
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ENERJİ YÖNETİMİ

Ensar KILIÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OCAK 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ensar KILIÇ
03/01/2022

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ ENERJİ YÖNETİMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ensar KILIÇ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Elektrikli araçları içten yanmalı araçlardan ayıran en üstün özellik, fosil yakıt yerine elektrik enerjisini kullanmalarıdır. Elektrikli araç bataryaları, fosil yakıtlı araçların yakıt depoları gibi kısa sürede doldurulamadığından (şarj edilemediğinden) bu ihtiyacın karşılanması için şarj istasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Elektrikli araçlara olan talep her yıl artarak devam etmektedir. Artan talebi karşılamak için şarj istasyonlarının sayısı da artmaktadır. Şarj ihtiyacının belirlenmesi ve buna uygun şarj istasyonlarının alt yapısının hazırlanması ise elektrikli araç özelliklerinden kullanıcıların tercihleri de dâhil olmak üzere çok farklı ve birçok faktöre bağlıdır. Bu çalışmada elektrikli araç kullanıcılarının şarj talebinin meskenlerde veya kamusal şarj noktalarında karşılanması durumları incelenmiştir. Bunun için meskenlerde ve kamusal alanlarda ihtiyaç duyulan şarj talebi gerçek ve istatistiksel veriler üzerinden Monte Carlo Simülasyonu ile modellenmiştir. Farklı şarj modları ve nüfus oranları için şarj ihtiyacının pik yük ve toplam yük değişimleri incelenerek günlük şarj ihtiyacının enerji yönetimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda şarj talebinin evde şarj yerine kamusal alanda daha düşük pik yükte karşılanabileceği, kamusal alanda dengeli bir şarj talebinin olacağı gösterilmiştir.

Bilim Kodu	:	90513
Anahtar Kelimeler	:	Elektrikli araçlar, şarj istasyonları, enerji yönetimi, monte carlo simülasyonu
Sayfa Adedi	:	54
Danışman	:	Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR

ENERGY MANAGEMENT OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING STATIONS

(M. Sc. Thesis)

Ensar KILIÇ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2022

ABSTRACT

Electric vehicle use electrical energy instead of fossil source fuel that this is most prominent between electric vehicle and internal combustion engine. Since electric vehicle batteries cannot be filled (charged) in a short time like the fuel tanks of fossil fuel vehicles, charging stations are needed to meet this charging demand. The sales of Electric Vehicles continues to increase every year. The number of charging stations is also increasing to meet this request. The determination of the charging demand and the preparation of the infrastructure of the charging stations depend on many different and many factors from specifications of electric vehicles to including the users habits. In this study, the situation of meeting the charging demand of users in residences or public charging points has been examined. For this, the charging demand power in residences and public spaces is modeled with Monte Carlo Simulation over real and statistical data. For different charging modes and penetration rates, the peak load and total load changes of the charging requirement were examined and the energy management of the daily charging requirement was realized. As a result of the study, it has been shown that the charging demand can be met at a lower peak load in the public area instead of charging at home, and there will be a balanced charging demand in the public area.

Science Code	:	90513
Key Words	:	Electric vehicle, charging stations, energy management, monte carlo simulation
Page Number	:	54
Supervisor	:	Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans başlangıcından bugüne kadar ileri görüşleri ve yönlendirmeleri ile bana geniş ufuklar açan beni her zaman disiplinli çalışmam için motive eden değerli hocam Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR'a teşekkür ederim.

Bu tezde yaptığım çalışmalara dağıtım sektöründeki bilgi ve tecrübeleri ile destek ve katkıları için Europowerenerji firmasının değerli yöneticileri Ramin MALEK ve Asker SEBATİ'ye teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca Öğretim Görevlisi Sayın Murat AKIL'a teşekkür ederim.

Yüksek lisans dönemim boyunca beni sürekli motive eden bana her zaman destek veren güler yüzüyle hayatımı aydınlatan eşim Pınar TAŞDEMİROĞLU KILIÇ'a, hayatımın neşe kaynağı biricik bıdığım Ada KILIÇ'a, her zaman yanımda olan aileme canı gönülden teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv
ABSTRACT v
TEŞEKKÜR vi
İÇİNDEKİLER vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ x
KISALTMALAR VE AÇIKLAMALAR xi
1. GİRİŞ 1
2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ İSTASYONLARI 9
2.1. Elektrikli Araç Teknolojisine Genel Bakış 9
2.1.1. Elektrikli araç çeşitleri 9
2.2. EA Şarj İstasyonları 12
2.2.1. Şarj ucu tipleri 15
2.2.2. EA şarj güç sınıfları 17
2.2.3. EA şarj süreleri ve kapasiteleri 20
2.2.4. EA şarj modları 21
3. YÖNTEM ve MODELLEME 25
3.1. EA Seyahat Başlangıç Zamanı 25
3.2. SOC Değerlerinin Belirlenmesi 31
3.3. Elektrikli Araç Özellikleri 32
3.4. Şarj Yeri Seçimi 34
3.5. Monte Carlo Simülasyonu (MCS) 35
3.6. MCS ile Şarj İhtiyacının Hesaplanması 36
4. SİMULASYON SONUÇLARI 39
4.1. Evde Şarj 39

Sayfa

4.2. Kamusal Alanda Şarj 40

4.3. Şarj Profillerinin Karşılaştırması 42

5. SONUÇ VE TARTIŞMA..... 45

KAYNAKLAR 47

ÖZGEÇMİŞ..... 53

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Dünya genelindeki şarj istasyonları sayısı 1
Şekil 2.1. Tek kaynaklı PEV'lerin güç aktarım sistem parçaları 10
Şekil 2.2. Çift kaynaklı PEV'lerin güç aktarım sistem parçaları 11
Şekil 2.3. Çok kaynaklı PEV'lerin güç aktarın sistem parçaları 12
Şekil 2.4. Halka açık şarj istasyonlarının durumu 12
Şekil 2.5. Örnek bir şarj parkı prensip şeması 13
Şekil 2.6. EA şarj alt yapısının şematik diyagramı 15
Şekil 2.7. Şarj fişleri ve soketleri 16
Şekil 2.8. EA şarj süreci için IEC standartları 18
Şekil 2.9. IEC 61851-1'e göre şarj modları 22
Şekil 3.1. Yandex haritalar sıfır trafik sıkışıklığı durumu 27
Şekil 3.2. Yandex haritalar yedi derece trafik sıkışıklığı durumu 27
Şekil 3.3. Eve varış zamanı olasılık yoğunluk dağılımı 29
Şekil 3.4. İşe Varış zamanının olasılık yoğunluk dağılımı 31
Şekil 3.5. İşe gidiş mesafesinin lognormal kümülatif dağılım fonksiyonu 32
Şekil 3.6. IEA 2015-2020 arası EA model sayıları ve menzil ortalamaları 33
Şekil 3.7. Seçilen EA'ların batarya kapasitesi, menzil ve tüketim verileri 34
Şekil 3.8. Tüketicilerin EA şarj yeri beklentileri 35
Şekil 3.9. Şarj ihtiyacının hesaplanmasına ait akış diyagramı 37
Şekil 4.1. %30 penetrasyonda evde şarj yük profili 39
Şekil 4.2. %100 penetrasyonda evde şarj yük profili 40
Şekil 4.3. %30 penetrasyonda kamusal alanda şarj yük profili 41
Şekil 4.4. %100 penetrasyonda kamusal alanda şarj yük profili 41

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Şarj seviyeleri çizelgesi 19

Çizelge 2.2. Farklı şarj metotlarına göre elektriksel değerler 22

Çizelge 2.3. EA şarj modları ve fiş-soket yapısı 23

Çizelge 3.1. Ankara için trafik ve eve varış yoğunluğu 28

Çizelge 3.2. Ankara için şarj başlangıç saati oranları 28

Çizelge 3.3. Kullanıcıların işe gidiş saatleri oranları 30

Çizelge 3.4. Hesaplanan ortalama ve standart sapma değerleri 30

Çizelge 3.5. Farklı aktiviteler için kat edilen mesafenin parametreleri 31

Çizelge 4.1. Şarj profillerinin karşılaştırması 43

KISALTMALAR VE AÇIKLAMALAR

Bu çalışmada kullanılmış kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
AA	Alternatif Akım
BEV	Bataryalı elektrikli araç (battery electric vehicle)
CCS	Birleşik şarj istasyonu (combined charging station)
CPO	Şarj noktası işletmecisi (charge point operator)
DA	Doğru akım
DP	Dinamik programlama
EV	Elektrikli araç (electric vehicle)
EVCS	Elektrikli araç şarj istasyonu (electric vehicle charging station)
EVSE	Elektrikli araç güç ekipmanı (electric vehicle suply equipment)
EYS	Enerji yönetim sistemi
FC	Yakıt hücresi (fuelcell)
FCEV	Yakıt hücreli elektrikli araç (fuel cell electric vehicle)
G2V	Şebekeden araca (grid to vehicle)
HACC	Hidrolik akümülatör (hydraulic accumulators)
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
IEEE	Uluslararası Elektrik Mühendisleri Birliği
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
MCS	Monte carlo simülasyonu (monte carlo simulation)
MILP	Karışık tamsayılı doğrusal programlama (mixed-integer linear programming)
MINLP	Karışık tamsayılı doğrusal olmayan programlama (mixed-integer nonlinear programming)
NHTS	Ulusal hanehalkı seyahat anketi (national household travel survey)
NN	Sinir ağları (neural networks)
OBD	Araç arıza düzeneği (on board diagnostic)
PEV	Saf elektrikli araç (pure electric vehicle)

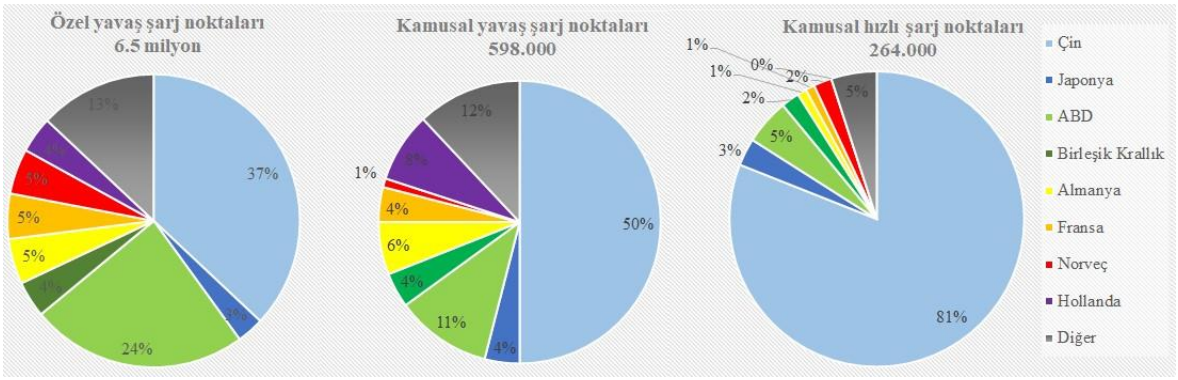
Kısaltmalar	Açıklamalar
PHP	Hiper metin önişlemcisi (hypertext preprocessor)
PV	Güneş pili (photovoltaic**)**
SAE	Otomobil mühendisleri topluluğu (society for automobile engineers)
SC	Süperkapasitör (supercapacitor)
SCC	Süper kontrol merkezi
State of Charge (SOC)	Şarj durumu
SQL	Yapılandırılmış sorgu dili (structured query language)
THB	Toplam harmonik bozulma
Volan	Volan (flywheel)
V2G	Araçtan şebekeye (vehicle to grid)
V2V	Araçtan araca (vehicle to vehicle)

1. GİRİŞ

İcat edilmesinden sonra yüz yıldan fazla zaman geçen Elektrikli Araçlar (EA) bütün dünyada tekrar gündemin üst sıralarına yerleşmiş bulunmaktadır. EA, küresel enerjiyle ilgili doğrudan CO_2 emisyonlarının yaklaşık dörtte birinden sorumlu olan ulaştırma sektörünün fosil yakıt tüketimini azaltmak ve enerji sistemlerinin dekarbonizasyonunu sağlamak için kritik öneme sahiptir [1, 2].

Dünyada 2019 yılı sonu itibarıyla sekiz milyon EA bulunmakta ve en iyimser senaryoda, ulaştırma sektöründe elektrikli araç sayısının 2050 yılına kadar bir milyar yüz milyona ulaşacağı öngörülmektedir [3]. EA'nın hem meskenlerde hem de ticari ve kamusal alanlarda şarj edilebilmesi için neredeyse elektrikli araç satış adetleri kadar şarj istasyonlarına ihtiyaç vardır.

EA şarj alt yapısı da EA satışları ile birlikte büyümekte ancak şarj sürelerinin uzun olması, hızlı şarj istasyonları yatırımının pahalı olması, yatırım ve mali desteklerinin az olması, mevzuat eksiklikleri gibi nedenler şarj alt yapısının büyümesini sınırlandırmaktadır. Şekil 1.1 Dünya genelinde şarj istasyonlarının sayısını vermektedir. Buna göre 2019 yılı itibariyle Dünya'da 6,5 milyonu özel alanlar, mesken-site ve iş yerlerindeki yavaş şarj olmak üzere 7,3 milyon şarj istasyonu bulunmaktadır [4]. Kamuya açık şarj istasyonlarının sayısının EA şarj ihtiyacını karşılayacak şekilde artması gerekmektedir.



Şekil 1.1. Dünya genelindeki şarj istasyonları sayısı [4]

Öngörüler, dünya çapındaki toplam elektrikli araç sayısının 2030 yılı itibariyle 120 ila 250 milyon arasında bir seviyeye yükselebileceğini göstermektedir [2]. Ancak EA endüstrisinin

toplam sahip olma maliyetini düşürmek, araç yelpazesini geliştirmek ve şarj alt yapısını sorunsuz bir şekilde bütünleştirmek için biraz daha zaman ve araştırmaya ihtiyacı vardır. EA'ya artan talebi karşılamak için farklı sektör paydaşlarının her biri kendi zorluklarıyla karşı karşıyadır. Benzer olarak araç ve batarya üreticilerinin batarya performansını ve kalitesini değerlendirmeye ve doğrulamaya ihtiyaçları vardır. Dağıtım sistemi operatörleri şarj noktalarının verimli ve etkili bir şekilde devreye alınmasını sağlarken aynı zamanda şebeke esnekliği ve güvenliğini de sağlamalıdırlar. Hükümetler ve belediyelerin uyguladıkları politikaların etkili olmasını sağlaması ve diğer sektörlerin ve ülkelerin uygulamalarının sonuçlarından en iyi şekilde faydalanması gerekmektedir. Şarj istasyonu/noktası operatörleri ve güç (enerji) tedarikçileri elektrikli araçların sunduğu fırsatlardan en yüksek seviyede yararlanmak istemektedirler [5].

Türkiye'de elektrikli araçlar ve elektrikli araç şarj istasyonlarına yönelik gelişmeler hız kazanmış durumdadır. Türkiye'nin Paris İklim anlaşmasını imzalaması ile birlikte özellikle şarj istasyonlarına yönelik ilgili kamu otoriteleri tarafından mevzuat çalışmaları kamuoyu ile paylaşılmıştır. Türkiye'de 2021 yılı itibari ile yollarda olan elektrikli araç sayısı 6 000, şarj istasyonlarının sayısı ise 3 457'dir. Şarj istasyonlarının 818'i özel kullanım amaçlı iken diğerleri kamuya açık olan şarj istasyonlarıdır. Şarj istasyonlarının toplam kurulu gücü 76 000 kW seviyesindedir [6].

EA nerede ve nasıl şarj edilirse edilsin elektrik şebekesi üzerinde bazı etkileri olacaktır. EA'nın dağıtım şebekesine etkileri literatürde birçok çalışmada ele alınmıştır. Söz konusu etkileri azaltmanın yollarından birisi de enerji yönetimidir.

Bir araştırmada yazarlar, bir test şebekesinde çok sayıda EA şarj oranlarının, mesken yüklerini etkilemeden, şebeke kısıtlarına tabi olarak belirlenen bir şarj süresi içinde EA'lara maksimum miktarda enerji sağlamak için nasıl optimize edilebileceğini çalışmışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, şebeke kısıtlarına göre tüm EA'lara sağlanan toplam gücün maksimize edilmesinin, radyal şebekenin uç noktalarına bağlananlar yerine transformatöre yakın bağlanan EA'lara yarayacağını göstermiştir [7]. Başka bir çalışmada, günlük kullanım için yeterli sayıda hızlı şarj istasyonu olması gerekliliğinin EA'ların kullanımını yaygınlaştıracağından yola çıkarak, hızlı şarj istasyonu modellemiş ve şebekeye etkilerini incelemişlerdir. Şarj istasyonlarındaki gerekli şarj çıkış sayısının hızlı şarj istasyonlarının ekonomik tasarımı ve günlük gereken şarj çevrim sayısının yerleşim yerlerinin dışındaki şarj

alt yapısını belirlemek için girdi olarak kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [8]. Çeşitli şarj seçenekleri sunan şarj istasyonları için akıllı şarj stratejisi önerilmiştir. Farklı kapasitelere ve ücretlendirme seçeneklerine sahip şarj istasyonları arasından kullanıcıların yolculuk sürelerinde gecikme yaşamadan en uygun fiyatlı istasyonu seçerek şarj süresi, seyahat süresi ve şarj ücretini düşürmeleri amaçlanmıştır. Bunun için farklı şarj istasyonlarında bekleme süreleri tahmini için sıra bekleme modeli kullanılmıştır. Uzun bekleme süreleri ve en yüksek şarj talebi ile mesken yükü arasındaki potansiyel çakışmayı azaltmak için, kısmi şarj uygulanmıştır. Simulasyon sonuçlarına göre ortalama şarj gecikmesi %25 ve şarj maliyeti de %15 seviyelerine kadar düşmüştür [9]. EA, şarj istasyonları ve sistem işletmecisi arasındaki enerji yönetimi problemini çözmek için hiyerarşik oyun teorisi yaklaşımı kullanılmıştır. Bu oyunda EA şarj istasyonu takipçisi, sistem işletmecisi de lider rolünü oynamaktadır. Sistem işletmecisinin amacı sistemin güvenilirliğini sağlamak, şarj istasyonunun amacı ise yüksek fiyattan daha çok enerji satarak karını yükseltmektir. EA kullanıcısının amacı da en düşük fiyat teklifini ve en uygun şarj istasyonunu seçmektir. Sonuçlar en uygun şarj istasyonunun en düşük fiyat teklifine sahip şarj istasyonu olmadığını ve oyunda sistem işletmecisinin rolünün göz ardı edilmesinin işletmesel zorluklara sebep olacağını göstermiştir [10]. Piyasada var olan hızlı şarj sistemi ve gelecekteki şarj ihtiyacı tahminine göre ekonomik durumu ve müşteri memnuniyetini eş zamanlı olarak dikkate alarak çok amaçlı hızlı şarj istasyonu planlama optimizasyon problemi ele alınmıştır [11]. İsveç ve Norveç'teki şarj verileri analiz edilerek gelecekteki hızlı şarj alt yapısı için ihtiyaçları belirleyen bir sıralama modeli geliştirilmiştir [12]. Belirli bir bölgede şarj istasyonlarının en uygun kapasitesini belirlemek için yük yoğunluğu metodu uygulanmıştır [13]. Enerji ve ulaşım endüstrisinin etkileşimini dikkate alarak şarj istasyonlarının konum ve büyüklüğünü ve elektrikli araçların şebekeye entegrasyonunu en uygun şekilde belirlemek için yeni bir çözüm önerilmiştir [14]. Akıllı şebekelerde EA şarj işleminin en uygun şekilde planlanması için araçtan şebekeye enerji verilmesi süreci de dikkate alınarak bir model geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada EA'nın şarj talebinin ertelenebilme özelliği de dikkate alınmış ve optimizasyon problemi formüle edilmiştir [15]. Orta gerilim doğru akım barasından beslenen şarj istasyonları için yeni bir merkezi olmayan kontrol yöntemi sunulmuştur. Şarj istasyonu, bir fotovoltaik sistem, bir enerji depolama sistemi, yerel şebeke bağlantısı ve iki adet hızlı şarj içeren bir mikro şebekeye entegre edilmiştir. Çalışmada depolama ve şebeke birimleri için bulanık mantık ile kontrol işlemi gerçekleştirilerek orta gerilim doğru akım bara gerilimini ve bataryanın SOC'sini uygun eşikler dâhilinde tutmak ve hızlı şarj birimleri ile geri kalan şarj istasyonları bileşenleri

