



SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi Hakkında

European Climate Foundation (ECF), Agora Energiewende ve Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi (IPM) tarafından kurulan SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, yenilikçi bir enerji dönüşüm platformu olarak enerji sektörünün karbonsuzlaştırılmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda Türkiye'deki enerji sektörünün politik, teknolojik ve ekonomik yönleri üzerine yapılan tartışmalarda sürdürülebilir ve kabul görmüş bir ortak zemine olan ihtiyacı karşılamayı hedeflemektedir. SHURA gerçeklere dayalı analizler ve en güncel veriler ışığında, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji üzerinden düşük karbonlu bir enerji sistemine geçişi desteklemeyi odağına almaktadır. Farklı paydaşların bakış açılarını göz önünde bulundurarak bu geçişin ekonomik potansiyeli, teknik fizibilitesi ve ilgili politika araçlarına yönelik bir anlayışın oluşturulmasına yardımcı olmaktadır.

Yazarlar

Değer Saygın (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi), Osman Bülent Tör (EPRA Enerji), Saeed Teimourzadeh (EPRA Enerji), Mehmet Koç (EPRA Enerji), Julia Hildermeier (RAP), Christos Kolokathis (RAP)

Teşekkürler

Elektrikli araçların gelişimi ile Türkiye dağıtım şebekesine olası etkilerinin araştırılması projesi önerisini getiren, kabuller ve analizlerde çalışmaya yorumları ile katkı veren başta Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi (EVÇED) ekibi olmak üzere Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığımıza değerli katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışmada uygulanan metodolojinin geliştirilmesi ve varsayımların belirlenmesinde destek veren Enerjisa Enerji A.Ş., E-Şarj EA Şarj Sistemleri A.Ş. ve Başkent Elektrik Dağıtım A.Ş. ekiplerine teşekkür ederiz. Bu raporun taslak sonuçları Aralık 2018 ve Mayıs 2019'da EVÇED ekibi tarafından iki paydaş danışma toplantısında değerlendirilmiştir. Ayrıca 8 Ağustos 2019 tarihinde SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi ve EVÇED ortaklığında organize edilen kamuya açık paydaş danışma toplantısında çalışmanın sonuçlarını değerlendiren enerji ve ulaştırma sektörünün değerli paydaş gruplarına teşekkür ederiz. Raporu değerlendiren ulusal ve uluslararası uzmanlar Arkin Akbay (Turcas), Cem Bahar ve Ceren Sümer (E-Şarj EA Şarj Sistemleri A.Ş.), Francisco Boshell (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı), Oytun Babacan (Imperial College London), Özlem Gemici (Enerjisa Enerji A.Ş.), Murat Şenzeybek ve Peter Mock (Uluslararası Temiz Ulaştırma Konseyi) ve Tuğçe Yüksel'e (Sabancı Üniversitesi) değerli yorumları için teşekkür ederiz. SHURA Yönlendirme Komitesi üyeleri Philipp Godron ve Selahattin Hakman'ın değerli yorumları sonrasında, SHURA ekibinden Hasan Aksoy ve Tuğçe Eruydaş'ın destekleriyle rapor nihai haline getirilmiştir.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, ECF'in bu rapor için sağladığı cömert finansmana müteşekkirdir.

Bu rapor, www.shura.org.tr sitesinden indirilebilir.

Daha ayrıntılı bilgi almak veya geri bildirimde bulunmak için info@shura.org.tr adresinden SHURA ekibiyle temasa geçiniz.

Tasarım

Tasarımhane Tanıtım Ltd. Şti.

Baskı

Fabrika Basım ve Tic. Ltd. Şti.

Telif Hakkı © 2019 Sabancı Üniversitesi

ISBN 978-605-2095-75-1

Sorumluluk Reddi

Bu rapordaki yorumlar ve çıkarılan sonuçlar yalnızca yazarlara aittir ve SHURA'nın resmi görüşünü yansıtmamaktadır.



**Türkiye ulaştırma sektörünün
dönüşümü:** Elektrikli araçların Türkiye
dağıtım şebekesine etkileri





Şekiller Listesi	4
Tablolar Listesi	6
Kısaltmalar Listesi	6
Yönetici Özeti	9
1. Giriş	13
2. Türkiye ulaştırma sektörünün mevcut durumu	17
2.1 Binek araç piyasası	17
2.2 Düşük karbonlu ulaştırma sektörüne geçiş mevzuatının çerçevesi	18
2.3 Türkiye’de elektrikli araçlar: piyasalar ve politikalar	20
2.4 Türkiye’de elektrik fiyatlandırma stratejileri	25
3. Küresel elektrikli araç piyasasındaki güncel gelişmeler	29
3.1 Piyasadaki gelişmeler	29
3.2 Öngörüler	30
3.3 Elektrikli araçların tüketicilerin beğenisine sunulmasını hızlandıran politikalar	31
3.4 Şarj altyapısı	31
3.5 Akıllı şarj yaklaşımı	33
3.5.1 Elektrik tarife yapısı	34
3.5.2 Teknoloji	35
3.5.3 Altyapı kurulumu	35
4. Metodoloji	37
4.1 Piyasadaki genel görünüm	37
4.2 Dağıtım şebekelerinin modellenmesi	40
4.2.1 Seçilmiş pilot dağıtım bölgeleri	40
4.2.2 Referans Model	44
4.2.3 Elektrikli araç şarj noktalarının pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı	48
4.2.4 Elektrikli araçların günlük şarj şekilleri	49
4.2.5 Şehirlerarası otoyollardaki hızlı şarj istasyonları	52
4.5 Şebeke analizi ve anahtar performans endeksleri	53
4.6 Duyarlılık analizleri	55
5. Sonuçlar ve değerlendirme	59
5.1. Dağıtım şebekelerindeki etkiler	59
5.2. Otoyollarda hızlı şarjın etkisi	67
5.3. Elektrikli araç şarj noktalarının kapasite kullanım faktörleri	69
5.4. Duyarlılık analizleri	72
5.5 Sonuçların tartışılması	75
5.5.1 Dağıtım şebekelerine olan etki	75
5.5.2 Akıllı şarj	76
5.5.3 Şarj altyapısı	78
5.5.4 Elektrikli araç piyasasının geliştirilmesi	79
5.5.5 Elektrikli araçların faydaları	80

6. Türkiye'nin ulaştırma sektörünün dönüşümü için öncelik alanları	81
Referanslar	87
Ek 1: Gereken OG hattı yatırım miktarının hesaplanması için metodoloji	92
Ek 2: Elektrikli araç şarj noktalarının pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı	95
Ek 3: Paydaş danışma toplantı notları	100

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Toplam nihai enerji tüketiminin ve enerjiyle ilişkili CO ₂ emisyonlarının dağılımı, 2017/18	13
Şekil 2: Çalışmada ele alınan senaryolar ve durumlar	16
Şekil 3: 1990 ve 2015 yılları arasında G20 ülkeleri arasında ulaşım sektöründe CO ₂ emisyonlarına bağlı değişim	18
Şekil 4: Türkiye'de elektrikli araç ve hibrit araç satışlarının değişimi, 2013-2018	23
Şekil 5: Düzenlenmiş perakende tarife yapısı	26
Şekil 6: Akıllı şarjın elektrik yük eğrisi üzerindeki etkileri	34
Şekil 7: Metodolojinin önemli basamakları	37
Şekil 8: 2030 yılında ülkedeki toplam elektrikli araç sayısı tahminleri	39
Şekil 9: Pilot bölgelerdeki tüketicilerin dağılımı, 2017	41
Şekil 10: Pilot bölgelerin Türkiye'nin nüfus ve elektrik enerjisi tüketimindeki payı	41
Şekil 11: Akköprü TM bölgesi - Primer ve sekonder şebekeler, 2018	45
Şekil 12: Kartal, İstanbul pilot dağıtım bölgesinde elektrikli araç şarj noktalarının konumlarının dağılımı	48
Şekil 13: Şarj noktalarındaki olasılık dağım fonksiyonları	50
Şekil 14: Bir şarj noktasına bağlandığında elektrikli araçların şarj durumu	50
Şekil 15: Temsili senaryoların belirlenmesi	51
Şekil 16: Temsili bir günlük şarj trendi (Kartal, Yüksek büyüme - Kamusal alanlarda şarj desteği)	51
Şekil 17: Kartal TM pilot bölgesinde Ankara – İstanbul otobanında benzin istasyonlarını besleyen temsili fider	53
Şekil 18: Kartal TM pilot bölgesinin şebeke modeli	54
Şekil 19: Mesken, ticari ve sanayi tüketicilerinin günlük yük profilleri - Kartal TM pilot bölgesi, yaz dönemi	54
Şekil 20: Kartal bölgesinde tipik mevsim günlerindeki günlük yük eğrileri	55
Şekil 21: Kamusal alanlarda şarj desteğinde varsayılan (üst) ve Durum 2 (alt) günlük şarj yüklenme profilleri	56
Şekil 22: Kartal TM pilot bölgesindeki 17 adet kamusal şarj noktası	57
Şekil 23: Kartal TM pilot bölgesinde 9 adete düşürülen kamusal şarj noktaları	58
Şekil 24: Kartal TM bölgesindeki günlük elektrikli araç şarj yüklenme profili (Yüksek Büyüme - Kamusal alanlarda şarj desteği senaryosu)	60
Şekil 25: Kartal TM bölgesindeki günlük elektrikli araç şarj yüklenme profili (Yüksek Büyüme - Evde şarj desteği senaryosu)	60
Şekil 26: Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla meydana gelen aşırı yüklenme ve gerilim düşümü miktarları (kamusal alanlarda şarj desteği ve evde şarj desteği)	61

Şekil 27: 2018 yılı için OG/AG trafo kapasite faktörü istatistikleri (Referans Model ve elektrikli araç entegrasyon modeli, Kent bölgeleri)	62
Şekil 28: 2018 yılı için OG/AG trafo yüklenme istatistikleri, (Referans Model ve elektrikli araç entegrasyon modeli, kent bölgeleri)	63
Şekil 29: Pilot bölgelerde elektrikli araçlar sonrası OG/AG trafoların yıllık yüklenme kapasite faktörlerindeki artışlar	63
Şekil 30: Pilot bölgelerde elektrikli araçlar sonrası OG hatların yıllık yüklenme kapasite faktöründeki artış	64
Şekil 31: Elektrikli araçlar sonrası OG/AG trafoların yıllık yüklenme kapasite faktörleri ortalamasındaki artış (kamusal alanlarda şarj desteği ve evde şarj desteği)	64
Şekil 32: Elektrikli araçlar sonrası OG fiderlerin yıllık yüklenme kapasite faktöründeki ortalama artış (kamusal alanlarda şarj desteği ve evde şarj desteği)	65
Şekil 33: 2018 yılında mevcut olan OG/AG trafo kapasitesi, Referans Model (2030) oluşturmak için gerekli ilave kapasite ve elektrikli araçlardan kaynaklı ilave teknik problemleri çözmek için gerekli ilave yatırımlar	66
Şekil 34: Yatırımların maliyeti (Kartal TM – yıllık %5 talep tahmini, kamusal alanlarda şarj desteği)	67
Şekil 35: Fider üzerinde gerilimin şarj istasyonundaki elektrikli araç şarj yüküne bağlı değişimi	68
Şekil 36: Fider üzerinde yüklenmenin şarj istasyonundaki elektrikli araç şarj yüküne bağlı değişimi	68
Şekil 37: Şarj altyapılarının yıllık ortalama kapasite faktörleri – Kamusal Alanlarda Şarj Desteği	69
Şekil 38: Şarj altyapılarının yıllık ortalama kapasite faktörleri – Evde Şarj Desteği	70
Şekil 39: Mevcut çalışma ve benzer çalışma sonuçlarının karşılaştırması (Yüksek büyüme - Kamusal alanlarda şarj desteği)	71
Şekil 40: Duyarlılık analizinin her bir durumu için aksaklıkların toplam sayısı (gerilim aksaklıklarına ek olarak aşırı yüklenmeler)	73
Şekil 41: Duyarlılık analizinin her bir durumu için elektrikli araçların piyasaya sürülmesinden sonra OG/AG trafo kapasite faktöründeki artış	73
Şekil 42: Kartal pilot bölgesinde YG/OG trafolarının yüklenme seviyesi – Ortalama yaz günü	74
Şekil 43: Jenerik bir dağıtım fideri (mevcut durum)	92
Şekil 44: Jenerik dağıtım üzerindeki dikey talep artışları (mevcut fider üzerinde) ve yatay talep artışları (yeni fider üzerinde) nedeniyle ihtiyaç duyulan OG hat ve OG/AG trafo yatırımları	92
Şekil 45: Talep artışı kaynaklı gerekli OG hat yatırım miktarlarının hesaplanmasında izlenen yöntem ve varsayımlar	93
Şekil 46: Akköprü TM pilot bölgesindeki primer ve sekonder şebekeler	94
Şekil 47: Elektrikli araç şarj noktalarının Ankara, Akköprü pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı	95
Şekil 48: Elektrikli araç şarj noktalarının Ankara, Beypazarı pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı	96
Şekil 49: Elektrikli araç şarj noktalarının İstanbul, Kartal pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı	96
Şekil 50: Elektrikli araç şarj noktalarının İstanbul, Şile pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı	97

Şekil 51: Elektrikli araç şarj noktalarının Adana, Karahan pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı	97
Şekil 52: Elektrikli araç şarj noktalarının Osmaniye, Kadirli pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı	98
Şekil 53: Elektrikli araç şarj noktalarının İzmir, Bornova pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı	98
Şekil 54: Elektrikli araç şarj noktalarının İzmir, Bergama pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı	99

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: Düzenlenmiş perakende satış tarifesi fiyatları (erişim tarihi Ekim 2019)	26
Tablo 2: Son kaynak tedarik tarifesinin yapısı	27
Tablo 3: 2030 yılında ülkedeki elektrikli araç şarj noktalarının toplam sayısına dair varsayımlar	39
Tablo 4: Dağıtım şirketleri ve karşılık gelen YG trafo merkezleri	40
Tablo 5: Pilot bölgelerin elektrikli araç sayılarının hesaplanmasında göz önüne alınan bağıl çarpım faktörleri	43
Tablo 6: 2030 yılında pilot bölgelerdeki toplam elektrikli araç sayısı	43
Tablo 7: 2030 yılında pilot bölgelerdeki toplam şarj noktası sayısı	43
Tablo 8: Referans Modeldeki OG hattı yatırım gereklilikleri (Akköprü TM)	45
Tablo 9: Kurulan trafo kapasitesi teknik rakamları (Kartal TM)	46
Tablo 10: Mevcut ve ilave trafo kapasitelerinin finansal rakamları (Kartal TM)	46
Tablo 11: Kurulan OG hattının teknik rakamları (Kartal TM)	47
Tablo 12: Kurulan OG hattı finansal rakamları (Kartal TM)	47
Tablo 13: Toplam Finansal Rakamlar (Kartal TM) (2018 fiyatları)	48
Tablo 14: Temsili bir günlük şarj trendi özet tablosu (Kartal, Yüksek Büyüme - Kamusal alanlarda şarj desteği)	51
Tablo 15: Farklı elektrikli araç teknolojilerinin günlük kapasite faktörleri (şarj kullanımı) (Kartal, Yüksek büyüme - Kamusal alanlarda şarj desteği)	52
Tablo 16: Temel parametreler, varsayımlar ve duyarlılık analizi	56

KISALTMALAR LİSTESİ

AC	alternatif akım
AG	alçak gerilim
cm ³	santimetreküp
CO ₂	karbondioksit
CO ₂ /km	karbondioksit/kilometre
ÇŞB	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DC	doğru akım
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EPIAŞ	Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi
g	gram
G20	Group of Twenty
GSYİH	gayri safi yurtiçi hasıla
CBS	coğrafi bilgi sistemi
GWh	gigawatt-saat
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı

INDC	Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
kg	kilogram
kW	Kilowatt
kWh	kilowatt-saat
LPG	sıvılaştırılmış petrol gazı
MTV	Motorlu Taşıtlar Vergisi
MVA	mega volt amper
MW	megawatt
MWh	megawatt-saat
OG	orta gerilim
OECD	Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü
ÖTV	Özel Tüketim Vergisi
SOC	şarj durumu
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEHAD	Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Derneği
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TL	Türk Lirası
TM	trafo merkezi
UEVEP	Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı
UNFCCC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
UYEEP	Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı
V2G	araçtan şebekeye
YG	yüksek gerilim



Elektrikli araç satışları, son yıllardaki farklı tipte elektrikli araç ve şarj altyapısını destekleyen politikalar sayesinde küresel seviyede hızla artmaktadır. 2018 yılının sonunda, küresel araç stokundaki toplam elektrikli araç sayısı 5 milyonu aşmıştır. Yaklaşık aynı sayıda şarj noktası da elektrikli araçların elektrik talebini sağlamak için hizmet vermektedir. Öngörüler, dünya çapındaki toplam elektrikli araç sayısının 2030 yılı itibarıyla 120 ila 250 milyon arasında bir seviyeye yükselebileceğini göstermektedir. Bu gelişmelere karşılık Türkiye, kullanılmakta olan 1.000 civarı elektrikli araç ile kendi piyasasını geliştirmeye daha yeni başlamıştır. Ancak, araç sahiplik oranının artışı ve nüfusun büyümesiyle, elektrikli araç kullanımının artması yönünde önemli bir potansiyel bulunmaktadır. Bunun yanı sıra Türkiye'nin yakın tarihte yerli elektrikli araç üretimine başlanacağı beklenmektedir. Bu sayede kentlerdeki yerel hava kalitesinin iyileşmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan elektrik ile hem ulaştırma hem de elektrik sektöründe enerji üretimi ve tüketiminden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının azaltılması sağlanacaktır.

Elektrikli araçların enerji sistemine nasıl entegre edileceği konusu, kontrolsüz şarj edilmeleri halinde dağıtım şebekelerinin işleyişini olumsuz yönde etkileyebileceğinden, büyük bir endişe kaynağıdır. Olası olumsuz etkileri sınırlandırmanın ve ilave elektrik yükünü yönetmenin yanında, elektrikli araç kullanıcılarının araçlarını düşük maliyetli şarj etmelerine yardımcı olmak ve elektrik şebekesinin daha etkili kullanımı teşvik etmek için akıllı şarj konseptleri ve iş modelleri geliştirilmektedir. Hangi büyüklükte bir elektrikli araç miktarının dağıtım şebekesine entegre edilebileceği ve hangi şarj optimizasyon stratejilerinin bu entegrasyonla ilgili etkileri azaltmaya yardımcı olabileceğini anlamak için Türkiye özelinde sınırlı sayıda değerlendirme çalışması yapılmıştır.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi tarafından yürütülen bu çalışmada, “Yüksek Büyüme” adlı elektrikli araç piyasa senaryosuna göre, bataryalı ve plug-in hibrit elektrikli araç (bu iki araç grubu bu çalışmanın geri kalanında “elektrikli araç” olarak anılmaktadır) satışları 2030 yılında toplam binek araç satışlarının %55’ine ulaşacağı ve elektrikli araçların toplam araç stokunun %10’unu temsil edeceği öngörülmüştür. Bu sayede Türkiye’de kullanılan toplam elektrikli araç sayısı 2030 yılı sonunda 2,5 milyon seviyesine çıkmaktadır.¹ Bu araçların şarj edilmesi için evde, işyerinde ve halka açık alanlarda uygulanabilecek beş farklı şarj seçeneği alternatif akım (AC) ve doğru akım (DC) seviyelerinde değerlendirmeye alınmıştır. 25.000 noktaya kadar DC seviyesi hızlı şarj noktasının söz konusu olduğu, toplamda 1 milyona yakın şarj noktası öngörülmüştür. 2018 ve 2030 yılları arasındaki dağıtım şebekesi etkisini hesaplamak için, öncelikle Türkiye’nin en yüksek ekonomik faaliyetlerinin yürütüldüğü ve nüfusun en yoğun olduğu bölgeler olan Akdeniz, Ege, İç Anadolu ve Marmara bölgelerinde elektrikli araç piyasasının kurulacağı tahmin edilmiş, daha sonrasında bu bölgeleri temsil eden gerçek şebeke verilerine dayanan saatlik çözümde bir dağıtım şebeke modeli geliştirilmiştir. Dağıtım şebekesine olan etkiler bu model yoluyla dağıtım şebeke ağları ve trafolarla, gerilim düşüşleri, aşırı yüklenme etkileri ve ilave şebeke kapasite yatırımları ile ölçülmüştür. Farklı şarj etme alışkanlıkları ve yaklaşımlarının yanı sıra, farklı şarj etme noktaları ve teknolojileri de değerlendirilmiştir.

¹ Bu bağlamda, “büyüme” terimi elektrikli araçların Türkiye piyasasına adaptasyon oranına gönderme yapmak için kullanılmaktadır. Bu çalışmada, elektrikli araç olarak tanımlanan bataryalı ve plug-in elektrikli araçların dışında kalan, şarj için prize takılması gerekmeyen hibrit araçlar analizlere dahil edilmemiştir.

Elektrikli araçlar hariç toplam elektrik talebinin 2018 ve 2030 yılları arasında yılda %5 oranında büyüdüğü² (aynı dönem içerisinde toplamda %80 büyümeye) ve bu yükü yönetmek için ihtiyaç duyulan şebeke yatırımlarının taahhüt edildiği gibi yapılması durumunda³, bu çalışma elektrikli araçların şebekeye kısıtlı bir etki ile entegre edilebileceğini ve dağıtım şebekesinde neredeyse hiç ilave kapasite artışı olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla, seçilen dört dağıtım şebekesinde 2030 yılı itibarıyla toplam binek araç stoku içerisinde %10 oranında elektrikli aracı entegre etmek için yeterli kapasite vardır. Buna ulaşmak adına, şebeke yatırımlarının talep artışıyla uyumlu şekilde devam etmesi; şarj optimizasyonunu destekleyen mekanizmaların, elektrikli araç sahiplerinin, araçlarını gece yarısı gibi elektrik yükünün yoğun olmadığı saatlerde şarj etmelerini teşvik edebilecek şekilde tasarlanması ve şarj noktalarının en uygun yerlere konulması gereklidir. Bu tarz bir şarj davranışını teşvik etmek, zamana göre değişen elektrik tarifelerini belirleyen hukuki bir çerçeve, akıllı şarj, entegre bir şebeke ve mobilite bazlı altyapı planlarıyla hayata geçirilebilir.

Çalışmanın sonuçları ayrıca, dağıtık yenilenebilir enerji ve depolama sistemlerinin özellikle yaz döneminde sağladığı önemli faydaları vurgulamaktadır. Analiz, 2030 yılı itibarıyla toplam araç stokunun %10'unu temsil edecek olan elektrikli araçların şebeke entegrasyonu için olumlu sonuçlar gösterirken, daha yüksek bir orana ulaşmak için daha fazla yatırım yapılması ve sonuç olarak maliyeti düşürmek için akıllı şarjın daha geniş bir ölçekte uygulanmasını gerektirecektir. Bunun yanı sıra, özel binek araçlara dayanan mobilitenin genel olarak azaldığı daha etkili bir elektrikli ulaştırma sistemine geçiş de gerekmektedir. Bu ancak, mevcut çalışmanın dışında tutulan elektrikli araçlarda, taksi ve diğer hafif hizmet araç filolarında, panelvan, kamyon ve otobüs gibi araç segmentlerinde daha geniş bir şekilde uygulanmasıyla mümkün olacaktır. Ayrıca, bu tipteki bazı araçların batarya kapasiteleri, binek araçlarınkinden önemli ölçüde büyüktür ve daha az sayıda araç şebeke üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olabilir. Bu durum, araç filolarına elektrikli araçların daha hızlı alınması, binek araçlardaki bataryaların artan boyutu ve hızlı şarj ekipmanlarına yönelik olası tüketici tercihleri gibi dağıtım şebekelerinde potansiyel olarak etkiler meydana getirebilecek diğer elektrik mobilite eğilimleriyle birlikte şebeke modellemesinin sonraki aşamalarında göz önüne alınmalıdır.

Sonuçlardan görüldüğü üzere, stratejiler ilave şebeke kapasitesi ve akıllı şarj etme yaklaşımlarını gerçekleştirme noktasında eksik kalırsa şebeke entegrasyon zorlukları söz konusu olabilir ve bunun sonucu olarak da artan şebeke yatırımlarına ihtiyaç duyulabilir. Ana etmenler, şarj edilen zaman dilimleri, şarj noktasının konumu ve kapasitesinin büyüklüğüdür. Elektrikli araçları kullanma ve şarj etme rahatlığını olumsuz bir şekilde etkilemeden etkili kullanımı teşvik etmek ve şebeke üzerindeki baskıyı azaltmak adına bu zorlukları aşmak için elektrik tarifesinde iyileştirmeler, akıllı teknolojilerin kullanımının artması ve şarj noktalarının konumu için optimize edilmiş planlama temel rol oynayacaktır.

Bu çalışmanın sonuçlarına dayanarak enerji politika yapıcılar, piyasa düzenleyicileri, dağıtım şebekesi operatörleri, otomotiv endüstrisi, şarj teknolojisi geliştiricileri ve yatırımcıları, şehir planlamacıları ve araştırmacılar için önemli olabilecek yedi öncelik alanı ana hatlarıyla belirtilmiştir:

² Bu büyümeye oranı elektrikli araçlardan kaynaklanan ilave elektrik yükünü hariç tutmakla birlikte, bu çalışmanın amacı için kendi şebeke verilerini paylaşan dağıtım şirketleriyle yapılan bir tartışmanın akabinde belirlenmiştir. Ayrıca, SHURA'nın bir önceki iletim şebekesi çalışmasındaki büyümeye oranı varsayımıyla uyumludur (SHURA, 2018).

³ Örnek olarak bu çalışma için seçilmiş olan Kartal pilot bölgesinde, orta ve alçak gerilim dağıtım trafo kapasitesinde ve orta gerilim hattı uzunluğunda 2018'deki seviyeye kıyasla 2030 yılındakiyle karşılaştırıldığında sırasıyla %48 ve %43'lük bir artış hesaplanmıştır. Bu aynı dönemde ortalama 3,8 milyon Türk Lirası (TL) değerinde bir yatırımı gerektirir.

- 1) Elektrikli araç piyasasının, şarj altyapısı gelişimiyle birlikte hızlanması
- 2) Yük yönetimi için akıllı şarj mekanizmalarının geliştirilmesi ve uygulanması
- 3) Şebekede aşırı yüklenme ve gerilim düşüşlerinden kaçınmak için bölgelere özgü önlemlerin alınması
- 4) Elektrikli araçların şarjı için yeni iş modellerinin değerlendirilmesi, geliştirilmesi ve uygulanması
- 5) Elektrik talebindeki artışla paralel olarak dağıtım şebekelerinde planlanmış yatırımların sürdürülmesi
- 6) Elektrikli araçların şarjında, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve enerji depolama arasındaki sinerjilerden yararlanılması
- 7) Elektrikli araç gelişiminin faydalarından diğer sektörlerle ortaklaşa biçimde yararlanmak için değerlendirme ve planlama yapılması.

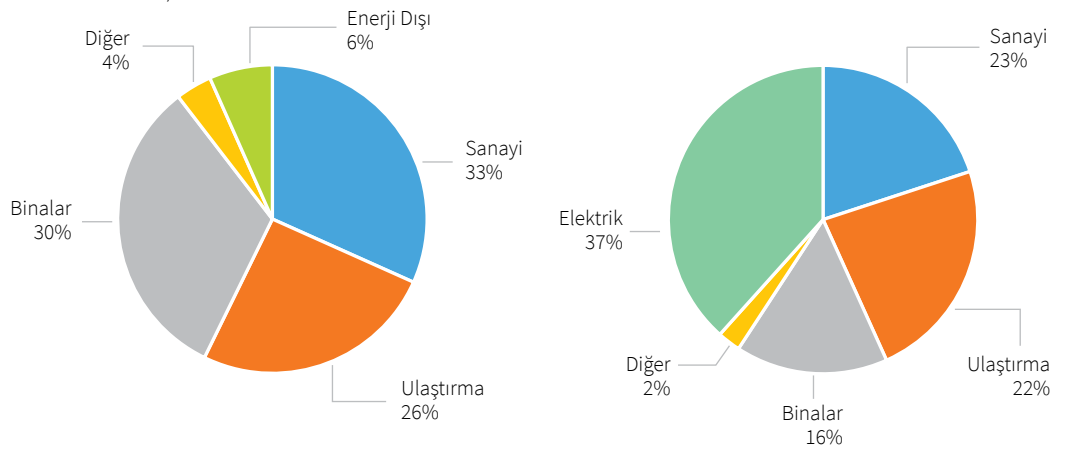


1. Giriş

Elektrik tüketiminin ulaştırma sektörü toplam nihai enerji bileşimindeki payı %0,4, yenilenebilir enerjinin ise %0,5'tir.

Ulaştırma sektörü Türkiye'nin toplam nihai enerji talebinin %26'sını oluşturmaktadır. Bu haliyle, tarım sektörünün önünde, sanayi ve binaların enerji tüketiminin arkasında konumlanmaktadır. Karbondioksit (CO₂) emisyonları bağlamında en büyük iştirakçilerden biri olarak elektrik üretim ve sanayi sektörlerinin emisyonlarını takip etmekte ve Türkiye'nin tüm emisyonlarının beşte birinden fazlasını oluşturmaktadır (bkz. Şekil 1). Bunun başlıca sebebi ise, ulaştırma sektörünün enerji bileşiminin ağırlıklı olarak petrol ürünlerini içermesidir (toplam tüketim içerisindeki payı %99'dan fazladır). Elektrik tüketiminin ulaştırma sektörü toplam nihai enerji bileşimindeki payı %0,4, yenilenebilir enerjinin ise %0,5'tir.

Şekil 1: Toplam nihai enerji tüketiminin ve enerjiyle ilişkili CO₂ emisyonlarının dağılımı, 2017/18



Kaynaklar: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (2019); IEA (2019a)

Türkiye'deki toplam 12,5 milyon binek aracın içerisinde 1.000 kadar elektrikli araç mevcuttur. Bu araçların yıllık toplam elektrik talebi 1,5 gigawatt-saat (GWh) civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu talebi karşılamak için toplam 1 megawatt (MW) kapasiteli küçük ölçekli bir güneş enerjisi tesisi yeterli olmaktadır.

Ulaştırma sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmak için, enerji ve malzeme verimliliği (daha verimli motor tasarımları, hafif malzemeler), elektrifikasyon, petrol bazlı ürünlere alternatif olabilecek düşük karbonlu yakıtlar gibi çeşitli seçenekler mevcuttur. Elektrikli araçlar, şehirlerde daha temiz bir çevrenin oluşması için yaptıkları katkı, elektrik yükü yönetimi ve daha fazla enerji verimliliği gibi faydalarından dolayı pek çok ülkede gittikçe artan şekilde kullanılmaktadır. Dünya çapındaki toplam sayıları, araç piyasası yaratmaya ve altyapı oluşturmaya yönelik politika çabalarının ve maliyet eğilimlerindeki düşüşlerin etkisiyle 2018 yılı sonu itibarıyla 5 milyonu geçmiştir. Aynı yıl, Türkiye'deki toplam 12,5 milyon binek aracın içerisinde 1.000 kadar elektrikli araç mevcuttur. Bu araçların yıllık toplam elektrik talebi 1,5 gigawatt-saat (GWh) civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu talebi karşılamak için toplam 1 megawatt (MW) kapasiteli küçük ölçekli bir güneş enerjisi tesisi yeterli olmaktadır. Ulaştırma sektörü yalnızca binek araçlarla sınırlı değildir. Otobüsler, minibüsler ve diğer karayolu toplu taşıma araçları, seyahat halinde bulunan toplamda 7 milyon araçla Türkiye'de yolcu taşımacılığında önemli bir yer tutmaktadır (Otomotiv Sanayii Derneği, 2019). İki/üç tekerlekli araçlar da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu araç gruplarına alternatif olan elektrikli araç modelleri mevcuttur. Yük taşımacılığı için de benzer alternatifler geliştirilmektedir. Elektrikli araçlar vasıtasıyla düşük karbonlu bir ulaştırma sektörüne geçiş ve şehirlerin çevre kalitesini iyileştirme ancak enerji sektörünün karbonsuzlaştırılmasıyla mümkündür. Bugün Türkiye'nin toplam elektrik arzının yaklaşık üçte biri yenilenebilir enerji kaynaklardan temin edilmekte olup, hidroelektrik santraller bu payın büyük bir kısmını oluşturmaktadır. 2019 yılı Temmuz ayında Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde kabul edilen 11. Kalkınma Planı'na göre, Türkiye'nin 2023 yılı

için yenilenebilir enerji hedefi %38,8 olarak belirlenmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019). SHURA'nın son çalışması, büyük çoğunluğu rüzgâr ve güneş enerjisinden elde edilmek üzere, 2026 yılı itibarıyla Türkiye'nin en az %50 yenilenebilir enerji payına ulaşabileceğini göstermiştir (SHURA, 2018).

Elektrikli bir araç ile içten yanmalı motoru olan geleneksel bir araç arasında kullanım amacı olarak bir fark yoktur. Amaç belli bir yolcu sayısı veya yükü bir konumdan diğerine taşımaktır. Ancak olaya enerji açısından yaklaşırsa, kökten farklılıklar söz konusudur. Geleneksel bir aracın enerji depolama sistemi, petrol tankı, alternatör ve yakıt enjektörü ile kontrol edilen egzoz sistemli bir motorun ateşlenmesinde kullanılan 12 voltluk aküden oluşur. Bu sistemin çalışmasında yakıt olarak ham petrol ürünü olan benzin veya dizel kullanılır. Geleneksel içten yanmalı bir motorun çalışma prensibi tek yönlüdür; bir benzin istasyonundan satın alınan yakıt depoya aktarılır, yakılır ve motor çalışır. Elektrikli araç ise elektrikli bir motora, batarya takımına ve motoru kontrol etmek için AC-DC dönüştürücüsüne sahiptir. Elektrikli aracın batarya takımı, ev ve işyeri gibi elektriğin mevcut olduğu her yerde şarj edilebilir. Prensip olarak depolanan elektrik ulaştırma için kullanılır. Ancak ihtiyaç halinde, elektrik şebekesine esneklik veya yan hizmetler gibi faydalar sağlamak amacıyla depolanan elektrik şebekeye geri beslenebilir. Böylece temel olarak dağıtık enerji kaynaklarından sağlanan hizmetler yerine getirilebilir.

Geleneksel bir arabanın deposunu doldurmak birkaç dakika sürerken bir arabayı şarj etmek için gereken süre, şarj teknolojisi ve batarya kapasitesine bağlı olarak birkaç dakikadan saatlere kadar uzanan bir süreyi alabilir.

Elektrikli araç kullanımını mümkün kılan temel unsur şarj altyapısının ulaşılabilirliğidir. Geleneksel bir arabanın deposunu doldurmak birkaç dakika sürerken bir arabayı şarj etmek için gereken süre, şarj teknolojisi ve batarya kapasitesine bağlı olarak birkaç dakikadan saatlere kadar uzanan bir süreyi alabilir. Elektrik fiyat sinyalleri ve sürücü seçeneklerine bağlı olarak gün içerisinde arabanın şarj edileceği zaman dilimi değişecektir. Ortalama olarak bir binek aracın şehir içinde kat ettiği günlük mesafe 50 kilometre (km) civarında olması beklenebilir (bu değer şehrin büyüklüğü, altyapısı ve diğer faktörlere bağlı olan farklı nedenlerden dolayı değişmektedir). İş dönüşü akşam saatlerinde aracını şarj eden bir araç sahibi, gece boyunca 100-150 km yolculuk yapmaya yetecek elektrik miktarına sahip olacaktır; yani aracını gece boyunca 8-10 saat fişe takması gerekmeden, 2-3 saat içerisinde, gün içerisinde yapılacak ortalama uzaklıktaki bir yolculuğu karşılayacak miktarda şarj edebilecektir. Bu, akşam saatlerinde elektrik yük profilindeki olası etkileri sınırlandırmak için şarj etme saatlerini optimize etmeye kapı açmakla birlikte, tüm araç sahipleri benzer saatlerde şarj etme davranışında bulunursa kontrol edilemez yükler oluşabilir. Aynı şekilde çok fazla elektrikli araç iş yerleri veya otoparklar gibi kamu alanlarında şarj edilirse bu durum gündüz saatlerindeki yükün artışına benzer şekilde yol açacaktır. Aracın şarjı mevcut yük profilini arttırabileceğinden, planlanmamış ve kontrolsüz şarj etme durumunda şebeke için de zorluklar yaratabilir. Bu etkilerin anlaşılması ve planlanması dağıtım şebekelerindeki yükün yönetilmesi bakımından önemlidir.

Elektrikli aracın şarjı bir birim enerji üretmek için kullanılan enerji kaynaklarının tüketilmesi anlamına gelir. Örneğin, rüzgârlı bir yaz gününde rüzgâr ve güneş enerjisi gibi düşük maliyetli enerji kaynakları kullanılabilir. Elektrikli araçlar, çatı güneş enerjisi sistemleriyle gün içerisinde üretilen ve depolanan elektrik ile geceleri şarj edilebilir. Pek çok şarj optimizasyon stratejisi, kontrol edildiği takdirde çeşitli yenilenebilir enerji kaynağının şebeke entegrasyonu için sistem esnekliği sağlayabilir. Bu sayede, elektrikli araçlar yalnızca ulaştırma amacıyla değil aynı zamanda ulaştırma sektörünü enerji sektörüyle eşleştirebilecek bir yöntem olarak kullanılabilirken, bu sinerjilerin de daha iyi anlaşılması gerekmektedir.

Dağıtım şebekeleri, talebin en yüksek olduğu zamana bağlı olarak, topoloji, bina sayısı ve tipi, ısıtma ve soğutma gibi faktörler de dikkate alınarak planlanır. Şu anda Türkiye’de elektrikli araçların şarj edilmesi bağlamında herhangi bir kriter bulunmamaktadır. Yakın tarihte yerli elektrikli araç üretiminin başlaması söz konusu olduğu takdirde, Türkiye’deki toplam elektrikli araç sayısında artış beklenmektedir. Dolayısıyla, dağıtım şebekesinin bunu entegre edebilmesi için ilave şebeke maliyetlerine ve bu maliyetlerin nasıl azaltılabileceğiyle ilgili kaygılar göz önüne alındığında, elektrikli araçların dağıtım şebekesi üzerindeki olası etkilerinin anlaşılması elzemdir.

Bu çalışmanın amacı, ulaştırma sektörünün elektrifikasyonunun, halihazırda toplam nüfusun yaklaşık üçte birine (ve toplam elektrik talebinin benzer bir oranına) hizmet veren Türkiye’nin toplam 21 şebekesi içerisindeki en büyük dört elektrik dağıtım şebekesine 2030 yılı itibariyle olası etkilerini analiz etmektir.

Bu çalışmanın amacı, ulaştırma sektörünün elektrifikasyonunun, halihazırda toplam nüfusun yaklaşık üçte birine (ve toplam elektrik talebinin benzer bir oranına) hizmet veren Türkiye’nin toplam 21 şebekesi içerisindeki en büyük dört elektrik dağıtım şebekesine 2030 yılı itibariyle olası etkilerini analiz etmektir. Bu amaçla, iki farklı elektrikli araç piyasa senaryosu araştırılmıştır. “Yüksek Büyüme” senaryosu, 2030 yılı itibariyle toplam araç stokunda 2,5 milyon elektrikli araç öngörmektedir (2030 yılı itibariyle toplam binek araç satışının %55’ini oluşturacak ve aynı yıldaki toplam stokun yaklaşık %10’nun oluşturacak). “Orta Büyüme” senaryosu, yine ilgili yılda 1 milyon civarında elektrikli araç olacağını öngörmektedir. Piyasa görünümü her senaryo için üç durumun araştırılması yoluyla elektrikli araçların dağıtım şebekeleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir test ortamı olarak kullanılmaktadır: yoğunlukla kamusal alanda şarj etme (durum 1), yoğunlukla evde şarj etme (durum 2) ve otobanda hızlı şarj etme (durum 3) için ayrı üç vaka incelenmiştir. Bu durumlar, Şekil 2’de gösterildiği üzere şarj etme yaklaşımları bakımından farklılık göstermektedir. İlk iki vakada iş yerinde şarj noktalarındaki davranışlar arasında herhangi bir fark gözetilmemektedir. Bunun sebebi iş yerlerinde elektrikli araçların aynı anda şarj edilmemesi ve şirketlerin bir zaman çizelgesi yoluyla bu süreçleri optimize eden, örneğin sırayla şarjı sağlayan mekanizmalar gibi yöntemler uygulanacağı varsayılmıştır.

Şekil 2: Çalışmada ele alınan senaryolar ve durumlar



Bu raporun geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir: bir sonraki bölüm Türkiye ulaştırma sektörünün kısa bir görünümünü sunmaktadır. 3. bölüm, elektrikli araç piyasası, şarj etmedeki gelişmeler ve politikalarla ilgili uluslararası örneklerden kısa bilgiler paylaşmakta ve akıllı şarj kavramını açıklamaktadır. 4. bölüm analizde kullanılan verilerin arka planı ve metodoloji hakkında daha detaylı bilgi vermektedir. 5. bölümde sonuçlar sunulmakta ve tartışılmaktadır. Bu rapor, enerji politika yapıcıları, piyasa düzenleyicileri, dağıtım şebekesi operatörleri, otomotiv endüstrisi, şarj teknolojisi geliştiricileri ve yatırımcıları, şehir planlamacıları ve araştırmacılar için Türkiye'nin ulaştırma sektöründeki dönüşümün elektrik mobilitayla nasıl hızlandırılabilceği konusunda yedi öncelik alanının sunulduğu 6. bölümde son bulmaktadır.

2. Türkiye ulaştırma sektörünün mevcut durumu

2.1 Binek araç piyasası

2014 yılının sonunda, karayolu araçlarının toplam yolcu ulaşımındaki payı %90 seviyesine ulaşmıştır.

2014 yılının sonunda, karayolu araçlarının toplam yolcu ulaşımındaki payı %90 seviyesine ulaşmıştır. Geri kalan %10'un büyük bir kısmı, son yıllarda Türkiye'de çok hızlı büyüyen havayolu ulaşımından oluşmaktadır. Benzer şekilde, yük taşımacılığının yaklaşık %90'ı karayolu taşıtlarıyla yapılmaktadır. Geri kalan %10'luk kısmı demiryolu ve deniz taşımacılığı oluşturmaktadır (T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2015).

Karayolu ulaşımı, Türkiye ulaştırma sektörü toplam nihai enerji talebinin %90'ından fazlasını oluşturmaktadır. Karayolu ulaşımı arabalar, motosikletler, scooter gibi iki tekerlerli araçlar, minibüs ve otobüsler aracılığıyla yolcu taşınması ve kamyon ya da tırlarla yük taşınmasını içermektedir. Toplam enerji talebinin %8'i, havayolu ulaşımı, denizcilik, demiryolu ve boru hattı taşımacılığı arasında bölünmüştür. Ulaştırma sektöründeki enerji talebi, kişi başına düşen milli gelirin artması, nüfusun büyümesi ve Türkiye'nin büyük bir otomotiv üretici ülke olmayı sürdürmesiyle hızlı bir şekilde artmaktadır. Türkiye, dünya çapında 14., Avrupa'da ise Almanya, İspanya, Fransa ve Birleşik Krallık'tan sonra 5. sırada yer almaktadır (Yatırım Ofisi ve EY, 2019). 2017 yılında, Türkiye'de yaklaşık 1,7 milyon araba üretilmiştir (Yatırım Ofisi, 2018). Türkiye otomotiv sektörünün merkezi Bursa'da günde %80'i ihraç edilmek üzere ortalama 2.000 araç üretilmektedir (Daily Sabah, 2018).

Binek araç sahiplik oranı 1.000 kişide 154 kişiye ulaşmıştır.

Türkiye'nin binek araç segmentindeki hızlı büyümesi dikkat çekicidir. 2018 yılının sonunda yaklaşık 12,5 milyon araç kullanılmaktaydı. Binek araçları takiben 1,9 milyon traktör, 3,2 milyon motosiklet ve 3,7 milyon kamyonet kullanılmakta olup, toplamda 22,7 milyon karayolu aracı mevcuttur (OSD, 2018a).⁴ Binek araç sahiplik oranı 1.000 kişide 154 kişiye ulaşmıştır. Bu oran, Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi diğer kalkınmış Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) ülkelerine kıyasla düşüktür. Ancak araç sahiplik oranı, Türkiye'de satılan her 10 araçtan 6'sının binek araç olmasının gösterdiği gibi hızlı bir şekilde artmaktadır (Mock, 2016). Her yıl yaklaşık 750 bin araç kayda geçmektedir. 2018 yılı ise kayıtlı araç sayısının 500.000'in altında kaldığı istisnai bir yıl olmuştur (HaberTürk, 2019). 2018 yılında eski aracın hurdaya çıkarıp yeni bir araç satın alınması durumunda 10 bin Türk Lirası (TL) vergi indirimi sağlanmıştır. Bu sebeple hurda araç sayısında ciddi bir artış görülmüştür (Hürriyet, 2018a).⁵ 2019 yılında ise bu indirim 15 bin TL'ye yükseltilmiştir (HaberTürk, 2019).

Geçmiş yıllarda, Türkiye'nin araç stokunda çoğunlukla benzinli araçlar kullanılmaktaydı. 2004 yılında %75 olan benzinli araç oranı günümüzde hiç olmadığı kadar düşmüştür (OSD, 2018b). 2018 yılının ilk çeyreğinde, araç stokunun çoğunluğu sayılan, sıvılaştırılmış petrol gazı (liquefied petroleum gas, LPG) ve dizel kullanan araçlarla birlikte benzinli araç oranı %25'in biraz üzerinde olmuştur. Yıl sonuna doğru ise LPG ve dizel araçlar stokun sırasıyla %38,1 ve %36'sını oluşturmuştur. Yakıt tipleri seviyesindeki bu değişim, benzinle çalışan arabalara kıyasla LPG ve dizelin sağladığı fiyat avantajı nedeniyle açıklanabilir. Ayrıca, dizel araçların, arabanın boyutuna bağlı olarak litre yakıt başına sağladıkları ortalama mesafe daha uzundur. Ancak, dizel fiyatı benzinle eşdeğer olduğundan (litre fiyatında %5'ten az bir fark mevcuttur) fiyatlar arasındaki bu fark günümüzde kapanmaya başlamıştır. Dolayısıyla, Türkiye'de dizel

⁴ Bu veriler, bireysel olarak ithal edilen araç sayısını içermemektedir.

⁵ 2018 yılında ortalama döviz kuru 4,849 TL/Amerikan doları. Ağustos 2019'da ortalama döviz kuru 5,64 TL/Amerikan doları.

