

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİSİNİN MALİYET
ANALİZİ VE GENETİK ALGORİTMA İLE EN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazal ÇİFTÇİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

AĞUSTOS 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİSİNİN MALİYET
ANALİZİ VE GENETİK ALGORİTMA İLE EN İYİLEŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazal ÇİFTÇİ
504161061**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY

AĞUSTOS 2019

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 50161061 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Hazal ÇİFTÇİ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİSİNİN MALİYET ANALİZİ VE GENETİK ALGORİTMA İLE EN İYİLEŞTİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ahmet CANSIZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üy. Murat AYHANOĞLU
Ayvansaray Üniversitesi

Teslim Tarihi : 20 Ağustos 2019
Savunma Tarihi : 20 Ağustos 2019





Annem, Babam ve Muratan'a,



ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim süresince bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren; akademik hayatımın tümünde yoluma ışık tutan, hayat görüşüyle örnek olan; tez çalışmam boyunca yardımını, fikirlerini ve anlayışını bir an olsun esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY'a;

Yüksek Lisans tezimde ihtiyaç duyduğum desteği sağladığı için İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne;

Araştırma Görevlisi olarak İTÜ Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde geçirdiğim süre boyunca; akademik hayatta benden önce deneyimlediklerini aktarmakta bir an olsun tereddüt etmeyen ve insanın paylaştıkça geliştiğini ve öğrendiğini en güzel haliyle yansıtan Araştırma Görevlisi mesai arkadaşlarımda tamamına; ve özellikle sevgili arkadaşlarımda Araş. Gör. Onur Ayan ve Araş. Gör. Osman Can Soygenç'e;

Bu tez kapsamında çalıştığım algoritma üzerinde yaşadığım problemlerde hiçbir zaman desteğini ve fikirlerini esirgemeyen sevgili arkadaşım Ensar GÜNEŞDOĞDU'ya;

Hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda; attığım her adımda desteklerini her an hissettiğim; önce mühendis, şimdi ise yüksek mühendis ünvanlarını kazanarak onları gururlandırmaktan büyük bir kıvanç duyduğum ve her şeyden önce bana emeğin, fedakarlığın ve iyi insan olmanın önemini birer örnek teşkil ederek öğreten canım annem Ülkü ÇİFTÇİ ve canım babam Talat ÇİFTÇİ'ye;

Lisans hayatımın önemli bir kısmı ile yüksek lisans eğitimim boyunca her an yanımda hissettiğim; beni hem akademik anlamda destekleyen, geliştiren; hem de bana sakinliğiyle örnek olarak sabretmeyi, soğukkanlı kalmayı ve zamanı yönetmeyi öğreten önce meslektaşım; şimdi ise yol arkadaşım Yük. Müh. Mehmet Murathan TAŞKIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2019

Hazal Çiftçi
(Elektrik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	7
1.2 Tezin Amacı	12
2. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI	15
2.1 Araçtan Şebekeye (V2G) Şarj İstasyon Sistemleri.....	15
2.2 Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Tipleri	18
2.2.1 Seviye 1 Şarj İstasyonları.....	20
2.2.2 Seviye 2 Şarj İstasyonları.....	21
2.2.3 Seviye 3 Şarj İstasyonları.....	21
2.3 Şarj İstasyonlarına İlişkin Kurulum Standartları.....	21
2.3.1 SAE J772.....	22
2.3.2 IEC 61851 Standartı.....	23
2.3.3 CHAdeMO	24
2.4 Dünyada EA Kullanımı ve Öngörülen Geleceği.....	24
2.5 Türkiye’de EA Kullanımı ve Öngörülen Geleceği	26
2.5.1 İlgili Mevzuat ve Devlet Desteği	28
3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ALTYAPISI VE ELEKTRİK ŞEBEKESİ	31
3.1 Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesi Üzerine Etkileri.....	31
3.1.1 Puant Yük Talebi Üzerine Etkileri.....	31
3.1.2 Güç Kalitesi Üzerine Etkileri	32
3.1.3 Gerilim Düşümü ve Faz Dengesizliği Üzerine Etkileri	32
3.1.4 Transformatöre Etkileri.....	33
3.2 Elektrikli Araçlar için Enerji Fiyat Tarifeleri.....	33
4. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİSİNİN MALİYET ANALİZİ VE OPTİMİZASYON PROBLEMİ.....	36
4.1 Elektrikli Araç Optimizasyon Problemlerinde Kullanılan Yöntemler	36
4.1.1 Tabu Yöntemi	36
4.1.2 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu	37
4.1.3 Genetik Algoritma.....	39
4.2 Optimizasyon Probleminin Genetik Algoritma ile Çözülmesi	39
4.2.1 EA Otopark Yük Senaryosu.....	40

4.2.2 Optimizasyon Problemi ve İzlenen Yöntem	42
4.2.3 Optimizasyon Sonuçları ve Maliyete Etkisinin Analizi.....	46
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	65



KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
AG	: Alçak Gerilim
BYS	: Batarya Yönetim Sistemi
DA	: Doğru Akım
DAM	: Doğru Akım Motoru
DEK	: Dağıtılmış Enerji Kaynağı
DYS	: Dağıtım Yönetim Sistemi
EA	: Elektrikli Araç
EHY	: Elektriksel Hareketlilik Yöneticisi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPIAŞ	: Enerji Piyasaları İşletme AŞ.
EPRI	: Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü
ETP	: Enerji Teknolojileri Perspektifi
GA	: Genetik Algoritma
GİP	: Gün İçi Piyasası
HEA	: Hibrit Elektrikli Araç
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
ISPARK	: İstanbul Otopark İşletmeleri
İYM	: İçten Yanmalı Motor
PHEA	: Plug-in Hibrit Araçlar
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
SAE	: Society of Automotive Engineers
SoC	: State of Charge
TEA	: Tam Elektrikli Araç
TEPCO	: Tokyo Elektrik Enerjisi Şirketi (Tokyo Electric Power Company)
V2G	: Vehicle to Grid
WRI	: Dünya Araştırma Enstitüsü
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları



SEMBOLLER

$C_{Alış}$: Belirli bir zamandaki enerji alış fiyatı
$C_{Satış}$: Belirli bir zamandaki enerji satış fiyatı
E_{net}	: Net enerji miktarı
$n_{şarj}$: Normal Kuvvet Bileşenleri
$n_{deşarj}$: Faz yükü
N_{EA}	: Elektrikli araç sayısı
α	: Enerji maliyet katsayısı
β	: Enerji maliyet katsayısı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Farklı şarj tipleri ve ortalama özellikleri.	19
Çizelge 2.2 : SAE1772 Standartına ait elektriksel parametreler.	22
Çizelge 2.3 : IEC 61851 Standartına ait elektriksel parametreler.	23
Çizelge 2.4 : CHAdeMO Standartına ait elektriksel parametreler.	24
Çizelge 3.1 : Elektrik enerji fiyatlandırması.....	34
Çizelge 4.1 : Çalışma kapsamında kullanılan EA modelleri.	41
Çizelge 4.2 : Kullanılan EA'ların güç değerleri.	45
Çizelge 4.3 : GA sonucu değişen enerji maliyetleri.	52



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Batarya maliyetlerinin yıllar içerisindeki değişimi [7].....	3
Şekil 1.2 : Elektrikli araçların yaygınlaşması ile yük talebinin artışı [9].	5
Şekil 1.3 : Ferdinand Porsche tarafından geliştirilen ilk hibrit araç [13].....	8
Şekil 2.1 : EA güç akış diyagramı [2].....	15
Şekil 2.2 : Araç tiplerine göre yıllık hafif ticari araç satışı [35].	26
Şekil 4.1 : Otoparkta bulunan BMW i3 araçların saatlik şarj değişimleri.....	47
Şekil 4.2 : Otoparkta bulunan Tesla ModelS araçların saatlik şarj değişimleri.....	47
Şekil 4.3 : Otoparkta bulunan Nissan Leaf araçların saatlik şarj değişimleri.....	48
Şekil 4.4 : Otoparkta bulunan Focus Electric araçların saatlik şarj değişimleri.	48
Şekil 4.5 : Otoparkta bulunan Tesla Roadster araçların saatlik şarj değişimleri.	49
Şekil 4.6 : Otoparkta bulunan Mitsubishi i-MiEV araçların saatlik şarj değişimleri.	50
Şekil 4.7 : Otoparkta bulunan Renault Fluence ZE araçların saatlik şarj değişimleri.	50
Şekil 4.8 : Otoparkta bulunan Chevrolet Volt araçların saatlik şarj değişimleri.	50
Şekil 4.9 : Otoparkta bulunan Toyota Prius araçların saatlik şarj değişimleri.	51
Şekil 4.10 : Otoparkta bulunan Mercedes-Benz EQ araçların saatlik şarj değişimleri.	51



ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİSİNİN MALİYET ANALİZİ VE GENETİK ALGORİTMA İLE EN İYİLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzde var olan enerji kaynaklarının hızla tükenmesi; bu tüketim hızının yanı sıra çevresel kirliliğin insan hayatını tehdit eder boyutlara ulaşması tüm dünyanın dikkatini çekmekte ve buna yönelik alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Ulaşım sektörü çok eski zamanlardan beri var olup; günümüzde tüm dünyada ivmesini kaybetmeden büyümeye devam etmektedir. Gelişen teknolojilere bağlı olarak ulaşım sektörü oldukça dinamik bir hal almış; bu büyüme de birtakım problemleri beraberinde getirmiştir. Karayolu taşımacılığı sektörde en fazla problemin ortaya çıktığı ulaşım alt koludur zira gerek CO₂ emisyonlarının neden olduğu hava kirliliği gerekse enerji tüketimindeki sürekli artış insanların günlük hayatını önemli ölçüde etkilemeye devam etmektedir. Belirli dönemlerde meydana gelen petrol krizleri, petrolün tükenbilir bir kaynak olması, çevre kirliliği açısından düşünüldüğünde verdiği zararlar, fosil yakıtlarla çalışmakta olan geleneksel araçları sürdürülebilir ve güvenilir bir yol olmaktan çıkartmıştır.

Bu nedenle birçok araç üreticisi yeni nesil alternatif enerji kaynaklarını kullanarak ulaşım sektörüne yeni bir yön vermek üzere çalışmalar yürütmektedir. Bu doğrultuda artık seri üretimine başlanan ve gün geçtikçe yaygınlaşan elektrikli araçların ise hem çevresel olarak hem de ekonomik olarak yeni bir dönem başlatacağı düşünülmektedir. Burada ise temel çekince; elektrikli araçların piyasada yaygınlaşmasıyla neden olacağı düşünülen bazı problemlerdir. Bu problemlerin çözülmesi ve gelecekte ortaya çıkması muhtemel birtakım engellerin ortadan kaldırılması amacıyla kapsamlı çalışmalar yapılması oldukça önemlidir.

Ulaştırma sektöründe elektrikli araç sayısının sürekli olarak artması; gün geçtikçe otopark kurulumunun önemini arttıracaktır. Alçak gerilim şebekesinden talep edilen gücün elektrikli araç sayısına paralel olarak artması da; dağıtım şebekesi dinamiklerinin zaman içerisinde oldukça değişeceği anlamına gelmektedir. Sürücü profilleri, davranışları, altyapıya bağlı parametreler ve analiz edilen bölgenin enerji fiyatlandırmasının doğru ve net bir şekilde bilinmesi çok önemlidir. Bu bakımdan her bir otopark kendine özgü farklı karakteristiklere sahip olacak şekilde kurulur. Bu yüzden de olası mevcut enerji kapasitesini belirlemek için detaylı çalışmalar yapılması gerekir.

Otomotiv endüstrisinin geleceği üzerine yayınlanan sektör raporları incelendiğinde; elektrikli araçların (EA) teknolojisi artık dünyanın dikkatini çeken birincil konulardan biri haline gelmiştir ve ülkeler bu araçların kullanımı ile ilgili ciddi adımlar atmaktadır. EA teknolojisi ile ayrılmaz bir bütün olarak incelenmesi gereken şarj istasyonu kurulumları ise gün geçtikçe daha çok bölgeye nüfuz etmekte ve günlük yaşamda sıkça rastlanan bir hale gelmiştir.

Türkiye’de 2009 yılı itibariyle Kyoto Protokolü’nün imzalanması ile çevresel bilinç artmış, bu kapsamda geleneksel içten yanmalı motorlar ile tahrik edilen otomobillerin çevreye yaymakta olduğu CO₂ emisyonunu azaltacak birtakım önlemler alınması da gündeme gelmiştir. Ve EA teknolojisinin yaygınlaşması bu çevresel kirliliğin büyük ölçüde önüne geçecektir.

Elektrikli araç teknolojileri yaygınlaştıkça yapılan çalışmaların birçoğu batarya teknolojileri ve tahrik sistemleri ile ilgili iken; kullanım oranlarının artması ile şebeke için ek bir yük teşkil edeceği unutulmaması gereken önemli bir noktadır. Zira şebekenin birçok noktasına şarj istasyonu inşa edilmesi gündemde iken bu konular çoğu zaman erişilebilirlik ve alanın uygunluğuna göre belirlenmektedir. Fakat unutulmaması gereken bir husus elektrikli araçların hareketli yükler olmasıdır. Bu yükler; şebekeye bağlandıkları nokta, şebekeden çektikleri güç seviyesi, bataryalarına bağlı olarak şarj süreleri ve zamanlamaları değişken olduğundan; bu yüklenme tahminleri belirli varsayımlar dahilinde gerçekleştirilmeli; ve şebeke elemanlarının zorlanmayacağı konular seçilmelidir. Aynı zamanda akıllı bir şarj yönetimi ile şebekenin korunması da sağlanabilir.

Tezin ilk kısmında konu ile ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiş ve çalışmanın temel amacı belirtilmiştir. İkinci kısımda EA şarj istasyonlarına dair bilinmesi gereken temel kavramlar, büyüklükler ve teknik detaylar açıklanmış; Türkiye ve Dünyada elektrikli araçların yeri, önemi ve geleceğine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde şarj istasyonlarına dağıtım şebekesi çerçevesinden bakılarak şebekeye etkileri, talep güç içerisindeki yeri ve ekonomik bazda incelemesi verilmiştir.

Kullanılacak yöntem, tezde ilgilenilen optimizasyon problemi ve modelleme dördüncü bölümde verilmiştir. Bu kısımda ayrıca optimizasyona ilişkin sonuçlar, sayısal değerler ve parametreler anlatılmıştır. Benzer elektriksel optimizasyonlar için kullanılan sezgisel algoritmalar verilerek seçilen Genetik Algoritma yönteminin probleme uygulanışı açıklanmıştır. Örnek otopark senaryosu kurulmuş; izlenen yöntem tüm detaylarıyla anlatılmış ve sonuç değerleri verilmiştir.

Son bölümde sonuçlar değerlendirilmiş, çalışma özetlenmiş ve çalışmanın genel değerlendirilmesi yapılmıştır.

EFFECTS OF ELECTRIC VEHICLES ON DISTRIBUTION NETWORK, COST ANALYSIS AND OPTIMIZATION WITH GENETIC ALGORITHM

SUMMARY

The rapid depletion of energy resources available today; In addition to this consumption rate, environmental pollution threatens human life and attracts the attention of the whole world and efforts are being made on alternative energy sources.

The transportation sector has existed since ancient times; today it continues to grow all over the world without losing acceleration. Due to the developing technologies, the transportation sector has become quite dynamic, this growth brought about some problems. Highway transportation is the sub-branch where the most problems arise; as both the air pollution caused by CO₂ emissions and the continuous increase in energy consumption continue to affect people's daily lives significantly. Oil crises that occur in certain periods, the fact that oil is a consumable resource, and the damages it causes when it is considered in terms of environmental pollution, have made traditional vehicles working with fossil fuels an unsustainable and unreliable way.

The search for alternative solutions instead of the traditional vehicle technologies has attracted attention. In this direction, different concept vehicles such as hybrid, fully electric and hydrogen vehicles are being conducted in order to direct the transportation sector pointer from oil to renewable energy sources or minimum electrical energy sources.

For this reason, many of the vehicle manufacturers are using new generation alternative energy sources to carry out a new direction in the transportation sector. In line with this, it is thought that electric vehicles, which have started to mass production and become widespread day by day, will start a new era both environmentally and economically. The main drawback here is the difficulties that electric vehicle drivers face with. It is very important to carry out comprehensive studies to solve these problems and to eliminate some obstacles that may arise in the future.

Continuous increase in the number of electric vehicles in the transportation; will increase the importance of the installation of the car park day by day. The increase in power demanded from the low voltage network in parallel with the number of electric vehicles; This means that the distribution network dynamics will change considerably over time. It is very important that driver profiles, behaviour, infrastructure-dependent parameters and energy pricing of the analyzed region are accurately and clearly known. In this respect, each parking lot is set up with different characteristics. Therefore, detailed studies need to be carried out in order to determine the available energy capacity.

When the industry reports published on the future of the automotive sector are examined; The technology of electric vehicles has now become one of the primary concerns of the world, and countries are taking serious steps towards their use. Charging station installations, which should be examined as an integral part of Electric Vehicle (EV) technology, have penetrated more regions and become common in daily life.

With the signing of the Kyoto Protocol in 2009, Turkey has increased environmental awareness. In this context, to reduce CO₂ emissions, with cars driven by conventional internal combustion engines to spread into the environment certain precautions are not taken has also come into question. And the spread of EV technology will largely prevent this environmental pollution.

Another issue that will gain importance with the spread of electric vehicles is charging stations. The charging stations, which will be installed over time, must be equipped to meet all needs. Existing electric vehicle charging stations in Turkey allows only draw power from the grid by charging the battery. Since this will also be a very large load to the network, if relatively small changes are made when designing the charging stations; power can also be transferred in the opposite direction. This reverse flow and the management of this flow with the help of smart networks is called as ‘ Vehicle to Grid (V2G) Operation’ in the literature.

As EV technologies become widespread, most of the work is related to battery technologies and propulsion systems. It is important to note that the increase in the rates of use of electric vehicles will create an additional burden for the network. While charging stations are built on many points of the network, these locations are often determined by accessibility and suitability of the area. But one thing to remember is that electric vehicles are moving loads. These loads; the point they are connected to the grid, the power level they draw from the grid, the charging times and timings are variable depending on their batteries; these overload estimates should be made within certain assumptions; and positions where the network elements are not to be forced. At the same time, network protection can be achieved with intelligent charge management.

When electric vehicles are in the parking lot, the vehicle batteries have a large energy storage system because vehicles are generally deployed in bulk. The reason for this is that electric vehicle users tend to charge their vehicles at parking points where fleet vehicles are parked in bulk, according to usage scenarios. Electric vehicles behave in a way as distributed energy sources and are therefore predicted to be an important player in the future electricity market.

In this context, the spread of electric vehicle technology; has paved the way for charging stations to gain a more permanent place in the distribution network. Charging is characterized by a high level of concurrency and power demand; electric vehicles are also weldable; the load prediction scenarios have changed considerably.

The lack of control of the charging of electric vehicles during critical hours of energy demand significantly increases the power demand from the distribution network. Electric vehicles are considered as active power in both directions of movement in the network. Therefore, the impact of these tools on the network should be evaluated in detail. Considering the high energy capacity of this effect and the widespread use of electric vehicles, it will be ensured that the charging stations to be built will be mass-deployed; expected to be significant. It is inevitable that these effects will determine the design, positioning and control of charging stations. Minimize the

impact of the control strategy on the electric vehicle in the distribution network; it is even possible to design it to reset from time to time.

This new and increasing demand that the existing distribution network could not handle; If the power flow is unidirectional, it will make new infrastructure investments inevitable. Therefore, by establishing smart charging stations and developing a certain charge and discharge strategy, electric vehicles should be made available within the existing budgets of distribution companies without requiring new investments. Smart grids protect the protection of electric vehicle batteries; It also allows the charging and discharging to be slowed down, extending the useful life of the network and transformers by shifting to hours when the energy demand of these processes is lower, as well as shifting the loads.

The ability of electric vehicle batteries to be a source at the point of storing energy; it will be particularly beneficial for energy production, such as wind and solar energy, which varies according to the seasons, periods and even certain times of the day. Because the produced energy fluctuates to a great extent and when stored, it can give a constant output. In this case, when variable electricity pricing is applied in many countries according to demand; The extra wind energy produced at night will be transferred to the grid between the hours when the energy price is the highest and will increase the profitability of the users. In addition, car owners who have their vehicles in the parking lot during low demand times will charge their charging times in this range and reduce energy purchase costs. For all these situations, the biggest obstacle to smart grid applications is; As the circulation of vehicle usage in parking lots will change, these are the problems that will arise in determining the appropriate time for a vehicle to buy or sell electricity. For this reason, optimization algorithms developed on this subject have always been created through vehicle use scenarios and their performance has been checked. The optimal charge and discharge time must be determined within the limits of the parking space and the owner of the vehicle and therefore require an intelligent optimization algorithm that can handle nonlinear and discontinuous variables.

In the first part of this theses, literature review on the subject is given and the main purpose of the study is stated. In the second part; basic concepts, sizes and technical details of EV charging stations are explained; the importance of EVs are given for both Turkey and the other countries. In the third chapter, the effects of the charging stations on the distribution network, their place in the demand power and economic analysis are given.

The method that used in the thesis, the optimization problem and also the modelling that are interested are given in the fourth chapter. In this section, optimization results, numerical values and parameters are explained. By applying heuristic algorithms for similar electrical optimizations, the application of the selected Genetic Algorithm method to the problem is explained. An example parking scenario was established, the method followed is explained in detail and the result values are given.

In the last section, the results are evaluated, the study is summarized and the general evaluation of the study is made.



1. GİRİŞ

Günümüzde gün geçtikçe artmakta olan çevresel kirlilik ve fosil yakıt kaynaklarının hızla tükenmesi, tüm dünyada alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar yapılmasının önünü açmıştır. Özellikle çevresel kirliliğe yol açan zararlı gaz salınımında ulaşımda kullanılan taşıtların etkisi oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Dünya petrol tüketiminin yaklaşık %60'ı ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır. Dünya CO₂ salınımının %25,5'i ulaşım sektöründeki petrol kullanımından kaynaklanmaktadır. Ulaşım sektörünün içinde karayolu taşımacılığı ise tüm CO₂ salınımının %16'sını tek başına üretmektedir [1].

Bu nedenle geleneksel taşıt teknolojilerinin yerine alternatif çözüm arayışları günümüzde oldukça dikkat çeken çalışmaları barındırmaktadır. Bu doğrultuda ulaşım sektörünün ibresini petrolden yenilenebilir enerji kaynaklarına veya bilimüm elektrik enerjisi kaynaklarına yönlendirecek şekilde hibrit, tam elektrikli ve hidrojenli taşıtlar gibi farklı konsept taşıtlar üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

Bahsedilen teknolojilerin yaygınlaşması için temel ihtiyaçlardan biri; bu araçların enerji ihtiyacını karşılayacak araç şarj istasyonlarının kurulmasıdır. Bunun için de istasyonların araç kullanıcılarının şarj problemiyle karşı karşıya kalmayacağı; bölgelerin demografik yapısına, taşıt sürüş profillerine ve bölgelerin elektrik altyapısı uygun şekilde gelecek yatırım planlarını da göz önünde bulundurularak inşa edilmesi gerekmektedir.

