



Assessment of the impact of electric vehicle charge station loads on reliability indices

Doruk Güneş^{1*}, İbrahim Gürsu Tekdemir¹, Mehlika Şengül Karaarslan², Bora Alboyacı¹

¹Kocaeli University, Faculty of Engineering, Electrical Engineering Department, Kocaeli, 41380, Turkey

²Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Electrical and Electronics Department, Kocaeli, 41285, Turkey

Highlights:

- Analysing the impact of charge station load on reliability indices
- Probabilistic modelling
- Analysis on real distribution network model

Keywords:

- Electric vehicles
- Impact of vehicle charge station on network
- Power system reliability

Article Info:

Received: 03.02.2017

Accepted: 02.06.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416408

Acknowledgement:

Authors gratefully acknowledge TUBITAK for their support (project 115E411)

Correspondence:

Author: Doruk Güneş

e-mail:

doruk.gunes@genetek.com.tr

phone: +90 538 341 3758

Graphical/Tabular Abstract

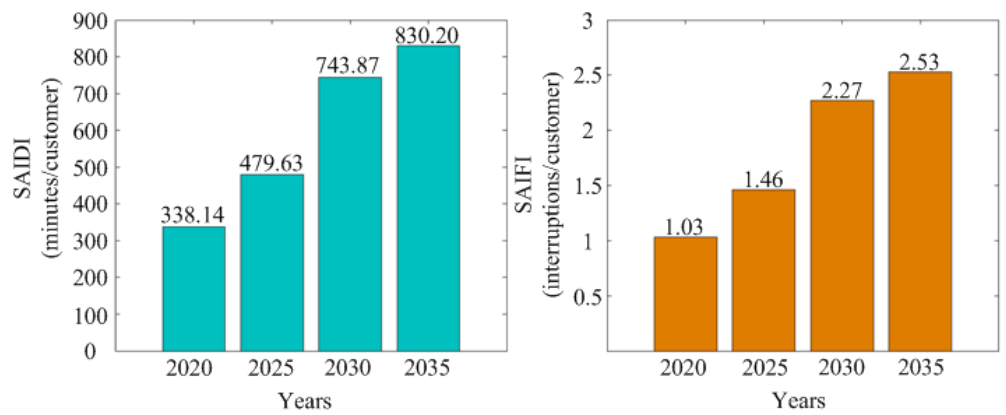


Figure A. Estimated changes in SAIDI and SAIFI indices for the investigated years

Purpose: Rapid increase in the number of electric vehicles and charging station loads challenges the adequacy and reliability of distribution networks. In order to plan and operate network properly, operators should have future projections includes electric vehicle charging station loads.

Theory and Methods:

Probabilistic modelling approach used in this study includes usage of the Probability Density Function (PDF) of Weibull distribution, Latin Hypercube Sampling (LHS) method, correlation between the loads and generation of optimum scenarios by applying re-ordering algorithm (ROA) in the context of suitable correlation between loads.

Results:

As a result of this study, it is seen that electric vehicle technology, which is expected to replace traditional fossil fuel-based vehicles, will become a major burden on distribution networks in particular in the near future, and may seriously increase operational risks. In this study, the effects of the electric vehicles and charging station loads on the reliability indices in the distribution network were assessed with probabilistic approach for upcoming years considering the loads of the electric vehicles and the charging station would increase rapidly in the world. Reliability.

Conclusion:

With the increase in the number of electric vehicles, it is seen that the calculated SAIDI and SAIFI values have increased and that the index value increased about 2.5 times in 20 years forward vision. This indicates that the planning work and future projections should not ignore electric vehicle loads.



Elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin güvenilirlik indisleri üzerine etkilerinin incelenmesi

Doruk Güneş^{1*}, İbrahim Gürsu Tekdemir¹, Mehlika Şengül Karaarslan², Bora Alboyacı¹

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, 41380, Türkiye

²Kocaeli Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, Kocaeli, 41285, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Şarj istasyonu yüklerinin güvenilirlik indislerine etkilerinin incelenmesi
- Olasılıksal modelleme
- Gerçek dağıtım şebekesi modeli üzerinde gerçekleştirilen analizler

Makale Bilgileri

Geliş: 03.02.2017

Kabul: 02.06.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416408

Anahtar Kelimeler:

Elektrikli araçlar,
araç şarj istasyonlarının
şebekeye etkisi,
güç sistemlerinde
güvenilirlik

ÖZET

Dünya üzerinde artan nüfus ve gelişen teknoloji ile sınırlı miktarda bulunan fosil yakıtlara bağımlı geleneksel ulaşım araçlarının yerini elektrikli araçlar almaktadır. Hızla artan elektrikli araç sayısı ve buna bağlı olarak artan elektrikli araç şarj istasyonu yükleri özellikle dağıtım şebekelerinin yeterliliğini ve güvenilirliğini tehdit etmektedir. Elektrikli araç şarj istasyonlarının saatlik veya mevsimsel bazda talep güçlerini tam olarak kestirmek mümkün olmadığı için bu çalışmada, mevcut yüklerin geçmiş yıllara ait yüklenme verileri göz önüne alınarak olası bir gelecek projeksiyonu oluşturulabileceği gösterilmiş ve oluşturulan bu gelecek projeksiyonları için elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesinin güvenilirlik indislerine (SAIDI, SAIFI) olan etkileri incelenmiştir. Kullanılan veriler yerel bir dağıtım şebekesinin istatistik verileri ile bir fiderinden alınan ölçüm değerlerine dayandırılmıştır. Bu çalışma içerisinde kullanılan olası modelleme yaklaşımı; Weibull dağılımına ait Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun (OYF) kullanımını, Latin Hiperküp Örnekleme (LHÖ) yöntemini ve yükler arasındaki korelasyon değerlerinin hesaplanarak Tekrar Sıralama Algoritması (TSA) ile optimum senaryonun uygun korelasyon ilişkisi dahilinde tekrar düzenlenmesini içermektedir. Belirtilen yöntemler kullanılarak gelecek yıllara yönelik senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolar kullanılarak elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekelerinin güvenilirlik indislerine olan etkileri olası modelleme yöntemlerinden faydalanılarak gerçek bir dağıtım sisteminde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar çalışma içerisinde paylaşılmıştır.

Assessment of the impact of electric vehicle charge station loads on reliability indices

H I G H L I G H T S

- Analysing the impact of charge station load on reliability indices
- Probabilistic modelling
- Analyses on real distribution network model

Article Info

Received: 03.02.2017

Accepted: 02.06.2017

DOI:

10.17341/gazimmfd.416408

Keywords:

Electric vehicles,
impact of vehicle charge
station on network,
power system reliability,

ABSTRACT

With increasing population and developing technology in the world, electric vehicles are taking the place of traditional transportation vehicles dependent on limited fossil fuels. Rapid increase in the number of electric vehicles and charging station loads challenges the adequacy and reliability of distribution networks. Since it is not possible to estimate demanding power of electric vehicle charging stations on an hourly or seasonal basis, it has been shown in this study that probabilistic future projections can be made taking into account the measurements of the past years and effects of electric vehicle charging stations on the distribution network's reliability indices (SAIDI, SAIFI) are investigated for these future projections. Topology of distribution system and measurement data used is based on a local distribution network's statistics and measurements. Probabilistic modelling approach used in this study includes usage of the Probability Density Function (PDF) of Weibull distribution, Latin Hypercube Sampling (LHS) method, correlation between the loads and generation of optimum scenarios by applying re-ordering algorithm (ROA) in the context of suitable correlation between loads.

