

Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yüklerinin Olasılıksal Olarak Modellenmesi

Probabilistic Modelling of Electric Vehicle Charging Station Loads

Doruk GÜNEŞ¹, İbrahim Gürsu TEKDEMİR², Mehlika ŞENGÜL KARAARSLAN³, Bora ALBOYACI¹

¹Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
Genetek Güç, Enerji, Elektrik Sistemleri Özel Eğitim ve Danışmanlık Ltd. Şti.
doruk.gunes@genetek.com.tr, arge@genetek.com.tr

²Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
gursu.tekdemir@kocaeli.edu.tr,

³Kocaeli Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü
mehlika@kocaeli.edu.tr

Özet

Mühendislik problemlerinde aynı girdilere karşılık farklı çıktılar alınabildiği durumlarda deterministik yöntemler yerine olasılıksal yaklaşımların kullanılması ile daha doğru sonuçlar alınabilmektedir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının da saatlik veya mevsimsel bazda talep güçlerini tam olarak kestirmenin mümkün olmadığı için bu çalışmada, mevcut yüklerin geçmiş yıllara ait yüklenme verileri göz önüne alınarak olasılıksal bir modelleme yapılabileceği gösterilmiştir. Kullanılan veriler gerçek bir otoparka ve yerel bir dağıtım şebekesinin bir fiderinden alınan ölçüm değerlerine dayandırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan olasılıksal modelleme yaklaşımı; olasılık yoğunluk fonksiyonlarının kullanımı, Latin Hiperküp Örneklem (LHÖ) yöntemini ve yükler arasındaki korelasyon değerlerinin hesaplanarak optimum senaryonun uygun dağılım ve korelasyon ilişkisi dahilinde tekrar düzenlenmesini içermektedir.

Abstract

In engineering problems, in the case of obtaining different outputs in the response to the same inputs, more accurate results can be obtained by using probabilistic approach rather than deterministic approach. In this study, due to not being able to estimate demanded power of electric vehicle charging stations, which is based on hourly or seasonal parameters. It's shown that probabilistic modelling can be done by considering measurement data of previous years of current loads. The used data is based on obtained values of measurements from a feeder of local distribution network and real car-park data. Probabilistic modelling approach which is used in this study involves using of probability density functions, Latin Hypercube Sampling (LHS) method and reorganization of optimal scenario with relevance between correlation and dispersion by calculating correlations between loads.

1. Giriş

Petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar, fosil yakıtlardaki dışa bağımlılık ve çevresel endişeler özellikle ulaşım alanında alternatif taşıtlara olan ilgiyi arttırmıştır [1]. Alternatif taşıt teknolojileri arasında öne çıkan hibrit elektrikli araç (HEA) ve tam elektrikli araç (TEA) modelleri günümüzde hali hazırda otomobil üreticileri tarafından üretilmektedir [2]-[5]. Literatürde yapılmış araştırmalarda 2030 yılına kadar elektrikli araçların pazar payının %25-30 oranına yükseleceği öngörülmüştür [6,7]. Tam elektrikli araçlar şebekeye yavaş, orta ve hızlı şarj adı altında tek fazlı ve üç fazlı AC veya DC şarj istasyonları yardımıyla bağlanabilmektedir. Şarj işlemleri için kullanılan elektrikli araç şarj istasyonlarının güçleri 1-2 kW'tan 240 kW'a kadar çıkabilmektedir [6,8,9]. Bu bilgi göz önüne alındığında elektrikli araçların ve elektrikli araç şarj istasyonlarının yakın gelecekte özellikle dağıtım şebekeleri için ciddi miktarda ilave yük anlamına geleceği görülmektedir. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda elektrikli araçların dağıtım şebekesine bağlanmasının oluşturabileceği olumsuz etkiler incelenmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım transformatörlerine etkileri [10]'de transformatörlerin elektrikli araçların şarj algoritmalarına bağlı olarak kullanım ömürlerinin nasıl etkilendiği başlığında incelenmiştir. Benzer şekilde [11]'de Elektrikli araçların şarj istasyonlarının dağıtım transformatörlerinin sargılarındaki ısınmaya ve transformatörün yaşlanmasına etkileri gösterilmiştir. Yoğun veya yüksek güçlü hızlı şarj işlemlerinin transformatörlerin yüklenme değerine yansımaları ve aşırı yüklenme durumları da yapılan çalışmalar içerisinde değerlendirilmiştir.

