

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ YÜKLERİNİN RASLANTISAL BENZETİMİ VE
ALÇAK GERİLİM DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Önder POLAT

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ YÜKLERİNİN RASLANTISAL BENZETİMİ VE
ALÇAK GERİLİM DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Önder POLAT
(504121030)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömer GÜL

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504121030 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Önder POLAT**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ YÜKLERİNİN RASLANTISAL BENZETİMİ VE ALÇAK GERİLİM DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ömer GÜL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Aslan İNAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **25 Mayıs 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

2007 yılında lisans öğrencisi olarak başladığım İstanbul Teknik Üniversitesi'ndeki yolculuğumu çok değerli bilgi ve tecrübelerle zenginleştirerek yüksek mühendis ünvanıyla sonlandırmak üzere olduğum bugünlerde üzerimde emeği olan tüm hocalarıma teşekkür ederek başlamak istiyorum. Özellikle beni sürekli motive eden, çalışmanın daha iyi olması için zorlayan desteğiyle yanımda olan yüksek lisans danışman hocam Doç. Dr. Ömer Gül'e teşekkür ederim. Yazılım konusundaki derin bilgisi ve yeteneğiyle bana yardımcı olan 11 senelik çok değerli dostum Serhat Çağdaş'a, tezi düzenlememde mühendislik görüşü ve analitik zekasıyla katkı sağlayan doktora seviyesindeki araştırma görevlisi Handan NAK'a, dert ortağım, dava arkadaşım, can yoldaşım Mustafa Selim Sezgin'e, yardıma ihtiyaç duyduğumda benden desteğini hiç esirgememiş Seraser Gizem Dilişen'e, muzip hal ve tavırları, dobra kişiliğiyle beni güldürmeyi her zaman bilen Bekir Fincan'a, kendisi olmasa da varlığını daima yanımda hissettiğim Fatih Özveren'e ve bir sebebi olmadan Utku Engin'e teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Önder POLAT
(Elektrik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	2
1.1.1 Yük profili ve puant yük üzerindeki etkiler	2
1.1.2 Gerilim profili, düşümü ve dengesizliği üzerine etkiler	3
1.1.3 Harmonik bozulma.....	4
1.1.4 Yatırım maliyetleri	5
1.1.5 Şebeke ekipmanları üzerindeki etkiler	6
1.1.6 V2G uygulamaları.....	7
1.1.7 Olasılıksal yaklaşımlar	8
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ İSTASYONLARI	9
2.1 Elektrikli Araç Tipleri	9
2.2 Şarj İstasyonu Teknolojileri ve Standartları	10
2.2.1 SAE J1772.....	10
2.2.2 IEC 61851	11
2.2.3 CHAdeMO	12
2.2.4 Priz tipleri.....	13
2.3 Dünyadaki Elektrikli Araç Piyasası ve Gelişim Tahminleri	15
2.4 Türkiye’deki Mevcut Durum	17
2.4.1 Elektrikli araçlar.....	18
2.4.2 Şarj istasyonları.....	19
2.4.3 Mevzuat ve teşvikler	21
3. YÖNTEM VE MODELLEME	23
3.1 Şebeke Baz Modelinin Oluşturulması.....	23
3.2 Yük Akışı Analizi.....	24
3.3 EA Şarj Yüğü Profiline Oluşturulması	27
3.4 Monte Carlo Yöntemi.....	30
3.5 Monte Carlo Simülasyonu Akış Şeması.....	31
4. TEST SİSTEMİ VE ANALİZİ	33
4.1 Pilot Bölge Bilgileri	33
4.1.1 Alan ve nüfus bilgileri.....	33
4.1.2 Şebeke ekipmanlarının seçimi ve alınan veriler	34
4.1.3 Sürücü davranışları ve elektrikli araç bilgileri	39
4.2 Analiz Algoritmasının Oluşturulması	41
4.3 Analiz Sonuçları	43

4.3.1 Baz yük profili.....	44
4.3.2 %10 Elektrikli araç nüfuz seviyesi.....	45
4.3.3 %30 Elektrikli araç nüfuz seviyesi.....	48
4.3.4 %50 Elektrikli araç nüfuz seviyesi.....	50
4.4 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	53
5. SONUÇLAR	55
EKLER.....	57
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	69

KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
AG	: Alçak Gerilim
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DA	: Doğru Akım
EA	: Elektrikli Araç
EAŞE	: Elektrikli Araç Şarj Ekipmanı
ETP	: Enerji Teknolojileri Perspektifi
EPRI	: Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü (Electric Power Research Institute)
HEA	: Hibrit Elektrikli Araç
HMA	: Hibrit Motorlu Araç
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
İSPARK	: İstanbul Otopark İşletmeleri
KDV	: Katma Değer Vergisi
LVUR	: Hat Gerilimi Dengesizlik Oranı
NEMA	: Ulusal Elektrik Üreticileri Birliği (National Electric Manufacturers Association)
ODD	: Otomotiv Dağıtıcıları Derneği
OSOS	: Otomatik Sayaç Okuma Sistemi
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
PVUR	: Faz Gerilimi Dengesizlik Oranı
SAE	: Otomotiv Mühendisleri Derneği (Society of Automotive Engineers)
SEA	: Sade Elektrikli Araç
SOC	: Batarya Durumu (State of Charge)
TBS	: Transformatör Bilgi Sistemi
TEPCO	: Tokyo Elektrik Enerji Sistemi (Tokyo Electric Power Company)
V2G	: Araçtan Şebekeye (V2G)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : SAE J1772 elektriksel büyüklükler.	11
Çizelge 2.2 : IEC 61851 elektriksel büyüklükler.	12
Çizelge 2.3 : CHAdeMO elektriksel büyüklükler.	13
Çizelge 2.4 : Global HEA ve SEA satış tahminleri [yıllık, milyon] [34].	16
Çizelge 2.5 : Türkiye’deki güncel EA piyasasında araçlar.	19
Çizelge 2.6 : Şarj istasyonu dağılımı.	20
Çizelge 2.7 : Ülkelerdeki EA teşvikleri.	22
Çizelge 3.1 : Baz model parametreleri.	23
Çizelge 3.2 : Şarj yükü profilini oluşturmak için kullanılan veriler.	27
Çizelge 4.1 : Blok tipine göre daire sayıları.	35
Çizelge 4.2 : Daire sayısına göre eş zamanlılık katsayısı [49].	35
Çizelge 4.3 : Yeraltı kablo özellikleri.	37
Çizelge 4.4 : Deparların kablo kesitleri ve pozitif bileşen empedansları.	37
Çizelge 4.5 : Dağıtım transformatörünün plaka değerleri	37
Çizelge 4.6 : Yük profilleri.	38
Çizelge 4.7 : Araç modelinin teknik özellikleri.	41
Çizelge 4.8 : EA nüfuz seviyelerine göre analiz sonuçları.	53
Çizelge A.1 : Analiz sonuçları.	63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tip 1 şarj kablosu konektörü [30].	13
Şekil 2.2 : Tip 2 şarj kablosu konektörü [31].	14
Şekil 2.3 : GB şarj kablosu konektörü [32].	14
Şekil 2.4 : Kombo konektörü [33].	15
Şekil 2.5 : Araç tiplerine göre yıllık hafif ticari araç satışı [34].	16
Şekil 2.6 : Yıllık global SEA ve HEA satışları [34].	16
Şekil 2.7 : 2020 yılına kadar bölgelere göre SEA ve HEA satışları [34].	17
Şekil 2.8 : Ulusal SEA ve HEA satış hedefleri [34].	17
Şekil 3.1 : İleri – geri süpürme yöntemi.	26
Şekil 3.2 : Şarja başlama zamanı için rastlantısal hesaplama süreci.	29
Şekil 3.3 : Monte Carlo simülasyonu akış şeması.	32
Şekil 4.1 : Şebeke tek hat şeması.	34
Şekil 4.2 : Araçların eve dönüş zamanları.	39
Şekil 4.3 : Araçların günlük katettikleri ortalama mesafe dağılımı.	40
Şekil 4.4 : MATLAB yazılımı blok şeması.	41
Şekil 4.5 : Rastlantısal değişkenlerin olasılık yoğunluk fonksiyonları.	42
Şekil 4.6 : Örnek MATLAB kod parçası.	42
Şekil 4.7 : Baz yük profilinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	44
Şekil 4.8 : Tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.	45
Şekil 4.9 : TR-1 yük değerleri.	45
Şekil 4.10 : %10 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	45
Şekil 4.11 : %10 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.	46
Şekil 4.12 : Deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	46
Şekil 4.13 : %10 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.	47
Şekil 4.14 : %10 nüfuz seviyesinde farklı iterasyonlar için TR-1 yük değerleri.	47
Şekil 4.15 : %10 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.	47
Şekil 4.16 : %30 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	48
Şekil 4.17 : %30 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.	48
Şekil 4.18 : %30 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	49
Şekil 4.19 : %30 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.	49
Şekil 4.20 : %30 nüfuz seviyesinde farklı iterasyonlar için TR-1 yük değerleri.	49
Şekil 4.21 : %30 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.	50
Şekil 4.22 : %50 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	50
Şekil 4.23 : %50 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.	51
Şekil 4.24 : %50 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	51
Şekil 4.25 : %50 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.	52
Şekil 4.26 : %50 nüfuz seviyesinde farklı iterasyonlar için TR-1 yük değerleri.	52
Şekil 4.27 : %50 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.	52

Şekil A.1 : Baz yük profilinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.....	57
Şekil A.2 : Baz yük profilinde 50 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.	57
Şekil A.3 : Baz yük profilinde TR-1 yük değerleri.....	57
Şekil A.4 : %10 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları	58
Şekil A.5 : %10 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili ..	58
Şekil A.6 : %10 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	58
Şekil A.7 : %10 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.	59
Şekil A.8 : %10 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.	59
Şekil A.9 : %30 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları	59
Şekil A.10 : %30 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	60
Şekil A.11 : %30 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.	60
Şekil A.12 : %30 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.	60
Şekil A.13 : %50 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	61
Şekil A.14 : %50 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.	61
Şekil A.15 : %50 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.	61
Şekil A.16 : %50 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.	62
Şekil A.17 : %50 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.	62

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ YÜKLERİNİN RASLANTISAL BENZETİMİ VE ALÇAK GERİLİM DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİSİ

ÖZET

Yollarda seyreden araç sayısının her geçen gün biraz daha artması, karayolu taşımacılığının toplam enerji tüketimindeki payını artırmaktadır. Verimi düşük içten yanmalı fosil yakıtlı araçların egemen olduğu otomotiv endüstrisi; azalan dünya kaynakları, çevresel kaygılar ve ekonomik nedenlerden ötürü kabuk değiştirme eğilimine girmiştir. Otomotiv endüstrisinin geleceğiyle ilgili yayınlanan raporlara göre elektrikli araçların (EA) karayolu taşımacılığında öncü teknoloji olması beklenmektedir. Bazı ülkelerde EA'ların piyasaya nüfuz oranı ciddi sayılara ulaşmış hatta şarj istasyonu ağını büyük ölçüde tamamlayan ülkeler bile olmuştur. Türkiye de 2009 yılında Kyoto protokolünü imzalamış ve CO₂ emisyonunu düşürmek için bir takım eylem planları ve teşvikleri hayata geçirmiştir. Ancak ülkemizde satışı yapılan yaklaşık 450-500 adet EA ve devreye alınan 800 adet civarındaki şarj istasyonu sayısı, yapılan bu teşviklerin çok da yeterli olmadığını göstermiştir.

EA'ların yaygınlaşması sadece devlet politikalarına bağlı olmamakla beraber şarj istasyonu ağının genişlemesine, batarya teknolojilerinin gelişimine de bağlıdır. Şarj istasyonu standartlarının ve priz tiplerinin bölgeler arasında farklılık göstermesi araç üreticileri için maliyeti artırıp pazar imkanlarını sınırlayan, araç kullanıcıları için ise şarj istasyonu ağına erişebilirlik yüzdesini düşüren bir faktördür. Standartların ve priz tiplerinin tek tipleştirilmesi bu açıdan kritiktir. Araç kullanıcıları için bir diğer önemli nokta ise şarj süresidir. Konvansiyonel fosil yakıtlı bir aracın yakıt deposunu doldurması birkaç dakika sürerken EA'lar için bu süre şarj yöntemine göre 15 dk – 20 saat ya da daha uzun süreli olmak üzere değişkenlik göstermektedir. Dolayısıyla şarj istasyonlarının artması ve şarj süresinin kısaltılması EA'ların yaygınlaşmasında önemli bir eşiktir.

EA'ların kullanım oranlarının artması ve şebekenin çeşitli noktalarına şarj istasyonu bağlantılarının yapılmasıyla beraber şebekeye ek bir yük geleceği incelenmesi gereken önemli bir husustur. EA'lar hareketli yükler olduğundan dolayı; şebeke bağlantı noktaları, şarj yöntemleri farklı olabileceğinden şebekeden çektikleri güç seviyesi, batarya tüketimine ve katedilen mesafeye bağlı olarak şarj süreleri ve şebekeye bağlantı zamanları çokça değişkendir. Dolayısıyla EA'ların getireceği şarj yüklerinin şebekeye olan etkileri araştırılırken analizler sonuçlarını mümkün olduğunca gerçeğe yaklaştırmak için bu değişkenler rastlantısal süreçler içerisinde değerlendirilmelidir.

Tezin ilk kısmında genel bir giriş yapılmış ve konuyla ilgili literatürdeki çalışmalara yer verilmiştir. İkinci bölümde EA tiplerine ve şarj teknolojileri ilişkin genel bilgiler verilmiş, dünya genelindeki EA gelişim tahminleri ve teşviklere yer verilmiştir. Sonrasında EA ve şarj istasyonları Türkiye özelinde ele alınmış, bu kapsamda satışı yapılmış yaklaşık EA sayısı ile kurulan şarj istasyonlarının bölgelere göre dağılımı verilmiş, mevzuat ve teşviklere değinilmiştir. EA'ların şebekeye etkilerini incelemek üzere kullanılacak yöntem ve modelleme üçüncü bölümde verilmiştir. Çalışmanın

temelini oluşturan bu bölümde öncelikle şebeke baz modelini oluşturan parametrelerden bahsedilmiş, ileri – geri süpürme yöntemine dayanan yük akışı analizinin denklemleri ve akış şeması verilmiş, sürücü davranışları veri kümesindeki dağılımların kantil fonksiyonuna nasıl dönüştürüleceği anlatılmıştır. Ardından tüm deterministik verileri ve kantil fonksiyonunun çıktısı olan raslantısal değişkenleri içeren, bütün sürecin işletileceği Monte Carlo simülasyonunun genel yapısı ve akış şeması verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde EA’ların şebekeye etkisini incelemek üzere bir konut sitesi pilot bölge olarak seçilmiştir. Büyük ölçüde gerçek verilere dayanan bu örnek uygulamada EA’ların şebekeye olan etkisi gerilim profili, transformatörlerin yüklenmeleri, hat kayıpları ve gerilim dengesizliği ve EA eş zamanlılığı başlıkları altında incelenmiş, olasılıksal birtakım çıktılar elde edilmiş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Son bölümde ise çalışma zetlenmiş ve genel bir değerlendirmesi yapılmıştır.

STOCHASTIC MODELLING OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING LOAD AND ITS IMPACTS ON LOW VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORKS

SUMMARY

Share of road transportation in total energy consumption is growing with the increasing number of vehicles in operation every single day. The Automotive industry dominated by low efficient fossil fuel powered vehicles, has entered a new era due to decreasing stocks of natural resources, enviromental issues and economic reasons. Electric Vehicles (EV) are expected to be the leading technology in roadmap scenarios published for the future of automotive industry. In some countries, market penetration levels of EV has already reached high rates, even a few of them completed the entire charging station network.

Turkish government signed Kyoto protocol in 2009 and agreed to comply targets setted to reduce greenhouse gas emissions. After that several strategic action plans and incentives are conducted. However, 450-500 number of EV on roads and approximately 800 commissioned charging station number show us these incentives are not enough.

Growth rate of EV market peneration is not only dependant on government policies but also involved with the expansion of charging station network and developments in battery technology. Besides, different types of plugs and various charging station standarts increase production costs and limits market opportunities for vehicle manufacturers also lower accessibility of vehicle owners to charging station network. It is possible to say that standardization procedure is critical in this aspect. The other critical matter for vehicle owners is the charging time duration. As a conventional fossil fuel vehicle's tank is filled around a few minutes, similar process for EV's battery pack lasts 15 mins to 20 hours or more depending on the charging mode. Hence, shortening charging time duration and expanding charging station network will make EV a lot more preferable over conventional vehicles.

With the acceleration in EV sales and commissioning charging stations to different parts of grid will bring additional charging loads on total distribution load demand. This additional load demand must be taken into account and analyzed in detail.

EV charging load has distinctive characteristic because of its mobile nature. This characteristic contains some uncertain parameters that are grid connection points of EV, charging power according to charging method, battery consumption, charging time depending on daily commute distance and charging start - finish time. In order to reflect mobile nature of load and obtain more accurate results, a stochastic modelling technique, which includes these uncertain parameters of EV charging load can be used. Monte Carlo simulation is well suited for investigating impacts of EV charging load on distribution network because this method is able to calculate probability of events in deterministic systems with random inputs. There are two reasons of using Monte Carlo simulation in this study. First one is, its potential to determine quantity of uncertainties; second one is, number of samples to make a good estimation does not

depend on problem size so, it is dimension independent. Forward-Backward sweep method is chosen to calculate power flow of distribution network inside Monte Carlo algorithm. Considering radial structure of distribution network and its high R/X ratio, it's not possible to use conventional power flow techniques. Convergence to stopping criteria is satisfied relatively faster with this method comparing to others.

A residential pilot area is chosen to evaluate EV charging load impacts on distribution network using Monte Carlo simulation. In the first step, electrical infrastructure and number of vehicles data are attained with the consultation of authorized personnel working in residential site. Secondly, hourly averaged load profile values of MV/LV distribution transformer feeding residential site are collected from Electrical distribution company. After that, electrical equipments of residential site are reconfigured in accordance with Electricity Regulations. Driver behavior is modeled by guideline of Istanbul Municipality Transportation Master Plan (IUAP) report. In this report, probability density function of arrival times of vehicles are gathered hourly time basis. Also, daily average commute distance information is taken to calculate state of charge in battery.

After the preliminary work is done, a weekday in the winter season is chosen for the sake of evaluating impact of EV charging and three different scenarios are analyzed. These scenarios are based on different penetration levels of EV which are %10, %30 and %50. Voltage values at the end buses, transformer loading ratios are calculated as a result of analysis. Also depending on these parameters; voltage drop, voltage unbalance and transformer limit violations are evaluated based on Electricity Regulations in Turkey's electricity market. Obtained results show that increasing rates in penetration levels of EV does raise probabilities of voltage drop, voltage unbalance and transformer loading violations. These violations mostly occur in evening hours when base load profile values are high. Arrival times of EVs concentrated in evening hours is another critical reason for the limit violations. That brings additional charging loads to peak load demand in daily load profile. In the Base load profile analysis, occurrence probability of violations are %0 percent as expected. When %10 percent of drivers use EV in the residential area, distribution transformer has never reached its nominal power and voltage drop violation probability is uncritical. In %30 and %50 penetration level analysis show that cable sizes may not be adequate because voltage drop violations reached critical percentages especially in the evening times. Also, average transformer loads do exceed nominal power of transformer in %50 penetration level analysis. So, transformer capacity should be upgraded when half of conventional vehicles are replaced with EVs. However, considering the fact that %30 and %50 penetration EV levels are expected approximately in 30-40 years, equipments already used in distribution network will be renewed so this situation may not affect capacity increase cost.

Besides coincidence factor of EV is calculated for different penetration levels of EV. This information can be beneficial to determine number of charging stations and socket numbers. Total line losses of distribution network increase parallel with EV penetration level. When magnitude of currents flowing in conductors rises, thermal losses will increase by square of this current magnitude. Total line losses will bring extra cost for Electrical distribution companies.

Electrical distribution companies can find some sort of solutions to minimize EV charging load impacts also lowering line losses and network reinforcement needs. As it can be indicated from results, violations mostly occurred in the evening times

however, transformer loading rates are low in the morning times. Therefore applying real time pricing for electricity usage may shift EV charging loads and shave the peaks while filling the sags in load profile. As another solution, intelligent charging strategies can lead drivers to charging stations feeding from relatively lower loading rated transformers with the communication channels. As a last solution, controlled charging techniques can be considered. In this technique, control authorization in charging process of EV is given to aggregator by the condition that driver is ensured to have fully charged battery till next day morning so charging procedure is stopped in peak times and continues at the rest of time.

1. GİRİŞ

İlk Elektrikli Araç (EA) 1888 yılında Andreas Flocken [1] tarafından icat edilmiştir. Otomotiv endüstrisinin başlangıç döneminde icat edilmiş olan EA'lar, petrol fiyatlarının azalması ve elektrikli starterin bulunmasıyla popülaritesini yitirmiş ve yerini fosil yakıtla çalışan içten yanmalı motorlu araçlara bırakmıştır. Fosil yakıtlı araçlar günümüzde ulaşım sektörünün çok büyük bir kısmını kapsamaktadır. Ancak fosil yakıt rezervlerinin günden güne azalması, yakıt fiyatlarındaki belirsizlikler, CO₂ emisyonu ve enerji kaynaklarında dışa bağımlılık sorunları elektrikli araç (EA) teknolojilerinin gelişmesinde başlıca motivasyon kaynaklarıdır. Önümüzdeki 30 sene içerisinde risk, emisyon, uygunluk, sürdürülebilirlik, verimlilik ve güvenilirlik gibi faktörler düşünüldüğünde elektrik enerjisinin, ulaşımın ana taşıyıcısı olması beklenmektedir [2].

EA pazar paylarının artması temel olarak; şarj istasyonu alt yapısının ve batarya teknolojilerinin gelişmesine, şarj sürelerinin kısalmasına ve çeşitli devlet teşvikleriyle araç fiyatlarının düşmesine bağlıdır.

Yollarda seyreden EA sayısının artması çeşitli avantajlar sağlasa da şebekeden çekilen talep gücünün büyümesi sistem işletmecileri tarafından dikkate alınması gereken bir konudur. Şarj yükü yerinin ve zamanının dinamik olması şebeke için zorlayıcı bir unsur olarak gösterilebilir. Bu noktada araçların şebekeye hangi saatlerde, ne kadar süre ve şebekenin hangi noktasına bağlanacakları gerçek verilerden hareketle raslantısal olarak bulunmalı böylece yükün belirsiz karakteristiği mümkün olduğunca sisteme işlenmelidir.

Elektrikli araçların şebekeye olan etkisi analizi birden çok rastgele girişli (raslantısal değişken) deterministik sistemlerde olayların olasılıklarını hesaplamak için oldukça uygun olan Monte Carlo simülasyonu kullanılarak yapılmıştır. Bu simülasyonlar deneme sayısı kadar tekrarlanmış her deneme sonucunda üretilen çıktılar depolanıp istatistiksel dağılım oluşturulmuştur. Böylece farklı nüfuz seviyeleri için yük noktalarındaki gerilim sınır ihlali olasılıkları, transformatör aşırı yüklenme olasılıkları

gibi çıktılar elde edilmiştir. Bu olasılıklar yükün getireceği etkiyi anlamak ve şebeke planlamasını oluşturmak açısından önemlidir.

EA şarj yükünün dağıtım şebekesine etkisi literatürde çoğunlukla yük profili, gerilim profili, enerji kalitesi, ek yatırım maliyetleri ve ekipmanların dayanımları başlıkları altında incelenmiştir.

1.1 Literatür Araştırması

Elektrikli araç şarjının dağıtım şebekesine etkisi akademik çalışmalarda farklı konu başlıkları altında incelenmiştir. Literatürde yoğunlukla EA'nın akşam saatlerinde eve döner dönmez şarja başlamasından kaynaklanan şarj yükü profili puantının baz yük profili puantı ile üst üste binmesi sonucunda oluşan yeni puantın dağıtım transformatörünün yüklenme oranına, gerilim profili üzerindeki etkisine, hatlardan geçen akımın artmasına bağlı olarak ek yatırım maliyetlerine ve güç sistemi ekipmanlarının aşırı yüklenmesine bağlı olarak ekipmanların ömür sürelerinin azalmasına değinilmiştir. EA şarjının şebekede oluşturacağı harmonikler konusunda her ne kadar şarj istasyonu üretici firmaları, istasyonlarının IEC 61000-6-2 (Endüstriyel ortamlar için bağışıklık) ve IEC 61000-6-4 (Endüstriyel ortamlar için yayılım) standartları gereksinimlerini karşıladığını bu yüzden araç şarjının enerji kalitesine bozucu bir etkisinin olmadığını iddia etseler de yapılan bazı akademik çalışmalarda konvertörlerde meydana gelecek arızaların şebeke harmoniğine etkisi incelenmiştir. Bunlara ek olarak araçların enerji depolama sistemleri olarak kullanılması (V2G) ve puant zamanlarda şebekeyi geri beslemesi konuları da literatürde oldukça popülerdir. Ancak bataryanın sürekli dolup tekrar boşalması, ömrünü oldukça kısaltır. Batarya maliyeti, araç maliyetinde en büyük paya sahip olduğu için V2G günümüz batarya teknolojisinde uygulanabilir görünmemektedir.

1.1.1 Yük profili ve puant yük üzerindeki etkiler

Şebekeye bağlanan EA'nın sayısının artması dağıtım şebekesinin sistem verimliliğini, güvenilirliğini, enerji kalitesini ve gerilim profilini olumsuz etkileyebilir. Sortomme ve Venkata [3] çalışmalarında yüklenme faktörünü maksimize, yük varyasyonunu da minimize ederek enerji kayıplarını en aza indirmişlerdir.

EA nüfuz oranının kayda değer ölçüde artması üretim sisteminin kapasitesini artırma gerekliliğini doğurur. Kempton ve Tomic'in [4] yaptığı çalışmaya göre sistemin enerji

depolama uygunluğunun yetersiz kalması durumunda ani ve sürekli olarak üretim tüketim dengesizliği oluşacağı görülmüştür.

Putrus ve arkadaşları [5] öncelikle EA'lara kontrolsüz şarj senaryosu uygulamış ve 100 müşterili radyal bir hatta bağlı EA kullanıcılarının evlerine döner dönmez araçlarını saat 18:00 civarı şarj ettiğini düşünmüştür. EA yükleri, baz profildeki puant yük değeri ile üst üste bindiği için yük profilindeki puant yükselmiştir. EA oranlarının her %10 artışında maksimum talebin %18 arttığı görülmüştür. Sonraki senaryoda tüm araçlar puant olmayan zamanda geceden sabaha kadar şarj edilmiştir. Bu durumda yük profili geliştirilse de araçların şarja başladığı an puant oluşmuştur. Şarj bittiğinde ise yük profilinde çukur oluşmuştur. Kontrollü şarj uygulandığında ise yük profili homojenleştirilmiş ve optimum çözüm elde edilmiştir.

Raghavan ve Khaligh [6] çalışmalarında kontrolsüz EA şarjının sisteme getireceği ek talebin, ev yüklerini besleyen dağıtım sistemi üzerinde puant yükü artıracığı ya da sistemde yeni puant yük değeri oluşturacağını tespit etmişlerdir.