Günümüzde özellikle ülkemizde var olan elektrikli araç şarj istasyonları yalnızca bataryaların şebekeden şarj işlemi ile güç çekmesini sağlar. Bu da şebekeye ayrıca oldukça büyük bir yüklenme olacağından, şarj istasyonları tasarlanırken nispeten küçük değişiklikler yapılırsa; güç tam tersi yönde de aktarılabilir. Bu ters yönlü akış ve bu akışın akıllı şebekeler yardımıyla yönetilmesi 'Araçtan Şebekeye' olarak adlandırılır ve literatürde 'Vehicle to Grid (V2G)' şeklinde yer alır. Elektrikli ve Hibrit araçlar hali hazırda elektrik motorlarını çalıştırmak için gerekli elektronik

sistemlere sahip olduklarından; güç elektroniği devreleri şebekedeki çift yönlü akışa uygun eviricilerle desteklenebilir [2-3].

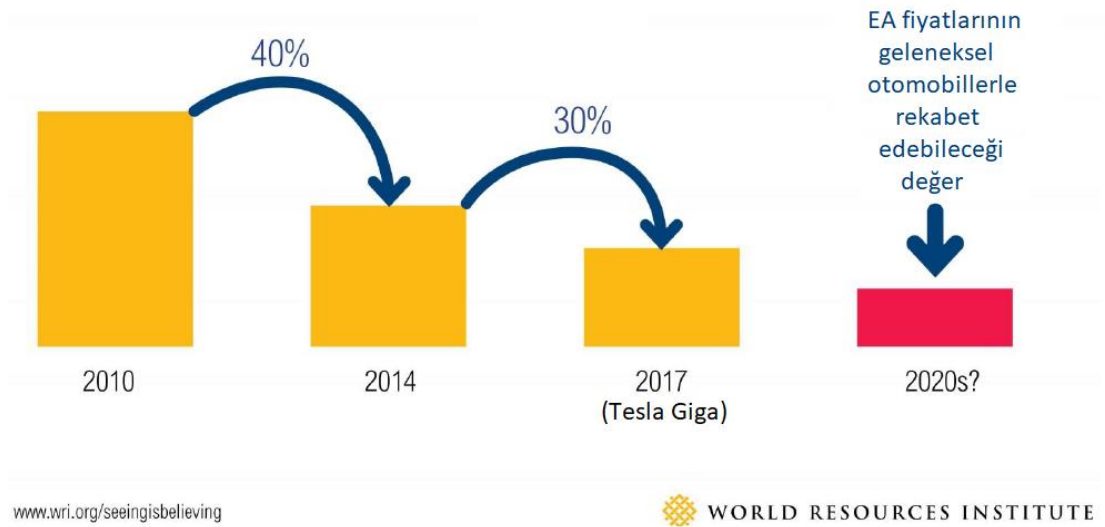
Elektrikli araçlar konutlarda veya otopark gibi özel işletmelerde şarj edilerek enerjilerini dağıtım şebekesinden sağlamaktadırlar. Bu da şebeke açısından bakıldığında dağıtım şebekesine ekstra yük anlamına gelmektedir. Elektrikli araçlar içerisinde barındırdığı lineer olmayan güç yarı iletkenleri sayesinde birer harmonik akım kaynağı olarak modellenmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda güç kalitesine etkileri üzerine çok az çalışma olmasına rağmen gelecekte yaygınlaşması beklenen araçlar için mutlaka güç kalitesi özellikle de harmonikler üzerine gerekli çalışmalar yapılarak önlemler alınmalıdır [4].

Günümüz dünyasında ekonomik koşulların önem kazanması; var olan kaynakların hızla tükenmesi ve buna bağlı olarak gün geçtikçe oluşan çevre bilinci günlük yaşama dahil olan her konuda alternatif bir arayışa gidilmesine sebep olmuştur. Tüm bunlarla birlikte devletlerin farkındalığının artması ile gelen ekonomik ve çevresel teşvikler; teknolojideki ilerlemeler ile birleştiğinde güç sistemlerinin geleneksel görüşünü yeniden şekillendirmiştir. Bu süreçte hibrit ve elektrikli araçlar da düşük emisyon seviyeleri ile çevreye verdikleri zarar açısından; kilometre başına düşük maliyetleri ile de ekonomik olarak avantaj sağlayarak oldukça büyük bir ilgi görmüştür. Nihai durumda elektrikli araçlar; taşımacılık sektöründe yeni bir dönem başlatacak; enerji kaynaklarının petrolden elektriğe doğru kaymasına sebep olacaktır [5]. Bu durum da hem çevresel kirliliği azaltacak; hem de petrol çıkartılması ve ihraç edilmesi süreçlerinde yaşanabilecek güvenlik problemlerinin önüne geçecektir.

Elektriksel hareketlilik kavramı; sera gazı emisyonlarıyla mücadele ederken gelecek vadeden bir teknoloji olarak elektrikli araçlar (EA) ile hibrit elektrikli araçların (HEA) kullanılması anlamına gelir. Bu araçların teşkil ettiği elektriksel yüklerden esas olarak; özellikle elektrik enerjisi talebinin yüksek olduğu yoğun saatlerde; çok sayıda eşzamanlı yük tarafından kritik çalışma koşullarına maruz kalacak olan dağıtım sistemi etkilenecektir. Elektriksel hareketlilik ve enerjide alternatiflere yönelme durumu; mevcut petrol hareketliliğinin aksine dünya çapında gerek devletlerin politikaları uyarınca gerekse sivil toplum kuruluşları tarafından dikkat çeken bir kavram olarak öne çıkmaktadır.

Ulaşım sektörü mevcut durumda tüm dünyada büyük ölçüde fosil yakıtlara dayanmaktadır ve bu nedenle sera emisyonlarının önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Fosil yakıtların en büyük kullanım alanlarından biri olan binek araçlar ise günlük toplam ulaşım enerjisinin yarısından fazlasını oluşturan en büyük enerji tüketicisi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, mevcut petrol hareketliliğini azaltmak açısından elektriksel hareketlilik kavramı ortaya çıkmış; kısa zamanda dünya çapında gerek politikacıların gerekse sivil toplumun dikkatini çekmiştir. Elektriksel hareketlilik kavramı; sera gazı emisyonlarıyla mücadele etmek adına gelecekteki başlıca teknoloji olarak EA ve HEA kullanımını anlamına gelir [6].

Elektrikli araçların yaygınlaşmasının önünde duran engeller gün geçtikçe ve teknoloji ilerledikçe etkisini azaltmakta; yer yer ortadan kalkmaktadır. Bunlardan en önemlisi elektrikli araç maliyetlerini büyük ölçüde arttıran batarya maliyetleridir. Şekil 1.1’de Dünya Araştırma Enstitüsü’nün (DAE) yayınladığı rapora göre batarya maliyetlerinin günden güne düşüşü verilmiştir [7].



Şekil 1.1 : Batarya maliyetlerinin yıllar içerisindeki değişimi [7].

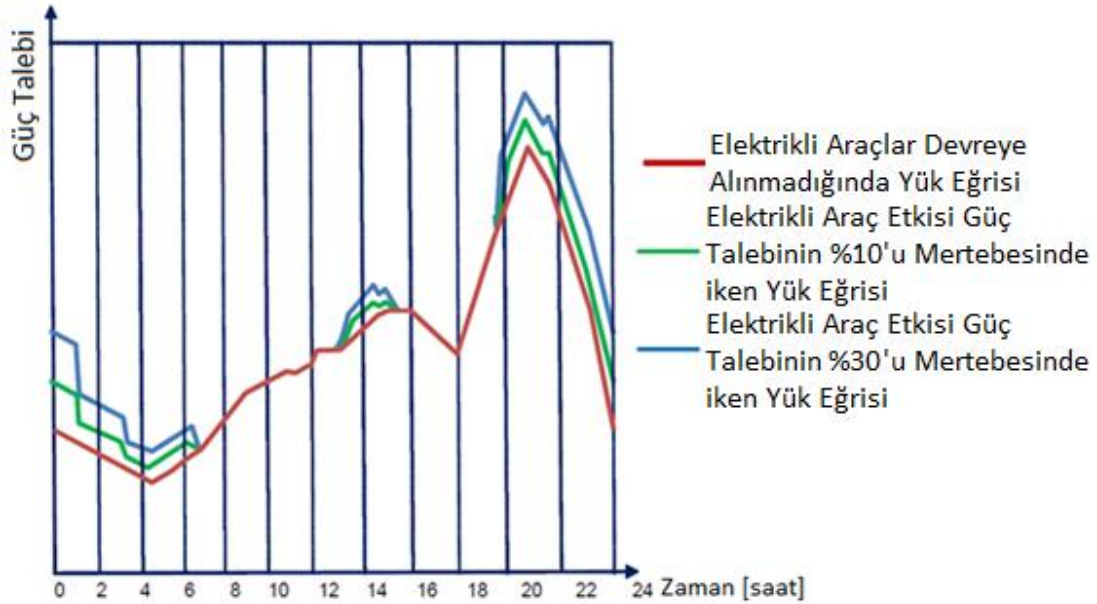
EA'ların park edilmesi sırasında, araç bataryaları büyük bir enerji depolama kapasitesine sahip olur. Bu durumun sebebi kullanım senaryolarına göre elektrikli araç kullanıcılarının araçlarını genellikle evlerinde değil; filo araçların toplu park edildiği otopark noktalarında şarj etme eğiliminde olmasıdır [8]. Elektrikli araçlar bir bakıma dağıtılmış enerji kaynakları gibi davranırlar ve bu nedenle gelecekteki elektrik piyasasında önemli bir oyuncu olabilecekleri öngörülür.

Dağıtım şebekeleri öncelikli olarak enerji üretim santrallerinden mevcut yüklere doğru bir akış gerçekleştiren elektriksel gücün varsayımı ile planlanarak tasarlanmaktadır. Elektrik enerjisi sistemleri; ısı, ışık ve elektrik tarafından sağlanan diğer hizmetler için oluşan gereksinimlere göre, zamana ve mevsime bağlı olarak da değişmekte ve anlık tüketici talebine cevap verebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Geçmişte yaygın olarak; dağıtım şebekelerinin tasarlanmasında tüketim profillerine göre yapılan yük tahminleri kullanılarak; tüketim eşzamanlılığına dair mantıklı varsayımlarla aşırı yatırımların da önlenmesi sağlanmaktadır. Günümüzde ise bu tahminler tek başına yetersiz kalabilmektedir zira dağıtılmış enerji kaynakları (DEK) ve yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) gibi gelişim ömrünü tamamlamamış birtakım teknolojiler enerji akışının yön değiştirmesine sebep olabilmektedir. Bu bağlamda elektrikli araç teknolojisinin yaygınlaşması; şarj istasyonlarının dağıtım şebekesinde gün geçtikçe daha kalıcı bir yer edinmesinin önünü açmıştır. Şarj işlemi yüksek düzeyde eşzamanlılık ve güç talebi ile karakterize edilen bir işlem iken; elektrikli araçların aynı zamanda kaynak niteliği de taşıması; yük tahmin senaryolarını bir hayli değiştirmektedir.

Mevcut dağıtım şebekeleri 1960'lı yıllarda tasarlanmış olup; bu yaygınlaşan teknolojiye ayak uyduramayacak mevcut altyapı yeni yatırımlara duyulan ihtiyacın önünü açacaktır [9]. Özellikle elektrikli araçların yaygınlaşmasını amaçlayan bazı teşvik politikaları elektrik dağıtım şebekesini geri planda bırakarak zorlanmasına sebep olacaktır. Bu teşvik politikalarına örnek olarak ücretsiz şarj noktaları verilebilir zira EV'lerin akıllı şebekeye entegrasyonu arttıkça atılması gereken ilk adım bu istasyonların yönetilmesi ve kontrol edilmesi olmalıdır. Şekil 1.2'de farklı EA nüfuz seviyelerinde yük profiline değişimi gösterilmiştir [9].

Şekil 1.2'de görülebilir ki; enerji talebinin kritik saatlerinde elektrikli araçların şarj işleminde herhangi bir kontrolün bulunmaması dağıtım şebekesinden talep edilen gücü önemli ölçüde arttırmaktadır. Elektrikli araçlar şebekede her iki yöndeki hareketinde de aktif güç olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle bu araçların şebekeye etkisi ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmelidir. Bu etkinin yüksek enerji kapasitesi sebebiyle ve elektrikli araçların gitgide yaygınlaşmasıyla birlikte inşa edilecek şarj istasyonlarının toplu konuşlandırılacağı da göz önüne alınırsa; önemli olması beklenmektedir. Bu etkilerin şarj istasyonlarının tasarlanmasını, konumlandırılmasını ve kontrol şeklini belirlemesi kaçınılmazdır. Kontrol stratejisinin dağıtım

şebekesindeki elektrikli araç etkisini en aza indirecek; hatta yer yer sıfırlayacak şekilde tasarlanması mümkündür.



Şekil 1.2 : Elektrikli araçların yaygınlaşması ile yük talebinin artışı [9].

Mevcut dağıtım şebekesinin kaldıramayacağı bu yeni ve gün geçtikçe artan talep; güç akışı tek yönlü olarak gerçekleştirilirse yeni altyapı yatırımlarını kaçınılmaz kılacaktır bu nedenle akıllı şarj istasyonları kurularak belirli bir şarj/deşarj stratejisi geliştirilerek elektrikli araçlar yeni yatırımlar gerektirmeden dağıtım şirketlerinin mevcut bütçeleri dahilinde kullanılabilir hale getirilmelidir. Akıllı şebekeler EA bataryalarının korunmasına; şarj vedeşarjının yavaşlatılmasına, bu işlemlerin enerji talebinin daha düşük olduğu saatlere ötelenerek şebekenin ve transformatörlerin de faydalı ömürlerinin uzatılmasına ve ek olarak yüklerin ötelenmesine de olanak tanır [10].

Elektrikli araçlar ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla kullanıldığında bu kaynakların daha iyi uygulanmasını mümkün olan küçük enerji depolama sistemleri gibi davranırlar. Bu sebeple de bir kaynak gibi davranmalarını sağlayan ve dağıtım şebekesi ile gerçek zamanlı iletişim kurmalarını sağlayan sistemler 'Elektriksel Hareketlilik Yöneticileri' (EHY) olarak adlandırılır. EHY'ler web tabanlı grafik kullanıcı arayüzlerine sahip olacak şekilde tasarlanır [11]. Bu arayüzlerde ise temel amaç; araç kullanıcısının şarj seviyesini anlık olarak görüntüleyebilmesi; saatlik enerji fiyatı ile ilgili bilgi toplanması ve aracın şarj durumunu ifade eden 'State of Charge' (SoC) değerine göre en yakın kamu şarj noktasını bulmasına izin vermektir.

Bu alanda yapılan çalışmalar ve uygulamalar; akıllı telefonlar, tablet bilgisayarlar ve navigasyon sistemleri gibi mobil iletişim cihazlarını içerecektir. EHY'lerin akıllı şebekelerdeki tam uygulamaları; dağıtım sistemi operatörlerinin elektrikli araçlardan gelen verileri mevcut ağ durumu ile karşılaştırmasına, kayıpları azaltmasına ve gerilimi istenen değerler dahilinde tutmasına olanak tanır [11]. Bu kapsamda yapılabilecek uygulamalar arasında şarj/deşarj sınırlandırılması veya yavaşlatılması, güç azaltma, kamu şarj noktalarının doğru konumlandırılması gibi aktiviteler bulunmaktadır. Bu yüzden de EHY'lerin hem şarj istasyonları hem de her araç ile iletişim kurması; yani çift yönlü iletişim sağlanması oldukça önemlidir.

Piyasada kullanılan elektrikli araçların batarya fiyatı azaldıkça ve enerji üretiminde kişisel dağıtılmış enerji kaynakları yaygınlaştıkça tüketicilerin kullanmakta oldukları elektrikli araçlarını gece saatlerinde şarj etmeyi veya kendilerine ait fotovoltaik paneller veya küçük rüzgar türbinleri inşa ederek buralardan üretecekleri enerjiyi kullanmayı tercih etmeleri söz konusu olacaktır. Enerjinin depolanması noktasında ise elektrikli araç bataryalarının bir kaynak niteliği taşıyabilmesi; özellikle rüzgar ve güneş enerjisi gibi mevsimlere, dönemlere ve hatta günün belirli saatlerine göre dahi değişiklik gösteren enerji üretimi için oldukça faydalı olacaktır. Zira üretilen enerji büyük ölçüde dalgalanırken depolandığında ise sabit bir çıkış verebilmektedir [8-9]. Bu durumda birçok ülkede talebe göre şekillenerek uygulanan değişken elektrik fiyatlandırması uygulandığında; gece fazladan üretilen rüzgar enerjisi enerji fiyatının en yüksek olduğu saatler arasında şebekeye aktarılarak kullanıcıların karlılığını arttıracaktır. Ayrıca talebin düşük olduğu saatlerde araçları otoparkta olan araç sahipleri şarj sürelerini bu aralıkta gerçekleştirerek enerji satın alım maliyetlerini azaltacaktır. Tüm bu durumlar için akıllı şebeke uygulamalarının önünde duran en büyük engel; otoparklarda bulunan araç kullanım sirkülasyonu değişeceğinden, belirli bir aracın elektrik satın almak veya satmak için uygun zamanının tek tek belirlenmesinde ortaya çıkacak sorunlardır. Bunun için de bu konu üzerine geliştirilen optimizasyon algoritmaları daima araç kullanım senaryoları üzerinden oluşturularak başarıyı kontrol edilmiştir [12]. En uygun şarj vedeşarj süresi, park yeri ve araç sahibinin sınırlamaları dahilinde belirlenmeli ve bu nedenle doğrusal olmayan ve süresiz değişkenleri idare edebilen akıllı bir optimizasyon algoritması gerektirmektedir.

1.1 Literatür Özeti

Elektrik enerjisinin otomobillerin tahriki için kullanılması 1800'lü yıllardan itibaren başlamış olup; ilk EA modeli 1835 yılında Stratingh tarafından Hollanda'da geliştirilmiştir [13].

Kullanıma sunulan ilk EA ise, Davenport tarafından 1834 – 1836 yılları arasında bulunmuştur. Bu araç üç tekerlekli ve tahrik gücü için kullanılan bataryalar şarj edilemez olduğundan; araçların etkin bir şekilde kullanılmasından bahsedilmesi bu süreçte mümkün olmamıştır. Akabinde 1859 yılında Plante'nin yeniden şarj edilebilir kurşun-asit bataryayı icat etmesi ile bu araçlar kullanılabilir kılınmıştır. Bu gelişme ile birlikte EA teknolojisine ilişkin çalışmalar ivme kazanmış; 1900'lü yıllara kadar bu çalışmalar devam etmiştir [13].

1881 yılında Fransız Trouve tarafından kurşun-asit bataryalar ile beslenen ve bir doğru akım motoru (DAM) ile tahrik edilen üç tekerlekli EA; 16 km menzil ve 15 km/sa hız ile piyasaya sunulmuş; fakat at arabalarının performansına dahi yetişemeyince halkın ilgisini çekmemiştir [13].

19. yüzyılın son dönemlerinde Amerika, İngiltere ve Fransa'da birçok şirket elektrikli araç üretmeye ve modellerini geliştirmeye başlamıştır. Bu üreticilerden en önemlileri Morris ve Salomon'un sahibi olduğu Electric Carriage and Wagon Company adlı şirkettir ve 1895 yılında 2 adet oturma koltuğu olan "Electrobats" isimli aracı geliştirmişlerdir [13].

İlk hibrit otomobil ise 1901 yılında Porsche tarafından geliştirilmiştir. Bu uygulamada, geleneksel benzinli motor ile tahrik edilen aracın her bir tekerleğine doğrudan sürüş sağlayan ve "hub motor" adı verilen elektrik motorları yerleştirilerek tasarım değiştirilmiştir. Bu elektrik motorları sürekli olarak 2.6 kW; ve kalkış anında ise tepe değeri olarak yaklaşık 5.2 kW elektrik gücü verebilmekteydi. Yine bu tasarımda da kurşun-asit bataryalar kullanılmış; araç saatte 60 km/sa hız değeri ile dönemin rekorunu kırmıştır [13]. Şekil 1.3'te Mixt Wagen olarak adlandırılan aracın modeli New York'ta sergilendiği bir müzede görülebilir [13].



Şekil 1.3 : Ferdinand Porsche tarafından geliştirilen ilk hibrit araç [13].

1900'lü yılların başlarında, günümüzde geleneksel olarak kullanılmakta olan içten yanmalı motorların (İYM) ağırlık/güç oranlarının düşük olması ve petrolün enerji yoğunluğunun ise oldukça yüksek olması nedeniyle çok daha fazla ilgi görmüş; tahrik gücünü elektrik enerjisinden sağlama fikri geçici olarak rafa kaldırılmıştır. Elektrik enerjisinin birçok üstünlüğüne rağmen uzun yıllar boyunca geleneksel araçların tercih edilmesi ise; bataryaların düşük enerji yoğunlukları ile açıklanabilir [14].

1970'lere gelindiğinde; dünya genelinde bir petrol krizi ortaya çıkmış; bu kriz ile birlikte ulaşım sektörü petrole bağımlılıktan kurtarılmaya çalışılarak alternatif teknolojilerin arayışına girilmiştir. Bu arayış; elektrikli araç kullanımını ve yaygınlaştırılmasını yeniden gündeme getirmiştir [14]. İlk olarak bazı küçük üreticiler hava kirliliğine karşı EA üretimine geçmiştir ve o dönemden itibaren üretilen çoğu elektrikli araç; geleneksel araçların çeşitli modifikasyonlarla elektrikli araca dönüştürülmüş halidir. Bu dönüşümün başlaması; çevresel avantajları ön plana çıkartarak hükümetlerin de bu araç tipine ilgi duymasının önünü açmış; elektrikli araç programları için resmi kaynaklardan parasal destekler sağlanmaya başlanmıştır.

1990'lı yıllardan başlayarak birçok araç üreticisi ve sektörde baskın olan şirketler; elektrikli araç modellerini geliştirerek seri üretime hazırlamaya başlamıştır. İlk seri

üretime geçen elektrikli araç ise General Motors tarafından piyasaya sürülen EV-1 modeli olmuştur [13].

EA teknolojisi gün geçtikçe yalnızca endüstride değil; akademik anlamda da birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmalar hem hibrit elektrikli araçlar (HEA) hem de tam elektrikli araçların (TEA) etrafında gerçekleşmiştir. Hibrit elektrikli araç kullanımı ise hala içten yanmalı motor teknolojisine ihtiyaç duymakta; tasarruflu sistemler ve modeller geliştirilmesine rağmen hala %100 oranda elektrik enerjisinden beslenmekte olan elektrikli araçlar ile kıyaslandığında hem çevre açısından değerlendirildiğinde hem de ekonomik olarak geri planda kalmaktadırlar. Tam elektrikli araçlar kaynaktan tekerleğe sıfır emisyonlu araçlar olarak da bilinirler.

Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü (EPRI), ABD araç filosunun %62'sinin 2050 yılına kadar EA'lardan oluşacağını öngörmektedir [15]. Bu öngörü ile birlikte bu teknolojinin elektrik dağıtım şebekesi üzerindeki etkilerini ele almak için artan bir ihtiyaç olduğu açıktır. EPRI'ya göre çok sayıda elektrikli aracın güç sisteminden bir güç talep ediyor olması; mevcut güç sisteminin istikrarını tehdit etme potansiyeline sahiptir. Bu durumda sisteme kısa bir süre içerisinde çok sayıda EA'nın dahil olmasıyla kesintiyi önlemek için elektrik dağıtım şebekesindeki yükün çok dikkatli bir şekilde yönetilmesi gerekecektir. Ayrıca, herhangi bir zamanda otoparklara park etmesi muhtemel araçların ihtiyaçlarındaki farklılıklar nedeniyle, talep modelinin elektrik piyasası üzerinde önemli bir etkisi olacaktır.

EA teknolojisinin yaygınlaşması ile ayrıca önem kazanan bir diğer unsur da şarj istasyonları; batarya teknolojisi ve yaygınlaştığı bölgedeki elektrik şebekesinin karakteristik özellikleri olmuştur. Zira elektrikli araçlardaki mevcut elektrik motoru tasarımları gelişimini neredeyse tamamlamış olup; artık düşünülmesi gereken önemli bir unsur şehir şebekesinin bu yüklenmeyi kaldırıp kaldıramayacağıdır.

Son yıllarda birçok akademik çalışma ise elektrikli araçlara ve bu araçların şebekeye ekleyeceği yükü hafifletmek adına gerçekleştirilen çift yönlü enerji akışına yönelik olmuştur.

2008 yılında Hutson, Corzine ve Venayagamoorthy yaptıkları çalışmada Hibrit ve Elektrikli araçlarda mevcut enerji depolama kapasitesinin kullanımının planlanması için akıllı bir yöntem önermiştir [12]. Oluşturdukları senaryolarda araç bataryaları park halindeyken hem G2V hem de V2G modlarında çalışarak çift yönlü güç akışı

sağlayacak şekilde çalışmaktaydı. Kullanılan araç filusunda farklı parametreler dikkate alınarak uygulanmış, bu parametreler ise her araç için sabit tutularak yine varsayımlarla belirlenmiştir. Çalışmada gün boyu uygun şarj ve deşarj sürelerini bulmak için; ikili sistemde Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. Aynı zamanda çalışmanın gerçekleştirileceği bölge olarak belirlenen Kaliforniya veri tabanından enerji fiyat eğrileri elde edilmiş ve analizler bunlar üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları çalışmada asıl amaç; araç sahiplerinin karını en üst düzeye çıkarmaktır ve bunu yaparken hem sistemin hem araç sahiplerinin belli başlı kısıtlarını da yerine getirmişlerdir. Önerdikleri ikili sistemde Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (BPSO) algoritması sonuçlarına göre akıllı bir şarj stratejisi geliştirilmesi; yalnızca tek yönlü güç akışı sağlanmasına göre daha karlı bir sonuç elde edilmesine, aynı zamanda da şebekeye olan fazla yükün büyük ölçüde azalmasına olanak tanımıştır. Aynı çalışmada Hutson ve arkadaşları; bir sonraki adım olarak otopark altyapısının gerektirdiği yeni sınır koşulları eklenebileceğinin altını çizmiştir. Bu da daha gerçek ve uygulanabilir koşullar altında bir senaryo oluşturulması anlamına gelir [12].

2010 yılında Andersson, Elofsson, Galus, Goransson ve Karlsson yaptıkları çalışmada Plug-in hibritli araçlar ile hem akıllı şebekelerin yan hizmetlerinin sunulabileceğini; hem de önemli miktarda kar edilebileceğini göstermişlerdir. Bunun için İsveç ve Almanya'da EA'ların hangi koşullarda çalışılması gerektiğinden bahsetmiş; bu bölgelerin elektrik enerji piyasasının gerçek fiyatlandırma verilerini kullanmışlardır [16]. Ayrıca yaptıkları çalışmada PHEA'ların güçlü ve zayıf yanlarını, fırsat ve tehditlerini analiz etmiş, bu analizler sonucunda da ideal bir düzenleyici güç piyasası için istenen özellikler sunulmuştur. Çalışmada elektrikli araçların gündüz ve gece saat aralıklarında ve bu tarifelerde şarj ve deşarjına ilişkin bir varsayım yapılmıştır zira şirket araçları gibi filo özelliği taşıyan araçlar genellikle bu saatlerde toplu halde otoparkta konuşlanmaktadır. Altyapı ve V2G ekipmanlarının maliyetlerini dahil etmedikleri durumda bir simülasyon gerçekleştirmiş; sonuçta Alman pazarlarında üretilen en yüksek kar seviyesinin araç ve ay başına 30-80 saat aralığında olduğunu gösterirken; İsveç pazarında ise mevcut enerji fiyatlandırması dahilinde bir karlılık görülmemiştir. Bağlantı kapasitesi ile ilgili olarak bu çalışma; araç başına büyük bir bağlantı kapasitesinin sistem açısından daha iyi olacağını göstermiştir [16].

Yine 2010 yılında Fagiani, Marano ve Sioshansi yayınladıkları çalışmada hibrit araların Ohio elektrik dağıtım şebekesine olan etkilerini gözlemlemiş; maliyet ve emisyon analizini gerçekleştirmişlerdir [17]. Birinde şarj kararlarını şebeke operatörünün, diğerinde ise araç sahiplerinin aldığı 2 farklı şarj senaryosu oluşturularak bu senaryolar dahilinde gerçekleştirdikleri analizin sonucunda; elektrikli araç kullanımının geleneksel fosil yakıtlı aralara göre benzin tüketiminde %70'e yakın bir düşüş ve toplam sürüş maliyetlerinde ise %50 ye yakın bir azalma sağlayacağını gösterilmişlerdir [17]. Sonuçlar, V2G sistemini içeren modelleme yapılırsa, Ohio elektrik şebekesinin talep değerlerine göre öğleden sonraları daha yüksek bir tepe değerini karşılamak için kapasitenin yeterli olup olmadığından ve otoparkın kurulacağı alanda dağıtım altyapısının yeterli olduğundan emin olduğu takdirde, maliyetin oldukça azalacağını göstermiştir. Ayrıca nihai tabloda araç başına CO₂ emisyonlarında %40'lık bir düşüş olacağı da görüldü [18].

2011 yılınca Chow ve Su yaptıkları çalışmada elektrikli araçların ortalama şarj durumlarını (SoC) incelenen saatlerde maksimuma çıkarmayı amaçlamıştır [19]. Yakın gelecekte oldukça yaygınlaşacağını öngördükleri elektrikli araçların dağıtım şebekesi üzerindeki etkisine ilişkin birçok teknik sorunun ele alınması gerektiğini savunmuşlardır. Bununla birlikte zaman içinde artan yüklenme sonucunda yeni enerji kaynakları eklenmesi gerekecek, bu ihtiyacın ortaya çıkmaması için de akıllı şebeke özelliklerinin etkin bir şekilde kullanılmasına ve bu konuda derinlemesine bir çalışma yapılmasına ihtiyaç olduğundan bahsetmişlerdir. Yaptıkları çalışmada ise belirli bir bölgede bulunan belediye otoparkında yaklaşık 500 adet elektrikli aracın şarjını en uygun şekilde yönetmek için Parçacık Sürüş Optimizasyonunu (PSO) kullanarak bir algoritma önermişlerdir [19]. Enerji fiyatlandırması ve pil kapasiteleri; belirli varsayımlar altında göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmada BPSO; her bir aracın park yerinde olduğu her adımda satın alması, satması veya elinde tutması gerekip gerekmediğini akıllıca programlamak için uygulanacak şekilde geliştirilmiştir. Bir araç filosu için en uygun alış ve satış zamanlarını planlayarak sonuç elde etmişlerdir ve çalışma sonucunda da araç sahipleri için maliyet optimizasyonu sağlanmıştır.

Celli, Pilo, Pisano ve Soma 2012 yılında yaptıkları çalışmada ilk kez, bir toplayıcı tarafından aynı anda koordine edilen bir elektrikli araç filosunun davranışı optimize edilmiştir [9]. Çalışmada araç sahiplerinin şarj periyotlarındaki enerji giderlerini

minimumda tutmak ve aynı zamanda enerji kayıplarını azaltmak için toplayıcının optimal kontrol stratejisini tanımlamak için bir Parçacık Sürüsü Optimizasyonu yaklaşımı önerilmiştir. Burada gerçek değerler veri olarak alınmamış; varsayımlar üzerinden küçük bir elektrikli araç filosuna uygulama yapıldığı takdirde bu optimizasyon aracının uygulanabilirliği ve hem kullanıcılara hem dağıtım sistemine yararlı olacağına görülmesi amaçlanmıştır [9].

2013 yılında Yağcıtekin, Uzunoğlu, Karakaş ve Vurgun yaptıkları çalışma ile İstanbul Kadıköy'de bulunan 790 araç kapasiteli ve 7 gün 24 saat boyunca sürekli olarak açık bir işletme olan İSPARK otoparkını ele alarak bir yaklaşım geliştirmişlerdir [8]. Bu yaklaşımda elektrikli araçlardan elde edilebilecek fazla enerjiyi ve sürücülerin davranışlarını belirlemek için 800'den fazla katılımcı ile bir anket gerçekleştirmişlerdir. Sürücülerin davranışlarını öngörebilmek için gerçekleştirilen ankete göre katılımcıların yaklaşık %40'ı bu park alanını ulaşım transfer merkezi olarak; geri kalanlar ise uzun süreli park alanı olarak kullanmaktadır. Bu nedenle söylenebilir ki bu çalışmaya göre incelenen alanın elektrikli araç şarj istasyonu olarak kullanılması sürücüler açısından tercih edilebilir bir durum olacaktır. Çalışmanın öncelikli amacı elektrikli araç şarj istasyonlarının kurulacağı otopark alanlarının elektrik piyasasındaki rolünü göstermek ve bu araçların dağıtılmış enerji kaynaklarına bir alternatif olabileceğinin altını çizmektir [8]. Çalışma sonucunda bu park yerlerinin yakın gelecekte şarj istasyonlarına dönüştürülebileceği, ve bu istasyonlar aracılığıyla elektrikli araçların yardımcı hizmetleri sağlamak amacıyla, frekans düzenleyici olarak ve bunun gibi amaçlarla kullanılabileceği görülmüştür.

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda geliştirilen yaklaşımlar bir seferde ya yalnız tek bir aracı optimize eder, ya da varsayımlar üzerinden gerçekleştirilir ki bu durum da gerçeği birebir yansıtmayan veriler elde edilmesi anlamına gelir. Ayrıca EA'ların elektrik piyasasındaki etkilerini dikkate alan park alanları için yapılan çalışmalar günümüzde hala ihtiyacı tam olarak karşılayamamaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Çalışma kapsamında 200 araç kapasiteli bir elektrikli araç şarj istasyonu ve otopark tasarımı gerçekleştirilerek; bu şarj istasyonunun talep ettiği gücün en iyi şekilde yönetilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda; şarj istasyonunda bulunan 200 aracın

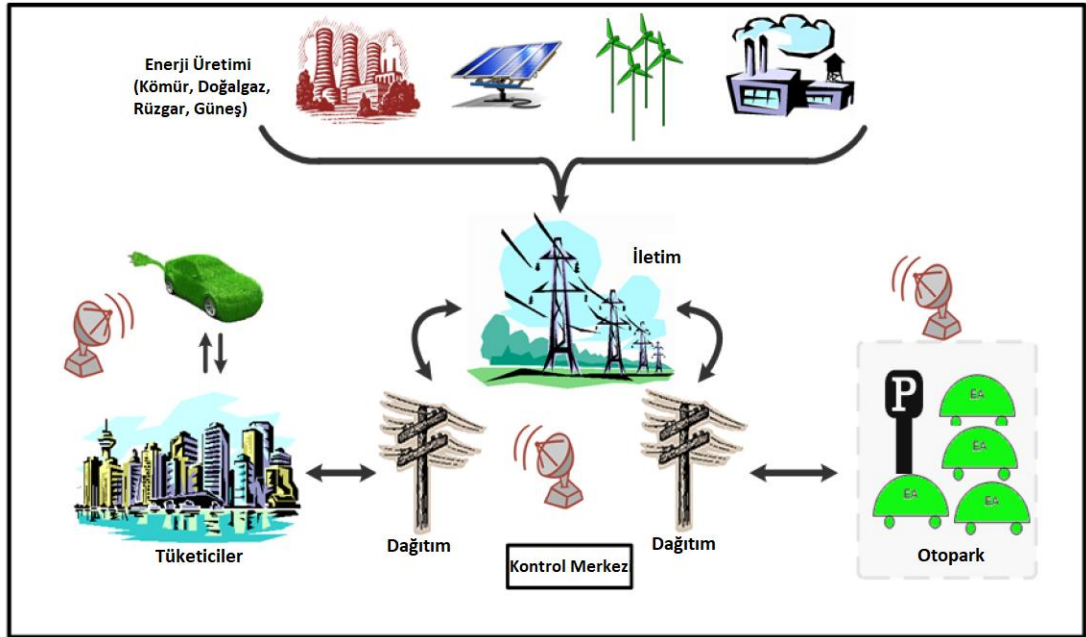
çeşitli şarj senaryolarındaki maliyetleri incelenerek; bu maliyetin sezgisel algoritmalarından biri olan Genetik Algoritma (GA) aracılığı ile en aza indirilmesi sağlanmıştır. Çalışmanın başarılı bir şekilde uygulanması için; Türkiye’de EA piyasasında hali hazırda kullanılan araçların gerçek batarya kapasiteleri kullanılmış; hesaplamalar yapılırken yine gerçek zamanlı elektrik enerji fiyatlandırması ve şarj istasyon altyapısı kısıtlamaları göz önünde bulundurulmuştur. Kullanılan algoritma EA sürücülerinin memnuniyetini en üst düzeye çıkartarak dağıtım şebekesini de en az zorlayacak şekilde çalıştırılmıştır. Algoritmanın çalıştırılmasındaki öncelikli amaç; dağıtım sistem şebekesindeki yüklenmeyi en aza indirecek akıllı bir şarj/deşarj kontrolü sağlamaktır. Bunun için enerjinin anlık fiyatlandırılması kullanılmış; maliyet optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Enerji fiyatlandırılmasında kullanılan enerji talebi ve fiyat arasındaki doğru orantılı ilişki düşünüldüğünde; yapılan optimizasyon çalışması ile EA kullanıcısı için maliyetin en aza indirilmesi aynı zamanda şebeke elemanlarının aşırı yüklenmesinin engellenmesi anlamına gelir zira talep edilen elektrik enerjileri göz önüne alındığında ve algoritmanın çalıştırılması sonrası şarj/deşarj süreleri değerlendirildiğinde, güç optimizasyonunun da sağlandığı görüldü.



2. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARI

2.1 Araçtan Şebekeye (V2G) Şarj İstasyon Sistemleri

Araçtan Şebekeye (V2G) adı verilen sistem, elektrikli araçların park halinde ve şebekeye bağlı oldukları durumlarda şebekeyi besleyerek ters yönde güç aktarımı yapmalarını sağlar. Bu sistemin modellenip kurulabilmesi için bazı teknolojik gelişmeler ve ilave donanımlar gereklidir; şebeke ile araç arasında çift yönlü enerji akışı, akıllı güvenlik ve iletişim cihazları, veri toplama ve izleme ile ilgili cihazlar bunlara örnek olarak verilebilir [2]. Araçtan şebekeye sistemler aynı zamanda enerji üretim, iletim ve dağıtım için yeni bir dönem başlayan akıllı şebekeler uygulamasının çok önemli bir parçasıdır. Şekil 2.1’de EA’lara ilişkin güç akışı gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : EA güç akış diyagramı [2].

Şekil 2.1’den görülebileceği üzere elektrikli araçlar zamana bağlı olarak hem bir tüketici hem de güç tedarikçisini temsil edebilmektedir. Yani dağıtım şebekesi ile aralarında çift yönlü bir güç akışı gerçekleşir.

'Vehicle to Grid' (V2G) teknolojisinin yaygınlaşması ile; araçlarda bulunan bataryaların şarj ve deşarj stratejilerini belirlemek amacıyla batarya yönetim sistemleri ve kontrol yetenekleri kullanılmaya başlanmış; tüm enerji depolama kapasitelerinden tam fayda sağlayarak dağıtım sistemi üzerindeki etkinin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. V2G teknolojisi; tüm elektrikli ve hibrit araç tiplerinin dağıtım sistemi ile, ihtiyaç durumunda şebekeyi de besleyebilecek şekilde iletişim kurarak çift yönlü güç akılı sağladığı sistemi ifade eder. Bu teknoloji ayrıca güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin depolanarak; hava durumuna ve günün saatlerine göre arzın azaldığı durumlarda da kullanılabilmesini sağlar; zira araç bataryaları bu durumlar için yedek bir kaynak niteliği taşır. V2G teknolojisi; frekans düzenlemesi ve reaktif güç/gerilim dengesi gibi elektrik enerjisi dağıtımcılarına şebekenin aktif yönetiminde sunulan hizmetlerde rol alarak da yardımcı olabilir. Bu anlamda V2G kavramı; akıllı şebeke teknolojisinin bir parçası olan ve dağıtım yönetim sistemiyle tamamen entegrasyon sağlayan akıllı istasyonlara dayanmaktadır. Çift yönlü enerji akış potansiyelinin tam anlamıyla kullanılabilmesi için mevcut durumda dağıtım şirketlerinin rolü oldukça önemlidir.

Bununla birlikte mevcut yüklerin akıllı şebekeler kapsamında V2G teknolojisi sayesinde ek bir üretim kapasitesi sağlaması söz konusu olduğunda; iletim ve dağıtım sistemlerini zorlamadan zamanla eklenecek yüklerin sisteme dahil edilmesi de böylece mümkün olacaktır. Ek olarak şarj istasyonları tercihinin herhangi bir akıllı şebeke uygulamasına dahil edilmeksizin tüketici tercihinin bırakılması; tercih edilen zamanın prize erişilebildiği ilk an olması muhtemel bir durumdur. Bu da; kontrollü şarj söz konusu olmadığında elektrikli araç kullanımının yaygınlaşması durumunda dağıtım şebekelerinde özellikle elektrik talebinin yüksek olduğu saatler arasında güç akışını arttırarak kritik çalışma koşullarına neden olabilir [15]. V2G teknolojisinin uygulanması durumunda, elektrikli araçlar da önemli birer elektrik enerji kaynağı haline gelebilir fakat bu da akıllı şebekeler kapsamında aktif dağıtım şebekesinin dağıtım yönetim sistemi ile elektrikli araçların şarj istasyonları arasında uygun bir koordinasyon kurulmasını gerektirir.

Elektrikli araç şarj istasyonları ile akıllı şebekelerin bağlantısının sağlıklı bir şekilde kurulması, her iki taraftan alınan bilgilerin bir diğerinde kullanılmak üzere işlenmesi ve bu bilgilerin ihtiyaç durumunda görüntülenmesini sağlayan elektriksel hareketlilik

yöneticisi (EHY) ve batarya yönetim sistemi (BYS) adı verilen sistemler kurulur [9]. Bu sistemler, kendilerine ait ara yüzler üzerinden çalışırlar. EHY'lerin kullanıldığı durumlarda elektrikli araçlar V2G uygulamasının gerektirdiği yan hizmetlerin sağlayıcısı olarak kullanılabilir. Bu uygulamada ana fikir; günün büyük çoğunluğunda park halinde olan elektrikli araçların bataryalarında depolanan enerjiyi şebekenin kullanmasını ve faydalanmasını sağlamaktır. Bu çift yönlü akış uygulaması; her bir aracın şebekeyle bağlantı kurmasını, dağıtım sistem operatörleri ile haberleşmesini ve depolama aygıtları için yerleşik bir ölçüm ve kontrol sistemi bulunmasını gerektirir zira kullanıcıyı bilgilendirme ara yüzleri bu şekilde oluşturulur. Bu ara yüzler oluşturulurken her bir elektrikli araçla iletişim kurulması zahmetli ve karmaşık olduğundan, hiyerarşik kontrol sistemleri ve toplayıcıları V2G uygulamaları için daha uygundur. Dağıtım şirketleri tarafından V2G stratejisi iki bölüme ayrılır; bunlardan ilki kapasite ve iletişimi yöneten bir kontrol stratejisi iken diğeri ise araç verilerini işleyen ve kontrol eden bir strateji oluşturulmasıdır. Bu süreçte uygulanan işlemler ise belirli bir sırayla gerçekleştirilir. Bu kapsamda ilk olarak Dağıtım Yönetim Sistemi (DYS) V2G istasyonundan elektrikli araçlara ilişkin birtakım verileri alır. Bunlar; mevcut ve maksimum güç kapasitesi, şarj durumu, şarj/deşarj altyapıları gibi gerçek zamanlı verileri kapsar. Daha sonra, akıllı şebekeler kapsamında bulunan V2G istasyonu; özellikle elektrikli araç sahipleri tarafından belirlenen park süresi, şarj süresi sonunda istenen SoC ve minimum izin verilen SoC seviyesi gibi verileri toplar ve bu veriler dağıtım şirketlerine gönderilir. Gönderilen veriler mevcut talep durumları; transformatör ve diğer dağıtım şebekesi elemanlarının kapasiteleri uyarınca değerlendirilerek park süresi dahilinde bir şarj senaryosu oluşturulur. Bu şarj senaryosuna göre elektrikli araçların hangi zaman aralığında yük, hangi zaman aralığında kaynak teşkil edeceği belirlenir [9].

V2G uygulamaları; dağıtım şirketleri ile EA sahipleri arasında bir enerji alışverişini gerektirir. Bu alışverişte kullanılacak fiyatlandırma için ise dağıtım şirketleri; yani dağıtım sistemi operatörleri bataryalarda depolanan enerjinin gerçek zamanlı kontrolüne ve bilgisine ihtiyaç duyarlar. Sürücüler için ise temelde önemli olan hareketlilik için enerjinin en azından belirli bir menzilde sürüş esnasında kesintisiz karşılanabileceğinden emin olmalarıdır. Bunun sebebi ise EA sahiplerinin enerjinin mevcut fiyatlandırması düşünüldüğünde her durumda geleneksel fosil yakıtlı araçlardan daha az maliyetli olacaktır. Bu alışverişin dağıtım şirketlerinin,

şebekenin ve ekipmanların lehine kullanılabilmesinin bilinen tek yolu; kullanım saatleri ve park süresi belli olan endüstriyel EA filolarının kullanılmasıdır. Bu aynı zamanda, elektrikli araçların dağıtım şebekesine olan etkisini azaltırken tüketicinin enerji maliyetini de düşürebilecek bir uygulamadır. Bu sistem normal şartlarda birtakım veriler belirli ve sabit olduğundan herhangi bir kontrol algoritması gerektirmez. Fakat V2G stratejilerinin tam olarak uygulanabilirliğinden bahsedilebilmesi için; kullanımı tamamen öngörülemeyen elektrikli araçların geniş katılımına ihtiyaç duyulur [9]. Bu öngörülemezlik durumu da akıllı kontrol sistemlerinin ne derece önemli olduğunun net bir göstergesidir. EA kullanıcıları için maliyetin en aza indirilmesi için; dağıtım şirketlerinin finansal sözleşmeleri, sürücü davranışları, enerjinin anlık fiyatlandırması gibi verilerin dikkate alınarak EA şarj modellerinin optimize edilmesi gerekmektedir.