Literatürde dağıtım şebekesine ilişkin parametrelerin elektrikli araç şarj istasyonlarının bağlantısı sonrasındaki değişimini inceleyen ve bu parametrelerin istenen limit değerler arasında kalmasını sağlamaya çalışan çeşitli araştırmalar da yapılmıştır. Bu çalışmalarda; elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye bağlandığı çeşitli durumlarda limit değerlerin aşılmayıp aşılmadığı

[12,13] ve fazlar arasındaki dengesiz yüklenmeler değerlendirilmiştir [12].

Elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye etkilerinin doğru şekilde incelenebilmesi için şarj istasyonu yüklerinin en doğru şekilde öngörülebilir olması gerekmektedir. Bu çalışmada olasılıksal yaklaşımlar ile yerel bir dağıtım şebekesinin geçmiş yıllara ait yüklenme verileri ve şablon olarak kullanılan gerçek bir otopark için araç giriş ve çıkış istatistikleri kullanılarak olasılıksal bir modelleme yapılabileceği gösterilmiştir.

2. Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Olasılıksal Olarak Modellenmesi

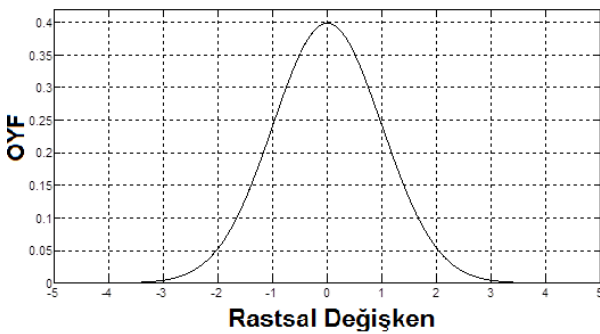
Mühendislik problemlerinin her zaman aynı girdilere karşılık olarak aynı çıktıları verdiği durumlarda deterministik yöntemler çözüm olmakta; ama aynı girdiye farklı çıktılar alınan ve girdi çıktı ilişkisinin ancak yaklaşık olarak belirlenebildiği durumlarda olasılıksal yöntemleri kullanmak daha doğru sonuçlar vermektedir. Gerçek uygulamada elektrikli araç şarj istasyonlarının herhangi bir mevsimde ve günün herhangi bir saatinde nasıl bir talep gücüne sahip olacağını ve dolayısıyla dağıtım şebekesinin bu durumla başa çıkıp çıkmayacağını bulmak için de olasılıksal yöntemler kullanmak anlamlı olmaktadır.

2.1. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonları (OYF) ile Modelleme

Bir rastsal değişkenin herhangi bir anda, yani başka bir ifadeyle herhangi bir örneklemede, hangi değeri hangi olasılıkla alacağı bilgisinin OYF'ler ile elde edilebileceği bilinmektedir. Yaygın kullanıma sahip olan yöntemlerden birisi Normal Dağılımdır (Gauss Dağılımı). Normal dağılım;

$$p = f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

fonksiyonu ile gösterilebilir. Burada x rastsal değişken, μ ortalama değer, σ standart sapma ve p rastsal değerlerin olasılık yoğunluğudur. Ortalama değeri 0 ve standart sapma değeri 1 olan Normal dağılmış rastsal değişkene ait Normal Dağılım OYF eğrisi Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Normal dağılıma sahip bir rastsal değişkene ilişkin OYF eğrisi

