, kullanılan kaynakların güç üretim kapasiteleri de dikkate alınarak bazı ek kısıtlamalar da optimizasyon probleminde eklenmelidir. (20-22) bu kısıtları açıklamaktadır. (20) ile RT gücünün iklimlendirme yüklerini karşılayan kısmının toplam iklimlendirme talep gücünden ($P_{IY}(t)$) küçük veya eşit olması sağlanmaktadır. Böylece RT artan gücü diğer yükleri beslemede kullanılabilir. (21) ile anlık batarya deşarj gücü ($P_{Bat,D}(t)$) $P_{IY}(t)$ 'den küçük veya eşit olması kısıtı eklenmiştir. Bu kısıt ile batarya gücünün sadece iklimlendirme cihazlarının güç beslemesine destek olması, diğer güçlerin beslenmesi için kullanılmaması sağlanmıştır. Bunun yanında, batarya şarj gücünün ($P_{Bat,S}(t)$), sadece alternatif enerji kaynaklarından sağlanması da optimizasyon probleminde eklenebilir. Bu kısıt, hibrit güç sistemindeki en büyük anma değerine sahip kaynak ile karşılanabilir. (22) ile $P_{Bat,S}(t)$ gücünün $P_{RT,DY}(t)$ gücü ile kısıtlanması sağlanmıştır. Böylece, batarya şarj gücünün RT gücü ile karşılanabilmesi temin edilmiştir.

$$P_{R,IY}(t) \leq P_{IY}(t) \quad (20)$$

$$P_{Bat,D}(t) \leq P_{IY}(t) \quad (21)$$

$$P_{Bat,S}(t) \leq P_{R,DY}(t) \quad (22)$$

Bu aşamada optimizasyon problemini çözümümün her adımında eşit olması gereken, yük paylaşım denklemini tanımlayabiliriz. İklimlendirme cihazlarının ihtiyaç duyduğu güç talebine nasıl cevap verilebileceği (24) ile belirtilmektedir. (23) yük paylaşımı denkleminde görüleceği üzere, iklimlendirme güç talebi RT, GP, şebeke ve bataryadan karşılanmaktadır. Burada, $P_h(t)$, şebekeden çekilen gücü temsil etmekte olup, alternatif enerji kaynaklarının yetersiz kaldığı durumlarda (23) eşitliğini sağlamak için devreye girmesi istenmektedir.

$$P_{IY}(t) = P_{R,IY}(t) + P_{GP,Gr}(t) + P_h(t) + P_{Bat,D}(t) \quad (23)$$

3.3 Optimizasyon Probleminin Tanımlanması (Definition of the Optimization Problem)

Buraya kadar optimizasyon problemimiz için gerek güç sağlayıcı sistemlerin çalışmasını düzenleyen kısıtlar, gerekse problem amacına yönelik kısıtlar tanımlanmıştır. Son olarak, optimizasyon probleminin amacını tanımlamamıza yarayacak toplam maliyet (TM) fonksiyonu (24) ile verilmiştir. TM fonksiyonu birden fazla fayda unsurunu bir arada bulundurmaktadır. İlk iki toplam ifadesi ile, sırasıyla üretilen RT gücünün potansiyel güce en yakın olması ve iklimlendirme yüklerinin ana kaynak olan rüzgar gücünden karşılanması hedeflenmektedir. $P_{R,DY}(t)$ gücünün sıfırdan büyük olması durumunda da bu gücün batarya şarjına kullanılması amaçlanmıştır. (23) eşitliğinin sağlanması zorunluluğunu karşılamak için şebeke gücünün kullanılabilmesi de eşitliğe eklenmiştir. Burada K katsayısı çok büyük bir tamsayıyı temsil etmektedir. Dolayısıyla şebekenin kullanılması sınırlandırılmıştır.

Optimizasyon amacımızı TM fonksiyonunu minimize etmek olarak belirlersek, (24) ile verilen tüm alt toplamaların minimize edilmesi amacımızla aynı doğrultuda sonuç verecektir. Bu bakımdan $P_{IY}(t)$ yüklerinin, ana kaynağımız olan başta rüzgar enerjisi ile sağlanması gerçekleştirilebilecektir. Ayrıca, TM fonksiyonunun değerini arttırmamak için şebeke gücü yerine $P_{GP,Gr}(t)$ 'yi kullanarak (23) eşitliğinin sağlanması da K katsayısı ile yerine getirilebilecektir.

$$TM = \sum_{t=1}^N (P_{R,Ur}(t) - P_{RT}(t)) - \sum_{t=1}^N (P_{IY}(t) - P_{R,IY}(t)) - \sum_{t=1}^N (P_{R,DY}(t) - P_{Bat,S}(t)) - K * \sum_{t=1}^N (P_h(t)) \quad (24)$$

İklimlendirme cihazlarının güç talebinin karşılanmasında, alternatif enerji kaynaklarının maksimum kullanımını sağlayacak optimizasyon problemi gerekli tüm model bileşenleri ile verilmiştir. Bu bağlamda, hibrit güç sistemi bileşenlerine ait her bir kaynağın, çalışma koşullarını belirleyen, fiziksel dönüşüm denklemleri ve kısıtları verilmiştir. Dolayısıyla, rüzgar hızı ve ışınım verisinin elimizde olduğu durumda, (24) ile verilen TM fonksiyonun minimizasyonunu (1-23) kısıtları altında sağlayacak bütünsel model, iklimlendirme cihazlarının güç talep cevabının karşılanmasında alternatif enerji kaynaklarının kullanımını önceleyen çözümü verecektir. Bir sonraki bölümde elde edilen optimizasyon modelinin test sonuçları sunulacaktır.

