



# Üzerinde fotovoltaik panele sahip olan elektrikli araçları içeren bir şarj otoparkının çok amaçlı optimum enerji yönetim stratejisi

## Multi-objective optimum energy management strategy of a charging parking lot including electric vehicles with on-board photovoltaic panels

Burak Şafak<sup>1</sup>, Deniz Özekinci<sup>2</sup>, Alper Çiçek<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup> Trakya Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 22030, Edirne Türkiye

### Öz

Dünyada taşımacılık sektörünün enerji ihtiyacının önemli bir bölümünün fosil yakıtlardan karşılandığı bilinmektedir. Bu sebeple hem sürdürülebilirliğin sağlanması hem de çevresel sorunların giderilmesi amacıyla elektrikli araçların (EA) sayısının her geçen gün arttığı gözlenmektedir. EA'ların enerjisinin fosil kaynaklardan karşılanması yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması da önemli konulardan birini oluşturmaktadır. Bu açıdan üzerinde fotovoltaik panelli EA'lar gelecekte bu konuya bir çözüm sunabilir. Ayrıca çok sayıda EA'nın şarj durumu şebekede yük faktörünün azalması başta olmak üzere sistem veriminin azalmasına sebep olabilir. Bu çalışmada fotovoltaik panele sahip EA'ları da içeren bir şarj otoparkının çok amaçlı optimum enerji yönetim modeli karışık tam sayılı doğrusal programlama yöntemi aracılığı ile sunulmaktadır. Otopark işletmesinin hem maliyet minimizasyonu sağlanabilirken hem de yük faktörü maksimizasyonu ayrı ayrı ya da her ikisi de birlikte dikkate alınarak yönetimi sağlanabilmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre sunulan model uygulanan amaç doğrultusunda otopark işletmesini yönetmektedir. Sadece maliyetinin azaltılmak istendiği durumda maliyet en aza inerken, sadece yük faktörünün artırılmak istendiği durumda yük faktörü 0.091 değerinden 0.92'ye çıkartılabilmektedir. Ayrıca her iki amaç da uygulanmak istediğinde hem maliyet hem de yük faktörü arada bir değer olarak istenen sonuçların elde edilmesini sağlayabilmektedir. Gerçekleştirilen çalışma için araçların fotovoltaik panele sahip olmasının toplam maliyet üzerinde %4.5'luk etkisi söz konusudur.

**Anahtar kelimeler:** Elektrikli araç, Araç üzeri fotovoltaik panel, Elektrikli araç şarj otoparkı, Optimum enerji yönetimi, Yük faktörü

### 1 Giriş

#### 1.1 Motivasyon

Dünyadaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %30'unu taşımacılık sektörü oluşturmaktadır [1]. Taşımacılık sektöründe kullanılan toplam enerjinin yaklaşık %95'i fosil yakıtlı araçlar tarafından tüketilmektedir [2]. Dünya

### Abstract

It is widely recognized that a significant portion of the transportation sector's energy demand is met by fossil fuels. As a result, there has been a notable increase in the electric vehicles' (EVs) number to promote sustainability and address environmental concerns. Shifting the energy source for EVs from fossil fuels to renewables is a critical matter. In this regard, EVs equipped with photovoltaic hold the potential to offer a solution in the future. However, the charging infrastructure for a large fleet of EVs can lead to decreased system efficiency, particularly a reduction in the grid's load factor. This study presents multi-objective optimal energy management model for a charging parking lot that incorporates EVs with photovoltaics. The model is developed using the mixed-integer linear programming. By employing the model, both cost minimization and load factor maximization can be achieved separately or simultaneously, addressing the management needs of the parking lot. The results obtained from the study demonstrate that the proposed model effectively manages the parking lot operations according to the intended objectives. When the objective is solely to reduce costs, the model minimizes expenses. Alternatively, if the objective is to increase the load factor, it can be enhanced from 0.091 to 0.92. Furthermore, when both objectives are pursued simultaneously, a balance can be achieved between cost reduction and load factor optimization, resulting in desired outcomes. For the conducted study, the inclusion of photovoltaic panels on EVs has a 4.5% impact on the overall cost.

**Keywords:** Electric vehicle, Electric vehicle charging station, Load factor, Optimal charge management, On-board photovoltaic panel

ekonomisi ve siyasetinde fosil yakıtların kullanılması önemli bir rol almaktadır. Fosil yakıtlardan elde edilen enerji yerine yenilenebilir, çevreci enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin çoğunluklu olarak kullanılmasının dünya ekonomisini önemli ölçüde etkileyeceği öngörülmektedir. Ancak devletlerin ekonomik ve siyasi çıkarlarını göz ardı edip doğa ve çevre dostu enerji kaynaklarının kullanımına

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: alpercicek@trakya.edu.tr (A. Çiçek)

Geliş / Recieved: 05.07.2023 Kabul / Accepted: 05.10.2023 Yayınlanma / Published: 15.01.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1323236

öncelik vermesi gerekmektedir. Devletlerin fosil yakıtlı araçları tercih etmekten kaçınma sebeplerinden bazıları; fosil yakıtların yenilenebilir olmaması, atmosferi ve su kaynaklarını kirletmesi, atmosfere karışan zararlı gazların ozon tabakasının incelmeye ve bununla birlikte keskin iklim değişikliğine sebep olması, canlı sağlığına ciddi zararlar vermesi, küresel ısınmaya sebep olması, maliyetlerinin yüksek olması, fosil yakıtlı çalışan motorların verimsiz ve bakım maliyetlerinin yüksek olması şeklinde belirtilebilir.

Fosil yakıtların kullanımının neden olduğu birçok olumsuz durumun sonucunda doğaya zararı sifıra yakın ve verimleri oldukça yüksek olan elektrikli araçların (EA) kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. EA'ların ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin karşılanması için oldukça temiz ve verimli olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması tavsiye edilmektedir [3]. Bu durum hem elektrik enerjisinin üretiminde hem de EA'ların kullanımında doğa için oluşturabilecek tehditlerin sifıra indirgenmesini sağlamaktadır.

EA'ların kullanımının yaygınlaşması, fosil yakıt tüketimini ve dışarıdan sağlanan fosil kaynaklar dikkate alındığında da ülkelerin dışa bağımlılığını azaltmaktadır. Ayrıca ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına artırılması amacıyla birçok teşvik politikası uygulamaktadırlar [4]. Uluslararası Enerji Ajansı'nın EA'lar üzerinde yaptığı bir araştırma raporunda, toplam EA sayısının 2030'a kadar 8 milyon araçtan 245 milyon araca ulaşması öngörülmektedir [5]. Fakat EA sayısının günden güne artmasına rağmen dünya genelinde EA şarj istasyonu alt yapı eksikliklerinin olduğu söylenebilir. Bu açıdan devletlerin EA şarj istasyonlarına yatırım desteği verilmesi gerektiği ifade edilmelidir.

Çok sayıda EA'nın aynı anda şarj edilmesiyle elektrik şebekelerinin işleyiş ve kontrolünde birtakım değişiklikler meydana gelebilmektedir. Elektrik şebekelerinde yük dalgalanmaları ve düşük yük faktörü durumu ortaya çıkmaktadır. Bu durumlar kayıpların ve maliyetin artması ile verimliliğin düşmesi başta olmak üzere sistem performansını olumsuz etkilemektedir. Elektrik şebekelerinde işletimin sağlıklı olarak yürütülebilmesi için şebekelerde oluşan bu olumsuz durumlar giderilmesi gerekmektedir.