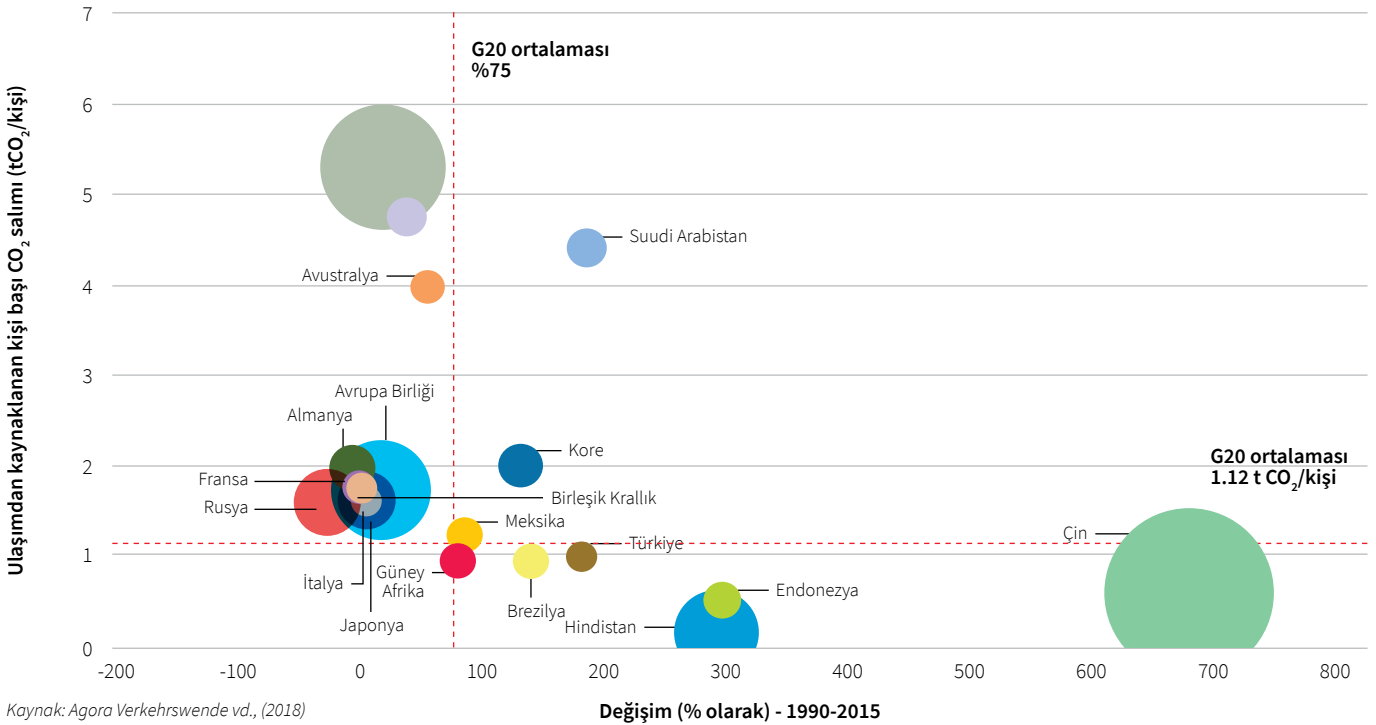
öngörülerini bazı belirsizlikler taşımaktadır. Elektrikli ve hibrit araçların payı %0,1'den daha azdır. Karayolu ulaştırma sektörünün toplam enerji talebinin %0,1'inden daha azını temsil eden doğal gaz payı ise göz ardı edilebilir.

2.2 Düşük karbonlu ulaştırma sektörüne geçiş mevzuatının çerçevesi

Türkiye'de tüm binek araçlarının yaklaşık %45'i hala 10 yaşın üstündedir ve bu araçlar enerji tüketimi açısından verimsizdir.

Türkiye'de tüm binek araçlarının yaklaşık %45'i hala 10 yaşın üstündedir ve bu araçlar enerji tüketimi açısından verimsizdir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018). Ayrıca diğer araçlarla aynı uzunluktaki mesafeyi gitmek için daha fazla partiküllü madde, karbon monoksit, nitrojen oksit ve uçucu organik karbon gibi hava kirleticisi emisyonlarına neden olmaktadır. Bu emisyonların büyük bir kısmı dikkat çekici bir şekilde, trafik sıkışıklığının yüksek olduğu kent bölgelerinde gerçekleşir ve insan sağlığı üzerinde ciddi etkilere yol açar. Günümüzde, ulaştırma sektörü kent bölgelerindeki hava kirliliğinin ana nedeni olmakla birlikte partikül madde yayan ilk 10 Avrupa şehri arasında Türkiye'den 8 şehir bulunmaktadır (Bernard vd., 2018; İstanbul Politikalar Merkezi, 2017). Türkiye'de araç kullanımının çevre üzerindeki etkisiyle ilgili gittikçe büyüyen kaygılar söz konusudur. G20 ülkeleri içerisinde Türkiye, 1990 ve 2015 yılları arasındaki süreçte yaklaşık %200'lük bir değişim ile kişi başına düşen CO₂ emisyonlarında en hızlı büyüme yaşayan ülkelerden biridir (bkz. Şekil 3) (Agora Verkehrswende vd., 2018).

Şekil 3: 1990 ve 2015 yılları arasında G20 ülkeleri arasında ulaşım sektöründe CO₂ emisyonlarına bağlı değişim



G20 ülkeleri içerisinde Türkiye, 1990 ve 2015 yılları arasındaki süreçte yaklaşık %200'lük bir değişim ile kişi başına düşen CO₂ emisyonlarında en hızlı büyüme yaşayan ülkelerden biridir.

Türkiye'nin ulaştırma sektöründeki dönüşümü destekleyen farklı strateji ve politika belgeleri mevcuttur.

2008 yılında "Ulaşım Enerji Verimliliğini Artırmak Üzere Alınacak Önlemler Bildirisi" yayınlanmıştır (Resmi Gazete, 2008). 2014 yılında yayınlanan Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve eki Eylem Planı (2014-2016) Türkiye'nin ulaşım sektörünün enerji ve teknoloji stratejisiyle ilişkili dayanağını oluşturmaktadır (T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2014). 2015 yılında yayınlanan Niyet

Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı (Intended Nationally Determined Contribution, INDC) beyanı 2030 yılı itibarıyla Türkiye'nin sera gazı emisyonunda azalma sağlanması için yapılacak eylemlerin bir listesini içermektedir (UNFCCC, 2015):

- Denizyolu ve demiryolu taşımacılığının artırılıp karayolu taşımacılığının azaltılmasıyla yük ve yolcu taşımacılığında taşıma biçimlerinin kullanımı dengesinin sağlanması
- Birleşik ulaşımın artırılması
- Kent bölgelerinde sürdürülebilir ulaşım yaklaşımlarının uygulanması
- Alternatif yakıtların ve temiz araçların artırılması
- Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eylem Planı (2014-2016) ile karayolu ulaşımı emisyonlarının ve yakıt tüketiminin azaltılması
- Yüksek hızlı otoban projelerinin gerçekleştirilmesi
- Şehir raylı sistemlerinin artırılması
- Tünel projeleriyle yakıt tasarrufu sağlanması
- Eski araçların trafikten çekilmesi
- Enerji verimliliği sağlamak için yeşil liman ve yeşil havaalanı projelerinin uygulanması
- Denizyolu ulaşımı için özel tüketim vergisi muafiyetlerinin uygulanması

Avrupa Birliği 2021 yılına kadar karşılanması gereken 95 g CO₂/km'lik bir hedef belirlemiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nin 2025 yılı hedefi ise bu seviyeden biraz daha yüksek olan 97 g CO₂/km olarak belirlenmiştir.

Dünya çapında pek çok ülke, binek ve hafif ticari araçlar için CO₂ emisyonlarının azaltılması için zorunlu standartlar getirmiştir. 2019 yılının Ağustos ayından beri hafif binek ve ticari hizmet araçları için yürürlükte bir emisyon standardı olmasına rağmen (Resmi Gazete, 2019a), Türkiye geniş bir otomotiv sektörü olan ancak yine de bu tür standartları tam olarak uygulamaya sokmamış birkaç ülkeden biridir. Türkiye'deki yeni binek araçlarının ortalama CO₂ emisyonları km başına 120 gram (g) seviyesindedir (Mock, 2016), ancak bu araçlar Avrupa Birliği'ndeki benzerlerine göre genellikle daha hafif ve daha küçük motor gücüne sahiptir. Bu ortalama düşünüldüğünde, Avrupa Birliği 2021 yılına kadar karşılanması gereken 95 g CO₂/km'lik bir hedef belirlemiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nin 2025 yılı hedefi ise bu seviyeden biraz daha yüksek olan 97 g CO₂/km olarak belirlenmiştir (ICCT, 2019a).

Biyodizel kullanımı 2003 yılından itibaren Petrol Piyasası Kanunu kapsamındaki ürünlere dahil edilmiştir (Çelebi ve Uğur, 2015). 2005 yılında, Avrupa Birliği'ndeki eşdeğerleriyle uyumlu Biyodizel Standartları yayınlanmıştır. Bu standartlar, %5 kadar biyodizel ve etanol karışımına izin vermektedir. 17 Haziran 2017 tarihinde, %0,5 oranında minimum biyodizel karışım sınırı (hacim esasına göre) belirleyen bir düzenleme yürürlüğe girmiştir (Resmi Gazete, 2017a). Türkiye'deki dizel tüketimi 25 milyon ton civarındadır; yani en az 125 bin ton dizel üretilmekte ya da ithal edilmektedir (YEGM, 2017). Bu hacmi tedarik etmek için faal durumda olan dört tesisten elde edilen yeterli bir kapasite mevcuttur. Etanol karışımına dair 1 Ocak 2014 tarihinden başlamak üzere minimum karışım standardını %2 ve 1 Ocak 2014 tarihinden başlamak üzere minimum karışım standardını %3 olarak belirleyen düzenleme 7 Temmuz 2012 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Resmi Gazete, 2012). Türkiye'nin toplam etanol üretimi 150 milyon litre civarındadır; bu rakam %3'e eşdeğer bir karışım oranını karşılamak için yeterlidir (Biyoenjerji Derneği, 2017). Biyodizel ve etanol üretimi düzenlemelerde belirlenen standartları karşılamak için yeterlidir ancak mevcut seviyeler karışım hedeflerinin arkasında kalmaktadır. Mevcut biyoyakıt tüketim oranı, Türkiye'nin Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'nda (UYEEP) belirlenen, 2023 yılı itibarıyla ulaşılacak olan %10 hedefine oranla düşüktür (ETKB, 2014). Özellikle ulaştırma sektöründeki yakıt talebi hızlı bir şekilde yükseldiğinden, biyoyakıtların

petrol ürünlerine alternatif olmak için ne ölçüde yerel kaynak sağlayabileceği düşündürücüdür.

Türkiye'nin bir önceki Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı Sayın Berat Albayrak tarafından Mart 2018 yılında resmi olarak açıklanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (UEVEP) ulaştırma sektörüne özgü dokuz eylemi ortaya koymaktadır (Resmi Gazete, 2017b).

Bunlar aşağıdaki gibidir:

- Enerji tasarruflu araçların arttırılması
- Alternatif yakıtlar ve yeni teknolojiler hakkında karşılaştırmalı bir çalışmanın geliştirilmesi
- Bisiklet ve yaya ulaşım biçimlerinin iyileştirilmesi ve yaygınlaştırılması
- Şehirlerdeki trafik yükünün azaltılması: araç kullanımının azaltılması
- Toplu taşıma kullanımının genişletilmesi
- Kent ulaşımı için kurumsal yeniden yapılandırma ve uygulamasının iyileştirilmesi
- Deniz taşımacılığının güçlendirilmesi
- Demiryolu taşımacılığının güçlendirilmesi
- Ulaşımla ilgili veri toplanması

Ayrıca, 2019 yılının Mayıs ayında, ulaştırma sektöründe enerji tasarrufunu artırmak için Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı 2008'de yayımlanan ulaşırmada enerji verimliliği yönetmeliğini baştan revize etmiştir (Resmi Gazete, 2019b). Bahsi geçen farklı belgeler, Türkiye'nin düşük karbonlu geçişi yönünde atılmış önemli adımlardır. Elektrikli araç alımına yönelik taahhüt edilen çeşitli eylemleri vurguladığından ilk eylem özellikle önemlidir.

- Özel Tüketim Vergisi Yasası, elektrikli ve hibrit araçlar için vergi indirimini içerir; ek vergi indirimi için analiz yürütülecek ve sonuçlar uyarınca yeni bir yasal çerçeve değerlendirilecektir.
- Yakıt tüketimi ve emisyon değerleri (CO₂/km) uyarınca farklı vergilendirmenin getirilmesi için altyapı geliştirilecektir. Mevcut motorlu araç vergi sisteminin geliştirilmesiyle düşük emisyonlu araçlara vergi avantajları sağlanacaktır. Çevresel etki ve satın alma gücü dengesi göz önünde bulundurularak daha eski araçlar için daha yüksek vergilerin uygulanması sisteme dahil edilecektir.
- Piyasadaki tüm araçların CO₂ emisyonlarının rakamsal değerlerinin kaydedildiği bir veri tabanı oluşturulacaktır. Vergi sistemi bu veri tabanı ile desteklenecektir.
- Elektrikli ve hibrit araçlar için şarj istasyonlarının kurulmasına yönelik standartlar ve altyapılar belirlenecektir.
- Elektrikli ve hibrit araçlara yönelik farkındalık yükseltilecek ve düşük emisyonlu araç kültürü oluşturulacaktır. Araç üreticileri, elektrikli ve hibrit araçların halka tanıtılması ve yaygınlaştırılması konusunda aktif bir rol üstlenecektir.

Elektrik talebinin yenilenebilir bir kaynaktan sağlanması koşuluyla, ulaştırma sektöründe yenilenebilir enerji payının artmasına da yardımcı olarak daha düşük emisyon sağlayacak ve şehirlerin hava kalitesinin artmasına katkı sağlayacaktır.

2.3 Türkiye'de elektrikli araçlar: piyasalar ve politikalar

Elektrikli araçlar enerji sistemi için pek çok fayda sunmaktadır. İçten yanmalı motorlu geleneksel araçlarla karşılaştırıldığında bir elektrikli araç, aynı yolcu mesafesini gitmek için kullandığı enerji tüketimi bakımından çok daha verimlidir. Elektrik talebinin yenilenebilir bir kaynaktan sağlanması koşuluyla, ulaştırma sektöründe yenilenebilir enerji payının artmasına da yardımcı olarak⁶ daha düşük emisyon sağlayacak ve şehirlerin hava kalitesinin artmasına katkı sağlayacaktır. Sunabilecekleri hizmet

⁶ Böylesi bir artış sağlamak için, yenilenebilir enerji taşıyıcılarından elde edilen elektrik payının, ulaşım sektöründeki toplam nihai enerji tüketimi kapsamında dikkate alınması gerekir.

açısından elektrikli araçlar aynı zamanda batarya depolama teknolojileriyle benzerlik göstermektedir. Örneğin, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynakların şebeke entegrasyonu için katkıda bulunabilirler.

Elektrikli araçların geliştirilmesinde de zorluklar söz konusudur. Esas olarak batarya sistemleri maliyetlerinin düşmesi ve araç piyasasının büyümesine bağlı olarak şarj altyapısının gelişmesiyle yakın ilişki içinde olmalıdır. Bu da araçların sayıları arttıkça, şarj edilme süreleri ve biçimlerine bağlı olarak, dağıtım şebekeleri üzerinde etki yaratabilir. Etkileri en aza indirecek elektrik yük yönetimi için çeşitli stratejilerin devreye sokulması ve planlama yapılması gerekecektir. Bir diğer zorluk batarya depolama teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak depolama için gerekli olan malzemelerin değişebilecek tedarik güvenliğidir.

Geçtiğimiz yıllarda, Türkiye’de elektrikli araçlara ilişkin bir dizi teşvik uygulamaya konmuştur.

Geçtiğimiz yıllarda, Türkiye’de elektrikli araçlara ilişkin bir dizi teşvik uygulamaya konmuştur (ICCT, 2019b). Bu teşvikler aşağıda özetlenmiştir:

- İlk teşvik, 2011 yılında Özel Tüketim Vergisi’nde (ÖTV) yapılan bir indirimle uygulamaya konmuştur. ÖTV, elektrikli araçların güç kapasitesine bağlı olarak %3 ve %15 arasındaki bir seviyede belirlenmiştir (Resmi Gazete, 2011). Örnek vermek gerekirse 1.600 santimetreküp (cm³) motoru olan geleneksel bir arabaya eşdeğer güç kapasitesine sahip bir elektrikli araç satışından %45 yerine %3 ÖTV alınmaktadır. Ancak hibritli araçlar bu indirimin dışında bırakılmıştır.
- ÖTV oranlarındaki diğer indirim 2016 yılında, 50 kW’ın üzerinde (ve 1.800 cm³ altında) ve 100 kW’ın altında (ve 2.500 cm³ altında) elektrikli motor gücü olan elektrikli araçlar için sırasıyla %90’dan %45’e ve %145’ten %90’a şeklinde olmak üzere uygulamaya konmuştur (Resmi Gazete, 2016). Tanımlı araç kategorilerinin söz konusu süreçte Türkiye’de satılmakta olan elektrikli araçları geniş ölçekli olarak içermediği için bu düzenleme değişikliği hakkında bazı soru işaretleri olmuştur. Düzenlemenin kapsamı daha ziyade içten yanmalı motor hacmi 1.800 cm³’den daha fazla olan plug-in araçlarla sınırlı kalmıştır (TeslaTürk, 2016). Bataryalı elektrikli araçlar Motorlu Taşıtlar Vergisi’nden (MTV) muaf tutulmuştur.
- 2018 yılının başında, daha geniş kapsamlı bir vergi düzenlemesinin parçası olarak elektrikli araçlar için de %25 MTV oranının uygulamaya konması önerilmiş ve bu düzenleme 27 Mart 2018 tarihinde yürürlüğe girmiştir (Resmi Gazete, 2018a).
- Bataryalarla ilgili yeni bir vergi sistemi 2018 yılı Kasım ayının sonunda tartışılmaya başlanmıştır. Buna göre, araçlarda kullanılan bataryada kilogram (kg) başına 15 TL vergi konması tartışılmaktaydı. Bu uygulama, 6.000 TL ila 20.000 TL aralığında ilave bir maliyete yol açacağı öngörülmekteydi. Bu öneri sektör tarafından beklenenin dışında yorumlandı ve daha sonraki bir aşamada politika yapıcılar tarafından uygulamaya açıklık kazandırıldı. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), bu verginin kullanım ömrü dolan bataryalar için geri dönüşüm için yenilendiklerinde uygulamaya konmasının amaçladığı bilgisini paylaşmıştır.

Şarj altyapısına yönelik farklı düzenlemeler bulunmaktadır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından 2 Ocak 2014 tarihinde yayınlanan düzenleme, bağlantı erişimi için başvuran tüketicilerin şarj altyapısının teknik nitelikleri ve diğer detaylarını içeren detaylı bir elektrik projesini dağıtım şirketine sağlaması koşulunu getirmiştir (EPDK, 2014). 8 Eylül 2013 tarihinde ÇŞB tarafından yayınlanan düzenleme, uygun bulunan ve görevli elektrik dağıtım şirketi tarafından onaylanan park alanları, benzin istasyonları ve diğer alanlarda şarj altyapılarının kurulmasının mümkün olduğunu öngörmektedir (Resmi Gazete, 2013). Şarj altyapı konusunun mevcut düzenlemelerde tam olarak açık bir şekilde bahsedilmemesinin sebebi bu altyapıların sayılarının

sınırlı oluşudur. Şubat 2018’de ÇŞB tarafından yayınlanan bir düzenleme, kamusal ve alışveriş merkezlerindeki park alanlarında 50 araç park alanı için en az bir şarj cihazının kurulmasını gerektirmektedir (Resmi Gazete, 2018b).

Elektrikli araçların yayılmasını hızlandırmak için finansal araçlar büyük önem arz etmektedir. İş Portföy Yönetim A.Ş. elektrikli araçları, akıllı sayaç teknolojileri ve batarya depolama geliştiren ve üreten şirketlerin yanı sıra bataryaların üretiminde kullanılan malzemeleri işleyen şirketleri de finanse etmektedir (KAP, 2018). Finanse edilen şirketlerin portföylerinin en az %80’i bu faaliyetlerden herhangi birini içermelidir (KAP, 2018).

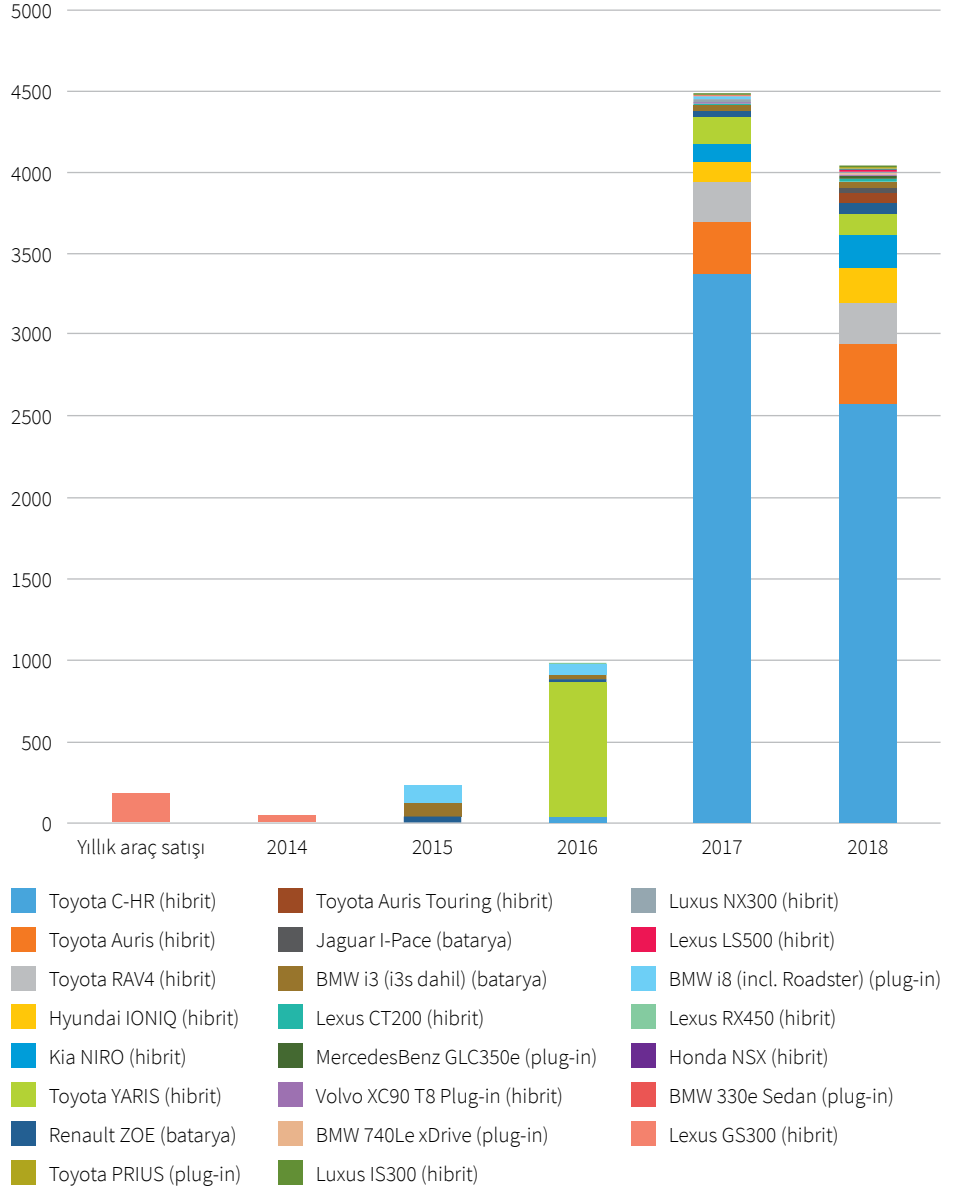
Türkiye’de toplam hibrit ve elektrikli araç sayısı 10.000’in üzerindedir. Bu toplam binek araç stokunun yaklaşık %0,08’ini oluşturmaktadır.

Türkiye’nin elektrikli araç piyasası halihazırda oldukça düşük bir seviyeden başlamaktadır (Şekil 4). 2013 yılının sonuna kadar toplamda 215 araç stoka giriş yapmıştır (ODD, 2014). 2014 yılında 47 yeni elektrikli araç satılmış ve bir sonraki yıl bu sayı 119’a yükselmiştir (ODD, 2016). 2016 yılında 950 hibrit araca karşılık toplamda 44 batarya depolamalı araç satılmıştı (TEHAD, 2019). 2017 yılında, hibrit satışları 4.451 ile yeni bir rekor kırmıştır (ODD, 2019). 2018’in sonunda, elektrikli ve hibrit araç satışları 4.000 seviyesini geçmiş ve toplamda 155 batarya depolamalı ve 39 plug-in hibrit araç satılmıştır. Hibrit araç satışları ise 3.800 seviyesinin üzerine çıkmıştır. Bu rakamlar, Türkiye’deki toplam hibrit ve elektrikli araç sayısını 10.000 seviyesine çıkarmıştır. Bu toplam binek araç stokunun yaklaşık %0,08’ini oluşturmaktadır. 2018 yılındaki hibrit ve elektrikli araç satışları, Türkiye’deki toplam binek arabası satışlarının %2’sini temsil etmekteydi (ODD, 2019). Bu dikkat çekici olsa da 2018 yılında bir önceki yılın araç satışlarına göre %35 civarında düşüş yaşandığından istisna bir yıldır.

En çok satılan modeller Toyota C-HR (halihazırda stokta 2.700’den daha fazla araç bulunmaktadır), Toyota YARIS (>400) ve Toyota RAV4 (>200) olarak kayda geçmiştir. Toyota Auris (>160), Hyundai IONIQ (>150) ve Kia NIRO (>130) modelleri de elektrikli araç piyasasında yer bulmaktadır. Renault Zoe (~100 araba) ve BMW i3 (~70) batarya depolamalı elektrikli araç piyasasını oluşturmaktadır. Tesla için dağıtım kanalı olmadığından gerçek rakamlara ulaşamamakla birlikte, stokta 150 civarı Tesla araç olduğu varsayılmaktadır (TEHAD, 2018).

Şekil 4: Türkiye’de elektrikli araç ve hibrit araç satışlarının değişimi, 2013-2018

Yıllık araç satışı



Kaynak: TEHAD (2019)

Not: veriler Tesla arabaları ve ticari araçları içermemektedir.

Hızlı şarj yoluyla 50 kW veya daha fazla şarj etme gücü sağlanarak, şarj süresi yarım saatten daha kısa sürebilir. Araba üreticileri ve enerji sağlayıcılar 150 kW gücünde yüksek güçlü veya çok hızlı şarj etme seçenekleri geliştirmektedirler.

Elektrikli araçları şarj etmek için içten yanmalı motorlu bir araca göre daha fazla süre gerekmesi daha fazla yaygınlaşmalarına ket vuran önemli bir faktördür. Bu faktör, arabanın tipi, şarj gücü ve izin verilebilen şarj etme hızının yanı sıra şarj altyapısındaki bağlantı tipine de bağlıdır. Sürüş şekilleri ve şarj konumları tüketicilerin kabul etmeye razı olacakları minimum şarj etme sürelerinin kapsamını belirler. Örneğin, tüketicilerin çoğu elektrikli araçlarını akşam ortalama 10 saatlik bir süre zarfında şarj eder. Evde şarj etme en kolay ve en tasarruflu yollardan biri olabilir. Evde bir aracın bataryasını tamamen şarj etmek için gereken süre 50 saate kadar çıkabilir. Karşılaştırma yapacak olursak, 22 kW güç kapasitesi olan çalışır durumdaki 3 fazlı bağlantı, şarj etme süresi bant genişliğini 2 ila 7 saat arasına düşürebilir. Hızlı şarj yoluyla 50 kW veya daha fazla şarj etme gücü sağlanarak, şarj süresi yarım saatten daha kısa sürebilir. Araba üreticileri ve enerji sağlayıcılar 150 kW gücünde yüksek güçlü veya çok hızlı şarj etme seçenekleri geliştirmektedirler.

Türkiye Elektrikli ve Hibrit Araçlar Platformu (TEHAD) mevcut istatistiklerine göre, Türkiye’de 2016 yılının sonu itibariyle toplamda yaklaşık 1.000 istasyon bulunmaktayken bunlardan yalnızca 400 tanesi erişilebilir ve hizmet verebilir durumdadır. Bu sayı, EPDK’nın sağladığı istatistiklerle uyumludur (TEHAD, 2019). 2017 yılı sonu itibariyle, istasyonların toplam sayısı 1.500’e yükselmiştir (TEHAD, 2017), ancak diğer veriler şarj istasyonlarının sayısının 500 ila 800 aralığında olduğuna işaret etmektedir (Hürriyet, 2018b; Polat vd., 2018; Yeni Şafak, 2018). Kamusal şarj noktalarına dair en güncel veriler, Mart 2019 sonu itibariyle Türkiye’de 582 şarj noktası olduğunu göstermektedir (TEHAD, 2019). Bataryalı ve plug-in elektrikli araçların toplam sayısı 2018 sonu itibariyle 650’ye, Eylül 2019 itibariyle ise 1.310’a ulaşmıştır, yani Türkiye’de araç başına 2 şarj etme noktası bulunmaktadır. Aynı zamanda her elektrikli araç sahibinin ortalama 1 ev şarj istasyonu erişimine sahip olduğu varsayılabilir. Bu da toplam sayıya yaklaşık 1.000 şarj noktası daha eklenebileceği anlamına gelir.

Türkiye’de şarj altyapıları geliştiren ve sağlayan pek çok şirket bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak, Eşarj, G-Charge (Gersan), Voltrun, Yeşil Güç (Greenway), Zorlu Energy Solutions (ZES) ve ABB istasyon modellerinden bir ya da daha fazlasını ülke genelinde uygulamaya koymuşlardır. Pek çok istasyon modeli mevcuttur. Farklı modeller, elektrikli araçları maksimum 8 saat içerisinde şarj etme imkanı sağlayan evde şarj seçenekleri sunmaktadırlar. Bazı şirketler 50-kW’lık şarj etme kapasiteli DC bağlantısı ile yarım saatten daha kısa bir sürede şarj edebilen modellere sahiptir. Bu süre, dünya genelinde mevcut olan hızlı şarj istasyonlarının sunduğu 120 kW’a kadar çıkabilen aralığın en düşük seviyesidir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2018). Diğer şirketlerin de Türkiye’deki şarj altyapısını genişletme yönünde planları bulunmaktadır. ZES, İstanbul-İzmir-Ankara otoban ağı boyunca toplamda 10 hızlı şarj etme istasyonu kurmuştur. Şirket, ülke genelinde 200 tane daha istasyon kurma yönünde ek bir plan ile 2018 yılında bu sayıyı 25’e çıkarmayı planlamaktaydı. Bu hedef için, hızlı şarj altyapısı başına ortalama 50 bin dolar olmak üzere, toplamda 10 milyon dolar yatırım yapılması gerekecektir (Hürriyet, 2018c).

Türkiye’deki farklı şirketler tarafından önerilen iş modellerine dair sınırlı bilgi mevcuttur. Bununla birlikte Eşarj şirketinin internet sayfasında bazı ilginç veriler paylaşılmaktadır (Eşarj, 2019). Elektrikli araçların şarj hizmetinin fiyatlandırması zamana bağlı bir temelde yapılır. Bunun iki pratik nedeni vardır: kWh bazında elektrik satışı bir lisansın alınmasını gerektirir ve araç %100 doldurulduğunda bir sonraki tüketici için bekleme süresinden kaçınma ihtiyacı söz konusudur. Farklı şarj güçleri için, Eşarj dakika başına aşağıdaki fiyatları uygulamaktadır: 3,7 kW (MCN37M): 0,06 TL, 7,4 kW (MCN74M): 0,12 TL, 0,11 kW (MCN11M): 0,21 TL, 22 kW (MCN22M): 0,33 TL ve 45 kW (MCQ45M): 0,86 TL. Tüm elektrikli araç tipleri için, tüketici şarj başına 50 TL fiyat ödemekle yükümlüdür. Örnek vermek gerekirse, 22 kW (maks.) batarya kapasiteli Renault Zoe aracının, AC 1 fazlı şarj istasyonunda 22 kW (maks.) kapasitesinde bataryasının %75’ini doldurabilmek için 45 dakika gerekir. Dolayısıyla 17 kWh şarj 14,85 TL değerindedir (MCN22M elektrik tarifiyle fiyatlandırılmıştır). 60 kWh batarya kapasiteli Tesla Model S 17 kWh’lık aynı miktarda elektrikle bir DC istasyonunda şarj edilseydi, batarya kapasitesinin %30’unu doldurmak için 21 dakika gerekirdi. Bu ise 18,06 TL’ye mal olurdu (elektrik tarifiyle fiyatlandırılmıştır). Şarj istasyonlarında meydana gelebilecek bekleme sürelerinden ve tüketicilerin ödeyebileceği ek maliyetlerden kaçınmak için, batarya tamamen dolduktan sonra dahi tüketicinin arabayı fişe takılı şekilde bırakması durumunda ne olacağına karar vermek önemlidir. Gelecekte şarj istasyonlarındaki bekleme süreleri sorun haline gelebileceğinden bu önemli bir sorun teşkil edebilir. Elektrikli araç sürücülerinin şarj etme noktalarında araçlarını uzun süre park ederek (şarj etmeksizin)

kullanmaları önlemek önemli olacaktır. Fiyatlandırma bu durumda temel öğedir. Pek çok ülkede, elektrikli aracın şarj noktasında geçirdiği süre arttıkça şarj etmek çok daha masraflı bir hale gelmektedir. Bu durum, tüketicinin asgari şarj sınırından sonra şarj noktasından ayrılması için teşvik edici olmaktadır. Yarısı dolu bir batarya kapasitesiyle istasyona gelen Renault Zoe için, bataryanın geri kalanını şarj etmek 30 dakika sürer (22 kW'ta 22 kWh) ve bu 9,90 TL'ye mal olmaktadır. Arabasını 90 dakika daha istasyonda bırakarak şarj eden tüketici için, şarj etme gücünü (5,5 kW) ve karşılık gelen elektrik tarifesi (MCN74M) hesaplamak üzere şarj etmek için kullandığı toplam elektrik miktarı (11 kWh) aracının bağlı bulunduğu toplam süreye (2 saat) bölünür, bu da sürücüyü ilave 14,40 TL'ye mal olacaktır.

2.4 Türkiye'de elektrik fiyatlandırma stratejileri

Elektrik piyasasının serbestleştirme süreci 2001'de çıkarılan “Elektrik Piyasası Kanunu” ile başlamıştır. Değer zincirinin tüm boyutlarını etkileyen bu yapısal değişim daha rekabetçi, çevreye duyarlı ve tüketici odaklı bir piyasa yaratmak üzere yürürlüğe konmuştur. Gün Öncesi Piyasası, Dengeleme Güç Piyasası ve teminat mekanizması Aralık 2011'den bu yana hala yürürlüktedir. Ayrıca, dağıtım şirketlerinin özelleştirme süreci başarılı bir şekilde tamamlanmış ve dağıtım ve perakende satış faaliyetleri 2013 yılında ayrılmıştır. Bu tam anlamıyla serbest bir piyasa için büyük bir adımdır. Piyasa süreçleri Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) şirketinden 2015 yılında kurulan bağımsız bir şirket olan Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.'ye (EPIAŞ) aktarılmıştır. Aynı yıl, özellikle yenilenebilir enerji için dengeleme faaliyetlerine ek bir platform sağlaması adına Gün İçi Piyasası açılmıştır.

Yılda 1,6 megawatt-saatten (MWh) daha fazla elektrik tüketen (2019 yılı itibarıyla) sanayi, ticarethane ve mesken tüketicileri kendi tedarikçilerini seçme hakkına sahiptir (serbest tüketiciler olarak adlandırılırlar). EPDK, elektrik sektöründeki rekabetçi piyasa yapısını artırmak amacıyla serbest tüketici limitini, sıfıra indirmek için her sene düşürmektedir. Teorik piyasa açıklık oranı olan serbest tüketicilerin tüketim miktarı, 2018 yılı sonu itibarıyla neredeyse %95 seviyesine ulaşmıştır.

Bölgesel görevli tedarikçiler ülke genelinde serbest tüketicilere elektrik sağlayabilmelerinin yanında, serbest olmayan tüketiciler için de son kaynak tedarikçisi olarak görevlendirildikleri bölge içerisinde elektrik sağlarlar. Tedarikçilerini seçme hakkını kullanan serbest tüketiciler için birim fiyat, tedarikçi firma ile arasında yapacakları sözleşme ile belirlenirken, serbest olmayan tüketiciler için fiyat EPDK tarafından belirlenir. Bir başka deyişle, serbest olmayan tüketiciler için ulusal olarak düzenlenmiş perakende satış fiyatı söz konusudur. Düzenlenmiş tarifeler (seçme hakkı olmayan tüketiciler için), yılın her çeyreğinde otomatik fiyatlandırma mekanizması dayanan bir yöntemle EPDK tarafından değerlendirilir ve onaylanır. Düzenlenmiş ulusal tarifeler, yalnızca bu tarifeleri kullanan serbest olmayan tüketiciler açısından değil, genel olarak ulusal tarife fiyatları üzerinden indirim oranlarının müzakere edildiği serbest tüketiciler piyasasında bir referans noktası olması açısından da önem taşımaktadır.

Şekil 5: Düzenlenmiş perakende tarife yapısı

Düzenlenmiş Tarife Yapısı		Düzenlemeye Tabi Perakende Tarife Grupları	
Bileşenler	Vergi ve Fonlar	Şebeke Bağlantı Tipi	Tüketici Tipi
	Şebeke	Yüksek Gerilim (YG) Orta Gerilim (OG)-Tek Zamanlı Orta Gerilim (OG)-Çift Zamanlı Alçak Gerilim (AG)	Sanayi Ticari Mesken Sulama Aydınlatma
	Perakende	Terim Türü	
	Enerji Tedariki	Tek Terimli	Çift Terimli
		T (00.00-24.00)	T1 (06.00-17.00) (Gündüz) T2 (17.00-22.00) (Puant) T3 (22.00-06.00) (Gece)

Elektrik piyasasında son kullanıcı perakende fiyatı, Şekil 5'te gösterildiği gibi dört ana bileşenden oluşmaktadır: enerji bedeli, perakende satış bedeli, dağıtım bedeli, vergiler ve fonlar. Düzenlenmiş tarife, şebeke bağlantısının türüne ve tüketici grubuna göre kategorize edilmektedir. Bu tarife ayrıca tüketiciye, tek zamanlı (gün boyunca tek biçimli fiyatlandırma) veya çok zamanlı tarife (üç periyoda ayrılmış kullanım zamanlı tarife, veya time-of-use tariff, ToUT) şeklinde iki farklı ürün şeklinde sunulmaktadır. Tek zamanlı tarifiede fiyat gün boyunca aynıdır. Çok zamanlı tarifiedeyse, Tablo 1'de belirtildiği gibi, fiyat üç zaman dilimine bölünmüştür. Mevcut perakende satış tarifesi fiyatları aşağıdaki şekilde belirtilmiştir:

Tablo 1: Düzenlenmiş perakende satış tarifesi fiyatları (erişim tarihi Ekim 2019)

1/10/2019	Düzenlenmiş perakende satış tarifeleri (MWh başına Türk Lirası değerinde)				
Dağıtım Şirketi Kullanıcıları	Perakende tek zamanlı enerji bedeli	Perakende çok zamanlı (gündüz) enerji bedeli	Perakende çok zamanlı (puant) enerji bedeli	Perakende çok zamanlı (gece) enerji bedeli	Dağıtım Bedeli
Alçak gerilim					
Sanayi	499,5830	506,3080	827,8390	246,8020	157,3550
Ticari	543,6730	549,7810	899,6850	271,3760	213,2490
Mesken	364,1890	371,4550	636,0530	159,8570	208,5650

Kaynak: TEDAŞ (2019)

Türkiye'de elektrik sektörünün serbestleşmesi ve reform sürecinin hedeflerinden bir tanesi de, tüketicilerle ve tedarikçiler arasındaki serbest ve rekabetçi piyasa yapısının oluşmasını sağlamak üzere ulusal tarifenin kademeli olarak sona ermesidir. Kurulmak istenen sistem, maliyete dayalı düzenlenmiş tarifelerin sadece dağıtım ve iletim faaliyetleri için belirlendiği ve elektriğin piyasaya dayalı bir emtia olarak işlem gördüğü, 100% piyasa açıklık oranına ulaşılmasına dayanmaktadır. Kayıp ve kaçak oranlarıyla fatura tahsil oranlarında bölgeler arasında büyük farklılık olması, bugüne kadar böyle

bir sistemin kurulmasına ket vurmuştur. Son Kaynak Tedarik Tarifesi 2018'de bütünüyle serbestleştirilmiş bir piyasa yapısına geçişte bir ara adım olarak devreye sokulmuştur.

Son Kaynak Tedarik Tarifesi, düzenlenmiş ulusal tarifelerden ayrı olarak, enerji maliyetlerini tam olarak yansıtan bir tarife yapısına geçişi sağlamak üzere tasarlanmıştır. Son Kaynak Tedarik Tarifesi, yıllık tüketimi 2018 için 50 GWh, 2019 içinse 10 GWh'yi aşan ve görevli tedarik şirketlerden elektrik temin etmeye devam eden tüketiciler için geçerli olacaktır. Son Kaynak Tedarik Tarifesinin yapısı, düzenlenmiş perakende satış tarifesinden daha sadedir. Şebeke bağlantı türüne, tüketici grubuna, kullanım zamanına ya da başka bir kritere göre belirlenen bir tarife yapısını içermemektedir. Tarife, gerçek enerji tedarik maliyetlerini içermeyi hedefleyen, saatlik tüketim ve spot piyasa fiyatı temelinde profil ve dengeleme gibi diğer maliyet unsurlarına ek olarak, brüt bir kâr marjının belirlendiği bir fiyatlandırma formülüne sahiptir (Tablo 2).

Son Kaynak Tedarik Tarifesinin temel mantığı, daha cazip bir tarife seçmek ve görevli tedarikçiler de dahil herhangi bir perakende satış şirketiyle yeni bir ikili anlaşma imzalamak üzere, serbest tüketicileri serbest piyasaya geçiş yapmaya teşvik etmektir. Son Kaynak Tedarik Tarifesi aynı zamanda büyük ölçekli serbest tüketicilere yönelik olarak, elektrik enerjisinin maliyetinin belirlenmesinde uygulanan bir fiyat tavanı olarak görülebilir. Tarife, düzenleyicinin belirlediği mevcut durumda %9,38 (2019 yılı için) olan brüt kâr marjını içermektedir. Mevcut brüt kâr marjı, hemen hemen bütün büyük serbest tüketicileri var olan piyasa şartlarında elektriği daha düşük maliyetlerle tedarik etmek için serbest ikili anlaşmalar yapmaya yönlendirecek seviyededir. Aynı zamanda bu tarife yapısı, daha fazla taraflı katılım ve verimliliğe dayalı bir sisteme geçişi de kolaylaştıracaktır. Diğer taraftan yukarıda belirtildiği üzere düzenlenmiş perakende satış tarifesi, serbest olmayan küçük ölçekli tüketiciler ve serbest tarife kapsamında bir tedarikçiyle anlaşmayı tercih etmeyen serbest tüketiciler için geçerlidir. Bu nedenle perakende satış tarifesi de Son Kaynak Tedarik Tarifesi gibi bir fiyat tavanı veya küçük ölçekli serbest tüketicileri kapsayan rekabetçi piyasa için bir referans noktası olarak değerlendirilebilir.

Tablo 2: Son kaynak tedarik tarifesinin yapısı

Son Kaynak Tedarik Tarifesi: Her Bir Tüketici İçin Farklı Fiyat
Vergi ve Fonlar
Şebeke
Düzenlenmiş perakende tarife ücretleriyle aynı
Enerji Tedariki + Perakende
(Gerçek Piyasa Denge Fiyatının Ağırlık Ortalamasında Gerçek Enerji Maliyeti ve Yenilenebilir Kaynak Destek Mekanizması Maliyeti) x (1 + Brüt Kâr Marjı)

Kaynak: SHURA (2019)

Mevcut sistemde 21 bölgedeki görevli tedarik şirketi, serbest piyasadan elektrik almayı tercih etmeyen tüm tüketiciler için geçerli olan tek bir ulusal tarife kullanmakla yükümlüdür. Her şirket hem farklı enerji tedarik maliyetlerine, kayıp-kaçak ve tahsilat oranlarına hem de farklı işletme maliyetleri ve yatırım gereksinimlerine sahiptir; ulusal tarife bu faktörlerin hepsinin ortalamasıdır. Tüm şirketler, ulusal tarifeyi kullanarak son kullanıcılara sattıkları elektriği fatura ettikten sonra, düzenlenmiş bölgesel gelir tavanının üzerindeki tutarlar, söz konusu tavanın ulusal ortalamadan yüksek olduğu bölgeler arasında yeniden dağıtılmak üzere eşitleme mekanizmasına aktarılmaktadır.

3. Küresel elektrikli araç piyasasındaki güncel gelişmeler

3.1 Piyasadaki gelişmeler

2018 yılı sonu itibariyle, kullanımda olan toplam elektrikli araçların sayısı 5,1 milyona ulaşmıştır. Bir sonraki 1 milyon elektrikli aracı stoka eklemek için ihtiyaç duyulan süre 6 aydan daha az bir süre gerektirmektedir.

Elektrikli araçları desteklemek ve şarj altyapısını yaygınlaştırmak yönündeki politikaların sonucunda küresel elektrikli araç piyasası hızlı bir büyümeye yaşamaktadır. 2018 yılı sonu itibariyle, kullanımda olan toplam elektrikli araçların sayısı 5,1 milyona ulaşmıştır. Bir sonraki 1 milyon elektrikli aracı stoka eklemek için ihtiyaç duyulan süre 6 aydan daha az bir süre gerektirmektedir (BloombergNEF, 2018; IEA, 2019b). Yalnızca 2018 yılında, 1 milyon civarında elektrikli araç satışıyla Çin, neredeyse yarısını temsil eden bir paya sahip olarak küresel stokun en geniş sahibi olarak ön plana çıkmaktadır. Her biri için 1 milyonu aşkın kullanılmakta olan elektrikli araç ile Çin'i Avrupa ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletleri izlemektedir.

Kullanılmakta olan elektrikli araçların neredeyse yarısı dünyanın 25 farklı şehrinde bulunmaktadır. Çin'deki şehirler bu listede başı çekmektedir. Şangay 2011 ve 2017 yılları arasında satılan 162.000'den fazla araç ile küresel elektrikli araç satışlarının artmasına neden olmuştur. Bu toplam küresel araç satışlarının %5'ini temsil etmektedir. Şangay'ı Pekin ve Los Angeles toplam satışların %5'inden biraz daha az seviyede bir satış oranıyla takip etmektedir (ICCT, 2018).

