

Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Doğru Konumlandırılması

Optimal Placement of Electric Vehicle Charging Stations

Kerem Can Arayıcı¹, Göktürk Poyrazoğlu²,

¹Özyeğin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği /Fen Bilimleri Enstitüsü
kerem.arayici@ozu.edu.tr

² Özyeğin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği /Mühendislik Fakültesi
gokturk.poyrazoglu@ozyegin.edu.tr

Özet

Günümüzde hükümetler ve insanlar, fosil yakıtların her geçen gün fiyatının artması ve çevreye verdiği zararların çok fazla olmasından dolayı elektrikli araba konseptine yönelmeye başladı. Bundan dolayı, elektrikli arabaların popülaritesi her geçen gün artmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte artan elektrikli araba sayısı, elektrikli araba şarj ünitesi ihtiyacını arttırmıştır. Bu çalışmada, şarj istasyonu konumlandırılması ile ilgili ihtiyacı çözmeye çalışan bir optimizasyon modeli tanıtılmıştır. Model, olası şarj istasyonları için belirlenen lokasyonlardan hangisine yatırım yapılmalı sorusunun cevabını aramaktadır. Gerekli veriler MATLAB programında geliştirilen modele eklenerek, Yalmip/Cplex yardımıyla optimal sonuç için çözülmektedir. Örnek olarak İstanbul ilinde konumlandırılacak şarj istasyonları kullanılmıştır. Geliştirilen model veri büyüklüğünden bağımsız olarak optimal sonuca ulaşmaktadır.

Anahtar kelimeler: Elektrikli Araçlar, Şarj İstasyonu Konumlandırılması, Eniyileme

Abstract

Nowadays, due to the increase of prices and the environmental pollution of fossil fuels, individuals and governments are tending towards the concept of electric vehicles. Therefore, the popularity of electrical vehicles is increasing. With the development of technologies, the number of electric vehicles raised the required quantity of charging stations. This study introduces an optimization model that deals with the required positioning of charging stations. First, the model determines which of the potential charging stations locations should be invested in. Then the required data is implemented into the MATLAB model and solved to find the optimal solution with Yalmip/Cplex. In this study, the city of İstanbul is examined as an example to locate the charging stations. The model achieves the optimal solution regardless of the size of data. **Keywords:**

Electric Vehicle, Charging Station Placement, Optimization

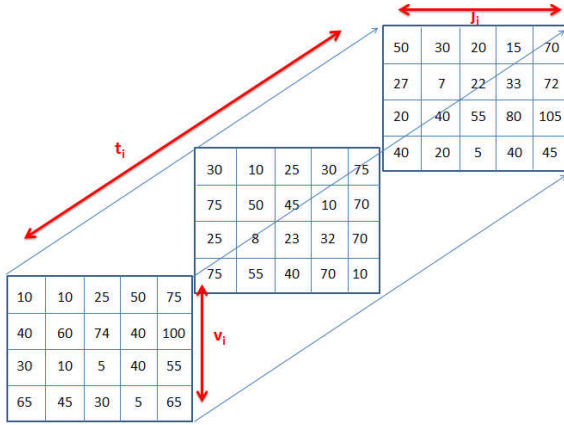
1. Giriş

Fosil yakıt kullanımının giderek artması, ilerleyen yıllarda toplam fosil yakıt tedarikinin giderek azalacağını ayrıca 2050 yılına kadar fosil yakıt kaynaklarının tamamen biteceğini göstermektedir [1]. Bundan dolayı, elektrikli arabaların kullanımı gün geçtikçe artmaya başlamaktadır. Ayrıca, elektrikli arabaların sayısının artması ile CO₂ üretiminin ve sera gazı etkisinin azalacağı fark edilmektedir [1]. Avrupa Ekonomi Alanı'nın yaptığı araştırmaya [2] göre, 2050 yılına kadar toplam araç filosunun yüzde 80'ini elektrikli arabaların oluşturması beklenmektedir. Diğer bir deyişle, artan elektrikli araç sayısı ile birlikte gelecek yıllarda elektrikli arabaların toplam elektrik tüketiminin üstüne etkisi fazla olacaktır. Bu senaryolar düşünüldüğü zaman, artacak elektrikli araçların rahat bir şekilde seyahat edebilmeleri için şarj istasyonlarının doğru bir şekilde planlanıp, uygun konumlara yerleştirilmesi gerekmektedir.