Birden çok EA sahibinin araçlarını eş zamanlı şarj etmesi durumunda yerel alt yapı ve yerel puant yük üzerinde büyük bir etki oluşacağı [7,8] çalışmalarında ortaya konulmuştur. Bu etkilerin içeriği EA nüfuz oranlarına ve şarj karakteristiğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

IEEE 34 baralı test fideri referans Nyns ve arkadaşları [9] tarafından modellenmiş kış mevsiminde EA nüfuz seviyesinin %30 olduğu durumda puant talep yükleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sistemde EA olmayan baz senaryoya göre kontrolsüz şarj senaryosunda puant talep yükü %56,5 artmış, kontrollü şarj tekniği uygulandığında ise puant talep yükü yalnızca %8,6 yükselmiştir. Hat akımı ise kontrolsüz şarjda %55,2 artmış, kontrollü şarjda ise akım %6,6 artmıştır.

1.1.2 Gerilim profili, düşümü ve dengesizliği üzerine etkiler

Dağıtım seviyesinde enerji kalite problemlerinden birisi de gerilim dengesizliğidir. Dengesizlik, fazlardaki gerilim genliğinin birbirinden farklı olması durumudur. Ayrıca bu tanım, fazlarda birbirine eşit olmayan harmonik bozulma seviyelerini ve faz açısı sapmalarını da içerir. Gerilim dengesizliği genellikle hatların çok uzun olduğu kırsal bölgelerde ortaya çıkar. Bunun temel sebebi ise tek fazlı yüklerin üç fazlı sistemde eşit olarak dağıtılmamasıdır.

Putrus ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [5] %20 EA nüfuz seviyesindeki 100 müşterili radyal bir hattı besleyen yükte kademe değiştiren transformatör, gerilim profilini puant zamanlarda -%5 limiti içinde tutmuştur. %30 nüfuz seviyesinde ise kademe değiştirici limitine ulaşmış ve gerilim profili -%5 sınır değerinin altına inmiştir. Minimum yüklenme ile beraber V2G uygulandığı durumlarda alçak gerilim tarafında gerilimin 1,1 pu'nun üstüne çıktığı görülmüştür.

Nyns ve Haesen [9] 34 baralı IEEE test fiderini üzerinde kontrolsüz şarj senaryosu uygulamış, kış mevsimi akşam puantında %30 nüfuz seviyesi için gerilim sapması %10,3 hesaplanmış böylece EN50160 standardında belirtilen %10'luk limitin dışına çıkmıştır. Kontrollü şarj tekniğinde ise kuadratik programlama algoritması kullanılmış aynı zaman aralığında gerilim sapması değeri %9,1'e düşmüştür.

Ulusal Elektrik Üreticileri Derneği (NEMA) gerilim dengesizliğini, ortalama hat geriliminden maksimum gerilim sapmasının ortalama hat gerilimine oranı olarak tanımlar (%LVUR – Line Voltage Unbalance Ratio). Aynı tanım IEEE tarafından küçük bir farkla kullanılmış hat gerilimi faz gerilimi olarak ifade edilmiştir [10]. Böylece faz gerilim dengesizliği (%PVUR – Phase Voltage Unbalance Ratio) :

$$\%PVUR = \frac{\text{Ortalama faz geriliminden maks. gerilim sapması}}{\text{Ortalama faz gerilimi}} \times 100 \quad (1.1)$$

IEC'nin gerilim dengesizliği tanımı ise yüzde olarak ifade edilen gerilim dengesizliği faktörüdür (VUF – Voltage Unbalance Factor). Bu faktör, gerilimin negatif bileşeninin pozitif bileşene bölümü ile elde edilir [11].

$$\%VUF = \frac{\text{Gerilimin negatif bileşeni}}{\text{Gerilimin pozitif bileşeni}} \times 100 \quad (1.2)$$

NEMA kaynaktan sağlanan elektrik enerjisinin maksimum dengesizlik oranının %3 ile sınırlandırılmasını önermektedir. IEC ve NEMA standartlarına göre asenkron makinalar için izin verilen maksimum gerilim dengesizliği %1'dir [12].

1.1.3 Harmonik bozulma

Şarj istasyonu üreticileri, istasyonlarının IEC 61000-6-2 (Endüstriyel ortamlar için bağışıklık) ve IEC 61000-6-4 (Endüstriyel ortamlar için yayılım) standartları gereksinimlerini karşıladığını bu yüzden konvertörlerin harmonik ve güç faktörü bakımından şarj ve V2G durumunda enerji kalitesini olumsuz etkilemediğini iddia

etmektedirler. Bu yüzden normal çalışma koşullarında kalite problemleri beklenmemektedir. Fakat Putrus ve arkadaşlarının [5] yaptığı çalışmada bu konvertörlerde meydana gelecek arızalarda akım dalga şeklinin yüksek oranlarda bozulabileceği, bunun da yerel şebekeyi etkileyerek aşırı akım koruma sisteminin çalışmasını engelleyebileceğinden bahsedilmiştir.

Doğru akımlı (DA) hızlı şarj özelliğine sahip şarj istasyonlarında şebekeden alçak gerilim seviyesinde alternatif akımlı (AA) güç çekilir, bu güç önce şarj istasyonunda doğrultulur sonrasında ise araç içi DA/DA konvertörden geçerek bataryayı şarj eder. Bu iki işlem sırasında da dağıtım şebekesinde harmonik bozulmalar oluşur. Artan eddy akımları transformatör nüvesindeki ortalama sıcaklığı yükseltir bu da transformatör kayıplarını artırır [12]. Ayrıca sargı sıcaklığının artması transformatörün hot-spot sıcaklığını yükselterek transformatörün yalıtım ömrünü azaltır. IEEE standart taslağı IEEE P1495-2002 [13] 600 wattan düşük tek fazlı alçak gerilim yüklerinin toplam harmonik bozulmalarının %15 veya altı olması gerektiğini söylemiştir.

1.1.4 Yatırım maliyetleri

Raghavan ve Khaligh [6] hibrit elektrik araçların (HEA) şarj durumunda, ev tipi yükleri içeren küçük ölçekli bir dağıtım sistemine etkisini incelemiştir. İki farklı şarj seviyesi (Seviye 1 ve Seviye 2) ve iki farklı şarj zamanı (Akşam ve Gece) için 4 farklı senaryo oluşturmuş, HEA şarjının; talep faktörü, yük faktörü ve faydalanma faktörüne etkisi incelemiştir. Bu dört senaryoda fiyatlandırmanın tek zamanlı, üç zamanlı ve gerçek zamanlı değişmesi halinde günlük elektrik maliyetleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Örnek bir EA kullanıcısının Seviye 1 Gece şarjı senaryosunda tek zamanlı tarifieden gerçek zamanlı tarifeye geçerse günlük elektrik maliyetini %58,6 azalttığı görülmüştür.

Fernandez ve arkadaşları [14] EA'ların piyasaya nüfuz oranlarının %35, %51 ve %62'ye (EPRI tahminleri 2020, 2040, 2050) ulaşması durumunda 61000 aboneli ev tipi ve endüstriyel yüklü bir dağıtım şebekesinin yapması gereken ek yatırım maliyetlerini ve şebekede artan enerji kayıplarını incelemiştir. Şarj stratejilerine bağlı olarak dağıtım şebekesinin ek yatırım maliyeti, toplam maliyetin % 15'i kadar artabileceği hesaplanmıştır. Kontrollü şarj stratejilerinde ise ek yatırım maliyetlerinin %60-%70 oranında düştüğü sonucuna varılmıştır.

Nyns ve Haesen [9] ek yatırım maliyet çalışmasını 34 baralı IEEE test fideri üzerinde incelemiştir. %30 nüfuz seviyeli kontrolsüz şarjda puant yük 69 kVA'dan 108 kVA'ya yükseldiği için dağıtım trafosu yenilenmesinin, hat akımı ise 163 A'e çıktığı için kullanılan kablo kesitinin 4x50'den 4x95'e değiştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Kontrollü şarjda bu ek maliyetlere gerek kalmamıştır. Gerilim düşümünde EN 50160 sınırlarına ulaşıldığı için kapasitör bankları veya kademe değiştirici transformatörler kullanılmıştır.

1.1.5 Şebeke ekipmanları üzerindeki etkiler

Gong ve arkadaşları [15] 2, 4 ve 6 adet sade elektrikli aracın (SEA) şarj durumunda ev tipi yükleri besleyen 25 kVA dağıtım transformatörüne etkisini incelemiştir. SEA'nın enerji tüketimleri için Monte Carlo tabanlı simülasyon sonuçları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kontrolsüz şarjda 2 araç saat 19:00'da aynı anda şarja başlarsa transformatörün yalıtım ömrünün 6,7 yıl olduğu görülmekte, kontrollü şarj uygulanıp araçlar 15 dakikalık zaman aralıklarında koordine edilirse bu sürenin 83,07 yıla yükseldiği görülmüştür. EA şarjlarının artması durumunda dağıtım trafolarının yalıtım ömürlerinin özellikle koordine edilmemiş ise ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Tam tersi olarak az miktarda ve koordineli EA şarjının ise dağıtım trafolarına gözle görülür bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir.

EA'ların sisteme getirdiği ek yük, dağıtım transformatörü üzerinde olumsuz etki yaratmaktadır. Bu yük, transformatörün kayıplarını ve termal yüklenmelerini artırarak yalıtım delinimine yol açar. Uzun süreli aşırı yüklenme cihazda ani arıza oluşturmaya da ömrünü azaltır, güvenilirlik kısıtlarını da düşürmektedir [16,17]. Ayrıca EA nüfuz oranının artması sonucunda sistemde oluşacak ekstra talep gücü, transformatörlerin, kabloların ve diğer ekipmanların yüklenme oranını artıracığı için bu ekipmanların kapasitelerinin de güncellenmesi gerekmektedir [18].

Hadley ve Tsvetkova [18] ABD'nin 13 bölgesinde EA nüfuz oranlarını 2020 ve 2030 için sırasıyla %25 ve %60 alarak talep, üretim ve elektrik birim fiyatı tahmini yapmışlardır. Araçların 6 kW gücünde şarj edildiği, şarj işleminin de 17:00'de başladığı kontrolsüz EA şarjı senaryosu için 13 bölgeden 10'unda yeni kapasite eklenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Elektrik birim fiyatı ise bazı bölgelerde %200'e kadar artış göstermiştir. Sistemde meydana gelen yeni puantlar, santrallerin tam yükte çalışma süresini uzatmış böylece sistem güvenilirliği azalmıştır.

Fernandez ve Gomez'in [14] 61000 aboneli ev tipi ve endüstriyel yüklü bir dağıtım şebekesini incelediği çalışmada, puant olmayan zamanlarda enerji kayıplarının %60 EA nüfuz oranında %40 artabileceği sonucunu elde etmişlerdir.

1.1.6 V2G uygulamaları

V2G, EA'ların şebekeye girişi ile ilgili en çok gelecek vadeden kavramlardan birisidir. EA filolarının şebekeyi geri beslemesine olanak tanır. Araç ile şebeke arasında verimli bir enerji transferi için araç, şarj istasyonu ve şebeke arasında yoğun bir bilgi alışverişine ihtiyaç vardır. Bu bilgiler, sadece SOC gibi teknik verileri içermeyip aynı zamanda enerji fiyatı gibi ekonomik ve uygunluk gibi istatistik verilerini de kapsar [19].

Araç filolarından şebekeye iletilen enerji kapasitesinin hesaplanması için gerekli matematiksel formülasyonlar Kempton ve Tomic'in [4] yaptığı çalışmada verilmiştir. Yazarlar, araçların kaynak olarak kullanıldığı 4 elektrik piyasasında (baz-yük gücü, puant gücü, rezerv gücü ve frekans regülasyonu) gelir maliyet değerlendirmesi yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre V2G düşük fiyatlı baz-yük gücü piyasası ile rekabet edemez. V2G, puant gücü piyasasında puant gücün alışılmadık seviyelere çıktığı durumlarda maliyet açısından daha uygundur.

Almanya ve İsveç için Andersson ve arkadaşları örnek bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaya göre Almanya'daki araçların %5,5'i, İsveç'teki araçların ise %4,2'si frekans regülasyonuna katılırsa toplam talep gücü karşılanabilir [20].

Pillai ve Jensen [21] yaptıkları çalışmada yenilebilir enerji kaynaklarının üretim ve tüketimini koordine eden elektrikli şarj şebeke işletmecisi isimli yeni bir iş modeli oluşturmuşlardır. Bu modelde EA'lar, V2G dağıtık enerji üretimi kullanılarak dağıtık depolama ünitelerine dönüştürülmüştür.

Her ne kadar V2G gelecek vadeden bir kavram olsa da kısa zamanda hayata geçirilmesine engel olan iki temel konu vardır. Bunlar:

- İki taraflı haberleşme alt yapısı
- Onaylanmamış iş modeli ve ekonomik gerekçeler

Ayrıca batarya ömrü, yüksek sayıda şarj/deşarj anahtarlamasında normal çalışma moduna göre daha hızlı tükenir. Bataryaların yüksek maliyetleri düşünüldüğünde bu

tür bir uygulama verimli olmayabilir. İki yönlü güç akışı kontrolü V2G uygulamaları için anahtar teknolojidir.

1.1.7 Olasılıksal yaklaşımlar

Şebekeden şarj olan EA'lar belirli saatlerde belirli noktalardan beslenen statik yükler değildir. Şarja başlama zamanları, bataryalarının doluluk oranları (State of Charge – SOC), şebekeye bağlantı noktaları ve şarj istasyonu tipine bağlı olarak şarj güçleri değişkendir. Bu yüzden EA şarj yüklerinin şebekeye etkisi incelenirken bu değişkenlerin raslantısallığı hesaba katılmalıdır. Scharrenberg ve arkadaşlarının [22] Hollanda'daki örnek bir dağıtım şebekesi için yaptığı çalışmada öncelikle 2015, 2020, 2025 ve 2030 için EA nüfuz oranları tahmini yapılmıştır. Şehrin; coğrafi bilgi sistemi (CBS) kullanılarak şarj noktaları, araç hareketliliği verileriyle araçların dönüş zamanları ve gün içerisinde kat ettikleri ortalama mesafe Monte Carlo yöntemiyle olasılıksal olarak tayin edilmiştir. Kontrolsüz şarj durumunda 2030 yılı için OG/AG transformatörlerinin %30,2'sinin, YG/OG transformatörlerinin ise %16,7'sinin aşırı yükleneceği sonucuna varılmıştır. Monte Carlo simülasyonu [23]'te kullanılmış, araç batarya SOC'u ve şarj başlangıç zamanları olasılıksal hesaplanmıştır. Belirli sayıda araç; yavaş şarj, DA hızlı şarj ve batarya değiştirme yöntemlerinin farklı yüzdelerdeki kombinasyonları ile şarj edilmiştir. Araç şarjında batarya değiştirme yönteminin kullanım yüzdesi arttıkça puant yükün azaldığı görülmüştür. Leou ve arkadaşlarının IEEE 13 baralı sistem üzerinde yaptığı çalışmada Monte Carlo simülasyondan elde edilen EA şarjının deterministik yük modelleri (ortalama ve puant) ile raslantısal yük modellerine etkisi karşılaştırılarak incelenmiştir [24]. Bu inceleme sonucunda raslantısal analiz sonuçlarının dağıtım şebekesi planlamasında en iyi yaklaşım olacağı öngörülmüştür.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ İSTASYONLARI

2.1 Elektrikli Araç Tipleri

EA'larda tahrik sistemi, sadece elektrik motorundan veya hem elektrik hem de içten yanmalı motordan beslenebilir. EA'ların temel parçaları; enerji depolama için batarya, tahrik sistemi için elektrik motoru, jeneratör, mekanik iletim ve güç kontrol sistemleridir. Bu parçaların farklı yollarla ve farklı sistemlerde kullanılmasıyla 3 ana EA çeşidi oluşmuştur. Bunlar; Hibrit Motorlu Araç (HMA), Hibrit Elektrikli Araç (HEA) ve Sade Elektrikli Araç (SEA)'dır.

HMA'lar, standart içten yanmalı motora ek olarak küçük bir batarya kullanır. Böylece yakıt verimliliği konvansiyonel hafif ticari bir araca göre %25 artırılır. Elektrik motoru, aracın rölantide çalışma süresini kısaltır, kalkış ve ivmelenme yeteneğini artırır. Bunlar şehir içinde dur-kalk halinde seyreden araçlarda yakıt tüketimini azaltır. Hibrit araçlar, hem elektrik motorunun hem de içten yanmalı motorun tekerleri sürebileceği ikili bir yakıt sistemine sahiptir. Ford C-Max Hybrid ve Honda Civic Hybrid HMA örnekleridir.

HEA'lar; içten yanmalı motor, elektrik motoru, harici enerji kaynağından şarj olabilen batarya depolama sistemi içerir. HEA enerji verimliliğini göz önüne alarak sürüş için sadece batarya, sadece içten yanmalı motor veya bu ikisinin kombinasyonunu kullanır. Sade elektrikli sürüş için batarya kapasitesi genellikle 4-16 kWh mertebesinde ve içten yanmalı motoru batarya şarjı yeterli olmadığı zaman sürüş menzilini oldukça uzatabilir. Toyota Prius ve BMW i8 modelleri HEA örnekleri olarak gösterilebilir.

SEA'lar tamamen elektrik enerjisi ile çalışırlar, içten yanmalı motorları yoktur ve sürüş menzillerinin sonunda tekrar şarj edilmeye ihtiyaç duyarlar. Günümüzde SEA'ların menzilleri en çok 450 km'ye, batarya kapasiteleri ise 85 kWh'e çıkabilmektedir. Batarya şarj zamanı; EA'nın batarya tipine, batarya kapasitesine ve şarj cihazının çıkış gücüne bağlı olarak değişir. Bu tip araçlara örnek olarak Mitsubishi i-MiEV, Nissan Leaf ve Tesla Model S gösterilebilir.

2.2 Şarj İstasyonu Teknolojileri ve Standartları

Elektrikli araç şarj istasyonu, SEA, HEA gibi harici enerji kaynaklarından şarj olabilen elektrikli araçların tekrar şarj edilmesini sağlayan bir altyapı unsurudur. Elektrikli araç şarj ekipmanı (EAŞE) ise şarj esnasında kullanılan topraklanmamış, topraklanmış ve ekipman topraklama iletkenlerini, elektrikli araç prizlerini, bağlantı fişlerini veya kaynaktan elektrikli araca enerji transfer etmek için kullanılan tüm aparatları içerir. Ayrıca EAŞE, elektrikli araç ile haberleşerek uygun bir biçimde güvenli enerji akışının gerçekleştiğini kontrol eder.

Şarj istasyonları için kullanılan tek bir standart mevcut olmamakla beraber farklı bölgelerde farklı standartlar kullanılmaktadır. Kuzey Amerika otomotiv endüstrisinin elektrikli araç şarjı için referans aldığı ana doküman Society of Automotive Engineers (SAE) tarafından hazırlanmış olan J1772 standardıdır [25]. Avrupa'nın kullandığı standart ise IEC 61851'dir [26]. Japonya'da oluşturulmuş Avrupa ve Amerika'da da kullanılmakta olan DA hızlı şarj standardı ise CHAdeMO'dur [27]. Bu dokümanlar, EAŞE için gereksinimleri tanımlar. EAŞE'nin temelde üç ana fonksiyonu vardır. Bunlar; AA-DA doğrultma, belirlenen şarj hızına göre gerilim seviyesini düzenleme ve araç ile şarj istasyonu arasındaki fiziksel bağlantıyı sağlamaktır.

2.2.1 SAE J1772

SAE J1772 standardına göre şarj hızı belirli seviyelerle ifade edilmiştir. Seviye 1 ve Seviye 2'de şarj yönteminde araç üstü AA-DA doğrultucuya alternatif akım sağlanır ve batarya şarjı için gerekli doğru akım bu doğrultucunun çıkışından elde edilir. Diğer tip olan DA hızlı şarjda ise doğrultma işlemi şarj istasyonunda yapılarak aracın bataryasına direkt olarak doğru akım verilir. DA şarjın ortalama zamanı; EAŞE'nin tipine, seviyesine, bataryanın tipine, enerji kapasitesine ve aracın dahili şarj cihazına göre 20 dakika ile 20 saat arasında değişkenlik göstermektedir [28]. SAE J1772 standardında şarj yöntemlerine göre seviyelerin akım, gerilim ve güç değerleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : SAE J1772 elektriksel büyüklükler.

	Şarj Yöntemi	Anma Gerilimi (V)	Maksimum Akım (A)	Maksimum Güç (kW)
AA	Seviye 1	120	12	1,44
		120	16	1,92
	Seviye 2	208-240	>20	19,2
			≤ 80	
DA	Seviye 1	200-500	80	40
	Seviye 2	200-500	200	100

AA Seviye 1 görüldüğü üzere en yavaş şarj metodudur. 120 V AA prizi olan ev ve işyerlerinde kullanılır, ek altyapı yatırımı gerektirmez. Elektrik talebinin yüksek olmadığı gece saatlerinde şarj edilmesi uygundur. AA Seviye 2 EAŞE tipik bir EA bataryasını geceleyin kolayca şarj edebilir. Ev, işyeri, filo ve kamu tesislerini Seviye 2 için uygun noktalardır. 240 V AA (konut alanları) ve 208 V AA (ticari alanlar) olmak üzere iki ayrı gerilim seviyesi kullanır. AA Seviye 2 EAŞE, şarj ekipmanlarının kurulumuna ve 20 ila 80 A şarj akımı sağlayabilecek özel devre elemanlarına ihtiyaç duyar. AA seviye 1 ile kullanılan konektör aynıdır. Batarya tipine ve araca göre AA Seviye 2, şarj süresince saat başına EA'nın menziline 16 ila 32 km arasında artırır. DA hızlı şarj genellikle yoğun trafiğin olduğu bölgelerde, otobanların yanındaki dinleme tesisleri ve benzin istasyonları gibi yerlerde kullanılır. 1 saat içerisinde EA'nın menziline 300 km ekleyebilir.

2.2.2 IEC 61851

Avrupa ve Çin'de kullanılmakta olan IEC 61851 standardı, J1772 standardından türetilmiş olup benzer gereksinimlere sahiptir ve bu bölgelerde kullanılan AA hat gerilimlerine göre uyarlanmıştır. İki standart arasında terminolojideki farklar yüzeyseldir. SAE standardında “yöntemler” ve “seviyeler” olarak tanımlanan bölüm IEC standardında “modlar” şeklinde tanımlanmaktadır. Örnek olarak J1772 standardındaki AA Seviye 1 gibi IEC 61851 standardındaki Mod 1, maksimum 16 A akım ve tek fazda 250 V veya üç fazda 480 V gerilim beslemeli konut tipi şarj ile ilgilidir. Bunun dışında standart, topraklamaya ilişkin özgün gereksinimler içerir. IEC 61851-1 standardında yer alan şarj yöntemleri ve bu yöntemlerde belirtilen maksimum akım ve gerilim değerleri Çizelge 2.2’de verilmiştir

Çizelge 2.2 : IEC 61851 elektriksel büyüklükler.

	Şarj Yöntemi	Faz Sayısı	Anma Gerilimi (V)	Maksimum Akım (A)
AA	Mod 1	1	≤ 250	≤ 16
		3	≤ 480	
	Mod 2	1	≤ 250	≤ 32
		3	≤ 480	
	Mod 3	1	≤ 250	≤ 250
		3	≤ 480	
DA	Mod 4	-	≤ 1000	≤ 400

Mod 2, Mod 1 ile izin verilen maksimum akımı ikiye katlamak suretiyle (32 A) aynı gerilim seviyesini kullanır. Mod 2'deki bir başka önemli değişiklik ise kontrol pilot fonksiyonu eklenmesidir. Bu fonksiyon EA'nın hazır ve kaynağa bağlı olduğunu kontrol eder, kaynaktan enerji akışına izin verir gerekli durumlarda enerji akışını keser, kaynağın nominal akım değerini araca iletir ve topraklama ekipmanının durumunu gözlemler. Ayrıca Mod 2 için kaçak akım koruma rölesinin kullanımı zorunludur.

Mod 3, EA ile AA kaynak (şebeke) arasındaki bağlantıyı özel bir EAŞE kullanarak sağlar. Kontrol pilot fonksiyonu sürekli olarak şebekeye bağlı olan EAŞE'yi de EA'nın yanında kontrol kapsamına alır. Şarj akımı seviyesine göre 32 A'lık Mod 2 konektörü veya 250 A seviyesine kadar çıkabilen hızlı şarj için IEC 61851-1'de belirtilen özel kablolar kullanılmalıdır. Araç elektronik ekipmanı ve şarj istasyonu arasında bulunan haberleşme kablosu sayesinde akıllı şebeke uygulamaları mümkündür.

Mod 4, EA ile şebeke arasındaki bağlantıyı, kontrol pilot fonksiyonunun denetlediği araç üstünde olmayan harici bir şarj cihazı ile sağlar. Mod 4 şarjda, şebekedeki AA güç şarj istasyonunda DA'ya çevrilir böylece aracın güç sistemine direkt olarak DA sağlanır. Bu sebeple Mod 4, DA hızlı şarj olarak da adlandırılır. Priz tipi sadece bu modu destekleyen araçların şarj istasyonuna bağlanmasına imkan verir. DA hızlı şarj IEC 61851-1 Mod 4'te tanımlandığı üzere görece yüksek akımlara, 400 A'e kadar izin verir. Mod 4 şarj istasyonu ekipmanı Mod 3 ekipmanına göre oldukça pahalıdır.

2.2.3 CHAdeMO

CHAdeMO, EA'lara JARI konektörü üzerinden güç aktarabilen DA hızlı şarj yönteminin ticari adıdır. Tokyo Elektrik Enerjisi Şirketi (TEPCO), Nissan, Mitsubishi,

Subaru ve Toyota işbirliğiyle Japonya’da oluşturulmuştur. Japonya’nın yanı sıra Avrupa ve Amerika’da da kullanılmaktadır. Yöntemin elektriksel büyüklükleri Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : CHAdeMO elektriksel büyüklükler.

Şarj Yöntemi	Anma Gerilimi (V)	Maksimum Akım (A)	Maksimum Güç (kW)
CHAdeMO	500	125	62,5

Avrupa’lı ve ABD’li araç üreticileri; BMW, General Motors, Ford ve Volkswagen CHAdeMO standardına karşı oldukları görüşünü bildirmişlerdir, böylece Japonya haricindeki diğer ülkelerde hem AA hem de DA şarjı destekleyen kombo prizin yaygınlaşması öngörülmektedir.

2.2.4 Priz tipleri

Şarj istasyonunun tipi kullanılacak konektörü tipini belirler. Terminoloji şu şekildedir:

- Soket : Şarj istasyonu üzerinde
- Fiş : Şarj istasyonuna giden kablounun üzerinde
- Giriş : Elektrikli aracın üzerinde
- Konektör : Elektrikli araca giden kablounun üzerinde

Tip 1: ABD ve Japonya’da kullanılan konektör/giriş ikilisi, ABD’de kullanılan SAE J1772 standardından dolayı bu isimle de bilinir. ABD ve Japonya’nın 3 fazlı şebekesi olmadığı için bu tip, tek fazlı ve Tip 2’ye göre düşük güç çıkışı ile sınırlıdır. Ayrıca Tip 1’de şarj kablosu şarj istasyonuna kalıcı şekilde bağlıdır [29]. Şekil 2.1’de Tip 1 şarj kablosu konektörü gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Tip 1 şarj kablosu konektörü [30].