Elektrikli araçların ne sıklıkla şarj edilmeye ihtiyaç duyacakları gidilen mesafeye ve batarya kapasitesine bağlıdır. Elektrikli bir binek aracının ortalama mesafesi, şu anda, yaklaşık 200 km'dir ve batarya teknolojisindeki gelişmelerle bu rakamın artması beklenmektedir (U.S. Department of Energy's Office, 2019). Bu, şarj etme sıklığının artışı ve işyerleri, alışveriş merkezleri ve diğer kamusal alanlar da dahil olmak üzere ev dışındaki şarj altyapılarına olan ihtiyacı etkileyecektir. Elektrikli araç piyasasının gelişmesinin önündeki bariyerlerden biri şarj için ihtiyaç duyulan uzun süre olmuştur (Seviye 1 veya 2 "normal" şarj istasyonları (maks. 22 kW şarj kapasiteli) tam olarak şarj için ortalama 8 saate kadar uzanan bir süreye ihtiyaç duyar) (EAFO, 2019).⁷ Pek çok durumda, şarj için 7, 11 veya 22 kW seviyelerinde şarj arzu edilse de, bu tam olarak doğru değildir. Tüketicilerin ihtiyaçları doğrultusunda daha uzun şarj etme sürelerinden istifade etmek ve şarj sürelerini kısaltmak arasında şebeke esnekliği sağlamak için bir denge gözetilebilir. Binek arabalar için günlük kullanım ihtiyacının pek çok durumda çoğu elektrikli aracın maksimum sürüş mesafesi aralığı içerisinde olacağı ve yeni elektrikli araç modellerinin sürüş mesafelerinin bataryadaki gelişmeler ile hızla artacağı göz önünde bulundurulduğunda şehirlerde elektrikli binek araçların hızlı şarj edilmesine duyulan ihtiyacın gerçekçi olabileceği düşünülebilir.⁸ Ancak, filolara (taksiler veya hizmet araç filoları) ve elektrikli araç paylaşım modellerinde daha fazla sayının entegre edilmesiyle bu durum değişebilir. Tüm bu kullanım durumlarında, kârlılık, kat edilen mesafeye bağlıdır ve elektrikli araçların nispeten düşük sürüş maliyeti ile kullanımı maliyet avantajı sunarak gelecekteki satışları daha olası kılar. Ayrıca, hızlı şarj etmenin batarya gerilimini ve bozunumunu hızlandıracağı olasıdır. Bu nedenle, batarya eskimesi gibi etkiler de şarj etmenin zaman içerisindeki dağılımından etkilendiğinden, batarya teknolojisine lisans veren kurumlar bu yaşlanmayı azaltmaya yönelik önlemler geliştirmektedir.

Binek arabalar için günlük kullanım ihtiyacının pek çok durumda çoğu elektrikli aracın maksimum sürüş mesafesi aralığı içerisinde olacağı ve yeni elektrikli araç modellerinin sürüş mesafelerinin bataryadaki gelişmeler ile hızla artacağı göz önünde bulundurulduğunda şehirlerde elektrikli binek araçların hızlı şarj edilmesine duyulan ihtiyacın gerçekçi olabileceği düşünülebilir.

⁷ Burada, Avrupa Birliği'nde tanımlanan şekilde en fazla 22 kW kapasiteli "normal" şarj noktasından bahsedilmektedir. Bu kapasite aralığı, Avrupa Birleşik Devletleri'nde "yavaş" şarj altyapısı olarak tanımlanabilir. Bu çalışmanın geri kalanında, 22 kW'ın üzerindeki şarj altyapısı "hızlı" şarj aletleri olarak tanımlanacaktır.

⁸ Plug-in hibrit araçlar içten yanmalı motorlarla da çalışabildiğinden bu aralık plug-in hibrit araçlar için geçerli değildir. Ancak Hollanda örneğindeki kullanıcı deneyimleri, elverişli şarj altyapısının olmaması durumunda plug-in hibrit araçların kullanıldıkları zamanın yalnızca %40'ında elektrikle çalışabileceğini göstermektedir.

Dünya çapında kullanılmakta olan yaklaşık 5,1 milyon elektrikli araç stokuna neredeyse eşit sayıda şarj noktası hizmet vermektedir.

2030 yılı için küresel elektrikli araç stokunun 120-250 milyon olması öngörülmektedir.

Dünya çapında 13 milyon daha fazla bataryalı ve plug-in hibrit araç satışı gerçekleşirse, maliyetle rekabet gücü sağlayan teknolojik öğrenme sayesinde maliyetle tatmin edici bir düşüşe yol açılacaktır.

Dünya çapında kullanılmakta olan yaklaşık 5,1 milyon elektrikli araç stokuna neredeyse eşit sayıda şarj noktası hizmet vermektedir (IEA, 2019b). 2018 yılında, bir önceki yıla kıyasla şarj noktası sayısında %44 artış görülmüştür. Artışın büyük çoğunluğu kamu alanlarındaki şarj noktasında olmuştur. Dünya çapında kullanılmakta olan toplam şarj noktasının büyük çoğunluğu, ev ve işyerlerindeki hususi ve yavaş şarj altyapılarıdır (seviye 1 ve 2). Bu şarj noktalarının %10'u, ki bu oran 632.000'e denk gelmektedir, kamusal alanlarda ulaşılabilir durumdadır (bunlardan yarısı Çin'de bulunmaktadır) (BloombergNEF, 2019). Kamusal alanlarda kullanıma açık hızlı şarj noktası sayısı 150.000'dir, ve bunların yaklaşık %80'i Çin'de bulunmaktadır (IEA, 2019b). Amerika Birleşik Devletleri evlerde bireysel kullanım için en fazla hususi şarj aletinin bulunduğu ülkedir. Günümüzdeki oranlara göre, ortalama 1 elektrikli araç için 1 şarj noktası ve kamuya açık alanlarda 10 elektrikli araç için 1 şarj noktası bulunmaktadır. Şarj alışkanlıkları, bölgelere göre ve bölgeler içerisindeki şehir yapılarına göre değişmektedir. Kuzey Avrupa ülkelerinde, elektrikli araç sahiplerinin büyük çoğunluğu, tüm hafta için tek bir kerede veya günlük olarak evde şarj etmeyi tercih ederler. Amerika Birleşik Devletleri'nde, elektrikli araçlar için evlerde ve kamusal alanlarda bulunan şarj istasyonlarının sayısı sırasıyla ortalama 0,9 ve 0,33'tür. Bu rakamlar, piyasanın erken dönem yaygınlaşma süreci bakımından normaldir ve zaman içerisinde tüketici sayısı artacağından bu oranın kamusal şarj aletlerine doğru kayması beklenebilir. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerde evde ve işyerlerinde araçların hepsinin özel park alanlarına erişimi yoktur. Dolayısıyla bu ülkelerde kamusal alanlardaki şarj daha uygulanabilir olacaktır. Çin'in hedefi, 2017 yılında 0,8 olan evlerde şarj noktası oranı, 2020 itibarıyla 0,93'e çıkarmaktır (IEA, 2018). Ülkenin mevcut istatistikleri, farklı konumlarda bulunan tüm elektrikli araçlar için şarj noktalarının toplam sayısını gözler önüne sermek bakımından temel sağlarken her ülkenin kendine özgü koşulları vardır. Dolayısıyla, Türkiye için planlama yaparken toplam sayının ne olacağı ev ve iş yerlerindeki şarj noktalarının yanı sıra kamusal şarj noktaları için de optimum konumların hangi yerlerde olacağı, dağıtım şebekelerindeki etkiler göz önüne alınarak hesap edilmesi gerekmektedir. Türkiye'deki şehirleşme karakteristikleri, şehirleşmenin daha yatay olduğu Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'ndeki pek çok şehirden farklıdır. Örneğin 9 milyon bina stokunun içinde yalnızca kısıtlı bir sayıda müstakil ev bulunmaktadır (Saygın vd., 2019).

3.2 Öngörüler

Küresel elektrikli araç piyasasını tahmin eden pek çok senaryo bulunmaktadır. BloombergNEF, Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency, IEA) ve Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansının (International Renewable Energy Agency, IRENA) senaryolarına göre, 2030 yılı için küresel elektrikli araç stokunun 120-250 milyon olması öngörülmektedir (IRENA, 2018). Bu aralığın üst sınırına ulaşılması, yıllık toplam binek araç satışlarında yaklaşık %40'lık bir payı gerektirir ki bu da 2030 yılı itibarıyla yaklaşık 90 milyon olarak hesap edilmiştir. Buna kıyasla 2018 yılında gerçekleşen 2 milyon elektrikli araç satışı tüm araç satışlarının %2'sini temsil etmiştir.

Belirli pazar paylarına ulaşmak adına, farklı piyasalarda geleneksel içten yanmalı araçlara göre elektrikli araçlara sahip olmanın toplam maliyetinde rekabetçi olunması gerekmektedir. Bu, yüksek yatırım maliyetlerini azaltacak satın alma teşvikleri de (vergi desteği, satın alma indirimi vs) dahil olmak üzere politikalar ve teknolojiye gelişmelerle ve ölçek ekonomileriyle gerçekleşecektir. Dünya çapında 13 milyon daha fazla bataryalı ve plug-in hibrit araç satışı gerçekleşirse, maliyetle rekabet gücü sağlayan teknolojik öğrenme sayesinde maliyetle tatmin edici bir düşüşe yol

açılacaktır (Weiss vd., 2019). Bu, 2021/22 itibariyle stoktaki toplam elektrikli aracın 20 milyona ulaşması anlamına gelmektedir. Böylesi bir maliyet düşüşüne ulaşmak ve piyasa öngörülerini gerçekleştirmek için, batarya depolama teknolojilerindeki maliyetlerin de inişe geçmesi sürmelidir.

3.3 Elektrikli araçların tüketicilerin beğenisine sunulmasını hızlandıran politikalar

Avrupa Birliği üye ülkeleri, Çin, Endonezya, Güney Afrika, Güney Kore, Hindistan ve Japonya da dahil olmak üzere pek çok ülke elektrikli araçların sayısının artırılması bağlamındaki hedefleri açıkça vurgulamıştır.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesini (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) imzalayan ülkeler tarafından hazırlanan Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı beyanlarında (Nationally Determined Contributions, NDC), Avrupa Birliği üye ülkeleri, Çin, Endonezya, Güney Afrika, Güney Kore, Hindistan ve Japonya da dahil olmak üzere pek çok ülke elektrikli araçların sayısının artırılması bağlamındaki hedefleri açıkça vurgulamıştır.

Sanayi geliştirme ve temiz hava politikalarının parçası olarak Çin, elektrikli araçların üretim ve kullanımını destekleyen bir seri politika uygulamaktadır. Kredi bazlı piyasa mekanizmasıyla tamamlanan bir kota sistemi, araç üretimiyle birlikte gerekli elektronik ürün ve batarya üretimini de içeren yerel değer zincirini geliştirilmesini tırmandırmıştır (IEA, 2018). Ülkede üretilen elektrikli araçların sürüş mesafesi ve enerji verimliliği için minimum seviyeler belirlenmiştir. Çin'deki satış teşvikleri, maksimum mesafe, verimlilik ve depolama sistemlerinin enerji yoğunluğuna uygun hale getirilmiştir. Pek çok ülkede, içten yanmalı motorlu araçların satışına yasak getirilmesi tartışılmaktadır (SLoCaT, 2019). Avrupa Birliği'nde araç üreticileri için CO₂ emisyon standartlarının parçası olarak, düşük ya da sıfır emisyonlu araç satışları için 2025 yılında %15 ve 2030 yılında %35 hedef konmuştur. Hindistan, ulaşım sektörünü tam anlamıyla elektrikli araçlara dönüştürmek için iki ve üç tekerlekli araçları da destekleyen iddialı bir plan üzerinde çalışmaktadır (Times of India, 2019). Ülkede, kamu satın alım ihaleleri aracılığıyla öncü teşvikler başlatılırken elektrikli araçların toplam elektrik talebini belirli bir seviyede karşılamak için altyapı planlamasını taahhüt etmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nde, Kaliforniya'nın sıfır emisyonlu araç programı gibi ülke seviyesindeki cezbedici teşvikler, 9 eyalette daha bulunmaktadır (IEA, 2018). Pek çok başka ülkede, elektrikli araçların sayısının arttırmak için, mutlak rakamlarda hacimsel (satışların veya stokların %'si) hedefler bulunmaktadır.

3.4 Şarj altyapısı

Piyasa AC şarj istasyonu, DC şarj istasyonu ve endüktif şarj istasyonu olacak şekilde segmentlere ayrılmıştır. AC ve DC şarj istasyonu segmentleri evsel ve ticari olmak üzere alt segmentlere ayrılmıştır. DC şarj istasyonlarının, piyasanın en hızlı büyüyen segmenti olması beklenmektedir.

Piyasa AC şarj istasyonu, DC şarj istasyonu ve endüktif şarj istasyonu olacak şekilde segmentlere ayrılmıştır. AC ve DC şarj istasyonu segmentleri evsel ve ticari olmak üzere alt segmentlere ayrılmıştır. DC şarj istasyonlarının, piyasanın en hızlı büyüyen segmenti olması beklenmektedir.

Avrupa Komisyonu'nun, üye ülkelerin elektrikli araç kamusal şarj altyapılarına rehberlik eden iki ana kriteri bulunmaktadır. 2020 itibariyle 10 elektrikli araç için 1 şarj noktası önerilmektedir (European Union, 2014). Bu, günümüzün küresel ortalama değerine karşılık gelmektedir ancak Avrupa'daki halihazırda oran 1 ila 5 arasındadır. Mevcut elektrikli araç büyüme oranı, 2020 itibariyle yaklaşık 220.000 kamusal şarj aleti olmalıdır (Transport & Environment, 2018a). Ayrıca, ana otobanlarda her 60 km'de bir şarj cihazının bulunması önerilmektedir (Transport & Environment, 2018b). Kamusal şarj altyapısını tanımlayan Avrupa Birliği yasal çerçevesinin uygulanmasının parçası olarak yayınlanan bu yönergeler kent seviyesinde ve bölgesel seviyede yürütülen modellemelere dayanmaktadır (European Commission, 2016). Bu gelişmeler ile

2020 yılının sonu itibariyle hızlı (5.000 50 kW) ve aşırı hızlı (1.000 150-350 kW) şarj noktalarının yüksek bir seviyeye ulaşması beklenmektedir. Esasen bu beklentinin anlamı, Trans-Avrupa Ulaşım Şebekeleri (Trans European Transport Network, TEN-T) Çekirdek Ağı boyunca her 34 km'de ortalama bir şarj noktası olmasıdır (Transport & Environment, 2018a). Dolayısıyla mevcut ilerleyiş, Avrupa'nın ulusal planlarını izlemesi durumunda Avrupa Birliği'nin elektrikli araç stoku için yeterli şarj noktasının olacağını göstermektedir. Ancak, önümüzdeki yıllarda elektrikli araç satışlarında beklenen büyüme ile altyapı için önemli planlama ve yatırım seviyelerine ihtiyaç duyulacaktır (Transport & Environment, 2018b). Bununla birlikte, Birleşik Krallık gibi bazı ülkelerde, şarj altyapısı "zayıf" ve "kapasite ve coğrafi dağılım kapsamından yoksun" olarak görülmekte ve bu durumda elektrikli araçların ülkede kabul görmesine engel teşkil etmektedir (Campbell ve Thomas, 2019).

Güncel bir çalışma, 2018 yılının ortalarından itibaren dünya genelindeki pek çok piyasada hızlı şarjın yaygınlaşmasından ve bataryalı elektrikli araçların kullanımından çıkarılan derslere odaklanmakta ve bu sayede, ne kadar hızlı şarja ihtiyaç duyulacağının planlanmasının kritik rolünü aydınlatmaktadır (Nicholas ve Hall, 2018). Buradaki temel unsurlar, teknik olarak hızlı şarj altyapısına bağlı elektrikli araç satışları ile diğer tipteki şarj altyapı mevcudiyeti ve konumudur. Elektrikli araç piyasası büyüdüğünden, hızlı şarj noktalarının sayısı da hızla yükselebilir. Şarj etme seçimleri bağlamında farklı eğilimler söz konusudur. Araç sahiplerinden bazıları, evlerine yakın konumdaki hızlı şarj noktalarını kullanmaya eğilimliyken diğerleri, hızlı şarj noktaları ancak restoran, süpermarket vb. yerlerin karşısındaysa bu şarj aletlerini daha elverişli görmekte olup, fiyatı evde şarja kıyasla makul ise çok daha elverişli bulmaktadır. Öte yandan, kamusal alanlar dışındaki şarj noktaları daha az ise daha fazla hızlı şarj aletine ihtiyaç duyulabilir. Piyasa geliştikçe şarj tiplerinin karşılıklı olarak birbirlerini tamamlayacağını göz önünde bulundurmak önemlidir. Sayıları arttıkça, kullanım biçimlerinin farklılaşması olasıdır. Hususi elektrikli araç sahipleri için, hızlı şarj noktalarını çoğunlukla, ortalama ziyaret süresi kısa olan ticari alanlarda bulundukları zamanlarda ve fiyatlar rekabet edebilecek olduğunda makul olacaktır.

Şarjın gerektiği elektrik tüketiminin maliyeti bakımından, hızlı şarjın, eşdeğer fiyattaki dizel/benzinin altında bir fiyatta olması durumu gereklidir. Ayrıca, kurulan şarj altyapısının maliyetlerini karşılamak için asgari bir seviyede kullanılması gerekmektedir.

Şarjın gerektiği elektrik tüketiminin maliyeti bakımından, hızlı şarjın, eşdeğer fiyattaki dizel/benzinin altında bir fiyatta olması durumu gereklidir. Ayrıca, kurulan şarj altyapısının maliyetlerini karşılamak için asgari bir seviyede kullanılması gerekmektedir. Aksi halde teşviklere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bireysel ve işyeri şarj altyapısının yaygınlaşması, imar kanununun güncellenmesini gerektirir ve hükümetler, pek çok elektrikli araç piyasasında, paylaşılan park alanları için minimum ekipman kriterinin getirilmesi süreci içerisinde. Örneğin Norveç'te yeni inşa edilen binalardaki park alanlarının %6'sının elektrikli araçlara ayrılması gerekmektedir.

Elektrikli araç şarj altyapısının inşa edilmesinden kimin sorumlu olduğu ve maliyetinin ne olacağı, özellikle enerji piyasasının aktörleri için entegrasyon konusu bağlamında mevzuata dair kilit bir sorudur. Şu anda roller ve sorumluluklar, her ülke örneğinde farklı şekilde dağıtılmıştır. Çin'de, hükümet elektrik sisteminin sahibi ve işletmecisidir ve kent bölgelerinde şarj hizmeti sağlamak için işletmecilere lisans düzenler. Avrupa Birliği'nin yakın zamanda gözden geçirilen elektrik piyasası tasarım yönetmelikleri, dağıtım şebekesi operatörleri, pay sahibi olan üçüncü bir tarafın olmadığı durumlar haricinde⁹, ücretlendirme hizmeti sunabildikleri sürece şarj noktalarına sahip olamayacaklarını veya işletemeyeceklerini öngörmektedir (Council of the European

Union, 2017). Hindistan’da, küçük ölçekli şirketler lisans almaktaki zorluklar sebebiyle günümüze kadar piyasada tam anlamıyla bir paya sahip olamamışlardır. Bu nedenle lisanssız işletim hakkı söz konusudur (IEA, 2018). Benzer şekilde Amerika Birleşik Devletleri’nde, perakende satış şirketlerinin işletim hakkı yoktur ancak eyaletler, piyasa gelişimini hızlandırmak için bu kuralı değiştirmektedirler (IEA, 2018). Örneğin, Kaliforniya’da, yeterli seviyede özel sektör yatırımı yapılmasının ardından, regülatör tedarikçilerin duruma göre şarj altyapısı kurmasına ve işletmesine izin vermiştir. Bu da şarj altyapısının gelişimini hızlandırmak ve üçüncü şahıslar için bir iş potansiyeli yaratılması konusunda bir adım olarak nitelendirilebilir.¹⁰

3.5 Akıllı şarj yaklaşımı

Elektrikli araçların yaygınlığı arttıkça, hangi saatlerde, ne süreyle ve nerede şarj edilecekleri şebeke entegrasyon maliyetleri açısından önemli ölçüde farklı sonuçlar doğurabilir.

Elektrikli araçların yaygınlığı arttıkça, hangi saatlerde, ne süreyle ve nerede şarj edilecekleri şebeke entegrasyon maliyetleri açısından önemli ölçüde farklı sonuçlar doğurabilir. Elektrikli araçların kontrolsüz şekilde şarj edilmesi, elektrik talebinin yoğun olarak arttığı saatlerde şarj edilmesini olası kıldığından maliyetlerin yükselmesine neden olacaktır. Bu durum, yalnızca yoğun saatlerde hizmet vermek için çok düşük kapasite faktörlerinde çalışması gereken şebeke yatırımlarının yapılmasıyla sonuçlanacaktır. Norveç’te yapılan bir araştırma, daha oturmuş olan bir elektrikli araç piyasasının, örneğin, zamanla değişen tarifelerden gelen herhangi bir fiyat sinyali veya teşvik olmaksızın elektrikli araç sahiplerinin yoğun saatlerde şarj etmeye eğilimli olduklarını iddia etmektedir. Örneğin, pek çok sürücü saat 18.00 civarında, işten eve döndüklerinde araçlarını şarj etmeye başlamaktadır. Türkiye için, saat 19.00 civarında hem kamusal alanlarda hem de evlerde şarj etmenin artışına dair benzer bir yoğunluk artışı olasıdır.

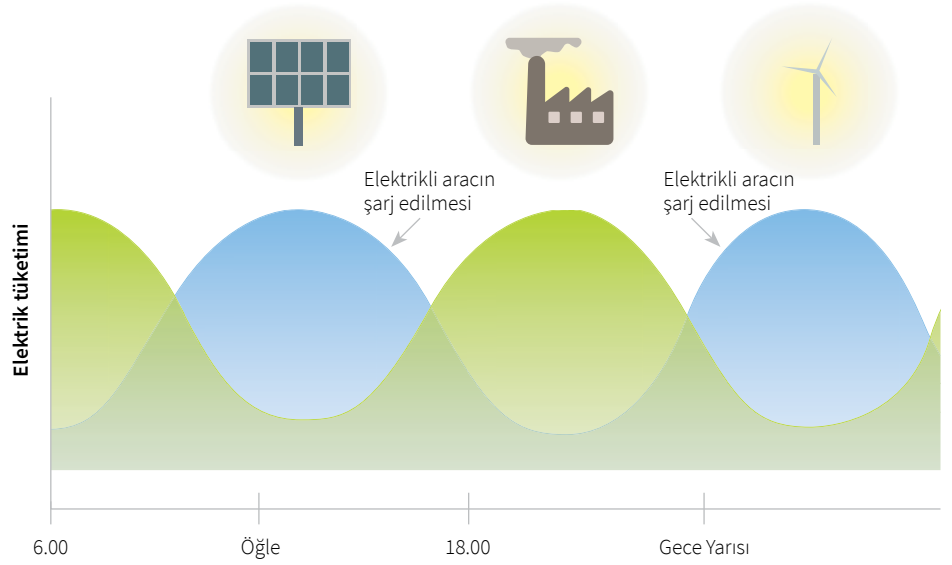
Akıllı şarj etme yaklaşımı genel olarak elektrik üretim ve iletim maliyetleri düşük olduğu zamanlarda araç sahibinin ihtiyaçlarından feragat etmeden elektrikli aracını şebekeden araca şarj etme zamanlarında değişiklik yapılabilmesi olarak tanımlanabilir.

Akıllı şarj etme yaklaşımı genel olarak elektrik üretim ve iletim maliyetleri düşük olduğu zamanlarda araç sahibinin ihtiyaçlarından feragat etmeden elektrikli aracını şebekeden araca şarj etme zamanlarında değişiklik yapılabilmesi olarak tanımlanabilir (Hildermeier ve Kolokathis, 2019). Akıllı şarj kavramı, Şekil 6’da görsel olarak açıklandığı üzere, maliyetleri düşürerek ve tüketimi yoğun saatlerden talep zamanlarına ve ardında da şebeke kullanım zamanlarına kaydırarak şarj etmeyi, tüketiciler, elektrik şebekesi ve çevre için kazançlı kılmanın yollarını arar.

⁹ İspanya’da dağıtım şebekesi operatörü olarak faaliyet gösteren Iberdrola, üçüncü taraf menfaatinin olmadığını ve elektrikli araç şarj hizmetinin sunulması için şebeke operatörlerinin dahil olması gerektiğini öne sürmüştür. Bunun üzerine, rekabete dayalı bir ihalenin ardından hususi bir çıkarın olmaması ve özel çıkarın olması durumunda da tekrar gözden geçirilmesine imkan veren bir kraliyet kararnamesini Ekim 2018’de çıkarılmıştır (Boletín Oficial del Estado, 2018). Benzer kurallar Almanya ve Birleşik Krallıkta da yer almaktadır.

¹⁰ 2016 yılından bu yana, regülatör enerji tedarikçilerinin şarj altyapısının yaygınlaştırılmasını planlamalarını şart koşmaktadır (CPUC, 2016).

Şekil 6: Akıllı şarjın elektrik yük eğrisi üzerindeki etkileri



Kaynak: Hildermeier ve Kolokathis (2019)

Akıllı şarj, düşük karbonlu kaynakların kullanımının artmasına yardımcı olur. Örneğin, şebekede “olağan durumdaki” talebe göre önemli miktarda yenilenebilir enerji olduğunda toptan elektrik satış piyasasındaki fiyatlar düşük olabilir. Elektrikli araçların şarjını bu zaman aralıklarına kaydırmak, ekonomik olmayan kısıtlamaları veya yenilenebilir enerjiden alınan verimdeki azalmayı düşürebilir. Örneğin, Kaliforniya’da, alışıldık olan öğle saatleri yoğunluğu, çoğu zaman, en üst noktaya ulaşır; bu da elektrikli araçları düşük maliyetli şarj etme fırsatı yaratır ve gün ortasında yükselen güneş enerjisi üretiminden alınan faydayı arttırır. Benzer şekilde, genellikle gece saatlerinde gerekli elektriği iletmek için büyük miktarda şebeke kapasitesi mevcut durumdayken araçların şarj edilmesi tercih edilebilir.

Türkiye’de, gece saatleri elektrik talebinin en düşük olduğu saatlerdir ve sabahın erken saatlerinde talep artmaya başlar. Gece yarısı düşüşe geçmeden önce, elektrik tüketimi akşam saatlerinde en yüksek noktaya ulaşır (Hildermeier ve Kolokathis, 2019). Dağıtık enerji kaynaklarının kullanımındaki artışlar sebebiyle son yıllarda farklılıklar gözlemlenmeye başlasa da bu profil, Avrupa ülkeleri ve diğer birçok ülkede de görülmektedir. Talebin gece saatleri arasında büyük bir değişiklik gösterdiği zamanlar, yenilenebilir enerji kaynağının ulaşılabilirlik durumuna bağlı olarak ilave elektrik yükü yaratılması için kullanılabilir.

3.5.1 Elektrik tarife yapısı

Akıllı şarja erişebilmek için, üretilen elektriğin maliyetini ve bu elektriğin son tüketiciye iletilmesinin maliyetini yansıtan elektrik fiyatlandırma sinyalleri, tüketimi talebin düşük olduğu saatlere yöneltebilir.

Akıllı şarja erişebilmek için, üretilen elektriğin maliyetini ve bu elektriğin son tüketiciye iletilmesinin maliyetini yansıtan elektrik fiyatlandırma sinyalleri, tüketimi talebin düşük olduğu saatlere yöneltebilir. Dinamik fiyatlandırma gün içerisindeki perakende elektrik satış fiyatlarını farklılaştırarak şarj etme davranışlarını uyumlu hale getiren tüketiciler için ekonomik bir teşvik sağlar. Doğru bir şekilde uygulandığında, elektrik fiyatları, tüketicilerin faturalarında tasarruf etmek için yaptıkları seçimlerle sistemin genel maliyetini de minimize eden tercihlerle paralel olacaktır.

Dinamik elektrik tarifeleri pek çok Avrupa Birliği ülkesinde uygulansa da genel anlamda yaygın değildir. Bu tarz fiyatlandırma örnekleri tüketicinin geçmiş tüketim

alışkanlıklarına dayanan belirli zaman blokları (örneğin, gün veya gece ya da hafta içi veya hafta sonu) için ödediği değişken ve önceden belirlenmiş bir tarife yapısından, tarifenin bir aralıktan bir sonrakine sistem üzerindeki gerçek koşullar tarafından belirlendiği aralıklı gerçek zamanlı fiyatlandırmaya kadar uzanmaktadır.¹¹ Zamanla değişim elektrik tarifeleri en yaygın örnektir ve genellikle faturanın enerji bileşenine uygulanır. Bununla birlikte, şebeke bileşeni içinde zamana göre değişen tarife örnekleri vardır. Gerçek zamanlı fiyatlandırma da dünya genelinde yaygınlaşmaktadır.¹²

3.5.2 Teknoloji

Genelde dinamik fiyatlandırma deneyimlerinden edinilen tecrübeler, ancak akıllı teknolojilerle birlikte kullanıldıklarında yoğun elektrik talebini yönetmekte etkili olduklarını göstermektedir (Faruqui vd., 2012). Dinamik tarifeleri desteklemesi gereken teknoloji, bir tüketicinin gerçek zamanlı (veya gerçek zamana yakın) tüketimini görüntüleyen ve tüketicilerin tüketimini aktif biçimde ayarlayarak bu bilgileri tüketicilere ileten basit akıllı sayaçlardan, fiyatlandırma veya karbon emisyonları gibi belirli sinyal tiplerine yanıt verilmesiyle tüketimin otomatik olarak kontrol edildiği ve tüketicinin müdahalesi olmaksızın ayarlandığı (örneğin, elektrikli aracın şarjının dolduğunu belirleyen) akıllı cihazlarla yönetilebilen tarifelerin olduğu daha gelişmiş olanlara kadar uzanmaktadır.

3.5.3 Altyapı kurulumu

Şarj noktalarının optimum konumları yalnızca elektrikli araç talebini karşılamak üzere değil aynı zamanda, maliyetleri azaltmak, mevcut şebeke veya şehir altyapısının, mümkün olduğunca kullanımını da sağlamak için belirlenmelidir.

Altyapı kurulumu en uygun konumların seçileceği yöntemlerle optimize edilebilir. Şarj noktalarının optimum konumları yalnızca elektrikli araç talebini karşılamak üzere değil aynı zamanda, maliyetleri azaltmak, mevcut şebeke veya şehir altyapısının, mümkün olduğunca kullanımını da sağlamak için belirlenmelidir. Dahası, planlayıcıların, öngörülen kullanım durumlarına (hususî şarj etme/binek veya hizmet araçlarının şarj edilmesi) göre optimize edilmiş şarj işlemi sağlamak için ne tür bir şarj altyapısına (hızlı/normal şarj, batarya destekli veya şebeke bazlı) ihtiyaç duyulduğunu değerlendirme seçenekleri vardır.

Bu raporda modellenen tek yönlü optimize edilmiş şarjın yanı sıra, elektrikli araçların şebekeye iki yönlü deşarjı (vehicle to grid, V2G) şarj yoğunluğunda önemli bir azalma imkanı sunmaktadır. V2G, bir aracın, örneğin; yenilenebilir enerji depolaması sağlayan veya şebeke dengeleme hizmetleri sunan, şebeke güvenliği ve güvenilirliğini artırarak enerji piyasasına katılan bir “hareketli batarya” olarak şebekeye iletebildiği tüm hizmetler şeklinde tanımlanır. Potansiyeli büyük olmakla birlikte, Avrupa’daki ve dünyanın diğer bölgelerindeki V2G’lerin çoğu küçük ölçeklidir ve geniş ölçekli öngörülerin umut verici uygulamaları genellikle Amerika Birleşik Devletleri’nde bulunmaktadır. Ölçeklenebilirlik ve şebeke entegrasyonuna yönelik mevzuat bariyerleri nedeniyle, bu potansiyel kısa vadede ortaya çıkması beklenmemektedir. Bu nedenle de bu çalışmanın konusu değildir. Yine de elektrikli araç şebeke entegrasyonu için özellikle ölçek bazında önemli bir orta vadeli kaynak teşkil eder (HEV TCP, 2018; IRENA, 2019a; Transport & Environment, 2019).¹³

¹¹ Bu ikisi arasında, kritik yoğun zaman fiyatlandırması, sınırlı sayıda önceden bildirilmiş “kritik yoğun” periyod için ciddi derecede daha yüksek fiyatlar belirler. Ortaya çıkan bir diğer tarife biçimi yoğun saat indirimidir. Yoğun saatlerde elektrik kullanmaktan kaçınan tüketiciler bu tarifede kısmi bir iade alırlar ancak bu saatlerde elektrik kullanırlarsa günün başka bir zamanındakiyle aynı fiyatlarla karşılaşılır.

¹² Avrupa’da kendi perakende satış piyasalarını uzun bir süre önce serbestleştiren İskandinav ülkeleri, Birleşik Krallık ve Hollanda gibi üye devletler, gittikçe artan sayıda gerçek zamanlı fiyatlandırma teklifinde bulunurken, hanelerin büyük çoğunluğunun düzenlenmiş fiyatlara tabi olduğu ülkelerde gerçek zamanlı fiyatlandırma söz konusu değildir. Daha fazla bilgi için, bkz: (European Commission, Directorate-General for Energy, 2019). Yakın zamanda, Yeni Zelanda 2022 itibarıyla Gerçek Zamanlı Fiyatlandırmaya geçmek için planlarını sürdürmeye karar verdi. Bkz. Lord (2019).

¹³ For a discussion of examples, see Hildermeier vd., (2019).

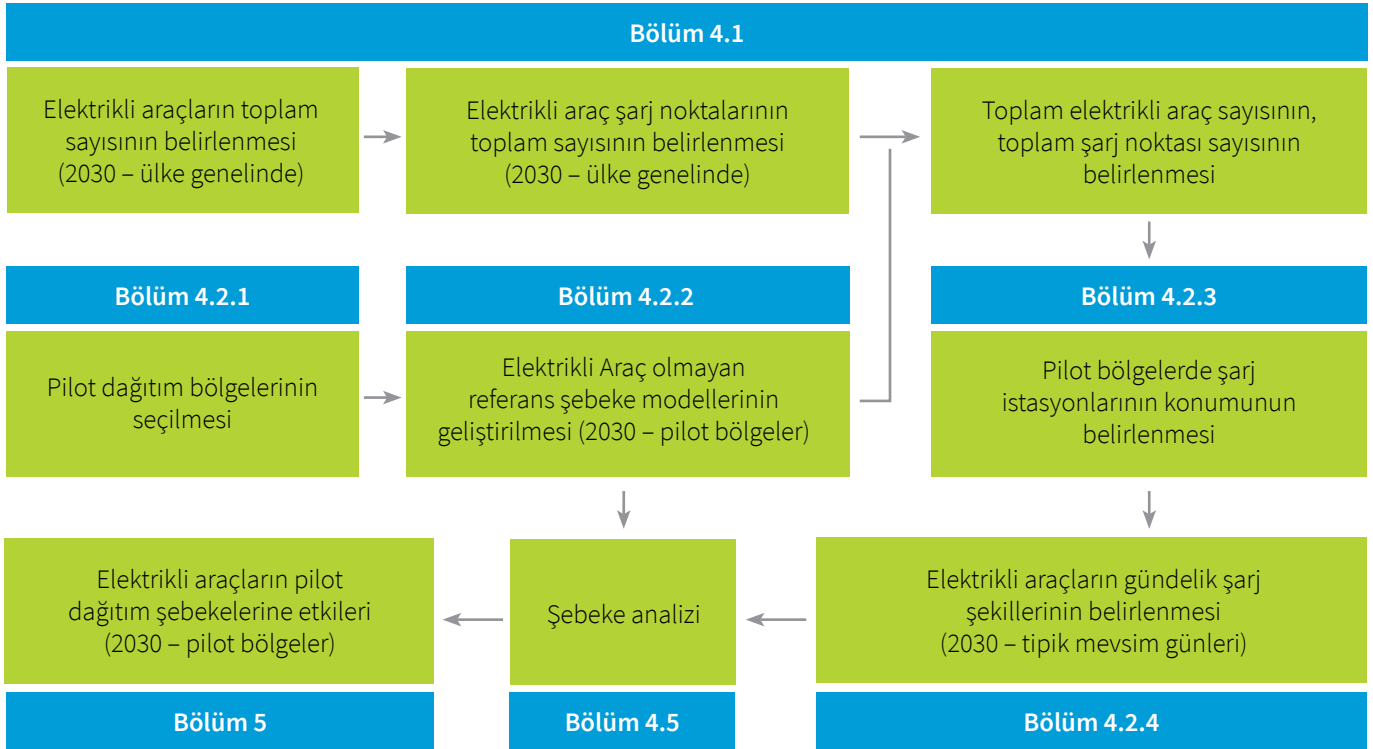


4. Metodoloji

Çalışmada ilk olarak, 2017/2018 ve 2030 yılları arasında ülkedeki toplam elektrikli araç ve şarj altyapısının piyasadaki genel gelişim trendi analiz edilmiştir.

Bu bölüm, 2030 hedef yılında Türkiye'deki elektrikli araçların toplam sayısını ve şarj noktalarını hesaplamak için kullanılan yöntemin ve Türkiye'nin seçilmiş dağıtım bölgelerinde elektrikli araçların şebeke entegrasyonunu modellemek için geliştirilen metodolojinin aşamalarını açıklamaktadır. Şekil 7'de gösterildiği üzere, çalışmada ilk olarak, 2017/2018 ve 2030 yılları arasında ülkedeki toplam elektrikli araç ve şarj altyapısının piyasadaki genel gelişim trendi analiz edilmiştir. Bir sonraki aşamada ise Türkiye'nin seçilmiş pilot dağıtım bölgelerinde şebeke etki analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu ikinci aşama; i) elektrikli araç etki analizi için seçilen pilot dağıtım bölgelerinin detaylarını, ii) 2030 hedef yılı için pilot dağıtım bölgelerindeki elektrikli araçların ve şarj noktalarının sayısının ve konumlarının belirlenmesini ve iii) her pilot bölge için ayrı ayrı olmak üzere, hiçbir elektrikli araç olmadığı model (çalışma boyunca "Referans Model" olarak anılmaktadır) ve elektrikli araç entegre model olmak üzere iki ayrı dağıtım şebeke modelinin oluşturulmasını içermektedir.

Şekil 7: Metodolojinin önemli basamakları



Bu bölümün geri kalanı iki alt bölümden oluşmaktadır. İlkinde elektrikli araç ve şarj altyapısının piyasadaki gelişimine yönelik genel varsayımlar ve bu varsayımlara esas veriler açıklanmıştır (bölüm 4.1). İkincisinde, şarj noktalarının bölgesel dağılımı ve elektrikli araçların günlük şarj yüklenme profillerinin modellenmesine yönelik yaklaşımın detayları açıklanmıştır (bölüm 4.2).

4.1 Piyasadaki genel görünüm

2030 hedef yılında Türkiye'deki toplam elektrikli araç stoğu hesaplanırken izlenen yöntem ve varsayımlar aşağıda açıklanmıştır:

- Türkiye'de 2030 yılı itibarıyla her 1.000 kişide 300 araç olacağı varsayılmıştır (bu sayı 2018 yılındaki toplam 154 araç ortalamasının neredeyse iki katıdır). Bu

büyüme oranı geçtiğimiz on yılda yaşanan %60'lık büyüme oranından büyüktür. Bunun sebebi, ülkede refah seviyesi arttıkça araç sahipliği oranının artacak olması ve dolayısıyla 2018-2080 yılları arasında daha yüksek bir araç ortalamasının beklenmesidir. Bununla birlikte, 1.000 kişide 300 araç ortalaması, 2017 yılında 460 araç olan OECD ortalamasının altında kalmaktadır. 2018 yılında 81 milyon olan Türkiye nüfusunun mevcut öngörülere göre 2030 yılı itibariyle 93 milyona ulaşması beklenmektedir. 2030 yılında, binek araçlarının toplam sayısının 27,9 milyona ulaşacağı öngörülmektedir. Bu sayı, 2018 yılındaki 12,5 milyon sayısının 2,5 katına denk gelmektedir.

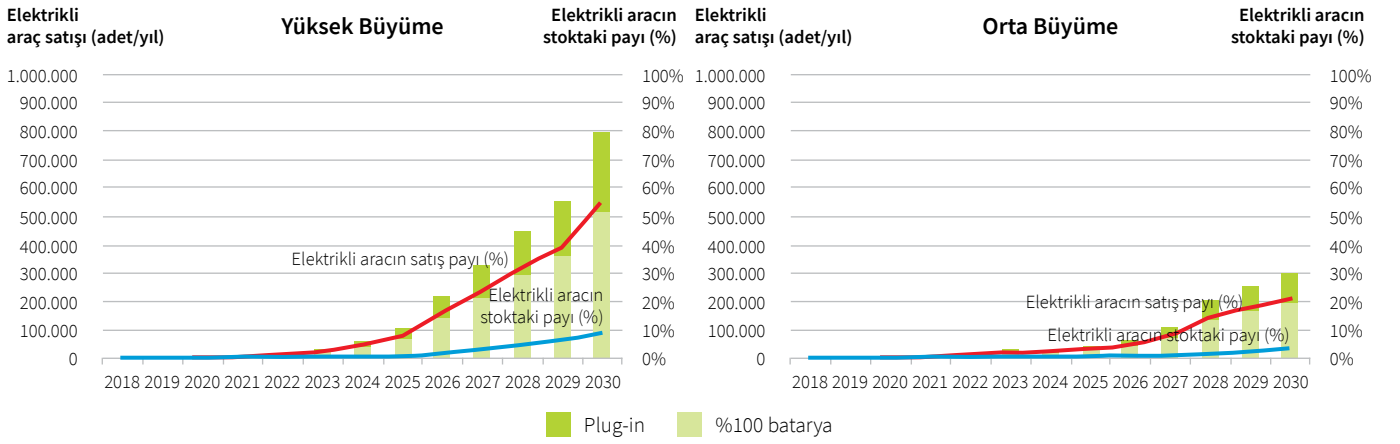
- 2013 ve 2017 yılları arasında yıllık ortalama 600.000 ve 750.000 arasında araç satışı yapılmıştır. Her yıl 15.000 civarında araç hurdaya çıkarılmaktadır. 2030 yılına kadar yıllık ortalama 25.000 aracın hurdaya çıkarılacağı varsayılmaktadır. 2030 yılı itibariye öngörülen 27,9 milyon araç stokuna ulaşmak için, stoka yeni katılan araç sayısında yıllık bazda 2019 yılında 1,15 milyondan başlayarak 2030 yılı itibariyle 1,4 milyona ulaşan net bir artışa ulaşılması gerekmektedir.
- 2030 yılı itibariyle elektrikli araç ve hibrit araç (şarj edilmek için fişe takılmayan) satışlarının, tüm araç satışlarına oranının “Yüksek Büyüme” senaryosunda %65’e “Orta Büyüme” senaryosunda ise %30’a ulaşacağı varsayılmıştır. Bu oran 2019 yılının ilk yarısındaki %2,5 olmuştur (Yeşil Ekonomi, 2019a). Satışların Türkiye’nin yerli ve milli elektrikli aracını tanıtmayı planladığı yıl olan 2022/2023’e kadar yavaş bir eğilim izleyeceği, 2023’ten itibaren 2030 yılına kadar ise katlanarak artacağı varsayılmıştır.
- Hibrit araç satışları günümüzdeki tüm elektrikli ve hibrit araç satışlarının %95’ini oluştururken, bu payın 2030 yılı itibariyle, “Yüksek Büyüme” senaryosunda %15’e “Orta Büyüme” senaryosunda ise %30’a düşmesi beklenmektedir. Tamamen bataryalı elektrikli araçların payının, “Yüksek Büyüme” senaryosunda ve “Orta Büyüme” senaryosunda sırasıyla %55 ve %45’e yükseleceği varsayılmıştır. Geri kalan %30 ve %25’lik pay plug-in hibrit elektrikli araçları temsil etmektedir.¹⁴ Bu satış rakamları ile, elektrikli araçların toplam sayısının “Yüksek Büyüme” ve “Orta Büyüme” senaryosunda sırasıyla 2,5 milyon ve 1 milyondan fazla olacağı tahmin edilmiştir. Yani, 2030 yılında “Yüksek Büyüme” senaryosundaki toplam elektrikli araç sayısı, mevcut seviyenin neredeyse 2.000 katıdır. Türkiye ulaştırma sektörünün dünya ulaştırma sektörü toplam nihai enerji talebinin %1’ine eşittir. Bu oran göz önünde bulundurulduğunda, çalışmada 2030 yılı için tahmin edilen 1-2,5 milyon elektrikli araç, aynı yıl itibariyle küresel araç piyasasında olması beklenen toplam 120-250 milyon aracın benzer bir oranda %1’ini temsil etmektedir.

Elektrikli araçların toplam sayısının “Yüksek Büyüme” ve “Orta Büyüme” senaryosunda sırasıyla 2,5 milyon ve 1 milyon dan fazla olacağı tahmin edilmiştir.

2030 yılındaki toplam elektrikli araç sayısı hesabına yönelik öngörüler Şekil 8’de özetlenmiştir. Bu öngörüler, ticari amaçlarla kullanılan hafif hizmet araçları, elektrikli otobüsler, elektrikli kamyon ve üç tekerlekli araçlar ve elektrikli traktörler gibi yolculuk için olmayan elektrikli araçları kapsamamaktadır. Ayrıca, sınırlar üzerinden seyahat amaçlı Türkiye’ye giren yabancı plakalı elektrikli araçlar da dahil edilmemiştir.

¹⁴ Yüksek Büyüme ve Orta Büyüme senaryolarına göre elektrikli araç ve hibrit araba satış rakamları, 2050 yılına kadar olan süreci kapsayan yakın tarihli bir çalışmanın 2030’daki varsayımlarına tekabül eden bir aralıktadır (Cambridge Econometrics, 2018).

Şekil 8: 2030 yılında ülkedeki toplam elektrikli araç sayısı tahminleri



Analizler, evde şarjın görece yüksek oranda olduğu “evde şarj desteği” durumu ve kamusal alanlarda şarjın oldukça yüksek olduğu “kamusal alanlarda şarj desteği” durumu için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

2030 yılında Yüksek Büyüme ve Orta Büyüme senaryolarında ülkedeki toplam elektrikli araç şarj noktalarının, şarj teknolojisi bazında kırılımına yönelik varsayımlar Tablo 3’te gösterilmiştir. Türkiye, günümüzde nüfusun büyük bir çoğunluğunun çok aileli binalarda yaşadığı ve yüksek bir kentleşme oranına sahip bir ülkedir. Bu rakamlar pek çok Avrupa Birliği ülkesinde ve Amerika Birleşik Devletleri ile kıyaslandığında çok düşüktür. 2030 yılı itibarıyla, toplam elektrikli araç sahiplerinin dörtte birinin hem kamu hem de evde şarjın daha fazla desteklendiği durumda, ev başına bir şarj noktasına sahip olacağı varsayılmıştır. Her iki durumda da işyerlerinde 2025 yılı itibarıyla her 2 elektrikli araç için bir, 2030 yılı itibarıyla ise her 10 elektrikli araç için bir şarj noktası olacağı varsayılmıştır (kamusal alanlardaki şarj noktalarının alışveriş merkezlerinde olacağı ve iş saatlerinde elektrikli araçların şarj edilmesi için uygun altyapıların olacağı öngörüsü ile). 2030 yılı itibarıyla evlerde; evde şarj durumunda şarj noktası başına 10 elektrikli aracın, kamusal alanlarda şarj desteği durumunda ise şarj noktası başına 5 elektrikli aracın düşeceği varsayılmıştır. Tüm kamusal şarj noktalarının %10’unun DC (100 kW) ve %90’ının 2. Seviye AC (22 kW) olacağı, evlerdeki şarj istasyonlarının ise %70’inin 2. Seviye AC (3,7 kW) ve %30’unun 3. Seviye AC (2,3 kW) olacağı öngörülmüştür.