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: doruk.gunes@genetek.com.tr / Tel: +90 538 341 3758

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sınırlı fosil yakıt kaynakları, çevresel kirlilik ve küresel ısınma gibi problemler [1] ile elektrikli araçların, geleneksel fosil yakıt kullanan araçlar ile karşılaştırıldığında öne çıkan çevre ve doğa dostu tutumu [2] teknolojiyi yönlendirerek ulaşım alanında elektrikli araç teknolojilerini öne çıkarmıştır. Elektrikli araç teknolojileri arasında öne çıkan hibrit elektrikli araç (HEA) ve tam elektrikli araç (TEA) modelleri günümüzde hali hazırda otomobil üreticileri tarafından üretilmektedir [3, 4]. Literatürde yapılmış araştırmalarda 2030 yılına kadar elektrikli araçların pazar payının %25 - 30 oranına yükseleceği öngörülmektedir. [5, 6]. Elektrikli araçların şarj işlemleri için kullanılan elektrikli araç şarj istasyonlarının güçleri 1 - 2 kW'tan 240 kW'a kadar çıkabilmektedir [5, 7].

Literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda ağırlıklı şarj yönetimi ve pik azaltma (peak-shaving) yöntemleri üzerinde durulduğu görülmüştür. Şarj koordinasyonu ile yük profilindeki piklerin azaltılması ve gerilim profilinin düzenlenmesi [8]'de incelenmiştir. Elektrikli araçların bataryaları kullanılarak şebekenin desteklenmesi ve yük profilindeki piklerin azaltılması [9]'da ele alınmıştır. [10]'da ise gerçek bir şebeke ve trafik ağı üzerinde pik azaltma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çok sayıda elektrikli aracın şarj olması sırasında ortaya çıkacak büyük elektrikli yük ve bu yükün lineer olmayan yapısı göz önüne alındığında özellikle orta gerilim dağıtım şebekelerinin güvenilirlik yönünden büyük zorluklarla karşılaşacağı görülmektedir [11]. Dolayısıyla elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin şebekeye etkileri incelenirken şebeke için bir değerlendirme kriteri olan güvenilirlik indislerinin de göz önünde bulundurulmasına ihtiyaç vardır. [12, 13]'te elektrikli araç yüklerinin güvenilirlik indislerine etkisi incelenmiş ve güvenilirlik indislerinin olasılıksal dağılım fonksiyonu elde edilmiştir.

Elektrikli araç yüklerinin etkileri değerlendirilirken elektrikli araçların geleneksel taşıtlar gibi her an park edilebilir karakteristikleri ve şarja başlama anındaki şarj durumlarının (SOC) tamamen rastlantısal olduğu genellikle gözden kaçmaktadır [11]. Elektrikli araçların şarj edilme olasılığı ile şarj-deşarj süreçleri ve farklı kontrol teknikleri ile zamana bağlı değerlendirmeler [14-16]'da Monte Carlo metodu ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve güvenilirlik yönünden incelenmiştir.

Elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye etkilerinin doğru şekilde incelenebilmesi ve etkilerinin incelenebilmesi için elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin öngörülebilir olması gerekmektedir. Bu çalışmada olasılıksal yaklaşımlar ile yerel bir dağıtım şebekesine ait veriler kullanılarak gerçek şebeke modellenmiş ve geçmiş yıllara ait yüklenme verileri ile şablon olarak kullanılan gerçek bir otoparka ait araç giriş ve çıkış istatistikleri kullanılarak araçların şarj süreci için olasılıksal bir modelleme çalışması yapılmıştır. Her bir dağıtım transformatorü için üretilen çok sayıda olasılıksal

yüklenme senaryosu, korelasyon ilişkisi gözetilerek tekrar sıralanmış ve gerçeğe en uygun senaryolara indirgenmiştir. Böylece senaryo sayısı ve analiz süresi azaltılmıştır. Olasılıksal modelleme çalışmaları ile elde edilen veri setleri kullanılarak elektrikli araç şarj istasyonlarının 5, 10, 15 ve 20 yıllık süreçlerde dağıtım şebekesinin güvenilirlik indisleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2. ELE ALINAN SİSTEM (STUDIED SYSTEM)

Çalışmada Bursa bölgesine ait dağıtım sisteminde yer alan Merinos Fideri'ne ait gerçek ölçüm verileri kullanılmıştır. Merinos Transformator Merkezi (TM)'den beslenen Merinos Fideri'nde toplam 6960 abone, 14 dağıtım transformatorü üzerinden enerjilendirilmektedir. Bölge konut bölgesi olduğu için 240 mm² ve 95 mm² yer altı kabloları ile beslenmektedir. Sistemin topolojisi Şekil 1'de gösterilmektedir.

Sisteme eklenecek şarj istasyonlarının tüketim bölgelerine göre etkilerini belirlemek için ele alınan sistem yük gruplarına ayrılmıştır. Sisteme eklenecek elektrikli araç şarj istasyonu yükleri ve gruplandırılmış yük bölgeleri Şekil 2'deki tek hat şeması üzerinde gösterilmiştir. Şekil 2'de gösterilen EA-1 bölgesi bir alışveriş merkezinin otoparkı, EA-4 olarak gruplandırılan bölge toplu konut bölgesi ve EA-2 ile EA-3 olarak gruplandırılan bölgeler ise şehir merkezi olarak konut ve iş yerlerini beslemektedir. Ayrıca EA-2 ve EA-3 bölgeleri içerisinde de küçük çaplı açık otoparklar mevcuttur.

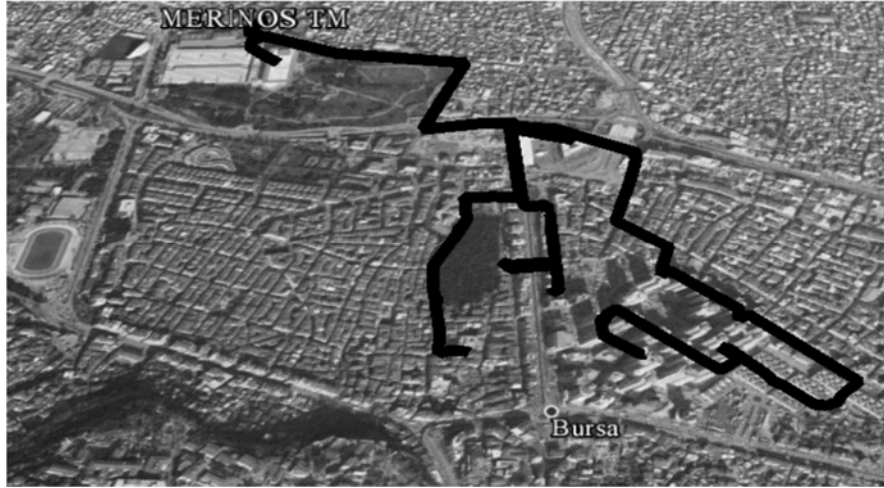
3. TRANSFORMATÖR VE ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ GÜNLÜK YÜK EĞRİLERİNİN OLUŞTURULMASI (CREATING DAILY LOAD CURVES OF TRANSFORMERS AND ELECTRIC VEHICLE CHARGE STATIONS)

Çalışmanın detaylandırılması ve her türlü çalışma durumunu kapsayabilmesi için yüklenme durumlarına ait senaryoların oluşturulması gerekmektedir. Bu amaçla, çalışmada olasılıksal modeller kullanılmıştır.