2.2. Latin Hiperküp Örnekleme (LHÖ) Yöntemi

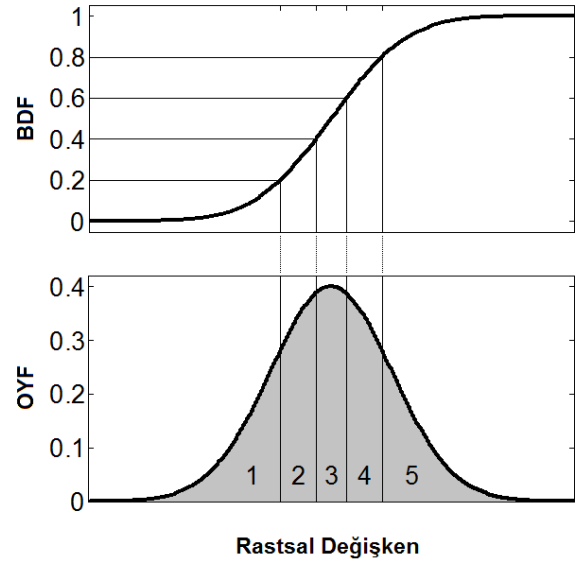
Normal dağılıma sahip bir rastsal değişkenin (örneğin bir transformatörün elektriksel yüklenme değerinin) uygun OYF parametreleri hesaplandığı zaman artık olasılıksal bir model de elde edilmiş olur. Bu noktadan sonra, eldeki model kullanılarak

benzetim çalışmaları yapılarak incelenmesi istenen durumlar için analizler gerçekleştirilebilir. Bu noktada, verimli bir olasılıksal örnekleme yöntemi olan LHÖ'yü tercih etmek anlamlı olur; çünkü LHÖ yönteminde, Monte Carlo Örnekleme (MCÖ) yönteminden farklı olarak, doğru bir değerlendirme yapabilmek için çok daha az sayıda örnek değeri yeterli olmaktadır. Bu sayede, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine etkilerinin incelenmesi için daha az sayıda bilgisayar benzetimi yapmak doğru sonuç verecektir. Bu, analiz pratikliği açısından çok olumlu bir sonuçtur.

LHÖ yönteminde, daha önce hesaplanmış bulunan OYF'nin yanında aynı dağılım için birikimli dağılım fonksiyonu (BDF) da hesaplanmaktadır. N sayıda örnek (yani senaryo) üretmek istendiği durumda, öncelikle N adet tekdüze dağılmış rastsal değişken (u) üretilmekte, ardından bu değişkenler;

$$x = BDF_x^{-1}(u) \quad (2)$$

Eşitliği kullanılarak istenen dağılıma sahip x değişkenleri haline getirilmektedir. Bundan sonra, OYF eğrisinin altında örnek sayısı (N) kadar eşit alan oluşturulacaktır ki bu durum eşit olasılıklar anlamına gelir. Rastgele seçilecek bir alanın içinden rastgele örnek değerleri elde edilerek tüm OYF eğrisinin optimum kullanılması sağlanmış olur. BDF ve OYF eğrileri ile LHÖ yöntemine ilişkin örnekleme stratejisi Şekil 2'de görüldüğü gibidir.



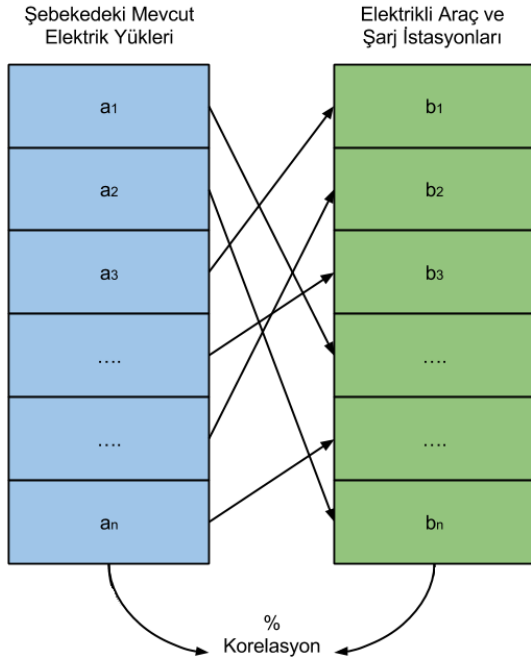
Şekil 2. LHÖ algoritması kullanılarak yapılan bir örnekleme işleminin eksen üzerinde gösterimi

Şekil 2'de gösterildiği gibi LHÖ algoritması kullanılarak yapılan bir örnekleme işleminde, BDF'nin aksine 5 eşit parçaya ayrılan eksen, OYF'nin altında kalan alanı da 5 eşit parçaya ayırıyor. Böylece, eşit olasılıklı alanlar üretiliyor.