Tip 2: Avrupa’da kullanılan konektör/giriş ve fiş/soket ikilileri IEC 62196 standardı oluşturulduktan sonra Mennekes firması tarafından üretildiği için bu tip Mennekes ismiyle de bilinir. Tip 2, tek fazlı ve 3 fazlı şarj seçeneklerini desteklemekle birlikte Tip 1’e göre daha yüksek güç çıkışı sağlar. Tip 2 şarj istasyonlarının şarj kabloları çıkarılabilir olduğu için Tip 2 istasyonlar Tip 1 ve Tip 2 girişli araçları şarj edebilir. Tip 2 şarj kablosunun konektörü Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Tip 2 şarj kablosu konektörü [31].

GB konektörü: Çin’de oluşturulmuş GB/T 20234 standardının tanımladığı ve sadece Çin’de kullanılan bu konektör IEC 62196 standardında bahsedilen Tip 2 konektörüne benzerlik göstermektedir. Tek fazda 16/32 A akım ve 250 V gerilim çıkışlı şarjı destekler. Kontak görünümü IEC 62196 Tip 2’ye yakınlık gösterse de fonksiyonel olarak bu tiple örtüşmemektedir. Şekil 2.3’te GB şarj kablosu konektörü gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : GB şarj kablosu konektörü [32].

Kombo konektörü: İlk DA hızlı şarj standardı Japonlar tarafından ortaya çıkarılan CHAdeMO iken 8 lider otomotiv üreticisi (Audi, BMW, Chrysler, Daimler, Ford, General Motors, Porsche ve Volkswagen) IEC 62196 ve SAE J1772 standartlarında tanımlanan AA ve DA şarjı tek bir konektör/giriş ikilisinde birleştiren Kombo prizi destekleme kararını almıştır. Buna karşın CHAdeMO sadece DA şarjı destekleyen bir standart olarak mevcudiyetini korumaktadır. Böylece CHAdeMO standardını kullanan araçlar (Mitsubishi i-MiEV ve Nissan Leaf) her zaman için birisi AA diğeri ise DA

şarjda kullanılmak üzere iki ayrı konektör/giriş ikilisine ihtiyaç duyacaktır, bu da aracın üretim maliyetini artıran bir durumdur. CHAdeMO Kombo ile uyumlu olmadığı için zaman içerisinde tüm ülkelerde yerini Kombo'ya bırakacağı düşünülmektedir (ABD dahil, Japonya hariç). Kombo tipi bir konektör Şekil 2.4'te gösterilmektedir



Şekil 2.4 : Kombo konektörü [33].

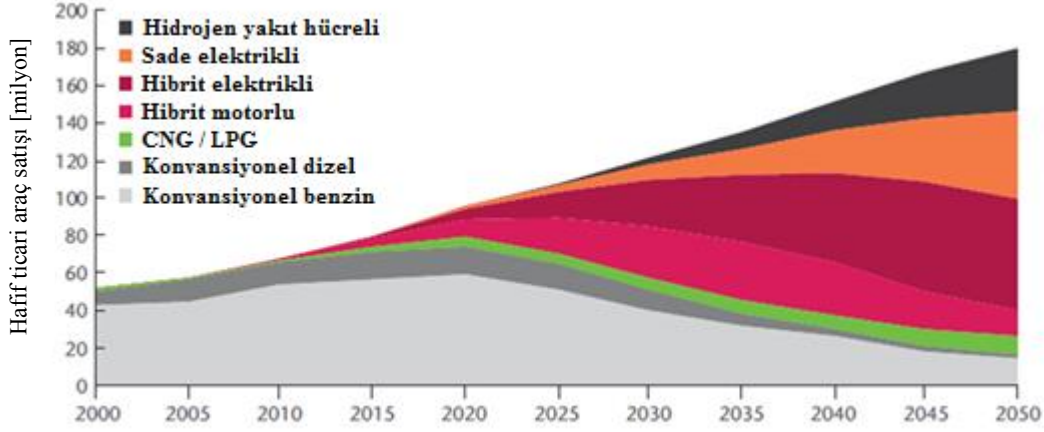
Şarj istasyonu standartlarının ve priz tiplerinin çok çeşitli olması araçların istasyonlara erişebilirlik oranını düşürmektedir. Araçlara birden fazla priz tipini destekleyecek girişlerin yerleştirilmesi ise araç üreticileri için maliyeti artıran bir unsurdur. Bu durum görüldüğü üzere hem EA kullanıcılarını hem de üreticileri olumsuz etkilemektedir. EA piyasasının gelişimiyle beraber güncel priz tipleri sayısının standart tek bir priz tipine indirgenmesi beklenmektedir.

2.3 Dünyadaki Elektrikli Araç Piyasası ve Gelişim Tahminleri

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2010 yılında yayınladığı Enerji Teknolojileri Perspektifi (ETP) Mavi Harita (Blue Map) senaryosu'nda [34] 2005 yılındaki 501 g/kWh olan toplam CO₂ emisyonu değerinin [35] 2050 yılında %50 oranında düşürülmesi hedeflemiştir. Mavi Harita senaryosunda, ulaşımın neden olduğu CO₂ emisyonunun 2050 yılında 2005 yılına göre %30'un altına düşmesi hedeflenmektedir. Bu düşüş 2050 yılına kadar yılda 50 milyon hafif ticari Sade Elektrikli Araç (SEA) ve 50 milyon Hibrit Elektrikli Araç (HEA) satılarak sağlanabilir ki bu rakamların toplamı yıllık hafif ticari araç satışının yarısından fazladır.

Mavi Harita'nın gerçekleşmesi, SEA/HEA teknolojilerinin hafif ticari araçlardaki hızlı gelişimine bağlıdır (Şekil 2.5). Aynı zamanda araç dağıtım süreci başladığında, bu araçlar piyasada agresif bir nüfuz oranı yakalamalıdır. Senaryoya göre SEA'ların 2020 yılına kadar yılda 2,5 milyon, HEA'ların ise 2020 yılına kadar yaklaşık 5 milyon satış rakamlarını yakalamaları beklenmektedir (Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Çizelge 2.4). 2030

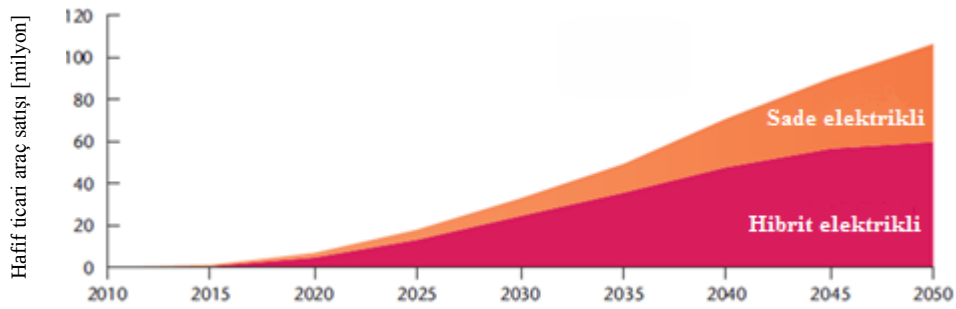
yılına kadar toplamda 9 milyon SEA ve 25 milyon HEA'ların satılacağı öngörülmektedir. 2040'dan sonra SEA'ların ve yakıt hücresel araçların satışları yükselirken HEA'ların satışlarının düşmeye başlayacağı beklenmektedir. Nihai hedef ise her iki türdeki elektrikli araçların satışlarının 2050 yılına kadar yılda 50 milyona ulaşmasıdır.



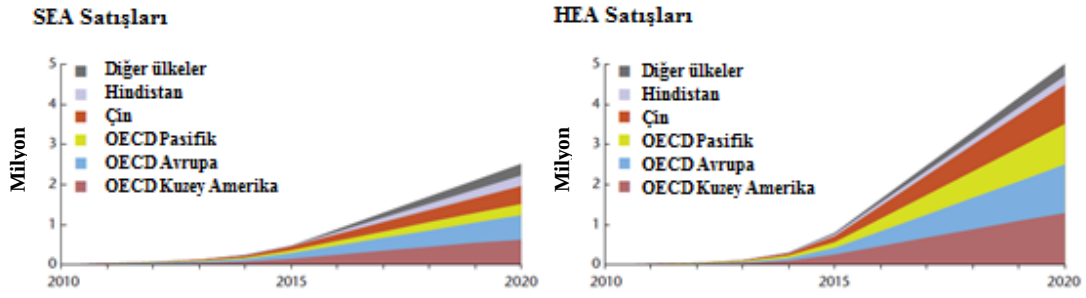
Şekil 2.5 : Araç tiplerine göre yıllık hafif ticari araç satışı [34].

Çizelge 2.4 : Global HEA ve SEA satış tahminleri [yıllık, milyon] [34].

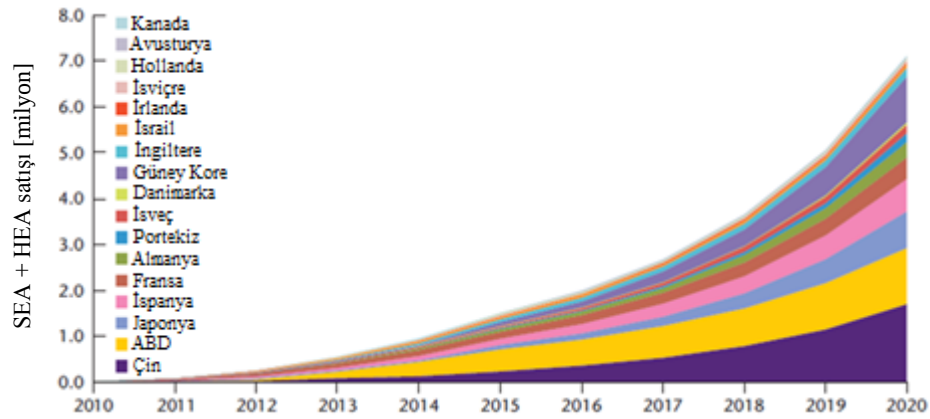
	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
HEA	0.0	0.7	4.9	13.1	25.6	35.6	47.7	56.3	59.7
SEA	0.0	0.3	2.0	4.5	8.7	13.9	23.2	33.9	46.6
Toplam	0.0	1.1	6.9	17.7	33.3	49.5	70.9	90.2	106.4



Şekil 2.6 : Yıllık global SEA ve HEA satışları [34].



Şekil 2.7 : 2020 yılına kadar bölgelere göre SEA ve HEA satışları [34].



Şekil 2.8 : Ulusal SEA ve HEA satış hedefleri [34].

Şekil 2.7’de gösterilen SEA/HEA satışlarındaki artış, aşırı derecede keskin olmasına rağmen devletlerin açıkladığı hedefler toplandığında Şekil 2.8’de benzer bir artışın ortaya çıktığı görülmektedir. Eğer bu hedefler tutturulursa 2015’e kadar 1,5 milyon, 2020 yılına kadar ise 7 milyon SEA/HEA satılacaktır. Bu rakamlar yine Mavi Harita’nın öngördüğü rakamlardan uzak değildir.

Elektrikli araç üreticilerinin belirlenen zaman aralığında bu miktarda araçların teslimatını yapıp yapamayacağı da bir başka kilit sorudur. Ancak Uluslararası Enerji Ajansının senaryosu, araç arzını ve seri üretime geçecek küçük çaplı üretimlere zaman vererek oluşturulmuştur. 2050 yılındaki satış hedeflerini tutturmak için önümüzdeki 5 ila 10 sene içerisinde ciddi bir planlama ve işbirliği gerekmektedir.

2.4 Türkiye’deki Mevcut Durum

Türkiye, hafif ticari ve otomobil perakende satışlarında 2014 yılı Ocak-Aralık ayları arasında 767,681 satış rakamına ulaşmıştır [36]. Otomotiv satışlarında Avrupa ülkeleri

içerisinde 8. sırada olan Türkiye, EA piyasası için önemli bir ülkedir. Ayrıca Türkiye 5 Şubat 2009 tarihinde Kyoto protokolünü imzalamış böylece karayolu taşımacılığında CO₂ emisyonunu azaltma yükümlülüğü doğmuştur. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü'nün Şubat 2011'de yayınladığı “Türkiye Otomotiv Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı” [37] içeriğinde Kyoto protokolü gereksinimlerini karşılamak için bir takım hedefler konulmuştur. Bu hedefler arasında düşük CO₂ emisyonu, düşük çevre dostu araçların kullanımını teşvik eden bir vergilendirme sisteminin hayata geçirilmesi ve bu araçların yaygınlaşması için gerekli altyapı çalışmalarının yürütülmesi bulunmaktadır.

2.4.1 Elektrikli araçlar

Türkiye'deki EA piyasasının henüz emekleme aşamasında olduğu söylenebilir. Otomotiv Dağıtıcıları Derneği (ODD)'nin istatistiklerine göre Türkiye'de 2012 yılı içerisinde 184 EA, Mart 2013'e kadar ise 16 EA olmak üzere toplamda 200 elektrikli araç satılmıştır. Bu konuda yayınlanan istatistiki bir veri olmamasına rağmen 2015 yılı itibarıyla yollarda seyreden EA sayısının 450-500 arasında olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye EA piyasasında satılan ve kiralanan SEA ve HEA tipi araçlar Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Piyasada Renault, BMW ve Tesla gibi yurt dışı menşeli araç üreticileri olmakla beraber elektrikli araç dönüşümü yapan BD Oto ve DMA gibi yerli şirketler de vardır. BD Oto 2012 yılında Türkiye'de kendi montaj hattını kurarak Fiorino, Ducato, Scudo ve Kangoo model araçların EA'lara dönüşümünü sağlamaktadır. Ayrıca BD araç kiralama filosu ile bazı kargo şirketlerine elektrikli araç kiralama hizmeti vermektedir.

Aras Kargo'nun BD OTO'dan kiraladığı EA sayısı 2014 itibarıyla 39'dur [38]. DMA ise elektrikli araç teknolojilerini geliştirmek için yapmış olduğu Ar-Ge faaliyetleri sonucunda Toyota Corolla'yı elektrikli araca dönüştürerek eCorrolla'yı üretmiştir. Elektrikli araçları Şubat 2013'ten beri satışıdır. DMA'nın ayda 100, yılda ise 1200 adet EA üretme kapasitesi vardır. EA'ların öncelikle sabit mesafeli araç kullanımının yoğun olduğu kamu kuruluşu filoları, kargo şirketleri ve toplu taşıma araçları gibi işletmelerde yaygınlaşması beklenmektedir. Bunlara ek olarak kullan-bırak araç kiralama sektöründe durak noktalarındaki şarj istasyonları ile sürekli şarj imkanı ve düşük yolculuk maliyeti düşünüldüğünde, EA kullanımına uygundur. Türkiye'de de benzer bir uygulama kullanılmaktadır [39].

Çizelge 2.5 : Türkiye’deki güncel EA piyasasında araçlar.

Marka	Model	Araç Tipi	Menzil [km]	Batarya Kapasitesi [kWh]	Şarj Tipi	Ortalama Şarj Süresi		Elektrik Motoru Gücü [kW]
Renault	Twizy	SEA	100	6,1	AA	220 V / 10A		3,5 saat
Renault	Fluence	SEA	185	22	AA	240 V / 10A 240 V / 16A	10-12 saat 9-10 saat	70
Renault	ZOE	SEA	210	22	AA	3 kW 22 kW 43 kW	6-9 saat 1 saat 30 dk	43
Otokar	Doruk Electra	SEA	-	-	-	-	-	-
BD Oto	Fiorino	SEA	100	20	AA-DA	220 V (AA) / 16A 380 V (AA) / 32A 650 V (DA) / 120A	8 saat 4 saat 30 dk	60
BD Oto	Kangoo Combi	SEA	100	20	AA-DA	220 V (AA) / 16A 380 V (AA) / 32A 650 V (DA) / 120A	8 saat 4 saat 30 dk	60
BD Oto	Scudo	SEA	130	40	AA-DA	220 V (AA) / 16A 380 V (AA) / 32A 650 V (DA) / 120A	8 saat 4 saat 45 dk	60
BD Oto	eTrafic Kargo	SEA	160	53	AA-DA	220 V (AA) / 16A 380 V (AA) / 32A 650 V (DA) / 120A	8 saat 4 saat 45 dk	60
BD Oto	eDoblo Kargo	SEA	100	23	AA-DA	220 V (AA) / 16A 380 V (AA) / 32A 650 V (DA) / 120A	8 saat 4 saat 30 dk	60
BD Oto	eDucato	SEA	200	62	AA-DA	220 V (AA) / 16A 380 V (AA) / 32A 650 V (DA) / 120A	8 saat 4 saat 45 dk	60
BD Oto	Byd e6	SEA	300	60	AA-DA	10 kW (AA) 100 kW (DA)	6 saat 40 dk	75
BD Oto	Fisker	HEA	80	20	AA	220 V / 15A	8 saat	2 x 150
DMA	eCorolla	SEA	280	36	AA	220 V 380 V	8 saat 3 saat	62
DMA	eCorolla Plus	SEA	400	53	AA	220 V 380 V	8 saat 3 saat	62
DMA	eCorolla Sport	SEA	400	53	AA	220 V 380 V	8 saat 3 saat	84
BMW	i3	SEA	190	18,8	AA-DA	240 V (AA) / 30A SAE DA	3,5 saat 30 dakika	125
BMW	i8	HEA	37	7,1	AA	3 kW	2- 2,5 saat	96
Tesla	Model S	SEA	425	85	AA-DA	10 kW (AA) 120 kW (DA)	8,5 saat 35 dk	85

2.4.2 Şarj istasyonları

EA kullanım oranlarının artması şarj istasyonu ağının genişlemesine bağlı iken şarj istasyonlarının kurulum oranlarının artması ise yollarda seyreden EA sayısının artmasına bağlıdır. Birbirine bağımlı bu iki değişkenin belirli teşviklerle eş zamanlı harekete geçirilmesi piyasadaki EA nüfuz oranı artışını ivmelendirecektir.

Türkiye piyasasında EA şarj istasyonu satış ve kurulumu yapan, bu çalışma kapsamında belirlediğimiz firmalar: Eşarj, Fullcharger, Yeşil Güç Enerji ve Gersan'dır. Bunlara ek olarak BD Otomotiv ve DMA, sattıkları veya kiraladıkları araçlar için müşterilerine şarj istasyonu imkanı sağlamaktadır.

Çalışmada şarj istasyonu satan ve kuran firmaların şarj haritalarından yararlanılmış ve firmalarla görüşmeler yapılmıştır. Yapılan görüşmeler sonunda elde edilen verilerden İstanbul Avrupa Yakası ve diğer bölgeler olmak üzere şarj istasyonu dağılımı çıkarılmıştır. Şarj gücüne göre sınıflandırılan bu dağılım Çizelge 2.6'da verilmiştir. Firmalar ile yapılan ikili görüşmeler sırasında ifade edilen yaklaşık 400 adet 3,7 kVA ev tipi şarj istasyonunun dağılımı bilinmemektedir.

Çizelge 2.6 : Şarj istasyonu dağılımı.

Yerleşim	AA [kVA]			DA [kW]		Toplam
	3,7	11	22	12	45	
İstanbul Avrupa Yakası	24	4	88	47	4	167
Diğer Bölgeler	31	3	135	56	2	227
Dağılımı Bilinmeyen	400	0	0	0	0	400
Toplam	455	7	223	103	6	794

Şarj istasyonlarının ilk aşamada toplu konut projelerinin otoparklarına yerleştirileceği düşünülmektedir. Bu konuyla ilgili yasal bir düzenleme olmamasına rağmen konut projelerine daha çevreci bir görünüm kazandırması adına her 100 araçlık otopark alanı için bir soket konulması planlanmaktadır. Bunun haricinde AVM'lerde, özellikle "Park Et Devam Et" uygulaması olan İSPARK otoparklarında ve otellerde AA Mod 3 Tip 2 şarj istasyonlarının kurulması uygun olacaktır. DA hızlı şarjın ise park süresinin yarım saatten kısa olduğu otoyol kenarlarındaki dinlenme tesisleri, benzin istasyonları ve araç filolarının park yerlerinde yaygınlaşması beklenmektedir.

Türkiye genelinde özel kullanımlı ve halka açık yaklaşık 800-900 adet şarj istasyonu bulunduğu tahmin edilmektedir. Kurulan şarj istasyonlarına bakıldığında AA şarjda IEC 61851 Mod 3 şarj yönteminin ve Tip 2 prizin tercih edildiği görülmektedir. DA hızlı şarjda ise IEC 61851 Mod 4 şarj yöntemiyle beraber hem AA hem DA şarj imkanı sağlayan kombo priz tipi kullanılmaktadır.

2.4.3 Mevzuat ve teşvikler

2015 yılı itibariyle Türkiye’deki mevzuatta konu ile ilgili iki yönetmelikte bilgi bulunmaktadır.

1- Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumunun 2 Ocak 2014 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliğinin birinci bölümünde yer alan “Üretim Faaliyeti Gösteren Tüzel Kişiler Dışındaki Kullanıcılar için Bağlantı Esasları” [40] başlığı altındaki Madde 5’e göre;

“Kullanıcılar tarafından yapılan bağlantı başvurularında; başvurunun niteliğine göre motor ve elektrojen gruplarının sayısı ve güçleri, elektrikli taşıtların şarj edilebilmesi için kurulacak hızlı, orta hızlı ve yavaş şarj ünitelerinin sayısı ve güçleri, aydınlatma ve ısıtma tesisatı ve güçleri, koruma sistemleri gibi diğer tesis ve/veya teçhizatla ilgili teknik özellikleri de içeren elektrik projesi dağıtım şirketine sunulur. Dağıtım şirketi sunulan proje çerçevesinde kullanıcıdan gerekli olan ilave bilgileri de talep edebilir.”

2- Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 8 Eylül 2013 tarihli Resmi Gazete’de yayınlamış olduğu “Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” [41] içerisindeki “Akaryakıt, Şarj ve Servis İstasyonları” başlığı altındaki Madde 25’te şu ibare yer almaktadır;

“Elektrik enerjisi ile çalışan araçların şarj edilmeleri için, ilgili elektrik kurumunun olumlu görüşü ile otoparklar, akaryakıt istasyonları veya diğer uygun yerlerde elektrikli araç şarj yeri yapılabilir.”

Türkiye’deki EA ve şarj istasyonlarının pazar paylarının henüz düşük seviyede olması nedeniyle yönetmeliklerde detaylı içerikten yoksun genel ifadeler kullanılmıştır. Ancak bu sektörün sağlıklı bir biçimde gelişimi de verilecek teşviklere, yayımlanacak yeni yönetmeliklere ve ilgili yönetmeliklerin detaylandırılmasıyla doğrudan bağlantılıdır.

Ülkemizde sade elektrik motorlu binek araçların ÖTV oranları düşük tutulmuştur. Maliye Bakanlığı Gelir İdaresi Başkanlığının 22.09.2012 tarihinde yayımladığı ÖTV oranları II Sayılı Listesine göre motor gücü;

- 85 kW’ı geçmeyen SEA’lerde %3
- 85 kW ile 120 kW arasındaki SEA’lerde %7
- 120 kW’ı geçen SEA’lerde %15’tir.

Türkiye’de bu ÖTV oranlarına KDV eklendiğinde elektrikli araçlar üzerindeki vergi yükü motor güçlerine göre sırasıyla %21,5, %26,3 ve %35,7 olmaktadır. PwC Türkiye Vergi Hizmetlerinin yapmış olduğu çalışmadan hareketle [42] Türkiye’deki vergi oranı ve teşviklerin, EA nüfuz oranı yüksek ülkelerle karşılaştırılması Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7 : Ülkelerdeki EA teşvikleri.

Ülke	KDV (%)		TAV (%)		Nakit Destek
	KA	EA	KA	EA	
Norveç	25	0	*	0	0
Hollanda	21	21	*	0	0
ABD	8,40	8,40	0	0	3.000 \$ 5.300 \$
Fransa	20	20	≈ 1	≈ 1	5.000 € 6.500 €
Japonya	8	8	5	0	5.000 € 6.500 €
Türkiye	18	18	min. 45 maks. 145	3 15	0
TAV : Taşıt Alım Vergisi					
KA : Konvansiyonel Araç					
* : CO ₂ emisyon oranına bağlı					

Devlet teşvikleriyle Türkiye piyasasındaki EA’ların yaygınlaşmasını sağlamak için ÖTV oranlarındaki indirimin bir benzeri KDV’de uygulanabilir veya vergi yükü tamamen kaldırılabilir. ABD, Japonya ve Fransa’daki gibi nakit destek uygulaması hükümet tarafından gerçekleştirilebilir. Motorlu taşıtlar vergisi düşürülebilir, elektrikli araçların kamu sektöründe kullanılması zorunlu hale getirilebilir. Hükümet veya belediyeler tarafından ücretsiz şarj istasyonları kurulabilir. Elektrikli araçlar için köprü, otoyol ücretlerinde indirim yapılabilir veya tamamen kaldırabilir.

3. YÖNTEM VE MODELLEME

EA'ların dağıtım şebekesine etkilerini incelemek için Monte Carlo simülasyonları kullanılmıştır. Bunun için öncelikle şebeke için referans alınabilecek bir baz modelin oluşturulması ve yük akışının modellenmesi, sonrasında EA'ların şarj yükü profillerinin yani EA'ların şebekeye getireceği yük karakteristiğinin çıkarılması gerekmektedir. EA'lar şebekeye sürekli aynı noktadan bağlanan, gün içerisinde belirli zaman aralıklarında sabit güç ve sürelerde şarj olan yükler değildir. Dolayısıyla şarj yükü profili oluşturulurken araçların eve dönüş zamanı (şarja başlama zamanı), şarj süresi, yükün şebeke bağlantı noktası gibi doğrudan şarj yükü profilini etkileyen parametreler deterministik değil raslantısal olarak değiştirilmelidir. Sistemde yer alan değişkenlerin raslantısallığı ne kadar artarsa analiz sonuçları da aynı derecede gerçekliği yansıtacaktır.

3.1 Şebeke Baz Modelinin Oluşturulması

Şebekenin baz modeli şebekeye herhangi bir elektrikli araç bağlı olmadığı durumdaki verilerden oluşturulan deterministik bir yapıdır. Bir şebekenin baz modeli; yük bağlantı noktalarını, kablo uzunlukları ve kesitlerini, transformatör verilerini ve yüklerin ortalama aktif ve reaktif bileşenlerini gösteren tek hat şeması olarak tanımlanabilir. Baz modelde olması gereken parametreler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Baz model parametreleri.

Transformatör empedansları (Ω)
Hat empedansları (Ω)
Kaynak gerilimi (V)
Yüklerin aktif ve reaktif bileşenleri (kW, kVAr)
Transformatör güçleri (kVA)

Şebekeye ilişkin bu veriler, şebeke işleticilerinin şebekeyi izlemek için kullandığı coğrafi bilgi sistemi (CBS), transformatör bilgi sistemi (TBS), otomatik sayaç okuma sistemi (OSOS) gibi yardımcı araçlardan edinilerek baz model oluşturulur.

3.2 Yük Akışı Analizi

Yük akışı analizi gç sisteminin sürekli halde çalışma koşullarını belirlemek için yapılır. Bu analiz çoğunlukla şebeke işleticileri tarafından gç sistemi planlaması, işletmesi, optimizasyonu ve kontrolü için gereklidir. Yük akışı analizi, tasarım aşamasında gerilim profilinin yönetmeliklerde belirlenen sınırlar içinde olup olmadığının kontrolü için kullanılırken işletme aşamasında şebekeyi istenen gerilim seviyesinde tutmak ve şebeke kayıplarını azaltmak için yapılabilecek düzenlemeleri araştırmak amacıyla kullanılır. Yük akışı çalışmalarının esas amacı baralardaki gerilimin genliğini ve faz açısını, hatlardaki aktif ve reaktif güç akışını ve enerji kayıplarını belirlemektir [43].

