

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ALTYAPISI TASARIMI VE AKILLI ŞARJ SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

BÜNYAMİN YAĞCİTEKİN

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK TESİSLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MEHMET UZUNOĞLU**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ALTYAPISI TASARIMI VE AKILLI ŞARJ SİSTEMİNİN
GELİŞTİRİLMESİ**

Bünyamin YAĞCITEKİN tarafından hazırlanan tez çalışması 25.06.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi



Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR
Kocaeli Üniversitesi



Doç. Dr. Önder GÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Uğur Savaş SELAMOĞULLARI
Yıldız Teknik Üniversitesi



Bu alışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Başkanlığı (TÜBİTAK) 2011-C ncelikli alanlara yönelik yurt içi doktora bursu kapsamında ve Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nn 2012-04-02-KAP05 numaralı Kapsamlı Araştırma Projesi (KAP) ile desteklenmiştir.

Günümüzde tüm dünyada ulaştırma sektörlerinin (kara, hava, deniz vb.) çok büyük bir kısmında konvansiyonel araçlar kullanılmaktadır. Sınırlı bir kaynak olan petrol, konvansiyonel araçların birincil enerji kaynağıdır. Belirli dönemlerde meydana gelen petrol krizleri, kaynakların sürekli azalması, fiyat artışları ve çevreye verdiği zararlardan dolayı petrol; sürdürülebilir ve güvenilir bir enerji kaynağı olmaktan uzaklaşmaktadır. Bu bağlamda, farklı enerji kaynaklarından üretilmesi mümkün olan elektrik enerjisini kullanan araçlara olan ilgi ise sürekli artmaktadır. Ancak günümüzde elektrikli araçların yaygın bir şekilde kullanılmasının önünde birçok engel bulunmaktadır. Bu engellerin aşılması ve gelecekte ortaya çıkabilecek muhtemel problemlerin çözülmesi amacıyla kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu amaçla yapılan doktora tezinde elektrikli araç şarj altyapısının planlanması ve akıllı şarj sisteminin geliştirilmesi ile bahsi geçen teknolojinin sağlıklı bir şekilde yaygınlaştırılmasına katkı yapılması hedeflenmektedir.

Öncelikle, yaptığım tüm akademik çalışmalara yön veren ve beni sürekli destekleyen çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU'na, tez süreci boyunca görüş ve önerileri ile bana yol gösteren tezimin izleme jürisi sayın Prof. Dr. Hüseyin ÇAKIR ve Doç. Dr. Önder GÜLER'e, değerli yardımlarını esirgemeyen ve çalışmaların sürekliliğini sağlayan kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Arif KARAKAŞ'a, çalışmaya teşviği, yol göstericiliği ile desteklerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Bülent VURAL'a ve varlıklarından gurur duyduğum çok değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim. Beni bugünlere getiren, varlık sebeplerim ve en büyük destekçilerim canım annem ve babama, hayat arkadaşım ve biricik oğlumun annesi sevgili eşime ayrıca teşekkür ederim.

Bu çalışmanın belli kısımları, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2012-04-02-KAP05 numaralı Kapsamlı Araştırma Projesi (KAP) kapsamında ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Başkanlığı (TÜBİTAK) 2011-C öncelikli alanlara yönelik yurt içi doktora bursu kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü Yıldız Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne ve TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Haziran, 2014

Bünyamin YAĞCITEKİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Bilimsel Katkılar.....	6
BÖLÜM 2	
ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİLERİNE GENEL BİR BAKIŞ.....	8
2.1 Elektrikli Araçların Tarihi ve Gelişimi	8
2.2 Elektrikli Araç Teknolojisi Tanımlamaları	10
2.2.1 Araç Teknolojileri	11
2.2.2 Enerji Depolama Üniteleri.....	13
2.2.2.1 Batarya Çeşitleri	14
2.2.2.2 Batarya Yönetim Sistemi	14
2.3 Elektrikli Araç Şarj Altyapısı ve Elektrik Şebekesi.....	15
2.3.1 Şarj Bileşenleri.....	15
2.3.2 Şarj Seviyeleri	16
2.3.3 Elektrikli Araçların Şebeke Üzerine Etkileri.....	17
2.4 Elektrikli Araç Şarj Altyapısı Planlaması ve Önerilen Metodlar	19
2.5 Şarj Altyapısı Planlamasını Etkileyen Faktörler	20
2.5.1 Sürüş Profilleri.....	20
2.5.2 Gelecek Tahminleri ve İstatistikî Araştırmalar	21

2.5.3	Araç Hareketlilikleri.....	21
2.5.4	Trafo Merkezlerine Mesafe	22
2.5.5	Konum.....	22
2.5.6	Diğer Faktörler	22
2.6	Elektrikli Araçların Şarjı	23
2.6.1	Akıllı Şarj Yönetimi	23
2.6.2	Akıllı Şarj Yönetimi İçin Önerilen Metodlar.....	25
2.6.3	Araç Rotalama ve En Kısa Yol Problemi	28
BÖLÜM 3		
ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ALTYAPISI PLANLAMASI VE OPTİMİZASYONU		30
3.1	Problemin Tanımı.....	30
3.2	Şarj Altyapısı Planlaması İçin Önerilen Model	31
3.2.1	Kuyruk Teorisi	31
3.2.2	Analitik Hiyerarşik Süreç	35
3.2.3	Geliştirilen Birleştirilmiş Model	39
BÖLÜM 4		
AKILLI ŞARJ YÖNETİMİ.....		44
4.1	Problemin Tanımı.....	44
4.2	Akıllı Şarj Yönetim Sistemi İçin Önerilen Model	45
4.2.1	Sistem Bileşenleri.....	45
4.2.2	Enerji-Etkin Araç Rotalama	47
4.2.3	Akıllı Şarj Süreci.....	50
BÖLÜM 5		
SİMÜLASYON ÇALIŞMASI VE UYGULAMALAR.....		54
5.1	Önerilen Yöntemin Uygulanması İçin Yer Belirlenmesi	56
5.1.1	YTÜ Davutpaşa Yerleşke Özellikleri.....	57
5.1.2	Verilerin Elde Edilmesi ve Analizi	57
5.1.2.1	Otopark Özellikleri	58
5.1.2.2	Kullanıcı Profilleri	60
5.1.2.3	Trafo Merkezlerinin Uzaktan İzlenmesi	62
5.2	Uygulamalar	64
5.2.1	Davutpaşa Yerleşkesi Şarj Altyapısı Planlaması	64
5.2.2	Akıllı Şarj Yönetimi	71
5.2.2.1	Floyd Algoritmasının Davutpaşa Yerleşkesine Uygulanması	71
5.2.2.2	EA Enerji Tüketim Modelinin Oluşturulması.....	72
5.2.2.3	Davutpaşa Yerleşkesi Enerji Dağıtım Hattının Modellenmesi.....	74
5.2.2.4	Akıllı Şarj Yönetim Sistemi Uygulama Sonuçları.....	76
5.2.3	Android Tabanlı Akıllı Telefon Uygulaması	79
5.2.3.1	Sistemin Kodlanması	80
5.2.3.2	Mobil Uygulama	81
5.2.3.3	Sunucu Yapısı	83
5.2.3.4	Algoritma.....	84

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	94
EK-A	
ÖNERİLEN METODOLOJİYE AİT MATLAB KODLARI	102
A-1 Optimum Yerleşim Algoritması	102
A-2 Akıllı Şarj Algoritması	111
A-3 Akıllı Telefon Algoritması Pseudocode'u	116
ÖNERİLEN AKILLI ŞARJ METODOLOJİSİNE AİT “SEQUENCE” DİYAGRAMI	117
ÖZGEÇMİŞ	119

SİMGE LİSTESİ

A	Akım, amper
CI	Tutarlılık indeksi
CR	Tutarlılık oranı
CS	Şarj istasyonu
CU	Şarj ünitesi
EA_{Bkap}	EA batarya kapasitesi
EA_{CH}	Şarj olan toplam EA sayısı
G	Graf
L	Kuyruk sisteminde bulunan ortalama toplam ea sayısı
L_q	Kuyrukta bekleyen ortalama ea sayısı
I	Rotalama yapılacak yol mesafesi
m	Kriter sayısı
n	Alternatif sayısı
P	Düğüm kümesi
P	EA enerji tüketimi
P_0	Sistemde hiç EA bulunmama olasılığı
RI	Standart düzeltme değeri
$t_{i,j}$	Şarj süresi
s	Şarj ünitesi sayısı
V	Gerilim
W	Kuyrukta ortalama geçen toplam süre
w_i	Öncelik vektörü
W_q	Kuyrukta ortalama bekleme süresi
Y	Dallar
λ	Birim zamanda sisteme giriş yapan ortalama EA yoğunluğu
λ_{max}	Öz vektör
μ	Ortalama şarj süresi
η	Verim
ρ	Sistem yoğunluğunu

KISALTMA LİSTESİ

AHS	Analitik Hiyerarşik Süreç
AŞYS	Akıllı şarj yönetim sistemi
BYS	Batarya yönetim sistemi
DSO	Dağıtım sistem operatörü
EA	Elektrikli araç
EREA	Menzili uzatılmış elektrikli araç
HEA	Hibrit elektrikli araç
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
JEVS	Japon Elektrikli Araç Birliği standartları
PHEA	Dışardan şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu
KT	Kuyruk Teorisi
MILP	Karma Tamsayılı Lineer Programlama (Mixed-Integer Linear Programming)
SAE	Otomotiv Mühendisleri Derneği
SO	Sistem operatörü
SOC	Batarya şarj seviyesi (Battery state of charge)
SY	Sistem yöneticisi
THD	Toplam harmonik distorsiyonu
TM	Trafo merkezi
TSO	İletim sistem operatörü
TEPCO	Tokyo elektrik dağıtım şirketi
V2G	Araçtan şebekeye enerji akışı (Vehicle to Grid)
V2H	Araçtan eve enerji akışı (Vehicle to Home)
V2V	Araçtan araca enerji akışı (Vehicle to Vehicle)
WVD	Ağırlaştırılmış Voronoi Diyagramı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1 Elektrikli araçların şebeke üzerine etkileri konusunda çalışma alanları	3
Şekil 2. 1 Geçmişten günümüze elektrikli araçlar	9
Şekil 2. 2 2013 yılı elektrikli araç satış rakamları.....	9
Şekil 2. 3 Elektrikli araç bileşenleri.....	11
Şekil 2. 4 Elektrikli araç sistem yapıları	13
Şekil 2. 5 Şarj bileşenleri.....	16
Şekil 2. 6 Araçların bulundukları konuma göre ortalama park süreleri	17
Şekil 3. 1 Önerilen yapının akış süreci	30
Şekil 3. 2 Kuyruk modelleri.....	32
Şekil 3. 3 Temel AHS yapısı.....	36
Şekil 3. 4 Önerilen algoritma	40
Şekil 3. 5 Park etme yürüme mesafesi tercih edilebilirlik değişimi.....	42
Şekil 4. 1 Akıllı şarj yönetim sistemi süreci.....	45
Şekil 5. 1 Önerilen modelin şematik gösterimi	54
Şekil 5. 2 Önerilen model algoritması	55
Şekil 5. 3 Davutpaşa yerleşkesi otopark ve trafo merkezi noktaları	58
Şekil 5. 4 Araç sayısı değişimi	59
Şekil 5. 5 Anket sonuçları	60
Şekil 5. 6 Anket sonuçları olasılık yoğunluk değerleri.....	61
Şekil 5. 7 Örnek kullanıcı profilleri	62
Şekil 5. 8 Otopark ve trafo arasındaki gerçek mesafeler	63
Şekil 5. 9 Dağıtım trafoları yüklenmeleri (24-30.06.2013).....	63
Şekil 5. 10 Haftalık araç yoğunluğu değişimi	65
Şekil 5. 11 Şarj ünitesi sayısına bağlı ortalama sırada bekleyen EA sayısı	66
Şekil 5. 12 Senaryo 1 alternatiflerinin enerji kayıp miktarları (24-30.06.2013).....	68
Şekil 5. 13 Senaryo 2 alternatiflerinin enerji kayıp miktarları (24.06.2013).....	70
Şekil 5. 14 Davutpaşa yerleşkesi şarj ünitelerinin optimal dağılımı.....	70
Şekil 5. 15 Senaryoların bir günlük güç kaybı ve gerilim değişimi	71
Şekil 5. 16 Elektrikli araç sürüş güzergâhı	73
Şekil 5. 17 Sürüş profili.....	73
Şekil 5. 18 EA'ın şarj eğrisi, kullanılan EA ve şarj ünitesi.....	74
Şekil 5. 19 Davutapaşa yerleşkesi dağıtım hattı.....	75
Şekil 5. 20 Kayıp gücün zamana göre değişimi	76
Şekil 5. 21 Araç sayısının zaman göre değişimi	77
Şekil 5. 22 Araçların enerji talebinin zamana göre değişimi	77
Şekil 5. 23 Araçların tercih ettiği operasyon tipi	78

Şekil 5. 24 Araçların başlangıç durumunda hesaplanan enerji durumları	78
Şekil 5. 25 Başlangıç SOC değeri ve çıkış durumunda araçların SOC değişimi	79
Şekil 5. 26 Haberleşme altyapısı	80
Şekil 5. 27 Mobil uygulama yapısı	83
Şekil 5. 28 Veritabanı yapısı	83
Şekil 5. 29 Server yapısı	85
Şekil 5. 30 Akıllı telefon uygulaması	86

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Ülkelerin gelecek projeksiyonları [37].....	10
Çizelge 2. 2 Elektrikli araçlarda kullanılan batarya çeşitleri ve özellikleri.....	14
Çizelge 2. 3 Elektrikli araç şarj seviyeleri.....	17
Çizelge 3. 1 AHS değerlendirme ölçeği.....	37
Çizelge 3. 2 RI değerleri.....	39
Çizelge 3. 3 Farklı şarj süreleri için şarj ünitesi sayısı değişimi.....	41
Çizelge 5. 1 Otopark kullanıcı profili ve ortalama park süreleri.....	60
Çizelge 5. 2 Senaryo 1'e göre şarj ünitelerinin dağılımı.....	66
Çizelge 5. 3 Senaryo 1 için alternatiflerin ağırlıkları.....	67
Çizelge 5. 4 Senaryo 2'ye göre şarj ünitelerinin dağılımı.....	68
Çizelge 5. 5 Senaryo 2 için alternatiflerin ağırlıkları.....	69
Çizelge 5. 6 Floyd algoritması giriş matrisi.....	72
Çizelge 5. 7 Floyd algoritması sonuç matrisi.....	72
Çizelge 5. 8 EA şarj-deşarj çalışması.....	74
Çizelge 5. 9 Sistemde kullanılan örnek <i>request</i> ve şifrelenmiş hali.....	80
Çizelge 5. 10 Algoritma hesaplamada kullanılan enerji seviyeleri.....	84

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ALTYAPISI TASARIMI VE AKILLI ŞARJ SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Bünyamin YAĞCITEKİN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

Fosil yakıtların hızla tükenmesi, artan petrol fiyatları ve çevresel kirliliklerinden dolayı yeni araç teknolojileri ile birlikte çevreye daha duyarlı olan elektrikli ulaşım araçlarına olan ilgi hızla artmaktadır. Günümüzde hibrit, şarj edilebilir hibrit, tümü elektrikli gibi birçok farklı elektrikli araç çeşidi bulunmaktadır. Son yıllarda özellikle dışarıdan şarj edilebilir elektrikli araçlar (EA) üzerine çalışmalar yoğunluk kazanmıştır ve bu araçların gelecekte çok yaygın kullanılması beklenmektedir. Ancak çok sayıdaki EA'nın şarj ihtiyacının karşılanması ve şarj olurken elektrik şebekesine olası etkilerinin araştırılması ve muhtemel problemlere şimdiden çözüm üretilmesi gerekmektedir. Hazırlanan tez çalışması, EA şarj altyapısı planlaması ve akıllı şarj yönetim sistemi ile EA kullanıcıları ve elektrik şebekesinin beklentilerini karşılayacak kapsamlı bir çözüm önerisi sunmaktadır. Tez çalışması iki ana kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, elektrik şebekesinin ve EA kullanıcılarının herhangi bir sorun yaşamadan kullanımlarına devam edebilmeleri için, Kuyruk teorisi (KT) ve Analitik hiyerarşik süreç (AHS) yöntemleri birlikte kullanılarak oluşturulan esnek yapı sayesinde, optimum şarj ünitesi sayısı tespit edilmiş ve bu ünitelerin konumlandırılması gerçekleştirilmiştir. Şarj altyapısının tasarlanmasında araç kullanıcılarının sürüş profilleri, kullanım alışkanlıkları, otoparkların kullanıcı profilleri, doluluk oranları ve konumları, trafo merkezlerinin konumu ve yüklenme eğrileri ile araç kullanıcı anketleri dikkate alınmıştır. EA şarj talebinde bulunacak kullanıcıların sayısının, enerji miktarının ve zamanının çok değişken olduğu dikkate alındığında şebekenin ve EA kullanıcılarının şarj istasyonlarından sorunsuz yararlanmaları için elektrik şebekesinin, EA kullanıcılarının ve sistem yöneticilerinin taleplerini aynı anda

karşılayacak akıllı bir şarj yönetimine ihtiyaç vardır. Çözüm olarak tezin ikinci kısmında çok amaçlı - çok kriterli amaç fonksiyonlarından oluşturulan Akıllı Şarj Yönetim Sistemi (AŞYS) algoritması geliştirilmiştir. Akıllı şarj yönetimi ile EA kullanıcıları kendilerine en uygun şarj istasyonuna enerji-etkin şekilde yönlendirilecek, dinamik fiyatlandırma ile araçlar daha ucuz bir şekilde şarj edilebilecektir. EA kullanıcıları en uygun şarj istasyonuna yönlendirilirken AŞYS algoritması sayesinde elektrik şebekesi enerji kalitesinin bozulmaması, pik yüklerin artırılmaması, gerilim dalgalanmaların ve kayıpların azaltılması ile enerji sağlayıcılarının bu durumdan daha az etkilenmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın bir bölgede gerçek veriler ile sınanması ve elde edilen sonuçların analiz edilerek tekrar değerlendirme yapılabilmesi amacıyla Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesi uygulama bölgesi olarak seçilmiştir. Tezde önerilen kapsamlı yapı sayesinde gerçek veriler kullanılarak yapılan simülasyon çalışmalarında amaçlara uygun sonuçlar elde edilmiş, farklı senaryolar ile birlikte karşılaştırmalar yapılarak, sonuçlar analiz edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, şarj istasyonları, şarj altyapısı, akıllı şarj yönetimi, optimizasyon.

**DESIGN, MODELING AND APPLICATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING
INFRASTRUCTURE INCLUDING SMART CHARGING MANAGEMENT**

Bünyamin YAĞCITEKİN

Department of Electrical Engineering
PhD. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Mehmet UZUNOĞLU

The depletion of fossil fuels, high oil prices and environmental pollution have led to the development of new, cleaner energy-based technologies in transport electrification. Nowadays, different types of electric vehicles (EVs) available in the market, such as hybrid, plug-in hybrid and battery electric vehicles. Among these types, battery based electric vehicle, plug-in hybrid electric vehicles needs electricity to charge the battery. The charging of EVs has an impact on the power system when great numbers of EVs connected to the grid. Besides, insufficient charging infrastructure and high charging demand in a specific time will cause a challenge. This dissertation has been proposed as a two phase comprehensive solution to tackle this problem. Firstly, EV charging infrastructure planning model and second, smart charging management strategy have been presented. In the first phase, a new planning method for EV charging infrastructure is proposed. Queue theory (QT) and analytic hierarchy process (AHP) optimization methods are used to develop a combined model to optimize the number of charging units and to choose their optimal locations in the selected region. A case study is performed to show the suitability of the proposed model for finding the optimum location and the number of charging stations by evaluating survey data, which reflects driver profiles, parking areas, substation locations and substations loading data. Charging infrastructure planning is not solely sufficient to provide a comprehensive solution for EVs in the long term. Thus, a new smart charging management strategy is needed to meet the demands of power grid, system operator and drivers. Smart charging management strategy is proposed through application of

shortest way algorithm, parking space and power capacity control. The developed charging management strategy is ensured by routing EVs to the most suitable charge point with energy efficiently and also it makes the cheapest cost charging schedules of EVs with dynamic pricing mechanism. The proposed strategy considers the substation loading data, power losses, voltage fluctuation, and behavior of drivers and tries to prevent the overloading of transformers. Within the scope of the dissertation, the proposed model and obtained results are discussed in detail. For the performance evaluation of the proposed model, a case study in the Davutpasa campus area of Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey is conducted. A case study is performed to show the suitability of the proposed model for finding the optimum location, the number of charging stations and smart charging strategy by evaluating actual data.

Keywords: Electric vehicle, charging station, charging infrastructure, smart charging, management, optimization.

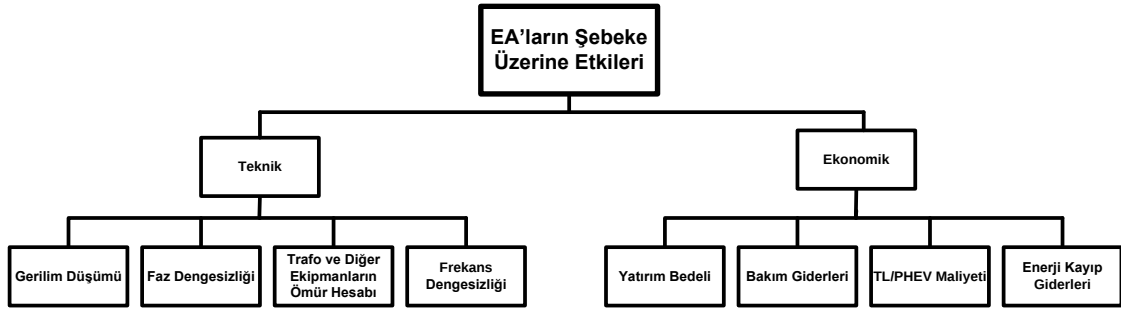
1.1 Literatür Özeti

Günümüzde gittikçe artan çevresel kirlilik ve fosil yakıtların hızla tükenmesi, araştırmacılar tarafından birçok farklı konu ve sektör üzerine çalışmalar yapılmasına neden olmaktadır. Bu çalışma alanlarının en önemlilerinden biri ise ulaştırma sektörüdür. Dünya petrolünün yaklaşık %60'ı ulaşım sektöründe kullanılmakta ve dünya CO₂ salınımının %25,5'ine ise ulaşım sektöründeki petrol kullanımı sebep olmaktadır [1]. Ulaştırma sektörünün içinde karayolu taşımacılığı ise tüm CO₂ salınımının %16'sını tek başına üretmektedir [2]. Bu hususlardan dolayı konvansiyonel araç teknolojilerinin yerine alternatif çözüm arayışları hızlı bir ivme kazanmıştır. Günümüzde hibrit, tam elektrikli ve hidrojenli araçlar gibi farklı konseptler üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Hidrojenli araçların piyasaya girişi tahminen 2030'lu yıllar olarak görülürken, elektrikli ve hibrit araçlar günümüzde daha uygulanabilir çözümler olarak görülmektedir.

Dünyada birçok araştırma merkezi, araç üreticileri ve üniversiteler tarafından elektrikli araçlar (EA'lar) üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. EA'ların yaygınlaştırılması için aşılması gereken bazı problemler vardır. Bunlar; EA'ların konvansiyonel araçlardaki gibi konfor ve hareket kabiliyetine sahip olması, EA'lardaki batarya şarj sürelerinin kısa olması, yeterli şarj altyapısı, bataryaların enerji yoğunluklarının yüksek olması ve batarya fiyatlarının makul düzeylere çekilmesi şeklinde sıralanabilir. Konvansiyonel araçlarda yapılan çalışmalar genellikle sürüş güvenliği, konfor, yakıt ekonomisi, motor verimliliğinin artırılması şeklinde sıralanabilir. EA'larda da benzer şekilde çalışmalar yapılmaktadır ancak aralarında önemli bir fark bulunmaktadır. Bu fark EA'ların şarj

ihtiyacını karşılarken elektrik şebekesine nasıl bir etkisi olacağı ve bu etkilerin nasıl giderilebileceğidir. Araştırmacıların üzerine çalıştığı en önemli konulardan biri de EA'ların şebekeye bağlanması sırasında ortaya çıkabilecek muhtemel problemlerin nasıl çözülebileceğidir.

Günümüzde EA'ların üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde birçok farklı alanda araştırmaların sürdüğü gözlemlenmiştir. Çevresel etkilerin incelendiği ve zararlı emisyonların azaltılması yönünde yapılan birçok çalışma mevcuttur [3]–[6]. Bunun yanında elektrik şebekesiyle çift yönlü enerji alış veriş yapılmaması yani EA'ların kaynak gibi kullanılmasını içeren çalışmalar da literatürde mevcuttur [7]–[11]. EA'ların dağıtım sistemi üzerine etkileri de diğer bir çalışma konusudur. EA'lar genel olarak büyük binelik araçlarda ortalama 16-24 kWh bataryalara sahip olması nedeniyle dağıtım şebekelerine aşırı yüklenme ve gerilim dalgalanmalarına sebep olabilecektir. Ayrıca enerji kalitesi açısından büyük önem arz eden dağıtım sistemi üzerindeki etkilerin incelendiği çalışmalara da yoğunluktadır [11]–[13]. Yapılan çalışmalarda EA'ların şebekeye bağlanırken harmonik etkilerin belli sınırlar altında tutulması gerektiği belirtilmiştir. Günümüzde birçok firma tarafından farklı özelliklerde şarj cihazları üretilmektedir. Üretilen ilk ürünlerden olan tek fazlı diyot köprü şarj cihazları özellikle 3. ve 5. harmoniklere sebep olmaktadır. 3 fazlı diyot şarj cihazlarında ise 5. ve 7. harmonik etkileri fazladır. Tristör köprülü şarj cihazlarında ise darbe sayılarına göre harmonik akımları değişmektedir. 6 darbeli tristör köprülü cihazlarda harmonik akımları, özellikle 5. ve 7. harmonikler etkili olmakta ve toplam harmonik distorsiyon (THD) oranı da %70 seviyelerine çıkmaktadır [13]. Dağıtım sisteminin en önemli elemanlarından olan trafoların ani ve uzun süreli yüklenmelere bağlı verdiği tepkiler bir diğer araştırma konusudur. Yapılan çalışmalarda trafoların elektro-termal modelleri oluşturularak, farklı yüklenme durumlarına bağlı sıcaklık, verim ve ömür değişimi hesaplamaları yapılmıştır [14]–[17]. Araç yoğunlukları, şehir yaşıntısı, alışkanlıklar, elektrik altyapısı EA'ların şebeke üzerine etkilerinin araştırılmasında göz önüne alınması gereken çok önemli kriterlerdir [18]. Şekil 1.1'de EA'ların şebeke üzerine etkileri konusunda yapılan çalışmaların genel olarak bir özetlemesi sunulmuştur.



Şekil 1. 1 Elektrikli araçların şebeke üzerine etkileri konusunda çalışma alanları

Yukarıda bahsedilen EA'ların çevresel ve şebeke üzerine etkilerinin incelenmesinin yanında yoğunlukla çalışılan bir diğer konuda EA'ların şarjı ve şarj altyapısı planlaması üzerinedir. Söz konusu alan üzerine farklı yerlerde değişik senaryolar altında çalışmalar yapılmaktadır.

EA'ların piyasada yoğun bir şekilde kullanılmasından önce şarj altyapısının hazır olması gerekmektedir. Bu bağlamda tüm dünyada yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle şarj ünitelerinin konumu, boyutu ve şebeke üzerine etkileri öncelikli olarak incelenen konular arasındadır. Yapılan bir çalışmada, ağırlaştırılmış voronoi diyaramı (Weighted Voronoi Diagram (WVD)) ve parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization (PSO)) kullanarak şarj istasyonu konumlandırması yapılmıştır [19]. Wang vd. non-linear çoklu amaç modeli oluşturarak şarj istasyonu yerleşimini, önceden belirlenmiş noktalara yapmışlardır [20]. Başka bir çalışmada ise Andy vd., iki aşamalı bir model önererek lineer programlama ile hiyerarşik bir düzende şarj istasyonu yatırım planlaması yapmışlardır [21]. Long vd., seçilen bir bölgede graf teorisini kullanarak şarj istasyonlarının boyutlandırma ve konumlandırmasını yapmışlardır [22]. Frade vd., maksimum kapsama modeli ile şarj istasyonu konumlandırması yapmışlardır [23]. Liu ise şarj istasyonu dağılımını farklı stratejiler ile Çin'in Pekin şehri için gerçekleştirmiştir [24]. Timothy ve Diego ajan bazlı karar verme metodunu kullanarak Şikago şehrinde bir konut bölgesi için şarj istasyonu planlaması gerçekleştirmişlerdir [25]. He vd. ise büyük metropollerde şarj istasyonu dağılımını dinamik fiyatlandırma ile statik oyun teorisini kullanarak yapmışlardır [26]. Bir diğer çalışmada şehir merkezi şarj istasyonu planlaması kuyruk teorisi (Queueing Theory (KT)) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma, kapasite optimizasyonu, yatırım giderlerini azaltacak ve ulaşımı

kolaylaştıracak şekilde planlanmıştır [27]. Diğer bir çalışmada ise benzer şekilde yine EA şarj istasyonları sayısı KT ile optimize edilmiştir [28].

Yukarıda özeti verilen EA şarj altyapısı planlamalarından sonra EA'ların şarjının optimizasyonu ele alınmıştır. Literatür incelendiğinde özellikle farklı şehirler için yapılan çalışmaların çoğunluğu dikkat çekmektedir. Yapılan bir çalışmada, EA'ların pik anlarda şebekeye bağlanması durumunda sistemin vereceği cevap Gothenburg şehri için incelenmiştir. Belirlenen konut (144 tüketici) ve iş merkezi (91 tüketici) bölgesine göre günlük yüklenme eğrisi ele alınmış ve talep değişimi gözlemlenerek EA'ların etkileri incelenmiştir [29]. Başka bir çalışmada ise EA'ların Kanada'nın British Colombia eyaleti elektrik şebekesine etkileri incelenmiştir. Çalışmada bir yıl için baz yük tüketim verileri ve EA enerji talebi yarım saatlik dilimlerde Monte Carlo yöntemi ile oluşturulmuştur. Ayrıca trafoların bulundukları bölgelere göre (tüketici profilinin değiştiği yerlerde) yüklenme eğrileri ve gerilim değişimleri analiz edilmiştir [30]. Almanya ve İsviçre için yapılan bir çalışmada ise farklı senaryolar altında kısa ve orta vadeli elektrik yüklenme talepleri incelenerek enerji ihtiyacının yüksek olduğu zamanlarda EA'ların şebeke sistemine enerji verme durumları incelenmiştir. Çalışmada iletim sistem operatörü (TSO), dağıtım sistem operatörü (DSO) ve sistem operatörlerinin (SO) elektrik şebeke sisteminden sorumlu ve bunların enerjinin arz-talep dengesini sağlamakla yükümlü olduklarından bahsedilmiş, enerji arz-talep dengesinin EA'ların kontrollü ve kontrolsüz şarj durumlarına göre talep karşılama durumları irdelenmiştir [31]. Hindistan için yapılan çalışma da ise zaman kaydırma (time-shifting) tekniği ile vadi doldurma (valley-filling) veya pik yük azaltma (peak shaving) için EA'ların denge unsuru olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Yük artışı ile birlikte farklı yüzdelerde (%20-30-50) EA'ların olması durumunda oluşacak ekstra yük miktarı hesaplanmıştır. Enerji üretiminde kaynaklara göre sebep oldukları CO₂ emisyon miktarının hesabı yapılarak, EA oranına göre karbon emisyonlarının azalma oranı, hesaplanmıştır [32]. Ohio şebeke sistemi ve dışardan şarj edilebilir hibrit elektrikli araçların (PHEA) ilişkileri anlatılmış; EA'ların piyasaya girmesiyle zararlı emisyon (CO₂) salınımının azalacağı ancak termik santrallerde elektrik üretiminin artabileceğinden dolayı farklı zehirli gazların artmasına sebep olacağı belirtilmiştir. %5 EA oranı şebekeye ek yük getirmezken, bu oran %30 olduğunda, kontrolsüz şarj durumunda Ohio şebeke

sisteminin pik yüklerini %3 oranında arttırdığı hesaplanmıştır. Elektrik kullanımı ile petrol kullanımı arasındaki fiyat farkı ve buna bağlı geri dönüşüm süreleri hesaplanmış, araç kullanımı boyunca harcanacak petrol ve elektrik kullanım durumlarında aralarında nasıl bir geri ödeme farkı olacağı hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarında bir konvansiyonel aracın yerine PHEA kullanılması durumunda %70 oranında petrol tüketiminin azaldığı, ayrıca CO₂ emisyon oranında %24 oranında azalma olacağı kaydedilmiştir [33].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, araştırmaların genellikle birbirlerine benzeyen yapıda oldukları görülmektedir. Ancak, EA şarj altyapısı planlaması ile birlikte akıllı şarj yönetim sistemlerinin bütünsel olarak değerlendirildiği herhangi bir çalışmaya ise rastlanılmamıştır. Bunların yanında; birçok rapor, makale ve uygulama incelendiğinde EA şarj istasyonlarının genel kabullerle konumlandırıldığı görülmüştür. Yapılan bu doktora tezi, ihtiyaca göre şarj ünitesi sayısının belirlenmesi, şarj ünitelerinin optimal konumlandırmasının yapılabilmesi, elektrik şebekesine zarar vermeyecek ve kullanıcıların beklentilerini karşılayacak akıllı şarj yönetim sistemini içeren kapsamlı bir çalışma olmasıyla literatüre katkı sağlaması beklenmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde EA'lar ile ilgili yoğun çalışmalar sürdürülmektedir. Bu çalışmalar özellikle araç teknolojileri (güç elektroniği elemanları, motorlar vb.), batarya teknolojileri (batarya yönetim sistemi, boyutu, kimyasal yapısı (enerji ve güç yoğunlukları)) ve altyapı&şebeke teknolojileri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Altyapı&şebeke teknolojileri üst başlığı altında, şarj altyapısı planlaması ve akıllı şarj yönetim sistemi ise önemli araştırma konularındandır. Belirtilen konularla ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde her iki konunun bütünsel olarak ele alındığı kapsamlı bir çalışmanın olmadığı görülmektedir. Bu bağlamda yapılan tez, EA'lar için şarj altyapısı tasarımı ve akıllı şarj yönetim sisteminin geliştirilmesini bütünsel olarak ele alan bir çalışmadır. Yapılan doktora tezi iki ana kısımdan oluşmakta ve her iki kısımda da kendi içinde yenilikler barındırmaktadır. İlk kısımda EA şarj altyapısı planlanması için iki optimizasyon yöntemi (KT ve AHS) birleştirilerek elde edilen yapı sayesinde, şarj ünitesi sayısı ve dağılımı optimal biçimde yapılmaktadır. Önerilen yapı esnekliği ile farklı amaçlara kolaylıkla adapte olabilecek, ekonomik ve teknik analize uygun yapıdadır. İkinci kısımda ise yeni bir EA akıllı şarj yönetim sistemi

önerilmiştir. Bu yapı ile elektrik şebeke sisteminin ve kullanıcıların beklentilerini dikkate alan çok amaçlı çok kriterli optimizasyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu bölümde öncelikle EA şarj talebine göre en uygun şarj noktasına araç rotalama, enerji-etkin bir biçimde yapılmış ve akıllı şarj yönetimi şebekenin aşırı yüklenmesi önleyecek şekilde modellenmiştir. Bu tez kapsamında, öncelikle belirlenen bir bölge (YTÜ Davutpaşa Yerleşkesi) içerisinde yeterli sayıda şarj ünitesinin hangi noktalara yerleştirileceğine karar verilmiştir. Daha sonra, akıllı şarj yönetim sisteminin oluşturulması hususu analiz edilmiş ve çözüm önerisi sunulmuştur. Yapılan tez; EA sahipleri ve elektrik şebeke sistemi beklentilerini dikkate alan kapsamlı bir yapıda olması ile de literatüre katkı yapmaktadır.

1.3 Bilimsel Katkılar

EA'ların yaygınlaşması için teknik, ekonomik ve sosyal yönden çok farklı alanlardaki sorunlara çözümler getirilmelidir. Günümüzde EA'lar ile ilgili, bahsedilen tüm alanlarda bilimsel çalışmalar hızla devam etmektedir. Yapılan tez çalışması içeriği itibariyle öncelikle teknik problemlere çözüm önerileri sunulmuş olsa da, tüm alanları etkileyecek düzeyde kapsamlı bir bakış açısı sunmaktadır. Bu bağlamda yapılan tez çalışması ile literatüre yapılan katkılar şu şekilde sıralanabilir:

- Literatür özetinde bahsedildiği gibi günümüzde yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle şarj altyapısı tasarımı konusunda birçok çalışma mevcuttur. Bu konu ülkemizde daha çok yeni bir konu olmakla birlikte, daha önce yapılan örneklerle ek olarak bu konunun bilimsel olarak altyapısının hazırlanabileceğinin gösterilmesi oldukça önemlidir. Yapılan tez çalışması ile amaçlara veya ihtiyaçlara göre yatırımcıların kolay karar almasına olanak sağlayacak esnek bir yapı ortaya konmuştur. Bu bağlamda, iki optimizasyon yöntemi KT ve AHS birleştirilerek, karar alabilecek ve amaca göre hızlı cevap verebilecek esnek bir yöntem geliştirilmiştir.
- Akıllı şarj yönetimi ile araç kullanıcıları en uygun şarj noktasına yönlendirilerek zaman, enerji ve ekonomik kayıpları azaltılırken, şarj başladıktan sonra da kullanıcı talebine göre dinamik fiyatlandırma ile EA'ların şarj maliyetleri azaltılabilecektir.

- Akıllı şarj yönetimi ile gerilim dalgalanmalarının azaltılması, pik yüklerin arttırılmadan maksimum araca hizmet verme şeklinde optimizasyonun gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.
- Önerilen akıllı şarj modeli, özellikle belli zaman aralıklarında birçok aracın şarj talebinde bulunması durumunda elektrik şebeke sisteminin zarar görmesine veya çökmesine sebep olabilecek etkileri ortadan kaldırmaktadır.
- Uzun şarj süresi gibi olumsuz etkilerin yanında EA'ların sırada beklemesi gibi olabilecek muhtemel olumsuzluklar yeterli sayıda şarj ünitesi sayısının KT yöntemi kullanılarak hesaplanması ile minimize edilmiştir.
- Ayrıca EA'ların şebeke ile çift yönlü enerji alışverişine imkân sağlandığında, EA sahipleri enerji ticareti yapabilecekler ve ekonomik kazanç sağlayabileceklerdir. Bunun yanında, EA'ların dağıtık enerji santrali gibi kullanılması ve kritik zamanlarda şebekenin desteklenmesi ile birçok teknik faydasının olabileceği düşünülmektedir. Önerilen sistem, bahsedilen özellikleri destekleyecek mahiyettedir ve bu yönü ile de literatüre katkı sağlamaktadır.
- Yapılan android tabanlı akıllı telefon uygulaması ile birlikte kullanıcı ve şebeke dostu olan akıllı şarj yönetim sistemi arayüzü geliştirilmiştir.
- Yapılan çalışma sonucunda EA'ların artmasıyla birlikte dolaylı olarak, karbon emisyonlarının azaltılmasına ve sürdürülebilir ulaşım sistemine katkısı olacaktır.
- EA'ların yaygınlaştırılmasıyla birlikte petrole bağımlılığın azaltılması ve EA'lardaki bataryaların enerji depolama ünitesi olarak kullanılabilmesiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını arttırabilecektir.
- Tez çalışması EA kullanımının artmasına yapacağı etkiyle, EA'ların konvansiyonel araçlara göre daha yüksek verime sahip olmasından dolayı, özellikle trafik problemi olan şehirlerde ulaşımında enerji verimliliğinin artmasına destek olacaktır.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar uluslararası hakemli dergilerde ve ulusal/uluslararası konferanslarda sunulmuş, akademik çerçevede tartışılmış ve tekrar gözden geçirilip nihai halini alarak tez içerisinde yer almıştır.

ELEKTRİKLİ ARAÇ TEKNOLOJİLERİNE GENEL BİR BAKIŞ

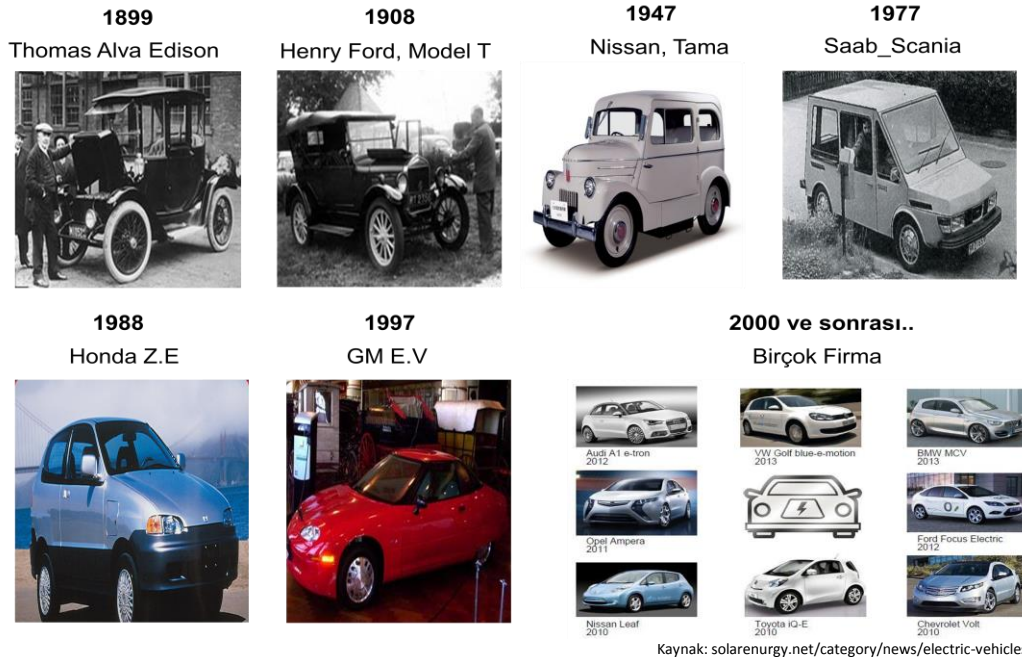
2.1 Elektrikli Araçların Tarihi ve Gelişimi

EA'lar otomotiv pazarının ilk ürünü olmalarına rağmen, uzun yıllar yerlerini içten yanmalı motorlu (konvansiyonel) araçlara bırakmışlardır. Günümüzde tüm ulaştırma sektörlerinin %90'ının üzerinde fosil yakıtlı konvansiyonel araçlar kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda otomobil üreticileri EA'lar üzerine yoğun bir çalışma başlatmışlardır. Bu yönelimin temel nedenleri 3 başlıkta kısaca özetlenebilir;

- Çevresel kaygılar,
- Teknolojik gelişmeler,
- Sermaye yeterliliği ve teşvikler.

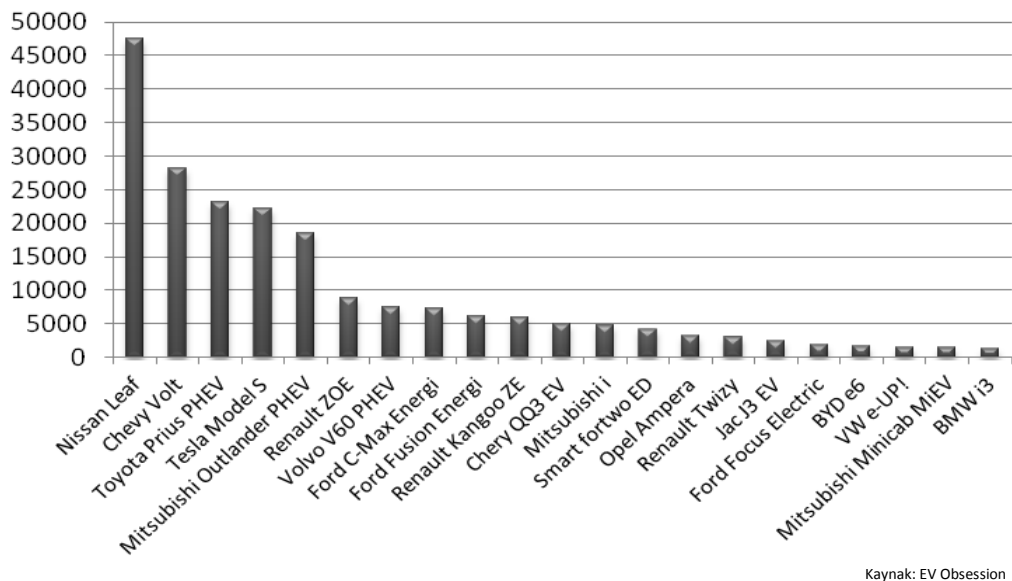
İlk EA, 1834'te Thomas Davenport tarafından icat edilmiştir. 1859'da Gaston Plante şarj edilebilir bataryayı icat etmiş ve o zamanki EA'ların en büyük problemlerinden biri olan sık batarya değişimi sorununa çözüm getirerek maliyetlerin düşmesini sağlamıştır [34]. Bu gelişmelerden sonra EA'lar üzerine çalışmalar hız kazanmış ve 1900'lü yılların başlarına kadar yoğun bir biçimde devam etmiştir. Daha sonra, içten yanmalı motorlu araçlara parça parça dönüşüm başlamış ve 1930'lu yıllardan sonra EA sözcüğü otomotiv endüstrisinde oldukça az duyulmaya başlamıştır. 1970'lerdeki petrol krizi ile birlikte, EA'lar yeniden popüler olmaya başlamasına rağmen bu durum da uzun sürmemiştir [35]. 1990'lı yıllardan sonra EA'lar yeniden yoğun ilgi görmeye başlamıştır. Bu duruma sebep ise çevresel kirlilik, petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar ve 1900'lü yılların başlarına oranla elektrik fiyatının yarıya düşmesine rağmen petrol fiyatlarının 6 kat artış göstermesidir [35]. Günümüz dünyasında, EA'ların gelecekte çok yaygın

kullanılacağı beklentisi hâkim durumdadır ve Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, söz konusu olumlu hava ile birçok firma EA üretimine başlamıştır.