EA şarj istasyonlarının genel olarak otopark olarak çalıştığı kabul edilmektedir. Uzun süre park durumu dikkate alındığından maliyet ve elektrik şebeke yük dağılımı en verimli şekilde optimize edilebilmektedir. Kullanıcılar hem araçlarını park etmek hem de araçlarını şarj etmek amacıyla EA şarj otoparklarını kullanabilmektedirler. EA şarj otopark işletmesi, birim elektrik fiyatlarının düşük olduğu saatlerde araçları şarj etmeye odaklanacaktır. Araçların şarj olma saatlerini düzenlenmesi için uygun çalışma modellerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Fakat diğer yandan da tüm araçların aynı anda şarj edilmesi isteği elektrik şebekelerinin pik yüklenme gibi olumsuz bir durumla karşılaşmasına sebep olacaktır.

## 1.2 Literatür taraması

Fosil yakıt kaynaklarının her geçen gün azalmasıyla ve fosil yakıt kaynaklarının kullanımıyla da karbon salınımının

artmasıyla birlikte çevre dostu politikalar ve teşviklerin yer aldığı yeni bir düzen oluşturulmaktadır. Taşımacılık sektöründe EA'ların tercih edilmesi fosil yakıt kullanımını ve beraberinde karbon salınımını azaltmayı amaçlamaktadır. Çevre dostu EA'ların sayısı günden güne artış gösterdiği de belirtilmelidir. EA'ların sayısındaki artışlar, EA şarj istasyonlarının optimum bir şekilde planlanması, yönetilmesi ve elektrik şebekelerinde oluşabilecek olumsuz durumlar gibi konularda yapılan araştırmaların ve çalışmaların sayısının giderek artmasına neden olmaktadır. Neyestani vd. [6] dağıtım sistemi operatörü ve EA otopark sahibi arasındaki etkileşimde karar verme aşamasında yaşanabilecek çatışmaların da dikkate alındığı iki seviyeli bir problemi çözmek amacıyla denge kısıtlamalarının da yer aldığı bir matematiksel programlama modeli açıklamışlardır. Amaç fonksiyonu dağıtım sistemi operatörü ve EA sahibi açısından kârı maksimize etmek olarak belirlenmiştir. Bingöl ve Yıldız [7] 4x4 tekerlek içi motorlu bir EA'nın süspansiyon sistemi için genetik algoritma II kullanarak bulanık mantık ve oransal integral türev tabanlı çok amaçlı bir optimizasyon modeli sunmuşlardır. Çalışmada önerilen yöntem ile EA süspansiyon sisteminin titreşim genliğinin azaltıldığı ifade edilmiştir. Chen vd. [8] bir konut otoparkı için EA'ların varışının Poisson dağılımını takip ettiğini varsayarak şarj yükü talebinin analizi için optimum şarj modeli önermişlerdir. Çalışmada şarj yükü profillerini üretmek için bir simülasyon aracı sunulmuştur. Ayrıca, şarj başlangıç zamanı için stokastik yapıyı dikkate alarak EA'ların şarj işleminin neden olduğu güç dalgalanma seviyelerini azaltmak amacıyla geliştirdikleri modelde optimum şarj stratejisinin elde edilmesi için parçacık sürü optimizasyonu algoritmasını kullanmışlardır. Mohammadi vd. [9] yaptıkları çalışmada ilk olarak, bir EA otoparkının 24 saatlik periyotta şarj ve deşarj yaklaşımlarını tanımlamışlardır. İkinci olarak enerji kaybını azaltmak ve gerilim kararlılığını iyileştirmek için optimum konumu belirlemişlerdir. Önerdikleri yöntemi IEEE 33-baralı standart dağıtım sisteminde test etmişlerdir. Wu vd. [10] bir EA otoparkının elektrik maliyetini minimize etmek için yeni bir EA şarj planlama ve kontrol sistemi önermişlerdir. Bu yöntemde gelen her EA için optimum şarj planlaması tanımlanmıştır. Güneş vd. [11] yaptıkları çalışmada EA şarj istasyonlarının elektrik dağıtım şebekelerinin güvenilirlik indislerinde yarattığı etkileri incelemişlerdir. Mevcut yüklerin geçmiş yıllara ait yüklenme verileri ile birlikte olasılıksal modelleme yöntemlerinden yararlanılarak gerçek bir elektrik dağıtım sistemi üzerindeki etkilerini göstermişlerdir. Çiçek ve Erdinç [12] PV-batarya hibrit sistem içeren bir otoparkta EA'ların şarj yönetiminde ekonomik kazancın elde edilmesi için bir karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturmuşlardır. Yapılan çalışmada EA otoparkında dinamik elektrik fiyatları ile enerji satın alınmıştır. PV sistemde üretilen fazla enerji ve elektrik fiyatının düşük olduğu zamanlarda elektrik şebekesinden satın alınan enerji bataryada depolanabilmektedir. Bataryadaki depolanan enerji, PV üretiminin olmadığı ya da şebeke elektrik fiyatının pahalı olduğu periyotlarda sisteme enjekte edilmiştir. Fakat bu çalışmada hızlı şarj üniteleri yer almamaktadır. PV sistem araçların üzerinde değil şarj otoparkına aittir. Ayrıca

problem çok amaçlı olarak modellenmemiştir, yük faktörü maksimizasyonu konusu ele alınmamıştır. Kırat ve Çiçek [13] nesnelere interneti uygulamaları, rezervasyon sistemi ve ceza sisteminin de yer aldığı Trakya Üniversitesi öğrencileri ve personeline hizmet eden PV sisteme sahip bir EA şarj istasyonu için optimum işletim modelini açıkladılar. Fakat bu çalışmada EA'lar PV sisteme sahip değildir ve problem çok amaçlı olarak ele alınmamıştır. Sunulan modelde EA şarj istasyonunun şarj işlemleri sırasında şebeke gereksinimleri yani şebekeden çekilen pik yüklenme durumu ve yük faktörü dikkate alınmamıştır. Jiang ve Zhen [14] yaptıkları çalışmada enerji depolama sistemi ve fotovoltaik sistem içeren bir EA şarj otoparkının optimizasyonuna odaklanmıştır. İlk olarak akıllı bir şarj yönetim sistemi kurmuşlardır. Daha sonra ise toplam sistem maliyetini minimize etmek için bir optimizasyon problemi oluşturmuşlardır. Ardından, en uygun çözümü bulmak için gri kurt optimizasyonu (Gray wolf optimization - GWO) yöntemi tanıtılmış ve modele uygulanmıştır. Lakshminarayanan vd. [15] yaptıkları çalışmada bir iş yeri için EA'dan şebekeye enerji durumunu da dikkate alarak gerçek zamanlı bir optimum enerji yönetim modeli sunmuşlardır. Önerilen bu enerji yönetim şemasında EA'nın bataryasının şarjı ve deşarjı, rastgele orman metodolojisi kullanılarak EA seyahat modeli tahmini tarafından planlanmıştır. Ek olarak bu enerji yönetim şeması, iş yerindeki enerji tüketim maliyetini minimize etmek için tahmini EA seyahat bilgilerini içeren optimizasyon problemi olarak tasarlanmıştır. Bu enerji yönetim şeması, EA sahibi ve iş yeri için ekonomik faydalar göz önünde bulundurularak geliştirilmiştir. Şengör vd. [16] yaptıkları çalışmada doğrusal programlama kullanarak EA otoparkı için gerçek zamanlı optimizasyon tabanlı bir enerji yönetim modeli önermişlerdir. Önerilen enerji yönetim modelinde işletme maliyetinin minimizasyonu ve yük faktörü maksimizasyonunu amaçlanmıştır. EA'ların hareketliliği, belirsiz varış ve ayrılış zamanları ve geldikleri andaki enerji seviyelerine daha gerçekçi bir yaklaşım sağlamak için geçmiş veriler göz önünde bulundurulmuştur. Mohammad vd. [17] yaptıkları çalışmada EA şarj sistemi ve çatı tipi fotovoltaik sistem ile donatılmış ticari otopark için bir enerji yönetim sistemi önermişlerdir. Sunulan enerji yönetim sistemiyle öncelikli olarak şarj talebini arz ile dengelemek amacıyla optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca enerji yönetim sistemini daha gerçekçi hale getirmek için batarya bozulma maliyeti ve seviyelendirilmiş fotovoltaik enerji maliyeti dikkate alınmıştır. Zanvettor vd. [18] yaptıkları çalışmada araç davranışlarının belirsizliği altında enerji fiyatlandırma sorununu ele almışlardır. Özel olarak, otoparkın günlük kârının garanti altına alındığı yeni bir enerji fiyatlandırma stratejisi önerilmiştir. Fotovoltaik ve enerji depolama sistemi tesislerinden yararlanılarak optimum satış fiyatını hesaplamak ve uzaklaşan ufuk çerçevesini işletmek için prosedürler ve algoritmalar formüle edilmiştir.

