

## Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Etkisinin Maliyet Analizi ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu

### Cost Analysis of the Effect of Electric Vehicles on Distribution Network and Optimization with Genetic Algorithm

Barış Yıldız<sup>1</sup>, Hazal Çiftçi<sup>1</sup>, Onur Ayan<sup>1</sup>, Belgin Emre Türkay<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Elektrik Mühendisliği Bölümü, Elektrik Elektronik Fakültesi  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
yildizbari@itu.edu.tr, cifctihaz@itu.edu.tr, ayanon15@itu.edu.tr, turkayb@itu.edu.tr

#### Özet

Son yıllarda elektrik makineleri, bataryalar ve güç elektroniği teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak elektrikli araç teknolojisinde ilerlemeler sağlanmıştır. Bu ilerlemeler, bahsedilen tehditleri yakın dönemde azaltacak, uzun vadede ise tamamen ortadan kaldıracak çözümler vaat etmektedir. Elektrikli araçların giderek yaygınlaşması ile bu araçların şarj sistemleri de dikkat çeken konulardan biri haline gelmiştir. Daha önce fosil yakıtlar ile sağlanan enerjinin artık elektrik enerjisi ile sağlanmasının şebekeye olağandışı bir yük getireceği açıktır. Bu yükün elektrikli araçların sayısının da artması ile üstel olarak artacağı ve şebekenin zayıf olduğu yerlerde sıkıntılara yol açacağı söylenebilir. Bu sebeple V2G (Vehicle to grid) enerji aktarım yöntemleri de kullanılarak bu yük azaltılabilir. Ayrıca puant zamanlarda şebekeye enerji satılarak ve gece yüklenmenin az olduğu saatlerde şebekeden enerji satın alınarak arabaların şarj maliyetlerinin azaltılması mümkündür. Bu çalışmada bir otoparkta batarya şarj durumları önceden bilinen 10 elektrikli aracın şarj edilmesi sebebi ile ortaya çıkan enerji maliyetlerinin sezgisel algoritmalarından biri olan genetik algoritma ile en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Modellenen sistem V2G ve G2V olarak çalışmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Elektrikli Araç, Elektrik Enerji Sistemlerinde Optimizasyon, Genetik Algoritma

#### Abstract

In recent years, advances have been made in electric vehicle technology due to the developments in electrical machines, batteries and power electronics. These advances promise solutions that will reduce threats in the near term and eliminate them in the long term. Due to the widened use of electric vehicles in daily life, charging systems for these vehicles has also become an interesting topic for study. It is obvious that the energy obtained from fossil fuels previously, brings an unusual load on the grid since the energy is now transferred as electricity.

It is reasonable to say that these loads are going to increase exponentially as the vehicles see more use and may cause deficiencies in weak grid locations. These EV loads, however, also can be used as energy sources since the loads are essentially batteries. Therefore using the energy stored in those batteries, the grid can be supported in peak demand times. By supplying energy from the batteries in peak demand times and consuming energy in low cost intervals, the cost for charging these vehicles can be minimized. In this study, main objective is to minimize the costs of charging 10 vehicles in a local park area using the genetic algorithm. The system is able to operate in V2G and G2V modes.

**Keywords:** Electrical Vehicles, Genetic Algorithm, Optimization of Electrical Systems

#### 1. Giriş

Günümüzde gittikçe artan çevresel kirlilik ve fosil yakıtların hızla tükenmesi, bütün dünyanın alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapmasına neden olmuştur. Özellikle, artan çevresel kirliliğe yol açan zararlı gaz salınımında taşıtların etkisi oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Dünya petrol tüketiminin yaklaşık %60'ı ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır. Buna bağlı olarak dünya CO<sub>2</sub> salınımının %25,5'i ulaşım sektöründeki petrol kullanımından kaynaklanmaktadır. Ulaştırma sektörünün içinde karayolu taşımacılığı ise tüm CO<sub>2</sub> salınımının %16'sını tek başına üretmektedir [1]. Bu hususlardan ötürü konvansiyonel taşıt teknolojilerinin yerine alternatif çözüm arayışları günümüzde oldukça hızlı bir ivme kazanmıştır. Günümüzde hibrit, tam elektrikli ve hidrojenli taşıtlar gibi farklı konsept taşıtlar üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Elektrikli araçlar batarya kapasitelerindeki gelişmeler sebebi ile son yılların en gözde çalışma konularından biri olmuştur.

