

Verimliliği Düşmüş Bataryaların Hizmet Sektöründe Kullanımı: Akıllı Tesis Uygulaması

Denizhan Güven*, Gülgün Kayakutlu**, M. Özgür Kayalica***

Özet

Enerjide dışa bağımlılığın ekonomide cari işlemler üzerinden yarattığı kırılganlık göz önünde bulundurulduğunda enerji kullanımının mikro ölçeklerde de olsa daha optimal yöntemlerle azaltılma çabası önemli olmaktadır. Bu çalışmada, elektrikli araçlardan çıkan verimliliği düşmüş bataryaların sabit depolama ünitesi olarak kullanıldığı, güneş panellerinin entegre edildiği bir mikroşebeke sisteminin hastane uygulaması yapılmıştır. Sistemde kullanılacak olan enerji depolama sisteminde, kapasitesi yüzde 80'nin altına düşen bataryaların elektrikli araçlarda kullanımı sonlandırılması sonucu atıl kalan Lityum-iyon bataryalar seçilmiştir. Bu şekilde yüzde 80 kapasiteleri hala aktif olan bataryaların geri dönüşüme gönderilmeden sabit bataryalar olarak tekrar ekonomiye kazandırılması hedeflenmiştir. Çizelgeleme modelinde karma 0-1 doğrusal programlama modeli kullanılmıştır. Hastane özelinde oluşturulan modelde, kritik öneme sahip hastane birimlerinin hiçbir şekilde enerjisiz kalmaması sağlanarak, saatlik enerji talebinin en düşük maliyetle karşılanması amaçlanmıştır. Öte yandan, atık pil piyasasının günümüzde oluşmamış olması nedeniyle ekonomik bir fizibilite yapma imkânı bulunamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Alternatif Enerji, Mikro şebeke Çizelgeleme, Enerji Depolama

JEL Sınıflandırması: Q13, Q42

Use of Repurposed EV Batteries in the Service Sector: A Smart Facility Application

Abstract

Given the current account and its impact on the economy, it is important to try to reduce energy consumption using more optimal methods, even at micro scale. In this study, a microgrid system -with integrated PV-Panels and retired batteries from electric vehicles used as a fixed storage system- is implemented specific to the hospital. For the energy storage system proposed, used Lithium-Ion batteries are selected, which are previously mounted in e-vehicles and left idle when their capacities fall below 80 percent. This way, it is aimed that the batteries whose 80 percent of capacity is still active, can be reused and thus, contribute to the economy as a stationary battery instead of being recycled (which is also costly). In the scheduling model, a mixed 0-1 linear programming model is used. In the hospital-specific model, it is aimed to meet hourly energy demand with the lowest cost while ensuring that critical hospital units are left without power. However, it is not possible to study the economic feasibility of the proposal since a waste battery market does not exist presently.

Keywords: Alternative Energy, Microgrid Scheduling, Energy Storage

JEL Classification: Q13, Q42

* Enerji Enstitüsü ve TEGAM, İstanbul Teknik Üniversitesi, e-posta: denizhan.guven@yahoo.com.

** Prof. Dr., Enerji Enstitüsü ve TEGAM, İstanbul Teknik Üniversitesi, e-posta: gkayakutlu@gmail.com.

*** Prof. Dr., İşletme Mühendisliği Bölümü ve TEGAM, İstanbul Teknik Üniversitesi, e-posta: kayalica@itu.edu.tr.

1. Giriş

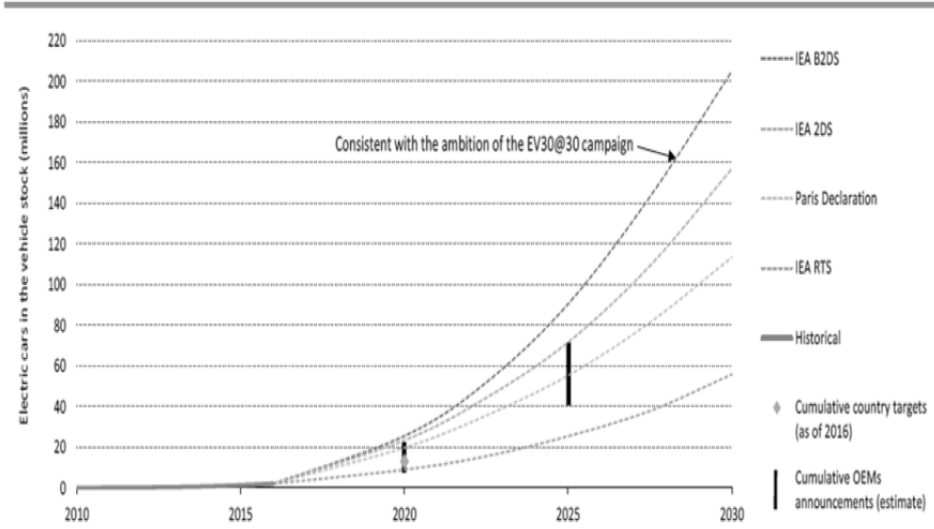
Son birkaç on yıllık zaman zarfında, dünyamız elektrik arzında ve talebinde köklü bir değişime tanık olmaktadır. 1993-2012 yılları arasında enerji arzı ve talebi yaklaşık yüzde 50 artarken, yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji de bu dönemde neredeyse ikiye katlanarak 2500TWh'ten 5000TWh'e ulaşmıştır [1,2]. Yenilenebilir enerji sistemlerinin şebekeye entegrasyonu ile birlikte, geleneksel enerji sistemleri bazı zorluklarla yüzleşmek zorunda kalmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarının değişken ve tahminin zor olmasına ek olarak, kısıtlı iletim ve dağıtım sistemlerinin daha yüksek üretim paylarına izin vermemesi bu zorluklara örnek olarak verilebilir [3]. Günümüzdeki konuyla ilgili en büyük sıkıntı, YEK'ten üretilen enerjinin genellikle enerji talebiyle nadiren eşleşmesidir. Bunun bir sonucu olarak, modern enerji yönetim sistemleri, enerji arz ve talep dengesizliğini yönetmede daha esnek olmak zorundadır [4].