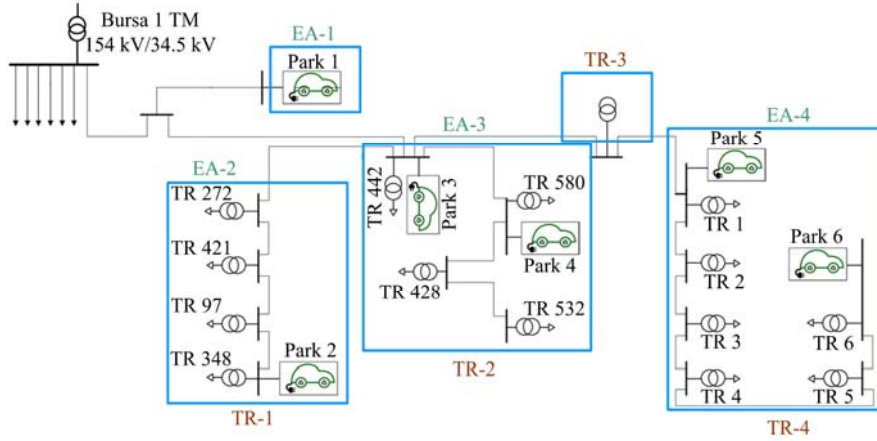
Olasılıksal modelleme için, olasılık yoğunluk fonksiyonları (OYF) kullanılacak ve istatistiksel değişimlerin arasındaki ilişki korelasyon katsayıları olarak hesaplanacaktır. Aynı ayrı olasılık dağılımları ve birbirleri arasındaki korelasyon değerleri bilinen değişkenler için bir olasılıksal örnekleme yöntemi kullanılarak optimum sayıda yüklenme senaryosu üretilmiştir. Hem mevcut transformator yüklerinin hem de sisteme dahil edilmesi planlanan elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin olasılıksal olarak modellenmesinde Weibull Dağılımı kullanılmıştır.

Weibull Dağılımına ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonu Eş. 1'deki gibi ifade edilir.

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0, \\ 0 & , x < 0, \end{cases} \quad (1)$$



Şekil 1. İncelenen sistemin topolojisi (Topology of examined system)



Şekil 2. Gruplandırılmış yük bölgeleri (Load zones as groups)

Burada;

- X : Rastsal değişken,
- K : Weibull fonksiyonuna ait şekil parametresi,
- λ : Weibull fonksiyonuna ait ölçü parametresidir.

Weibull dağılımı ile modellenmesi yapılacak değişkenlerin her biri için bu iki parametrenin hesaplanması yeterli olacaktır. $k=1$, $\lambda=5$ parametrelerine sahip Weibull Dağılımı'na uyan bir değişkene ilişkin OYF Şekil 3'te gösterildiği gibidir.

Olasılıksal modelleme yapılırken farklı rastsal değişkenlerin arasındaki istatistiksel ilişkinin de bilinmesi önemlidir. Bu ilişkinin ifade edilmesinde sıklıkla kullanılan bir indeks korelasyon katsayısı olmaktadır. Herhangi iki değişken arasındaki korelasyon katsayısı Eş. 2 yardımıyla gibi hesaplanabilir.

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E((X-\mu_X)(Y-\mu_Y))}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (2)$$

Burada; X ve Y, herhangi iki değişken olmak üzere;

- Cov : X ve Y arasındaki kovaryans,
- σ : Standart sapma,
- E : Beklenen değeri göstermektedir.

Korelasyon katsayısının değeri -1 ile +1 arasında değişen değerler almaktadır. Korelasyon değerinin mutlak değerce 1'e yakın olduğu durumlar iki değişken arasında kuvvetli bir istatistiksel ilişki bulunduğuna işaret etmektedir. Değerin işareti negatif ise bu ilişki ters orantılı (biri artarken diğeri azalır), pozitif ise doğru orantılı olduğunu gösterir (biri artarken diğeri de artar). Değerin sıfıra yakın olduğu durumlar ise değişkenlerin arasındaki istatistiksel ilişkinin zayıf olduğunu gösterir. Eğer bu değer sıfır ise söz konusu değişkenler arasında doğrusal bir ilişki yoktur.

Elde edilen OYF'ler ve hesaplanan korelasyon değerleri, istenen sayıda olasılıksal örnekleme, yani senaryo üretmek için kullanılmaktadır. Böylece elde edilecek örneklemelerin işaret ettiği istatistiksel çıkarımlar sistemin bütününe ilişkin

gerçekçi yorumlamalar yapmayı sağlamaktadır. Bu çalışmada Latin Hiperküp Örnekleme (LHÖ) yöntemi kullanılarak örneklemler elde edilmiş, [17]'de açıklanan tekrar sıralama algoritması (TSA) kullanılarak da örneklenmiş değerler arasında bulunması gereken korelasyon yapısı kurulmuştur. LHÖ yönteminde, daha önce hesaplanmış bulunan OYF'nin yanında aynı dağılım için birikimli dağılım fonksiyonu (BDF) da hesaplanmaktadır. N sayıda örnek (yani senaryo) üretilmek istendiği durumda, öncelikle N adet tekdüze dağılmış rastsal değişken (u) üretilmekte, ardından bu değişkenler Eş. 3 ile gösterildiği şekilde hesaplanır;

$$x = BDF_x^{-1}(u) \quad (3)$$

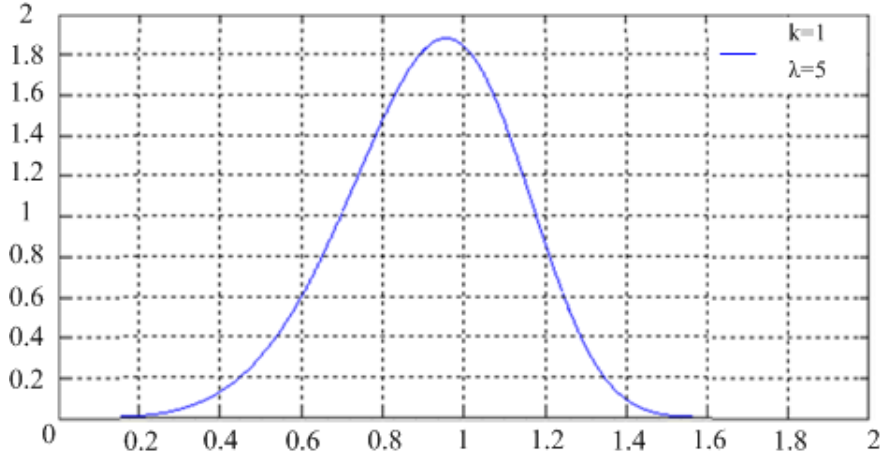
Eş. 3 kullanılarak istenen dağılıma sahip x değişkenleri haline getirilmektedir. Bundan sonra, OYF eğrisinin altında örnek sayısı N kadar eşit alan oluşturulmaktadır. Bu durum eşit olasılıklar anlamına gelir. Rastgele seçilecek bir alanın içinden rastgele örnek değerleri elde edilerek tüm OYF

eğrisinin optimum kullanılması sağlanmış olmaktadır. BDF ve OYF eğrileri ile LHÖ yöntemine ilişkin örnekleme stratejisi Şekil 4'te gösterilmektedir. Şekil 4'te gösterildiği gibi LHÖ algoritması kullanılarak yapılan bir örnekleme işleminde, BDF'nin tersinde 5 eşit parçaya ayrılan eksen, OYF'nin altında kalan alanı da 5 eşit parçaya ayırmaktadır. Böylece, eşit olasılıklı alanlar üretilmektedir. Yukarıda bahsedilen modelleme aşamaları kullanılarak transformatör günlük yük eğrilerine ait senaryolar oluşturularak, elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme ilave edildiği durumda bu yük eğrileri güncellenmektedir. Ayrıntılar aşağıdaki bölümde anlatılmıştır.