Bu projede asıl odaklanılan nokta elektrikli araçların herhangi bir zaman diliminde şarj istasyonlarına olan uzaklığının minimum mesafede olmasını sağlamaktır. Ayrıca, bunu sağlarken elektrik şarj istasyon kuruluşlarının en düşük maliyet oluşturulacak şekilde planlanması hedeflenmektedir.

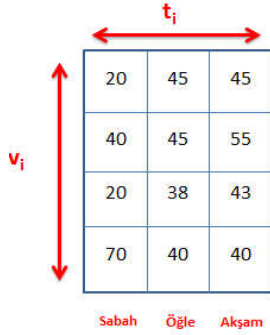
2. Önerilen Method

Bu çalışmada, Andrews [3] tarafından önerilen model geliştirilerek ve modelin eksik olan kısımları değiştirilerek yeni ve özgün bir model haline dönüştürülmüştür. Bir günü üç eşit (sabah, öğle, akşam) zaman dilimine ayırarak model içerisinde bunlar t harfi ile gösterilmektedir. Her bir elektrikli araç ise v harfi ile ifade edilip V setini oluşturmaktadır. Ayrıca her bir olası şarj lokasyonu J setinin oluşmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu araçların olası şarj istasyonlarına uzaklığı ise $d_{v,t,j}$ elemanları ile D tensörü içerisinde belirtilmiştir. Test modeli için kullanılan değerler Şekil 1'de görselleştirilmiştir.



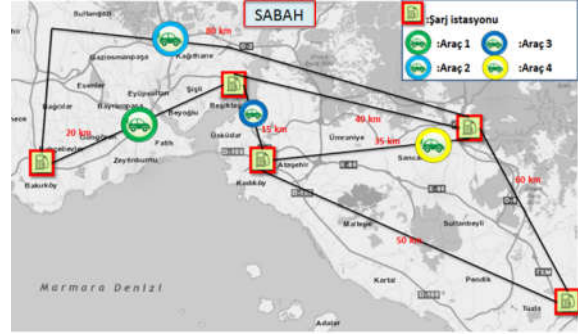
Şekil 1: Araçların her bir zaman diliminde her bir lokasyona olan uzaklıklarının D tensörü içerisinde gösterimi

Her olası şarj istasyonu kendi içerisinde maksimum araba şarj etme ünitesine sahiptir ve bu her j lokasyonu için Q_j ile gösterilmektedir. Diğer bir deyişle, her bir istasyonda aynı anda belirli sayıda araba şarj olabilmektedir. Sistemin düzenli bir şekilde çalışması için gerekli olan minimum açılması gereken şarj istasyonu sayısı ise p ile ifade edilmektedir. Bir lokasyona şarj istasyonunun açılıp açılmaması ikili(0,1) bir şekilde kontrol edilip, y_j ile gösterilmektedir. Aynı şekilde, herhangi bir aracın, herhangi bir lokasyonda herhangi bir zaman diliminde olup olmama durumu $x_{v,t,j}$ değişkeni ile ikili(0,1) bir şekilde model içinde belirtilmektedir. Araçların her bir zaman diliminde oldukları konumdan sonraki zaman diliminde gidecekleri lokasyona olan uzaklıkları N matrisi (Şkl. 2) içerisinde gösterilmektedir.

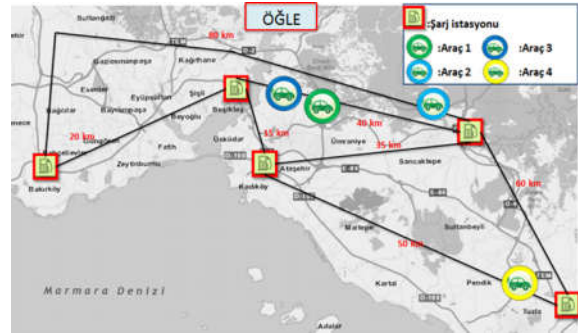


Şekil 2: Araçların her bir zaman diliminde bir sonraki lokasyona olan uzaklıkları

İstanbul ili içerisinde olası şarj istasyonlarının lokasyonlarını ve bu lokasyonların birbiriyle olan uzaklıkları harita üstünde gösterilmektedir. (Şek. 3.4.5.) Bu lokasyonlar alfabetik sırasıyla; Bakırköy, Beşiktaş, Çekmeköy, Kadıköy ve Tuzla'dır. Ayrıca, test modeli içindeki elektrikli araba sayısı dört olarak belirlenmiş olup, bu araçlar sabah, öğle, akşam olmak üzere farklı senaryolarda yerleştirilerek araçların hareket güzergahları belirlenmiştir.