Enerji Depolama Sistemleri (EDS), arz ve talepteki bu dengesizliği gidermekte teknik olarak oldukça makul bir çözüm olarak görülmektedir. Bu sistemlerin hem üretici için hem de tüketici için birçok faydası vardır; yüksek sistem operasyon verimliliği, birincil yakıt tüketim miktarının enerji tasarrufu ile azaltılması, enerji arz güvenliği ve çevresel zararın azaltılması sayılabilir [5]. Günümüzde birçok EDS teknolojisi mevcuttur, ancak kurulacak sistemin hem teknik hem de ekonomik olarak uygulanabilir olması için, verimli bir operasyon modeline ihtiyaç duyulmaktadır. İyi tasarlanmış bir operasyon modeli, uygun maliyetli ve yüksek verimlilikte güvenilir bir entegre enerji sistemi sunar [6].

Operasyon modelini oluşturmadan önce sistemde kullanılacak depolama türüne karar verilmelidir. Düşük maliyetleri nedeniyle en yaygın olarak kullanılan kurşun-asit bataryalar bu alanda öne çıkmaktadır. Ancak, gelişen teknolojisi ve azalan maliyeti ile Lityum-iyon bataryalar yakın zamanda bu konuda ilk tercih olmaya başlayacaktır [7]. Yüksek güç yoğunluğu ve verimi ile Lityum-iyon bataryaların en yaygın kullanıldığı

alan olarak elektrikli araçlar öne çıkmaktadır. IEA Global EV Outlook 2017 raporuna göre, elektrikli araç sayısı 2020 yılında 9-20 milyona, 2025 yılında ise 40-70 milyona ulaşması bekleniyor [8]. Ancak, yapılan araştırmalara ve üretici garantisine göre elektrikli araçlarda kullanılan Lityum-İyon bataryalar, yaklaşık 8 yıl içinde kapasitelerinin yüzde 20'sini kaybetmektedirler [9]. Kapasitesi yüzde 80'i korumasına rağmen bataryaların elektrikli araçlarda kullanımı sonlandırılmaktadır. Bu şekilde olan bataryaların ikinci yaşam döngüsü (second life cycle) başlamaktadır.

Şekil 1.1: Elektrikli araç sayısının yıllara göre tahmini [8]



Elektrikli araç sayısındaki artışla beraber oluşacak verimliliği düşmüş bataryaların tekrar değerlendirilmesi hem çevre hem de ekonomi için oldukça önemlidir. Özellikle yurt dışından ithal edilen araçlardan çıkan bataryaların, tekrar sabit batarya olarak ticari binalarda, hizmet sektöründe ve meskenlerde kullanılarak ekonomiye kazandırılması Türkiye gibi ülkeler için faydalı olacaktır. Bataryaların ikinci kullanımının fizibilitesi ve kapasiteleri hakkında bilgi edinmek için, son yıllarda birkaç çalışma yapılmaktadır. Nissan ve Green Charge Networks, Nissan Leaf araçlarından çıkan bataryaları ticari binalarda; Toyota ve Yellowstone Milli Parkı, Toyota hibrid araçlardan çıkan bataryaları milli parkta bulunan korucu istasyonlarında ve eğitim binalarında; General Motors ise Chevrolet Volt araçlarından çıkan bataryaları yeni inşa ettiği IT binasında kullanmaya başlamıştır [10].

Enerji arzında ve güvenliğinde yaşanan sıkıntılar günümüzde birçok soruna yol açmaktadır. Elektrik kesintilerinden en çok etkilenen sektörlerden biri de kuşkusuz sağlık sektörüdür. Hastaneler elektrik kesintilerinden ve enerji kalitesi problemlerinden

etkilenmemek için birden fazla elektrik yedekleme sistemiyle donatılmaktadırlar. Ancak, yaşanacak 8 saatlik bir elektrik kesintisi, uluslararası standartlara sahip 250 yataklı bir hastaneye yaklaşık 1,000,000 dolara mal olmaktadır [11]. Maddi boyutunun yanında asıl göz önünde bulundurulması gereken nokta yaşanabilecek can kayıplarıdır.