Dağıtım şebekesinin kendine özgü özelliklerinden gelen radyal yapısı ve yüksek R/X oranı geleneksel yük akışı yöntemlerini kullanmayı engeller. Yük akışında durdurma kriteri olan referans gerilim değerine yeterli yakınsamayı sağlamak için bir çok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerin arasında en çok kullanılanlardan birisi ileri-geri süpürme (forward-backward sweep) yöntemidir [44]. Bu çalışmada yük akışı analizi için ileri-geri süpürme yöntemi kullanılmıştır. Yöntemin akış şeması şekil 3.1’de verilmiştir. Yöntem, çalışmada kullanılan pilot şebeke üzerinden açıklanmıştır. Bu şebekede, OG/AG transformatörünün bağlı bulunduğu baradan radyal hatlar çıkmakta ve yükleri beslemektedir. Yük akışı algoritmasının başlatılması için; gerilim seviyesi, yüklerin ihtiyaç duyduğu aktif ve reaktif gler ve hatların pozitif bileşen empedansları bilinmelidir. Başlangıç aşamasında yük noktası gerilimi ve bara gerilimi referans gerilim değerine ayarlanır.

Yöntem isminden de anlaşılacağı üzere iki temel bölümden oluşmaktadır.

İleri süpürme:

İlk aşamada, yükün ihtiyaç duyduğu güç değeri ($S_{yük}$) ve yük noktası gerilimi ($V_{yük}$) kullanılarak (3.1)’den hat akımları bulunur.

$$I_{hat} = \left(\frac{S_{yük}}{V_{yük}} \right)^* \quad (3.1)$$

İkinci aşamada, hat akımları toplanarak OG/AG transformatörün sekonderindeki AG bara akımı bulunur.

$$I_{bara (AG)} = \sum I_{hat} \quad (3.2)$$

Üçüncü aşamada, transformatörün sekonderindeki AG bara gerilimi ($V_{bara (AG)}$), Kirchhoff gerilim yasasına göre minimum gerilime sahip yük noktası ($V_{yük (min.)}$) hattın pozitif bileşen empedansı (Z_{hat}) ve I_{hat} kullanılarak (3.3)'ten elde edilir.

$$V_{bara (AG)} = V_{yük (min.)} + I_{hat} \times Z_{hat} \quad (3.3)$$

Dördüncü aşamada, referans gerilim değeri ile karşılaştırılacak transformatörün primer gerilimi $V_{tr (OG)}$ ve primer akımı $I_{tr (OG)}$; AG tarafındaki transformatör empedansı ($Z_{tr (AG)}$), transformatörün AG tarafındaki bara akımı ve gerilimi ve çevirme oranı ($\ddot{u}$) yardımıyla (3.4) ve (3.5)'ten hesaplanır.

$$V_{tr (OG)} = (V_{bara (AG)} + I_{bara (AG)} \times Z_{tr (AG)}) \times \ddot{u} \quad (3.4)$$

$$I_{tr (OG)} = I_{bara (AG)} \times \frac{1}{\ddot{u}} \quad (3.5)$$

Aşamalarından da anlaşılacağı üzere ileri-süpürmede yük noktasından başlanıp Kirchhoff akım ve gerilim yasalarından kaynağa doğru çıkılır. Transformatörün primer gerilim değeri hesaplanır ve referans değer ile (3.6)'daki gibi karşılaştırılır. Eğer aradaki fark belirlenen tolerans değerinden küçükse yük akışı sonlandırılır, büyükse geri süpürmeye geçilir.

$$|V_{tr (OG)} - V_{ref}| < \varepsilon \quad (3.6)$$

Geri süpürme:

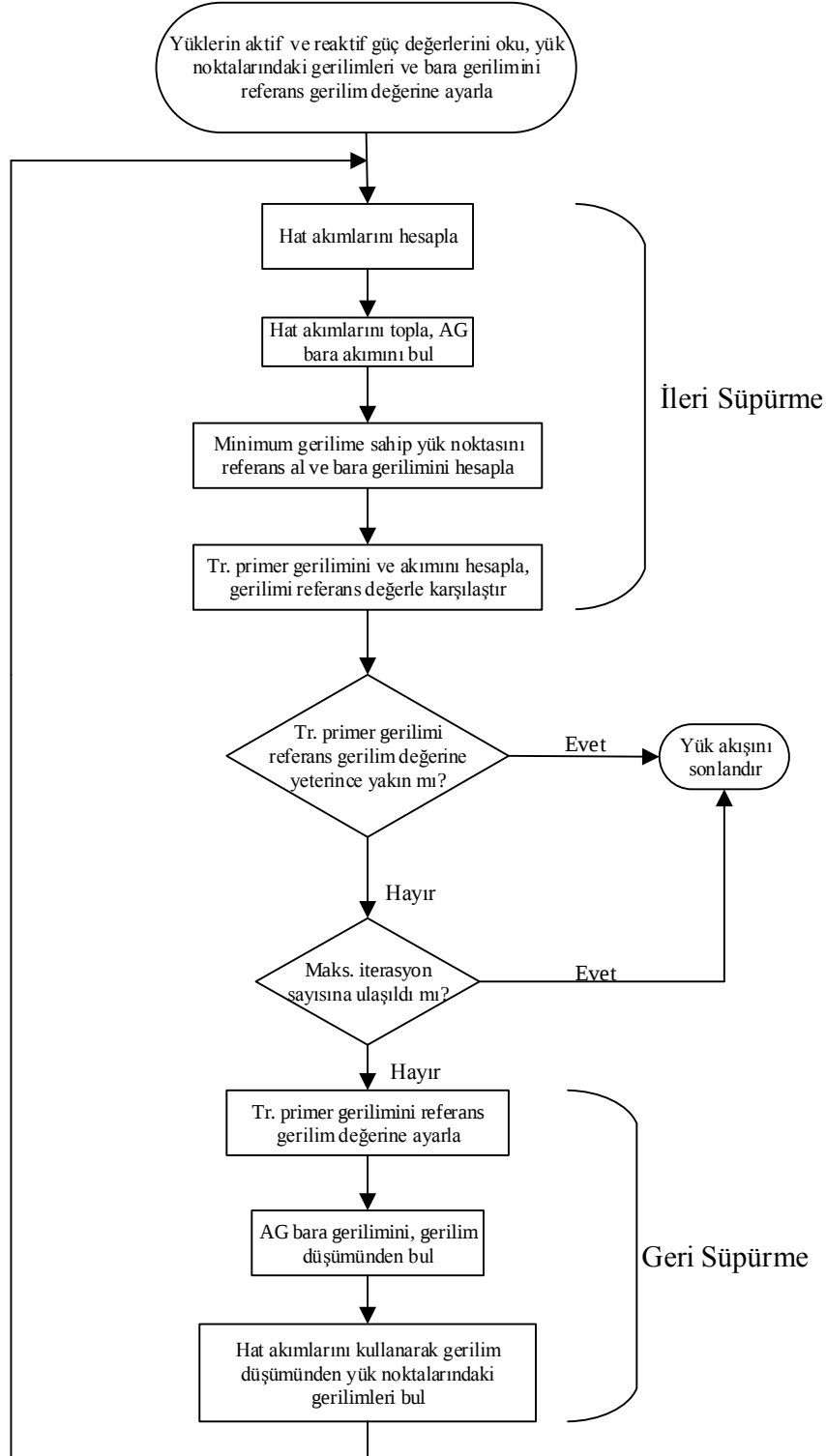
İlk aşamada $V_{tr (OG)}$ referans gerilim değerine ayarlanır. İleri süpürmede hesaplanan transformatörün primer akımı ve empedansı kullanılarak gerilim düşümünden sekonder taraftaki bara gerilimi (3.7)'deki gibi bulunur.

$$V_{bara (AG)} = (V_{tr (OG)} - I_{tr (OG)} \times Z_{tr (OG)}) \times \frac{1}{\ddot{u}} \quad (3.7)$$

Sonraki aşamada ise AG tarafındaki bara gerilimden, hatlardaki gerilim düşümleri çıkartılır ve yük noktalarındaki gerilim değerleri (3.8)'den bulunur. Yük akışı geri

süpürmede sonlandırılmaz, referans değerle karşılaştırma yapabilmek için tekrar ileri süpürmeye geçilir.

$$V_{yük} = V_{bara (AG)} - I_{hat} \times Z_{hat} \quad (3.7)$$



Şekil 3.1 : İleri – geri süpürme yöntemi.

3.3 EA Şarj Yüğü Profiline Oluşturulması

EA'ların şarj yüğü profili, araçların elektrik şebekesinden günün hangi saatlerinde ne kadar süre kaç kW güc talep ettiğini gösteren zamana bağı bir yük eğrisidir. Aynı zamanda EA'ların şebekeye hangi noktadan bağlandığı bilgisini de içerir. Şarj yüğü profilini oluşturan bu bilgiler, EA sürücülerinin öngörüleemeyen davranışlarından ötürü EA verilerine göre mümkün olduğunca rastlantısal olarak hesaplanmalıdır. Şarj yüğü profili oluşturulurken kullanılan önceden belirlenmiş sabit EA verileri ve rastlantısal değişkenler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Şarj yüğü profilini oluşturmak için kullanılan veriler.

Sabit veriler	EA sayısı
	Batarya tüketimi (kWh / km)
	Şarj gücü (kW)
Rastlantısal değişkenler	Şarja başlama zamanı
	Katedilen ortalama mesafe (km)
	Şarj noktası
	Bağlanılan faz

EA'ların şarja başlama zamanı bilgisi için eve dönüş zamanı, şarj başlangıcı olarak kabul edilmiş ve bir günün 24 saatlik zaman dilimlerinde eve dönen araçların yüzdesini gösteren gerçek veriler kullanılmıştır. Ayrık olarak var olan bu veriler analizde kullanılmadan önce lineer interpolasyon yardımıyla sürekli hale getirilmiştir. Dağılım yüzde olarak verildiğinden, bir olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak tanımlanmasında bir sakınca olmayıp, gerçek verilerden oluşan bu dağılım araçların şarja başlama zamanı için bir olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak düşünülmüştür.

Katedilen ortalama mesafe bilgisine EA'ların şarj sürelerinin hesaplanması için ihtiyaç duyulmaktadır. Katedilen ortalama mesafe bilgisi için olasılık yoğunluk fonksiyonu olarak bir gün içinde katedilen ortalama mesafelere göre değişen gerçek araç yüzdesi dağılımı alınmıştır. Benzer şekilde öncesinde ayrık olarak var olan mesafe-arac yüzdesi verileri de sürekli hale getirilmiş ve bu haliyle bir olasılık yoğunluk fonksiyonunun özelliklerini sağladığı görülmüştür. Çalışmada yolculuk esnasında boşalan bataryanın tamamen dolması için şarj halinde geçirilmesi gereken süre olarak tanımlanan şarj süresi (3.8)'deki denkleme göre hesaplanır. Burada gücün şebekeden

belirli bir verimle bataryaya aktarılacağı göz önüne alınarak şebekeden çekilen güç verim ile çarpılmıştır.

$$\text{Şarj süresi} = \frac{\text{Katedilen ortalama mesafe} \times \text{Batarya tüketimi}}{\text{Şarj gücü} \times \text{Şarj cihazı verimi}} \quad (3.8)$$

Çalışmada, şarja başlama zamanı ve katedilen ortalama mesafe için gereken rastlantısal değerleri belirlerken aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

1. Bilinen gerçek olasılık yoğunluk fonksiyonlarından birikimli dağılım fonksiyonları (3.9)'dan elde edilir.

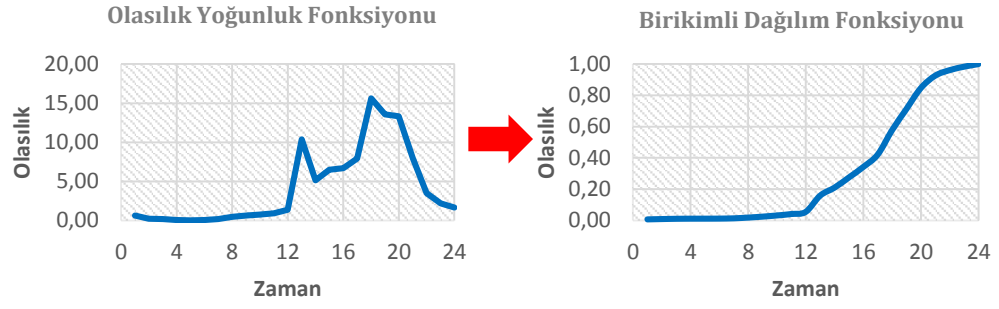
$$F_X(x) = \int_{-\infty}^x f_X(t) dt \quad (3.9)$$

2. Kantil fonksiyonu $Q_X(x)$, yani birikimli dağılım fonksiyonunun genelleştirilmiş tersi bulunur.
3. Tekdüze dağılıma sahip, belirlenen EA sayısı kadar eleman içeren bir sayı kümesi oluşturulur.
4. Bu rastgele sayılara karşılık gelen kantil fonksiyonun değeri ilgili parametrenin değeri olarak alınır.

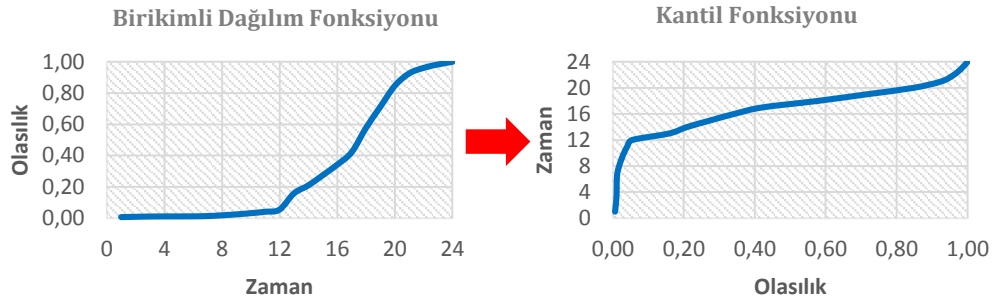
Araçların şarj noktalarına bağlanma olasılıkları deparın beslediği yük noktasındaki hane sayısı ile ilişkilendirilmiştir. Şebekeye bağlandıkları faz değişkeni için ise yukarıda verilen yöntemden farklı olarak gerçek olasılık yoğunluk fonksiyonu mevcut olmadığından tüm transformatör çıkış deparlarına ve fazlara bağlanma olasılıkları eşit kabul edilerek 1. adım atlanmış ve 2. adımdan devam edilmiştir.

Şekil 3.2'de örnek olarak rastlantısal değişkenlerden şarja başlama zamanı için yukarıda verilen metodolojiye göre rastlantısal hesaplama süreci gösterilmiştir.

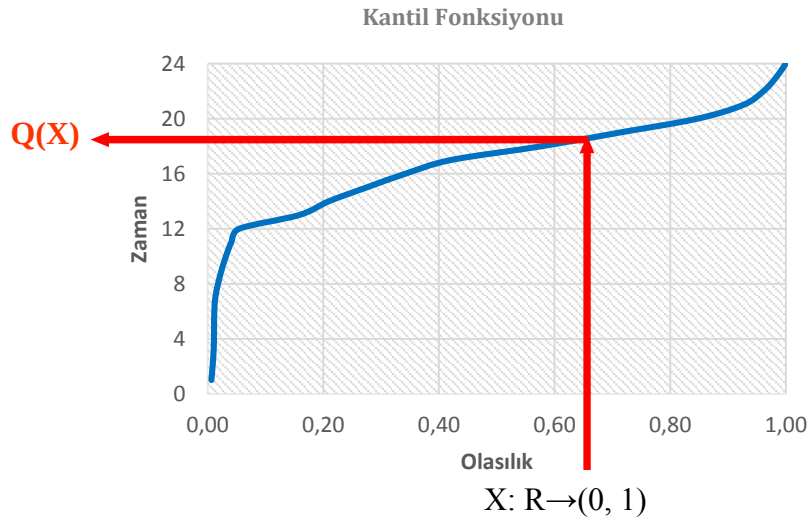
1. Adım



2. Adım



3. ve 4. Adım



Şekil 3.2 : Şarja başlama zamanı için rastlantısal hesaplama süreci.

3.4 Monte Carlo Yöntemi

Monte Carlo yöntemi matematiksel problemleri çözmek için rastgele sayıların kullanıldığı bir sayısal yöntemdir. Başka bir deyişle Monte Carlo yöntemi, rastgele olmayan bir değişkeni hesaplamak için rastgele sayıları kullanmaktadır [45].

Monte Carlo yönteminin ilk olarak 1949'da Metropolis ve Ulam'ın "Monte Carlo Yöntemi" isimli çalışmasıyla ortaya çıktığı kabul edilmektedir. Yöntemin esas yaratıcılarının Amerikan matematikçi John von Neumann ve Stanislaw Ulam olduğu düşünülmektedir. Aslında yöntemin teorik altyapısı Neumann ve Ulam'ın çalışması yayınlanmadan çok önce bilinmekteydi. Öyle ki, 1949'dan önce de zaman zaman istatistikteki belirli problemler günümüzde Monte Carlo olarak bilinen rastgele örnekleme yardımıyla çözülmüyordu. Buna karşın, [46] rastgele değişkenlerin simülasyonunun elle yapılmasının getirdiği iş yükünden dolayı Monte Carlo yönteminin evrensel bir sayısal teknik haline gelmesi ancak bilgisayar teknolojilerinin gelişimiyle mümkün olmuştur. Monte Carlo yöntemi ismini kumarhaneleriyle meşhur Monaco Prenslığı'ndan almıştır. Rulet tekerleğinin rastgele sayı üreten en basit mekanik cihazlardan biri olması, bu ismi almasında esin kaynağında olmuştur.

Monte Carlo yönteminin genel yapısı rastgele girişli deterministik sistemlerde olayların gerçekleşme ihtimallerini hesaplamak üzerinedir. Bu hesaplama yapılırken istatistiksel örnekleme kullanılır. Ayrıca birden çok rastgele giriş içeren sistemler için uygundur [22-24].

Monte Carlo benzetiminde tek bir analiz çıktısı alınmaz, üretilen farklı rastgele değişkenler ile analiz deneme sayısı kadar tekrarlanır. Deneme sayısı kadar algoritma çalıştırıldıktan sonra elde edilen çıktı bir olasılık dağılımıdır. Benzetimin genel algoritması aşağıdaki gibidir:

1. Değişkenleri ve rastgele değişkenleri belirle.
2. Rastgele sayılar üret ve rastgele değişkenlerden çıktı al.
3. Deterministik sistemi değişkenler ve rastgele değişkenlerden gelen çıktılar ile çalıştır.
4. Sonuçları kaydet.
5. Deneme sayısına ulaşana kadar adımları tekrarla.

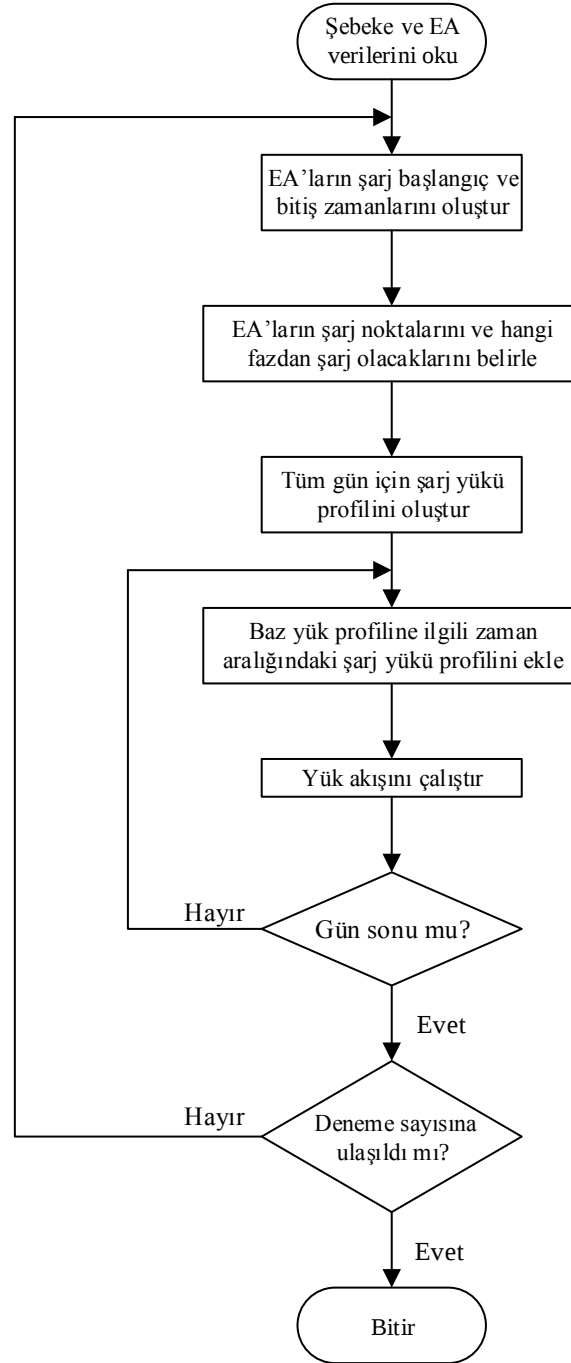
3.5 Monte Carlo Simülasyonu Akış Şeması

Elektrikli araçların şebekeye olan etkisi incelenirken daha önce de bahsedildiği gibi sistemin analizi rastgele girişli (raslantısal değişken) deterministik sistemlerde olayların olasılıklarını hesaplamak için oldukça uygun olan Monte Carlo simülasyonu kullanılarak yapılmıştır. Monte Carlo tekniğinin bu çalışmada kullanılmasının iki temel sebebi vardır. İlki yöntemin beklenen çıktılara ilişkin belirsizliklerin miktarını belirleme potansiyeli [47]; ikincisi ise boyuttan bağımsız olmasıdır. Bu durum iyi bir tahmin yapmak için gerekli örnekleme sayısını problemin büyüklüğünden bağımsız hale getirmektedir [48].

Çalışmada gerçekleştirilen Monte Carlo simülasyonunda, EA'ların raslantısal süreçlerle oluşturulan şarj yükü profili ile deterministik verilerle oluşturulan baz yük profili, yük akışı analizinde beraber çalıştırılmıştır. Bu işlem deneme sayısı kadar tekrarlanarak beklenen çıkışlar için (yük noktası gerilimleri, transformatör yüklenmeleri, hat kayıpları vb.) istatistiksel veriler üretilmiştir. Her bir deneme sonrası çıktılar depolanmış ve verilerin istatistiksel davranışı yapılandırılmıştır. Kullanılan akış şeması Şekil 3.3'te verilmiştir.

Algoritmanın başlangıç adımında Çizelge 3.1'de verilen şebeke baz model parametreleri ile Çizelge 3.2'deki EA'lara ait sabit verilerin değerleri atanmaktadır. İkinci adımda EA'ların şarja başlama zamanı ve katedilen ortalama mesafe verileri Şekil 3.2'deki metodolojiye göre rastlantısal olarak belirlenmektedir. Katedilen mesafe bilgisinden şarj süresi ve dolayısıyla şarj bitiş zamanı verilerine geçilmektedir. Şarj bitiş zamanı belirlenirken eğer bitiş süresi analizi yapılan günün dışına çıkıyorsa kalan süre aynı günün başlangıcına eklenmektedir. Böyle bir durumda aracın bir sonraki gün bataryası dolana kadar evden çıkmaması için bir kısıt oluşturulmuştur. Üçüncü adımda EA'ların şarj noktaları ve şebekeye bağlanacakları fazlar yine Şekil 3.2'deki yöntemle göre belirlenmektedir. Dördüncü adımda o gün için kullanılacak şarj yükü profili matrisi oluşturulur. Bu matris o analizde kullanılacak tüm EA'ları kapsayan toplam şarja başlama ve bitiş zamanı, faz ve depar bilgilerini içerir. Beşinci adımda elde edilen bu şarj yükü profili baz yük profiline eklenerek zamana bağlı toplam şebeke yükü bulunur. Sonraki adımda ileri-geri süpürme yük akışı analizi yapılır. Yük akışı analizi belirlenen örnekleme zamanına göre gerçekleştirilir. Gün

sonuna gelindiğinde ilgili çıktılar alınarak bir sonraki denemeye geçilir. Belirlenen deneme sayısına ulaşıncaya kadar simülasyon tamamlanır.



Şekil 3.3 : Monte Carlo simülasyonu akış şeması.

4. TEST SİSTEMİ VE ANALİZİ

Bu bölümde örnek bir yerleşim bölgesi ele alınmış ve bölgede kullanılması öngörülen EA'ların şebekeye olan etkileri bir önceki bölümde verilen Monte Carlo yöntemine göre incelenmiştir. Yapılan analizler neticesinde yük noktalarının gerilimleri, transformatörlerin yüklenmeleri, hat kayıpları ve gerilim dengesizliklerine ilişkin istatistiksel çıktılara ulaşılmıştır. Bu çıktılara bakılarak yönetmeliklerde verilen sınırların aşılp aşılmadığının, aşıldıysa yüzde kaç olasılıkla aşıldığının kontrolü yapılmıştır. Yük noktaları için gerilim düşümü sınırı Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği'ndeki Madde 57'ye [49] göre %5, gerilim dengesizliği için sınır değer tek fazlı şarj istasyonlarının beslendiği yük noktalarında Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği [50] Madde 23'e göre %3'tür. Transformatör için sınır ihlali ise yüklenme değerinin %100'ün üstüne çıktığı durumdur.