arasında güç dengesini sabit tutmak amaçlanmıştır [16]. Akıllı bir dağıtım şebekesinin esnek çift yönlü güç yönetimi ve çift yönlü şarj cihazları ile donatılmış EA kullanılarak doğrusal olmayan yüklerin harmonik kompanzasyonu için bir optimizasyon problemi sunulmuştur. Önerilen problemin baz modeli harmonik yük akış eşitlikleri, EA kısıtlılıkları, sistem işletme ve harmonik limitler gibi ekonomik ve teknik göstergeleri azaltmayı amaçlayan MINLP olarak modellenmiş ve bir sonraki adımda da MILP'e dönüştürülmüş ve verimlilik ve performansını göstermek için dağıtım şebekesinde test edilmiştir [17]. EA için dinamik programlama (DP) ve sinir ağlarına (NN) dayanan akıllı enerji yönetim kontrolörü sunulmuştur. EA'nın güç talebi DP ile optimize edilmiş ve online kontrolör de NN tarafından eğitilmiştir [18]. Kullanılabilirlik bilgilerini almak için şarj istasyonlarıyla veri iletişimini sağlayarak tahmini batarya parametrelerine göre en uygun şarj istasyonunu bulmak için SQL ve PHP platformu aracılığıyla geliştirilen etkileşimli bir kullanıcı uygulaması geliştirilmiştir [19]. Otoparklardaki bekleme sürelerine bağlı olarak yük kaydırma potansiyelinden yararlanılarak şarj altyapılarının işletim yönetimine kolayca entegre edilebilen MILP optimizasyon modeli önerilmiş ve şarj işlemleri koordine edilmiştir [20]. Hem yenilenebilir enerji hem de bir dağıtım şebekesi tarafından beslenen farklı şarj istasyonları arasındaki EA şarj işleminin planlanmasına çalışılmıştır. Çalışmada şarj istasyonlarının enerji yönetimi ve EA şarj planlaması içeren Lyapunov optimizasyonu ve Lagrange çift dekompozisyon tekniğine dayanan çevrim içi bir algoritma geliştirilmiştir [21]. EA şarj istasyonları enerji yönetim sistemi için fotovoltaik üretim ve şarj istasyonu kullanımı tahmini ile pik talebi azaltma fonksiyonu sunulmuş ayrıca önerilen EYS kurularak test edilmiştir [22]. Şarj istasyonları için dağıtım şebekesinde yük talebini ve yük dalgalanmalarını azaltan yeni bir enerji yönetim sistemi sunulmuştur. Bu yeni kontrol şemasında, farklı şarj istasyonları, çalışması boyunca şebekeden sabit gücü alır ve sabit yük gibi davranır. İki katmanlı kontrol şeması, şebeke veya başka herhangi bir şarj istasyonu arızası durumunda sistemin güvenilirliğini artırmak için kullanılmıştır [23]. EA ile yerel bir bilgi sistemi arasındaki iletişim için bir ağ geçidi tasarlanmış ve gerçek bir sistemde devreye alınmıştır. Önerilen cihaz, EA araç arıza düzeneği (OBD) sisteminden verileri doğrudan alabilmiştir [24]. Bir üniversite kampüsünde işletmede olan iki katmanlı bir EYS sistemi kurulmuştur. Süper kontrol merkezi (SCC) olarak adlandırılan üst düzey sistem, şebeke çapında enerji koordinasyonunu sağlarken, alt düzey sistemler yerel EA şarjını ve diğer mikro ölçekli hizmetleri yönetmiştir [25]. Yenilenebilir enerji ve enerji depolama sistemleri ile donatılmış EA şarj istasyonu için EA şarjının doğrudan yük kontrolü yoluyla maksimum yenilenebilir enerji tüketimini elde etmek için gerçek zamanlı bir enerji yönetimi önerilmiştir. Çalışmada

enerji planlamasının dışbükey optimizasyon problemi homojen olmayan EA yükü ve şebeke elektriğinin gerçek zamanlı fiyatı dikkate alınarak formüle edilmiştir [26]. Hızlı şarj istasyonları için esnek zarflama yöntemine dayanan bir enerji planlama stratejisi geliştirilmiştir. Önerilen stratejide esneklik parametreleri şarj istasyonunun bataryasının SOC'sine göre ayarlanmıştır [27]. Yerel dağıtım şebekesinin uygun şekilde işletilmesi ve çevresel etkinin en aza indirilmesi adına EA şarjını dinamik olarak kontrol etmek için bir sistem mimarisinin geliştirilmesi sunulmuştur [28]. EA bataryalarını dağıtık enerji depolama sistemi olarak kullanmak için fuzzy kontrol tekniklerine dayanan kontrol mimarisi sunulmuştur. Çalışmada tepe traşlama ve vadi doldurmayla önceden tanımlanan limitler dâhilinde düğüm gerilimi istikrarlı tutulmaya çalışılmıştır [29]. EA ve hızlı şarj istasyonu, güç sistemlerinin rezervlerini düzenlemek için bir lider-takipçi oyunu olarak modellenmiştir. Oyunun lideri, bağımsız sistem operatörü rezervlerini ve yenilenebilir kaynakların belirsizliğini dikkate alarak yerel kaynakları yöneten ve gelirini artırmak için EA'nın enerji / rezerv fiyatlarını belirleyen hızlı şarj istasyonu operatörüdür. Diğer taraftan, EA, kendi şarj ve rezerv stratejilerini belirleyerek, enerji tüketiminden sağlanan faydalar ile rezerv tedariki arasında bir ödünleşim elde etmek için takipçi olarak hareket etmiştir [30]. EA'nın şarj edilmesi ve farklı enerji kaynakları arasında güç yönetimi, jeneratörün gerilim ve frekansının düzenlenmesi, doğrusal olmayan yüklerin harmonik akım kompanzasyonu gibi birden çok işlemleri yerine getiren tek bir gerilim kaynağı dönüştürücüsü içeren şarj istasyonu için akıllı bir strateji sunulmuştur. Şarj stratejisi gereken enerjiyi öncelikli olarak fotovoltaik paneller ve depolama biriminden alacak şekilde dizayn edilmiştir. Bu iki kaynağın olmadığı durumda şarj istasyonu gereken enerjiyi şebeke ve dizel jeneratörden almıştır [31]. Bir elektrikli araç şarj istasyonunun enerji yönetimi ve kontrol çalışması sunulmuştur. Çalışmada dinamik bir fiyatlandırma çerçevesinde aynı anda birden fazla elektrikli aracın şarj ve deşarjı için enerji yönetimi ihtiyaçları ele alınmış ve şarj istasyonlarının G2V, V2G, V2V gerekliliklerini nasıl karşılayabileceği gerçek zamanlı benzetim ile değerlendirilmiştir [32]. PV-batarya hibrit sistemi içeren bir otoparkta elektrikli araçların ekonomik açıdan en iyi şekilde şarj edilmesi için bir karışık tam sayılı doğrusal programlama modeli oluşturulmuştur. Çalışmada PV sistemde üretilen elektrik enerjisinin fazla olduğu ve şebeke elektrik fiyatlarının düşük olduğu durumlarda bataryada enerji depolanmaktadır. Çeşitli durum senaryoları üzerinden PV-batarya sisteminin toplam elektrik maliyetine katkısı değerlendirilmiştir [33]. Bir üniversite kampüsünde kullanılması öngörülen elektrikli araçlar için şarj istasyonu alt yapısı ve bu alt yapının var olan sisteme entegrasyonu çalışılmıştır. Farklı EA sayıları üzerinden durum senaryoları oluşturularak en kötü senaryolar için gerilim ve akım THB durumları

incelenmiştir [34]. EA'nın gece mesken şarjı yerine gündüz ticari alan otoparklarında şarj edilmesi için tarihsel verilerden uzun dönem ve gelecek bilgisinden kısa dönem tahminler yaparak en uygun şarj stratejisinin belirlenmesi adına iki seviyeli yaklaşık dinamik programlama çerçevesi sunulmuştur. EA'nın geliş zamanı, ayrılış zamanı ve SOC'sini içeren Poisson süreci ile araç davranışları modellenerek yapılan simülasyon senaryolarına göre enerji maliyetlerinin düştüğü görülmüştür [35]. EA'nın güneş enerjisi kullanılarak iş yerlerinde şarj edilmesi olasılığı çalışılmıştır. Çalışmada çeşitli dinamik EA şarj profilleri üzerinden şebeke bağımlılığını minimize etme ve güneş enerjisinden maksimum EA şarjı sağlama durumları karşılaştırılmıştır. Tek bir şarj istasyonundan birden fazla EA şarjını mümkün kılmak için önceliklendirme mekanizması sunulmuştur [36]. Şarj istasyonlarının işletme maliyetlerini düşürmek için, yaklaşık dinamik programlama tabanlı EYS sunulmuştur. Önerilen EYS'de her bir EA'nın şarj aciliyetine göre en uygun şarj başlangıç zamanını belirlemek için yaklaşık dinamik programlama ve algoritma değerlendirme işlemleri birleştirilmiştir [37]. Harmonik akımları düşürerek şebekeden kaliteli güç transferi sağlayan hızlı şarj istasyonu modeli ve şebekeye etkisini azaltmak için güneş enerjisi üretimi ile desteklenen şarj istasyonunun en uygun güç akışına dayanan EYS sunulmuştur [38]. EA şarj istasyonlarının planlama aşamasında farklı şarj tiplerini içermesi gerektiği belirtilmiş ve tüm EA şarj sisteminin yıllık sosyal maliyetini en aza indirme hedefi için yeni bir optimizasyon modeli sunulmuştur. Önerilen model 31-baralı dağıtım sisteminde denenmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir [39]. EA'ya gereken enerji için şarj istasyonu seçimine odaklanarak EA şarj planlamasını yönetmek için bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntemde özel bir ağ aracılığıyla şarj soketlerinin rezervasyonu tahmin edilmeye çalışılmıştır [40]. Yenilenebilir enerji destekli EA şarj istasyonları arasında ki fiyatlandırma rekabeti araştırılmıştır. Çalışmada şarj istasyonlarının elektrik talebi çarpım ağırlıklı Voronoi diyagramı kullanılarak modellenmiş ve analiz edilmiştir [41]. Geleneksel sistemle aynı güç elektroniği alt yapısını kullanan çok terminalli DA baralı yapıya sahip hızlı şarj istasyonları için yeni bir topoloji sunulmuştur. Çalışmada hızlı şarj istasyonlarının dağıtım sistemine etkisini azaltmak adına analizler yapılmıştır [42]. Gerilim regülasyon desteği sağlamak ve enerji depolama olarak EA kullanımını amaç edinen bir mikroşebeke sunulmuştur. Çalışmada hem EA'nın hem de mikroşebekenin ihtiyaçlarını eşzamanlı olarak sağlamak için kontrollü şarj ve deşarj işlemi ile istenen aktif güç regülasyonuna ulaşılmıştır. Her bir EA'nın kendi şarj ve deşarjı ile güç dağıtımı için bir kontrol stratejisi geliştirilmiştir [43]. Hem çevrimdışı optimizasyon hem de çevrimiçi öğrenme ile güç aktarımı yapabilen çevrimiçi bir enerji yönetimi sunulmuştur. Çalışmada şebekenin puant ücretlerine göre enerji

alıp almamaya karar verme ve güneş panellerinden en iyi şekilde yararlanmak adına gerçek zamanlı çevrimiçi bir algoritma elde etmek için kural bazlı karar verme tekniği çevrimiçi öğrenme ile birleştirilmiştir [44]. EA batarya değişim istasyonlarından tam olarak yararlanmak için EA'ları yenilenebilir enerji ile destekleyen bir mikroşebekenin gerçek zamanlı enerji yönetim stratejisi sunulmuştur. Çalışmada önerilen modeli çözmek için sıra teorisine dayanan yeni bir Lyapunov optimizasyon çerçevesi tasarlanmıştır [45]. EA'ların dağıtım sistemi performansına olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada %30 ve %100 EA penetrasyon seviyelerinde koordineli ve koordinesiz şarj yöntemleri bir test sisteminde ve gerçek bir dağıtım sisteminde simüle edilerek gerilim profilleri, fider ve trafo yüklenmeleri, sistem kayıpları ve işletme maliyetleri analiz edilmiştir [46]. Eş zamanlı olarak mesken, alışveriş merkezi ve şarj istasyonlarında şarj edilen EA'ların şebekeye etkisi incelenmiştir. Çalışmada Kırıkkale ili için şarj istasyonları konumları belirlenerek buna göre olasılık yoğunluk fonksiyonu elde edilmiş ve Monte Carlo algoritması ile şarj modeli oluşturulmuştur. Sonrasında bütün modeller Digsilent PowerFactory programında uygulanmıştır [47].

İklim değişikliği ile mücadele çalışmaları, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltma, bilinç düzeyi gelişimi gibi etkenlerle desteklenen ve gelişen teknoloji ile daha uygun maliyetle elde edilebilecek olan EA'lar önümüzdeki yıllarda daha da hızlı bir şekilde yaygınlaşacaktır. EA'ların yaygınlaşması ile hem bireysel hem de kamusal kullanım için şarj ihtiyacı ortaya çıkacaktır. Literatür de yapılan çalışmalarda özellikle şarj ihtiyacının genel olarak elektrik şebekesine olan etkileri incelenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Çözüm önerileri özellikle EA kullanıcı alışkanlıklarının henüz çok belirsiz olmasından kaynaklı bireysel kullanımda evde şarjın puant/pik yük saatleri dışında yapılması ve şarj işleminin akıllı şarj gibi yöntemlerle yapılması üzerinde yoğunlaşmaktadır. Yapılan çalışmalarda kısıtlı bir bölge, belirli sayıda EA ve zaman aralığı baz alındığı görülmektedir. Ancak literatürde şarj istasyonlarının enerji yönetimine yönelik çalışma sayısı çok azdır ve bu çalışmalarda yukarıda bahsedilen kriterler baz alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar EA şarj yükünün AG ve/veya YG şebeke üzerine etkileri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki EA şarj yükünün şebeke üzerinde ciddi bir negatif etkisi yoktur. Literatürde EA şarj yükünün nerede ve nasıl yani meskenlerde mi, iş yerlerinde mi yoksa kamusal alanlarda mı karşılanacağı ayrıca bu yükün yavaş şarj mı hızlı şarj mı yoksa çok hızlı şarj ile mi karşılanacağı hususlarında çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu açıdan kamusal alanlarda ihtiyaç duyulan şarj ihtiyacının ve şarj gücünün simülasyonlar ile ortaya konması bu tezin özgün değeridir. Bu tez çalışmasının amacı EA kullanıcı alışkanlıklarını hesaba katarak ve EA hızlı şarj ihtiyacını birinci plana koyarak EA şarj istasyonlarının enerji yönetimini simüle etmektir. Bu amaçla şehir içi şarj ihtiyacına odaklanarak şarj modlarına göre meskenlerde ve kamusal alanlarda gereken şarj talebi istatistiksel ve gerçek verilerle bulunmuştur.

Literatür çalışmalarında şehir içi kamusal şarj talebine cevap verebilecek, hem EA kullanıcılarının hızlı şarj ihtiyaçlarına çözüm olacak hem de mevcut dağıtım şebekesinin bahsedilen şarj ihtiyacına hazırlık yapmasını sağlayacak enerji yönetim sistemine ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Tez çalışmasında ortaya konulan enerji yönetim sistemi ile EA kullanıcılarının araçlarını hızlı bir şekilde şarj etmesi sağlanacak ve halka açık şarj istasyonlarının dağıtım şebekesi açısından planlaması yapılabilecektir.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR VE ŞARJ İSTASYONLARI

Neden EA sorusunun birden fazla mantıklı cevabı bulunmaktadır. Ulaşım sektörü bütün dünyada önemli miktarda enerji tüketmektedir ve bu enerjinin ana kaynağı fosil yakıtlardır. Aynı zamanda modern toplumlarda insanların sahip oldukları araç sayıları da hala artmakta ve araçlarıyla yaptıkları mesafe de günden güne artmaktadır. Bu durumda fosil yakıtlara olan talep de yükselmektedir. Araçların yakıt tüketimindeki artışın sera gazı emisyonlarına ve hava kirliliğine ciddi bir etkisi vardır. Son zamanlarda otomobil üreticileri daha fazla EA üretmekte ve her gün yeni bir gelişme açıklamaktadır. İlk başlarda araçların elektriklendirilme süreci çok yavaştı ancak günümüzde neredeyse tüm otomobil üreticileri bütün zamanlarını araçlarını fosil yakıtlardan elektrikliye çevirmek için harcamakta ve bazı ülkeler fosil yakıtlı araçları yasaklamaya hazırlanmaktadırlar [48].

2.1. Elektrikli Araç Teknolojisine Genel Bakış

Fosil yakıtlı araçların sebep olduğu enerji ve çevre krizlerinin üstesinden gelmek için hibrit elektrikli araçlar son yıllarda geliştirilmiş ve uygulanmıştır [49]. Bu tez çalışmasında hibrit araçlara değinilmeden saf/sade elektrikli araçlar (PEV) değerlendirmeye alınmıştır.

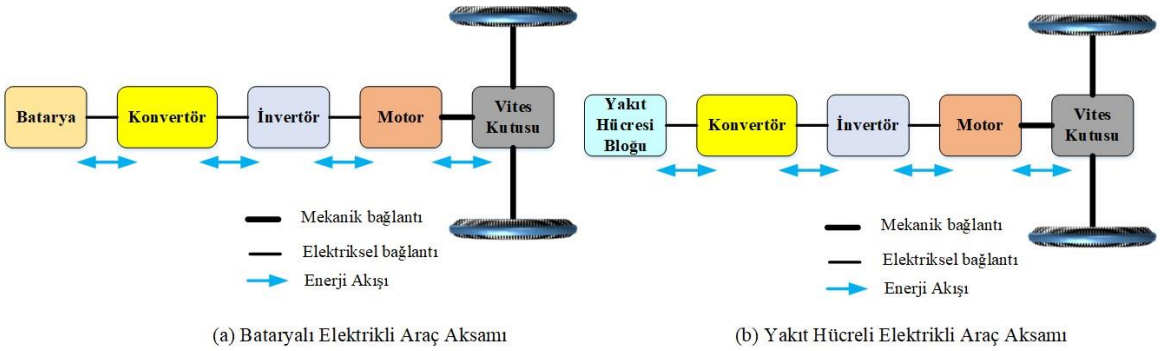
2.1.1. Elektrikli araç çeşitleri

Tek, çift ve çok kaynaklı olmak üzere 3 çeşit EA bulunmaktadır.

Tek Kaynaklı PEV'ler:

Tek kaynaklı PEV'ler sadece tek bir enerji kaynağına sahip olan araçlardır. Şekil 2.1(a)'da yer alan ve 1828 yılında icat edilen Bataryalı elektrikli araçlar (BEV) ilk tek kaynaklı PEV'dir. Menzilinin az ve şarj süresinin uzun olması BEV'lerin konvansiyonel araçların yakıtlarının ucuz olması ve popüler olmalarından dolayı piyasada geniş bir uygulama şansı bulamamıştır. Sıfır emisyon, yüksek verimlilik ve düşük gürültü BEV'lerin avantajlı yanlarıdır. Ayrıca fren esnasında elektrik motorunun jeneratör olarak çalışması da BEV'lerde enerjinin tekrar kazanılmasını sağlar. Ancak sık şarj ve deşarj işlemi bataryanın aşırı ısınmasına ve ömrünün azalmasına sebep olmaktadır. Şekil 2.1(b)'de görülen diğer bir

PEV tipi ise yakıt hücreli (FC) PEV'dir. FCEV'ler kimyasal olarak sonucunda saf su oluşan hidrojen ve oksijenden direk olarak dönüştürülen elektrik enerjisini kullanır. Bu bakımdan FCEV'ler yüksek verimlilik, geri dönüştürülebilir ve sürdürülebilir enerji tedariki ve sessiz çalışma gibi özelliklere sahiptir. Ancak BEV'lerle karşılaştırıldığında FCEV'ler, iki yönlü güç akışı olmadığı için frenlemeden kaynaklı geri kazanılan enerji için uygun değildir [49].