Aşağıdaki tabloda maksimum 10 saniye kadar sürecek bir elektrik kesintisinin hastanedeki birimler için ne kadar kritik olduğu gösterilmektedir. Tabloda bulunan “a” hiç kesinti olmaması talebini; “b” bölümün yarısının kesintisiz, diğer yarısının maksimum 10 saniye kesinti talebini; “c” birimin tamamında maksimum 10 saniyelik kesinti talebini ve “d” kısmı ise bölümün yarısında sürekli kesinti, diğer yarısında maksimum 10 saniyelik kesinti talebini yüzde olarak ifade etmektedir. Elektrik kesintisine en çok duyarlı olan birimler ameliyathaneler, yoğun bakım üniteleri ve resüsitasyon (temel-ileri yaşam destek üniteleri) bölümleri öne çıkmaktadır. En az etkilenmesi beklenen bölümler ise idari birimler ve koridorlar gözükmektedir.

Tablo 1.1: Hastane birimleri elektriği kesinti/kesintisizlik yüzdeleri [12]

Birim	%a	%b	%c	%d
Ameliyathane	96	1	2	0
Laboratuvar	60	21	18	1
Radyoloji	60	18	18	4
Resüsitasyon	96	1	3	0
Yoğun Bakım	90	5	4	1
Pansuman, İğne	9	33	28	29
Poliklinikler	21	26	23	30
Yatan Hasta	23	31	28	17
Koridorlar, WC	13	22	26	38
İdari Birimler	21	18	25	36

Elektriğin hastaneler için ne kadar önemli olduğunu açıkça ortaya koyan birçok olay yaşanmıştır. 2016 yılında Hindistan’da bulunan 1200 yataklı Ghandi Hastanesi’nde yaşanan elektrik kesintisi yüzünden 21 hasta hayatını kaybetmiştir [13]. 2017 senesinde 12 saatlik elektrik kesintisi yaşayan Kurnool Hastanesi’nde 8’i çocuk olmak üzere 20 hasta hayatlarını kaybetmiştir [14]. Başka bir örnek olarak da 2018 senesinde hastanede elektriğin kesilmesi üzerine 75 yaşındaki kadının hayatını kaybetmesi gösterilebilir [15].

Hastanelerde elektrik altyapısı genellikle birbirini destekleyici sistemlerden oluşmaktadır. Şebeke elektriğinin, jeneratörlerin ve UPS sistemlerin birbiri ile koordine çalışması sonucunda hastanelere kesintisiz güç sağlanabilmektedir. Ancak, jeneratörlerin devreye girme süreleri yaklaşık 8 saniyedir. Tablo 1.1'de 10 saniyelik bir kesintinin bile ne kadar kritik olduğu gösterilmektedir. Sisteme entegre edilecek bataryaların ise devreye girme süreleri milisaniye düzeyindedir. Bu yüzden hastanelerde jeneratörün yanında batarya sistemlerinin de bulunması zorunlu hale gelmiştir.

2. Literatür

Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte, verimliliği düşmüş bataryaların farklı şekillerde tekrar kullanılması ve ekonomiye kazandırılması gündeme gelmeye başlamıştır. Bu ikinci yaşam döngüsündeki bataryaların en yaygın kullanım alanı olarak da meskenler, ticaret binaları ve hizmet binaları göze çarpmaktadır.

Neubauer ve Pesaran (2011) bataryaların ikinci kullanımının, otomotiv tüketicilerine PHEV/EV bataryalarının ilk maliyeti üzerinde etkisini ve şebekeye bağlı enerji depolama sistemlerinin kullanılmış PHEV/EV batarya marketi üzerindeki potansiyelini değerlendirmek için ilk adımı atmıştır. Çalışmaya göre, verimliliği düşmüş bataryalar günümüz PHEV/EV fiyatlarını eklemesi beklenmemekle birlikte uygun maliyetli enerji depolama ihtiyacıyla yüksek potansiyele sahiplerdir [16].

Ahmadi vd. (2014), araştırmasında verimliliği düşmüş EV bataryalarının, enerji depolama sistemlerinde yeniden kullanılmasının fizibilitesini yapmışlardır. Daha az sayıda şarj/deşarj döngüsüne sahip önceki çalışmalardan elde edilen verilere dayanarak, EV bataryasının araçtaki ilk kullanımında kapasitesinin%20'sini ve sabit depolama sisteminde 10 yılda ikinci kullanımından sonra %15'ini yitirdiği tahmin edilmektedir. Artan şarj/deşarj döngüleri ile enerji verimliliği azaldıkça, akü ömrü boyunca meydana gelen döngü ve kapasite arasındaki ilişkinin etkisini tahmin etmek için kapasite solma modeli kullanılmıştır. Son olarak, enerji tasarruflarının artması ve sera gazı (GHG) emisyonunu azaltmadaki faydası göz önünde bulundurularak, Ontario elektrik şebekesine bağlı bir sabit batarya sistemiyle, pil performansının doğru modellenmesi yapılmıştır [9].

Heymans vd. (2014) evsel enerji profilini ve düzenlenmiş maliyet yapısının MatLAB simülasyonunu, verimliliği düşmüş EV bataryalarının tepe tıraşlama için kullanılmasının fizibilitesini ve maliyet tasarruflarının analiz edilmesinde kullanmıştır. Evsel enerji depolama sistemlerinin akıllı şebekelerde, pik talep zamanlarında talebi düşüreceğini göstermiştir [17].