Bu bölümün ilk kısmında incelenen bölgeye ilişkin alan ve nüfus verileri, elektrik şebekesinin tek hat şeması, şebeke ekipmanların özellikleri (transformatör bilgileri, hat kesitleri, vb.) verilmiştir. İkinci kısımda Monte Carlo yönteminin gerçekleştirildiği bilgisayar yazılımı anlatılmıştır. Son olarak istatistiksel analiz sonuçları verilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

4.1 Pilot Bölge Bilgileri

4.1.1 Alan ve nüfus bilgileri

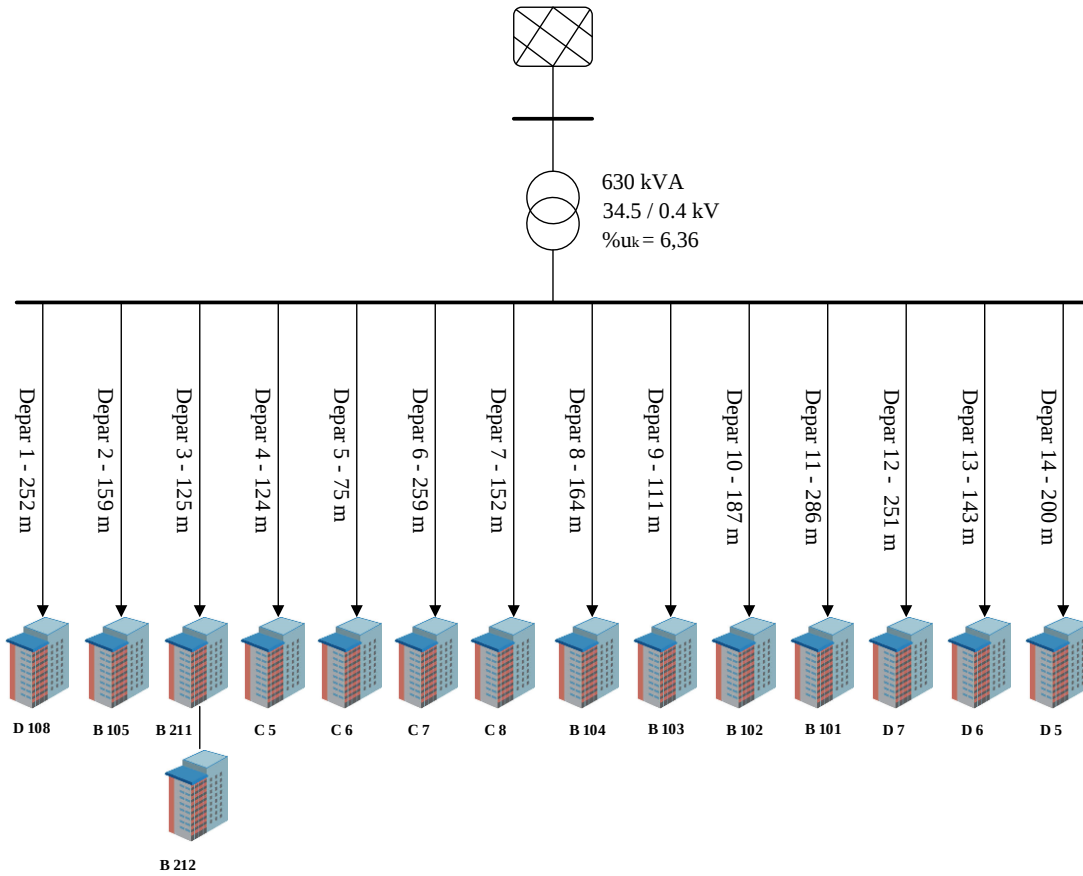
EA şarjının dağıtım şebekesine etkilerini incelemek için pilot bölge olarak örnek bir konut sitesi seçilmiştir. Bu konut sitesi 70.000 m² alan üzerine kurulmuş toplamda 30 blok ve 1274 daireden oluşmaktadır ve yaklaşık 5000 kişi bu konutlarda ikamet etmektedir. Üç adet dağıtım transformatörü bu 30 bloka enerji sağlamaktadır. Çalışmada sistemin karmaşıklığını ve veri yükünü hafifletmek adına bu transformatörlerden birinde analizler yapılmıştır. Kullanılan dağıtım

transformatörünün 14 deparı bulunmakta olup 15 bloktaki 662 hanenin enerji ihtiyacını karşılamaktadır.

Konutlarda toplam 1100 – 1200 adet civarında fosil yakıtlı konvansiyonel araç olduğu yetkili tarafından ifade edilmiştir. 1274 daire için bu sayı düşünüldüğünde hane başına bir araç düştüğü söylenebilmektedir. 662 hanenin 662 adet aracı olduğu kabul edilmiş ve analizde geleceğe yönelik bir tahmin yapılarak bu araçların %10, %30 ve %50'sinin elektrikli olduğu 3 farklı durum incelenmiştir.

4.1.2 Şebeke ekipmanlarının seçimi ve alınan veriler

Bölgedeki pilot şebekenin tek hat şeması Şekil 4.1'de verilmiştir. Konutların blok numaraları, konutları besleyen dağıtım transformatörü TR-1'in plaka değeri ve TR-1'den yük noktalarına kadar uzanan hat uzunlukları Şekil 4.1 üzerinden görülebilmektedir. 15 bloktan 13'ü transformatörün ayrı deparlarından beslenmekte 2 blok ise Depar 3'ten beslenmektedir. Blokların daire sayıları Çizelge 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Şebeke tek hat şeması.

Konut projeleri incelendiğinde talep gücü üzerinden yapılan hesaplarda Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği'ndeki Madde 57'ye [49] uyulmayarak konutlardaki bir dairenin eşzamanlı yükü belirlenirken 8 kW'a kadar 0,6 eşzamanlılık katsayısı kullanılmamış, dairenin kurulu gücü olduğu gibi alınmıştır.

Çizelge 4.1 : Blok tipine göre daire sayıları.

Blok tipi	Daire sayısı	Bağlı bulunan depar
D 108	48	Depar 1
B 105	46	Depar 2
B 211	40	Depar 3
B 212	40	Depar 3
C 5	40	Depar 4
C 6	40	Depar 5
C 7	36	Depar 6
C 8	40	Depar 7
B 104	48	Depar 8
B 103	48	Depar 9
B 102	48	Depar 10
B 101	48	Depar 11
D 7	48	Depar 12
D 6	44	Depar 13
D 5	48	Depar 14

Yönetmelikte binanın eş zamanlı yükünü bulmak için daire sayısına göre eş zamanlılık katsayıları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Daire sayısına göre eş zamanlılık katsayısı [49].

Daire sayısı	Eş zamanlılık katsayısı
3 - 5	45
5 - 10	43
11 - 15	41
16 - 20	39
21 - 25	36
26 - 30	34
31 - 35	31
36 - 40	29
41 - 45	28
46 - 50	26
51 - 55	25
56 - 61	24
62 ve üzeri	23

Binanın eş zamanlı yükü hesaplanırken Çizelge 4.2'de verilen daire sayısına göre eş zamanlılık katsayıları kullanılmamış dairelerin kurulu güçleri toplanmış ve 0,6 eş zamanlılık katsayısı ile çarpılmıştır. Hesaplamaların yönetmeliğe uygun olarak

yapılmaması sonucunda transformatör gücü ve kablo kesitleri gereğinden büyük kapasitede seçilmiştir. Dağıtım firmasının TBS'sinde bölgeyi besleyen transformatörün %20 yüklü olması da bu tespiti desteklemektedir. Bu yüzden çalışmada bölgeyi besleyen transformatörün gücü ve kablo kesitleri yönetmeliğe uygun yeniden boyutlandırılmıştır. Konutların elektrik tesisatı projelerinde dairenin kurulu gücü, daire tipine bağlı olarak bir 3,9 – 4,6 kW arasında değişmektedir. Bu değerler Madde 57'ye göre 0,6 katsayısı ile çarpıldığında yönetmelikte belirtilen bir daire için minimum kurulu güç değeri olan 3 kW'ın altında kalmaktadır. Bu sebeple tüm daireler için eş zamanlı güç 3 kW olarak alınmıştır.

Kablo kesiti seçimi için örnek olarak Depar 1'deki hesap şöyle yapılmıştır: Binanın kurulu gücü, daire sayısı çarpı eş zamanlı daire gücünden 144 kW olarak bulunmuştur. Bu değer Çizelge 4.2'de 46 – 50 daire sayısı aralığı için verilen 0,26 eş zamanlılık katsayısı ile çarpılmış ve eş zamanlı bina gücü P_{Bina} , 37,44 kW olarak hesaplanmıştır. Depar 1'den çekilecek akım değeri I_{Depar} , (4.1) kullanılarak 60,04 A bulunmuştur. Dairelerin güç faktörü 0,9 kabul edilmiştir.

$$I_{Depar} = \frac{P_{Bina}}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,9} \quad (4.1)$$

Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliğindeki “Yapının yada yapı kümesinin beslenmesi için bir transformatör kullanılmışsa, bu transformatörü çıkış uçları ile yapı bağlantı kutusu arasındaki gerilim düşümü % 5'i geçmemelidir.” ifadesine göre yük noktasına kadar hattaki maksimum gerilim düşümü, hat geriliminin 0,05 katı yani 11,547 V değerini almalıdır. Hattın kesiti (4.2) denkleminde 21,11 mm² hesaplanmıştır. Burada bakırın öziletkenliği 56 m/Ωmm² alınmış olup L hattın uzunluğu, q ise kablo kesitidir.

$$q = \frac{I_{Depar} \times 0,9 \times L}{11,547 \times 56} \quad (4.2)$$

Depar 1'in kablo kesiti, 21,11 mm² değerinin Çizelge 4.3'teki bir üst kesit değeri olan 3 x 25 + 16 mm² seçilmiştir. Hattın üzerinden geçen akım 60,04 A olduğu için akım kontrolünü de sağlamaktadır.

Çizelge 4.3 : Yeraltı kablo özellikleri.

Kablo tipi	Kablo kesiti [mm ²]	Akım taşıma kapasitesi [A]	Birim empedans [Ω /km]
NYFGby (çelik zırlı yeraltı)	4 x 10	77	1,7547+0,1207i
NYFGby (çelik zırlı yeraltı)	4 x 16	99	1,097+0,1122i
NYFGby (çelik zırlı yeraltı)	3 x 25 + 16	128	0,727+0,1055i
NYFGby (çelik zırlı yeraltı)	3 x 35 + 16	154	0,502+0,1i

Diğer deparlar için de aynı yöntem uygulanarak kablo kesitleri Çizelge 4.4'teki gibi seçilmiştir. Bu kablolar CYME yazılımında modellenerek pozitif bileşen empedansları bulunmuştur.

Çizelge 4.4 : Deparların kablo kesitleri ve pozitif bileşen empedansları.

Depar no	Kablo kesit [mm ²]	Uzunluk [km]	Pozitif bileşen empedansı [Ω]
1	3x25+16	0,25264	0,1837+0,0266i
2	4x16	0,1593	0,1158+0,0168i
3	3x25+16	0,12508	0,0909+0,0132i
4	4x16	0,12487	0,1369+0,0140i
5	4x10	0,075	0,1316+0,009i
6	3x25+16	0,25912	0,1884+0,0273i
7	4x16	0,15227	0,1670+0,0171i
8	4x16	0,16493	0,1809+0,0185i
9	4x16	0,11134	0,1221+0,0125i
10	3x25+16	0,18791	0,1366+0,0198i
11	3x35+16	0,28636	0,1437+0,0286i
12	3x25+16	0,25119	0,1826+0,0265i
13	4x16	0,14343	0,1573+0,0161i
14	3x25+16	0,20021	0,1455+0,0211i

Dağıtım transformatörünün seçimi için yine benzer bir yaklaşım kullanılmıştır. 15 blokta 662 hane bulunmaktadır. Hane sayısı 662 ile eş zamanlı daire gücü (3 kW) ve minimum eş zamanlılık katsayısı (0,23) ile çarpılarak tüm blokların eş zamanlı gücü 456,78 kW bulunmuştur. Bu verilere dayanarak seçilen dağıtım transformatörünün özellikleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Dağıtım transformatörünün plaka değerleri

	Gerilim seviyesi	Anma gücü	%uk	Bağlantı grubu
TR-1	34.5/0.4 kV	630 kVA	6,36	Dyn11

Bölgeyi besleyen dağıtım transformatörünün; yaz ve kış mevsimlerinde hafta içi ve sonu olmak üzere 9 Ocak Cuma, 10 Ocak Cumartesi, 11 Temmuz Cuma ve 12

Temmuz Cumartesi günleri için saatlik ortalama yük profil değerleri dağıtım firmasının OSOS yazılımından temin edilmiştir. Bu değerler dağıtım transformatörünün sekonderindeki AG baradan ölçülmüştür. Transformatörlerin yük profil değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Yük profilleri.

Saat	9 Ocak		10 Ocak		11 Temmuz		12 Temmuz	
	Aktif Güç [kW]	Reaktif Güç [kVAr]	Aktif Güç [kW]	Reaktif Güç [kVAr]	Aktif Güç [kW]	Reaktif Güç [kVAr]	Aktif Güç [kW]	Reaktif Güç [kVAr]
01:00	204	34,4	212	34,8	167,6	46,4	177,2	49,6
02:00	153,6	29,6	173,2	31,2	135,6	46	154,8	50,4
03:00	133,6	30,4	149,6	30,4	114	40,8	125,6	46,8
04:00	126,4	29,2	132	29,2	106,4	32	107,2	34
05:00	122,4	29,6	123,6	29,2	116	35,2	113,2	34,4
06:00	122	28,8	127,6	30	143,2	44,4	140,8	41,2
07:00	145,6	32	132,4	31,6	179,6	57,2	164,8	45,2
08:00	184,4	35,2	155,6	34,8	201,2	64,8	182,4	51,2
09:00	250	40,4	223,2	33,6	215,6	70	211,6	58
10:00	327,2	47,6	282,8	42,4	219,6	68,8	226,4	60
11:00	339,2	47,6	296,8	48,8	217,2	62,4	237,2	70,8
12:00	348,4	53,6	343,6	55,2	228	64,4	238,8	72,8
13:00	332,4	55,2	385,6	59,2	227,2	66,4	244	69,2
14:00	310	48	359,2	59,6	240,8	70,4	222	69,6
15:00	344,8	54,4	378	60	245,2	80	224,8	70
16:00	356	54	361,2	55,6	246,8	78,8	213,6	59,2
17:00	378	60,4	364	57,6	237,6	59,2	246,4	61,6
18:00	350,8	62,8	346	53,2	254,4	62,4	240,8	63,2
19:00	344	63,2	323,2	50,8	250	61,6	220	60
20:00	326,4	56,4	297,6	51,2	233,6	62	216,4	62
21:00	310,8	50	286,8	50,4	218,8	64,4	203,6	59,2
22:00	298	42,8	260,4	44	218,8	62,4	203,2	58
23:00	278,4	39,2	266,8	44,8	194,4	55,2	205,6	60
00:00	245,6	36	246,4	38,8	194	50	202,8	55,6

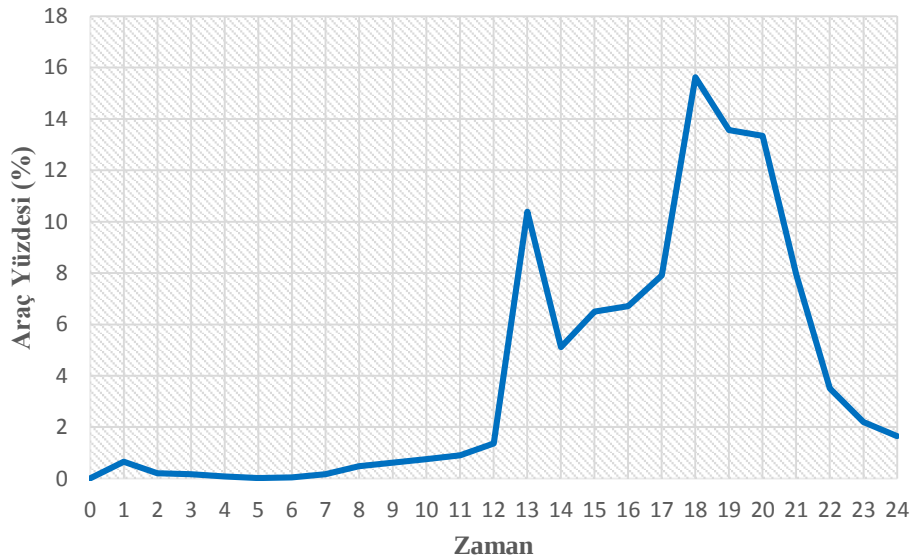
Çizelge 4.6’dan görüleceği üzere kış mevsimindeki günlerde dağıtım transformatöründen talep edilen puant gücün yaz mevsimindeki günlere kıyasla daha yüksek değerler almaktadır. Bunun sebebi blokların ısıtılmasından kaynaklanan yük artışıdır. Ayrıca gün içerisindeki puant yüklerin hafta içinde daha çok akşam saatlerinde (17:00 - 19:00) hafta sonu ise öğle saatlerinde (12:00 – 14:00) görüldüğü söylenebilir.

Transformatörün her bir deparı için ayrı ölçümler olmadığından sekonder baradan ölçülen güç değeri, yük akışında kullanılmak üzere deparlara daire sayısı ile orantılı

olarak dağıtılmıştır. Çalışmada EA'ların etkisini en kötü senaryoda ortaya çıkarmak için yük profil değerleri en yüksek olan 9 Ocak 2015 günü seçilmiştir.

4.1.3 Sürücü davranışları ve elektrikli araç bilgileri

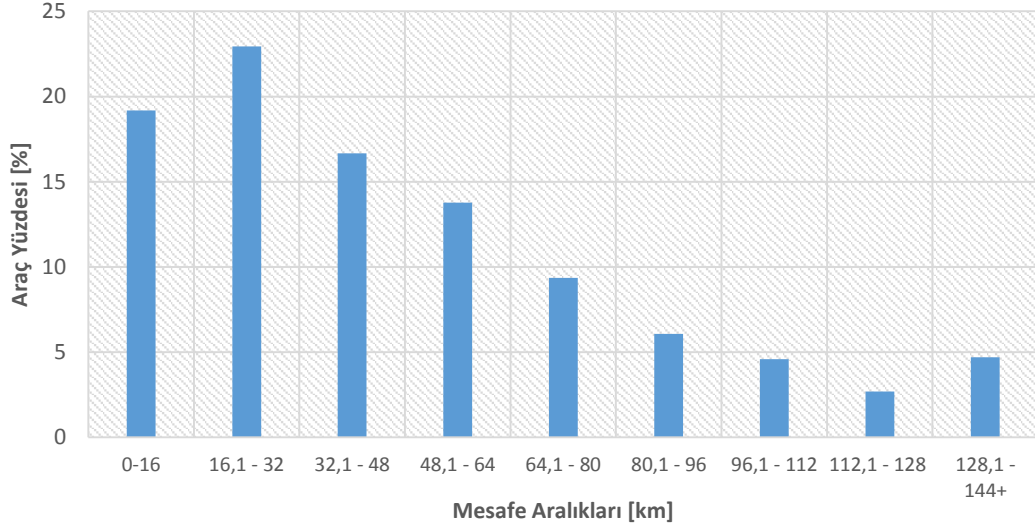
Pilot bölge için sadece konutların bulunduğu bir alan seçilmiştir çünkü şarj istasyonu üreticisi firmalarla yapılan görüşmeler sonucunda, şarj istasyonlarının ilk etapta büyük konut projelerine yerleştirileceği tahmini alınmıştır. Konutlarda ikamet eden araç sürücülerinin gün içerisindeki yolculuk sayılarının fazla değişken olmaması dolayısıyla her bir aracın bir günde sadece iki yolculuk yapması (ev-iş, iş-ev) kabulü büyük bir yanlışlık getirmemektedir. 3. Bölümde de belirtildiği gibi araçların eve dönüş zamanı şarj başlangıcı olarak kabul edilmiştir. Araç kullanıcılarının, gün içerisinde ek yolculuk yapmadıkları için sadece eve döndüklerinde araçlarını şarj ettikleri ve bu şarj işlem sonunda araç bataryalarını bir sonraki günün sabahına kadar %100 oranında doldurdıkları varsayılmıştır. Şarj yükü profilini oluşturmak için gerekli olan araçların eve dönüş zamanı verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Planlama Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı (İÜAP) raporundan alınmıştır [51]. Saatlik bazda alınan bu veriler Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Araçların eve dönüş zamanları.

Şarj yükü profilini oluşturan bir diğer kritik etmen ise şarj süresidir. Araçların günlük katettiği ortalama mesafeye bağlı olarak batarya SOC değeri azalacak böylece bataryayı doldurmak için gereken şarj süresi uzayacaktır. İstanbul'da araçların bir

günde katettiği ortalama mesafe değeri yine İÜAP raporundan alınmıştır. Ancak km aralıklarına dayalı bir dağılım olmadığı için [52]'de yapılan çalışmada kullanılan mesafe aralık değerlerinin ağırlıklı ortalaması İÜAP raporundaki ortalama mesafe değerine eşit olacak şekilde Şekil 4.3'teki gibi düzenlenmiştir.



Şekil 4.3 : Araçların günlük katettikleri ortalama mesafe dağılımı.

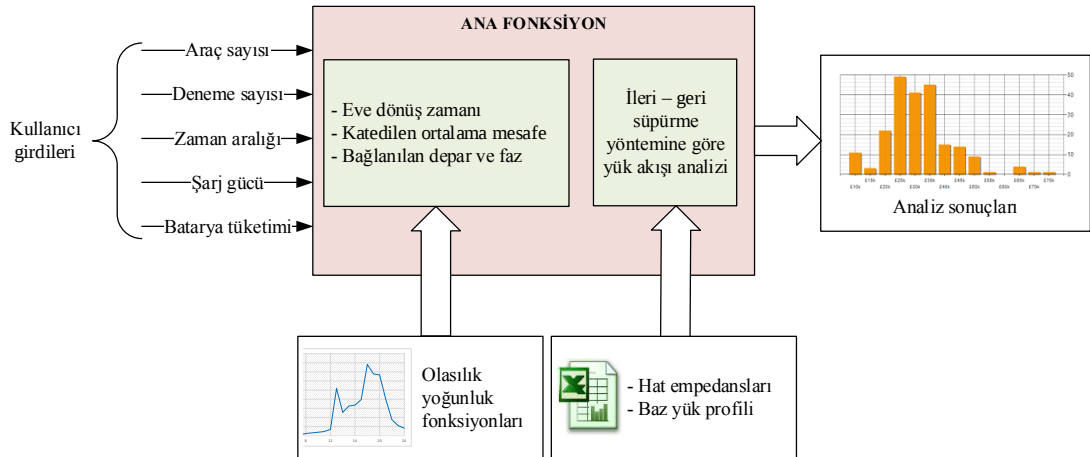
Mesafe aralıklarındaki alt ve üst sınır değerlerinin ortalaması alınmış ve sürücü grubunun bu ortalama değeri katettiği varsayılmıştır. Araç yüzdeleri ile mesafe aralıklarının ortalama değerleri, araçların günlük katettiği mesafeye ait olasılık yoğunluk fonksiyonunu oluşturmuştur. Olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edildikten sonra Bölüm 3'te anlatılan yöntem uygulanmış ve her aracın günlük katettiği ortalama mesafe raslantısal olarak bulunmuştur. Ortalama mesafe değeri (3.8)'deki denklemde yerine konulmuş ve şarj süresi hesaplanmıştır. Şarj süresi şarj başlama zamanına eklenmiş ve şarj bitiş zamanı elde edilmiştir. Bunlara ek olarak araçların deparlara bağlanma olasılıkları bloklardaki daire sayısı ile ilişkilendirilmiş, fazlara bağlanma olasılıkları ise eşit düşünülerek olasılık dağılım fonksiyonları oluşturulmuş ve Bölüm 3'teki yöntem uygulanmıştır. Konut sakinleri, araçlarını çoğunlukla akşam saatlerinde işten döndükten sonra şarj edeceği için şarj süresini sorun etmeyeceklerdir. Bu yüzden maliyeti daha düşük olan tek fazlı 3,7 kW ev tipi şarj istasyonlarının tercih edileceği düşünülmüş ve çalışmada bu şarj yöntemi kullanılmıştır. EA kullanıcılarının tek tip bir araç modeline sahip oldukları kabul edilmiştir. Bu araç modelinin özellikleri Çizelge 4.7'de görülebilir.

Çizelge 4.7 : Araç modelinin teknik özellikleri.

Araç Tipi	Menzil [km]	Batarya Kapasitesi [kWh]	Şarj Tipi	Yakıt Tüketimi [kWh / km]	Şarj Cihazı Verimi
SEA	280	36	AA	0,2	0,9

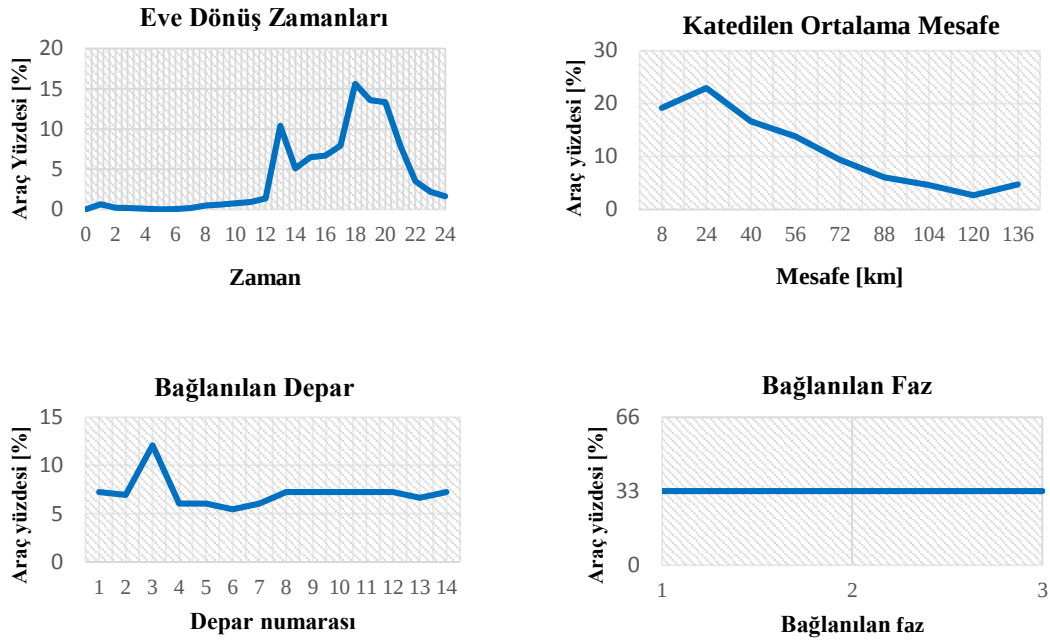
4.2 Analiz Algoritmasının Oluşturulması

Sistemin analizi için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Şekil 3.3'te verilen Monte Carlo akış şemasından hareketle yazılan MATLAB kodu, tüm yardımcı fonksiyonları çağıran bir esas fonksiyon ile iki temel yardımcı fonksiyondan oluşmaktadır. Yardımcı fonksiyonların biri araçların eve dönüş zamanı, katettikleri ortalama mesafe, bağlanacakları faz ve depar verilerini rastlantısal olarak hesaplamak, diğeri ise ileri-geri süpürme yöntemine göre yük akışı analizini yapmak için kullanılmaktadır. Şekil 4.6'da yazılan MATLAB programının blok şeması verilmiştir. Programa dışarıdan o analiz için kullanılacak EA sayısı, deneme sayısı ve zaman aralığı verileri girilmelidir, şarj gücü ve batarya tüketimi tüm analizler için sabittir. Deneme sayısı, analizin kaç kere çalıştırılacağını yani farklı rastlantısal girişlerle kaç adet deterministik çıktı alınacağını belirler. Analiz sonucunda elde edilen verilerin istatistiklerinin alınması için bir analizin birden çok kez çalıştırılması gerektiğinden deneme sayısı önemli bir parametredir. Zaman aralığı ise bir günün kaç eşit parçaya bölüneceğini yani yük akışının bir gün içerisinde kaç kere çalıştırılacağını tayin eden değişkendir. Olasılık yoğunluk fonksiyonları rastlantısal değişkenleri hesaplayan yardımcı fonksiyona giriş olarak verilmiştir. Şebekenin baz yük profili ve yük noktalarına giden hatların empedansları ise bir excel dosyasından okunarak ana fonksiyonda işlenmektedir.



Şekil 4.4 : MATLAB yazılımı blok şeması.

Programda rastlantısal değişkenlerin değerlerinin belirlenmesi için kullanılan olasılık yoğunluk fonksiyonlarının toplu bir gösterimi Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Rastlantısal değişkenlerin olasılık yoğunluk fonksiyonları.