2.2 Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Tipleri

Bir EA bataryasının şarj veya deşarj olma karakteristikleri bataryanın anlık şarj durumu, tasarımı, sıcaklığı ve kullanım geçmişi gibi birçok parametreye bağlı iken; şarj olma süresini etkileyen bir parametre daha bulunmaktadır. Bu da temelde EA teknolojisini yakından ilgilendiren bir parametredir zira kullanılan şarj istasyonu tipi gerek maliyetleri, gerekse sürücü tercihlerini belirleme noktasında büyük önem taşır. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların şarj yöntemleri genel itibariyle sabit akım, sabit gerilim ve son olarak sabit akım-gerilim şeklinde sıralanabilir [20-21]. Bataryaların şarj edilmesinde genel eğilim bataryaya zarar vermeyecek en yüksek hızda şarj edilmesi yönündedir. Bunun amacı ise şarj işlemini olabildiğince çabuk tamamlarken şarj cihazının ve bataryanın üst limitlerini ise zorlamamaktır [22]. Bir şarj çevriminde belirli bir süre olabildiğince yüksek akımla şarj edilirken; bataryanın aşırı akıma maruz kalmaması amacıyla çevrimin sonunda akım azaltılarak şarj işlemi devam ettirilir [23].

Sabit akımda şarj etme yöntemi basit bir yöntem olarak ortaya çıkmış olup; şarj akımı seri bağlı olan tüm batarya hücrelerinde eşit tutulur. Şarj seviyesi (SoC) arttıkça iç direnç artacağından, sabit akımda şarjın devam edebilmesi için gerilim sürekli arttırılır. Bu yöntem kullanılırken seçilen akım değeri oldukça önemlidir zira bataryanın aşırı akıma maruz kalmaması ve fazla ısınmaması önemli olan diğer unsurlardır [21].

Sabit gerilimle şarj işleminde ise şarj döngüsü başladığında düşük iç dirence bağlı olarak kaynaktan yüksek bir akım çekilir ve şarj ekipmanları ile bataryayı bu akımdan korumak amacıyla akım sınırlandırılır [22]. Daha sonra iç direncin artması ile sabit gerilim koşulu altında şarj akımı azalır ve şarj tamamlanır; bu azalma sebebiyle bir önceki şarj döngüsüne göre daha uzun bir şarj süresi gerektirdiğinden batarya daha yavaş dolmuş olur [22]. Son yöntem olan sabit akım-gerilim yönteminde şarj döngüsü çift periyotta gerçekleşir. Şarj, bataryayı korumak amacı ile başlangıçtaki aşırı akımın engellenmesi için sabit akımla başlar ve daha sonrasında sabit gerilimle tamamlanır.

EA şarj istasyonlarında bulunan cihazlar, araç dışı şarj cihazlarıdır ve araçla bağlantısız ekipmanlar olmaları, araç içi (on-board) şarj sistemleri ile karşılaştırıldığında ağırlık ve yer sorunu olmaması anlamına gelir. Bu sayede daha büyük, daha güçlü ve hızlı şarj noktaları kurulması mümkün kılınmıştır [24].

Bununla birlikte araç üzerindeki şarj cihazları ise; EA ve HEA'ların ilk şarj ihtiyacının karşılanması için gereklidir. Günümüzde hala gelişmekte olan bir teknoloji olduğundan; geleneksel araçlar için kurulan akaryakıt istasyonları kadar yaygın batarya şarj istasyonları bulunmadığı için; mevcut araçların ev, işyeri, otopark gibi daha seyrek bulunacakları noktalarda prizler yardımıyla gerçekleştireceği şarj işlemleri, araç üzerindeki şarj cihazlarıyla sağlanacaktır. EA menzillerini kısıtlayan durum da; araç içi şarj ve batarya gibi ekipmanların yer ve alan kısıtlaması sebebiyle daha küçük boyutlarda tasarlanmasıdır [24].

Batarya teknolojisinin ve şarj döngülerinin yanısıra, şarj altyapısı da EA gelişiminin ana unsurlarından biridir. Şarj işlemi; 1. seviye şarj istasyonlarında standart 110 V gerilim seviyesiyle 8-16 saat arası, 2. seviye şarj istasyonlarında 220 V gerilim ile 4-8 saat arası ve 3. seviye yani hızlı şarj istasyonlarında ise 25-30 dakikalık periyotlarda gerçekleştirilebilmektedir [25]. Çizelge 2.1'de şarj istasyonları tiplerine ilişkin elektriksel büyüklükler verilmiştir [26].

Çizelge 2.1 : Farklı şarj tipleri ve ortalama özellikleri.

Elektriksel Büyüklükler	1. Seviye Şarj	2. Seviye Şarj	3. Seviye Şarj (AA)	3. Seviye Şarj (DA)
Gerilim (V)	110-220	208-240	240-480	300-600
Güç (kW)	1.2-3.8	3.8-14.4	> 14.4	> 14.4

Akım (A)	15-20	20-85	> 85	> 85
Şarj Süresi (saat)	8-16	4-8	< 1	< 1

Şarj altyapısının hem EA kullanımını hem de alçak gerilim (AG) dağıtım şebekesini aynı anda etkileyebilecek karakteristik özelliği şarj süresidir. Erişebilecekleri istasyonların şarj süresi; yalnızca EA kullanıcıların tercihlerini belirlemekle kalmamakta aynı zamanda elektrik sistem ekipmanlarının fazla yüklenmesi ile kabloların fazla ısınmasına ve transformatörlerin fazla yüklenmesine sebep olabilmektedir. Şarj yöntemleri aynı zamanda şarj istasyonlarının tiplerini oluşturmaktadır. Her şarj istasyonu ihtiyaç duydukları sistem dolayısıyla her yerleşim birimine kurulamamaktadır.

Devam eden çalışmalar farklı şarj tiplerinin ve tesislerinin kendilerine özgü kullanım kolaylıkları ve avantajları olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte kurulu olan her istasyondan geri dönüşler alınmalı ve kullanım alışkanlıklarına göre sistemin yeniden düzenlenmesi, verimli ve ekonomik bir hale getirilmesi sağlanmalıdır. Kurulacak yeni istasyonlarda ise özellikle günümüzde EA menzillerinin büyük bir problem teşkil ettiği düşünülürse, hızlı şarj istasyonları şeklinde konumlandırılarak hızlı şarj sistemlerinin yaygınlaşması EA teknolojisini bir adım ileriye taşıyacaktır. Bununla birlikte konumlandırmanın şebeke ekipmanlarını ve şebekenin limitlerini koruyacak şekilde gerçekleştirilmesine özen gösterilmesi gerektiği açıktır.

2.2.1 Seviye 1 Şarj İstasyonları

Seviye 1 şarj istasyonları, yavaş şarj olarak da bilinmektedir ve enerji kaynağı olarak bir fazlı sistemler kullanılır. Bu şarj istasyonlarında şarj elemanları araca monte halinde bulunur ve şarj etme işlemini gerçekleştirmek için herhangi bir güç dönüştürücüsü bulunmaz. Yalnızca ücretlendirme yapılabilmesi için araç ile şebeke arasında bir haberleşme sağlanır [27-28]. Seviye 1 şarj cihazları genellikle araçların çok uzun süre vakit geçirdiği konutlarda ve iş yerlerinde bulunmaktadır. Bu meskenlerde araçlar oldukça uzun vakit geçirdikleri için uzun süre şarj edilme imkanları vardır ve şarj süresinin uzunluğu problem teşkil etmemektedir. Bu durumda şarj süresi oldukça uzun olduğundan; elektrik şebekesine çok fazla yüklenilmemektedir.

2.2.2 Seviye 2 Şarj İstasyonları

Bu istasyon tipi, orta hızlı bir şarj istasyonudur. Enerji kaynağı olarak yine 1 fazlı sistemler kullanılır ve şarj elemanları araç dahilinde bulunur. Bu istasyon tipi havaalanları, üniversite kampüsleri, alışveriş merkezleri gibi halka açık alanlara kurulabilir. Kullanıcılar bu alanlarda kendi tercihlerine bağlı olarak ortalama 4-8 saat vakit geçirebilmektedirler [27].

2.2.3 Seviye 3 Şarj İstasyonları

Hızlı şarj olarak da bilinen 3. Seviye istasyonlar şehirlerarası yollar ve otobanlar da başta olmak üzere acil ve hızlı şarj ihtiyacının giderilebileceği noktalarda konumlandırılabilirler. Bu istasyonların hem alternatif akım (AA) ile hem de doğru akım (DA) ile güç aktarımı gerçekleştirilebilen iki çeşidi bulunur. AA tipte besleme için üç fazlı sistemler kullanılırken DA tipte ise AA şebekeden doğrultucu devreler yardımıyla elde edilen doğru akım ile beslenmesi sağlanır. Bu şarj istasyonlarında şarj elemanları AA tipte araca monte halde bulunurken; DA tip için harici elemanlar söz konusudur [28]. Bu nedenle her iki tip için yalnızca akımın türü değil; aynı zamanda haberleşme ve ücretlendirme, şarj süresi, tüm elektriksel çıkış parametreleri de değişiklik gösterir. Bu şarj tipinde yaklaşık 30 dk içerisinde tam şarj edilmesi sağlanabilir. Bu üniteler bahsedildiği üzere acil enerji ihtiyacının olduğu kısa süreli mola tesisleri gibi noktalara konumlandırılarak akaryakıt istasyonlarını ikame edecek şekilde planlanmalıdır.

2.3 Şarj İstasyonlarına İlişkin Kurulum Standartları

Elektrikli araç şarj istasyonları EA'ların harici kaynaklardan şarj edilmesini ve sisteme bağlı olarak ters yönlü güç akışı ile şebekenin beslenebilmesini sağlayan altyapısal bir kurulumu ifade etmektedir. Şarj süresince kullanılan topraklanmış, topraklanmamış iletkenler, prizler, bağlantı sağlayan fiş ve aparatlar ise şarj ekipmanları dahilinde bulunur. Ekipmanlar aynı zamanda araç ve istasyon arasında haberleşmeyi sağlayarak güvenli enerji akışının gerçekleştiğinden emin olmakla yükümlüdür.

Şarj istasyonları elektriksel bir aktarım organı olduklarından; ülkelere göre değişmek suretiyle birtakım standartları sağlamak zorundadırlar. Amerika'da Society of Automotive Engineers (SAE) tarafından yayınlanan J1772 standardı geçerli iken;

Avrupa için IEC 61851 standardı, Japonya için ise özel olarak DA hızlı şarj istasyonları için yayınlanan CHAdeMO standardı geçerlidir [29-30-31]. Bu standartlar temelde şarj ekipmanları için parametre ve gereklilikleri tanımlamaktadır.

2.3.1 SAE J1772

Standart Kuzey Amerika otomotiv endüstrisi için yayınlanmıştır ve standarta göre şarj hızları sınıflandırılmıştır. Seviye 1 ve Seviye 2 göreceli olarak daha yavaş şarj tipleri olup; bu şarj seviyeleri için şebekeden alınan alternatif akım doğrultucu devreler yardımı ile aracı besleyecek doğru akıma dönüştürülür. Seviye 3 için ise doğrultma işlemi diğer iki şarj tipinden farklı olarak istasyon içerisinde gerçekleştirilir ve araç bataryasına DA aktarılmış olur. SAE J1772 standartının belirlediği elektriksel parametre limitleri Çizelge 2.2’de verilmiştir [32].

Çizelge 2.2 : SAE1772 Standartına ait elektriksel parametreler.

	Şarj Yöntemi	Anma Gerilimi (V)	Maksimum Akım (A)	Maksimum Güç (kW)
AA	Seviye 1	120	12	1.44
		120	16	1.92
	Seviye 2	208-240	> 20 ≤ 80	19.2
DA	Seviye 1	200-500	80	40
	Seviye 2	200-500	200	100

Çizelgede görülebileceği üzere SAE J1772 standartına göre Seviye 1 şarj oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Yalnızca 120 V mertebesinde tek fazlı priz bulunan ev ve işyerlerinde kullanılabilir zira istasyon dahilinde bir güç çeviricisi bulunmaz, ek bir altyapı gerektirmez. İdeal bir senaryoda elektrik talebinin yüksek olmadığı gece saatlerinde şarj edilmesi uygundur zira istasyon bunu kontrol edebilecek akıllı bir sistemi de içermemektedir. Standarta göre Seviye 2 için ise ev, işyeri, araç filosu için özel kurulan otoparklar ve kamu tesisleri oldukça uygundur. Meskenlerde 240 V ve endüstriyel tesis etrafında 208 V gerilim kademesinde olmak üzere iki farklı gerilim seviyesi kullanılır. Yavaş şarj ile aynı fiziksel donanımlar kullanılsa da, Seviye 2 şarjda 20 A ile 80 A arasında bir çıkış akımı sağlayabilecek özel devre elemanlarına ihtiyaç vardır.

2.3.2 IEC 61851 Standartı

Avrupa ülkeleri tarafından yayınlanan IEC 61851 standartı Çin’de de kullanılmaktadır ve temelde SAE J1772 standartından yola çıkılarak hazırlanmıştır. Benzer parametreler üzerinden gidilen standartın temel farkı uygulandığı ülkelerde bulunan elektrik şebekesindeki gerilim kademelerine göre değiştirilmiş olmasıdır. SAE J1772 standartında ‘seviyeler’ şeklinde ifade edilen şarj tipleri IEC 61851’e göre ‘mod’ ile literatüre geçmiştir. Bu standartta temel ayırım hıza göre değil akımın alternatif veya doğru akım olmasına göre yapılır ve buna bağlı olarak AA için 3, DA için 1 olmak üzere toplam 4 çalışma modu bulunur. IEC 61851 standartında yer alan şarj yöntemleri ve bu yöntemlerde belirtilen akım ve gerilim değerleri Çizelge 2.3’te verilmiştir [30].

Çizelge 2.3 : IEC 61851 Standartına ait elektriksel parametreler.

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

IEC 61851 standartına göre Mod 2 yalnızca izin verilen en yüksek akımı iki katına çıkartarak kalan tüm parametreler bazında Mod 1 ile aynı büyüklükleri kullanır. Buna ek olarak Mod 2’ye yalnızca kontrol pilot fonksiyonu eklenmiştir. Bu fonksiyon ile EA için tam şarj kontrolü sağlanmasa dahi, kaynağa bağlı olup olmadığı kontrol edilebilir ve acil bir durumda kaynak bağlantısı kesilebilir. Bu fonksiyona genellikle topraklama ekipmanının durumunda bir değişiklik olması koşulunda ihtiyaç duyulur. Ayrıca Mod 2; akım değerini ikiye katladığından bu şarj modunda kaçak akım rölesi kullanılması IEC standartı gereği zorunlu tutulmuştur.

Mod 3’te ise EA ile şebeke arasında bağlantı ek bir ekipman yardımı ile sağlanır. Mod 3 için kullanılan ekipmanlar iki şekilde belirlenir; Mod 2 için kullanılan 32 A’lik konnektöre ek olarak şayet hızlı şarj için kurulacaksa 250 A seviyelerine kadar çıkabilen özel kablolar kullanılmalıdır. Bu şarj tipi çift yönlü güç akışını ve bunun kontrolünü sağlayacak akıllı şebeke uygulamaları için uygundur ve bu da araç

içerisinde bulunan elektronik aksamlar ve şarj istasyonu ile araç arasında bulunan haberleşme kablosu ile mümkündür.

Mod 4'te diğer modlara ek olarak harici şarj cihazı kullanılması söz konusudur. Şebekeden çekilen AA; şarj istasyonunda mevcut olan güç elektroniği devreleri ile DA'A dönüştürülerek aracın direkt olarak beslenmesi sağlanır. Mod 4 için enerji sağlayacak istasyonların kurulumu yapılırken yalnızca bu modu destekleyen araçların şarj edilmesine imkan tanıyan özel bir priz tipi kullanılır. Dolayısıyla bu ekipmanın kurulumu oldukça maliyetlidir [31].

2.3.3 CHAdeMO

CHAdeMO; Tokyo Elektrik Enerjisi Kurumu (TEPCO) tarafından sektörün önde gelen otomobil firmaları işbirliği ile oluşturulan standartı ifade etmekte kalmamış; zaman içerisinde hızlı şarj istasyonlarının piyasada anılan ismi haline gelmiştir. Nissan, Toyota ve Subaru işbirliği ile oluşturulmuş olup; kısa zaman içerisinde Avrupa ve Amerika'da da kullanılmaya başlamıştır. Yönteme ilişkin elektriksel büyüklükler Çizelge 2.4'te verilmiştir [31].

Çizelge 2.4 : CHAdeMO Standartına ait elektriksel parametreler.

Şarj Yöntemi	Anma Gerilimi (V)	Maksimum Akım (A)	Maksimum Güç (kW)
CHAdeMO	500	125	62.5

GM, Ford, Volkswagen ve BMW gibi sektörün önde gelen otomotiv şirketleri CHAdeMO standartını desteklemediklerini ifade ettiklerinden; Japonya dışında desteklense dahi diğer ülkelerde bu şarj tipinin kullanılması mümkün değildir. Bu nedenle hem AA hem de DA şarjı destekleyen ünitelerin yaygınlaşması en uygun çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

2.4 Dünyada EA Kullanımı ve Öngörülen Geleceği

Gelişen teknoloji ve toplumsal bilinçle birlikte elektrik enerji sistemleri de sürekli devam eden bir değişim içerisinde. Akıllı sistemler, günlük hayatın her anında olduğu gibi elektrik enerjisi kullanımında da gündeme gelmekte ve enerji sistemlerinin içerisinde bulunduğu değişimi oldukça hızlandırmaktadırlar. Akıllı

şebekeler; elektrik enerji sisteminde bulunan tüm elemanların haberleşmesini; bu sayede de güvenilir, sürekli ve kontrol edilebilen bir enerji dönüşümünü sağlamayı amaçlamaktadır [33].

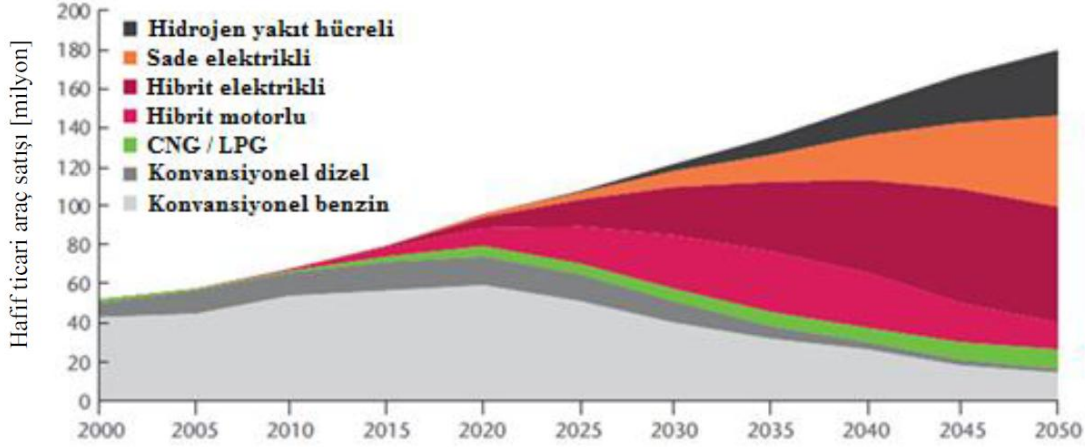
Elektrikli araçlar, enerji sisteminin sürekli bir değişim halinde olduğu bu dinamik süreçte oldukça dikkat çeken bir teknoloji haline gelmiştir. EA'ların güç sistem yönetimine ve akıllı şebekelere sunduğu faydaların arasında bir dağıtılmış enerji kaynağı (DEK) olarak kullanılabilmesi de bulunur. Yani EA teknolojisi hem yenilenebilir enerji kaynaklarında (YEK) zamansız üretilen fazla enerjiden daha sonra faydalanılmasını sağlamakta, hem de hava kirliliği ile alakalı farkındalığın bu derece arttığı bu dönemde iyi bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu farkındalığın bir sonucu olarak, ülkeler geleceğe yönelik aldıkları kararlarda; bu gibi alternatif temiz enerji kullanımını yaygınlaştırarak elektrik enerji üretimi ile elektrikli ulaşım sistemlerinin yakın temas halinde tutulmasına yer vermektedirler.

Fosil yakıtlara dayalı sınırlı bir enerjiye sahip olunan Dünya'da temiz ve sürdürülebilir kaynakların kullanıldığı bir seçenek olan EA teknolojisinin yaygınlaşmasının; gelecek için nihai alternatif olduğu devletler tarafından kabul edilmiş durumdadır. Fakat elektrikli araçların yaygınlaşmasını engelleyen birtakım mali kısıtlamalar yaygınlaşma gerçekleşse dahi ekonomiyi iyileştirme ivmesinin beklenenin altında olacağına işaret etmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) yayınladığı rapora göre Dünya'da 2022 yılı itibariyle EA sayısı mevcut sayının yaklaşık 10 katı mertebesine çıkacağı öngörülmektedir. Fakat bu artışa rağmen bunun ekonomiye ve petrol tüketimine yansımalarının oldukça düşük bir düzeyde kalacağı da öngörüler arasındadır. Ajansın hazırladığı raporda 2015 yılında 1,3 milyon adet olan elektrikli araç sayısının 2022 yılında 15 milyona çıkacağı belirtilmektedir [34].

IEA 2010 yılında yayınladığı Enerji Teknolojileri Perspektifi (ETP) Mavi Harita (Blue Map)'e göre mevcut CO₂ emisyon değeri, 2050 yılına kadar yarı yarıya düşürülmesi hedeflenmekte; bu konuda da öncü teknoloji elektrikli araçlar olacaktır [35]. Mavi Harita senaryosu bu değer 501 g/kWh olan toplam değerinden yaklaşık 250 g/kWh değerine kadar gerilemesini hedeflemektedir [36]. Daha gerçekçi bir açıdan yaklaşıldığında ise senaryoya göre 2050 yılında ulaşım kaynaklı emisyon değerinin 2005 ile karşılaştırıldığında yaklaşık %30 oranında gerilemesi öngörülmektedir. Bu değerleri sağlamak amacıyla dünya genelinde yaklaşık 100

milyon adet EA satışının gerçekleşmesi gerekmektedir ve bu da yıllık satılan hafif ticari araç sayısının yarısından fazladır.

Şekil 2.2’de EA ve HEA teknolojilerinin ticari araçlardaki gelişimi verilmiştir ve bu da Mavi Harita’nın gerçekleşmesi için gerekli olan değişimi ifade etmektedir [35].



Şekil 2.2 : Araç tiplerine göre yıllık hafif ticari araç satışı [35].