Madlener ve Kirmas (2017), konutlarda yük kaydırma ve tepe tıraşlama için kullanılan verimliliği düşmüş EV bataryalarının ekonomik uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Ayrıca, elektrik piyasasında sayıları artan konut depolama sistemlerinin beklenen etkisini araştırmışlardır. Analizde, Güney Almanya'daki bir bölgede, PV sisteme sahip depolama sistemi entegre edilmiş üç kişilik bir hanehalkı için parametrelendirilmiş bir simülasyon modeli kullanılmıştır ve bu bataryalardaki yatırımların karlı olduğu koşullar üç senaryo için incelenmiştir [18].

Jiao ve Evens (2016) verimliliği düşmüş ve EV’lerde kullanımı sonlanmış bataryaların, yeniden kullanımını kolaylaştıran farklı EV paydaşlarının iş modellerini sunmuştur. Farklı EV sektörlerinden mülakatlara, endüstriyel raporlara ve akademik literatüre dayanarak, bataryaların tekrar kullanımının EV endüstrisinde sürdürülebilirlik için nasıl bir iş modeli oluşturulabileceğinin analizi yapılmıştır [19].

Hastaneler için elektrik günümüzde vazgeçilemez bir altyapı gereksinimi halindedir. Hastanelerin elektrik ihtiyacını belirleyen, sınıflandıran ve analiz eden literatürde birkaç çalışma mevcuttur.

Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) ile aydınlatma ekipmanlarının enerji talebini standartlaştırılmış hesaplama yöntemleri ile değerlendirmek son yıllarda konut dışı binaları planlamak ve optimize etmek için kendini kanıtlayan bir ölçü haline gelmiştir. Bununla birlikte, hastaneler için, büyük miktardaki tıbbi ekipmanın neden olduğu elektrik tüketiminin büyüklüğü hakkında bilgi eksiktir. Bu tür elektrikle çalışan cihazların giderek karmaşıklaşan bir ortamda gittikçe artan kullanımı nedeniyle, elektrik modern hastanelerin en büyük enerji maliyet sürücüsü haline gelmiştir. Cristiansen vd. (2015), bu çerçevede, Hamburg Üniversitesi/Almanya’nın modern Üniversite Tıp Merkezi’nde 33.500 saati aşan ölçümlere dayanarak, zamana bağlı planın yanı sıra tıbbi ekipman enerji talebinin haftalık olarak toplamını modellemiştir. Tam bir bina için kümülatif yük tahminleri %6’dan daha az bir hata ile mümkün olmuştur [20].

Morgenstern vd. (2016), yaptıkları çalışmada, bir dizi hastane departmanının elektrik ihtiyacı yerinde ölçümler kullanılarak ölçülmüştür. Çalışmayla birlikte, farklı hastane birimlerinin çok çeşitli elektrik tüketim özelliklerine sahip oldukları doğrulanmıştır. Odaların, kliniklerin ve bazı diğer departmanların daha düşük ortalama tüketim yoğunluğuna sahip oldukları ve mevcut hastane elektrik kriterlerini yansıttıkları gözlenmiştir [21].

Cristiansen, vd. (2016), makalesinde; ameliyathaneler, yoğun bakım üniteleri, muayene ve tedavi odaları ile büyük ölçekli tıbbi ekipmanların 20.000 saatten fazla veri analizi yapılmış ve değerlendirilmiştir. Kullanılan metodoloji, alana özgü çalışma saatlerinin belirlenmesine ve farklı hastane departmanlarında zamana bağlı elektrik yüklerinin tahmin edilmesine izin vermiştir. Hafta içi ve hafta sonu günlerinin farklılaşmasının yoğun bakım üniteleri için geçerli olmadığı tespit edilirken, incelenen ameliyathaneler, değerlendirilen hastanede düzenli “ofis saatleri” ile şaşırtıcı derecede güçlü benzerlikler gösterdiği anlaşılmıştır [22].

Del Pero vd. (2018), çalışmalarında, enerji depolama sistemlerinin bina ölçeğindeki mevcut durumunu özetlemekte ve özellikle karar alma / tasarlama aşamasında depolama teknolojilerinin karşılaştırmasını ve operasyon aşamasında teknik çözümlerin değerlendirilmesini basitleştirmek için tanımlanmış bir dizi basit Anahtar Performans Göstergesi (KPI) önermektedir. Tanımlanan KPI’lar nihayet, IEA-ECS Ek-31 “Energy Storage with Energy Efficient Buildings and Districts” kapsamında analiz edilen 10 vaka çalışmasına uygulanmaktadır [23].

Torres vd. (2014), makalelerinde, enerji ihtiyacının karşılanması için konvansiyonel ve fotovoltaik enerji kaynaklarının kullanıldığı, zamanlama problemi için bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Optimizasyon modeli, sınırlı sayıda değişkenli ve kısıtlı bir Doğrusal Program (DP) olarak formüle edilmiştir. İlgili çözümde, toplam talebin karşılanması ve kârın maksimize edilmesi için farklı kaynaklardan (konvansiyonel, yenilenebilir ve pil depolama) üretilen enerjinin optimal kombinasyonunu veya zamanlamasını sağlamıştır [24].

Pousinho vd. (2014), bir enerji üreticisi için, rüzgar, güneş ve ısı depolama sistemi kombinasyonu kullanılarak, kısa vadeli çizelgeleme modeli oluşturulmuştur. Karışık tamsayı doğrusal programlama modeli ile kar maksimizasyonu hedeflenmiştir. Iber Yarımadası'nda bulunan güneş ve rüzgar santralleri verileri kullanılarak optimum saatlik planlar oluşturulmuştur [25].