Bu çalışmada fotovoltaik panele sahip EA'lara da hizmet eden bir şarj otoparkının enerji yönetim konusu dikkate alınmaktadır. Otopark işletimi için minimum maliyet ve elektrik şebekesi için maksimum yük faktörü elde edilmesi

amaçlanarak bir karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli önerilmektedir. Çalışmanın literatüre katkıları aşağıdaki gibidir:

- Fotovoltaik panele sahip EA'larında yer aldığı EA şarj otoparklarının çok amaçlı optimum şarj yönetimi gerçekleştirilmektedir.
- Önerilen yapıyla EA şarj otoparkının ekonomik işletimi sağlanabilirken, şebeke yük faktörü minimizasyonu da gerçekleştirilebilmektedir.
- EA şarj otoparkında 50 kW maksimum güce sahip hızlı DC şarj ünitelerinin yer aldığı düşünülmektedir.
- Bu çalışma gelecekte şarj istasyonu kurmak isteyen yatırımcıların ve mevcut işletmecilerin de faydalanabileceği matematiksel modellemeler ve durum çalışmalarını içermektedir. Bu açıdan ilgili alanda bir yol haritası sunma potansiyeline de sahiptir.

## 2 Materyal ve metot

Bu çalışmada, fotovoltaik panele sahip olan EA'ların da yer aldığı bir şarj otoparkında yer alan EA'ların şarj düzeyleri, otoparka gelme ve ayrılma zamanları ve günlük elektrik birim fiyatları dikkate alınarak bir optimum işletim stratejisi açıklanmaktadır. İşletme maliyetlerinin minimizasyonu açısından optimum şarj durumlarının belirlendiği ve aynı zamanda elektrik dağıtım sistemlerinden sağlanan elektrik enerjisinin verimliliğini ve sürekliliğini sağlamak için maksimum elektrik gücünün minimuma indirildiği, bir diğer deyişle yük faktörünün maksimize edildiği, bir yapı sunulmaktadır. Önerilen yapıya ait genel bir görünüm Şekil 1'de verilmektedir. Otopark sisteminin tercih edilmesinin sebepleri arasında EA'ların aynı zaman dilimi içerisinde hem park edilebilmesi hem de şarj edilebilmesi yer almaktadır. Fotovoltaik panele sahip olan EA'lar gün şarj ünitelerinin yanı sıra fotovoltaik panel aracılığı ile de bir miktar şarj edilebilmektedir. Bu durum sayesinde EA'ların şarj maliyetinin ve şebekeden çekilen güç miktarının azaldığı söylenebilir.

Önerilen model çok amaçlı optimizasyon problemi olarak ele alınmaktadır. Çok amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünün genel olarak daha zor olduğu söylenebilir çünkü fonksiyon içerisinde minimizasyon ve/veya maksimizasyon içeren değişik amaç fonksiyonları yer alabilmektedir. Bu problemlerin çözümünde ilk olarak amaçların birleştirildiği yapı dikkate alınabilir. İkinci olarak amaç fonksiyonları tek tek değerlendirilebilir. Bir amacın dikkate alındığı durumda diğer amaç fonksiyonları kısıtlarda ifade edilir. Üçüncü metot ise pareto optimizasyonudur. Bu yöntemde amaç fonksiyonundaki bileşenlere ağırlıklar verilerek problemin çözümü gerçekleştirilir [19]. Bu çalışmada da amaç fonksiyonunu oluşturan bileşenlere farklı ağırlıklar verilerek çeşitli durum çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada fotovoltaik panele sahip olan EA'ların da şarj hizmeti almak için geldiği bir EA şarj otoparkının optimum şarj ve yük faktörü yönetimi esas alınarak işletme maliyeti ile elektrik dağıtım sisteminden çekilen maksimum elektrik gücünün minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Amaç fonksiyonu Denklem (1)'de ifade edilmektedir. Amaç fonksiyonunun ilk kısmı elektrik maliyetini minimize

ederken, ikinci kısmı ise yük faktörünün artırılmasını sağlamaktadır.  $a$  ve  $\beta$  değerleri doğrultusunda otopark farklı amaçlar doğrultusunda çalıştırılabilmektedir.

Sistemin güç dengesini ifade eden eşitlik **Denklem (2)** yer almaktadır. Bu eşitlikte EA'nın fotovoltaik panel içerip içermemesi durumu göz önüne alınarak fotovoltaik panelin EA'ya sağladığı elektriksel gücün ve elektrik dağıtım sisteminden çekilen elektriksel gücün toplamının EA'ların  $t$  anındaki toplam şarj gücünün ve fotovoltaik panelde üretilip araçta kullanılmayan gücü ifade eden  $P_{e,t}^{direnc}$ 'in toplamına eşit olduğu belirtilmektedir.

$$\text{minimum} \left[ \sum_t a \cdot (\lambda_t^{fiyat} \cdot P_t^{top\_sarj} \cdot \Delta T) + \beta \cdot (C_{ters}^{yükfak}) \right] \quad (1)$$

$\beta$  = Amaç fonksiyonunda yük faktörü için kullanılan parametre [0-1].  
 $a$  = Amaç fonksiyonunda işletme maliyeti için kullanılan parametre [0-1].  
 $C_{ters}^{yükfak}$  = Elektrik dağıtım sistemine ait yük faktörünün minimize edilmesi için kullanılan değişken (1/yük faktörü değeri).  
 $\Delta T$  = Zaman çözünürlüğü.  
 $P_t^{top\_sarj}$  = Elektrikli araçların  $t$  anındaki toplam şarj gücü [kW].  
 $\lambda_t^{fiyat}$  = Saatlik elektrik birim fiyatları [TL/kWh].

$$U_e \cdot \left[ \sum_e (P_{e,t}^{PV}) \right] + \sum_e P_{e,t}^{sarj} = P_t^{top\_sarj} + \sum_e P_{e,t}^{direnc}, \forall t \quad (2)$$

$P_{e,t}^{sarj}$  =  $e$  elektrikli aracının elektrik dağıtım sisteminden  $t$  anında çektiği şarj gücü [kW].  
 $P_{e,t}^{direnc}$  = Fotovoltaik panelin ürettiği fazla gücün  
 $P_{e,t}^{PV}$  =  $e$  elektrikli aracının fotovoltaik sisteminde  $t$  anında üretilen güç [kW].