Örnek olarak araçların dönüş zamanları için rastlantısal değerler üreten kodun bir parçası Şekil 4.6'da verilmiştir.

```
% randomly find vehicle returning time as minutes

%find equation coefficients
cdf_of_arr_times=[0 0.0064 0.0085 0.0101 0.0109 0.0110 0.0115 0.0132
0.0179 0.0241 0.0316 0.0407 0.0544 0.1584 0.2096 0.2747 0.3418 0.4210
0.5774 0.7132 0.8467 0.9263 0.9614 0.9834 1];
times=[0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23
24];

if(isplot == 1)
    figure,plot(times,cdf_of_arr_times);
    title('İUAP ARAÇ DÖNÜŞ ZAMAN CDF DAĞILIMI');
    ylabel('olasılık');
    xlabel('zaman');
end

P = interp1(cdf_of_arr_times,times,0:0.001:1);
rand1 = rand(1,vehicle_num);
rand1 = ceil(rand1*1000);
%find arrival times by using random numbers (15 m precision)
% start_time = floor(polyval(P,rand1) * (60/precision)) * precision;
start_time = floor(P(rand1) * (60/precision)) * precision;
```

Şekil 4.6 : Örnek MATLAB kod parçası.

4.3 Analiz Sonuçları

EA'ların şebekeye olan etkisi incelenirken, tüm sistemdeki gerilim düşümü sınır ihlali olasılığı, zamana bağlı minimum, maksimum ve ortalama gerilim profilleri, deparlar özelinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları, transformatörün zamana bağlı minimum, maksimum ve ortalama yüklenme değerleri, farklı iterasyonlar için transformatörün yük değerleri ve transformatörün anma gücünün aşılma olasılığını gösteren transformatör yük dağılımı olmak üzere 6 farklı analizin sonuçları verilmiştir.

Bu bölümde en kötü senaryoyu göz önüne almak adına Çizelge 4.6'da verilen yük profillerinden en yüksek değerlere sahip 9 Ocak 2015 Cuma günü için yapılan analizlerin sonuçları verilmiştir. Kış mevsimi hafta sonunu incelemek için ise 10 Ocak 2015 Cumartesi gününe ait yük profili verileri kullanılmıştır. Analiz sonuçları EKLER bölümünde verilmiştir.

Analizler %0 (baz yükü profili), %10, %30 ve %50 üç farklı EA nüfuz seviyesi için yapılmıştır. Baz yük profili değerleri saatlik ortalama olarak alınabildiğinden bu değerlerin 60 dakika boyunca değişmediği varsayılarak, analizler bir dakikalık çözünürlükle yapılmıştır. Şarj gücü, batarya tüketimi ve şarj cihazı verimi Çizelge 4.7'deki gibidir. Deneme sayısı ise tüm analizlerde 1000 olarak alınmıştır.

Gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları histogram grafiğinde gün içerisindeki 1440 dakikanın her biri için 1000 kez tekrarlanan analizin sonucunda tüm depar ve fazları içeren yük noktası gerilim değerleri verilmiştir. Buradan hareketle yük noktalarındaki gerilimlerin yüzde kaç olasılıkla gerilim düşümü sınır değeri olan 0,95 pu değerinin altında kalabileceği hesaplanmıştır.

Gerilim profillerinin zamana bağlı minimum, maksimum ve ortalama değerleri çizdirilirken günün her dakikası için, 1000 iterasyonun 42 adet yük noktasına ait toplam 42000 gerilim değeri arasından seçim yapılmıştır.

Deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları analizi ile deparların hangi fazlarında yüzde kaç olasılıkla gerilim düşümü ihlali olacağı incelenmiştir.

Transformatörün yük değerleri eğrisi ise günün her dakikası için o dakikaya ait 1000 verinin minimumu, maksimumu ve ortalaması verilerek elde edilmiştir.

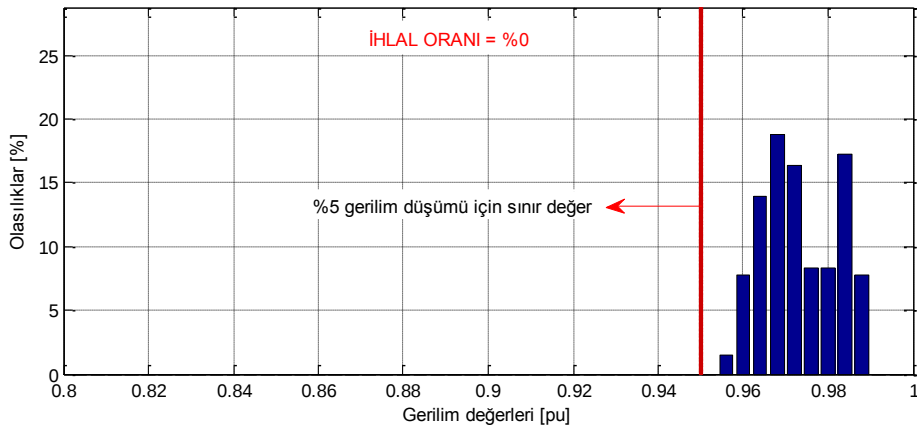
Farklı iterasyonlar için transformatörün yük değerleri grafiğinde ise rastgele seçilen 3 farklı iterasyon değeri için yük değerleri gösterilmiştir.

Analiz sonuçları çizelgesinde gerilim ve yük değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri ve hatlardaki günlük aktif enerji kayıplarının ortalama değerleri verilmiştir. Ayrıca tüm iterasyonlar içerisinde aynı anda şebekeye bağlı araç sayısının maksimum olduğu iterasyon seçilmiş bu sayı toplam araç sayısına bölümünerek araçların maksimum eş zamanlılığı bulunmuştur. Gerilim dengesizliği, Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği'ndeki tek fazlı yükleri besleyen noktalarda faz gerilimlerinin negatif bileşeninin pozitif bileşene oranının maksimum %3 olması esas göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Her dakika için 1000 kez tekrarlanan analizlerin sonucunda transformatörün elde edilen tüm yük değerleri ait oldukları yük seviyesine göre gruplandırılarak transformatörün yük dağılımı histogramı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu dağılımla transformatörün yüzde kaç olasılıkla aşırı yükleneyeceği belirlenmiştir.

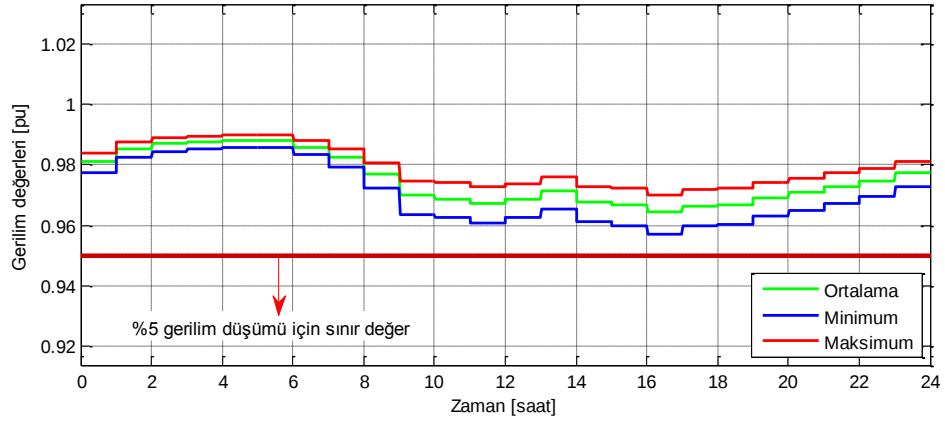
4.3.1 Baz yük profili

EA şarj yükü içermeyen, şebekenin baz yük profiliyle yapılan analizin sonuçları Şekil 4.7 – 4.9 ve Çizelge 4.8'de verilmiştir.

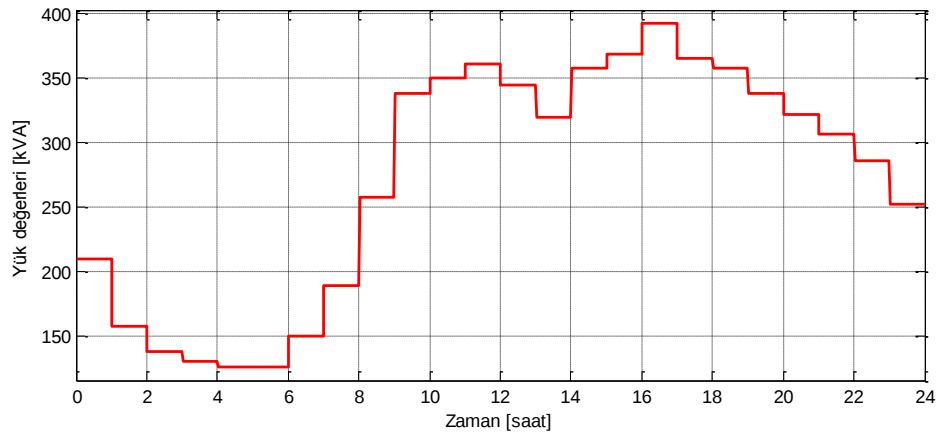


Şekil 4.7 : Baz yük profilinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.

Şekil 4.8'de gerilimin etkin değerlerinin saat 16:00 – 18:00 arasındaki akşam puantına bağlı olarak en düşük değerlerini aldığı görülmektedir. Minimum gerilim değeri 0,9571 pu, maksimum gerilim değeri 0,9898 pu ve ortalama gerilim değeri 0,9752 pu'dur. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi transformatör en çok 16:00 – 17:00 saatleri arasında %62,3'lük bir oranla yüklenmiştir (Çizelge 4.8). Baz yük profili analizinde beklendiği üzere gerilim düşümü, transformatörün aşırı yüklenmesi ve gerilim dengesizliği açısından herhangi bir ihlal oluşmamıştır.



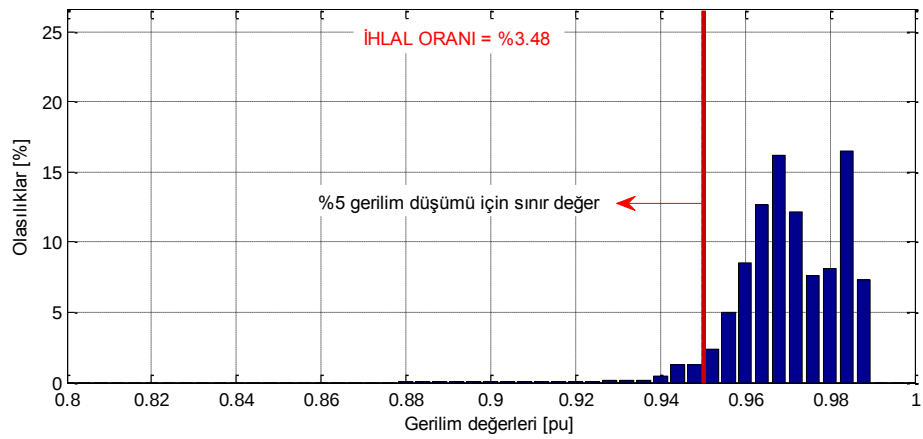
Şekil 4.8 : Tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.



Şekil 4.9 : TR-1 yük değerleri.

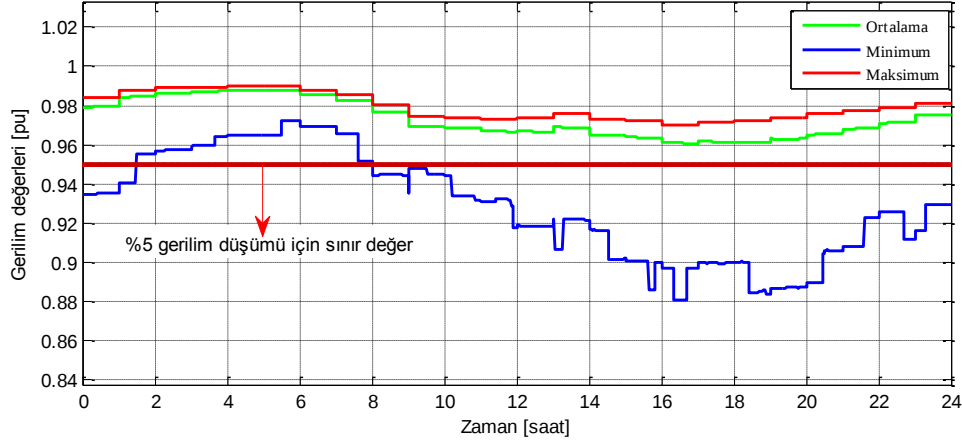
4.3.2 %10 Elektrikli araç nüfuz seviyesi

Bu analizde EA piyasasının önümüzdeki yıllarda yaygınlaşmasıyla konut sitesindeki 662 aracın 66'sının EA olması durumu düşünülmüştür. Bu EA'ların şebekeye getirdiği ek şarj yükünün etkisi Şekil 4.10-15 ve Çizelge 4.8'den gözlemlenebilir.



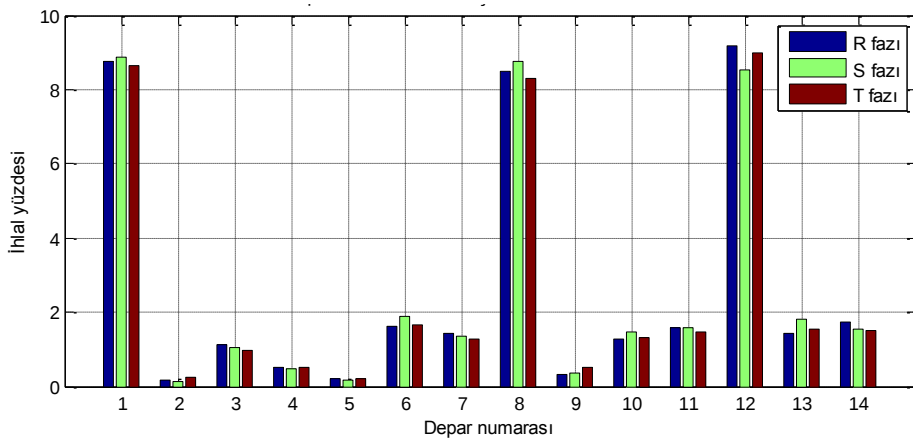
Şekil 4.10 : %10 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.

Şebekede %3,48 olasılıkla gerilimin etkin değerinin 0,95 pu'nun altına düşeceği Şekil 4.10'da belirtilmiştir. Şekil 4.11'den takip edilebileceği gibi yük noktalarındaki minimum gerilim değerleri 16:00 – 17:00 ve 18:00 – 20:00 saatleri arasında görülmüştür.

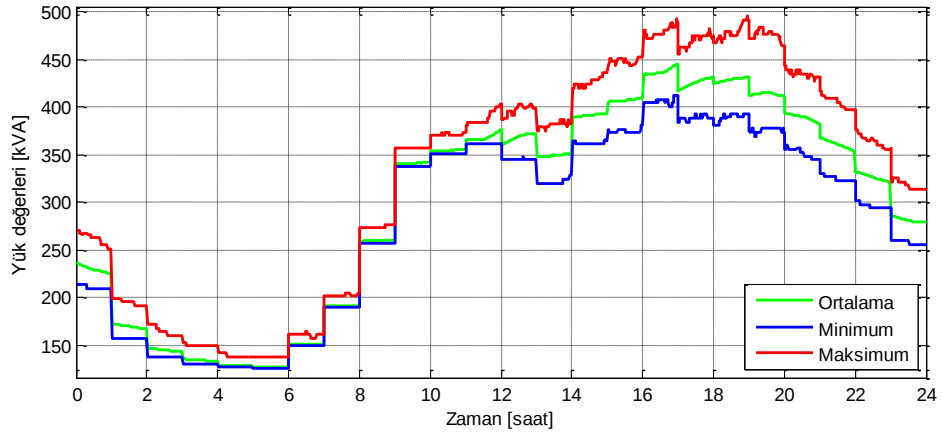


Şekil 4.11 : %10 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.

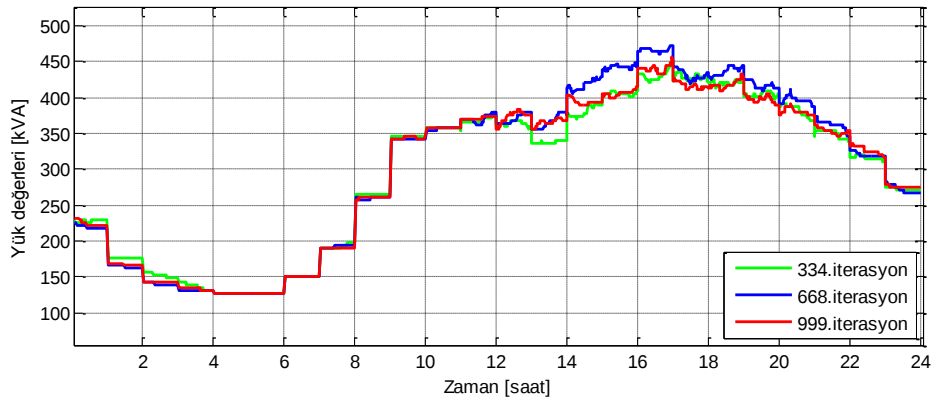
Şebekenin zayıf noktalarını tespit etmek için Şekil 4.12'de deparların gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları verilmiştir. Buradan Depar 1, 8 ve 12'de %8-9 olasılıkla ihlal durumu olacağı sonucu çıkarılabilir. TR-1'in dakikalık yük eğrisi ise Şekil 4.13'de verilmiştir. Analizde görülen minimum yük değeri baz yük profili değeriyle aynı olup 126,3 kVA'dır. Bunun nedeni o dakika için yapılan 1000 iterasyondan en az birinde herhangi bir aracın şarj olmamasıdır. Maksimum yük değeri 495,2 kVA olup ortalama yük değeri 299,2 kVA'dır.



Şekil 4.12 : %10 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.

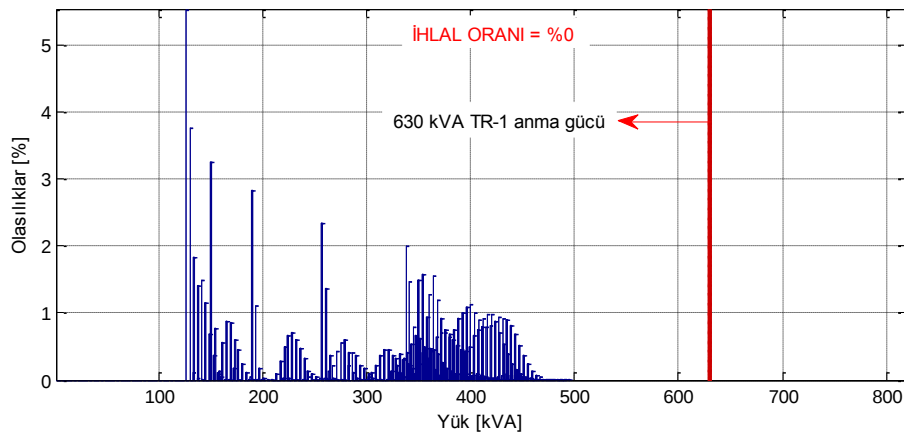


Şekil 4.13 : %10 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.



Şekil 4.14 : %10 nüfuz seviyesinde farklı iterasyonlar için TR-1 yük değerleri.

TR-1'in gün içerisindeki farklı dakikalarda ve farklı iterasyonlarda aldığı yük değerlerinin dağılımı Şekil 4.15'de histrogram olarak gösterilmiştir. Burada hiçbir yük değeri transformatörün anma gücünün üstüne çıkmamıştır.

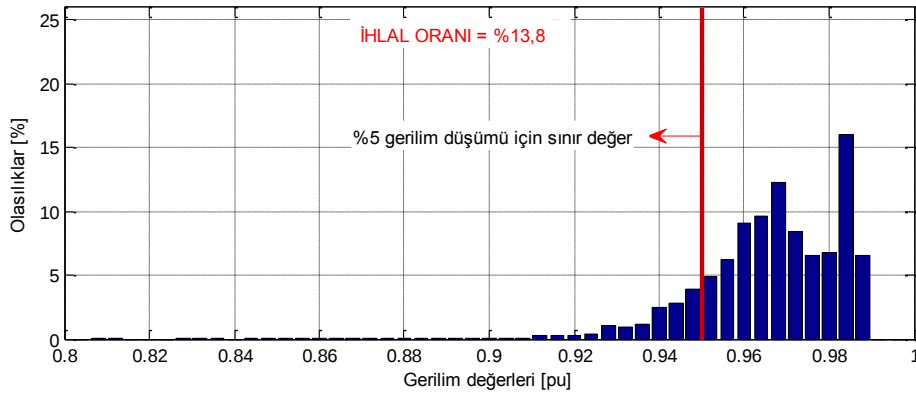


Şekil 4.15 : %10 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.

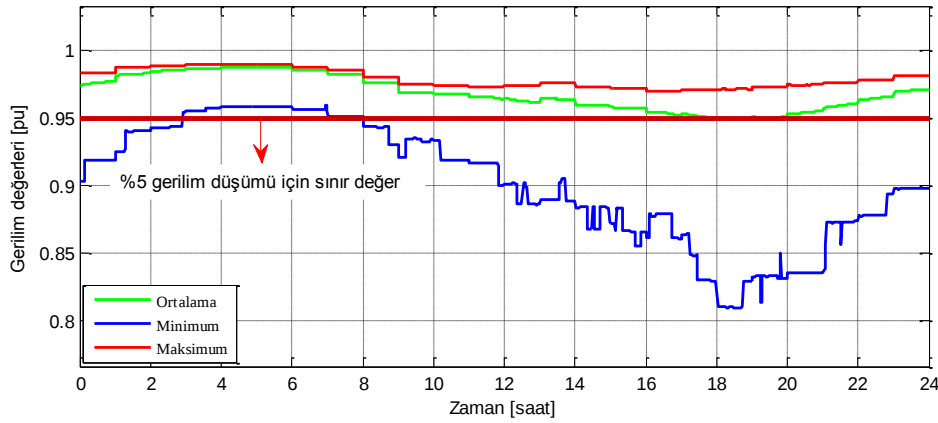
Gerilim dengesizliği incelemesinde ise herhangi bir ihlal durumuyla karşılaşılmamıştır. Konut bölgesindeki 66 araçtan en fazla 38'i aynı anda şarj olmuştur. Böylece araçların eş zamanlı şarj olma yüzdesi 56,06 bulunmuştur.

4.3.3 %30 Elektrikli araç nüfuz seviyesi

Konut bölgesindeki 662 aracın 198'inin EA olması durumu ile ilgili yapılan simülasyonun sonuçları Şekil 4.16-21 ve Çizelge 4.8'de verilmiştir. Yük noktalarındaki gerilim düşümünün nominal değer $\%5$ 'inin üstüne çıkma olasılığı Şekil 4.16'da ifade edildiği gibi $\%13,8$ bulunmuştur.

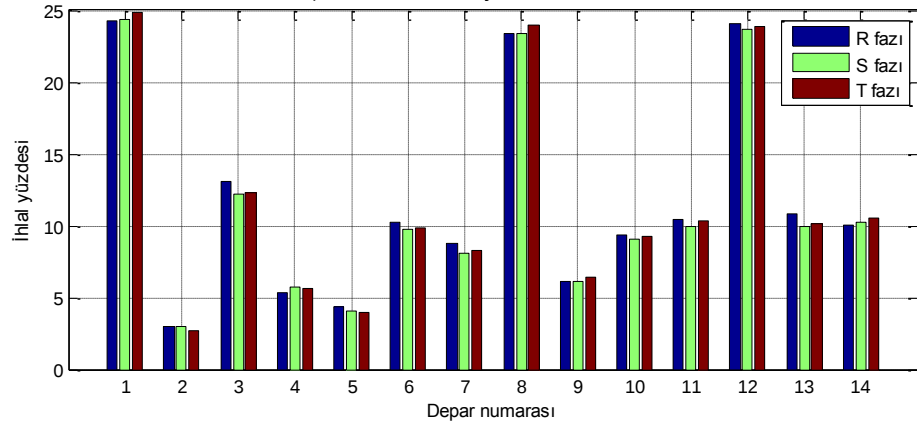


Şekil 4.16 : %30 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.



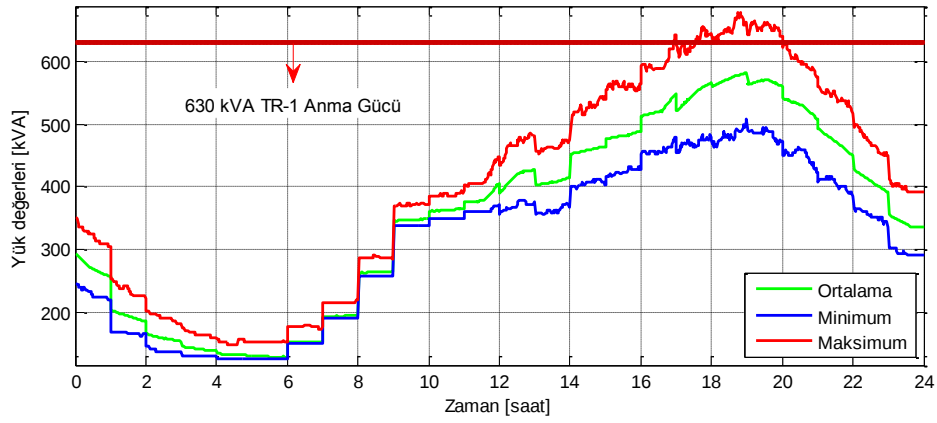
Şekil 4.17 : %30 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.

Sistemdeki minimum gerilim değerleri, baz yük değerinin yüksek, araçların eve dönüşlerinin ise yoğunlaştığı 18:00-19:00 saatleri arasında görülmüştür (Şekil 4.17). 42 adet yük noktasında gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları Şekil 4.18'de verilmiştir. $\%10$ EA için yapılan analize paralel olarak Depar 1, 8 ve 12 $\%23 - \%25$ ihlal olasılığıyla yine en sorunlu deparlar olarak görünmektedir. Araç sayısının artmasına bağlı olarak $\%10$ nüfuz seviyesine göre diğer deparlardaki ihlal olasılığı da artmıştır.

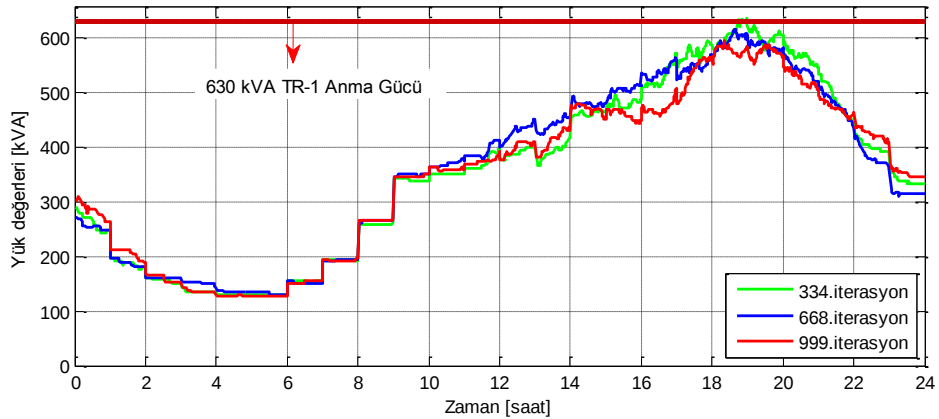


Şekil 4.18 : %30 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.

Şekil 4.19’da TR-1’in yük değerleri verilmiştir. Transformatörün en çok yüklendiği duruma göre saat 17:00 – 19:00 civarlarında sınır ihlalleri gerçekleşmiş gibi görünse de ortalama yük değerlerine bakıldığında bir problem görülmemektedir.