Hanna vd. (2014), yenilenebilir enerji kaynaklarının ve depolama sistemlerinin koordinasyonu ile pik talep seviyelerinin düşürülmesi üzerine çalışmışlardır. Doğrusal programlama (DP) modeli kullanılarak Temmuz 2012-Kasım 2012 dönemleri için enerji boşaltım çizelgeleri oluşturulmuştur. Depolama sistemi kullanılmadan sadece PV ile şebekeden enerji tüketimi azalması, depolama sistemi ile kombine edilmiş uygulamada elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır [26].

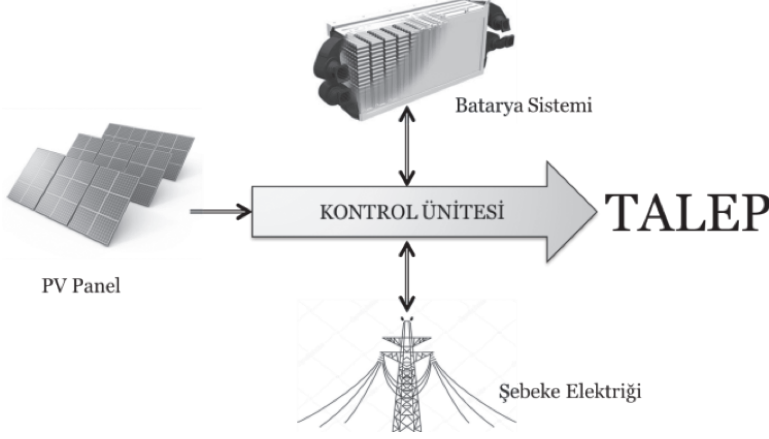
Zhao vd. (2015), gün öncesi piyasası kapsamında enerji sistemlerinin programlanmasını optimize etmek için, doğrusal olmayan programlama (DOP) modeli kullanılarak Model Tahmin Kontrol (MPC) tabanlı bir strateji önerilmiştir. Binada dağıtılmış güç üretimi, kombine bir soğutma ve güç sistemi ile birlikte bir fotovoltaik (PV) sistemden oluşmaktadır. Şebekeye satış imkânı sunan ve PV panel bulunan sistem, Hong Kong'da bir binada denenmiştir [27].

Wu vd. (2015), güç akışının yönetimi, güç dengesi, güneş enerjisi çıkışı ve batarya kapasitesi gibi bir dizi kısıtlamaya tabi olan elektrik maliyetini en aza indirmeyi amaçladıkları çalışmada doğrusal programlama (DP) modeli kullanmışlardır. Bataryaların ve PV panellerin kullanıldığı sistemin çizelgeleme optimizasyonu yapılmıştır [28].

3. Optimizasyon Modeli

Hibrit enerji kaynaklarının enerji depolama sistemleriyle entegre olarak kullanıldığı, şebekeye bağlı bir mikro şebekenin iyi bir planlamayla hastanenin enerji ihtiyacını düşüreceği öngörülmektedir. Hastane için düşünülen mikro şebeke sisteminin yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Enerji sistemi 3 ana enerji kaynağı içermektedir; şebeke elektriği, güneş panelleri ve verimliliği düşmüş EV bataryalarından oluşan depolama ünitesi. Bu kaynaklardan sağlanan enerji iki farklı şekilde kullanılabilir: Anlık enerji talebini karşılamak veya enerjiyi sonra kullanılmak üzere depolamak. Ana hedef olarak, saatlik enerji talebinin en düşük maliyetle karşılanması olarak belirlenmiştir.

Şekil 3.1: Entegre sistemin yapısı



Hastane için geliştirilecek modelde, enerji talebi, şebekeden alış fiyatı, enerji üretim miktarı ve depolama ünitesinin doluluk oranı dikkate alınacaktır. Bu veriler kullanılarak saatlik bir plan çıkarılacaktır.

Çizelgeleme modelinde karma 0-1 tamsayı doğrusal programlama modeli kullanılacaktır. Karar değişkenleri belirlenirken, enerji akışının bir kaynaktan belli bir hedefe atanması sağlanmıştır. Bir t anında, Güneş panellerinde üretilen enerjinin ve şebekeden çekilen enerjinin nereye yönlendirileceği, bataryanın doldurulması veya boşaltılması ihtiyacı önceden belirlenmiştir. Karar değişkenlerini gösteren tablo aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.1: Karar değişkenleri ve açıklamaları

Karar Değişkeni	Açıklama
$E_{ptd}(t)$	Şebekeden talebi karşılamak için alınan enerji
$E_{ptb}(t)$	Şebekeden bataryayı doldurmak için alınan enerji
$E_{std}(t)$	Güneş panelinden üretilen ve talep karşılamak için yönlendirilen enerji
$E_{sfb}(t)$	Güneş panelinden üretilen ve batarya şarjı için yönlendirilen enerji
$E_{btd}(t)$	Bataryadan, talebi karşılamak üzere çekilen enerji
$E_{ch}(t)$	Bataryada depolanan toplam enerji
$E_{dis}(t)$	Bataryadan boşaltılan toplam enerji
$E_{pur}(t)$	Şebekeden satın alınan toplam enerji
$I_{..}(t)$	Belirtilen enerji akışının yapıp yapılmadığı {0,1}