Tablo 3: 2030 yılında ülkedeki elektrikli araç şarj noktalarının toplam sayısına dair varsayımlar

Senaryo	Oranlama (kW)	Orta büyüme		Yüksek büyüme	
Şarj etme durumu		Evde	Kamusal	Evde	Kamusal
AC1 – ev (AC1 H)	2,3	78.160	78.160	193.953	193.953
AC2 – ev (AC2 H)	3,7	182.372	182.372	452.557	452.557
AC2 – iş (AC2 W)	22	52.106	52.106	129.302	129.302
AC2 – kamusal (AC2 P)	22	46.896	93.791	116.372	232.744
DC3 – kamusal (DC3 P)	100	5.211	10.421	12.930	25.860
Toplam		364.745	416.580	905.114	1.034.416

Günümüzde elektrikli araçların toplam elektrik talebinin üçte ikisi evlerde karşılanmaktadır. Bu sonuç erken uygulama olgusundan kaynaklı bir durumdur (ICCT, 2017). Geri kalan talebin ise %20 işyerleri, %15'i de kamusal alanlardır. 2030 yılı itibariyle bu oran; evde şarj desteği durumunda “ev”: “işyeri”: “kamusal” için %25:%25:%50 şeklinde, kamusal alanlarda şarj desteği durumunda ise %10:%20:%70 şeklinde olacağı varsayılmıştır.

2030 yılı itibariyle 2,5 milyon elektrikli araç filosu Türkiye'deki elektrik talebinin 4,1 TWh artmasına yol açacağı, şu anki mevcut elektrik talebinin 300 TWh'ın biraz üzerinde olduğu düşünüldüğünde, 2030 yılı itibariyle 453 TWh ve 515 TWh arasına ulaşacağı öngörülmektedir.

Ortalama bir elektrikli aracın 2030 yılında her 100 km için 15 kWh elektrik tüketeceği¹⁵ ve yıllık ortalama 10.000 km yol yapacağı varsayılmıştır. Plug-in hibrit araçlar kat ettikleri yolun yarısını elektrik ile karşılayabilirler.¹⁶ Bir elektrikli aracın gidebileceği ortalama maksimum mesafe 2018'de 200 km olmuştur ve 2030 yılı itibariyle 500 km'ye yükseleceği varsayılmıştır. 2030 yılı itibariyle 2,5 milyon elektrikli araç filosu Türkiye'deki elektrik talebinin 4,1 TWh artmasına yol açacağı öngörülmektedir. Şu anki mevcut durumda elektrik talebi 300 TWh'ın biraz üzerindedir. 2030 yılı itibariyle 453 TWh ve 515 TWh arasına ulaşacağı öngörülmektedir (ETKB, 2019).

4.2 Dağıtım şebekelerinin modellenmesi

4.2.1 Seçilmiş pilot dağıtım bölgeleri

Elektrikli araçların dağıtım şebekelerinde etkileri, Türkiye'de seçilen dört pilot dağıtım bölgesi için ayrı ayrı incelenmiştir. Pilot dağıtım bölgeleri, mesken, ticari, sanayi ve sulama aboneleri içeren, geniş nüfuslu ve yüksek elektrik tüketimi olan ve Türkiye'nin farklı bölgelerinde dağıtım hizmeti veren dört dağıtım şebekesi operatöründen seçilmiştir. Her bir şebeke için, şehir merkezlerini (kent) ve kırsal bölge besleyen birer adet yüksek gerilim (YG) trafo merkezi pilot olarak belirlenmiştir (Tablo 4). Pilot bölgelerdeki abonelerin dağılımı Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9'daki abone oranları, seçilen bölgelerdeki farklı tüketici tiplerinin oranını temsil etmektedir. Seçilen bölgelerdeki nüfus ve elektrik enerjisi tüketim miktarı ise Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10'da görüldüğü üzere, pilot bölgelerin içinde bulunduğu şebekeler Türkiye'nin nüfusu ve toplam elektrik talebinin yaklaşık üçte birini beslemektedir. Seçilen bölgelerdeki mevcut yükün tüketici profili bakımından çeşitliliği ve bu bölgelerin nüfus ve elektrik tüketimindeki hatırı sayılır payı göz önüne alındığında, söz konusu dağıtım şebekesi bölgeleri için yapılan analizlerin Türkiye geneli için önemli bir fikir vereceği düşünülmektedir.

Pilot bölgelerin içinde bulunduğu şebekeler Türkiye'nin nüfusu ve toplam elektrik talebinin yaklaşık üçte birini beslemektedir.

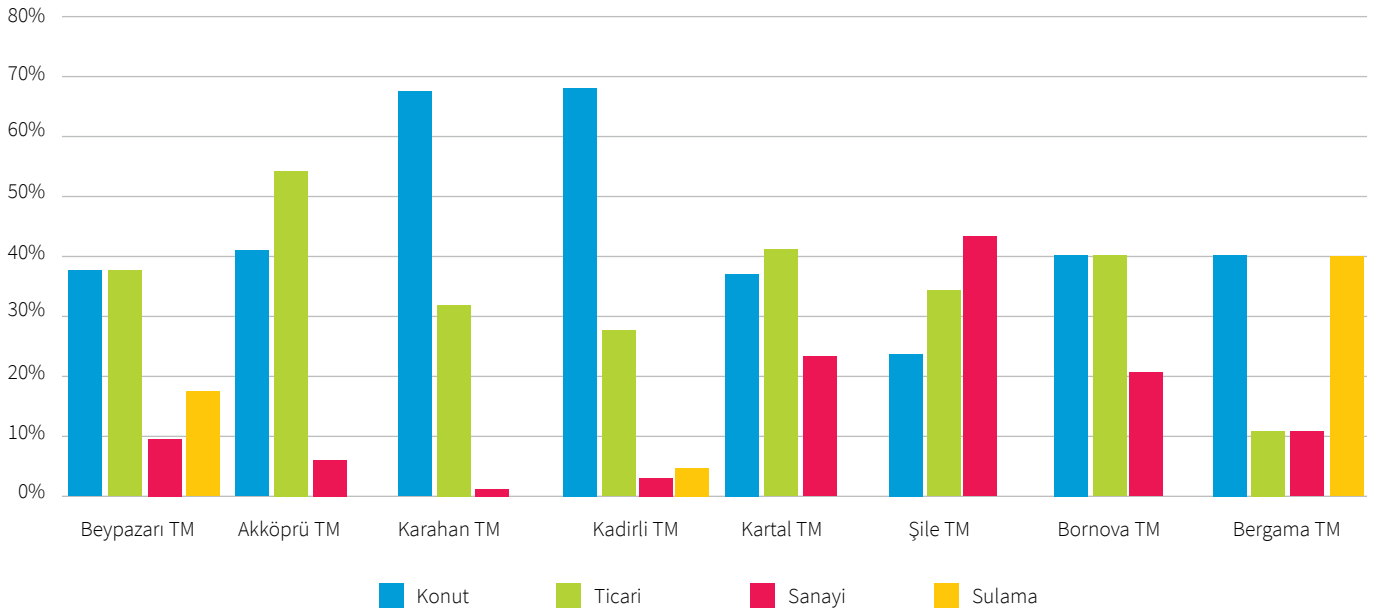
Tablo 4: Dağıtım şirketleri ve karşılık gelen YG trafo merkezleri

Dağıtım şirketi	Pilot YG Trafo Merkezleri	
	Kent Bölgesi	Kırsal Bölge
AYEDAŞ	Kartal	Şile
BAŞKENT	Akköprü	Beypazarı
TOROSLAR	Karahan	Kadirli
GDZ	Bornova	Bergama

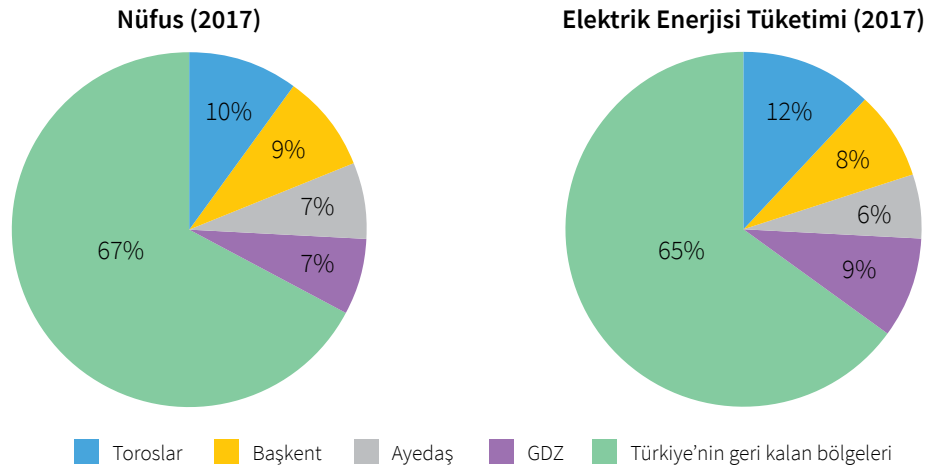
¹⁵ Bu rakam şu modellerin ortalamasıdır: BMWi3s (16,8), Renault Zoe (15,8), Jaguar I-Pace (22,4), Nissan Leaf (16,3), Hyundai Kona (17,4), Tesla Model X 75D (21,4) ve VW E-Golf (12,4).

¹⁶ Günümüzde, mevcut modellerin çoğu elektrikle yaklaşık 40 km gitmektedir. Bulgular, bu tip araçların zamanla elektrikle daha uzun mesafelerde kullanılabileceklerini göstermektedir (Transport & Environment, 2018c).

Şekil 9: Pilot bölgelerdeki tüketicilerin dağılımı, 2017



Şekil 10: Pilot bölgelerin Türkiye'nin nüfus ve elektrik enerjisi tüketimindeki payı



Çalışmanın en önemli adımlarından biri, her bir pilot dağıtım bölgesinde elektrikli araçların ve şarj noktalarının toplam sayısının hesaplanmasıdır. Bu kapsamda aşağıda açıklanan modelleme yaklaşımı uygulanmıştır:

- Her pilot dağıtım bölgesini besleyen YG trafo merkezlerinin mega volt amper (MVA) bazındaki toplam kapasitesinin, ülke genelindeki toplam YG trafo merkezi kapasitesine (yani, 2030'da 92.433 MVA) oranının, pilot bölgelerdeki elektrikli araçların Türkiye'deki toplam elektrikli araç sayısına oranının hesaplanmasında bir gösterge (çarpım faktörü) olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir (1). Pilot bölgeler TEİAŞ trafo merkezi besleme bölgeleri bazında belirlendiğinden, bu bölgeler şehrin sadece bir kısmını içermektedir. Şehrin sadece belirli bir kısmı için nüfus, eğitim, vb. bir gösterge bulunmamaktadır. Diğer yandan, pilot bölgelerin toplam elektrik tüketimleri, bölgeyi besleyen TM güç trafosunun kapasitesi ile orantılı olduğundan ve bu oran tüm merkezlerde birbirine yakın olduğundan, TM kapasitesi oranları, pilot bölgelerin elektrik tüketim miktarı ile ilgili bir gösterge olarak kullanılabilir. Toplam elektrik kullanımı ise nüfus, gelişme, eğitim vb. parametreleri için bir fikir vereceği için, TM kapasitesi oranları bir çarpan olarak

kullanılmıştır. Literatürde elektrik tüketim miktarlarını gelişmişlik göstergesi olarak kullanan çalışmalar vardır (İsmiç, 2015). Gelişmişlik göstergesi de elektrikli araç sayısında belirleyici bir faktör olarak değerlendirilmiştir.

$$SS_i = \frac{\sum_j^{N_i} S_j (MVA)}{\sum_j^{N_T} S_j (MVA)} \quad (1)$$

buna göre;

SS_i i pilot bölgesindeki YG trafo merkezinin kapasite oran endeksi

i Pilot bölge endeksi

j YG trafo merkezi endeksi

S_j i bölgesini besleyen j YG trafo merkezinin kapasitesi (MVA)

N_i i bölgesindeki toplam YG trafo merkezlerinin sayısı (2030)

N_T Türkiye'deki toplam YG trafo merkezlerinin sayısı (2030)

- Pilot bölgelerdeki elektrikli araçların ve şarj noktalarının toplam sayılarının hesaplanmasında, pilot bölgelerin bulundukları şehirlerde kişi başına düşen Gayri Safi Yurt İçi Hasılasının (GSYİH), çarpım faktörlerinden biri olarak düşünülmüştür. Hesaplamalarda 2014 yılında kişi başına düşen GSYİH rakamları kullanılmıştır (TÜİK, 2019).
- Şehirlerin gelişim katsayısı (RDC) bir diğer çarpım faktörü olarak alınmıştır (Dinçer ve Özasan, 2004).
- Şehirlerin gelişim katsayısından başka parametreler de kullanılmış olup, bu sayede göz önüne alınmayan diğer etkenler de dahil edilmeye çalışılmıştır. Bağlı eğitim ve diğer sosyal-ekonomik faktör katsayısı (OF) bir diğer çarpım faktörü olarak alınmıştır.

Her pilot bölgedeki (EV_i) toplam elektrikli araç sayısı (2) ve (3) ile hesaplanmıştır;

$$EV_i = F_i^{EV} + EV_i \quad (2)$$

$$F_i^{EV} = SS_i + GDP_i \times RDC_i + OF_i \quad (3)$$

Buna göre;

EV_c 2030 yılında ülkedeki toplam elektrikli araç sayısı

F_i^{EV} i bölgesi için dağılım faktörü

GDP_i i pilot bölgesinin bağlı kişi başına düşen GSYİH endeksi

RDC_i i pilot bölgesinin bağlı gelişim katsayısı

OF_i i pilot bölgesinin bağlı diğer sosyoekonomik faktör endeksi

Pilot bölgelerin elektrikli araç bağlı faktörleri ve yukarıda açıklanan yaklaşım kullanılarak hesaplanan elektrikli araçların toplam sayısı sırasıyla Tablo 5 ve Tablo 6'da sunulmuştur. Bu bağlı çarpım faktörlerinin hepsinin de toplam elektrikli araç kullanım sayısını bir şekilde etkileyeceği varsayılmıştır. Zira, elektrikli araç kullanan nüfusun görece daha yüksek GSYİH ve gelişmişlik seviyesi beklenmektedir. Bu parametreler ilk defa kullanılmış olup bu çalışmada kullanılması önerilmiştir. Pilot bölgelerdeki şarj noktalarının toplam sayısı Tablo 7'de sunulmuştur.

Tablo 5: Pilot bölgelerin elektrikli araç sayılarının hesaplanmasında göz önüne alınan bağıl çarpım faktörleri

Pilot Bölge	Dağıtım şirketi	Toplam SS kapasitesi (MVA)	SS_i	GDP_i	RDC_t	OF_t	F_i^{EV}
Akköprü	BAŞKENT	200	0,0022	1,38	1	1,18	0,0035
Beypazarı		50	0,00054	1,38	0,35	1,18	0,0003
Kartal	AYEDAŞ	200	0,0022	1,64	1	1,05	0,0037
Şile		94	0,0010	1,64	0,4	1,05	0,0007
Karahan	TOROSLAR	200	0,0022	0,73	1,00	1	0,0016
Kadirli		100	0,0011	0,6	0,29	0,98	0,0002
Bornova	GDZ	225	0,00243	1,17	1	1,09	0,003104
Bergama		162,5	0,00176	1,17	0,33	1,09	0,00074

Not: Aksi belirtilmediği sürece, tüm parametreler bağıl ve birimsizdir.

Tablo 6: 2030 yılında pilot bölgelerdeki toplam elektrikli araç sayısı

Pilot Bölge	Yüksek Büyüme Senaryosu	Orta Büyüme Senaryosu
Akköprü	9.112	3.672
Beypazarı	798	322
Kartal	9.636	3.883
Şile	1.812	730
Karahan	4.074	1.642
Kadirli	478	193
Bornova	8.028	3.236
Bergama	1.914	772

Tablo 7: 2030 yılında pilot bölgelerdeki toplam şarj noktası sayısı

Pilot Bölge	Yüksek Büyüme Senaryosu		Orta Büyüme Senaryosu	
	Evde şarj desteği	Kamusal alanlarda şarj desteği	Evde şarj desteği	Kamusal alanlarda şarj desteği
Akköprü	3.190	3.645	1.286	1.469
Beypazarı	280	319	113	129
Kartal	3.373	3.855	1.360	1.554
Şile	635	725	256	292
Karahan	1.426	1.630	575	657
Kadirli	167	191	68	77
Bornova	2.810	3.212	1.133	1.295
Bergama	670	766	270	309

4.2.2 Referans Model

Elektrikli araçların pilot dağıtım bölgelerindeki etkilerini değerlendirmek için, her bir pilot bölgenin 2030 orta gerilim (OG) Referans Modeli oluşturulmuştur. Elektrikli araçların şebekeye etkilerini analiz edebilmek için Referans Modellerde elektrikli araç şarj yükü olmadığı varsayılmıştır. Her pilot bölgenin Referans Modeli oluşturulurken izlenen yöntem aşağıdaki açıklanmıştır:

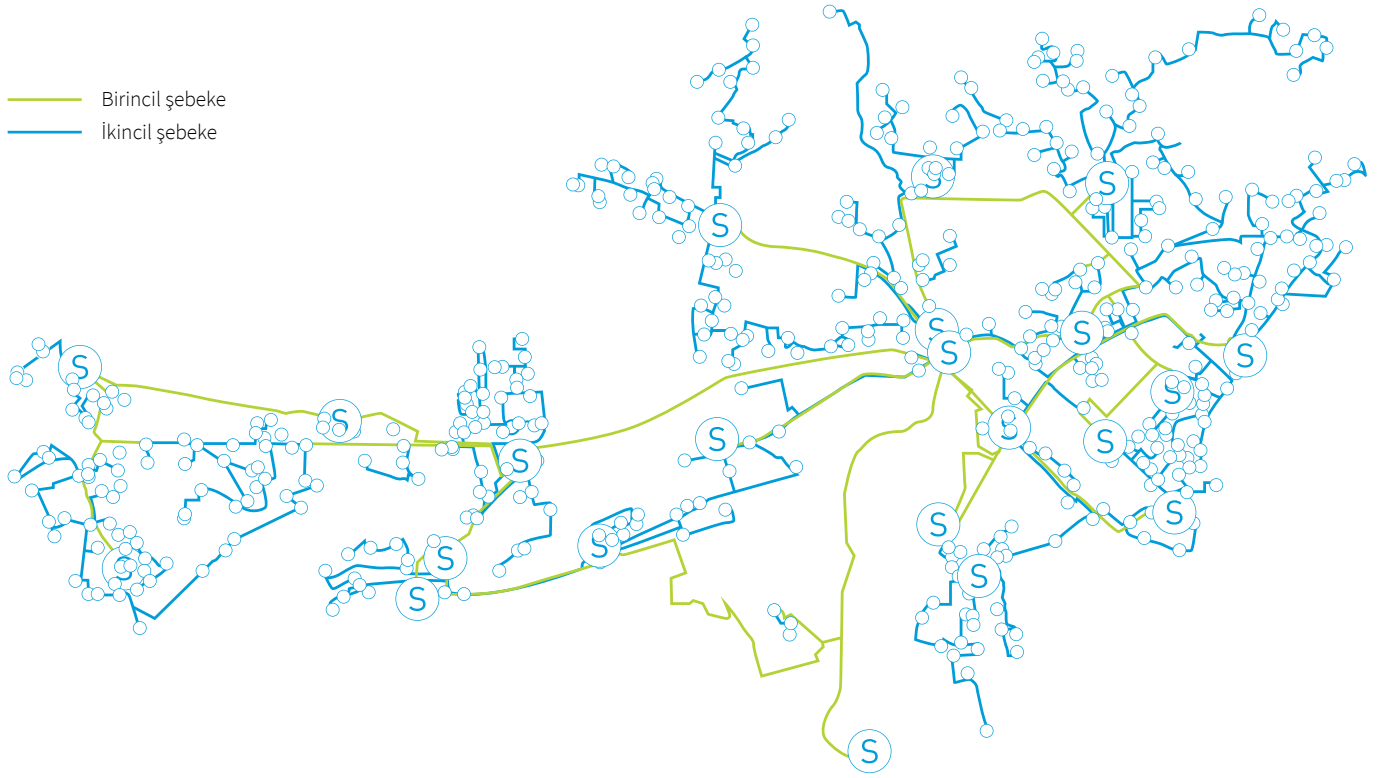
- **Yük tahmini:** Yıllık talep artışının ortalama %5 olacağı varsayılmıştır (SHURA, 2018). Bu yük artışına elektrikli araçların şarj yükü dahil değildir. Pilot bölgeleri besleyen YG trafo merkezlerinin 2030 yıllık yük eğrileri belirlenirken, 2017 yük eğrileri yıllık talep artış oranında ölçeklendirilmiştir. Elektrik talebinin daha düşük bir büyümeyle değerlendirildiği duyarlılık analizinde yıllık ortalama talep artışı %3 olarak varsayılmıştır (TEİAŞ, 2017).
- **Farklı tüketici tiplerinin yük profilleri:** Modelde her dağıtım şirketi için EPDK tarafından tipik mevsim günlerinde mesken, ticari, sanayi, sulama ve aydınlatma için ayrı ayrı hesaplanan günlük yüklenme eğrileri göz önüne alınmıştır¹⁷.
- **Dağıtım şebeke topolojisi:** Her pilot bölgenin mevcut (2018) OG şebeke modeli, her pilot bölgenin coğrafi bilgi sistemi (geographical information system, GIS) verileri üzerinden oluşturulmuştur.
- **Referans Modeldeki ilave şebeke yatırımların belirlenmesi:** Yük artışı sonrası şebekede oluşan teknik kısıtları önlemek için gerekli şebeke yatırımları Referans Modele eklenmiştir. Teknik kısıtlar için göz önüne alınan kriterler: i) şebeke hatlardaki aşırı yüklenme; ii) tüketici noktalarındaki aşırı gerilim düşümü ve iii) pilot bölgelerdeki primer dağıtım şebekesinde (Şekil 11) N-1 güvenilirlik kriteri. Bu kriterlerin sağlanamadığı mevcut hatlara ve trafolarla paralel hat ve trafo yatırımları modellenmiştir.

Bu yaklaşım ile belirlenen hat yatırımları sadece primer dağıtım şebekesi ile kısıtlıdır. Sekonder şebekede gerekli olabilecek yatırım miktarı hesaplanırken, pilot bölgelerdeki mevcut primer ve sekonder (dağıtım trafolarını besleyen OG hatları) şebekeler arasındaki mevcut oran referans alınmıştır. Bu yaklaşımın detayları Ek A'da sunulmuştur.

Akköprü TM pilot bölgesinin 2018 yılındaki primer ve sekonder şebekeleri Şekil 11 'de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere, primer şebeke tüm dağıtım şebekesinin ana omurgasını oluşturmaktadır. Sekonder şebeke ise dağıtım trafolarını besleyen hatları içerir. Örneğin, Akköprü TM pilot bölgesinde sekonder OG hatların toplam uzunluğunun primer hatların toplam uzunluğuna oranı 2018 yılında 3,25'tir (Tablo 8). Akköprü TM pilot bölgesinde hedef yılı olan 2030'a kadar hesaplanan primer şebeke hat yatırım miktarı 20 km'dir. Bu rakam Tablo 8'de gösterildiği üzere sekonder şebekede 65 km hat yatırımına karşılık gelmektedir.

¹⁷ EPDK, Abone grupları yük profilleri.

Şekil 11: Akköprü TM bölgesi - Primer ve sekonder şebekeler, 2018



Tablo 8: Referans Modeldeki OG hattı yatırım gereklilikleri (Akköprü TM)

Akköprü TM	Mevcut OG hat miktarı (2018, km)	OG hat yatırım miktarı (2030 Referans Model, km)	Toplam OG hattı (2030, km)
Primer	80	20 (Analizler ile belirlenen)	100
Sekonder	260	65 (Varsayılan)	325
Primer / Sekonder oranı	3,25	3,25 (Varsayım)	3,25
Toplam	340	85	425

2018'den 2030'a kadar elektrik talebinde yıllık ortalama %5 artış durumunda, OG/AG dağıtım trafo kapasitesindeki (kVA) ve OG hat uzunluğundaki (km) toplam artışlar sırasıyla %48 ve %43 olarak hesaplanmıştır. Bu rakam, dağıtım trafoları ve OG hatları için yıllık ortalama 3,8 milyon TL yatırım maliyetine karşılık gelmektedir.

Bir diğer örnek olarak Kartal TM pilot bölgesinin 2030 yılı için Referans Modelinin sonuçları 2018 rakamlarıyla birlikte aşağıdaki tabloda verilmiştir. 2018'den 2030'a kadar elektrik talebinde yıllık ortalama %5 artış durumunda, OG/AG dağıtım trafo kapasitesindeki (kVA) ve OG hat uzunluğundaki (km) toplam artışlar sırasıyla %48 ve %43 olarak hesaplanmıştır. Bu rakam, dağıtım trafoları ve OG hatları için yıllık ortalama 3,8 milyon TL yatırım maliyetine karşılık gelmektedir (2018 fiyatlarıyla).

Tablo 9: Kurulan trafo kapasitesi teknik rakamları (Kartal TM)

Pilot Bölge	Kurulan Trafo Kapasitesi						
	HV/MV				MV/LV		
	2018 - mevcut		2030 - ilave			2018 - mevcut	2030 – Referans Model (yeni yatırım)
	MVA	#	MVA	#	kVA	Mevcut (sayı)	elektrikli araç olmayan Referans Model için Ekler Model için Ekler (sayı)
Kartal	100	2	-	-	100	2	-
					160	1	-
					250	34	14
					400	15	10
					630	110	75
					800	8	5
					1000	96	47
					1250	15	7
					1600	61	22
					2000	4	-
Toplam (MVA)	200		-			311	150
OG/AG Trafo Kapasitesindeki Artış (%)						48%	
OG/AG Trafo Kapasitesindeki Ortalama Yıllık Artış (MVA/yıl)						12,48	

Tablo 10: Mevcut ve ilave trafo kapasitelerinin finansal rakamları (Kartal TM)

Kartal Pilot Bölgesi	2018	2030
	Mevcut	Referans Model (yeni yatırım)
OG/AG Trafolarının Maliyeti (milyon TL, 2018)	29,38	14,84
OG/AG Trafoların Maliyetindeki Yıllık Ortalama Artış (milyon TL/yıl)		1,24
OG/AG Trafolarının Maliyetindeki artış (%)		51%

Table 11: Kurulan OG hattının teknik rakamları (Kartal TM)

Pilot Bölge	Installed MV Line		
	Tip	2018	2030
		Mevcut	Referans Model (yeni yatırım)
Kartal	Al_150_34.5kV (km)	1,81	-
	Al_95_34.5kV (km)	0,15	-
	Cu_120_10.5kV (km)	38,97	15,57
	Cu_120_34.5kV (km)	3,61	-
	Cu_150_10.5kV (km)	4,64	-
	Cu_150_34.5kV (km)	33,73	4,96
	Cu_240_34.5kV (km)	61,18	27,48
	Cu_25_10.5kV (km)	0,33	-
	Cu_25_34.5kV (km)	0,01	-
	Cu_50_34.5kV (km)	5,35	8,17
	Cu_70_10.5kV (km)	9,22	-
	Cu_95_10.5kV (km)	4,6	-
	Cu_95_34.5kV (km)	91,5	55,77
	Other (km)	4,6	-
	Toplam (km)	260	112
OG Hattındaki Yıllık Artış (km/yıl)		9,33	
OG Hattındaki Artış (%)		43%	

Tablo 12: Kurulan OG hattı finansal rakamları (Kartal TM)

	2018 - mevcut	2030 - Referans Model (yeni yatırım)
OG Hatlarının Maliyeti (milyon TL)	75,04	31,00
Maliyetteki Yıllık Artış (milyon TL)	2,58	
Maliyetindeki Artış (%)	41%	

Tablo 13: Toplam Finansal Rakamlar (Kartal TM) (2018 fiyatları)

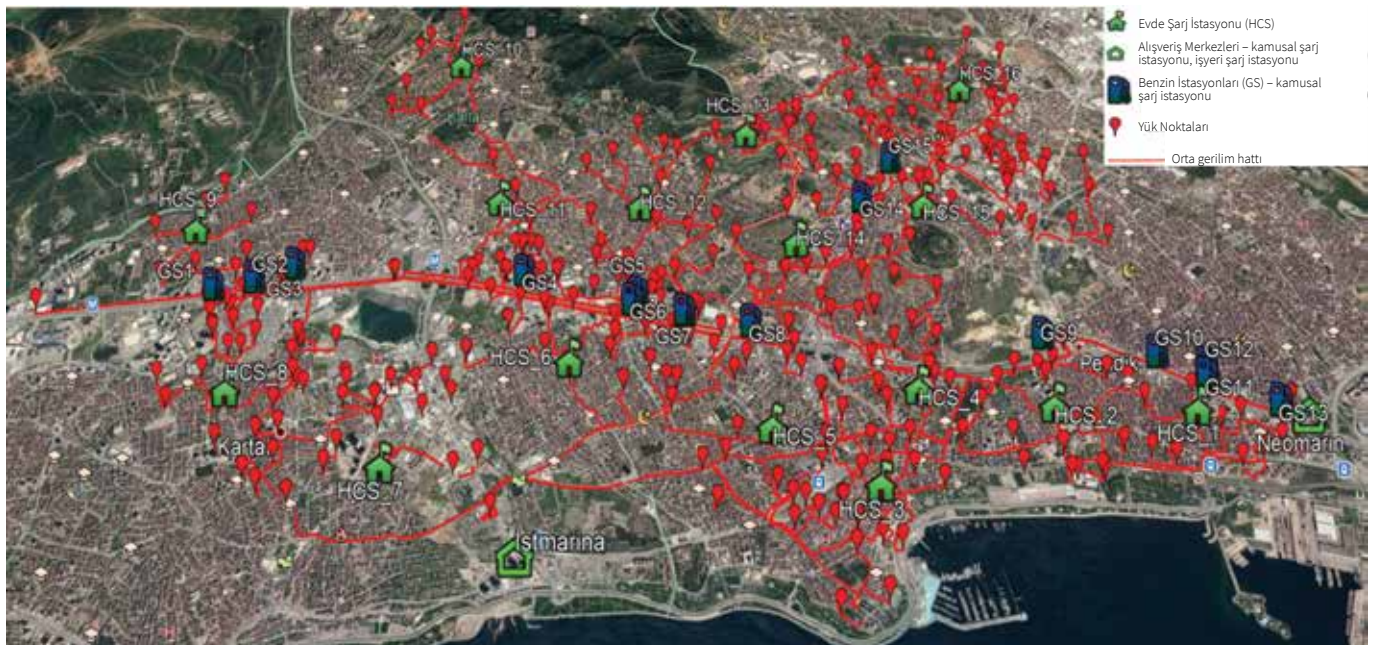
Kartal TM pilot Bölgesi	2018	2030
	Mevcut	Referans Model (yeni yatırım)
Trafo ve Hatların Maliyeti (milyon TL)	104,42	45,84
Trafo ve Hatların Maliyetindeki Artış (%)		44%
Trafo ve Hatların Maliyetindeki Yıllık Artış (milyon TL)		3,82
Talepteki Toplam Artış (%)		80%

4.2.3 Elektrikli araç şarj noktalarının pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı

Kamusal şarj alanları, temel olarak ticari ve kamusal uygulamalar olup, ticari benzin istasyonlarına benzer bir amaç icra ederler (Borges vd., 2010). Günümüzde, pek çok şarj noktası, sürücülere, çalıştıkları, yemek yedikleri veya alışveriş yaptıkları sırada araçlarını şarj etme kolaylığı sunarak otobanlarda ve eğlence merkezlerinde (alışveriş merkezleri gibi) kurulmuştur (Interreg, 2017). Bu nedenle, kamusal şarj noktalarının pilot bölgelerde bulunan ana bulvarlardaki ve alışveriş merkezlerindeki mevcut benzin istasyonlarında konumlanacağı, evde şarj noktalarının ise, temelde mesken tüketicilerini besleyen trafolarla trafo kapasiteleri oranında dağıtıldığı varsayılmıştır. İşyerlerinde elektrikli araçların iş saatleri içerisinde şarj edilebileceği uygun bir altyapı olacağı, diğer yandan işyerlerindeki ve alışveriş merkezlerindeki tüm elektrikli araçlar aynı anda şarj edilemeyeceği ve kısıtlı sayıdaki şarj noktası elektrikli araçlar tarafından sırayla kullanılacağı varsayılmıştır. İşyerlerinde ve alışveriş merkezlerindeki bu varsayım tüm senaryolarda geçerlidir (yani işyerlerinde ve alışveriş merkezlerinde buna alternatif bir şarj senaryosu analiz edilmemiştir).

Kartal TM pilot bölgesinde varsayılan elektrikli araç şarj noktalarının konumları Şekil 12’de gösterilmiştir. Temel olarak İstanbul-Ankara otobanında bulunan mevcut benzin istasyonlarının kamusal şarj noktalarıyla donatılacağı ve pilot bölgede bulunan iki büyük alışveriş merkezinin de kamusal şarj hizmeti sağlayacağı varsayılmıştır.

Şekil 12: Kartal, İstanbul pilot dağıtım bölgesinde elektrikli araç şarj noktalarının konumlarının dağılımı



4.2.4 Elektrikli araçların günlük şarj şekilleri

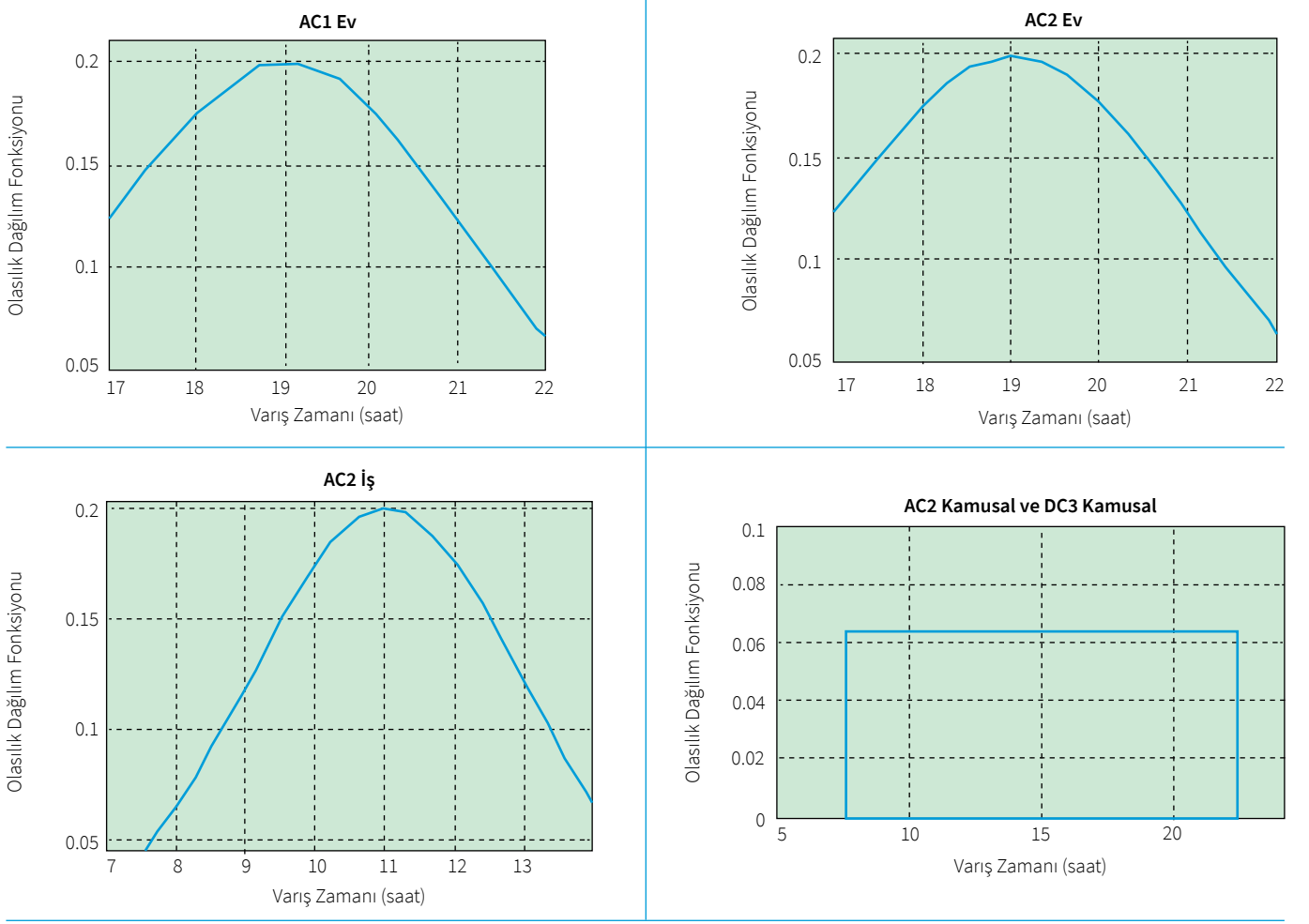
Stokastik bir işlem, bazı matematiksel kümelerle endekslenmiş tesadüfi değişkenlerin toplanması olarak tanımlanır. Yani stokastik bir işlemde, her tesadüfi değişken, kümedeki değişkenlerle benzersiz şekilde ilişkilendirilir (Wikipedia, 2019).

Tesadüfi değişkenlerin onlara karşılık gelen olasılık değerleriyle olası tüm sonuçları olasılık dağılım fonksiyonları (probability distribution function, PDF) ile tanımlanır. Elektrikli araçların şarj istasyonlarına geliş saatleri ve geliş saatlerindeki şarj durumları tesadüfi değişkenler olduklarından, araçların günlük şarj davranışları stokastik yaklaşımla modellenmiştir. Kamusal şarj noktalarındaki hızlı şarjlar göz önünde bulundurularak zaman aralığı 30 dakika seçilmiştir. Elektrikli araçların şarj istasyonlarına varış saatlerinin ve varış zamanındaki şarj durumlarının (state of charge, SOC) PDF ile nasıl modellendiği sırasıyla Şekil 13 ve Şekil 14'te gösterilmiştir. Şekillerde de gösterildiği üzere:

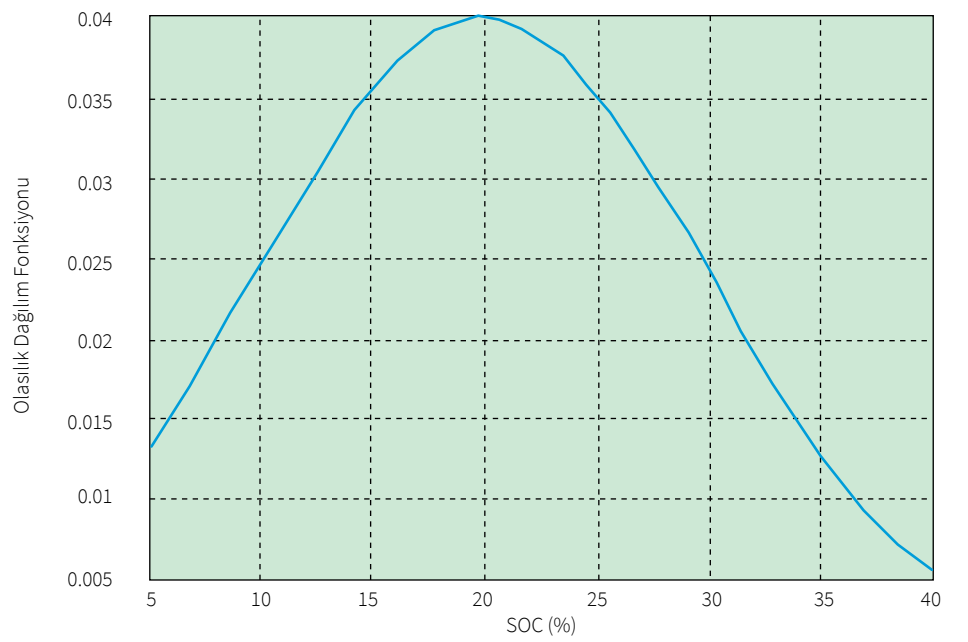
- AC1 ve AC2 evde şarj istasyonları için eve varış saati ortalaması 19.00 olup, iki saatlik standart sapma ile normal (Gaussian) dağılım ile modellenmiştir.
- AC2 işyeri istasyonları için ortalama şarj zamanının üç saatlik standart sapmayla 11.00 olduğu varsayılmıştır.

Kamusal alanlardaki şarj istasyonları için (yani AC2 ve DC), şarj süresinin dağılımın 07.00 – 22.00 aralığında olacağı varsayılmıştır. Bu varsayımın sebebi; Türkiye’de yoğun saatler genellikle sabah 07.00’da başlamakta ve akşam 22.00’a kadar devam etmektedir. Bu durum, analiz edilen tüm pilot bölgeler için geçerlidir. İşyerlerine varış saatinin normal dağılımlı olduğu varsayılmıştır. Ancak işyerlerindeki tüm elektrikli araçların aynı anda şarj edilmeyeceği ve dolayısıyla da şarj noktalarının gün boyu yükleneceği (uniform PDF) varsayılmıştır. Analizlerde göz önüne alınan tüm şarj teknolojileri için varsayılan PDF’lar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Şekil 13: Şarj noktalarındaki olasılık dağılım fonksiyonları

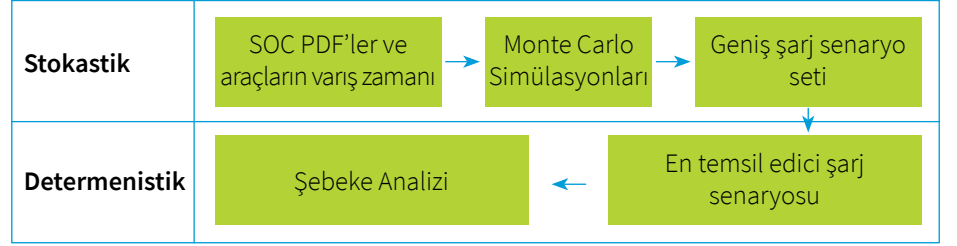


Şekil 14: Bir şarj noktasına bağlandığında elektrikli araçların şarj durumu



Monte Carlo yöntemi, prensipte PDF ile modellenen olasılıksal bir işlemin senaryolarını oluşturmak için kullanılır (Hastings, 1970). Günlük şarj senaryoları Monte Carlo simülasyonları ile oluşturulmuştur. Monte Carlo simülasyonlarıyla üretilen 1 milyon farklı şarj senaryosunu en iyi temsil eden 5 senaryo belirlenmiştir. Senaryoların elenmesinde olasılıklı mesafe bazlı senaryo azaltma yaklaşımı kullanılmıştır (Conejo vd., 2010). Bu yaklaşımda, bir milyon senaryo olasılık değerlerine göre 5 kümeye ayrılmıştır. Ardından, her kümeden belirleyici bir üye belirlenmiş ve ilgili kategoriyi en iyi temsil eden senaryo olarak tayin edilmiştir. Son olarak bu 5 senaryo için yüksek büyüme ve orta büyüme varsayımları altında ayrı ayrı deterministik şebeke analizleri gerçekleştirilmiştir. Metodolojinin akış şeması Şekil 15'te gösterilmiştir.

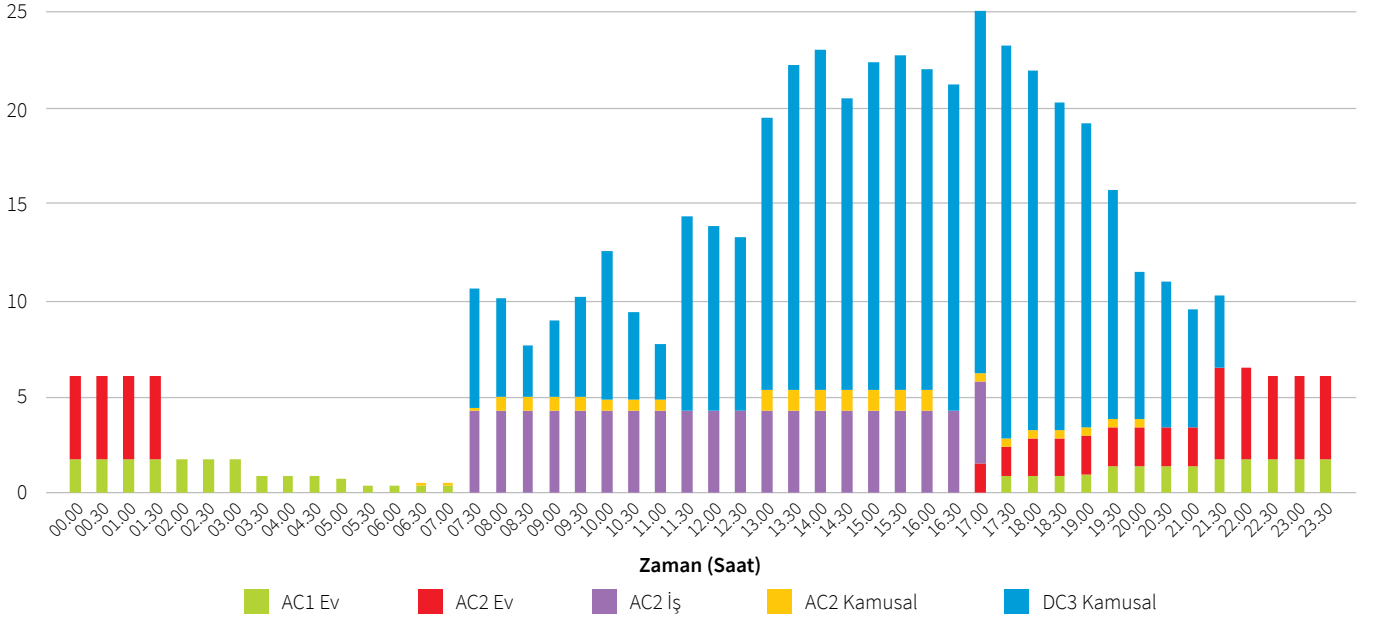
Şekil 15: Temsili senaryoların belirlenmesi



Yukarıda belirtilen senaryo azaltma yaklaşımıyla belirlenen Kartal TM pilot bölgesinde en çok beklenen günlük şarj trendleri örnek olarak Şekil 16'de gösterilmiştir (Kamusal alanlarda şarj desteği – Yüksek Büyüme senaryosu). Bu örnekte, akıllı şarj mekanizması olarak değerlendirilen ve evlerde şarj saatlerinin gece yarısı gerçekleşmesi şeklinde bir yaklaşım göz önüne alınmamıştır. Bu örneğin bazı kritik sonuçları Tablo 14 ve Tablo 15'te özetlenmiştir.