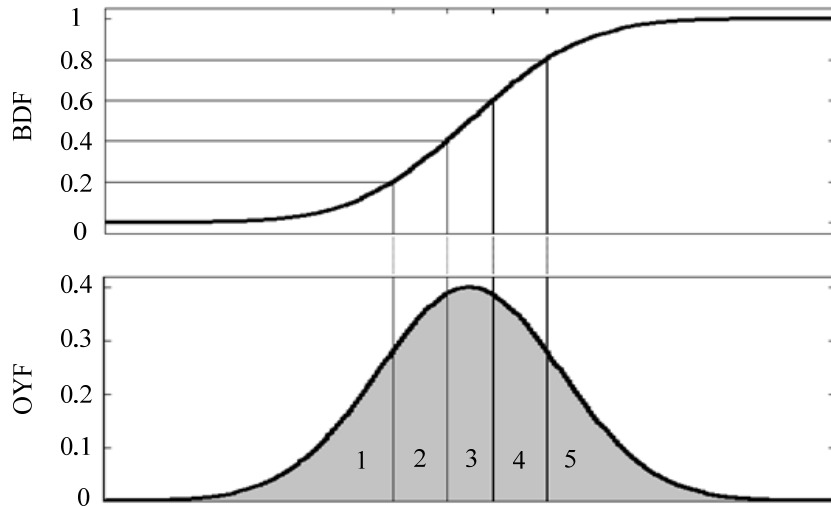
3.1. Transformatör Yük Eğrilerinin ve Olasılıksal Modellerinin Oluşturulması

(Generation of Load Curves and Probabilistic Models of Transformers)

Sistemin geçmiş yıllara ait gerçek yüklenme değerleri kullanılarak, daha önceki bölümde açıklanan olasılıksal modellerin uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bölgeye ait



Şekil 3. Weibull Dağılımına uyan bir rastlantısal değişken için çizdirilen olasılık yoğunluk fonksiyonu
(Probability density function plotted for a Weibull distributed random variable)



Şekil 4. LHÖ algoritması kullanılarak yapılan bir örnekleme işleminin eksen üzerinde gösterimi
(Representation of a sampling by using Latin Hypercube Sampling)

gerçek yüklenme eğrileri zamana bağlı olarak alınmıştır. Bu bölgedeki TR532'nin dört farklı durum (yaz/kış - hafta içi/haftasonu) için ortalama yüklenme eğrileri Şekil 5'te gösterilmiştir. Bölgeye ait farklı/çeşitli yüklenme senaryolarının oluşturulabilmesi için gerçek yüklenme eğrilerinden faydalanılarak, Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) elde edilmiştir. Weibull parametreleri olan şekil ve ölçü parametreler Tablo 1'deki dört farklı durum (yaz/kış, hafta içi/haftasonu) için hesaplanmıştır. Tablo 1'de görülen Weibull parametreleri kullanılarak Weibull OYF eğrileri Şekil 6'daki gibi oluşturulabilir. Tablo 1'deki Weibull parametreleri kullanılarak transformatörler için oluşturulan dört yük grubuna ait dağılım eğrileri Şekil 6'dakine benzer biçimde elde edilmiştir. Elde edilecek olasılıksal modellerin daha gerçekçi olması açısından, eldeki yük gruplarının olasılıksal ilişkileri, birlikte bulunma değerleri - yani korelasyonları - açısından da değerlendirilmiştir.

3.2. Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Yük Eğrilerinin ve Olasılıksal Modellerinin Oluşturulması

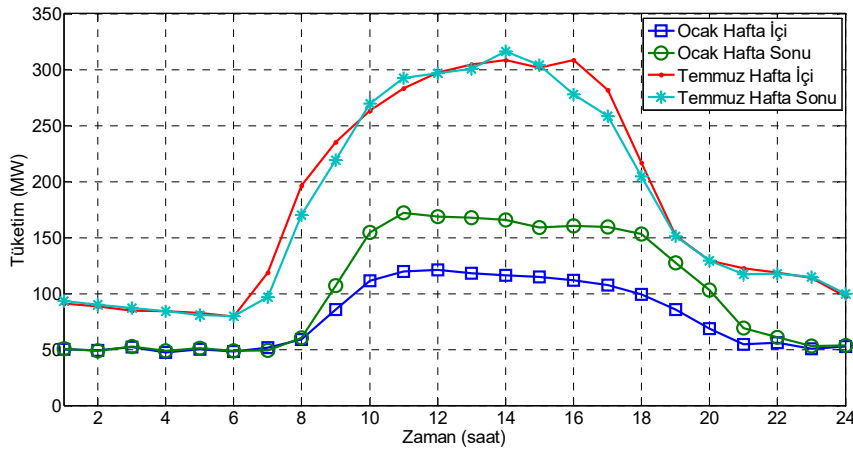
(Generation of Load Curves and Probabilistic Models of Electric Vehicle Charging Stations)

Bu çalışmada, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine etkisini değerlendirebilmek adına gerçek bir otoparka ait araç giriş çıkış verileri kullanılmıştır. Bu

çalışmada, elektrikli araçların batarya kapasitelerinin 16 kWh olduğu [4] ve şarj istasyonlarının 4 kW gücünde olduğu kabul edilmiştir. Her tüketim bölgesine ait araç şarj istasyonu yük eğrileri yaz/kış, hafta içi/haftasonu için oluşturulmuş ve grup haline getirilen tüketim bölgelerinin karakteristiklerine göre zaman ekseninde öteleme yapılmıştır. Bu noktadan sonra, ele alınan bölgeye ait farklı yüklenme senaryolarının oluşturulabilmesi için ilk olarak eldeki yüklenme eğrilerinden faydalanılarak, Weibull Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) elde edilmiş; bu kapsamda Weibull parametreleri olan şekil ve ölçü parametreleri dört farklı durum (yaz/kış, hafta içi/haftasonu) için Tablo 2'deki gibi hesaplanmıştır. Tablo 2'deki Weibull parametreleri kullanılarak her bir elektrikli araç şarj istasyonu için oluşturulan dört yük grubuna ait dağılım eğrileri Şekil 7'dekine benzer biçimde elde edilmiştir.

4. YÜKLENME SENARYOLARININ LHÖ VE TSA YÖNTEMLERİ KULLANILARAK ÜRETİLMESİ (GENERATION OF THE LOADING SCENARIOS BY USING LHS AND RSA METHODS)

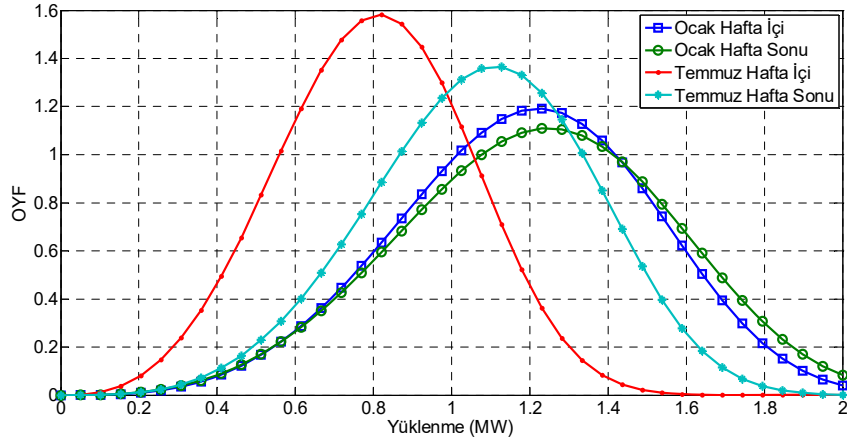
Bölüm 3'te bahsedilen transformatör ve elektrikli araç yük eğrilerinin verileri kullanılarak yüklenme senaryoları oluşturulmuştur. Senaryoların elde edilebilmesi için yük gruplarına ait transformatörlerin Weibull dağılım eğrileri LHÖ yöntemi ile örneklenmiştir.