Yayınlanan rapora göre güncel durumda EA satışlarındaki artış çok çarpıcı olmasa dahi; EA teknolojisinin ivmelenmesi ile birlikte öngörülen rakamlar değerlendirildiğinde 2050 itibariyle artışın oldukça agresif bir büyüme gerçekleştireceği yönündedir.

Elektrikli araç üreticileri seri üretim gerçekleştirdiği binek araç modellerini ticari araçlar ile ikame etmelidir zira üreticilerin belirlenen zamanlarda bahsedilen miktarlarda aracı teslim edebilmesi de kullanıcı tercihlerinde oldukça önemlidir. Uluslararası Enerji Ajansı’nın senaryosu 2050 yılına kadar yapılacak tüm EA üretim yatırımlarını da göz önünde bulundurarak oluşturulmuştur.

2.5 Türkiye’de EA Kullanımı ve Öngörülen Geleceği

Ülkemizde EA’lara ilişkin tüm detaylar; belirlenen yasal mevzuatlar ile düzenlenmektedir. Gerek güvenilirlik, gerekse dağıtım şebekesine olası etkileri maddeler halinde belirtilerek öncelikle hem kullanıcıların hem de elektrik altyapısının lehine bir gelişim göstermesi garanti altına alınmıştır. Türkiye’de; özellikle İstanbul’da yaklaşık 400-500 araç kapasitesine sahip otoparklar

bulunmaktadır ve mevcut durumda bu otoparkların EA şarj istasyonlarına dönüştürülmesinden söz edilmektedir.

Tüm bu gelişim hedeflerine rağmen güncel durumda EA piyasasının oldukça yavaş bir ilerleme kaydettiğinden söz edilebilir. Otomotiv Dağıtıcıları Derneği (ODD)'nin verileri uyarınca Türkiye'de son 3 yıl'a kadar yılda yaklaşık 200-300 adet EA satışı gerçekleştirilmiş; bu da hedeflenen gelişime oldukça uzak olduğunu göstermiştir [34].

Türkiye'de otomobil piyasasında günümüzde elektrikli araç satışı gerçekleştiren hemen hemen tüm markalar Avrupa, Amerika veya Uzak Doğu menşeli olsa da; elektrikli araç teknolojisine Ar-Ge anlamında destek veren BD Oto ve DMA gibi yerli şirketler de bulunmaktadır. BD Oto, yakın geçmişte Türkiye'de kendi montaj hattını kurmuş; bazı geleneksel fosil yakıtlı araç modellerinin EA'lara dönüşümünü gerçekleştirmiştir. Ayrıca Ford Otosan gibi Amerika menşeli olmasına rağmen Türkiye'de üretim gerçekleştiren bazı firmalar da üretim hatlarına EA seri üretimini 2019 itibariyle dahil etmişlerdir [34].

BD Oto aynı zamanda yalnızca Ar-Ge faaliyetleri gerçekleştirmekle kalmayıp; araç kiralama filosu hizmeti sağlayarak bazı kargo şirketlerine elektrikli araç kiralamaktadır.

DMA da aynı yönde faaliyetler gerçekleştirerek Toyota Corolla'yı çeşitli modifikasyonlarla elektrik enerjisiyle tahrik edilecek bir hale getirmiş; e-Corolla'yı üretmiştir. Öyle ki; 2019 itibariyle Corolla'nın geleneksel fosil yakıtlı modeli Türkiye pazarından çekilmiş; yerini Ar-Ge çalışmalarını şirketin kendisinin gerçekleştirdiği hibrit model almıştır [34].

EA'ların ilk olarak filo araç hizmeti satın alan kamu kuruluşları, özel şirketler ve hatta toplu taşımacılıkta yaygınlaşması tahmin edilmektedir zira EA kullanımına uygun rotalar çizilmesi; durak noktalarında şarj istasyonu kurulumu gerçekleştiği takdirde bu uygulamaların sürekli ve daha yaygın bir hale gelmesi mümkündür.

Yakın geçmişte bazı otomotiv firmaları geleneksel araçlarını Türkiye ile birlikte birçok ülkenin pazarından çekmiş; bu modellerin yerine hibrit veya tam elektrikli araçları satışa sunmuştur. Bu temelde çevreci ve sürdürülebilir bir dünya fikriyle gerçekleştirildiyse de; Türkiye'de devlet destek ve teşvikleriyle ekonomik olarak da gelecek vaadeden bir hamle olmuştur.

2.5.1 İlgili Mevzuat ve Devlet Desteği

Türkiye’de EA ile ilgili yayınlanan yasal mevzuatlarda konuya yer veren iki adet yönetmelik bulunmaktadır. Bunlardan ilki; Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)’nın 2 Ocak 2014 tarihinde yayınladığı Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliđinin birinci bölümünde yer alan “Üretim Faaliyeti Gösteren Tüzel Kişiler Dışındaki Kullanıcılar için Bağlantı Esasları” [37] başlığı altındaki Madde 5’e göre;

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

Bir diğer düzenleme Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 8 Eylül 2013 tarihli Resmi Gazete’de yayınlanan “Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik” [38] içerisinde “Akaryakıt, Şarj ve Servis İstasyonları” başlığı altındaki Madde 25’e göre;

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

Bunlara ek olarak 2017 yılında EPDK tarafından “Elektrikli Araçlar Şarj İstasyonuna İlişkin Usul Ve Esaslar” yayınlanmış; bu doküman kapsamında ise şarj istasyonlarına ilişkin tüm detaylara, tanımlamalara ve düzenlemelere yer verilmiştir. Bu kapsamda şarj istasyonunun kurulumu, işletilmesi, elektrik enerjisinin tedariki, tüketicilerin tercihleri gibi bilgiler yasal kontrollere tabi tutulmuştur [39].

Türkiye’de ayrıca EA binek araçların satın alımında ÖTV indirimi uygulanmış olup; bu indirim oranı elektrikli aracın niteliğine göre farklılık göstermektedir. Devlet teşviği hem şarj istasyon kurulumunda hem de EA satın alımında söz konusu olup; burada temel amaç piyasada satılan ve trafikte yer alan araç yoğunluğunun geleneksel araçlardan elektrikli araçlara doğru hareketini sağlamaktır [34].





3. ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ALTYAPISI VE ELEKTRİK ŞEBEKESİ

3.1 Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesi Üzerine Etkileri

Geleneksel otomotiv teknolojileri ile kıyaslandığında daha kısa bir menzile ve daha uzun şarj sürelerine sahip olan EA'ların herhangi bir şarj problem yaşamaması için en az mevcut akaryakıt istasyonları kadar yaygın bir şarj istasyon ağına ihtiyaçları bulunmaktadır. Hali hazırda elektrik güç talebi oldukça fazla iken bu istasyonların da ekstra bir yüklenme oluşturmaması ve AG dağıtım şebekesi elemanlarına zarar vermemesi için; sisteme ilişkin yük talep eğrilerinin çıkartılması, EA yaygınlaşması ile beklenen talep gücün kapasiteye göre değerlendirilmesi ve kapasitenin teknik altyapı ile planlanması gerekmektedir [40].

Araç yoğunlukları, şehir hayatında araç kullanımının yeri, elektrik system altyapısı EA'ların şebekeye olacak etkilerinin değerlendirilmesinde öncelik olarak belirlenmesi gereken kriterlerdir. EA'ların dağıtım sistemine bağlanacağı yerler olan garajlar, iş yerleri, şarj istasyonları veya açık otoparklar düşünüldüğünde; yüksek enerji ihtiyaçlarından ötürü sisteme olumsuz etkileri olması muhtemel bir sonuçtur ve önlem alınmasını gerektirir. Bununla birlikte dağıtım şirketlerinin kullanıcılara kaliteli bir enerji sunması gerekmektedir [41].

3.1.1 Puant Yük Talebi Üzerine Etkileri

Şebekeye bağlanan çok sayıda EA'nın dağıtım şebekesinin verimliliğini, enerji kalitesini, gerilim profilini ve güvenilirliğini olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmektedir. Buna bağlı olarak kayıpların artması da kaçınılmazdır [42]. EA sayısının belirli bir ölçüde artması; kullanıcıların elektrik şebekesinden talep edilen

güç değeri en yüksek aralığındayken araçlarını şarj etme durumlarında üretim sisteminin kapasitesinde bir artış sağlanması gerektiğinin bir göstergesidir. Eş zamanlı şarj durumu, yerel altyapıyı zorlayacak şekilde bir puant yük artışına sebep olur. Bu etkinin değeri ile ilgili yorum yapılabilmesi ise şarj karakteristiği ve araçların batarya büyüklüklerine göre değişiklik gösterir [43].

2010 yılında Nyns, Haesen ve Driesen tarafından yapılan çalışmada IEEE 34 baralı test sisteminde bir yük modeli kurulmuş; EA yük talebinin %30 seviyesine geldiği durum için puant yükler hesaplanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre şebekeye elektrikli araçların eklenmesi ile puant yük %56,5 oranında artmış; bu şarj işlemi kontrollü gerçekleştirildiğinde ise bu değer yalnızca %8,6 mertebesinde olmuştur [44].

3.1.2 Güç Kalitesi Üzerine Etkileri

Elektrikli araçlarda enerji bataryalarda depolandığından; şarj esnasında doğru gerilime (DG) ihtiyaç duyulur. Bu nedenle araca veya şarj ekipmanına güç elektroniği devrelerinin dahil olması gerekmektedir. Bu güç elektroniği devreleri; şebekeden aldıkları alternatif gerilimi doğru gerilime dönüştürerek bataryaya aktarılmasını sağlamaktadır. Elde edilen DG ise bir DA/DA çevirici tarafından istenen gerilim değerine getirilerek bataryayı besler. Bu işlemlerin her aşaması; şarj esnasında harmoniklerin üretilmesi anlamına gelir [45]. Şarj cihazlarının iç yapısı lineer olmayan birçok ünite içerdiğinden; bu yüklerin artması toplam harmonik bozunumun ciddi bir oranda artması anlamına gelir. Oluşan harmonikler ise aşırı nötr akımlarına ve artan eddy akımları ile transformatörlerin nüvesinde meydana gelen aşırı ısınma dahil olmak üzere güç sistemi üzerinde birçok olumsuz etkiye sahip olmaktadır.

3.1.3 Gerilim Düşümü ve Faz Dengesizliği Üzerine Etkileri

Mevcut durumda kurulumu gerçekleştirilen şarj istasyonlarının birçoğu tek fazlı besleme noktasına sahiptir. Bu durum; şarj süresince EA'ların tek bir fazdan beslenmesi ve aynı anda farklı fazlardan farklı akımların talep edilmesi anlamına gelerek faz akımlarında dengesizlikler oluşturmaktadır [46]. Dolayısıyla faz gerilimleri arasında da bir denge problem ortaya çıkmaktadır. Bu dengesizlik; fazlardaki çıkış gerilimlerinin genliklerinin birbirinden farklı olması durumudur ve

faz açısı sağmalarına sebebiyet vermektedir zira tek fazlı yükler systemin her üç fazına eşit olarak dağıtılamaz.

3.1.4 Transformatöre Etkileri

Güç sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biri olan transformatörlere; üreticiler tarafından belirli koşullarda kullanılması durumunda yaklaşık 40 ile 50 yıl arasında bir ömürler biçilmektedir. Fakat gerçek çalışma koşulları ideal olmayacağından bu süre yaklaşık 17 yıla kadar düşmektedir [47]. Elektrikli araçların aynı anda şebekeden güç talep etmesi; bu gücü aktaran tüm ekipmanların zorlanması anlamına geldiğinden; transformatör ömrünü de kısaltabilmektedir. İlk olarak talep edilen güç arttığında, transformatörün kayıpları ve termak yüklenmesi artacak; bu durum da yalıtım delinimine yol açacaktır. Uzun süreli aşırı yüklenme durumunda ise arıza oluşması dahi; transformatörün faydalı ömrü azalacak ve güvenlik koşulları zorlanacaktır [48].

3.2 Elektrikli Araçlar için Enerji Fiyat Tarifeleri

Elektrikli araçların getirdiği fazla yüklenmeyi ve bundan kaynaklı olumsuz etkileri azaltmak için fiyat sinyalleri kullanılabilir zira güç talebinin arttığı zamanlar enerji fiyatlandırmasını yükseltici yönde bir etki sağlarken; talebin azaldığı saatlerde enerji fiyatları da daha düşük seyretmektedir.

Enerji fiyatlandırma tarifeleri ülkelere, bölgelere, mevsimlere ve saatlere göre değişiklik gösterir zira talep edilen gücün türü, miktarı, saatleri tüm bu parametrelere göre değişiklik göstermektedir. Örneğin; yaz mevsiminin saat uygulamaları ve güneşin hareketlerine göre enerji fiyat tarifeleri kış mevsimine göre farklıdır. Bunun başlıca sebebi havanın geç kararması ve buna bağlı olarak talep güçlerin değişiklik göstermesidir.

EA şarj istasyonlarının enerji maliyetlerinin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi, doğru piyasada işlem yapılmasına bağlıdır. Enerji alış fiyatlandırmasında EA şarj istasyonları; kullanım miktarına bağlı olmaksızın serbest tüketici sınıfına girmektedir [39]. Bu durum, EPDK tarafından yayınlanan Elektrikli Araçlar Şarj İstasyonuna İlişkin Usul ve Esaslar çerçevesinde ifade edilmiştir. Buna göre; normal şartlar altında ticari işletme sayılan şarj istasyonları ve otoparklarının; enerji alış fiyatlandırmasında serbest tüketici olarak yer almasına; bu nedenle mesken enerji

fiyatlandırmasıyla mukayese edilmek koşulu ile dağıtım şirketleri tarafından özel bir teklif götürülmesine ve bu kapsamda fiyatların ‘mesken abonesi olarak serbest tüketici olmak’ sınıfında değerlendirilmesine karar verilmiştir [39]. Dolayısıyla EA kullanıcıları tarafından satın alınacak enerji fiyatlandırması; alçak gerilim tek terimli mesken fiyatları üzerinden belirlenmiştir [49]. Fiyatlarda yapılan çalışmaya uygun olacak şekilde 2019 yılı 2. çeyrek fiyatları baz alınmıştır. Buna göre; saat 06:00:17:00 arası gündüz tarifesi; 17:00-22:00 arası puant yük tarifesi ve 22:00-06:00 arası ise gece tarifesi olarak belirlenmiştir.

Kurulacak EA şarj istasyonlarında çift yönlü güç akışı; yani V2G system uygulanacağından; saat aralıkları için enerji alış fiyatı ile birlikte enerji satış fiyatının da bilinmesi önemlidir. Zira yapılacak çalışma gerçek alış-satış fiyatları üzerinden maliyeti minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Enerji satış fiyatlarının belirlenmesi amacıyla EPIAŞ Şeffaflık Platformu tarafından günlük ve saatlik olarak yayınlanan Gün İçi Piyasası (GİP) değerleri kullanılmıştır [50]. Gün içi piyasası sürekli devam eden bir piyasadır ve fiziksel teslimattan 2 saat öncesine kadar dahi teklif verilebilir [50]. Burada amaç; işlem yapılan değerler üzerinden optimizasyon gerçekleştirmek olduğundan; en uygun piyasa değerleri GİP üzerinden alınmıştır. Çizelge 3.1’de EPDK ve EPIAŞ tarafından yayınlanmış olan piyasa enerji fiyatlandırması dahilinde kullanılacak fiyatlandırma tablosu verilmiştir.

Çizelge 3.1: Elektrik enerji fiyatlandırması.

Saat Aralıkları	Enerji Alış Fiyatı (TL/kWh)	Enerji Satış Fiyatı (TL/kWh)
18:00-19:00	0,64	0,331
19:00-20:00	0,64	0,327
20:00-21:00	0,64	0,328
21:00-22:00	0,64	0,328
22:00-23:00	0,28	0,329
23:00-00:00	0,28	0,11
00:00-01:00	0,28	0,303
01:00-02:00	0,28	0,29
02:00-03:00	0,28	0,28
03:00-04:00	0,28	0,277
04:00-05:00	0,28	0,271
05:00-06:00	0,28	0,282



4. ELEKTRİKLİ ARAÇLARIN DAĞITIM ŞEBEKESİNE ETKİSİNİN MALİYET ANALİZİ VE OPTİMİZASYON PROBLEMİ

Elektrikli araçların şarj istasyonlarında yapılacak güç, maliyet veya herhangi bir parametrenin optimizasyonunda sezgisel algoritmalarından faydalanılabilir. Elektriksel optimizasyon problemlerinde en çok kullanılan sezgisel algoritma yöntemleri Tabu Yöntemi, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ve Genetik Algoritma yöntemleridir.

4.1 Elektrikli Araç Optimizasyon Problemlerinde Kullanılan Yöntemler

4.1.1 Tabu Yöntemi

Tabu yöntemi insan hafızasının çalışma yapısından esinlenerek 1986 yılında F. Glover tarafından ortaya atılmıştır. Tabu yöntemi yerel en iyi seçeneklerden uzaklaşarak, bütünsel en iyi seçeneklere yoğunlaşmayı araştırma tabanlı sezgisel bir optimizasyon yöntemidir [51].

Tabu yönteminin çalışma prensibi, bir başlangıç çözüm uzayını ekleme ve çıkarma tekniklerini kullanarak optimum çözüme dönüştürmektir. Bunun için kullanılan temel yapı da değerlendirme fonksiyonudur. Tabu yöntemi değerlendirme fonksiyonu, başlangıç çözüm uzayının her kademesinde en iyi değerlere sahip değişkenlerin seçilmesi ile bir sonraki çözüm uzayını meydana getirir. Kötü sonuç veren değişkenlerle daha fazla işlem yapılmayarak, istenen çözüme daha az değişken ve hesaplamayla ulaşmayı hedeflemektedir [52].

Tabu yöntemi, başlangıç çözüm uzayındaki her hareketi kendisine doğrusal olan ve doğrusal olmayan bir komşu hareketi olduğunu varsayar. Komşuluk ilişkisinin karşılıklı olduğu kabul edilir. Çözüm uzayında yer alan A hareketinin komşusu B ise, B hareketinin komşusu da X hareketidir. Bu yapı kullanılarak çözüm uzayında ve sonraki uzaylarda simetrik bir yapı meydana getirilir. Simetrik yapı algoritmalarında rastgele hareketler veya hareket bozulmaları bulunmamaktadır. Bu özelliğin bir sonucu olarak tabu algoritması kısmen saptanabilmektedir [53].

Tabu yöntemi başlangıç çözüm uzayında yer almayan komşu çözümleri de daha sonra oluşturulacak çözüm uzaylarında kullanmamak için yasak hareket olarak tanımlar. Yasaklanan bu hareketlere tabu adı verilir ve tabu listesine dahil edilir. Değerlendirme fonksiyonu döngüsünde tabu listesi kontrol edilir. Bu listeye göre komşu hareketler belirlenerek, komşu hareketlerden herhangi birini tabu listesinden dolayı seçemezse tabu listesini yıkar. Bunun yanında belirli bir döngüden sonra tabu listesi yenilenir. Bu sayede tabu yöntemi çözüm uzayında komşu çözüm seçememe sorununu ortadan kaldırmış olur.

Tabu yönteminin verimliliği, başlangıç çözüm uzayına, komşuluk ilişkilerine ve değerlendirme fonksiyonuna bağlı olarak değişir. Tabu yöntemi kısa ve uzun süreli hafıza, değerlendirme fonksiyonu, durdurma kriteri ve tabu listesinden meydana gelir [54].

Uzun süreli hafıza, başlangıç çözüm uzayı ve her döngü sonunda yeniden meydana gelen çözüm uzaylarının bulunduğu hafızadır. Kısa süreli hafıza ise, değerlendirme fonksiyonunun çözüm uzayı içerisinde değerlendirildiği hareket ve komşu hareketlerin verilerinin bulunduğu hafızadır. Değerlendirme fonksiyonu ise çözüm uzayındaki hareketleri, komşu hareketleri ve tabu listesinde yer alan hareketleri kullanarak bir sonraki adımdaki hareketin nasıl olacağını belirleyen birimdir. Durdurma kriteri de tabu yönteminin çalışmasını sonlandıran esnek bir birim olarak tanımlanır. Durdurma kriterinin tam olarak belirlenmesi için tabu listesinin boyutu, esnekliği, kısa ve uzun süreli hafıza boyutlarının da bilinmesi şarttır.

4.1.2 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) 1995 yılında Kennedy ve arkadaşları tarafından geliştirilen, popülasyon temelli ve sürü zekasını taklit eden sezgisel bir optimizasyon yöntemidir [55]. Bu algoritma, balık ve kuş gibi toplu hareket eden hayvan sürülerinin yiyecek arama sırasında ortaya çıkan sosyal davranışlarını baz almaktadır. Bireylerin birbirleri ve çevreleri ile etkileşimleri incelenerek geliştirilmiştir.

Algoritma, içerdiği tüm parçacıklar için önce biricik iyileştirilmiş çözümler; akabinde ise her parçacığın dahil olduğu durum için en iyi çözümleri arayarak çok boyutlu bir çözüm alanı oluşturur. Bu çözüm alanında mümkün olan en iyi çözümü bulmak için her bir parçacık her yinelemede nereye hareket etmesi gerektiği

konusunda akıllıca bir karar alınması sağlanır. Parçacık sürüsü optimizasyonu temelde sürekli değişkenler ile çalışan bir method olmakla birlikte; İkili Parçacık Sürüsü Optimizasyonu yöntemi ise aynı optimizasyon probleminin ayrı değişkenlerle çözülmesi esasına dayanır [56].

Parçacık sürüsü optimizasyonu, parçacık sürüsündeki tüm parçacıkların hareketini modelleyerek, en iyi çözümleri takip edip optimum sonuçlara varmayı hedeflemektedir. Örneğin yiyecek arayan bir kuş sürüsünde her kuş parçacık olarak adlandırılabilir ve bu kuşların konumu birer çözüme karşılık gelmektedir. Her parçacığın konum bilgisiyle birlikte bu kuşların hareketlerini yönlendiren hız bileşenleri de bulunmaktadır. Hız bilgilerine göre parçacıkların arama uzayındaki konum değişimleri de belirlenebilir. Bu yönteme göre başlangıçta her parçacık arama uzayında rastgele bir konumda bulunur. Bu durum tıpkı yiyecek aramakta olan kuşların bilinmedik bir bölgeye rastgele dağılmasına benzetilebilir. Kuşlar ilk başta bağımsız hareket etmeye çalışırken, diğer kuşların hareketlerini izleyerek zamanla birbirleriyle etkileşime girerler. Aradan bir süre geçtikten sonra yiyecekler bulunmaya başlayınca, tüm sürü yiyecek bulunan alana doğru hareket eder. Bu durum kuşların birbirinden bağımsız hareket etme güdüsünü azaltarak birlikte hareket etme güdüsünü güçlendirir.