Şekil 3: (Sabah) Araçların konumu ve istasyonlara olan uzaklıkları



Şekil 4: (Öğle) Araçların konumu ve istasyonlara olan uzaklıkları



Şekil 5: (Akşam) Araçların konumu ve istasyonlara olan uzaklıkları

Model geliştirilirken araçların rotaları yukarıdaki şekillerde (3.4.5.) olduğu gibi hesaplanıp, her yeni sabaha başlarken ilk konumlarıyla aynı konumda olacakları varsayılmıştır. Yani araçlar, akşamdan sonra sabahki ilk konumlarında olmak zorundadırlar.

Matematiksel modelin doğru bir şekilde çalışması ve en uygun sonuçların alınması için oluşturulan hedef fonksiyonu ve kısıtlamalar şu şekildedir.

$$\min \sum_{v,t,j} d_{v,t,j} * x_{v,t,j} + \sum_j C_j * y_j \quad (1)$$

$$\sum_j x_{v,t,j} \leq 1, \forall v, \forall t \quad (2)$$

$$\sum_{t,j} x_{v,t,j} \geq 1, \forall v \quad (3)$$

$$x_{v,t,j} \leq y_j, \forall v, \forall t, \forall j \quad (4)$$

$$\sum_v x_{v,t,j} \leq Q_j * y_j, \forall j, \forall t \quad (5)$$

$$\sum_j y_j \geq p \quad (6)$$

$$R_{v,t} - N_{v,t} + a_{v,t} - \left[\left(\sum_j E_{v,j,t} * x_{v,j,t} \right) \right] \geq 0, \forall v, \forall t \quad (7)$$

$$R_{v,t} + a_{v,t} - \left(\sum_j E_{v,j,t} * x_{v,j,t} \right) / 2 \leq R_{max}, \forall v, \forall t$$

$$a_{v,t} \geq 0, \forall v, \forall t \quad (9)$$

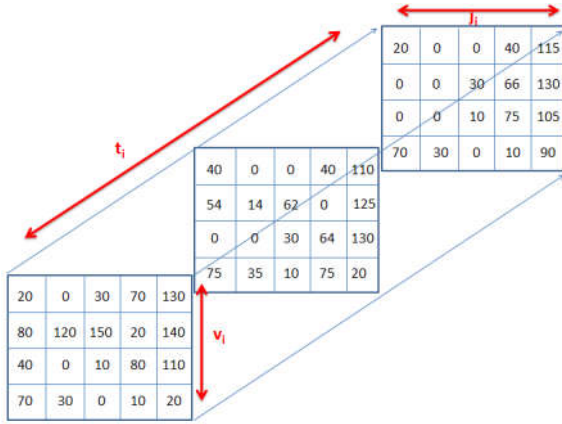
$$0 \leq a_{v,t} \leq \sum_j x_{v,t,j} * R_{max}, \forall v, \forall t \quad (10)$$

$$R_{v,(t+1)} = R_{v,t} + a_{v,t} - N_{v,t} - \left(\sum_j E_{v,j,t} * x_{v,j,t} \right), \forall v, \forall t: \{1..T - 1\} \quad (11)$$

$$R_{v,t=1} = R_{başlangıç}, \forall v, \forall t: 1 \quad (12)$$

$$R_{v,t} \geq D_{v,j,t} * x_{v,j,t}, \forall v, \forall t, \forall j \quad (13)$$