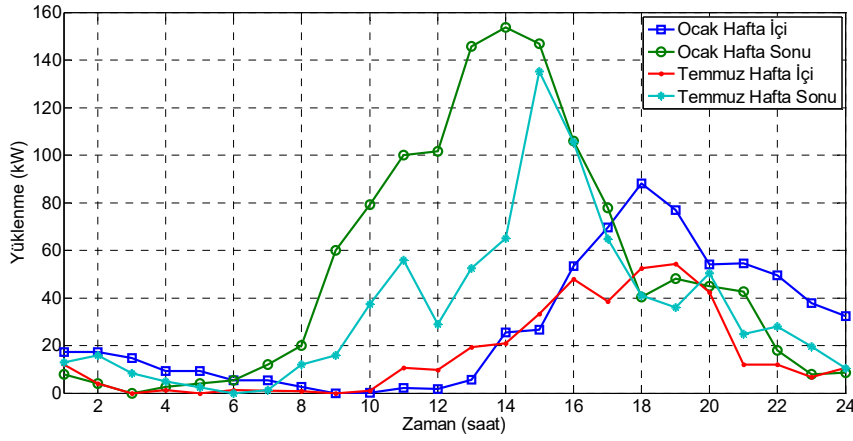
Şekil 5. TR532'nin dört farklı durum için ortalama günlük yüklenme eğrileri (Average daily loading curves of the TR532 transformer for four cases)

Tablo 1. Transformatör yük gruplarına ait Weibull fonksiyonu parametreleri (Weibull function parameters of 1. transformer load groups)

		TR Yük Grubu 1	TR Yük Grubu 2	TR Yük Grubu 3	TR Yük Grubu 4
Ocak Hafta İçi	k	1,309	1,610	0,312	2,148
Ocak Hafta Sonu	λ	4,104	5,588	2,618	4,659
Temmuz Hafta İçi	k	1,346	1,493	0,263	2,147
Temmuz Hafta Sonu	λ	3,919	4,853	2,439	4,570
Ocak Hafta İçi	k	0,889	1,087	0,227	0,911
Ocak Hafta Sonu	λ	3,670	3,824	3,458	8,205
Temmuz Hafta İçi	k	1,183	1,458	0,235	2,370
Temmuz Hafta Sonu	λ	4,266	3,236	3,423	4,261



Şekil 6. TR1, 1. transformör yük grubuna ait dört farklı Weibull OYF eğrisi
(Four different Weibull PDF of TR1, 1. transformer load group)



Şekil 7. EA-1'in dört farklı durum için ortalama günlük yüklenme eğrileri (Average daily loading curves of EA-1 for four cases)

Tablo 2. EA 1'e ait Weibull fonksiyonu parametreleri (Weibull function parameters of EA-1)

		EA Yük Grubu 1	EA Yük Grubu 2	EA Yük Grubu 3	EA Yük Grubu 4
Ocak	k	25,908	37,020	114,337	94,749
Hafta İçi	λ	0,785	1,044	0,993	0,924
Ocak	k	52,663	36,435	90,887	92,483
Hafta Sonu	λ	0,952	0,990	1,002	1,031
Temmuz	k	17,956	28,472	110,839	82,558
Hafta İçi	λ	0,915	1,448	0,970	1,376
Temmuz	k	37,449	20,951	98,082	65,045
Hafta Sonu	λ	1,107	0,994	0,888	0,982

LHÖ yöntemiyle elde edilen uygun olasılıksal dağılıma sahip örnekleme değerlerinin çok sayıda olması durumunda, örneklemeler bir araya getirilerek veri grupları üretilebilir. Fakat bu veri gruplarının birlikte bulunma istatistikleri yani aralarındaki korelasyon değerleri göz önüne alınmazsa o zaman sağlıklı veri grupları üretilememiş olacaktır. Bu nedenle, elektriksel yük grupları arasındaki korelasyon değerleri belirlenmelidir. Ardından, elde edilen örnekler, hesaplanan korelasyon değerlerini elde edecek şekilde tekrar sıralanmalıdır. Bu amaçla [17]'de açıklanan tekrar sıralama

algoritması (TSA) kullanılmıştır. İki değişken arasındaki korelasyon değeri Eş. 4 yardımıyla bulunabilir.

$$K_{X,Y} = \frac{E((X-\mu_X)(Y-\mu_Y))}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (4)$$

Burada E, ilgili rastsal değişkenin beklenen değerini göstermektedir. Bundan sonra, öncelikle R matrisi Eş. 5 ile gösterildiği gibi üretilmektedir.

$$R_{i,j} = \frac{(x_{j,i} - \mu_j)}{\sigma_j} \quad (5)$$

Burada μ_j , j. değişkenin ortalama değeri ve σ_j de bu değişken için standart sapma değeridir. Bundan sonra bir T vektörü Eş. 6 ile gösterildiği gibi üretilmektedir.

$$T_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_{ij} R_{im} \quad 1 \leq j \leq m-1 \quad (6)$$

Böylece, korelasyon değerlerindeki işlem sonucunun hata değeri Eş. 7 ile elde edilir.

$$E = \sum_{j=1}^{m-1} (T_j - T'_{jm})^2 \quad (7)$$

Burada T' , istenen korelasyon değerlerini içeren değişkendir.

Her değişken için sırasıyla yer değiştirme işlemi yapılarak 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 Eş. 8 ile elde edilmektedir.

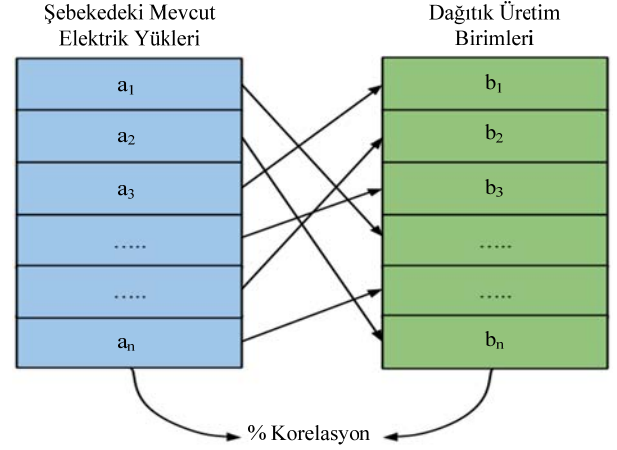
$$S_{ij} = R'_{ij} \sigma_j + \mu_j \quad (8)$$

Yukarıda bahsedilen modelleme aşamaları kullanılarak transformatör günlük yük eğrilerine ait senaryolar oluşturulmuş ve elektrikli araç şarj istasyonlarının sisteme ilave edildiği durumda bu yük eğrileri güncellenmiştir. Şekil 8'de mevcut transformatör ve elektrikli araç şarj istasyonu yüklerine ait örneklemelerin uygun korelasyon değerlerini sağlayacak şekilde eşleştirilmesi ve tekrar sıralanması için kullanılan prensip şeması gösterilmiştir.

Yukarıda anlatılan yöntemin uygulanması ile elde edilen yüklenme senaryolarına örnek olarak TR1 yük grubu olarak adlandırılan bölge, toplu konut bölgesi olup yük grubuna ait 20 senaryodan oluşan yüklenme değerleri 2015 yılı için Tablo 3'teki gibi belirlenmiştir.

TR1 yük grubunun 2015 yılına ait hesaplanan yük değerleri arasında maksimum yüklenme değerlerinin görüldüğü 3 numaralı senaryo Tablo 3 içerisinde gösterilmiştir. Üretilen senaryo grupları ileriye dönük tahminler ile desteklenerek gelecek yıllara ilişkin çıkarımlarda bulunmak anlamlı olacaktır. Bu bağlamda hem mevcut transformatör yüklerinin hem de elektrikli araç şarj istasyonu yüklerinin ileriye dönük tahmini gerçekleştirilmiştir. Mevcut transformatör yüklerine ait ileriye dönük yük tahmini için incelenen bölgenin son 5 yıl için yüklenme verileri kullanılmış ve elde edilen grafik fonksiyonuna uygun gelişme katsayıları belirlenmiştir. Hesaplanan katsayılar kullanılarak 2020, 2025, 2030 ve 2035 yılları için

tahminlerde bulunulmuştur. Elektrikli araç şarj istasyonlarının aynı yıllar için yük tahmininde bulunulurken ülkemizde henüz aktif olarak elektrikli araçlar kullanılmadığından 2020 yılından itibaren araçların sisteme dahil olacağı düşünülmüş ve araç sayısının bölgede sabit bir artış eğiliminde olacağı kabulü yapılmıştır.