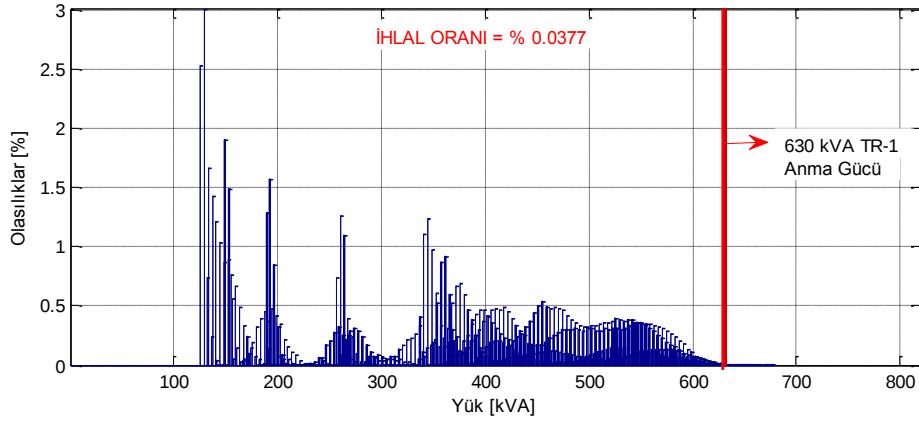


Şekil 4.19 : %30 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.



Şekil 4.20 : %30 nüfuz seviyesinde farklı iterasyonlar için TR-1 yük değerleri.

Şekil 4.21’de yapılan tüm iterasyonlar için transformatörün yük değerleri verilmiştir. Buna göre transformatörün %0.0377 olasılıkla aşırı yükleneceği sonucuna varılmıştır.

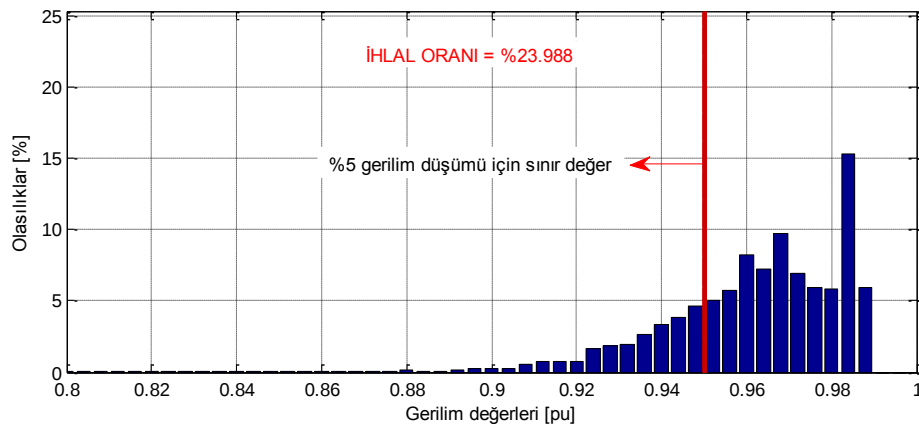


Şekil 4.21 : %30 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.

%30 EA nüfuz seviyesi durumunda %10'a göre transformatörün ortalama yüklenmesi %8,5 artarak %55,9'a ulaşmıştır. Gerilim etkin değerlerinin ortalaması 0,9688 pu'ya düşmüş, gerilimde sınır ihlali olasılıkları %13,805'e yükselmiştir. Konut sitelerinde şarj olan araç sayısının artmasıyla araçların eş zamanlı şarj olma yüzdesi %41,41'e düşmüştür. Ayrıca sistemde düşük bir olasılıkla da olsa gerilim dengesizliğiyle karşılaşmıştır.

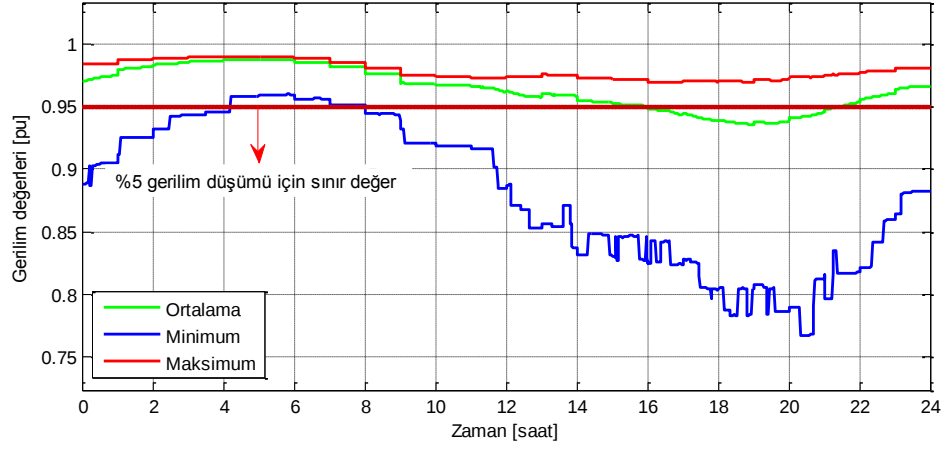
4.3.4 %50 Elektrikli araç nüfuz seviyesi

Bu kısımda konutlarda ikamet eden sürücülerin yarısının EA kullandığı bu durumda şarj yükünün etkisi analiz edilmiştir. Şebekeden aynı anda güç çeken araç sayısının artışı doğrultusunda gerilim düşümü ihlal olasılıkları da Şekil 4.22'de gösterildiği üzere %23,988 olmuştur.



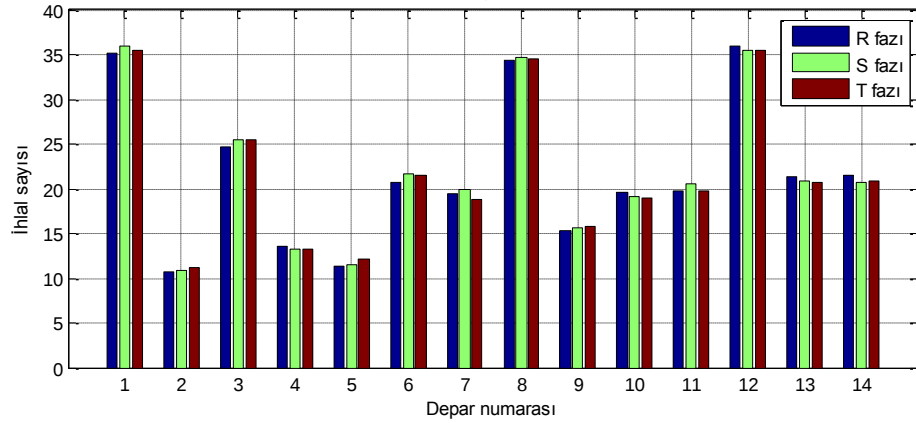
Şekil 4.22 : %50 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.

Bölgedeki EA nüfuz seviyesinin yükselişiyle araçların eve dönüşleri 17-19 arasında yoğunlaşmış ve sistemdeki ortalama gerilim değeri 17:00 – 21:00 saatleri arasında sınır değerin altında kalmıştır (Şekil 4.23).



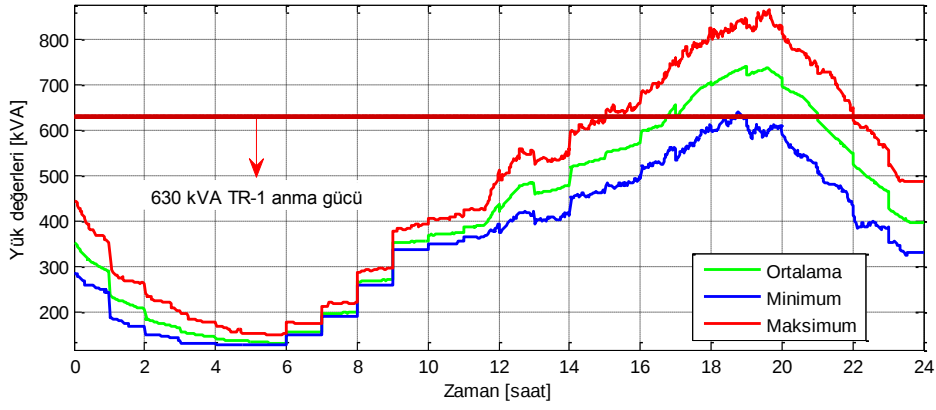
Şekil 4.23 : %50 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.

Şekil 4.24'te verilen deparlar özelindeki ihlallere bakıldığında araçların deparlara bağlanma olasılıkları daire sayısına bağlı olduğundan nüfuz seviyesinin yüklediği birlikte ihlaller artmış ve öncekilerden farklı olarak %25 olasılıkla ihlallerin gerçekleşeceği Depar 3 de sorunlu yük noktalarından birisi haline gelmiştir.

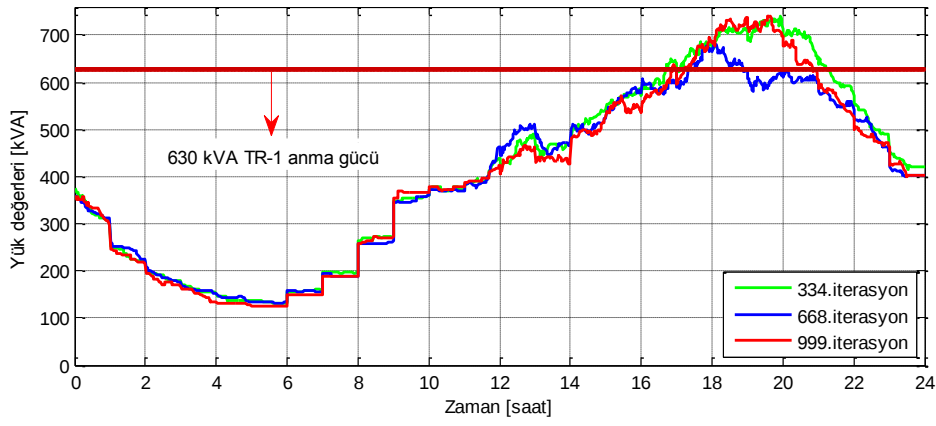


Şekil 4.24 : %50 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.

Şekil 4.25'teki eğriden anlaşılacağı gibi transformatörün yüklenme oranı 17:00 – 21:00 saatleri arasında %100'ün üzerine çıkmıştır. Ortalama yük değerlerinin transformatörün anma gücünü aştığı tek analiz EA nüfuz seviyesinin %50 olduğu durumda görülmüştür.

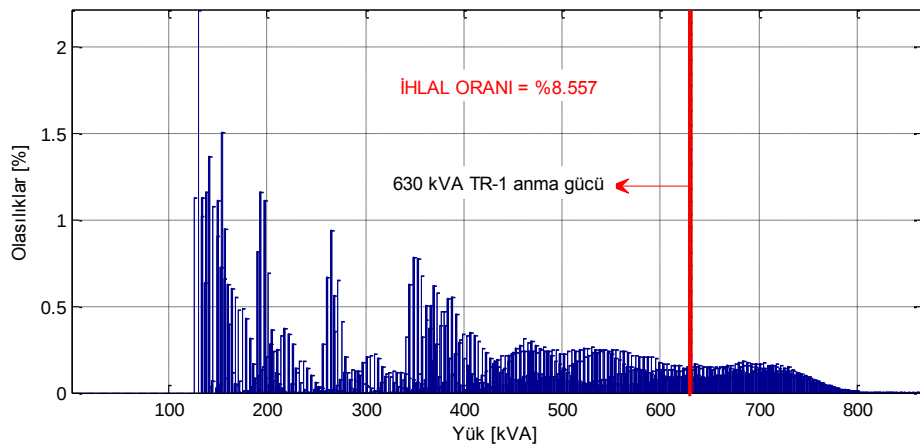


Şekil 4.25 : %50 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.



Şekil 4.26 : %50 nüfuz seviyesinde farklı iterasyonlar için TR-1 yük değerleri.

Histogramdaki yük değeri çeşitliliği de şarj olan araç sayısı ile beraber artış göstermiştir. Bu analizde transformatörün %8,557 olasılıkla aşırı yükleneceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.27 : %50 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.

Elde edilen sonuçlarda gerilim düşümü sınır ihlallerinin ve transformatörün aşırı yüklenme olasılıkları beklendiği üzere %50 nüfuz seviyesinde maksimum değerlerini

almışlardır. Çizelge 4.8’den anlaşılabacağı gibi TR-1 maksimum koşulda anma gücünün üzerine çıkmış %137,4 yüklenmiştir.

4.4 Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

EA’ların alçak gerilim şebekesine etkisi daha önce de belirtildiği gibi baz yük profili, %10, %30 ve %50 nüfuz seviyelerinde 9 Ocak 2015 günü için incelenmiştir. Sonuçların toplu halde gösterimi Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : EA nüfuz seviyelerine göre analiz sonuçları

		Baz	%10	%30	%50
Gerilim [pu]	Min.	0,9571	0,881	0,8098	0,7669
	Ortalama	0,9752	0,9731	0,9688	0,9643
	Maks.	0,9898	0,9898	0,9898	0,9898
TR-1 kVA	Min.	126,3	126,3	126,3	126,3
	Ortalama	272,9	299,2	352,5	407,6
	Maks.	392,8	495,2	677,6	866,1
TR-1 yüklenme [%]	Min.	20	20	20	20
	Ortalama	43,3	47,4	55,9	64,7
	Maks.	62,3	78,6	107,55	137,4
Gerilim ihlal olasılıkları [%]		0	3,48	13,805	23,988
TR-1 aşırı yüklenme olasılıkları [%]		0	0	0,0377	8,557
Dengesizlik ihlal olasılıkları [%]		0	0	0,0152	0,1573
Araçların eş zamanlılığı [%]		-	56,06	41,41	39,27
Hat kayıpları [kWh]		189,76	242,12	367,46	526,83

Daha önce de belirtildiği gibi konut bölgesinde herhangi bir EA olmayan baz yük profili incelemesinde beklendiği gibi gerilim düşümünde ve gerilim dengesizliğinde yönetmeliklerin dışına çıkan bir ihlal durumu oluşmamıştır. Çizelge 4.8’de verilen tüm ihlal olasılıkları EA nüfuz seviyesinin artışıyla beraber öngörüldüğü gibi yükselmiştir. Üç farklı nüfuz seviyesinde yapılan gerilim dengesizliği ihlali incelemelerinin hiç birinde gözle görülür bir soruna raslanmamıştır. Bunun nedeni olarak araçların fazlara bağlanma olasılıklarının eşit olması gösterilebilir.

Tüm analizler incelendiğinde ihlallerin çoğunun, konutlardaki enerji tüketiminin fazla ve araçların eve dönüş olasılıklarının yüksek olduğu 16:00 – 21:00 saatleri arasında

olduğu görülmektedir. Bunun sebebi baz yük profiliyle şarj y k profilinin üst üste binmesidir. %50 nüfuz seviyesinde transformatörün aŗı yüklenme olasılığı %8,557 görünmesine rağmen bu ihlallerin 16:00 – 21:00 arasında toplanması dağıtım şebekesi açısından önemli bir problemidir.

Gerilim düşümü ihallerinde transformatörün 1, 8 ve 12 numaralı deparlarında diğer deparlara kıyasla daha fazla ihlal meydana gelmiŗtir. Bunun sebebinin hattın uzunluğuna ve kesitine bağlı olarak hat empedans değerlerinin büyük olması ve deparların talep gücü yüksek noktaları beslemesi olduğu söylenebilir. İki bloku besleyen Depar 3'teki talep gücü ve araçların bu depara bağlanma olasılığı diğerlerine göre yüksek olmasına rağmen hat uzunluğu kısa olduğu için gerilim düşümü sınır ihlali olasılığı düşük  ıkmıŗtır.

Talep yükü artıŗıyla hatlardaki akım genlikleri y kselmiŗ dolayısıyla ısıl kayıplar artmıŗtır. Araçların eŗ zamanlılık yüzdesi ise nüfuz seviyesi artıŗıyla d ř m ŗtir.

Tüm analizlerde TR-1'in minimum yüklenmesinin (%20) ve maksimum gerilim değerinin (0,9898 pu) aynı olmasının sebebi o dakika için yapılan 1000 iterasyondan en az birinde herhangi bir aracın şarj olmamasıdır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada EA şarj yüklerinin alçak gerilim dağıtım şebekesine etkileri incelenmiştir. Bunun için öncelikle EA ve şarj istasyonları teknolojileri ve standartları tanıtılmış, EA piyasasının dünyadaki güncel durumu ve geleceğe dönük hedefleri verilmiştir. Türkiye'nin EA piyasasındaki konumu ise yürütülen araştırmalar ve şarj istasyonu üreticisi firmalarla yapılan görüşmeler sonucunda ortaya konulmuştur. Yollarda seyreden 450 – 500 adet EA, 800 civarındaki şarj istasyonu sayısı ve yetersiz devlet teşvikleriyle Türkiye'nin EA piyasasında emekleme aşamasında olduğu söylenebilir. Ancak EA teknolojilerinin gelişmesine bağlı olarak batarya ömürlerinin artması, batarya maliyetinin azalması, şarj sürelerinin kısalması ve CO₂ emisyonunu azaltma hedefleri doğrultusunda piyasanın Türkiye'deki gelişiminin ivmelenerek artması beklenmektedir.

EA sayısının artışı şebekeye ek bir şarj yükü getirecektir. Bu şarj yükü profili önceden tahmin edilemeyen belirsiz parametreler tarafından oluşturulur. Bu belirsizlikleri analize aktarabilmek için çalışma kapsamında bir Monte Carlo simülasyonu oluşturulmuştur. Bu simülasyonda araçların şarj başlangıç ve bitiş zamanı, gün içerisinde katettikleri ortalama mesafe ve şebekeye bağlantı noktaları mümkün olduğunca gerçek sürücü davranışlarına dayandırılmış ve raslantısal olarak benzetilmiştir. Simulasyon içindeki yük akışı için de ileri – geri süpürme yöntemi kullanılmıştır.

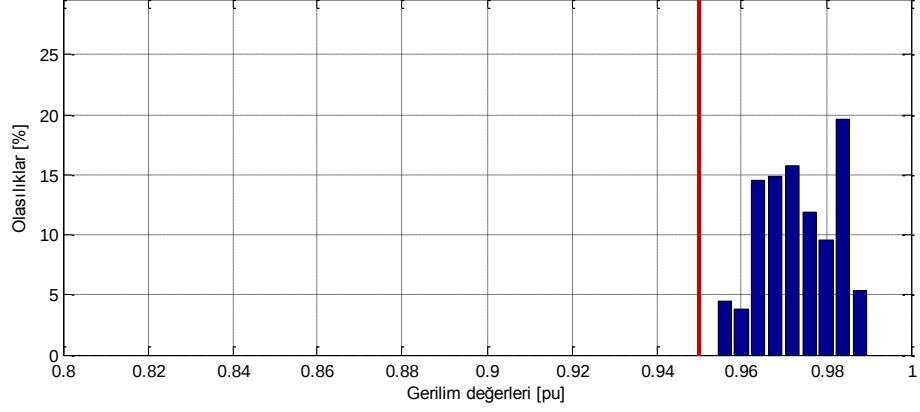
EA'ların şarj yükünün şebekeye olan etkilerinin oluşturulan Monte Carlo simülasyonu ile incelemek için bir konut sitesi ele alınmıştır. Bu amaçla öncelikle bölgenin elektriksel altyapısı ve araç sayısı öğrenilmiş, dağıtım firmasından yük profili bilgileri alınmış ve Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği'ne uygun olarak elektriksel ekipmanların seçimi yapılmıştır. Sürücü davranışlarını modellemek için de İÜAP raporu temel alınmıştır. Gerekli ön hazırlıklar tamamlandıktan sonra EA'ların etkisini incelemek amacıyla kış mevsimine ait hafta içi bir gün için EA nüfuz oranının %10, %30 ve %50 olduğu 3 farklı durumun analizi yapılmıştır. Analizler sonucunda temel olarak yük noktalarındaki gerilimlerin etkin değerleri, transformatörün yüklenme oranı ve bunlara

bağlı olarak gerilim düşümünde ve gerilim dengesizliğinde ilgili yönetmeliklere göre sınır ihlali olasılıkları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında genel olarak EA nüfuz yüzdesi arttıkça ihlal olasılıklarının arttığını ve bu ihlallerin daha çok baz yük profilinin de yüksek olduğu ve EA'ların eve dönüş zamanına denk gelen akşam saatlerinde gerçekleştiği görülmüştür. %30 ve %50 nüfuz seviyelerinde gerilim düşümü olasılıkları şebekede kullanılan kabloların yenilenmesini gerektirebilir. Ayrıca %50 nüfuz durumunda akşam saatlerinde transformatörün ortalama yüklenmesinin anma gücünün üzerine çıkması bu ekipmanın da değiştirilmesini, kapasite artışı zorunlu kılar. Ancak %30 ve %50 nüfuz seviyelerine önümüzdeki 30-40 sene içerisinde ulaşılabileceği düşünülürse şu anki ekipmanlar zaten yenileneceği için yatırım maliyetlerini çok etkilemeyebilir.

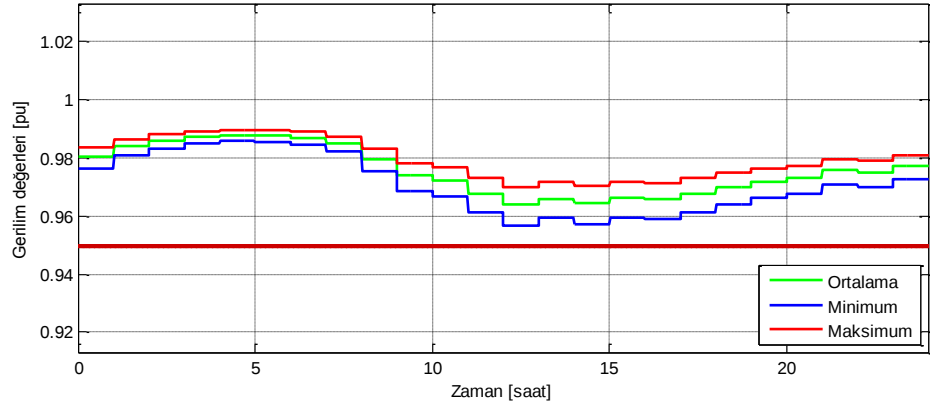
Bunlara ek olarak EA'ların eş zamanlılığı hesaplanmıştır. Bu bilgi konut sitesinde nüfuz seviyelerine göre şarj istasyonu ve soket sayısı belirlemek için kullanılabilir. Nüfuz seviyesine bağlı olarak artan hatlardaki günlük aktif enerji kaybı ise dağıtım şirketine ek bir mali yük getireceğinden önem teşkil etmektedir.

EA şarj yükünün sistem üzerindeki etkisini azaltarak hat kayıplarını ve ekipman yenileme ihtiyaçlarını minimuma indirmek için dağıtım şirketleri çeşitli çözümler getirebilir. Analizlerde görüldüğü üzere ihlaller çoğunlukla akşam üstü saatlerde görülmüş olup sabah saatlerinde transformatörlerin yüklenme oranları oldukça düşüktür. Gerçek zamanlı tarifeye geçerek kullanıcılara puant olmayan zamanlar düşük fiyatlı enerji sağlanırsa yük profilindeki puantlar düşürülüp çukurlar doldurulabilir. Bir diğer çözüm olarak akıllı şarj yöntemleri kullanılarak haberleşme kanallarıyla araç sürücüleri görece yüksüz transformatörlere yönlendirilebilir. Son olarak kontrollü şarj tekniği uygulanabilir. Bu teknikte kullanıcıya araç bataryasının sabah belirli bir saatte tam dolu olacağının garantisi verilir ve şarj sürecinin kontrolü şarj yöneticisine bırakılır. Yöneticinin kontrolünde araç puant zamanlarda şarj işlemini durdurur diğer zamanlarda şarj işlemine devam eder.

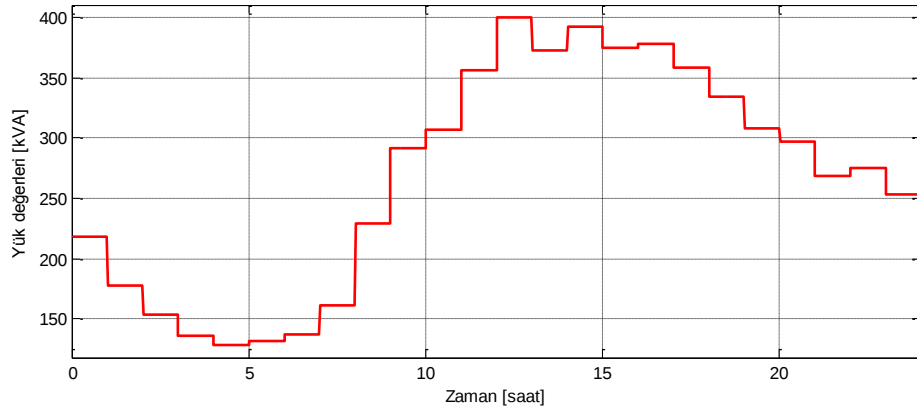
EKLER



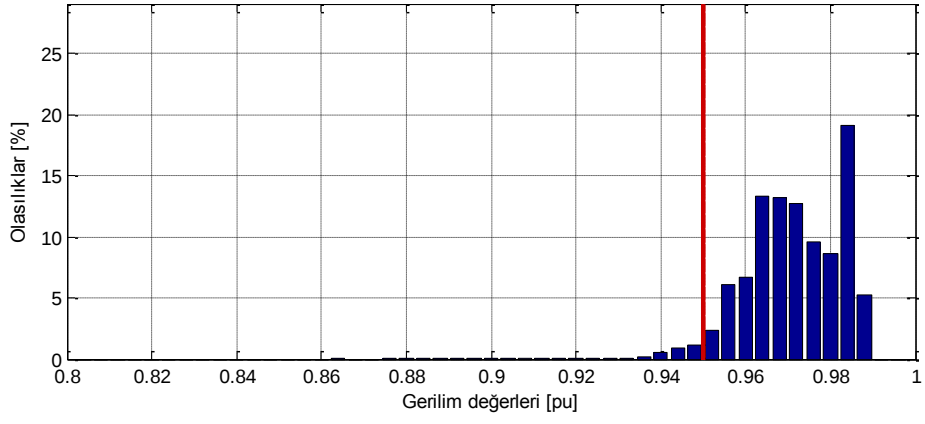
Şekil A.1 : Baz yük profilinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.



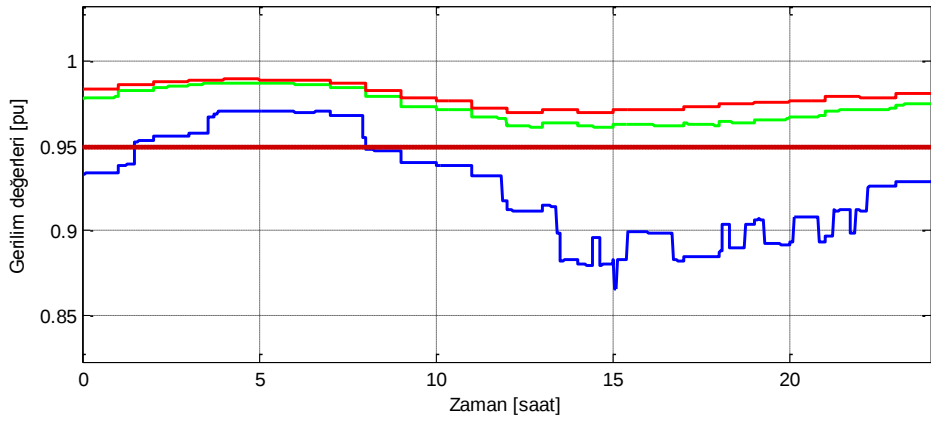
Şekil A.2 : Baz yük profilinde 50 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.