4. Benzetim Çalışmaları ve Sonuçlar (Simulation Studies and Results)

Önceki bölümde verilen optimizasyon modeli hem tamsayı hem de ikili (binary) değer alan değişkenler içermektedir. Bu bakımdan problem çözümü karışık tamsayı optimizasyon (Mixed integer linear programming) çözümü sunan bir platformda yapılmalıdır. Dolayısıyla karışık tamsayı model, GAMS v.24.1.3. (GAMS, 2021) platformunda CPLEX v.12 (CPLEX v.12, 2021) çözücüsü ile test edilmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar grafiksel olarak sunulup yorumlanmıştır. Benzetim çalışmalarında kullanılan parametre değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

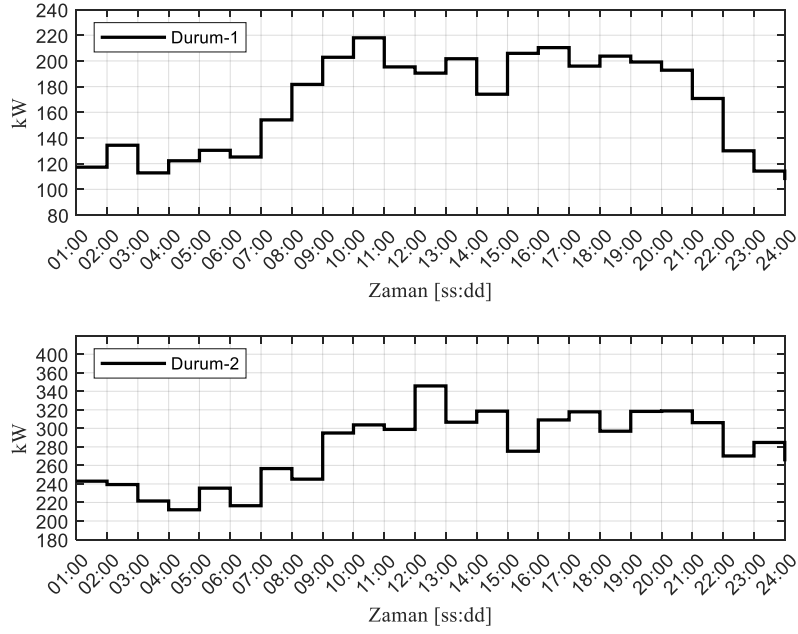
Tablo 1. Benzetim parametreleri (Simulation parameters)

SİMGE	DEĞER	SİMGE	DEĞER
$E_{BED,b}$	Durum-1: 20 Durum-2: 180	R_{nom}	330k
$E_{BED,mak}$	200	Rt_r	16.7
$E_{BED,min}$	20	V_{GP}	0.15
GP_A	200	$V_{rD,Bat}$	1
GP_{nom}	20k	$V_{rS,Bat}$	1
K	10000	ρ	1.2
$K_{D,Bat}$	0.2	$\tau_{GP,Kon}$	0.95
$K_{S,Bat}$	0.4	τ_R	0.46
$P_{Bat,nom}$	200	$\tau_{R,Kon}$	0.95