EA'ların şarj durumları ise **Denklem (3)**'te ifade edilmektedir. Burada  $(t-1)$  anındaki enerji durumunun üzerine  $t$  anındaki fotovoltaik panelden elde edilen güç ya da şarj ünitesinden sağlanan güç eklenmektedir. Bataryanın enerji kapasitesinin tam dolması durumunda ise fotovoltaik panelde üretilen gücün teorik olarak direnç üzerinde harcandığı kabul edilmektedir. **Denklem (4)** EA'ların otoparka geldiği andaki enerji ifadeleri tanımlanmaktadır. **Denklem (5)** ise araçların otoparktan ayrıldıkları periyottaki enerji durumu belirlenmektedir. Araç bataryalarının en çok batarya kapasitesi kadar enerji doldurulabileceği **Denklem (6)**'da ifade edilirken, teorik olarak fazla enerjinin harcandığı direnç elemanında en çok fotovoltaik panelde üretilen güç tüketilebildiği **Denklem (7)**'de belirtilmektedir. EA otoparkı için ortalama şarj gücünün maksimum şarj gücüne oranı olan yük faktörü **Denklem (8)**'de tanımlanırken, ilgili ifade minimize edilmesi hedeflenen amaç fonksiyonunda yer alabilmesi için **Denklem (9)**'daki gibi düzenlenmiştir. Bu yöntemin [14]'de de kullanıldığı belirtilmelidir. Ayrıca ortalama gücün nasıl elde edildiği **Denklem (10)**'da ifade edilmektedir.

**Denklem (11)** ise yük faktöründe kullanılan maksimum güç ifadesini tanımlamaktadır.

$$ED_{e,t} = ED_{e,t-1} + U_e \cdot P_{e,t}^{PV} \cdot \Delta T + P_{e,t}^{sarj} \cdot \eta^{sarj} \cdot \Delta T - U_e \cdot P_{e,t}^{direnc}, \forall e, t > 1 \quad (3)$$

$ED_{e,t}$  =  $e$  elektrikli aracının bataryasının  $t$  anındaki enerji düzeyi [kWh].  
 $U_e$  = Elektrikli araçların fotovoltaik panele sahip olup olmadığına dair parametre [0-1].  
 $\eta^{sarj}$  = Elektrikli araçların şarj verimliliği [%].

$$ED_{e,t} = ED_e^{başlangıç}, \quad \forall e, t = T^{EAvarış} \quad (4)$$

$ED_e^{başlangıç}$  =  $e$  elektrikli aracının bataryasının başlangıçtaki enerji düzeyi [kWh].  
 $T_e^{EAvarış}$  =  $e$  elektrikli aracının otoparka varış zamanı.

$$ED_{e,t} = ED_e^{son}, \quad \forall e, t = T^{EAayrılış} \quad (5)$$

$ED_e^{son}$  =  $e$  elektrikli aracının bataryasının gün sonundaki enerji düzeyi [kWh].  
 $T_e^{EAayrılış}$  =  $e$  elektrikli aracının otoparktan ayrılış zamanı.

$$ED_{e,t} \leq ED_e^{maksimum}, \quad \forall e, t \quad (6)$$

$ED_e^{maksimum}$  =  $e$  elektrikli aracının maksimum enerji düzeyi [kWh].

$$P_{e,t}^{direnc} \leq P_{e,t}^{PV}, \quad \forall e, t \quad (7)$$

$$C_{ters}^{yükfak} = \frac{P_{ort}}{P_{maks}} \quad (8)$$

$P_{ort}$  = Elektrik dağıtım sisteminden çekilen saatlik ortalama güç [kW/saat].  
 $C_{ters}^{yükfak}$  = Elektrikli araç şarj otoparkına ait yük faktörü  
 $P_{maks}$  = Elektrik dağıtım sisteminden çekilen maksimum güç [kW].

$$C_{ters}^{yükfak} = P_{maks} - P_{ort} \quad (9)$$

$$P_{ort} = \frac{P_t^{top\_sarj}}{\Delta T \cdot 24}, \quad \forall t \quad (10)$$

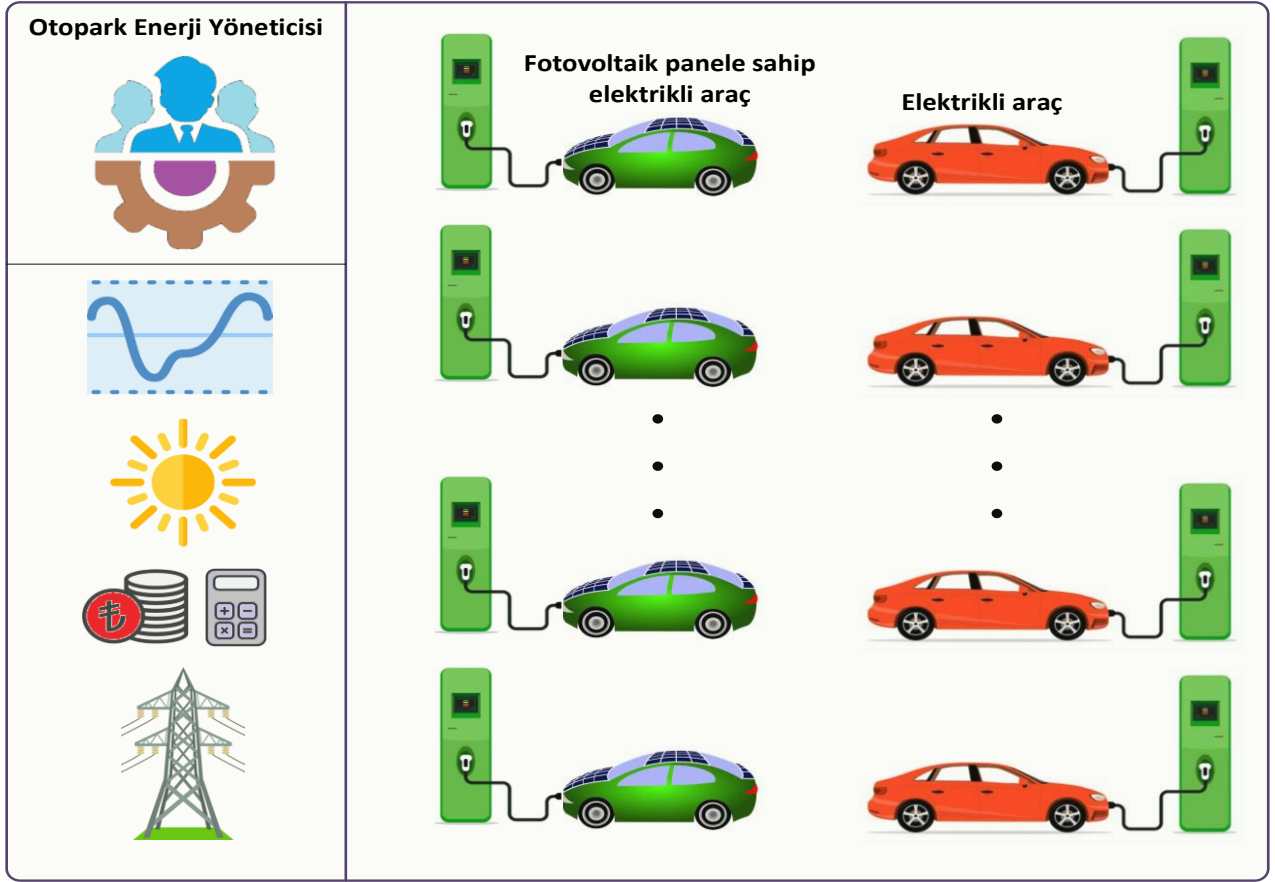
$$P_{maks} \geq P_t^{top\_sarj}, \quad \forall t \quad (11)$$

### 3 Bulgular ve tartışma

Çalışmada önerilen yapının etkinliğini göstermek için GAMS v.24.1.3 yazılımı ve CPLEX v.12 çözücüsü kullanılarak test çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Problem 3,4 saniyede çözülebilmektedir. Bu bölümde sırasıyla giriş verileri ve test sonuçları ile bunların detaylı karşılaştırmaları sunulmaktadır.