Modelin hedef fonksiyonu (1), elektrikli araçların herhangi bir zaman diliminde şarj istasyonlarına olan uzaklığını en aza indirmek ve bunu maliyeti düşük bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Denklem (2), bir aracın herhangi bir zaman diliminde sadece bir yerde olabileceğini göstermektedir. Denklem (3) ise, araçların bir günlük zaman süresinde en az bir kere şarj edilmesi gerektiğini söylemektedir. Denklem(4) ise araçların sadece kullanıma açılan lokasyonlarda şarj olabileceğini ifade etmektedir. Denklem(5) ise bir lokasyonda aynı anda şarj olabilecek araba sayısının ifade de belirtilen maksimum sayıya eşit veya sayıdan az olmasını ifade etmektedir. Denklem(6) ise açılması gereken en az sayıdaki şarj istasyonları sayısını belirtmektedir. Denklem(7), bir aracın bir sonraki hedefine mevcut şarj miktarı ile gidip gidememesini kontrol edip, ayrıca eğer yolunun üstünde olmayan bir şarj istasyonuna gitmesi gerekiyorsa kalan kilometresinin gittiği yol kadar azalması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem(8) ise aracın her ne kadar şarj edilirse edilsin şarj miktarının aracın maksimum kapasitesinin değerinden fazla olamayacağını belirtmektedir. Denklem(9) aracın deşarj yapamayacağını yani sadece şarj edebileceğini belirtmektedir. Denklem(10) ise araç seçilen şarj istasyonlarında maksimum kapasitesine kadar şarj edilebileceğini ifade etmektedir. Denklem(11) ise aracın başka bir zamandaki gitmek istediği lokasyona gidebilmesi için şarj durumunun veya kalan menzilin, gidilecek olan lokasyona olan uzaklığına eşit veya daha fazla olması gerektiğini ifade etmektedir. Denklem(12) ise her aracın sabah zamanında belirlenmiş bir depoyla başladıklarını göstermektedir. Son denklem(13) ise aracın lokasyona gidebilmesi için aracın menzilin lokasyona olan uzaklığından küçük olmaması gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca, modelin içinde (6,7,11) numaralı denklemlerde geçen $E_{v,j,t}$ ifadesi ise, eğer aracın bir sonraki gitmek istediği lokasyona gidebilmesi için yeterli kadar menzilin olmadığı takdirde aracını şarj edebilmek için her bir lokasyondaki şarj istasyonlarına olan anlık uzaklığını göstermektedir. Test modeli için kullanılan E tensörü Şekil 6'da görselleştirilmiştir. Eğer bir şarj istasyonu aracın gitmesi gereken yolun zaten üzerindeyse o lokasyona olan uzaklığı 0 kilometre olarak düşünülmektedir. Bunun sebebi ise araç zaten o yolu gidecektir, ekstra bir yakıt harcamasına gerek yoktur. Fakat araç yeni lokasyonuna gitmek isterken yeterli menzili yoksa ve aracını şarj etmesi gerekiyorsa, yolunun üzerinde olmayan en yakın şarj istasyonuna gitmek zorundadır ve buraya giderken yaptığı yol kadar menziline azalma olması gerekmektedir. Tüm bu koşullar, kısıtlamaların içerisinde kullanılarak modelin daha başarılı sonuçlar vermesini sağlamaktadır.



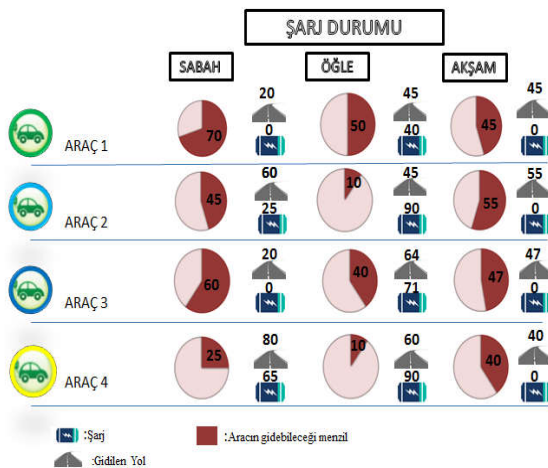
Şekil 6: E Tensörü

3. Sayısal Sonuçlar

Model daha önceden de belirtildiği gibi MATLAB programında geliştirilmiş ve CPLEX yardımıyla başarılı bir şekilde sonuca ulaşmıştır.