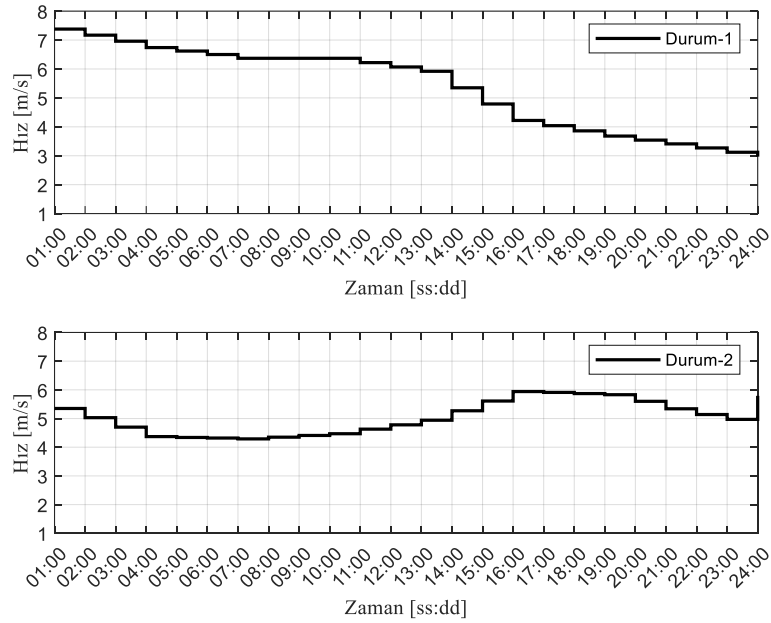
Benzetim çalışmalarında, literatürde bulunan, İtalya'nın Roma şehrinde bulunan S. Giovanni hastanesine ait iklimlendirme yük verileri kullanılmıştır (Prudenzi vd., 2008; Prudenzi vd., 2009). İlgili çalışmalarda iklimlendirme yükleri 2007-2008 yılları için kaydedilmiştir. Bu çalışmada ise kış ve yaz dönemlerini temsilen sırasıyla Durum-1 ve Durum-2 adıyla iki benzetim çalışması yapılmıştır. Her iki durum yapılandırması Tablo 2' de özetlenmiştir. Durum-1 kapsamında kış dönemi iklimlendirme yük ve alternatif enerji kaynakları üretim verileri dikkate alınmıştır. Benzer şekilde, Durum-2 kapsamında yaz dönemi verileri kullanılmıştır. İklimlendirme yükleri için, yaz veya kış ortalama yükleri alınarak ilgili dönemi en iyi temsil etmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında, üretim verileri üzerindeki belirsizlikler fazla olduğundan ilgili mevsimin ortasından bir gün seçilerek mevsim karakteristiklerinin benzetim ortamına yansıtılması amaçlanmıştır. Şekil 1'de her iki durum için iklimlendirme yükleri verilmiştir. Işınım ve rüzgar hızı verileri için Avrupa Birliği Komisyonu Ortak Araştırma Merkezinin sunduğu platformdan yararlanılmıştır (PVGIS, 2021). Şekil 2'de, Durum-1 için kış dönemini temsilen 24/12/2007 ve Durum-2 için yaz dönemini temsilen 24/07/2008 tarihlerine ait rüzgar hızı verileri görülmektedir. Işınım verileri de rüzgar hızı verileri ile aynı tarihli olarak, Şekil 3'te verilmiştir. RT seçimi için yine hastaneler de kullanım için önerilmiş türbin modellerine yer verilen bir çalışmadan yararlanılmıştır (Tahboub vd., 2011). İlgili çalışmada 330kW ve 900kW anma değerli iki türbin modeli önerilmiştir. Çalışmada kullandığımız iklimlendirme yük profilleri dikkate alındığında, 330kW'lık türbin uygun model olarak alınmıştır. Türbin uzunluğu 49 metre olup Şekil 3'te verilen rüzgar hızı verileri 10 metre yükseklik için ölçülmüştür. Bu durumda (1-3) denklemlerini kullanarak elde edilen rüzgar elektriksel gücü Şekil 4-(a)'da görülmektedir. GP seçimi olarak 200 m² alana sahip verim değeri %15 olan panel kullanılmış olup (6) denklemi yardımıyla üretilen güç değeri Şekil 4-(b)'de verilmiştir.

Tablo 2. Durum-1&2 yapılandırması (Case 1&2 configurations)

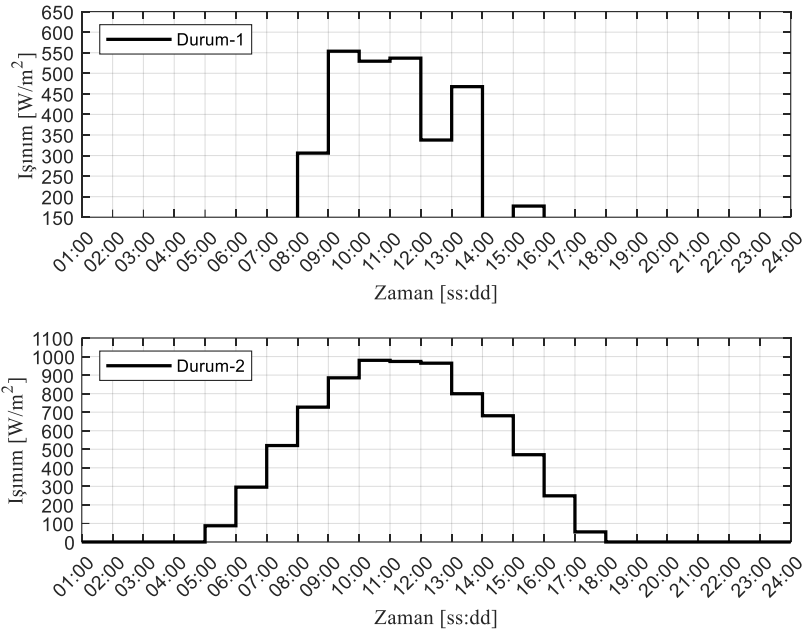
	Işınım Verisi/Rüzgar Hızı (PVGIS, 2021)	İklimlendirme Yükleri (Prudenzi vd., 2008; Prudenzi vd., 2009)
Durum-1 (Kış)	24/12/2007	Kış Dönemi ortalaması
Durum-2 (Yaz)	24/07/2008	Yaz Dönemi ortalaması