Şekil 16: Temsili bir günlük şarj trendi (Kartal, Yüksek büyüme - Kamusal alanlarda şarj desteği)

Elektrikli araç yükü (MW)



Tablo 14: Temsili bir günlük şarj trendi özet tablosu (Kartal – Yüksek büyüme - Kamusal alanlarda şarj desteği)

Maksimum araç şarj yükü	Maksimum yük saati	Minimum araç şarj yükü	Minimum yük saati
25 MW	17.00	0,37 MW	05.30

Tablo 15: Farklı elektrikli araç teknolojilerinin günlük kapasite faktörleri (şarj kullanımı)
(Kartal, Yüksek büyüme - Kamusal alanlarda şarj desteği)

Şarj Teknolojisi	Kapasite Kullanım Faktörü (Şarj Kullanımı)	
	Kamusal alanlarda şarj desteği	Evde Şarj Desteği
AC1H	41,7%	41,7%
AC2H	18,8%	20,4%
AC2W	22,4%	16,5%
AC2P	19,8%	9,7%
DC3P	10,7%	4,2%

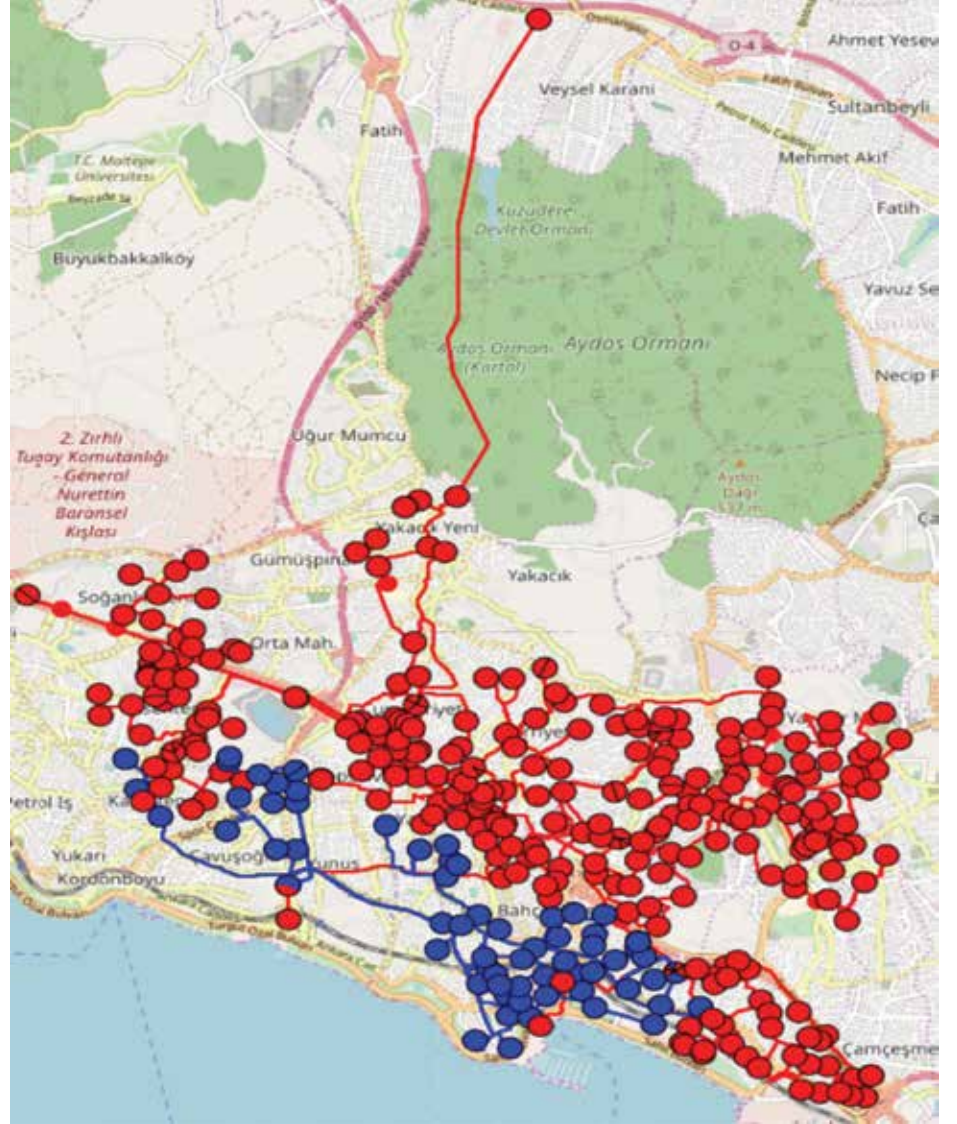
4.2.5 Şehirlerarası otoyollardaki hızlı şarj istasyonları

Şehirlerarası otobanlardaki dağıtım fiderleri genel olarak benzin istasyonları gibi dağıtık noktasal yükleri beslerler. Bu fiderler genellikle uzun olup düşük kapasite faktörü ile yüklenirler. Otobanda elektrikli araç şarj yüklerinin şebekeye etkilerini analiz etmek için, şarj istasyonlarının düşük yüklenme kapasitesi olan uzun bir OG fiderin sonuna, yani zayıf bir noktaya¹⁸ bağlı oldukları varsayılmıştır. Böylece, şarj istasyonlarındaki hızlı şarj yüklerinin, OG fider üzerinde gerilim düşmesi bakımından en zor koşullar altında analiz edilmesi hedeflenmiştir. Analizlerde, böyle bir temsili fiderin beslediği şarj istasyonundaki hızlı şarj elektrikli araç yükü, fider üzerinde aşırı gerilim düşümü problemi yaşanıncaya kadar kademeli olarak yükseltilerek, fiderin besleyebileceği maksimum sayıdaki hızlı şarj istasyonu hesaplanmıştır.

Şehirlerarası otobanlardaki hızlı şarj istasyonlarının şebekeye etkileri incelemek için, Kartal TM pilot bölgesinde Ankara – İstanbul otobanında benzin istasyonlarını besleyen düşük yüklü uzun bir fider seçilmiştir. Şekil 17’den görüleceği üzere, bu fider 5,6 km uzunluğunda Swallow tipi bir iletkenidir.

¹⁸ SCMVA bağlamında; Kısa Devre Mega Volt Amper (short circuit mega volt amper, SCMVA) bir enerji sistemi içerisindeki kaçak akımları belirleyen bir yöntemdir.

Şekil 17: Kartal TM pilot bölgesinde Ankara – İstanbul otobanında benzin istasyonlarını besleyen temsili fider



4.5 Şebeke analizi ve anahtar performans endeksleri

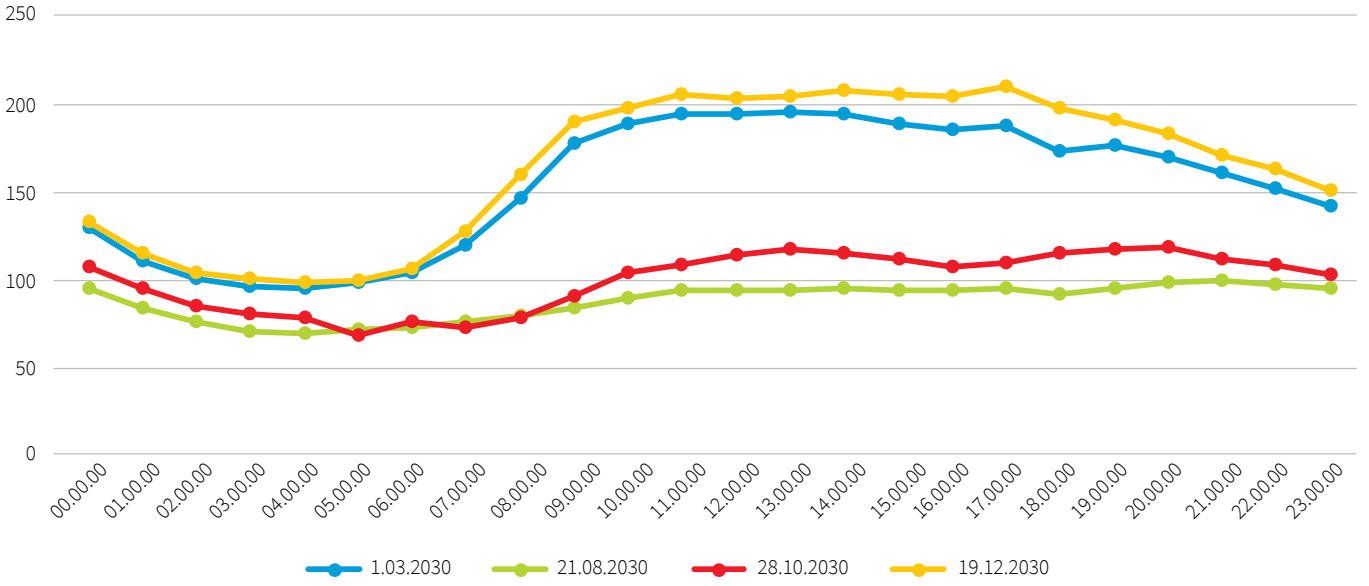
Şebeke analizleri 2030 hedef yılındaki dört tipik mevsim günü için gerçekleştirilmiştir. Yani her bir mevsim tipik bir hafta içi günüyle temsil edilmiştir.

Elektrikli araç şarj yükünün seçilen pilot bölgelerdeki şebekelere etkisini incelemek ve sonuçları aşağıda belirtilen teknik göstergeler üzerinden değerlendirmek amacıyla, her bir pilot bölge için ayrı ayrı bilgisayar simülasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar simülasyonları DigSilent PowerFactory yazılımıyla yapılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak şebekeler modellenmiştir. Kartal TM pilot bölgesinin şebeke modeli örnek olarak Şekil 18’de verilmiştir. Kartal TM’den beslenen her bir OG fider şekil üzerinde farklı renkte gösterilmiştir. Şebeke analizleri, 2030 hedef yılındaki dört tipik mevsim günü için gerçekleştirilmiştir. Yani her bir mevsim tipik bir hafta içi günüyle temsil edilmiştir. Kartal bölgesi için mesken, ticari ve sanayi tüketicilerinin, EPDK tarafından belirlenen yaz aylarındaki günlük yük profilleri örnek olarak Şekil 19’da verilmiştir. Şekil 20 ise her bir temsili mevsim gününde Kartal TM pilot bölgesindeki günlük yük eğrisini gösterilmektedir.

Zaman (Saat)	Mesken (MW)	Sanayi (MW)	Ticari (MW)
1	46	15	33
2	40	15	30
3	35	14	28
4	33	12	27
5	33	9	28
6	34	10	27
7	32	11	30
8	32	11	33
9	27	12	41
10	28	11	45
11	30	12	47
12	33	12	49
13	32	11	50
14	32	12	49
15	33	12	49
16	32	11	49
17	32	12	49
18	33	12	50
19	31	12	49
20	32	12	50
21	37	11	51
22	37	12	50
23	41	14	44
24	46	16	32

Şekil 20: Kartal bölgesinde tipik mevsim günlerindeki günlük yük eğrileri

Aktif yük (MW)



Bilgisayar simülasyonları aracılığıyla incelenen şebeke teknik göstergeleri:

- YG ve AG hatlarındaki aşırı yüklenmeler (yoğunluk) (%)
- YG ve AG yük noktalarında gerilim düşüşleri (%)
- YG fiderleri ve YG/AG trafolarının kapasite kullanım faktörleri (%)
- Şebeke yatırım gereklilikleri (OG hatları, AG hatlar ve YG/AG trafolar)

Teknik performans kriterleri şu şekilde göz önüne alınmıştır; hat/trafo üzerindeki yük herhangi bir ekipmanın (OG fiderler, OG/AG trafolar ve AG fiderler) termal yük kapasitesinden (yani %100) daha fazla ise ekipman aşırı yüklüdür; şebekenin herhangi bir noktasında gerilimin nominal gerilim seviyesinin %10'undan daha fazla düşmesi düşük gerilim problemidir. Elektrikli araçların şebeke üzerindeki etkisini değerlendirmek için teknik performans kriterlerini sağlamayan toplam ekipman ve nokta sayısı şebekede elektrikli araç olmayan (Referans Model) ve olan senaryolar için simülasyonlar ile hesaplanmıştır. OG fiderlerin ve OG/AG trafoların kapasite faktörleri tipik mevsim günleri için hesaplanmıştır.

Her pilot bölgede, 2030 yılı itibarıyla Referans Modelde teknik performans kriterlerini sağlamak için ihtiyaç duyulan şebeke yatırım miktarları ve elektrikli araçlar sonrası için ihtiyaç duyulan ilave yatırımlar ayrı ayrı belirlenmiştir.

4.6 Duyarlılık analizleri

Temel varsayımların sonuçlar üzerindeki etkilerini irdelemek için duyarlılık analizleri yapılmıştır. Duyarlılık analizlerinde incelenen parametreler Tablo 16'da özetlenmiştir.

Tablo 16: Temel parametreler, varsayımlar ve duyarlılık analizi

No	Parametre	Baz Varsayım	Duyarlılık Analizi	Açıklama
Durum I	Yük artışı	Yılda %5	Yılda %3	Referans Modelde ihtiyaç duyulan yatırımlar %3 yük artışı ile belirlenir
Durum II	Kamusal alanlarda şarj desteği	Normal şarj	Aşırı şarj	Yoğun saatlerde daha fazla kamusal alanlarda hızlı şarj
Durum III	Şarj noktalarının OG fiderlerdeki dağılımı	Tipik dağılım	Sıkıştırılmış dağılım (Az sayıda fider üzerinde daha fazla şarj noktası)	Kamusal alanlardaki toplam şarj noktası daha düşük
Durum IV	Yenilenebilir enerji entegrasyonu	2018 yılındaki yenilenebilir enerji kapasite miktarına ilave yenilenebilir kapasite yok	2030 yılında ek yenilenebilir enerji entegrasyonu (rüzgar ve güneş)	10 MW yenilenebilir enerji bazlı üretim kapasitesi (%50 güneş %50 rüzgar)
Durum V	Enerji depolama sistemleriyle entegrasyon	2030'da enerji depolama yok	2030'da enerji depolama var	5 MWh enerji kapasiteli batarya

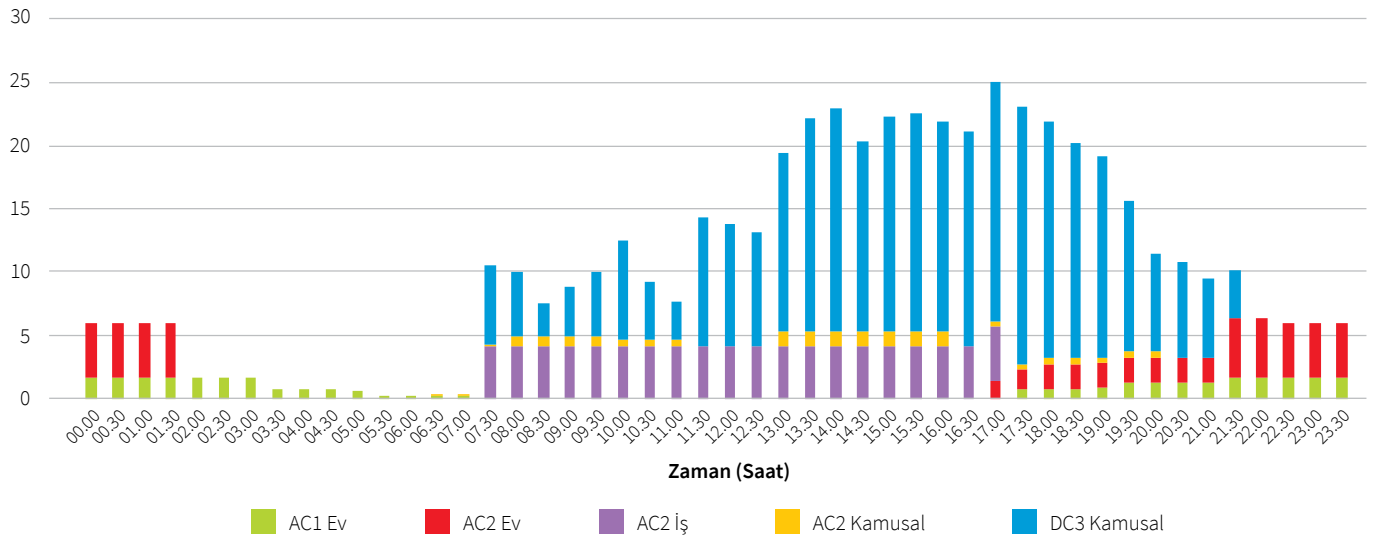
Not: YG şebekedeki elektrik üretim kaynaklarının dağılımının sonuçlar üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Ek bir bilgi olarak, %30 rüzgar enerjisinden ve solar enerjiden, %20'si ise diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından (büyük hidroelektrik santralleri de dahil olmak üzere) olmak üzere 2030 yılı itibarıyla Türkiye'deki tüm elektrik talebinin yarısından fazlası yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanabilir (SHURA, 2018).

Durum I'de, yıllık talepteki büyümenin %5'ten %3'e düşmesinin etkisi araştırılmış ve yukarıda açıklanan yöntem ile Referans Model yeniden oluşturulmuştur. Dağıtım şebekelerindeki yatırımın toplam miktarı, yıllık talep artışının %5 olduğu duruma kıyasla önemli miktarda azalmıştır.

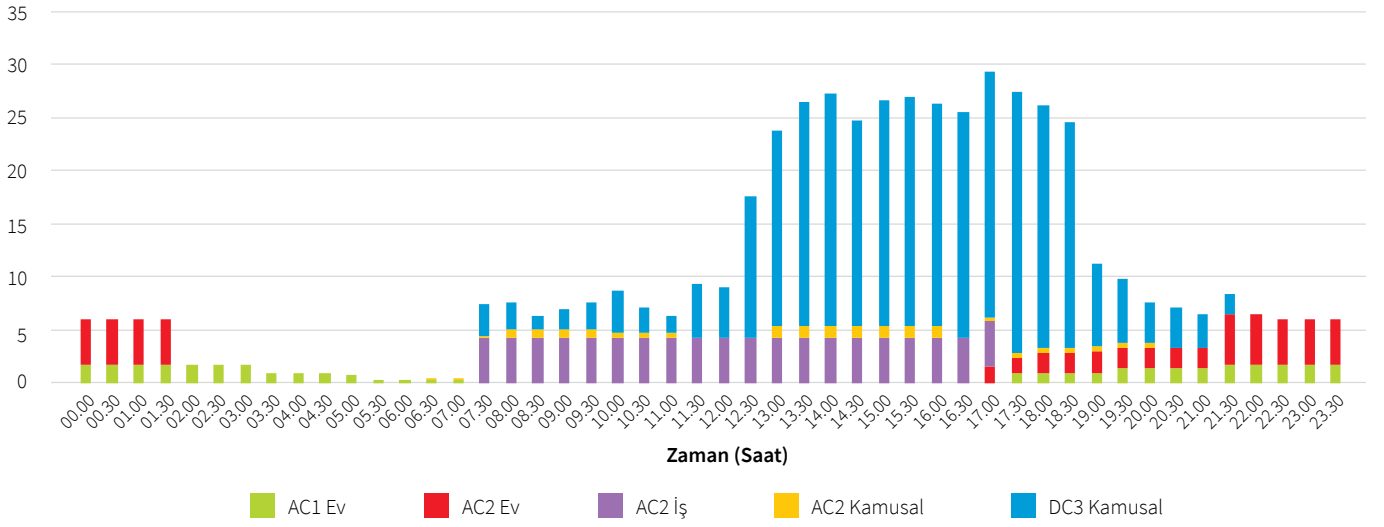
Kamusal alanlarda şarj desteği senaryosunun baz varsayımda ve aşırı şarj durumunda (Durum 2) modellenen günlük şarj yüklenme profilleri Şekil 21'de gösterilmiştir. Her iki profil kıyaslandığında, baz davranışa oranla aşırı şarj durumunda elektrikli araç şarj yükü özellikle elektrik tüketiminin olduğu yoğun saatlerde oldukça yükselmiştir.

Şekil 21: Kamusal alanlarda şarj desteğinde varsayılan (üst) ve Durum 2 (alt) günlük şarj yüklenme profilleri

Elektrikli araç yükü (MW)



Elektrikli araç yükü (MW)



Durum III'te, daha az sayıda fider üzerine daha fazla sayıda şarj noktası yerleştirilmiştir. Örneğin, Şekil 22 ve Şekil 23'de gösterildiği üzere, elektrikli araç toplam sabit yük miktarı göz önünde bulundurularak Kartal TM pilot bölgesindeki 17 kamusal şarj noktası 9'a düşürülmüştür. Şekilde görülebildiği üzere, 10-17 aralığında numaralandırılan şarj noktaları kaldırılmış ve bunların elektrikli araç yükü 1-9 aralığında numaralandırılan şarj noktalarına bağlanmıştır.

Şekil 22: Kartal TM pilot bölgesindeki 17 adet kamusal şarj noktası



Şekil 23: Kartal TM pilot bölgesinde 9 adete düşürülen kamusal şarj noktaları



Durum IV'te, 2018 yılında halihazırda var olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ek olarak, her bir pilot bölgeye yenilenebilir enerjiye dayanan 10 MW kurulu güç kapasitesi (%50 güneş ve %50 rüzgâr) eklenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin profili modellenirken kamuya açık kaynaklardan yararlanılmıştır.¹⁹ Yenilenebilir enerjilerin üretim profili negatif yük profili olarak modellenmiş ve her bir pilot şebekede 10 farklı konuma yerleştirilmiştir. Durum V'te bu konumların batarya depolama kapasitesiyle donatıldığı varsayılmıştır. Enerji depolamanın kurulu toplam kapasitesi 5 MWh, enerji depolama şarj ve deşarj profillerinin ise; gece yarısında (fiyatlar en düşük seviyede) şarj; yoğun saatlerde (gündüz) deşarj şeklinde gerçekleştirildiği varsayılmıştır.

¹⁹ Renewable-Ninja platformu. Ocak 2017. [Online]. <https://www.renewables.ninja/> adresinden ulaşılabilir.

5. Sonuçlar ve değerlendirme

Temel varsayımlara dayalı analizlerin sonuçları Bölüm 5.1’de, Bölüm 5.2’de otobanlarda hızlı şarjın etkileriyle ilgili sonuçlar gösterilmiş olup, Bölüm 5.3’de şarj noktalarının kapasite kullanım faktörleri gösterilmiştir. Duyarlılık analizlerinin sonuçları is Bölüm 5.4’de açıklanmış olup, sonuçların değerlendirilmesi Bölüm 5.5’te yapılmıştır.

2030 itibariyle 1 milyon elektrikli aracın olduğu “Orta Büyüme” senaryosu analiz sonuçlarına göre, pilot bölgelerin tümünde şebeke teknik performans kriterleri açısından neredeyse hiçbir problem yaşanmamıştır. Bu nedenle, bu kısımda Türkiye’nin araç stokundaki toplam elektrikli araç sayısının 2030 yılı itibariyle 2,5 milyon olduğu “Yüksek Büyüme” senaryosunun sonuçlarına odaklanılmıştır.

5.1. Dağıtım şebekelerindeki etkiler

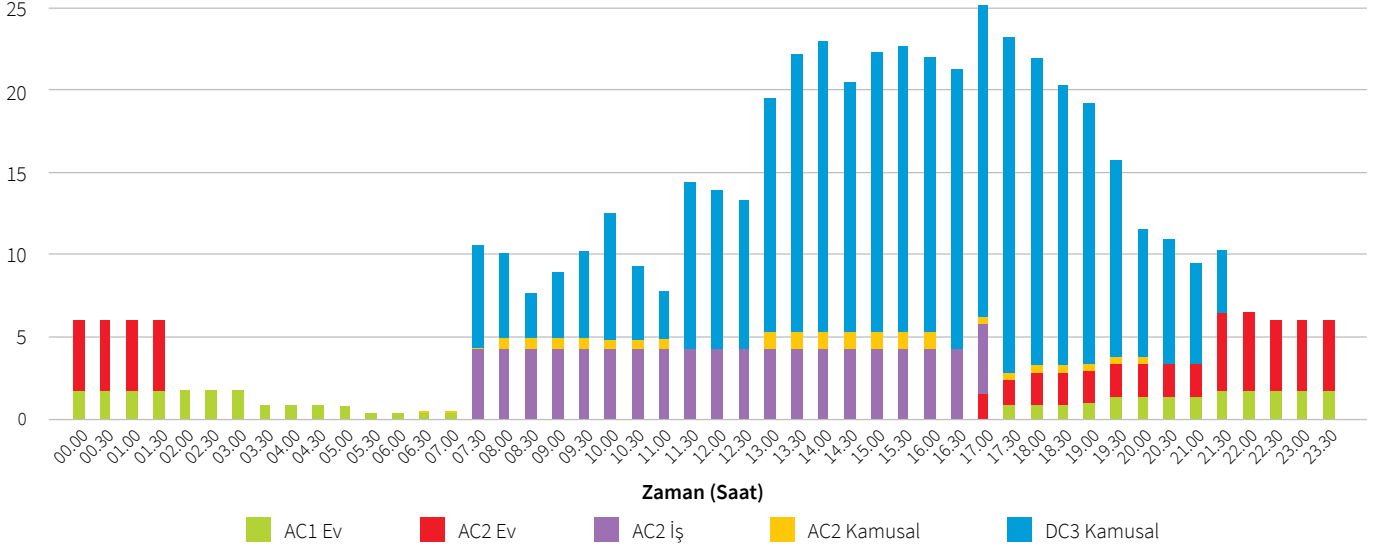
Pilot bölgelerin 2030 Referans Modelleri, her bir pilot bölgede elektrik talebinin yılda ortalama %5 artacağı (elektrikli araç yükü hariç) varsayımı altında, şebeke teknik performans kriterlerini (aşırı yüklenme ve gerilim düşüşü) sağlamak için ihtiyaç duyulan şebeke yatırımlarını içermektedir. Bu kapsamda üç farklı seviyede şebeke yatırımları göz önüne alınmıştır:

1. Yüksek gerilim (YG) seviyesinde yatırım (iletim trafo merkezi (TM) seviyesi)
 - YG/OG trafolarının kapasitesinde artış
 - Yeni YG TM’ler kurulması
2. Orta gerilim (OG) seviyesinde yatırım (dağıtım seviyesi)
 - OG/AG trafolarının kapasitesinde artış
 - Yeni OG hat yatırımları
3. Alçak gerilim (AG) seviyesinde yatırım (dağıtım seviyesi)
 - Yeni AG hat yatırımları

8 pilot bölgenin her biri için elektrikli araçların şebekeye etkileri değerlendirilmiştir. İlk adım olarak tüm bölgeler için günlük elektrikli araç şarj yüklenme profilleri oluşturulmuştur. Örnek olarak, Kartal TM pilot bölgesindeki araç şarj yüklenme profili, kamusal alanlarda şarj desteği ve evde şarj desteği senaryoları için sırasıyla Şekil 24 ve Şekil 25’te gösterilmiştir. Bu günlük şarj profili tüm pilot bölgelerde geçerli olmakla birlikte, bölgelere göre araç stoku, gelir, nüfus ve diğer faktörlere göre değiştiğinden, saatlik bazda toplam elektrik araç yükü pilot bölgelere göre farklılaşmaktadır.

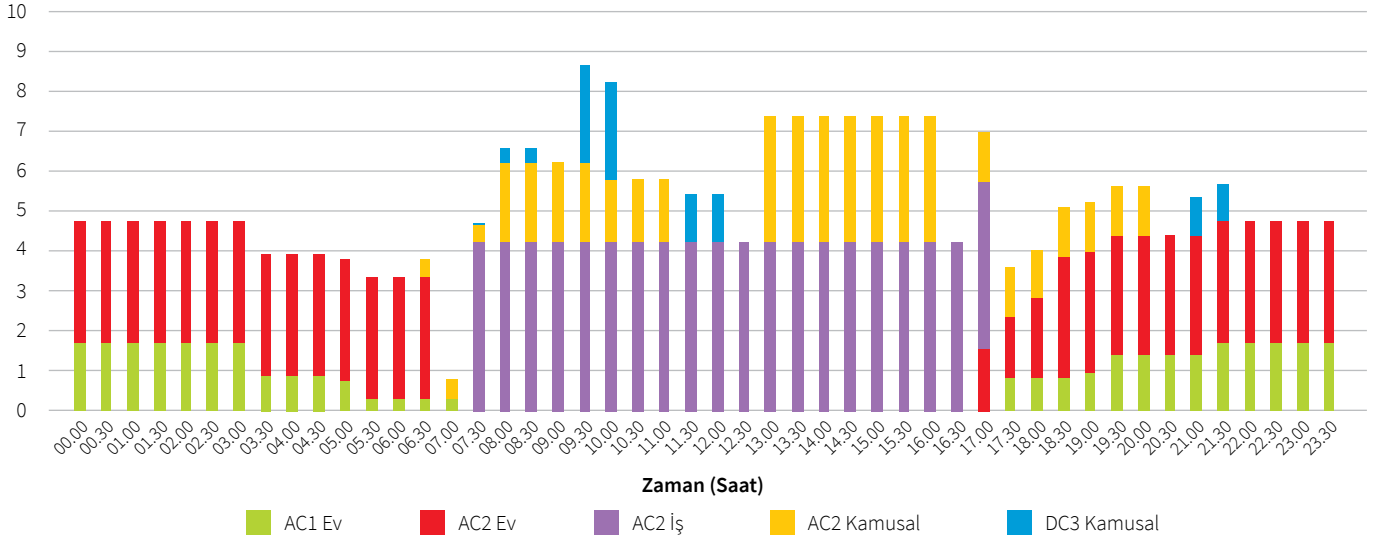
Şekil 24: Kartal TM bölgesindeki günlük elektrikli araç şarj yüklenme profili (Yüksek Büyüme - Kamusal alanlarda şarj desteği senaryosu)

Elektrikli araç yükü (MW)



Şekil 25: Kartal TM bölgesindeki günlük elektrikli araç şarj yüklenme profili (Yüksek Büyüme - Evde şarj desteği senaryosu)

Elektrikli araç yükü (MW)

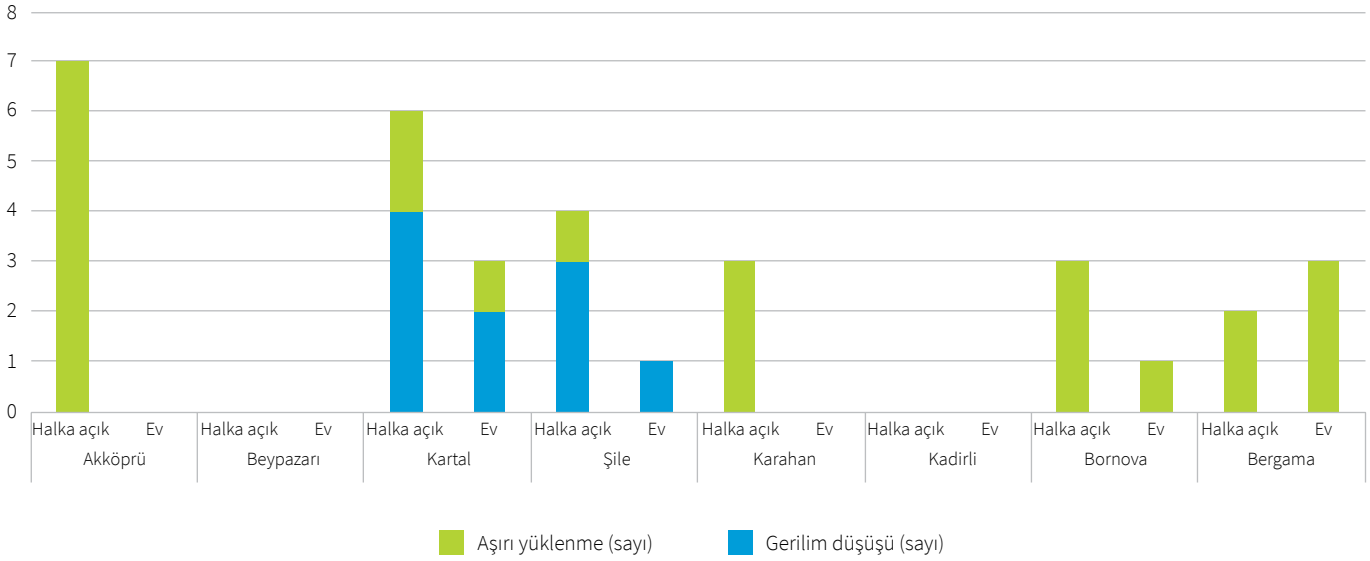


Pilot bölgelerdeki hatların ve trafoların yıllık kapasite faktörlerinin oldukça düşük olması, elektrikli araçların şarj edilmesi için önemli bir kapasitenin zaten hazır olduğunu göstermektedir.

Elektrikli araçların dağıtım şebekesindeki etkisini değerlendirmek için göz önüne alınan temel göstergeler; hat ve trafolardaki aşırı yüklenmeler, OG ve AG yük noktalarında gerilim düşüşü, OG fiderlerin ve OG/AG trafoların yıllık yüklenme kapasite faktörleri ve şebeke yatırım ihtiyaçlarıdır. Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla meydana gelen aşırı yüklenme ve gerilim düşüşü miktarları tüm pilot bölgeler için Şekil 26'da özetlenmiştir. Pilot bölgelerdeki hatların ve trafoların yıllık kapasite faktörlerinin oldukça düşük olması, elektrikli araçların şarj edilmesi için önemli bir kapasitenin zaten hazır olduğunu göstermektedir. Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla meydana gelen aşırı yüklenme ve gerilim düşüşü miktarlarının oldukça düşük seviyede meydana gelmiş olmasının en önemli sebebi budur (örn. Akköprü bölgesinde en fazla 7 adet teknik problem, bkz. Şekil 27).

Şekil 26: Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla meydana gelen aşırı yüklenme ve gerilim düşümü miktarları (Kamusal alanlarda şarj desteği ve Evde şarj desteği)

Problem sayısı



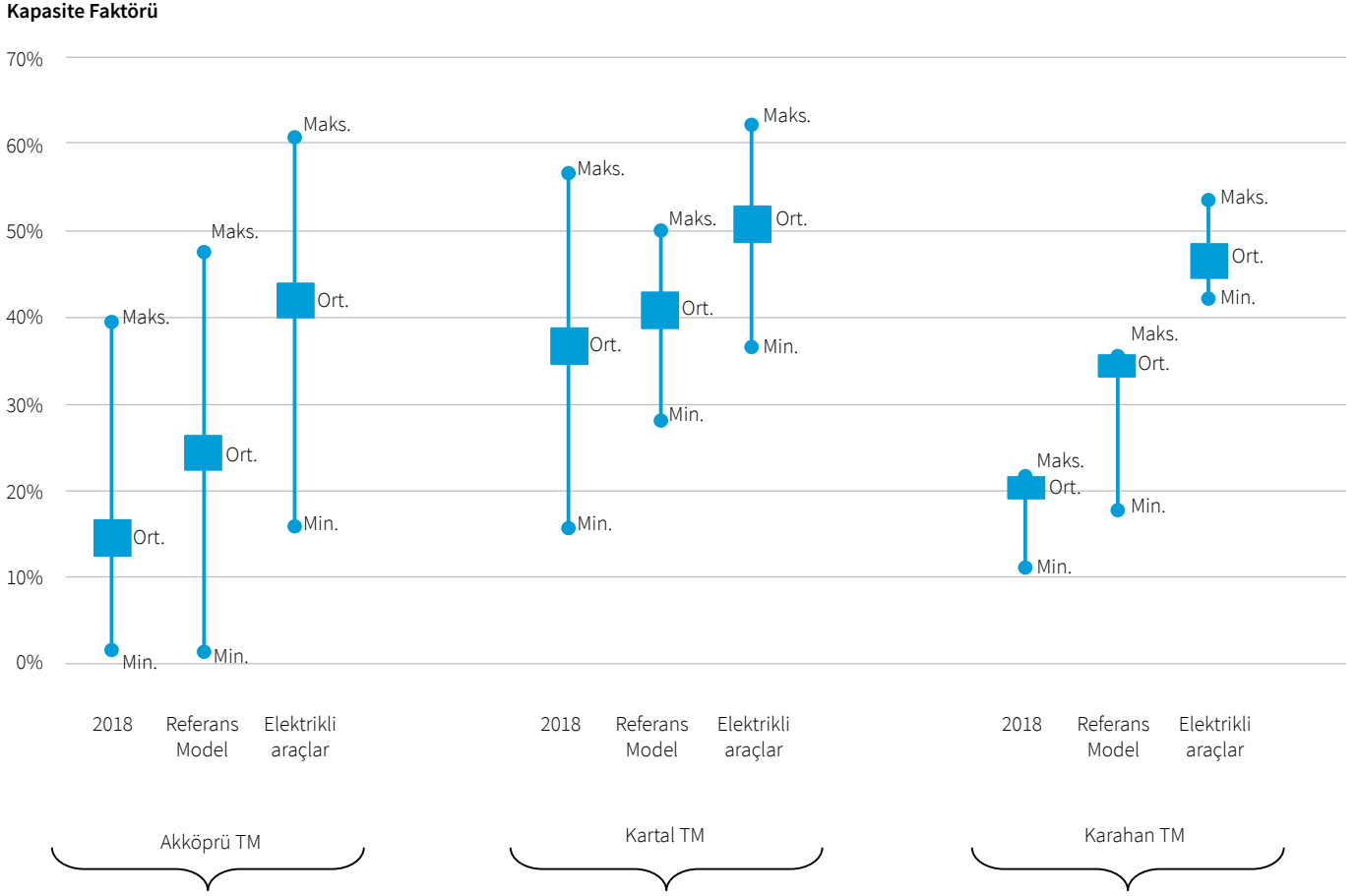
Akköprü, Kartal ve Karahan bölgeleri için 2018 yılında OG/AG trafoların yıllık ortalama kapasite faktörleri sırasıyla %14, %36 ve %20'dir.

Elektrikli araçlar bu kapasite faktörlerini ilave olarak yüzde 10 ila 20 puan artırırken şebekedeki ekipmanların maksimum kapasite faktörleri hala %100'ün altındadır ve şebekede yaşanan aşırı yüklenme ve gerilim düşüşü problemleri oldukça sınırlıdır.

Şekil 27'den görülebileceği üzere, 2018 yılında OG/AG trafoların yıllık kapasite faktörleri oldukça düşüktür. Akköprü, Kartal ve Karahan bölgeleri için 2018 yılında OG/AG trafoların yıllık ortalama kapasite faktörleri sırasıyla %14, %36 ve %20'dir. Bu değerlerin, Referans Modeldeki (elektrikli araçla ilgili tüketimin olmadığı) toplam elektrik talebinin artışının akabinde 2030 yılından itibaren sırasıyla %24, %40 ve %33'e yükselmiştir (yıllık ortalama %5 talep artışı ile). Elektrikli araçlar bu kapasite faktörlerini ilave olarak yüzde 10 ila 20 puan artırırken şebekedeki ekipmanların maksimum kapasite faktörleri hala %100'ün altındadır ve şebekede yaşanan aşırı yüklenme ve gerilim düşüşü problemleri oldukça sınırlıdır. Pilot bölgelerde gerçekleşen analizlerde elde edilen temel bulgu; 2018 ve 2030 yılları arasında elektrik talebi yıllık ortalama %5 (elektrikli araç hariç) artar ve bu yük artışı için gerekli şebeke yatırımları talep artışına uygun bir şekilde gerçekleşirse, 2030 yılı itibarıyla Türkiye'de 2,5 milyon elektrikli aracın şebeke entegrasyonunda ihmal edilebilecek seviyede teknik sorun görülmektedir. Hatta, mevcut durumda (2018) yıllık ortalama yüklenme kapasite faktörleri oldukça düşük olan OG/AG dağıtım trafolarının kapasite faktörlerinin daha verimli noktaya yükselmesi dolayısıyla, belli ölçüde ek yarar da sağlanabileceği anlaşılmaktadır. Bu ek yarar, dağıtım şebeke tarifelerinin azalmasına yardımcı olabilir (varlıkların daha etkin kullanılması suretiyle elde edilen kazanç dolayısıyla).

2030 yılı itibarıyla Türkiye'de 2,5 milyon elektrikli aracın şebeke entegrasyonunda ihmal edilebilecek seviyede teknik sorun görülmektedir.

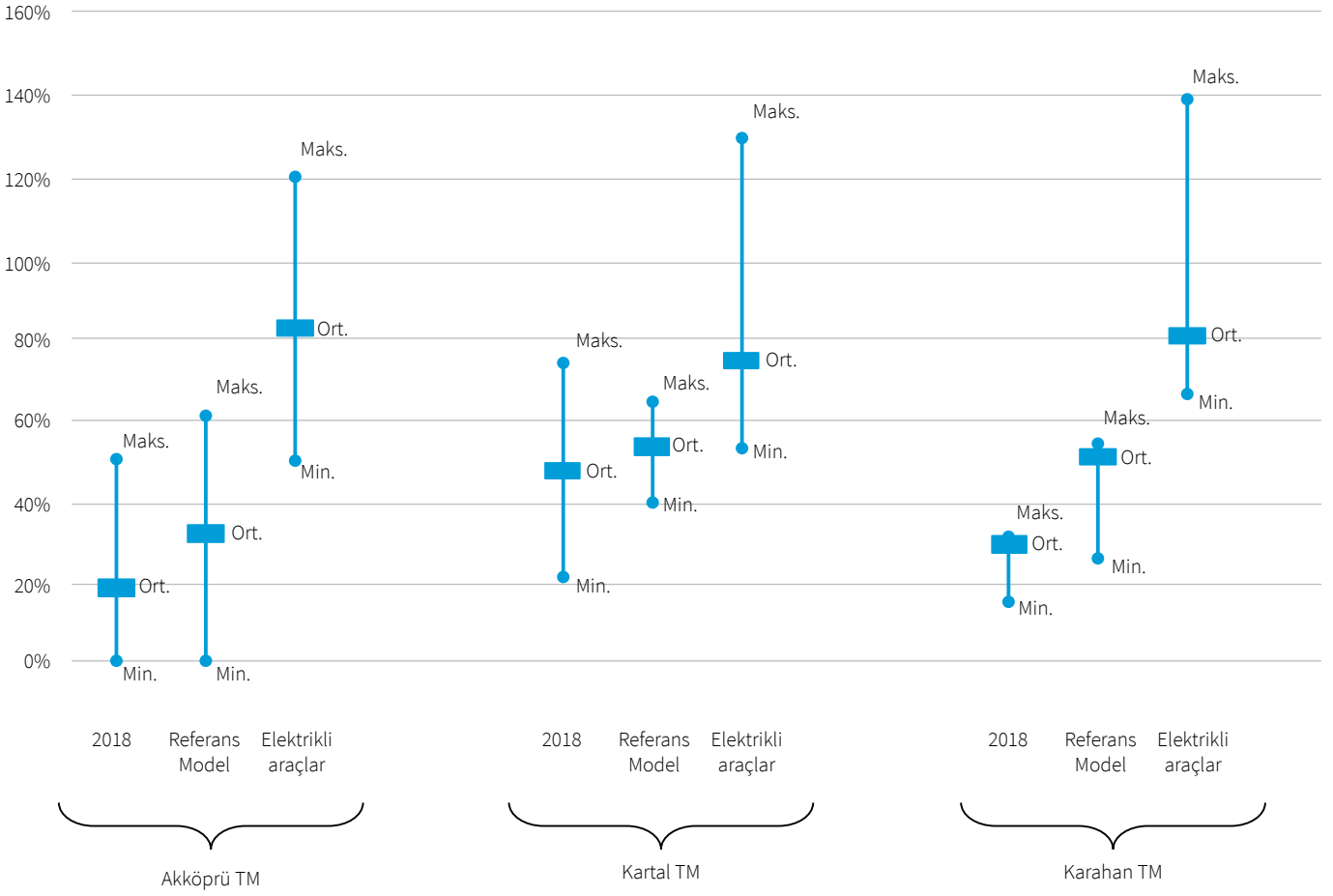
Şekil 27: 2018 yılı için OG/AG trafo kapasite faktörü istatistikleri (Referans Model ve elektrikli araç entegrasyon modeli, kent bölgeleri²⁰)



²⁰ GDZ tarafından gerçekleştirilen şebeke master planı çalışmasının sonuçları uyarınca Bornova TM ve Bergama TM pilot bölgelerine 200 MVA yeni YG/OG trafo kapasitesi eklenmiştir. Diğer pilot bölgeler için halihazırda böyle bir planlama olmadığından, bu bölgelere yalnızca OG ve AG seviyelerinde yeni kapasiteler öngörülmüştür. Yani, diğer bölgelerdeki YG/OG trafo merkezlerinde kapasite artışı öngörülmemiştir.