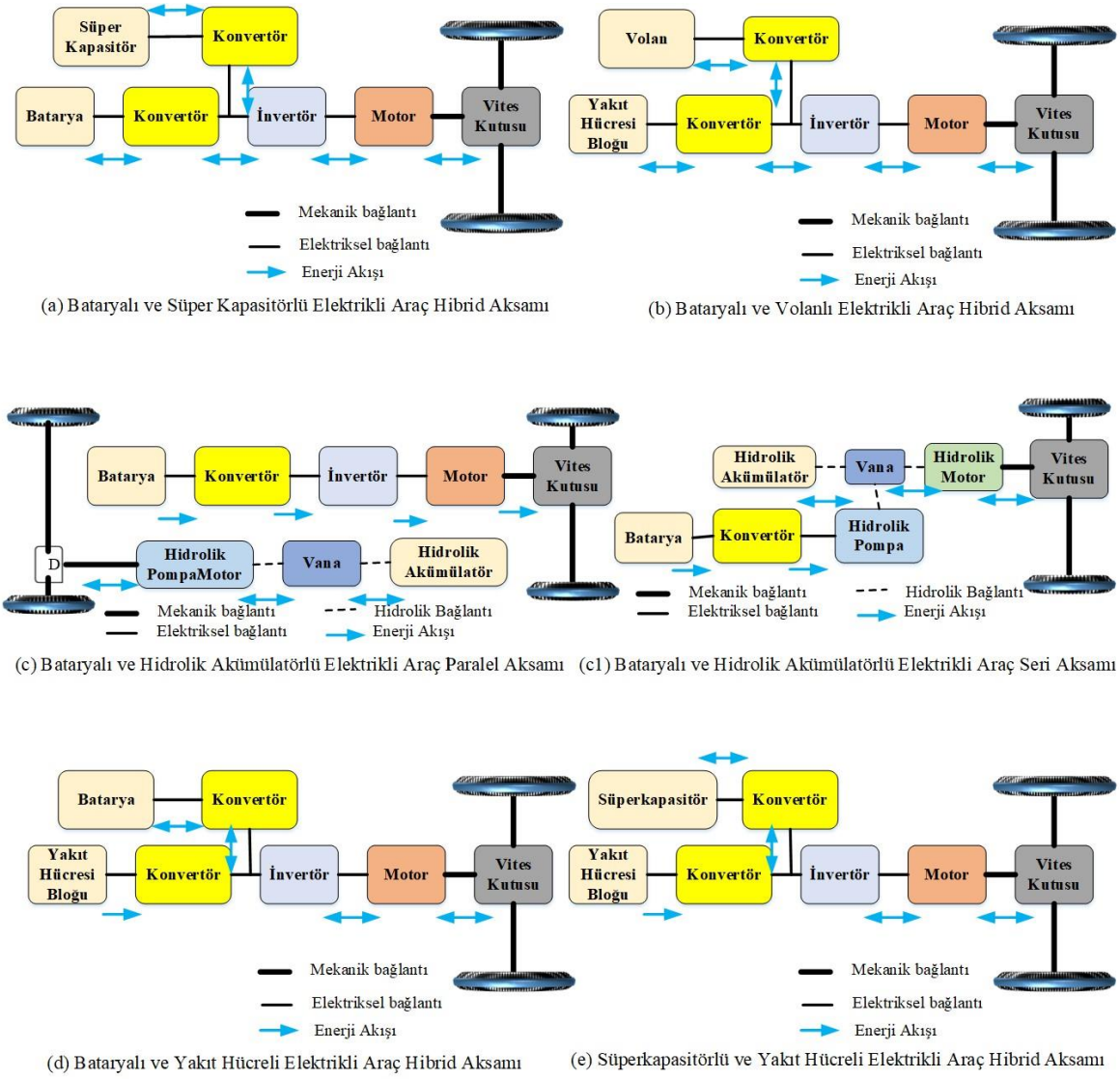


(a) Bataryalı Elektrikli Araç Aksamı (b) Yakıt Hücreli Elektrikli Araç Aksamı

Şekil 2.1. Tek kaynaklı PEV'lerin güç aktarım sistem parçaları [48]

Çift Kaynaklı PEV'ler:

Literatürde batarya ve süperkapasitör (SC), batarya ve volan (flywheel), batarya ve hidrolik akümülatör (HACC), batarya ve yakıt hücresi (FC) ve yakıt hücresi ve süperkapasitör olmak üzere çift kaynaklı PEV'lerin farklı birleşimleri bulunmaktadır. Şekil 2.2(a)'da yer alan batarya-SC PEV, batarya hareket enerjisi sağlayan ana kaynak iken, SC EA için gerekli olan güç gereksinimine yardımcı kaynaktır ve frenleme esnasındaki enerjiyi depolamaktadır. Benzer olarak Şekil 2.2(b)'de yer alan batarya-volan PEV tipinde batarya birincil kaynak volan ise ikincil kaynaktır. Bu iki tip PEV'de batarya ömrü uzatılmış ve verimlilik ve araç performansı geliştirilmiştir. Bunlardan farklı olarak yardımcı kaynak olan HACC yavaşlama sırasında kinetik enerjiyi direk olarak güç akışına dâhil eder ve aracın ihtiyacı olduğunda enerjiyi boşaltmaktadır. Batarya-HACC PEV Şekil 2.2(c) ve Şekil 2.2(c1)'de sırasıyla yer aldığı gibi seri ve paralel olarak tasarlanabilmektedir. Şekil 2.2(d)'de yer alan batarya-FC PEV'de, batarya FC gücünün açığını tamamlamak veya fazlasını almak için kullanılırken FC genellikle sabit güç sağlamaktadır. Şekil 2.2(e)'de yer alan FC-SC PEV'de, FC hareket için gerekli enerjiyi sağlayan ana enerji kaynağıyken SC hızlanma sırasında gereken ekstra gücü ve araç fren yaptığında enerjinin geri kazanılmasını sağlamaktadır [48].



(a) Bataryalı ve Süper Kapasitörlü Elektrikli Araç Hibrid Aksamı

(b) Bataryalı ve Volanlı Elektrikli Araç Hibrid Aksamı

(c) Bataryalı ve Hidrolik Akümülatörlü Elektrikli Araç Paralel Aksamı

(c1) Bataryalı ve Hidrolik Akümülatörlü Elektrikli Araç Seri Aksamı

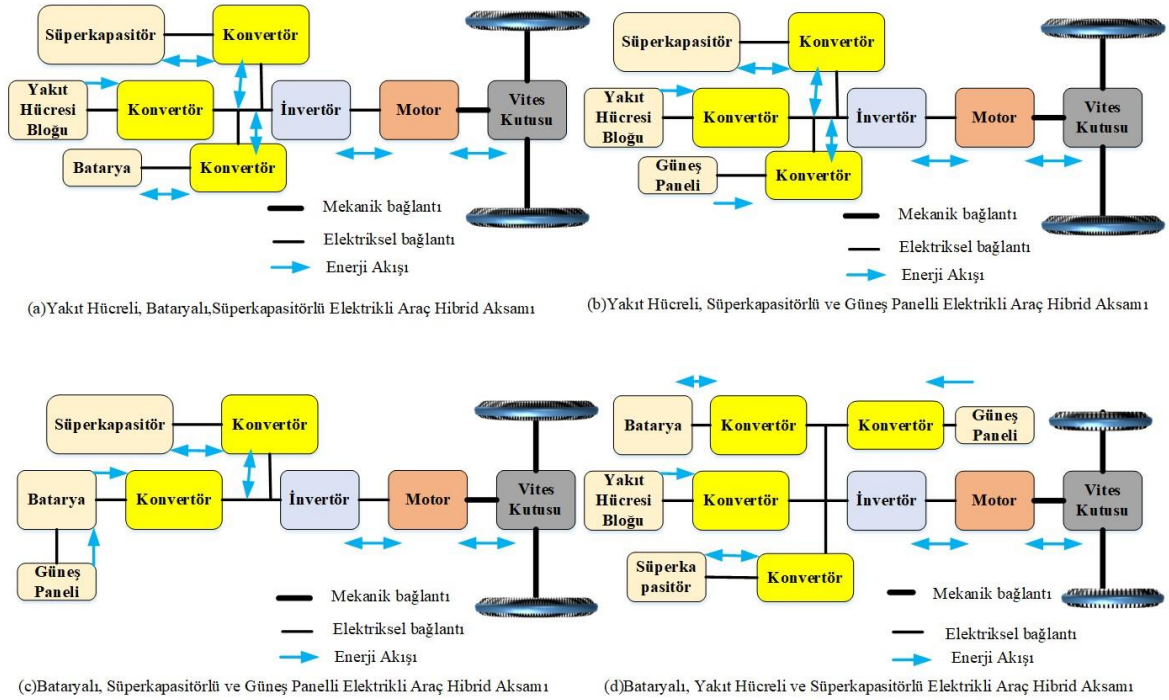
(d) Bataryalı ve Yakıt Hücreli Elektrikli Araç Hibrid Aksamı

(e) Süperkapasitörlü ve Yakıt Hücreli Elektrikli Araç Hibrid Aksamı

Şekil 2.2. Çift kaynaklı PEV'lerin güç aktarım sistem parçaları [48]

Çok Kaynaklı PEV'ler:

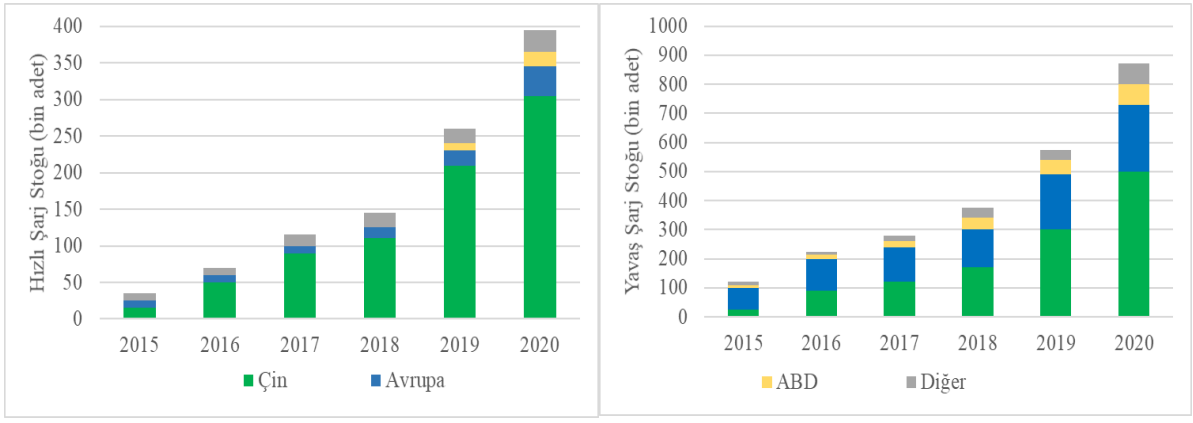
Çok kaynaklı PEV'ler en az üç farklı enerji kaynağı barındırmaktadır. Çok kaynak birleşimi depolama kabiliyetini artırır ve sistem verimliliği, dayanaklık ve güç bileşeni parçalarının ömür döngülerindeki iyileşme avantajlarından tam olarak faydalanılabilmesini sağlamaktadır. Literatürde yer alan çok kaynaklı PEV'ler Şekil 2.3'de yer almaktadır. Çok kaynaklı PEV'lerde FC deposu hareketi sağlayan ana enerji kaynağı iken SC ise yavaşlama ve frenleme esnasında enerjiyi geri kazanan yardımcı kaynaktır [48].



Şekil 2.3. Çok kaynaklı PEV'lerin güç aktarın sistem parçaları [48]

2.2. EA Şarj İstasyonları

Günümüzde EA şarjının büyük kısmı evlerde ve iş yerlerinde yapılırken, EA alt yapı gelişimine liderlik eden ülkeler için belirli bir aşamada kamuya açık alanlardaki şarj istasyonlarına erişim EA sahipleri tarafından talep edilecektir. Kamuya açık şarj istasyonları %30'u hızlı şarj olmak üzere 2020 yılında 1,3 milyon adete ulaşmıştır. Şekil 2.4'te 2015-2020 yılları arasında halka açık şarj istasyonlarının durumu yer almaktadır [50].

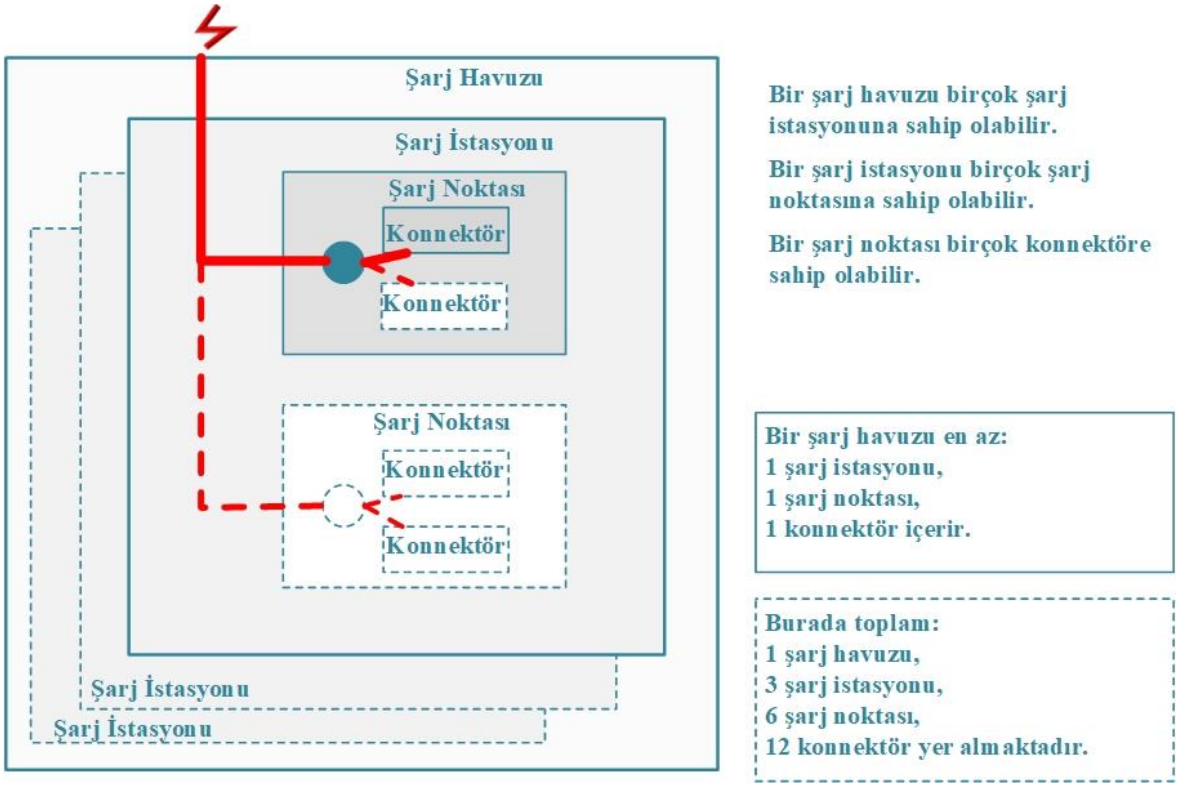


Şekil 2.4. Halka açık şarj istasyonlarının durumu [49]

EA şarj istasyonlarının yaygınlaşması için en önemli faktörlerden biri şarj standartlarıdır. Standartlaşma hem EA şarj istasyonlarına erişimi sağlayacak hem de sektör paydaşları için yatırım riskini ciddi manada azaltacaktır [51]. EA şarj istasyonlarını farklılaştıran 3 temel faktör bulunmaktadır [52].

- Seviye: Şarj istasyonunun güç çıkışını tanımlar.
- Tip: Şarj olurken kullanılan fiş ve soket tipini tanımlar.
- Mod: EA ile şarj istasyonu arasındaki haberleşme protokolünü tanımlar.

Literatürde şarj istasyonları ile ilgili çok farklı tanımlar ve terimler kullanılmaktadır. Bunlar genellikle karıştırılmaktadır. Şekil 2.5'de bu kavramlar görsel olarak ifade edilmektedir. Buna göre şarj parkı birkaç şarj istasyonundan, şarj istasyonu birkaç şarj noktasından, şarj noktası da birkaç şarj ucundan oluşmaktadır [53].



Şekil 2.5. Örnek bir şarj parkı prensip şeması [52]

Şekil.2.5.'de geçen tanımlar:

Şarj parkı: Bir ya da birden fazla şarj istasyonu ve park yerinden oluşmaktadır. Şarj parkı bir şarj noktası operatörü (CPO-charge point operator) tarafından tek bir yer/adreste ve GPS koordinatından işletilmektedir.

Şarj istasyonu/Şarj direği/Şarj yuvası/EA şarj istasyonu(EVCS): Ortak bir kullanıcı tanımlama ara yüzü olan, bir ya da birden fazla şarj noktasına sahip fiziksel bir varlıktır. Bütün fiziksel insan-makine ara yüzleri şarj istasyonunda konuşlandırılmıştır. Bazı şarj istasyonlarında RFID okuyucu, butonlar, göstergeler, LED'ler vardır. Buton, gösterge vd. olmayan diğer şarj istasyonları tak-çalıştır ya da tak-şarj et (Plug & Charge) olarak adlandırılır. Tak-şarj et durumunda araçlar otomatik olarak kayıt edilmektedirler.

Şarj noktası/Şarj pozisyonu/EA güç ekipmanı(EVSE): EA'lara elektrik enerjisi şarj noktası aracılığıyla iletilmektedir. Bir şarj noktası, farklı şarj ucu tiplerinde bir ya da birden fazla şarj ucuna (çıkış ya da priz/ outlets or plugs) sahip olabilmektedir.