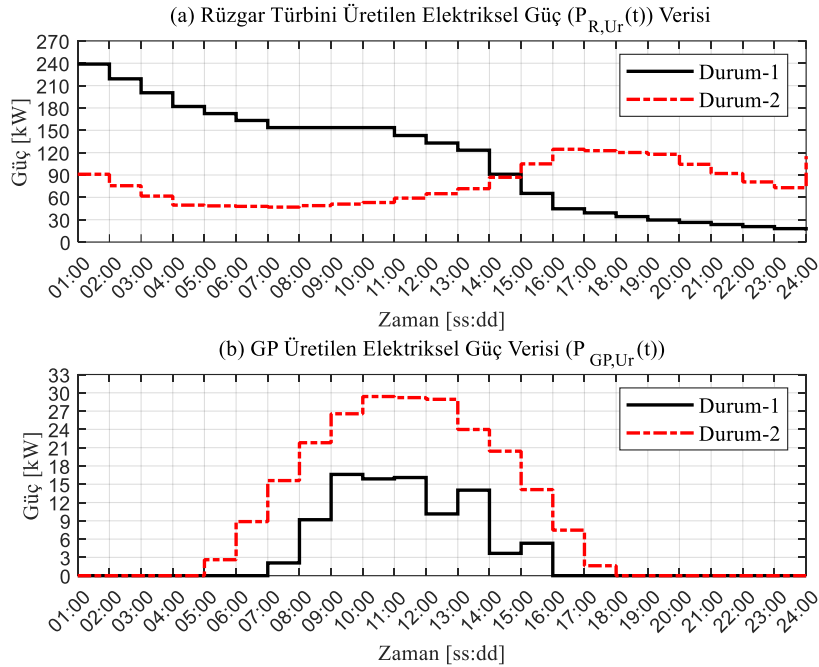
Şekil 1: Roma S. Giovanni hastanesi Durum-1&2 için iklimlendirme cihazları ortalama güç talepleri (HVAC average power demand of Rome S. Giovanni Hospital for the Case-1&2) (Prudenzi vd., 2008; Prudenzi vd., 2009)



Şekil 2: Roma S. Giovanni hastanesi bölgesinde Durum-1&2 için için rüzgar hızı verileri (Wind speed data for the Case-1&2 in the zone of Rome S. Giovanni Hospital) (PVGIS, 2021)



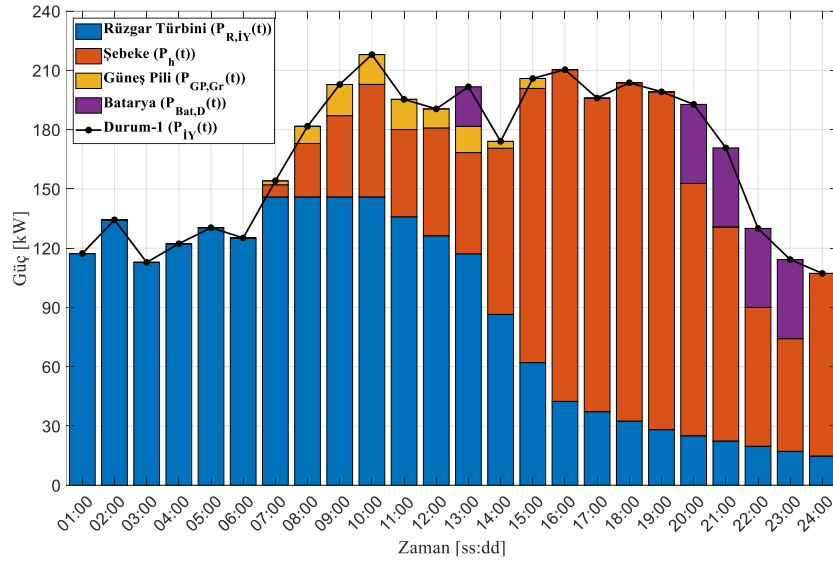
Şekil 3: Roma S. Giovanni hastanesi bölgesinde Durum-1&2 için iç iç ışınım verileri (Irradiation data for the Case-1&2 in the zone of Rome S. Giovanni Hospital) (PVGIS, 2021)



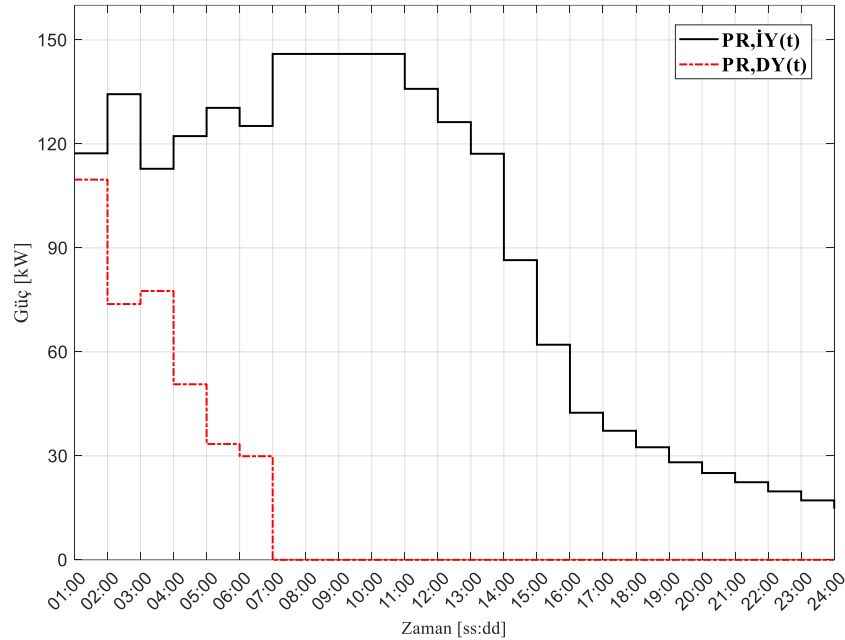
Şekil 4: Seçilen RT ve GP paneline göre Durum-1&2 için elde edilen güç değerleri (Power outputs of the WT and PV panel for the Case-1&2 according to the selected types)