Şekil 2. 1 Geçmişten günümüze elektrikli araçlar

2013 yılında tüm dünyada 200 binin üzerinde EA satışı gerçekleşmiştir [36]. Şekil 2.2’de 2013 yılı markalara (en çok satış yapan 21 marka) göre EA satış rakamları görülmektedir. Bunun yanında birçok ülke gelecek programlarında EA teknolojileri ile ilgili projeksiyonları açıklamaya başlamışlardır. Çizelge 2.1’de günümüzde EA’larla ilgili farklı ülkeler tarafından yapılan gelecek projeksiyonları görülmektedir.



Şekil 2. 2 2013 yılı elektrikli araç satış rakamları

Avrupa pazarı da EA teknolojisine uygun yapısından dolayı son birkaç yılda hibrit EA satışında çok büyük bir ivme kazanmıştır. Artan çevre duyarlılığı, EA teknolojisindeki hızlı gelişmeler, büyük yatırımlar, tüketiciler tarafından hibrit elektrikli araçlara (HEA) gösterilen ilgi ve güçlü teşvik politikaları EA'ların yaygınlaşması için şartların uygun olmasını sağlamıştır. Pike Research firmasının yaptığı araştırmaya göre 2022 yılında 35 milyon üzerinde EA'nın otomotiv pazarında bulunacağı tahmin edilmektedir.

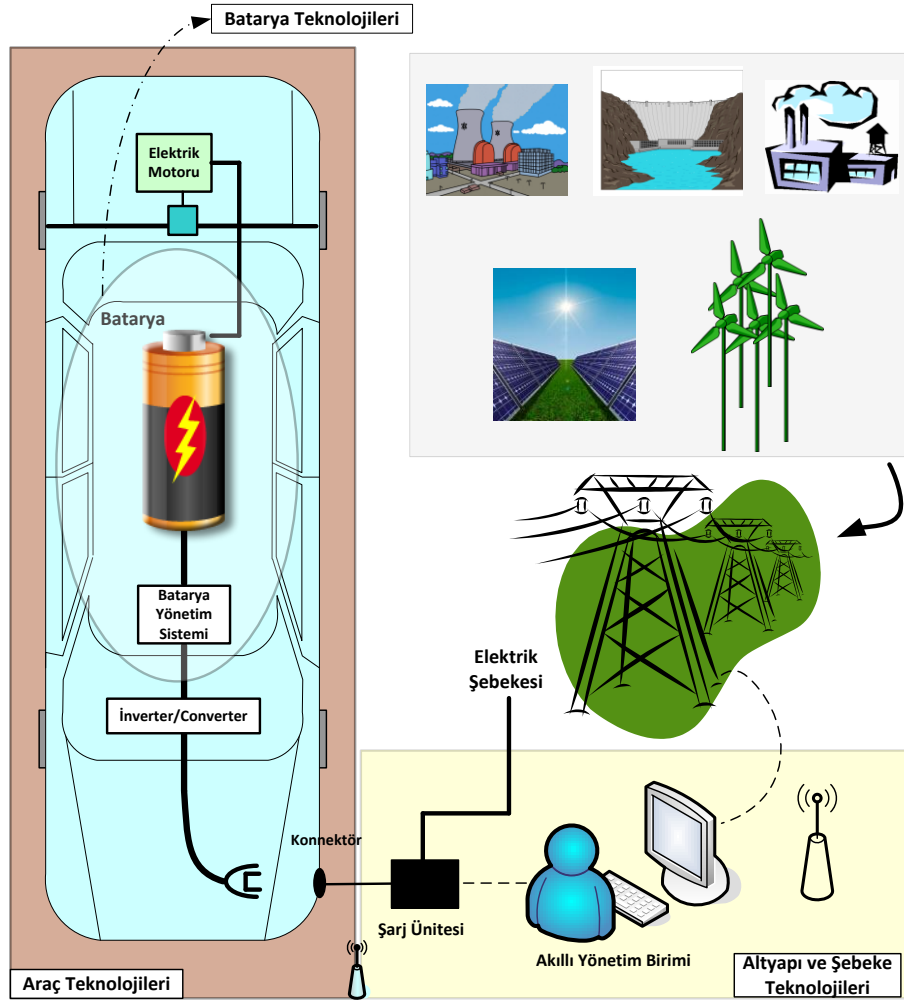
Çizelge 2. 1 Ülkelerin gelecek projeksiyonları [37]

Ülke	Hedef
Avusturya	2020: 100 000 EA
Avusturalya	2012: ilk EA, 2018:yoğun EA, 2050: %65
Kanada	2018: 500 000 EA
Çin	2030: 20% - 30%
Danimarka	2020: 200 000 EA
İngiltere	2020: 1 200 000 BEA + 350 000 PHEA
Fransa	2020: 2 milyon EA
Almanya	2020: 1 milyon EA
İrlanda	2020: 230 000 EA
İsrail	2012: 40 000 - 100 000 EA üretimi
Japonya	2020: 20%
Hollanda	2020: 200 000 EA
Yeni Zellanda	2020: 5%; 2040: 60%
İspanya	2020: 2,5 milyon EA
İsveç	2020: 600 000 EA
İsviçre	2020: 145 000 EA
ABD	2015: 1 milyon EA
Dünya	2015: 1 700 000 EA
Avrupa	2015: 480 000 EA
AB-27	2020: 4 752 100 EA
Türkiye	--

2.2 Elektrikli Araç Teknolojisi Tanımlamaları

EA'lar henüz seri üretim aşamasında olmasına rağmen günümüzde ve gelecekte ortaya çıkabilecek muhtemel problemler şimdiden düşünülerek çözüm üretilmesine başlanmalıdır. EA'ları genel olarak 3 başlık altında incelemek mümkündür. Bunlar; araç teknolojileri (elektrik motoru, güç elektroniği elemanları, araç kontrolü ve enerji yönetimi vb.), batarya teknolojileri (batarya tipi, üretimi, malzeme güvenliği ve batarya yönetim ve kontrol sistemleri) ve altyapı&şebeke teknolojileridir (EA şarj altyapısı, servis ağı, elektrik şebeke sistemi, şarj yönetimi ve standartlar vb.). Bu doktora tezinde,

yukarıda sıralanan başlıklardan altyapı ve şebeke teknolojileri konusu üzerine incelemeler yapılarak, EA'ların yaygınlaşmasına engel olabilecek sorunlara dünya literatürüne katkı yapacak şekilde çözümler üretilmiştir. Şekil 2.3'te EA teknoloji tanımlamaları genel hatlarıyla gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Elektrikli araç bileşenleri

2.2.1 Araç Teknolojileri

Günümüzde 4 temel elektrikli araç teknolojisi mevcuttur:

- Hibrit elektrikli araçlar (HEA)
- Dışardan şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar (PHEA)
- Tümü bataryalı elektrikli araçlar (BEA)
- Yakıt Hücresel (Fuel Cell) elektrikli araçlar (YHEA)

BEA'lar bir elektrik motorundan güçlerini alırlar ve PHEA'larla karşılaştırıldığında bataryalarının boyutları ve maliyetleri önemli bir dezavantaj olarak ortaya çıkmaktadır. HEA'lar benzinli bir motor tarafından tahrik edilmektedirler ve bu araçlarda bataryalar yakıt verimliliği sağlamak için kullanılırlar. Ancak bu araçların bataryaları dışarıdan şarj edilemez yalnızca içlerinde bulunan generatör tarafından şarj edilirler.

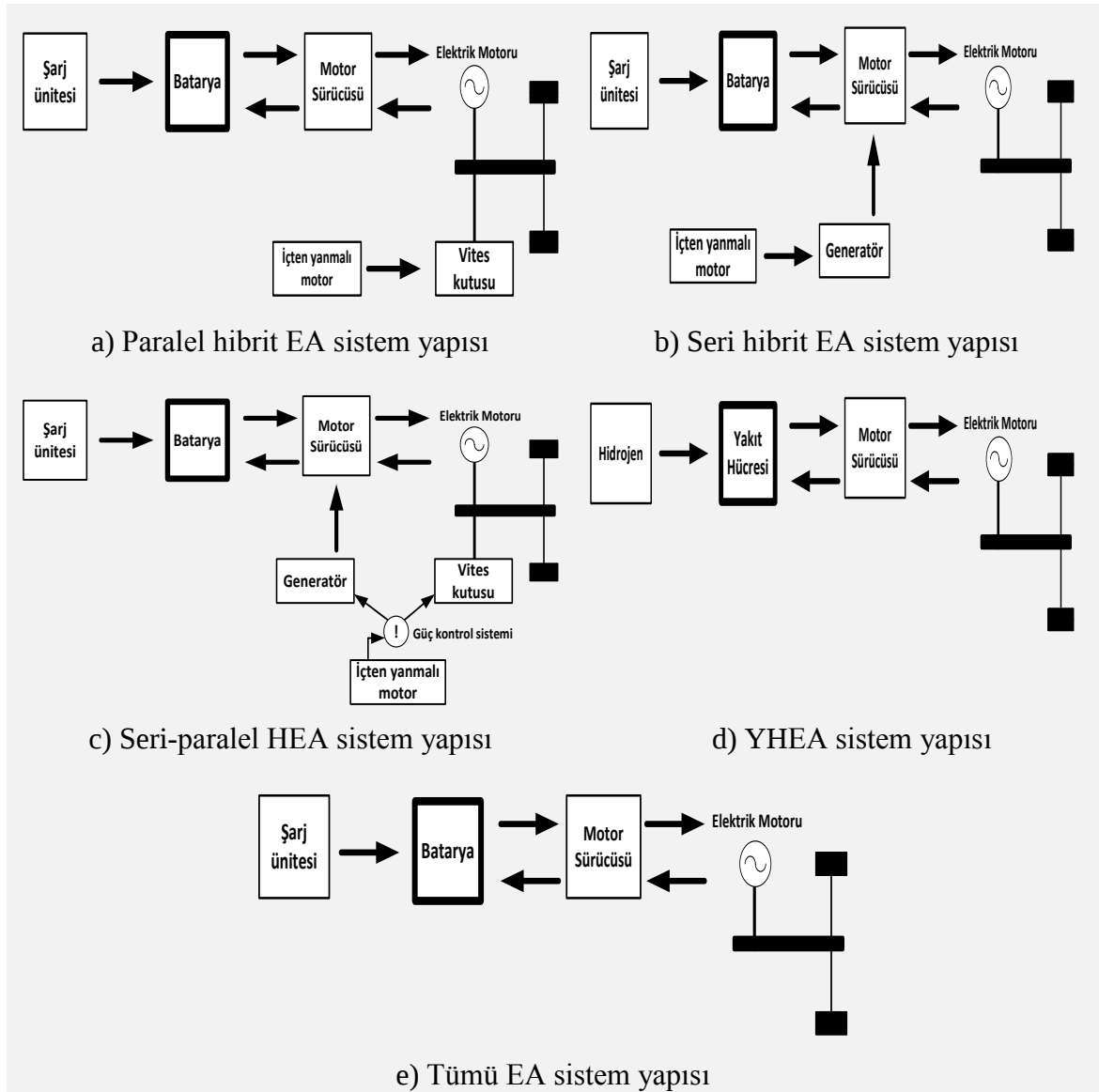
PHEA'ların bataryaları dışarıdan şarj edilebilirken motor gücünü HEA'lardaki gibi benzinli bir motordan alırlar, bu da aracın sürüş aralığını uzatır. Elektrik motorları ve bir içten yanmalı motorun birlikte olabileceği 3 çeşidi vardır:

Seri hibrit: Bu araçlar menzili uzatılmış elektrikli araçlar (EREV) (EREV: Extended range electric vehicle) olarak bilinirler ve bu sistemde elektrik motorundan tekerlere güç aktarılır. Bu araçlardaki içten yanmalı motor, bir generatörü çalıştırmak için kullanılır. Bu generatör, aracın hareketini sağlamak için gerekli olan elektrik gücünü üretir ve bu gücü motora aktarır, bir diğer görevi ise araç hareket halindeyken bataryaları şarj etmektir.

Paralel hibrit: Bu tür sistemlerde, bir elektrik motoru ile bir içten yanmalı motordan tekerlere güç aktarılır. Araç hareket halindeyken bataryaları şarj edebilmek için motor aynı zamanda elektrik üretmek için kullanılır.

Seri-paralel hibrit: Seri paralel hibrit araç teknolojisi günümüz pazarında en popüler hibrit teknolojisi olarak yerini almaktadır. Bu teknoloji diğer iki geleneksel yaklaşımın birleşmesinden oluşmaktadır. Bu araçlar her iki kaynaktan aldıkları gücü (elektrik motorları ve/veya benzinli motor) tekerlere aktarır. Aynı zamanda elektrik motorunu kullandıklarında elektrik üretirler. Bu araçlardaki sistem çalışma esnasında ve hareket halinde optimum enerji verimi için bu çift güç kaynağını kontrol edebilir. PHEA teknolojisi, HEV teknolojisi ile hemen hemen aynı olduğundan, sadece PHEA güç akış şeması gösterilmiştir.

YHEA'lar, BEA'lar gibi bir elektrik motoruyla hareketlerini sağlarlar. Ancak YHEA'lar, BEA'lardan farklı olarak elektrik enerjisini hidrojen dolu tanklarla beslenmiş yakıt hücreli sistemleri kullanarak üretmeleridir. Şekil 2.4'te farklı EA sistemlerinin yapıları gösterilmektedir.



Şekil 2. 4 Elektrikli araç sistem yapıları

EA'lar sıfır emisyon (BEA'lar için), yüksek verimlilik, ucuz yakıt ve performans gibi avantajlara sahiptir. Buna karşın, EA'ların gereken ilgiyi görebilmeleri için batarya ve kontrol teknolojilerinin geliştirilmesine ve bunun yanında önümüzdeki yıllarda batarya fiyatlarının düşmesine ihtiyaç vardır. Böylelikle uzun vadede teşviklere ihtiyaç kalmadan dahi EA'ların büyük bir pazar payına sahip olabilecekleri öngörülebilir.

2.2.2 Enerji Depolama Üniteleri

EA'lar birçok farklı enerji kaynağından tahrik edilmektedir. Bunlar; yakıt hücresi, ultrakapasitor, batarya vb. gibi farklı şekillerde olabilmektedir. Çalışma kapsamında yalnızca bataryalar ile ilgili kısım incelendiği için yakıt hücreli ve ultra kapasitörlü

sistemlere girilmemiştir. Bu bağlamda bahsedilen batarya teknolojileri, en genel manasıyla batarya bloğu ve batarya yönetim sisteminden oluşur. Herbir batarya farklı kimyasal yapıya sahip olduğundan verimlilik, güvenlik ve ömür etkilerinden dolayı batarya yönetim sistemi bahsi geçen teknolojiler için vazgeçilmez bir unsur olmuştur.

2.2.2.1 Batarya Çeşitleri

EA'larda genel olarak nikel ve son zamanlarda çokça kullanılan lityum ihtiva eden yeni nesil pil çeşitleri kullanılmaktadır. Bunlar: nikel metal hidrit piller (Ni/MH), lityum-iyon piller (Li-ion), lityum demir fosfat (LiFePO₄), lityum polimer piller (LiPolimer) şeklinde sıralanabilir. Batarya sistemlerinin kimyasal yapısı, özellikleri ve çalışma prensipleri ile ilgili kapsamlı araştırmalar Avgın, Lowe vd. ile Boston danışmalık merkezi tarafından yapılmıştır [38]–[40]. Günümüzde EA'larda yoğunlukla kullanılan Lityum-iyon bataryalara sahip araçlar ve destekledikleri şarj seviyeleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. 2 Elektrikli araçlarda kullanılan batarya çeşitleri ve özellikleri

Araç	Batarya Türü	Kapasite (kWh)	Menzil (km)	Aracın Desteklediği Şarj Seviyesi (kW)
Nissan Leaf	Li-ion	24	120	3,3
Ford Focus E	Li-ion	23	125	6,6
Honda EA	Li-ion	20	130	6,6
Renault Zoe	Li-ion	22	160	3,3 – 6,6
Renault Fluence	Li-ion	22	160	3,3 – 6,6
Mitsubishi i-MiEV	Li-ion	16	100	3,3

Kaynak: Orjinal ürün üretici bilgileri (OEM)

2.2.2.2 Batarya Yönetim Sistemi

Günümüzde özellikle son dönemde EA'larda yoğun kullanılmaya başlanan lityum ihtiva eden bataryalar ile birlikte her bir batarya hücresinin tüm depolama sistemi üzerinde oluşturacağı olumlu veya olumsuz etkilerinden dolayı sürekli kontrol altında tutulması ve koordinasyonun yapılması gerekmektedir. Çizelge 2.1'de özellikle yeni nesil EA'larda yoğunlukla Li-on bataryaların kullanıldığı görülmektedir. Lityum bataryalar yapısal

özelliklerinden dolayı daha çok kontrol gerektirmektedir. Bataryaların güvenlik, verimlilik ve ömür sorunlarının çözülmesi amacıyla batarya yönetim sistemi (BYS) kullanılmaktadır.

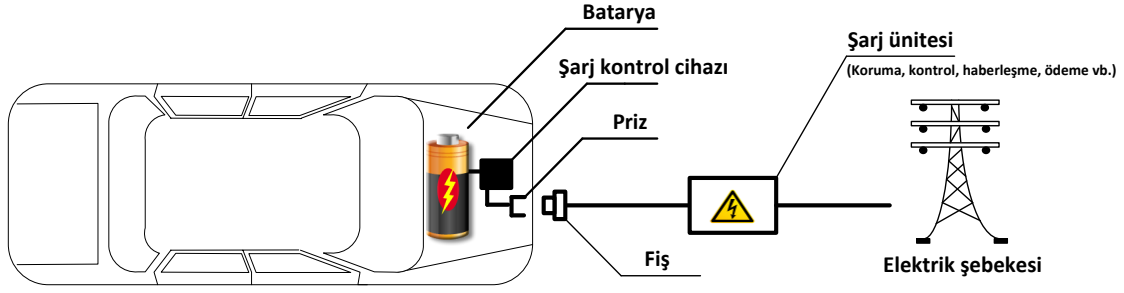
BYS, şarj ve deşarj durumlarında bataryalarda meydana gelen aşırı ısınma, yüksek akım, yüksek gerilim gibi olumsuz etkilerden korunmasını sağlamaktadır. Bataryalardaki her bir pil grubunun gerilim, akım ve sıcaklık değeri sürekli izlenmekte ve gerekli durumlarda müdahale otomatik şekilde yapılmaktadır. Bu sayede kullanıcılar batarya şarj seviyesini, ömrünü ve tüketilen enerji miktarını BYS sayesinde görebilmektedirler. Herbir hücrenin dengeli bir şekilde şarj edilmesi verimlilik açısından çok önemlidir. Bu yüzden BYS'ler kilit görevi olarak her bir hücre grubunun eşit seviyede şarjını sağlamaları sayesinde bataryaların ömrünü ve verimlerini arttırmış olurlar. BYS'ler EA'ların yaygın kullanılması ve akıllı şarj sistemlerinin uygulama bulmasında önemli bir yere sahiptir [41], [42].

2.3 Elektrikli Araç Şarj Altyapısı ve Elektrik Şebekesi

EA'ların belli zaman aralıklarında şarj edilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı şarj altyapısı çok önemlidir. Ayrıca, EA'ları şarj etmek için farklı şarj seviyeleri vardır ve bu durum farklı parklanma şekillerine göre ihtiyacı karşılamak için oluşturulmuştur. Tüm bunların yanında EA kullanımının ve şarjının mevcut elektrik şebekesine etkileri olacaktır. Bu durum enerjinin sürekliliği ve kalitesi bakımından değerlendirilerek gerekli hazırlıkların yapılma zorunluluğu vardır. Söz konusu alanlar başlıklar halinde ilerleyen bölümlerde anlatılmaktadır.

2.3.1 Şarj Bileşenleri

Şekil 2.5'te şarj olayının gerçekleşebilmesi için sistemde bulunan şarj bileşenleri gösterilmektedir. EA bileşenleri ile bataryaya gelen enerji, prizden alınıp şarj kontrol ünitesine iletilir. Şarj kontrol ünitesine gelen AC gerilim DC'ye dönüştürülerek batarya için gerekli olan enerji elde edilir. Şarj eden kısmın bileşenleri göz önüne alındığında; şarj ünitesi günümüzde benzin istasyonlarında kullanılan yakıt pompalarına benzetilebilir. Bu cihaz, EA ile şarj noktası arasında şarj olayının gerçekleşmesi, koruma, kontrol ve haberleşme ile bilgi alışverişini sağlar [43].



Şekil 2. 5 Şarj bileşenleri

Şarj için şebeke ile EA arasındaki enerji akışının güvenilir ve sağlıklı bir şekilde yapılması çok önemlidir. Bu yüzden Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC)/Avrupa, Otomotiv Mühendisleri Derneği (SAE)/ABD, Japon Elektrikli Araç Birliği Standartları (JEVS) ve Tokyo elektrik dağıtım şirketi (TEPCO) öncülüğünde kurulan hızlı şarj birliği (CHADEMO) gibi kuruluşlar öncülüğünde EA'ların şarj modları, elektriksel bağlantıları ve güvenlik konusunda uluslararası standartlar oluşturulmuştur. Bu standartlar EA'ların güvenilir biçimde şarj edilmesi için şarj ünitelerinin enerji ve güvenlik sınırlarını belirlemelerinin yanında EA'ların şarjı için şarj ünitesi ve EA arasında uygun fiş-priz bağlantı standartlarının da belirlemektedir. Günümüzde Türkiye'nin de dâhil olduğu IEC komisyonunun 61851 ve 62196 standartları, SAE'nin J1772 numaralı standardı ve CHADEMO'nun DC hızlı şarj standartları bulunmaktadır [44].

2.3.2 Şarj Seviyeleri

Şarj istasyonlarının seviyeleri, genel olarak yavaş, normal ve hızlı olmak üzere üç gruba ayrılır. Yavaş şarj istasyonları genellikle konutlarda ve araç park süresinin uzun olduğu yerlerde kullanılmaktadır. Normal şarj istasyonları otoparklar, alışveriş merkezleri ve araç park sürelerinin 3 ile 6 saat arasında olduğu yerlerde kullanılır. Hızlı şarj istasyonları ise araç trafiğinin yoğun olduğu yerlerde, acil enerji ihtiyacı duyulacak noktalarda kullanılmaktadır. Çizelge 2.3'te SAE ve IEC standartlarına göre şarj seviyeleri gösterilmiştir.

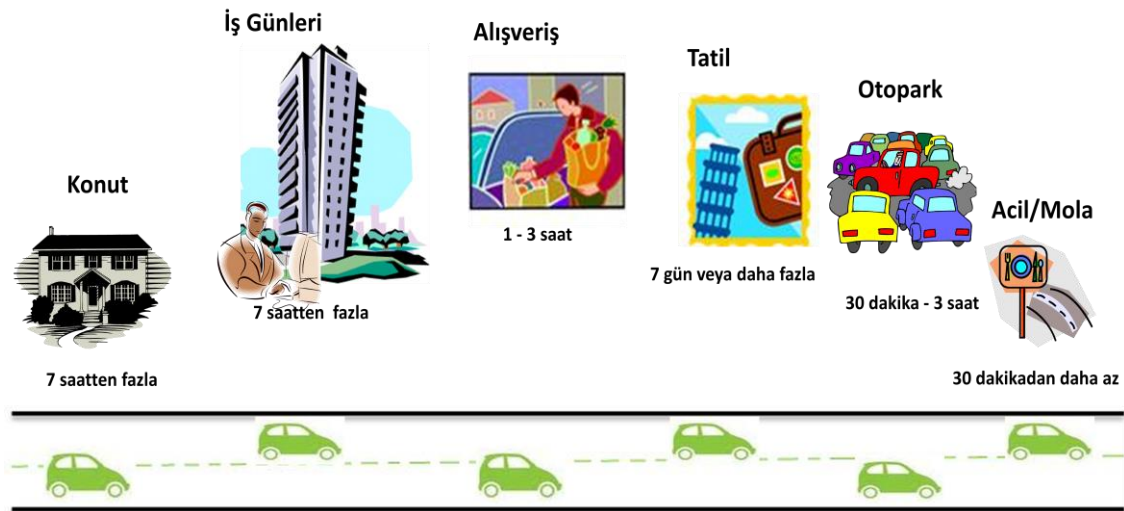
EA'lar çok farklı yerlerde farklı parklanma karakteristikleri gösterirler; bu yüzden araçların ortalama park etme alışkanlıkları bilinerek hangi şarj seviyesinin ihtiyacı karşılayacağı konusunda ön fikir sahibi olunabilir.

Çizelge 2. 3 Elektrikli araç şarj seviyeleri

SAE / IEC	Seviye	Faz	Gerilim(max.) (V)	Akım(max.) (A)	Güç (max.) (kW)
Level / Mode 1	Yavaş	1	120 V / 250	16 A / 16 A	1,9 / 4,0
Level / Mode 2	Normal	1	240 V / 250	80 A / 32 A	19,2 / 8,0
Level / Mode 2	Orta Hızlı	/ 3	/ 480	/ 32 A	/ 15,3
Level / Mode 3	Hızlı (AC)	/ 3	/ 480	/ 32/250 A	/ 15,3/120
Level / Mode 4	Hızlı (DC)	/	/ 600 (DC)	/ 400 A	/ 240

Kaynak: SAE-J1772-2009, IEC-62196

Şekil 2.6’da aracın bulunduğu konuma göre ortalama park süreleri verilmiştir. Konutlarda ve iş yerlerinde ortalama park etme sürelerinin benzer karakteristikte olduğu görülmektedir. Bunun dışındaki otopark ve alışveriş merkezi gibi konumlarda ise çeşitlilik göstermektedir. Buna bağlı olarak araç kullanım alışkanlıklarının bulunulan konuma göre farklılık gösterdiği ve farklı şarj seviyelerine ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2. 6 Araçların bulundukları konuma göre ortalama park süreleri

2.3.3 Elektrikli Araçların Şebeke Üzerine Etkileri

Konvansiyonel araçlara göre daha kısa menzil ve uzun şarj süreleri olan EA’ların, herhangi bir şarj problemi yaşamaması için, yaygın şarj istasyonu ağı kurulması gerekmektedir. Birçok noktada (özellikle dağıtım hatlarında) elektrik şebekesine bağlanacak olan şarj istasyonları, zaten artmakta olan elektrik talebinin artışıyla özellikle bölgesel olarak daha da hızlandıracaktır. Ancak bu etkilerin azaltılması için elektrik şebeke sistemlerinin yük talep eğrilerinin çıkarılması, EA yayılımı ve geleceğe yönelik

beklenen talep artışı ve kapasitenin teknik altyapı ile tahmin edilmesi gerekmektedir [45]. Bu kısımda ise karşımıza geleneksel şebeke sisteminden ziyade, sistemin ihtiyaçlarına göre hareket edebilecek ve ihtiyaçlara göre kullanıcıları yönlendirebilecek akıllı şebeke sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu sayede, EA'ların elektrik şebeke sistemine olası etkileri sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilir.

Yapılan çalışmalarda EA'ların şebekeler üzerine etkileri teknik ve ekonomik olarak iki kısma ayrılabilir. Teknik olarak şebeke üzerine etkileri; gerilim dalgalanmaları, frekans, kapasite, harmonik etkiler ve trafo ömrü vb. şeklinde sıralanabilir. Ekonomik olarak etkiler ise; yatırım giderleri, bakım maliyetleri, arz-talep denge piyasası, ömür hesaplamaları vb. gibi başlıklarda çalışmalar yapılmaktadır.

Araç yoğunlukları, şehir yaşıntısı, alışkanlıklar, elektrik altyapısı EA'ların şebeke üzerine etkilerinin araştırılmasında göz önüne alınması gereken çok önemli kriterlerdir. Yapılan çalışmalarda EA'ların şebekeye bağlanırken harmonik etkilerin belli sınırlar altında tutulması gerektiği ifade edilerek, enerji kalitesinin korunması için harmonik hesaplamalarının yapılarak kaçınıcı harmoniğin etkili olduğu bulunmalı ve gerekli tedbirler alınması gerektiği belirtilmiştir [12], [16], [46], [47]. Bunun yanında EA'ların çift taraflı enerji alışverişinin incelendiği birçok çalışma mevcuttur [7], [48], [49]. Bu çalışmalarda, enerji ihtiyacının yüksek olduğu zamanlarda şebekeye elektrik enerjisi verilmesi ve bu sayede pik yüklerin azaltılması amaçlanmıştır. EA'ların kontrollü ve kontrolsüz şarj olması durumlarında şebeke üzerine etkileri ise bir başka araştırma konusu olmuştur [10], [15], [50], [51]. Gerilim dalgalanmaları ve bunların en aza indirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar mevcuttur [52], [53]. Dağıtım sisteminin en önemli elemanlarından biri hiç şüphesiz trafolardır. Özellikle dağıtım trafoları, anlık yüklenmeler, ortam sıcaklıkları, aşırı ve uzun süreli yüklenme durumu gibi etkenlerden olumsuz bir şekilde etkilenmektedirler. Bu hususta yapılan birçok çalışmada EA'ların trafolar üzerine etkileri araştırılmış ve sonuçlar irdelenmiştir [54], [55].

EA'lar, kullanıldıkları yerler itibariyle genelde evlerde veya garajlarda, iş yerlerinde, şarj istasyonlarında veya açık otopark noktalarında şarj edilebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında EA'ların çoğunlukla dağıtım şebekesine bağlanacakları öngörülmektedir [56]. Yüksek enerji gereksiniminden dolayı EA'ların dağıtım sistemi üzerinde olumsuz etkilerinin olması beklenmektedir. Özellikle belli bölgelerde aynı zaman diliminde

birçok EA'nın enerji talebinde bulunmaları durumunda, beklenen olumsuz etkinin çok daha büyük olacağı öngörülmekte ve buna bağlı olarak önlem alınması gerekmektedir. Elektrik dağıtım şirketleri müşterilerine kaliteli bir elektrik enerjisi sunmak durumundadırlar. Bu bağlamda ani ve noktasal yüklenmelerden dolayı ortaya çıkabilecek enerji kalitesi problemleri (gerilim dalgalanmaları, fazlar arası dengesizlik, harmonikler vb.) [13], [57]–[59] hem enerji dağıtım operatörlerini hem de son kullanıcıları mağdur edebilecektir. Bu durumu incelemek ve çözüm üretmek amacıyla şarj altyapısı planlaması ve işletilmesinin çok iyi yapılması gerekmektedir.

2.4 Elektrikli Araç Şarj Altyapısı Planlaması ve Önerilen Metodlar

EA'ların yakın gelecekte çok yoğun kullanılması beklenmektedir. Bu yüzden hem beklenen yayılım oranına ulaşmak hemde beklentilere cevap verebilmek amacıyla EA şarj altyapısının optimal tasarımı ve uzun vadeli planlanmasına ihtiyaç vardır. Bu amaçla dünyada yapılan uygulamalar incelenmiş, hangi yöntemlerle nasıl çözümler üretildiğine değinilerek daha kapsamlı yeni bir çözüm önerisi bu çalışma kapsamında sunulmuştur.

EA'ların piyasada yoğun bir şekilde kullanılmasından önce şarj altyapısının hazır olması gerekmektedir. Bu bağlamda tüm dünyada yoğun bir çalışma mevcuttur. Özellikle şarj ünitelerinin konumu, boyutu ve şebeke üzerine etkileri öncelikli olarak incelenen konular arasındadır. Heng vd. ise doğrusal olmayan (non-lineer) çoklu amaç modelini oluşturarak şarj istasyonu yerleşimini önceden belirlenmiş noktalara yapmışlardır. Bu çalışmada, şarj seviyesi, sürücü profilleri, trafik yoğunluğu, şebeke sistemi ve bölgesel planlar hesaba katılarak amaç fonksiyonuna yerleştirilmiştir [20]. Başka bir çalışmada Andy vd., iki aşamalı bir model sunmuşlardır. Bu modelin ilk kısmında yolun trafik modeline ve taleplere göre hiyerarşik gruplar oluşturulmuştur. İkinci kısımda ise lineer programlama ile yatırım planlaması yapılarak şarj istasyonu optimizasyonu gerçekleştirilmiştir [21]. Seçilen bir bölgede Long vd. "Graf Teorisi"ni kullanarak şarj istasyonlarının optimum konumlandırılmasını ve boyutlandırılmasını yapmışlardır [22]. Frade vd., maksimum kapsama modeli ile şarj istasyonu konumlandırması yapmışlardır [23]. Liu, şarj istasyonu dağılımını farklı stratejiler uygulayarak Çin'in Beijing şehri için gerçekleştirmiştir [24]. Timothy ve Diego ajan (agent) bazlı karar verme metodu

kullanarak Chicagoland şehrinde seçilen bir bölge için şarj istasyonlarının dağılımını gerçekleştirmişlerdir [25]. Central-Ohio bölgesi için optimum şarj ünitesi dağılımı özel kullanımı maksimize etmek amacıyla Xi vd. tarafından yapılmıştır [33]. Kim ve Kuby yaptıkları çalışmada “Karma Tamsayılı Lineer Programlama (Mixed-Integer Linear Programming (MILP))” ile en kısa yol seçimi ile en uygun istasyon yerleşimi yapmışlardır [60]. He vd., büyük metropollerde ticari şarj istasyonu dağılımını statik oyun teorisi ile dinamik fiyatlandırma kullanarak yapmışlardır [26]. Shaoyun vd. ise şehir merkezi şarj istasyonu planlamasını yatırım giderlerini azaltacak ve ulaşımı kolaylaştıracak şekilde planlamışlar, son olarak kapasite optimizasyonunu ise KT ile yapmışlardır. Çalışmada araç yoğunluğu, şebeke sistemi yapısı ve kapasite kontrolleri yapılarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir [27]. Zhenpo yaptığı çalışmada ise, EA şarj istasyonları sayısını KT ile optimize edilmiştir [28]. Yukarıda bahsi geçen çalışmalar incelendiğinde birçok farklı yöntem ile şarj istasyonu kurulumu için çözümler üretilmiştir. Ancak üretilen çözümlerde baştan belirlenen kriterler kullanılarak sonuca gidilmiştir, ama farklı bir kriter eklenmesi veya değiştirilmesi durumunda sistemin adapte olabileceği bir çözüm önerisi sunulmamıştır. Trafik yoğunluğu, sürüş profilleri, ekonomik değerler, şebeke yapısı, otopark noktası vb. gibi etkenler şarj istasyonu planlamasında kullanılabilecek ve isteğe göre daha farklı kriterler de kullanılması gerekebilecektir.

2.5 Şarj Altyapısı Planlamasını Etkileyen Faktörler

Bu bölümde EA şarj ihtiyacının nasıl karşılanacağı ve gerekli altyapının hangi niteliklerde olacağını etkileyen başlıca faktörler ele alınmıştır. Bu amaçla öncelikle araç sürüş profilleri, ardından kısa ve uzun vadede beklentiler ve istatistiki araştırmalar, araç hareketleri, enerji sağlayıcılara olan mesafe, konum ve ulaşılabilirlik gibi etkenlerin detayları alt başlıklar halinde verilmiştir.

2.5.1 Sürüş Profilleri

Sürüş profili; araç kullanıcı tipleri, günlük yapılan ortalama kilometre, araç park etme alışkanlıkları, kullanılan araç türü ve yolculuk şekillerini (ev-iş, iş-ev, ev-okul, ev-alışveriş vb.) ifade etmektedir. Belirtilen durumların hepsi gerekli enerji ihtiyacını ve şarj seviyelerini doğrudan etkilediğinden öncelikle göz önüne alınması ve tasarım

planlamasının buna göre yapılması gerekmektedir. Örneğin, bir iş merkezinde, konutlarda veya otoparkta kullanım alışkanlıkları ülkeye, bölgeye, bulunulan merkeze göre değişiklik gösterdiğinden göz önünde bulundurulmalıdır. Bir şehirde otoparklarda ortalama park süresi 3 saat olabilir. Bu veri şarj istasyonları koymak istenilen yerde kullanılırsa sakıncalıdır. Uzun park süresi olan (6-8 saat gibi) bir otopark ile bir saatten az bir süre ortalama park süresi olan otoparkın aynı değerlendirilmesi anlamına gelir ve konulacak şarj ünitelerinin ihtiyacı karşılamayacağı öngörülemez. Bu ve benzeri problemlere sebep olmamak için her bölge için en azından bir defaya mahsus o bölgenin sürüş profili hazırlanmalıdır.

2.5.2 Gelecek Tahminleri ve İstatistikî Araştırmalar

Bu bölüm, teknik ve sosyal beklentiler olarak iki başlık altında incelenebilir. Teknik beklentiler, EA'yı kavramsal olarak oluşturan ürünlerde beklenen teknolojik gelişme, yapılacak planlamaların uzun vadeli ve sürdürülebilir olmasını sağlayacaktır. Örneğin batarya, enerji yoğunluğunun, şarj-deşarj çevriminin artırılması ve ağırlığının azaltılması gibi faktörler, altyapı tasarımını doğrudan etkileyecektir. Bunun yanında, araştırma ve istatistik merkezleri tarafından yapılacak olan anketler sonucunda, kullanıcı beklentileri ve eğilimleri de kısa ve uzun vadeli yatırımları etkileyecek ve beklentilere cevap verecek şekilde planların güncellenmesi gerekebilecektir. Örneğin İstanbul'da, yaklaşık 1000 araç kullanıcısı ile gerçekleştirdiğimiz araştırma sonuçlarına göre; araç kullanıcılarının çok büyük bir kısmı eğer dizel araç fiyatları ile EA fiyatları aynı olursa EA alma eğiliminde olduklarını belirtmişlerdir [61]. Ancak yeterli altyapı ve servis ağı olması gerektiği, aksi takdirde EA'ların tercih edilmeyeceğini ifade etmişlerdir. Bu yüzden teknik ve sosyal beklentiler göz önüne alınmadan yapılacak bir altyapı tasarımı hem eksik hemde beklentileri karşılayamayacak düzeyde olacaktır.

2.5.3 Araç Hareketlilikleri

Şarj altyapısının makro planlamasında (bir ülkenin veya büyük bir şehrin) araç hareketleri çok önemli bir yer tutmaktadır. Şöyle ki araçların hareket saatleri, yönleri, yolculuk türleri ve yolculuk sayıları yapılacak optimal planlamayı etkilemektedir. Söz konusu veriler ışığında gece-gündüz şarj planlaması, şebeke sisteminin yeniden tasarımı yapılarak mevcut taleplerin karşılanması bu sayede sağlanabilir.

2.5.4 Trafo Merkezlerine Mesafe

Yatırım maliyetleri ve enerji kaybının azaltılması amacıyla planlamalar yapılırken trafo merkezlerine (TM) yakınlık çok önemli bir konuma gelecektir. Amaç fonksiyonu yazılırken yatırım maliyeti ve şebeke üzerindeki kayıplar en aza inecek şekilde düzenleme yapılabilir. Bunların yanında TM'ne yakın olmasıyla, çok miktarda EA'ya aynı anda hizmet verebilmesi ve enerji kalitesinin minimum etkilenmesi sağlanabilir. Ayrıca yüklenme eğrilerine göre her bir trafonun sağlayabileceği maksimum güç sınırı ve izin verilen gerilim dalgalanması gibi teknik konularda mesafenin önemi daha çok artmaktadır.

2.5.5 Konum

Şarj altyapısı tasarımındaki bir diğer önemli unsur ise şarj ünitelerinin konumlandırılacağı yerdir. Çünkü kullanıcıların rahat, hızlı ve güvenilir şekilde şarj istasyonuna ulaşmaları beklenmektedir. Bunun yanında hizmet sağlayıcıların da kurulum maliyetlerini azaltacak, kolay ulaşılabilir ve güvenilir yerleri seçmeleri konumun önemini daha çok arttırmaktadır. Şarj altyapısı planlamasında konum karşılaştırmalarında başlıca önemli hususlar şöyle sıralanabilir;

- Mevcut kullanım alanlarının kesişim noktalarında bulunması
- Ulaşılabilirlik
- Otopark ve akaryakıt istasyonları gibi noktalarda veya bu istasyonlara yakın olması (alışkanlıklara uygun olması ve mevcut otoparklar kullanılarak yer probleminin en aza indirilmesi)
- Güvenilirlik
- Trafo merkezlerine veya enerji iletim hatlarına yakın olması

2.5.6 Diğer Faktörler

Arazi maliyetleri, yatırım bütçesi, ödeme ve kontrol sistemi, genişletilebilirlik, mevcut şarj ünitesi bulunan noktalar vb. gibi faktörler, kapsamlı bir şarj altyapısı planlanmasında göz önünde bulundurulması gereken diğer faktörlerdendir.

2.6 Elektrikli Araçların Şarjı

Alternatif enerjili ulaşım araçları ile fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılması ve çevresel duyarlılığın artırılması mümkün olabilecektir [62]–[64]. Özellikle son yıllarda EA'lara ilgi artmış ve birçok büyük araç üreticisi günümüz kullanıcısının ihtiyaçlarını karşılayacak yeni nesil EA üretimine başlamışlardır [65]. 2013 yılında gelişmiş ülkelerdeki EA'nın toplam araçlar içindeki payı yaklaşık %1 seviyelerine yaklaşmış olsada, aynı yıl için EA satışı %220'nin üzerinde artmıştır [36]. Teknolojik gelişmeler ve önceki bölümlerde belirtildiği gibi ihtiyaca uygun EA şarj altyapısının kurulmasıyla gelecek yıllarda bu artışın katlanarak devam edeceği beklenmektedir. EA'lar hareket için elektrik enerjisine ihtiyaç duyarlar ve bu yüzden belli periyodlarla şarj edilmeleri gerekmektedir. Batarya boyutu ve menzil problemlerinden dolayı araç kullanıcıları normal alışkanlıklarını değiştirerek hemen hemen hergün EA'larını şarj etme durumunda kalacaklardır. Çok büyük oranda EA'nın, piyasada olması ile gerekli şarj ihtiyacının karşılanması için daha fazla elektriğe ve santrale ihtiyaç duyulabilecektir [66], [67]. Özellikle araç yoğunluğu fazla olan büyük şehirlerde günümüz yaşam tarzının benzer olması dolayısıyla EA'ların şarj ihtiyaçlarını aynı zaman dilimlerinde talep edeceği gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bu durum aynı anda çok büyük şarj talebinin karşılanmasının zorluğunu ve zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Yapılması gereken, şebeke sisteminin çökmesine veya bozulmasına neden olmadan, her kullanıcıyı memnun edecek akıllı şarj yönetim sisteminin şimdiden hazırlanmasıdır.

2.6.1 Akıllı Şarj Yönetimi

Günümüzde sürücülerin araç kullanım alışkanlıkları incelendiğinde kullanılan araçların tüm zamanın %90'ından fazlasında park halinde bulundukları görülmektedir. Yüksek orandaki park süreleri, çok geniş bir zaman diliminde şarj yönetimi fırsatı olduğunu göstermektedir. Geleneksel bakış açısı EA'ların gece şarj edilmelerini önermektedir. Söz konusu yaklaşım doğru olmakla birlikte, %90'ın üzerinde bir zaman diliminde park halinde bulunan araçların sadece gece şarj edilmesi sınırlayıcı bir bakış açısını ortaya koymaktadır. Sadece evde değil, işte, okulda, alışverişte, tatilde veya piknikte EA'ların şarj edilebilmesi mümkün olduğu takdirde ancak EA'ların yaygınlaştırılması

sağlanabilecektir. Bahsi geçen bu uzun süreli parklanma ile EA'ların bulundukları konuma göre en uygun şekilde şarj edilmelerini sağlamak mümkün olabilecektir.