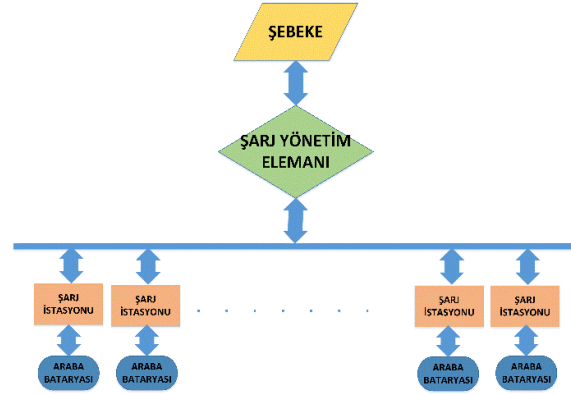
Elektrikli araçlar, konutlarda veya otopark gibi özel işletmelerde şarj edilerek enerjilerini dağıtım şebekesinden sağlamaktadırlar. Bu da şebeke açısından

bakıldığında dağıtım şebekesine ekstra yük anlamına gelmektedir. Elektrikli araçlar içerisinde barındırdığı lineer olmayan güç yarı iletkenleri sayesinde birer harmonik akım kaynağı olarak modellenmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda güç kalitesine etkileri üzerine çok az çalışma olmasına rağmen gelecekte yaygınlaşması beklenen araçlar için mutlaka güç kalitesi özellikle de harmonikler üzerine gerekli çalışmalar yapılarak önlemler alınmalıdır [2].

Elektrikli araçlar üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Özellikle sera gazı emisyonlarının azaltılması yönünde yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bunun yanında elektrik şebekesiyle çift yönlü alışveriş yapılması yani elektrikli araçların kaynak gibi kullanılmasını içeren çalışmalar vardır. Ayrıca enerji kalitesi açısından büyük önem arz eden dağıtım sistemi üzerine etkileri incelenmiştir. Dağıtım sisteminin en önemli elemanlarından olan trafoların ani yüklenmelere bağlı verdiği tepkiler, verim ve ömür değişimleri gibi çalışmaların yanı sıra elektrikli araçların kullanımının yaygınlaştırılması için, taşıt kullanıcılarının şarj problemi ile karşı karşıya kalmaması gerekmektedir. Taşıtların enerji ihtiyacının giderilmesi için kurulacak şarj istasyonları; bölgenin demografik yapısı, taşıt sürüş profilleri, elektrik altyapısı, gelecek yatırım planları göz önüne alınarak tesis edilmelidir.

Elektrikli araçlar, ayrıca şanzımana ihtiyaç duymama, gürültüsüz çalışma, düşük yakıt maliyeti ile fosil yakıtlı araçlara göre birçok avantaja sahiptir. Bu avantajlar sebebi ile elektrikli araçların kullanımının hızla artacağı söylenebilir. Bu artışın elektrikli araçların avantajlarını hayatımızda daha çok göreceğimiz anlamına gelmesi ile beraber, dezavantajlarının da şiddetinin artmasını sağlayacaktır. Elektrikli araçların menzilinün fosil yakıtlı araçlara göre daha kısa olması, batarya maliyetleri, şarj sürelerinin kısa olmaması ve elektrik şebekesine bindireceği yükler elektrikli araçlar ile ilgili en göze çarpan dezavantajlardır. Özellikle elektrikli araç kullanan insanların puant zamanlarda evlerine dönmesi ile bu araçların şarjı için aynı anda hep beraber şebekeden enerji talep etmesi istenen bir durum değildir [3].

KontROLSÜZ şarj durumunda puant zamanlarda büyük enerji akışları oluşur ve şebekede kritik çalışma durumları oluşturabilir [3]. Enerji talebinin maksimum olduğu anlarda enerji fiyatlarının da daha yüksek olması şarj maliyetlerini de artırır. Elektrikli araç şarj istasyonlarına ilişkin sistemin basit blok şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: Sistemin basit blok şeması.