Durum-1 ve Durum-2 benzetimleri için kullanılacak iklimlendirme güç talepleri ve güç sağlayıcı birimlerin üretim kapasiteleri Şekil 1-4' te verilmiştir. Durum-1 için yapılan benzetim çalışması ile iklimlendirme cihazları talep cevabının öncelikli olarak rüzgar ve güneş enerjisi kaynaklarından karşılanmasına ilişkin bu çalışmada sunulan optimal işletim modeli test edilmiştir. Şekil 5' te Durum-1 için iklimlendirme yüklerinin güç talep cevabının hangi kaynaklar ile karşılandığı sunulmuştur. Öncelikle optimal işletim modelinde kısıt olarak verildiği gibi tüm yük talebinin karşılandığı görülmektedir. Yük talebinin karşılanmasında ağırlıklı olarak RT kullanılmıştır. Bunun yanında kapasitesi nispetinin nerdeyse tümüyle GP ve bataryadan yararlanılmıştır. Yük talebinin karşılanması sürecinde ortaya çıkan eksik kısım ise şebeke tarafından sağlanmıştır. RT gücü modelde (19) sayılı eşitlikte belirtildiği gibi $P_{R,LY}(t)$ ve $P_{R,DY}(t)$ olarak iki parça halinde tanımlanmıştır. RT güç dağılım durumu Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi RT gücü iklimlendirme yüklerine öncelikli olarak aktarılmıştır. Artan güç ise, batarya şarjı öncelikli olarak, diğer yükleri beslemeye ayrılmıştır. Durum-1 benzetim analizinde dikkate

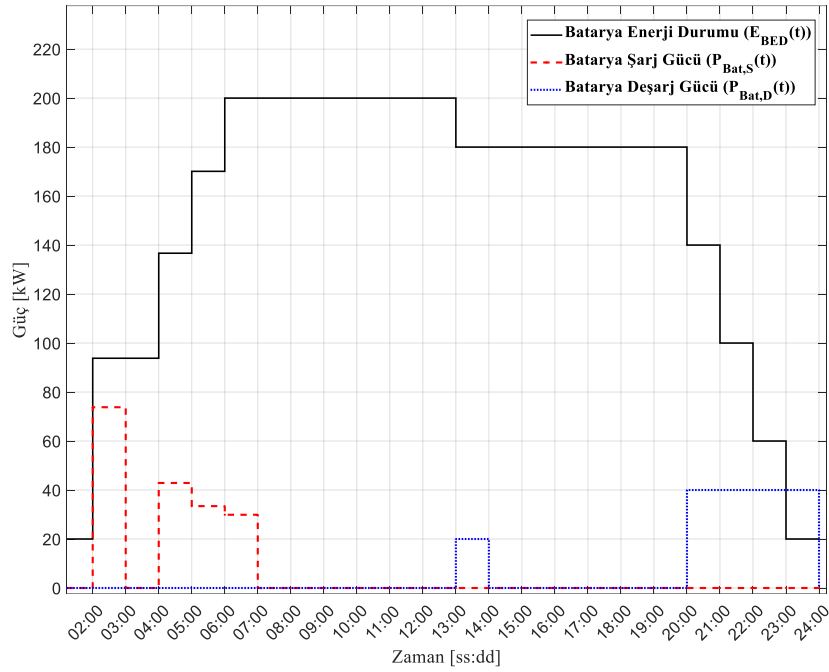
alacağımız son dinamik değişim, Şekil 7'de verilen batarya enerji durumu ve batarya şarj-deşarj gücüdür. Durum-1 parametrik değerleri dikkate alındığında, ilk andaki 20 [kW]'lik enerji seviyesi RT gücü ile artıp maksimum enerji durumu olan 200 [kW]'e çıkmıştır. Daha sonra şebeke gücünü daha az kullanma adına,deşarj kapasitesi ölçüsünde iklimlendirme yüklerinin güç talebine cevap vermede katkı sağlamıştır. Benzetim çalışması sonunda, batarya enerjisi izin verilen minimum seviyeye ulaşarak talep cevabı uygulamasına maksimum katkıyı sağlamıştır.



Şekil 5: Durum-1 için iklimlendirme yüklerinin güç talep cevabının karşılanması (Responding the HVAC loads demand power for Case-1)