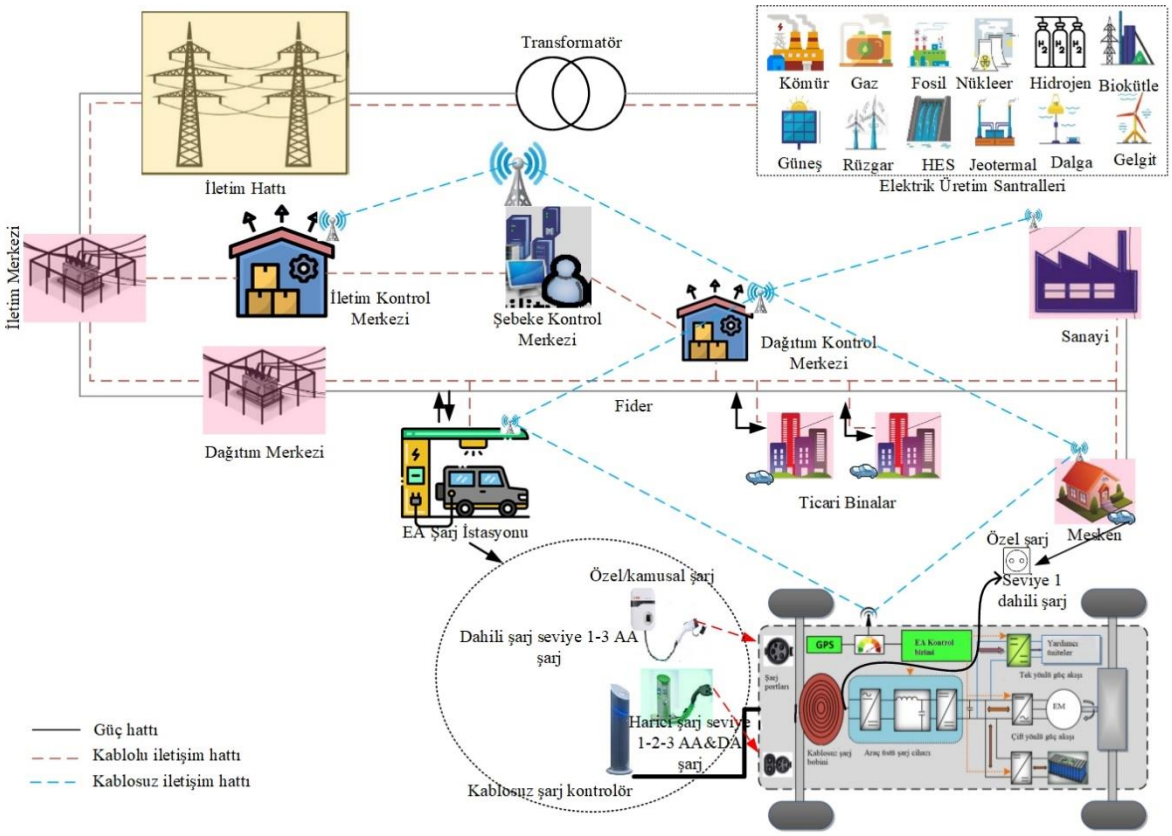
Şarj ucu (Connector): Şarj ucu aracılığıyla elektrik enerjisi iletilmektedir. Şarj istasyonu ve EA arasında fiziksel bir bağlantıdır:

- Kablolu bir fiş/prizdir (bir tarafı erkek fiş diğer tarafı dişi fiş). Kablonun bir tarafındaki priz şarj noktasının çıkışına, diğer tarafındaki priz aracın şarj girişine uyumludur;
- Hızlı şarj istasyonlarında ortak olan şarj istasyonunun ayrılabilir bir kablosuna bağlı bir prizdir;
- Bir iletken plakadır;
- Bir pantograftır.

Her zaman olmamakla birlikte genellikle şarj noktası sayısı ve şarj ucu (soket) sayısı birbirine eşittir. Örneğin iki şarj noktası ve üç şarj ucundan oluşan şarj istasyonunda ikiden fazla şarj ucu kullanılamaz, ikiden fazla araç aynı zamanda şarj edilemezdir [53].

2.2.1. Şarj ucu tipleri

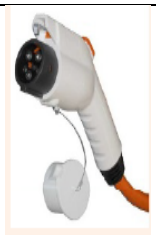
EA şarj alt yapısı Şekil 2.6'da gösterildiği gibi güç ve kontrol-iletişim altyapıları olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır [54]. Şarj standartlarının uygulanması açısından farklı ülkeler farklı şarj standartları ve şarj uçları kullanmaktadırlar. Şarj fişleri arasındaki temel fark fiş/soket tasarımlarıdır. Şekil 2.7'de farklı standartlara göre üretilen farklı şarj fişleri/soketleri gösterilmektedir [53, 54]. Şarj fişleri ve soketlerinin açıklamaları bir sonraki bölümde yer almaktadır.



Şekil 2.6. EA şarj alt yapısının şematik diyagramı [53]

	ABD	JAPONYA	AB		ÇİN
Tek Faz / 3-Faz AA Şarj	 SAE J1772 Seviye 1, Seviye2 Tek faz	 SAE J1772 Seviye 1, Seviye2 Tek faz	 IEC 62196 Seviye 1 Tek faz	 IEC 62196-2 Seviye 2,3 Tek / 3 faz	 IEC 62196 Seviye 1,2 Tek / 3 faz
DA Hızlı Şarj/AA -DA Kombo	 Seviye1 +DA SAE J1772 Combo  Seviye 2 +DA	 JEVS G105-1993 CHAdeMO DC Hızlı şarj	 IEC 62196-3 Hibrid Kombo		 GB/T 20234.3-2011 DA Hızlı şarj

(a) Şarj portları

	ABD	JAPONYA	AB	ÇİN
Tek Faz / 3-Faz AA Şarj	 SAE J1772 Seviye 1, Seviye 2 Tek faz	 SAE J1772 Seviye 1, Seviye2 Tek faz	 IEC 62196-2 Seviye 1,2 Tek / 3 faz	 IEC 62196 Seviye 1,2 Tek / 3 faz
DA Hızlı Şarj/AA -DA Kombo	 SAE J1772 Seviye 2 +DA Kombo  Tesla Süperşarj	 CHAdeMO DC Hızlı şarj	 IEC 62196-3 Hibrid Kombo	 GB/T 20234.3-2011 DA Hızlı şarj

(b) Şarj konnektörleri

Şekil 2.7. Şarj fişleri ve soketleri [52,53]

2.2.2. EA şarj güç sınıfları

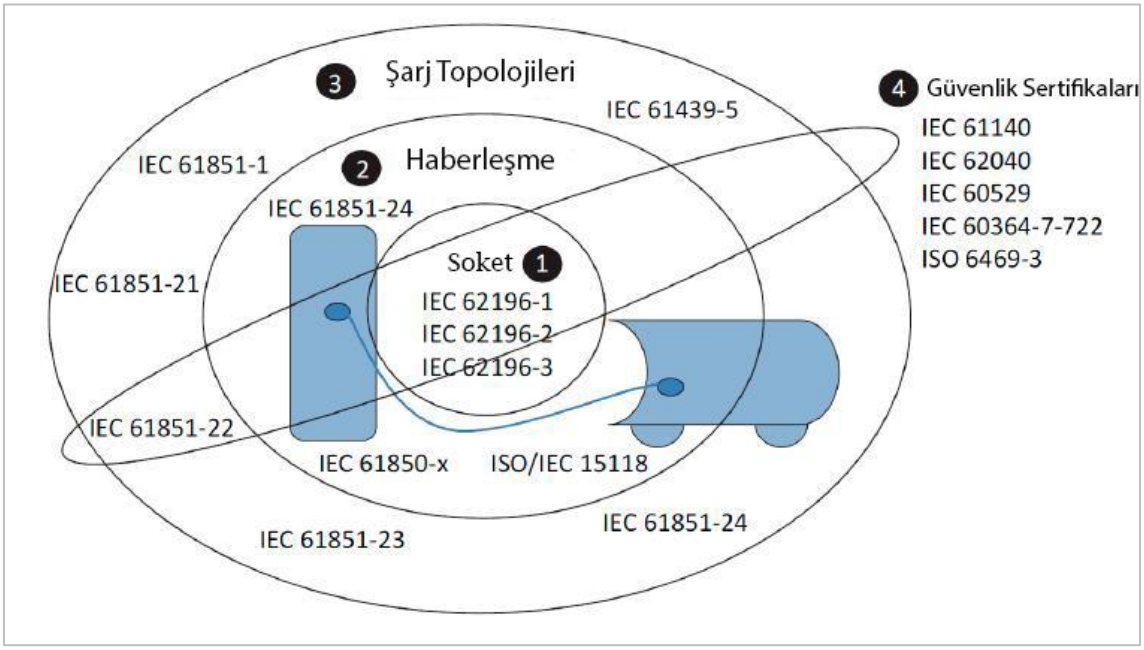
EA şarjı ve şarj istasyonlarının şebekeye etki, maliyet, teçhizat, konum, şarj süresi ve gereken güç miktarını içeren farklı parametreleri şarj alt yapısı ve çeşitli şarj güç seviyelerinin yardımı ile anlaşılabilmektedir. EA şarj alt yapısının kullanımı ve gelişimi ve EVSE'ye göre tartışılması gereken birçok dikkate değer konudan bazıları şunlardır [55]:

- Şarj istasyonlarının standartları
- Şarj işleminin süresi ve büyüklüğü
- Talep tarafı ve dağıtım şebekesi politikaları
- Düzenleyici prosedürler

Şarj istasyonları ve şarj soketleri genel olarak 3 farklı tiptedir. Şarj seviyeleri de hem AA hem de DA olarak üç seviyedir. Seviye 1'den Seviye 3'e kadar yavaş şarjdan hızlı şarja doğru gitmektedir. Otomobil Mühendisleri Topluluğunun (SAE) standartları Amerika kıtasında, Uluslararası Elektroteknik Komisyonunun (IEC) standartları Avrupa kıtasında ve Japonya Elektrikli Araç Birliği standartları da Japonya'da yaygın olarak kullanılmaktadır [55].

EA şarjında en yavaş metot Seviye 1'dir. Seviye 1'de SAE-J1772'ye uygun AA port soketi kullanılmaktadır. Ev ve iş yerlerinde kullanmak için herhangi bir ekstra teçhizat gerekmemektedir. Seviye 2 şarj meskenlerde ve kamusal alanlarda bağlantı yalıtımını sağlayan uygun ekipmanlarla birlikte kullanıldığında şarj için uygundur. SAE-J1772'ye uygun kombo bir konnektör ile AA olarak ya da iki pinli DA konnektör ile DA hızlı şarj işlemi yapılabilmektedir. Seviye 3 şarj ticari alanlarda bir saatten daha az şarj etme süresi ile hızlı şarj olarak kullanılmaktadır. Seviye 3 şarj otoyoldaki dinlenme tesislerinde ve kırsal petrol istasyonlarında kullanım için uygundur. Uygun AA-DA dönüşümü sağlamak için off-board şarj teçhizatı gereklidir. Seviye 3 şarj şehir merkezlerinde kullanım için uygun değildir. Bahsedilen şarj seviye türlerine göre standartlar bölgeden bölgeye ve standart kurumlarına göre farklılık göstermektedir ve evrensel değildir. Standart kurumlarının EA'lara ilişkin yayınlamış oldukları standartlar elektriksel, fiziksel, iletişim protokolleri ve performans gerekliliklerini tanımlamakta ve kapsamaktadır [56]. IEC tarafından 4 grup standart dizisi tanımlanmıştır: (1) Soket (Bağlantı), (2) Haberleşme, (3) Şarj Topolojisi ve (4) Güvenlik. IEC tarafından EA'ların şarjı için uygulanan standartlar Şekil 2.8'de

gösterilmektedir. Soket (Bağlantı) yapısı, haberleşme metotları, şarj topolojileri ve güvenlik standartları ayrıca Çizelge 2.1'de yer almaktadır [57].



Şekil 2.8. EA şarj süreci için IEC standartları [55]

Çizelge 2.1. Şarj seviyeleri çizelgesi

Şarj Seviye Türleri	Şarj Lokasyonları	Standart Kullanım Yerleri	Enerji Kaynağı Arayüzü	Harcanılması Beklenen Güç Seviyesi(kW)	
V_{aa}: 230 V Avrupa için Vaa : 120 V Birleşik Devletler için	Dahili-On Board	Ofis ya da Mesken yerlerinde şarj	Herhangi uygun bir çıkış	P: 1.4 12A P:1.9 20A	SAE Standartları
V_{aa} : 400 V Avrupa için Vaa : 240 V Birleşik Devletler için	Dahili - On Board	Herkese açık alan ve özel bölgeler	Tedarik ekipman ile	P:4 17A P: 8 32A P: 19.2 80A	
V_{aa}: 208-600 V	Harici şarj aygıtı - Off Board	Benzin istasyonu gibi Ticari bölgeler	Tedarik ekipman ile	P: 50 P: 100	
V_{da}:200-450	Harici şarj aygıtı - Off Board	Özel şarj istasyonları	Tedarik ekipman ile	P: 40 80A	
V_{da}: 200-450	Harici şarj aygıtı - Off Board	Özel şarj istasyonları	Tedarik ekipman ile	P:90 200A	
DA güç ile Level 3	Harici şarj aygıtı - Off Board	Özel şarj istasyonları	Tedarik ekipman ile	P:240 400A	
AA güç ile Level 1	Dahili şarj aygıtı - On Board	Ofis ya da Mesken yerlerinde şarj	Herhangi uygun bir çıkış	P: 4-7.5 16A	IEC Standartları
AA güç ile Level 2	Dahili şarj aygıtı - On Board	Herkese açık alan ve özel bölgeler	Tedarik ekipman ile	P: 8-15 32A	
AA güç ile Level 3	Dahili şarj aygıtı - On Board	Benzin istasyonu gibi Ticari bölgeler	Tedarik ekipman ile	P: 60-120 250A	
DA ile ani şarj	Harici şarj aygıtı - Off Board	Özel şarj istasyonları	Tedarik ekipman ile	P:1000-2000 (400A)	
DA ile ani şarj	Harici şarj aygıtı - Off Board	Özel şarj istasyonları	Tedarik ekipman ile	P:62.5 (125A)	CHAdeMo Standartları

Şekil 2.7'de yer alan standartlar:

- IEC 62196-1: Fişler, prizler, araç bağlayıcıları ve araç girişleri - Elektrikli araçların şarjı-Bölüm 1: Genel kurallar
- IEC 62196-2: Fişler, prizler, araç bağlayıcıları ve araç girişleri - Elektrikli araçların doldurulması - Bölüm 2: AA kontakları çubuk ve boru tipi olan yardımcı donanımlar için boyutsal uyumluluk ve aralarında değiştirilebilirlik kuralları
- IEC 62196-3: Fişler, prizler, araç bağlayıcıları ve araç girişleri - Elektrikli araçların doldurulması - Bölüm 3: DA için boyutlu uyumluluk ve değiştirilebilirliği gereksinimleri ve AA/DA pim ve temas tüp araç kuplörler
- IEC 61850-x: Tali istasyonlarda haberleşme şebekeleri ve sistemleri serisi
- ISO 15118: Kara yolu taşıtları - İletişim şebekesi ara yüzü serisi
- IEC 61439-5: Alçak gerilim anahtarlama düzeni ve kontrol düzeni panoları – Bölüm 5: Genel şebekelerdeki güç dağıtımı için panolar
- IEC 61851-1: Elektrikli taşıtların iletken şarj sistemleri-Bölüm 1: Genel özellikler
- IEC 61851-21: Elektrikli taşıtların iletken şarj sistemleri - Bölüm 21: AA/DA besleme şebekesine iletken bağlantısı için elektrikli taşıt özellikleri
- IEC 61851-22: Elektrikli taşıtların iletken şarj sistemleri - Bölüm 22: Elektrikli taşıt AA şarj istasyonu
- IEC 61851-23: Elektikli taşıtlarda iletken şarj sistemi - Bölüm 23: Elektrikli araç DA şarj istasyonu
- IEC 61851-24: Elektrikli taşıtlarda iletken şarj sistemi - Bölüm 24: DA şarj kontrolü için bir d.a. elektrikli taşıt şarj istasyonu ile bir elektrikli taşıt arasındaki sayısal iletişim
- IEC 61140: Elektrik çarpmasına karşı koruma - tesisat ve donanım için ortak özellikler
- IEC 62040: Kesintisiz güç sistemleri (KGS) serisi
- IEC 60529: Mahfazalarla sağlanan koruma dereceleri (IP kodu)
- IEC 60364-7-722: Alçak gerilim elektrik tesisleri - Özel tesisler ve yerler için kurallar - Elektrikli taşıtların besleme kaynağı
- ISO 6469-3: Elektrikle çalışan kara yolu taşıtları - Güvenlik özellikleri – Bölüm 3: Elektriksel güvenlik

2.2.3. EA şarj süreleri ve kapasiteleri

EA'nın şarj süresi; EA'nın batarya kapasitesi ve şarj istasyonunun gücü ve ayarları gibi farklı faktörlere bağlıdır. EA şarj sürelerinin önümüzdeki yıllarda hızlı bir şekilde düşmesi beklenmektedir [53]. Hatta günümüzde bu değerler hızla düşmektedir. Örneğin çoğu araç üreticisi hızlı şarj seçenekleri sunmakta ve araçların 10 dakikada %80 şarja ulaşacağını ya da 8 dakikada 100 km menzil sağlayacak kadar şarj olabileceği gibi verileri sunmaktadır [58]. Piyasada 3 tür şarj noktası bulunmaktadır [54]:

Normal güç şarj noktası: EA'ya 22 kW ve altında güç ileten şarj noktasıdır.

Yüksek güç şarj noktası: EA'ya 22 kW'dan fazla güç ileten şarj noktasıdır. Yaygın olarak 50 kW şarj noktaları bulunmakla birlikte bu tür şarj noktaları hızla gelişmektedir ve günümüzde 175 kW ve üstü şarj noktaları bulunmaktadır.

Yük dengeleme/Şarj Plazası: bu tür şarj noktası şebekeye tek bir yerden bağlı birçok şarj noktasına sahiptir. Şarj plazası, EA sürücülerinin araçlarını optimum şekilde şarj etmesini sağlayarak, belirli bir süre içindeki talebe göre uygun olan kapasitenin şarj noktalarına iletilmesini sağlamaktadır. Buna yük dengeleme de denilmektedir. En yüksek kapasiteye ulaşıldığında şarj hızı otomatik olarak ayarlanmaktadır.

2.2.4. EA şarj modları

EA şarj modu ifadesi kapasite, iletişim ve güvenlik kriterlerine göre şarj tekniğini ifade etmektedir. IEC 61851 standardı şarj sistemi, fiş ve soket konularının yer aldığı standarttır. Bu standart EA'ya şarjı sağlayan teçhizatın beyan gücü ve şarj süresine göre teçhizatın ilk sınıflandırmasını Şekil 2.9'da görüldüğü gibi tanımlamıştır [59]. IEC 61851-1'e göre şarj modları aşağıdaki özelliklere sahip olup olmama açısından tanımlanmıştır:

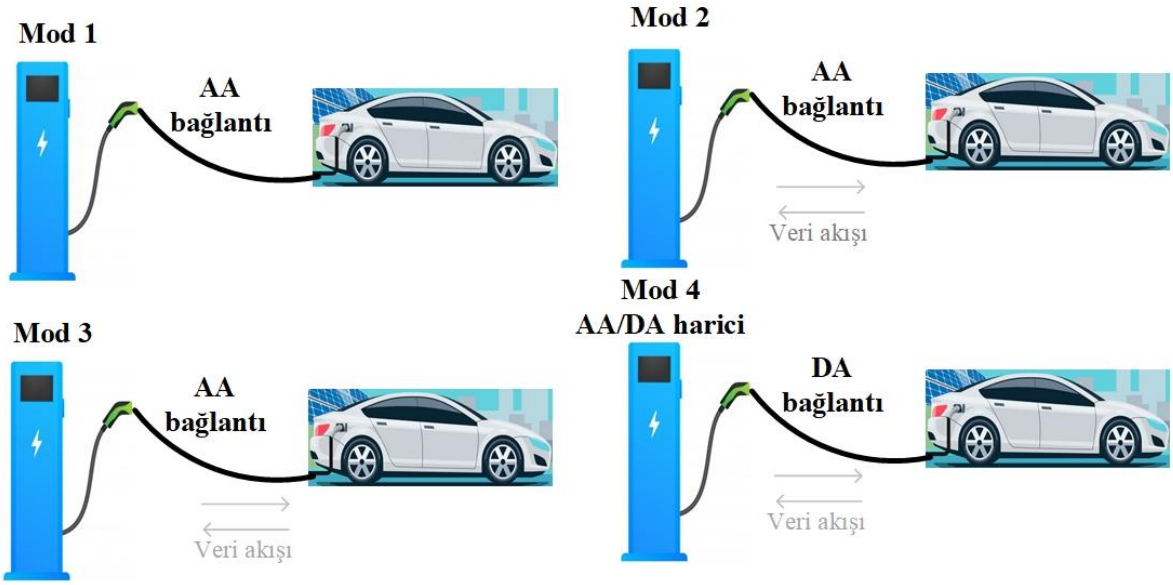
- EA'nın güç tipi (DA, tek faz ya da 3 faz AA)
- Gerilim seviyesi (AA için tek faz 110 V ve 3 faz 480 V)
- Topraklama ve EA ile şarj istasyonu arasında tek ya da çift yönlü iletişime izin veren kontrol hattı olup olmaması
- Koruma elemanının konumu ve olup olmaması

Bu özelliklere göre 4 tür şarj modu aşağıda kısaca açıklanmaktadır:

- Mod 1: AA Ev tipi yavaş şarj
- Mod 2: AA Ev tipi koruma fonksiyonlu yavaş şarj
- Mod 3: AA koruma ve kontrol fonksiyonlu özel fiş ve sokete sahip yavaş ya da hızlı şarj
- Mod 4: DC şarj cihazı olan hızlı şarj

Mod 4 için ayrıca iki alt seviye tanımlanmıştır:

- DA Seviye 1: 500 V, 80 A, 40 kW
- DA Seviye 2: 500 V, 200 A, 100 kW



Şekil 2.9. IEC 61851-1'e göre şarj modları [58]

Akım ve güç değerlerine göre farklı türde bağlantılar mümkündür ve elektriksel değerlere göre Çizelge 2.2'de özetlenmektedir.