Parçacık sürüsü optimizasyonunun algoritmasında, parçacıklar içinde iyi çözüme doğru ilerleyen bir parçacık varsa diğer parçacıklar da buna doğru yönelecek ve daha iyi çözüm olan bölgede toplanmaya başlayacaktır. Bu hareket her parçacığın lokal ve global iyi olan çözümü referans alarak hareketini yönlendirmesi ile yapılır. Bu durum yiyeceğe yönelen kuşların hem yakındaki kuşların hareketini hem de sürüde yer alan diğer kuşların hareketini dikkate almasına örnek olarak gösterilebilir. Sürüde yer alan kuşlar arasında yapılan bilgi paylaşımı yiyeceğe en yakında bulunan kuşun konumunun sürünün tamamının hareketini yönlendiren bilgi olmasını sağlar. Bu sayede diğer kuşlar da artık bu bilgi sayesinde yiyeceğe yönelirler.

Ayarlanması gereken parametre sayısı daha az olduğu için, PSO diğer yöntemlere göre uygulanması daha basit bir optimizasyon yöntemidir. Başlangıçta parçacıklar rastgele bir uzayda ve pozisyonda olacak şekilde dağıtılır. İterasyonla lokal ve global en iyi parçacıklar belirlenerek, uygunluk fonksiyonları elde edilir. Lokal ve global en iyi parçacıklara göre, diğer parçacıklar da hızlarını ve konumlarını yenilerler. Bu

sayede tüm iterasyon boyunca sürekli en iyi çözümler korunarak, daha iyileri aranır [9].

4.1.3 Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA), doğal seçim mekanizmasını ve doğal genetiği temel alan sezgisel bir optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritmanın temelleri ilk kez John Holland tarafından 1970'li yıllarda ortaya atılmıştır [57].

Genetik algoritmalar gelişigüzel bir araştırma formu olup, seçilen bireyler bütünüyle rastlantısal bir süreç içerisine dahil edilir. Genetik algoritmalar rastgele arama teknikleriyle birlikte çözüm bulmaya çalışır. Bu yönüyle genetik algoritmaların yapısı diğer algoritmalarından ayrılır. Geleneksel algoritmalar eğim veya grafik yaklaşım yöntemlerini kullanırken, genetik algoritmalar en uygun bireyi bulmaya çalışırlar. Uygunluk fonksiyonu adı verilen kavramı öne çıkartarak yeni bireyler ve popülasyon karakterini ön plana çıkartmaya çalışırlar. Bu amaçla uygunluk fonksiyonunu seçim yöntemlerini kullanarak, en iyi bireyi seçmeyi amaçlarlar.

Genetik algoritmalar çok amaçlı optimizasyon yöntemleriyle birlikte kullanılabilirler, karmaşık problemlere uyarlanmaları ve kısa zamanda optimum sonuç vermeleri bakımından avantajlı bir yapıya sahiptir. Fakat son kullanıcının modeli anlamakta zorluk çekmesi, sorunların genetik algoritma ile çözülmesinin uygunluğunun zor olması ve çaprazlama tekniklerinin belirlenmesinin zor olması bakımından da dezavantajları mevcuttur [58].

4.2 Optimizasyon Probleminin Genetik Algoritma ile Çözülmesi

Optimizasyon probleminin çözülmesinde Genetik Algoritma'dan yararlanılmıştır. Araç filosunun kontrolsüz şarj durumundaki enerji maliyeti belirlenerek GA yardımıyla bu maliyetin optimize edilmesi amaçlanmıştır. Burada kullanılan yöntem ile temelde maliyet optimizasyonu gerçekleştirildiyse de; çalışmanın hedeflerinden bir diğeri de güç optimizasyonu sağlamaktır. Enerji fiyatlandırması prensip itibariyle güç talebinin yüksek olduğu zaman aralıklarında daha yüksek; talep düşük iken daha düşük bir değer üzerinden belirlendiği için; maliyet optimizasyonunun gerçekleştirildiği durumda aslında güç optimizasyonu da gerçekleştirilmiş olur. Bu sayede dağıtım şebekesinin bileşenleri daha makul bir düzeyde yüklenecek ve zorlanma minimumda tutulabilecektir.

Çalışma kapsamında GA çözüm alanı, EA bataryalarının incelenen süre boyunca tüm olası şarj yörüngeleridir. Geliştirilen algoritmanın uygulanabilirliğinin daha doğru bir şekilde test edilebilmesi için, tüm araçların aynı anda şarj istasyonlarına bağlandığı durum için çalıştırılmıştır. GA değişkenleri belirlenirken çözüm alanı saatlere bölünmüş ve şarj periyodu her bir saatin başında ilgili bataryayı karakterize eden durum ile tanımlanmıştır.

Bu doğrultuda problemin GA ile çözülmesi esnasında ilerleyen bölümlerde detaylı olarak verilecek bir amaç fonksiyonu (maliyeti minimumda tutacak şekilde) ve gerek bataryaların gerekse şarj istasyonlarının teknik limitlerini zorlamamak için 3 adet sınır koşulu belirlenmiş; çözümün bu koşullar altında bulunması sağlanmıştır.

4.2.1 EA Otopark Yük Senaryosu

Tez kapsamında önce; kurulması planlanan açık otopark şeklinde bir EA otoparkına önceden belirlenen farklı enerji depolama durumları ile aynı anca giriş yapan 200 araçlık bir araç filosunun şarj senaryoları incelenmiştir. Senaryolar oluşturulurken, Türkiye'deki mesai saatleri baz alınarak araç sahiplerinin mesai bitiminde 18:00 itibariyle otoparka giriş yaptığı; sabah ise işyerine gidecekleri saate yakın olarak saat 06:00 itibariyle araçlarını otoparktan alacakları varsayımı ile hareket edilmiştir. Araçların 12 saat boyunca otoparkta kalmaları üzerinden hesaplamalar yapılmıştır.

Araç şarj senaryosu oluşturulurken şarj süresinin yanısıra batarya ve şarj istasyonlarının belli başlı teknik limitleri dahilinde kalınması gerekmektedir. Bu teknik limitler optimizasyon yöntemine sınır koşulları olarak tanımlanır ve çözüm aranırken bu limitlere tabi olunması sağlanır.

Bunlardan ilki, optimizasyonun çalıştırıldığı esnada optimum çözüm aranırken herhangi bir noktada batarya anlık şarj durumunun; batarya kapasitesinin %20'sinin altına düşmemesi gerekliliğidir. Bu durum batarya ömrünün kısalması ve bataryaların sağlık durumu (State of Health) değerinin korunması için gereklidir. Bununla birlikte bataryaların aşırı şarj edilmesinin önüne geçilmesi için algoritmaya herhangi bir zaman aralığında kapasitenin %100 değerinin üzerine çıkılmaması gerektiği de eklenmiş böylelikle enerji miktarının belirli sınırlar dahilinde tutulması sağlanmıştır.

İkinci kısıtlama şarj istasyon altyapısının tabi olduğu güç aktarım limitidir. Çalışmada kurulan şarj istasyonunda; batarya kapasitesi 40 kWh'in altında olan

araçlar için saatte 5 kWh enerji aktarımı yapan şarj üniteleri ile; daha büyük kapasiteye sahip araçlar için saatte 8 kWh enerji aktarımı yapan şarj ünitelerinden yararlanılmıştır. Bu değerler piyasada hali hazırda kullanılan şarj istasyonu güç aktarım değerleri ile paralellik gösterecek şekilde belirlenmiştir [24-26].

Son olarak EA kullanıcıları; akıllı şarj döngüsünün sonunda araçlarını otoparktan aldıklarında bu araçların en az %90 şarj doluluğuna ulaşması beklenmektedir. Kontrolsüz şarj durumunda bu kısıt gerekli olmayacaktı zira araçlar şebekeye bağlandıkları anda %100 doluluğa ulaşana kadar şarj olup; daha sonra güç elektroniği devreleri yardımıyla şebeke ile araç arasındaki güç aktarımı sonlandırılacaktı. Fakat bu durumda parkta kalacakları süre boyunca alış ve satış süreleri optimizasyonun her bir döngüsünde farklılık göstereceğinden; çift yönlü akış sağlansa dahi Şebekeden Araca akış sağlanırken (G2V) bataryaların en az %90 kapasiteye kadar doldurulması gerekliliği algoritmaya tanıtılmıştır. Böylece geliştirilen GA için 3 adet sınır koşulu yukarıdaki şekilde belirlenmiştir.

Seçilen araçlar Türkiye pazarına EA modelleri ile giriş yapan farklı marka, model ve batarya kapasitelerine sahip araçlar arasından seçilmiştir. Araçlar HEA ve EA modelleri arasından karışık ve rastgele seçilmiş; Türkiye pazarında daha sık rastlanan araçların sayıca daha fazla olduğu bir senaryo oluşturulmuştur. Zira filo araç mantığının ilerleyen günlerde EA piyasasında sıkça yer alacağı tahmin edilmektedir. Çizelge 4.1’de araçlara ilişkin marka, model, adet ve batarya kapasitesi bilgileri verilmiştir [59-69].

Çizelge 4.1: Çalışma kapsamında kullanılan EA modelleri.

Araç Markası	Araç Modeli	Yıl	Adet	Batarya Kapasitesi (kWh)
BMW	i3	2018	12	42,2
Tesla	Model S P85D	2018	8	85
Nissan	Leaf	2018	29	40
Ford	Focus Electric	2018	23	33,5
Tesla	Roadster	2019	11	56
Mitsubishi	i-MiEV	2018	27	16
Renault	Fluence ZE	2019	33	22
Chevrolet	Volt	2019	14	18,4
Toyota	Prius	2018	17	42,25

Algoritmanın çalıştırılmasında gerekli bir diğer parametre de enerji alış ve satış fiyatlandırmasıdır. Bu kapsamda enerji fiyatlandırmasının gerçek verileri Bölüm 3.2’de ifade edildiği gibi EPDK ve EPIAŞ üzerinden elde edilmiştir [49,50].

Kurulan şarj istasyonunda SAE J1772 standartına göre belirlenen şarj istasyon seviyelerinde; Seviye 2 ve Seviye 3 şarj istasyonlarının birlikte konumlandırılmasına karar verilmiştir zira günümüzde EA batarya kapasiteleri TEA’lar için oldukça yüksek bir değere çıktığından Seviye 2 şarj istasyonları ile bir döngü içerisinde tam şarj edilmesi mümkün olmayabilmektedir.

Senaryonun son aşamasında amaç fonksiyonu belirlenerek optimizasyonun doğru bir şekilde uygulanması için temel adım atılmıştır. Amaç fonksiyonu, şarj zaman aralıkları için alış yapıldığı süredeki enerji maliyeti ile; enerji satışının gerçekleştiği süredeki satış bedeli arasındaki farkın minimumda tutulmasını amaçlar. Yani; otoparka ilk girildiği saat olan puant yük tarifesinin geçerli olduğu aralıkta araç bataryalarındaki enerjinin satılarak; göreceli olarak daha ucuz enerji alınabildiği akşam saatlerinde şarj işlemi gerçekleştirilirse; enerji maliyeti kullanıcı bazında minimumda tutulmuş olur. Aynı zamanda yüklenme de buna bağlı olarak azalacaktır.

4.2.2 Optimizasyon Problemi ve İzlenen Yöntem

Çalışmada farklı batarya kapasiteleri nedeniyle her bir araç tipi için önceden belirlenen ilk şarj durumlarına göre bir çift yönlü akış optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Her bir araç modeli, saat 18:00 itibarıyla otoparka giriş yaparak sabah 06:00’da çıkış yapmaktadır ve bir günlük enerji maliyetleri optimize edilmiştir.

Tez kapsamında önce; her saat başı bir değer olarak belirlenerek her saat başında bulunan en iyi sonuca gidilmesi sağlanmıştır. Araçların her saatteki enerji durumları bir değişken olarak belirlenerek toplam 12 zaman aralığı ve 13 saatin her bir noktası için bir matris kurulmuştur. Bu matris her bir araç tipi için farklı şekilde kurulmuştur

$$E_i = \begin{bmatrix} E_{1,t_1} & \dots & E_{j,t_1} & \dots & E_{10,t_1} \\ \dots & & \dots & & \dots \\ E_{1,t_x} & \dots & E_{j,t_x} & \dots & E_{10,t_x} \\ \dots & & \dots & & \dots \\ E_{1,t_{13}} & \dots & E_{j,t_{13}} & \dots & E_{10,t_{13}} \end{bmatrix} \quad (4.1)$$

ve genel ifadesi aşağıdaki gibidir:

Bu matriste bulunan elemanlar sonuç matrisinde elde edilen elemanlarla aynıdır ve en düşük maliyeti oluşturacak değerlerin elde edilmesi beklenir. Matrisin 1. satırı bir araç modeline ilişkin tüm araçların belirlenen ilk şarjlarını; 2. satırı ise 1 saat sonra GA ile belirlenen ideal şarj durumlarını yani 2. Saatteki enerji durumlarını belirtir. Tüm satırlar birer saat aralığıyla enerjinin anlık durumunu gösterir ve en son 13. satır ise araçların çıkış şarjlarını ifade eder. 13. satırdaki değerlerin kapasitenin %90'ı mertebesinde olması beklenir. Örneğin bu değer BMW i3 (2018) şarjı için 38 kWh iken Mercedes EQ (2019) için 72 kWh olarak belirlenir.

Matrisin eleman sayısı her bir araçta $N_{EA} \cdot t$ kadardır. Burada N_{EA} araç sayısını, t ise hangi zaman noktasında olduğunu belirtir. Ayrıca j ; araba numarasını, bir sonraki matriste yer verilecek h değeri ise t 'den farklı olarak aracın kaçınıcı zaman aralığında olduğunu belirtmek için kullanılır.

Böylece aynı sütunda iki ardışık değer; aracın belirtilen zaman aralığında şarj veya deşarj olduğu bilgisini ve enerji miktarını verir.

$$\Delta E_{j,h} = E_{j,t+1} - E_{j,t} \quad (4.2)$$

Yukarıdaki denklemde t belirlenen zaman noktası iken $t+1$ ise bir sonraki zaman noktasıdır. Yani yukarıdaki denklemin sonucu saat 18:00 ile 19:00 arasında 1 numaralı aracın şarj durumunu verecekse aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\Delta E_{1,1} = E_{1,2} - E_{1,1} \quad (4.3)$$

Bu durumda kurulan ikinci matris ΔE değerlerinden oluşur ve $NEA \cdot h$ boyutlu bir matris kurulur:

$$\Delta E_i = \begin{bmatrix} \Delta E_{1,h_1} & \dots & \Delta E_{j,h_1} & \dots & \Delta E_{10,h_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta E_{1,h_x} & \dots & \Delta E_{j,h_x} & \dots & \Delta E_{10,h_x} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Delta E_{1,h_2} & \dots & \Delta E_{j,h_2} & \dots & \Delta E_{10,h_2} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

ΔE değerleri şarj ünitelerinin h zaman aralığında belirlenen senaryo uyarınca aktarabilecekleri enerji miktarını ifade eder ve aynı zamanda Bölüm 4.1.1'de belirtilen sınır koşullarına da dahil edilir. Bu da kurulan senaryoda 5 kWh ve 8 kWh olarak değişiklik göstermektedir.

Tüm parametrelerin belirlenmesi ile tüm sınır koşulları ve amaç fonksiyonu optimizasyon problemini çözebilecek şekilde aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\min \text{Maliyet} = \text{Gider}_{\text{Alış}} - \text{Gelir}_{\text{Satış}} \quad (4.5)$$

Gider ile ifade edilen büyüklük şarj esnasında gerçekleşen maliyet iken gelir ise V2G operasyonu gerçekleştirirken enerjinin satıldığı parasal değerdir.

$$\text{Gider}_{\text{Alış}} = \sum_{h=1}^{N_h} \beta_h C_{\text{Alış}}(h) \frac{E_{\text{Net}_h}}{n_{\text{Şarj}}} \quad (4.6)$$

Yukarıdaki denklem amaç fonksiyonunun bir kısmını ifade eder ve N_h değeri burada toplam zaman aralığı sayısı olup; çalışmada çözülen optimizasyon probleminde bu değer 12 zaman aralığı olarak belirlenmiştir. $C_{\text{Alış}}$ EPDK tarafından belirlenen enerji alış fiyatlandırmasını, E_{Net} zaman aralığındaki toplam enerji değişimini ve $n_{\text{Şarj}}$ ise şarj ekipmanlarında oluşacak kayıplardan kaynaklanan toplam verimi ifade eder. Burada β değeri bir katsayıdır ve şu mantıkla çalıştırılır; enerjinin şebekeden satın alındığı yani şarj periyotlarında bu değer 1 iken; puant yük ihtiyacında olduğu gibi araç içerisindeki enerjinin şebekeyi beslediği durumlar için bu değer 0 olarak belirlenir. Zira amaç fonksiyonu her bir döngüde birebir olarak çalıştırılır ve enerji satılırken alış maliyetinin sıfırlanması algoritma içerisinde bu şekilde sağlanmaktadır.

$$\text{Gelir}_{\text{Satış}} = \sum_{h=1}^{N_h} \alpha_h \eta_{\text{deşarj}} C_{\text{Satış}}(h) |E_{\text{net}_h}| \quad (4.7)$$

Amaç fonksiyonunun diğer yarısında ise $C_{\text{Satış}}$ değeri EPIAŞ tarafından GİP ile belirlenen enerji satış fiyatlarını; α değeri tıpkı β gibi fakat tersi yönde çalışan katsayıyı ifade etmektedir. Yani puant yük zamanlarında α 1 iken gece saatlerinde araçlar şarj edilirken herhangi bir gelir elde edilmeyeceğinden denklemi sıfırlamak adına bu değer 0 olarak belirlenir. Ayrıca enerji fiyatlandırması alış ve satış

sürelerinde zamana göre farklılık gösterdiği için C değeri zaman aralığının bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır.

Zaman aralığındaki enerji değişimi aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir:

$$E_{Net_h} = \sum_{j=1}^{N_{EV}} (E_{j,t+1} - E_{j,t}) \quad (4.8)$$

Optimizasyon probleminde batarya ve şarj ünitelerinin teknik kısıtlamalarına göre belirlenen sınır koşulları da aşağıda verilmiştir.

$$E_{min,j} \leq E_{j,t} \leq E_{max,j} \quad (4.9)$$

$$\Delta E_{j,h} \leq \Delta E_{max,j} \quad (4.10)$$

$$E_{j,t_{son}} \geq E_{istenen_j} \quad (4.11)$$

İlk sınır koşulu batarya State of Health (SoH) koşullarını korumak ve algoritma dahilinde %100 üzeri şarj edilerek aşırı şarjı engellemek için oluşturulan sınır koşuludur. Her araç için farklı değerler olarak belirlenerek algoritmaya işlenmiştir. İkinci sınır koşulu ise şarj istasyon altyapılarının güç aktarım sınırlarını belirler. Çalışmada 5 kWh ve 8 kWh olarak belirlenmiştir.

Son olarak 3. sınır koşulunda amaç çıkışta batarya şarj değerlerinin istenen değeri tutturmasını sağlamaktır zira araçların minimum %90 şarj doluluk oranı ile istasyondan alınması sınırlı bir menzile sahip EA'lar için hayati önem taşımaktadır. Çizelge 4.2'de çalışmada kullanılan her araç için üst ve alt limitler ile çıkışta istenen güç değerleri hesaplanarak verilmiştir.

Çizelge 4.2: Kullanılan EA'ların güç değerleri.

Araç Markası	Araç Modeli	En Düşük Şarj Değeri (kWh)	En Yüksek Şarj Değeri (kWh)	Çıkış Şarj Değeri (kWh)
BMW	I3	8,45	42,2	38
Tesla	Model S P85D	17	85	77
Nissan	Leaf	8	40	36
Ford	Focus Electric	6,7	33,5	30,2
Tesla	Roadster	11,2	56	50,4
Mitsubishi	I-MiEV	3,2	16	14,4
Renault	Fluence ZE	4,4	22	19,8

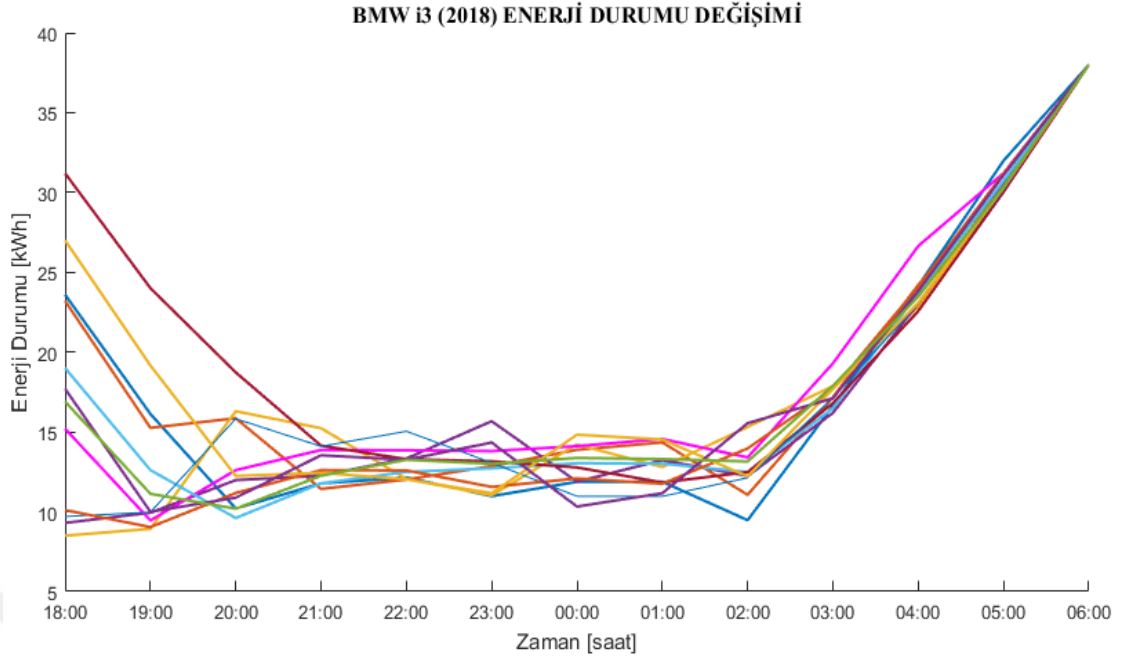
Chevrolet	Volt	3,7	18	16,6
Toyota	Prius	8,5	42,25	38
Mercedes- Benz	EQ	16	80	72

4.2.3 Optimizasyon Sonuçları ve Maliyete Etkisinin Analizi

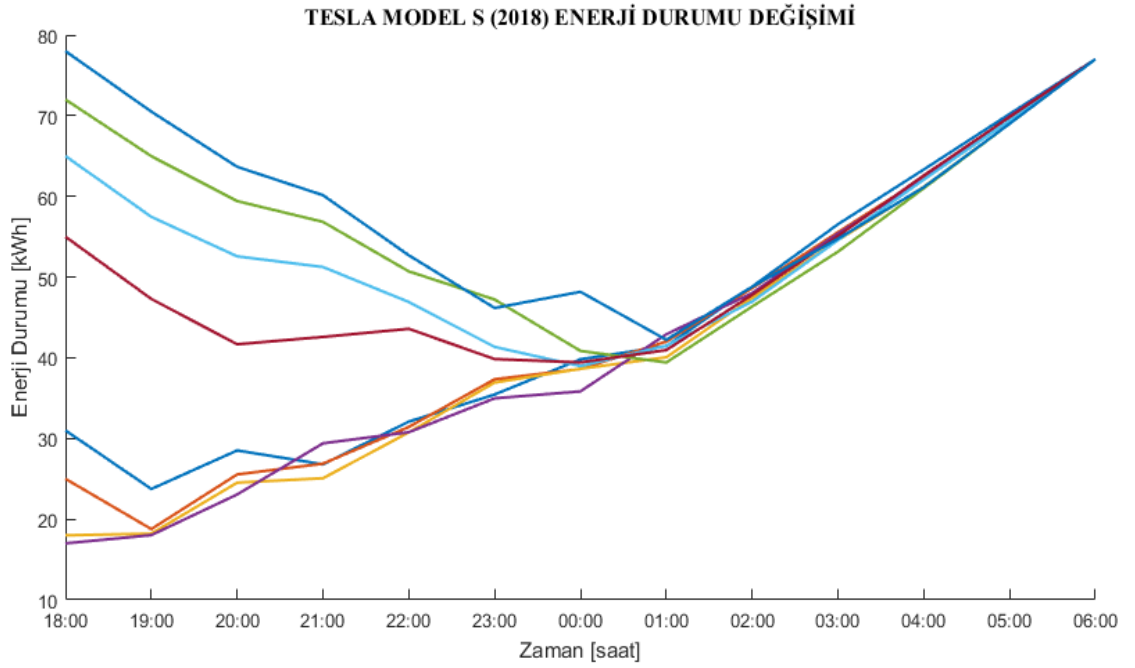
Amaç fonksiyonu ve sınır koşullarının probleme uygulanması MATLAB üzerinden GA çözücüsü aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Çift yönlü güç akışı sağlanmadığı ve optimizasyon gerçekleştirilmediği kontrolsüz şarj senaryosunda ilk şarj durumları belirlenmiş olan 200 adet araç şebekeye 18:00 itibarıyla bağlandıkları andan itibaren şarj işlemine başlamış; 5 kWh veya 8 kWh enerji aktarımı gerçekleştirilen ünitelere araç tipine göre yerleştirilmiş ve ortalama 3 ile 6 saat aralığında şarj işlemlerini tamamlamışlardır. Bu senaryoda günlük enerji maliyeti Türkiye’de piyasa fiyatları uyarınca yapılan analitik hesaplamalarla yaklaşık 2623 TL olarak bulunmuştur. Bu değer 1 aylık periyotta yaklaşık 78690 TL ve yıllık fatura bedeli düşünüldüğünde 957395 TL olarak yansıtacaktır. Ayrıca yüklenmenin neredeyse tamamı puant yük zaman aralığına denk geleceğinden ekipmanlara eklenecek aşırı yüklenme ve yol açacağı arızalar düşünüldüğünde ekonomik olarak çok daha büyük bir etkide bulunması kaçınılmazdır.