Bu sebeple elektrikli araçların şarj düzenlerinin optimizasyonu ile ilgili literatürde pek çok çalışma vardır [4-5]. Bazı çalışmalarda aracın şarj durumunun maksimize edilmesi amaçlanırken [6], bazı çalışmalarda şebeke enerji kayıplarının en aza indirilmesi amaçlanmıştır [7]. Bu çalışmada ise, elektrikli araçların avantajlarından biri olan enerji depolama yeteneğinden de yararlanılmış, araçların hem şebekeden enerji satın alabileceği, hem de enerji satabileceği (V2G) göz önünde bulundurularak enerji maliyetlerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada sezgisel algoritmalarından biri olan genetik algoritma, MATLAB'deki hazır araçlardan yararlanılarak kullanılmıştır. Amaç fonksiyonu, kısıt eşitlik ve eşitsizlikleri ise teker teker belirlenerek MATLAB aracının kullanabileceği biçime getirilmiştir. Çalışmada bir bina otoparkına saat 18:00'da giren 10 aracın saatlik şarj/deşarj enerji miktarlarının optimizasyonu ile maliyetler en düşüğe indirilmiştir. Sistem'e ait blok şeması Şekil 1.de görülebilmektedir. Sistem bir şarj yönetim elemanı ve şarj istasyonlarından oluşmaktadır. Şarj istasyonlarının hepsi baraya bağlıdır ve her birinin çift yönlü enerji aktarımı yapabildiği kabul edilmiştir.

## 2. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Optimizasyonunda Kullanılan Optimizasyon Yöntemleri

Elektrikli araç şarj istasyonları üzerine yapılan optimizasyon çalışmalarında genellikle Tabu Yöntemi, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ve Genetik Algoritma yöntemlerinden biri tercih edilmiş olup, çalışma kapsamında genetik algoritmadan yararlanılmıştır.

### 2.1 Tabu Yöntemi

Tabu arama algoritmasında tabu listesi olarak oluşturulan ilk aday çözüm ve değişken komşu çözüm sayısı, bir tür tabulaştırma görevi yapmaktadır. Kötü sonuç veren bölgelerde daha fazla işlem yapılmaması, istenen çözüme daha az hesaplamayla, dolayısıyla daha hızlı ulaşmayla sağlamaktadır. İyi sonuç

veren parametrelerin bir sonraki iterasyonda komşu sayıları artmakta, böylece algoritmanın verimliliği de artmış olmaktadır. Tabu listesinin en önemli özelliklerinden birisi, mevcut tabu listesinin aday komşu çözümler ile karşılaştırıldıktan sonra bir sıralama ve karşılaştırma işlemi yaparak kendisini yenileyebilmesidir. Eğer bir komşu çözüm adayı, tabu listesinde yer alan bir çözümle aynıysa, bu çözüm değerlendirme dışı bırakılmaktadır. Tabu listesi oluşturulurken her döngüdeki en iyi çözüm listeye alınmakta, listenin dolduğu durumda listedeki ilk kayıtlar (başlangıçtaki çözümler) listeden atılıp, son döngüler de elde edilen çözümler listeye alınmaktadır [8].

## 2.2 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

1995 yılında Dr.Eberhart ve Dr.Kennedy tarafından geliştirilmiş popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniğidir. Kuş veya balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenerek geliştirilmiştir. Birbirleriyle ve çevresiyle etkileşim içerisinde olan bireylerin davranışları incelenerek geliştirilmiştir. Bu kavram parçacık zekası olarak da isimlendirilmektedir. PSO'da parçacık olarak isimlendirilen potansiyel çözümler, mevcut en iyi çözümleri takip ederek problem uzayında gezinirler. PSO, fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, yapay sinir ağlarının eğitimi, bulanık mantık sistemleri, görüntü işleme vb. pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Örneğin herhangi bir çalışma için "Belirli bir alanda, sadece bir bölgede yiyecek olduğu, bir kuş grubunun bu alanda yiyecek aradığı ve başlangıçta yiyeceğin nerede olduğunu bilmediği kabul edilir ise, yiyecek bulmak için en iyi çözüm ne olabilir?" mantığı ile bir algoritma kurulur. PSO'da her bir parçacık bir kuşu ifade eder ve her parçacık bir çözüm sunar. Tüm parçacıkların uygunluk fonksiyonu ile bulunan uygunluk değerleri vardır. Parçacıklar, kuşların uçuşlarını yönlendiren hız bilgisine benzer bir bilgiye sahiptir. PSO rastgele üretilmiş belirli sayıda çözümle (parçacıkla) başlatılır ve parçacıklar güncellenerek en uygun çözüm değeri araştırılır. Parçacıkların her biri, parçacığın en iyi kendi çözümü (pbest) ve tüm parçacıkların en iyi çözümü (gbest) kullanılarak güncellenir. Bu değerler hafızada saklanır [9].