Çizelge 2.2. Farklı şarj metotlarına göre elektriksel değerler

Şarj metodu	Bağlantı Tipi	Güç (kW)	Maks. Akım (A)	Konum
Normal güç	1 faz AA	3,7	10-16	Özel
Orta güç	1/3 faz AA	3,7-22	16-32	Yarı kamusal
Yüksek güç	3 fa AA	>22	>32	Kamusal
Yüksek güç	DA	>22	>32	Kamusal

Son yıllarda otomobil üreticileri ve standardizasyon kurumları hızlı şarjın önündeki engelleri kaldırmak adına ortak bir fiş soket yapısı geliştirmektedirler. Bu yapı DA mod 4 ve AA mod 3'ü tek bir ünitede birleştirmekte ve Combo ya da CCS olarak adlandırılmaktadır. Şarj modları ve fiş-soket yapısı bakımından Avrupa'da uygulanan güncel durum Çizelge 2.3'de özetlenmektedir [59].

Çizelge 2.3. EA şarj modları ve fiş-soket yapısı

Soket tipi	Özel Dahili soket	Özel tahsisli E-mobilite soket	Yarı Kamusal AA	Kamusal AA	Kamusal DA
Güç	≤3.7kW	22kW'a kadar	22kW'a kadar	22kW'a kadar	50kW (CHAdeMO)
Fiş tipi(Alt yapı tarafı)	1-faz AA Dahili	Tip2/Tip3	Tip2/Tip3	Tip2/Tip3	Yazaki (CHAdeMO)
Şarj Modu	Mod 2	Mod 2 Mod 3	Mod 2 Mod 3	Mod 2 Mod 3	Mod 4

3. YÖNTEM ve MODELLEME

Bu bölümde EA şarj modelinin oluşturulması için kullanılan veriler ve EA şarj profillerinin belirlenmesi açıklanacaktır. EA'ların evde ve kamusal alanlarda şarjı için gereken yük profillerinin oluşturulması için Monte Carlo simülasyonu (MCS) yöntemi kullanılmıştır.

3.1. EA Seyahat Başlangıç Zamanı

EA'ların seyahat başlangıç zamanları kullanıcı alışkanlıklarına göre değişmektedir. EA seyahat başlangıç zamanlarının belirlenmesinde ABD Ulusal Hanehalkı Seyahat Anketi (National Household Travel Survey-NHTS) verileri kullanılmıştır [60]. NHTS verilerine göre kullanıcıların seyahat başlangıç zamanları normal dağılım göstermektedir. NHTS verilerinden elde edilen seyahat başlangıç saatlerinin olasılık dağılımı grafiğinden olasılık yoğunluk fonksiyonu ($f_{(x)}$) Eş. (3.1)'e göre hesaplanmaktadır [61].

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \tag{3.1}$$

Eş. (3.1)'de μ seyahat başlangıç zamanının ortalama değeri, σ ise seyahat başlangıç zamanlarının standart sapması olarak ifade edilmektedir. NHTS verilerine dayanan seyahat başlangıç zamanlarının ortalama ve standart sapma değerleri Eş. (3.2) ve Eş. (3.3)'e göre hesaplanmaktadır [59]. Eş. (3.2) günün ilk on iki saatlik kısmını Eş. (3.3) ise günün diğer on iki saatlik kısmını temsil etmektedir.

$$f(t_{arr}) = \frac{e^{-\frac{(t_{arr}-\mu_{arr})^2}{2\sigma_{arr}^2}}}{\sigma_{arr}\sqrt{2\pi}} \quad \mu_{arr} - 12 \leq t_{arr} \leq 24 \tag{3.2}$$

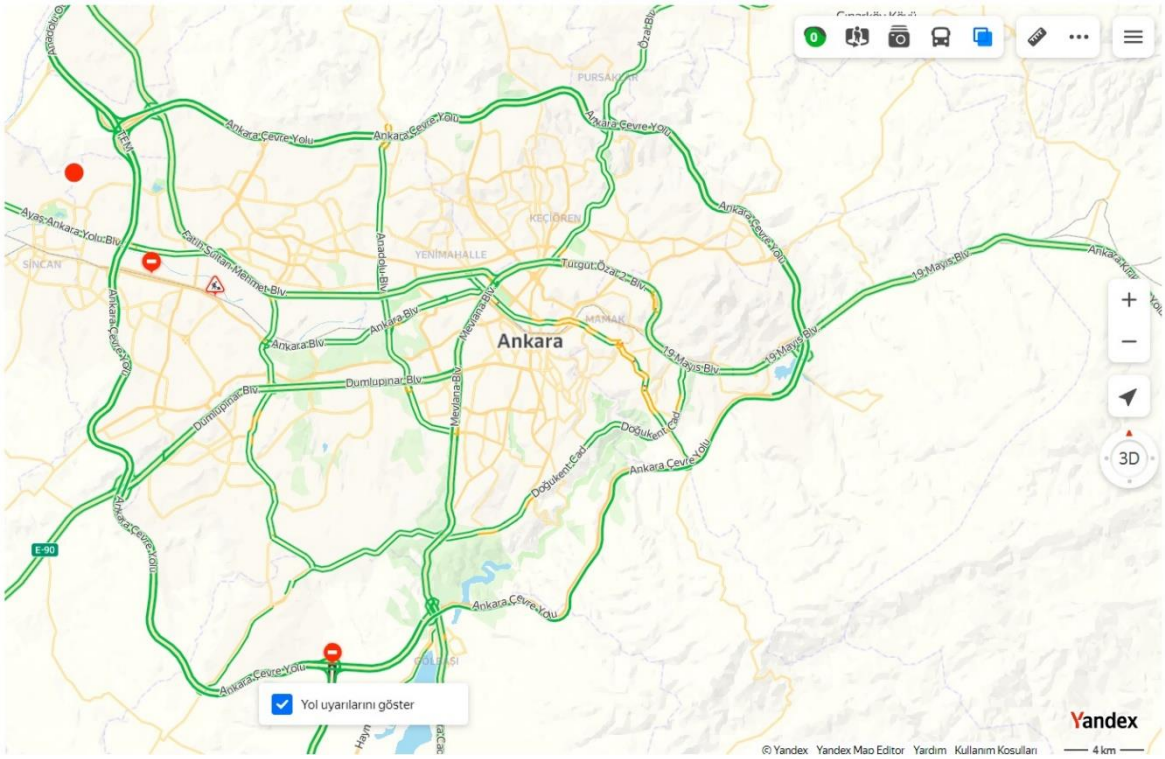
$$f(t_{arr}) = \frac{e^{-\frac{(t_{arr}+24-\mu_{arr})^2}{2\sigma_{arr}^2}}}{\sigma_{arr}\sqrt{2\pi}} \quad 0 \leq t_{arr} \leq \mu_{arr} - 12 \tag{3.3}$$

Eş. (3.2) ve Eş. (3.3)'te t_{arr} varış saati, μ_{arr} varış saatlerinin ortalama değeri, σ_{arr} varış saatlerinin standart sapması olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada EA'ların eve varış saatleri Ankara için Yandex trafik verileri kullanılarak oluşturulan veri setinden faydalanılarak elde edilmiştir [62]. Söz konusu çalışmada Ankara'da yaşayan insanların hafta içi günlerde 16:00-21:15 saatleri arasında eve varış saatleri yoğunlukları 15 dakika

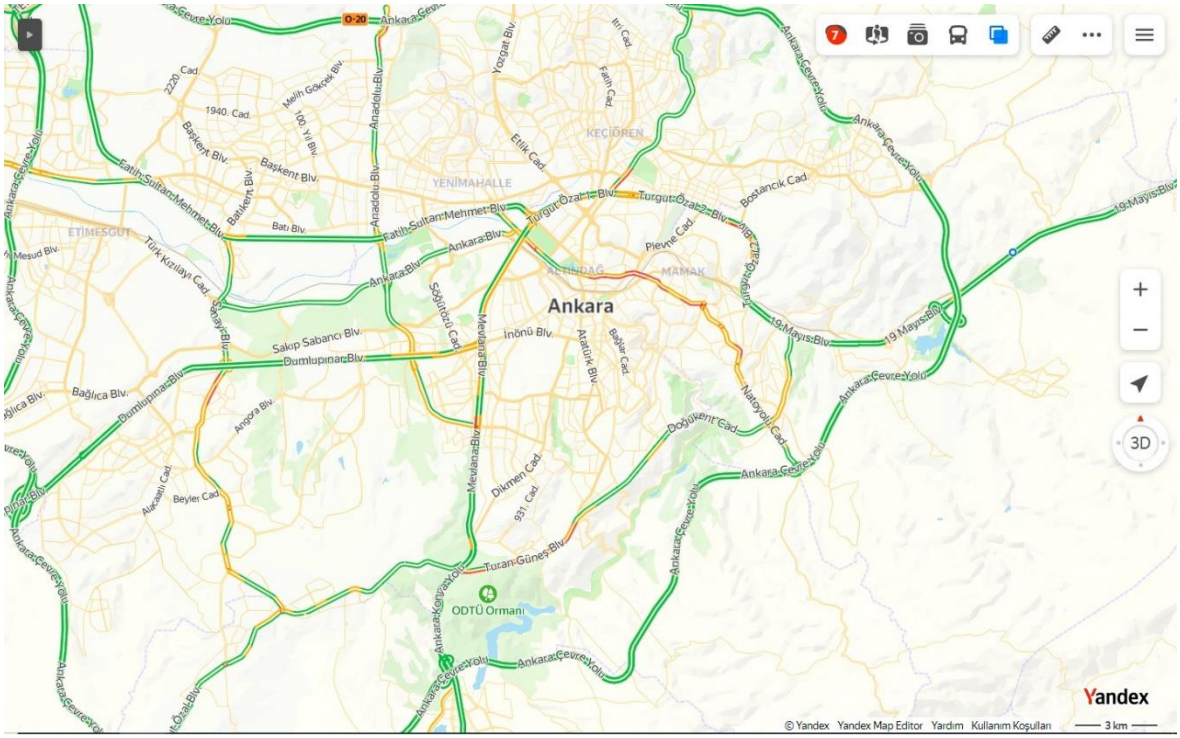
çözünürlükte Yandex trafik verilerinden alınmıştır. Yandex haritalarda yoğunluk değerleri sıfır ile sekiz arasında derecelendirilmiştir ve sıfır trafik sıkışıklığı olmadığını sekiz ise trafik sıkışıklığının en yoğun olduğu durumları ifade etmektedir. Ankara için Yandex trafik verilerine ait sıfır trafik sıkışıklığı Şekil 3.1'de ve yedi derece trafik sıkışıklığı Şekil 3.2'de gösterilmiştir [63]. Eve varış yoğunluk değerleri ise 15 dakika çözünürlükle elde edilen değerlere 30 dakika eklenmesi ile bulunmuştur. Son olarak eve varış yoğunlukları saat 17:00'dan 22:00'a kadar yarım saatlik bazda önceki iki çeyrek saatlik verilerin eklenmesi ile hesaplanmıştır. Buna göre elde edilen trafik yoğunluk verileri Çizelge 3.1'de, sonrasında yarım saatlik aralıklarla hesaplanan veriler ise Çizelge 3.2'de sunulmaktadır. Çizelge 3.2'deki şarj başlangıç saati oranları eğrisi, normal dağılım fonksiyonunun ortalama değeri 19,15 ve standart sapması ise 1,5 saat olarak alındığında şarj başlangıç saati oranları eğrisine uymaktadır. Bu sebeple şarj başlangıç saati oranları ortalama değeri 19,15 ve standart sapma ise 1,5 saat alınarak Microsoft Excel programında yer alan normal dağılım formülü kullanılarak normal dağılım fonksiyonu olarak modellenmiş ve Şekil 3.3'de gerçek verilerle birlikte gösterilmiştir. İki eğri arasındaki benzerlik oranı Eş. (3.4)'te verilen ortalama hata karesi yöntemi (mean square error-MSE) ile %1,7 olarak hesaplanmıştır.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2 \tag{3.4}$$

Burada Y_i ve $\hat{Y}_i$ sırasıyla gözlem ve tahmin değerlerini, n ise benzerlik oranının bulunması için kullanılan verilerin toplamını göstermektedir.



Şekil 3.1. Yandex haritalar sıfır trafik sıkışıklığı durumu



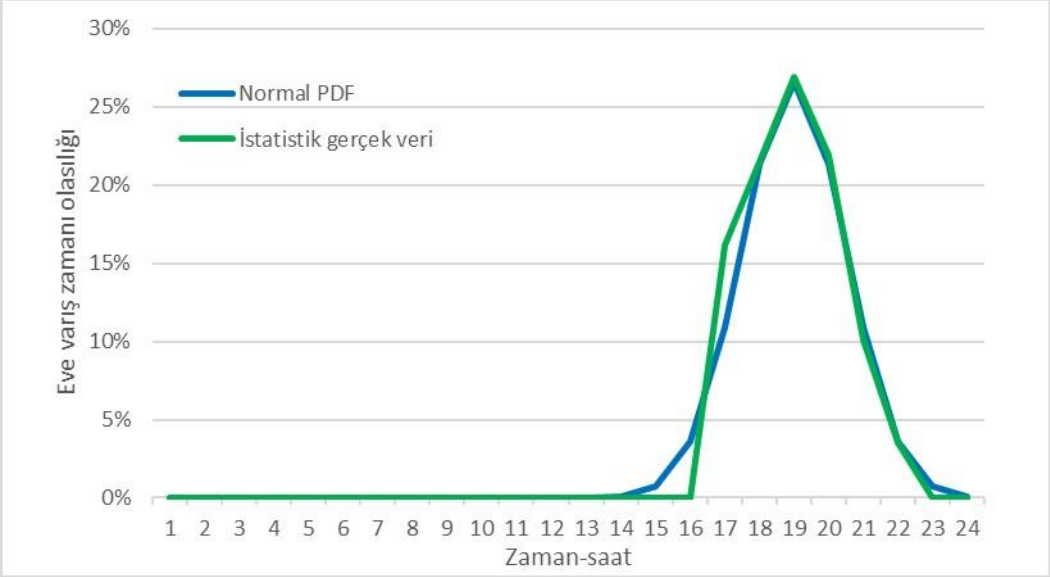
Şekil 3.2. Yandex haritalar yedi derece trafik sıkışıklığı durumu

Çizelge 3.1. Ankara için trafik ve eve varış yoğunluğu

Trafik Zamanı	Şarj Zamanı	Yoğunluk	Trafik Zamanı	Şarj Zamanı	Yoğunluk
16:00	16:30	3,4	18:45	19:15	6,6
16:15	16:45	3,8	19:00	19:30	6,4
16:30	17:00	4,2	19:15	19:45	5,8
16:45	17:15	4,2	19:30	20:00	5
17:00	17:30	4,4	19:45	20:15	4
17:15	17:45	5	20:00	20:30	3,4
17:30	18:00	5,6	20:15	20:45	2,4
17:45	18:15	5,8	20:30	21:00	2
18:00	18:30	6	20:45	21:15	2
18:15	18:45	6,6	21:00	21:30	1,4
18:30	19:00	6,8	21:15	21:45	1

Çizelge 3.2. Ankara için şarj başlangıç saati oranları

Varış Zamanı	Yoğunluk	Şarj başlangıç saati oranı
17:00	7,2	7,50%
17:30	8,4	8,70%
18:00	9,4	9,80%
18:30	11,4	11,90%
19:00	12,6	13,20%
19:30	13,4	14%
20:00	12,2	12,70%
20:30	9	9,40%
21:00	5,8	6,10%
21:30	4	4,20%
22:00	2,4	2,50%



Şekil 3.3. Eve varış zamanı olasılık yoğunluk dağılımı

EA şarj başlangıç zamanları için bu çalışmada iki durum üzerinde durulmuştur. Birincisi EA'ların evde şarj olması ikincisi ise kamusal alanlarda şarj olması durumlarıdır. Evde şarj durumunda EA şarj profillerinin hesaplanması için Ankara'da Yandex trafik verilerinden elde edilen gerçek trafik verileri kullanılmıştır. Kamusal alanlarda şarj durumu için ise NHTS verilerinden kullanıcıların işe gidiş saatleri verileri kullanılmıştır.

Kullanıcıların işe gidiş saatlerinin olasılık oranları Çizelge 3.3'de yer almaktadır [64]. Buna göre kullanıcıların %15,8'i saat 07:00-08:00 arası, %14,9'u saat 08:00-09:00 arası iş yerlerine varmaktadırlar.