2.3. Korelasyon Değerleri İçin Tekrar Sıralama Algoritması

LHÖ yöntemiyle elde edilen ve uygun olasılıksal dağılıma sahip olan örnekleme değerlerinin çok sayıda olması durumunda, örneklemler bir araya getirilerek veri grupları

üretilebilir. Fakat bu veri gruplarının birlikte bulunma istatistikleri yani aralarındaki korelasyon değerleri göz önünde bulundurulmazsa o zaman sağlıklı veri grupları üretilememiş olur. Bu nedenle, elektriksel yük grupları arasındaki korelasyon değerleri elde edilmeli, ardından elde edilen örnekler, hesaplanan korelasyon değerlerini elde edecek şekilde tekrar sıralanmalıdır. Bu amaçla [14]'de açıklanan tekrar sıralama algoritmasını kullanmak oldukça anlamlı olacaktır. Buna göre, birbirinden bağımsız olarak örneklenen değişkenler, Şekil 3'te görüldüğü gibi tekrar eşleştirilerek uygun korelasyon değerleri elde edilmektedir.



Şekil 3. Mevcut ve elektrikli araç şarj istasyonu yüklerine ait örneklemelerin uygun korelasyon değerlerini sağlayacak şekilde eşleştirilmesi ve tekrar sıralanması

İki değişkenin arasındaki korelasyon değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunabilir.

$$K_{X,Y} = \frac{E((X-\mu_X)(Y-\mu_Y))}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (3)$$

Burada E, ilgili rastsal değişkenin beklenen değerini göstermektedir. Bundan sonra, öncelikle R matrisi aşağıdaki gibi üretilmektedir.

$$R_{ij} = \frac{(x_{j,i} - \mu_j)}{\sigma_j} \quad (4)$$

Burada μ_j , j. değişkenin ortalama değeri ve σ_j de bu değişken için standart sapma değeridir. Bundan sonra bir T vektörü aşağıdaki gibi üretilmektedir.

$$T_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_{ij} R_{im} \quad 1 \leq j \leq m-1 \quad (5)$$

Böylece, korelasyon değerlerindeki işlem sonucundaki hata değeri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$E = \sum_{j=1}^{m-1} (T_j - T'_j)^2 \quad (6)$$

Burada T' , istenen korelasyon değerlerini içeren değişkendir.

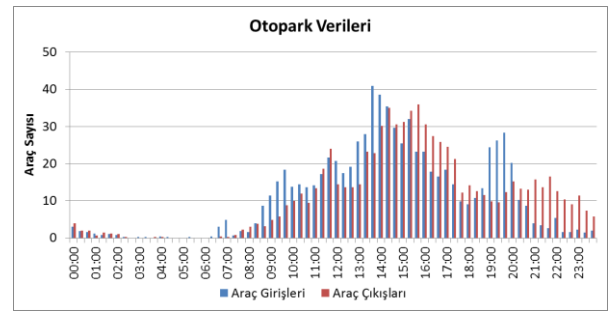
Bundan sonra, her değişken için sırasıyla yer değiştirme işlemi yapılmakta ve E hata değerinde en çok düşme sağlayan değişim uygulamaya geçirilmektedir. Böylece, sırasıyla her değişken için farklı örnekleme değerlerinin sıralaması değiştirilerek en uygun çözüm bulunmaktadır.

En son olarak, dönüşüm işlemi geri alınarak doğru sıralanmış değerleri içeren S matrisi aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$S_{ij} = R'_{ij} \sigma_j + \mu_j \quad (7)$$