## 2.3 Genetik Algoritma

Yapay zekanın bir araştırma alanıdır ve birçok alanda kullanılmaktadır. Darwin'in doğal seçim ve evrim teorisi ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritmaların temelleri 1970'li yıllarda John HOLLAND tarafından ortaya atılmıştır [10 -11]. Canlılar, doğada yaşamlarını sürdürmek için savaşır ve güçlü olanlar savaşta kazanır. Yeni bir nesil için iyi bireyler seçilir ve bunlardan çocuklar üretilir. Çocuklar anne ve babalarına benzer ama aynı değildirler. Bu nedenle anne ve babalarından daha kötü veya daha iyi olabilirler. Amaç iyi bir kuşak oluşturmaktır. Bazı problemlerde sonsuz sayıda çözüm olabilir ama en uygun

ve hızlı çözümü bulmaya ihtiyacımız vardır. **Gen:** Canlıların karakterlerini belirleyen ve anlamlı bilgi içeren en küçük birimlerdir. **Kromozom (Birey):** Birden fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu dizidir. Genetik Algoritma (GA)'da her kromozom olası bir çözümdür. **Popülasyon:** Kromozomlardan oluşan topluluktur. GA'da olası çözümlerden oluşan kümeye karşılık gelir.

**Avantajları;** Çok amaçlı optimizasyon yöntemleri ile kullanılabilmesi, çok karmaşık ortamlara uyarlanması, kısa sürelerde iyi sonuçlar verebilmesi; **Dezavantajları** ise son kullanıcının modeli anlamasının zorluğu, problemi GA ile çözmeye uygun hale getirmenin zor olması, uygunluk fonksiyonunu belirlemenin zor olması ve çaprazlama/mutasyon tekniklerini belirlemenin zorluğu olarak özetlenebilir [12].

## 3. Optimizasyon Problemi ve İzlenen Yöntem

Çalışmada 10 elektrikli araç önceden belirlenen enerji depolama durumları ile otoparka aynı anda saat 18:00'de giriş yapmaktadır. Bu araçların her birinin batarya kapasitesi 20kWh olarak seçilmiştir. Araçların saat 06:00'da en az %90 batarya doluluğuna sahip olması gerekmektedir.

Çalışmada her aracın her saatteki enerji depo durumu ( Bu andan itibaren enerji durumu olarak anılacaktır. ) bir değişken olarak alınmıştır. Bu durumda saat 18:00 dan 06:00 a kadar toplam 13 nokta ve 12 zaman aralığı mevcuttur. Bu durumda değişken matrisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir :

$$E_i = \begin{bmatrix} E_{1,t_1} & \dots & E_{j,t_1} & \dots & E_{10,t_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{1,t_x} & \dots & E_{j,t_x} & \dots & E_{10,t_x} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_{1,t_{13}} & \dots & E_{j,t_{13}} & \dots & E_{10,t_{13}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bu matrisin elemanlarının en düşük maliyeti oluşturan değerleri optimizasyon probleminin çözümünü veren değerlerdir. Matrisin 1.sütunu 1 numaralı elektrikli aracın tüm saatlerdeki enerji durumunu (SOC) göstermektedir. Yani  $E_{1,t_1}$  1 numaralı aracın saat 18:00 de otoparka girdiğindeki enerji durumudur.  $E_{1,t_{13}}$  ise aynı aracın sabah saat 06:00'daki enerji durumudur. 12 saat aralığı ve 13 nokta mevcuttur, araba sayısı ise 10'dur. Bu durumda matrisin eleman sayısı  $N_{EV} \cdot t$  kadardır. Bu senaryo için 130 değişkenin değerleri değiştirilerek en düşük maliyetli noktanın bulunması amaçlanmaktadır.

j : Araba Numarasını belirtir.

t : Hangi zaman noktasında olduğunu belirtir.

h: Kaçıncı zaman aralığında olduğunu belirtir.