#### 3.1 Giriş verileri

EA şarj otoparkına 140'ı kendi fotovoltaik paneline sahip olmak üzere toplamda 200 aracın geldiği varsayılmaktadır. BMWi3, Audi e-tron, Kia Soul EV, Nissan Leaf Plus EA'larından her birinden 50 adet olmak üzere toplamda 200 EA'nın şarj otoparkına geldiği kabul edilmektedir. Şarj talebi için otoparka gelen 36 BMWi3'ün, 40 Audi e-tron'ın 30 Kia Soul EV'nin, 34 Nissan Leaf Plus'ın çatısında PV panel olduğu varsayılmaktadır. EA şarj otoparkında 180 şarj ünitesinin olduğu kabul edilmektedir. Bu ünite sayısı otoparka gelen EA'ların şarj taleplerini karşılayabilecek sayıda olduğu belirtilmelidir

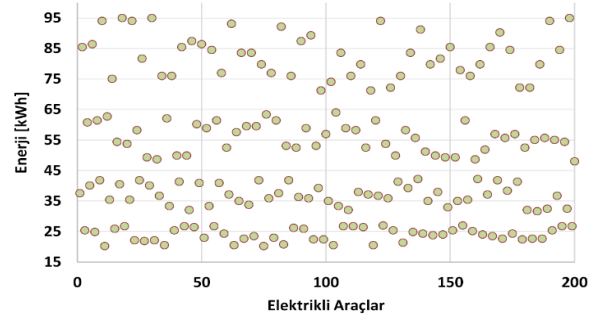


Şekil 1. Fotovoltaik panele sahip EA'lara da hizmet eden bir elektrik araç şarj otoparkının enerji yönetimin modeline ait genel bir yapı

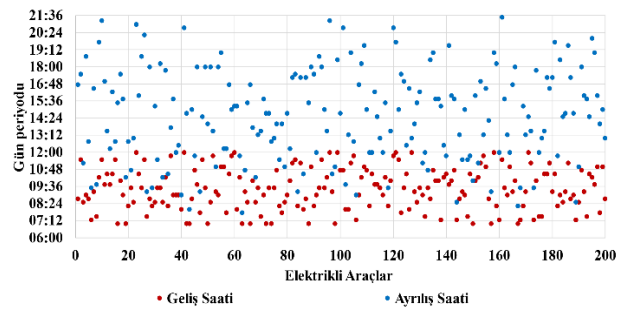
Buradaki araçlar kümesi Tablo 1'de teknik özellikleri sunulan EA'lardan oluşmaktadır. Otoparkta hızlı şarj ünitelerinin olduğu varsayılmaktadır. Hızlı şarj ünitesi DC özellikte olduğu için verimi %95 olan bir AC-DC dönüştürücünün olduğu düşünülmektedir. Her bir aracın otoparka gelme zamanı, otoparktan ayrılma zamanı ve otoparka geldiği andaki enerji durumunun farklı olduğu ifade edilmelidir. İlgili veriler normal dağılım yöntemi ile oluşturulmuştur [20]. Şekil 2'de EA'ların bataryalarının istenen şarj durumlarına ait veri sunulmaktadır. Ayrıca EA'ların şarj otoparkına geliş ve otoparktan ayrılış zamanlarına ilişkin veri Şekil 3'te verilmektedir.

Tablo 1. EA'ların bataryalarının teknik özellikleri

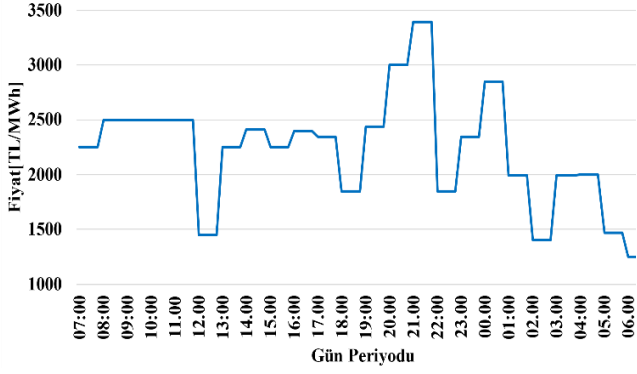
EA'lar	Minimum Batarya Kapasitesi [kWh]	Maksimum Batarya Kapasitesi [kWh]	Şarj Verimliliği
BMW i3	8.44	42.2	%95
Audi e-tron	19	95	%95
Kia Soul EV	5.4	27	%95
Nissan Leaf Plus	12.8	64	%95



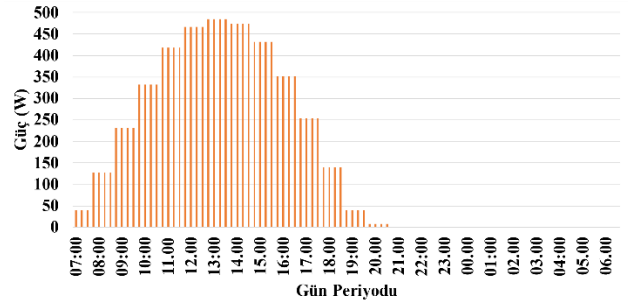
Şekil 2. EA bataryalarının şarj edilmesi istenen enerji miktarları



Şekil 3. EA'ların otoparka geliş ve ayrılış saatleri



Şekil 4. Saatlik birim elektrik fiyatları



Şekil 5. EA'ların sahip olduğu fotovoltaik panellerin bir günlük güç üretim verisi

Tablo 2. Gerçekleştirilen durum çalışmalarına ait detaylar

Durum	$\alpha$	$\beta$	Araç üzeri fotovoltaik panel
Durum-1	1	0	✓
Durum-2	0	1	✓
Durum-3	1	1	✓
Durum-4	1	0	X
Durum-5	0	1	X
Durum-6	1	1	X

Tablo 3. Durum çalışmalarında ortaya çıkan maliyetler

Durum	Maliyet
Durum-1	₺10370.885
Durum-2	₺14438.612
Durum-3	₺12517.572
Durum-4	₺10845.788
Durum-5	₺14882.167
Durum-6	₺13096.167

EA otoparkının araçları şarj etmek için Türkiye elektrik piyasasından gün öncesi elektrik fiyatları ile elektrik enerjisi satın aldığı kabul edilmektedir. İlgili fiyat verisinin 13 [21] Temmuz 2022 tarihine ait olduğu ve Şekil 4'te verildiği ifade edilmektedir.