EA'ların yalnızca şarj edilmesi değil yakın gelecekte çift yönlü enerji alışverişinin (araçtan-elektrik şebekesine (V2G (vehicle to grid)), araçtan-araca (V2V (Vehicle to vehicle)) veya araçtan-eve (V2H (vehicle to home)) [68]) mümkün olmasıyla birlikte EA'lar, hareketli enerji kaynağı gibi davranabilecektir. Hatta EA'lar bir sistem yöneticisi sayesinde kontrol edilerek gerekli optimizasyonlar yapıldığında, EA'ların büyük santraller kadar sisteme enerji verebilme imkanı olacaktır. Bu durumda EA'lar elektrik piyasasının yeni aktörlerinden biri olabilecektir. Tezde önerilen sistem yukarıda bahsedilen sistemlerin altyapısını oluşturarak, muhtemel senaryoların uygulanmasına imkân sağlamıştır.

EA'lar şarj olurken şebekeden enerji alırlar ve diğer elektrik makineleri gibi yük olarak davranırlar. Deşarj edilirken ise şebekeye enerji sağlarlar ve güç santralleri vb. elektrik sağlayıcıları gibi davranırlar. Her iki durum için de, EA'ların entegrasyonunun şebeke üzerinde çeşitli etkileri olacaktır. İlk olarak, EA'ların gelişimi ve kullanımı ile birlikte mevcut elektrik şebekesinin güvenilirliği ve kapasitesinin yeterliliği üzerine kaygılar artmaktadır. Artan EA kullanımına bakılarak, pik zamanlarda kapasite sorunu yaşayan mevcut elektrik şebekesine ek yükler getireceği ve özellikle bölgesel bazda yoğun şarj taleplerinin şebeke sistemine olumsuz etkilerinin olacağı şimdiden tahmin edilebilir. Bu durumda sorunun analizine dair literatürde çoğunlukla bahsedilen 3 adet şarj yönetim uygulaması ortaya çıkmaktadır [52]–[54], [56], [69]–[74]. Bunlar;

1- Kontrolsüz şarj: EA'ların herhangi bir kontrole maruz bırakılmadığı, isteğe göre istenilen şekilde araçların şarj edilebildiği, hiçbir yönetim sisteminin bulunmadığı tekniktir. Örneğin, EA kullanıcıları akşam eve geldiklerinde araçlarını şarj etmeye başlarlar. Bu durum akşam pik talebiyle birleşince şebeke sisteminin maruz kalacağı uzun süreli aşırı yüklenme, şebeke sisteminin tamamen çökmesine veya kesintilere sebep olabilecektir.

2- Kontrollü şarj: Bir önceki bölümde bahsedilen şekilde EA kullanıcıları aynı zaman diliminde araçlarını şarj ederlerse (gece (off-peak)), bu durumda gece pik yüklenmelerinin oluşmasına sebep olabilecektir. Bu uygulama, İstanbul gibi çok büyük

metropollerde hem teknik açıdan hemde fiziksel olarak uygulanması çok zor görülmektedir.

3- *Akıllı şarj*: Bu durum şebekenin yüklenme eğrisini kontrol edebilecek, araç kullanıcılarının şarj taleplerini dikkate alabilecek ve uzun parklanma sürelerini değerlendirerek sistemde optimal bir şarj kontrolü sağlayabilecektir. Bunun yanında EA'lardaki V2G özelliğinin akıllı şarj yönetim sistemi ile kullanılmasıyla birlikte, birkaç yıl sonra ortaya çıkması beklenen ani puant yük talebinin karşılanamaması sorununa kısmi çözüm olabileceği beklenmektedir. Ayrıca, EA kullanıcıları da dinamik fiyatlandırma sayesinde çok düşük ücret karşılığında araçlarını şarj edebilecek, puant zamanlarda enerji satışı gerçekleştirerek ekonomik kazanç sağlayabileceklerdir. Bunun yanında elektrik üreticileri de yeni enerji santralleri kurmaya ihtiyaç duymadan daha fazla enerji satabileceklerdir. Bu durum, EA sahipleri ve elektrik şebeke sistemi için çift taraflı kazanç elde edilmesine olanak sağlayabilecektir.

2.6.2 Akıllı Şarj Yönetimi İçin Önerilen Metodlar

Tüm dünyada EA'lara olan ilgi sürekli artmakta ve gelecekte de bu ilginin artarak devam etmesi beklenmektedir [75]. Çevre duyarlı olan EA'ların yaygın kullanıma geçebilmesi için aşılması gereken temel problem elektrik şebekesinin bu yeni duruma verimli ve çevreci biçimde hazırlanmasıdır. EA kullanımının artması ile beraber dağıtım sistemi üzerindeki gerilim düşümü olacağı ve enerji kayıplarının artacağı da bir gerçektir. Bu amaçla EA şebeke entegrasyonu, şarj altyapısı ve EA'lara dayanan akıllı şebeke uygulamaları ile akıllı şarj yönetiminin oluşturulması gerekmektedir. Son yıllarda EA akıllı şarj yönetim stratejileri ve enerji depolama üniteleri olarak kullanılmasıyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır [58], [76]–[79]. Bunun yanında EA'ların ekonomik ve çevresel faktörlerin analiz edildiği akıllı şarj uygulamalarında mevcuttur [53], [73]–[75]. Bir diğer çalışma konusu ise EA bataryalarının yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek enerjinin depolanmasında kullanılması ile EA şarj ihtiyacında kullanılması ve bu sayede pik yüklerinde azaltılmasını amaçlayan birçok çalışma vardır [9], [64], [66], [83].

Steen vd. yaptıkları çalışmada kullanıcı türüne göre (emekli/işsiz, filo/şirket, şahsi/özel kullanım) kontrollü (gece şarj), kontrolsüz ve akıllı şarj şeklinde farklı senaryoların

analizi yapılmıştır [18]. Elde edilen sonuçta kontrolsüz şarj durumunda EA'lar pik yüklerin artmasına sebep olmuş, kontrollü gece şarj durumunda ise önceden olmayan yeni pik değerler oluşmuş, akıllı şarj durumunda ise ancak istenilen sonuçlar elde edilmiştir. Bir başka çalışmada ise EA oranının % 0-100 arasında değişimlere bağlı olarak dağıtım sistemine olan etkilerin en aza indirilmesine çalışılmış, iki farklı senaryo ile (kontrollü ve kontrolsüz şarj) elde edilen sonuçlar analiz edilmiş ve kontrollü şarj durumunda EA'ların şebekeye etkilerinin en aza indirilebileceği belirtilmiştir [20]. Diğer bir çalışmada ise farklı bir yaklaşım ile gece şarj istasyonlarına enerji depolanması (bataryalar yerleştirilerek) ve gündüz şarj ihtiyacının bu sayede karşılanmasının ekonomik ve şebeke sistemi üzerindeki olumlu etkileri tartışılmıştır [84]. Aynı çalışmada bataryalı şarj istasyonlarının hazneli pompalı sistemlere göre daha ekonomik olduğu, istenilen noktalara kolayca yerleştirilebileceği, pik yüklerin azaltılabileceği ve bu sayede ekonomik girdinin sağlanabileceği belirtilmiştir. Bir başka çalışmada Kevin vd., lokal ve global EA şarj kontrol stratejisi karşılaştırması yapmışlardır. Kontrol stratejileri OMNeT++ adlı programda geliştirilmiştir. Yapılan çalışma Belçika standartlarına göre dizayn edilmiş ve farklı oranlarda EA şebeke sistemine bağlanması durumunda lokal ve global pik yük artış durumu karşılatırılmıştır. Elde edilen sonuçta %30 EA olması durumunda kontrolsüz senaryoda pik yük %50 artarken, lokal şarj kontrol stratejisinde pik yük %26 azaltılmış, global kontrol stratejisinde ise %27,04 oranında pik yük azalması sağlanmıştır. Sonuç olarak talep yönetimi sayesinde yükler kontrol altında tutularak pik yüklerin artması önlenmiştir [85]. Başka bir çalışmada ise şebeke sistemi elemanlarının tümü (TSO, DSO, SO) enerji iletiminden, dağıtımından ve enerji arz-talep dengesinden sorumlu oldukları belirtilmiştir. EA'ların çift yönlü enerji alış-veriş yapması durumu ele alınmıştır. Enerji talebinin yüksek olduğu zamanlarda EA kullanılarak (otoparklardaki veya iş merkezlerindeki) pik yüklerin bu sayede karşılanması hedeflenmiştir. Çalışmada Almanya ve İsviçre için yapılmış ekonomik analiz gerçekleştirilmiştir [31]. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda her bir EA için Almanya'da aylık 30–80 € arasında kazanç elde edilirken, İsviçre'deki farklı elektrik piyasa yapısından dolayı herhangi bir kar elde edilememiştir. Elde edilen sonuçlar, yapılacak çalışmaların ülkenin teknik-ekonomik ve sosyal yapısına uygun şekilde dizayn edilmesi gerekliliğini göstermiştir. Shane ve arkadaşlarının çalışmalarında, bir katlı otoparkın modellemesini yaparak araç hareketlerine göre farklı senaryolar altında

ihtiyacı karşılamak için gereken trafo gücünü hesaplamışlardır [86]. Çalışmada SAE J1772 standartlarına göre çift çıkışlı level-2 şarj cihazı seçilerek, kablo boyut ve kesit hesabı yapılmıştır. EA'ların batarya şarj seviyeleri (% SOC) Monte Carlo yöntemi ile rastgele bir şekilde belirlenmiştir. Daha sonra, her bir kablo üzerine 2 ile 14 arasında değişen şarj istasyonu konumlandırılarak 500 adet örnekleme yapılmıştır. Sonuçta, maksimum yüklenme 438 A ve her bir cihaz için 31,31 A olarak bulunmuştur. En kötü senaryoya göre 369 kVA'lık bir trafo veya en kötü senaryonun %60'ı oranında olacak şekilde normal senaryoya göre 220 kVA'lık trafonun yeterli olabileceği belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda ise, 50 araçlık şarj istasyonu için 230 kVA'lık bir trafonun yeterli olacağı sonucuna varılmıştır. Başka bir çalışmada Danimarka'nın Bornholm adası üzerinde kontrolsüz ve akıllı şarj stratejileri üzerine araştırma yapılmıştır. Kontrolsüz şarj durumunda mevcut sistem %10 oranında EA girişine müsaade edebilirken, akıllı şarj yönetimi sayesinde bu oran %40 seviyelerine çıkabileceği belirtilmiştir [87]. Bu çalışmada DigSilent programı kullanılarak modellemeler ve senaryolar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada esas alınan değerler; gerilim profili, hat yüklenmeleri, trafo yüklenmesi ve sistem kayıplarıdır. EA şarj profili ise şarj kapasitesi 2kW, 5kW ve 10kW olarak 3 ayrı moda ayrılarak, kontrollü ve kontrolsüz şarj olarak iki kısımda inceleme yapılmıştır. Kontrolsüz şarj modunda hızlı şarj sistemine genelde taksiler ve iş için kullanılan araçlar ihtiyaç duymaktadırlar. Hazırlanan senaryoda araçların %55'inin gece 22:00 ile sabah 07:00 arasında park halinde olduğu, %45'inin ise gündüz 07:00 ve akşam 22:00'ye kadar kullanıldığı belirtilmektedir. Akıllı şarj durumu için ise %75 22:00-07:00 arasında (off-pik zamanda), geri kalanı (%25) ise 07:00–22:00 arasında kullanılmaktadır. DigSilent programında fiderlerde meydana gelen değişim incelenmiş, bazı hatlarda aşırı yüklenme meydana gelmiş, bazılarında ise önemli bir değişim olmamıştır. Trafo yüklenmelerinin ise IEEE C57.91 standardına uygun olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Yukarıda literatürde geçen farklı birçok çalışmanın özeti veilmiştir. Ancak bu çalışmaların birçoğu teorik öneriler ve analizler olmaktan öteye geçememiştir. Örneğin, referans [22]'de "*Graf Teorisi*" ile park yerleri düğüm noktası, yollar ise dal olarak belirlenmiş ve "*Floyd Algoritması*" kullanılarak park yerlerine en yakın şarj istasyonları belirlenmiştir. Ancak bu çalışmada hattın uygunluğu ve park yerinin kapasitesi göz

önünde bulundurulmamıştır. Referans [18]'de demografik veriler kullanılarak sürücü profilleri belirlenmiş ve EA şarj istasyonlarının konumlandırılması bu yöntemle gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada demografik verilere dayalı analizler gerçekleştirilirken buna dayalı akıllı şarj yönetimi yapılmamıştır. Referans [88]'de kontrollü ve kontrolsüz şarj stratejileri oluşturulmuş, bu stratejilere göre dağıtım sisteminin yüklenme durumları karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ise araç sürücüsün zaman kaybı ve maddi kayıpları göz önünde bulundurulmamıştır. Yapılan tez çalışmasında ise, literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak, elektrik şebekesi, demografik veriler ve en kısa yol algoritması dikkate alınarak akıllı şarj yönetimi gerçekleştirilmiştir.

2.6.3 Araç Rotalama ve En Kısa Yol Problemi

Yakın gelecekte yoğun kullanılması beklenen EA'ların doğru yönlendirme ile şarj stratejilerinin belirlenmesi, EA'ların yaygın kullanılabilmesi için çalışılması gereken konuların başında gelmektedir.

Araç rotalama problemi (ARP); sürücüler, yolcu ve mal taşınması sırasında talebe göre en uygun rotayı bulan klasik optimizasyon problemidir. Çoğu durumda ARP modeli, tamsayılı veya karışık tamsayılı lineer programlama ile formüle edilir [89]–[91] ve karmaşık gerçek dünya uygulamalarından dolayı sürekli olarak, kısıtlar ve problemin şekli değişmektedir. Bu yüzden ARP NP-zor yapıda problem olarak tanımlanır [92]. NP-zor yapıda olmasından dolayı küçük boyutta problemlerin kesin çözümüne ulaşması kolay olurken, büyük boyutta, karmaşık problemlerin kesin çözümüne ulaşması çok zor olmaktadır. Bu soruna çözüm bulmak amacıyla yapılan çalışmalarda meta-heuristik çözüm yöntemleri geliştirilerek kesin çözüme yakınsama ile sonuca ulaşılmaktadır [93]. ARP, literatürde çoğunlukla malların depodan müşteriye ulaştırılmasının çeşitli kriterler altında yerine getirilmesiyle ilgilenen problemler olarak bilinir [94]. Ancak bu yaklaşım sadece mal-depo-müşteri üçlemine kapsamaz ve birçok farklı geniş alanda uygulamaları vardır. Örneğin; personel veya okul servis güzergâhlarının belirlenmesi, çöp toplama, posta/gazete/evrak dağıtımı, toptancılardan perakendecilere mal ulaştırılması, uçuş rotalarının belirlenmesi vb. şeklinde çeşitli ARP uygulamaları vardır. ARP birçok farklı amaç ve kısıtlar altında en doğru rotayı belirleyebilmektedirler. EA'ların da şarj istasyonuna en kısa süre veya en kısa yol ile ulaşması gerekmektedir. Bu yüzden ARP,

EA şarj talebinin karşılanması için en uygun rotanın bulunması ve kullanıcının bilgilendirilmesi amacıyla kullanılması gereken bir optimizasyon yönetimidir.

Kısa menzil problemi, uzun şarj süresi ve şarj istasyonu altyapı yetersizliğinden dolayı EA kullanıcıları için doğru rotalama çok önemlidir. Bu amaçla yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda çoğunlukla sezgisel yaklaşımlarla istenilen sonuca yakınsama yoluyla gidilmektedir. Erdogan ve Miller-Hooks yaptıkları çalışmada, EA'lar için sınırlı enerji kapasitesi ve sınırlı sayıda şarj istasyonu bulunması durumunu dikkate alarak rotalama işlemi yapmıştır. Bu çalışma MILP ile formüle edilmiş ve Clarke & Wright tasarruf algoritması ile çözülmüştür. Toplam yolculuk süresi örnek olaylarda en aza indirilmiştir [89]. Omidvar and Tavakkoli yaptıkları çalışmada, EA'ların mesafe, zaman ve emisyon miktarlarının en aza indirilmesi amaçlayarak, zamandan bağımsız araç rotalama yapmışlardır [90]. Bu çalışmada dinamik rotalama yöntemi kullanılmadan statik trafik verileri kullanılarak örnek olaylar çözümlenmiştir. Diğer bir çalışmada ise klasik ARP problemlerinden farklı olarak yakıt tüketiminin azaltılmasının yanında emisyon miktarının da azaltılmasına yönelik kapsamlı bir araştırma yapılmıştır [95]. Bir diğer çalışmada ise yeşil araç rotalama yöntemi şehir merkezi için tanımlanmış ve non-linear optimizasyon problemi yapay sinir ağları kullanılarak çözüm önerisi sunulmuştur [96].

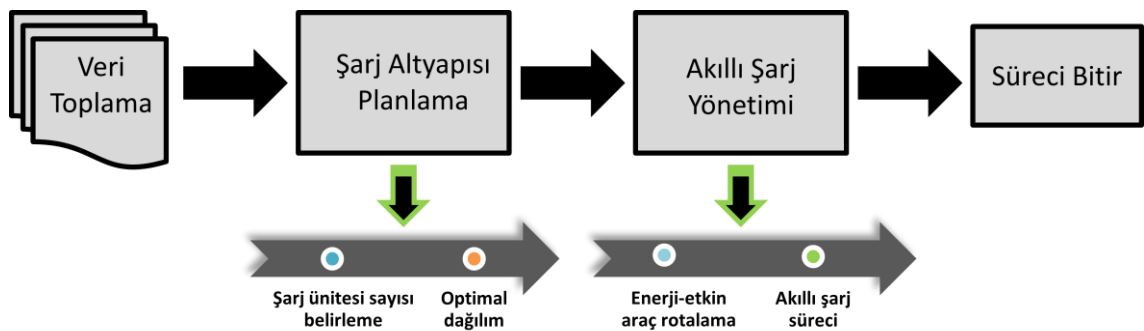
Sürekli değişen konum ve trafik verilerinden dolayı, araç rotalama dinamik bir şekilde güncellenerek yenilenmelidir. Sürekli değişken veriler ve tek bir problemin optimal çözüme ulaşmasındaki zorluk, bu problemlerde sezgisel yaklaşımların yoğunlukla kullanılmasına neden olmuştur. Ancak, sezgisel yaklaşımlarla yapılan çözümlerde çoğunlukla belirli ARP yapıları çözüme kavuşturulmuştur. Ancak, farklı ve büyük çaplı problemlere çözüm bulunmasında sorunlar yaşanmıştır. Bundan dolayı daha güçlü çözüm önerisi sunmak amacıyla günümüzde birçok ARP'lerde matematiksel programlamanın yanında yapay sinir ağları ile de problemlerin çözümü desteklenmektedir [96].

Akıllı şarj sistemlerinin uygulanması için birçok farklı yöntem kullanılabilmektedir. Bahsi geçen yöntemlerin uygulamaları ve modelin oluşturulması, gelecek bölümlerde detayları ile aktarılacaktır. Bir sonraki bölümde EA'ların şarj altyapısının planlaması ve optimizasyonu anlatılacaktır.

ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ALTYAPISI PLANLAMASI VE OPTİMİZASYONU

3.1 Problemin Tanımı

Konvansiyonel araçların ortalama yakıt alma süreleri birkaç gün ile bir hafta arasında değişmekte iken EA'lar yetersiz batarya boyutundan dolayı çok daha sık bir şekilde şarj olmaları gerekmektedir. Bunun yanında, EA şarj işlemi konvansiyonel araçların yakıt dolum sürelerine göre çok daha uzundur. Bu yüzden EA taleplerini karşılayacak etkin bir şarj altyapısı planlaması gerekmektedir. Etkin bir planlama yapılırken EA'ların şarj istasyonlarını çok sık kullanacak olmaları ve uzun şarj süreleri hesaba katılmalıdır. Bunun yanında belirlenen bir bölge için araç sürüş profilleri ve elektrik şebeke altyapısı göz önünde bulundurulmalı ve optimal planlama gerçekleştirilmelidir. Bu bağlamda hazırlanan tezde kapsamlı çözüm önerisinin akış süreci Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Şekilde gösterilen kısmın ilk aşaması olan şarj altyapısı planlaması detayları ile bu bölümde anlatılmıştır.



Şekil 3. 1 Önerilen yapının akış süreci

3.2 Şarj Altyapısı Planlaması İçin Önerilen Model

Kapsamlı bir şarj altyapısının tasarlanabilmesi için sürüş profilleri, araç karakteristikleri ve enerji ihtiyacı gibi temel veriler ışığında en uygun noktaya, kaç adet ve hangi seviyede şarj ünitesi koyulması gerektiğinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

Bu amaçla önerilen modelde KT ve AHS modelleri birlikte kullanılarak yukarıda belirtilen soruna kapsamlı bir çözüm önerisi sunulmaktadır. KT kullanılarak EA'ların uzun şarj süresinden dolayı sırada beklemeleri minimize edilebilirken, AHS sayesinde şarj istasyonlarının yerleri kuruluş amaçlarına göre kriterler istenildiği kadar artırılıp azaltılabilir ve elde edilecek sonuçlara göre şarj istasyonu noktaları kolaylıkla güncellenebilir. Önerilen bu model ile literatürdeki diğer metodlara göre daha esnek, verimli ve amaçlara göre güncellenebilme olanağı kolaylıkla sağlanmaktadır. Bu amaçla gelecek bölümde KT, AHS konuları incelenmiş ve önerilen birleştirilmiş modele yer verilmiştir.

3.2.1 Kuyruk Teorisi

Yöneylem araştırması; daha iyi karar vermeye yardımcı olmak amacıyla ileri analitik yöntemlerin uygulanması disiplini olarak tanımlanabilir. Yöneylem araştırmasında bekleme hattı kuyruk olarak adlandırılır. Bekleme günlük yaşamın her alanında karşılaşılan bir olaydır. Örneğin banka gişelerinde bekleyen insanlar, marketlerde ödeme yapmak isteyenlerin kasada oluşturdukları kuyruklar, hastanedeki hasta kuyrukları, araçların petrol istasyonlarında bekleyişleri vb. Bu kuyrukların oluşum nedeni hizmete olan talebin, hizmet biriminin kapasitesini aşmasıdır.

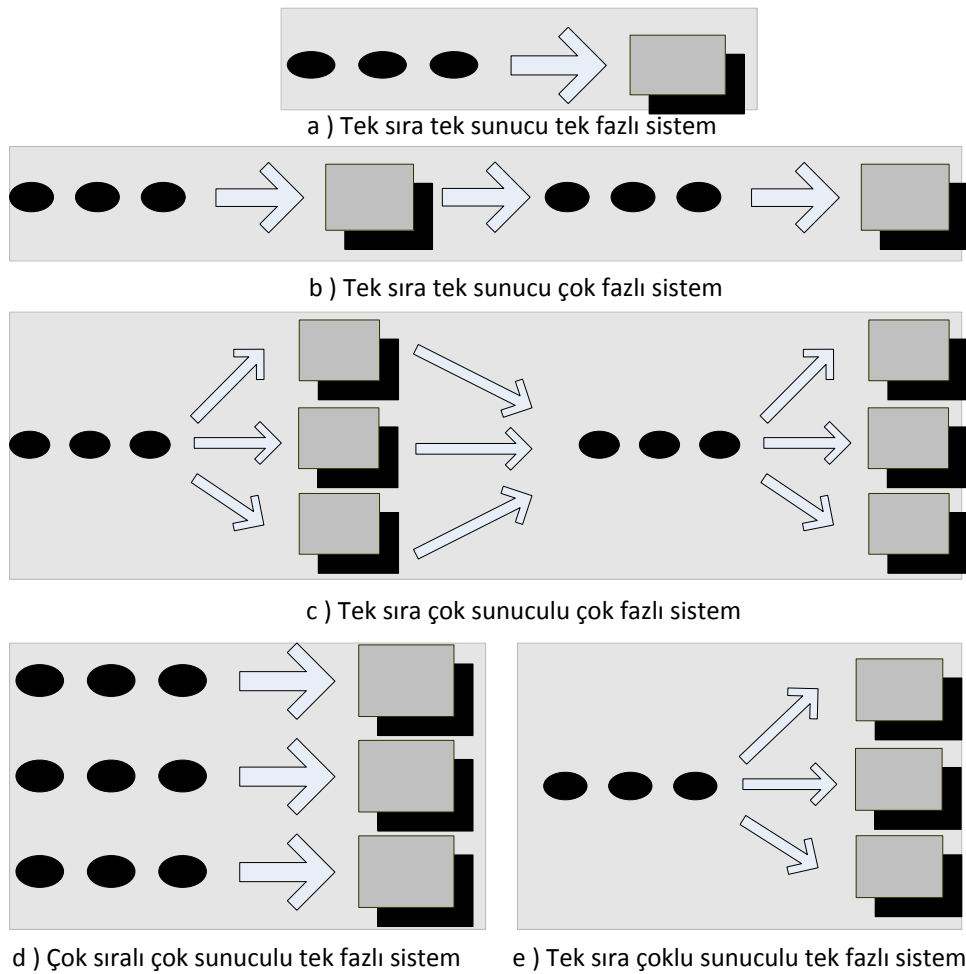
Stokastik süreçlerin en geniş kullanım alanına sahip olanı KT, şarj talebi ve farklı sürüş profillerinden dolayı bu çalışmada kullanılabilir. KT ile birçok gerçek-hayat kuyruk problemi matematiksel olarak modellenenebilir [97]. Şarj istasyonları da aynen petrol istasyonları gibi servis hizmeti veren yerlerdir. Şarj talebi poisson dağılımına benzer ve sürücü (müşteri) girişleri ise negatif exponansiyel dağılıma sahiptir [28]. EA'ların bir olumsuz özelliği olan uzun şarj sürelerinden dolayı, şarj talebinden doğacak sıranın minimum yapılması amacıyla bu çalışmada KT kullanılmıştır.

Petrol istasyonlarındaki gibi, şarj servis talebinde her bir müşteri en az bekleyecek şekilde planlanması gerekmektedir. Şarj istasyonları tarafından sürücülerin sırada

bekleme süresini en aza indirecek şekilde düzenleme yapılmalıdır. Bu yaklaşım, tasarım sırasında şarj istasyonları yapıları itibariyle birtakım karakteristik özelliklere sahiptirler [28], [98];

- Şarj istasyonları için EA'lar gelişigüzel ve sınırsız bir kaynak oluşturan özelliğe sahiptirler.
- Sürücü karakteristikleri farklıdır, bu yüzden batarya şarj seviyesi ve şarj süreleri her araç için farklılık gösterir.
- Herbir şarj ünitesinin verimi ve servis kapasiteleri aynıdır.

Yukarıda belirtilen özellikler, şarj istasyonlarının KT ile modellenmesi için gerekli ve yeter değere sahiptir. Birçok farklı şekilde kuyruk modellemesi yapılabilmektedir. Bunlar; servis sayısına göre, sıra sayısına göre ve faz sayısına göredir [97]. Bahsi geçen kuyruk modelleme türleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 2 Kuyruk modelleri

Bu çalışmada şarj istasyonu servisi; tek faz, tek sıra, çoklu sunucu KT modeli olarak kurulmuştur (M/M/s). Belirtilen modelde tek faz seçilmesinin sebebi, araçların sadece tek işlem şarj veya deşarj işlemi gibi seçimleri olmalarından dolayıdır. Bunun yanında, tek sıra seçilmesinin nedeni ise yerleşke yaşam tarzı olan yerlerde genelde tek bir kapıdan giriş ve çıkış yapılmaktadır. Seçilen yerleşke de bu yapıda olduğundan dolayı tek sıra modeli seçilmiştir. Son olarak modelin çoklu sunucu seçilmesinin sebebi ise giriş kapısından geçtikten sonra farklı park noktalarında şarj ünitelerinin bulunmasından dolayı kullanıcı herhangi birini seçme şansına sahip olmasıdır. Bu şekilde bir model kurulabilmesi için bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bu kabuller;

- Herbir şarj istasyonuna birbirlerinden bağımsız şekilde sınırsız EA gelmektedir.
- EA'lar şarj istasyonuna poisson dağılımına uygun geliş yapar ve negatif exponansiyel dağılım şeklinde bir çıkış sergilerler.
- Herbir EA kuyruğa girmeyi kabul eder ve kuyruktan ayrılmaz.

Yukarıda bahsedilen ve kullanılan KT (M/M/s) model formülasyonları aşağıda verilmiştir [99]. Sistem yoğunluğu ifadesi;

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (3.1)$$

Burada λ birim zamanda ortalama giriş yapan EA yoğunluğunu, s ise şarj ünitesi sayısını, μ ortalama şarj süresini ve ρ ise sistem yoğunluğunu ifade eder. λ ve μ istatistiksel çalışmalardan elde edilen verilerdir. Şarj istasyonu boş olma olasılığı ise aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir,

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^s}{s!} \left(\frac{1}{1-\rho} \right) \right]^{-1} \quad (3.2)$$

Burada P_0 sistemde hiç EA bulunmama olasılığını verir. Kuyrukta bekleyen EA sayısının ifadesi ise eşitlik (3.3)'teki gibidir;

$$L_q = \frac{P_0 (\lambda / \mu)^s \rho}{s!(1 - \rho)^2} \quad (3.3)$$

Burada L_q , kuyrukta bekleyen ortalama EA sayısını verir. Kuyrukta ortalama bekleme süresi ise eşitlik 3.4'teki gibi ifade edilir,

$$W_q = \frac{L_q}{\mu} \quad (3.4)$$

Sistemde geçirilen ortalama toplam süre ise (sırada bekleme süresi + şarj süresi) eşitlik 3.5'teki gibi ifade edilir,

$$W = W_q + 1/\mu \quad (3.5)$$

Burada W sistemde geçirilen ortalama toplam süreyi verir. Sistemde bulunan toplam ortalama EA sayısı eşitlik 3.6'da ifade edilmiştir,

$$L = \lambda W \quad (3.6)$$

Kuyruk sisteminde herhangi bir anda n sayıda EA bulunma olasılığı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P_n = \begin{cases} \frac{(\lambda / \mu)^n}{n!} P_0; n \leq s \\ \frac{(\lambda / \mu)^n}{s! s^{n-s}} P_0; n > s \end{cases} \quad (3.7)$$

Burada P_n , sisteminde herhangi bir anda n sayıda EA bulunma olasılığı, n herhangi bir anda sistemde bulunan toplam EA sayısıdır (şarj olan ve bekleyen). Bu sistemde $\frac{s\mu}{\lambda} > 1$ eşitsizliği her zaman sağlanmalıdır, aksi takdirde kuyruk uzunluğu sürekli olarak artar.

Şarj istasyonunda kuyrukta minimum bekleme süresini sağlayacak şarj ünitesi sayısına KT ile yukarıdaki matematiksel formülasyonlar kullanılarak ulaşılır ve AHS ile optimal nokta ve sayı belirlenir. Gelecek bölüm de AHS detayları ile anlatılmıştır.

3.2.2 Analitik Hiyerarşik Süreç

Karar vericiler için en iyi seçeneği seçmek oldukça zor bir iştir. Bu süreci zorlaştıran en önemli faktör karar vericilerin alternatifler arasından seçim yaparken değişik amaçları gerçekleştiren, bazen de birbiriyle çelişen seçenekler arasından en uygun olanı bulmak zorunda olmalarıdır. Bu nedenle birçok karar verici bu tür problemlerin çözümünde “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerini” kullanır. Çok kriterli karar verme birçok alternatif arasından öncelikli olanı seçmek, bir başka deyişle, değerlendirme, sıralama ve seçim olarak özetlenebilir.

İster tek amaçlı ister çok amaçlı karar problemi olsun, karar verme sürecindeki temel unsurlar değişmez ve aşağıdaki gibi sıralanabilir [100]:

- Karar verici (veya vericiler)
- Karar ortamı
- Amaç veya amaçlar (kriterler, hedefler)
- Alternatifler, seçenekler, stratejiler
- Kaynaklar
- Yöntemler (bilimsel anlamda karar verme durumunda)

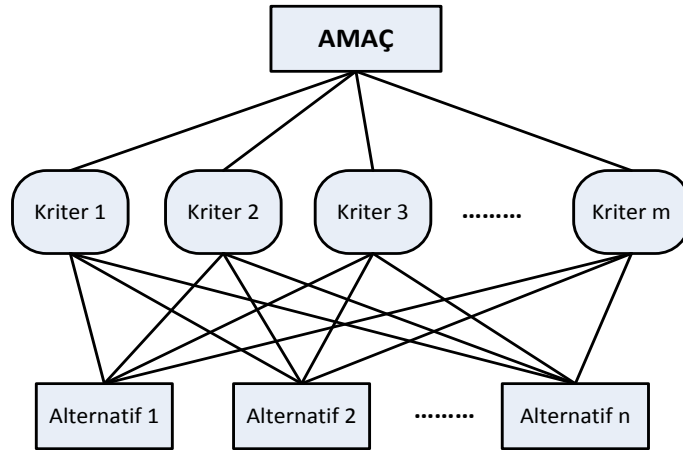
Bu çalışmada, karar destek sistemlerinden Analitik Hiyerarşik Süreç (AHS) kullanılmıştır.

Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi kapsamlı bir şarj altyapısı planlama sürecinde KT'nin tek başına yeterli olmayacağı belirtilmiştir. Şarj ünitelerinin konumlandırılması sürecinde çok amaçlı karar verme problemi ortaya çıkmakta ve bu problemi etkileyen birçok faktör yer almaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi söz konusu problemin çözümünde birçok farklı karar destek sistemi kullanılabilir. Yaptığımız çalışmada ise AHS kullanılmıştır.

1960'lı yılların ortasında Thomas Saaty tarafından geliştirilen AHS, birden çok kriter içeren karmaşık problemlerin çözümünde kullanılan bir karar verme yöntemidir. AHS, belirlilik ya da belirsizlik altında çok sayıda alternatif arasından seçim yaparken, çok sayıda karar vericinin bulunduğu, çok kriterli, çok amaçlı bir karar verme durumunda kullanılır. AHS karar vericilerin karmaşık problemleri, problemin ana hedefi, kriterleri, alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda

modellemelerine olanak verir. AHS'nin en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de subjektif düşüncelerini karar sürecine dâhil edebilmesidir [101].

AHS karar verme tekniklerinde en çok tercih edilen yöntemlerden biridir ve çok geniş uygulama alanına sahiptir [102], [103]. AHS genel yapısı itibariyle amaç, kriterler ve alternatifler şeklinde bir hiyerarşik düzene sahiptir. Şekil 3.2'de en basit AHS yapısı gösterilmektedir [100].



Şekil 3. 3 Temel AHS yapısı

AHS 3 temel prensip üzerine kurulmuştur; hiyerarşilerin oluşturulması, önceliklerin belirlenmesi, sayısal ve mantıksal tutarlılığın ölçülmesi [100].

Karar verme sürecinde AHS aşağıdaki 5 adımlık aşamadan oluşur [100]:

- i. İlk olarak, problemin temel kriterlerini ve aralarındaki ilişkileri gösteren modeli oluşturmak.
- ii. İkinci olarak, problemin alt gruplarının düzenlenmesi ve aralarındaki hiyerarşik yapının oluşturulması.
- iii. Üçüncü kısımda, hiyerarşik yapının ifade edilebilmesi adına kriterler arasında karşılaştırma yapabilmek için anlamlı sayılarla ifade edilmesi. Kriterlerin önceliklerini belirlemek için verilen sayılar kullanılmaktadır.
- iv. Dördüncü olarak, karar alternatiflerini belirlemek için bir önceki kısımda elde edilen kriterler arasındaki önceliklerin birleştirilmesi ve sonuçların tahlil edilmesi.
- v. Son olarak, sonuçların karar vermek için analiz edilmesi.

AHS, hiyerarşik yapısına dayanarak, farklı katmanlar için öğelerin kendi aralarında göreceli üstünlüklerini belirleyerek, çok kriterli karar verme süreçleri için geçerli bu temel soruna oldukça etkin bir çözüm getirmiştir. Problemin amacı, kriterler ve alternatifler belirlendikten sonra, yukarıda bahsedildiği gibi kriter ve alternatiflerin kendi aralarındaki önem derecelerinin belirlenmesi için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur. Yukarıda 3. aşamada belirtildiği gibi karar verici, düzeylerdeki önem derecelerini hesaplamak için Çizelge 2.5'deki değerleri açıklamalarındaki tanımlamalara göre puanlama yaparak karşılaştırma matrislerini oluşturur [104].

Çizelge 3. 1 AHS değerlendirme ölçeği

Önem Derecesi	Tanımlama
1	Eşit Derecede Önemli
3	Orta Derecede Önemli
5	Güçlü Derecede Önemli
7	Çok Güçlü Derecede Önemli
9	Aşırı Derecede Önemli
2, 4, 6, 8	Ara Değerler

Yukarıda anlatılan temel bilgiler ışığında AHS'de karar verme süreci, aşağıdaki adımlarla tanımlanan şekilde yürütülür [105].

Öncelikle problem tanımlaması yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda alternatifler belirlenir, daha sonra amacı etkileyen kriterler belirlenir. Bu çalışmada kriter sayısı m , alternatif sayısı n ile gösterilecektir. Amaca uygun kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin karşılaştırmalarının tutarlı bir şekilde yapılması elde etmek istediğimiz hedefimizin gerçekleştirilmesi için çok önemlidir. Bu amaçla karşılaştırma matrisi oluşturulmalıdır.

(3.8)'nolu eşitlikte gösterildiği gibi kriterler arası $m \times m$ boyutunda karşılaştırma matrisi oluşturulur.

$$A = (a_{ij})_{m \times m} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Burada, a_{ij} ile ifade edilen kriter i^{th} 'in kriter j^{th} 'a göre önem derecesini ifade eder ve Çizelge 2.5'deki önem skalası kullanılarak karşılaştırma matrisi oluşturulur.

İkinci aşamada ise karşılaştırma matrisinde elde edilen değerler kullanılarak kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için B 'ile gösterilecek olan sütun vektörü oluşturulur. Bahsi geçen ağırlık ifadesi kriterlerin önem seviyesini göstermektedir. Eşitlik 3.8'deki karşılaştırma matrisinin, sütun matrisleri kullanılarak her bir kriter için ayrı ayrı (b_{ij}) ağırlık matrisi oluşturulur;

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (3.9)$$

m adet sütun vektörü matris formuna dönüştürülerek, B matrisi oluşturulur.

$$B = [b_{ij}]_{m \times m} \quad (3.10)$$

B matrisi, her bir kriterin yüzde ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılır. Eşitlik (3.11)'de gösterildiği gibi her bir satırın aritmetik ortalaması alınarak W sütun vektörü (yada öncelik vektörü) elde edilir.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m b_{ij}}{m} \quad (3.11)$$

Bu aşamada ise elde edilen değerlerin ne kadar geçerli ve tutarlı olduğunun ölçülmesi gerekmektedir. Bu amaçla kriterler arasında elde edilen ağırlık(öncelik) değerlerinin tutarlılık testinin yapılması gereklidir. AHS'in önerdiği yapı, Tutarlılık oranı (CR) ile ifade edilen değer ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması sonucunda değerlerin istenilen aralıkta elde edilip edilmediğinin bulunmasıdır. CR hesaplaması öz vektörün (λ_{max})

bulunması ve kriter sayısının karşılaştırılmasına dayanmaktadır. λ_{max} 3.12’de ifade edildiği şekilde hesaplanmaktadır:

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^m \left[\left(\sum_j a_{ij} \times w_j \right) / w_i \right]}{m} \quad (3.12)$$

λ_{max} hesaplandıktan sonra, Tutarlılık indeksi (CI) hesaplanmalıdır:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - m)}{m - 1} \quad (3.13)$$

CR hesaplanması için CI ve standart düzeltme değeri olarak adlandırılan (RI) değerine bölünmesiyle elde edilir. RI değerleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir [106].

Çizelge 3. 2 RI değerleri

Kriter Sayısı	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

CR değeri, eşitlik 3.14’te verildiği şekliyle hesaplanmaktadır. Eğer elde edilen değer $CR \leq 0.1$ ise karar verici (örneğin; altyapı planlamacıları, uzmanlar, yatırımcılar vb.) tutarlı bir karşılaştırma yapmıştır ve her bir kriter için alternatifler arasındaki ağırlık değerleri hesaplanır. Eğer elde edilen CR değeri 0,1’den büyük ise karşılaştırma değerleri gözden geçirilmeli ve önem düzeyleri tekrar değerlendirilmelidir.

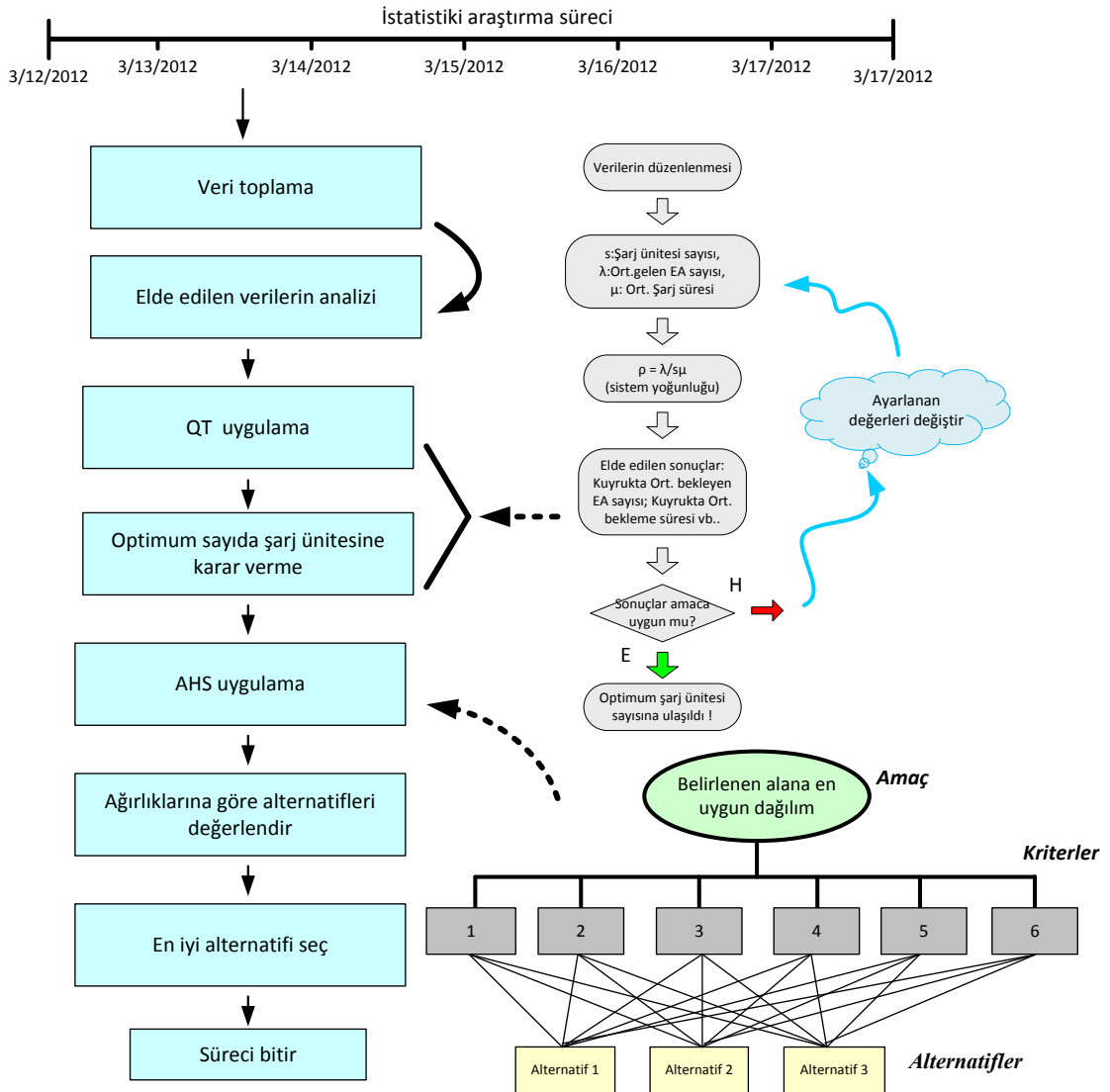
$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.14)$$

Son olarak tutarlılık oranı istenilen değer aralığında ise, amaca uygun şekilde alternatiflerin sıralamalarının belirlenmesi gereklidir. Karar verici ağırlıklarına göre alternatifleri sıralayarak amacına uygun en iyi alternatifi seçer.