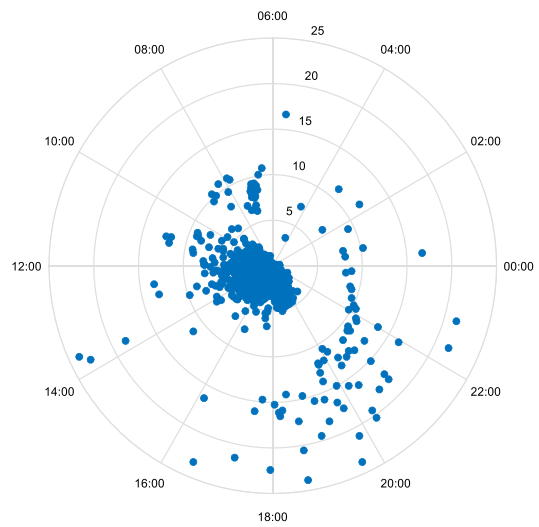
3. Olasılıksal Benzetim Yaklaşımı

Elektrikli araçların ve dolayısıyla elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye etkilerinin incelenmesi için öncelikle elektrikli araç yükünün belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada elektrikli araçların yükünün belirlenmesi adına Kocaeli ili içerisindeki gerçek bir otoparka ait araç giriş-çıkış verileri baz alınmıştır. Bahsedilen otoparka ait araç giriş-çıkış verileri aşağıda grafik halinde gösterilmiştir.



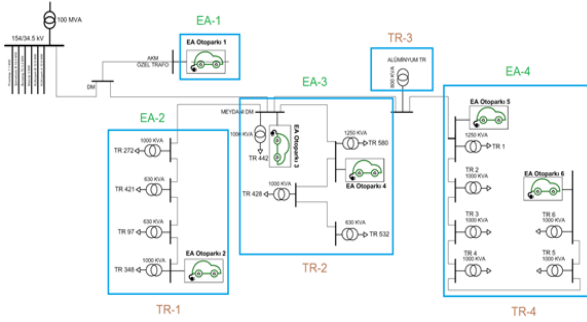
Şekil 4. Otopark verilerinin 24 saatlik kesiti için araç giriş-çıkış verileri

Elektrikli araç yükünün modellenmesi için otoparktaki araç sayısı kadar gelen araçların bataryalarındaki şarj durumu (SoC) ve kalış süreleri de önemlidir. Elektrikli araçların şarj durumlarının rastlantısal olduğu ve şarjı %100'e ulaştığında şarj işleminin durduğu kabul edilmiştir. Şekil 5'te Matlab programı ile otoparka giren araçların giriş saatleri açısıl olarak ve otoparkta kalış süreleri de dakika cinsinden yarıçap olarak verilmiştir.



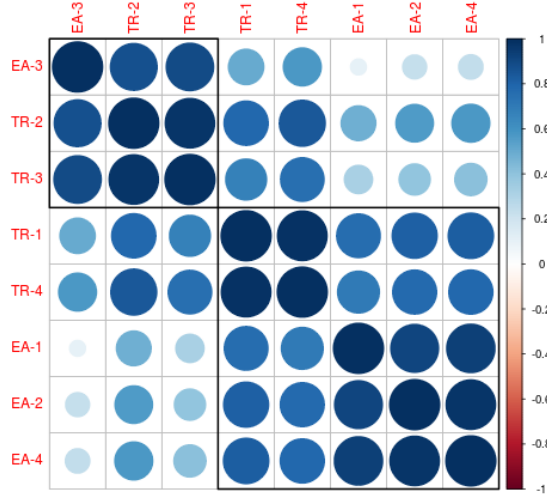
Şekil 5. Otoparka giren araçların giriş saatleri ve otoparkta kalış süreleri

Elektrikli araçların batarya kapasitelerinin 16 kWh olduğu [3] ve şarj istasyonlarının 4 kW gücünde olduğu kabul edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilecek değerlerin gerçeği yansıtmaları için çalışılacak şebeke modelinin de doğru olarak modellenmesi gerekmektedir. Şebeke analizleri için her bir yük tek tek modellenebileceği gibi yüklerin kendi arasında gruplandırılabilir. Olasılıksal yöntemlerin de yardımıyla analiz sayısı azaltılarak yüksek doğrulukta sonuçlar alınabilmektedir. Şebekedeki 15 adet transformator yük grubunun olasılıksal dağılımla modellenebilmesi için trafoların geçmişe dönük verilerinden elde edilmiş olan günlük yük profilleri kullanılmıştır. Korelasyon hesaplarında hata oranlarını düşük seviye tutmak için mevcut dağıtım şebekesinde aynı bölgede aynı kullanıcı karakteristiğine sahip bölgelere göre transformatörler coğrafik olarak gruplandırılmıştır. Gruplandırma 4 adet transformator grubu (TR1, TR2, TR3,, TR4), 4 adet elektrik araç otopark grubu (EA-1, EA-2, EA-3, EA-4) olmak üzere gerçekleştirilmiştir.