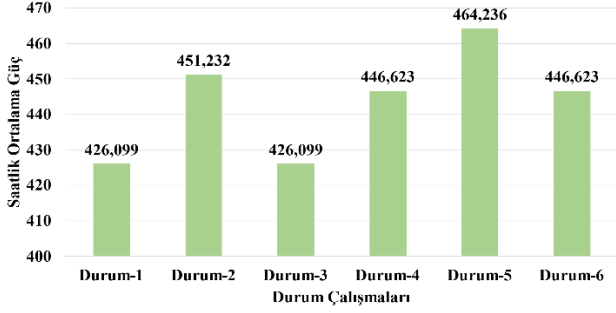
Fotovoltaik panele sahip olan EA'ların maksimum 500 W'lık bir güç üretimi gerçekleştirebildiği varsayılmıştır. Tüm araçların aynı karakteristikteki PV panele sahip olduğu ve PV güç üretimlerinin aynı olduğu düşünülmektedir. EA otoparkının Edirne il merkezinde olduğu düşünülmektedir. 13 Temmuz 2022 tarihli Edirne merkez güneş radyasyonu verisi [22] kullanılarak elde edilen veri Şekil 5'te verilmektedir.

### 3.2 Test ve sonuçlar

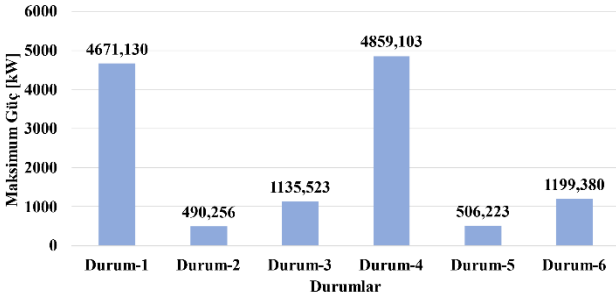
Çalışmada önerilen yöntemin etkinliğini göstermek amacıyla amaç fonksiyonda yer alan maliyet minimizasyonu  $\alpha$  ve yük faktörü maksimizasyonu  $\beta$  parametreleri ile EA'ların fotovoltaik panele sahip olma durumları dikkate alınarak 6 farklı durum çalışması gerçekleştirilmiştir. Durum çalışmalarına ait detaylar Tablo 2'de verilmektedir.

Her bir durum çalışmasında ortaya çıkan enerji satın alma maliyeti Tablo 3'te verilmektedir. Burada en az maliyetin amaç fonksiyonunun sadece enerji maliyetini minimize edilmesi istenen ve fotovoltaik panellerin de düşünüldüğü Durum-1'de 10370.885 TL ile gerçekleştiği ifade edilmektedir. En fazla maliyetin ise yük faktörünün maksimize edilmek istendiği ve fotovoltaik panellerin yer almadığı Durum-5'te 14882.167 TL ile ortaya çıktığı belirtilmelidir. Durum-1 ve Durum-2 ve Durum-5, Durum-3 ve Durum-6 karşılaştırıldığında bir başka ifadeyle EA'larda fotovoltaik panellerin kullanılmasının etkisine bakıldığında sırasıyla 475, 444, 579 TL'lik kazançların elde edildiği belirtilmelidir. Bu da Durum-1 ve Durum-4 arasında %4.5'lük maliyet farkı anlamına gelmektedir. Fotovoltaik panelin olup olmadığı fark etmeksizin aslında beklendiği gibi sadece  $\alpha$  değerinin 1 olduğu durumda maliyetler düşüktür. Sadece  $\beta$  değerinin 1 olduğu durumda ise maliyetlerin yük faktörünü arttırılmaya çalışılması sebebiyle arttığı belirtilmelidir. Hem maliyetin hem de yük faktörünün iyileştirilmek istendiği yani  $\alpha$  ve  $\beta$  değerlerinin 1 olduğu durumlarda ise maliyetlerin orta değerde olduğu söylenebilir.

Her bir durum çalışmasında saatlik ortalama güç değerleri Şekil 6'da açıklanmaktadır. Burada yük faktörünün maksimize edilmesi istenen Durum-2 ve Durum-5'te optimizasyon programından elde edilen sonuçlara göre ortalama güç değerlerinin daha yüksek olduğu belirtilmelidir. Çünkü ortalama güç değerinin yüksek maksimum güç değerinin düşük olduğu durumda yük faktörünün değeri artmaktadır. Hem maliyet minimizasyonu hem de yük faktörü maksimizasyonunun istendiği Durum-3'te ise ortama güç Durum-1 ile aynıdır. Benzer şekilde Durum-6 ve Durum-4'te ortalama güç değerleri aynı olarak gerçekleşmiştir. Bu durum çalışmalarında farklılık maksimum güç değerlerinde meydana gelmektedir ki yük faktörü değerinin değeri değişmektedir. Ayrıca fotovoltaik panelli araçların yer aldığı durum çalışmalarında yer almadığı durum çalışmalarına göre ortalama güç değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Durum-2 ve Durum-5'te ki farklılık ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmayıp bunun yerine şebekede yük faktörünü arttırmak için şebekeden enerji çekilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Fakat Durum-1, Durum-3, Durum-4 ve Durum-6'da fotovoltaik panellerde üretilen tüm gücün kullanıldığı belirtilmelidir.



Şekil 6. Durum çalışmalarında elektrik şebekesinden çekilen ortalama güç değerleri

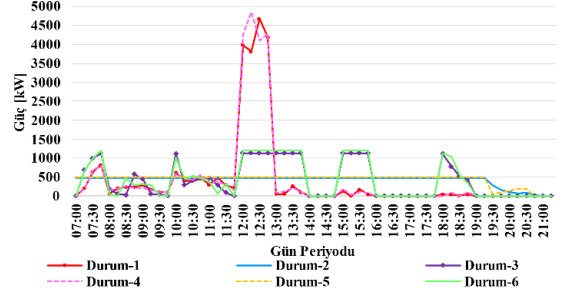


Şekil 7. Durum çalışmalarında elektrik şebekesinden çekilen maksimum güç değerleri

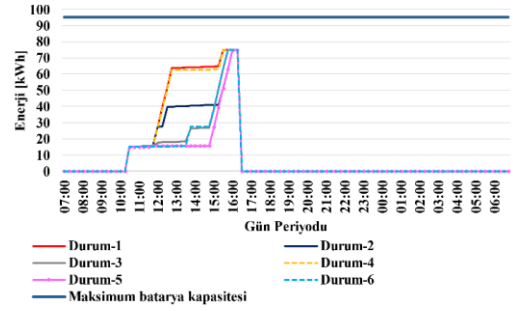
Her bir durum çalışmasında şebekeden çekilen güçlerin maksimum değerleri Şekil 7’de sunulmaktadır. Burada en yüksek güç değeri araçların üzerinde fotovoltaik panellerin düşünülmediği ve maliyet minimizasyonunun istendiği Durum-4’te 4859.103 kW ile gerçekleştiği belirtilmelidir. Maliyet minimizasyonu gerçekleşen durum çalışmalarında maksimum güç değerinin yüksek olduğu söylenebilir çünkü şebekeden satın alınan elektriğin ucuz olduğu saatlerde maliyetin azaltılması amacıyla yüksek güç tüketimi gerçekleştirilmektedir. Yük faktörünün maksimize edilmek istendiği ve araçların üzerinde fotovoltaik panellerin yer aldığı Durum-2’de ise maksimum güç tüketimi 490.256 kW ile gerçekleşmektedir. Optimizasyon programı yük faktörünü maksimize etmek için maksimum güç tüketim değerini en aza indirmeye çalışmaktadır. Bu doğrultuda Durum-2’de Durum-1’e göre maksimum güç değerinin önemli miktarda azaldığı ifade edilmelidir. Aynı durum Durum-5 ve Durum-4 için de söylenebilir. Hem maliyet minimizasyonu hem de yük maksimizasyonu gerçekleşen Durum-3’te ise maksimum değer Durum-1 ve Durum-3’e göre arada bir değer aldığı görülmektedir. Aynı sonucun Durum-6 için de söylenebileceği belirtilmelidir.