Ana kısıtlar:

$$\text{Talep kısıtı: } E_{\text{ptd}}(t) + E_{\text{ptb}}(t) + E_{\text{std}}(t) \geq D(t), \forall t \quad (3.1)$$

$$\text{PV Panel güç kısıtı: } E_{\text{pv}}(t) \leq P_{\text{pv}} * \eta_{\text{pv}} * r(t), \forall t \quad (3.2)$$

$$\text{PV Panel enerji kısıtı: } E_{\text{pv}}(t) \leq \max E_{\text{pv}}(t), \forall t \quad (3.3)$$

$$\text{Batarya kapasite kısıtı: } \text{SoC}(t) \leq B_{\text{cap}}, \forall t \quad (3.4)$$

$$\text{Batarya boşaltım kısıtı: } E_{\text{dis}}(t) \leq [\text{SoC}(t) - B_{\text{safety}}] * \eta_{\text{dis}}, \forall t \quad (3.5)$$

$$\text{Min. Batarya doluluk oranı: } \text{SoC}(t) \geq D_{\text{crit}}(t), \forall t \quad (3.6)$$

$$\text{Alış limiti: } E_{\text{pur}}(t) \leq UL_{\text{pur}}, \forall t \quad (3.7)$$

Birlikte olamaz kısıtları:

$I_{\dots}(t)$ karar değişkenleri 1 ve 0 değerleri alarak, bir üniteden diğer hedeflere sadece bir akış yapılmasını sağlar. $I_{\text{ptd}}(t)=1$ iken $I_{\text{ptb}}(t)=0$ olmasını garanti altına almaktadır. Böylelikle hem talep karşılanması hem de depolamanın aynı anda olması engellenmektedir. İkinci kısıt bataryanın aynı zaman diliminde hem boşaltım hem de dolum yapmasının önüne geçmek için konulmuştur. Üçüncü kısıt ise güneş panellerinden elde edilen enerjinin sadece bir hedefe yönlendirilmesi sağlanmıştır.

$$\text{Satınalma kısıtı: } I_{\text{ptd}}(t) + I_{\text{ptb}}(t) \leq 1, \forall t \quad (3.8)$$

$$\text{Batarya kısıtı: } I_{\text{ch}}(t) + I_{\text{dis}}(t) \leq 1, \forall t \quad (3.9)$$

$$\text{PV kısıtı: } I_{\text{std}}(t) + I_{\text{stb}}(t) \leq 1, \forall t \quad (3.10)$$

Sabit bedel kısıtları:

$$\text{Satınalma kısıtı: } E_{\text{ptd}}(t) \leq M * I_{\text{ptd}}(t) \quad (3.11)$$

$$\text{Satınalma kısıtı: } E_{\text{ptb}}(t) \leq M * I_{\text{ptb}}(t) \quad (3.12)$$

$$\text{Batarya boşaltım kısıtı: } E_{\text{dis}}(t) \leq M * I_{\text{dis}}(t) \quad (3.13)$$

$$\text{Batarya dolum kısıtı: } E_{\text{ch}}(t) \leq M * I_{\text{ch}}(t) \quad (3.14)$$

$$\text{PV Panel kısıtı: } E_{\text{std}}(t) \leq M * I_{\text{std}}(t) \quad (3.15)$$

$$\text{PV Panel kısıtı: } E_{\text{stb}}(t) \leq M * I_{\text{stb}}(t) \quad (3.16)$$

Eşitliklerde ve kısıtlarda kullanılan parametreler ve açıklamaları Tablo 3.2'de verilmiştir. Hastane uygulamasına özel olarak $D_{crit}(t)$ parametresi tanımlanmıştır. Bu parametre ile hastanede t zamanında olması planlanan ameliyatların, sürekli çalışır durumda olan yoğun bakım ünitesi ve resüsitasyon bölümünün t anındaki talebi belirtilmiştir. Hastaneler için en kritik öneme sahip olan bu üç departmanın en acil durumda bile batarya ünitesi tarafından enerjilerinin sürekli olarak sağlanması amaçlanmıştır. Hastanede bulunan yoğun/acil bakım ünitesinin pik enerji talebi (D_{icu}) 28.9Wh/m², ameliyathanenin pik enerji talebi (D_{sur}) 17Wh/m² ve resüsitasyon ünitesinin pik enerji talebi (D_{res}) 68.7Wh/m² ortalama olarak hesaplanmıştır (Morgenstern vd., 2016).

Tablo 3.2: Parametreler ve açıklamaları

Parametre	Açıklama
$D(t)$	Enerji talebi (t zamanında)
$D_{crit}(t)$	Kritik yük miktarı (t zamanında)
$C_{pur}(t)$	Şebekeden satın alınan elektrik birim fiyatı (t zamanında)
$r(t)$	Güneş ışıması miktarı (t zamanında)
$max.E_{pv}(t)$	Güneş panellerinde üretilebilecek maksimum enerji (t zamanında)
C_{pv}	Güneş panellerinden enerji üretmenin birim maliyeti
C_{mnt}	Bataryanın işletme ve bakım birim maliyeti
k_{loss}	Batarya kendi kendine boşalma oranı
γ	Batarya değer kaybının ne kadarının kontrollü yıpranma maliyeti ile ilişkili olduğu
η_{dis}, η_{ch}	Batarya şarj ve deşarj verimlilik katsayıları
P_{pv}	Güneş panellerinin güç kapasiteleri
η_{pv}	Güneş panellerinin verimliliği
n	Planlama süresi
N	Bataryanın çevrim sayısı
B_{cap}	Batarya kapasitesi
UL_{pur}	Bir saat içinde şebekeden alınabilecek enerji üst limiti
B_{safety}	Batarya için izin verilen en düşük enerji seviyesi