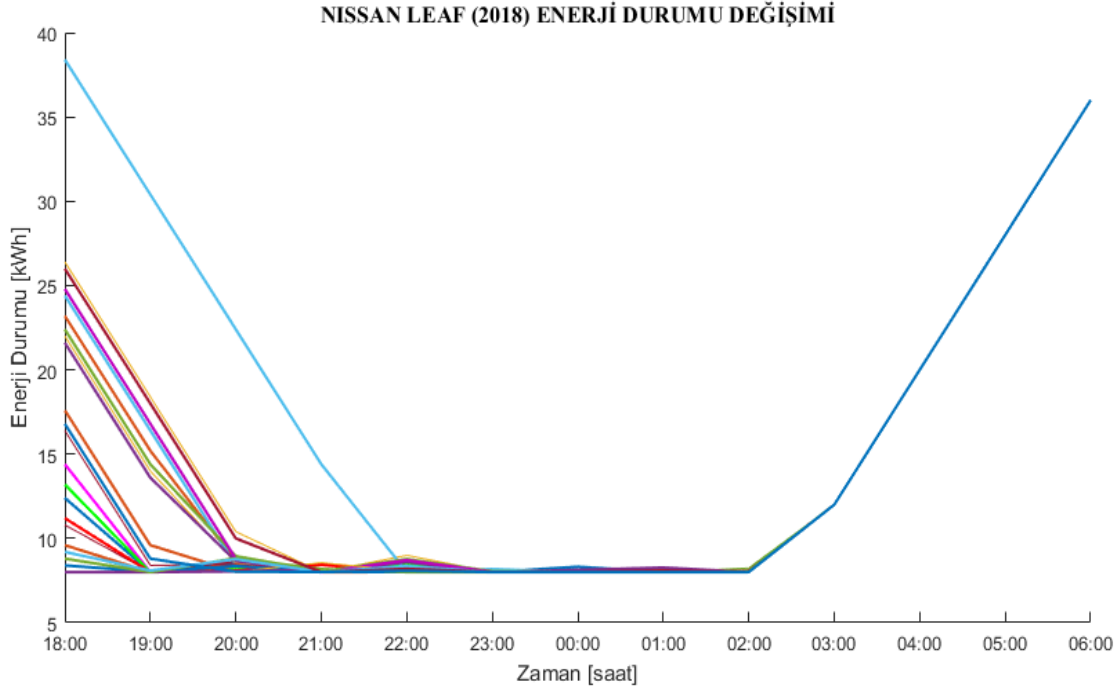
Optimizasyonun gerçekleştirilmesi ile enerji alış-satış grafikleri yön değiştirilmiş; puant yükte şebekeye destek olunarak enerjinin göreceli olarak daha ucuz olduğu saatlerde araçlar şarj edilmiştir. Şarj döngülerini gösteren grafikler her araç tipi için aşağıda verilmiştir.



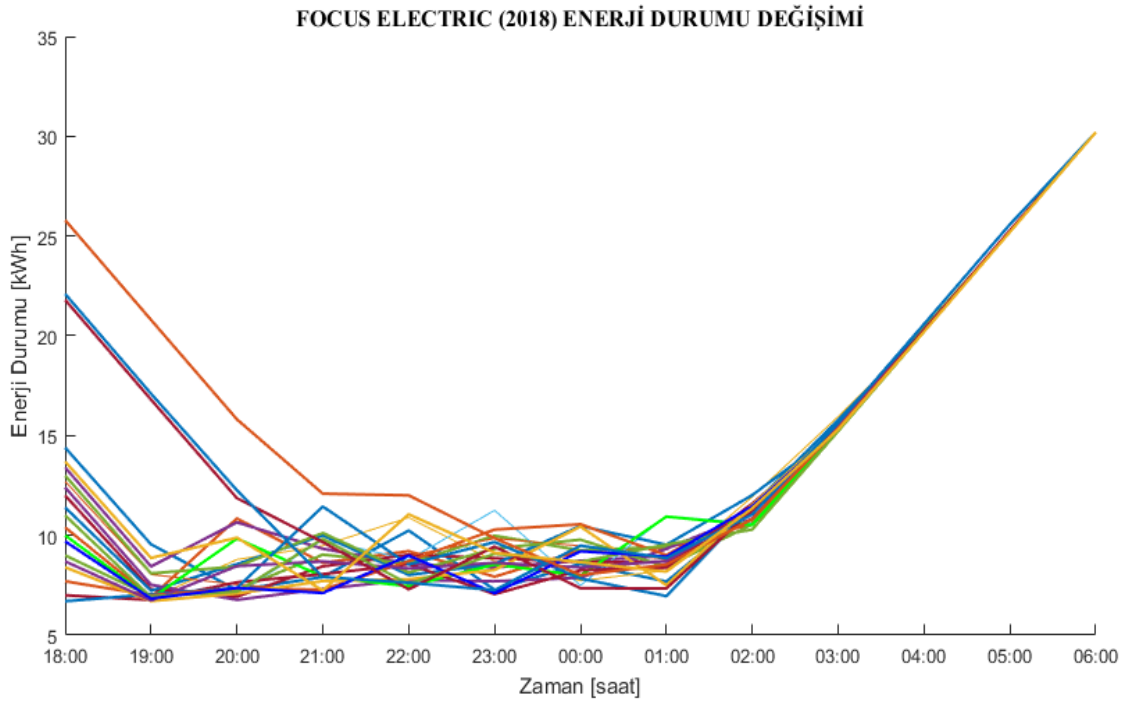
Şekil 4.1 : Otoparkta bulunan BMW i3 araçların saatlik şarj değişimleri.



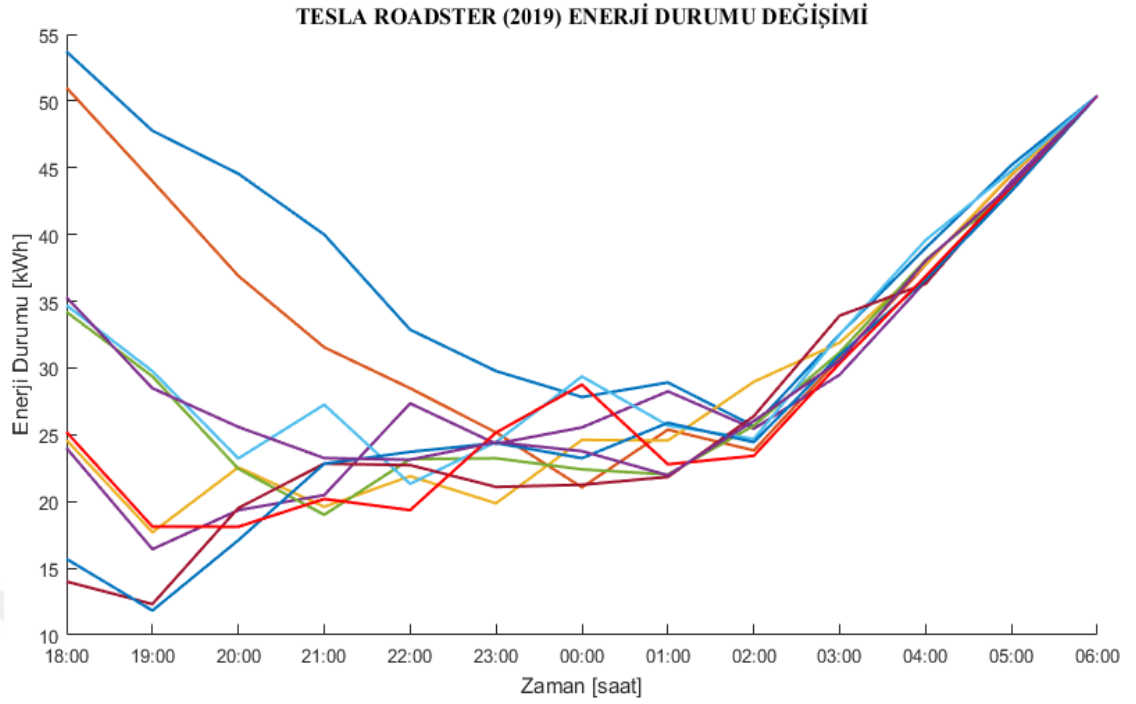
Şekil 4.2 : Otoparkta bulunan Tesla ModelS araçların saatlik şarj değişimleri.



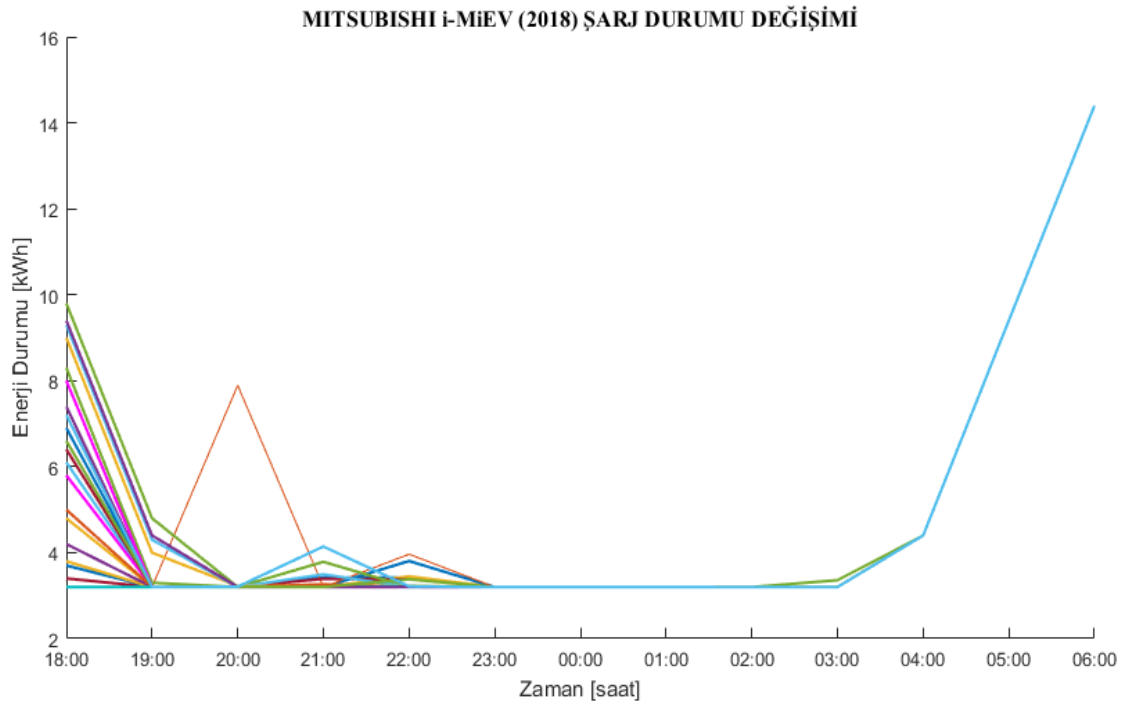
Şekil 4.3 : Otoparkta bulunan Nissan Leaf araçların saatlik şarj değişimleri.



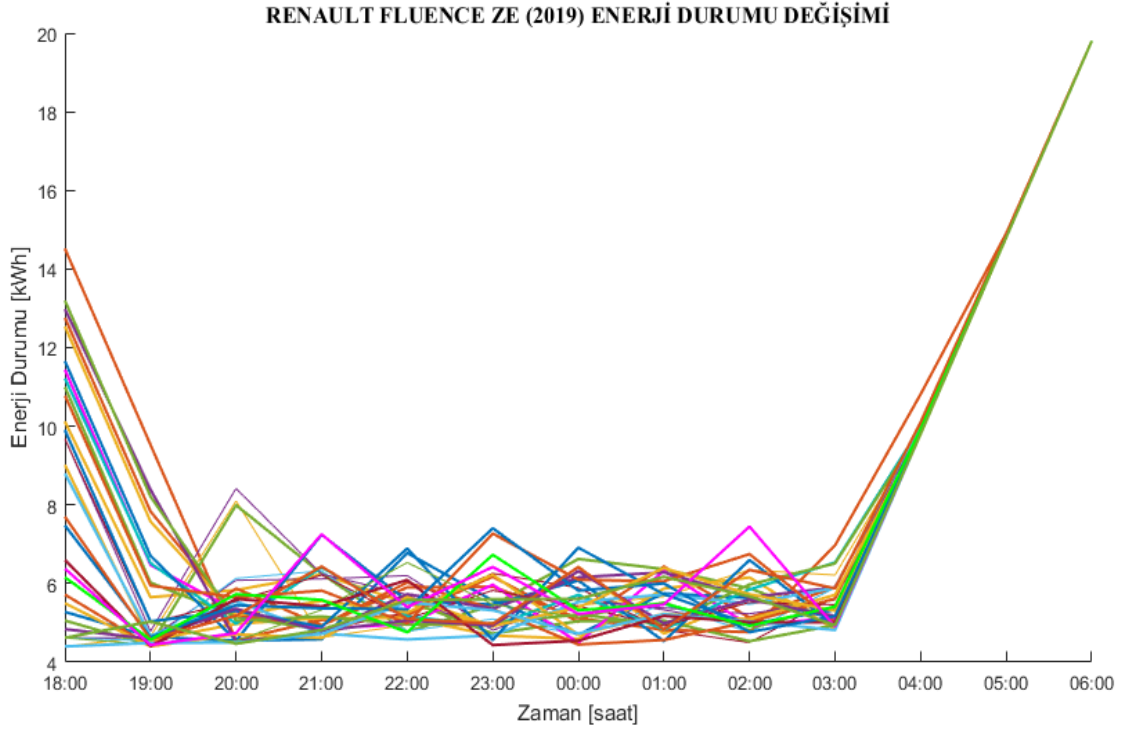
Şekil 4.4 : Otoparkta bulunan Focus Electric araçların saatlik şarj değişimleri.



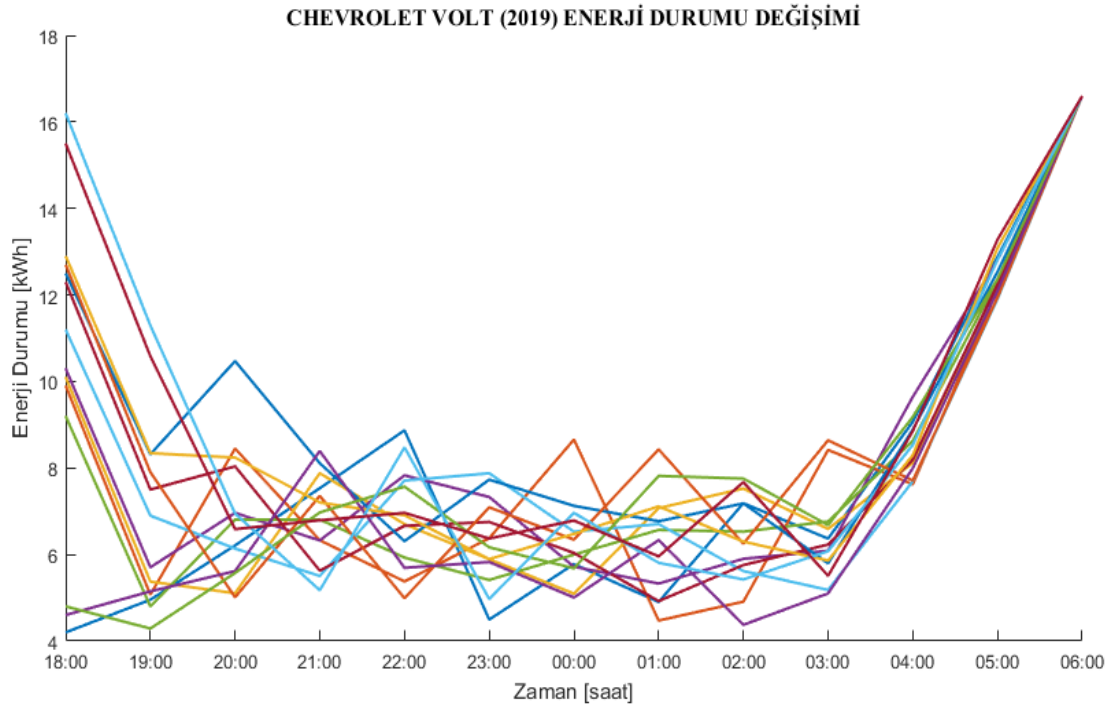
Şekil 4.5 : Otoparkta bulunan Tesla Roadster araçların saatlik şarj değişimleri.



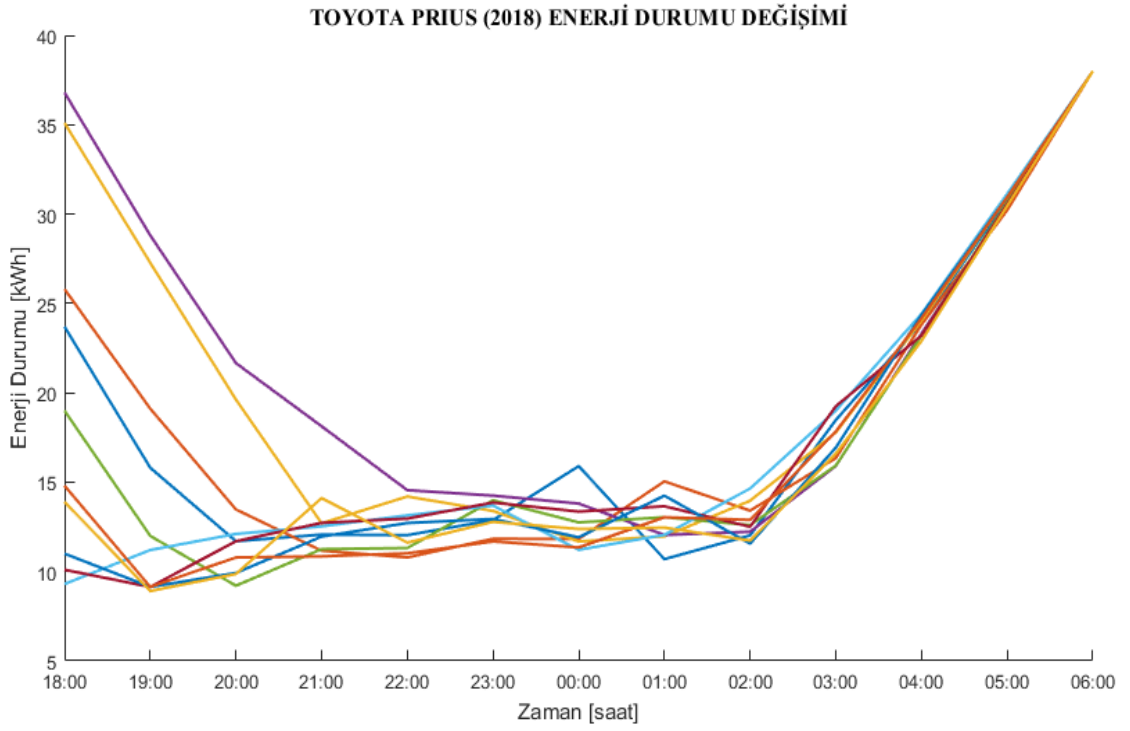
Şekil 4.6 : Otoparkta bulunan Mitsubishi i-MiEV araçların saatlik şarj değişimleri.