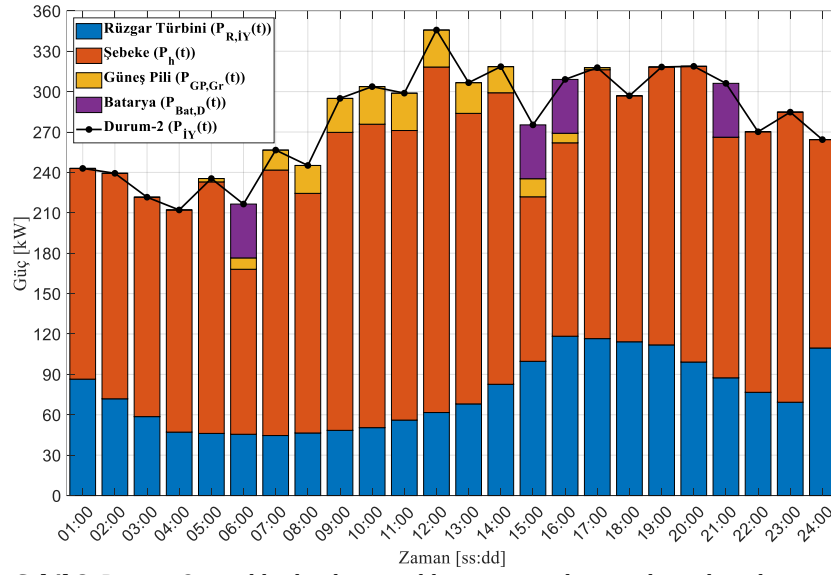


Şekil 6: Durum-1 için RT gücünün iklimlendirme ve diğer yükler tarafından paylaşımı (WT power sharing by HVAC loads and other loads for Case-1)

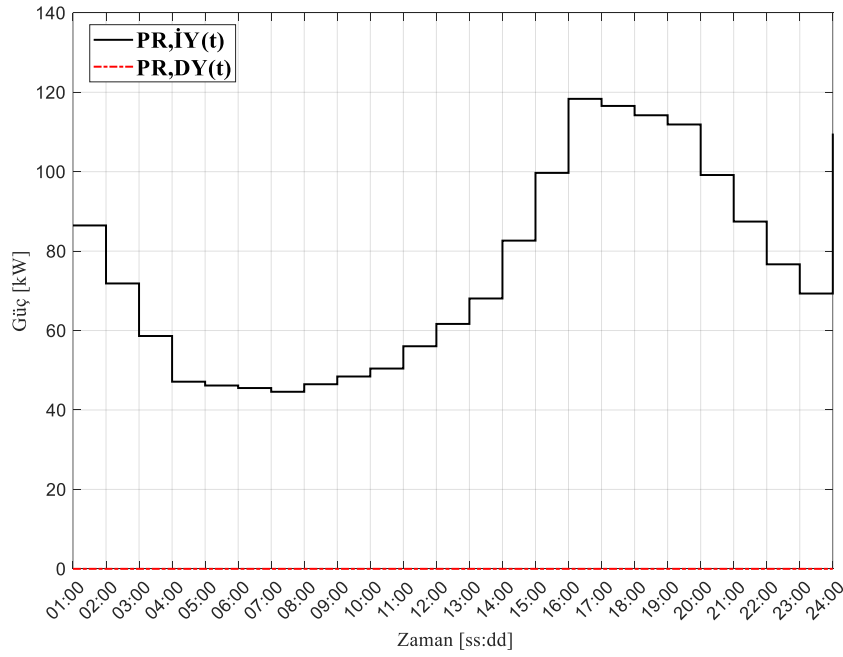


Şekil 7: Durum-1 için batarya enerji durumu ve batarya şarj-deşarj güçleri (Battery State of Energy and Charge-Discharge Powers for Case-1)