Eşitlikler:

$$D_{crit}(t) = D_{sur}(t) + D_{res}(t) + D_{icu}(t), \forall t \quad (3.17)$$

$$DoD(t) = \frac{Edis(t)}{Bcap \eta_{dis}}, \forall t \quad (3.18)$$

$$f_{dep}(t) = \frac{DoD(t) \gamma C_{capt}}{N}, \forall t \quad (3.19)$$

$$f_{mnt}(t) = \left[Ech(t) \eta_{ch} + \frac{Edis(t)}{\eta_{dis}} \right] C_{mnt}, \forall t \quad (3.20)$$

$$f_{pV}(t) = E_{pV}(t) C_{pV}, \forall t \quad (3.21)$$

$$f_{pur}(t) = E_{pur}(t) C_{pur}, \forall t \quad (3.22)$$

$$f_B(t) = f_{dep}(t) + f_{mnt}(t), \forall t \quad (3.23)$$

$$E_{pV}(t) = E_{std}(t) + E_{stb}(t), \forall t \quad (3.24)$$

$$E_{pur}(t) = E_{ptd}(t) + E_{ptb}(t), \forall t \quad (3.25)$$

$$E_{ch}(t) = E_{ptb}(t) + E_{stb}(t), \forall t \quad (3.26)$$

$$I_{pur}(t) = I_{ptd}(t) + I_{ptb}(t), \forall t \quad (3.27)$$

$$I_{ch}(t) = I_{stb}(t) + I_{ptb}(t), \forall t \quad (3.28)$$

$$I_{...} \in \{0,1\}$$

Tüm değişkenler ≥ 0 , $\forall t$

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{Min. } Z = \sum_{t=1}^n \{f_{pV}(t) + f_B(t) + f_{pur}(t)\} \quad (3.29)$$

4. Sonuç

Bu çalışmada, verimi düşmüş EV bataryaların, ikinci hayat döngülerinde, enerji depolama ünitesi olarak kullanılarak, güneş panellerinden üretilen ve şebekeden sağlanan elektrikle kombinasyonun zaman planı oluşturularak hastanede uygulaması yapılmıştır. Gerekli veriler elde edildikten sonra, uygun programlar vasıtasıyla modelin çalıştırılması sonucu saatlik enerji talebinin en düşük maliyetle karşılanması sağlanabilecektir. Ayrıca, farklı hastane sahaları için diğer alternatif enerji kaynakları (rüzgar vb.) ve imkân dahilinde ise şebekeye enerji satışı da sisteme eklenerek, ihtiyaca göre modelde değişikliğe gidilebilir.

Bu sistemin ana unsurunu oluşturan verimliliği düşmüş bataryaların tekrar ülke içinde değerlendirilmesi, ülkemiz ekonomisi için de ayrıca önemli bir tasarruf kalemi oluşturmaktadır. Özellikle ilk döngüsünü tamamlayan bataryaların, hala görece yüksek kapasiteleriyle (yüzde 80 kapasite kullanılabilir durumda iken) geri dönüşüme sokulması ülke ekonomisi için büyük bir kayıptır. Hem bataryaların yüksek geri dönüşüm maliyetleri hem de ithal olmalarının getirdiği yüksek kur maliyeti göz önünde bulundurulduğunda, bataryaların uzun yıllar boyunca sabit batarya olarak hizmet etmesi ekonomimiz açısından faydalı olacaktır.

Enerjide dışa bağımlılığın ekonomide cari işlemler üzerinden yarattığı kırılganlık göz önünde bulundurulduğunda sadece hastanelerin yaratabileceği potansiyel bile dikkate değerdir. Önümüzdeki yıllarda uygulanması beklenen ve Avrupa Birliği'nde de 4 Aralık 2012 tarihinden itibaren 13 ülkede uygulanan Enerji Verimliliği Yükümlülüğü Sistemi ile sağlanmak istenen zaten enerji satışını azaltarak tasarruf sağlamaktır. Elbette henüz oluşmamış atık pil piyasası gibi unsurlar nedeniyle net bir fizibilite yapmak şu an için pek mümkün değildir. Ancak hastane vb. birçok kurum binası benzer şekilde dönüşüme uğradığında yadsınamayacak boyutta bir ölçek yaratacaktır. Bu da şüphesiz maliyetleri aşağıya çekecektir. Dolayısıyla bu tür dönüşüm girişimlerinin politikacılara sunulması gerekmektedir. Biz de bu çalışmada uygun dönüşümü sağlayabilecek depolama ünitesi bulunan, şebekeye bağlı bir mikroşebeke kurgusunu karma 0-1 doğrusal programlama optimizasyon modeliyle sunmaya çalıştık. İlerde benzer uygulamalar farklı kurum, bina vb tesisler için yapılabilir. Henüz oluşmamış atık pil piyasası gibi kurumsallaşmalar da sağlandıktan sonra gelecekteki araştırmaların boyutu yatırım fizibilitesi yapmaya da olanak verecek şekilde şüphesiz genişleyecektir.