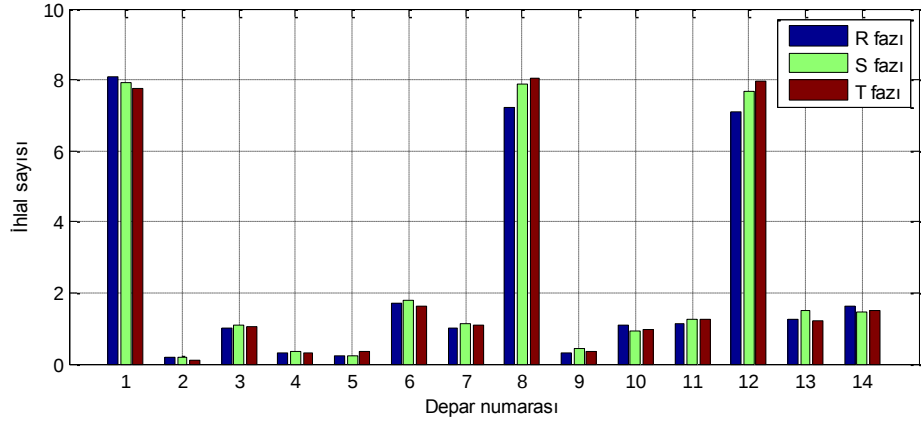
Şekil A.3 : Baz yük profilinde TR-1 yük değerleri.



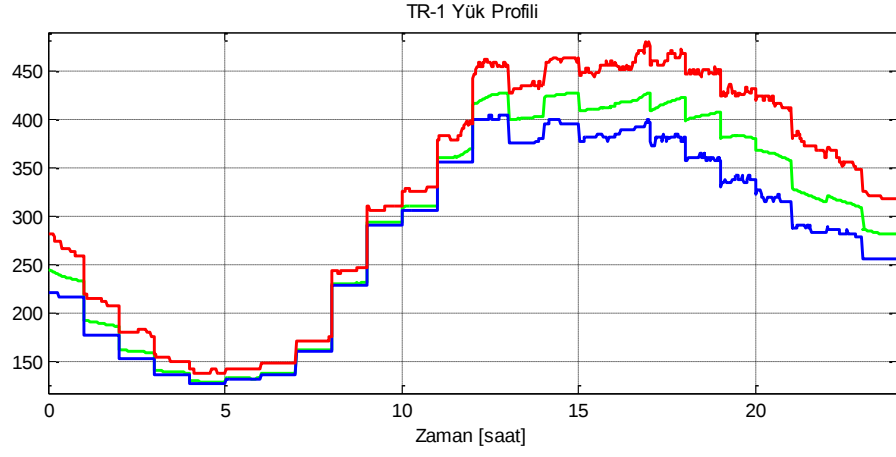
Şekil A.4 : %10 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları



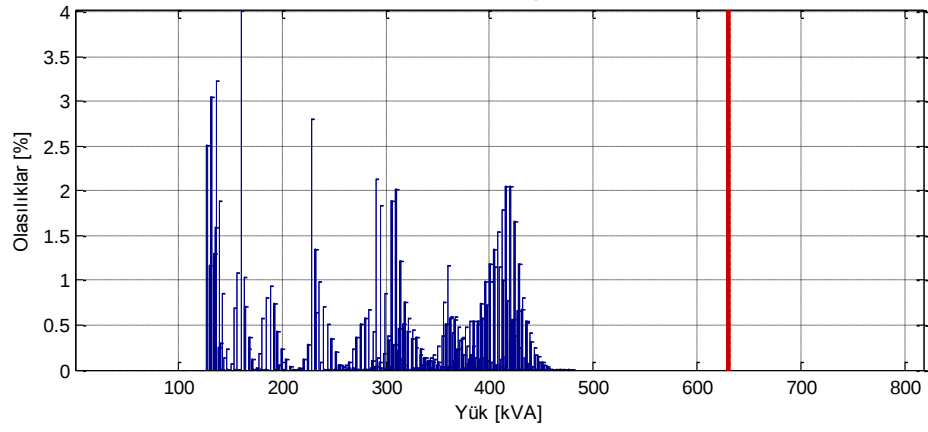
Şekil A.5 : %10 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.



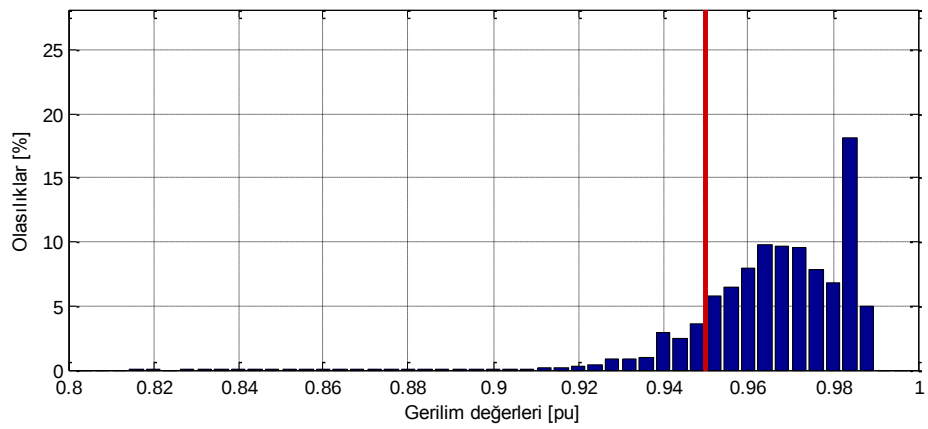
Şekil A.6 : %10 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.



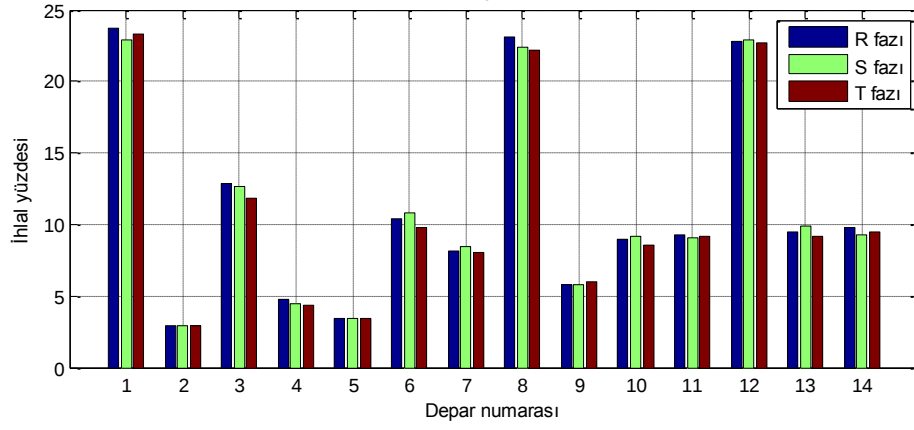
Şekil A.7 : %10 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.



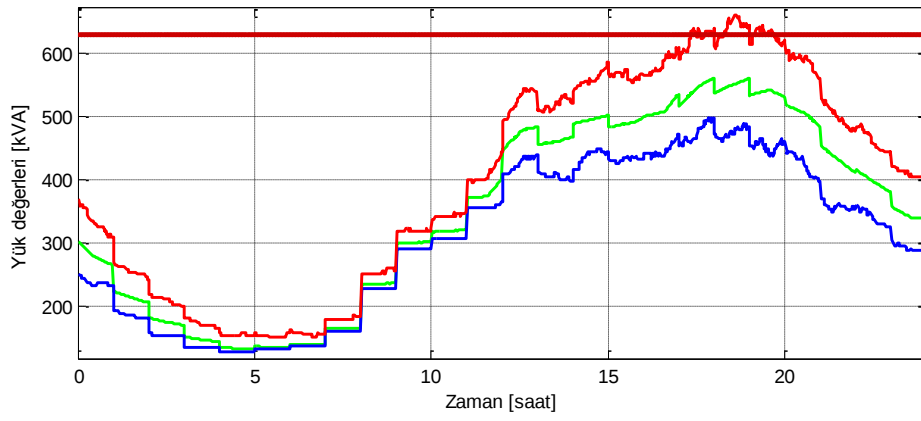
Şekil A.8 : %10 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.



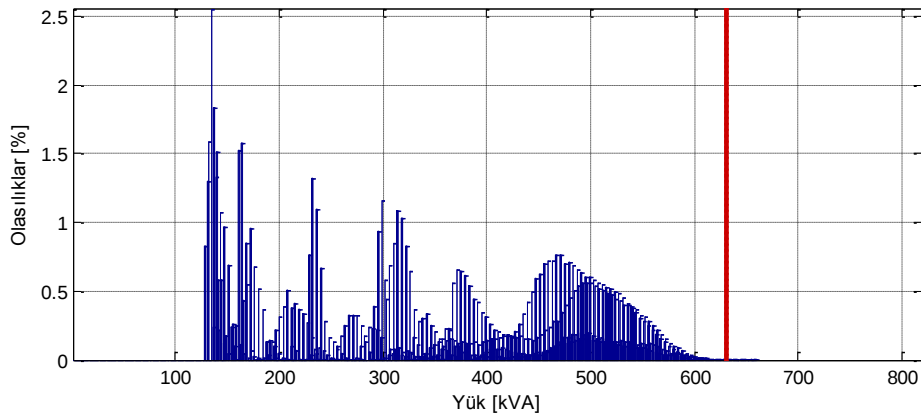
Şekil A.9 : %30 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları



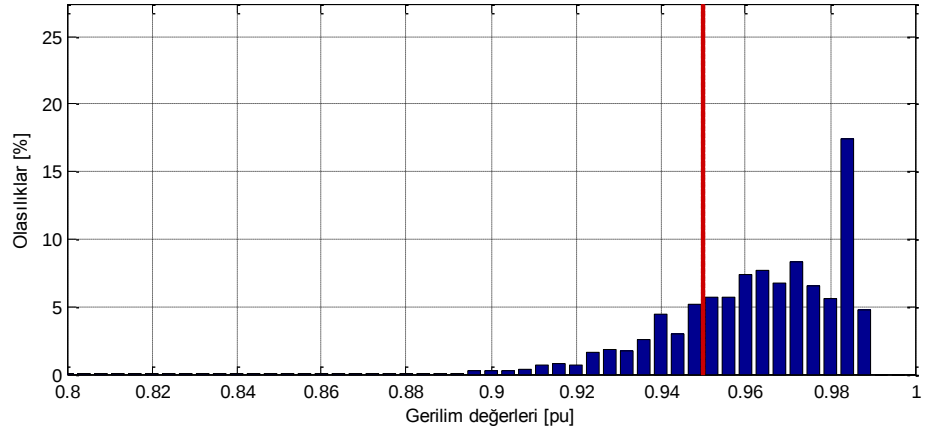
Şekil A.10 : %30 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.



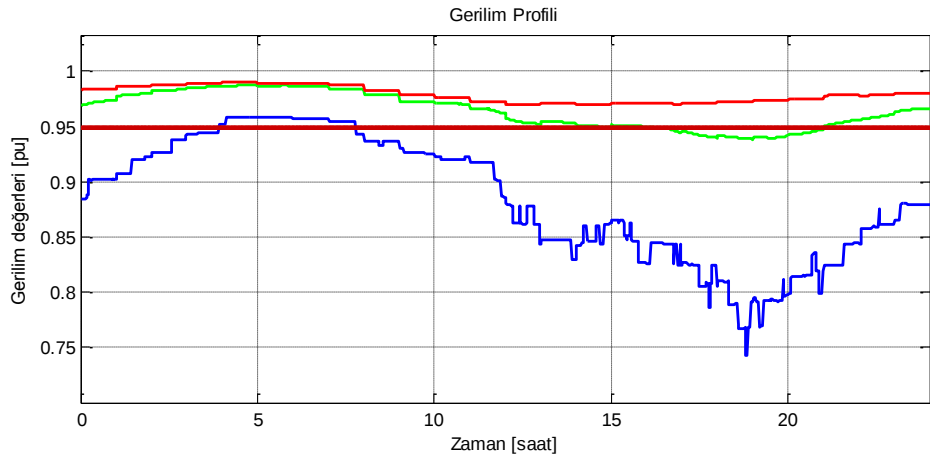
Şekil A.11 : %30 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.



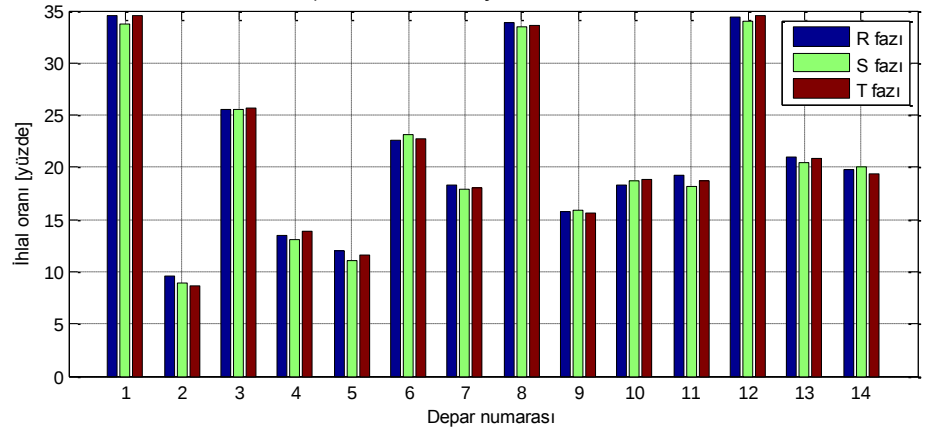
Şekil A.12 : %30 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.



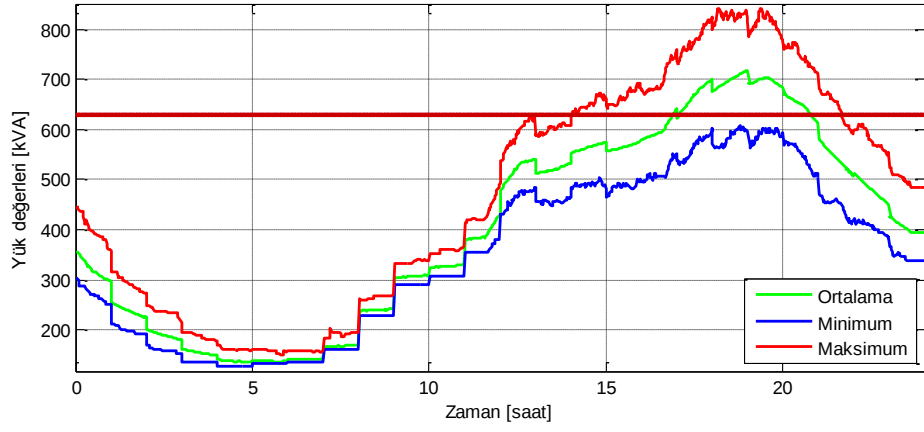
Şekil A.13 : %50 nüfuz seviyesinde gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.



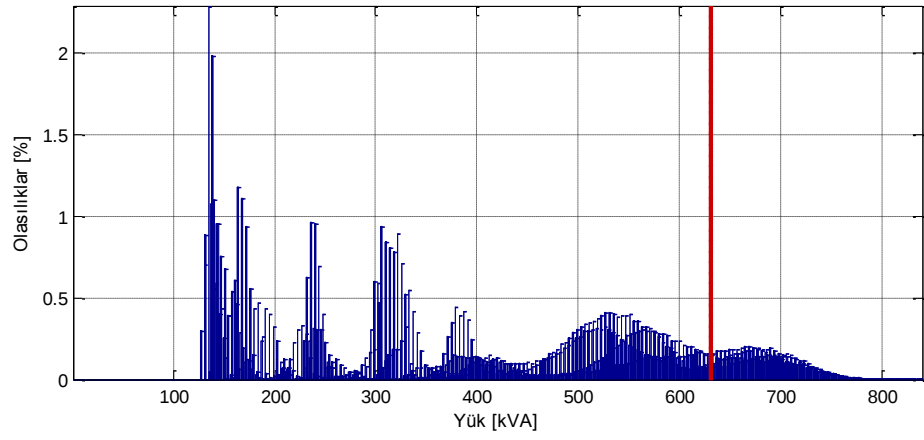
Şekil A.14 : %50 nüfuz seviyesinde tüm deparları ve üç fazı içeren gerilim profili.



Şekil A.15 : %50 nüfuz seviyesinde deparlardaki gerilim düşümü sınır ihlali olasılıkları.



Şekil A.16 : %50 nüfuz seviyesinde TR-1 yük değerleri.



Şekil A.17 : %50 nüfuz seviyesinde TR-1 yük dağılımı.

Çizelge A.1 : Analiz sonuçları.

		Baz	%10	%30	%50
Gerilim [pu]	Min.	0,9571	0,8659	0,7956	0,7434
	Ortalama	0,9752	0,9735	0,9692	0,9647
	Maks.	0,9898	0,9897	0,9897	0,9897
TR-1 kVA	Min.	126,3	128	128	128
	Ortalama	272,9	294,6	348,2	407,6
	Maks.	392,8	480,7	659,7	839,9
TR-1 yüklenme [%]	Min.	20	20,3	20,3	20
	Ortalama	43,3	46,7	55,26	64,69
	Maks.	62,3	76,3	104,71	133,3
Gerilim ihlal olasılıkları [%]		0	3,03	13,11	24,03
TR-1 aşırı yüklenme olasılıkları [%]		0	0	0,0066	7,469
Dengesizlik ihlal olasılıkları [%]		0	0	0,0168	0,1238
Araçların eş zamanlılığı [%]		-	50	42,42	39,87
Hat kayıpları [kWh]		189,76	235,31	359,81	514,7

KAYNAKLAR

- [1] **International Energy Agency** (2013). Global EV Outlook; Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020.
- [2] **Au T.K.** (2012). Assessment of Plug-in Electric Vehicles Charging on Distribution Networks, *University of Washington*.
- [3] **Sortomme, E. ve Hindi, M.M.** (2011). Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicles to minimize distribution system losses, *IEEE Transactions on Smart Grid*, cilt 2, pp. 186-193.
- [4] **Kempton, W. ve Tomic, J.** (2005). Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue, *Journal of Power Sources*, cilt 144, pp. 268-179, Haziran.
- [5] **Putrus, G., Suwanapingkarl, P., Johnston, D., Bentley, E. ve Narayana M.** (2009). Impact of electric vehicles on power distribution networks, *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*.
- [6] **Raghavan, S ve Khaligh, A.** (2012). Impact of plug-in hybrid electric vehicle charging on a distribution network in a smart grid environment, *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), Washington DC, Ocak*.
- [7] **Taylor, J., Maitra, A., Alexander, M., Brooks, D., Duvall, M.** (2009). Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations, *Power & Energy Society General Meeting, IEEE*.
- [8] **Maitra A., Taylor, J., Alexander, M., Brooks, D., Duvall, M.** (2009). Integrating plug-in electric vehicles with the distribution system, *Power & Energy Society General Meeting, IEEE*.
- [9] **Clement-Nyns, K., Haesen, E. ve Driesen J.** (2010). The Impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid, *IEEE Transactions on Power Systems*, cilt 25, pp. 371-380, 2010.
- [10] **von Jouane, A. ve Banerjee, B.** (2010). Assessment of voltage unbalance, *IEEE Transactions on Power Delivery*, cilt 16, pp. 782-790, 2001.
- [11] **Tangsunantham, N. ve Pirak, C.** (2013). Voltage unbalance measurement in three-phase smart meter applied to AMI systems, *10th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*.
- [12] **Farmer, C., Hines, P., Dowds, J. ve Blumsack, S.** (2010). Modeling the impact of increasing PHEV loads on the distribution infrastructure, *Hawaii International Conference on System Sciences, Kauai, Ocak*.

- [13] **Transmission and Distribution Committee of the IEEE Power Engineering Society** (2002). Draft Guide for Harmonic Limits for Single-Phase Equipment, Ocak.
- [14] **Fernandez, L. P., Gomez, T. S. R., Cossent, R., Mateo, C. D. ve Frias, P.** (2001). Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks, *IEEE Transactions on Power Systems*, cilt 26, pp. 206-213.
- [15] **Gong, Q., Midlam-Mohler, S., Marano, V. ve Rizzoni G.** (2012). Study of PEV charging on residential distribution transformer life, *IEEE Transactions Smart Grid*, cilt 3, no. 1, pp. 404-412.
- [16] **Blumsack, S., Samaras, C. ve Hines, P.** (2008). Long-term electric system investments to support Plug-in Hybrid Electric Vehicles, *Power and Energy Society General Meeting*.
- [17] **Camus, C., Silva, T., Farias, L. ve Esteves, J.** (2009). Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles in the Portuguese electric utility system, *Power and Energy Society General Meeting*.
- [18] **Hadley, S. ve Tsvetkova, A.** (2008). Potential impacts of plug-in hybrid electric vehicles on regional power generation, *U.S Department of Energy*.
- [19] **Su, W., Eichl, H., Zeng W. ve Chow, M.** (2012). A Survey on the electrification of transportation in a smart grid environment, *IEEE Transactions*, cilt 8, no. 1, pp. 1-10.
- [20] **Andersson, S., Elofsson, A. ve Galus, M.** (2010). Plug-in hybrid electric vehicles as regulating power providers, *Energy Policy*, cilt 38, pp. 2751-2762.
- [21] **Pillai, J. R., ve Bak-Jensen, B.** (2011). Integration of vehicle-to-grid in the Western Danish power system, *IEEE Transactions Sustainable Energy*, cilt 2, no. 1, pp. 12-19, Ocak.
- [22] **Scharrenberg, R., Vonk, B. ve Nguyen, H.P.** (2014). EV stochastic modelling and its impacts on the Dutch distribution network, *Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS)*, Durham.
- [23] **Bingliang, Z., Yutian, S., Bingqiang, L. ve Jianxiang, L.** (2012). A modeling method for the power demand of electric vehicles based on Monte Carlo simulation, *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2012 Asia-Pacific, Shanghai*.
- [24] **Leou, R., Su, C. ve Lu, C.** (2014). Stochastic analysis of electric vehicle charging impacts on distribution network, *IEEE Transactions on Power Systems*, cilt 3, no. 29, pp. 1055-1063, Mayıs.
- [25] **Society of Automotive Engineers** (2012). SAE J1772 - Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler, Ekim.
- [26] **International Electrotechnical Commission** (2011). IEC 61851-1 - Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements, Ağustos.
- [27] **CHAdEMO Association** (2011). Technical specifications of quick charger for the electric vehicle, Kasım.

- [28] **National Renewable Energy Laboratory** (2012). Plug-in Electric Vehicle Handbook, *U.S Department of Energy, Nisan*.
- [29] **Bräunl, T.** (2014). EV Charging Standards, *The University of Western Australia*.
- [30] **Wikipedia internet sitesi** (2012). Erişim: 9 Şubat 2015, http://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772#/media/File:SAE_J1772_7058855567.jpg.
- [31] **Mennekes firması resmi internet sitesi** (2013). Type 2 charging plug proposed as the common standard for Europe, Erişim: 9 Şubat 2015, http://www.mennekes.de/index.php?id=latest0&L=4&tx_ttnews%5Btt_news%5D=929&cHash=5776533c6270bfd03a554a09e9d21954.
- [32] **Phoenix Contact resmi internet sitesi** (2015). AC and DC plug connector system according to GB standard, Erişim: 9 Şubat 2015, <http://www.phoenixcontact-emobility.com/en/products/e-connectivity/ac-and-dc-plug-connector-system-according-to-gb-standard>.
- [33] **Phoenix Contact resmi internet sitesi** (2015). Combined AC/DC Charging System Type 2, Erişim: 9 Şubat 2015, <http://www.phoenixcontact-emobility.com/en/products/e-connectivity/ac-and-dc-plug-connector-system-according-to-gb-standard>.
- [34] **International Energy Agency** (2011). Technology Roadmap; Electric and plug-in hybrid electric vehicles, Paris.
- [35] **Falt, E. ve Simpson, D.** (2007). Climate Action, Londra: Sustainable Development International.
- [36] **Otomotiv Dağıtıcıları Derneği** (2015). Perakende Satışlar Yerli / İthal Dağılımı: Ocak-Aralık 2014.
- [37] **T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sanayi Genel Müdürlüğü** (2011). Türkiye Otomotiv Sektörü Strateji Belgesi ve Eylem Planı, Şubat.
- [38] **Aras Kargo resmi internet sitesi** (2014). Türkiye'nin en büyük %100 elektrikli ticari filosu Aras Kargo'da, Erişim: 13 Şubat 2015, <http://www.araskargo.com.tr/>.
- [39] **YOYO firması resmi internet sitesi** (2015). Erişim: 17 Şubat 2015, <http://www.driveyoyo.com/vehicles>.
- [40] **Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu** (2014). Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği, 2 Ocak.
- [41] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2013). Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliğinde Değişiklik, 8 Eylül.
- [42] **PwC Vergi Hizmetleri** (2015). Elektrikli araç vergilendirmesinde neredeyiz?, Erişim: 21 Mart 2015, <http://www.odd.org.tr/>.
- [43] **Saadat, H.** (2009). Power System Analysis, McGraw-Hill Education.
- [44] **Eminoglu, U. ve Hocaoglu, M. H.** (2008). Distribution systems forward/backward sweep-based power flow algorithms: A review and

comparison study, *Electric Power Components and Systems*, pp. 91-110, 11 Aralık.

- [45] **Gentle, J. E.** (2003). Random Number Generation and Monte Carlo Methods, Springer.
- [46] **Sobol, I. M.** (1994). A Primer for the Monte Carlo Method, Florida: Chicago University Press.
- [47] **Huang, S. ve Infield, D.** (2010). The impact of domestic Plug-in Hybrid Electric Vehicles on power distribution system loads, *International Conference on Power System Technology*.
- [48] **Burch, R., Najm, F. N., Yang, P. ve Trick, T. N.** (1993). A Monte Carlo approach for power estimation, *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, cilt 1, no. 1, pp. 63-71, Mart.
- [49] **T.C Başbakanlık** (1984). Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği, *Resmi Gazete*, 11 Nisan.
- [50] **Elektrik Piyasası Düzenleme Kurulu** (2012). Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği, 21 Aralık
- [51] **İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı Ulaşım Planlama Müdürlüğü** (2011). İstanbul Metropolis Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı (İÜAP), Mayıs.
- [52] **Au, T. K. ve Vazquez, M. O.** (2013). Assessment of plug-in electric vehicles charging on distribution networks, *Power and Energy Society General Meeting (PES)*, Vancouver, BC.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Önder Polat
Doğum Yeri ve Tarihi : Van / 25.07.1989
E-Posta : polaton@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

TS otomasyon firmasında Saha ve Devreye Alma Mühendisi (1 yıl)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Polat, Ö., Yumak, K., Sezgin, M. S., Yumurtacı, G. ve Gül, Ö.** (2015). Elektrikli araç ve şarj istasyonlarının Türkiye'deki güncel durumu, *Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi, EVK. (Kabul edildi, henüz sunulmadı).*