Şekil 8. Mevcut transformatör ve elektrikli araç şarj istasyonu yüklerine ait örneklemelerin uygun korelasyon değerlerini sağlayacak şekilde eşleştirilmesi (Matching load samples of transformer and electric car charging stations so as provide proper correlation values between them)

Tablo 3. Farklı senaryolar için TR1 yük grubunun 2015 yılına ait hesaplanan yük değerleri (Calculated load values for TR1 load group for 2015 scenario)

Senaryo Numarası	TR1 Yük Grubu Yük Değerleri (kW)			
	TR428	TR442	TR532	TR580
1	294,2	293,3	106,9	563,4
2	251,3	250,5	91,3	481,2
3	484,9	483,3	176,2	928,7
4	301,5	300,5	109,6	577,4
5	391,8	390,6	142,4	750,4
6	325,5	324,5	118,3	623,5
7	405,9	404,6	147,5	777,5
8	373,2	372,1	135,6	714,7
9	431,3	429,9	156,7	826,1
10	414,6	413,3	150,7	794,1
11	360,7	359,5	131,1	690,8
12	383,7	382,5	139,4	734,8
13	251,6	250,8	91,4	482,0
14	316,8	315,8	115,1	606,8
15	341,5	340,4	124,1	654,1
16	209,5	208,9	76,1	401,3
17	367,5	366,4	133,6	703,9
18	282,6	281,7	102,7	541,3
19	443,7	442,3	161,2	849,7
20	346,6	345,5	126,1	663,8

Tablo 4'te yıllara göre kabul edilen elektrikli araç sayısı ve Merinos fiderinin 2015 yılı verisine göre fiderden beslenen

abone sayısı verilmiştir. Kabul edilen bu araç sayılarına göre elektrikli araç şarj istasyonlarının yük eğrileri güncellenmiştir.

Tablo 4 Merinos fiderinin beslediği bölgedeki elektrikli araç sayısının artışı
(Increase of the number of electric vehicles in the area of Merinos feeder)

İncelenen Yıllar					
Elektrikli Araç Sayısı	2015	2020	2025	2030	2035
	0	500	1500	3500	5000

2015 Yılında Merinos Fiderine Bağlı Abone Sayısı: 6960

Bahsedilen yöntem ile elde edilen olasılıksal modelin gelecek yıllar içerisinde de aynı kalacağı kabul edilmiştir. Bu nedenle OYF ve korelasyon hesapları tekrarlanmamıştır. Fakat gözlenecek en önemli değişimin transformatör ve elektrikli araç yüklerinin miktarında yaşanacağı varsayımı yapılarak, ele alınan yıllara yönelik yeni senaryolar üretilmiştir. Daha önce örnek olarak verilen TR1 yük grubunun içerisinde bulunan elektrikli araç şarj istasyonundan faydalanan araç sayısının 2035 yılı için 606 olduğu varsayılarak bu bölge için yeni yüklenme senaryoları aşağıdaki tablodaki gibi üretilmiştir.

Tablo 5. Farklı senaryolar için TR1 yük grubunun 2035 yılına ait hesaplanan yük değerleri
(Load values of TR1 group calculated for various scenarios projected to be in 2035)

Senaryo Numarası	TR1 Yük Grubu Yük Değerleri (kW)				
	TR428	TR442	TR532	TR580	EA-2
1	439,9	109,9	159,9	39,9	842,5
2	375,7	93,9	136,5	34,1	719,6
3	725,1	181,2	263,5	65,8	1388,6
4	450,8	112,7	163,8	40,9	863,4
5	585,9	146,4	212,9	53,2	1122,1
6	486,8	121,7	176,9	44,2	932,3
7	607,1	151,7	220,6	55,1	1162,5
8	558,1	139,5	202,8	50,7	1068,6
9	644,8	161,2	234,4	58,6	1234,9
10	620,1	155,1	225,3	56,3	1187,3
11	539,3	134,8	196,1	49,1	1032,9
12	573,7	143,4	208,5	52,1	1098,8
13	376,3	94,1	136,7	34,2	720,6
14	473,8	118,4	172,2	43,1	907,3
15	510,7	127,6	185,6	46,4	978,1
16	313,3	78,34	113,9	28,4	600,2
17	549,6	137,4	199,7	49,9	1052,6
18	422,6	105,6	153,6	38,4	809,4
19	663,4	165,8	241,1	60,3	1270,6
20	518,3	129,5	188,4	47,1	992,6

TR1 yük grubunun 2035 yılına ait hesaplanan yük değerleri arasında maksimum yüklenme değerlerinin görüldüğü 3 numaralı senaryo Tablo 5 içerisinde gösterilmiştir. Elde edilen yüklenme senaryoları kullanılarak dağıtım sistemleri

için önemli olan güvenilirlik indisleri Bölüm 5'te elde edilmiştir.

4. GÜVENİLİRLİK İNDİSLERİNİN GELECEĞE YÖNELİK OLARAK BELİRLENMESİ

(DETERMINATION OF RELIABILITY INDICES INTENDED FOR FUTURE PROJECTIONS)

Güvenilirlik indislerini IEEE Std. 1366-2012, "Guide for Electric Distribution Reliability Indices." içerisinde tanımlamaktadır [18]. Güvenilirlik indisleri şebekenin güç kalitesi hakkında doğrudan bir bilgi sağlamasa da risk değerlendirmelerinde kullanılan önemli parametrelerdir. Güvenilirlik indislerinin hesaplanan değerleri incelenerek fırtına, deprem vb. doğal afetlerin veya değişen yüklenme koşullarının şebeke üzerinde oluşturduğu riskin yorumlanabilmesi sağlanmaktadır. Bu sebeple dağıtım şirketlerinin güvenilirlik indislerinin değerlerine yönelik hedefleri olsa da, indislerin hesaplanan değerinden çok, farklı koşullar altında bu değerlerin değişimi önemlidir. Bu indislerin başlıca bir kaçı aşağıdaki şekilde açıklanabilmektedir.

Sistem Ortalama Kesinti Süresi Endeksi (SAIDI); Şebekede yaşanan kesintiler için en sık kullanılan performans ölçütlerinden biri olan SAIDI, toplam kesinti süresi üzerinden bir kullanıcının yaşadığı ortalama kesinti süresini vermektedir. Eş. 9 ile gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$SAIDI = \sum \frac{r_i N_i}{N_t} \quad (9)$$

r_i : Arızanın temizlenme süresi (kullanıcının tekrar enerjilendirilmesine kadar geçen süre)
 N_i : Arızadan etkilenen kullanıcı sayısı
 N_t : Toplam kullanıcı sayısı

Sistem Ortalama Kesinti Sıklığı Endeksi (SAIFI); SAIFI değeri sistemde incelenen süre boyunca bir kullanıcının yaşadığı kesinti sayısını vermektedir. Eş. 10 ile gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$SAIFI = \sum \frac{N_i}{N_t} \quad (10)$$

N_i : Arızadan etkilenen kullanıcı sayısı
 N_t : Toplam kullanıcı sayısı

Ülkemizde, Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği'nde de güvenilirlik indisleri benzer şekilde hesaplanmaktadır.