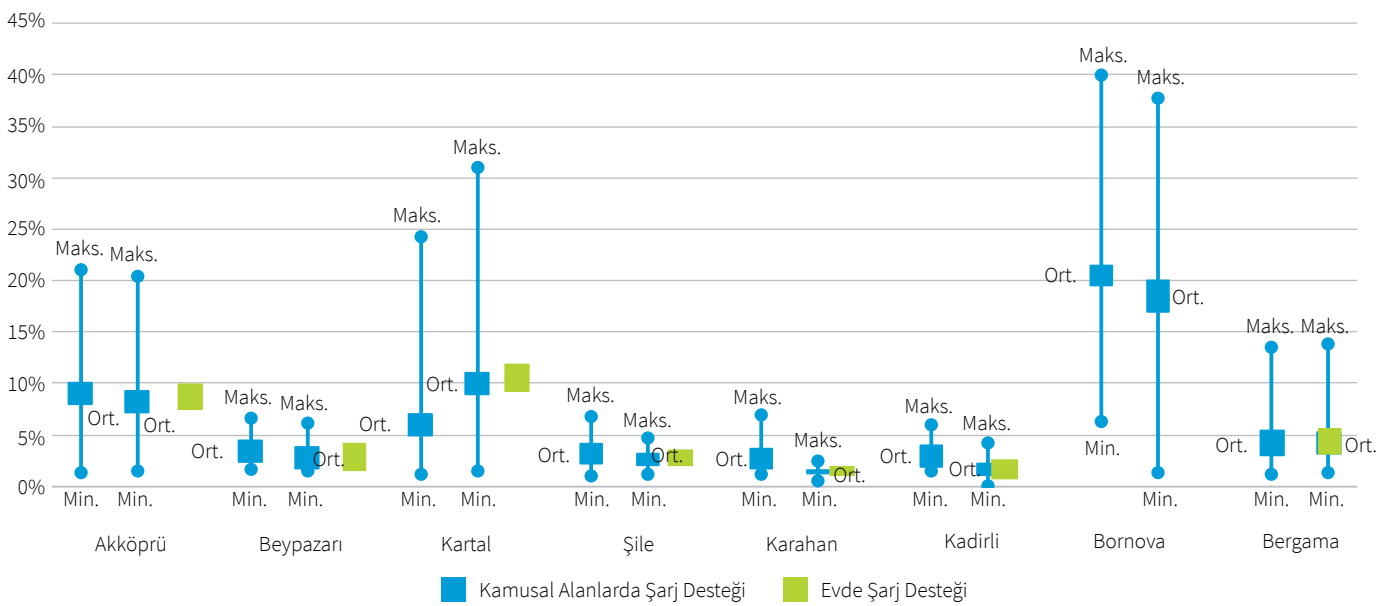
Şekil 28: 2018 yılı için OG/AG trafo yüklenme istatistikleri, (Referans Model ve elektrikli araç entegrasyon modeli, kent bölgeleri)

Yüklenme Seviyesi



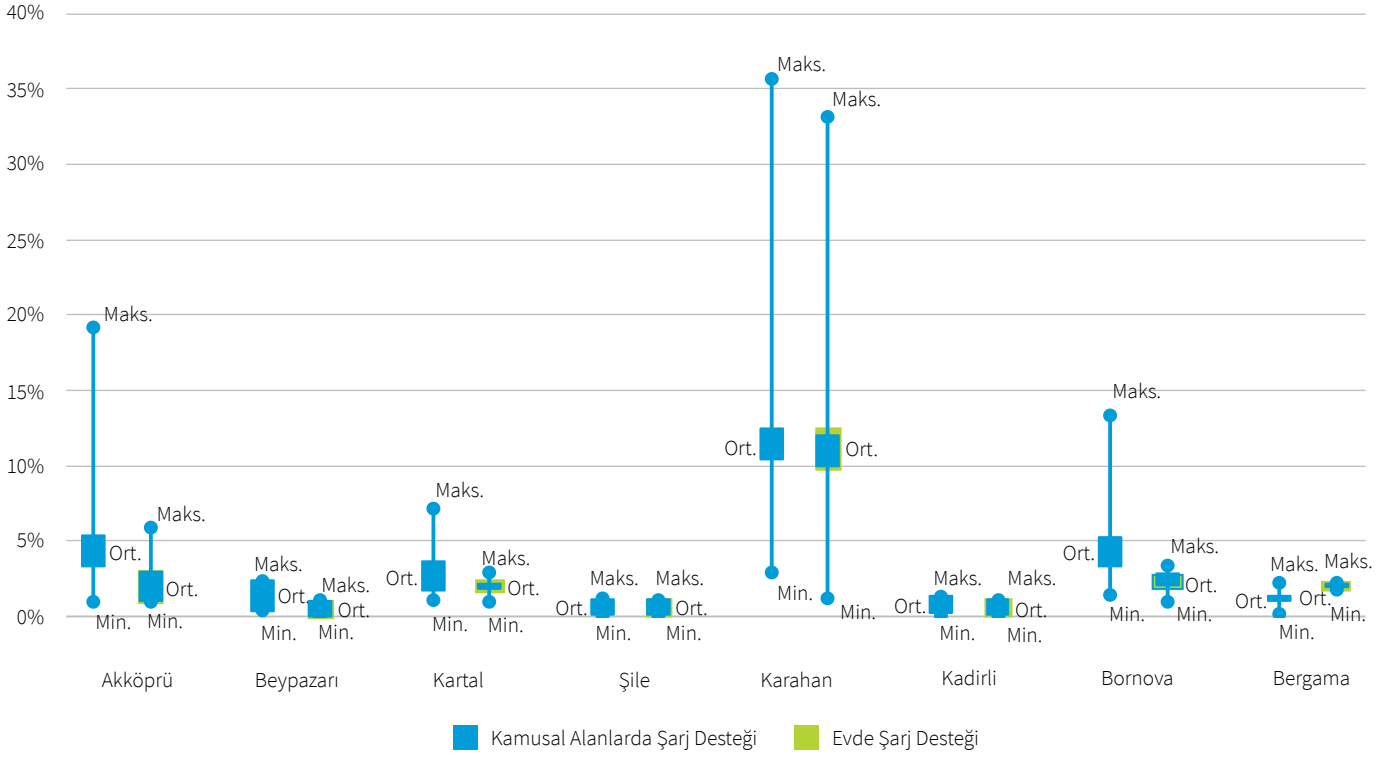
Şekil 29: Pilot bölgelerde elektrikli araçlar sonrası OG/AG trafolarının yıllık yüklenme kapasite faktörlerindeki artışlar

Kapasite Faktöründeki Artış



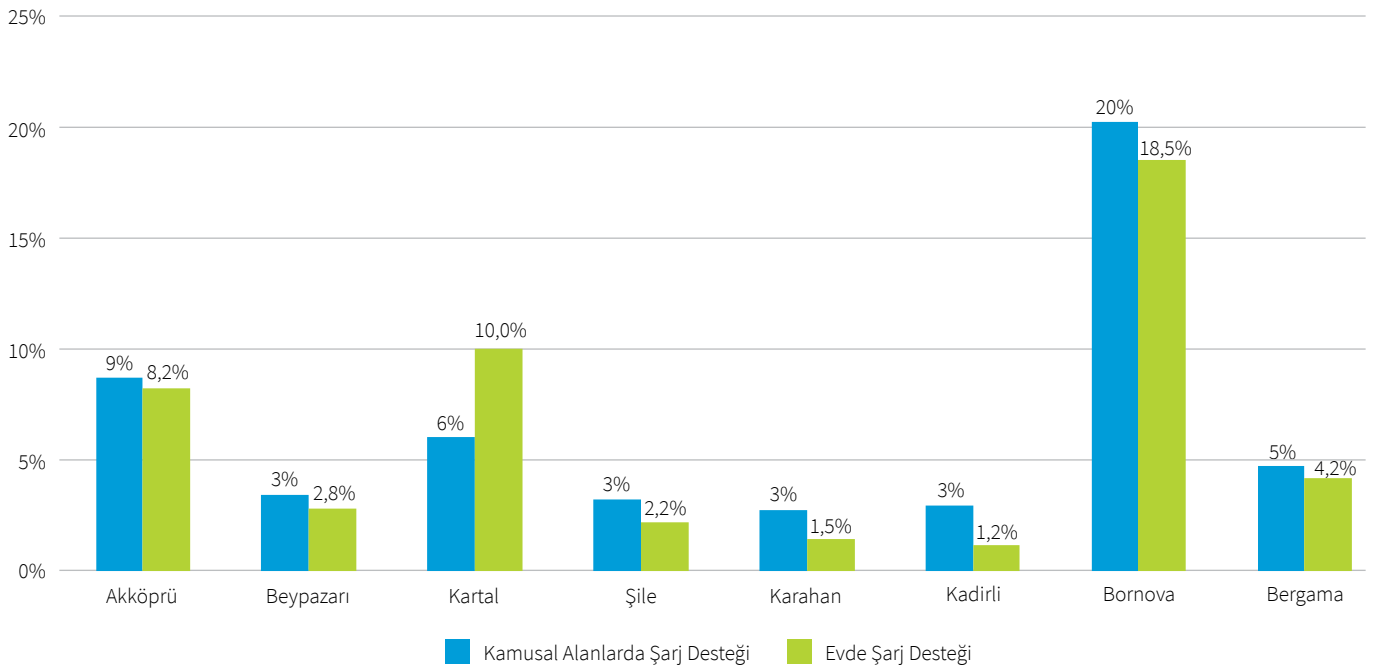
Şekil 30: Pilot bölgelerde elektrikli araçlar sonrası OG hatların yıllık yüklenme kapasite faktöründeki artış

Kapasite Faktöründeki Artış



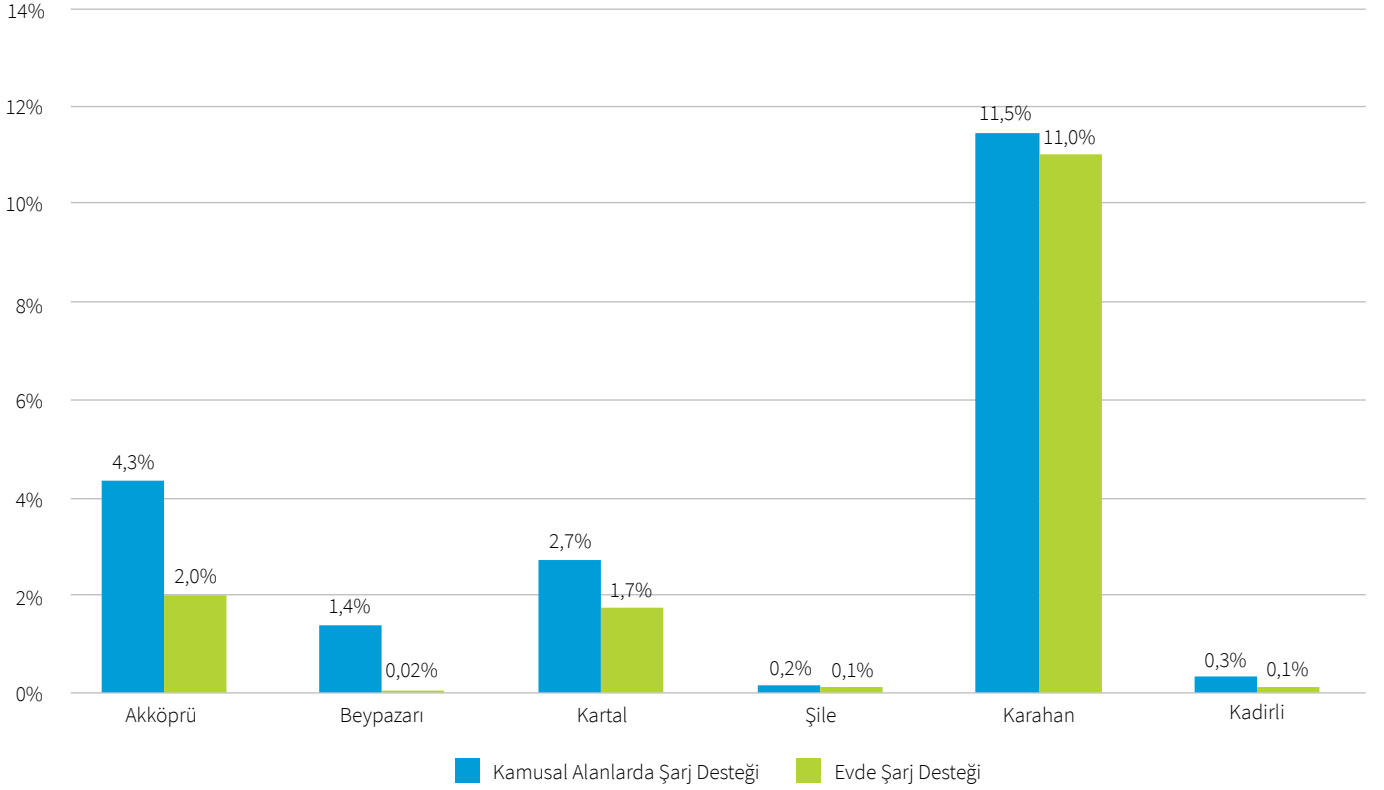
Şekil 31: Elektrikli araçlar sonrası OG/AG trafoların yıllık yüklenme kapasite faktörleri ortalamasındaki artış (kamusal alanlarda şarj desteği ve evde şarj desteği)

Kapasite Faktöründeki Artış



Şekil 32: Elektrikli araçlar sonrası OG fiderlerin yıllık yüklenme kapasite faktöründeki ortalama artış (kamusal alanlarda şarj desteği ve evde şarj desteği)

Kapasite Faktöründeki Artış

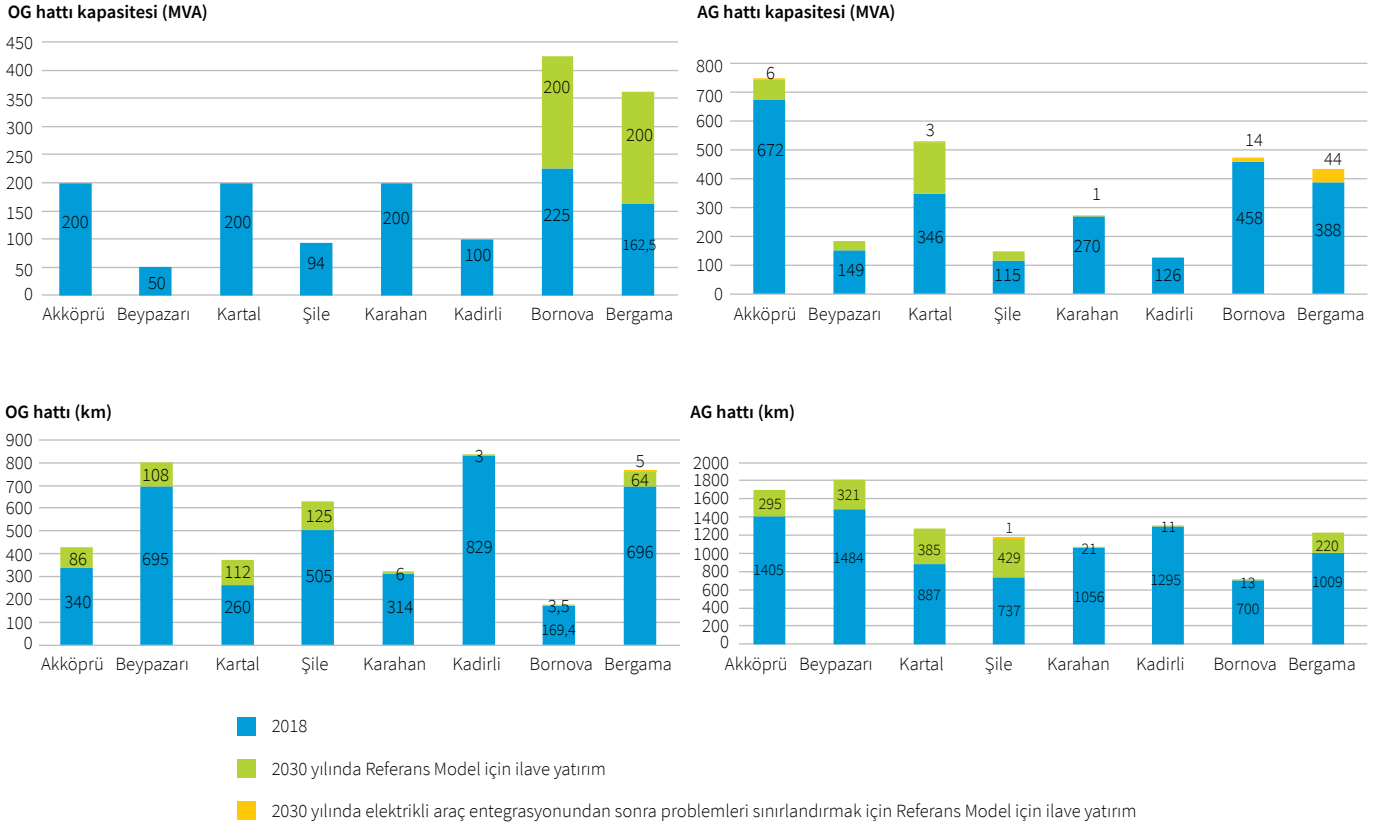


Bornova TM ve Bergama TM pilot bölgeleri haricindeki pilot bölgelerdeki ilave kapasite yatırım ihtiyaçları, Bornova TM ve Bergama TM pilot bölgelerine göre daha yüksek seviyededir.

Her bir pilot dağıtım bölgesi için, 2018 yılı şebeke kapasitesi, 2030 yılı Referans Model için gerekli kapasite yatırımları ve elektrikli araçların şebekeye entegrasyonu sonrası ihtiyaç duyulan ilave kapasite yatırımları Şekil 33'te gösterilmiştir. Bornova TM ve Bergama TM pilot bölgelerinden sorumlu elektrik dağıtım şirketi GDZ tarafından yakın zamanda gerçekleştirilen şebeke master plan çalışmalarının sonuçları uyarınca, Bornova TM ve Bergama TM bölgelerinde 200 MVA ilave YG/OG trafo kapasitesi eklenmiştir.²¹ Diğer pilot bölgelerde ise bu çalışmanın yapıldığı dönem itibarıyla kesinleşen yeni YG/OG kapasite yatırımı yoktur. Bu nedenle ve sonuçların ihtiyatlı bir bakış açısından değerlendirilmesi amacıyla, analizlerde diğer pilot bölgelerdeki mevcut YG/OG trafo merkezlerine ilave bir kapasite yatırımı olmayacağı varsayılmıştır (ilave bir kapasite yatırımı ihtimali olmakla birlikte). Sonuçlardan görülebileceği üzere, Bornova TM ve Bergama TM pilot bölgeleri haricindeki pilot bölgelerdeki ilave kapasite yatırım ihtiyaçları, Bornova TM ve Bergama TM pilot bölgelerine göre daha yüksek seviyededir. Bu sonuç, Bornova TM ve Bergama TM pilot bölgelerine yapılan ilave YG/OG kapasite yatırımının ve bu yatırım dolayısıyla şebekede yapılacak şebeke dağıtım yatırımlarının şebekeyi önemli ölçüde rahatlattığını ve elektrikli araçların şebekeye entegrasyonu için önemli bir kapasite sağladığını göstermektedir.

²¹ Bornova ve Bergama pilot bölgelerinin şebeke master plan ve imar plan çalışmaları GDZ'den temin edilmiştir.

Şekil 33: 2018 yılında mevcut olan OG/AG trafo kapasitesi, Referans Model (2030) oluşturmak için gerekli ilave kapasite ve elektrikli araçlardan kaynaklı ilave teknik problemleri çözmek için gerekli ilave yatırımlar

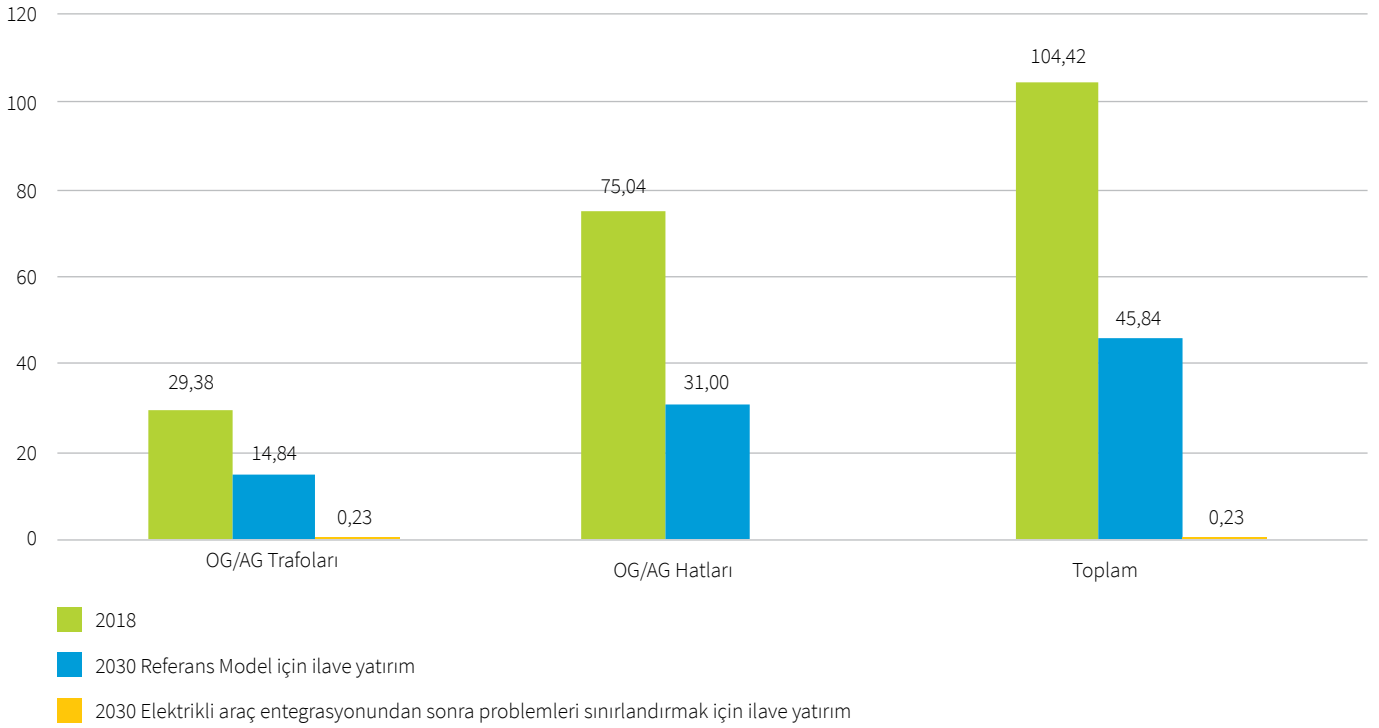


Kartal bölgesinde elektrikli araç entegrasyonu sonrası meydana gelen teknik problemleri çözmenin maliyeti ise sadece 0,23 milyon TL'dir.

Kartal TM pilot bölgedeki öngörülen şebeke yatırımları Şekil 34'te verilmiştir. 2018'den 2030'a yıllık ortalama %5 talep artışında, OG trafoların ve OG hatların toplam maliyeti sırasıyla 14,84 milyon TL ve 31 milyon TL şeklindedir (2018 fiyatlarıyla). Elektrikli araç entegrasyonu sonrası meydana gelen teknik problemleri çözmenin maliyeti ise sadece 0,23 milyon TL'dir (Şekil 34). Bu rakamlar şunu göstermektedir: 2018 ve 2030 yılları arasında elektrik talebi yıllık ortalama %5 (elektrikli araç hariç) artar ve bu yük artışı için gerekli şebeke yatırımları uygun şekilde gerçekleşirse, Kartal TM pilot bölgedeki şebekede 9.636 adet (bkz. Tablo 6) elektrikli araç yükünden kaynaklı oluşan ilave teknik problemler (ve dolayısıyla ilave yatırımlar) ihmal edilebilir seviyededir. Şekil 34'te gösterilen bulgulara göre, bu sonuç diğer pilot bölgeler için de geçerlidir.

Şekil 34: Yatırımların maliyeti (Kartal TM – yıllık %5 talep tahmini, kamusal alanlarda şarj desteği)

Milyon TL (2018 fiyatları)



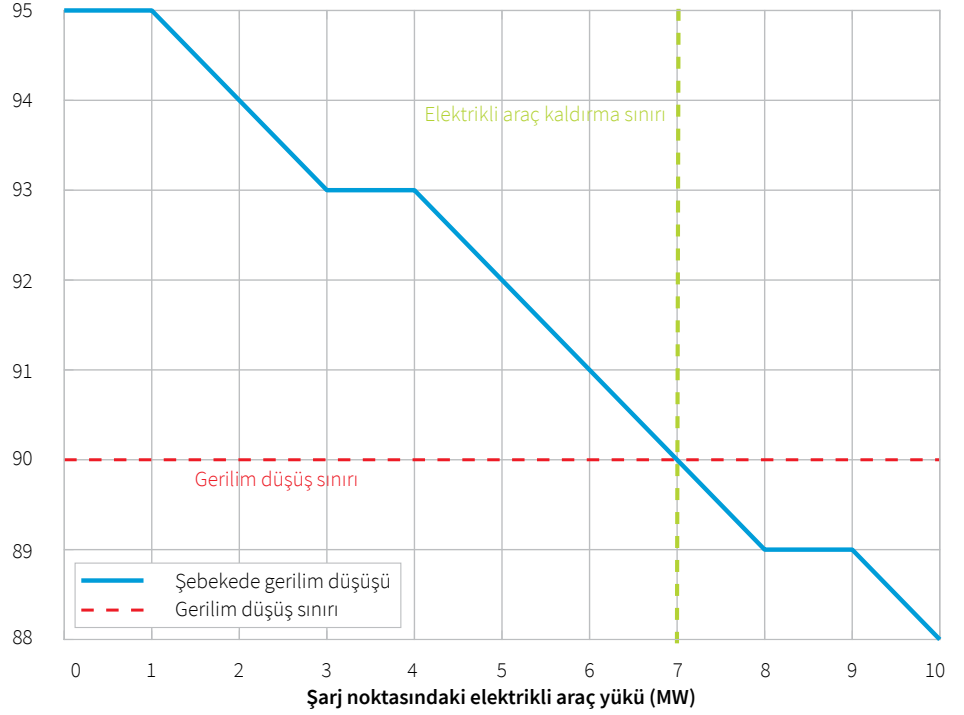
5.2. Otoyollarda hızlı şarjın etkisi

Bu bölümde, Kartal TM pilot bölgesinde seçilen bir fider üzerinde, hızlı şarj istasyonlarının şebeke etki analiz sonuçları açıklanmıştır. Yukarıda açıklandığı üzere, seçilen fider düşük kapasiteli ve uzun bir fider olup, hızlı şarj istasyonlarını dağıtım şebekesinin zayıf olduğu (SCMVA açısından) bir noktadan beslediği varsayılmıştır. Bu seçimin sebebi teknik etki açısından en kötü durumdaki sonuçları gözlemlemektir. Analizlerde şarj istasyonunun elektrikli araç şarj yükü kademeli olarak yükseltilmiş ve fider üzerinde gerilim düşümü incelenmiştir.

Şarj istasyonunun elektrikli araç şarj yükü kademeli olarak yükseltildikçe fider üzerinde gerilimin nasıl düştüğü Şekil 35'te gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere, elektrikli araç şarj yükünün, fider üzerinde gerilim düşümü açısından kabul edilebilir seviyesinin 7 MW olduğu anlaşılmıştır. Fider üzerinde şarj istasyonlarındaki elektrik şarj yükünden başka yükler olduğu durumda bu limit düşecektir. Şekil 36'da ise, fider üzerinde yüklenmenin şarj istasyonundaki elektrikli araç şarj yüküne bağlı değişimi gösterilmiştir. Şekil üzerindeki mavi çizgi hızlı şarj istasyonunu besleyen fiderdeki yüklenmeyi, yeşil çizgi ise Kartal TM pilot bölgesini besleyen ana fiderin yüklenmesini temsil etmektedir. Yeşil veya mavi çizgilerin herhangi birinin %100 yüklenme seviyesine ulaşması limit seviye karşılık gelmektedir. Yüklenme bağlamında limit 8,5 MW hesaplanmıştır. Gerilim düşümü ve aşırı yüklenme limitleri birlikte göz önüne alındığında, hattın elektrikli şarj yüklenme limitinin gerilim düşümü nedeniyle 7 MW olduğu anlaşılmaktadır. (Fider üzerinde şarj istasyonlarındaki elektrik şarj yükünden başka yükler olmadığı varsayımı ile.)

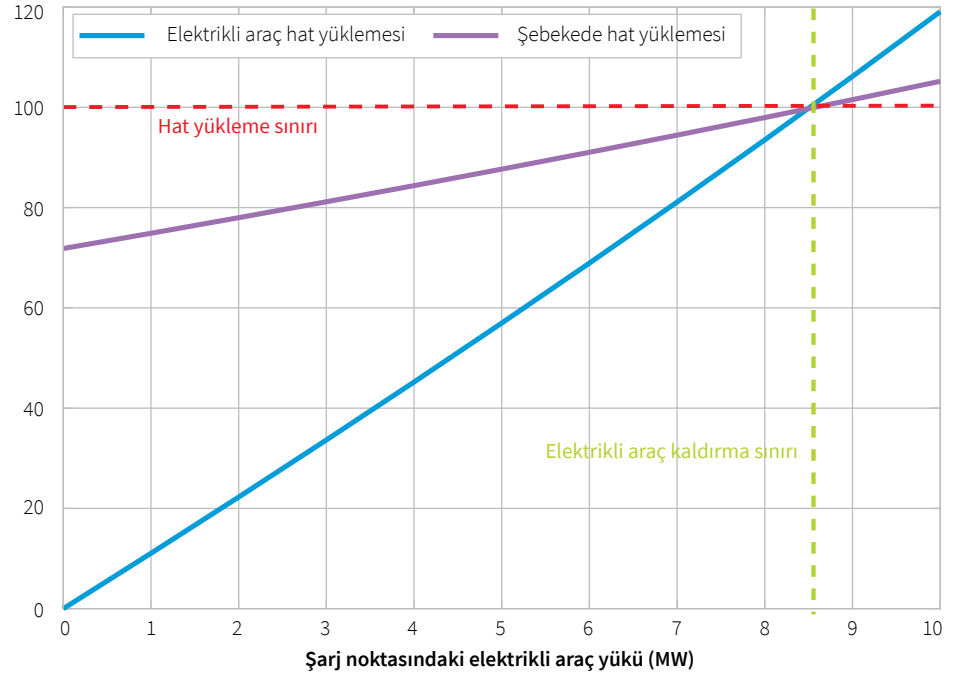
Şekil 35: Fider üzerinde gerilimin şarj istasyonundaki elektrikli araç şarj yüküne bağlı değişimi

Gerilim Düşüş Yüzdesi



Şekil 36: Fider üzerinde yüklenmenin şarj istasyonundaki elektrikli araç şarj yüküne bağlı değişimi

Yüzde



Simülasyon sonuçlarına göre, otoban üzerinde oldukça düşük seviyede yükü olan temsili bir OG fiderin, her biri 16 adet eş zamanlı 100 kW DA tip şarj noktası barındıran 4 adet hızlı şarj istasyonunu besleyebileceği görülmüştür.

Simülasyon sonuçlarına göre, otoban üzerinde oldukça düşük seviyede yükü olan temsili bir OG fiderin, her biri 16 adet eş zamanlı 100 kW DA tip şarj noktası barındıran 4 adet hızlı şarj istasyonunu (yani, $4 \times 16 \times 100 \text{ kW} = 6,4 \text{ MW}$) besleyebileceği görülmüştür. Yeni bir şarj istasyonunun (bu dört istasyona ilave) bu dört istasyondan uzak bir mesafede konumlanacağı, dolayısıyla da başka bir OG fiderden beslenebileceği değerlendirilmiştir.

5.3. Elektrikli araç şarj noktalarının kapasite kullanım faktörleri

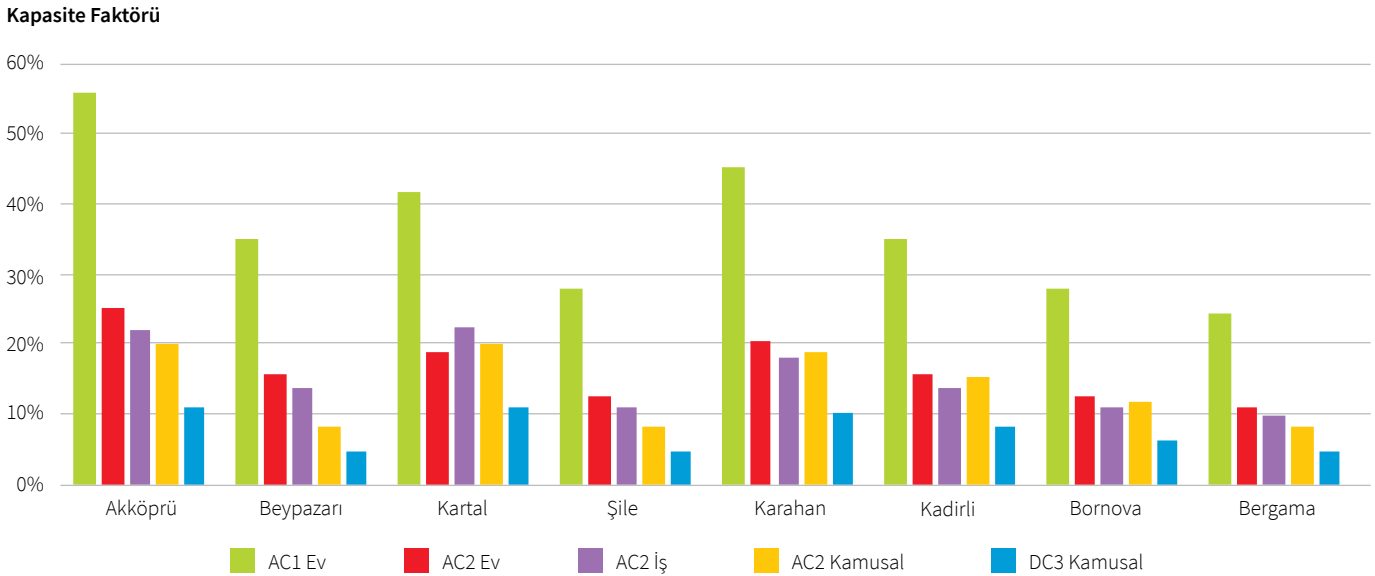
Elektrikli araç şarj noktalarının kapasite kullanım faktörü altyapı yatırımcıları açısından önemli bir göstergedir. Şarj istasyonunun kullanımı şarj noktası sayısı ve piyasadaki elektrikli araç sayısına bağlı olarak değişmektedir. Belli bir bölge içerisindeki elektrikli araç sayısı aynı bölgedeki şarj noktası sayısından daha hızlı büyürse kapasite kullanım faktörlerinin artması beklenebilir. Tam tersi olduğu takdirde kapasite kullanım faktörleri düşebilir. (Altyapı sayısındaki artış, daha fazla kullanıcının daha uzun mesafelerde elektrikli araç kullanmasını ve altyapı ağına katılmasını teşvik edebilir. Dolayısıyla, uzun vadede tüm istasyonlarda (veya çoğu istasyonda) kullanım oranları artabilir.) (NYSERDA, 2015).

Literatürdeki verilerin büyük çoğunluğu kamusal alandaki şarj altyapısının kullanım oranının %5 ila %15 arasında olduğunu göstermektedir.

Daha yüksek kapasite faktörlerinin yatırımları ekonomik açıdan daha olanaklı kıldığı düşünülebilir. Şarj noktalarının kapasite faktörleriyle ilgili olarak kamuya açık veri sınırlı sayıda bulunmaktadır. Ancak literatürdeki verilerin büyük çoğunluğu kamusal alandaki şarj altyapısının kullanım oranının %5 ila %15 arasında olduğunu göstermektedir (NYSERDA, 2019). Bir diğer örnekte, New York eyaletinde 2015 yılında hızlı şarj noktalarının ortalama %3-%4 oranında kullanıldığını belirtilmiş, buna karşılık benzin istasyonlarının %34 oranında kullanıldığı gösterilmiştir (Graber ve Sussman, 2019).

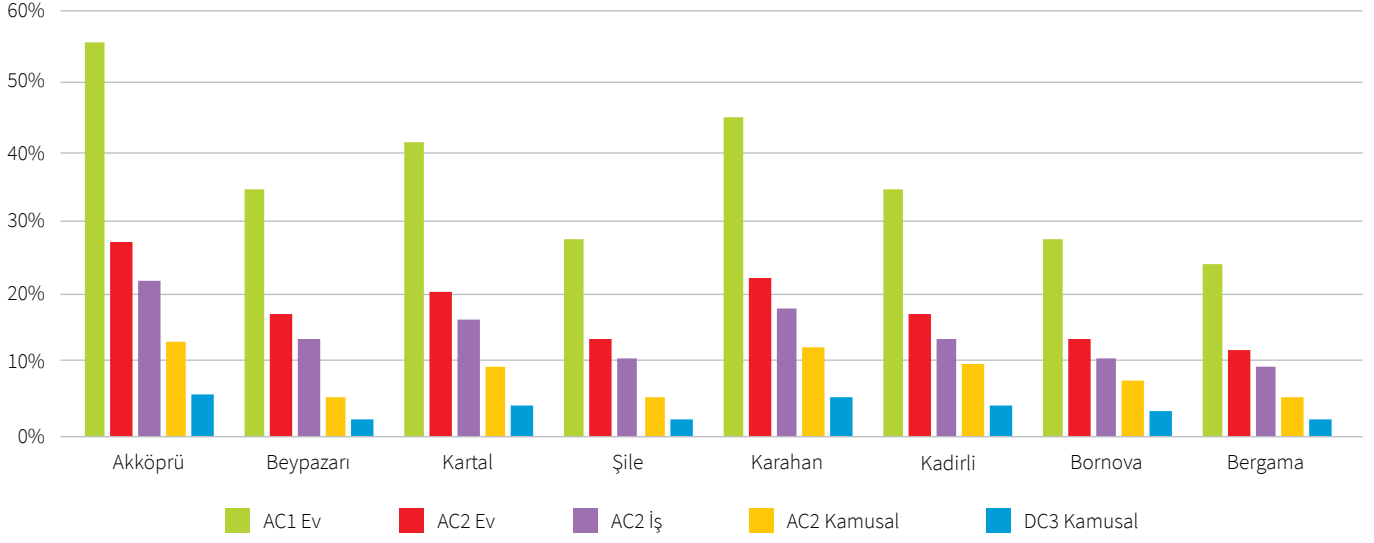
Şekil 37 ve Şekil 38'e göre, evde şarj istasyonlarının yıllık ortalama kapasite faktörleri kamusal alanlar ve işyerlerindekiinden çok daha yüksektir. Ayrıca, evde şarj istasyonlarının toplam şarj süresi (yani AC1 ve AC2-ev) kamusal şarj istasyonlarının toplam şarj süresinden (yani AC2-kamusal ve DC) daha uzundur.

Şekil 37: Şarj altyapılarının yıllık ortalama kapasite faktörleri – Kamusal Alanlarda Şarj Desteği



Şekil 38: Şarj altyapılarının yıllık ortalama kapasite faktörleri – Evde Şarj Desteği

Kapasite Faktörü



Bu durumda, pilot dağıtım şebekesi bölgelerinde elektrik tüketiminin yoğun saatlerde olduğu zamanlarda puant yük %12,5 oranında yükselir. Ancak, gece yarısı saatlerinde evde şarjın desteklenmesiyle uygulanabilecek akıllı bir şarj mekanizması uygulandığında puant yükteki artış %3,5 seviyesinde sınırlı kalmaktadır.

Dünyanın diğer bölgelerindeki etkileri değerlendiren çalışmaların bulgularıyla bu çalışmanın bulgularını karşılaştıran Şekil 39'a göre, elektrik tüketiminin yoğun olduğu saatlerde, elektrikli araçlar kontrolsüz şekilde şarj edildiğinde pilot bölgelerin elektrik yükündeki meydana gelen artış kaçınılmaz olacaktır. Ancak, akıllı şarj etme yöntemleriyle yoğun saatlerdeki elektrik yükü önemli ölçüde azaltabilir. Bu çalışmada öngörülen kontrolsüz şarj işlemi akıllı şarj etme mekanizmasının olmadığı ve kamusal alanlarda şarjın daha çok desteklendiği durumu içeren yüksek büyüme senaryosuna tekabül etmektedir. Bu durumda, pilot dağıtım şebekesi bölgelerinde elektrik tüketiminin yoğun saatlerde olduğu zamanlarda puant yük Şekil 39'da belirtildiği üzere %12,5 oranında yükselir. Ancak, gece yarısı saatlerinde evde şarjın desteklenmesiyle uygulanabilecek akıllı bir şarj mekanizması uygulandığında puant yükteki artış %3,5 seviyesinde sınırlı kalmaktadır.

Şekil 39: Mevcut çalışma ve benzer çalışma sonuçlarının karşılaştırması (Yüksek büyüme - Kamusal alanlarda şarj desteği)



Kaynak: IRENA (2019b) ve yazarlar

5.4. Duyarlılık analizleri

Bu çalışmanın sonuçlara ulaşılmasında önem arz eden farklı varsayımlardaki değişimlerin sonuçlar üzerindeki etkilerini hesaplamak için duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu varsayımlar; elektrik talebindeki yıllık artış, kamusal alanlardaki şarj etme davranışındaki değişiklikler, şarj noktalarının OG fiderlerdeki dağılımı ve yenilenebilir enerji ve enerji depolama entegrasyonu şeklindedir. Pilot dağıtım şebekesi bölgelerinde günümüzde oldukça sınırlı seviyede yenilenebilir enerji kaynağı bulunmaktadır. Bu çalışmada 2030 yılı için gösterilen sonuçlar da bu kaynakların sınırlı seviyede kalacağını varsaymıştır. Ayrıca analizde enerji depolamasındaki gelişmelerle ilgili olarak herhangi bir varsayımda bulunulmamıştır.

Duyarlılık analizi Kartal TM pilot bölgesi için yapılmıştır. Sonuçlar toplam problem sayısı (gerilimdeki düşüşler ve aşırı yüklenmeler) üzerinden gösterilmiş, aynı zamanda OG/AG kapasite faktöründe artış olmak üzere diğer bir gösterge üzerinden değerlendirilmiştir.

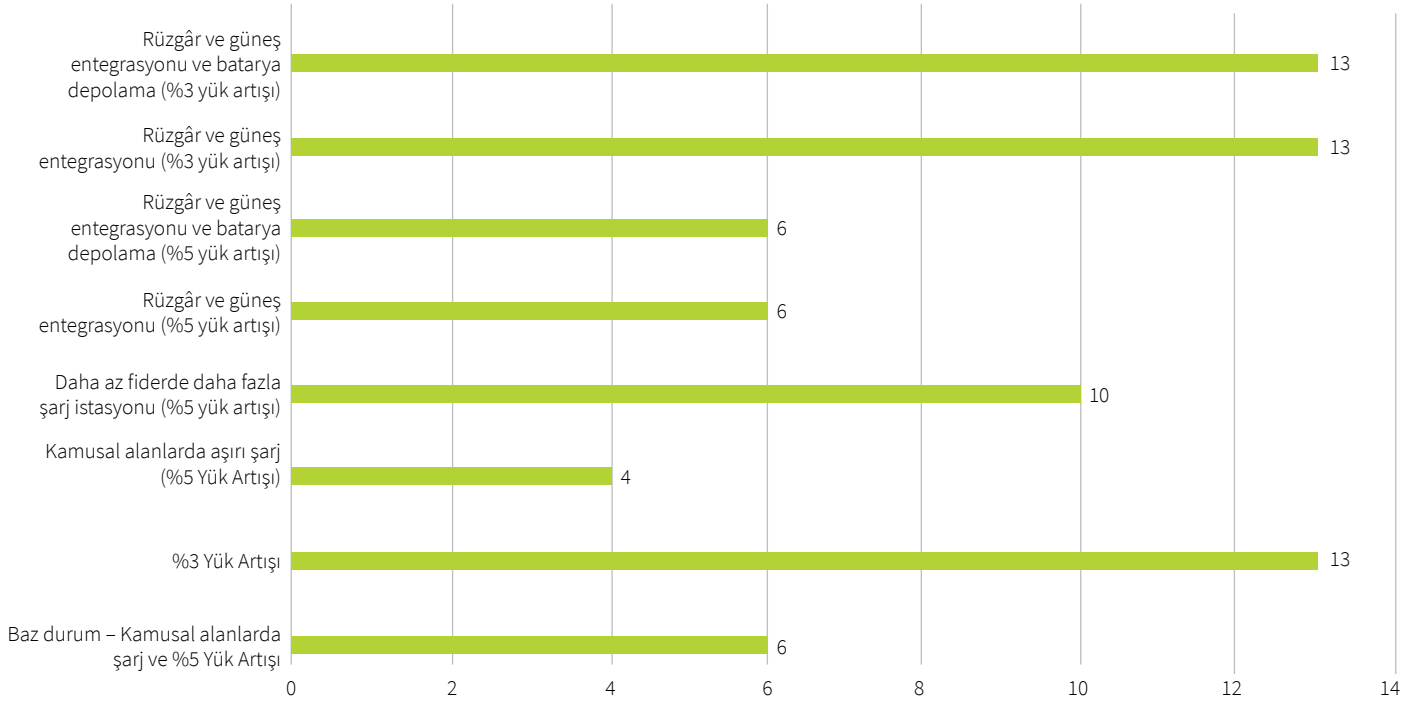
Şekil 40 ve Şekil 41’de, “Normal Kamusal (%5 yük artışı)” başlıklı en sondaki sütun, yıllık yük artışının %5 olduğu varsayılan kamusal alanlarda şarjın desteklendiği durumdaki problem sayısını göstermektedir. Duyarlılık analizi sonuçları bu durumun sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Elektrikli araç yükünün evlerde bulunan dağıtık bir altyapıda gerçekleşen şarjın yerine, daha az sayıda ve merkezi alanlarda şarja kaydırılması ve bu sayede aşırı yüklenen şebeke işletiminin rahatlamasıyla açıklanabilir.

Elektrik yük artışının %3 seviyesinde olduğu durumda, şebekede yaşanan toplam problem sayısı altıdan on üçe çıkmaktadır. Bunun altında yatan sebep, Referans Modelde daha sınırlı miktarda şebeke yatırımının gerçekleşmesidir. Daha az yatırımın olduğu bir sistemde, aynı sayıda elektrikli aracın entegrasyonu işletim anlamında zorluk yaratmaktadır. Elektrik talebindeki artışın %5 olması durumunda, elektrikli aracın entegrasyonu sonucu OG/AG trafolarındaki ortalama kapasite kullanım faktöründeki artış %7 seviyesinde gerçekleşirken, elektrik talebindeki artışın %3 olması durumunda, ortalama kapasite faktöründeki artış %15 olarak ikiye katlanmaktadır. Kamusal alanlarda şarjın çok daha fazla bir seviyede gerçekleşmesi durumunda, problem sayısında azalma olmaktadır. Bu azalmanın sebebi, elektrikli araç yükünün evlerde bulunan dağıtık bir altyapıda gerçekleşen şarjın yerine, daha az sayıda ve merkezi alanlarda şarja kaydırılması ve bu sayede aşırı yüklenen şebeke işletiminin rahatlamasıyla açıklanabilir. Bu azalmaya rağmen, trafo kapasite kullanım faktörlerinde bir yükselme de söz konusudur (bkz. Şekil 41).