Kaynakça

- U.S. Energy Information Administration. (2015). *Annual Energy Outlook with projections to 2040*. U.S. Washington D.C.: Energy Information Administration.
- BP Statistical Review of Global Energy. *Modern renewable energy consumption*. <http://www.ourworldindata.org/renewables>.
- Weitzel, T., Glock, H. C. (2017). Energy management for stationary electric energy storage systems: A systematic literature review. *European Journal of Operational Research*.
- Kondziella, H., Bruckner, T. (2016). Flexibility requirements of renewable energy based electricity systems – A review of research results and methodologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 10–22. doi:10.1016/j.rser.2015.07.199.
- Kousksou, T. et al. (2013). *Energy storage: Applications and challenges*. Solar Energy Materials & Solar Cells.
- Chauhan, A., Saini, R. P. (2014). A review on integrated renewable energy system based power generation for stand-alone applications: Configurations, storage options, sizing methodologies and control. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 99–120. doi:10.1016/j.rser.2014.05.079.
- Ufluoğlu, E. E. (2018). *Ana Sisteme Bağlı Bir Mikro Şebeke İçin Gün İçi Elektrik Piyasasına Dayalı Çözümleme*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- IEA Global EV Outlook 2017.
- Ahmadi et al. (2014). *Energy efficiency of Li-ion battery packs re-used in stationary power applications*. Sustainable Energy Technologies and Assessments.
- Madlener, R., Kirmas, A. (2016). *Economic viability of second use electric vehicle batteries for energy storage in residential applications*. The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016.
- http://www.reengen.com/resources/hastane_case_study.pdf.
- İmal, N., Kale, M. C., *Kesintisizlik Analizi İle Hastaneler İçin Elektrik Enerjisi Kalitesi İyileştirilmesi*. Elektrik Mühendisleri Odası.
- <https://timesofindia.indiatimes.com/india/21-die-in-Hyderabad-govt-hospital-staff-blame-power-cut/articleshow/53359874.cms>.
- <http://www.newindianexpress.com/states/andhra-pradesh/2017/jun/23/20-die-during-12-hr-power-cut-at-kurnool-hospital-in-andhra-pradesh-1619975--1.html>.
- <http://maldivesindependent.com/society/elderly-woman-dies-after-hospital-power-cut-136085>.

- Neubauer, J., Pesaran, A. (2011). The ability of battery second use strategies to impact plug-in electric vehicle prices and serve utility energy storage applications. *Journal of Power Sources* 196 (2011) 10351– 10358.
- Heymans, C., Walker, S. B., Young, S. B., Fowler, M. (2014). Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-levelling. *Energy Policy* 71 (2014) 22–30.
- Madlener, R., Kirmas, A. (2017). Economic viability of second use electric vehicle batteries for energy storage in residential applications. The 8th International Conference on Applied Energy – ICAE2016. *Energy Procedia* 105 (2017), 3806 – 3815.
- Jiao, N., Evans, S. (2016). *Business models for sustainability: the case of second-life electric vehicle Batteries*. 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing- Decoupling Growth from Resource Use.
- Cristiansen, N., Kaltschmitt, M., Dzukowski, F., Isensee, F. (2015). Electricity consumption of medical plug loads in hospital laboratories: Identification, evaluation, prediction and verification. *Energy and Buildings* 107 (2015), 392–406.
- Morgenstern, P., Li, M., Raslan, R., Ruyssevelt, P., Wright, A. (2016). Benchmarking acute hospitals: Composite electricity targets based on departmental consumption intensities? *Energy and Buildings* 118 (2016), 277–290.
- Cristiansen, N., Kaltschmitt, M., Dzukowski, F. (2016). Electrical energy consumption and utilization time analysis of hospital departments and large scale medical equipment. *Energy and Buildings* 131 (2016), 172–183.
- Pero, C. D., Aste, N., Paksoy, H., Haghghat, F., Grillo, S., & Leonforte, F. Energy storage Key Performance Indicators for building application. *Sustainable Cities and Society*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.052>.
- Torres, D., Crichigno, J., Padilla, G., & Rivera, R. (2014). Scheduling coupled photovoltaic, battery and conventional energy sources to maximize profit using linear programming. *Renewable Energy*, 72, 284–290.
- Pousinho, H. M. I., Silva, H., Mendes, V. M. F., Pereira, M., & Cabrita, C. P. (2014). Self-scheduling for energy and spinning reserve of wind/CSP plants by a MILP approach. *Energy*, 78, 524–534.
- Hanna, R., Kleissl, J., Nottrott, A., & Ferry, M. (2014). Energy dispatch schedule optimization for demand charge reduction using a photovoltaic-battery storage system with solar forecasting. *Solar Energy*, 103, 269–287.
- Zhao, Y., Lu, Y., Yan, C., & Wang, S. (2015). MPC-based optimal scheduling of grid-connected low energy buildings with thermal energy storages. *Energy and Buildings*, 86, 415–426.
- Wu, Z., Tazvinga, H. & Xia, X. (2015). Demand side management of photovoltaic battery hybrid system. *Applied Energy*, 148, 294–304.