Hizmet kalitesi yönetmeliği içerisinde Ortalama Kesinti Süresi Endeksi (OKSÜRE) Eş. 11 ile gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$OKSÜRE = \frac{\sum_i^n U_i t_i}{U_{top}} \quad (11)$$

n : Bir takvim yılında meydana gelen tüm uzun kesintilerin sayısı,
 t_i : i inci kesintinin süresini,
 U_i : i inci kesintiden etkilenen kullanıcı sayısını,
 U_{top} : Her bir takvim yılı başında dağıtım şirketi tarafından hizmet verilen toplam kullanıcı sayısını ifade eder.

Ortalama Kesinti Sıklığı Endeksi (OKSIK) Eş. 12 ile gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$OKSIK = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{U_{top}} \quad (12)$$

n : Bir takvim yılında meydana gelen tüm uzun kesintilerin sayısı,
 U_i : i inci kesintiden etkilenen kullanıcı sayısını,
 U_{top} : Her bir takvim yılı başında dağıtım şirketi tarafından hizmet verilen toplam kullanıcı sayısını ifade etmektedir.

Ele alınan her yıl için öncelikle sistemde elektrikli araçların olmadığı durumdaki transformatörlerin yüklenme senaryoları ele alınıp, bu senaryolardaki en yüksek yüklenme değeri tespit edilmiştir. Bu değer, çalışma içerisinde incelenen yıl için ele alınan transformatörün sınır değeri olarak kullanılmıştır. Ardından aynı transformatöre öngörülen elektrikli araç yükü ilave edilip oluşturulan yeni senaryolarda sınır değer aşılıp aşılmadığı kontrol edilmiştir. Belirlenen sınır değer aşıldığı her senaryo, ilgili transformatör için kritik senaryo olarak belirlenmiştir. Belirlenen kritik senaryolar ilgili transformatör için potansiyel arıza durumu olarak ele alınmıştır. Bu yüklenme değerleri hesaplanırken, transformatör sayısının aynı kaldığı ancak transformatörlere bağlı abonelerin arttığı kabul edilmiştir. Bu artış belirlenen yük artış katsayıları ile sağlanmıştır. Yük artış katsayıları belirlenirken Bursa ilinin geçmiş 5 yıla ait aylık elektrik enerjisi talebi verileri kullanılmıştır. Gelecek projeksiyonu içerisinde incelenen yıllara ait yük artış katsayıları Tablo 6'da gösterilmiştir.

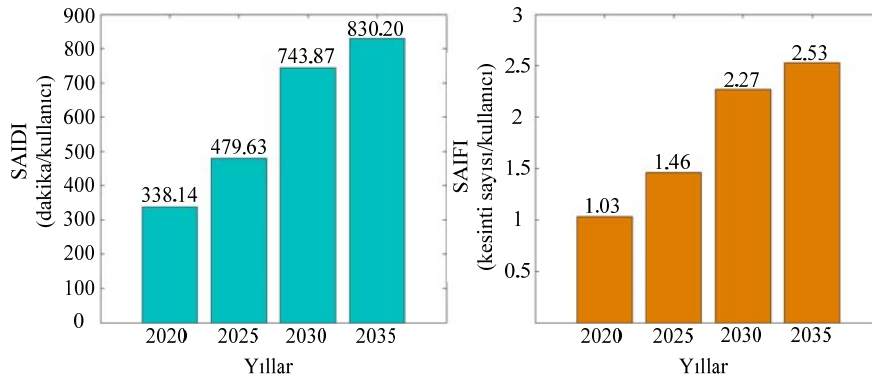
Tablo 6. İncelenen yıllar için yük artış katsayıları
(Load increase factors for studied years)

	Yıl				
	2015	2020	2025	2030	2035
Katsayı	1	1,1185	1,2440	1,3696	1,4952

Bu çalışma içerisinde incelenen güvenlik indislerinden biri olan SAIDI değeri için bölgeye ait kesintilerin süresinin de bilinmesi gerektiği için Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş. (UEDAŞ) 2015 yılına ait kesinti kayıtları incelenmiştir. SAIDI ve SAIFI değerlerinin hesaplanabilmesi için gereken bilgiler UEDAŞ tarafından sağlanmıştır. Elde edilen veriler Eş.9 ve Eş.10 numaralı eşitlikler içerisinde kullanılarak elektrikli araç yüklerinin sisteme ilave olması durumunda incelenen güvenilirlik indisleri değerleri belirlenmiştir.

Elektrik dağıtım şebekelerinde güvenilirlik indisleri, farklı yük bölgelerinin deneymediği çok sayıda durum veya oluşturulan senaryolar için hesaplanmaktadır. Bu sayede ele alınan olay veya senaryonun şebekeye etkileri değerlendirilebilmektedir. Buna örnek olarak Tablo 7 ve Tablo 8'de Avustralya'da dağıtım şebekesi işletmecisi olan Energex'in 2014-2015 yılı performans raporundan [19] alınan değerler paylaşılmıştır. Paylaşılan değerler işletme durumunda elde edilen değerler ile hesaplanan sonuçlar olarak ve iletim şebekesi kaynaklı kesintiler, 1 dakikanın altında süren kesintiler, can ve mal güvenliği amaçlı kesintiler gibi özel durumların çıkarılıp elde edilen değerler ile hesaplanan sonuçlar olmak üzere iki durumu göstermektedir.

Tablo 7 ve Tablo 8'den görüldüğü gibi Energex şirketinin hesaplanan güvenilirlik indislerine ait değerleri farklı yük tiplerini besleyen fiderler için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca bu hesaplamalar özel durumları bir gruba toplayıp, özel durum olarak belirlenen olayların etkilerinin dahil olduğu ve olmadığı senaryo şeklinde hesaplanmıştır. Bu durum, benzer şekilde hesaplamaların tek bir olaya yoğunlaşarak belirli bir olayın güvenilirlik indisleri üzerindeki etkilerinin görülebilmesi için de gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.



Şekil 9. SAIDI ve SAIFI indislerinin incelenen yıllar için öngörülen değişimi
(Estimated changes in SAIDI and SAIFI indices for the investigated years)

Tablo 7. EnergeX şirketinin SAIDI performansı (SAIDI Performance of EnergeX company)

	Yıl			
	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15
Özel durumların ihmalı ile sonuçlar (dakika/kullanıcı)				
Şehir merkezi fiderleri	9,17	4,58	4,06	3,69
Mesken fiderleri	67,16	403,90	94,94	190,51
Kırsal fiderler	215,62	1033	232,87	263,35
Özel durumlar dahil iken sonuçlar (dakika/kullanıcı)				
Şehir merkezi fiderleri	8,16	1,41	3,56	3,69
Mesken fiderleri	66,65	71,92	74,86	90,81
Kırsal fiderler	201,81	156,94	173,39	178,59

Tablo 8. EnergeX şirketinin SAIFI performansı (SAIFI Performance of EnergeX company)

	Yıl			
	2011-12	2012-13	2013-14	2014-15
Özel durumların ihmalı ile sonuçlar (kesinti sayısı/kullanıcı)				
Şehir merkezi fiderleri	0,04	0,01	0,18	0,15
Mesken fiderleri	0,74	1,19	0,91	0,95
Kırsal fiderler	1,80	2,31	1,81	1,86
Özel durumlar dahil iken sonuçlar (kesinti sayısı/kullanıcı)				
Şehir merkezi fiderleri	0,04	0,01	0,05	0,15
Mesken fiderleri	0,74	0,79	0,80	0,78
Kırsal fiderler	1,73	1,53	1,55	1,54

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Dünyada ve ülkemizde, elektrik enerjisine olan talebin hızla artması ve gelişen teknoloji ile birlikte, elektrik güç sistemlerine bağlı yük karakteristiklerinde ciddi değişimler meydana gelmektedir [20]. Bu çalışmada Bursa bölgesine ait dağıtım sisteminde yer alan Merinos Fideri'ne ait gerçek ölçüm verileri kullanılarak elektrikli araçların şebekeye etkilerine ilişkin çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Şebeke verileri kullanılarak sistemin sayısal modeli PSS Sincal v12 programında oluşturulmuş ve çeşitli parametreler hesaplanmıştır.