Tablo 4. Durum çalışmalarında ortaya çıkan yük faktörü değerleri

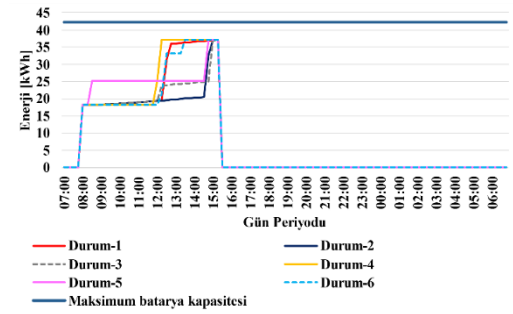
Durumlar	Yük Faktörü [0-1]
Durum-1	0.09122
Durum-2	0.920399
Durum-3	0.375244
Durum-4	0.091915
Durum-5	0.917058
Durum-6	0.372378



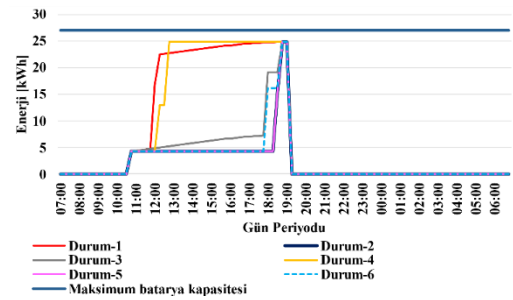
Şekil 8. Her bir durum çalışmasında elektrik şebekesinden çekilen güçler



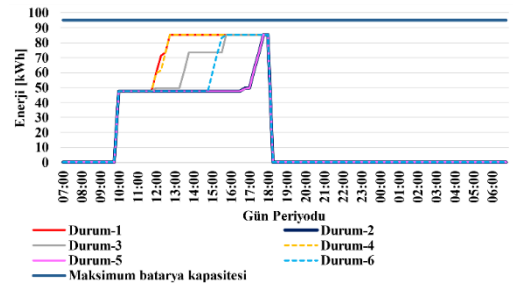
Şekil 9. EA 14’ün bataryasının enerji değişimi



Şekil 10. EA 61’in bataryasının enerji değişimi



Şekil 11. EA 135’in bataryasının enerji değişimi



Şekil 12. EA 166’nın bataryasının enerji değişimi

Tablo 4'te durum çalışmalarına ait yük faktörü değerleri yer almaktadır. Yük faktörünün güç sistem işletiminde çok önemli olduğu belirtilmelidir. Çünkü düşük yük faktörü üretilen elektriğin birim başına daha yüksek maliyet ile karşılandığı anlamına gelmektedir. Bu açıdan verimli ve ekonomik bir güç sistemi işletimi için yük faktörünün yüksek değerde olması önem arz etmektedir. İlgili yük faktörü verileri otoparkın 07:00-21:00 saatleri arasında çalıştığı düşünülerek bu duruma göre gerçekleştirilmiştir. Maliyetin minimize edilmek istendiği Durum-1'de yük faktörü değeri 0,09122 iken, amaç fonksiyonu değiştirilip yük faktörü minimize edilmek istendiğinde ise yük faktörü 0,920399 gibi yüksek bir değere çıkartılabilmektedir. Benzer şekilde Durum-4 ve Durum-5 için de aynı sonuçlar geçerlidir. Hem yük faktörünün maksimizasyonu hem de maliyet minimizasyonu olan durum çalışmalarında (Durum-3 ve Durum-6) ise her iki amacın da karşılanması sebebiyle arada bir değerde oldukları söylenebilir. Tablo 3 ve 4 incelendiğinde otoparkın işletiminin istenen amaç doğrultusunda maliyeti düşürmek ya da yük faktörünü maksimize etme hedefini gerçekleştirdiğinin altı çizilmelidir. Ayrıca otopark işletmecisi her iki amacı da aynı anda gerçekleştirmek istiyorsa da maliyet ve yük faktörünün arada bir değerde gerçekleştiği belirtilmelidir. Buradan önerilen yöntemin etkinliği açık bir şekilde görülebilmektedir.

Durum çalışmalarında EA'ları şarj etmek için elektrik şebekesinden satın alınan enerji miktarları Şekil 8'de verilmektedir. Durum-1'te Durum-4'te toplam şarj maliyeti minimize edilmek istendiği için elektrik birim fiyatının ucuz olduğu 12:00-13:00 aralığında şarj gücünün önemli derecede arttığı görülmektedir. Durum-2 ve Durum-5'te ise şebekeden çekilen güç miktarı yük faktörünü maksimize etmek için 19:30'a kadar sabit olarak gerçekleşmiştir. Maliyetin ve yük faktörünün ikisinin de dikkate alındığı Durum-3 ve Durum-6'da ise her iki amacında gerçekleştirilmesi için şebekeden çekilen gücün her iki durumdaki karakteristiğe de benzediği söylenebilir. Örneğin elektrik fiyatının en ucuz olduğu 12:00-13:00 aralığında maksimum seviyede güç çekilirken diğer periyotlarda da bu seviyeye yakın güç çekilmeye çalışıldığı söylenebilir. Ayrıca, Durum-1'de bir günlük işletim sonucunda şebekeden 5965.38 kWh'lik enerji çekildiği belirtilmelidir.

Seçilen bazı EA'ların otoparkta kaldıkları süre içerisindeki enerji durumları Şekil 9, 10, 11 ve 12'de verilmektedir. Fotovoltaik panele sahip EA 14, EA 61 ve EA 135 ile panele sahip olmayan EA 166'nın enerji durumlarına ait veri sırasıyla bu şekillerde verilmektedir. Elektrik maliyetinin minimize edildiği Durum-1 ve Durum-4'te araçların elektrik fiyatının ucuz olması sebebiyle bataryalarının önemli bir miktarının 12:00-13:00 aralığında doldurulduğu belirtilmelidir. Fotovoltaik panellerin şarj için az miktarda da olsa bir katkı sağladığı sonucuna ulaşılabılır. Burada yüzey alanı daha büyük bir panelin kullanımı yani araç üzerindeki tasarımın değişmesi ile üretilecek güneş enerjisi miktarı artacağı için ekonomik açıdan daha verimli şarj gerçekleştirilebilir. Hatta araç uzun süre güneş alan bir konumda ise şebekeden hiç şarj olmadan da bataryası dolabilir. EA'ların otoparktan ayrıldıkları anda

bataryalarının istedikleri enerji durumunda olduğu belirtilmelidir. Şekillerde enerji durumundaki az eğilimli artış fotovoltaik enerjiden şarjı temsil etmektedir. Diğer durum çalışmalarında ise otoparktaki tüm araçlarda göz önünde bulundurularak belirtilen amaç doğrultusunda şarj işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 9, 10, 11 ve 12'de EA bataryalarının enerji durumunun sıfır olması EA'nın henüz şarj istasyonuna gelmediğini ya da şarj işlemi sonrası istasyondan ayrıldığını ifade etmektedir. EA bataryalarının sadece istasyonda olduğu süre için enerji değerleri mevcuttur.