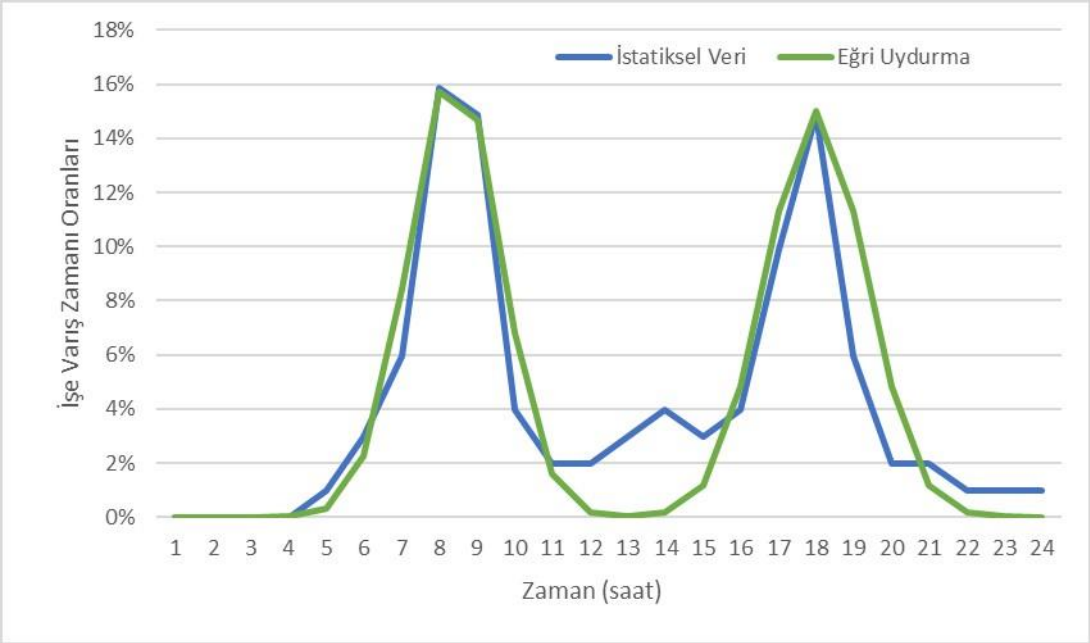
Çizelge 3.3. Kullanıcıların işe gidiş saatleri oranları

Saat	İşe gidiş oranı	Saat	İşe gidiş oranı
00:00 – 00:59	0,0%	12:00 – 12:59	3,0%
01:00 – 01:59	0,0%	13:00 – 13:59	4,0%
02:00 – 02:59	0,0%	14:00 – 14:59	3,0%
03:00 – 03:59	0,0%	15:00 – 15:59	4,0%
04:00 – 04:59	1,0%	16:00 – 16:59	9,9%
05:00 – 05:59	3,0%	17:00 – 17:59	14,9%
06:00 – 06:59	5,9%	18:00 – 18:59	5,9%
07:00 – 07:59	15,8%	19:00 – 19:59	2,0%
08:00 – 08:59	14,9%	20:00 – 20:59	2,0%
09:00 – 09:59	4,0%	21:00 – 21:59	1,0%
10:00 – 11:59	2,0%	22:00 – 22:59	1,0%
11:00 – 11:59	2,0%	23:00 – 23:59	1,0%

Kullanıcıların işe gidiş saatleri oranı verilerine göre Eş. (3.2) ve Eş. (3.3) formülleri kullanılarak günün ilk ve ikinci yarısı için ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır ve Çizelge 3.4'de gösterilmektedir. Bulunan ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak 24 saatlik zaman dilimi için normal dağılım fonksiyonu ile normal dağılım değerleri hesaplanmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Eğri uydurma yöntemi olarak Microsoft Excel programında yer alan normal dağılım fonksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca iki eğri arasındaki benzerlik oranı Eş. (3.4)'te verilen ortalama hata karesi yöntemi (mean square error-MSE) ile %3,67 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4. Hesaplanan ortalama ve standart sapma değerleri

Saat	Ortalama (μ)	Standart Sapma (σ)
$0 \leq t_{arr} \leq 12$	8,4	1,2
$12 < t_{arr} < 24$	18	1,33



Şekil 3.4. İşe Varış zamanının olasılık yoğunluk dağılımı

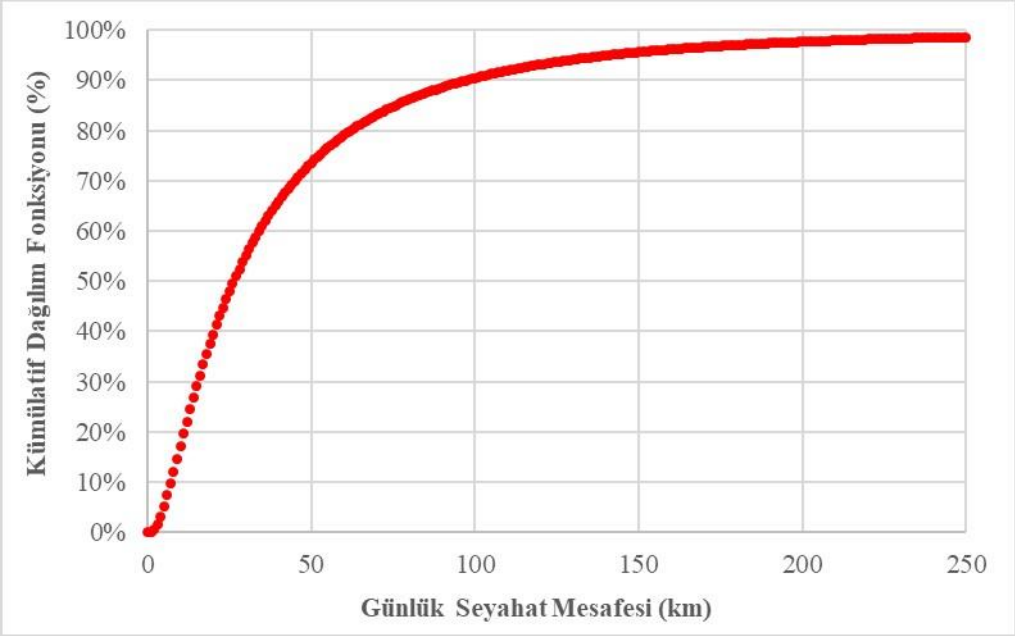
3.2. SOC Değerlerinin Belirlenmesi

EA kullanıcıların şarj ihtiyaçlarının belirlenmesinde gün içinde kat edilen mesafe, EA'nın ilk başlangıç State of Charge (SOC) değeri, kullanıcı alışkanlıkları gibi karakteristikler önem arz etmektedir. Bu karakteristiklere göre SOC değeri hesaplanmaktadır. Kullanıcıların gün içerisinde iş, alışveriş, eğitim vb. farklı aktiviteleri için kat ettikleri mesafelerin ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 3.5'de yer almaktadır [62]. Bu verilere göre kullanıcıların işe gidiş için kat ettikleri mesafe lognormal bir dağılım göstermektedir.

Çizelge 3.5. Farklı aktiviteler için kat edilen mesafenin parametreleri

Hedef	Uyarlanan pdf	Parametre1	Parametre2
İş yeri	Lognormal (ortalama, standart sapma)	3,27	1,02
Eğitim	Weibull(ölçek, biçim)	111,75	1,27
Alışveriş	Lognormal (ortalama, standart sapma)	2,48	1,16
Arkadaş Ziyareti	Lognormal (ortalama, standart sapma)	2,16	1,38
Günlük seyahat	Lognormal (ortalama, standart sapma)	2,76	1,18
Kişisel işler	Lognormal (ortalama, standart sapma)	3,02	1,32
Eğitime götürme	Weibull(ölçek, biçim)	83,81	0,93
Diğer eşlik etme ve kişisel işler	Weibull(ölçek, biçim)	176,47	2,67
Tatil seyahati	Weibull(ölçek, biçim)	79,63	1,19
Diğer (Eğlence, kamu kurumları ziyareti, vb.)	Lognormal (ortalama, standart sapma)	3,42	1,29

SOC değerlerinin hesaplanması için gerekli olan kullanıcıların gün içerisinde işe gidişte kat ettikleri mesafenin Çizelge 3.5'de yer alan parametreleri kullanılarak hesaplanan kümülatif dağılım fonksiyonu Şekil 3.5'de yer almaktadır. Kullanıcıların yaklaşık %70'inin işe gidiş için kat ettiği mesafe 50 km'nin altındadır.



Şekil 3.5. İşe gidiş mesafesinin lognormal kümülatif dağılım fonksiyonu

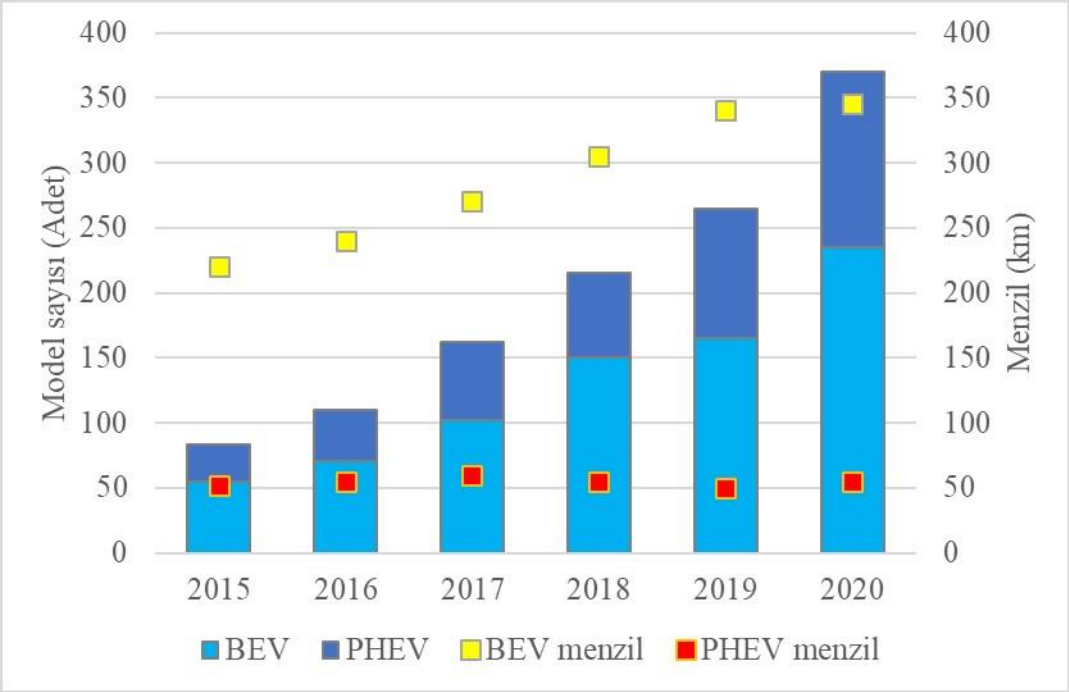
Kullanıcıların gün içinde kat ettikleri mesafelere göre şarj başlangıcındaki SOC değerleri Eş. (3.5)'e göre hesaplanacaktır. Eş. (3.5)'te D maksimum sürüş mesafesi, d günlük kat edilen mesafedir. Bu tez çalışmasında kullanıcıların seyahate başlamadan önce SOC değerlerinin bire eşit olduğu ve araçların km başına tüketimlerinin sabit olduğu varsayılmıştır.

$$SOC = 1 - \frac{d}{D}, 0 < d < D \tag{3.5}$$

3.3. Elektrikli Araç Özellikleri

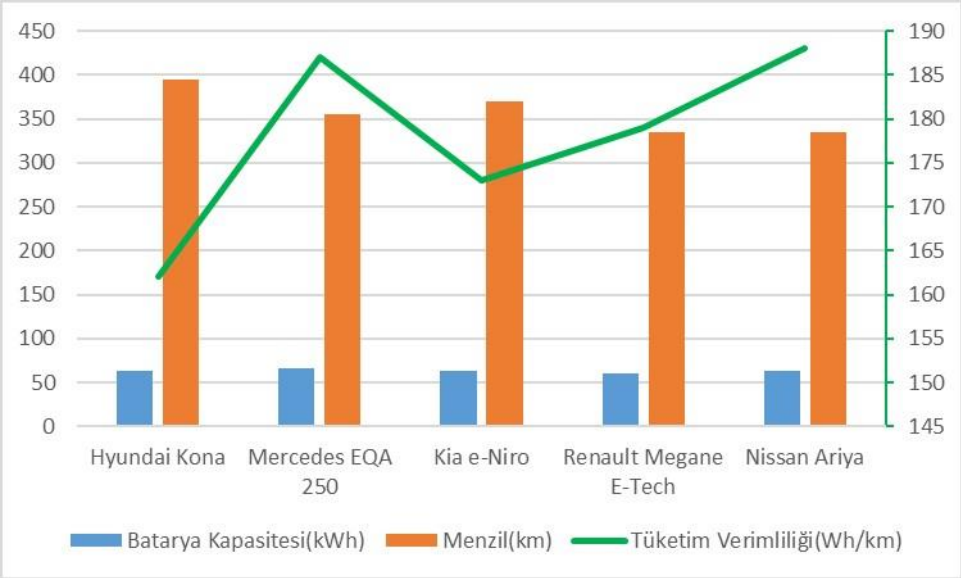
Özellikle iklim değişikliği ve çevresel konuların öneminin çok fazla arttığı günümüzde iklim değişikliği ile mücadelede en popüler konuların başında gelen EA'lar tüketicilerin ilgisini çekmektedir. Otomobil üreticileride EA'ların pazar paylarının çok fazla artacağını tahmin

ettiklerinden gün geçtikçe model sayılarını artırmaktadırlar. EA'lara çok fazla yatırım yapılması ve ar-ge çalışmalarının artması ile de EA menzilleri gün geçtikçe artmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) Global EV Outlook 2021 raporuna göre 2015-2020 yılları arasında EA model sayıları ve menzillerindeki artış Şekil 3.6'da yer almaktadır. Buna göre 2015 yılında bataryalı elektrikli araçların ortalama menzili 200 km iken 2020 yılında 350 km'ye çıkmıştır [50].



Şekil 3.6. IEA 2015-2020 arası EA model sayıları ve menzil ortalamaları [49]

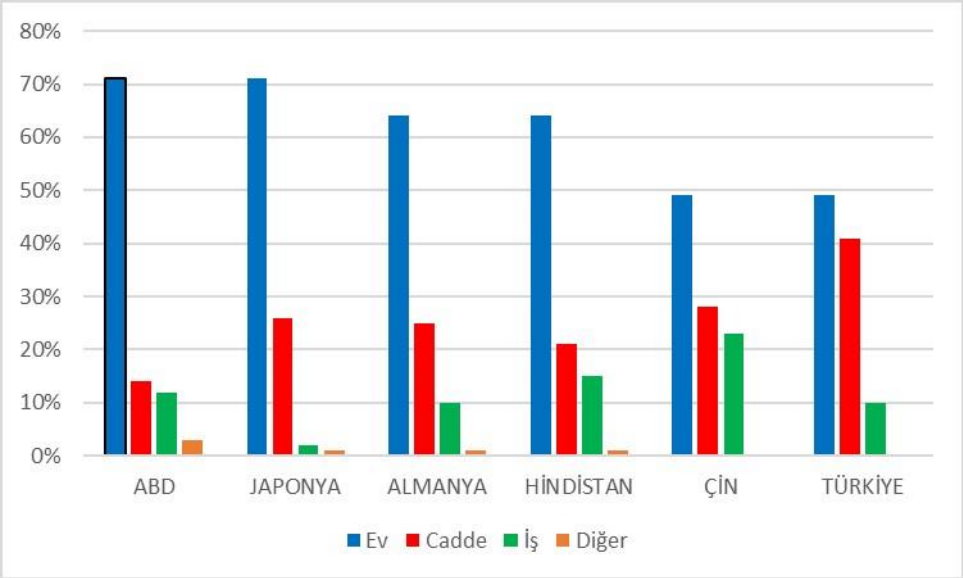
Bu tez çalışmasında piyasada yer alan EA modelleri arasında batarya kapasitesi birbirine yakın olan EA modelleri seçilmiştir. Seçilen EA modellerinin menzilleri ise IEA Global EV Outlook raporunda yer alan ortalama menzil verisine de çok yakındır. Şekil 3.7 seçilen EA modellerinin batarya kapasitesini, menzilini ve tüketim verisini göstermektedir [65]. Buna göre tez çalışmasında kullanılabilir batarya kapasitesi 60 kWh, tüketim verimliliği 170 Wh/km ve EA'ların şarj verimliliği de %90 olarak alınmıştır [66].



Şekil 3.7. Seçilen EA'ların batarya kapasitesi, menzil ve tüketim verileri [64]

3.4. Şarj Yeri Seçimi

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de EA'ya olan ilgi artmaktadır. Ancak kullanıcıların uygun şarja sahip olma ve şarj etme imkânları konusunda çekinceleri bulunmaktadır. Konvansiyonel araçlarda olduğu gibi kısa sürede benzin deposunun doldurulması gibi EA'nın da şarj edilebilir seviyeye gelmesi EA'ların kullanıcı nezdinde benimsenmesini artıracaktır. Ülkelerin kendi özel durumlarına göre şarj istasyonları tercihleri farklılık göstermektedir. Şarj istasyonlarının nerede ve nasıl kurulacağı ve kullanıcıların buna göre EA'ları şarj etme durumları ülkelerin ekonomileri, şehirleşmeleri, alt yapıları ve elektrik şebeke durumlarına göre değişmektedir. 2021 yılının şubat ayında Deloitte tarafından yapılan "2021 Küresel Otomotiv Tüketici Araştırması-Önemli Bulgular: Türkiye ve Küresel Karşılaştırma" adlı rapora göre farklı ülkelerde kullanıcıların EA'ları nerede şarj etmek istedikleri Şekil 3.8'de görülmektedir [67]. Buna göre Amerikalı kullanıcıların %71'i EA'ları evde %26'sı ise kamusal alanlarda şarj etme beklentisi içindeyken, Türkiye'deki kullanıcıların %49'u evde %51'i kamusal alanlarda şarj etme beklentisi içindedir.



Şekil 3.8. Tüketicilerin EA şarj yeri beklentileri [65]

Literatürde yapılan çalışmaların birçoğu evde şarj senaryoları üzerine yoğunlaşmaktadır. Yatay mimarinin yaygın olduğu ve her aracın kendine ait otoparkı olduğu ülkelerde bu seçenek uygun olarak görülmektedir. Ancak ülkemiz gibi dikey mimarinin çoğunlukta olduğu ülkelerde kamusal alanda şarj ihtiyacının daha fazla olacağı tahmin edilmektedir. Ülkemizde de kullanıcıların EA'ları evlerinden ziyade kamusal alanlarda şarj etme ihtiyacının olacağı düşünülmektedir. Ülkeler arasındaki şarj ihtiyacı açısından farklar temel olarak 3 faktöre dayanmaktadır [68]:

- Bina stoku
- Kamusal şarj alt yapısı ve gücü
- EA stoku

Bu tez çalışmasında 1000 kullanıcı için %30 ve %100 EA sahip olma oranına göre evde ve kamusal alanda şarj ihtiyacı MCS ile belirlenmiştir. Evde şarj için 11 kW ve 22 kW, kamusal alanda şarj için 11 kW ve 50 kW şarj güçleri seçilmiştir.

3.5. Monte Carlo Simülasyonu (MCS)

Gerçek bir sistemi simüle eden matematiksel bir model oluşturmaya Monte Carlo yöntemi denmektedir. Modelin çok sayıda rastgele örneklemesi yapılarak çok sayıda rastgele çıktı örneği elde edilmektedir. Kökeni 1940'larda Los Alamos Ulusal Laboratuvarı'nda bir nükleer silah projesinde çalışan üç bilim insanı John von Neumann, Stanislaw Ulam ve

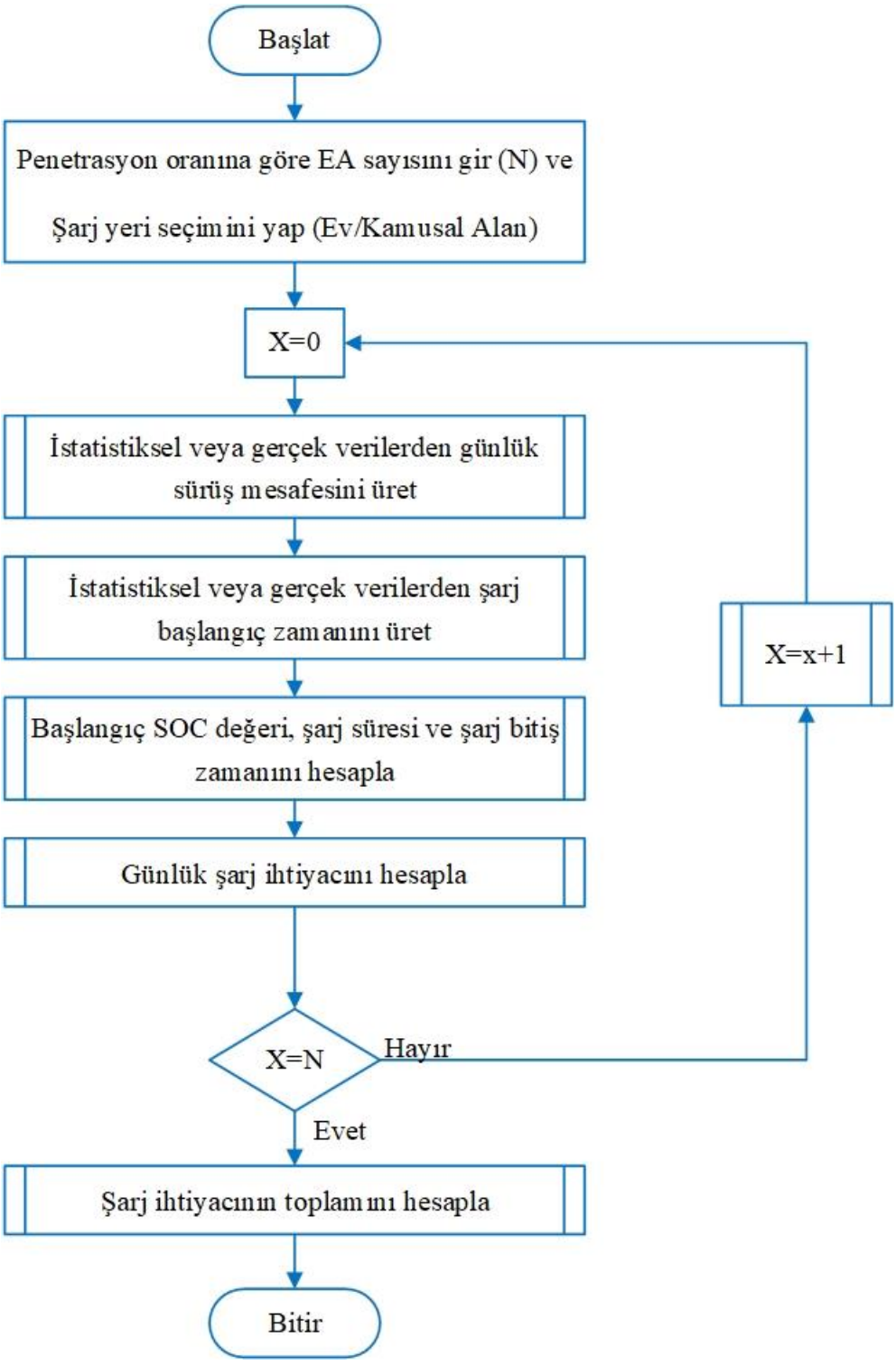
Nicholas Metropolis tarafından yapılan çalışmalara dayanmaktadır. Üç bilim insanı daha sonra Monte Carlo yöntemi olarak adlandırılacak yeni bir matematiksel yöntem tasarlamışlardır. Stanislaw Ulam Monako'da bulunan Monte Carlo Kumarhanelerinde bulunan rulet makinesinden esinlenerek yönteme Monte Carlo simülasyonu adını vermiştir. Üç bilim insanı, girdi değişkenlerini ve analitik olarak çözülemeyecek kadar karmaşık bir dizi algoritmayı içeren bir sistem modeli oluşturmuşlardır.