3.2.3 Geliştirilen Birleştirilmiş Model

Kapsamlı bir şarj atyapısı planlamada her bir şarj ünitesinin konulacağı nokta çok önemlidir. Enerji talebinin büyüklüğü ve sürüş profilleri, şarj ünitelerinin

konumlandıracağı yerler hakkında karar vermeyi etkileyen faktörler olarak ortaya çıkmaktadır. Teknik ve ekonomik veriler, amaca göre minimizasyon problemi olarak tanımlanabilecektir. Bu yapı, kapsamlı bir optimizasyonu gerektirmektedir. Bu bağlamda yapılacak olan şarj altyapısı, optimizasyonunda KT ve AHS beraber kullanılarak çok amaçlı optimizasyon problemine tatmin edici bir çözüm sunulabilecektir. Birleştirilmiş model algoritması Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3. 4 Önerilen algoritma

Şarj altyapısı planlaması optimizasyonunda ilk aşamada KT kullanılacak, daha sonra ilk aşamada elde edilen verilere göre AHS uygulanarak amaca uygun optimum sonuçlar elde edilecektir. Önerilen modelin ilk aşamasını gerçekleştirebilmek için bazı kabullerin yapılması gerekmektedir. Bunlar;

- i. EA'lar poisson karakteristiği sergilerler (sürücü profilleri birbirlerinden farklı ve birbirlerinden bağımsızdır).
- ii. EA'lar tek sıra oluşturur ve sisteme ulaşma zamanları birbirlerinden farklıdır.
- iii. EA sürücülerinin hepsi kuyruğa girmeyi kabul etmişlerdir ve kuyruğu terk etmezler.
- iv. Tüm şarj istasyonlarının verimleri aynı kabul edilmiştir.

Bütün hesaplamalar KT'nin M/M/s modeline göre yapılmıştır. Birçok farklı senaryo ve şarj süresine göre farklı sayılarda şarj ünitesi bulunabilir. Farklı senaryolar, önerilen modele kolayca adapte edilebilir ve tatmin edici sonuçlar elde edilebilir. Bu çalışmada kuyruktaki EA sayısının ve bekleme süresinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Çizelge 3.3'te KT'ye göre farklı şarj süreleri (servis süresi) için elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Optimum şarj ünitesi sayısı elde edildikten sonra, belirlenen alan içinde AHS ile en uygun nokta seçimi işlemine geçilir. AHS, 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, kriterler ve alternatifler oluşturulmuştur. İkinci aşamada her bir alternatif ve kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış ve son aşamada ise elde edilen verilere göre sonuçların analiz edilmesi ve karar verilmesi gerçekleştirilmiştir.

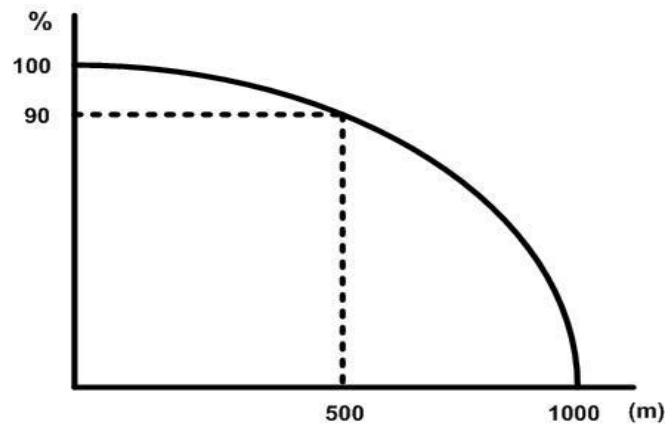
Çizelge 3. 3 Farklı şarj süreleri için şarj ünitesi sayısı değişimi

Şarj (Servis) Süresi (Saat)	%5 EA Dağılım Oranına Göre		
	s (Şarj ünitesi sayısı)	Wq (Kuyrukta ort. bekleme süresi)(Dakika)	Lq (Kuyrukta bekleyen ort. EA sayısı)
3^b	18	33,9507	2,8292
	19	14,5347	1,2112
	<u>20</u>	<u>6,8863</u>	<u>0,5738</u>
	21	3,4311	0,2859
	22	1,7481	0,1456
6^a	33	11,6078	9,5506
	34	53,8688	4,4890
	35	28,4099	2,3674
	36	16,0116	1,3343
	<u>37</u>	<u>9,3909</u>	<u>0,7825</u>

^a Senaryo 1 / ^b Senaryo 2

AHS'nin modelde uygulanması için 6 adet kriter belirlenmiştir. Bu kriterler hem kullanıcı hemde şebeke tarafının taleplerini kapsayacak şekilde seçilmiştir.

- i. *Şarj ünitesi bulunan park noktaları:* Bu kriter park noktalarının ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılacaktır. Gelişigüzel oluşturulan alternatiflerin ağırlıklarının belirlenmesinde hayati bir öneme sahiptir, ona göre öncelik puanlanaması yapılabilecektir. Bu kriter AHS modelinde " f_1 " ile gösterilecektir.
- ii. *Yürüme mesafesi:* Sürücülerin park noktalarını seçerken dikkat ettikleri en önemli noktalardan biri yürüyüş mesafesidir. Park noktaları ile iş merkezleri arasında mesafe 500 m'den yüksek ise araç kullanıcıları o park noktasını tercih etmemektedir [107]. Bu kriter ise " f_2 " ile ifade edilmekte, yürüme mesafesi ve tercih edilebilirlik değişiminin grafiği ise Şekil 3.5'te gösterilmektedir.
- iii. *Şarj ünitesi ve Trafo Merkezi Arasındaki Mesafe:* Enerji kalitesinin artırılması, yatırım giderleri ve enerji kaybının azaltılması için mesafe çok önemlidir. Bu kriter " f_3 " ile gösterilmektedir.
- iv. *Yoğunluk:* Araç ve insan yoğunluğu olan noktalar daha çok kullanım imkanına sahiptir. Araç ve insan yoğunluğunun yüksek olduğu park noktalarının daha fazla şarj ünitesine ihtiyacı vardır. Bu bakımdan " f_4 " ile ifade edilecek olan yoğunluk kriteri, ana parametrelerden biridir.
- v. *Genişletilebilirlik:* Gelecek planlamalarının yapılması ve uzun vadeli yatırımları doğrudan etkileyecek bir kriterdir. Bu kriter ile şarj ihtiyacının, trafo kapasitesinin ve park noktası kapasitesinin uzun vadede ne denli yeterli olacağı sorusuna cevap aranmaktadır. Bahsi geçen kriter " f_5 " ile gösterilmektedir.
- vi. *Ulaşılabilirlik:* Sürücülerin kolayca ulaşabileceği noktada olmaları, tercih edilebilirliği etkileyen en önemli bir diğer faktördür. Bu kriter " f_6 " ile gösterilmektedir.



Şekil 3. 5 Park etme yürüme mesafesi tercih edilebilirlik değişimi

Yukarıda açıklanan kriterler ve önerilen algoritma sayesinde hangi noktaya (otopark, alışveriş merkezi, iş merkezi, havaalanı, üniversite/hastane yerleşkeleri vb.), kaç adet şarj ünitesinin konumlandırılacağına karar verilebilecektir. Günümüz ve geleceğin modern şehirlerinde EA kullanım potansiyelinin analizi yapılmalı ve elektrik şebeke altyapısı ve otoparkların düzenlenmesi bu çerçevede planlanmalıdır. Konut alanları ve iş yerleri belirtilen yapıya uygun şekilde kullanıma sunulmalıdır.

EA şarj altyapısı planlaması yapıldıktan sonra EA'ların şarjı ve bunun yönetilmesi ile ilgili yapılması gereken konuların incelenmesi gerekmektedir. Bir sonraki bölümde akıllı şarj yönetim sistemi için önerilen model anlatılmıştır.

AKILLI ŞARJ YÖNETİMİ

4.1 Problemin Tanımı

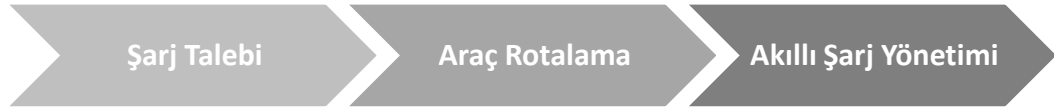
EA'ların gelecekte günümüzün konvansiyonel araçlarının yerini alması beklenmektedir. Ancak bu araçların yaygınlaşabilmesi için çözülmesi gereken birçok problem vardır. Bu problemlerden biri de EA'ların şebeke sistemi üzerine olabilecek olumsuz etkileridir. Bu olumsuz etkilerin azaltılması için araçların şarjının belli bir program dahilinde ve sistematik olarak yapılması gerekmektedir. Yukarıda anlatılanların yanında EA'ların ne kadar bir güçle ve hangi zamanda şarj edileceği, bu enerjiyi sağlayacak elektrik şebekesinin ise sisteme nasıl bir tepki vereceğidir. Yapılan çalışmalarda aynı anda ve çok sayıda EA'nın şebekeye yüklenmeleri durumunda elektrik şebekesinde enerji kalitesi, kapasite yetersizliği sorunu ve trafolarla yaşlanmanın hızlanacağı yönünde öngörülerde bulunulmuştur.

Bunun yanında diğer bir problem de, uzun şarj süresi ve yetersiz şarj istasyonu sayısı, kullanıcıların tercihlerini olumsuz etkilemektedir. Bu bağlamda optimum şarj sisteminin simülasyon çalışmaları ortamında gerçekleştirilmesi, EA'ların şebeke üzerindeki etkilerinin anlaşılması ve muhtemel bekleme sürelerinin belirlenmesi ve önlenmesi açısından önemlidir.

Yapılan tezde belirtilen problemi çözmek için belirlenen bölgenin elektriksel modeli MATLAB/Simulink tabanlı olarak oluşturulmuştur. Simülasyon çalışmasına park noktaları, sürüş profilleri, elektrik piyasası saatlik fiyat değerleri ve baz yükler sisteme dahil edilerek dinamik bir model oluşturulmuştur. Önerilen modelin akış süreci Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

4.2 Akıllı Şarj Yönetim Sistemi İçin Önerilen Model

Önerilen akıllı şarj yönetim sistemi (AŞYS) iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada; kullanıcı en uygun şarj noktasına enerji-etkin bir biçimde yönlendirilmektedir. İkinci aşamada ise akıllı şarj süreci başlatılmaktadır. Model öncelikle araç şarj istasyonuna bağlanmadan önce sürücünün şarj talebini alır. Daha sonra otopark durumları ve şebeke sisteminin durumu göz önüne alınarak gerekli kontrolleri yapılır, eğer talep noktası teknik ve ekonomik olarak uygunsa istek kabul edilir. Değilse, o an için en uygun çözüm bulunarak gerekli yönlendirme yapılır. Kullanıcı sistemin yönlendirmesini veya sunduğu alternatifleri kabul etmeyebilir, bu durumda talep ettiği şarj noktası için gerekli rezervasyonu yapabilir ve sistem uygun olunca şarj süreci başlar.



Şekil 4. 1 Akıllı şarj yönetim sistemi süreci

4.2.1 Sistem Bileşenleri

Bir sistemin akıllı olabilmesi için, o sistemdeki her bir elemanın veya bileşenin kendi karar mekanizması ve kısıtlarının olması gerekir. Bazı elemanlar sistem içinde pasif bile olsa, onun bir kararının olduğu unutulmamalıdır. Önerilen akıllı şarj sistemindeki elemanlar şöyle sıralanabilir; Sürücü, EA, şarj istasyonu, elektrik piyasası (dinamik fiyatlandırma), sistem yöneticisi. Önerilen modeldeki her bir sistem elemanının görevi aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

- *Sürücü:* EA'yı kullanan, şarj moduna ve şarj-deşarj karar verabilen kişi demektir. Aynı zamanda sürücü, EA'nın tüm yetkilerini bildiği ve karar verebilecek bilgi düzeyine sahip olduğu kabul edilmiştir. Ancak sürücü sistem yöneticisinden gelen uyarıları dikkate alarak kararını değiştirme hakkını ise saklı tutmaktadır. Bir sonraki bölümde detayları ile ifade edilecek ve sonuçları elde edilmiş olan (günlük kat edilen yol, parklanma süresi, işe geline gün sayısı vb.) bilgiler sürücünün tanımlanmasında kullanılabilecektir.
- *Elektrikli Araç:* Sistemde pasif konumda ancak kendine özgü özellikleri bulunmaktadır. Batarya kapasitesi, min-max şarj vedeşarj seviyeleri,

kilometrede tüketilen elektrik enerjisi miktarı ve batarya çevrim ömrü şeklinde sıralanabilir. EA'nın özelliklerine göre sürücü veya sistem yöneticisi karar alarak EA yönlendirilir.

- *Şarj İstasyonu:* İçinde bir veya birden çok şarj ünitesi bulunduran park noktalarıdır. Şarj istasyonları, güç seviyeleri, izin verilebilecek maksimum güç sınırı, kablo kesitlerine göre akım taşıma kapasitesi belli olan, EA ve sistem yöneticisi ile haberleşebilen sistem elemanıdır.
- *Elektrik Piyasası:* Elektrik piyasasında dinamik fiyatlandırmadan faydalanmak adına sistemde kullanılacaktır. Sistem yöneticisi, serbest tüketici olarak enerjiyi önceden daha ucuza alabileceği gibi anlık alışveriş yaparak da EA'ların şarj taleplerini karşılamakla yükümlüdür. Dengeli yüklenme ve şebeke sisteminin aşırı yüklenmesinin önüne geçmek için fiyatlar dinamik bir şekilde değiştirilerek EA'ların şarj optimizasyonu sağlanabilir.
- *Sistem Yöneticisi:* EA'lar, şebeke sistemi ve şarj istasyonları arasında iletişim ve etkileşimi sağlayacak olan sistem elemanıdır. Bu sistem elemanı, diğer aktörlere müdahale yetkisine sahiptir.

Akıllı şarj yönetimi için öncelikle sınırlar ve kısıtlamaların belirlenmesi gereklidir. Örneğin bir otoparkın kapasitesi veya şarj ünitesi sayısı kadar kısıt oluşur. Bunun yanında şarj ünitelerini besleyen trafo merkezlerinin yüklenme durumuna bağlı olarak dinamik bir şekilde kısıtlar göz önüne alınarak şarj optimizasyonu yapılması gereklidir. Ayrıca, enerji kalitesi bakımından gerilim dalgalanmalarının azaltılması, aşırı yüklenmeye müsaade edilmemesi gereklidir. Tüm bunların yanında sistem operatörleri, EA kullanıcıları ve şebeke sisteminin beklentilerini karşılayabilen dengeli bir sistemin oluşturulması gerekmektedir. Bu bağlamda çok amaçlı optimizasyon probleminin kurulması gereklidir. Önerilen akıllı şarj sistemi yönetiminin amacı; maksimum araca, şarj maliyetlerini minimize edecek ve elektrik şebekesinin güç kalitesini bozmadan hizmet verecek bir sistem oluşturulmasıdır. Geliştirilen modeldeki sistem elemanlarının aralarındaki ilişkiyi gösteren detaylı “Sequence” diyagramı EK-B’de verilmiştir. Sistem yöneticisi (SY) EA şarj talebi geldiğinde, şarj istasyonunun durumunu kontrol eder ve cevap olumlu ise rezervasyonu o araç için gerçekleştirir. Eğer değilse, enerji-etkin rotalama sayesinde en uygun şarj noktasına, aracın batarya doluluk oranı göz önünde

bulundurularak, araç yönlendirilir. Bahsi geçen enerji-etkin araç rotalama sistemi bir sonraki bölümde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

4.2.2 Enerji-Etkin Araç Rotalama

EA'ların şarjı büyük bir problemdir. Bu yüzden yapılan çalışmada en kısa yol problemi tanımlanarak enerji-etkin bir şekilde EA'ların en uygun şarj istasyonlarına yönlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu sayede zaman, enerji ve maliyet minimizasyonu ve enerji kalitesinin bozulmadan EA'lara hizmet etmesi sağlanmıştır. Önerilen akıllı şarj yönetim stratejisi akış süreci Şekil 4.1'de verilmiştir.

Günlük hayatta ve özellikle mühendislik uygulamalarında sıkça karşılaşılan bir sorun da araç rotalama problemleridir. Araç rotalama öncelikle belli kısıtlar altında hedeflenen amacı en doğru şekilde yapmalıdır. En genel ARP modelinin formülasyonu şu şekildedir [108], [109];

$$G = (P, Y) \quad (4.1)$$

G grafi gösterir ve dal ile sınırlanmış bir problem olarak tanımlanır.

$$P = \{p_0, p_1, \dots, p_n\} \quad (4.2)$$

$$Y = \{(p_i, p_j) : p_i, p_j \in P, i \neq j\} \quad (4.3)$$

P düğüm kümesini ifade eder, n sayıda nokta (park noktası) düğüm kümesini göstermektedir. Y ise dalları (yol) göstermektedir. P_i düğüm noktasından P_j düğüm noktasına olan mesafenin ifadesidir. Çok sık kullanılan kriterlerden birkaçı ise yol, zaman, enerji, emisyon vb. miktarlarının en aza indirilmesine yönelik amaçları olan çalışmalardır. En kısa yol algortması da söz konusu kriterlerden biridir. Günümüzde kullanılan farklı en kısa yol algoritmaları vardır (Floyd, Dijkstra vb.) [110]–[112]. Bu çalışmada Floyd algoritması kullanılmıştır. Floyd algoritması noktalar arasındaki en kısa mesafeyi bulmak için kullanılmaktadır. Problemin tanımlaması yapılırken bazı terimler vardır, bu terimlerin tanımlarının ve işlevlerinin bilinmesi gereklidir.

- Düğüm noktası: ulaşım şebekesi üzerinde bulunan nokta, gidilmek istenen yer ve üzerinden geçilecek kısım gibi tanımlamaları yapılabilir.

- Bağlantı: düğüm noktaları arasındaki durumu gösterir. Yani tek yönlü, çift yönlü veya iki nokta arasında bağlantının olup olmadığı, bağlantı türü tanımlamasının bilinmesinden bulunur.
- Rota: Algoritma uygulandıktan sonra, amaca en uygun güzergâhın belirlenmesine denilir.

Yapılan çalışmada, Graf teorisi ile park yerleri düğüm noktası, yollar dal olarak belirlenmiş ve Floyd algoritması kullanılarak park yerlerine en yakın şarj istasyonları belirlenmiştir. Bu algoritma N adet düğümlü bir şebekeyi, n satır, n sütun kare matris olarak gösterir. Matriste ifade edilecek olan i ve j elamanları; i . düğümden j . düğüme olan uzaklıkları ifade eder. i ile j arasında doğrudan bağlantı varsa, matrise aralarındaki gerçek mesafe değeri girilir, eğer yoksa, yani dolaylı bir bağlantı söz konusuysa sonsuz bağlantı ile ifade edilmektedir [112].

EA'lar şarj talebine göre en kısa yol algoritması ile şarj için en uygun noktaya yönlendirilecektir. Floyd algoritması eşitlik 4.4'te gösterilmiştir [112], [113]. Burada en kısa yol i 'den j 'ye bulunmaya çalışılır ancak başka bir k düğümü kullanılarak daha farklı kısa bir yol bulunmuşsa ve bu yol daha az maliyet sağlıyorsa i ve j düğümleri arasındaki en kısa yol k düğümü de hesaba katılarak bu şekilde seçilir. Yani formülize bir şekilde göstermek gerekirse; bulunan en kısa uzaklık d_{ik}^{k-1} ve d_{kj}^{k-1} gibi farklı bir k düğümünü kapsıyorsa, bu durumda toplam yol uzunluğu her iki mesafenin toplamına eşittir; $d_{ik}^{k-1} + d_{kj}^{k-1}$. Önerilen modele göre modifiye edilen ve Matlab ile kodlanan algoritmanın son hali Ek-A2'de verilmiştir.

$$d_{ij}^k = \min \{ d_{ij}^{(k-1)}, d_{ik}^{k-1} + d_{kj}^{k-1} \} \quad (4.4)$$

Önerilen akıllı şarj yönetim sistemi elektrik dağıtım sisteminin aşırı yüklenmesini önleme ve park alanı doluluk oranlarının kontrolünü yapmaktadır. Zaman serileri kullanılarak geçmiş döneme ait enerji tüketim verileri sürekli kontrol edilmekte ve belirlenen zaman aralıklarında yüklenmeye bağlı üst eşik değeri belirlenmektedir. Buna bağlı olarak şarj talepleri işleme alınmaktadır. Belirlenen değerin üzerinde bir yüklenme söz konusu ise $SY'si$ sürücülerini en yakın ve uygun şarj noktasına yönlendirmektedir.

Diğer şarj istasyonlarının doluluk oranları da yönlendirme ve fiyatları etkilemektedir. Önerilen modelin amaç fonksiyonu eşitlik 4.5'te gösterilmektedir.

Minimum

$$\sum_{k=1}^k L_t^{CS,k} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n l \times fiyat \times t_{i,j} \quad (4.5)$$

Burada, L ise t anında, k şarj istasyonunu besleyen trafo merkezinin yüklenmesini göstermektedir. Yollar ve düğümler ise sırasıyla, m ve n ile gösterilmektedir. l iki düğüm arasındaki mesafeyi göstermekte, $fiyat$ şarj maliyetini ve son olarak t_{ij} ise şarj süresini göstermektedir.

Problemin farklı durumlar için ideal hale getirilebilmesi gereklidir, bu yüzden bazı kısıtların belirlenmesi gereklidir. Bu kısıtlar;

Kısıtlar

$$EA_{Bkap} * EA_t^{SOC,i} \geq l * P_{EAc} \quad (4.6)$$

$$CS_t^{kap,k} \geq 0, \quad CS_{kap} \in Z^+ \quad (4.7)$$

$$EA_{CHtyp} \ni CU_{typ,k} \quad (4.8)$$

$$\max(EA_t^{CH}) \leq CS_t^{kap,i}, \quad CS_{kap} \in Z^+ \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.6'da herhangi bir yönlendirme durumunda aracın o anki şarj durumunun, yönlendirilecek şarj noktasına ulaşmak için enerjisinin yeterli olup olmayacağı öncelikle kontrol edilir. Burada, EA_{Bkap} EA batarya kapasitesini, $EA_t^{SOC,i}$ t anında EA'nın batarya şarj durumu, P_{EAc} EA'nın (kWh/km) enerji tüketim değerini, l ise rotalama yapılacak yol uzunluğunu ifade eder. Eşitlik 4.7'de ise şarj ünitelerinin müsaitlik durumu kontrol edilmektedir (dolu-boş gibi). CS_{kap} şarj istasyonu kapasitesini göstermektedir. Eşitlik 4.8'de ise şarj tipi kontrolü yapılmaktadır. Yani, her araç tüm şarj seviyesi tiplerini desteklememektedir. Bu yüzden kontrolün yapılması gereklidir. EA_{CHtyp} EA'nın desteklediği şarj seviyesini ifade etmektedir. $CU_{typ,k}$ k . şarj istasyonunda bulunan şarj ünitelerinin çeşitini göstermektedir. Eşitlik 4.9'da park alanı

kapasite kontrolü yapılmaktadır. EA_{CH} t anında toplam şarj olan EA sayısını ifade etmektedir. CS_{kap} her bir şarj istasyonunun kapasitesini göstermektedir.

Bu bölümde mesafe, zaman, doluluk, şarj uyumluluğu ve batarya şarj seviyesi kontrolleri yapılarak ekstra maliyetler önlenmiş, enerji etkin bir şekilde en uygun ve en yakın şarj istasyonuna sürülerin yönlendirilmesi garanti altına alınmıştır. EA'ların bu şekilde enerji-etkin yönlendirilmesi yapıldıktan sonra EA'ların prize takılıp batarya şarj süreçleri başlayacaktır. Bu durum akıllı şarj süreci olarak adlandırılmış ve bir sonraki bölümde detaylı şekilde ele alınmıştır.

4.2.3 Akıllı Şarj Süreci

Önerilen akıllı şarj sürecinin asıl amacı pik yüklenmeleri azaltmak ve şarj süreci içinde en ucuz fiyat dilimleri içinde aracın şarjını gerçekleştirmektir. SY 'nin optimal şarj yönetimine karar verebilmesi için bazı bilgilere ihtiyaç duymaktadır. Bunlar; şarj başlama saati, şarj modu, ortalama parklanma saati, beklenen çıkış saati, EA bataryası başlangıç SOC değeri ve elektrik piyasası saatlik fiyat bilgileridir. Önerilen akıllı şarj yönetim sürecinin sağlıklı işleyebilmesi için bazı kabullere ihtiyaç vardır. Bu kabuller aşağıda verilmiştir;

- Şarj süreci başlamadan önce tüm kullanıcıların şarj istasyonu veya akıllı telefon uygulaması ile şarj talebinde bulundukları,
- Şarj talebinde bulunurken, giriş zamanı, batarya şarj seviyesi, istenilen şarj modu, istenilen enerji miktarı (tam dolu (%100) veya %80 yada 15TL'lik dolum yap vb.), çıkış zamanı gibi bilgilerin girildiği,
- Elektrik şebeke sisteminin herhangi bir arıza vermeyeceği, enerji talebi olduğunda teknik kısıtlar içinde, talebin karşılanacağı. Ayrıca, enerjinin sürekliliğinin sağlandığı,
- Elektrik piyasasından bir sonraki gün için saatlik dinamik fiyatlandırma bilgilerinin alındığı kabul edilmiştir.

Önerilen optimal şarj stratejisi pik yüklenmeyi ve şarj ücretini minimize ederken aynı zamanda sürücü beklentilerini ve enerji kalitesi sınırlarını da dikkate alarak tüm

beklentileri optimal bir şekilde karşılamayı amaçlamıştır. Önerilen amaç fonksiyonu aşağıdaki eşitlikler yardımıyla gösterilmektedir.

Minimum

$$\sum_{t_{giriş}}^{t_{çıkış}} C_t^{fiyat,i} \quad (4.10)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_t^{PY,k} \quad (4.11)$$

Eşitlik 4.10'da gösterilen amaç fonksiyonu şarj ücretini minimum yapmayı hedeflemektedir. Burada, $C_{fiyat,i}$ t anındaki şarj ücreti bilgisini göstermekte, $t_{giriş}$ şarj ünitesine ulaşma, yani şarja başlama zamanını, $t_{çıkış}$ ise şarj istasyonundan çıkış zamanını ifade etmektedir. Eşitlik 4.11'de ise EA'ların şarjını yaparken pik yükleri en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Burada, $P_t^{PY,k}$ t anında k barasındaki pik yüklenme değerini göstermektedir. Hazırlanan amaç fonksiyonu, kontrollü bir şekilde baralardan sistemin beslenmesinin garanti etmektedir. Çünkü bu durum sistemin aşırı yüklenmesini önleyecek ve kayıpların azalmasına sebep olacaktır. Önerilen yapıdaki bahsi geçen kısıtlar aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

Batarya şarj kısıtları:

$$EA_{Bkap,i} \geq \sum_{t_{giriş}}^{t_{çıkış}} P_{cu,m,k} \times \Delta t \times \eta_{cu} \quad (4.12)$$

$$SOC_{min,i} \leq SOC_t^i \leq SOC_{max,i}, \quad \forall i, t \quad (4.13)$$

Eşitlik 4.12'de batarya kapasitesi kısıtı gösterilmiştir. Burada, $EA_{Bkap,i}$ EA'nın batarya kapasitesini, $P_{cu,m,k}$ k . şarj istasyonunun, m . şarj ünitesinin gücünü, Δt şarj süresini, η_{cu} şarj ünitesi verimini göstermektedir. Eşitlik 4.13 ise her bir EA'nın batarya SOC limitini göstermektedir. Burada, $SOC_{min,i}$ minimum SOC değerini, SOC_t^i t anında batarya SOC değerini, $SOC_{max,i}$ maksimum SOC değerini göstermektedir.

Şarj istasyonu kısıtları:

$$CS_{kap,k} \geq EV_{CH}, \quad \forall t, k \quad (4.14)$$

$$\sum_{k=1}^m P_t^{cu,k} \times \eta_{cu} \leq P_t^{cs,k,maks} \quad (4.15)$$

Eşitlik 4.14'te şarj istasyonu araç kapasitesi kısıtını ifade etmektedir. Burada, CS_{kap} k . şarj istasyonu araç kapasitesini, EA_{CH} t anındaki toplam şarj olan EA sayısını göstermektedir. Eşitlik 4.15 ise şarj istasyonu güç kapasitesi kısıtını ifade etmektedir. Burada, $P_{cs,k,maks}$ t anında k . şarj istasyonun maksimum güç kapasitesini, $P_{cu,k}$ ise t anında şarj ünitesi çıkış gücünü, η_{cu} şarj ünitesi verimi ve m ise şarj ünitesi sayısını göstermektedir.

Dağıtım şebekesi kısıtları:

$$P_{maks,TR,j} \geq \sum P_t^D + P_t^{EA} , \quad \forall t, j \quad (4.16)$$

$$I_t^j < I_{maks,j} \quad (4.17)$$

$$V_{min(pu)} > V > V_{maks(pu)} \quad (4.18)$$

Eşitlik 4.16'da her bir trafonun kapasite kısıtı kontrolü yapılmaktadır. Burada, $P_{maks,TR,j}$ j . trafonun verebileceği maksimum güç değerini, P_D t anında trafonun baz yükleme değerini (fakülte binaları, kanferans salonu, havuz, kütüphane vb.) ve P_{EA} t anında toplam EA güç talebi değerini ifade etmektedir. Eşitlik 4.17'de kablo akım taşıma kapasitesinin kontrolü her bir trafo için t anında gerçekleştirilmektedir. Eşitlik 4.18'de ise sürekli olarak gerilim değerinin istenilen teknik aralıkta olup olmadığı kontrol edilmektedir. Standart güç akış eşitliği ise 4.19'da verilmiştir [114].

$$P_{L,k} - P_{EA} = \sum_{j=1}^n |Y_{i,j}| |V_{i,h}| \cos(\theta_{i,j} + \varphi_{j,h} - \varphi_{i,h}) \quad (4.19)$$

Akıllı şarj sürecindeki ana kontrol parametrelerinden biri ise belirlenen zaman aralığında ortalama güç talebi değerinin belirlenmesidir. Eşitlik 4.20 kontrol sürecinde ortalama değerin belirlenmesi için kullanılacaktır. Öncelikle yerleşkenin güç tüketimi ile ilgili analiz yapmak gerekmektedir. Çünkü güç talebi genele olarak gün içinde çok fazla iken gece tüketim değerleri hemen hemen yarıya inmektedir. Bu durum ilk bakışta bizlere gece şarjına ne kadar uygun bir profil olduğu izlenimi versede gece araç olmadığı için

bu durumun herhangi bir anlamı olmamaktadır. Zor olan, tüm beklentilerin aynı zaman dilimlerine kaydı ve tüketimin arttığı saatlerde taleplerin doğru karşılanmasıdır. Bu amaçla oluşturulan amaç fonksiyonları ve kısıtlar beklentileri karşılayacak düzeyde ve detaylı yapılmıştır. Çalışmanın bu kısmında ortalama enerji tüketim değerinin hesabı yapılmıştır. Yukarıda belirtildiği gibi gün içi zaman dilimi 07:00 ile 19:00 arası olarak seçilmiş bu aralıkta kalan değerlerin ortalaması alınarak oluşturulan kontrol bloklarında kısıt olarak kullanılmıştır. Eşitlik 4.20’de verilen matematiksel eşitlik belirtilen durumu garanti etmekte ve her şarj durumu için pik yüklenme değerinin üzerine tüketim değeri çıkmamaktadır.

$$P_{avg,j} = \frac{\sum_{D_{st}}^{D_{fn}} P_t^{D,j}}{D_{fn} - D_{st} + 1} \quad (4.20)$$

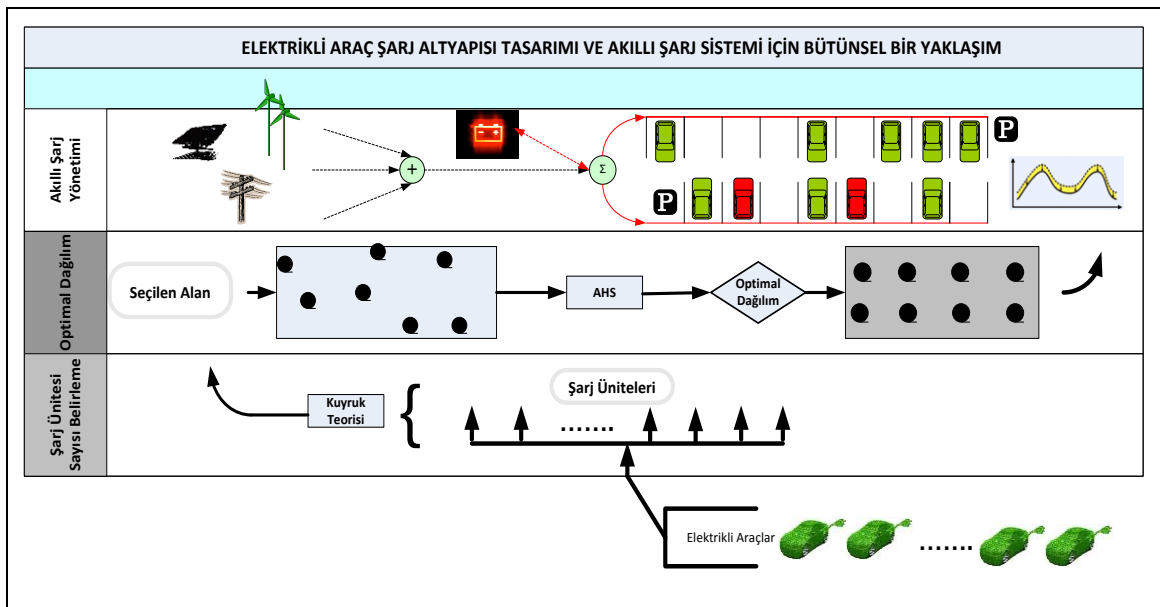
Burada, $P_{avg,j}$ j . trafonun ortalama güç değerini, $P_{D,j}$ j . trafonun t anındaki (EA olmadan) baz yük değerini, D_{st} gün başlangıç saatini ve D_{fn} ise gün bitiş saatini vermektedir.

Gerçek veriler ile yapılan optimizasyon çalışması sonucunda trafolarda aşırı yüklenmenin, gerilim düşümünün önüne geçilmiş, EA’lar en yakın ve şebeke yüklenme durumu açısından en uygun şarj noktasına yönlendirilerek zaman, para ve güç tasarrufu sağlanmıştır. Yapılan uygulama ve elde edilen sonuçlar bölüm 5’te detayları ile verilmiştir.

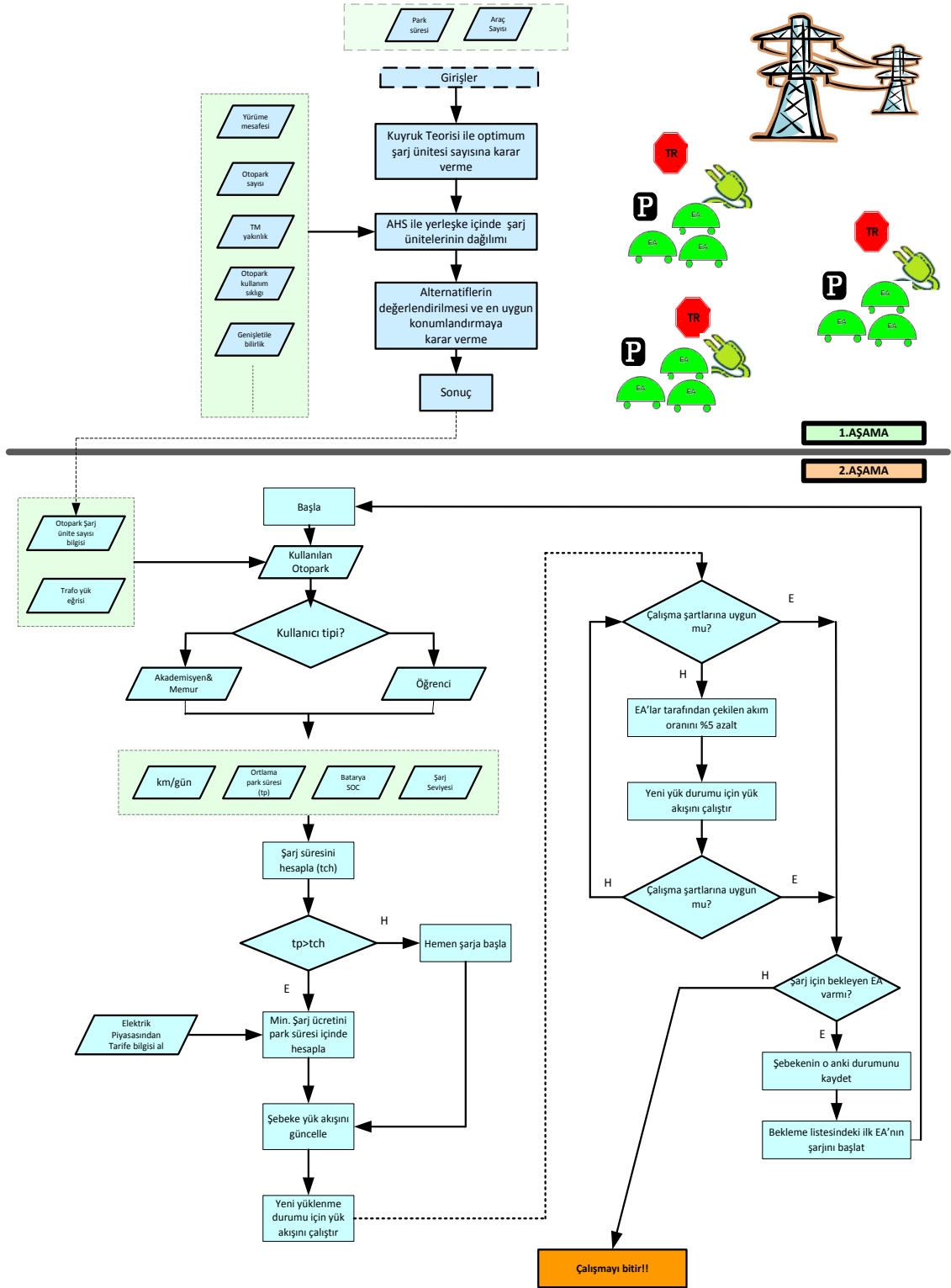
Önerilen bu optimizasyon modeli ile EA’ların kullanımının artması ve şebeke üzerine muhtemel etkilerinin ortadan kaldırılması sağlanabilecektir. Elde edilen sonuçlarla kayıpların azaltılması, arıza oluşmasının engellenmesi ve EA kullanıcılarının hattın durumunu bilerek zaman kaybı yaşamadan araçlarının şarj işlemini gerçekleştirebilmesi sağlanabilecektir.

SİMÜLASYON ÇALIŞMASI VE UYGULAMALAR

Literatürde EA şarj altyapısı oluşturulması ve akıllı şarj sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar genellikle birbirinden bağımsız olarak yapılmıştır. Ancak her iki yaklaşımda tek başına yapıldığında çalışmanın bir yanının sürekli eksik olduğu görülmüştür. Bu doktora tezi ile önerilen yapı: sistematikliği ve kapsayıcılığı sayesinde literatüre bahsi geçen eksiği gidererek katkı sağlamış, bunun yanında her adımda kendi içinde barındırdığı yenilikler ile sorunlara dinamik çözüm üreterek her bir sistem elemanının beklentisini karşılamayı amaçlamıştır. Çalışmanın ilk kısmında yeni bir şarj istasyonu optimal dağılım modeli oluşturulmuştur. İkinci kısımda ise oluşturulan bu sistem üzerinde farklı senaryolar altında önerilen akıllı şarj sistemi sınanmış ve elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Önerilen modelin şematiki Şekil 5.1’de ve algoritması Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 1 Önerilen modelin şematik gösterimi



Şekil 5. 2 Önerilen model algoritması

Önceki bölümlerde detayları ile bahsedildiği gibi EA'ların şarj altyapısının sağlıklı planlanması ve ihtiyaca göre en uygun şarj yönetiminin yapılabilmesi için öncelikle bazı bilgilere ihtiyaç vardır. Bunlar; araçların kullanım alanı ve sıklığı, park etme

alışkanlıkları, günlük yapılan ortalama yol (kilometre), kullanıcı profilleri vb. Bu amaçla öncelikle belirlenecek bir bölgede söz konusu bilgilerin elde edilmesi gerekmektedir.

5.1 Önerilen Yöntemin Uygulanması İçin Yer Belirlenmesi

İstanbul çok büyük bir metropol olduğundan veri elde etme, bu verilerin sürekli analiz edilmesi çok zordur. Çünkü araç sayısı, araç hareketliliği ve önceki bölümlerde belirtilen verilerin elde edilmesi ve oluşturulan algoritmanın sınanması çok büyük bir problem olacağı için yerleşke yaşam tarzı olan bir yerin seçilmesi uygun görülmüştür. Ancak İstanbul için yapılabilecek olan makro boyuttaki çalışma için öneriler şu şekilde sıralanabilir;

- İstanbul Ulaşım Ana Planı (İUAP) ile yapılan çalışmaların sonuçları analiz edilerek demografik yapının detaylı olarak çıkarılması gereklidir,
- Trafik Kontrol Merkezi tarafından kullanılan ana ve çevre yollardaki araçların sayısı ve hızlarının ölçüldüğü sensör verileri elde edilmelidir,
- İstanbulun hareketlilik oranları ve yönleri, yolculuk amaçları, araç sahiplilik oranı, otopark noktaları ve kapasiteleri vb. gibi verilerin güncel olarak elde edilmesi ve gelecek projeksiyonların yapılması gereklidir,
- Elektrik şebeke altyapısı ve özellikle dağıtım trafoları yüklenme eğrilerinin elde edilmesi gereklidir,
- Çalışmalar bir proje kapsamında merkezi yönetim, yerel yönetim, üniversiteler ve özel sektör işbirliği ile yapılmalıdır.

Günümüzde şehir merkezlerinde veya dışında çevrilmiş bir alan içinde bulunan üniversiteler, hastaneler, toplu konut alanları, ticari işletmeler, araştırma merkezleri vb. gibi alanlar yerleşke olarak adlandırılmaktadır. Genellikle bu alanları kullananlar benzer davranışlar sergilemekle birlikte bazı durumlarda talep benzerliğinden dolayı çeşitli zorluklar ortaya çıkabilmektedir. Bu bağlamda gelecekte EA kullanımı için uygun olarak görülen yerleşke bazlı kullanıcı profillerinin çıkarılması ve gerekli çözüm önerilerinin üretilmesiyle bu ve benzeri yerlerde EA'lara geçişin hızlanacağı beklenmektedir. Bu amaçla Yıldız Teknik Üniversitesi (YTÜ) Davutpaşa Yerleşkesi incelenerek genelleştirilmiş çözüm önerileri sunulmuştur.

Yapılan doktora tezinde örnek inceleme alanı olarak seçilen YTÜ Davutpaşa Yerleşkesi yaklaşık 15 bin öğrencinin eğitim gördüğü ve 1500 civarında akademisyen ve memurun hizmet verdiği geniş bir alana (yaklaşık 1300 dönüm) konumlandırılmıştır ve yerleşkenin imarı ile büyüme halen devam etmektedir. Doktora tezinde, yerleşkenin otopark özellikleri ve kullanıcı profilleri çıkarılmış yapılacak çalışma için gerekli olan bilgiler elde edilmiştir. Aşağıda başlıklar halinde bahsi geçen konularda ilgili detaylı bilgiler sunulmuştur.

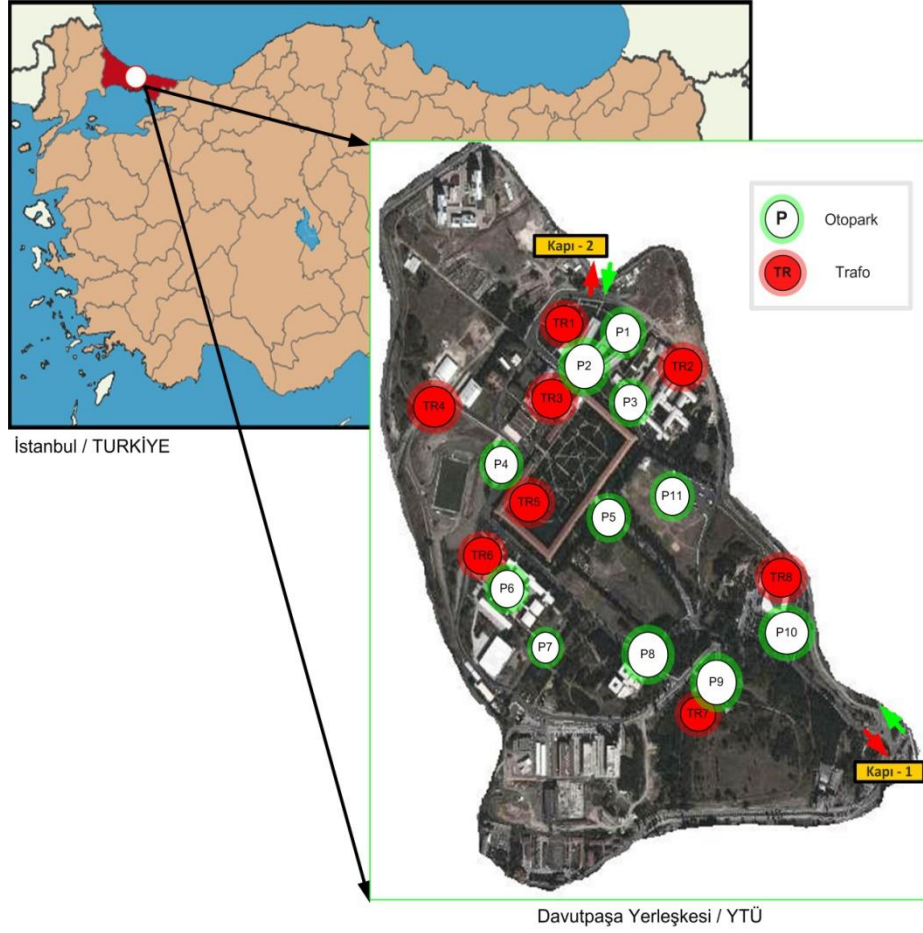
5.1.1 YTÜ Davutpaşa Yerleşke Özellikleri

Yerleşke günümüzde 8 adet trafo merkezi ve 11 adet otopark ile yaklaşık 1200 araçlık otopark kapasitesi ile hizmet vermektedir. Çalışma da yerleşke sınırları içinde bulunan ancak bağımsız bir yapıya sahip olan Teknopark ve yurtların otoparkları hesaplama katılmamıştır. Yerleşkede bulunan otopark alanları ve kapasiteleri hem proje hem de fiziki kontrol vasıtasıyla teyit edilerek son ve güncel haline kavuşturulmuş gerçek verilerdir.