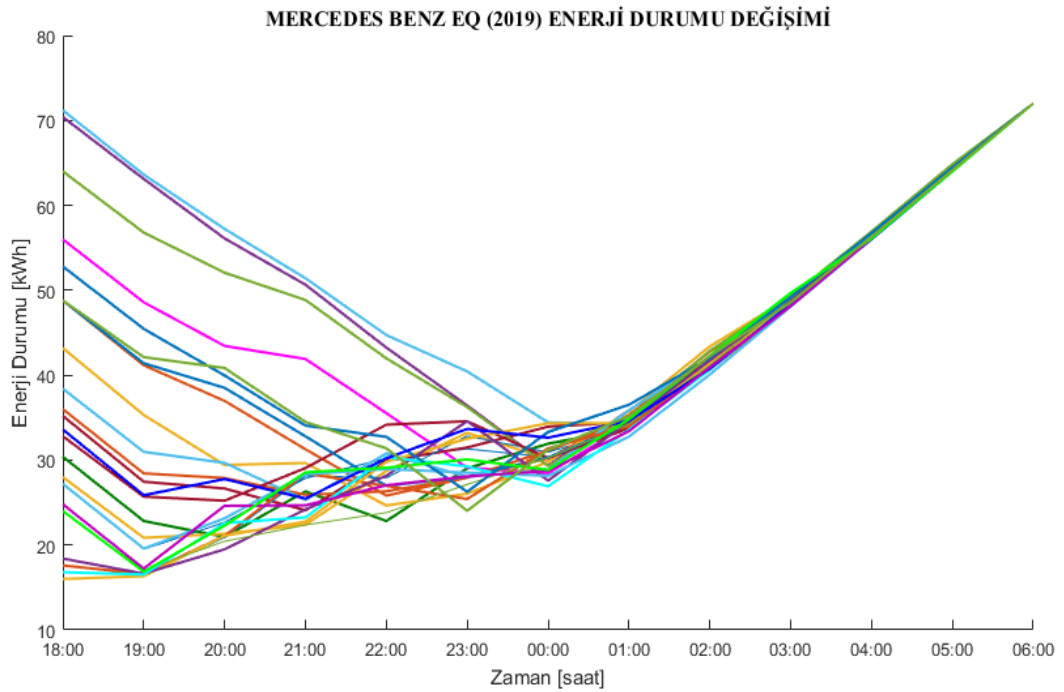
Şekil 4.7 : Otoparkta bulunan Renault Fluence ZE araçların saatlik şarj değişimleri.



Şekil 4.8 : Otoparkta bulunan Chevrolet Volt araçların saatlik şarj değişimleri.



Şekil 4.9 : Otoparkta bulunan Toyota Prius araçların saatlik şarj değişimleri.



Şekil 4.10 : Otoparkta bulunan Mercedes-Benz EQ araçların saatlik şarj değişimleri.

Araçların 12 saatlik şarj değişimlerinin gösterildiği şekillerde açıkça görülebilir ki tüm araçlara GA uygulanması ile yaklaşık 00:00'a kadar yani puant yük talebinin bulunduğu saatlerde bu araçlar şebekeyi beslemekte ve tarifinin değiştiği, talebin azaldığı andan itibaren araç bataryaları şarj edilmektedir. GA algoritma uygulanması ile araçların şarj maliyetlerinde oluşan değişim Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3: GA sonucu değişen enerji maliyetleri.

Araç Markası	Araç Modeli	Optimizasyon Öncesi Enerji Maliyeti (TL)	Optimizasyon Sonrası Enerji Maliyeti (TL)
BMW	I3	187,62	74,82
Tesla	Model S P85D	161,2	77,86
Nissan	Leaf	441,34	178,9
Ford	Focus Electric	263,81	126,9
Tesla	Roadster	173,37	67,9
Mitsubishi	I-MiEV	175,92	70,83
Renault	Fluence ZE	285,43	116,4
Chevrolet	Volt	71,13	26,56
Toyota	Prius	275,56	110,32
Mercedes- Benz	EQ	588,16	281,5

GA Optimizasyonu uygulanması ile 2.623 TL olan günlük şarj maliyeti 1.132 TL'ye düşürülmüştür. GA uygulandığı durumda aylık maliyet 33.960 TL, yıllık maliyet 413.180 TL mertebesine düşürülmüştür.

Böylelikle denilebilir ki; optimizasyon sonucunda maliyet %56,8 oranında azaltılmıştır. Buna ek olarak maliyetin çoğu puant yük tarifesinin uygulandığı zaman aralığında şebekeye yüklenilmeyip mevcut gücün aktarılmasıyla azaltıldığı için; şebekeden kritik çalışma koşullarında çekilen aktif güç de azaltılmıştır ve bu durum AG dağıtım şebekesi ekipmanlarının korunmasına katkı sağlamıştır.





5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada EA teknolojisi ile paralel olarak yaygınlaşmakta olan şarj istasyonlarının AG dağıtım şebekesine olan etkisi incelenmiş; bu etkinin en aza indirilmesi için çözümler önerilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak EA'lar ile ilgili bilinmesi gereken birtakım teknik bilgiler verilmiş; V2G sistem koşulları tanıtılmıştır. Ardından şarj istasyonları ile alakalı elektriksel büyüklüklere ve dünya genelinde tabi olunan standartlara yer verilmiş; EA piyasasının geleceği ile ilgili görüş ve tahminler açıklanmıştır. Türkiye'de ilgili yasal düzenlemeler, mevzuatlar ve teşviklere değinilerek EA yaygınlaşmasının önünün açılması noktasında görüşler bildirilmiştir.

EA piyasası ülkemizde henüz gelişimini tamamlamaktan çok uzaktır ve yapılan çalışmaların birçoğu odak noktasına batarya teknolojisini, elektrik motoru kullanımını ve yine iç ekipmanlarla alakalı teknik detayları almaktadır. Fakat unutulmamalıdır ki EA yaygınlaşması hali hazırda oldukça büyük bir talep gücü bulunan AG dağıtım şebekesi için oldukça büyük bir yüklenme sıkıntısı meydana getirecektir zira EA'ların sahip olduğu düşük menzil sürekli şarj ihtiyacını doğuracaktır. Hem kullanıcıların ihtiyaçlarına cevap verebilecek hem de şehir şebekesini en az zorlayacak şekilde şarj istasyonları kurulması ve konumlandırılması büyük bir önem taşımaktadır.

Ulaştırma sektöründe çok eski zamanlardan beri var olan EA'ların sayısının sürekli artması ilk olarak fosil yakıtların tükenmekte olmasına, daha sonra da tüm dünyada çevre bilincinin her geçen gün artmasına bağlıdır. Elektrik enerjisi sektörünün de bu dönüşüme ayak uydurması ve günümüzün en önemli teknolojilerinden biri olan akıllı şebekelerden etkin bir şekilde faydalanması gerekmektedir. Alçak gerilim dağıtım şebekesinden talep edilen güç EA kullanımına bağlı olarak arttıkça şebeke dinamikleri de kaçınılmaz olarak değişecektir. Bu noktada sürücü davranışlarının,

profillerinin, altyapısal parametrelerin, enerji fiyatlandırmasının ve batarya teknolojisine bağı her türlü elektriksel büyüklüğün anlık olarak takip edilmesi, izlenmesi ve iletişime geçilmesi ancak ve ancak akıllı şebeke uygulamalarıyla mümkün kılınacaktır. Otomotiv endüstrisinin geleceği üzerine yayınlanan sektör raporları incelendiğinde; elektrikli araçların (EA) teknolojisi artık dünyanın dikkatini çeken birincil konulardan biri haline gelmiştir ve ülkeler bu araçların kullanımı ile ilgili ciddi adımlar atmaktadır. EA teknolojisi ile ayrılmaz bir bütün olarak incelenmesi gereken şarj istasyonu kurulumları ise gün geçtikçe daha çok bölgeye nüfuz etmekte ve günlük yaşamda sıkça rastlanan bir hale gelmiştir.

EA şebekeye bir yük olarak nüfuz etmesi, belirlenen ve gerçek parametrelere yer veren bir senaryo aracılığıyla modellenerek analitik olarak maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Akabinde değerler MATLAB üzerinden GA çözücüsüne aktarılarak bu maliyetin en iyileştirilerek azaltılması sağlanmıştır. Unutulmamalıdır ki bu yalnızca bir maliyet optimizasyonu değil, aynı zamanda etkili sonuçlar elde edilebilen bir güç optimizasyonudur zira şebeke üzerinden alınan gerçek fiyatlar güç talebi ve yüklenme grafiklerini birebir yansıtan doğru orantılı fiyatlardır.

Bu senaryo doğrultusunda öncelikle özellikle Türkiye pazarında satışı gerçekleştirilen farklı marka ve modellerden toplam 200 adet EA ele alınmış; elektriksel büyüklükleri ve batarya kapasiteleri kaydedilmiştir. Akabinde EPDK ve EPIAŞ tarafından yayınlanan gerçek zamanlı enerji fiyatları alınarak yük modeline uygulanıp, maliyet tablosunun elde edilmesi sağlanmıştır.

Optimizasyon algoritması oluşturulurken şarj istasyonları, üniteler ve EA bataryalarının gerektirdiği kısıtlamalar da dikkate alınarak sınır koşulları oluşturulmuş; bu koşullar çerçevesinde de makul bir amaç fonksiyonu meydana getirilmiştir.

Bu sınır koşullarını belirlemek amacı ile şarj/deşarj verimi, bir şarj ünitesinin tipine bağılı olarak üniteden birim zamanda alınabilecek maksimum güç kapasitesi ve kullanıcı istekleri göz önünde bulundurulmuştur.

Yapılan optimizasyonlar sonucunda şarj maliyeti %56,8 oranında azaltılmıştır. Bu da EA'lardan gelen yüklerin dağıtım şebekesini zorlamayacak şekilde bir strateji ile şebekeye katılımının sağlandığı anlamına gelir.

Gelişen teknoloji ile EA şarj istasyonları yaygınlaştırılırken öncelikli olarak yapılması gereken bu teknolojinin akıllı şebekelerden ayrı olarak düşünülmeceğidir. Bu kapsamda ilk olarak her bir şarj istasyonunun V2G operasyonlara yer verebilecek donanımda kurulması gerekmektedir. Böylece şebeke ekipmanlarının korunması büyük ölçüde sağlanmış olacaktır.

Şebekenin korunması için alınması gereken bir diğer önlem ise şarj istasyonu konumlandırılırken bölgedeki diğer yüklerin kesinlikle göz önüne alınması gerekliliğidir. Kullanıcı tercihleri elbette şarj istasyonlarının oldukça merkezi olmasına yönlendirilecektir fakat şebekeye ek maliyet getirecek, hatta şebekenin güvenilirliğini zedeleyecek uygulamalardan kaçınılması büyük bir önem arz etmektedir.





KAYNAKLAR

- [1] **Xu, F. & Yu, G.** (2009). Tentative analysis of layout of electric vehicle charging stations, *East of China Electric Power*, 10:1678-1682.
- [2] **Kempton, W. & Tomic, J.** (2007). Vehicle-to-grid fundamentals: Calculating capacity and net revenue, *Journal of Power Sources*, (Vol. 166, pp.549-566). April 15.
- [3] **Kempton, W. & Tomic, J.** (2005). Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy, *Journal of Power Sources*, (Vol. 144, pp.549-566). June 1.
- [4] **Perujo, A. & Ciuffo, B.** (2010). The introduction of electric vehicles in the private fleet: Potential impact on the electric supply system and on the environment. A case study for the Province of Milan, Italy, *Energy Policy*, (Vol. 38). August.
- [5] **Parks, K., Denholm, P. & Markel, T.** (2007). Cost and Emissions Associated with Plug-in Hybrid Vehicle Charging in the Xcel Energy Colorado Service Territory, *Technical Report, National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, May.
- [6] **International Transport Forum** (2010). Reducing transport greenhouse gas emissions – Trends & Data”, *OECD/ITF*, Retrieved from <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/10GHGTrends.pdf>
- [7] **World Resources Institute** (2014, October 10). Seeing is believing: Creating a new climate economy in the United States,. Retrieved from: <https://www.wri.org/events/2014/10/seeing-believing-creating-new-climate-economy-united>
- [8] **Yagcitekcin, B., Uzunoglu, M., Karakas, A., Vurgun, M.** (2013). Assesment of a Car Park with Electric Vehicles, *4th International Conference on Power Engineering: Energy and Electrical Drives*.
- [9] **Celli, G., Pilo, F., Pisano, G. & Soma, G. G.** (2012). Particle Swarm Optimization for Minimizing the Burden of Electric Vehicles in Active Distribution Networks, *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, July 22-26.
- [10] **Tomic, J. & Kempton, W.** (2007). Using fleets of electric-drive vehicles for grid support, *Journal of Power Sources*, (Vol. 128, pp. 459-468). June 1.
- [11] **Short, W. & Denholm, P.** (2006). Preliminary assessment of plug-in hybrid electric vehicles on wind energy markets, *National Renewable Energy Report*, NREL TP-620-39729, (pp. 41). April.

- [12] **Hutson C., Venayagamoorthy, G.K. & Corzine, K. A.** (2008). Intelligent scheduling of hybrid and electric vehicle storage capacity in a parking lot for profit maximization in power grid transactions, *2008 IEEE Energy 2030 Conference*, Nov 17-18.
- [13] **Sulzberger, C.** (2004). An early road warrior: Electric vehicles in early years of the automobile, *IEEE Power Energy Mag.*, pp.6671.
- [14] **Tübitak** (2003). Elektrikli araçlar, *Enerji Sistemleri Ve Çevre Araştırma Enstitüsü*, Gebze.
- [15] **Lopes, J. A. P., Soares, F., J. & Almeida, P., M., R.** (2011). Integration of electric vehicles in electric power system, *Proceedings of the IEEE*, (Vol.99, pp. 168-183). January.
- [16] **Andersson, S. L., Elofsson, A., K., Galus, M., D., Goransson, L., Karlsson, S., Johnsson, F. & Andersson, G.** (2010). Plug-in hybrid electric vehicles as regulating power providers: Case studies of Sweden and Germany, *Energy Policy*, (Vol. 38, pp. 2751-2762), June.
- [17] **Sioshansi, R., Fagiani, R. & Marano, V.** (2010). Cost and emissions impacts of plug-in hybrid vehicles on the ohio power system, *Energy Policy*, (Vol.38, pp. 6703-6712). November.
- [18] **Parks, K., Denholm, P. & Markel, T.** (2007). Costs and emissions associated with plug-in hybrid electric vehicle charging in the Xcel energy Colorado Service Territory, *Technical Report*.
- [19] **Su, W. & Chow, M.** (2011). Performance evaluation of a PHEV parking station using particle swarm optimization, *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, July 24-29.
- [20] **Bendall, C. A. & Peterson, W. A.** (1996). An EV on-board battery charger, *APEC'96*, (Vol.1, pp. 26-31).
- [21] **Hua, C. C. & Lin, M. Y.** (2000). A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles, *2000 IEEE International Symposium*, (Vol.1 pp. 135-140).
- [22] **Masserant, B., J. & Stuart, T.A.** (1997). A maximum power transfer battery charger for electric vehicles, *Aerospace and Electronic Systems IEEE Transactions*, (Vol.33 pp. 930-938).
- [23] **Khaligh, A. & Li, Z.** (2010). Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: state of the art, *Vehicular Technology, IEEE Transactions*, (Vol.59., pp.2806-2814).
- [24] **Maggetto, G. & Mierlo, Van** (2000). Electric and electric hybrid vehicle technology: A Survey, *Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles IEEE Seminar*, (pp. 1-11).
- [25] **Demir, A.** (2011). Güncel ve gelecekteki otomobil ve otopark trendleri, *Uluslararası Otopark Politikaları ve Uygulamaları Sempozyumu*, Mayıs 25.
- [26] **Cogen, J.** (2010). Report of the alternative fuel vehicle infrastructure working group, *Oregon State Report*, Oregon.

- [27] **Boulanger, A.G., Chu, A.C., Maxx S. & Waltz D.L.** (2011). Vehicle electrification: status and issues”, *Proceedings of the IEEE*, (Vol. 99, No. 6).
- [28] **Hagbin, S., Khan, K., Lundmark, S., Alaküla, M., Carlson, O.& Leksell, M.** (2010). Integrated chargers for EV’s and PHEV’s: examples and new solutions, *The XIX International Conference on Electrical Machines ICEM 2010*, October 25, Rome, Italy.
- [29] **Society of Automotive Engineers** (2012). SAE J1772 - Electric Vehicle and Plug in Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler, Ekim.
- [30] **International Electrotechnical Commission** (2011). IEC 61851-1 - Electric vehicle conductive charging system - Part 1: General requirements, *Ağustos*.
- [31] **CHAdeMO Association** (2011). Technical specifications of quick charger for the electric vehicle, Kasım.
- [32] **National Renewable Energy Laboratory** (2012). Plug-in Electric Vehicle Handbook, U.S Department of Energy, Nisan.
- [33] **Güner, S.** (2018). *Elektrikli araç otoparklarının dağıtım sistemi güvenilirliğine etkilerinin incelenmesi* (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [34] **Polat, Ö.** (2015). *Elektrikli araç şarj yüklerinin rastlantısal benzetimi ve alçak gerilim dağıtım şebekesine etkisi* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [35] **International Energy Agency** (2011). Technology Roadmap; Electric and plug-in hybrid electric vehicles, Paris.
- [36] **Falt, E. & Simpson, D.** (2007). Climate Action, Londra: Sustainable Development International.
- [37] **Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu** (2014). Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği, 2 Ocak.
- [38] **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı** (2013). Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliğinde Değişiklik, 8 Eylül.
- [39] **Elektrik Piyasası Düzenleme Kurumu** (2017). Elektrikli Araçlar Şarj İstasyonuna İlişkin Usul ve Esaslar.
- [40] **Yağcıtekin, B.** (2014). *Elektrikli araç şarj altyapısı tasarımı ve akıllı şarj sisteminin geliştirilmesi* (Doktora Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] **Gómez J. C., Member S. & Morcos M. M.** (2003). Impact of EV Battery Chargers on the Power Quality of Distribution Systems, *IEEE Trans. Power Deliv.*, 18(3):975–981.
- [42] **Sortomme, E. & Hindi, M.M.** (2011). Coordinated charging of plug-in hybrid electric vehicles to minimize distribution system losses, *IEEE Transactions on Smart Grid*, (Vol. 2, pp. 186-193).

- [43] Taylor, J., Maitra, A., Alexander, M., Brooks, D. & Duvall, M. (2009). Evaluation of the impact of plug-in electric vehicle loading on distribution system operations, *Power & Energy Society General Meeting, IEEE*.
- [44] Clement-Nyns, K., Haesen, E. & Driesen J. (2010). The Impact of charging plug-in hybrid electric vehicles on a residential distribution grid, *IEEE Transactions on Power Systems*, (Vol.25, pp. 371-380).
- [45] Liu, R., Dow, L. & Liu, E. (2011). A Survey of PEV Impacts on Electric Utilities, *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference*, Anaheim, CA, USA.
- [46] Putrus, G. A., Suwanapongkarl, P., Johnston, D., Bentley, E. C. & Narayana, M. (2009). Impact of electric vehicles on power distribution networks, *2009 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, September 7-10, Dearborn, USA.
- [47] Elmoudi, A., Lehtonen, M. & Normdan, H. (2006). Effect of harmonics on transformers loss of life, *IEEE International Symposium on Electrical Insulation*.
- [48] Blumsack, S., Samaras, C. & Hines, P. (2008). Long-term electric system investments to support Plug-in Hybrid Electric Vehicles, *Power and Energy Society General Meeting*.
- [49] Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu, (2019). 01.04.2019 tarihinden itibaren uygulanacak vergi, fon ve pay hariç tarifeler, Erişim adresi <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>
- [50] EPIAŞ Şeffaflık Platformu (2019). GİP Ağırlıklı Ortalama Fiyat, Erişim adresi <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/piyasalar/gip/gip-agirlikli-orta>
- [51] Lopez L., Carter M. W. & Gendreau M. (1998). The Hot Strip Mill Production Scheduling problem: A Tabu Search Approach, *European Journal of Operational Research*, (Vol. 106, pp. 317-335).
- [52] Chelouah R. & Siarry P. (2000). Tabu Search Applied to Global Optimization, *European Journal of Operational Research*, (Vol. 123, pp. 256-270).
- [53] Gürbüz, Ö. (2015). *Tabu Arama Algoritmasının Kuyruk Problemine Uygulanması* (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 392722.
- [54] Garai G. & Chaudhuri B. B. (2013). A Novel Hybrid Genetic Algorithm With Tabu Search for Optimizing Multi-Dimensional Functions and Point Pattern Recognition, *Information Sciences*, (Vol. 221, pp. 28-48.)
- [55] Korkmaz, M. (2013). *Kesirli Dereceden PID Denetleyicilerin tasarımı Uygulanması ve Karşılaştırılması* (Yüksek lisans tezi), Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim dalı, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [56] Valle Y, Venayagamoorthy G.K., Mohagheghi S., Hernandez J.C. & Harley R.G. (2008). Particle Swarm Optimization: Basic Concepts, Variants

and Applications in Power Systems, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, (Vol. 12, Issue 2, pp. 171-195).

- [57] **Holland, J. H.** (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems : An Introductory Analysis With Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence Complex Adaptive Systems.* MIT Press, (pp.120-210).
- [58] **Mohsenzadeh, A., Pang, C. & Pazouki, S.** (2015). Optimal Siting and Sizing of Electric Vehicle Public Charging Stations Considering Smart Distribution Network Reliability, *IEEE Conference Publications*.
- [59] **BMW Media Information** (2018). Technical specifications BMW i3 (120Ah), Retrieved from <https://www.bmw.am/en/all-models/bmw-i/i3/2017/technical-data.html#tab-0>.
- [60] **Tesla Motors** (2018). Technical Specifications Tesla Model S, Retrieved from <https://www.tesla.com/sites/default/files/tesla-model-s.pdf>.
- [61] **Nissan resmi internet sitesi** (2019). Prices and technical specifications Nissan Leaf, Erişim adresi: <https://www.nissan.co.uk/vehicles/new-vehicles/leaf/prices-specifications.html#grade-LEAFZE1A-0|specs>.
- [62] **Ford Motor Company** (2018). Focus Electric: Technical specifications, Retrieved from: <https://www.ford.com/services/assets/Brochure?bodystyle=Hatchback&make=Ford&model=Focus%20Electric&year=2018>.
- [63] **Tesla Motors** (2019). Technical Specifications Tesla Roadster, Retrieved from https://www.tesla.com/sites/default/files/blog_attachments/charge.pdf.
- [64] **Mitsubishi resmi internet sitesi** (2019). Technical specifications i-MiEV, Erişim adresi: <https://www.mitsubishi-motors.com/en/showroom/i-miev/specifications/>.
- [65] **Group Renault** (2011). Fluence and Fluence ZE: Life cycle assessment, Retrieved from: <https://group.renault.com/wp-content/uploads/2014/09/fluence-acv-2011.pdf>, October.
- [66] **Chevrolet resmi internet sitesi** (2019). Volt for sale: 2019 Volt pricing and technical specs, Erişim adresi: <https://www.chevrolet.com/electric/volt-plug-in-hybrid/build-and-price/features/trims/table?section=Highlights§ion=Exterior§ion=Mechanical&styleOne=401852>.
- [67] **Electric Vehicle Database** (2019). Toyota Prius plug-in hybrid price and specifications, Erişim adresi: <https://ev-database.uk/car/1059/Toyota-Prius-Plug-in-Hybrid>.
- [68] **Electric Vehicle Database** (2019). Mercedes EQC 400 4MATIC price and specifications, Erişim adresi: <https://ev-database.uk/car/1135/Mercedes-EQC-400-4MATIC>.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Hazal ÇİFTÇİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 20.08.1993 İSTANBUL
E-posta : ciftcihaz@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği.

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Ford Otosan, Test Strateji ve İmalat Mühendisi – 8 Ay

YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

- Barış, Y., Çiftçi, H., Ayan., O., & Türkay, B., E., “Elektrikli Araçların Dağıtım Şebekesine Etkisinin Maliyet Analizi ve Genetik Algoritma ile Optimizasyonu”, CIGRE Türkiye, (2018, Kasım).