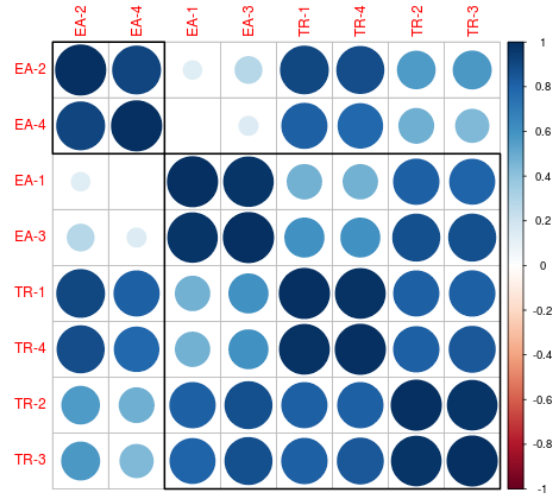


Şekil 6. Fiderin tek hat görüntüsü ve analiz modeli üzerinde oluşturulan gruplar

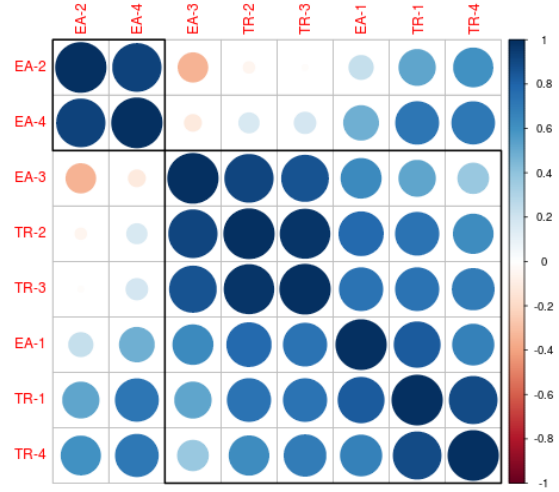
Gruplamalar sonucunda oluşturulan grupların birbirleri ile arasındaki korelasyon ilişkisi de incelenmiştir. Şekil 7..10'da gösterilmiştir. Şekil 7..10'un oluşturulmasında istatistiksel R programlama dilinden faydalanılmıştır. [15]



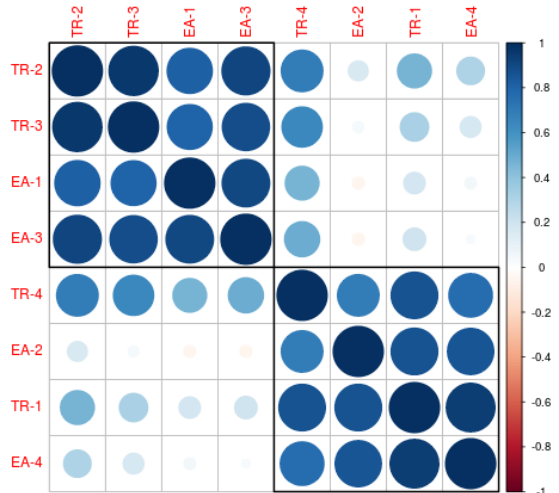
Şekil 7. Yük grupları arasındaki korelasyon değerleri (ocak ayı içerisinde hafta içi bir güne ait verilere göre)



Şekil 8. Yük grupları arasındaki korelasyon değerleri (ocak ayı içerisinde hafta sonu bir güne ait verilere göre)



Şekil 9. Yük grupları arasındaki korelasyon değerleri (temmuz ayı içerisinde hafta içi bir güne ait verilere göre)



Şekil 10. Yük grupları arasındaki korelasyon değerleri (temmuz ayı içerisinde hafta sonu bir güne ait verilere göre)

Şekil 7..10'da hem mevcut hem de elektrikli araç şarj istasyonu yük gruplarının birbirleri arasındaki korelasyon değerleri görülmektedir. Grafiklerin çiziminde R ortamında çalışan "corrplot" paketi kullanılmıştır. [16]