Yapılan çalışmada P2 otoparkı diye tabir edilen cadde üstü ve yoğun kullanım oranına sahip alan, projede otopark olmayan ancak gerçek hayatta kullanılan bir yerdir ve hesaplamalara katılmıştır. Otopark adlandırılması yapılırken bazı bölgeler tek bir otopark gibi alınmıştır. Örneğin tarihi kışla binasının her iki tarafında öne bakan kısımlardaki otoparklar tek bir otopark gibi düşünülmüş analizler ona göre yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşaması olarak Davutpaşa Yerleşkesi içerisindeki park noktaları ve trafo merkezleri belirlenmiş ve Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

5.1.2 Verilerin Elde Edilmesi ve Analizi

Verilerin elde edilmesi ve gerekli analizlerin yapılabilmesi için öncelikle ihtiyaçlar belirlenmiş ve buna bağlı olarak yerleşkede bulunan otoparklardaki araç yoğunlukları ve otopark özellikleri çıkarılmıştır. Daha sonra kullanıcı profillerinin belirlenmesi amacıyla anketler ve gerçek zamanlı sayımlar gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalardan sonra tüm dağıtım trafolarının yüklenme profilleri belirlenmesi için uzaktan enerji izleme sistemi tüm trafoları yerleştirilmiştir. Belirtilen konuların detayları başlıklar halinde anlatılmıştır.



Şekil 5. 3 Davutpaşa yerleşkesi otopark ve trafo merkezi noktaları

5.1.2.1 Otopark Özellikleri

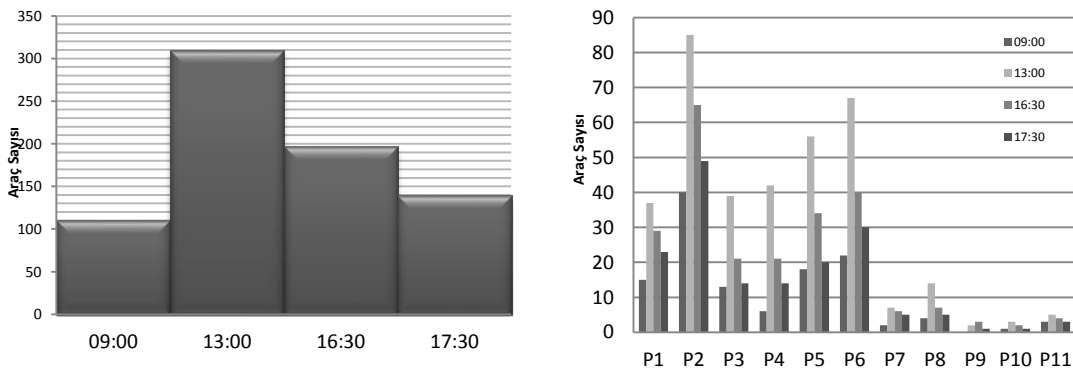
Otoparklarda bir ay boyunca farklı zaman dilimlerinde sayımlar yapılarak otoparkların kullanım oranları çıkarılmıştır. Ayrıca, sayım yapılan bölgelerde ve farklı yerlerde yapılan yüz-yüze görüşmeler sonucunda otoparklar bazında kullanıcı profilleri çıkarılmıştır. Yapılan çalışmada akademisyen (+memur) ve öğrenci (+misafir) şeklinde iki kısma ayrılarak anket çalışması yapılmıştır.

- Eğitim öğretim dönemi içinde güz yarıyılı ve bahar yarıyılı şeklinde 5.11.2012-30.11.2012 ve 15.04.2013-26.04.2013 tarihleri arasında haftada 3 gün, günde 4 kez sayım yapılmıştır.
- Sayımlar 09:00, 13:00, 16:30 ve 17:30 saatlerinde olmak üzere günde 4 kez gerçekleştirilmiştir.
- Yerleşke içerisinde 11 adet otopark belirlenmiştir.

- Yapılan sayımlarda sadece binek araç sayısı dikkate alınmış ve personel servisleri, ring servisleri, şantiye araçları ile İETT araçları dikkate alınmamıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda yerleşke alanında araç sayısı 09:00 ile 13:00 saatleri arasında artmakta ve öğle saatlerinde zirve değerine ulaşan araç sayısı daha sonra azalmaya başlamaktadır. Bu değişim Şekil 5.4-a'da gösterilmektedir.

Davutpaşa yerleşkesinde yapılan keşif çalışmalarında otoparkların toplam kapasitesi 1200 araç olarak belirlenmiştir. Kapasite belirlenirken daha önce belirlenmiş 11 otopark dikkate alınmıştır. Yapımı devam eden fakülte binaları ve lojmanların tamamlanmasının ardından otopark kapasitesi 2000'e çıkacaktır. Gelecekte yapılması planlanan yeni bina ve fakülteler ile davutpaşa yerleşkesinin otopark kapasitesinin ve araç yoğunluğunun çok daha artması beklenmektedir. 30 gün boyunca yapılan sayımlar sonucunda her bir otoparkın belirlenen saat dilimlerindeki araç sayısı değişimi şekil 5.4-b'de gösterilmiştir.



a) Tüm otoparkların araç sayısı değişimi

b) Otoparklarda araç sayısı değişimi

Şekil 5. 4 Araç sayısı değişimi

Bunun yanında her bir otoparkın kapasitesi, kullanıcı profili, doluluk oranı ve ortalama parklanma süreleri de bu süreç içerisinde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar çizelge 5.1'de gösterilmiştir. P11 otoparkı öğrenci ve akademisyenler tarafından tercih edilmediği ve çoğunlukla servis, ring ve İETT araçları bulunduğu için listeye dahil edilmemiştir.

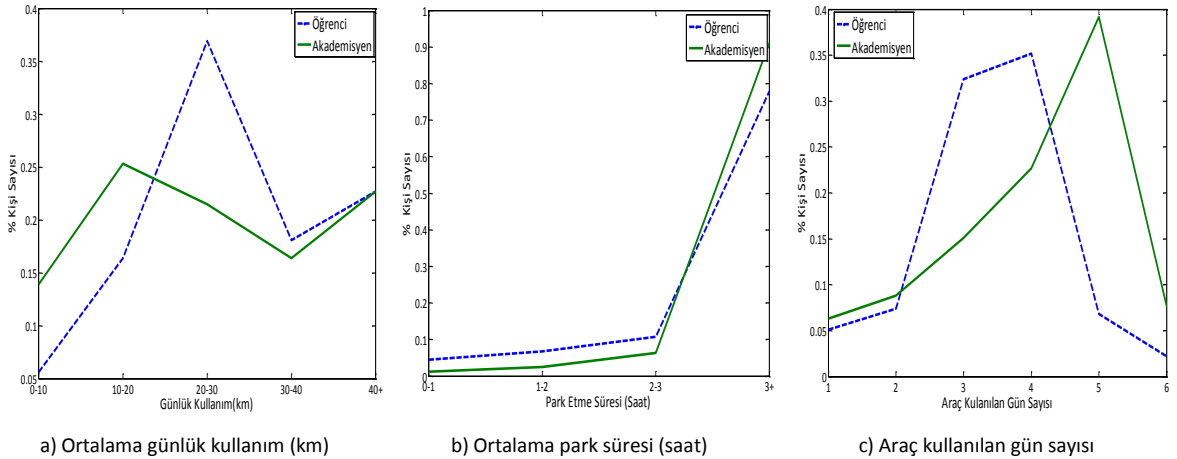
Çizelge 5. 1 Otopark kullanıcı profili ve ortalama park süreleri

Otopark	Kapasite	Doluluk oranı (%)	Kullanıcı Profili (%)	Ortalama Park Süresi (saat)
P1	85	24,57	34,87 ^a	3,79
			65,1 ^b	5,25
P2	150	32,46	73 ^a	4,54
			27 ^b	5,5
P3	76	46,47	4,3 ^a	5
			95,7 ^b	5,15
P4	100	43,25	90,43 ^a	4,09
			9,5 ^b	6
P5	150	46,25	52,1 ^a	4,33
			47,9 ^b	5,53
P6	100	31,47	57,55 ^a	4,86
			42,4 ^b	6,28
P7	15	16,48	79,44 ^a	3,55
			20,5 ^b	5
P8	35	57,38	50,7 ^a	4,25
			49,3 ^b	5,4
P9	34	2,47	46,15 ^a	2,5
			53,8 ^b	5
P10	200	1,9	30 ^a	1
			70 ^b	5

^a Öğrenci, ^b Akademisyen

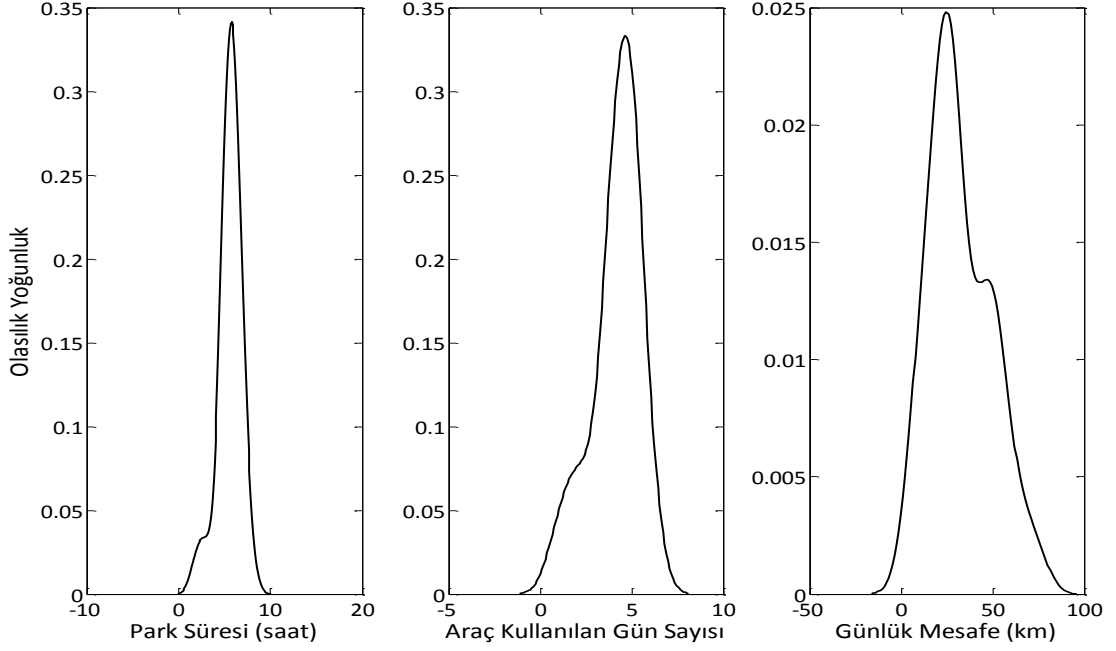
5.1.2.2 Kullanıcı Profilleri

Bir eğitim öğretim dönemi boyunca yerleşke genelinde kullanıcı profillerinin belirlenmesi amacıyla yaklaşık 200 öğrenci ve 200 akademisyen ile yaklaşık 400 kişi ile anket gerçekleştirilmiştir. Anket soruları: Günlük ortalama kat edilen mesafe (km), haftada kaç gün şahsi araç ile yerleşkeye gelindiği(gün) ve ortalama parklanma süresi (saat) şeklindedir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. 5 Anket sonuçları

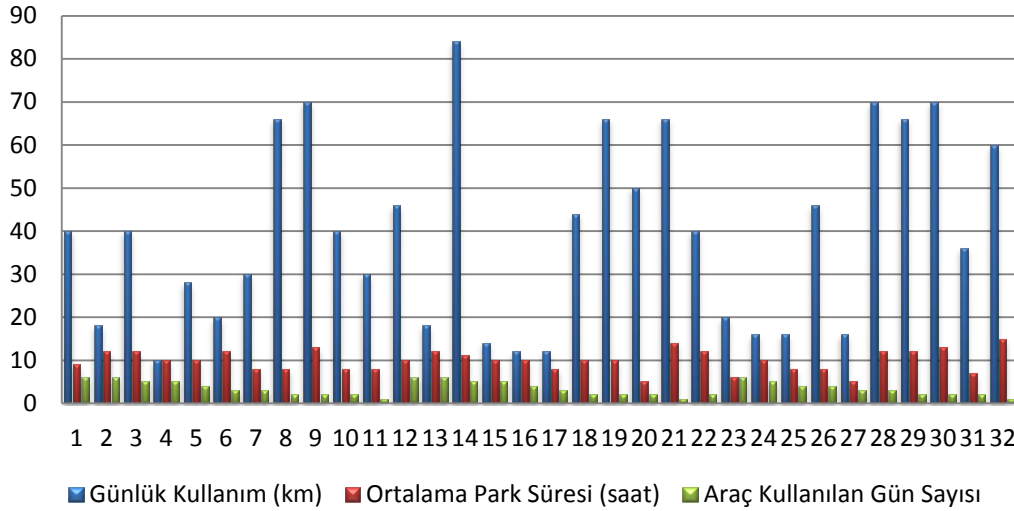
Yüzyüze görüşmeler(anketler) ve gerçek zamanlı sayımlar neticesinde elde edilen sonuçlar incelenecek olunursa günlük otomobil kullanımı ortalama akademisyenlerde 39,8 km olurken, öğrencilerde bu oran 38,46 km'ye düşmektedir. Elde edilen verilerin genel değerlendirmesi için olasılık yoğunluk değerleri elde edilerek Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5. 6 Anket sonuçları olasılık yoğunluk değerleri

Genel sonuçlar incelenecek olursa belli aralıklarda yoğunlaşmalar ve yığılmaların olduğu görülmektedir. Örneğin, yerleşke araç park sürelerine bakılırsa çok büyük oranda 5-6 saat arasında olduğu, araç sahiplerinin hafta içi yoğunlukla araçlarını kullandıkları (ortalama 5 gün gibi) ve son olarak ortalama günlük katedilen mesafenin 40 km civarında olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır. Örnek olarak seçilen 32 adet araç sahibinin ortalama günlük araç kullanımı, park süreleri ve araç kullanılan gün sayıları Şekil 5.7'de verilmiştir.

Yukarıda elde edilen veriler ışığında her bir otoparkın kullanıcı profili, ortalama parklanma süresi, doluluk oranları elde edilerek akıllı şarj sistemi için ön bilgiler elde edilmiştir. Bunun yanında her bir otoparka hitap eden trafo merkezlerinin de incelenerek şebeke sistemine ek yük getirmeden en uygun şarj sistemi oluşturulabilecektir. Bu bağlamda trafo merkezlerinin izlenmesi sayesinde yüklenme eğrilerinin çıkarılması gerekmektedir. Bu konu ile ilgili detaylı anlatım bir sonraki bölümde verilmiştir.

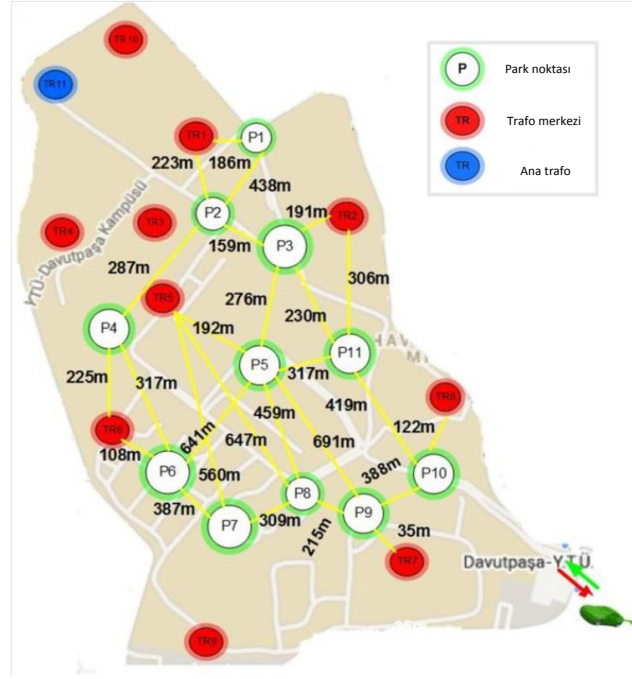


Şekil 5. 7 Örnek kullanıcı profilleri

5.1.2.3 Trafo Merkezlerinin Uzaktan İzlenmesi

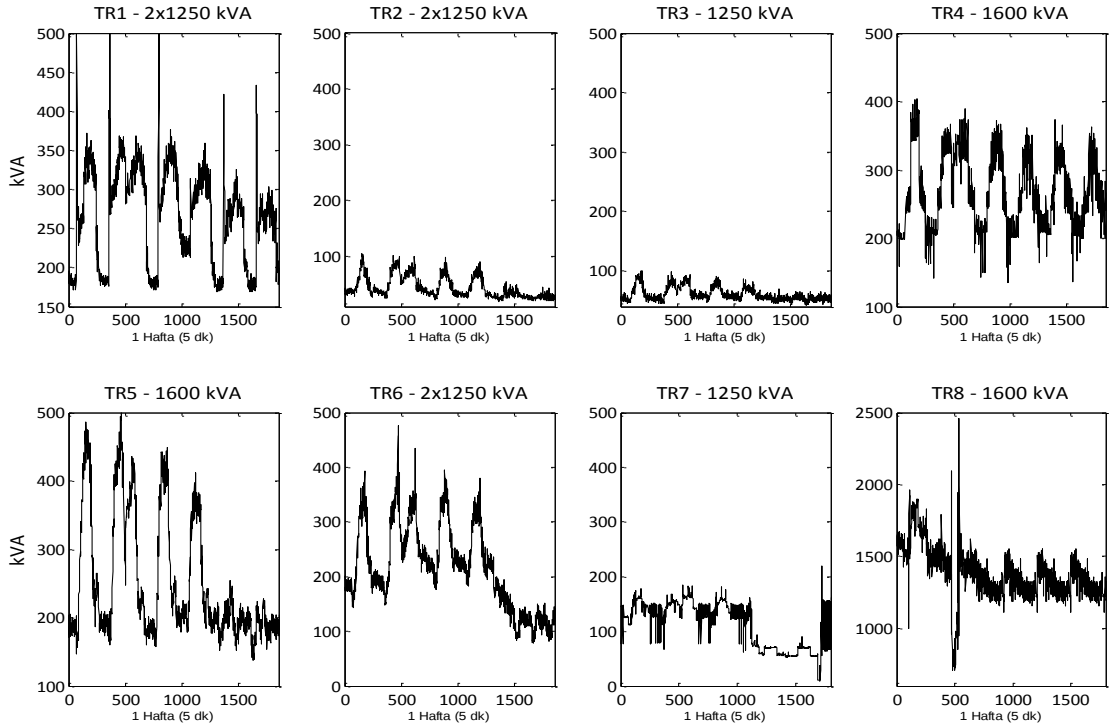
Davutpaşa yerleşkesi bir adet OG trafo merkezi tarafından beslenmektedir. Mevcut şartlarda yerleşkeye sağlanabilecek maksimum güç ise 16 MVA'dır. Yerleşke saatinde 10 adet dağıtım trafosu ile enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Mevcut durumdaki trafo yüklenmelerini görmek ve ileride yapılması muhtemel şarj istasyonlarının etkilerini tahmin edebilmek amacıyla tüm trafo merkezlerinin uzak izlenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda doktora tezi kapsamında yazılan YTÜ Kapsamlı Araştırma Projesi (YTÜ/KAP) bütçesi ile mevcut trafoların uzaktan izlenmesi sağlanmıştır. Trafolarla internete bağlı herhangi bir noktada bir program yardımıyla ulaşılabilen ve anlık değerler okunabilmektedir. Yapılan işlemler sayesinde trafoların aşırı yüklenmelerinin önüne geçilebilecek, dengeli bir yüklenme ile enerji kalitesi korunabilecektir. Ayrıca yüklenme durumuna bağlı olarak EA'lar farklı otoparklara yönlendirilebilecek, gereksiz bekleme ve vakit kaybının önüne geçilebilecektir. Ayrıca, EA'ların trafoların yaşlanmalarına sebep olabilecek olumsuz etkilerinin de azaltılması sağlanabilecektir.

Şekil 5.8'de yerleşke saatindeki trafo merkezlerinin yerleri ve otoparklara olan gerçek mesafeleri gösterilmektedir. Şekil 5.9'da trafo merkezlerine ait olan yüklenme değerlerinin değişimi görülmektedir. Yerleşkede bulunan trafoların yüklenme eğrileri incelendiğinde genel olarak trafoların güçlerinin büyük olduğu ve kapasitelerinin ortalama %25'ini kullandıkları görülmektedir.



Şekil 5. 8 Otopark ve trafo arasındaki gerçek mesafeler

Burada elde edilen bilgiler ışığında gerilim düşümü hesabı, maliyet hesabı, kapasite yeterliliği ve güç kalitesi bakımından hesaplamalar/karşılaştırmalar yapılabilecektir. Yukarıda bahsedilen bilgiler ışığında akıllı şarj sistemi için gerekli olan ön bilgiler toplanmış olacaktır.



Şekil 5. 9 Dağıtım trafoları yüklenmeleri (24-30.06.2013)

5.2 Uygulamalar

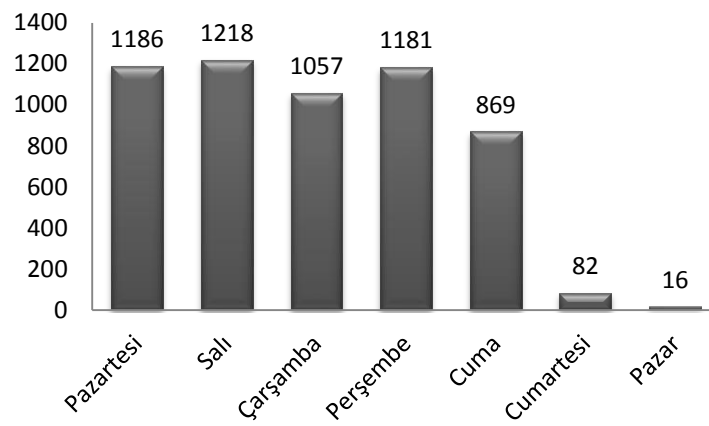
Bu kısımda öncelikle önerilen sistemin işleyişine uygun bir şekilde veriler elde edildikten sonra %5 EA olması durumunda ve en az bekleme süresi kısıtı altında şarj ünitesi sayısı belirlenmiştir. Tüm araçların %5'inin EA olma durumu incelenmesinin sebebi ise; birçok makale ve raporda 2020 yılı gerçekçi rakamlarının tüm iyimser senaryolarda ortalama %5 olarak alınmasından dolayıdır. Yerleşke alanında şarj ünitelerinin optimal konumlandırılması, elektrik şebeke sistemi kayıplarını da en aza indirecek şekilde yapılmıştır. Şarj istasyonlarının yerleri belirlendikten sonra akıllı şarj yönetim sistemi, farklı senaryolar altında sınanmış ve sonuçlar analiz edilmiştir. Yukarıda bahsi geçen sistemin kullanıcılara rahat ulaşması, uygulanabilirliğinin gösterilmesi ve farkındalığın artması için Android tabanlı akıllı telefon uygulaması yapılmıştır. İlgili bölümler aşağıda sırasıyla anlatılmıştır.

5.2.1 Davutpaşa Yerleşkesi Şarj Altyapısı Planlaması

Literatürde şarj istasyonlarının konumlandırılması ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Özellikle Amerika başta olmak üzere birçok farklı gelişmiş ülkede yoğunlukla EA'ların ev tipi şarj istasyonları ile gece şarj edilmesi ve bunun etkileri incelenmektedir. Ancak her ülkenin ve şehrin farklı demografik, coğrafi ve fiziksel yapıya sahip olmasından dolayı şarj ihtiyacı çok çeşitli şekillerde karşılanabilmelidir. Büyük bir metropol olan İstanbul örneği incelendiğinde, araç kullanıcılarının büyük kısmı gelişigüzel bir şekilde cadde üstü otoparklara araçlarını park etmek zorunda kalmaktadırlar. Bu durum EA'ların gece şarjına mücadele etmeyeceği gibi, hem teknik hemde güvenlik açısından birçok sakıncalı durumu içerisinde barındırmaktadır. EA sahipleri araçlarını alışveriş merkezi, otoparklar veya iş yerlerinde gün içinde şarj edebilmelidirler. Bu bağlamda önerilen modelin gerçek bir sistem üzerinde ve gerçek verilerle sınanması amacıyla YTÜ Davutpaşa Yerleşkesi seçilerek, yerleşke yaşam tarzı olan alanlarda sürücülerin ihtiyaçlarını dikkate alacak optimal bir çözüm önerisi sunulmuştur.

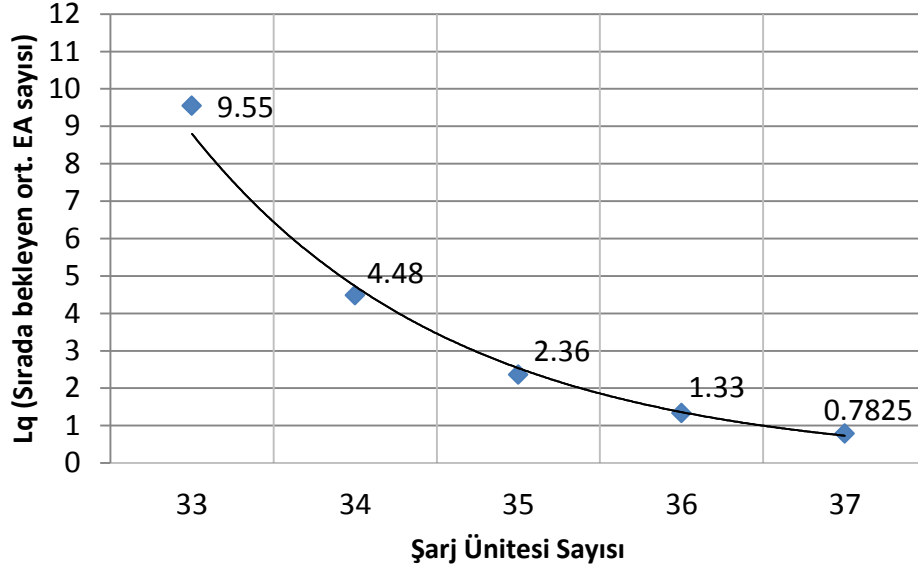
Yerleşke alanı, trafolar ve park noktaları Şekil 5.3'te gösterilmektedir. İlk olarak 07:00 ile 19:00 arasında saatlik ortalama araç yoğunluğu değerleri elde edilmiştir. Sabah çok erken ve gece saatlerinde yerleşke alanında araç yoğunluğu ihmal edilecek düzeyde olduğundan dolayı gündüz yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Bunun yanında hafta

sonu değerleri de aynı şekilde ihmal edilecek düzeyde olduğundan dolayı sadece hafta içi verileri kullanılmıştır. Şekil 5.10’da yerleşkenin haftalık araç yoğunluğu değişimi gösterilmektedir. Hafta içi ortalama araç yoğunluğu değeri 1102,2 araç/gün olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte belirlenen saatler arasında saatlik ortalama araç yoğunluğu değeri ise 91,85 araç/saat olarak bulunmuştur. Bu verilere bağlı olarak EA oranının %5 olma durumu için senaryolar oluşturulmuştur. Bu çalışmada, yüksek doğruluk oranına ulaşmak için bir ay boyunca her bir park noktasında araç sayısı analiz edilmiştir. Belirtilen veriler Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5. 10 Haftalık araç yoğunluğu değişimi

Optimum şarj altyapısı planlaması hesaplamalarının yapılabilmesi için yerleşke saatinde çıkarılan anket sonuçları kullanılmıştır. Sonuçlara göre araçların ortalama park süreleri 6 saat olarak belirlenmiştir. KT’de servis süresi, yukarıda belirtilen ortalama park süresi olarak kullanılacaktır, ancak bu süre isteğe göre değiştirilebilecektir. EA’ların en büyük problemlerinden olan uzun şarj sürelerinin de yerleşke tarzı yaşam alanlarında şarj sırası bekleme gibi zamanı uzatacak olumsuz etkisinin önüne geçmek adına ortalama bekleyen EA sayısını en aza indirecek (1’den küçük yapacak) şarj ünitesi sayısına ulaşmak öncelikli hedef olacaktır. Bu durum en kötü senaryo olarak değerlendirilebilir. Yani, hangi oranda EA belirlendiyse hepsinin yerleşkede bulunup, şarj talep etmeleri ve hepsinin de aynı anda şarjına imkân tanıyan bir yapıda olması demektir. İlk örnek olayda, servis süresi 6 saat olarak alınmış ve buna göre minimum bekleme süresini veren şarj ünitesi sayısı belirlenmiştir. Şarj ünitesi sayısına bağlı ortalama bekleyen EA sayısı değişimi Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5. 11 Şarj ünitesi sayısına bağlı ortalama sırada bekleyen EA sayısı

37 adet şarj ünitesi ihtiyacı karşılayacak düzeydedir ve bu şarj ünitelerinin yerleşke içinde en uygun noktalara dağılımı yapılmalıdır. Bu amaçla AHS kullanılacak ve uygun yerler belirlenecektir. Bu amaçla öncelikle 3 adet alternatif belirlenmesi gereklidir. Alternatifler uzman kişiler tarafından belli amaca göre veya gelişigüzel belirlenebilirler. Bu çalışmada yoğunluk (araç trafiği, insan vb.) ve ulaşılabilirlik öncelikli alternatifler oluşturulmuştur. Alternatiflerin doğruluğu ve tutarlılığı AHS ile kontrol edilerek nihai sonuca ulaşılabilecektir. Belirlenen alternatifler Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 2 Senaryo 1’e göre şarj ünitelerinin dağılımı

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Alternatif 1	3	4	5	5	5	3	2	4	2	0	4
Alternatif 2	4	5	5	4	4	4	3	3	2	1	2
Alternatif 3	1	5	5	4	5	3	3	3	3	2	3

Alternatifler belirlendikten sonra dikkate alınan kriterler ile alternatiflerin ağırlıkların hesaplanacaktır. Bölüm 3.1.2’de detaylı bir şekilde anlatılan AHS adımları uygulanmaya başlanacaktır. Öncelikle A_1 ile ifade edilen karşılaştırma matrisi oluşturulur. Herbir kriterin ağırlığı “bir kriter diğer bir kriterden ne kadar önemli?” sorusuna verilecek mantıklı cevaplardan sonra oluşturulacaktır [100]. Bölüm 3.1.3’te belirlenen kriterler kullanılarak aralarında önem sıralaması yapılarak A_1 matrisi oluşturulmuştur.

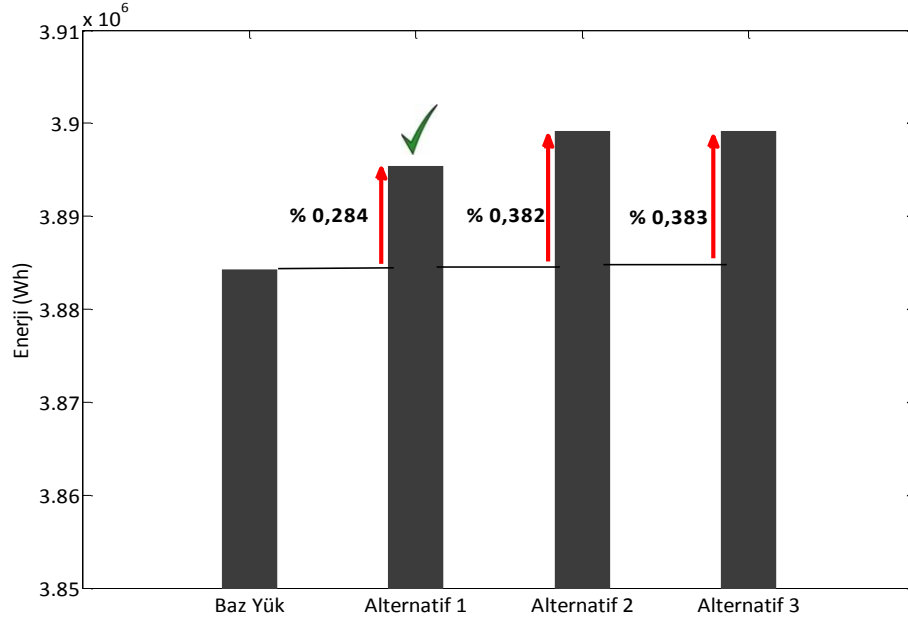
		f₁	f₂	f₃	f₄	f₅	f₆
f₁		1	1/3	1/2	1/7	1	1/7
f₂		3	1	1	1/5	1	1/5
f₃		2	1	1	1/5	1	1/5
f₄		7	5	5	1	5	1
f₅		1	1	1	1/5	1	1/5
f₆		7	5	5	1	5	1

A_1 matrisinin normalize edilmiş özvektörü ile her bir kriterin ağırlıkları sırasıyla (" f_1 ", " f_2 ", " f_3 ", " f_4 ", " f_5 ", ve " f_6 ") ; $W_1 = [0,0475 \ 0,0849 \ 0,0769 \ 0,3608 \ 0,0690 \ 0,3608]$ olarak hesaplanmıştır. Eşitlik (12)'ye göre özdeğer (λ_{max1}) 6,1006 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak tutarlılık oranı (CR_1) ise 0,0162 bulunmuş ve tutarlılık testinden geçmiştir. Elde edilen sonuçların ve yaklaşımların amaca uygun olduğu belirlenmiştir. Daha sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak alternatiflerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Nihai olarak bu değerler toplanıp her bir alternatifin toplam öncelik değeri elde edilmiştir. Çizelge 5.3'te elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Çizelge 5. 3 Senaryo 1 için alternatiflerin ağırlıkları

	f1	f2	f3	f4	f5	f6	Toplam Ağırlık
Alternatif 1	0,0068	0,0121	0,0132	0,2097	0,0281	0,2097	0,4796
Alternatif 2	0,0204	0,0364	0,0213	0,0395	0,0182	0,0395	0,1754
Alternatif 3	0,0204	0,0364	0,0424	0,1116	0,0227	0,1116	0,3450

Alternatif 1, %47,96 oranında yüksek bir ağırlıkla en uygun alternatif olarak görülmektedir. Elde edilen sonucun doğruluğunun tekrar sınanması amacıyla NEPLAN® güç akış analizi programı kullanılarak şarj istasyonlarının farklı dağılımlara göre sebep olacakları enerji kayıpları hesaplanmıştır. Senaryo 1 için önerilen alternatiflerin hepsi programa girilerek güç akış analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen kayıp karşılaştırmaları Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde AHS ile elde edilen en yüksek ağırlıklı alternatif dağılımının, en az enerji kaybına sebep olacak dağılım olduğu görülmektedir. Elde edilen bu iki sonuçta Alternatif 1'in en uygun şarj ünitesi dağılımı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5. 12 Senaryo 1 alternatiflerinin enerji kayıp miktarları (24-30.06.2013)

Senaryo 2’de ise şarj süresi (servis süresi) 3 saat olarak belirlenmesi durumunda kaç adet şarj ünitesi ile minimum bekleme sağlanacak sorusuna cevap aranacak ve bunun yanında alternatif sayısı azaltılarak amaç güncellenecektir. Birinci senaryoda amaç ulaşılabilirliği kolay ve yoğunluğu (trafik ve insan) fazla olan noktalara daha fazla şarj ünitesi ile hizmet sunmak iken, ikinci senaryoda amaç ilk yatırım giderlerinin azaltılmasını sağlamak olarak belirlenmiştir. Bu amaç yukarıda bahsedilen kriterlerden “f3”ün asıl önceliğe sahip olduğunu göstermektedir. Bunun yanında kriter sayısı azaltılarak 5’e indirilmiş ve ulaşılabilirlik kriteri ikinci senaryoda çıkarılmıştır. Oluşturulan yapı sayesinde amaca göre kriterler veya alternatifler istenildiği kadar artırılıp azaltılabileceği gibi şarj süresine göre beklentilerinde değiştirilmesine olanak sağlanmaktadır.

Bu senaryoda 20 adet şarj ünitesi, sırada araç olmama durumunu sağlamaktadır (bkz. Çizelge 3.3). Yine belirlenen kriterlere göre 3 farklı alternatif oluşturulmuştur. Önerilen alternatifler Çizelge 5.4’te gösterilmektedir.

Çizelge 5. 4 Senaryo 2’ye göre şarj ünitelerinin dağılımı

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
Alternatif 1	1	2	3	3	3	2	1	3	0	0	2
Alternatif 2	2	3	1	2	3	4	0	1	1	2	1
Alternatif 3	2	3	3	2	2	2	1	2	1	0	2

Bu senaryoda A_2 karşılaştırma matrisi ise aşağıdaki gibi oluşturulmuştur;

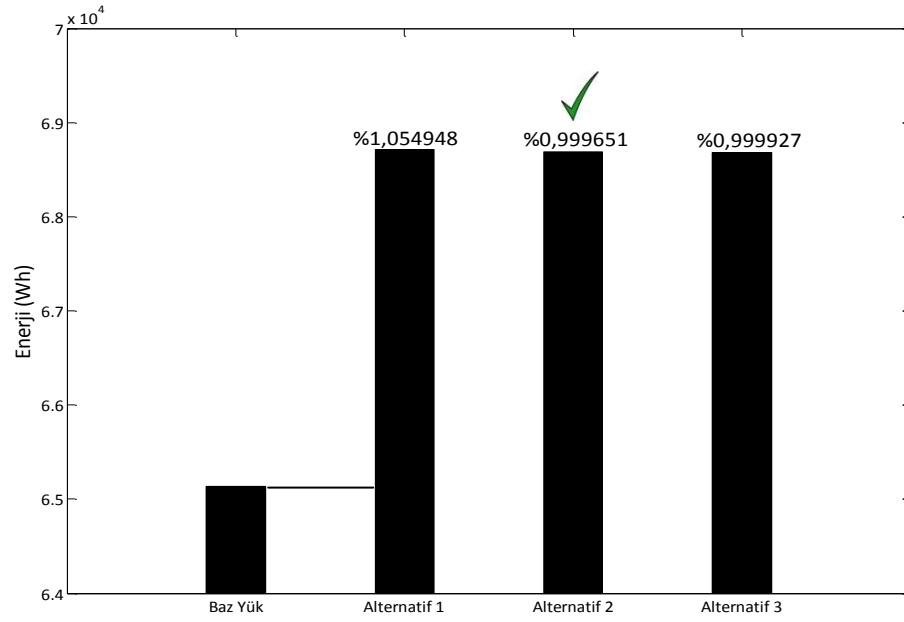
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
f_1	1	1	1/7	1/3	1/3
f_2	1	1	1/7	1/3	1/3
f_3	7	7	1	5	5
f_4	3	3	1/5	1	1
f_5	3	3	1/5	1	1

A_2 matrisinin normalize edilmiş özvektörü ile her bir kriterin ağırlıkları sırasıyla (" f_1 ", " f_2 ", " f_3 ", " f_4 ", ve " f_5 ") ; $W_2 = [0,0610 \ 0,0610 \ 0,5662 \ 0,1559 \ 0,1559]$ hesaplanmıştır. Eşitlik (12)'ye göre özdeğer (λ_{max2}) 5,094 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak tutarlılık oranı (CR_2) ise 0,0210 bulunmuş ve tutarlılık testinden geçmiştir. Elde edilen sonuçların ve yaklaşımların amaca uygun olduğu belirlenmiştir. Daha sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturularak alternatiflerin ağırlıkları hesaplanmıştır.

Çizelge 5. 5 Senaryo 2 için alternatiflerin ağırlıkları

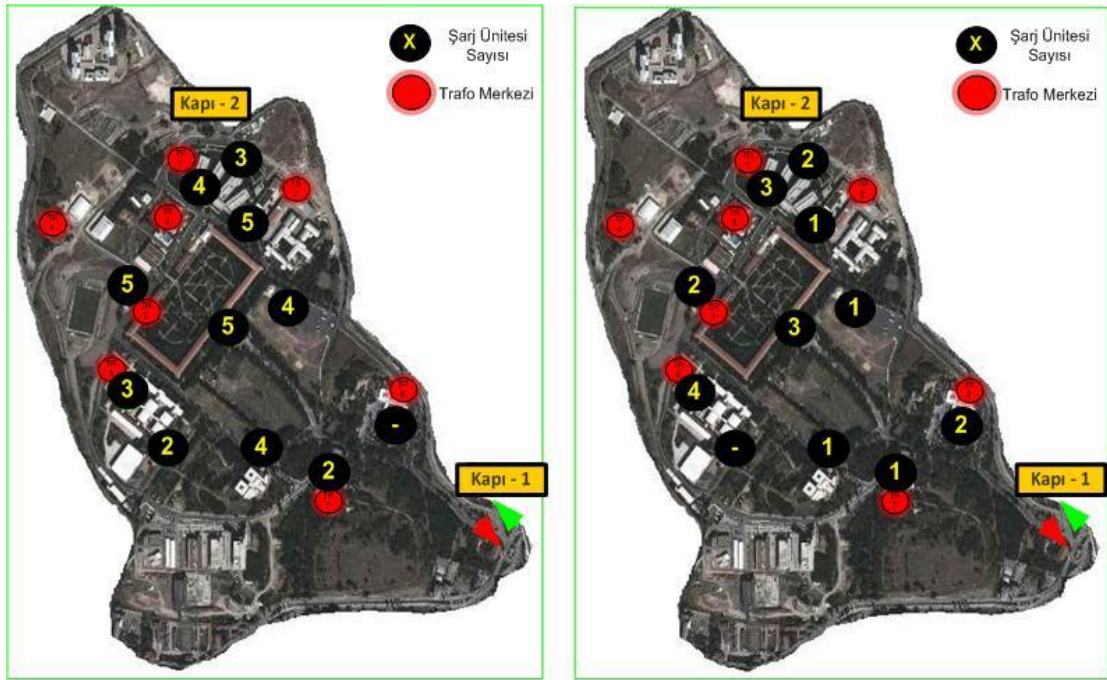
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	Toplam Ağırlık
Alternatif 1	0,0122	0,0181	0,1029	0,0840	0,0780	0,2953
Alternatif 2	0,0244	0,0100	0,3088	0,0255	0,0390	0,4077
Alternatif 3	0,0244	0,0329	0,1544	0,0463	0,0390	0,2970

Nihai olarak bu değerler toplanıp her bir alternatifin toplam öncelik değeri elde edilmiştir. Çizelge 5.5'te elde edilen sonuçlar görülmektedir. Alternatif 2, %40,77 oranında yüksek bir ağırlıkla en uygun alternatif olarak görülmektedir. Elde edilen sonucun doğruluğunun sınanması amacıyla Senaryo 2 için alternatiflerin sebep olacakları enerji kayıpları hesaplanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen kayıp karşılaştırmaları Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde AHS ile elde edilen en yüksek ağırlıklı alternatif dağılımının, en az enerji kaybına sebep olacak dağılım olduğu görülmektedir. Elde edilen bu iki sonuçta Alternatif 2'nin en uygun dağılım olduğunu göstermektedir. Ancak burada elde edilen sonuçların global optimumu garanti ettikleri söylenemez. Bu bağlamda daha farklı veya iyi sonuçların elde edilmesi olasıdır.



Şekil 5. 13 Senaryo 2 alternatiflerinin enerji kayıp miktarları (24.06.2013)

Senaryo 1 ve senaryo 2'ye göre şarj ünitelerinin optimal dağılımı Şekil 5.14'te gösterilmiştir.