Bu durumda aynı aracın ardışık iki zaman aralığı arasındaki enerji durumları arasındaki fark, aracın o

zaman aralığında şarj veya deşarj olduğu enerji miktarını verir.

$$\Delta E_{j,h} = E_{j,t+1} - E_{j,t} \quad (2)$$

Burada h, t+1 ve t zaman noktaları arasındaki zaman aralığıdır. Yani saat 18:00 ile 19:00 arası 1 numaralı aracın enerji durumundaki değişim aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta E_{1,1} = E_{1,2} - E_{1,1} \quad (3)$$

Burada h, t+1 ve t zaman noktaları arasındaki zaman aralığıdır. Yani saat 18:00 ile 19:00 arası 1 numaralı aracın enerji durumundaki değişim aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Bu durumda enerji değişimleri matrisi  $N_{EV} \cdot h$  ( Elektrikli araç sayısı \* Zaman aralığı sayısı ) boyutlu bir matris olur ve aşağıdaki gibidir :

$$\Delta E_i = \begin{bmatrix} \Delta E_{1,h_1} & \dots & \Delta E_{j,h_1} & \dots & \Delta E_{10,h_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta E_{1,h_x} & \dots & \Delta E_{j,h_x} & \dots & \Delta E_{10,h_x} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta E_{1,h_2} & \dots & \Delta E_{j,h_2} & \dots & \Delta E_{10,h_2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$\Delta E$  değerleri şarj istasyonlarının 1 saatlik aralıkta maksimum şarj veya deşarj edebileceği enerji miktarıdır ve bu optimizasyon probleminin sınır koşullarından biridir.

Bu bilgiler ışığında artık sisteme ait tüm sınır koşulları ve amaç fonksiyonunun yazılması mümkündür. Optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir :

$$\min \text{Maliyet} = \text{Gider}_{\text{Alış}} - \text{Gelir}_{\text{Satış}} \quad (5)$$

Burada  $\text{Gider}_{\text{Alış}}$  şarj zaman aralığında şebekeden satın alınan enerjinin parasal karşılığıdır.  $\text{Gelir}_{\text{Satış}}$  ise bu şebekeye satılan enerjinin parasal karşılığını ifade eder.

$$\text{Gider}_{\text{Alış}} = \sum_{h=1}^{N_h} \beta_h C_{\text{Alış}}(h) \frac{E_{\text{Net}_h}}{n_{\text{Şarj}}} \quad (6)$$

Burada  $N_h$  toplam zaman aralığı sayısını,  $C_{\text{Alış}}(h)$  ilgili zaman aralığındaki enerji satın alma fiyatını,  $n_{\text{Şarj}}$  sistemin şarj verimini,  $E_{\text{Net}_h}$  h. zaman aralığında sistemdeki net enerji değişimini belirtir.  $\beta$  ise h. zaman aralığında net enerji değişiminin pozitif veya negatif olmasına göre değişen ikili sayı tabanındaki bir değişkendir ( $E_{\text{Net}_h}$  pozitif ise  $\beta=1$  ; negatif ise  $\beta=0$  'dır).

$$\text{Gelir}_{\text{Satış}} = \sum_{h=1}^{N_h} \alpha_h \eta_{\text{deşarj}} C_{\text{Satış}}(h) |E_{\text{net}_h}| \quad (7)$$

Satış ve alış fiyatları puant zaman ve geceleri değiştiğinden C değişkenleri zaman aralığının bir fonksiyonudur.

h. zaman aralığındaki net enerji değişimi ise aşağıdaki gibi ifade edilir :

$$E_{\text{Net}_h} = \sum_{j=1}^{N_{EV}} (E_{j,t+1} - E_{j,t}) \quad (8)$$

Problemin sınır koşulları ise aşağıdaki gibidir :