4. Sonuçlar ve Sonraki Çalışmalar

Bu çalışmada olasılıksal yaklaşımlar ile yerel bir dağıtım şebekesinin geçmiş yıllara ait yüklenme verileri ve şablon olarak kullanılan gerçek bir otopark için araç giriş ve çıkış istatistikleri kullanılarak olasılıksal bir modelleme yapılabileceği gösterilmiştir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının etkilerinin doğru şekilde değerlendirilebilmesi için çok sayıda farklı senaryonun incelenmesi ve elde edilecek sonuçların karşılaştırılması gerekmektedir. Model üzerindeki yüklerin gruplandırılarak çok sayıda senaryo ile yüksek doğrulukta sonuçlar alabilmek için olasılıksal yaklaşımlardan faydalanılması doğru olacaktır. Gelecek çalışmalarda mevcut yüklerin ve elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin uygun korelasyon değerlerini sağlayacak şekilde eşleştirilmesi ve tekrar sıralanması ile elde edilecek senaryolar üzerinden elektrikli araç şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki etkileri incelenecektir.

5. Kaynaklar

- [1] Farmer, C., Hines, P., Dowds J. "Modeling the Impact of Increasing PHEV Loads on the Distribution Infrastructure.", *43rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Ocak 2010, pp. 1-10.
- [2] Tesla Motors - Premium Electric Vehicles 2016 [Online]. Available: <http://www.teslamotors.com>
- [3] Nissan LEAF Electric Car 2016 [Online]. Available: <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/>
- [4] Chevrolet Volt Electric Car 2016 [Online]. Available: <http://www.chevrolet.com/volt-electric-car.html>
- [5] Toyota Prius Electric Car 2016 [Online]. Available: <http://www.toyota.com/upcoming-vehicles/prius-prime/>
- [6] New York ISO, "Alternate Route: Electrifying The Transportation Sector.", New York Independent System Operator, New York, 2009.
- [7] Clement K., Haesen E., Driesen J. "Stochastic Analysis of The Impact of Plug-In Hybrid Electric Vehicles on the Distribution Grid." *Electricity Distribution - Part 1, 2009. CIRED 2009. 20th International Conference and Exhibition on*, Haziran 2009, pp. 1-4.
- [8] Hadley SW, "Impact of Plug-In Hybrid Vehicles on the Electric Grid." ORNL/TM-2006/554. TN: Oak Ridge National Laboratory, Ekim 2006.
- [9] Judd S., Overbye T. "An Evaluation of PHEV Contributions to Power System Disturbances and Economics" *40th North American Power Symposium*, Eylül 2008, pp. 1-8.
- [10] Gomez J. C., Morcos M. M., "Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems." *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, p. 975 – 981 Temmuz 2003.
- [11] Shao S., Pipattanasomporn M., Rahman S. "Challenges of PHEV Penetration to the Residential Distribution Network", *IEEE Power & Energy Society General Meeting*, pp. 1-8, Temmuz 2009.
- [12] Putrus G. A., Suwanapingkarl P., Johnston D., Bentley E. C., Narayana M. "Impact of Electric Vehicles on Power Distribution Networks." *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, pp. 827 – 831, Eylül 2009.

- [13] P. Papadopoulos, S. Skarvelis-Kazakos, I. Grau, L.M. Cipcigan, N. Jenkins, "Electric Vehicles Impact on British Distribution Networks." *IET Electrical Systems in Transportation*, Vol 2, No 3, p. 91-102, 2011.
- [14] Huntington D.E., Lyrintzis C.S., "Improvements to and Limitations of Latin Hypercube Sampling", *Probabilistic Engineering Mechanics*, p. 245-253 Ekim 1998.
- [15] R Core Team, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Viyana, Avusturya, 2016
- [16] T. Wei, V. Simko, *R package 'corrplot': Visualization of a correlation matrix*. 2016.

6. Teşekkür

115E411 no'lu "Araç Şarj İstasyonlarının Dağıtım Şebekesine Entegrasyonu ile Meydana Gelen Olumsuzlukların Belirlenmesi" projesi kapsamında sağladığı desteklerden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'a teşekkürlerimizi sunarız.