Öncelikle sistemin elektrikli araç yokken yük akışı analizleri gerçekleştirilmiştir. Ardından, elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesine etkisini değerlendirebilmek adına gerçek bir otoparka ait araç giriş çıkış verileri kullanılarak elektrikli araç yük modeli türetilmiş ve yeni durum için analizler tekrarlanmıştır. Elektrikli araç şarj istasyonlarına ait yüklenme eğrileri oluşturulmuştur. Sistemdeki tüketim bölgeleri farklı karakterlere sahip olduğu için bu yüklenme eğrileri bölgelerin karakteristiklerine göre zaman ekseninde ötelenmiştir. Transformatörlerin, elektrikli araç şarj istasyonlarının olduğu ve olmadığı durumlara ait farklılıkların diğer klasik yaklaşımlara göre (Monte Carlo örnekleme yöntemi gibi) daha az sayıda senaryo ile oluşturulabilmesi için Weibull dağılımına ait OYF'lerden, LHÖ yönteminden yararlanılmış, TSA kullanılarak şebekenin sayısal modeli için istenen özellikte senaryolar üretilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar ileriye dönük olması sebebiyle elde edilen yüklenme senaryoları belirlenen yük artış katsayıları ile çarpılmış ve ele alınan her yıl (2020,

2025, 2030, 2035) için analizlerin gerçekleştirildiği sayısal model güncellenmiştir. Üretilen senaryolar ile gerçekleştirilen analizler sonucunda ele alınan yıllara ait güvenilirlik indislerinden olan SAIDI ve SAIFI değerleri hesaplanmıştır.

Elektrikli araç sayısının sıfır alındığı 2015 yılı ile maksimum sayı olan 5000'e ulaştığı 2035 yıllarında hesaplanan SAIDI ve SAIFI değerleri karşılaştırıldığında indis değerinin yaklaşık 2.5 kat arttığı görülmektedir. Bu da gerçekleştirilen planlama çalışmaları ve gelecek projeksiyonlarında elektrikli araç yüklerinin göz ardı edilmemesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu çalışma sonucunda geleneksel fosil yakıt kullanan araçların yerini alması beklenen elektrikli araç teknolojilerinin yakın gelecekte özellikle dağıtım şebekeleri üzerinde büyük bir yük oluşturacağı ve işletme risklerini ciddi derecede arttırabileceği görülmüştür. Tablo 7'de gösterildiği gibi elektrik şebekelerinde güvenilirlik indisleri hesaplanırken şebeke, bölgenin yük karakteristiğine uygun alanlara bölünmekte ve indislerin sayısal değerleri her bir bölge için, sistemin farklı arıza veya işletme durumlarının etkilerini görmek amacıyla çok sayıda senaryo için hesaplanmaktadır. Bu çalışmada da elektrikli araçların ve şarj istasyonu yüklerinin gelecek yıllarda tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de hızla artacağı düşüncesinden yola çıkılarak olasılıksal yöntemler ile elektrikli araç şarj istasyonlarının dağıtım şebekesinin güvenilirlik indislerine etkisi değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın; ülkemiz için hem şebeke işletmesindeki çeşitli risklerin daha detaylı şekilde hesaplanabilmesi ve değerlendirilebilmesi, hem de elektrikli araç şarj istasyonlarının potansiyel etkilerinin incelenbilmesi açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

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.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Song Y., Yang X., Lu Z., Integration of plug-in hybrid and electric vehicles: Experience from China, Power & Energy Society General Meeting, Minneapolis-A.B.D., 1-6, 25-29 Temmuz, 2010.
2. Hu Z., Song Y., Xu Z., Luo Z., Zhan K., Jia L., Impacts and utilization of electric vehicles integration into power systems, Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao/Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering, 32 (4), 1-10, 2012.
3. Tesla Motors. Premium electric vehicles. <https://www.tesla.com>. Erişim tarihi Ocak 1, 2017
4. Nissan. Nissan Leaf electric car. <https://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf>. Erişim tarihi Ocak 1, 2017
5. New York ISO. Alternate route: Electrifying the transportation sector. http://s3.amazonaws.com/zanran_storage/www.nyiso.com/ContentPages/19214547.pdf. Yayın tarihi Haziran, 2009. Erişim tarihi Ocak 1, 2017.
6. Clement K., Haesen E., Driesen J., Stochastic Analysis of the Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on the Distribution Grid, CIRED 2009 - The 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Prag-Çek Cumhuriyeti, 1-4, 8-11 Haziran, 2009.
7. Judd S. L., Overbye T. J., An Evaluation of PHEV Contributions to Power System Disturbances and Economics, 40th North American Power Symposium, Calgary-Kanada, 1-8, 28-30 Eylül, 2008.
8. Leemput N., Geth F., Claessens B., Van Roy J., Ponnette R., Driesen J., A Case Study of Coordinated Electric Vehicle Charging for Peak Shaving on a Low Voltage Grid, 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), Berlin-Almanya, 1-7, 14-17 Ekim, 2012.
9. Alam M. J. E., Muttaqi K. M., Sutanto D., A controllable local peak-shaving strategy for effective utilization of pev battery capacity for distribution network support, IEEE Transactions on Industry Applications, 51 (3), 2030-2037, 2015.
10. Galus M.D., Wietor F., Andersson G., Incorporating Valley Filling and Peak Shaving in a Utility Function Based Management of an Electric Vehicle Aggregator, 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), Berlin-Almanya, 1-8, 14-17 Ekim, 2012.
11. Guanglin C., Yong L., Jiajia H., Ya C., Bo H., Bo L., Reliability Evaluation of Medium Voltage Distribution Network with Private Electric Vehicle, 2016 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), Pekin-Çin, 1-8, 16-20 Ekim, 2016.
12. Green II R.C., Wang L., Alam M., The Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Distribution Networks: A Review and Outlook, Power and Energy Society General Meeting, Minneapolis-ABD, 1-6, 25-29 Temmuz, 2010.
13. Wang Z., Yang R., Wang L., Tan J., Reliability Assessment of Integrated Residential Distribution and PHEV Systems Using Monte Carlo Simulation, IEEE Power & Energy Society General Meeting (PES), Vancouver-Kanada, 1-5, 21-25 Temmuz, 2013.
14. Tran-Quoc T., Le Pivert X., Sheli M., Beaud O., Stochastic Approach to Assess Impacts of Electric Vehicles on the Distribution Network, 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), Berlin-Almanya, 1-8, 14-17 Ekim, 2012.
15. Liu, W., Zhang M., Zeng B., Wu L., Zhang J., Analyzing the Impact of Electric Vehicle Charging on Distribution System Reliability, IEEE Innovative Smart Grid Technologies, Tianjin-Çin, 1-6, 21-24 Mayıs, 2012.
16. Green R.C., Wang L., Alam M., Evaluating the Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Composite Power System Reliability, North American Power Symposium, Boston-A.B.D., 1-7, 4-6 Ağustos, 2011.
17. Huntington D. E., Lyrantzis C. S., Improvements to and limitations of latin hypercube sampling, Probabilistic Engineering Mechanics, 13 (4), 245-253, 1998.
18. Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Std. 1366-2012, Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. <http://ieeexplore.ieee.org/document/6209381/>. Yayın tarihi Mayıs 31, 2012. Erişim tarihi Ocak 1, 2017.
19. Queensland Government Department of energy and water supply (DEWS), Performance against minimum service standards (MSS) by Energex and Ergon Energy for the 2014-2015 financial year. Yayın tarihi 2015. Erişim tarihi Ocak 1, 2017.
20. Sarıbulut L., Teke A., Latran M. B., Multi-functional static synchronous compensator for distribution systems, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (3), 727-736, 2016.