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada fotovoltaik panellere sahip olan EA'lara da hizmet veren bir EA şarj otoparkının enerji maliyet minimizasyonu ve yük faktörü maksimizasyonunu dikkate alan çok amaçlı bir işletim stratejisi önerilmektedir. Sunulan yapı karışık tam sayılı doğrusal programlama yöntemi ile modellenmiştir. Çalışmanın etkinliğinin kanıtlanması için 140'ını fotovoltaik panele sahip olduğu ve toplam 200 aracın geldiği bir otopark düşünülerek test çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Elektrik fiyatları için Türkiye gün öncesi elektrik fiyatları kullanılırken, fotovoltaik panellerdeki güç üretimi için Edirne iline ait gerçek küresel radyasyon verisi değerlendirilmiştir. Otopark enerji yöneticisi amaç fonksiyonunu enerji maliyeti azaltma olarak belirlemesi durumunda maliyet en az seviyede iken işletimi yük faktörünün iyileştirme olarak belirlediği durumda ise şebekeden çekilen maksimum güç miktarının önemli derecede azalmaktadır ve yük faktörü değeri artmaktadır. Ekonomik işletimdeki 0.091 olan yük faktörü değeri 0.92 değerine çıkartılabilmektedir. Burada yük faktörünün artması sonucu maliyetin arttığı da ifade edilmelidir. Otopark yöneticisinin her iki amacı da birlikte gerçekleştirmek istediği durumda ise maliyet ve yük faktörü ara değerlerde yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntemin otopark için istenen sonucu sağlayabildiği görülmektedir. Bu çalışma ile otoparklar hem ekonomik olarak işletilebilmekte hem de elektrik şebekesinin verimli bir şekilde işletilebilmesi için önemli bir parametre olan yük faktörü iyileştirilebilmektedir.

Gelecek çalışmalarda EA'lardan şebekeye enerji desteğinin, EA davranışlarına ait belirsizliklerin, farklı türdeki EA'ların üzerindeki farklı teknik özelliklere sahip PV panel yapılarının, araçların şarj durumunda üzerinde açılır yapıya sahip PV panel tasarımının ve gölgeleme durumlarının da dikkate alındığı bir çalışma gerçekleştirilebilir.

#### Teşekkür

Bu çalışmayı Burak Şafak ve Deniz Özekinci lisans eğitiminde almış oldukları mühendislik projesi dersi kapsamında ve Doç. Dr. Alper Çiçek danışmanlığında gerçekleştirmişlerdir.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.



Benzerlik oranı (iThenticate): %8

#### Kaynaklar

- [1] International Energy Agency (IEA), Technology needs in long-distance transport. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020/technology-needs-in-long-distance-transport>, Accessed 10 June 2023.
- [2] F. Leach, G. Kalghatgi, R. Stone, and P. Miles, The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. *Transportation Engineering*, 1, 100005, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.treng.2020.100005>.
- [3] S. TURAN ve S. B. Efe, Elektrikli bisiklet paylaşımı: çanakkale onsekiz mart üniversitesi terzioğlu yerleşkesi örneği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 3 (2), 112-122, 2020.
- [4] A. Çiçek, S. Güzel, O. Erdiñç, and J. P. S. Catalão, Comprehensive survey on support policies and optimal market participation of renewable energy. *Electric Power Systems Research*, 201, 107522, 2021. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epr.2021.107522>.
- [5] International Energy Agency (IEA), Global EV Outlook 2020. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>, Accessed 10 June 2023.
- [6] N. Neyestani, M. Y. Damavandi, M. Shafie-Khah, J. P. S. Catalão, and J. Contreras, PEV parking lot behavior equilibria in energy and reserve markets, *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, pp. 1-5, Denver, CO, USA, 26-30 July 2015.
- [7] Ö. Bingöl and A. Yıldız, Fuzzy logic and proportional integral derivative based multi-objective optimization of active suspension system of a 4x4 in-wheel motor driven electrical vehicle, *Journal of Vibration and Control*, 29 (5-6), 1366-1386, 2023. doi: <https://doi.org/10.1177/1077546321106269>.
- [8] L. Chen, C. Y. Chung, Y. Nie, and R. Yu, Modeling and optimization of electric vehicle charging load in a parking lot, *IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, pp. 1-5, Hong Kong, China, 08-11 December 2013.
- [9] E. Mohammadi, R. Fadaeinedjad, M. Rashidinejad, and A. Mahdavinia, Optimal placement and charge/discharge scheduling of electric parking lots considering reactive power generation capability, *Smart Grid Conference (SGC)*, pp. 1-6, Tehran, Iran, 20-21 December 2017.
- [10] H. Wu, G. K. H. Pang, K. L. Choy, and H. Y. Lam, A scheduling and control system for electric vehicle charging at parking lot, *11th Asian Control Conference (ASCC)*, pp. 13-18, Gold Coast, QLD, Australia, 17-20 December 2017.
- [11] D. Güneş, İ. G. Tekdemir, M. Ş. Karaarslan, ve B. Alboyacı, Elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin güvenilirlik indisleri üzerine etkilerinin incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (3), 1073-1084, 2018. doi: <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.416408>.
- [12] A. Çiçek ve O. Erdiñç, PV-batarya hibrit sistemi içeren elektrikli araç otoparkının şarj yönetimi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 466-474, 2019, doi: <https://doi.org/10.31590/ejosat.527350>.
- [13] O. Kırat ve A. Çiçek, Nesnelerin interneti uygulamalarıyla rezervasyon sistemli ve PV destekli bir elektrikli araç şarj istasyonunun işletimi: bir üniversite örneği, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 25 (75), 659-674, 2023. doi: <https://doi.org/10.21205/deu.fmd.2023257512>.
- [14] W. Jiang and Y. Zhen, A real-time EV charging scheduling for parking lots with PV system and energy store system, *IEEE Access*, 7, 86184-86193, 2019. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2925559>.
- [15] V. Lakshminarayanan, V. G. S. Chemudupati, S. K. Pramanick, and K. Rajashekara, Real-time optimal energy management controller for electric vehicle integration in workplace microgrid, *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 5 (1), 174-185, 2019. doi: <https://doi.org/10.1109/TTE.2018.2869469>.
- [16] İ. Şengör, S. Güner, and O. Erdiñç, Real-time algorithm based intelligent EV parking lot charging management strategy providing PLL type demand response program, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 12 (2), 1256-1264, 2021. doi: <https://doi.org/10.1109/TSTE.2020.3040818>.
- [17] A. Mohammad, R. Zamora, and T. T. Lie, Transactive energy management of PV-based EV integrated parking lots, *IEEE Systems Journal*, 15 (4), 5674-5682, 2021. doi: <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.3043327>.
- [18] G. G. Zanvettor, M. Casini, R. S. Smith, and A. Vicino, Stochastic energy pricing of an electric vehicle parking lot, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 13 (4), 3069-3081, 2022. doi: <https://doi.org/10.1109/TSG.2022.3160229>.
- [19] S. Kaya ve N. Fığlalı, Çok amaçlı optimizasyon problemlerinde pareto optimal kullanımı', *Social Sciences Research Journal*, 5 (2), 9-18, 2016.
- [20] A. Çiçek, İ. Şengör, S. Güner, F. Karakuş, A. K. Erenođlu, O. Erdiñç, M. Shafie-Khah, and J. P. S. Catalão, Integrated rail system and EV parking lot operation with regenerative braking energy, *Energy Storage System and PV Availability*, 13 (4), 3049-3058, 2022. doi: <https://doi.org/10.1109/TSG.2022.3163343>.
- [21] Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ), Piyasa Takas Fiyatı, <https://seffaflik.epias.com.tr/electricity/electricity-markets/day-ahead-market-dam/market-clearing-price-mcp>, Accessed 10 June 2023.
- [22] NASA, Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER). <https://power.larc.nasa.gov/>, Accessed 10 June 2023.