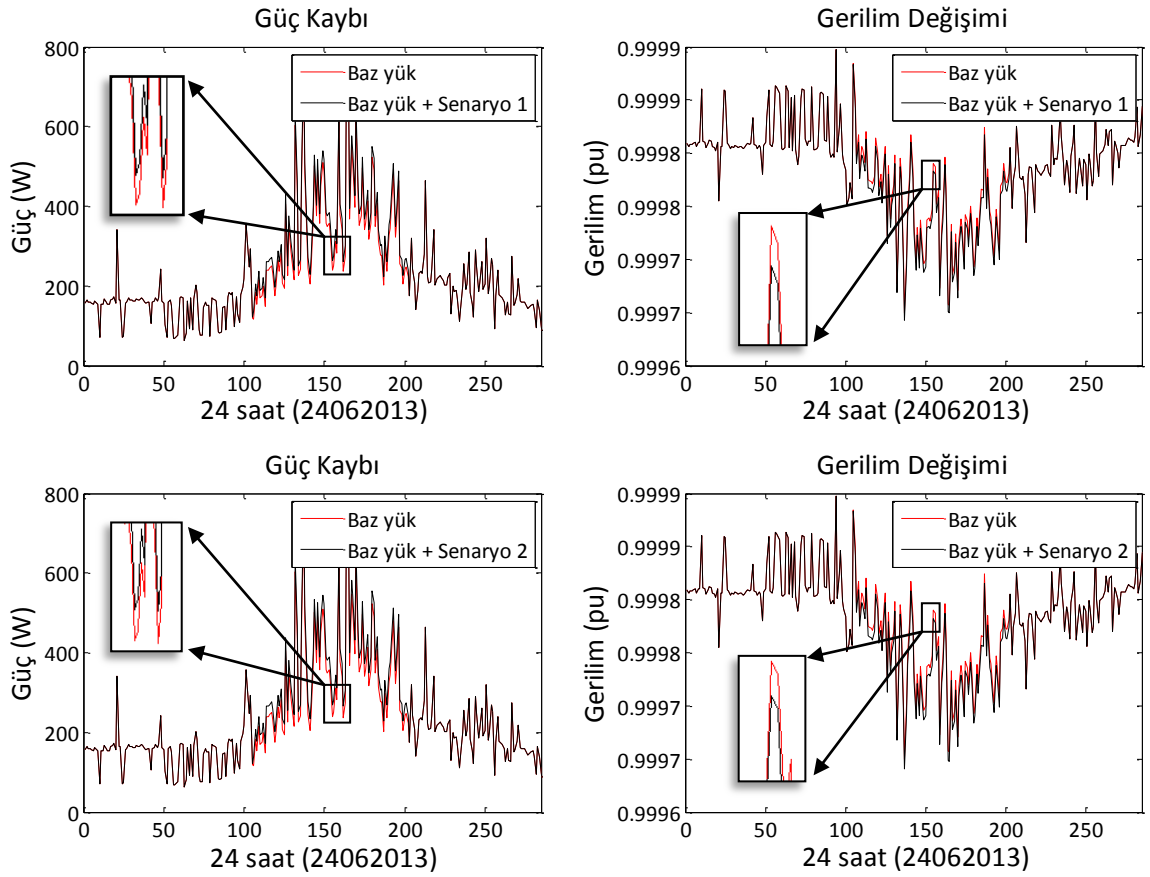


a) Senaryo 1 (37 Şarj Ünitesi)

b) Senaryo 2 (20 Şarj Ünitesi)

Şekil 5. 14 Davutpaşa yerleşkesi şarj ünitelerinin optimal dağılımı

Elde edilen sonuçlar NEPLAN güç akışı programında bir günlük çalıştırılması sonucunda elde edilen güç kaybı ve gerilim değişimi ise Şekil 5.15'te verilmiştir.



Şekil 5. 15 Senaryoların bir günlük güç kaybı ve gerilim değişimi

5.2.2 Akıllı Şarj Yönetimi

5.2.2.1 Floyd Algoritmasının Davutpaşa Yerleşkesine Uygulanması

Algoritmayı uygulayabilmek için belirlenmiş olan 11 park noktası kullanılmıştır. Daha sonra bu düğüm noktaları birleştirilerek Google Earth yardımıyla park yerleri arasındaki gerçek mesafeleri (metre) ölçülmüştür. MATLAB program giriş matrisi Çizelge 5.6'da gösterildiği gibi girilmiştir. Gerekli hesaplamaların yapılması için oluşturulan algoritmanın MATLAB kodu EK-A2 'de verilmiştir.

Hesaplamalar sonucunda elde edilen sonuç matrisi ise Çizelge 5.7'de gösterildiği gibi elde edilmiştir. Elde edilen sonuç incelenecek olunursa, tüm otoparklar arasındaki en kısa yollar çıkarılmıştır. Bu yollar tüm alternatifler ile değerlendirilerek optimal yola karar verilmesine olanak sağlayacaktır.

Çizelge 5. 6 Floyd algoritması giriş matrisi

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P1	0	438	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
P2	438	0	159	287	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
P3	∞	159	0	∞	276	∞	∞	∞	∞	∞	230
P4	∞	287	∞	0	∞	317	∞	∞	∞	∞	∞
P5	∞	∞	276	∞	0	641	∞	459	691	∞	317
P6	∞	∞	∞	317	641	0	387	∞	∞	∞	∞
P7	∞	∞	∞	∞	∞	387	0	309	∞	∞	∞
P8	∞	∞	∞	∞	459	∞	309	0	215	∞	∞
P9	∞	∞	∞	∞	691	∞	∞	215	0	388	∞
P10	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	388	0	419
P11	∞	∞	230	∞	317	∞	∞	∞	∞	419	0

Bu açıdan elde edilen çıkış matrisi elde edilen sonuçların doğruluğunda büyük öneme sahip olacaktır. Dinamik olarak çalışan bir sistemde tercih edilen bir şarj istasyonunun o anki konumu ile arasındaki mesafe bilinmektedir. Bunun yanında herhangi bir yönlendirmeye ihtiyaç olması durumunda önerilen optimal konum ile, ilk tercih edilen konum arasındaki mesafe bilineceğinden dolayı kullanıcı en uygun çözüme kolaylıkla yönlendirilebilecektir.

Çizelge 5. 7 Floyd algoritması sonuç matrisi

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P1	0	438	597	725	873	1042	1429	1332	1547	1246	827
P2	438	0	159	287	435	604	991	894	1109	808	389
P3	597	159	0	446	276	763	1044	735	950	649	230
P4	725	287	446	0	722	317	704	1013	1228	1095	676
P5	873	435	276	722	0	641	768	459	674	736	317
P6	1042	604	763	317	641	0	387	696	911	1299	958
P7	1429	991	1044	704	768	387	0	309	524	912	1085
P8	1332	894	735	1013	459	696	309	0	215	603	776
P9	1547	1109	950	1228	674	911	524	215	0	388	807
P10	1246	808	649	1095	736	1299	912	603	388	0	419
P11	827	389	230	676	317	958	1085	776	807	419	0

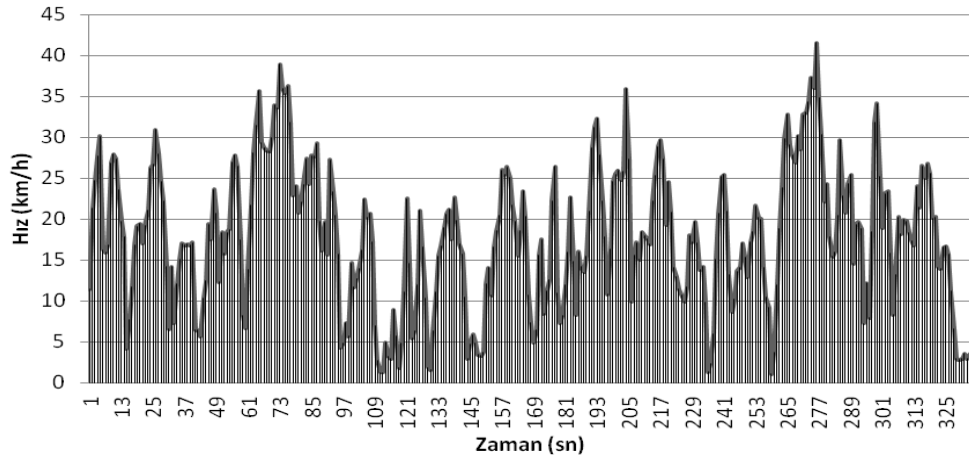
5.2.2.2 EA Enerji Tüketim Modelinin Oluşturulması

EA enerji tüketim verilerinin oluşturulması ile kilometrede tüketilecek olan enerjinin gerçek verilerle hesaplanması amaçlanmıştır. Literatürde birçok farklı tüketim verileri kullanılmaktadır ancak gerçek bir EA ile yapılan sürüş sonrasında bu hesaplamaların yapılması bizlere daha gerçekçi sonuçlar verecektir. Bu amaçla bir araç üreticisinin BEA'sı kullanılarak Şekil 5.16'da gösterilen güzergâh için enerji tüketimi hesaplanmıştır.



Şekil 5. 16 Elektrikli araç sürüş güzergâhı

Yapılan çalışmada Şekil 5.17'daki sürüş profiline göre enerji tüketim verileri elde edilmiştir. Davutpaşa yerleşkesi Elektrik Elektronik Fakültesi (EEF) otoparkında bulunan 220 V, 16 A, çıkış değerlerine sahip çift çıkışlı Level 1 şarj ünitesi ile EA'nın şarjı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. 17 Sürüş profili

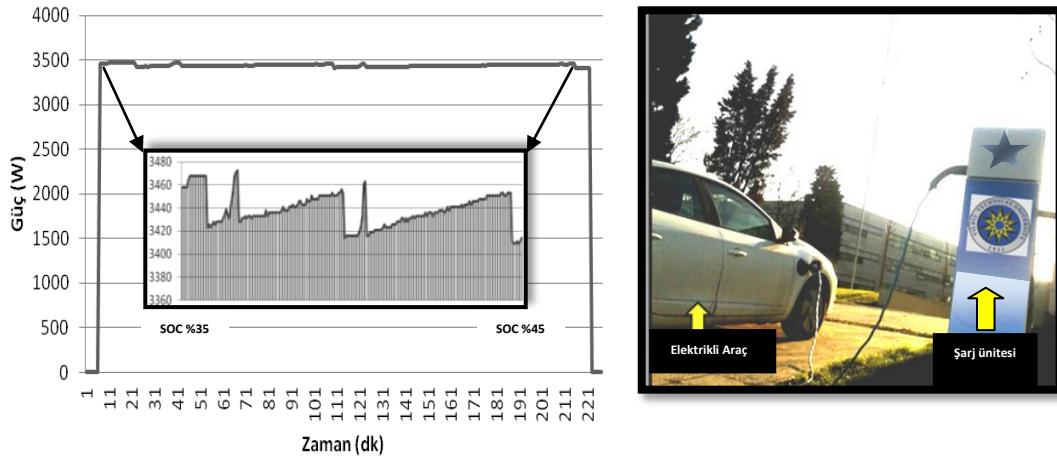
Çizelge 5.8'de görüldüğü gibi 7 Ocak 2013'te saat 10:44'te başlayan sürüş 16 dakika sürmüştür. Bu sırada araç normal bir şekilde kullanılmış, yerleşke içerisindeki hız önleyicilerden dolayı dur-kalk'lar çok fazla olmuştur. Bu sürüş İstanbul yoğun trafik sürüş moduna benzemesi açısından gerçek verilere yakın değerler olduğu düşünülmektedir. Batarya doluluk oranı başlangıç anında %45 iken, bitiş anında %35'tir. Tüketilen toplam enerji 2 kW civarında iken toplam katedilen mesafe ise

yaklaşık 5,8 kilometredir. Araç 16 dakikada %10 enerji seviyesini kaybederken, ancak 38 dakikada aynı batarya doluluk oranına çıkabilmiştir. Aradaki bu büyük şarj-deşarj zaman farkı bile ayrı bir çalışma konusu olabilir.

Çizelge 5. 8 EA şarj-deşarj çalışması

		Başlangıç	Bitiş
	Saat	10:44	11:00
	SOC %	% 45	% 35
	Toplam tüketilen enerji	2123,53 (Watt/h)	
Deşarj	Kat edilen mesafe	5,7801 (km)	
	Saat	12:00	12:38
	SOC %	%35	%45
Şarj	Saat		
	SOC %		

Şekil 5.18’de EA şarj eğrisi (güç-zaman grafiği) ve EEF otoparkında bulunan şarj ünitesi ile kullanılan EA’nın fotoğrafı gösterilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda EA’nın enerji tüketim değeri $0,367 \text{ kWh/km}$ olarak bulunmuştur. Gerçek zamanlı veriler ile elde edilen bu tüketim ve şarj eğrisi değerleri simülasyonlarda kullanılmıştır.

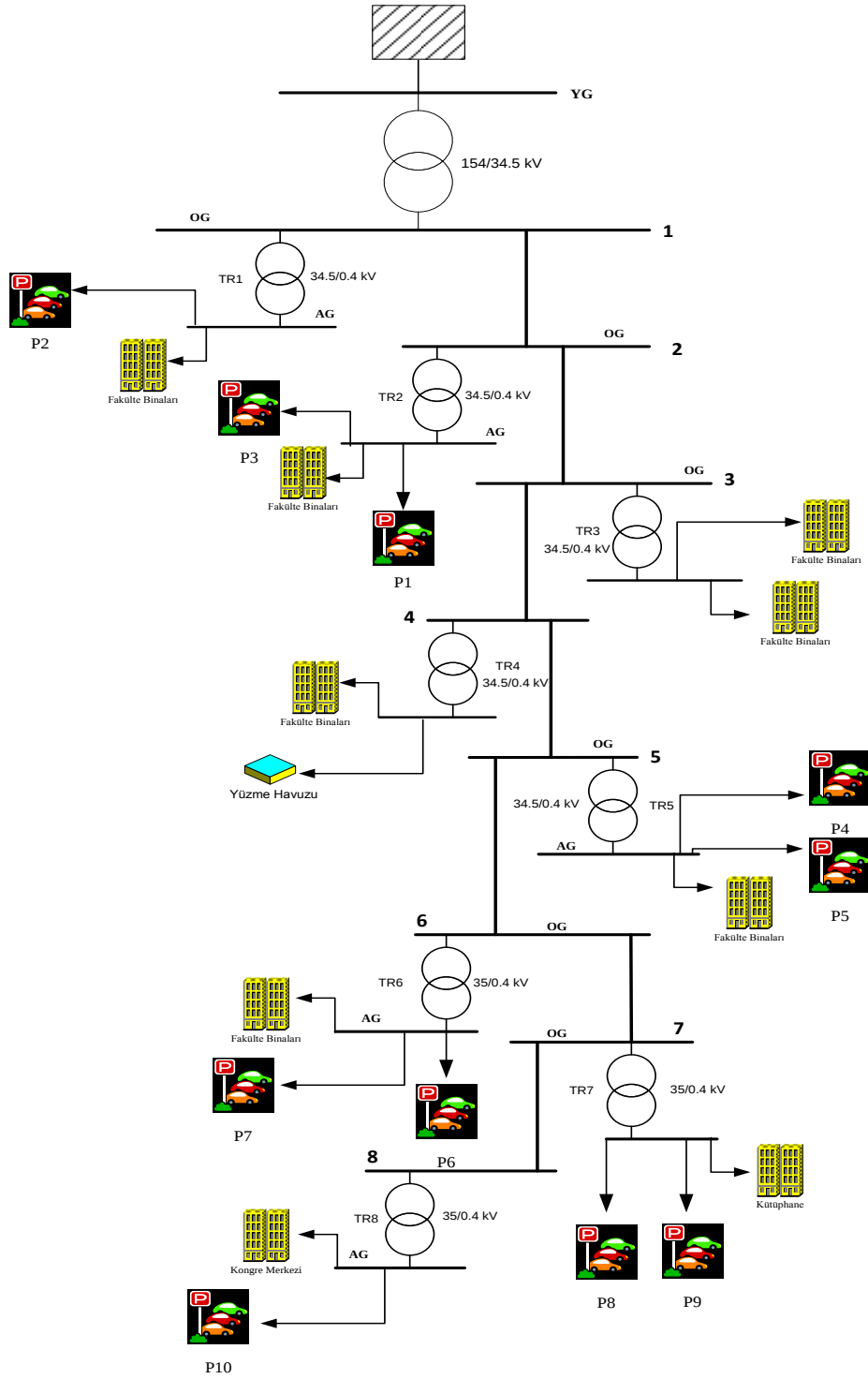


Şekil 5. 18 EA’n şarj eğrisi, kullanılan EA ve şarj ünitesi

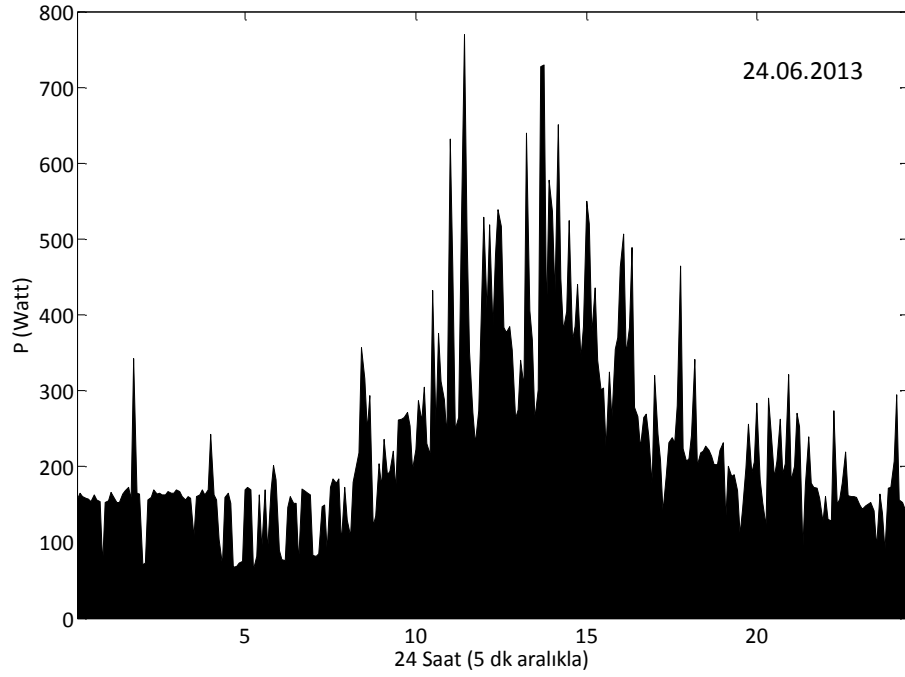
5.2.2.3 Davutpaşa Yerleşkesi Enerji Dağıtım Hattının Modellenmesi

Davutpaşa yerleşkesi trafo merkezleri ve bulunduğu yerler daha önce Şekil. 5.2’de gösterilmişti. Dağıtım hattı MATLAB/Simulink ortamında modellenmiştir ve elde edilen gerçek değerler kullanılarak sistemin vereceği cevaplar analiz edilmiştir. Şekil 5.19’de oluşturulan enerji dağıtım hattı modeli gösterilmektedir. EA’lar olmadan baz talep doğrultusunda bir günde hatlarda meydana gelen kayıp güç değişimi Şekil 5.20’de

gösterilmektedir. Şekil incelenirse enerji talebinin arttığı zaman aralıklarında (özellikle 09:00-17:00 arasında) kayıp miktarının iki kat arttığı görülmektedir.



Şekil 5. 19 Davutapaşa yerleşkesi dağıtım hattı



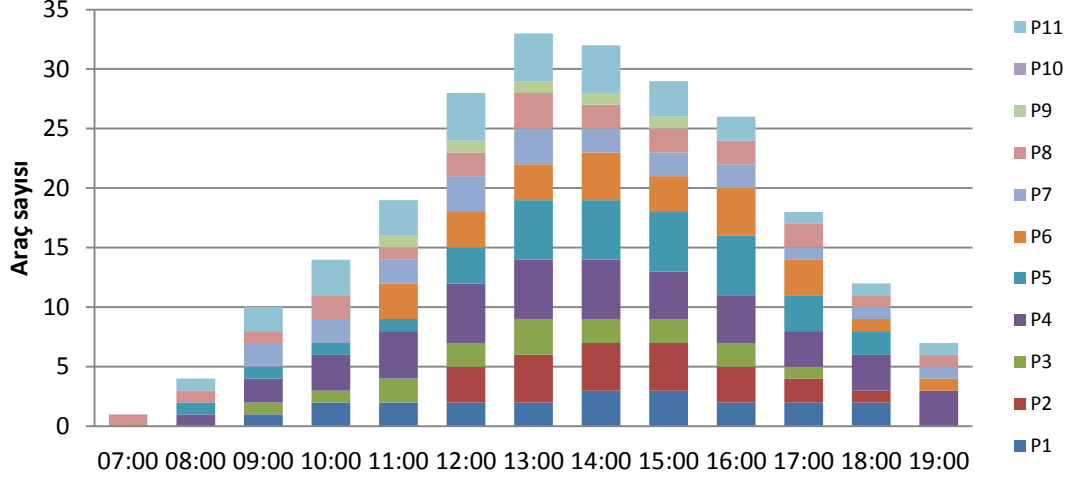
Şekil 5. 20 Kayıp gücün zamana göre değişimi

5.2.2.4 Akıllı Şarj Yönetim Sistemi Uygulama Sonuçları

Bu bölümde yerleşke genelinde simülasyon yardımıyla oluşturulan araç girişleri durumunda şebeke sisteminin verdiği cevabı ve sistemin müsait olmaması durumunda enerji-etkin yönlendirme sonuçlarını, araçların gün sonunda önerilen strateji ile zaman, enerji ve ekonomik kazanç değerleri hesaplanmıştır.

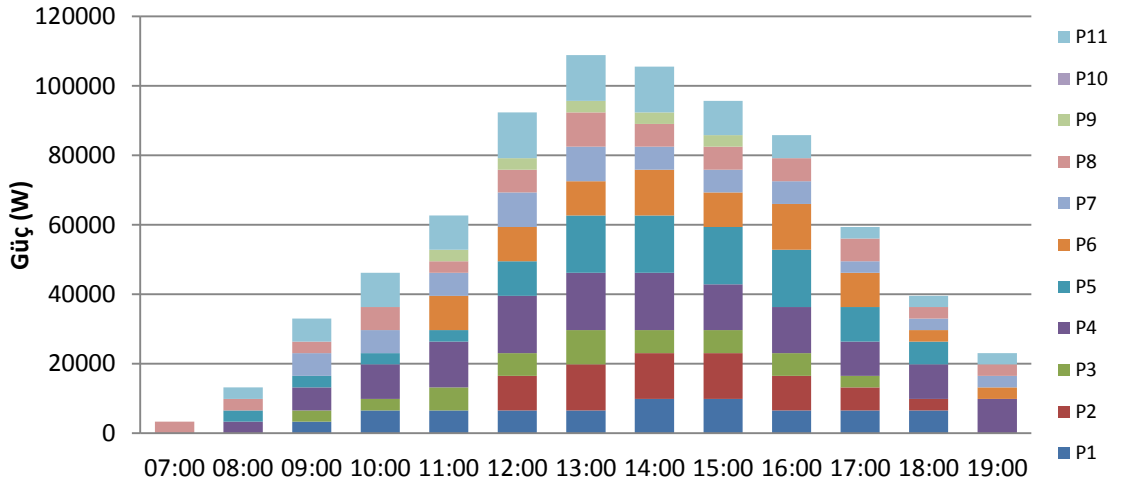
Yapılan simülasyon programı iki bölüme ayrılmıştır. İlk bölümde, park noktalarının ortalama araç yoğunlukları ve sürücü profilleri kullanılarak her bir saat için park noktalarındaki araç sayısı ataması yapılmıştır. İkinci bölümde ise, bir önceki bölümde sisteme işlenen araç/kullanıcı verilerinden faydalanılarak enerji-etkin yönlendirme yapılmıştır. Her bir trafo merkezinin yüklenme eğrileri saatlik olarak sisteme girilmiş ve araç bağlantı durumlarına bağlı olarak hatların uygunluk durumları sürekli olarak gözlemlenmiştir. Sürücülerin seçeceği park noktaları gelişigüzel olarak belirlenmiş ve buna göre hat uygun durumda ise istenilen şarj işlemi için süreç başlamış olacaktır. Ancak, müsait değilse Floyd algoritması işleme alınarak optimal noktaya yönlendirme yapılmıştır. Eğer şarj talebinde bulunulan zamanda hiçbir şarj noktası müsait değilse, sürücünün beklemesi için uyarı mesajı verilmiştir. Bir önceki bölümde yerleşke ortalama araç park süresi yaklaşık 6 saat bulunduğundan dolayı, yapılacak olan akıllı şarj yönetiminde de EA'ların sistemde 6 saat kalacakları kabul edilerek simülasyon

yapılmıştır. Simülasyon kodları EK A-1’de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada bir günlük 60 aracın gelişigüzel dağılımının önceki verilerin ağırlıkları kullanılarak dağılımlar ağırlıklandırılmıştır. Yapılan çalışmasonucunda elde sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 5. 21 Araç sayısının zaman göre değişimi

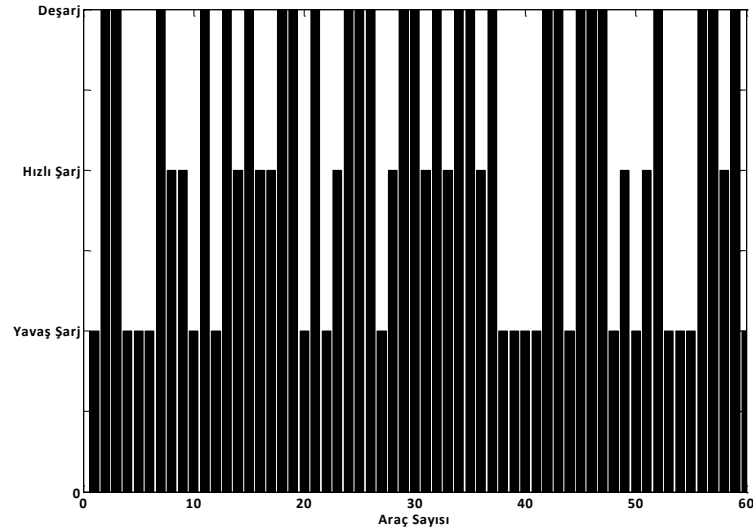
Şekil 5.21’de yapılan atama sonucunda araç sayısının zamana göre otoparklardaki değişimi gösterilmektedir. Benzer şekilde Şekil 5.22’de bu değişime bağlı olarak EA’ların enerji talebindeki değişim görülmektedir. Şekil 5.20’de verilmiş olan kayıp güç değişiminin benzer şekilde EA şarj talebiyle birlikte daha çok artacağı sonuçlardan görülmektedir.



Şekil 5. 22 Araçların enerji talebinin zamana göre değişimi

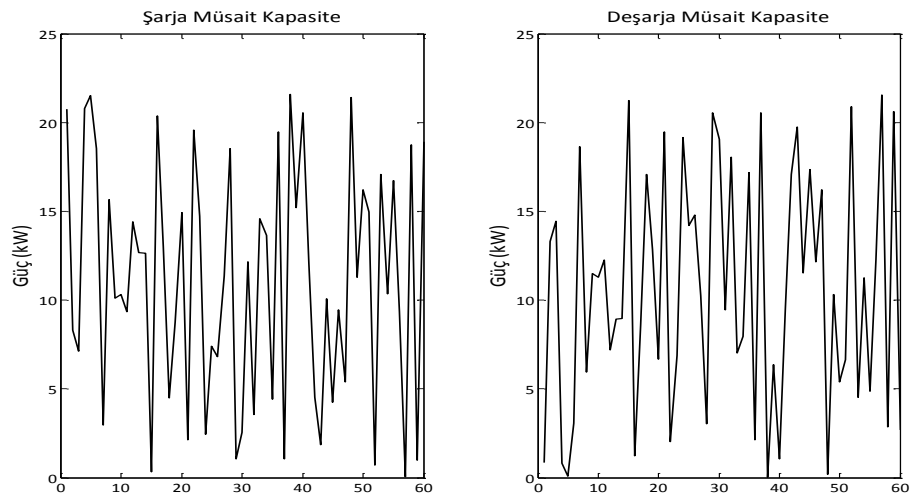
Şekil 5.23’te ise EA’ların şarj için bağlandıklarında istedikleri şarj operasyon tipini göstermektedir. Sonuçlar incelenecek olursa tüm araçların %33,33’sı yavaş şarjı,

%21,67'si hızlı şarjı ve %45'i ise deşarj işlemini seçmişlerdir. Sonuçlar yerleşke incelemesi sonucunda elde edilmiş olan yaklaşık ortalama 40 km günlük mesafe kullanımını doğrular niteliktedir. Çünkü EA kullanıcıları batarya şarj sevipleri yüksek olduğundan dolayı park süresince deşarj işlemini çoğunlukla tercih etmişlerdir.



Şekil 5. 23 Araçların tercih ettiği operasyon tipi

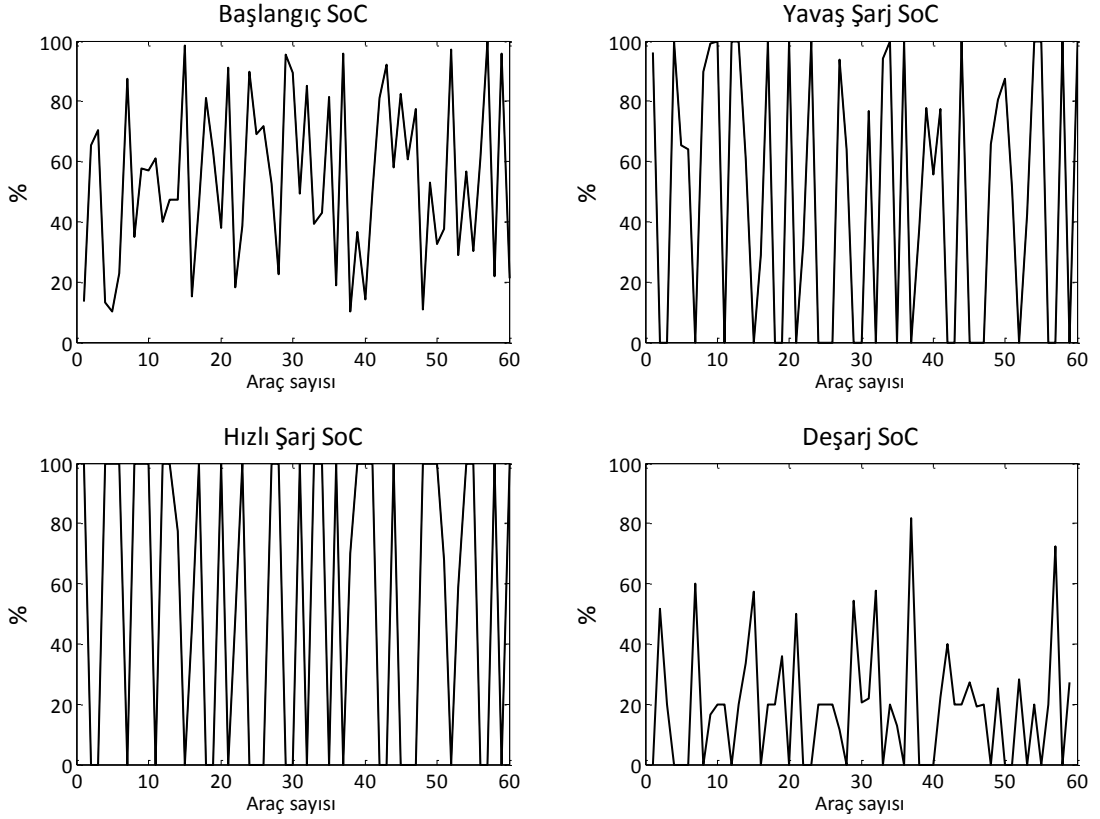
Simülasyonun başlangıcında, araçların şarj veya deşarj tercih edeceği duruma bakılmaksızın giriş-çıkış yapan araçların tümünde şarj veya deşarj için ne kadar kapasiteleri olduğu hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.24'te gösterilmektedir.



Şekil 5. 24 Araçların başlangıç durumunda hesaplanan enerji durumları

Şekil 5.25'te tüm araçların başlangıç SOc durumu gösterilmektedir. Yavaş şarj sonucunda EA'ların çıkış yaptıkları durumda batarya SOC değerlerinin değişimi

görülmektedir. Bunun yanında, hızlı şarj seçen EA'ların ve deşarj seçen araçların çıkış yaptıkları durumda batarya SOC değerleri görülmektedir. Deşarj işlemi sonucunda bu operasyon tipini seçen araçların genelede batarya SOC seviyelerinin düşük oldukları görülmektedir. Ayrıca hızlı şarj isteyen araçların hemen hepsi %100 SOC seviyesi ile çıkış yaptıkları görülmektedir.



Şekil 5. 25 Başlangıç SOC değeri ve çıkış durumunda araçların SOC değişimi

5.2.3 Android Tabanlı Akıllı Telefon Uygulaması

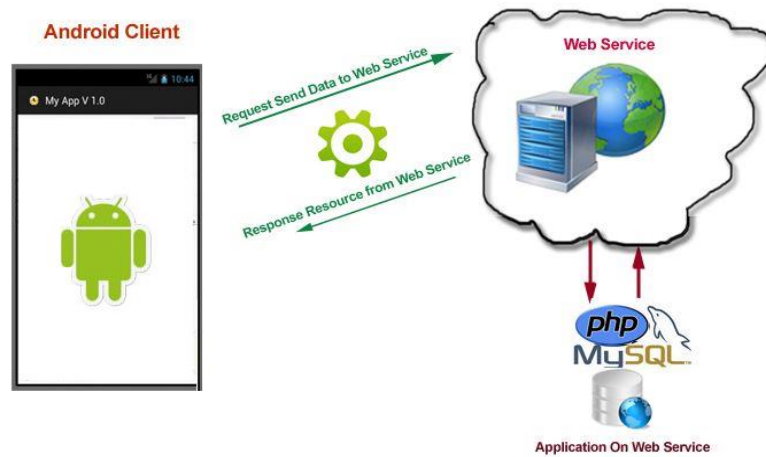
EA'ların piyasada yoğun bir şekilde yer almasıyla birlikte de bazı problemlerin ortaya çıkacağı öngörülmektedir. Bu problemler; şarj sırası bekleme, elektrik şebekesi kapasite sorunu, fiyatlarda olası değişiklikler şeklinde sıralanabilir. Yapılan bu uygulamanın amacı EA'ların şarj öncesi talepleri alınarak şarj istasyonlarında ve şebeke de olabilecek muhtemel aksamaları engelleyerek süreci optimize etmeye yardımcı olmaktır.

Günümüzde araç sahiplerinin kullanabileceği, park yeri bulan mobil uygulamalar mevcuttur. Bu projede gerçekleştirilen sistem ise belirtilen uygulamaların yaptığı işlere ek olarak şarj istasyonlarındaki sistem ile organize bir şekilde çalışarak dinamik

fiyatlandırma ile bölgesel oluşacak yoğunluğu azaltma ve dağıtım şebekelerinin verimli şekilde kullanılmasına yardımcı olmak gibi işlevselliklere de sahiptir. Uygulama arkaplanda bu amaca hizmet ederken EA sahiplerinin kolaylıkla kullanabileceği işlevselliğe sahiptir. Uygulama, en uygun istasyon bulma, rezerv etme ve park edilmiş araç hakkında şarj durumunu sorgulama vb. fonksiyonları vardır.

5.2.3.1 Sistemin Kodlanması

Network iletişimi, HTTP protokolü kullanılarak yapılmıştır. Haberleşme için mobil uygulamada “*http requestler*” oluşturulup, “*server*” da bunlara cevap verecek *web* servisler yazılmıştır. *Web* servisler “*JSON*” veri formatında paketler alıp yine aynı formatta paketler ile cevap vermektedir. Haberleşme altyapısı Şekil 5.19’da gösterilmektedir. Haberleşmenin güvenli olması ve olası saldırılara karşı önlem almak amacıyla haberleşmede AES şifreleme yapılmıştır.



Şekil 5. 26 Haberleşme altyapısı

Haberleşme paketleri *JSON* formatına getirildikten sonra şifrenip karşıya gönderilmektedir. Cevap olarak da yine aynı şekilde şifrenilmiş olarak gelmektedir. Çizelge 5.9’da “*login*” için gönderilen bir “*request*” ve bunun şifrenilmiş hali gösterilmektedir.

Çizelge 5. 9 Sistemde kullanılan örnek *request* ve şifrenilmiş hali

Şifrenilmiş Request	793553cf92a7016b77b4248ff2e456d1bb8e9094ff6b7787d317b2c2b665d7e34452b6cacf4d56e24473d776b46e39304f01f19b64c1e7f2f6f9ff4f4ba9bf7db727070e6619fad0528f207705586cc
JSON Request	{"reqType":"req_login","email":"ytuytu@gmail.com","password":"8978"}

5.2.3.2 Mobil Uygulama

Android 4.0 ve üzeri işletim sistemine sahip cihazlar üzerinde çalışacak olan mobil uygulama, kullanıcının kendi girdiği parametrelere göre şarj istasyonu arama, bulunduğu istasyondaki ücretlendirmeler hakkında bilgi sahibi olma, eğer isterse seçtiği istasyonda rezervasyon yapabilme ve aracını istasyona bıraktıktan sonra aracın şarj ilerleme durumunu izleyebilme ve şarj tamamlandığında uyarılma gibi özellikleri vardır.

Kullanıcılar sisteme kayıt olarak giriş yapabilmektedirler. Sistemde her kullanıcıya ait bir profil bilgisi bulunmaktadır. Bu bilgilerden bazıları kullanıcıların istasyon aramaları sırasında parametre olarak kullanılmaktadır. Bunlar;

- Araç Tipi
- Giriş Saati
- Çıkış Saati
- Operasyon Tipi

Bu parametrelerden, son üç tanesi kullanıcıların gün içerisindeki park saatleri ve yapacakları operasyonda çok fazla bir değişim olmayacağı düşünülerek profillemeye yoluna gidilmiştir. Ama arama sırasında bu parametreler değiştirilebilir.

Operasyon tipi olarak, dört tip operasyon mevcuttur. Bunlar;

- Hızlı Şarj
- Normal Şarj
- Yeşil Şarj
- Deşarj

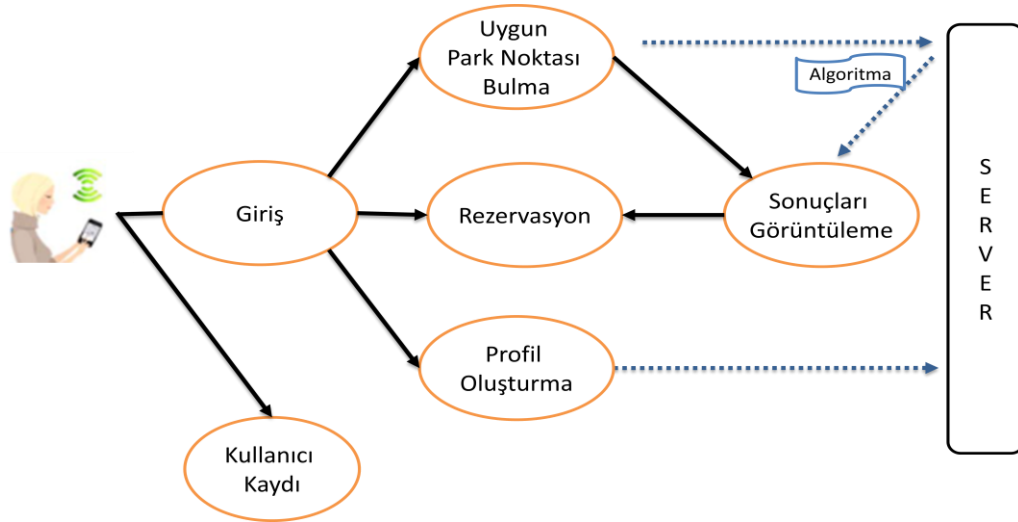
Kullanıcılar kendi durumlarına göre bu şarj operasyonlarından birini seçebileceklerdir. Yeşil Şarj, güneş enerjisi veya rüzgar enerjisinden elde edilen enerji ile şarj olanağıdır. Çevre dostu olması nedeniyle yeşil şarj denilmiştir. Deşarj seçeneğinde ise kullanıcılar araçlarındaki fazla miktarda bulunan elektriği satarak kazanç elde edebileceklerdir. Aynı zamanda ilgili istasyonun şebeke yükünü de hafifletmiş olacaklardır.

- *Arama işlemi:* Arama işlemi kullanıcıların arama parametreleri (Giriş Saati, Çıkış Saati, Operasyon Tipi, GPS Bilgisi) ve kullanıcıya ait diğer parametreler (Araç

Tipi) alındıktan sonra kullanıcının bulunduğu bölgedeki istasyonları bulacak, doluluk oranları ve girilen parametrelere göre “server”da hesaplanan şarj fiyatlatlarını gösterecektir.

- *İstasyon Seçme:* İstasyonlar “Google_Maps” üzerinde gösterilmektedir. Kullanıcılar harita üzerinde gösterilen istasyonlara tıkladığında istasyon ile ilgili fiyat ve uygunluk durumu hakkında bilgi sahibi olabileceklerdir. Kullanıcı kendi bulunduğu lokasyon dışında başka koordinatlardaki istasyonlar içinde arama sonuçları, harita üzerinde gezindikçe “server”dan otomatik olarak çekilecektir. Böylece sadece tek bir sorgu değil, kullanıcı haritada gezindiği müddetçe sürekli sorgu yapabilecektir.
- *Rezervasyon:* Harita üzerinde istasyon bilgilerini inceleyen kullanıcı, bu incelediği istasyonun bilgi ekranına tıklayarak o istasyona ait rezervasyon ekranına gidecektir. Bu ekranda arama parametrelerinde girdiği operasyon seçeneğine göre fiyatlar ve giriş çıkış saatleri gibi rezervasyon bilgileri görüntülenebilmektedir. Kullanıcı aynı zamanda bu park noktasındaki diğer şarj operasyonu seçeneklerine ait fiyatları da görebilecektir. Dilerse bunlardan birini seçerek rezervasyon parametrelerini değiştirebilecek ve rezervasyonunu tamamlayabilecektir.
- *Durum:* Kullanıcılar şarj istasyonuna bıraktıkları araçları hakkında uygulama aracılığı ile bilgi sahibi olabileceklerdir. Araçlarının batarya durumu, şarj operasyon durumu, şarjın tamamlanacağı saat gibi bilgileri görüntüleyebileceklerdir.

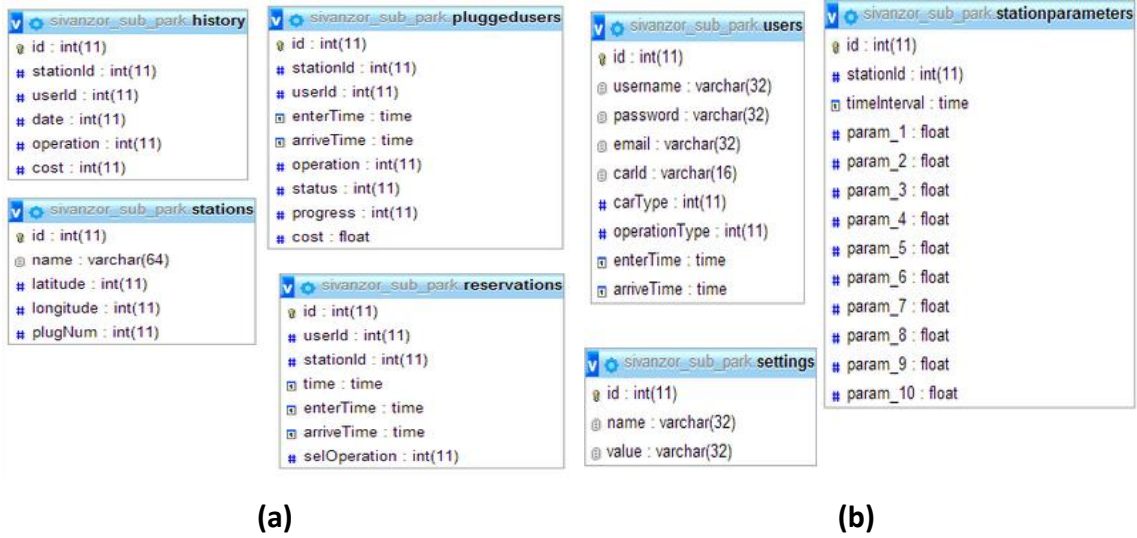
Kullanıcılar uygulamada bir kez giriş yaptıktan sonra uygulama kullanıcıya ait profil bilgilerini saklamaktadır. Uygulamayı bir sonraki kullanımında otomatik login olarak kullanıcının zahmetsiz bir şekilde hizmet alması amaçlanmıştır. Uygulama ayrıca her açılışta “server”ı kontrol ederek versiyonunu sorgulamaktadır. Uygulamada yeni güncelleme olduğunda, kullanıcı onaylarsa otomatik olarak yüklenecektir. Bu şekilde uygulamanın versiyonlandırma işlemi yapılmıştır. Şekil 5.20’de mobil uygulama yapısı gösterilmektedir.



Şekil 5. 27 Mobil uygulama yapısı

5.2.3.3 Sunucu Yapısı

MySQL veritabanında aşağıdaki tablolar kullanılmıştır.