$$E_{\min,j} \leq E_{j,t} \leq E_{\max,j} \quad (9)$$

$$\Delta E_{j,h} \leq \Delta E_{\max,j} \quad (10)$$

$$E_{j,t_{\text{son}}} \geq E_{\text{istenen},j} \quad (11)$$

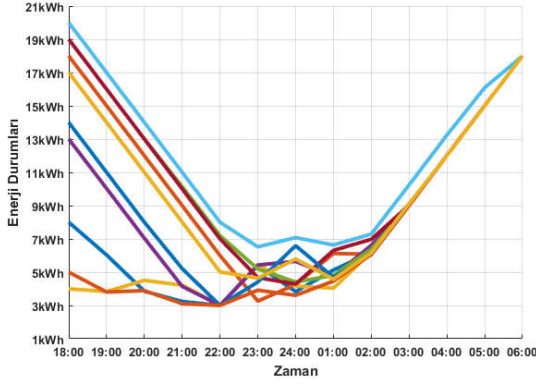
Burada  $E_{\min,j}$  bataryanın en düşük enerji durumu ,  $E_{\max,j}$  bataryanın en yüksek enerji durumunu ( Batarya %100 dolu olduğundaki durum ) ifade eder.  $\Delta E_{\max,j}$  1 saatte şarj istasyonlarının transfer edebileceği maksimum enerji miktarını ifade eder.  $E_{\text{istenen},j}$  ise sabah saat 06:00'da arabaların depolanması gereken enerji miktarını belirler.

#### 4. Sistemin Optimizasyonu

Çalışmanın bu bölümünde amaç fonksiyonu ve sınır koşulları belirlenmiş senaryonun detayları ve MATLAB'de genetik algoritma çözücüsü aracılığıyla elde edilen optimizasyon sonuçları paylaşılacaktır.

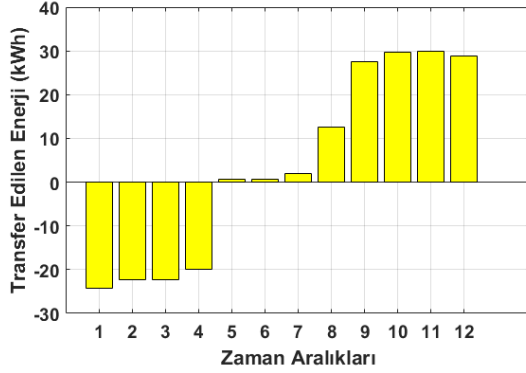
Senaryoda 10 adet araç mevcuttur. Tüm araçların %100 dolu batarya durumunda sahip oldukları enerji 20kWh kabul edilmiştir. Şarj istasyonlarının 1 saatte transfer edebildiği enerji miktarı  $\Delta E_h = 3\text{kWh}$ 'tir. Şarj bitiminde yani sabah saat 06:00'da tüm araçların en az 18kWh dolulukta olması istenmektedir. Araçların minimum batarya enerji durumları 3kWh olabilir. Araçların saat 18:00'da otoparka girdiği andaki enerji durumları rasgele olarak belirlenmiştir ve 4kWh ile 20kWh arasında değerlere sahiptir. Şarj ve deşarj verimleri sırasıyla %90 ve %88 olarak verilmiştir. İlk 4 zaman aralığı ( Saat 22:00'a kadar ) puant zaman olarak belirlenmiş ve enerji birim fiyatlarını bu durum gözönünde bulundurularak belirlenmiştir.

Araçların enerji durumlarının saatlere göre değişimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Arabaların enerji depo durumlarındaki değişimler.

Sistemin şebeke ile enerji alışverişleri Şekil 3'te görülebilir.



Şekil 3: Sistemin şebeke ile enerji alışverişleri.

Şekil 3'te de görüldüğü gibi sistem puant zamanda şebekeye enerji satmakta ve şebekenin daha az yüklenmesine sebep olmaktadır. Çalışmaya ait sayısal veriler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Önemli Parametreler

Parametre	Değeri
Araç 1 İlk Durum	8 kWh
Araç 2 İlk Durum	18 kWh
Araç 3 İlk Durum	4 kWh
Araç 4 İlk Durum	13 kWh
Araç 5 İlk Durum	19 kWh
Araç 6 İlk Durum	20 kWh
Araç 7 İlk Durum	19 kWh
Araç 8 İlk Durum	14 kWh
Araç 9 İlk Durum	5 kWh
Araç 10 İlk Durum	17 kWh
Puant Zaman Enj. Alış	0.7 ₺/kWh
Puant Zaman Enj. Satış	0.4 ₺/kWh
Gece Enj. Alış	0.28 ₺/kWh
Gece Enj. Satış	0.1 ₺/kWh

Araçların Son Durum Enj.	18 kWh
Optimizasyon Sonrası Toplam Maliyet	9.738 ₺

Araçların ilk durum enerjileri toplamı 137 kWh'tir. Son durumda ulaşılması gereken enerjiler toplamı 180 kWh'tir. Aradaki 43 kWh'lik enerjinin şebekeden çekileceği açıktır. Şebekeden çekilen enerji şarj verimi de hesaba dahil edildiğinde 47.77 kWh olmaktadır. Bu enerjinin puant zaman fiyatları ile satın alınması durumunda toplam maliyet 33.44 ₺, Bu enerjinin gece fiyatları ile satın alınması durumunda ise toplam maliyet 13.375 ₺ olmaktadır.