Yöntem, rastgele örneklemede olduğu gibi modelin birçok kez çalıştırılmasına dayanmaktadır. Her örnek için, her girdi değişkeninde rastgele değişkenler üretilmekte ve hesaplamalar her çıktıda rastgele sonuçlar veren model üzerinden yürütülmektedir.

Bu yöntemi gerçekleştirmek için büyük bir rasgele sayı akışına ihtiyaç vardır. Von Neumann, bir orta kare yöntemi kullanarak sözde rasgele sayıları hesaplamanın bir yolunu geliştirmiştir. Von Neumann, yöntemin kusurları olduğunu fark etmiş, ancak yöntemin o zamanlar mevcut olan en hızlı yöntem olduğunu düşündüğünden yöntemin ne zaman hatalı sonuç vereceğini de hesaplamıştır [69].

3.6. MCS ile Şarj İhtiyacının Hesaplanması

Son yıllarda güç sistemlerinde birçok problemin çözümü için başarıyla uygulanan MCS, olasılıksal istatistiğe dayanan belirsizlik problemleri için neredeyse kesin sonuçlar üretmektedir [70]. Bu tez çalışmasında EA şarj ihtiyacının günlük olarak hesaplanması için MCS kullanılmıştır. %30 ve %100 EA penetrasyon oranına göre istatistiki ve gerçek verilerden yararlanılarak EA'ların günlük sürüş mesafeleri ve şarj başlangıç zamanları bulunmuştur. Daha sonra piyasadaki EA'lar arasında en uygun batarya kapasitesine sahip araçların ortalaması tespit edilmiş ve buna göre batarya kapasitesi, menzil, km başına tüketim ve şarj verimliliği değerleri sabit olarak alınmıştır. Tüm araçların %85'e kadar şarj olacağı varsayılarak şarj için başlangıç SOC değeri, şarj süresi ve şarj bitiş zamanı hesaplanmıştır. Şarj ihtiyacının hesaplanmasına ait akış diyagramı Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



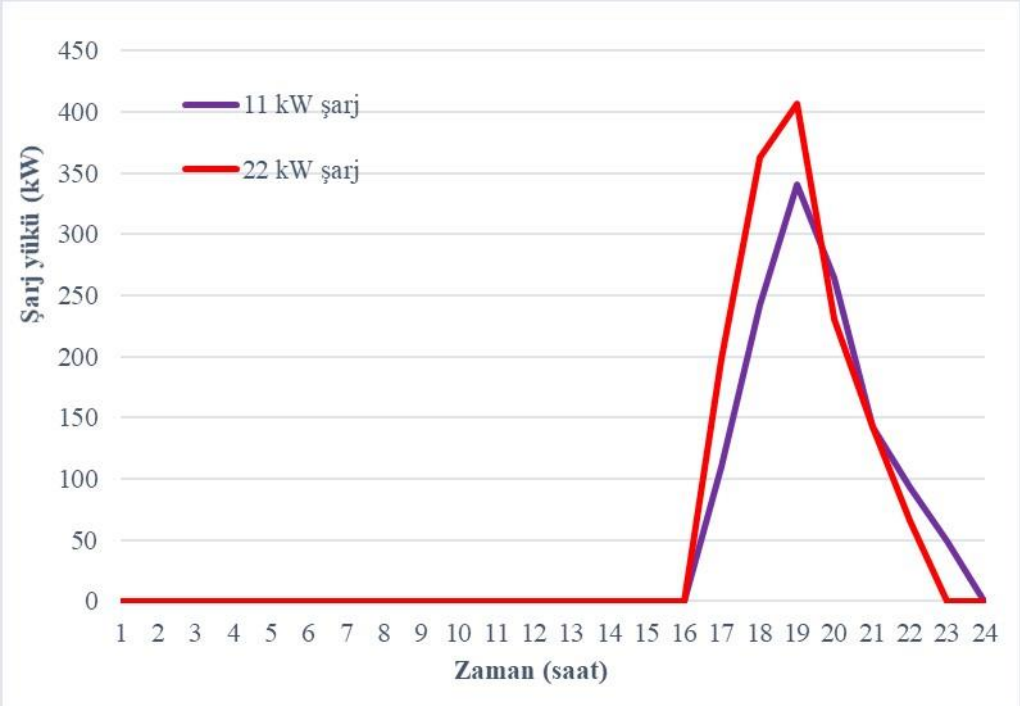
Şekil 3.9. Şarj ihtiyacının hesaplanmasına ait akış diyagramı

4. SİMULASYON SONUÇLARI

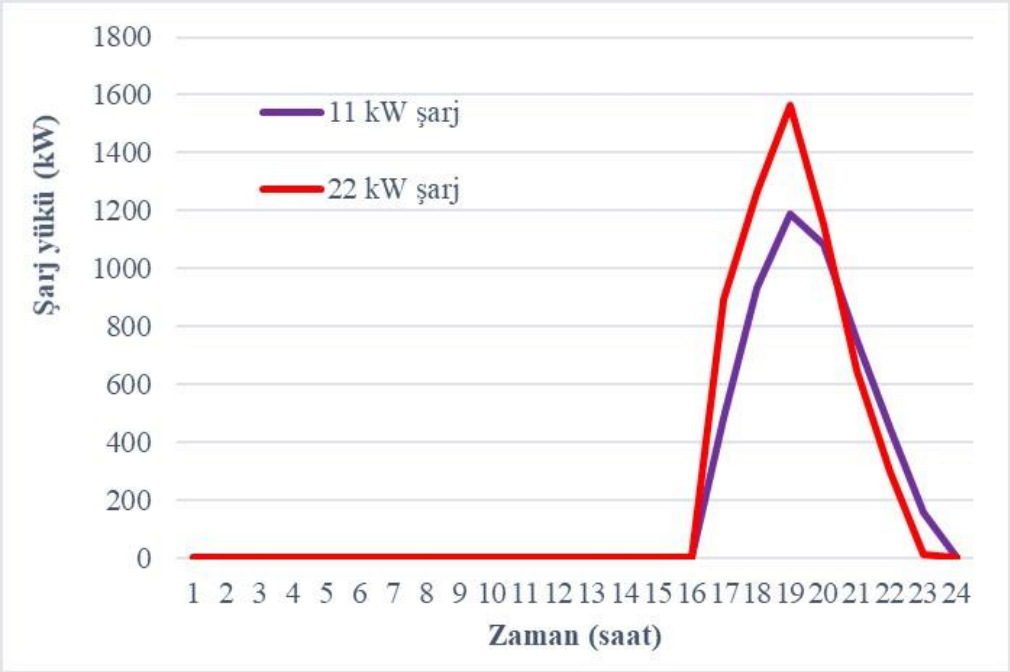
Bu bölümde, Bölüm 3'te yer alan seyahat verileri ve olasılık dağılımlarına göre bin kullanıcı için %30 ve %100 penetrasyon oranında şarj yük profilleri hem mesken hem de kamusal alan seçenekleri göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda şarj güçleri mesken kullanıcıları için 11 kW ve 22 kW, kamusal alanda ise 11 kW ve 50 kW olarak alınmış böylelikle her iki seçenekte de hem yavaş şarj hem de hızlı şarj durumlarında şarj profillerinin nasıl değiştiği bulunmuştur.

4.1. Evde Şarj

%30 ve %100 penetrasyon oranında kullanıcıların EA'ları evde şarj etmesi durumunda elde edilen şarj yük profilleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de sırasıyla görülmektedir. Evde hızlı ve yavaş şarj profilleri birbirine yakın olmakla birlikte pik yük değerleri arasında %30 penetrasyon oranında 66 kW bir fark oluşurken bu değer %100 penetrasyon oranında 374 kW'a çıkmaktadır. Toplam yük değerindeki fark ise %30 penetrasyon oranında 165 kW, %100 penetrasyon oranında ise 786,5 kW'dır.



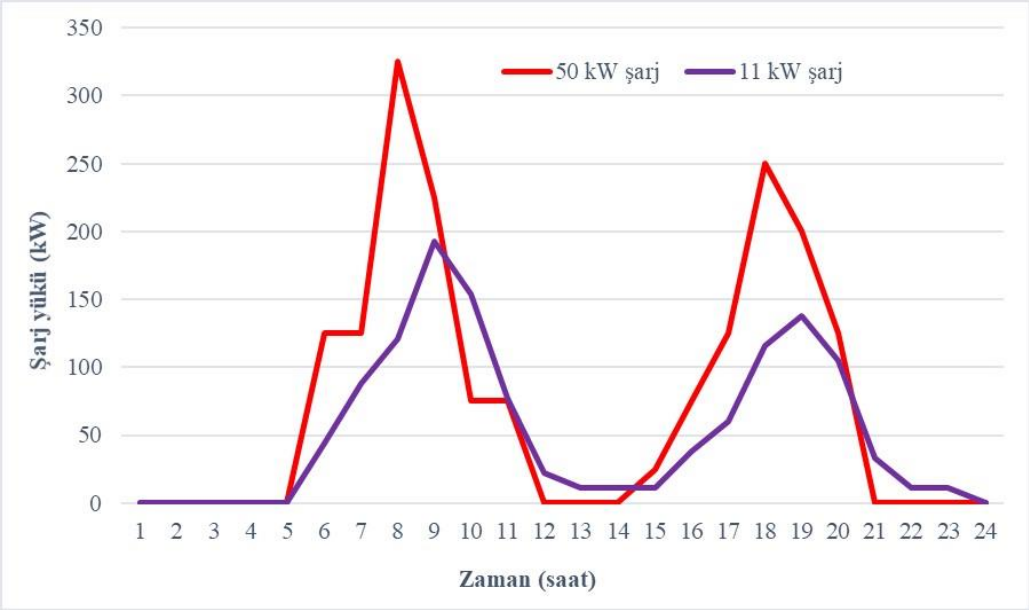
Şekil 4.1. %30 penetrasyonda evde şarj yük profili



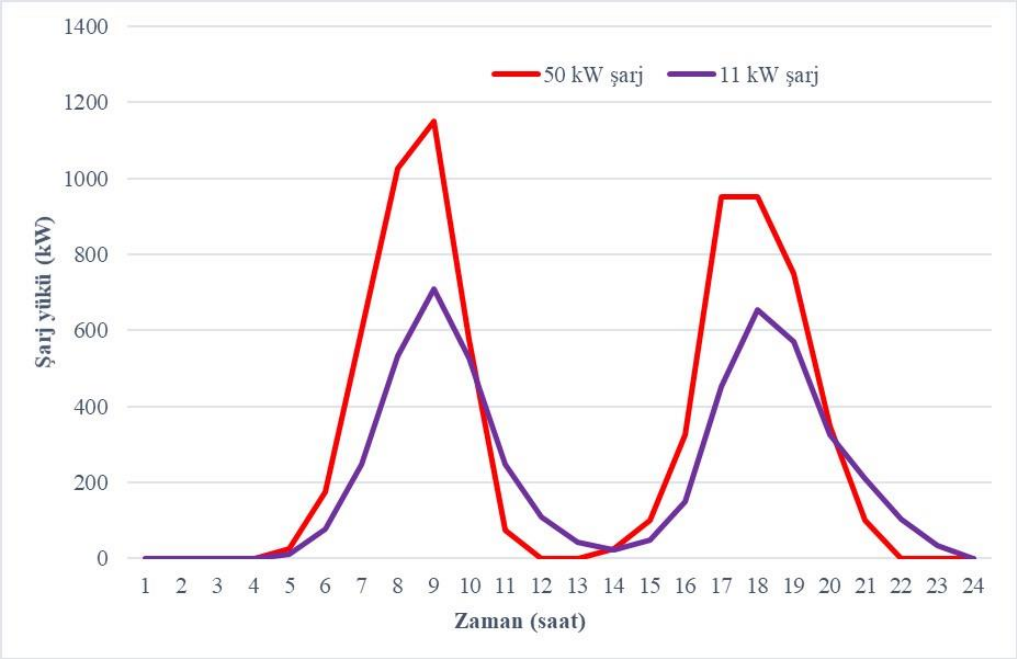
Şekil 4.2. %100 penetrasyonda evde şarj yük profili

4.2. Kamusal Alanda Şarj

%30 ve %100 penetrasyon oranında kullanıcıların EA'ları kamusal şarj noktalarında şarj etmesi durumunda elde edilen şarj yük profilleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de sırasıyla görülmektedir. Kamusal alanda DA hızlı şarj etkisinden dolayı hızlı ve yavaş şarj arasında belirgin farklar meydana gelmektedir. Hızlı ve yavaş şarj arasındaki pik yük değerleri farkı %30 penetrasyon oranında 132,5 kW, %100 penetrasyon oranında 440,5 kW'dır. Toplam yük değerindeki fark ise %30 penetrasyon oranında 507 kW, %100 penetrasyon oranında ise 2098,5 kW'dır.



Şekil 4.3. %30 penetrasyonda kamusal alanda şarj yük profili



Şekil 4.4. %100 penetrasyonda kamusal alanda şarj yük profili

4.3. Şarj Profillerinin Karşılaştırması

EA'ların elektrik şebekesine etkileri üzerine literatürde yer alan çalışmaların birçoğunda elektrik şebekesinin yenilenme ve yatırım durumları da dikkate alınması sonucunda şebeke üzerinde önemli derecede etkisinin olmayacağı belirtilmektedir. Örneğin EA şarjından dolayı uzun dönemli talepte meydana gelecek artışın arz güvenliği veya şebekenin yeterliliği üzerinde önemli bir etkisi olmayacağı vurgulanmaktadır. Buna karşılık saatlik talepte oluşacak etkilerin kısa vadeli şebeke yönetimi ve operasyonları için kritik bir zorluk olacağından bahsedilmektedir [71]. Ülkemizde yapılan başka bir çalışmada EA'ların farklı penetrasyon oranlarında herhangi bir akıllı şarj stratejisi belirlenmeden OG dağıtım şebekesine ciddi bir etkisinin olmayacağı gösterilmiştir [72].

Bu tez çalışmasında yapılan simülasyon ve hesaplamaların sonuçları Çizelge 4.1'de özetlenmiştir. Buna göre evde şarj için düşük penetrasyon oranlarında yavaş ve hızlı şarj arasında kW cinsinden pik yük ve toplam yük olarak oluşan farklar sırasıyla 66 kW ve 165 kW'dır. Bu durum şebeke kısıtları dolayısıyla evde şarj için gereken yavaş ve hızlı şarj güçleri arasında az bir fark olmasından kaynaklanmaktadır. Penetrasyon oranı %30'dan %100'e çıktığında evde yavaş şarjda pik yük 341 kW'tan 1188 kW'a, evde hızlı şarjda pik yük 407 kW'tan 1562 kW'a çıkmıştır. Yine penetrasyon oranı %30'dan %100'e çıktığında toplam yük evde yavaş şarjda 1243 kW'tan 5043,5 kW'a, evde hızlı şarjda 1408 kW'tan 5830 kW'a çıkmıştır. Sonuç olarak evde şarj için yüksek penetrasyon oranında hem pik yük hem de toplam yük düşük penetrasyon oranına göre yaklaşık dört kat artmıştır.

Kamusal alanda penetrasyon oranı %30'dan %100'e çıktığında pik yük yavaş şarjda 192,5 kW'tan 709,5 kW'a, hızlı şarjda 325 kW'tan 1150 kW'a çıkmıştır. Toplam yük değeri ise yavaş şarjda 1243 kW'tan 5076,5 kW'a, hızlı şarjda 1750 kW'tan 7175 kW'a yükselmiştir.

Evde şarj ve kamusal alanda şarj seçenekleri karşılaştırıldığında düşük ve yüksek penetrasyon oranları ve yavaş-hızlı şarj seçenekleri fark etmeksizin pik yük kamusal alanda daha düşük çıkmaktadır. Toplam yük açısından ise kamusal alanda şarj seçeneğinde evde şarj seçeneğinden belirgin bir artış yaşanmamaktadır. Sonuçlar arasında en önemli husus ise toplam şarj yükü çok fazla değişmediği halde şarj talebinin kamusal alanda mesai saatlerinin geneline yayılmış şekilde daha dengeli bir şekilde sağlanmasıdır.

Çizelge 4.1. Şarj profillerinin karşılaştırması

Penetrasyon Oranı	%30 penetrasyon		%100 penetrasyon	
Şarj Modu	Pik Yük (kW)	Toplam Yük (kW)	Pik Yük (kW)	Toplam Yük(kW)
Evde yavaş şarj	341	1243	1188	5043,5
Evde hızlı şarj	407	1408	1562	5830
Kamusal alan yavaş şarj	192,5	1243	709,5	5076,5
Kamusal alan hızlı şarj	325	1750	1150	7175

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Ankara için kullanıcıların düşük ve yüksek EA sahip olma oranlarına göre şarj ihtiyacının ne kadar olacağı ortaya konulmuştur. Ayrıca kullanıcıların kamusal alanda EA'larını şarj etmeye yönlendirildikleri durumda pik yük ve toplam yükün değişimi de gösterilmiştir.

Bu doğrultuda evde şarj için gerçek trafik verilerinin kullanıldığı Armağan TEMİZ tarafından yapılan "Assessment of Impacts of Electric Vehicles on Low Voltage" isimli bir tez çalışmasından trafik verileri alınarak kullanıcıların eve varış saatleri ve günlük sürüş mesafeleri bulunmuştur [62]. Bulunan değerler vasıtasıyla başlangıç SOC değerleri, şarj süresi ve şarj bitiş zamanları hesaplanmıştır. Kamusal alanda şarj için ise NHTS istatistik verilerinden işe gidiş saatleri verisi alınarak eğri uydurma yöntemi ile olasılık yoğunluk fonksiyonu bulunmuştur. Kamusal alanda şarj için standart sapma ve ortalama değerler de ayrıca hesaplanmıştır. Dört farklı şarj modu ve düşük-yüksek penetrasyon oranları için EA şarj ihtiyacının pik yük ve toplam yük değişimleri incelenerek EA günlük şarj ihtiyacının enerji yönetimi gösterilmiştir.