Şekil 5. 28 Veritabanı yapısı

Şekil 5.21’de gösterilen veritabanı yapısı **a** içindeki tablolar;

- *stations* : Sistemdeki istasyon verilerini tutmak için kullanılan tablodur.
- *pluggedusers*: İstasyonlardaki mevcut park etmiş araç bilgilerini tutan tablodur. Dinamik bir şekilde istasyonlar tarafından güncellenecektir. Uygulamanın araçlar hakkındaki durum bilgisini alacağı tablodur.
- *rezervations*: Sorgulama yapan kişilerin seçtikleri istasyonu rezerv etmesi durumunda gerekli rezervasyon bilgilerinin tutulacağı tablodur.
- *history* : geçmiş şarj işlemlerinin kaydını tutan tablodur.

Şekil 5.21’de gösterilen veritabanı yapısı **b** içindeki tablolar;

- *user*: Sistemi kullanan kullanıcıların ve profil bilgilerinin tutulduğu tablodur.
- *settings*: Çeşitli uygulama ayarlarının tutulması için oluşturulmuştur. Bu tablodaki bir verimiz, versiyon bilgisidir. Bu tabloya gireceğimiz versiyon bilgisi ile uygulama her açılışta sorgulama yaparak güncelleme olup olmadığını kontrol etmektedir.
- *stationparameters*: İstasyonlara ait trafo verileri ve fiyatlandırmada kullanılacak parametreleri barındırır. Bu tablodaki değerlere göre fiyatlandırma algoritmamız çalışacak ve istasyonlar için fiyat belirlenecektir.
- *hourlyPrice*: Bu tablo elektrik piyasasından dinamik olarak alınacak elektrik fiyatlarını göstermektedir. Bu tablo kullanılarak EA şarj maliyetleri hesaplanmaktadır.

5.2.3.4 Algoritma

Fiyat hesaplamada kullanılan algoritma, kullanıcının arama sırasında girmiş olduğu parametreleri ve şebekeye ait güç değerlerini kullanmaktadır. Güç değerleri olarak, istasyonların bağlı olduğu trafolardan her 5 dakikada bir okunmuş olan veriler kullanılır. Kullanıcının girdiği parametrelere göre ne kadar enerji ihtiyacının olduğu hesaplanır ve hangi saatler arasında sistemden enerji çekeceği belirlenir. Bu saatler arasında sistemin yoğunluğuna göre fiyat belirlenir. Operasyon tipine göre farklı enerji seviyeleri kullanılmıştır. Buna göre kabul edilen enerji değerleri Çizelge 5.10’da gösterilmektedir.

Çizelge 5. 10 Algoritma hesaplamada kullanılan enerji seviyeleri

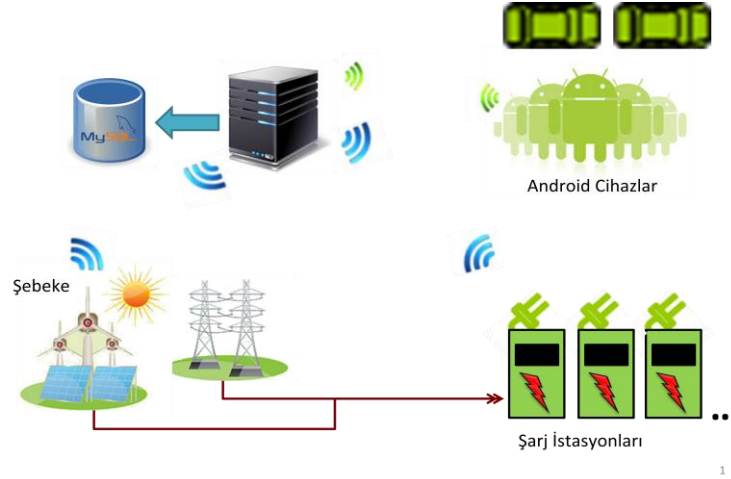
Operasyon Tipi	Enerji Seviyesi
Yavaş Şarj	3,3 kWh
Normal şarj	7,2 kWh
Yeşil Şarj	3,3 kWh
Deşarj	3,3 kWh

Algoritmada hesaplamasında yapılan diğer kabuller;

- Araçlar için kullanılan batarya kapasitesi 24 kWh olarak alınmıştır.

- Sistemin desteklediği operasyon tiplerine göre saatlik enerji miktarları tabloda gösterilmiştir.
- Sistemin çalışma verimliliği (iletim, dağıtım ve şarj cihazı) %90 alınmıştır.

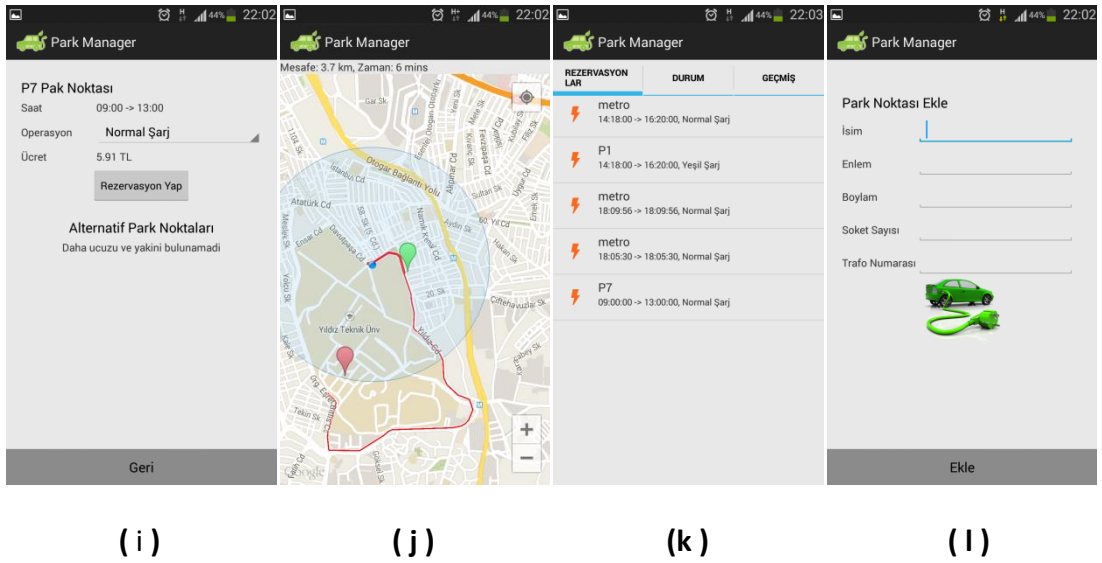
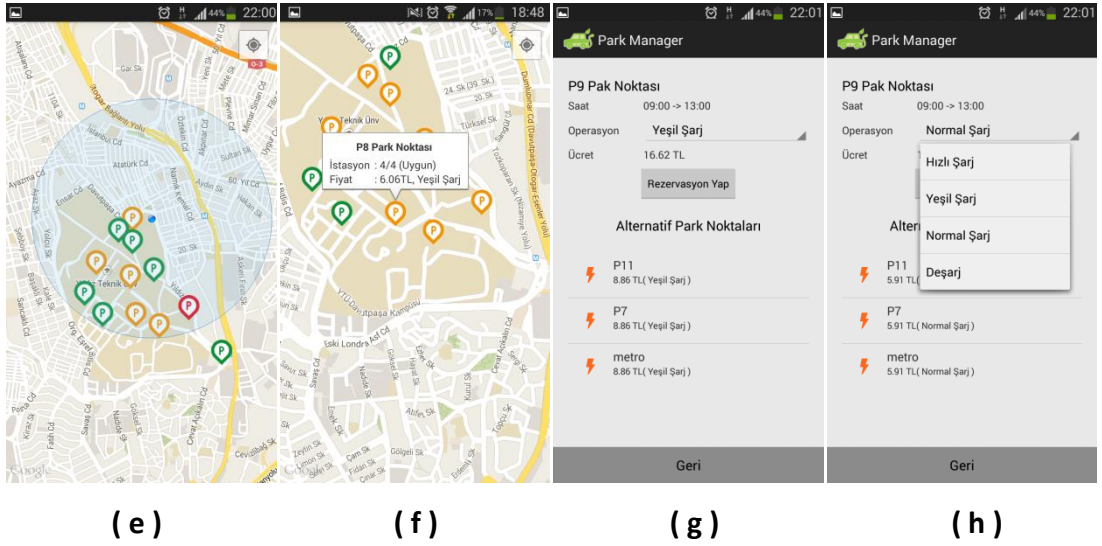
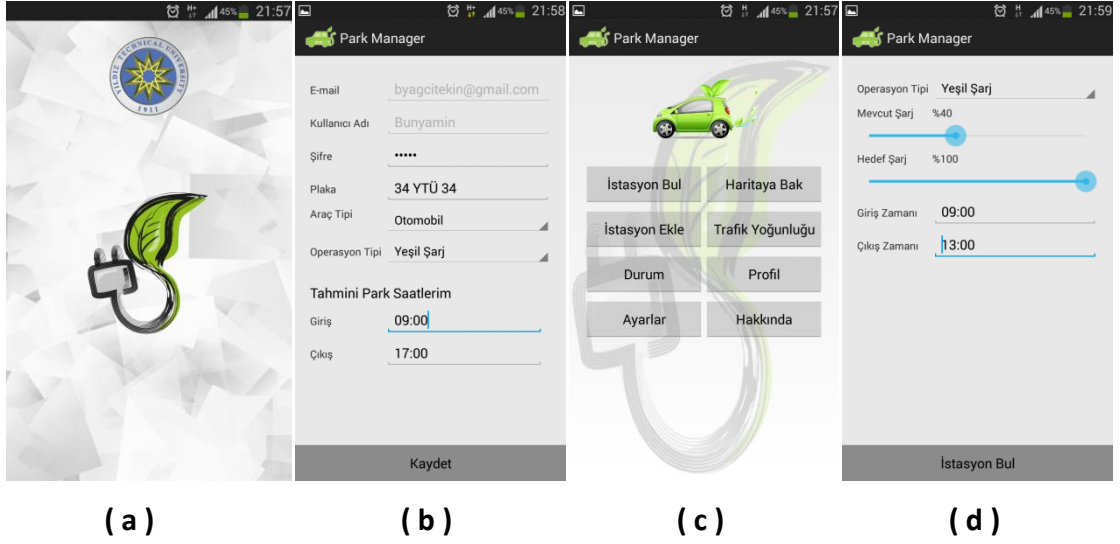
Önerilen modelin “server” yapısı ise, Şekil 5.22’de gösterilmektedir. “Server” Android cihazlar (EA kullanıcıları), şarj istasyonları ve elektrik şebekesi ile bağlantı halinde olup, süreç içerisinde sürekli iletişim halindedir.



Şekil 5. 29 Server yapısı

Yapılan çalışmada Android tabanlı akıllı telefon uygulaması ile gelecekte yüksek oranlarda kullanılması beklenen EA’ların, elektrik şebekesine olacak muhtemel etkilerinin azaltılması, akıllı telefonlar yardımıyla, EA kullanıcılarına hızlı ve güvenilir şarj etme imkânı sunan, bir alt yapı hazırlanmıştır. Hazırlanan akıllı uygulamanın adı “Park Manager” olarak seçilmiştir. Uygulama içeriği ve sayfaları Şekil 5.24’te gösterilmektedir.

Şekil 5.24’te yapılan akıllı telefon uygulamasının arayüzü ve işlem kabiliyetleri gösterilmektedir. “a” ile gösterilen resim uygulama açılış sayfasını göstermektedir ve açılış sayfasının hemen ardından ilk kullanıcılar “b” resmi ile gösterilen kayıt sayfasına yönlendirilmektedir. Kullanıcı, bilgilerini görmek ve değişiklik yapmak isterse ana menüde “Profil” butonuna tıklayarak gerekli işlemleri açılan sayfada yapabilecektir. Bu işlem ilk giriş yapan tüm kullanıcılar için gerçekleştirilmektedir ve girilen bilgiler veritabanına kaydedilmektedir.



Şekil 5. 30 Akıllı telefon uygulaması

Öncelikle kullanıcının e-maili, adı, araç tipi, aracın plakası, öncelikle tercih edilen şarj tipi, şarj için tercih edeceği muhtemel giriş-çıkış saatlerinin kullanıcı tarafından girilmesi istenilmektedir. Bu bilgiler kullanıcıya daha hızlı cevap vermek, optimizasyon gerekli durumlarda yapılacak işlemlerin doğruluğunu ve kullanıcı memnuniyetini arttırmak için yapılmaktadır. Gerekli bilgiler girildikten ve “*Kaydet*” kısmına basıldıktan sonra sistem kullanıcıyı “c” ile adlandırılan ana menüye yönlendirmektedir. Ana menü de 8 adet alt menü bulunmaktadır. “*İstasyon Bul*” kısmına tıkladığında açılan alt menü de (“d” ile gösterilen resim) kullanıcının kayıt olurken girdiği saatler ve şarj tipi otomatik tanımlama olarak gelmektedir ancak kullanıcı istediği şekilde değişiklik yapabilmektedir. Ayrıca kullanıcıdan aracının batarya şarj seviyesini ve istediği hedef şarj drumunu girmesi istenmektedir. Gerekli bilgiler girildikten sonra kullanıcı istasın bul butonuna tıkladığında “e” ile gösterilen harita çıkmaktadır. Kullanıcının isteklerine göre ve şarj istasyonlarının durumuna göre değişiklikler akıllı telefon üzerinden izlenebilmektedir. Eğer bir park noktası “*kırmızı*” ile gösteriliyorsa, o park noktası teknik bir problemden dolayı devre dışı kalmış veya tüm şarj üniteleri kullanılıyor demektir. “*Sarı*” ile gösterildiğinde ise şarj ücreti yakınlardaki diğer şarj istasyonlarından pahalı demektir. Eğer “*yeşil*” ile gösteriliyorsa en ucuz şarj sunulan şarj istasyonunu ifade etmektedir. Şarj istasyonlarında bu şekilde fiyat ve doluluk durumuna göre renk değişimi yapılması ile kullanıcıların hızlı bir şekilde karar vermesi ve kullanım noktalarını tercih etmesi beklenmektedir. Haritada istenilen şarj istasyon noktasına tıkladığında ekrana o istasyonda kaç adet şarj ünitesi olduğu ve doluluk oranı çıkmakta ve ayrıca istenilen şarj operasyon tipine göre fiyatlandırma yapılmaktadır (bkz. Şekil 5.24-f). Daha sonra istenilen park noktası seçilir ve rezervasyon ekranına yönlendirilir, resim “g”, bu ekranda kullanıcı istersen operasyon tipini yine değiştirme yapabilir ve fiyatları gözlemleyebilir bakınız resim “h”. Ayrıca seçilen şarj istasyonuna yakın ve daha ucuz şarj imkânı var ise kullanıcı aynı ekranda “*Alternatif Park Noktaları*” başlığı altında alternatif şarj istasyonları gösterilmektedir, kullanıcı isterse başka şarj noktalarını seçebilir. Eğer seçilen şarj noktası en ucuz ise kullanıcı bu kez resim “i” de gösterildiği gibi daha ucuzu ve yakınının olmadığı şeklinde bilgi verilmektedir. Kullanıcı istediği şarj noktasını seçmek için “*Rezervasyon Yap*” butonuna tıkladığında ise, “j” resminde gösterildiği gibi, açılan yeni ekranda, kullanılacak yol güzergâhı, mesafe ve yaklaşık ulaşım süresi bilgisi verilmektedir. Kullanıcı anasayfada “*Durum*” butonuna tıkladığında

açılan sayfada, bakınız resim “k”, ise; kullanıcının rezervasyon bilgileri, şarj başladı ise şarj durumu, batarya doluluk seviyesi ve bitmesi için kalan zaman görüntülenmektedir. Ayrıca “Geçmiş” başlığı altında ise kullanıcının önceden yapmış olduğu işlemleri bir bütün halinde görebilmektedir. Ana menüde “İstasyon Ekle” butonuna tıklandığında resim “l” de gösterilen ekran açılmaktadır. Bu ekranda istasyona verilecek isim, coğrafi koordinat bilgileri, şarj ünitesi sayısı ve enerji sağlanabilecek en yakın trafo noktasının adını girmek kaydıyla gerekli kontrollerden sonra sisteme eklenmesi sağlanacaktır.

Hazırlanan akıllı telefon uygulamasının katkıları;

- EA’ların kullanımının ve farkındalığın artmasına katkı sağlaması,
- Elektrik dağıtım operatörlerinin ekstra altyapı yatırımlarına girmeden EA’ların enerji ihtiyacının akıllı yönetim ile karşılanmasına katkı yapması,
- Gelecekte şarj istasyonu veya EA şarj yönetimi yapacak işletmelerin, şarj altyapısının ve şarj işlemlerinin sistematik bir şekilde kontrolü ile işletilmesine katkı sağlaması,
- Şebeke sisteminin aşırı ve dengesiz yüklenmesinin önlenmesine uygulamanın dinamik fiyatlandırma özelliği sayesinde katkı yapması,
- EA kullanıcılarının şarj işlemini ucuz, hızlı ve kolaylıkla yapabilmelerine olanak sağlayacak olması şeklinde sıralanabilir.

Hazırlanan akıllı telefon uygulaması akıllı şarj yönetimi yapabilme özelliği ile yukarıda bahsedilen konularda temel bir yapıyı oluşturmaktadır. Özellikle karayolu ulaşımında sürdürülebilirliğin sağlanmasında EA’ların gelecekte çok büyük bir rol alacağı düşünüldüğünde, yapılan bu uygulama EA kullanımını artırması ve konvansiyonel araçlardan EA’lara geçişi hızlandırmasına katkı yapması beklenmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Petrole bağımlılık oranı çok yüksek olan günümüz konvansiyonel araçları yerine daha çevreci ve daha ucuz yakıta sahip olan EA'ların yakın gelecekte piyasada çok daha fazla rağbet görecekları beklenmektedir. Yaygın kullanım potansiyeline sahip olan bu araçların tercih edilebilirliğini arttırmak ve sebep olabilecekleri problemleri en aza indirmek için gerekli çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bu bağlamda hazırlanan tez çalışması, şarj altyapısı planlaması ve akıllı şarj sistemini ihtiva eden kapsamlı çözüm önerisiyle literatüre katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Tez çalışmasında öncelikle gerekli olan veriler toplanmıştır. Bu amaçla YTÜ Davutpaşa Yerleşkesinin mevcut araç yoğunluğu belirlenmiş, araç sürüş alışkanlıkları anketler sonucunda bulunmuş, yerleşke içi park noktaları saptanmış ve park noktalarının yoğunlukları hesaplanmış, son olarak yerleşke içinde bulunan trafo merkezlerine enerji analizörleri yerleştirilmiş ve uzaktan izleme ile veri kaydı yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak ihtiyacı karşılayacak şarj ünitesi sayısı ve şarj istasyonlarının konumlandırılacağı optimal noktaların belirlenmesi için kapsamlı bir çalışma yapılmıştır. Daha sonra bu durum için elektrik güç kalitesini bozmadan EA'nın şarjının yapılması veya en uygun şarj istasyonuna enerji-etkin bir şekilde yönlendirilmesi ve akıllı şarj süreci ile çalışma farklı senaryolar altında analiz edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Bu çalışmada öncelikle şarj altyapısı planlaması teknik incelemeler ve istatistiki veriler ışığında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra akıllı şarj yönetim sistemi, hem şebeke tarafının hemde kullanıcıların beklentilerini karşılayacak şekilde geliştirilmiştir. EA şarj altyapısının planlanmasının mevcut çalışmalardan farkı ihtiyaçlara göre

yatırımcıların/kullanıcıların kolay karar almasına olanak sağlayacak esnek bir yapıda olmasıdır. Bu amaçla, iki optimizasyon yöntemi KT ve AHS birleştirilerek, karar alabilecek ve amaca göre hızlı cevap verebilecek yöntem geliştirilmiştir. KT, şarj altyapısı kurulması planlanan bölgede belirlenen hedeflere göre kaç adet şarj ünitesinin beklentileri karşılayacağını hesaplanması için kullanılmıştır. AHS kullanılması ile de şarj ünitelerinin optimal noktalara yerleştirilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla YTÜ Davutpaşa Yerleşkesi test platformu olarak kullanılmıştır. EA'ların sırada beklemeden şarj olabilecekleri bir sistem tasarımı yapılmıştır. Öncelikle ortalama şarj süresinin 6 saat olduğu durum için (Senaryo-1), %5 EA olması durumunda 37 şarj ünitesinin yeterli olacağı hesaplanmıştır. Daha sonra optimum dağılım yapabilmek için alternatifler oluşturulmuştur. AHS ile en yüksek ağırlıkta hesaplanan alternatifin çözüm kümesini oluşturduğu kabul edilmiştir. Senaryo 1 için yapılan matematiksel hesaplamalar sonucunda alternatif 1'in ağırlığı 0,4796 olarak bulunmuş ve çözüme en yakın sonucun elde edildiği belirlenmiştir. Oluşturulan alternatifler güç akışı programında test edilerek sebep oldukları kayıp enerji miktarları hesaplanmıştır. Senaryo 1 için yapılan analiz sonucunda, 1'nolu alternatifin en az enerji kaybına sebep olduğu belirlenmiştir. AHS ve güç akış programından elde edilen sonuçlar incelendiğinde alternatif 1'de sunulan dağılımın optimal olduğu görülmüştür. Senaryo 2'de yine %5 EA olması durumunda, ortalama şarj süresi 3 saat olduğu durum için, 20 adet şarj ünitesinin yeterli olacağı hesaplanmıştır. Daha sonra alternatifler belirlenmiş ve senaryo 1'dekine benzer çalışma yapılarak önerilen alternatiflerin sebep oldukları kayıplar hesaplanmıştır. Yapılan çift taraflı kontrol ile alternatif 2'nin istenilen şartları sağladığı ve bu dağılım şeklinin alternatifler içindeki en uygun seçim olduğu belirlenmiştir.

Tez çalışmasının ikinci kısmında, şarj talebinde bulunan EA'ların enerji ihtiyaçları mevcut yüklenme değerlerini aşmadan ve sürücülerin beklentilerini karşılayacak şekilde planlanmıştır. Öncelikle şarj talebinde bulunan bir aracın başlangıç değerleri kaydedilir. Bu veriler; batarya doluluk oranı (%SOC), şarj başlangıç saati, çıkış saati, şarj modu vb. sıralanabilmektedir. Kullanıcı sistem operatörüne bu verileri girdikten sonra istediği şarj noktasını akıllı telefon yardımıyla belirleyebilir. Bu bilgiler SY tarafından değerlendirilir ve istenilen şarj noktası, trafo kapasitesi, dolu-boş-devre dışı olma durumu, belirlenen ortalama yüklenme değerleri gibi çok amaçlı çok kriterli amaç

fonsiyonlarını sağlıyorsa şarj için rezervasyon yapılabilir ve şarja başlanabilir. Eğer müsait değilse bahsi geçen kontrollere ek olarak aracın muhtemel istasyona ulaşmak için enerjisinin yeterli olup olmadığı kontrol edilmekte ve uygun alternatifler belirlenmektedir. Kullanıcı istediği alternatifi seçebilir. Burada yönlendirme yapılırken en kısa yol algoritması kullanılarak zaman, enerji ve ekonomik kazanç sağlanmaktadır.

Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda bir günde 60 araç giriş yapıldığı durum için EA'ların hareketleri gözlemlenmiştir. Araç artışı elde edilen anket sonuçlarına benzer şekilde öğle vaktine kadar artmakta ve daha sonra ise düşmektedir. Elektrik tüketimi ve şarj talep artış eğrisi benzer yapıda olduğu için EA'ların şarjı sistematik biçimde yapılmıştır. Yapılan optimizasyon sayesinde şebeke sisteminin aşırı yüklenmesinin önüne geçilmiş, kayıplar azaltılmış ve enerji kalitesinin korunması sağlanmıştır. Kullanıcılar için de birçok alternatif içinde en uygun çözümü, beklentileri karşılayacak şekilde yapmaktadır.

Günümüzde EA'ların uzun şarj süresi, menzil, yetersiz altyapı ve yüksek batarya fiyatları gibi yaygın kullanılmasının önünde bulunan birçok problem hala çözüm beklemektedir. Yapılan doktora tezi bahsi geçen problemlerden uzun şarj süresini dikkate alan, ihtiyaca göre şarj altyapısı planlayan ve menzil problemini dikkate alan yapıdadır. Tez çalışması özellikle yerleşke yaşam tarzı olan (okul, hastane, iş merkezleri, sanayi bölgeleri, üniversite vb.) yerlerde belirtilen problemleri en aza indirmeye çalışmakta ve EA'ların kullanılabilirliğini göstermesi bakımından çok önemlidir. Ayrıca, önerilen yöntemler sadece yerleşke yaşam tarzı olan yerler için değil, genelleştirilebilir olması yönü ile EA altyapı planlayıcılarına ve kullanıcılara yol gösterici olması beklenmektedir.

EA'lar gelecekte sadece bir ulaşım aracı olarak kullanılmayacaktır. Yüksek güçteki bataryaları sayesinde hareketli enerji depolama ünitesi olarak kullanılabilir. Bu sayede elektrik şebekesi ile enerji alışverişi yapılabilecek, EA sahipleri ekonomik kazanç sağlarken, elektrik dağıtım operatörleri pik yük karşılama amacıyla yeni yatırımlar yapmak zorunda kalmayacaktır. Bunun yanında, elektrik kesintisi olduğu durumlarda doğal afetler(deprem, sel, yangın vb.) vb. güç kaynağı olarak kullanılabilir. Ayrıca bu çalışma EA'ların yaygınlaşmasına katkı yapacağından, sağlık alanında da literatüre dolaylı bir katkı yapması beklenmektedir.

Çevresel kaygıların arttığı günümüzde elektriğe olan ihtiyaçta benzer şekilde artmaktadır. Günümüz elektrik üretimi çoğunlukla fosil kaynaklı olduğundan söz konusu artışlar birbirine zıt etkileri gösteriyor olsada, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranını arttırabilecek olan EA'lar, geleceğin dünyasında bir çözüm olarak düşünülebilir. Bunun yanında enerji talep yönetimi ile de verimlilik arttırılarak tüm elektrikli cihazların etkin bir şekilde kullanılması sağlanabilir. Bahsi geçen yapı içerisinde EA'ların çok büyük bir etkisi olacağı unutulmamalıdır. Bu bağlamda gelecekte EA'lar ile ilgili bazı konular üzerine yoğunlaşarak daha çok çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Doktora tezinde yapılan çalışmalara ek olarak yapılabilecek diğer araştırma konuları ise şöyle sıralanabilir;

- EA'ların yaygın kullanıma geçmesi için daha güvenli ve hızlı şarj cihazları yapılması amacıyla yeni nesil inverter ve kontrolörler geliştirilmelidir.
- Ulusal şarj altyapısı planlaması yapılması gerekmektedir. Bu konu üniversiteler, kamu ve özel şirketlerin ortak çalışması sonucunda ortaya çıkmalıdır.
- Akıllı şarj yönetimi uygulamaları geliştirilmeli ve farklı elektrikli cihazlarında beraber kontrolüne imkan sağlanmalıdır.
- Yeni akıllı otopark uygulamaları geliştirilerek enerji piyasasında EA etkinliği arttırılmalıdır.
- Yeşil enerji kullanımının arttırılması ve elektrik kesinti durumlarında kullanımı arttırmak için yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş, rüzgar vb.) beslenen şarj istasyonları yapılmalıdır.
- Elektrik piyasasında EA'ların rolünün analizi ve dinamik fiyatlandırma sayesinde şebeke ile enerji alış veriş potansiyelinin değerlendirilme yapılması.
- Hareketli hızlı şarj istasyonları üretilmeli ve acil durumlarda EA'lara destek verilebilmelidir.
- Akıllı şebeke altyapısına uygun olarak yeni enerji yönetim algoritmaları geliştirilmelidir ve enerji etkin şarj yönetimi ile batarya ömrünün uzatılması sağlanmalıdır.

- Ülkemiz açısından elektrikli araçlarla ilgili; kısa, orta ve uzun vadeli bir stratejik yol haritasına ve aksiyon planının çıkarılmasına ihtiyaç vardır.

Sonuç olarak EA'ların altyapısı ve şebeke ile entegrasyonu sağlıklı bir şekilde tasarlanmalı, sistemdeki tüm elemanlar akıllı şebekeler kapsamında değerlendirilmeli ve uygun optimizasyon yöntemleri ile kullanılabilirlik ve verimleri arttırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Babal E., (2010). Ulaştırma Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- [2] U.S. Energy Information Administration (EIA), (2011). Carbon Dioxide Emissions From Energy Consumption : Transportation Sector, Annual Energy Review 2011, United States Department of Energy, Washington, DC.
- [3] Kempton W. ve Tomic J., (2005). "Vehicle-to-grid Power Fundamentals: Calculating Capacity and Net Revenue", J. Power Sources, 144 (1):268–279.
- [4] Thiel C., Perujo A. ve Mercier A., (2010). "Cost and CO2 Aspects of Future Vehicle Options in Europe Under New Energy Policy Scenarios", Energy Policy, 38(11): 7142–7151.
- [5] Shiau C.-S. N., Samaras C., Hauffe R. ve Michalek J. J., (2009). "Impact Of Battery Weight and Charging Patterns on The Economic and Environmental Benefits of Plug-In Hybrid Vehicles", Energy Policy, 37(7):2653–2663.
- [6] Doucette R. T. ve McCulloch M. D., (2011). "Modeling The Prospects of Plug-In Hybrid Electric Vehicles to Reduce CO2 Emissions", Appl. Energy, 88(7):2315–2323.
- [7] Hill D. M., Agarwal A. S., ve Ayello F., (2012). "Fleet Operator Risks for Using Fleets for V2G Regulation", Energy Policy, 41:221–231.
- [8] Guille C. ve Gross G., (2009). "A Conceptual Framework for The Vehicle-To-Grid (V2G) Implementation", Energy Policy, 37(11):4379–4390.
- [9] Fazelpour F., Vafaeipour M., Rahbari O. ve Rosen M. A., (2014). "Intelligent Optimization To Integrate A Plug-In Hybrid Electric Vehicle Smart Parking Lot With Renewable Energy Resources And Enhance Grid Characteristics", Energy Convers. Manag., 77:250–261.
- [10] Singh M., Kumar P. ve Kar I., (2012). "Implementation of Vehicle to Grid Infrastructure Using Fuzzy Logic Controller", IEEE Trans. Smart Grid, 3(1):565–577.
- [11] White C. D. ve Zhang K. M., (2011). "Using vehicle-to-grid technology for frequency regulation and peak-load reduction", J. Power Sources, 196(8):3972–3980.
- [12] Lambert F., Georgia A., Suggs L. B., Power G., John C., Sisco B., Morales E., ve Company V. P., (2001). "Residential Harmonic Loads and EV Charging", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 28 Jan-01 Feb 2001. Columbus, Ohio U.S, 803-808.
- [13] Gómez J. C., Member S. ve Morcos M. M., (2003). "Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems", IEEE Trans. Power Deliv., 18(3):975–981.
- [14] Gong Q., Member S., Midlam-mohler S., Marano V. ve Rizzoni G., (2012). "Study of PEV Charging on Residential Distribution Transformer Life", IEEE Trans. Smart Grid, 3(1):404–412.

- [15] Moses P. S., Masoum M. A. S. ve Hajforoosh S., (2012). "Overloading of Distribution Transformers in Smart Grid Due to Uncoordinated Charging of Plug-In Electric Vehicles", Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2012 IEEE PES, 14-17 Oct. 2012, Berlin. 1–6.
- [16] Moses P. S., Masoum M. A. S. ve Smedley K. M., (2011). "Harmonic Losses and Stresses of Nonlinear Three-Phase Distribution Transformers Serving Plug-In Electric Vehicle Charging Stations", Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 2011 IEEE PES, 17-19 Jan 2011, Anaheim, CA, 1–6.
- [17] Liu C., Ho S. L., Fu W. N. ve Hai S. Z., (2010). "Magnetic Design of Transformers for 20kW Charging Stations of Electrical Vehicles", Electromagnetic Field Computation (CEFC), 2010 14th Biennial IEEE Conference, 9-12 May 2010, Chicago, IL, 48(4).
- [18] Steen D., Tuan L. A., Carlson O. ve Bertling L., (2012). "Assessment of Electric Vehicle Charging Scenarios Based on Demographical Data," IEEE Trans. Smart Grid, 3(3):1457–1468.
- [19] Tang X., Liu J. ve Wang X., (2011). "Electric Vehicle Charging Station Planning Based on Weighted Voronoi Diagram", IEEE Int. Conf. Transp. Mech. Electr. Eng., 16-18 Dec. 2011, ChangChun, China, 1297–1300.
- [20] Wang H., Er S. T. M., Huang Q. I., Er S. E. M., Zhang C. ve Xia A., (2010). "A Novel Approach for The Layout of Electric Vehicle Charging Station", Int. Conf. Apperceiving Computing and Intelligence Analysis (ICACIA), 17-19 Dec. 2010, Chengdu, China, 64–70.
- [21] Ip A., Fong S. ve Liu E., (2010). "Optimization for Allocating BEV Recharging Stations in Urban Areas by Using Hierarchical Clustering", IEEE 6th International Conference on Advanced Information Management and Service (IMS), 30 Nov - 02 Dec 2010, Seoul, Korea (South), 460–465.
- [22] Long L. Z. J., Zechun H. ve Yonghua S., (2012). "Optimal Siting and Sizing of Electric Vehicle Charging Stations", IEEE International Electric Vehicle Conference (IEVC), 4-8 Mar. 2012, Greenville, SC, USA, 1–6.
- [23] Frade I., Ribeiro A., Gonçalves G. ve Antunes A. P., (2011). "Optimal Location of Charging Stations for Electric Vehicles in a Neighborhood in Lisbon, Portugal", Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, 2252(1):91–98.
- [24] Liu J., (2012). "Electric Vehicle Charging Infrastructure Assignment and Power Grid Impacts Assessment in Beijing" Energy Policy, 51:544–557.
- [25] Sweda T. ve Klabjan D., (2011). "An Agent-Based Decision Support System for Electric Vehicle Charging Infrastructure Deployment", 2011 IEEE Veh. Power Propuls. Conf. (VPPC), 6-9 Sep. 2011, Chigago IL, USA, 1-5.
- [26] He F., Wu D., Yin Y., ve Guan Y., (2013). "Optimal Deployment of Public Charging Stations for Plug-In Hybrid Electric Vehicles", Transp. Res. Part B Methodol., 47:87–101.
- [27] W. L. Shao-yun G., Liang F. ve Hong L., (2012). "The Planning of Electric Vehicle Charging Stations in the Urban Area", IEEE 2nd International Conference on

- Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012), 7-9 Sep. 2012, Shenyang, Liaoning, China, 1598–1604.
- [28] Zhenpo W., Peng L. ve Tao X., (2010). “Optimizing the Quantity of Off-Broad Charger for Whole Vehicle Charging Station”, IEEE 2010 International Conference on Optoelectronics and Image Processing (ICOIP), 11-12 Nov. 2010, Haiko, Hainan, China, 93–96.
- [29] Babaei S., Steen D., Tuan L. A., Carlson O. ve Bertling L., (2010). “Effects of Plug-in Electric Vehicles on Distribution Systems: A real case of Gothenburg”, 2010 IEEE PES Innov. Smart Grid Techn. Conf. Eur. (ISGT Eur.), Oct. 2010, Gothenburg, 1–8.
- [30] Kelly L., Rowe A. ve Wild P., (2009). “Analyzing The Impacts of Plug-In Electric Vehicles on Distribution Networks in British Columbia”, 2009 IEEE Electr. Power Energy Conf., 22-23 Oct. 2009, Montreal, QC, Canada, 1–6.
- [31] Andersson S.-L., Elofsson a. K., Galus M. D., Göransson L., Karlsson S., Johnsson F. ve Andersson G., (2010) “Plug-in Hybrid Electric Vehicles as Regulating Power Providers: Case studies of Sweden and Germany”, Energy Policy, 38(6):2751–2762.
- [32] Singh M., Kumar P. ve Kar I., (2010). “Analysis of Vehicle to Grid Concept in Indian Scenario”, 14th Int. Power Electron. Motion Control Conf. (EPE-PEMC), 6-8 Sep. 2010, Tallinn, Estonia, 149–156.
- [33] Sioshansi R., Fagiani R. ve Marano V., (2010). “Cost and Emissions Impacts of Plug-In Hybrid Vehicles on The Ohio Power System”, Energy Policy, 38(11):6703–6712.
- [34] Sulzberger C., (2004). “An Early Road Warrior: Electric Vehicles In The Early Years Of The Automobile,” IEEE Power Energy Mag.,2(3):66–71.
- [35] Larminie J. ve Lowry J., (2003). Electric Vehicle Technology Explained. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, UK.
- [36] Shahan Z. World Electrified Vehicles Sales 2013, <http://evobsession.com/world-electrified-vehicle-sales-2013/>. 15 Mayıs 2014.
- [37] International Energy Agency (IEA), Technology Roadmaps: Electric and plug-in hybrid electric vehicles (EV/PHEV), 12 Mayıs 2014.
- [38] Avgın M. S., (2012). Batarya Şarj Doluluk Durumu Model Parametresinin G.E.P ile Tahmin Edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [39] Lowe M., Tokuoka S., Trigg T. ve Gereffi G. Lithium-ion Batteries for Hybrid and All-Electric Vehicles: the U.S. Value Chain, [http://unstats.un.org/unsd/trade/s_geneva2011/refdocs/RDs/Lithium-Ion%20Batteries%20\(Gereffi%20-%20May%202010\).pdf](http://unstats.un.org/unsd/trade/s_geneva2011/refdocs/RDs/Lithium-Ion%20Batteries%20(Gereffi%20-%20May%202010).pdf), 12 Mayıs 2014.
- [40] The Boston Consulting Group, Batteries for Electric Cars: Challenges, opportunities and the outlook to 2020, <http://www.bcg.com/documents/file36615.pdf>, 12 Mayıs 2014.
- [41] Aldoğan E., (2012). Elektrikli Araçlar İçin Batarya Yönetim Sistemi Donanımı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.

- [42] Ş. ALTUN, (2012). Elektrikli Araçlar için Batarya Yönetim Sistemi Algoritması Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli.
- [43] Clean Air Transportation Department, Electric Vehicle Infrastructure Installation Guide, <http://www.mass.gov/eea/docs/doer/alternative-fuels/ev-manual-mass-32011.pdf>, 12 Mayıs 2014.
- [44] Yagcitekin B., Uzunoglu M. ve Karakas A., (2011). “Elektrikli Araçların Şarjı ve Dağıtım Sistemi Üzerine Etkileri”, Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu (FEEB 2011), 5-7 Ekim 2011, Elazığ, Türkiye, 1–5.
- [45] Dyke K. J., Ieee M., Schofield N., Barnes M. ve Ieee S. M., (2010). “The Impact of Transport Electrification on Electrical Networks,” IEEE Trans. Ind. Electron., 57(12):3917–3926.
- [46] Masoum M. A. S., Deilami S. ve Islam S., (2010). “Mitigation of Harmonics in Smart Grids With High Penetration of Plug-In Electric Vehicles,” IEEE Power and Energy Society General Meeting, 25-29 July 2010, Minnesota, USA, 4–9.
- [47] Hartmann N. ve Özdemir E. D., (2011). “Impact of different utilization scenarios of electric vehicles on the German grid in 2030”, J. Power Sources, 196(4):2311–2318.
- [48] Jian L., Zhu X., Shao Z., Niu S. ve Chan C. C., (2014). “A Scenario Of Vehicle-To-Grid Implementation and Its Double-Layer Optimal Charging Strategy for Minimizing Load Variance Within Regional Smart Grids”, Energy Convers. Manag., 78:508–517.
- [49] Honarmand M., Zakariazadeh A. ve Jadid S., (2014). “Optimal Scheduling of Electric Vehicles in an Intelligent Parking Lot Considering Vehicle-To-Grid Concept And Battery Condition”, Energy, 65:572–579.
- [50] Luo X., Xia S. ve Chan K. W., (2014). “A decentralized charging control strategy for plug-in electric vehicles to mitigate wind farm intermittency and enhance frequency regulation,” J. Power Sources, 248:604–614.
- [51] Ma T. ve Mohammed O., (2012). “Optimal Charging of Plug-in Electric Vehicles for a Car Park Infrastructure”, IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), 7-11 Oct. 2012, Las Vegas, NV USA, 1–8.
- [52] Richardson P., Flynn D. ve Keane A., (2012). “Local Versus Centralized Charging Strategies for Electric Vehicles in Low Voltage Distribution Systems”, IEEE Transactions on Smart Grid, 3(2):1020–1028.
- [53] Masoum A. S., Deilami S., Moses P. S., Masoum M. a. S. ve Abu-Siada a., (2011). “Smart load management of plug-in electric vehicles in distribution and residential networks with charging stations for peak shaving and loss minimisation considering voltage regulation”, IET Gener. Transm. Distrib., 5(8): 877-888.
- [54] Hilshey A. D., P. Rezaei, Hines P. D. H. ve Frolik J., (2012). “Electric Vehicle Charging: Transformer Impacts and Smart , Decentralized Solutions”, IEEE Power and Energy Society General Meeting, 22-26 July 2012, san Diego, CA, USA, 1–8.

- [55] Razeghi G., Zhang L., Brown T. ve Samuelsen S., (2014). "Impacts of Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Transformer Using Stochastic and Empirical Analysis", *J. Power Sources*, 252:277–285.
- [56] Zakariazadeh A., Jadid S. ve Siano P., (2014). "Multi-Objective Scheduling of Electric Vehicles in Smart Distribution System", *Energy Convers. Manag.*, 79:43–53.
- [57] Andrade F., Cárdenas J. J., Romeral L. ve Cusido J., (2012). "Modeling and Studying of Power flow in a Parking Lot with Plug-in Vehicles and the Impact in the Public Utility", *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), IEEE PES*, 16-20 Jan. 2012, Washinton, DC, USA, 1–7.
- [58] Zhang P., Qian K., Zhou C., Stewart B. G. ve Hepburn D. M., (2012). "A Methodology for Optimization of Power Systems Demand Due to Electric Vehicle Charging Load", *IEEE Trans. Power Syst.*, 27(3):1628–1636.
- [59] Soares F. J., Almeida P. M. R. ve Lopes J. a. P., (2014). "Quasi-real-time Management of Electric Vehicles Charging", *Electr. Power Syst. Res.*, 108:293–303.
- [60] Zhang K., Xu L., Ouyang M., Wang H., Lu L., Li J. ve Li Z., (2014). "Optimal Decentralized Valley-Filling Charging Strategy For Electric Vehicles", *Energy Convers. Manag.*, 78:537–550.
- [61] Yagcitekkin B., Uzunoglu M., Karakas A. ve Vurgun M., (2013). "Assessment of a Car Park With Electric Vehicles", *IEEE 4th Int. Conf. Power Eng. Energy Electr. Drives(POWERENG)*, 13-17 May 2013, Istanbul, Turkey, 961–964.
- [62] Nanaki E. A. ve Koroneos C. J., (2013). "Comparative Economic And Environmental Analysis of Conventional, Hybrid And Electric Vehicles – The Case Study of Greece", *J. Clean. Prod.*, 53:261–266.
- [63] Xi X., Sioshansi R. ve Marano V., (2013). "Simulation–Optimization Model For Location Of A Public Electric Vehicle Charging Infrastructure" *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, 22:60–69.
- [64] Görbe P., Magyar A. ve Hangos K. M., (2012). "Reduction of Power Losses With Smart Grids Fueled With Renewable Sources and Applying EV Batteries", *J. Clean. Prod.*, 34:125–137.
- [65] Hannan M. a., Azidin F. a. ve Mohamed a., (2014). "Hybrid Electric Vehicles and Their Challenges: A Review" *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 29:135–150.
- [66] Tie S. F. ve Tan C. W., (2013). "A review of energy sources and energy management system in electric vehicles," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 20:82–102.
- [67] Peng M., Liu L. ve Jiang C., (2012). "A Review on The Economic Dispatch And Risk Management Of The Large-Scale Plug-In Electric Vehicles (PHEVs)-Penetrated Power Systems", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16(3):1508–1515.
- [68] Liu B. C., Chau K. T., Wu D. ve Gao S., (2013). "Opportunities and Challenges of Vehicle-to-Home , Vehicle-to-Grid Technologies" *Proc. IEEE*, 101(11):2409–2427.