Optimizasyon sonrası elde edilen değer bu iki değerden de küçüktür, yani enerjinin en ucuz olduğu zamanda satın alınması durumundan bile daha ucuz bir durum enerjinin puant zamanlarda şebekeye satılması ile sağlanmıştır.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada 10 araçlı bir elektrikli araç şarj sisteminin V2G ve G2V çalışması sırasında enerji maliyetlerini minimuma indirecek enerji değerleri hesaplanmıştır. MATLAB'deki hazır genetik algoritma aracı kullanılarak maliyetleri minimuma indiren değerler saptanmış ve optimize edilmemiş durumlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tatmin edicidir. İterasyonların sonuca ulaşma süresi orta seviye bir bilgisayar ile ortalama olarak 5 dakika sürmektedir. Araba sayısının artması bu süreyi de önemli oranda artıracaktır. Gelecekteki çalışmalarda araç sayısı artırılabilir ve bataryaların şarj ve deşarjlarından dolayı ömürlerindeki azalmalar da optimizasyon problemine dahil edilebilir.

## 6. Kaynaklar

- [1] Fan Xu, Guoqin Yu, Tentative analysis of layout of electric vehicle charging stations[J], East of China Electric Power,10:1678-1682, 2009.
- [2] A. Perujo, B. Ciuffo, "The introduction of electric vehicles in the private fleet: Potential impact on the electric supply system and on the environment. A case study for the Province of Milan, Italy", Energy Policy, Volume 38, Issue 8, August 2010.
- [3] Celli, G, Ghiani E, Pilo, F, Pisano G., "Particle Swarm Optimization for Minimizing the Burden of Electric Vehicles in Active Distribution Networks", IEEE, G.G. Soma 2012.
- [4] Kang, Yinzhu, Yu, Hao, Wang, Jinhao, Qin, Wenping, "Day ahead Microgrid Energy Management Optimization Scheduling Scheme", 2017, IEEE, 978-1-5386-1427
- [5] Amditis, A, Theodoropoulos, T., Brusaglino, G, Rizzo, R, "Energy management optimization within the electric mobility system", 2017, IEEE, 978-1-5090-4682
- [6] W. Su, M. Chow, "Performance evaluation of a PHEV parking station using Particle Swarm Optimization", in Proc. 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 24-29 July.

- [7] C. Hutson, G. K. Venayagamoorthy, K. A. Corzine, “Intelligent Scheduling of Hybrid and Electric Vehicle Storage Capacity in a Parking Lot for Profit Maximization in Grid Power Transactions”, in *Proc. 2008 IEEE Energy 2030 Conference*, 17-18 Nov. 2008.
- [8] **Mori, H., Usami,** 'Unit Commitment Using Tabu search with Restricted Neighborhood', Proc. of ISAP'96, No.0221, pp. 422-427, Orlando, Florida, USA, May 1998.
- [9] **Celli, G., Ghiani, E., Pilo, F.,** “Particle Swarm Optimization for Minimizing the Burden of Electric Vehicles in Active Distribution Networks”, *IEEE Conference Publications*, 2012.
- [10] **Baker B. M. ve Ayechev M. A.,** “A Genetic Algorithm For The Vehicle Routing Problem”, *Computers & Operations Research*, s. 1-14, 2002.
- [11] **Pazouki, S., Mohsenzadeh, A., Haghifam, M.,** “Simultaneous Allocation of Charging Stations and Capacitors in Distribution Networks Improving Voltage and Power Loss”, *IEEE Journals & Magazines*, 2015.
- [12] **Mohsenzadeh, A., Pang, C., Pazouki, S.,** “Optimal Siting and Sizing of Electric Vehicle Public Charging Stations Considering Smart Distribution Network Reliability”, *IEEE Conference Publications*, 2015.