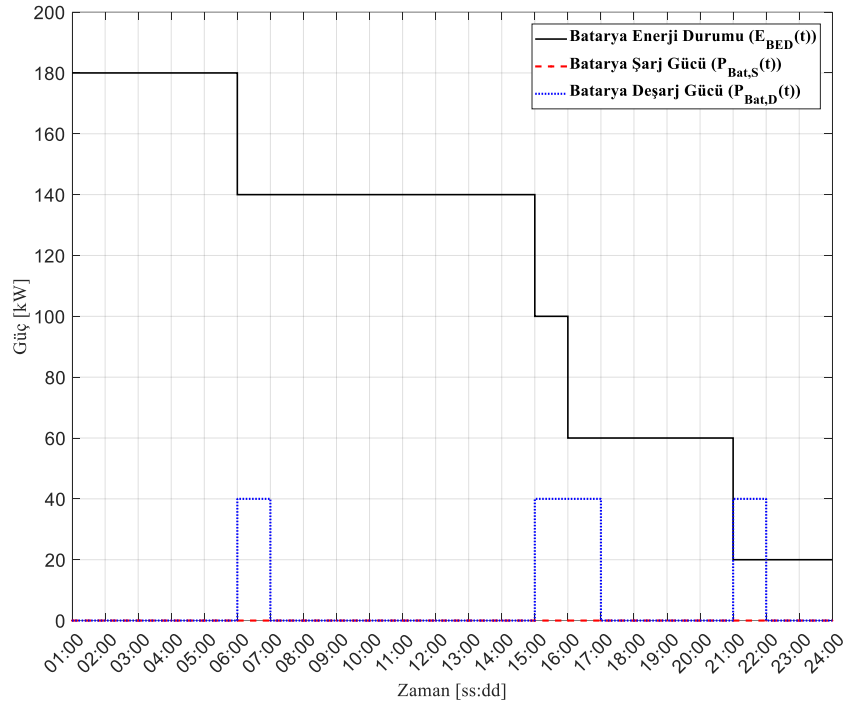
Durum-2 için yapılan optimal işletim modeli benzetim çalışması ile de benzer analizler yapılabilir. Ancak, Durum-2'de yaz mevsimi verileri göz önüne alındığından önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Analiz sonuçlarının farklılık göstermesinin bazı temel sebepleri vardır. Bunlar, iklimlendirme yüklerinin artışı ve ana kaynak olan RT güç üretiminin azalması gösterilebilir. Buna karşılık GP güç üretimi de artmaktadır, ancak göreceli olarak iklimlendirme yüklerinin güç taleplerine göre çok düşük güç üretmekte olduğundan talep açığını telafi edememektedir. Bunun yanında, optimal işletim modeli gereği tüm alternatif enerji kaynakları öncelikli olarak iklimlendirme cihazlarına aktarılmakta, dolayısıyla bu kaynaklardan maksimum ölçüde yararlanılmaktadır. Optimizasyon test sonuçları Şekil 8-10 ile sunulmuştur. Şekil 8 ile Durum-2 için iklimlendirme yüklerinin güç talep cevabının hangi kaynaklar ile karşılandığı sunulmuştur. Önceki durumda olduğu gibi, tüm yük talebinin karşılandığı görülmektedir. Yine optimizasyon amacımız gereği, yük talebinin karşılanmasında ağırlıklı olarak RT, daha sonra gücü nispetinde GP ve batarya kullanılmıştır. Önceki duruma göre kıyaslandığında GP kullanımı yaz dönemi olduğundan artış göstermiştir. Yük talebinin karşılanması sürecinde ortaya çıkan eksik kısım ise şebeke tarafından sağlanmıştır. Durum-2'de şebeke gücü kullanımı, RT güç üretiminin düşmesinden dolayı oldukça yükselmiştir. Şekil 9'da RT gücünün paylaşım durumu verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere RT gücünün tamamını iklimlendirme yükleri güç talebine aktarmıştır. Dolayısıyla, batarya şarj yükü veya diğer yük taleplerine hiç katkı sağlamamıştır. Son olarak, Şekil 10'da batarya enerji ve şarj-deşarj güç verileri resmedilmiştir. Durum-2 için batarya birimi, rüzgar hızının göreceli olarak düşük olması sebebiyle, daha önemli hale gelmiştir. Bu sebeple, Durum-2 için batarya başlangıç enerjisi seviyesi, kapasitesine yakın bir değer olan 180 [kWs]'e çıkarılmıştır. Şekil 10'da görüleceği üzere batarya enerjisi minimum izin verilen seviye olan 20 [kWs]'e kadar düşmüştür. Dolayısıyla iklimlendirme güç talebi uygulamasına maksimum katkı sağlamıştır. Bunun yanında batarya şarj gücü, rüzgar gücünün iklimlendirme yüklerini karşılamada yeterli olmaması nedeniyle, tüm benzetim sürecinde sıfırda kalmıştır.



Şekil 8: Durum-2 için iklimlendirme yüklerinin güç talep cevabının karşılanması (Responding the HVAC loads demand power for Case-2)



Şekil 9: Durum-2 için RT gücünün iklimlendirme ve diğer yükler tarafından paylaşımı (WT power sharing by HVAC loads and other loads for Case-2)



Şekil 10: Durum-2 için batarya enerji durumu ve batarya şarj-deşarj güçleri (Battery State of Energy and Charge-Discharge Powers for Case-2)

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada, kamu kuruluşları veya sosyal fayda kapsamında çok sayıda kişinin çalıştığı ve çok sayıda kişiye hizmet veren kuruluşlarda kullanılan iklimlendirme cihazlarının yükleri için optimal talep cevabı uygulaması sunulmuştur. Talep cevabı uygulamasında alternatif enerji kaynaklarından olan rüzgar ve güneş enerjisi ile çalışan güç birimleri ve de hem elektriksel enerjiyi depolayıp hem de sisteme elektriksel enerji sunabilen batarya birimi kullanılmıştır. Bunun yanında, alternatif enerji sistemlerinin doğası gereği ortaya çıkan güç üretim değişimlerinden sistemin etkilenmemesi için şebeke gücü de optimizasyon modeline dahil edilmiştir. Optimal işletim modeli her bir alt sistem için eşitlik ve eşitsizlik kısıtları ile inşa edilmiş ve de optimizasyon amacı iklimlendirme yüklerinin alternatif enerji kaynakları ile öncelikli olarak karşılanması şeklinde ifade edilmiştir. Model, hastane iklimlendirme yükleri ile hem kış şartlarını hem de yaz şartlarını dikkate alarak sırasıyla Durum-1 ve Durum-2 olarak test edilmiştir. Test sonuçlarına bakıldığında iklimlendirme yüklerinin öncelikle alternatif enerji kaynaklarından sağlandığı, ilgili kaynakların yetersiz kaldığı durumda kısmi şebeke gücü kullanımı ile talep cevabının sağlandığı görülmüştür. Bu durum alternatif enerji kaynaklarının kullanımı ile sürdürülebilir bir enerji yönetimi geliştirme adına önem arz etmektedir. Yüksek güçlü cihazların enerji taleplerini karşılamada çoklu güç birimlerinin bulunması sistemin enerji talebinin karşılanmasında ekonomik olarak karar verme mekanizmalarını da çeşitlenmesini sağlamaktadır. Böylelikle enerji yönetim stratejilerinin zenginleşmesi ile hem üretici hem de tüketici tarafında enerji fiyatlarının uygun seviyelerde dengelenmesi sağlanabilir. Alternatif enerji kaynaklarının göreceli olarak büyük yükler özelinde kullanımı hat kapasiteleri üzerindeki baskıyı azaltması ve de kayıpların azaltılması adına da enerji sisteminin sağlığını arttırıcı yönde etki etmektedir. Gelecek çalışması olarak, iklimlendirme yüklerinin karşılanmasında diğer alternatif enerji kaynaklarının kullanımı veya hastanelere ait tüm yüklerinin dikkate alındığı çalışmalar ele alınabilir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Arabul, F.K., Arabul, A.Y., Kumru, C.F. ve Boynuegri, A.R. Providing energy management of a fuel cell–battery–wind turbine–solar panel hybrid off grid smart home system. *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (2017): 26906-26913.
- Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, 2008 Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Resmi Gazete, Sayı: 27075.
- CPLEX 12 Solver Description. İnternet Erişim Adresi: <http://www.gams.com/dd/docs/solvers/cplex.pdf>. (Ziyaret Tarihi: 10.07.2021)