- [69] Soares J., Morais H., Sousa T., Vale Z. ve Faria P. (2013). "Day-Ahead Resource Scheduling Including Demand Response for Electric Vehicles," IEEE Trans. Smart Grid, 4(1):596–605.
- [70] Kelly J. C., MacDonald J. S. ve Keoleian G. a., (2012). "Time-Dependent Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging Based On National Driving Patterns And Demographics", Appl. Energy, 94:395–405.
- [71] Yao W., Zhao J., Wen F., Dong Z. ve Sets A., (2014). "A Multi-Objective Collaborative Planning Strategy for Integrated Power Distribution and Electric Vehicle Charging Systems", IEEE Transactions on Power Systems, 29(4):1–11.
- [72] P. Tulpule, V. Marano, and L. Fu, "Real-time Energy Management and Sensitivity Study for Hybrid Electric Vehicles", IEEE American Control Conference (ACC), June 29- July 1 2011, San Francisco, CA, USA, 4–9.
- [73] Vandael S., Holvoet T. ve Deconinck G., (2012). "A Decentralized Approach For Public Fast Charging Of Electric Vehicles Using Delegate Multi-Agent Systems", Agent technologies for Energy Systems(ATES 2012), 5 June 2012, Valencia, Spain.
- [74] Broeer T., Fuller J., Tuffner F., Chassin D. ve Djilali N., (2014). "Modeling Framework and Validation of A Smart Grid And Demand Response System For Wind Power Integration," Appl. Energy, 113:199–207.
- [75] Bessa R. J. ve Matos M. a., (2014). "Optimization Models for An EV Aggregator Selling Secondary Reserve In The Electricity Market", Electr. Power Syst. Res., 106:36–50.
- [76] Ma Y., Houghton T., Cruden A. ve Infield D., (2012). "Modeling the Benefits of Vehicle-to-Grid Technology to a Power System," IEEE Trans. Power Syst., 27(2):1012–1020.
- [77] Dong J. ve Lin Z., (2012). "Within-Day Recharge Of Plug-In Hybrid Electric Vehicles: Energy Impact Of Public Charging Infrastructure", Transp. Res. Part D Transp. Environ., 17(5):405–412.
- [78] Han S. ve Aki H., (2014). "A practical battery wear model for electric vehicle charging applications," Appl. Energy, 113:1100–1108.
- [79] Hossain M., Tushar K., Assi C. ve Maier M., (2014). "Smart Microgrids: Optimal Joint Scheduling for Electric Vehicles and Home Appliances", IEEE Transactions on Smart Grid, 5(1):239–250.
- [80] Tulpule P., Marano V., Yurkovich S. ve Rizzoni G., (2011). "Energy Economic Analysis of PV Based Charging Station at Workplace Parking Garage" IEEE 2011 EnergyTech, 25-26 May 2011, Cleveland, OH, 1–6.
- [81] Moradijoz M., Moghaddam M. Parsa, Haghifam M. R. ve Alishahi E., (2013). "A Multi-Objective Optimization Problem For Allocating Parking Lots In A Distribution Network", Int. J. Electr. Power Energy Syst., 46(1):115–122.
- [82] Hromádka J. ve Miler P., (2012). "Environmental benefits analysis of electric vehicles in the Czech Republic", Transp. Res. Part D Transp. Environ., 17(3):251–255.

- [83] Oviedo R. M., Fan Z., Gormus S. ve Kulkarni P., (2014). "A Residential PHEV Load Coordination Mechanism with Renewable Sources In Smart Grids", *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 55:511–521.
- [84] Wang Z. ve Liu P., (2010). "Analysis on Storage Power of Electric Vehicle Charging Station", 2010 Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf., 28-31 March 2010, 1–4.
- [85] Mets K., Verschueren T., Haerick W., Develder C. ve Turck F. De, (2010). "Optimizing Smart Energy Control Strategies For Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charging", 2010 IEEE/IFIP Netw. Oper. Manag. Symp. Work., 19-23 Apr. 2010, Osaka, Japan, 293–299.
- [86] Hutchinson S., Baran M. ve Lukic S., (2009). "Power Supply for an Electric Vehicle Charging System for a Large Parking Deck", 2009 IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meet., 4-8 Oct. 2009, Houston, TX, USA, 1–4.
- [87] Pillai J. R. ve Bak-Jensen B., (2010). "Impacts of Electric Vehicle Loads On Power Distribution Systems" 2010 IEEE Veh. Power Propuls. Conf., 1-3 Sep. 2010, Lille, France, 1–6,
- [88] Masoum A. S., Deilami S., Moses P. S., Masoum M. A. S. ve Abu-Siada A., (2011). "Smart Load Management Of Plug-In Electric Vehicles In Distribution And Residential Networks With Charging Stations For Peak Shaving And Loss Minimisation Considering Voltage Regulation", *IET Gener. Transm. Distrib.*, 5(8):877-888.
- [89] Erdoğan S. ve Miller-Hooks E., (2012). "A Green Vehicle Routing Problem," *Transp. Res. Part E Logist. Transp. Rev.*, 48(1):100–114.
- [90] Omidvar A. ve Tavakkoli-Moghaddam R., (2012). "Sustainable Vehicle Routing: Strategies For Congestion Management and Refueling Scheduling", 2012 IEEE Int. Energy Conf. Exhib., 9-12 Sep. 2012, Florence, Italy, 1089–1094.
- [91] Gaur D. R., Mudgal A. ve Singh R. R., (2013). "Routing vehicles to minimize fuel consumption," *Oper. Res. Lett.*, 41(6):576–580.
- [92] Guan D. J., (1998). "Routing a Vehicle of Capacity Greater Than One" *Discret. Appl. Math.*, 81:41–57.
- [93] Lin C. K. ., (2011). "A Vehicle Routing Problem With Pickup And Delivery Time Windows , And Coordination Of Transportable Resources" *Comput. Oper. Res.*, 38(11):1596–1609.
- [94] Ericsson E., Larsson H. ve Brundell-Freij K., (2006). "Optimizing Route Choice For Lowest Fuel Consumption – Potential Effects Of A New Driver Support Tool" *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, 14(6):369–383.
- [95] Franceschetti A., Honhon D., Woensel T. Van, Bektaş T. ve Laporte G., (2013). "The Time-Dependent Pollution-Routing Problem" *Transp. Res. Part B Methodol.*, 56:265–293.
- [96] Pamuc D. S. ve Jovanovic A. D., (2014). "Green Vehicle Routing In Urban Zones – A Neuro-Fuzzy Approach" *Expert Syst. Appl.*, 41:3189–3203.
- [97] Robert B. Cooper, (1981), *Introduction to Queueing Theory*, Second Edi. North Holland Inc., NY, USA.

- [98] Sztrik J., (2012). Basic Queueing Theory. University of Debrecen, Faculty of Informatics, Hungary.
- [99] Taylor H. M., (1998), An Introduction To Stochastic Modeling, 3 th.: Academic Press, London, England.
- [100] Saaty T. L., (1990). "How to make a decision: The analytic hierarchy process" Eur. J. Oper. Res., 48:9–26.
- [101] Jalao E. R., Wu T. ve Shunk D.,(2014). "A stochastic AHP decision making methodology for imprecise preferences" Inf. Sci. (Ny)., 270:192–203.
- [102] T. L. Saaty, (1980). The Analytic Hierarchy Process. NY, USA.
- [103] Vaidya O. S. ve Kumar S., (2006). "Analytic hierarchy process: An overview of applications" Eur. J. Oper. Res., 169(1):1–29.
- [104] Colson G. ve Bruyn C. D. E., (1989). "Models and Methods in Multiple Objectives Decision Making" Math. Comput. Model., 12(10):1201–1211.
- [105] Cho K. T. A. E., (2003). "Multicriteria Decision Methods: An At tempt to Evaluate and Unify," Math. Comput. Model., 37:1099–1119.
- [106] Saaty R. W., (1987). "The Analytic Hierarchy Process - What and How It is Used," Math. Model., 9(3–5):161–176.
- [107] Kezunovic M.,(2011). PHEVs as Dynamically Configurable Dispersed Energy Storage, Power Systems Engineering Research Center, Texas A&M University, USA.
- [108] Korkmaz M. S., (2013). A Genetic Algorithm Based Solution Approach for TDVRP, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [109] Caric T. ve Gold H., (2008). Vehicle Routing Problem, InTech, Croatia.
- [110] Xu M. H., Liu Y. Q., Huang Q. L., Zhang Y. X. ve Luan G. F., (2007). "An Improved Dijkstra's Shortest Path Algorithm for Sparse Network", Appl. Math. Comput., 185(1):247–254.
- [111] Lu X. ve Camitz M., (2011). "Finding the shortest paths by node combination," Appl. Math. Comput., 217(13):6401–6408.
- [112] Aini A. ve Salehipour A., (2012). "Speeding up the Floyd–Warshall Algorithm for the Cycled Shortest Path Problem" Appl. Math. Lett.,25(1):1–5.
- [113] C. Larsson, (2014). Design of Modern Communication Networks Methods and Applications/ Chapter 2 Networks and Flows, Academic Press, Oxford, UK.
- [114] Yagcitekin B., Uzunoglu M., Ocal B., Turan E. ve Tunc A., (2013). "Development of Smart Charging Strategies for Electric Vehicles in a Campus Area" IEEE European Modelling Symposium (EMS2013), 20-22 Nov. 2013, Manchester, England, 432–436.

ÖNERİLEN METODOLOJİYE AİT MATLAB KODLARI

A-1 Optimum Yerleşim Algoritması

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all
clc

%Bu program sarj uniteleri optimal yerlesimi ve akilli sarj algoritma
%calisma yapisinin hesaplanmasinin kodunu gostermektedir.
Bunyamin Yagcitekin®

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%          KT UYGULAMA          %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Kuyruk teorisi ile yerleske sathinda optimal sarj unitesi sayisinin
% belirlenmesi: Tek sıra çoklu sunucu modeli (M/M/s)
%
% Amac ; kuyrukta bekleyen arac sayisini (Lq<1) minimize etmek, bu
%degeri saglayan ilk "s" (sarj ünitesi sayısı) degerini bulmak
%
% Girisler;
Nv=input('Saatlik ortalama giris yapan arac sayisi : ');
lambda = round(Nv*0.05); % saatlik ortalama EA sayısı %5 EA durumu
icin
gs=input('Ortalama sarj suresini(level 1) giriniz : ');
nu=1/g; % ortalama servis suresi (saat)
P0=0;
Ap0=0; %P0 toplam ifadesi yardimci degisken

fprintf('\n\n\n - Davutpasa Yerleskesi Optimal Sarj Unitesi Sayisi
Hesaplama Programi- \n\n\n')

ii=0;

for s=1:100

    p = lambda/(s*nu); % sistem kullanim faktoru (sistem yogunlugu ile
adlandirilir)

    jj=0;
    for k=0:1:s-1
        jj=jj+1;
        Ap(jj)=(1/factorial(k))*(lambda/nu)^k; %Po icindeki ilk kismin
toplam hesabi
    end

    Ap0=sum(Ap) ;
```

```

P0=1/(Ap0+(((lambda/(nu))^s)/factorial(s))*((s*nu)/((s*nu)-
lambda))); % + sarj istasyonu bos olma ihtimali (EA olmama ihtimali)

Lq=((P0*(lambda/nu)^s)*(lambda/(s*nu)))/(factorial(s)*(1-
(lambda/(s*nu))^2); % + sirada bekeleyen EA sayisi

if k<=s

Pn = (lambda/nu)^k/factorial(k)*P0; % denge durumunda kuyruk
sisteminde n sayida(sarj olan ve bekleyen) EA bulunma olasiligi

else % k>s;

Pn = (lambda/nu)^k/factorial(s)*s^(k-s)*P0;

end

ii=ii+1;
ss(ii)=s;
Wq(ii) = Lq/lambda;% kuyrukta bekleme suresi

W = (((lambda/nu)^s*nu) / (factorial(s-1))*(s*nu-lambda)^2)*P0 +
1/nu; % sistem de gecen sure (sarj ve kuyrukta bekleme dahil)

L = lambda*W; % sistemdeki arac sayisi (sarj olan ve bekleyenlerin
tumu)

if Lq<1 && 0<Lq

fprintf ('Optimum sarj unite sayisi = %d \n \n ',s)

break

else

continue

end

fprintf ('Biryerlerde yanlis yapiyorsun!!')

end

Lq;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear all
clc

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%% AHS UYGULAMASI %%%

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```
%Optimal s (sarj unitesi) sayısına ulastiktan sonra Analitik
%hiyerarsik surec ile uzmanlar tarafından belirlenen alternatifler
%arasinda matematiksel esitlikler ile agirlik katsayilari bulunurak
%karar verici tarafından agirlik katsayisi yuksek olan alternatif
%secilebilecektir.
```

```
%%                               Senaryo-1                               %%
```

```
%%% 1. Adim %%%
%Karar verme problemi tanimlanir. Bu adim iki asamdan olusur
%oncelikle karar noktalarini (Alternatifler) belirlenir. Ikinci asamada
%ise %karar noktalarini etkileyen faktorler saptanir.Bu calismada
%karar noktalarini sayisi(Alternatifler) m ile, kararlari etkileyecek
%faktorlerin sayisi ise n ile gosterilecektir.
```

```
% 1.Adim (1.Asama) %
```

```
tablo(4,11)=0;           %Yardımcı 4x13 tablo (bilgileri toplu halde
%görebilmek için ve eksik olanların default 0 değerini sağlamak için)
```

```
otopark=1:11;
doluluk_orani=[0.245 0.324 0.464 0.432 0.462 0.314 0.164 0.573 0.024
0.019 0.317];
arac_sayisi=[85 150 76 110 150 220 15 35 34 180 50];
populasyon=[7 9 9 8 8 7 5 5 5 1 3];
```

```
tablo(1,:)=otopark;           %Verileri bir arada görmek için
"otopark"
% serisi tablonun 1.satırına atılıyor.
tablo(2,:)=doluluk_orani;
tablo(3,:)=arac_sayisi;
tablo(4,:)=populasyon;
```

```
CS_sayisi=input('KT ile elde edilen optimum CS sayisi : ');
```

```
k=sum(doluluk_orani);
k1=sum(arac_sayisi);
k2=sum(populasyon);
```

```
h1=CS_sayisi/k;
h2=CS_sayisi/k1;
h3=CS_sayisi/k2;
```

```
Alternatif_1(otopark)=round(h1*doluluk_orani)
Alternatif_2(otopark)=round(h2*arac_sayisi)
Alternatif_3(otopark)=round(h3*populasyon)
```

```
sum(Alternatif_1);
sum(Alternatif_2);
sum(Alternatif_3);
```

```
%%
```

```
% 1.Adim (2.Asama) %
```

```
%Karar noktalarini etkileyen faktorler belirlenir.
```

```
%%
```

```
%2. Adim; Faktorler(kriterler) arasi karsilastirma matrisi
olusturulur.
```

```

% A=[ 1    3    1    2    3;
%     1/3   1    1    1    2;
%     1    1    1    1    1/2;
%     1/2   1    1    1    1;
%     1/3  1/2   2    1    1];

k=input('Kriter sayisini giriniz:');
criteria = k;

% A = zeros(criteria,criteria);

display('Kriterler arasi onem derecesini giriniz...');

% for i=1:criteria
%
%     for j=1:criteria
%
%         A(i,j) = sscanf(input('Oncelikle birinci satirdan(soldan saga)
%         baslayarak kare matrisi olusturunuz...', 's'), '%d');
%
%     end
%
% end

A= input('kare matrisi olusturunuz...');
%%
%3. Adim; Faktorlerin yuzde onem dagilimlarinin yapilmasi
%
%Kriter sayisi kadar (n=6) B sutun vektoru olusturulur
%
%
% b11= 1/(a11+a21+a31+a41+a51);
% b21= 1/(a12+a22+a32+a42+a52);
% b31= 1/(a13+a23+a33+a43+a53);
% b41= 1/(a14+a24+a34+a44+a54);
% b51= 1/(a15+a25+a35+a45+a55);
%
% Ba = [ b11 b21 b31 b41 b51];
% Bb=....
% Bc=....
% Bd=....
% Be=....
% 5 adet B sutun matrislerinden olusan C matrisi olusacaktır

[sutun satir]=size(A);
%sum(A(:,i))
for i=1:sutun

    for j=1:satir

        C(j,i)=A(j,i)/sum(A(:,i));

    end

end

C

```

```

% C matrisi yardimiyla faktorlerin birbirlerine gore onem degerlerini
hesap
% etmek amaciyla satir bileşenlerinin aritmetik ortalamasi alinarak
oncelik
%(agirlik) vektoru elde edilir
%
% C = [ Ba Bb Bc Bd Be];
%
% yukaridaki C matrisinden bir ornekle gorulecegi gibi;
w1=(B11+B12+B13+B14+B15)/5;
%
% W = [w1 w2 w3 w4 w5]` elde edilir.

[st sut]=size(C);

for i=1:st
    for j=1:sut
        W(i,j)=sum(C(j,:))/st;
    end
end

W(i,:)

%%
% 4. Adim; faktorler arasindaki karsilastirma tutarlilik olculur
%
% for n1=1:1:5;
%     i=1:1:5;
%     Ek(i)=d(i)/w(i)
%     lambda1=sum(Ek(i))/n %temel deger, hesabi ise A matrisi ile W
agirlik vektor
% matrisinin carpimiyla
ag=W(i,:)
D=A*ag'
for i=1:st
    %for j=1:sut
        Ka(i)=D(i)/ag(i) '
    %end
end

Ka;
sum(Ka);
lambda=sum(Ka)/st

% elde edilen degerin toplanmasiyla kriter sayisina bolumunden
bulunmaktadır.
%
% CI=(lambda1-n1)/n1-1; % tutarlilik gostergesi
CI= (lambda-st)/(st-1)
% RI= standart duzeltme orani olarak anilan random gosterge asagiaki
tablodan alinir
RI = [0 0 0.58 0.9 1.12 1.24 1.32 1.41 1.45 1.49];
% ornegin 3 kriterli karsilastirma icin 0.58, 4 icin 0.90, 5 icin 1,12
alinir.
% CR=CI/RI % tutarlilik orani 0.1 den kucuk olmasi verilen kararın ve
% karsilastirmanin tutarli oldugunu gosterir.

CR=CI/RI(1,st)

```

```

if CR>0.10

    str ='CR = %1.2f ! kriterler arasindaki hiyerarsik yapıyı kontrol
ediniz ! CR<0.1 olmalı ';
    %fprintf('kriterler arasindaki hiyerarsik yapıyı kontrol ediniz')
    str= sprintf(str ,CR);
    disp(str);
    break
end

%%
% 5. Adım; herbir kriter için alternatifler arasında yüzde önem
dağılımları bulunur.

%1.kriter için alternatifler arasında öncelik matrisi oluşturulur
%
% a    Alt1 Alt2 Alt3
% Alt1  1    1/3  1/3
% Alt2  3    1    1
% Alt3  3    1    1

%alt=input('alternatif sayısını giriniz:');

a= input('1.kriter için alternatifler arası ağırlık matrisi
oluşturun...');

a;

[sutun satir]=size(a);

for i=1:sutun

    for j=1:satir

        a1(j,i)=(a(j,i))/sum(a(:,i));

    end

end

for i=1:sutun
    a2(i)=sum(a1(i,:))/sutun;
end
a2'
%%
%2.kriter için alternatifler arasında öncelik matrisi oluşturulur
% Bu kısımda P11-P10 ve P4 daha öncelikli (fazla olan)
%
% b    Alt1 Alt2 Alt3
% Alt1  1    1/3  1/3
% Alt2  3    1    1
% Alt3  3    1    1

%alt=input('alternatif sayısını giriniz:');

```

```

b= input('2.kriter için alternatifler arası ağırlık matrisi
oluşturun...');
b;

[sutun satir]=size(b);

for i=1:sutun

    for j=1:satir

        b1(j,i)=(b(j,i))/sum(b(:,i));

    end

end

for i=1:sutun
    b2(i)=sum(b1(i,:))/sutun;

end
b2'

%%
%3.kriter için alternatifler arasında öncelik matrisi olusturulur
%%Bu kısımda P7-P11 => 1, P8-P5-P3-P6-P10=> 3, P1-P2-P4-P9=>5
%
% c    Alt1 Alt2 Alt3
% Alt1  1      1/3    1/2
% Alt2  3      1      1/4
% Alt3  2      4      1

%alt=input('alternatif sayisini giriniz:');

c= input('3.kriter için alternatifler arası ağırlık matrisi
oluşturun...');

c;

[sutun satir]=size(c);

for i=1:sutun

    for j=1:satir

        c1(j,i)=(c(j,i))/sum(c(:,i));

    end

end

for i=1:sutun
    c2(i)=sum(c1(i,:))/sutun;

end
c2'
%%
%4.kriter için alternatifler arasında öncelik matrisi olusturulur
%%Bu kısımda P7-P9-P10=> en düşük P1-P2-P3 birbirine yakın

```

```

%
% d   Alt1  Alt2  Alt3
% Alt1  1      5      2
% Alt2  1/5    1      1/3
% Alt3  1/2    3      1

%alt=input('alternatif sayisini giriniz:');

d= input('4.kriter için alternatifler arası ağırlık matrisi
oluşturun...');

d;

[sutun satir]=size(d);

for i=1:sutun

    for j=1:satir

        d1(j,i)=(d(j,i))/sum(d(:,i));

    end

end

for i=1:sutun
    d2(i)=sum(d1(i,:))/sutun;

end
d2'
%%
%5.kriter için alternatifler arasında öncelik matrisi oluşturulur
%Bu kısımda P7-P9-P10=> en düşük P1-P2-P3 birbirine yakın
%
% e   Alt1  Alt2  Alt3
% Alt1  1      1      2
% Alt2  1      1      1/2
% Alt3  1/2    2      1

%alt=input('alternatif sayisini giriniz:');

e= input('5.kriter için alternatifler arası ağırlık matrisi
oluşturun...');

e;

[sutun satir]=size(e);

for i=1:sutun

    for j=1:satir

        e1(j,i)=(e(j,i))/sum(e(:,i));

    end

end
end

```

```

for i=1:sutun
    e2(i)=sum(e1(i,:))/sutun;

end
e2'
%%
enson=[a2' b2' c2' d2' e2'];

```

```

for j=1:sut
    W(:,j)=enson(:,j)*ag(:,j)';
end

```

W

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

A-2 Akıllı Şarj Algoritması

En Kısa Yol (Floyd) Algoritması

%%%% Davutpaşa Yerleşkesi Floyd Algoritması Uygulaması %%%%

```
function [A, P]=b(~);

A = xlsread('durumfloyd');
N=min(length(A));
P=-1*ones(N,N);

for k=1:N;
    for i=1:N;
        for j=1:N;
            if A(i,k)==inf;
                continue;
            end
            if A(k,j)==inf;
                continue;
            end
            if A(i,j)>A(i,k)+A(k,j);
                if P(i,k)==-1;
                    P(i,j)=k;
                else
                    P(i,j)=P(i,k);
                end
                A(i,j)=A(i,k)+A(k,j);
            end
        end
    end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Akıllı Şarj Süreci

Birbirleriyle iletişim halindeki tüm aktörlerin ilişkilerini gösteren kodlardır.

Burada; EA, park noktası, sürücü, park manager ve yönetici şeklinde sistem elemanları vardır.

```
%%% main.m %%%%

clear all
clc
vehicles = VehicleManager.createVehicles(60);
mypark = Park(1);
mypark.registerVehicles(vehicles);
t = 0;
while(t < 24)
    display(['Saat ', num2str(t), '-----'
    -----']);
    for i=1:length(vehicles)
        vehicles(1,i).enterParkingRequest(t);
        vehicles(1,i).leaveParking(t);
    end
end
```

```

end

t = t + 1;
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%% park.m %%%

classdef Park < handle

    properties
        id
        t % parkın zaman değişkeni
        GunTarife
        ParkingCapacity % Toplam şarj kapasitesi
        G2V_Yavas_Fiyat % Yavaş şarj fiyatı
        G2V_Hizli_Fiyat % Hızlı şarj fiyatı
        V2G_Standart_Fiyat % Standart deşarj fiyatı
        Hizli_Sarj_Enerjisi
        Yavas_Sarj_Enerjisi
        Desarj_Enerjisi
        ToplamSarjKapasitesi
        NumTotalVehicle = 0;

        enterParkingRequestListenerHandle
        leaveParkingListenerHandle
    end

    events
        notifyParkingAvailable
    end

    methods
        function obj = Park(id)
            % class constructor
            obj.id = id;
            display( id);
            obj.GunTarife= xlsread('Gun_Tarife.xlsx',1); % Saatlik
            PMUM Fiyat listesinin programa alınmasıT

            obj.G2V_Yavas_Fiyat= obj.GunTarife*1.1;
            obj.G2V_Hizli_Fiyat= obj.GunTarife*1.5;
            obj.V2G_Standart_Fiyat = obj.GunTarife*0.9;
            obj.Hizli_Sarj_Enerjisi = 7.2; %saatlik vereceği enerji kW
            obj.Yavas_Sarj_Enerjisi = 3.3;
            obj.Desarj_Enerjisi = 3.3;

        end

        function out = isParkAvailable(obj)
            if(obj.NumTotalVehicle < obj.ParkingCapacity)
                out = true;
            else
                out = false; % Bu park müsait değilse en uygun noktaya
            end
        end
    end
end

```

```

function incrementNumTotalVehicles(obj)
    obj.NumTotalVehicle = obj.NumTotalVehicle + 1;
end

function decrementNumTotalVehicles(obj)
    if obj.NumTotalVehicle == 0
        disp('Parkta herhangi bir araç kalmadı. ');
        return
    end

    obj.NumTotalVehicle = obj.NumTotalVehicle - 1;
end

function registerVehicles(obj, vehicles)
    for i=1:length(vehicles)
        obj.registerVehicle(vehicles(1,i));
    end
end

function registerVehicle(obj, vehicle)
    hlenter =
addlistener(vehicle, 'enterParkingRequestEvent', @obj.enterParkingRequestCallbackFunction);
    obj.enterParkingRequestListenerHandle = hlenter;
    hlleave =
addlistener(vehicle, 'leaveParkingEvent', @obj.leaveParkingCallbackFunction);
    obj.leaveParkingListenerHandle = hlleave;
end

function enterParkingRequestCallbackFunction(obj, src, ~)

    display(['Vehicle ', num2str(src.id), ' request entering
Parking']);
    display(['Park ', num2str(obj.id), ' says: received a
parking request.']);

    if(obj.isParkAvailable())
        obj.incrementNumTotalVehicles();

        display(['Park ', num2str(obj.id), ' says: parking
is available']);
        %burada vehicle'a geri notfiy'da bulunulcak.

event.listener(obj, 'notifyParkingAvailable', @src.ParkingAvailableCallbackFunction);

notify(obj, 'notifyParkingAvailable', VehicleEventData(src.id));

        display(['Park ', num2str(obj.id), ' reports: ']);
        display(['--Total Number of Vehicle in the Park :
', num2str(obj.NumTotalVehicle)]);
        display(['--', num2str(src.id), ' Nolu araç otoparka
giriş yaptı.']);
        display(['----', num2str(src.id), ' Nolu aracın Şarj
Durumu : ', num2str(src.SoC)]);
        display(['----', num2str(src.id), ' Nolu aracın
Batarya Tam Kapasitesi: ', num2str(src.Batarya_Tam_Kapasite)]);

```

```

        display(['----',num2str(src.id),' Nolu aracın
Batarya Dolu Kapasit: ',num2str(src.Batarya_Dolu_Kapasite)]);
        display(['----',num2str(src.id),' Nolu aracın
Batarya Bos Kapasite: ',num2str(src.Batarya_Bos_Kapasite)]);
        display(['----',num2str(src.id),' Nolu aracın
Otoparkta Durus Saati: ',num2str(src.otoparktaDurusSaati)]);
        else
            display(['Park ',num2str(obj.id),' says: parking
is not available']);
        end
    end
        display(['--',num2str(src.id),'Nolu araç otoparktan
çıkış yaptı.']);
        display(['Total Number of Vehicle in the Park =
',num2str(obj.NumTotalVehicle)]);

        display(['----',num2str(src.id),' Nolu aracın Şarj
Durumu : %',num2str(src.Soc)]);

        display(['----',num2str(src.id),' Nolu aracın
Otoparkta Durus Saati: ',num2str(src.otoparktaDurusSaati)]);

    end

    function chargingRequestCallbackFunction(obj,src,~)
        display(['Vehicle ',num2str(src.id),' make charging
request to Park ', num2str(obj.id)]);

        else
            display('Aracınız park alanında tam dolum için
yeterli süre beklememektedir');

            if src.isYavasSarj()
                display(['Vehicle ',num2str(src.id),' make
charging request a slow charge', num2str(obj.id)]);
                sarjEnerjisi = obj.Yavas_Sarj_Enerjisi;
            else
                display(['Vehicle ',num2str(src.id),' make
charging request a normal charge', num2str(obj.id)]);
                sarjEnerjisi = obj.Hizli_Sarj_Enerjisi;
            end

            newSoc = (sarjEnerjisi * src.otoparktaDurusSaati +
src.Soc * src.Batarya_Tam_Kapasite / 100)/ src.Batarya_Tam_Kapasite;
            src.setSoc( newSoc );

            display(['Park sonu batarya doluluk seviyeniz
:',num2str(src.Soc)]);

        end

        display(['Park ', num2str(obj.id),' is charging to
Vehicle ',num2str(src.id)]);
        obj.ToplamSarjKapasitesi = obj.ToplamSarjKapasitesi
- src.totalChargingRequest;
        display(['Park ', num2str(obj.id),' toplam şarj
kapasitesi: ',num2str(obj.ToplamSarjKapasitesi),' oldu.']);

    else

```

```

        display('Parkın toplam şarj kapasitesi toplam
gereken şarj miktarı daha az, yani yetersiz.');
```

end

end

end

end

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
vehicle.m

function enterParkingRequest(obj,t)
    if(t == obj.otoparkaGirisSaati )
        notify(obj, 'enterParkingRequestEvent');
    end
end

function leaveParking(obj,t)
    if(t == obj.otoparkaGirisSaati + obj.otoparktaDurusSaati)
        notify(obj, 'leaveParkingEvent');
    end
end

function ParkingAvailableCallbackFunction(obj,src,evnt)
    if evnt.enteringPark_vehicle_id == obj.id
        obj.isParking = true;
        obj.ParkID = src.id;
        display(['Vehicle ',num2str(obj.id),' says: parking
has been done into Park',num2str(src.id)]);

        %Park'a şarj etme isteğinde bulun.

event.listener(obj, 'chargingRequestEvent',@src.chargingRequestCallback
Function);

        obj.calculateTotalChargingRequirement();
        notify(obj, 'chargingRequestEvent');
    end
end

function calculateTotalChargingRequirement(obj)

    if(obj.SoC<40)
        display('Batarya doluluğunuz belirlenen limitlerin
altında olduğundan yalnızca G2V işlemi gerçekleştirilebilir!');
```

obj.totalChargingRequest = 5;

end

obj.totalChargingRequest = 5;

end

end

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%%% parkmanager.m %%%

classdef ParkManager
    methods (Static)

```

```

function prk = createPark()
    if isempty(ParkManager.StaticID)
        ParkManager.StaticID(1);
    else
        ParkManager.StaticID(ParkManager.StaticID + 1);
    end

    prk = Park(ParkManager.StaticID);
end

function parks = createParks(n)

    parks = Park.empty(n,0);
    for k = 1:n
        parks(k) = ParkManager.createPark();
    end

function out=StaticID(in)
    persistent prs;
    if nargin, prs=in; end
    out=prs;
end

end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

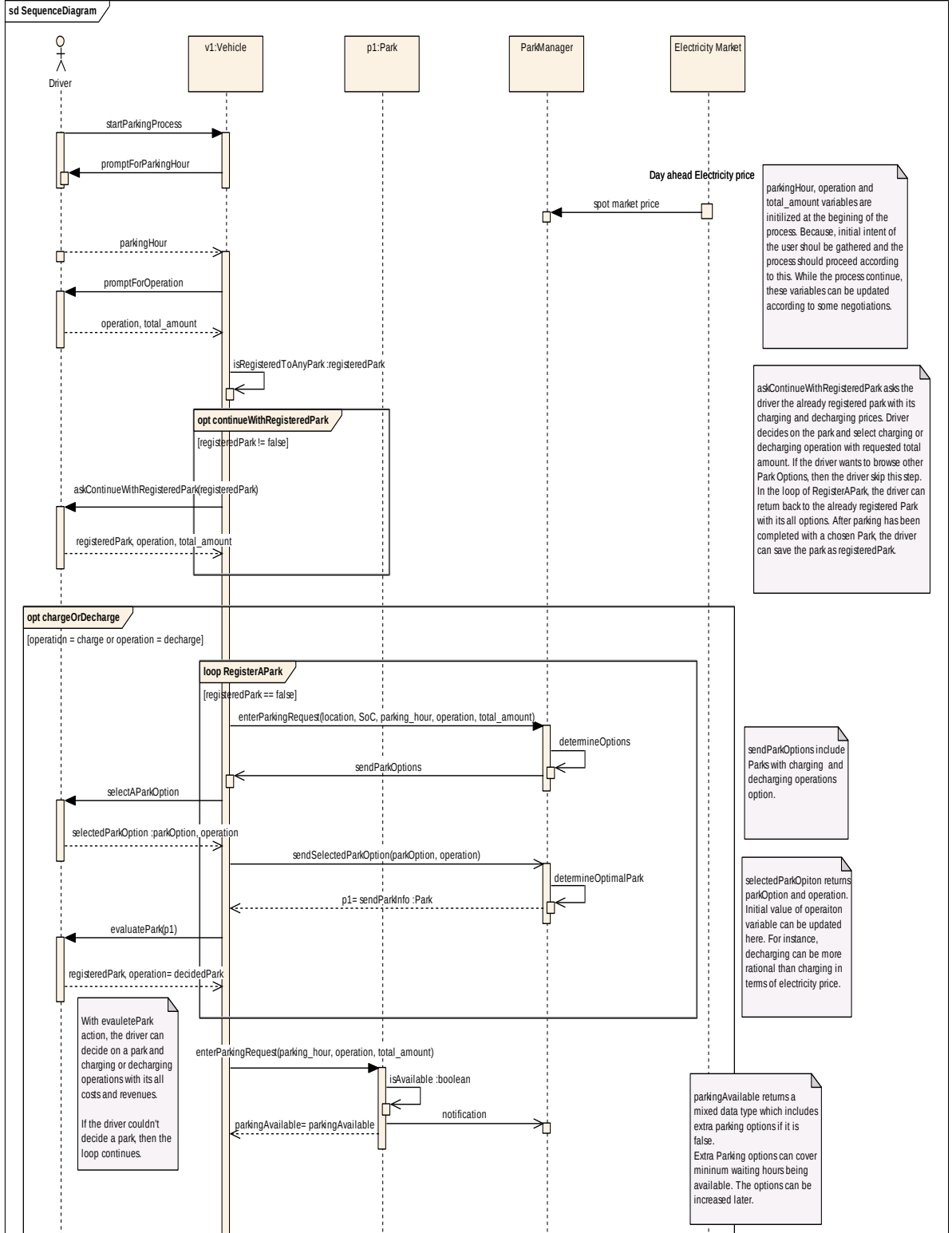
A-3 Akıllı Telefon Algoritması Pseudocode'u

```

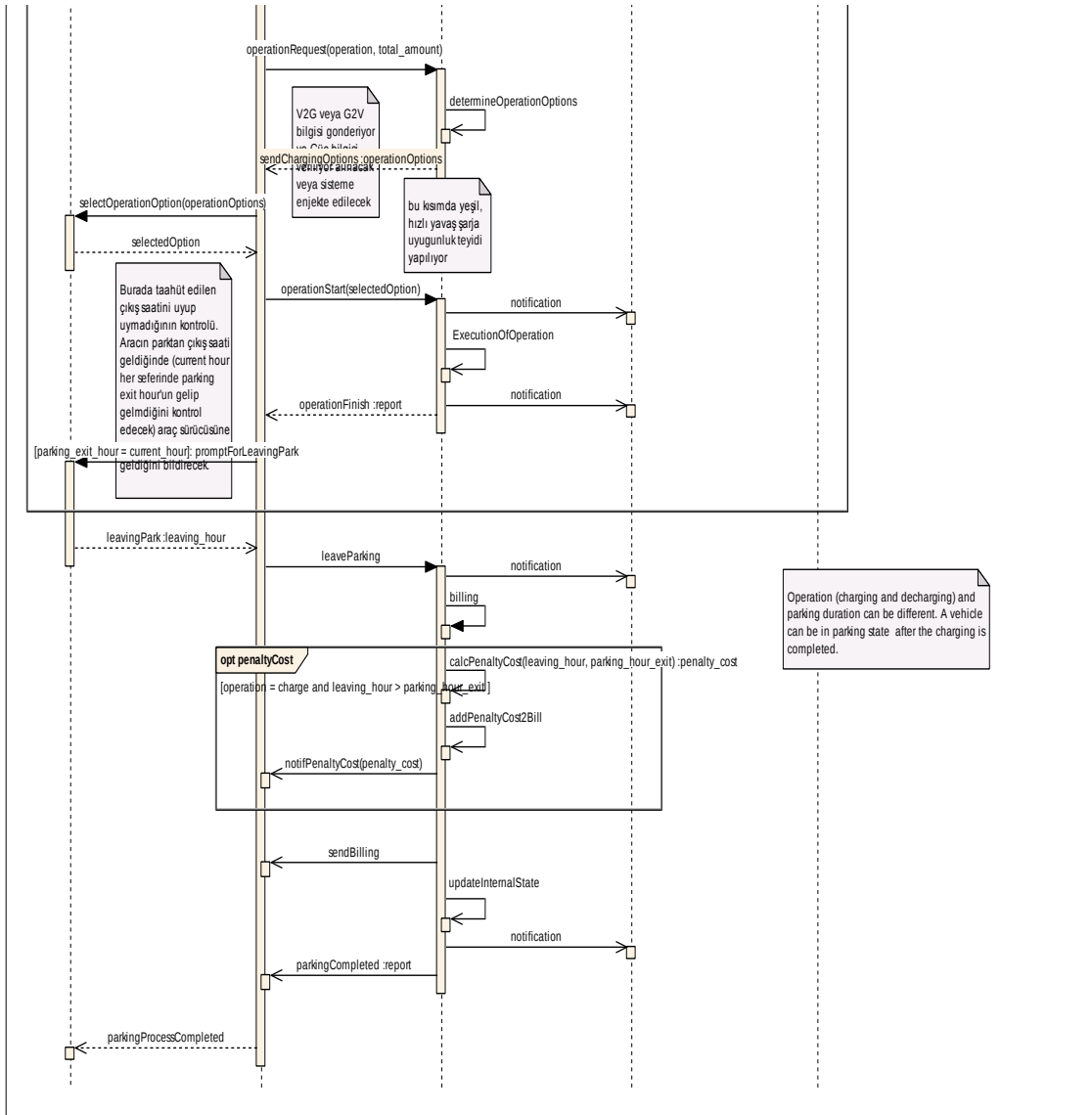
integer function calculateCost ( enterTime, destinationCharge,
    currentCharge, operationTypeKWh) {
    FOREACH (station in stationsGpsFound ) {
        activePower = getStationActivePower( enterTime );
        reqEnergy = (destinationCharge – currentCharge) * 24;
        reqTime = reqEnergy / operationTypeKWh;
        cost = getExpenseOfCharge ( enterTime, reqEnergy );
        IF ( activePower > powerThreshold )
            cost += cost * 50/100;
            IF ( station.loadFactor > 0.6 )
                cost += cost * 20/100;
            ENDIF
        ELSE
            IF ( station.loadFactor > 0.6 )
                cost += cost * 10/100;
            ENDIF
        ENDIF
    }
}

```

ÖNERİLEN AKILLI ŞARJ METODOLOJİSİNE AİT “SEQUENCE” DİYAGRAMI



Devamı.....



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Bünyamin YAĞCITEKİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.03.1983 – Yusufeli/ARTVIN
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : bunyamin@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Enerji Bil. ve Tek.	İstanbul Teknik Üniversitesi	2008
Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2006
Lise	Fen Bilimleri	Artvin Anadolu Öğrt. Lisesi	2001

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009-2010	İstanbul Ulaşım A.Ş	Elektrik Müh.
2008-2009	Kara Kuvvetleri Komutanlığı	Yedek Subay
2007-2007	İSBAK A.Ş	Kontrol Müh.
2007-2007	İTÜ-Tekstil Mak. Geliştirme Lab. TÜBİTAK MAG 105M134 Projesi	Bursiyer

YAYINLARI

Makaleler

1. **Yagcitekin B.**, Uzunoglu M., Karakas A., Erdinc O., (2014). "Assessment of electrically driven vehicles in terms of emission impacts and energy requirements: A case study in Istanbul", Journal of Cleaner Production, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.063>.
2. **Yagcitekin B.**, Uzunoglu M., Karakas A., (2014). "A new deployment method for electric vehicle charging infrastructure", Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Science, DOI: 10.3906/elk-1311-221.
3. **Yagcitekin B.**, Uzunoglu M., Karakas A., (2014). "A Charging management of electric vehicles based on campus survey data", Applied Mechanics and Materials Vol. 492 (2014) pp 43-48.
4. **Yagcitekin B.**, Guler O., Cali U., (2012). "Energy management strategy for wind power plant based on energy storage and wind power prediction", Energy Sources Part B: Economics, Planning, and Policy, Volume 7, Issue 2, January 2012, pp 152-161.

Bildiriler

1. **Yagcitekin B.**, Uzunoglu M., Ocal B., Turan E., Tunc A., (2013). "Development of Smart Charging Strategies for Electric Vehicles in a Campus Area", IEEE European Modelling Symposium (EMS2013), Manchester, England. 20-22 Nov.2013.
2. **Yagcitekin B.**, Uzunoglu M., Karakas A., Vurgun M., (2013). "Assessment of Car Parks with Electric Vehicles: A case study", IEEE PowerEng 2013, Istanbul, Turkey. 13-17 May 2013.
3. Boynuegri A. R., **Yagcitekin B.**, Baysal M., Karakas A., Uzunoglu M., (2013). "Energy Management Algorithm for Smart Home with Renewable Energy Sources", IEEE PowerEng 2013, Istanbul, Turkey. 13-17 May 2013.
4. Kiliç B., Tuna S., **Yagcitekin B.**, Özenç S., (2010). "Energy Efficiency Analysis of Lighting Systems at Fixed Facilities on Light Metro Systems: A Case Study", 5th International Ege Energy Symposium and Exhibition (IEESE 5), Denizli, Türkiye. 27-30 June 2010.
5. Verim İ., Acarkan B., **Yağcitekin B.**, Uzunoğlu M., (2013). "Elektrikli Araçların Dağıtılmış Enerji Üretim/Depolama Sistemi Olarak Değerlendirilmesi", Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK 2013), Kocaeli, Türkiye. 23-24 Mayıs 2013.
6. **Yağcitekin B.**, Uzunoğlu M., Karakaş A.,(2011). "Elektrikli Araçların Şarjı ve Dağıtım Sistemi Üzerine Etkileri" Elektrik-Elektronik Bilgisayar Sempozyumu (FEEB 2011), Elazığ, Türkiye. 4-7 Ekim, 2011.

7. **Yağcıtekin B.**, Uzunoğlu M., (2011).“Elektrikli Araçların Şebeke Üzerine Etkileri ve Türkiye Beklentileri” Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu (EVK 2011), Kocaeli, Türkiye. 12-13 Mayıs 2011.
8. Kiliç B., Tuna S., **Yağcıtekin B.**,(2011) “DC Raylı Sistemlerde Frenleme Enerjisi Geri Kazanımı” Elektrikli Ulaşım Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi (EUSİS 2011), Bursa, Türkiye. 7-9 Nisan 2011.
9. Vural B. Uzunoğlu M., Düşmez S., Uğur E., **Yağcıtekin B.**, (2010)“Elektrikli Taşıtlarda Yakıt Hücresi, Batarya ve Ultra-kapasitörün Farklı Bağlantı Topolojileri İçin Deneysel Bir Karşılaştırma” Elektrik - Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2010), Bursa, Türkiye. 2-5 Aralık 2010.

Projeler

1. Elektrikli Kara Taşıtları İçin Şarj Altyapısının Elektrik Şebekesini Bozmayacak Şekilde Konumlandırılması. YTU-KAP, Proje No:2012-04-02-KAP05. Bütçe: 20.000 TL (Araştırmacı)
2. Enerji Verimliliğini Arttırmak ve Karbon Emisyonunu Azaltmak Amacıyla Akıllı Şebeke Altyapısına Uygun Bir Akıllı Evin Geliştirilmesi. İstanbul Kalkınma Ajansı (DPT), Proje No: İSTKA, KCE-27. Bütçe: 888.000 TL (Araştırmacı)
3. Hava-Jeti ile Tekstüre Yapan Büküm Makinesinin Geliştirilmesi, Prototip Makine Tasarımı ve İmalatı. TÜBİTAK MAG, Proje No: 105M134 Bütçe: 256.000 TL (Bursiyer)
4. TÜBİTAK - Güneş Enerjili Araç ve Hidrojenli Araç Projesi. YTÜ-Güneş Eneji Sistemleri Kulübü. 2006 - 2007. Bütçe > 100.000 TL (Elektrik takım sorumlusu)
5. Yapay Zekâ ve İstatistiksel Yöntemlere Dayalı Hibrit Rüzgâr Enerjisi Tahmin Sisteminin Geliştirilmesi ve Sanal Enerji Santrali Modeli Oluşturulması. Teknogirişim Sermayesi Desteği Programı, BİLİM, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Proje No: 1647.TGSD.2014. Bütçe: 99.940 TL (Danışman)
6. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Başkanlığı (TÜBİTAK), 2011-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Doktora Burs Programı. 2013-2014 (Yürütücü)

ÖDÜLLERİ

1. 2012 Yılı Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Teşvik ödülü
2. 2007 TÜBİTAK Formula – H / Başkent Kupası 1.'liği (YTÜ-GESK)
3. 2006 TÜBİTAK Formula – G / Türkiye 3.'lüğü (YTÜ-GESK)