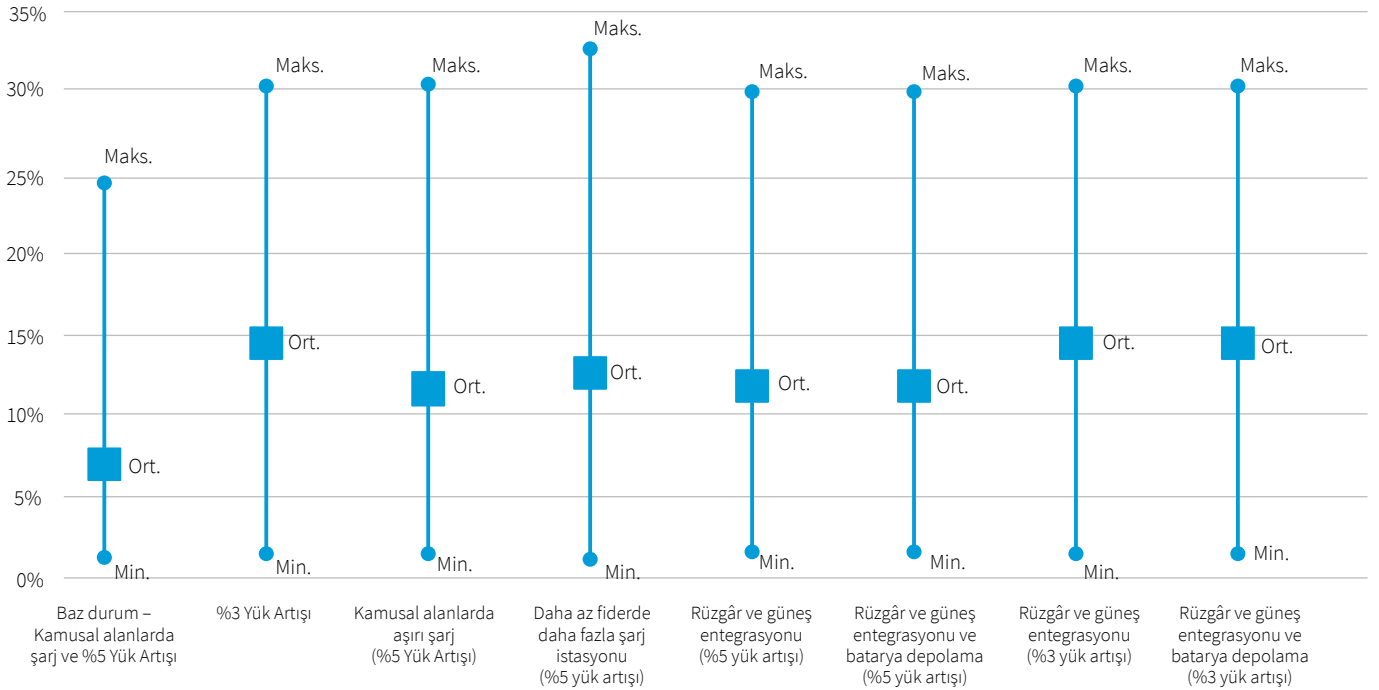
Az sayıda fidere daha fazla şarj aletinin kurulmasının etkilerini hesaplamak için, elektrikli araçların sayısı sabit tutulurken 17 kamusal şarj noktası 9’a düşürülmüştür. Şekil 40 ve Şekil 41’de, toplam problem sayısı ve ortalama kapasite kullanım faktöründe ise artış gözlenmiştir. Bu durumun altında yatan sebep, daha az sayıda fider üzerine daha fazla sayıda şarj noktasının eklenmesiyle, fiderin yük profili değiştirilmiştir. Bu da elektrik yükünü artırmış ve fider kullanımını arttırmıştır.

Şekil 40: Duyarlılık analizinin her bir durumu için toplam problem sayısı (gerilim aksaklıklarına ek olarak aşırı yüklenmeler)



Şekil 41: Duyarlılık analizinin her bir durumu için elektrikli araçların entegrasyonu sonrası OG/AG trafo kapasite faktöründeki artış

Trafo Kapasite Faktöründeki Artış

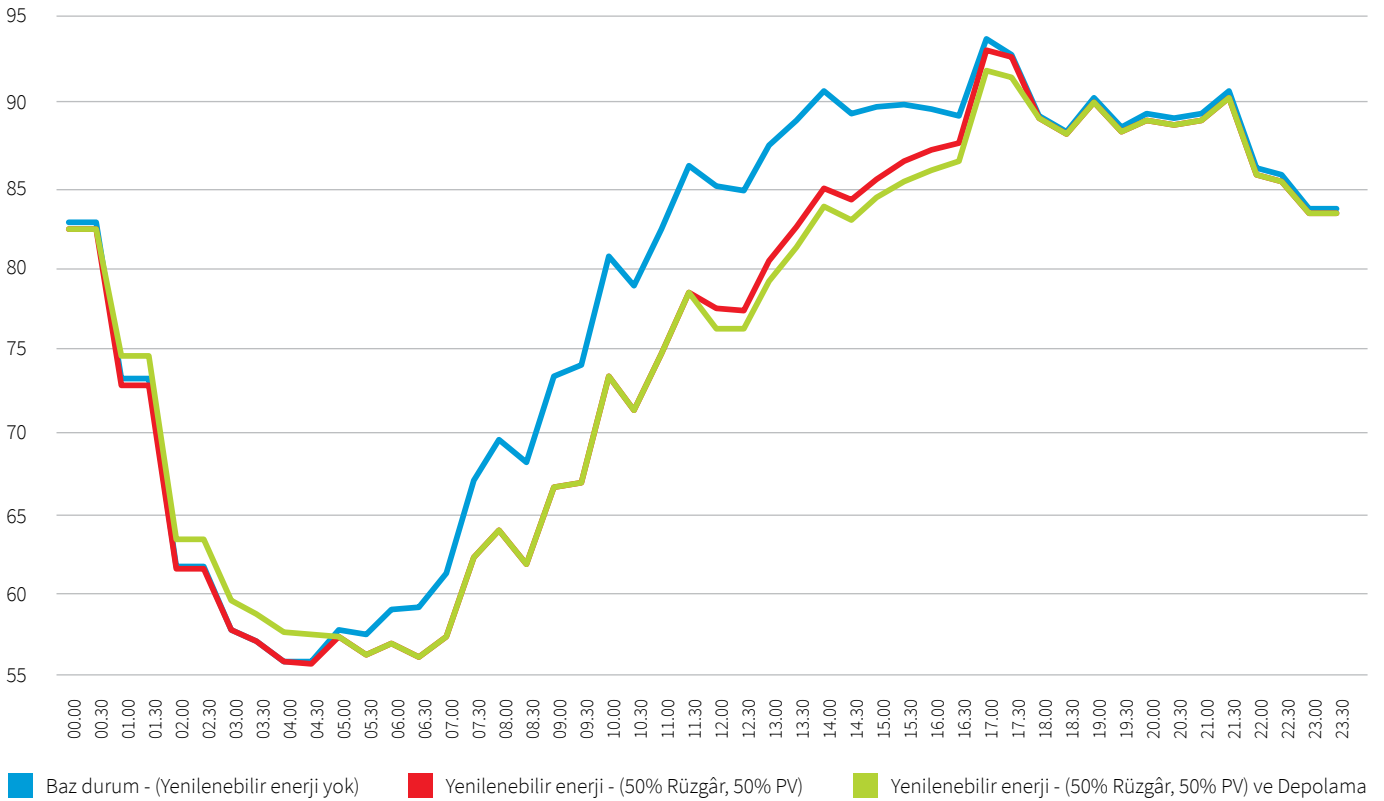


Yenilenebilir enerji ve batarya depolama sistemleri YG/OG trafo yüklenme seviyesini düşürmektedir.

Elektrik sistemine yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edildiği durumda, toplam problem sayısında herhangi bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Bu yenilenebilir enerji ve enerji depolamanın elektrikli araç entegrasyonu için olan muhtemel faydalarının göz ardı edilebileceğini düşündürse de aslında bu sonuçlar sadece yıllık ortalamaya işaret etmekte olup, farklı mevsimlerde faydaların olduğu görülmektedir. Şekil 42 tipik bir yaz gününde Kartal bölgesindeki YG/OG trafonun yüklenme seviyesini göstermektedir. Görüldüğü üzere, yenilenebilir enerji ve batarya depolama sistemleri YG/OG trafo yüklenme seviyesini düşürmektedir. Ancak, Kartal TM bölgesinde yoğun saatlerde yenilenebilir enerjilere erişim sağlanamazken (Şekil 42’de saat 17.00), bu saatlerde gerçekleşen problemlerin giderilmesinde yenilenebilir enerji ve enerji depolamanın etkileri tam olarak gözlemlenememektedir. Yani, Şekil 42’de gösterildiği üzere, yenilenebilir enerji ve enerji depolamanın yoğun yüklenme saatlerindeki olumlu etkileri diğer saatlerdeki kadar açık değildir.

Şekil 42: Kartal pilot bölgesinde YG/OG trafolarının yüklenme seviyesi – Ortalama yaz günü

Yüklenme Seviyesi (%)



Bu sonuç, elektrikli araç sahiplerinin herhangi bir teşvik veya elektrik fiyat sinyali olmaksızın araçlarını çoğunlukla yoğun saatlerde şarj etmeye eğilimli olduklarını gösteren Norveç gibi daha olgun bir elektrikli araç piyasasında yapılan bir araştırmanın sonuçlarını desteklemektedir. Bu sonucun bir başka nedeni ise enerji depolama sistemlerinin şarj ve deşarj olma şekillerinin, şarjın gece yarısı (fiyatlar en düşük olduğu zaman) ve deşarjın ise gündüz saatlerinde gerçekleştiği fiyata dayalı bir şemaya göre yapıldığının varsayılmasıdır.

Şebeke işletiminde yaşanan problemlerin sadece yoğun saatlerde olmadığı unutulmamalıdır. Başka bir deyişle, yenilenebilir enerji ve batarya depolamanın

sistem işletiminin rahatlatılması için olumlu etkileri vardır. Son olarak, bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından üretimin yüksek olduğu tipik bir yaz gününde elektrikli aracın şarj edilmesi konusunda yönlendirmelerin olduğu bir şarj teşvik mekanizmasının olmadığı varsayılmaktadır. Bu tarz mekanizmalar yalnızca elektrikli araç sahiplerine değil aynı zamanda teknik kısıtların azaltılması için dağıtım şebekelerine fayda sağlar.

5.5. Sonuçların tartışılması

Bu bölümde çalışmanın sonuçları tartışılmaktadır. Daha sonrasında, bu tartışmanın çerçevesi Avrupa ve küresel çaptaki gelişmeler ışığında bir perspektif doğrultusunda genişletilmektedir.

5.5.1. Dağıtım şebekelerine olan etki

Türkiye'nin toplam nüfusunun ve elektrik talebinin yaklaşık üçte birini temsil eden dört şebekeden elde edilen verilerin doğrultusunda bir modellemenin sonuçlarına dayanarak, değerlendirilen şebekelerin işletimine sınırlı bir etkiyle ve neredeyse hiçbir ilave şebeke yatırımı gerekmeksizin 2,5 milyon elektrikli aracın Türkiye'nin dağıtım şebekesine entegre edilebileceği gösterilmiştir.

Türkiye'nin toplam nüfusunun ve elektrik talebinin yaklaşık üçte birini temsil eden dört şebekeden elde edilen verilerin doğrultusunda bir modellemenin sonuçlarına dayanarak, değerlendirilen şebekelerin işletimine sınırlı bir etkiyle ve neredeyse hiçbir ilave şebeke yatırımı gerekmeksizin 2,5 milyon elektrikli aracın Türkiye'nin dağıtım şebekesine entegre edilebileceği gösterilmiştir. Elektrikli araçların entegrasyonundan kaynaklanan gerilim düşüşleri ve maksimum yüklenme artışlarını sınırlandırmak için OG/AG trafoların ve iletim hatlarında ihtiyaç duyulan ek kapasitenin, elektrikli araçların yaygınlaşmasını olmadığı varsayılan Referans Model sonuçlarına kıyasla %1 ila %10 arasında olacağı hesaplanmıştır. Örneğin, Kartal bölgesi için tahmini değer %1,7 seviyesindedir ve ekonomik anlamda, bu değer 2030 yılı sonuna kadar Kartal pilot bölgesi için gereken toplam şebeke yatırımının %1'den daha azına tekabül etmektedir. Buna ulaşmak için, günümüzden 2030 yılına kadar bina ve sanayi için öngörülmüş yıllık %5 elektrik talep artışıyla orantılı şebeke yatırımlarının yapılması gerekmektedir. Bu yatırım hızının korunması elektrikli araç entegrasyonu için de büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, dağıtım şebekesi operatörlerinin dağıtım şebekesi kapasite kullanım faktörleri gibi anahtar performans göstergeleriyle birlikte, şebeke yatırımlarının seviyesini takip etmeleri önemli olacaktır.

Yoğun elektrik tüketiminin gerçekleştiği saatler esnasında kamusal alanlarda elektrikli araçların aşırı derecede şarj edildiği durumda, bu çalışmada değerlendirilen dört dağıtım şebekesinin kapasite kullanım faktörleri artarken, gerilim azalmalarının toplam sayısı ve maksimum yük artışında düşme olduğu hesaplanmıştır. Bu çalışmanın 100 kW kapasiteli DC hızlı şarj altyapısını odaklandığını vurgulamak önemlidir. Bununla birlikte şarj teknolojisindeki ilerlemelerle, daha yüksek kapasiteli hızlı DC şarj noktalarının (ör. 350 kW) 2030 yılına doğru daha yüksek bir piyasa payına sahip olabileceği düşünülebilir. Bu koşullar altında, daha fazla gerilim düşüşü ve aşırı yüklenme gözlemlenmesi muhtemeldir. Bu da şarj altyapısı konumlarıyla ilgili planlamanın ve şarj noktaları için seçilecek olan şarj teknolojisi tipinin önemine işaret etmektedir. Aynı sonuç, bu çalışmada seçilen pilot bölgelerdeki farklı şarj altyapısı teknolojileri için hesaplanmış olan kapasite kullanım faktörleriyle de benzer şekilde vurgulanmıştır.

Bu analiz binek tip elektrikli araçlarla sınırlı kalmış olup, diğer pek çok elektrikli mobilite biçimini hariç tutmuştur. Bu çalışma kapsamından hariç tutulan araç tipleri elektrikli mobilite dönüşümünün filo değişimi gibi stratejilerle çok daha hızlı gerçekleşebileceği taksiler, hafif hizmet araçları, iki/üç tekerlekli araçlar, kamyonlar ve otobüsler olarak sıralanabilir. Örneğin, Türkiye'nin bazı şehirlerinde de kullanılmaya

Elektrikli araçların entegrasyonundan kaynaklanan gerilim düşüşleri ve maksimum yüklenme artışlarını sınırlandırmak için OG/AG trafoların ve iletim hatlarında ihtiyaç duyulan ek kapasitenin, elektrikli araçların yaygınlaşmasını olmadığı varsayılan Referans Model sonuçlarına kıyasla %1 ila %10 arasında olacağı hesaplanmıştır.

başlanmış elektrikli otobüslerin kullanımı küresel seviyede 2018 yılında bir önceki yıla göre %25 oranında artmıştır (IEA, 2019b). Kiralık araç filoları veya hafif hizmet araçlarını kiralayan veya kullanan şirketler tercihlerini bu türlü büyük değişimleri gerçekleştirecek yönde yaparlarsa binek araçlar dışındaki araçlar da hızlı bir dönüşüm yaşayabilir. Bu yönde gerçekleşecek dönüşüm, bu analizin amaçları doğrultusunda seçilen bölgeler de dahil olmak üzere büyük ekonomik faaliyetlerin yürütüldüğü Türkiye'nin diğer yoğun nüfuslu bölgelerinde de şebeke üzerinde dikkate değer bir etkiye yol açması muhtemeldir. Ayrıca taksi gibi bazı toplu taşıma araçları, İstanbul gibi büyük şehirlerde, yüksek sayıda araç trafiğine katkıda bulunup bütün gün çalışır durumda kullanılmaktadır. Bu araçlar mevcut analizde değerlendirilen binek araçların şarj alışkanlıklarını da bu sebepten dolayı tam anlamıyla izlemezler. Bu farklılığı ilaveten, bu araç tiplerinde kullanılan bataryaların kapasiteleri, binek araçlarınınkinden önemli ölçüde büyük olabilir. Toplam binek araç sayısına kıyasla, daha az sayıda araç olmasına rağmen diğer segmentlerdeki elektrikli araçların şarjı şebeke üzerinde çok daha fazla etkide bulunabilir. Örnek olarak elektrikli bir otobüsün batarya kapasitesi 200 kWh kapasitesi büyüklüğündedir. Elektrikli bir kamyon ise tipik olarak 300 kWh büyüklükteki bir batarya kapasiteye sahiptir. 15 ton ve üzerinde brüt ağırlığa sahip olan elektrikli bir kamyonun yük taşımak için kat ettiği mesafe ortalama 200 km olacak ve bu tarz kamyonlar için batarya kapasitesi orta ölçekte bir kamyonunkinden üç kat daha fazla olabilecektir (IEA, 2019b). Elektrikli araçların şebeke entegrasyonunu olumsuz yönde etkileyebilecek olası diğer faktörler; binek araçlardaki bataryaların artan kapasitesi ve tüketicilerin hızlı şarj noktalarını kullanma yönündeki artan tercihleridir. Araç kullanıcılarının araç içindeki hizmetlerden beklentileri sürekli artmakta, bu da araçların batarya kapasitesinde artışa sebep olmaktadır. Ayrıca, daha uzun mesafeler kat etmek için araç üreticileri daha yüksek kapasitedeki bataryaları kullanacak, bu da şarj noktalarında daha fazla elektrik yüküne neden olacaktır. Sonuçta filolarda daha fazla elektrik gerektiren araçların sayısı arttığından ve genel olarak elektrikli araçlarda kullanılan batarya kapasitesi büyüdüğünden hızlı şarja daha fazla ihtiyaç duyulabilir ve bu durum DC seviyesinde hızlı şarj etme alışkanlıklarının artmasına sebep olabilir. Mevcut çalışmanın sonuçlarında da belirtildiği üzere, bu türlü değişimlerin şebeke modellemesinin sonraki aşamalarında hesaba katıldığında, ilave şebeke yatırımları ve akıllı şarj yaklaşımları şebeke entegrasyonu için başarılı olması için farklı stratejiler gerekebilir.

5.5.2. Akıllı şarj

2030 yılına kadar şebeke yatırımlarının devamının garanti edilmesine ek olarak, sonuçlar kamu alanları ve ticari şarj noktalarında elektrikli araç şarjının akıllı şarj mekanizmalarıyla optimum hale getirilmesinin önemine işaret etmektedir.

2030 yılına kadar şebeke yatırımlarının devamının garanti edilmesine ek olarak, sonuçlar kamu alanları ve ticari şarj noktalarında elektrikli araç şarjının akıllı şarj mekanizmalarıyla optimum hale getirilmesinin önemine işaret etmektedir.

Akıllı şarj, şarj noktası sayısı ve konumlarını belli bir plan çerçevesinde sınırlamak veya bir zaman çizelgesiyle şarj alışkanlıklarının düzenlenmesiyle sağlanabilir. Bu çalışma kapsamında, kamusal alanlarda veya evde şarj etmenin desteklendiği (desteklenenlerin dışında, elektrikli araç sahiplerinin diğer şarj seçeneklerine de erişebildiği) her iki durum analizinde, elektrikli araç sahiplerinin şebeke işletmesine en az etkide bulunacak şekilde optimum saatlere en yakın zamanlarda araçlarını şarj etmelerini teşvik etmek için uygun alanlarda konumlanmış şarj altyapısı ve elektrik fiyat sinyallerinin mevcut olduğu varsayılmıştır. Ayrıca, kamusal alanlarda şarjın desteklendiği senaryoda elektrikli araçlar AC 2. seviye veya DC seviyesinde şarj noktalarında yüksek kapasiteyle şarj edilmesi, güneş ve rüzgâr gibi sıfır maliyetli yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin tarifelere yansıtılması koşuluyla

Alışveriş merkezlerinin de bu tarz olumlu sonuçlara ulaşmayı sağlayacak akıllı şarj mekanizmalarıyla donatılacağı varsayılmıştır. 2030 yılı itibariyle araç stokunun %10'unu oluşturacağı modellerden elektrikli araç payının şebekeye entegrasyonunda bu stratejiler daha büyük önem kazanacaktır.

Zamana bağlı olarak değişen tarifeler araç sahiplerini belirli saatlerde şarj etmeye teşvik etse de şarj etme davranışının mevsimlere göre değişebileceğini (enerji tüketimine benzer şekilde) ve bu durumun, örneğin yaz ve kış aylarındaki fiyatların farklı tanımlanmasıyla tarifelerin tasarımında değişiklik yapılması gerekebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

elektrik fiyatlarının gün içerisinde en ucuz olduğu saatleri temsil eder. Evde şarj senaryosunun desteklendiği durumda, şarj işleminin gece boyunca elektrik talebinin yoğun olmadığı saatlerde, kamusal alanlarda şarjın desteklendiği senaryoya kıyasla elektrikli araç şarjının daha yavaş gerçekleştiği fakat şebeke entegrasyonu açısından benzer bir faydanın olduğu bir senaryoyu destekler. Elektrikli araçların şarj edilmesi için gereken elektrik şebekeden veya evlerde çatı üzerindeki güneş enerjisi sistemlerinden üretilen elektrikle beslenen batarya depolama sistemlerinden tedarik edilebilir. Ayrıca, işyerlerinde elektrikli araçların aynı anda şarj edilmeyecekleri ve elektrikli araçların şarjının bir zaman planı doğrultusunda optimize edecek akıllı bir mekanizmanın olacağı varsayılmıştır. Buna benzer şekilde, alışveriş merkezlerinin de bu tarz olumlu sonuçlara ulaşmayı sağlayacak akıllı şarj mekanizmalarıyla donatılacağı varsayılmıştır. 2030 yılı itibariyle araç stokunun %10'unu oluşturacağı modellerden elektrikli araç payının şebekeye entegrasyonunda bu stratejiler daha büyük önem kazanacaktır. Örneğin, Almanya'daki durumu ele alan yakın tarihte yayınlanmış bir çalışmada, elektrikli araçların 2030 yılı itibariyle toplam araç stokunun üçte ikisine ulaşmasıyla akıllı şarj büyük önem arz gelmektedir (çalışmada aynı yılda toplam elektrik talebinin üçte ikisi başta rüzgar ve güneş enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerjilerden sağlanmaktadır) (Agora Energiewende, 2019).

Akıllı şarjın ön koşulu gerçek maliyeti yansıtan elektrik fiyatlandırma stratejileridir. Bu çalışmada benimsenen bu model, dolaylı olarak tüketicileri akıllı şarja yönlendirmek için fiyatlandırma sinyallerinin olduğunu varsaymıştır. Varsayılan tarifelerin ayrıntılarına girmeden yüksek büyüme senaryosuna yönelik elektrikli araç satışının, yaygın olarak kullanılan zamana göre değişen tarifeler gibi akıllı şarj etme mekanizmalarının varlığını daha önemli kıldığı söylenebilir. Zamana bağlı olarak değişen tarifeler araç sahiplerini belirli saatlerde şarj etmeye teşvik etse de şarj etme davranışının mevsimlere göre değişebileceğini (enerji tüketimine benzer şekilde) ve bu durumun, örneğin yaz ve kış aylarındaki fiyatların farklı tanımlanmasıyla tarifelerin tasarımında değişiklik yapılması gerekebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Şebekeye daha fazla dağıtık yenilenebilir enerji kapasitesi eklendikçe ve şarj davranışları elektrikli araç sayısının artmasıyla birlikte daha da farklılaştıkça şarj şekillerini yönlendirmek için daha dinamik elektrik tarife stratejilerine ihtiyaç duyulabilir. Örneğin; yenilenebilir enerji kaynaklarının artmasıyla CO₂ emisyon yoğunluğunun gün içerisinde en az olduğu zamanlarda şarj işleminin yapılmasını teşvik etmek için, şebekeden o anda sağlanan elektriğin CO₂ emisyonunu da belirli tarife uygulamalarında fiyatlandırma yapısında göz önünde bulunduran modeller mevcuttur. Elektrik tarife yapısı ne kadar ayrıntılı ve karmaşık olursa, enerji üretimi ve şebeke kullanım maliyetlerinin de o kadar yansıtıcı olması gerekir. Böyle bir fiyatlandırmaya yapısına geçiş toptan ve perakende elektrik piyasasında yapılacak bazı düzeltmelerle hayata geçirilebilir.

Bu çalışmada değerlendirilen farklı şarj alışkanlıklarını destekleyen her iki senaryo, yenilenebilir enerji, enerji depolama ve elektrikli araçların şarjı arasındaki sinerjilerden kazanılan faydalara işaret etmektedir. Elektrikli araçlardan kaynaklanan elektrik yükü, yaz aylarında bina içi soğutma için klima kullanımı nedeniyle halihazırda var olan yüksek seviyedeki elektrik yükünü arttırması sebebiyle, bu türlü sinerjilerin hayata geçirilmesi elektrikli araçların şebeke entegrasyonu açısından daha belirgin bir hale gelir. Bu durumda dağıtık enerji ve batarya depolama sistemleri dağıtım şebekelerindeki elektrik yükünü ve entegrasyon için gerekecek ilave yatırımı azaltması sebebiyle önemli faydalar sağlar.

Yüksek Büyüme senaryosunda dahi araçlar şarj edilirken şebeke kapasite kullanım faktörleri en fazla %50 seviyesinde olup, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin toplam tüketim içindeki payının yüksek olduğu anlarda bunun sisteme entegre edilebilmesi için şebekenin esnek olduğunu göstermektedir.

Bu analiz, elektrikli araçların esnekliğinin şebekeye sunduğu faydaların yanı sıra şarj işlemini yoğun olmayan saatlerde gerçekleştirerek ve aynı zamanda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı arttırarak tüketici maliyetini azaltma potansiyelinden fayda sağlamak amacıyla şebekeden araca kontrollü, optimize edilmiş ve tek yönlü şarj işlemi olarak tanımlanan akıllı şarj etme konseptini araştırmıştır. Kamusal alanlarda şarjın desteklendiği senaryoda, rüzgâr ve güneş enerjisi de dahil olmak üzere çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunun mümkün kılan saatlerde elektrikli araçların şarj edilmesi durumunda akıllı şarjın şebekeye katacağı değer gözler önüne serilmiştir. Yüksek Büyüme senaryosunda dahi araçlar şarj edilirken şebeke kapasite kullanım faktörleri en fazla %50 seviyesinde olup, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin toplam tüketim içindeki payının yüksek olduğu anlarda bunun sisteme entegre edilebilmesi için şebekenin esnek olduğunu göstermektedir.

Ayrıca akıllı şarj yaklaşımları, kullanım ömürleri bitmiş elektrikli araçlardan toplanabilecek ikinci el bataryalardan faydalanabilir. Bu bataryalar yenilenebilir enerjinin depolanması için kapasite sağlarken (Transport & Environment, 2019) elektrikli araçların şebeke entegrasyonunu da kolaylaştırabilirler. Bataryaların lojistik ve gerekli modifikasyonlarla ilgili olan maliyetlerindeki gerekli azalma gerçekleşebilirse, bu sistemlerin ikinci el kullanımının sağlanmasıyla yeni batarya depolama sistemlerinin üretiminin de önüne geçilmiş olunur.

5.5.3 Şarj altyapısı

DC seviyesindeki şarj noktalarının kapasite kullanım faktörlerinin en az %2, en fazla da %10 olan düşük bir kullanıma işaret eden bir aralıkta olduğu hesaplanmıştır.

Ev ve iş yerlerinde kurulan şarj noktalarının kapasite kullanım faktörlerinin en az %15-%20 olacağı hesaplanmış, bu değer pilot bölgelerin bazılarında %50'den daha yüksek seviyelere ulaşabildiği gösterilmiştir. Bu da şarj noktalarının büyük bir çoğunluğunun yeterli bir seviyede kullanıldığına işaret eder. Ancak, kamusal alanlarda kurulan DC şarj noktalarındaki durum böyle değildir. DC seviyesindeki şarj noktalarının kapasite kullanım faktörlerinin en az %2, en fazla da %10 olan düşük bir kullanıma işaret eden bir aralıkta olduğu hesaplanmıştır. Bu da bu şarj noktalarının ekonomik açıdan ne kadar verimli oldukları konusunda soru işareti yaratabilir. Düşük seviyede kapasite kullanımı, elektrikli araç piyasasının daha yeni olduğu ülke örneklerinde görülmektedir. Kamusal alanlarda şarj altyapısı kurulduğu ilk aşamalarda genellikle yatırımcılar finansal teşviklerle desteklenmektedir. Ancak elektrikli araç piyasası belli bir büyüklüğe ulaştıktan sonra destekler yerine daha piyasa bazlı mekanizmalar aşamalı olarak uygulanmaya başlanır. Elektrikli araç sürücülerinin bakış açısından değerlendirildiğinde, şarj istasyonlarının kamusal alanlarda yaygın olması büyük önem arz etmektedir (evlerde ve işyerlerindeki istasyonların kullanılabilirliği hesaba katıldıktan sonra). Dolayısıyla, kamusal alanlardaki şarj istasyonlarının yatırımcılar için iş ve ticarileşme potansiyellerini hayata geçirecek mekanizmaların uygulanması desteklenirken, elektrikli araçların da her daim yeterli derecede şarja sahip olduklarından emin olmak adına dengeli bir yaklaşıma ihtiyaç vardır.

Düşük seviyede kapasite kullanımı, elektrikli araç piyasasının daha yeni olduğu ülke örneklerinde görülmektedir. Kamusal alanlarda şarj altyapısı kurulduğu ilk aşamalarda genellikle yatırımcılar finansal teşviklerle desteklenmektedir. Ancak elektrikli araç piyasası belli bir büyüklüğe ulaştıktan sonra destekler yerine daha piyasa bazlı mekanizmalar aşamalı olarak uygulanmaya başlanır.

Norveç'te uygulanan model bu konuya en iyi uygulama örneği olarak verilebilir. Anayollara inşa edilen hızlı şarj istasyonları devlet destekli programlar sayesinde sadece kurulumla ilgili yatırımları ortak şekilde finanse edilmekte olup, işletim maliyetleri bu desteklerden hariç tutulmaktadır. Sonuç olarak, mevcut şarj noktalarının hepsi özel olarak işletilmektedir. Ülke, özellikle şehirlerde ve ana otoban hatları boyunca hızlı şarj altyapısının kamusal olarak finanse edilmesini aşamalı olarak tamamlamıştır. Aynı zamanda, kamusal olarak desteklenmeden kurulmuş hızlı şarj

istasyonlarının sayısı da artmaktadır. Bu durum, elektrikli araçlara hizmet sağlayıcıları için iş potansiyellerini destekleme yönündeki talebin yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak, şehir merkezlerinden uzak kırsal bölgelerde özel olarak işletilen kamu alanlarındaki şarj altyapısının aşamalı olarak uygulamaya konması çok daha zor olduğu gözlemlenmektedir.

Diğer bir mesele ise kamusal alanlardaki elektrikli araç şarj noktalarının kullanımıyla ilgili veri eksikliği ve bu noktalardaki şarjın tam olarak takip edilememesiyle ilgilidir. Bu bilgiler çoğunlukla yatırımcıların elindedir. Bu da politika yapımcıların etkili teşvik mekanizmaları oluşturmaları bakımından zorluk teşkil eder.

Hollanda ise şarj noktalarının kullanımının izlenmesi ve elde edilen verilerin kamusal olarak paylaşılması için en iyi uygulama örneklerinden birini sunar. Hollanda'dan elde edilen bulgular elektrikli araçların yoğun olarak kullanıldığı piyasalarda dahi şarj altyapılarının kullanım faktörlerinin düşük olduğunu ve şarj hizmetleri piyasasını geliştirmek için izleme verilerine ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Örneğin, Amsterdam'da bulunan kamu alanlarındaki şarj noktaları, Hollanda'nın diğer şehirlerine ve Avrupa'daki konumlara kıyasla oldukça yüksek olan ortalama %35'lik bir kapasite kullanım faktörüne sahiptir. Elektrikli araçların, toplam park ettikleri sürenin sadece beşte birinde şarj edildikleri olgusu optimizasyon açısından ilave bir potansiyelin olduğuna işaret etmektedir (Wolbertus vd., 2016). Daha genel anlamda, şarj noktalarının politika mekanizmalarının oluşturulmasını kolaylaştıracak kullanım ile ilgili kamuya açık verilerde eksiklik söz konusudur.

Ayrıca, bu çalışmada hesaplanan kapasite kullanım faktörleri açısından bölgeler arasında önemli farklar olduğu ortaya çıkmıştır. Her şebeke özelinde şarj altyapısının konumunun ve sayısının belirlendiği bir planlama gerekmektedir.

Ayrıca, bu çalışmada hesaplanan kapasite kullanım faktörleri açısından bölgeler arasında önemli farklar olduğu ortaya çıkmıştır. Her şebeke özelinde şarj altyapısının konumunun ve sayısının belirlendiği bir planlama gerekmektedir. Son olarak, farklı şarj noktalarının kapasitelerini en etkili yoldan kullanmaları bakımından birbirlerine sağlayabilecekleri tamamlayıcı rolü anlamak da çok önemli olacaktır. Elektrikli araç bataryaları kamusal alanlardakinin aksine evlerde daha uzun süre elektriğe bağlı kaldıklarından dolayı, bu rolleri anlamak elektrikli araçlardan şebekeye esneklik ve diğer hizmetleri akıllı şarj yöntemleriyle alabilmek adına ayrıca önemlidir.

5.5.4. Elektrikli araç piyasasının geliştirilmesi

Bu analiz, Türkiye'de 2030 yılı itibariyle 1 milyon ila 2,5 milyon arasında elektrikli aracın ve buna mukabil toplamda 1 milyon şarj noktası olan şarj altyapısının uygulamaya konmasını öngörmektedir. Türkiye'nin hem elektrikli araçların sayısı hem de şarj altyapısı bakımında oldukça düşük bir seviyede olduğu göz önünde alındığında bu sayıların gerçekleştirilmesi güç hedefler olduğu düşünülebilir. 2030 yılı itibariyle 120 ila 250 milyon arasında olacağı tahmin edilen küresel elektrikli araç stokuyla karşılaştırıldığında Türkiye için modellenmiş stok, toplam küresel stokun yaklaşık %1'ini temsil etmektedir. Bu oran, Türkiye'nin ulaştırma sektörünün toplam enerji kullanım payının toplam küresel enerji kullanımıyla karşılaştırılmasıyla elde edilen oranla paraleldir. Dolayısıyla, bu çalışmanın varsayımları dünyanın geri kalanıyla ilgili tahminlerle aynı doğrultudadır. Dahası, Türkiye'deki otomobil sahipliğinin, önümüzdeki yıllarda yükselerek gelişmiş ülkelere yakın bir seviyeye gelmesi ve bunun da araç stokunun elektrifikasyonunu hızlandırmak için önemli bir fırsat yaratması beklenmektedir. Ayrıca, ikinci el elektrikli araç piyasası hızlı bir biçimde büyüdüğünden ve araç fiyatları dengeli bir hale geldikçe filolarda daha hızlı bir yenilenme beklenebilir. Daha geniş çaplı kullanıcı grupları için elektrikli araç şarj altyapısının kısıtlı olması ve

Bu analiz, Türkiye'de 2030 yılı itibariyle 1 milyon ila 2,5 milyon arasında elektrikli aracın ve buna mukabil toplamda 1 milyon şarj noktası olan şarj altyapısının uygulamaya konmasını öngörmektedir.

hala yüksek seviyede devam eden araç fiyatları, şarj altyapısı yatırımları için asgari şartlar getirmenin yanı sıra destekleyici bir politik çerçeve (satın alma indirimi, eski motorlu araçlar için hurdaya çıkarma düzenlemeleri) ile de ele alınmaları gereken piyasa gelişmesinin karşılaştığı ana sorunlardır.

5.5.5. Elektrikli araçların faydaları

Faydalar arasında ekonomik faaliyetlerde büyüme, yeni iş imkanlarının yaratılması, enerji ticaret dengesinde iyileşmeler, enerji verimliliğinde artış ve elektrikli araçların şebekeye sağlayacağı esneklik hizmetleriyle daha fazla rüzgar ve güneş enerjisinin şebeke entegrasyonu vardır.

Türkiye’de yerli elektrikli araçlardan oluşan bir piyasanın yaratılması pek çok fayda getirecektir. Bu faydalar arasında ekonomik faaliyetlerde büyüme, yeni iş imkanlarının yaratılması, enerji ticaret dengesinde iyileşmeler, enerji verimliliğinde artış ve elektrikli araçların şebekeye sağlayacağı esneklik hizmetleriyle daha fazla rüzgâr ve güneş enerjisinin şebeke entegrasyonu vardır. Elektrikli araçların çeşitli akıllı şarj konseptleri aracılığıyla şebekeye entegrasyonunun sağladığı faydalar bu raporun önceki kısımlarında tartışıldığından, bu bölümde diğer faydalar üzerinde durulacaktır.

İki yıl içerisinde muhtemel yerli elektrikli araç üretimin gerçekleşmesiyle, Türkiye’nin elektrikli araç ihraç etmeye başlayabilmesi ve 15 senelik bir süreçte gayrisafi yurtiçi hasılda 50 milyar TL ek büyüme, cari işlem açığında 7 milyar TL azalma ve 20.000 yeni istihdamın yaratılması gibi farklı faydalar sağlanabilecektir (Yeşil Ekonomi, 2019b).

2,5 milyon elektrikli aracın toplam elektrik tüketimi yılda 4,3 milyar kWh olacaktır ve evlerde veya ticari/sanayi alanlarda şarj edilmelerine bağlı olarak şarj için gereken toplam elektriğin maliyeti 2,7 milyar ile 3,6 milyar TL arasında olacaktır. Bu da enerji maliyetlerinde yılda 8 – 8,8 milyar TL tasarruf sağlayacaktır.

İçten yanmalı motoru olan 2,5 milyon binek aracının yılda toplamda yaklaşık 11,5 milyar TL yakıt masrafı olduğu hesaplanmıştır (bu araçların yarısının dizel diğer yarısının ise benzin kullandığı varsayılmıştır). Buna karşılık, 2,5 milyon elektrikli aracın toplam elektrik tüketimi yılda 4,3 milyar kWh olacaktır ve evlerde veya ticari/sanayi alanlarda şarj edilmelerine bağlı olarak şarj için gereken toplam elektriğin maliyeti 2,7 milyar ile 3,6 milyar TL arasında olacaktır (şarj şirketlerinin talep edebileceği herhangi diğer masraflar hariç). Bu da enerji maliyetlerinde yılda 8 – 8,8 milyar TL tasarruf sağlayacaktır.²²

Mevcut elektrik üretimi dağılımına göre, elektrikli araç talebinin yarısı yerel kaynaklardan, diğer yarısı da ithal edilmiş fosil bazlı yakıtlardan üretilen elektrikle karşılanabilir. Elektrik üretimi, SHURA’nın daha önce yayımlamış olduğu şebeke entegrasyon çalışmasında öngörülen %50 yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlandığı senaryodaki dağılım yönünde gelişirse (+ %14 yerel linyit), elektrikli araçların şarjı için 2030 yılına kadar ithal kaynaklardan sağlanan elektrik miktarı 1,6 milyar kWh seviyesine düşecek ve mevcut dağılıma göre tedarik edilen elektriğe kıyasla toplam 0,6 TWh tasarruf sağlayacaktır. Bu da yerel yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve elektrikli araçlar arasındaki diğer bir sinerjiye işaret etmektedir.

²² Dizel ve petrol fiyatları sırasıyla 6,31 ve 6,75 olarak alınmıştır. Hane için elektrik fiyatının kWh başına 0,4986 TL ve ticari kullanıcılar için 0,6589 TL olduğu varsayılmıştır. Elektrik tarifelerine şu vergiler dahil edilmiştir: enerji fonu %1, TRT payı %2, belediye tüketim vergisi %5, katma değer vergisi %18.

6. Türkiye'nin ulaştırma sektörünün dönüşümü için öncelik alanları

Bu bölümde, çalışmanın sonuçlarına dayanarak enerji politika yapıcıları, piyasa düzenleyicileri, dağıtım şebekesi operatörleri, otomotiv endüstrisi, şarj teknolojisi geliştiricileri ve yatırımcıları, şehir planlamacıları ve araştırmacılar için önemli olabilecek yedi öncelik alanı ana hatlarıyla belirtilmiştir. Bu yedi alan belirlenirken analiz sonuçları göz önünde bulundurulmuştur. Politika geliştirilmesi için önerilen alanlar öncelik ve önemlerine göre sıralanmamış olup daha ziyade ilgili paydaş grupları ve enerji sektörünün hangi alanıyla ilgili olduklarına bağlı olarak kategorize edilmiştir.

1. Elektrikli araç piyasasının, şarj altyapısı gelişimiyle birlikte hızlanması

Avrupa Birliği ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri ve Çin'deki öncü piyasalardan edinilen deneyimler, elektrikli araçların içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla fiyat rekabetçiliklerinin artırılması için elektrik şebekesi entegrasyonunu destekleyen politikaların yanı sıra hem elektrikli araç satışlarını hem de şarj altyapısını destekleyen, hükümet önderliğinde yapılmış bir politika bileşenine gerekli olduğunu göstermektedir. Araç fiyatına yapılan destekler veya araç vergi indirimleri gibi araç satışını destekleyen teşvikler, özellikle içten yanmalı motorlu araçların aşamalı olarak azaltılması (örneğin; çevreyi en çok kirleten araçlardan alınan vergi yoluyla düşük emisyonlu araçlarda satın alma indiriminin finanse edildiği Fransa'daki "Bonus-Malus" Düzenlemesi) ve toplumun daha düşük gelirli gruplarını destekleyecek şekilde tasarlanmış çevreyi daha az kirleten araçları satın almaya yönlendirecek araçları hurdaya çıkarmayla ilgili düzenlemelerle birleştiğinde etkili olmaktadır. Dünya çapında gelişmiş piyasaların çoğunda deneyimlendiği üzere, yerel yönetimlerin de elektrikli araç piyasası oluşturulmasına yönelik inisiyatif almaları önem arz etmektedir.

Araç stokunun dönüşümüne yardımcı olmak için bu önlemlerin piyasanın erken bir aşamasında tasarlanması gerekirken, rekabetçi bir piyasa yaratılması için desteklerin aşamalı olarak kaldırılması önemli olacaktır. Buna paralel olarak, benzer önlemler otobüs gibi toplu taşıma araçları ve nakliye, lojistik ve taksi filolarının dönüştürülmesinde etkili olacaktır. Elektrikli araç şarj altyapısının devreye alınması, yeni elektrikli araç teknolojilerini benimseyen ilk tüketicilere güven verirken, aynı zamanda bu araçların nüfusun daha geniş bir kesimine yayılmasına da imkân sağlayacaktır.

2. Yük yönetimi için akıllı şarj mekanizmalarının geliştirilmesi ve uygulanması

Orta vadede elektrikli araç kullanımının artmasıyla birlikte, bu çalışmada varsayıldığı gibi, şarj etme saatlerinin optimize edilmesi puant yük artışını en aza indirmek için büyük önem arz edecektir. Ev, işyerleri ve kamusal alanlardaki ilave elektrik yükünü optimize etmek için gereken önlemler tüm şarj noktaları için dikkate alınmalıdır. Bu elektrik fiyatlandırma stratejileri (öneri A), elektrik fiyat sinyalleri ve şarj zaman çizelgeleri (özellikle filo uygulamalarına ilişkin olarak örneğin otobüslerin sırayla şarj edilmesi) yoluyla daha ileri optimizasyonu sağlayacak yük yönetim stratejileri (öneri B) ve konum optimizasyonu (öneri C) yollarıyla ulaşılabilir. Türkiye'nin elektrikli araç piyasası hala erken bir gelişim aşamasında olduğundan araçların akıllı ve düşük maliyetli bir şekilde şebekeye entegrasyonu için planlamaya bugünden başlanması önemlidir. Optimizasyon stratejilerinin önemi daha fazla elektrikli aracın piyasaya girmesiyle entegrasyon ihtiyacının artması sebebiyle önem kazanacaktır.

Fiyat rekabetçiliklerinin artırılması için elektrik şebekesi entegrasyonunu destekleyen politikaların yanı sıra hem elektrikli araç satışlarını hem de şarj altyapısını destekleyen, hükümet önderliğinde yapılmış bir politika bileşenine gerekli olduğunu göstermektedir.

Elektrik üretim ve dağıtımıyla ilgili maliyetlerin mümkün olduğunca yansıtın ve zamana göre değişen elektrik tarifeleri, şarj işlemini günün daha düşük elektrik üretim maliyetlerinin olduğu saatlere doğru yönlendirerek hem elektrikli araç sahiplerine hem de elektrik sistemine fayda sağlayabilir.

A. Zamana göre değişen elektrik tarifiesi ve elektrik fiyatlandırma stratejileri

Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği ülkelerindeki gelişmiş elektrikli araç piyasalarından elde edilen deneyimler, elektrik fiyatlandırma stratejilerinin, şebeke yükünün düşük olduğu veya yenilenebilir enerji kaynaklarında üretilen elektriğin bol olduğu saatlerde, hem tüketici hem de şebeke dostu akıllı şarja geçiş için güçlü bir vasıta olduğunu göstermektedir. Elektrik üretim ve dağıtımıyla ilgili maliyetlerin mümkün olduğunca yansıtın ve zamana göre değişen elektrik tarifeleri, şarj işlemini günün daha düşük elektrik üretim maliyetlerinin olduğu saatlere doğru yönlendirerek hem elektrikli araç sahiplerine hem de elektrik sistemine fayda sağlayabilir.

Orta ve uzun vadede, zamana göre değişen elektrik tarifelerinin geliştirilmesine daha fazla imkân tanımak için, gün öncesi, gün içi ve dengeleme piyasaları da dahil olmak üzere toptan satış piyasalarının geliştirilmesi ve bu sayede piyasaların tüm zaman dilimlerinde sorunsuz şekilde işlemesi önem arz edecektir. Enerji arz ve talep dinamikleri ve dengeleme hizmetleri tarafından yönlendirilen elektrik fiyatları, ayrıca hızlı ve daha kısa dönemli tasarlanan bir toptan satış piyasası, esnekliğin değerini sistem içerisinde daha iyi yansıtacaktır. Daha sonrasında toptan satış fiyatları, zamana göre değişen tarifeler üzerinden tüketici faturalarına yansıtılabilir.

Kısa vadede, perakende satış piyasasındaki serbestleşme arttıkça, elektrikli araçların sahip olduğu esnekliği ortaya çıkarmaya yönelik zamana göre değişen elektrik tarifelerini geliştirmek faydalı olacaktır. Elektrikli araçlara özgü tarifelerin geliştirilmesi, Türkiye’de mevcut uygulanan zamana göre değişen elektrik tarifiesinin bir devamı olarak düşünülebilir.²³ Toplam elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin payı ve elektrikli araç sayısı arttıkça ve elektrikli araç piyasası daha rekabetçi bir hale geldikçe, daha dinamik elektrik tarife modellerinin kendi kendine gelişmesi beklenebilir. Aksi takdirde, enerji piyasası düzenleyicilerinin daha dinamik bir elektrik tarifiesi belirleyerek müdahalede bulunması ve tedarikçilerin kendi modellerini geliştirmesi için piyasayı tetikleyecek teşvikleri uygulaması gerekebilir. Her koşulda, piyasa düzenleyiciler, elektrikli araçların düşük maliyetli bir şekilde şebeke edilmesini kolaylaştırmak için uygulamaya konmuş tüm elektrik tarifelerinin etkinliğini ölçmesi gerekecektir.

Geçmişte elektrik fiyatlandırmasıyla ilgili yapılan denemeler, akıllı teknolojilerin zamana göre değişen ve daha dinamik elektrik tarife düzenlemeleriyle birleştiğinde elektrikli araçların şebeke entegrasyonunun elektrik sistemi için faydalarının en üst düzeye çıkabileceğini göstermiştir.