- Erdinc, O. Economic impacts of small-scale own generating and storage units, and electric vehicles under different demand response strategies for smart households. *Applied Energy* 126 (2014): 142-150.
- Erdinc, O., Taşçıkaraoğlu, A., Paterakis, N.G., Eren Y. ve Catalao, J.P.S., 2017. End-User Comfort Oriented Day-Ahead Planning for Responsive Residential HVAC Demand Aggregation Considering Weather Forecasts, *IEEE Transaction on Smart Grid*, 8:362-372.
- General Algebraic Modeling System. GAMS İnternet Erişim Adresi: <http://www.gams.com>. (Ziyaret Tarihi:10.07.2021)
- Goddard, G., Klose J. ve Backhaus, S., 2014. Model Development and Identification for Fast Demand Response in Commercial HVAC Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(4), 2084-2092.
- Hao, H., Lin,Y., Kowli, A.S., Barooah, P. ve Meyn S., 2014. Ancillary Service to the Grid through Control of Fans in Commercial Building HVAC Systems. *IEEE Transactions on smart grid*, 5(4), 2066-2074.
- Ioan, B., Horia, B. ve Susana, O.P.T., 2015. Determination of the power generated by a wind turbine in constant wind and variable wind. 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), doi: 10.1109/ATEE.2015.7133919.
- Mizuno, Y., Baba, T., Tanaka, Y., Kurokawa, F., Tanaka, M., Colak, İ., Matsui, N., 2018. A New Load Prediction Method and Management of Distributed Power System in Island Mode of a Large Hospital," 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA).
- Photovoltaic Calculator. PVC İnternet Erişim Adresi: <https://photovoltaic-software.com/principle-ressources/how-calculate-solar-energy-power-pv-systems>. (Ziyaret Tarihi:01.06.2021)
- Photovoltaic Geographical Information System European Union Science Hub. PVGIS İnternet Erişim Adresi: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/. (Ziyaret Tarihi:01.06.2021)
- Prudenzi A., Caracciolo V. ve Silvestri A., 2008. Identification of electrical load typical patterns in hospital for supporting energy management strategies, IFHE.
- Prudenzi A., Caracciolo V. ve Silvestri A., 2009. Electrical load analysis in a hospital complex. *IEEE Bucharest PowerTech*, 2009, doi: 10.1109/PTC.2009.5281797.
- Shen, C., Zhao, K., Ge, J., ve Zhou, Q., 2019. Analysis of Building Energy Consumption in a Hospital in the Hot Summer and Cold Winter Area. *Energy Procedia*, 158, 3735-3740.
- Sun, B., Luh, P. B., Jia, Q., Jiang, Z., Wang F., ve Song, C. 2013. Building Energy Management: Integrated Control of Active and Passive Heating, Cooling, Lighting, Shading, and Ventilation Systems, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 10(3), 588-602.
- Tahboub, R., Ibrik, I., Tamimi, M., 2011. The Potential and Feasibility of Solar and Wind Energy Applications in Al-Ahli Hospital, International Energy Conference in Palestine.
- Talebi, A., Hatami, A., 2020. Online fuzzy control of HVAC systems considering demand response and users' comfort. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy* 15(7), 403-422.
- Tanwar, M.P., Agarwal, A. ve Mishra, A., 2018. Power Output Enhancement of Solar Panels by Field Area Optimization, International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), doi: 10.1109/GUCON.2018.8674954.
- Tizgui, I., Bouzahir, H., Guezar F.E., ve Benaid, B., 2017. Wind Speed Extrapolation and Wind Power Assessment at Different Heights, International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT), doi: 10.1109/EITech.2017.8255215.
- Xu, Z., Jia, Q. ve Guan, X., 2015. Supply Demand Coordination for Building Energy Saving: Explore the Soft Comfort, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 12(2), 656-665.
- Yuan, J., Xiao, Z., Chen, X., Lu, Z. ve Gang, W., 2021. A Temperature & Humidity Setback Demand Response Strategy for HVAC Systems. *Sustainable Cities and Society*, 75 (2021): 103393.