Dünyada iklim değişikliği ile mücadele ve alınması gereken önlemler gündemin ilk sırasında yer almaktadır. Bunun sonuçlarından bir tanesi ise temiz ve sürdürülebilir enerji arayışıdır. EA'larda iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması açısından önemli bir değişiklik göstergesidir. Birçok ülke ve özellikle otomobil üreticileri EA'lara geçiş için birer birer planlarını açıklamaktadır. Dolayısıyla her gün farklı özelliklere sahip EA'lar tüketicilere sunulmaktadır. Bu çalışmada da önümüzdeki on yıllar boyunca tüketici taleplerine cevap verecek nitelikte yüksek batarya kapasitesine ve menzile sahip EA'lar seçilmiştir. EA sayısının artmasında en önemli faktörlerden bir tanesi de şarj ihtiyacının nasıl ve nerde karşılanacağıdır. Şu ana kadar yapılan çalışmaların çoğunluğunda evde şarj yöntemi üzerinde durulmaktadır. Bu tez çalışmasında ülkemiz gibi kentsel nüfusun yüksek ve dikey yapılaşmanın fazla olduğu ülkelerde, kullanıcıların araçlarını nerede şarj etmek istediklerini araştıran Deloitte tarafından yapılan '2021 Küresel Otomotiv Tüketici Araştırması' isimli bir çalışmanın sonuçlarına göre EA şarj ihtiyacının yarısının kamusal alanlardan karşılanması gerektiğinden kamusal alanda şarj seçeneği üzerinde durulmuştur [67].

Bu tez çalışmasında ele alınan varsayımlar ve yapılan simülasyon sonuçları; penetrasyon oranları ve şarj modları fark etmeksizin EA şarj ihtiyacının karşılanmasında pik yük değerinin evde şarj seçeneğinde daha yüksek çıktığını, kamusal alanda ise EA şarj ihtiyacının mesai saatleri içerisine yayılmış şekilde daha dengeli bir şekilde karşılanabileceğini, EA penetrasyon oranlarının maksimum seviyeye çıktığında şarj talebinin çok yüksek seviyelere çıkacağını göstermiştir. Türkiye elektrik şebekesinin akıllı şebeke olma ve dijitalleşme yolunda mevcut durumu göz önüne alındığında şebeke işletmecisinin şarj talebini evde şarj yerine kamusal alanda daha etkili ve verimli bir şekilde yönetebileceği düşünülmektedir.

Ülkemizde elektrikli araç sayısı 6 000 ve şarj istasyonları âdeti 3 547'dir. Elektrikli araç satış adetlerinde de geçmiş yıllara kıyasla bir artış olmakla birlikte toplam satışlar içinde elektrikli araç satış oranları %1 seviyesindedir. Bu yüzden elektrikli araç kullanıcı alışkanlıkları açısından tez çalışmasında kullanılabilecek verilere ulaşılamamıştır. Ayrıca hali hazırda var olan şarj istasyonu işletmecileri de ticari kaygılar dolasıyla şarj istasyonları kullanımı ile ilgili verileri paylaşmamaktadır. Diğer taraftan bütün bunların bir bütün içinde dağıtım şebekesi için bu tez çalışmasında uygun dağıtım şebekesi simülasyon programları ile simüle edilmesi de en başından itibaren yapılmak istenmiş ancak ülkemizde yer alan dağıtım şirketlerinden birine ulaşılıp yapılacak çalışma anlatılmasına rağmen gerçek dağıtım şebekesi verilerine de ulaşılamamıştır. Dağıtım şebekesi verileri ile enerji yönetimi çalışması yerine istatistiksel ve gerçek veriler kullanılarak farklı EA sahiplik oranlarının dağıtım şebekesine getireceği yük hesaplanmıştır. Bunlara ek olarak ABD'de yapılan ulusal hane halkı seyahat alışkanları anketine benzer çalışmaların ülkemiz içinde yapılması bu alanda yapılacak çalışmaları artıracağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasının devamında; kullanıcıların eve varış saatlerinde olduğu gibi gerçek veriler üzerinden işe gidiş saatleri, sürüş alışkanlıkları ve iş yerlerinde geçirdikleri zaman verileri ile kamusal alanda şarj ihtiyacının belirlenmesi, kamusal alanda ne kadar şarj noktasına ihtiyaç olacağı ve bunların enerji yönetiminin gerçekleştirilmesi çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: International Energy Agency, 'Tracking Transport', 2019. URL: https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2019, Son Erişim Tarihi: 12.10.2021.

2. İnternet: Shura Enerji Dönüşüm Merkezi, 'Türkiye ulaştırma sektörünün dönüşümü : Elektrikli araçların Türkiye dağıtım şebekesine etkileri', URL: https://shura.org.tr/turkiye-ulastirma-sektorunun-donusumu-elektrikli-araclarin-turkiye-dagitim-sebekesine-etkileri/, Son Erişim Tarihi: 12.12.2021.

3. İnternet: IRENA, 'Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050', 2020. URL: https://www.irena.org/publications/2020/Apr/Global-Renewables-Outlook-2020, Son Erişim Tarihi: 13.11.2020.

4. İnternet: IEA, 'Global EV Outlook 2020', Glob. EV Outlook 2020, 2020, URL: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020, doi: 10.1787/d394399e-en, Son Erişim Tarihi: 12.12.2021.

5. İnternet: DNV GL, 'Electric Vehicles: The Industry View to 2025 report'. URL: www.dnvgl.com, Son Erişim Tarihi: 12.09.2020.

6. İnternet:'Türkiye'de her iki elektrikli araca bir şarj istasyonu düşüyor', 2021. URL: https://www.ntv.com.tr/otomobil/turkiyede-her-iki-elektrikli-araca-bir-sarj-istasyonu-dusuyor,fQg9Nxr01kqZ_B0xCtWNyA, Son Erişim Tarihi: 07.01.2022.

7. Richardson, P., Flynn, D., and Keane, A. (2012). Optimal Charging of Electric Vehicles in Low-Voltage Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 27(1), 268-279.

8. Yunus, K., De La Parra, Z. H., and Reza, M. (2011). *Distribution grid impact of Plug-In Electric Vehicles charging at fast charging stations using stochastic charging model*. Proceedings of the 2011 14th European Conference on Power Electronics and Applications, Birmingham, UK, 1-11.

9. Moghaddam, Z., Ahmad, I. Habibi, D., and Phung, Q. V. (2017). Smart Charging Strategy for Electric Vehicle Charging Stations. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 4(1), 76–88.

10. Shakerighadi, B., Moghaddam, A. A., Ebrahimzadeh, E., Blaabjerg, F., and Bak, C. L. (2018). A hierarchical game theoretical approach for energy management of electric vehicles and charging stations in smart grids. *IEEE Access*, 6, 67223–67234.

11. Shi, R., and Lee, K. Y. (2015). Multi-Objective Optimization of Electric Vehicle Fast Charging Stations with SPEA-II. *IFAC-PapersOnLine*, 48(30), 535-540.

12. Gnann, T., Funke, S., Jakobsson, N., Plötz, P., Sprei, F., and Bennehag, A. (2018). Fast charging infrastructure for electric vehicles : Today's situation and future needs. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 314–329.

13. Lin, X., Sun, J., Ai, S., Xiong, X., Wan, Y., and Yang, D. (2014). Distribution network planning integrating charging stations of electric vehicle with V2G. *International Journal of Electrical Power Energy Systems*, 63, 507–512.

14. Xiang, Y., Liu, J., Li, R., Li, F., Gu, C., and Tang, S. (2016). Economic planning of electric vehicle charging stations considering traffic constraints and load profile templates. *Applied Energy*, 178, 647–659.

15. Ferro, G., Laureri, F., Minciardi, R., and Robba, M. (2018). An optimization model for electrical vehicles scheduling in a smart grid. *Sustainable Energy Grids and Networks*, 14, 62–70.

16. García-triviño, P., Torreglosa, J. P., Fernández-ramírez, M. L., and Jurado, F. (2018). Decentralized Fuzzy Logic Control of Microgrid for Electric Vehicle Charging Station. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 6(2), 726–737.

17. Pirouzi, S., Aghaei, J., Niknam, T., Shafie-khah, M., Vahidinasab, V., and Catalão, J. P. S. (2017). Two alternative robust optimization models for flexible power management of electric vehicles in distribution networks. *Energy*, 141, 635–651.

18. Xi, L., Zhang, X., Sun, C., Wang, Z., Hou, X., and Zhang, J. (2017). Intelligent energy management control for extended range electric vehicles based on dynamic programming and neural network. *Energies*, 10(11), 1871.

19. Bharatiraja, C., Padmanaban, S., Siano, P., Krishnamoorthy, R., and Selvaraj, R. (2017). Real-time forecasting of EV charging station scheduling for smart energy systems. *Energies*, 10(3), 1–16.

20. Braam ,F., Groß, A., Mierau, M., Kohrs, R., and Wittwer, C. (2017). Coordinated charge management for battery electric vehicles: Operation management of charging infrastructures for battery electric vehicles considering vehicle, infrastructure, and grid constraints. *Computer Science - Research and Development*, 32(1-2), 183–193.

21. Yang, B., Li, J., Han, Q., He, T., Chen, C., and Guan, X. (2016). Distributed Control for Charging Multiple Electric Vehicles with Overload Limitation. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 27(2), 3441–3454.

22. Lee, H., Byeon, G., Kim, G., and Kim, J. (2018). *Electric Vehicle Charging Station Operation and Management Key Functions for Actual Demonstration Site*. 2018 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE), Phuket, Thailand, 1–6.

23. Deshmukh, R. R., and Ballal, M.S. (2018). *An Energy Management Scheme for Grid Connected EVs Charging Stations*. 2018 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC), Thrissur, India, 1–6.

24. Rinaldi, S., Pasetti, M., Trioni, M., Vivacqua, G. (2017). *On the Integration of E-Vehicle Data for Advanced Management of Private Electrical Charging Systems*. 2017 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), Turin, Italy, 1–6.

25. Zhang, T., Chu, C., and Gadh, R. (2016). *A Two-Tier Energy Management System for Smart Electric Vehicle Charging in UCLA : A Solar-To- Vehicle (S2V) Case Study*. 2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT-Asia), Melbourne, VIC, Australia, 288–293.

26. Wu, Y., Ravey, A., Chrenko, D., and Miraoui, A. (2018). *A Real Time Energy Management for EV Charging Station Integrated with Local Generations and Energy Storage System*. 2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Long Beach, CA, USA, 1-6.

27. Huo, Y., Bouffard, F., and Joós, G. (2017). *An Energy Management Approach for Electric Vehicle Fast Charging Station*. 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC), Saskatoon, SK, Canada, 1-6.

28. Faria, R., Moura, P., Delgado, J., and Almeida, T. A. (2014). Managing the Charging of Electrical Vehicles: Impacts on the Electrical Grid and on the Environment. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 6(3), 54-65.

29. Singh, M., Kumar, P., and Kar, I. (2013). A Multi Charging Station for Electric Vehicles and Its Utilization for Load Management and the Grid Support. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 4(2), 1026–1037.

30. Zhao, T., Li, Y., and Pan, X. (2018). Real-Time Optimal Energy and Reserve Management of Electric Vehicle Fast Charging Station A Hierarchical Game Approach. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(5), 5357–5370.

31. Verma, A., and Singh, B. (2018). *Energy Management Strategy of Solar PV- Battery and Diesel Generator Based Electric Vehicle Charging Station*. 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Portland, OR, USA, 1043–1050.

32. Li, S., Bao, K., Fu, X., and Zheng, H. (2014). Energy Management and Control of Electric Vehicle Charging Stations. *Electric Power Components and Systems*, 42(3-4), 339-347.

33. Çiçek, A., ve Erdinç, O. (2019). PV- Batarya Hibrit Sistemi İçeren Elektrikli Araç Otoparkının Şarj Yönetimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 15, 466–474.

34. Cuma, M. U., Cengiz, A. H., ve Tümay, M. (2016). Çukurova Üniversitesinde Kentsel Elektrikli Araç Ulaşımı ve Şarj İstasyonu Uygulama Simülasyonu. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(2), 343-354.

35. Zhang, L. and Li, Y. (2017). Optimal Management for Parking-Lot Electric Vehicle Charging by Two-Stage Approximate Dynamic Programming. *IEEE Transaction on Smart Grid*, 8(4), 1722–1730.

36. Chandra Mouli, R. G., Bauer, P., and Zeman, M. (2016). System design for a solar powered electric vehicle charging station for workplaces. *Applied Energy*, 168, 434–443.

37. Wu, Y., Ravey, A., Chrenko, D., and Miraoui, A. (2019). Demand side energy management of EV charging stations by approximate dynamic programming. *Energy Conversion and Management*, 196, 878–890.

38. Khan, W., Ahmad, F., and Alam, S. M. (2019). Fast EV charging station integration with grid ensuring optimal and quality power exchange. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(1), 143–152.

39. Luo, L., Gu, W., Zhou, S., Huang, H., Gao, S., Han, J., Wu, Z., Dou, X. (2018). Optimal planning of electric vehicle charging stations comprising multi- types of charging facilities. *Applied Energy*, 226, 1087–1099.

40. Barbecho, P., Lemus, L., Urquiza, L., and Igartua, M. (2019). A traffic-aware electric vehicle charging management system for smart cities. *Vehicular Communications*, 20, 100188.

41. Lee, W., Schober, R., and Wong, W. S. V. (2019). An Analysis of Price Competition in Heterogeneous Electric Vehicle Charging Stations. *IEEE Transaction on Smart Grid*, 10(4), 3990–4002.

42. García-López, P. F., Barragán-Villarejo, M., and Maza-Ortega, M. J. (2020). Grid-friendly integration of electric vehicle fast charging station based on multiterminal DC link. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 114, 105341.

43. Singh, S., Jagota, S., and Singh, M. (2018). Energy management and voltage stabilization in an islanded microgrid through an electric vehicle charging station. *Sustainable Cities and Society*, 41, 679–694.

44. Liu, N., Zou, F., Wang, L., Wang, C., Chen, Z., and Chen, Q. (2016). Online energy management of PV-assisted charging station under time-of-use pricing. *Electrical Power Systems Research*, 137, 76–85.

45. Yan, J., Menghwar, M., Asghar, E., Kumar, P. M., and Yongqian, L. (2018). Real-time energy management for a smart-community microgrid with battery swapping and renewables. *Applied Energy*, 238, 180–194.

46. Abulawafa, R. A., Elagarably, A., and Mohamed, A. F. W. (2017). *Impacts of uncoordinated and coordinated integration of electric vehicles on distribution systems performance*. 2017 19th International Middle-East Power Systems Conference (MEPCON), Cairo, Egypt, 337–346.

47. Ouach, K. M., and Çam, E. (2021). Investigation on the electrical vehicles effects on the electrical power grid. *El-Cezeri Journal Science Engineering*, 8(1), 21–35.

48. Ahmadian, A., Behnam M.İ., and Elkamel, A. (2020). *Electric Vehicles in Energy Systems* (First edition). Cham: Springer, 1-20.

49. Li. Z., Khajepour, A., and Song, J. (2019). A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles. *Energy*, 182, 824–839.

50. İnternet: International Energy Agency. Global EV Outlook 2020. URL: https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020, Son Erişim Tarihi: 12.05.2020.

51. İnternet: IEA. Global EV Outlook 2019. URL: www.iea.org/publications/reports/globalevoutlook2019/, Son Erişim Tarihi: 12.05.2020.

52. Ünsal, B. A. (2018). *Elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye entegrasyonu modellemesi ve güç akış analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 46-48.

53. İnternet: Netherlands Enterprise Agency. Electric vehicle charging: Definitions and explanation. 2019. URL: www.nklnederland.nl, Son Erişim Tarihi: 12.05.2020.

54. Das, S. H., Rahman, M. M., Li, S., and Tan, W. C. (2020). Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration : A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109618.

55. Habib, S., Khan, M. M., Abbas, F., Sang, L., Shahid, U. M., and Tang, H. (2018). A Comprehensive Study of Implemented International Standards, Technical Challenges, Impacts and Prospects for Electric Vehicles. *IEEE Access*, 6, 13866–13890.

56. Shaukat, N., Khan, B., Ali, M. S., Mehmood, A. C., Khan, J., Farid, U., Majid, M., Anwar, M. S., Jawad, M., and Ullah, Z. (2018). A survey on electric vehicle transportation within smart grid system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1329–1349.

57. Vadi, S., Bayindir, R., Colak, M. A., and Hossain, E. (2019). A Review on Communication Standards and Charging Topologies of V2G and V2H Operation Strategies. *Energies*, 12, 3748.

58. İnternet: Elektrikli Cupra Born Tanıtıldı. URL: https://www.ntv.com.tr/galeri/otomobil/elektrikli-cupra-born-tanitildi,xRZW1mWHI0uCyFumooRN8g/nns9agU_T06Q4Oe-xH0lBQ, Son Erişim Tarihi: 05.08.2021.

59. Sbordone, D., Bertini, I., Di Pietra, B., Falvo, C. M., Genovese, A., and Martirano, L. (2015). EV fast charging stations and energy storage technologies: A real implementation in the smart micro grid paradigm. *Electrical Power and Systems Research*, 120, 96–108.

60. İnternet: U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. National Household Travel Survey. *U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*, 2017, URL: www.nhts.ornl.gov, Son Erişim Tarihi: 20.08.2020.

61. Gao, X., Wei, L., Wang, B., Chen, G., and Wu, X. (2021). *Spatial Load Prediction Considering Spatiotemporal Distribution of Electric Vehicle Charging Load*. 2021 International Conference on Power System and Energy Internet (PoSEI2021), Beijing, China, 1-6.

62. Armağan, T. (2015). *Assessment of Impacts of Electric Vehicles on Low Voltage Distribution Networks in Turkey*, Master Thesis, Middle East Technical University, Ankara, 36-38.

63. İnternet: Ankara için Yandex haritalar 2021. URL: https://yandex.com.tr/harita/115687/yenimahalle/?ll=32.601983%2C39.997419&z=14, Son Erişim Tarihi: 10.01.2022.

64. İnternet: MohamedMokhtar et al., A New Dynamic Stochastic EV Model for Power System Planning Applications. URL: https://ieee-dataport.org/documents/new-dynamic-stochastic-ev-model-power-system-planning-applications, Son Erişim Tarihi: 15.06.2020.

65. İnternet: Electric Vehicle Database 2021. URL: www.ev-database.org, Son Erişim Tarihi: 07.09.2020.

66. Kilic, E., Akil, M., Bayindir, R., Sebati, A., and Malek, R. (2021). *Electric Vehicles Charging Management with Monte Carlo Simulation*. 2021 10th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA), İstanbul, Turkey, 423–427.

67. İnternet: Deloitte 2021 Küresel Otomotiv Tüketici Araştırması. URL: https://www2.deloitte.com/tr/tr/pages/manufacturing/articles/2021-global-automotive-consumer-study.html, Son Erişim Tarihi: 01.12.2021.

68. İnternet: T. and BloombergNEF Hitting the EV Inflection Point. URL: https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2021/08/2021_05_05_Electric_vehicle_price_parity_and_adoption_in_Europe_Final.pdf, Son Erişim Tarihi: 01.10.2021.

69. Thomopoulos, T. N. (2013). *Essential of Monte Carlo Simulations* (First edition). New York: Springer, 113.

70. Ni, X., and Lo, L. K. (2020). *A Methodology to Model Daily Charging Load in the EV Charging Stations Based on Monte Carlo Simulation*. 2020 8th International Conference Smart Grid Clean Energy Technology (ICSGCE 2020), Kuching, Malaysia, 125–130.

71. Zhang, B., Sun, Y., Li, B., and Li, J. (2012). *A Modeling Method for the Power Demand of Electric Vehicles Based on Monte Carlo Simulation*. 2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Shanghai, China, 1-5.

72. Yılmaz, C. S. (2021). *Türkiye'de elektrikli araçlarin orta gerilim dağitim şebekesine etkisinin değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 92-94.



GAZİ GELECEKTİR...