Model, bir günü üç zaman dilimine (sabah, öğle, akşam) eşit bir şekilde ayırıp olası beş şarj istasyonu seçilerek ve dört elektrikli araba kullanılarak oluşturulmuştur. Model genel olarak belirli bir rota üzerinde (şek. 3.4.5.) farklı senaryolarda hareket eden araçlara göre en kısa mesafede en olası şarj noktalarını tespit etmektedir.

Girilen veriler ve kısıtlamalar sonucunda eniyileme modeli, araçların her bir zaman diliminde şarj durumunu ve ne kadar yol aldıklarını gösteren sonuçları başarılı bir şekilde göstermiştir. Ayrıca herhangi bir zaman diliminde yapılan şarj durumunda ne kadar şarj edildiğinin tespit edilmesini sağlamıştır. Araçların her bir zaman diliminde sahip olduğu menzil, bir sonraki zaman dilimine geçerken gitmesi gereken yolun uzaklığı ve eğer bu yolu gidebilmesi için aracın şarj edilmesi gerekiyorsa yapılan şarj miktarı Şekil 7’de görselleştirilmiştir.



Şekil 7: Test model sonuçları

Bu alınan yol ve şarj durumu bilgileri doğrultusunda geliştirilen model hangi olası şarj istasyonlarının aktif hale gelmesi gerektiğini göstermektedir.

Bakırköy			
	Sabah	Öğle	Akşam
Araç 1	0	0	0
Araç 2	0	0	0
Araç 3	0	0	0
Araç 4	0	0	0

Beşiktaş			
	Sabah	Öğle	Akşam
Araç 1	0	0	0
Araç 2	0	0	0
Araç 3	0	0	0
Araç 4	0	0	0

Çekmeköy			
	Sabah	Öğle	Akşam
Araç 1	0	0	0
Araç 2	1	1	0
Araç 3	0	0	0
Araç 4	1	0	0

Kadıköy			
	Sabah	Öğle	Akşam
Araç 1	0	1	0
Araç 2	0	0	0
Araç 3	0	1	0
Araç 4	0	0	0

Tuzla			
	Sabah	Öğle	Akşam
Araç 1	0	0	0
Araç 2	0	0	0
Araç 3	0	0	0
Araç 4	0	1	0

Şekil 8: Her bir zaman diliminde, lokasyonlarda şarj yapılma durumu

Şek. 8’den anlaşıldığı üzere, eğer bir lokasyonda araç şarj ediliyorsa bu olay tablo üzerinde “1” ile gösterilmektedir. Bu sonuçlar doğrultusunda açılması gereken şarj istasyon konumları;

- Kadıköy
- Çekmeköy
- Tuzla’dır.

4. Gelecekte Yapılacaklar

Geliştirilen model veri büyüklüğünden bağımsız olarak en iyi sonuca ulaşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan test verileri yerine verinin büyümesi durumunda model üstünde hiç bir düzenlemeye gerek olmadan başarılı bir şekilde sonuca ulaşılabilir. Model beş aşamadan oluşan büyük bir projenin ilk ayağını oluşturmaktadır. Başarıya ulaşılan bu aşama ile daha sonrasında yapılacak olan günlük enerji talebinin tahminlenmesi ve elektrikli araçların şebekeye etkisi çalışmaları yapıldıktan sonra son aşamada bütün çalışmaların bir arada kullanılarak tüm Türkiye Enerji Sisteminin güvenilirliği üzerine çalışmalara devam edilecektir.

5. Kaynaklar

- [1] EU energy, transport and GHG emissions: Trends to 2050, ‘PRIMES model for energy and CO₂ emissions projections, Reference scenario 2013’, European Commission, Directorate-General for Energy,
- [2] Electric mobility in Europe – Future impact on the emissions and the energy system, Oeko-Institut and Transport & Mobility Leuven(TML), 2016
- [3] M. Andrews, M. K. Dogru, J. D. Hobby, G. H. Tucci, and Y. Jin, “Modeling and Optimization for Electric Vehicle Charging Infrastructure,” Alcatel-Lucent Bell Labs, 2012.
- [4] A. Y. S. Lam, Y. W. Leung and X. Chu, “Electric Vehicle Charging Station Placement: Formulation, Complexity, and Solutions,” in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 5, no. 6, pp. 2846-2856, Nov. 2014.