B. Elektrik şebekesi dostu araç şarjını desteklemek için akıllı teknolojilerin geliştirilmesi

Geçmişte elektrik fiyatlandırmasıyla ilgili yapılan denemeler, akıllı teknolojilerin zamana göre değişen ve daha dinamik elektrik tarife düzenlemeleriyle birleştiğinde elektrikli araçların şebeke entegrasyonunun elektrik sistemi için faydalarının en üst düzeye çıkabileceğini göstermiştir. Akıllı teknolojiler, şarj etme işlemini optimize amacıyla, bir şarj noktasının tüketimini ölçüp ileten akıllı ölçüm cihazlarından elektrik fiyat ve diğer sinyallere karşılık vererek işleyen otomatik şarj gibi çözümlere kadar uzanır. Günümüz ve yakın gelecekte uygulamaya konulacak şarj teknolojilerinin, şu anda kullanılamayacak olsa dahi, akıllı teknoloji fonksiyonlarına sahip olması (veya alternatiflerinin mevcudiyeti) önemli olacaktır. Politika yapımcılar bunlara benzer akıllı teknoloji kullanımını özellikle kamusal ve işyerlerindeki şarj noktalarında olmak üzere tüm şarj altyapısı için şart koşmalıdır. Amerika Birleşik Devletleri’ndeki fiyatlandırma deneyimlerinden çıkan derslerden biri tüketiciye kullandığı elektrik tarifesinden vazgeçme hakkının verilmesinin başarılı bir düzenleme olduğudur. Kısıtlı sayıda tüketici bu hakkı kullansa da bu düzenleme dinamik bir elektrik tarifesinden sabit bir tarife yapısına geçişi sağlamaktadır. Türkiye için, uygun maliyetli, şebeke dostu elektrikli araç şarjının teşvik etmek amacıyla zamana göre değişen tarifelerin

²³ Herhangi bir tarifenin uygulamaya konmasından önce, belirlenen bu tarifelerin olası etkisini değerlendirmek için pilot projeler geliştirmek ve gerekirse tüketicilere bu tarifelerin faydalarını ve bu tarifeleri en iyi şekilde nasıl kullanacaklarını açıklamak için aynı zamanda da tüketicilerin olası kaygı ve ihtiyaçlarını karşılamak üzere, eğitimle ilgili uygulamalar önemli olacaktır.

uygulamaya konması için pilot projeler faydalı olacaktır. Vazgeçme hakkının uygulanması da düşünülebilir.

Elektrikli araç şarj altyapı yatırımları elektrikli araç ve şebeke talebini karşılamalıdır. Bu nedenle, gelecekteki muhtemel elektrik tüketimi ve şarj ihtiyacını öngören farklı senaryoların geliştirilmesi önemlidir.

C. Maliyet etkin şarj altyapısı konumlandırması ve planlaması

Elektrikli araç şarj altyapı yatırımları elektrikli araç ve şebeke talebini karşılamalıdır. Bu nedenle, gelecekteki muhtemel elektrik tüketimi ve şarj ihtiyacını öngören farklı senaryoların geliştirilmesi önemlidir. Elektrikli araç altyapısı aşağıdaki iki faktöre göre gelişecektir:

- Elektrik fiyatlandırma stratejileri ve akıllı teknolojiler aracılığıyla şebekenin az kullanıldığı saatleri daha iyi değerlendirmek ve daha düşük maliyetli saatlerde şarjı optimize etmek için çoğunlukla gece boyunca ve zaman esnekliği sunan evde şarjın gelişmesi
- Gündüz saatlerinde daha az zaman esnekliği sunan, ancak öğle vaktinde güneş enerjisinden üretilen elektriği entegre edilmesi ve konuma bağlı olarak optimize edilebilen hızlı şarj yoluyla işyeri ve kamusal alanlarda şarjın gelişmesi

Teşviklerin elektrikli araçların farklı kullanıcı segmentlerinde daha geniş kapsamlı olarak kullanımını destekleyecek yönde geliştirilmesi önem arz edecektir. Örneğin Avrupa Birliği ülkelerinde, otobanlar boyunca her 60 km'de bir hızlı şarj noktalarının geliştirilmesini hedefleyen kamu-özel teşvikleri uygulanmaktadır (European Commission, 2016). Bu ve piyasa gelişmesi için önem arz eden diğer kriterler de halihazırda değerlendirilmektedir (European Commission, 2019).²⁴ Avrupa Birliği genelinde ve Amerika Birleşik Devletleri'nde tespit edilen en iyi uygulamalar (Hildermeier vd., 2019), beklenen araç talebini en maliyet etkili şekilde karşılamak ve şebeke için optimum şarj konumlarını tanımlamak için yerel yönetimlerin ulaştırma ve enerjiyle ilgili çalışan birimleri ve şebeke operatörleri de dahil olmak üzere, entegre bir yaklaşımla talebe dayalı ortak planlama prosedürlerinin benimsenmesini önermektedir. Daha büyük batarya kapasitesine sahip binek araçların, elektrikli motorlarla çalışan kamyon, kamyonet ve otobüsler de dahil olmak üzere gelecekteki kullanım durumlarına göre elektrik şebekesi üzerindeki etkileri daha sonraki planlama çalışmalarında değerlendirilmelidir.

Türkiye'nin her farklı nüfus yoğunluğuna sahip bölgeler için asgari bir şarj noktası yoğunluk kriteri belirlemek adına planlama yapılmalı, ancak şehirlerin yerel özelliklerine göre altyapının hayata geçmesi için de yerel hükümetlerden kendi planlamalarını yapmalarını talep edilmelidir.

Türkiye için bu tarz bir "altyapı haritalandırma" çalışmasının gerçekleştirilmesi, Türkiye'nin otoban altyapısı ve elektrik şebekesi boyunca en etkili hızlı şarj ihtiyaçlarının ülke genelinde tanımlanmasına yardımcı olacaktır. Elektrikli araçların altyapısını desteklemek için gereken şebeke yatırımları bu sayede belirlenebilir. Ayrıca şarj altyapısının optimizasyon mekanizmaları aracılığıyla dağıtılması gerekiyorsa bunun oranı belirlenebilir. Şarj hizmeti sağlayacak yatırımcılar, verimliliklerini artırmak ve ilave masraflardan kaçınmak için, mümkün olduğunca mevcut elektrik şebeke altyapısını ve mevcut toplu taşıma ve sokak altyapılarını kullanmaları gerekebilir. Şarj ihtiyaçları ve kullanım durumları farklı olabileceğinden, çözümler yoğun kentsel alanlardaki ortalama hızdaki şarj noktalarından (bu noktalarda park alanı hizmetinin yanı sıra) taksiler ve ortak kullanım amaçlı elektrikli araçlar için hızlı şarj merkezlerine kadar geniş bir yelpazede değişecektir. Şehirlerde talebe dayalı şarj hizmetlerini sağlayacak tedarikçiler vatandaş ve/veya şirketlerin şarj noktalarını talep edebilecekleri bir prosedür üzerinden seçilebilir. Ticari işletimi artırmak için finansal destek gerekli olabilir. Ancak nüfusu daha az yoğun olan kentler ve kırsal bölgelerde süreklilik arz eden finansman modelleri gerekebilir. Türkiye'nin her farklı nüfus yoğunluğuna sahip bölgeler için asgari bir şarj noktası yoğunluk kriteri belirlemek adına planlama

²⁴ Birleşik Krallık'taki ulusal şebeke gibi bazı ülkelerdeki şebeke operatörleri binek araçlar ve gelecekte otobüs ve kamyonlar için hızlı şarj noktalarının var olan orta gerilim şebekesine nasıl entegre edileceğini araştırmaktadır.

yapılmalı, ancak şehirlerin yerel özelliklerine göre altyapının hayata geçmesi için de yerel hükümetlerden kendi planlamalarını yapmalarını talep edilmelidir.

Türkiye için, imar kanunları, yeni inşa edilecek binalar için altyapı şartları içermesi ve mevcut binalarda elektrikli araçların park halinde şarj edilme olasılığını da öngören yenilemelerin yapılması yönünde geliştirilebilir.

Paylaşımaya açık park alanlarına sahip işyerleri ve çok haneli meskenlerin elektrikli araç park alanları ile donatılması gerekmektedir. İmar kanunları elektrikli araçların piyasa gelişimine hazırlanmak adına kilit bir politika alanıdır. Yakın geçmişte Avrupa Birliği'nin güncel imar kanunları (Platform for Electro-mobility, 2018) şarj noktalarıyla ilgili minimum hedefler sağlamak ve ortak park alanlarındaki şarj noktalarının sayısını arttıracak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Ancak imar kanunlarında daha iddialı gelişmelere ihtiyaç vardır. Buna halihazırda Kaliforniya'da uygulamada olan, konut ve konut dışı binalardaki park alanlarında bulunan "yapıma hazır" kablo kanal altyapısı, park alanı sahiplerinin akıllı şarj noktası kurmalarına izin verilmesi yoluyla bina sakinlerine "şarj etme hakkı" tanınması, ve mülk sahiplerine ilave teşvik programlarıyla konutlarda akıllı şarj noktalarına yatırım yapılmasının sağlanması örnek olarak verilebilir. Bu örneklerle paylaşımaya açık olan park alanlarında şarj noktaları için daha iddialı gerekliliklerin belirlenmesi ve şirketlerin çalışanları için işyerlerinde şarj noktası kurmaları yönünde teşvikler eklenebilir. Türkiye için, imar kanunları, yeni inşa edilecek binalar için altyapı şartları içermesi ve mevcut binalarda elektrikli araçların park halinde şarj edilme olasılığını da öngören yenilemelerin yapılması yönünde geliştirilebilir. Örneğin, elektrikli araçlara geçişi kolaylaştırmak için ortak park alanları elektrikli araç şarj noktalarının kurulması için kablo kanalı altyapısının kurulması ve minimum sayıda şarj noktasıyla donatılmalıdır.

Elektrikli araçların yaygınlaşmasından kaynaklanan şebeke aksaklıklarının (aşırı hat/trafo yüklenmeleri ve gerilimin belirlenen sınırın altına düşmesi) akıllı şarj uygulamaları ve dağıtık enerji üretimin geliştirilmesiyle sınırlandırılabilmesini göstermektedir.

3. Şebekede aşırı yüklenme ve gerilim düşüşlerinden kaçınmak için bölgelere özgü önlemlerin alınması

Bu analizden çıkan sonuçlar elektrikli araçların yaygınlaşmasından kaynaklanan şebeke aksaklıklarının (aşırı hat/trafo yüklenmeleri ve gerilimin belirlenen sınırın altına düşmesi) akıllı şarj uygulamaları ve dağıtık enerji üretimin geliştirilmesiyle sınırlandırılabilmesini göstermektedir. Zamana göre değişen şebeke tarifeleri veya otomatik yük yönetimi teknolojilerinin uygulanması yoluyla yapılan akıllı şarj, elektrikli araç şarjını şebeke kapasitesinin günün daha az kullanıldığı saatlere doğru yönlendirilebilir. Buna paralel olarak dağıtık üretimin gelişimi, merkezi santrallerden daha uzun mesafeler üzerinden iletilmesi gereken elektriğe talebi azaltarak şebekedeki olası gerilim aksaklıklarını sınırlandırabilir.

Dağıtım şebekeleri ne kadar esnek olursa, yenilenebilir enerji ve elektrikli araçların sistem entegrasyonu da o kadar güvenilir olur. Ancak bu tarz esneklik piyasası mekanizmalarının uygulamaya konulması, şebekelerdeki bölgesel teknik kısıtların aşılmasının maliyetini de hesaba katan bölgesel fiyatlandırma mekanizmalarını gerektirir.

Elektrikli araç piyasasının gelişmiş olduğu ülkelerde tartışılan bir diğer çözüm, dağıtım şebekesinde esneklik piyasalarının uygulamaya sokulmasıdır. Esneklik hizmetleri, talep tarafı katılımı, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin yönetimi ve sanal enerji santrali konseptini içerir. Dağıtım şebekeleri ne kadar esnek olursa, yenilenebilir enerji ve elektrikli araçların sistem entegrasyonu da o kadar güvenilir olur. Ancak bu tarz esneklik piyasası mekanizmalarının uygulamaya konulması, şebekelerdeki bölgesel teknik kısıtların aşılmasının maliyetini de hesaba katan bölgesel fiyatlandırma mekanizmalarını gerektirir. Bu konsept, Türkiye'de iletim seviyesi de dahil olmak üzere henüz uygulamaya sokulmamıştır. Yani, dengeleme piyasasının neden olduğu kısıtlardan ortaya çıkan maliyetler şebekeden beslenen tüm tüketicilere eşit şekilde dağıtılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri piyasalarında ise iletim seviyesinde bölgesel marjinal fiyatlandırma (locational marginal pricing, LMP) yöntemi yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Dağıtım seviyesinde bölgesel dağıtım marjinal fiyatlandırması (distribution locational marginal pricing, DLMP) henüz uygulamaya konmamış olsa da özellikle Kaliforniya'daki dağıtım şebekelerinde yenilenebilir enerji ve diğer kaynaklardan sağlanan dağıtık üretimin yüksek oranda kullanılması sebebiyle uygulanması tartışılmaktadır (Li vd., 2014).

Yukarıda bahsedilen çözümler ve elektrik tedarik güvenliği için dağıtım şebekesi operatörlerine yönelik hükümlülüklerin yanında (Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği, EPDK, 2019a), enterkonneksiyon kapasitesi ve daha iyi gerilim kontrol sistemleri gibi teknik çözümler de gerekecektir. Mevzuat çerçevesi bu önlemlerin dağıtım şebekesi operatörleri tarafından zamanında geliştirilmesi için düzenlenmelidir. Aksi takdirde ilave yatırımlara ihtiyaç duyulacaktır.

Türkiye için, elektrikli araç şarj altyapısı için uygulamaya sokulacak olan herhangi bir destek politikası altyapıyı belli bir ticari kullanım seviyesine taşımalı ve toplam elektrikli araç sayısına endekslenmeli, daha sonrasında ise aşamalı olarak azaltılmalıdır.

4. Elektrikli araçların şarjı için yeni iş modellerin değerlendirilmesi, geliştirilmesi ve uygulanması

Her ne kadar elektrikli araç şarj altyapısı elektrikli araçların büyümekte olduğu belli piyasalardaki gelişmelere bağlı olarak gelişmeye devam ediyor olsa da, yatırımları sürdürülebilir kılan bir iş modelini oluşturmak pek çok şirket için zorluk teşkil etmekte ve finansal destek programlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Avrupa Birliği'nin birkaç ülkesindeki kamusal alanlarda hizmet veren şarj noktalarının kapasite kullanım faktörleri en iyi durumda %30 civarında kalmakta olup, Norveç gibi birkaç ülkede piyasa bazlı bir şarj altyapısı oluşmuş olmasına rağmen, yeni gelişmekte olan piyasalarda şarj altyapısı yatırımcıları kamu sektörü tarafından desteklenmektedir. Ancak bu tür kamu sektörü desteklerinin kendi kendine yeten bir pazarın oluşturulması gerekliliği düşünülerek zaman içerisinde azalması öngörülmektedir. Türkiye için, elektrikli araç şarj altyapısı için uygulamaya sokulacak olan herhangi bir destek politikası altyapıyı belli bir ticari kullanım seviyesine taşımalı ve toplam elektrikli araç sayısına endekslenmeli, daha sonrasında ise aşamalı olarak azaltılmalıdır. Ayrıca, kurulum maliyetleriyle ilgili olan desteklerin, işletim maliyetlerinden ayrı tutulması ticarileşmeyi teşvik ettiği görülmektedir. Şarj noktalarının kullanım verileri takip edilmeli ve kamunun erişimine açık olmalıdır.

Elektrikli araçların yaygın kullanıldığı piyasalarda olduğu gibi, bazı bölgelerdeki kurulu şarj noktaları düşük seviyede kullanılmaktadır. Bu durumlarda, kamu-özel yatırım ortaklığı geliştirilmeli ve/veya altyapının elektrik şebeke şirketleri tarafından işletiminin yapılması sayesinde belirli bir seviyede kullanımının sağlanmalıdır.²⁵ Batarya depolama kapasitesiyle desteklenen şarj noktaları gibi diğer teknoloji bazlı seçenekler de dikkate alınabilir. Bunun gibi yöntemler şarj noktası kapasitesinin elektrik talebinin yüksek olduğu zamanlara taşınması ve elektrik tüketiminin yoğun olduğu saatlerde yüksek elektrik fiyatlarından kaçınmak için, önceden depolanmış elektriği kullanarak daha esnek şarj altyapı ve iş modellerinin geliştirilmesine imkan verir.

5. Elektrik talebindeki büyümeyle paralel olarak dağıtım şebekelerinde planlanmış yatırımların sürdürülmesi

Elektrikli araç entegrasyonundan kaynaklanan gerilim düşüşleri ve maksimum yüklenme artışını sınırlandırmak için dağıtım hatları ve OG/AG trafolarında gerekli olan ilave kapasitenin 2030 yılında Referans Modelde öngörülen kapasiteye kıyasla %1 ila %10 arasında olacağı hesaplanmıştır. Kartal bölgesi referans alındığında, bu ilave kapasitenin Referans Modeldeki toplam yatırımların %1'den az olacağı hesaplanmıştır. Ancak bu hesaplamalar, elektrik yükünün yılda ortalama %5 oranında arttığı bir durumda gerekli olan yatırımların gerçekleşeceğini varsaymaktadır. Bu varsayım bu çalışmada incelenen dört dağıtım şebekesi bölgesi için önem arz etse dahi, çalışma kapsamı dışındaki diğer 17 dağıtım bölgelerinde ve özellikle şebeke kayıplarının yüksek olduğu ve yatırımların her zaman planlama doğrultusunda uygulanmadığı kritik bölgeler için de eşit derecede önemlidir. Yıllık %3'lük talep artışının varsayıldığı duyarlılık analizi sonuçlarına göre, gerilim düşüşlerindeki sayı elektrik talebinin yılda %5 seviyesinde büyüdüğü duruma kıyasla artmaktadır. Bu sonuç dağıtım şirketlerinin, elektrikli araçlar pazarının

²⁵ Bu yöntem Kaliforniya ve İspanya'da kabul edilen geçici bir çözüm olarak yer bulmuştur.

Yıllık %3'lük talep artışının varsayıldığı duyarlılık analizi sonuçlarına göre, gerilim düşüşlerindeki sayı elektrik talebinin yılda %5 seviyesinde büyüdüğü duruma kıyasla artmaktadır. Bu sonuç dağıtım şirketlerinin, elektrikli araçlar pazarının büyümesiyle birlikte şebeke yatırımlarına devam etmesi ve şebeke kapasite kullanım faktörleri gibi göstergeleri izlemesinin önemini altını çizmektedir.

büyümesiyle birlikte şebeke yatırımlarına devam etmesi ve şebeke kapasite kullanım faktörleri gibi göstergeleri izlemesinin öneminin altını çizmektedir.

Zamana göre değişen elektrik tarife yapısı Türkiye’de halihazırda uygulanmakta olduğundan, tüketicilere araçlarını şarj etmenin en doğru olduğu zaman dilimlerini gösteren toptan piyasa fiyatlarına bağlı zamana göre değişen fiyatlandırma düzenlemeleri doğru bir adım olabilir.

6. Elektrikli araçların şarjında, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve enerji depolama arasındaki sinerjilerden yararlanılması

Elektrikli araç şebeke entegrasyonunu daha düşük maliyetli hale getirmek ve bu entegrasyondan tam fayda sağlayabilmek için bütüncül bir enerji ve ulaştırma sektörü planlaması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre etmek ve elektrikli araçlar gibi esnek yüklerin kullanımını optimize etmek için orta ve uzun vadede daha aralıklı elektrik tarife yapılarına (ör. DLMP) ihtiyaç vardır. Örneğin, yaz mevsiminde yenilenebilir güneş enerjisi kaynaklarından elektrik üretiminin yüksek olduğu ortalama bir günde elektrikli araçların şarjı için fiyat teşvikinde bulunulabilir. Bu teşvik elektrikli araç sahipleri için sağladığı faydanın yanında, güneş enerjisinden kaynaklanan olası şebeke kısıtlarının azaltılması için de yararlı olacaktır. Zamana göre değişen elektrik tarife yapısının daha etkin uygulanması ve mevcut şebekenin daha etkin kullanımı, ilave şebeke yatırımlarının önüne geçilmesi için çözüm olacaktır. Zamana göre değişen elektrik tarife yapısı Türkiye’de halihazırda uygulanmakta olduğundan, tüketicilere araçlarını şarj etmenin en doğru olduğu zaman dilimlerini gösteren toptan piyasa fiyatlarına bağlı zamana göre değişen fiyatlandırma düzenlemeleri doğru bir adım olabilir (Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği, EPDK, 2019b).

7. Elektrikli araç gelişiminin faydalarından diğer sektörlerle ortaklaşa biçimde yararlanmak için değerlendirme ve planlama yapılması

Farklı tip yapılarda park ve altyapının planlanması ve bu binalardaki enerji arz ve talep akışlarıyla birlikte elektrikli araç şarjının entegrasyonu önem arz etmektedir. Ulaştırma sektörünün elektrifikasyonu arttıkça, bunun şebekeye olan etkilerini sınırlandırmak için enerji ve ulaştırma sektörlerinin arasındaki ilişkilerin artması gerekecektir. Bu durum, elektrikli araçların şebekeler üzerindeki etkilerini en aza indirerek entegre etmek için akıllı şarj yöntemleri ile enerji akışının yönetimini ve batarya kapasitesi ile rüzgar ve güneş enerjisinin şebekeye entegrasyonunu gerektirecektir. Çeşitli tip ve teknolojideki şarj istasyonlarını entegre etmek için elektrikli araç planlamasının şehir planlamasıyla el ele yürümesi gerekecektir.

Elektrikli araçlara daha çok dayanan şehir içi ulaşım, yerel hava kirliliğini azaltacak ve şarj için gereken elektrik talebi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanırsa enerji sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonları ve hava kirliliği de azalacaktır. Çevreye ve insan sağlığına yönelik bu tarz faydaların niceliği belirlenmeli ve elektrikli araçların sektör planlaması yapılırken daha geniş yer verilmelidir. Bu araçların bataryalarının kullanım ömrü sona erdiğinde, atıklarını yönetmek için yasal bir çerçeve ihtiyacı doğacaktır.

Türkiye’nin sanayi politikaları, elektrikli araçlar ve ekipmanlarının yerel üretiminin arttırılması yönündeki çabaların sosyal ve ekonomik etkileri arasındaki sinerji ve karşılıklı fayda anlaşılabilir dikkate alınmalıdır. Elektrikli araç sektörünün ve tedarik zincirinin yaratılması yeni iş ve istihdam imkanları yaratırken, Türkiye, yıllar içerisinde geliştirilen mühendislik ve üretim teknik bilgisiyle içten yanmalı motorların ekipman üretiminde halihazırda geniş bir merkez haline gelmiştir. Araç talebinin yükselişte olduğu diğer ülkelerdeki kadar belirgin olmamakla birlikte, Türkiye’de kayda değer bir yerel elektrikli araç üretim kapasitesinin yaratılması zaten var olan bu sanayi temelini etkileyebilir (Arnold ve Provan, 2019). Ayrıca, mevcut vergi sistemlerinin yeni bir elektrikli araç piyasası yaratmak için nasıl uyarlanabileceğini anlamak da çok önemli olacaktır (ICCT, 2019b).

Elektrikli araçlara daha çok dayanan şehir içi ulaşım, yerel hava kirliliğini azaltacak ve şarj için gereken elektrik talebi yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanırsa enerji sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonları ve hava kirliliği de azalacaktır.

- Agora Energiewende, 2019. Verteilnetzausbau für die Energiewende. Agora Energiewende.
- Agora Verkehrswende, GIZ, REN21, 2018. Towards Decarbonising Transport 2018: A Stocktake on Sectoral Ambition in the G20.
- Arnold, M., Provan, S., 2019. German industrial output fall exacerbates fears of recession. Financial Times.
- Bernard, Y., Tietge, U., German, J., Muncrief, R., 2018. Determination of real-world emissions from passenger vehicles using remote sensing data. THE TRUE INITIATIVE.
- Biyoenerji Derneği, 2017. Türkiyede Biyoetanol Üretimi. <https://www.linkedin.com/pulse/t%C3%BCrkiyede-biyoetanol-%C3%BCretimi-biyoenerji-derne%C4%9Fi/>
- BloombergNEF, 2019. Electric Vehicle Outlook 2019. Bloomberg NEF.
- BloombergNEF, 2018. Cumulative Global EV Sales Hit 4 Million. <https://about.bnef.com/blog/cumulative-global-ev-sales-hit-4-million/>
- Boletín Oficial del Estado [Official State Gazette, Spain], 2018. N242: Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores [Nr. 242: Royal Decree-Law 15/2018, of 5 October, on urgent measures for the energy transition and consumer protection].
- Borges, J., Ioakimidis, C.S., Ferrão, P., 2010. Fast Charging Stations For Electric Vehicles Infrastructure. Fast charging stations for electric vehicles infrastructure. WIT Transactions on Ecology and the Environment 130, 275–284.
- Cambridge Econometrics, 2018. Low-carbon cars in Europe: A socioeconomic assessment. Cambridge Econometrics Limited.
- Campbell, P., Thomas, N., 2019. Switch to electric cars hit by ‘poor’ charging infrastructure. Financial Times.
- Chen, L., Wu, Z., 2018. “Study on effects of EV charging to global load characteristics via charging aggregators”. Energy Procedia, 145, 175-180.
- Conejo, A.J., Carrión, M., Morales, J.M., 2010. Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets | Springer, 1st ed, International Series in Operations Research & Management Science. Springer US, New York.
- Council of the European Union, 2017. Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on common rules for an internal market in electricity (recast). (No. 10691/17).
- CPUC, 2016. Amended scoping memo and ruling of the assigned commissioner and administrative law judge.
- Çelebi, A.K., Uğur, A., 2015. Biyoyakıtlara Yönelik Mali Teşvikler: Türkiye Açısından Bir Değerlendirme. Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 33, 25–45.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2018. Çevresel Göstergeler. <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/trafige-kayitli-araclarin-ortalama-yaaslari-i-85798>.
- Daily Sabah, 2018. Turkey’s Bursa produced 2,041 vehicles per day in first half of year, 79 pct of them exported - Daily Sabah. <https://www.dailysabah.com/automotive/2018/07/24/turkeys-bursa-produced-2041-vehicles-per-day-in-first-half-of-year-79-pct-of-them-exported>
- Dinçer, B., Özasan, M., 2004. İlçelerin Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması (2004). Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2018. Elektrikli Araçlar. Dünya Enerji Konseyi | Türk Milli Komitesi. <https://www.dunyaenerji.org.tr/elektrikli-araclar/>
- EAFO, 2019. European Alternative Fuels Observatory - Alternative Fuels. <https://www.eafo.eu/alternative-fuels/electricity/charging-infra-stats>.

Energy Market Distribution Regulation of Turkey, EMRA, 2019a. Elektrik Piyasası Yönetmelikler Listesi. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-159-3/yonetmelikler>

Energy Market Distribution Regulation of Turkey, EMRA, 2019b. Time-of-use tariffs implemented in Turkey. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari>

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2019. Enerji Denge Tabloları.

EPDK, 2014. Mevzuat Bilgi Sistemi. <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.19217&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch%20%20=Elektrik%20Piyasas%C4%B1>

EŞarj, 2019. EŞarj. <https://esarj.com/>

ETKB, 2019. Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.

ETKB, 2014. National Renewable Energy Action Plan for Turkey. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.

European Commission, 2019. Infrastructuur voor alternatieve brandstoffen — evaluatie. European Commission.

European Commission, 2016. Optimal allocation of electric vehicle charging infrastructure in cities and regions. European Commission, Belgium.

European Commission, Directorate-General for Energy, 2019. Energy prices and costs in Europe. <https://ec.europa.eu/energy/en/data-analysis/energy-prices-and-costs>

European Union, 2014. Directive 2014/94/Eu of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 - on the deployment of alternative fuels infrastructure. Official Journal of the European Union.

Faruqui, A., Hledik, R., Palmer, J., 2012. Time-Varying and Dynamic Rate Design. Regulatory Assistance Project (RAP) and The Brattle Group.

Graber, W., Sussman, A., 2019. America's problem with electric vehicle charging - Walter Graber and Andy Sussman. Medium. <https://medium.com/@AndyandWalt/americas-problem-with-electric-vehicle-charging-e785ee79101d>

HaberTürk, 2019. Hurda Araçta ÖTV indirimi 10'dan 15 bin liraya çıktı. Habertürk.

Hastings, W.K., 1970. Monte Carlo sampling methods using Markov chains and their applications | Biometrika | Oxford Academic. Biometrika 57, 97–109.

HEV TCP, 2018. Task 28, Home grids and V2X technologies - Ongoing Tasks. <http://www.ieahev.org/tasks/home-grids-and-v2x-technologies-task-28/>

Hildermeier, J., Kolokathis, C., 2019. Accelerating the benefits of electric vehicle integration [Webinar]. Regulatory Assistance Project., Brussels, Belgium.

Hildermeier, J., Kolokathis, C., Rosenow, J., Hogan, M., Wiese, C., Jahn, A., 2019. Start with smart: Promising practices for integrating electric vehicles into the grid. Regulatory Assistance Project (RAP).

Hürriyet, 2018a. Hurdaya ayrılan araç sayısı 25 kat arttı - Sondakika Ekonomi Haberleri. <http://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/hurdaya-ayrilan-arac-sayisi-25-kat-artti-40957856>

Hürriyet, 2018b. Elektrikli araçta şarj istasyonu sayısı artacak - Teknoloji Haberleri. <http://www.hurriyet.com.tr/teknoloji/elektrikli-aracta-sarj-istasyonu-sayisi-artacak-40799250>

Hürriyet, 2018c. Elektrikli aracı olan 2019 sonlarında Türkiye'yi dolaşabilecek. <http://www.hurriyet.com.tr/teknoloji/elektrikli-araci-olan-2019-sonlarında-turkiyeyi-dolasabilecek-40982376>

ICCT, 2019a. CO₂ Emission Standards for Passenger Cars and Light-Commercial Vehicles in the European Union The International Council on Clean Transportation.

ICCT, 2019b. Türkiye'de CO₂ emisyonlarının ve yakıt tüketiminin azaltılmasına yardımcı bir politika aracı olarak Özel Tüketim Vergisi. The ICCT. <https://theicct.org/publications/turkey-vehicle-tax-emissions-tk>

ICCT, 2018. Electric vehicle capitals: Accelerating the global transition to electric drive. The International Council on Clean Transportation.

ICCT, 2017. Emerging Best Practices for Electric Vehicle Charging Infrastructure. The International Council on Clean Transportation.

IEA, 2019a. CO2 Emissions from Fuel Combustion 2019 Highlights. OECD/IEA, Paris.

IEA, 2019b. Global EV Outlook 2019. OECD/IEA, Paris.

IEA, 2018. Global EV Outlook 2018. OECD/IEA, Paris.

Interreg, 2017. Electric, Electronic and Green Urban Transport Systems – eGUTS Code DTP1-454-3.1-eGUTS D4.2.1 Electric charging stations development in urban areas.

IRENA, 2019a. Smart Charging: parked EV batteries can save billions in grid balancing - Energy Post. <https://energypost.eu/smart-charging-parked-ev-batteries-can-save-billions-in-grid-balancing/>

IRENA, 2019b. Innovation Outlook: Smart charging for electric vehicles. International Renewable Energy Agency.

IRENA, 2018. Global energy transformation. A roadmap to 2050. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

İsmiç, B., 2015. Gelişmekte Olan Ülkelerde Elektrik Tüketimi, Ekonomik Büyüme ve Nüfus İlişkisi. Çankırı Karatekin Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 2015, Cilt 5, Sayı 1, ss.259–274.

İstanbul Politikalar Merkezi, 2017. Emisyon Basın Bülteni. İstanbul Politikalar Merkezi (IPM). <https://ipc.sabanciuniv.edu/wp-content/uploads/2017/02/EMISYON-BASIN-BULTENI.pdf>.

KAP, 2018. İş Portföy Elektrikli Araçlar Karma Fon. <https://www.kap.org.tr/tr/fon-bilgileri/ozet/ipj-is-portfoy-elektrikli-araclar-karma-fon>

Li, R., Q. Wu, S. Oren, 2014. “Distribution Locational Marginal Pricing for Optimal Electric Vehicle Charging Management.” IEEE Transactions on Power Systems 29 (1): 203–11. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2013.2278952>.

Lord, J., 2019. Real time pricing approved for NZ spot market. <https://www.cornwall-insight.com/newsroom/all-news/editor-s-pick-real-time-pricing-approved-for-nz-spot-market>

McKenzie, K. vd., 2016. “Electrified transportation as a power grid resource”. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Dearborn, Michigan. www.hnei.hawaii.edu/sites/www.hnei.hawaii.edu/files/2016%20ITEC%20IEEE%20Electrified%20Transportation.pdf

Mock, P., 2016. Driving Change: A Snapshot of The Automotive Sector in Turkey. Istanbul Policy Center.

Nicholas, M., Hall, D., 2018. Lessons learned on early electric vehicle fast-charging deployments. ICCT.

NYSERDA, 2019. NYSERDA Electric Vehicle Charging Infrastructure Reports. Energy.gov. <http://beta.nyserda.ny.gov/About/Publications/Research-and-Development-Technical-Reports/TransportationReports.aspx>

NYSERDA, 2015. Review of New York State Electric Vehicle Charging Station Market and Policy, Finance, and Market Development Solutions Final Report. The New York State Energy Research and Development Authority.

ODD, 2019. Basın Özeti. <http://www.odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/2329/BasinBulteni%204%20Ocak%202019.pdf>

ODD, 2016. Basın Özeti. <http://www.odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/1414/BASINBULTENI7OCAK2016.pdf>

ODD, 2014. Basın Özeti. <http://www.odd.org.tr/folders/2837/categorial1docs/800/BASINBULTENI6OCAK2014.pdf>

OSD, 2018a. TUIK-Haber Bulteni / Motorlu Kara Taşıtları.

OSD, 2018b. TUIK-Haber Bulteni / Motorlu Kara Taşıtları-- Mayıs 2018. <http://www.osd>.

org.tr/sites/1/upload/files/Tablolar[1]-4369.xls

PetroTurk, 2018. Türkiye'deki elektrikli araç şarj istasyonu sayısı 400'e ulaştı. PetroTurk. <http://petroturk.com/elektrik/turkiyedeki-elektrikli-arac-sarj-istasyonu-sayisi-400e-ulasti>

Platform for Electro-mobility, 2018. Electro-mobility Platform recommendations on the EPBD [European Performance of Buildings Directive] review guidance note. Platform for Electro-mobility.

Polat, Ö., Yumak, K., Sezgin, M.S., Yumurtacı, G., Gül, Ö., 2018. Elektrikli Araç ve Şarj İstasyonlarının Türkiye'deki Güncel Durumu.

Resmi Gazete, 2019a. Hafif Yolcu ve Ticari Araçlardan Çıkan Emisyonlar (Euro 5 Ve Euro 6) Bakımından Ve Araç Tamir Ve Bakım Bilgilerine Erişim Konusunda Motorlu Araçların Tip Onayı İle İlgili Uygulama Usul Ve Esaslarına İlişkin Tebliğ (Tebliğ No: Sgm-2009/22)'De Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ.

Resmi Gazete, 2019b. Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik.

Resmi Gazete, 2018a. Vergi Kanunları ile Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılması Hakkında Kanun.

Resmi Gazete, 2018b. Otopark Yönetmeliği.

Resmi Gazete, 2017a. Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ.

Resmi Gazete, 2017b. Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180201M1-1.htm>

Resmi Gazete, 2016. 26/9/2016 Tarihli ve 2016/9256 sayılı Kararnamenin Eki.

Resmi Gazete, 2013. Planlı Alanlar Tip İmar Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/09/20130908-1.htm>

Resmi Gazete, 2012. Benzin Türlerine Etanol Harmanlanması Hakkında Tebliğ.

Resmi Gazete, 2011. 12/10/2011 Tarihli ve 2011/2304 sayılı Kararnamenin Eki

Resmi Gazete, 2008. Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul Ve Esaslar Hakkında Yönetmelik. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/06/20080609-3.htm>

RMI, 2016. Electric vehicles as distributed energy resources. Rocky Mountain Institute, Basalt. https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/04/RMI_Electric_Vehicles_as_DERs_Final_V2.pdf

Saygin, D., Ercumen, Y., De Groote, M., Bean, F., 2019. Enhancing Turkey's policy framework for energy efficiency of buildings, and recommendations for the way forward based on international experiences.

SHURA, 2019. Energy pricing and non-market flows in Turkey's energy sector. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi.

SHURA, 2018. Türkiye'nin Enerji Sisteminde Yenilenebilir Kaynakların Artan Payı: İletimde Genişleme ve Esneklik Seçenekleri. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi.

SLoCaT, 2019. E-mobility Trends and Targets. The Partnership on Sustainable, Low Carbon Transport.

Taljegard, M., 2017. The impact of an electrification of road transportation on the electricity system. Chalmers University of Technology, Gothenburg.

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019. 11. Kalkınma Planı.

T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2015. 2003-2014 İstatistiklerle Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme. Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara.

T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, 2014. Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi (2014-2023) ve Eki Eylem Planı (2014-2016). http://www.sp.gov.tr/tr/temel-belge/s/175/Ulusal+Akilli+Ulasim+Sistemleri+Strateji+Belgesi+_2014-2023_+ve+Eki+Eylem+Plani+_2014-2016.

TEHAD, 2019. Türkiye Elektrikli ve Hibrid Otomobil Pazarı / Marka ve Modeller. <http://tehad.org/2019/01/17/turkiye-elektrikli-ve-hibrid-otomobil-pazari-marka-ve-modeller/>

TEHAD, 2018. Elektrikli ve Hibrid Otomobil satış rakamları açıklandı. <http://tehad.org/2018/07/06/elektrikli-ve-hibrid-otomobil-satis-rakamlari-aciklandi/>

TEHAD, 2017. Türkiye’de Kurulu Elektrikli Araç Şarj İstasyonları. <http://tehad.org/2017/01/16/turkiyede-kurulu-elektrikli-arac-sarj-istasyonlari/>

TEİAŞ, 2017. 10 Yıllık Talep Tahminleri Raporu (2017-2026). Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Ankara.

TeslaTürk, 2016. Hibrit Otomobillere Beklenen ÖTV İndirimi Geldi, Ancak Kapsamı Çok Dar. TeslaTurk.com. <http://teslaturk.com/hibrit-otomobillere-otv-indirimi-geldi/>

Times of India, 2019. Niti Aayog: Niti’s new road map: Only electric vehicles to be sold after 2030. The Times of India. <https://timesofindia.indiatimes.com/india/nitis-new-road-map-only-electric-vehicles-to-be-sold-after-2030/articleshow/69833770.cms>

Transport & Environment, 2019. Batteries on wheels: the role of battery electric cars in the EU power system and beyond | Transport & Environment. Transport & Environment.

Transport & Environment, 2018a. Roll-out of public EV charging infrastructure in the EU | Transport & Environment. <https://www.transportenvironment.org/publications/roll-out-public-ev-charging-infrastructure-eu>

Transport & Environment, 2018b. How EU Member States roll-out electric-mobility: Electric Charging Infrastructure in 2020 and beyond.

Transport & Environment, 2018c. EU Cars CO₂ regulation and plug-in hybrid cars.

TÜİK, 2019. İl bazında gayrisafi yurt içi hasıla, iktisadi faaliyet kollarına göre, cari fiyatlarla, NACE Rev.2, 2004-2017.

UNFCCC, 2015. Republic of Turkey Intended Nationally Determined Contribution. https://www4.unfccc.int/sites/submissions/INDC/Published%20Documents/Turkey/1/The_IND_C_of_TURKEY_v.15.19.30.pdf

U.S. Department of Energy’s Office, 2019. Median All-Electric Vehicle Range Grew from 73 Miles in Model Year 2011 to 125 Miles in Model Year 2018. <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1064-january-14-2019-median-all-electric-vehicle-range-grew-73-miles#targetText=FOTW%20%231064%2C%20January%2014%2C,Miles%20in%20Model%20Year%202018>

Weiss, M., Zeffass, A., Helmers, E., 2019. Fully electric and plug-in hybrid cars - An analysis of learning rates, user costs, and costs for mitigating CO₂ and air pollutant emissions. Journal of Cleaner Production 212, 1478–1489.

Wikipedia, 2019. Stochastic process. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Stochastic_process

Wolbertus, R., van den Hoed, R., Maase, S., 2016. Benchmarking Charging Infrastructure Utilization. World Electric Vehicle Journal 84, 748–765. <https://doi.org/10.3390/wevj8040754>.

Yatırım Ofisi, 2018. Investment Incentives.

Yatırım Ofisi, EY, 2019. Automotive Industry Agenda.

YEGM, 2017. Biyodizel Üretimi ve Harmanlanmasıyla İlgili Beklentiler ve Öneriler Çalıştayı: Sonuç Raporu. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü.

YeniŞafak, 2018. Türkiye’de 334 merkeze elektrikli araç şarj istasyonu. <https://www.yenisafak.com/ekonomi/334-merkeze-sarj-istasyonu-3177344>

Yeşil Ekonomi, 2019a. İlk yarıda elektrikli araçların pazar payı %2,5 oldu. <https://yesilekonomi.com/ilk-yarida-elektrikli-araclarin-pazar-payi-25-oldu/>

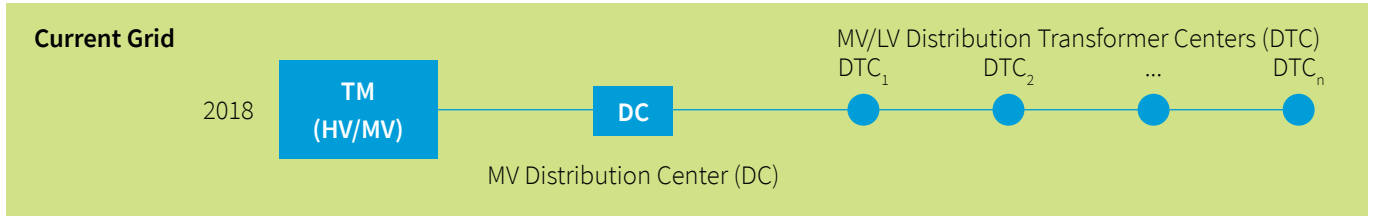
Yeşil Ekonomi, 2019b. Yerli elektrikli aracın ön gösterimi Aralık’ta yapılacak : Yeşil Ekonomi. https://yesilekonomi.com/yerli-elektrikli-aracin-on-gosterimi-aralikta-yapilacak/?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=yerli_elektrikli_aracin_oen_goesterimi_aralik_ta_yapilacak_guenluek_buelten&utm_term=2019-07-08

Ek 1: Gereken OG hattı yatırım miktarının hesaplanması için metodoloji

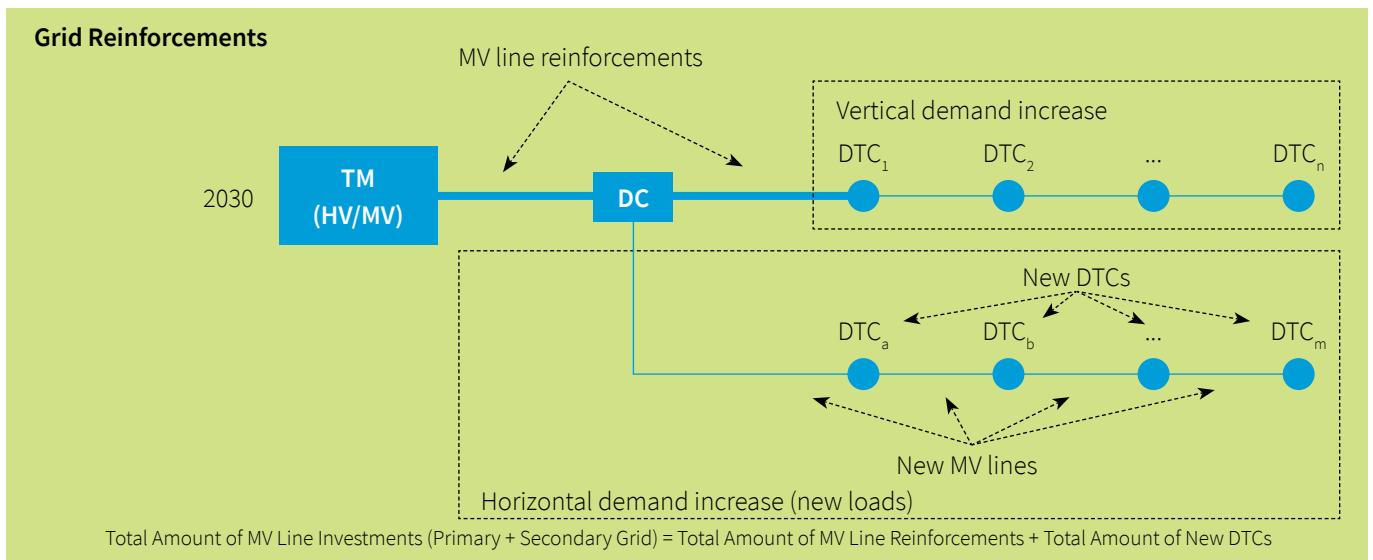
Günümüzde modern toplumun elektrik enerjisine ciddi seviyede bağlı olması nedeniyle, özellikle de gelişmekte olan ülkelerin elektrik enerjisi talebinde artış kaçınılmazdır. Talep artışı, dağıtım şebekelerinde şebeke yatırım ihtiyaçlarını belirleyen en temel faktörlerden biridir. Dağıtım şebekelerinde talep artışı dolayısıyla ihtiyaç duyulan en temel şebeke ekipman yatırımları; OG/AG trafolarının kapasitesinin arttırılması, mevcut OG ve AG hatlarının güçlendirilmesi ve yeni OG ve AG hatların inşa edilmesidir. Bu çalışmada, her bir pilot bölgenin mevcut (yani 2018) dağıtım şebekesinde, 2030 hedef yılına kadar yıllık ortalama %5 yük artışı olacağı varsayılmıştır (elektrikli araç yükleri olmayan 2030 Referans Model). 2030 Referans Modelinde talep artışı nedeniyle ihtiyaç duyulan şebeke yatırımları belirlenirken göz önüne alınan teknik kriterler: i) mevcut hatlardaki aşırı yüklenmeler; ii) tüketim noktalarındaki aşırı gerilim düşümleri (>%10); ve iii) primer dağıtım şebekesinde N-1 güvenilirlik kriteri (metropol pilot bölgeler).

Talep artışı nedeniyle ihtiyaç duyulan şebeke yatırımlarının belirlenmesinde izlenen yöntem, YG/OG trafo merkezinden beslenen jenerik bir dağıtım fideri üzerinden aşağıdaki şekillerde açıklanmıştır. Talep artışı temelde iki farklı sebeple gerçekleşir; i) yatay talep artışı; ii) dikey talep artışı (bkz. Şekil 44). Dikey talep artışı, halihazırda mevcut bulunan dağıtım trafo merkezlerindeki (DTM) talep artışına karşılık gelir (DTM1 ... DTCn). Buna karşılık yatay talep artışı, mevcut olmayan yeni yük talepleri nedeniyle yeni inşa edilecek olan DTM'lerden kaynaklanır. Çalışmada, pilot bölgelerdeki talep artışı nedeniyle ihtiyaç duyulan şebeke yatırımları, yatay ve dikey yük artışları nedeniyle ihtiyaç duyulan yatırımların toplamı olarak modellenmiştir.

Şekil 43: Jenerik bir dağıtım fideri (mevcut durum)



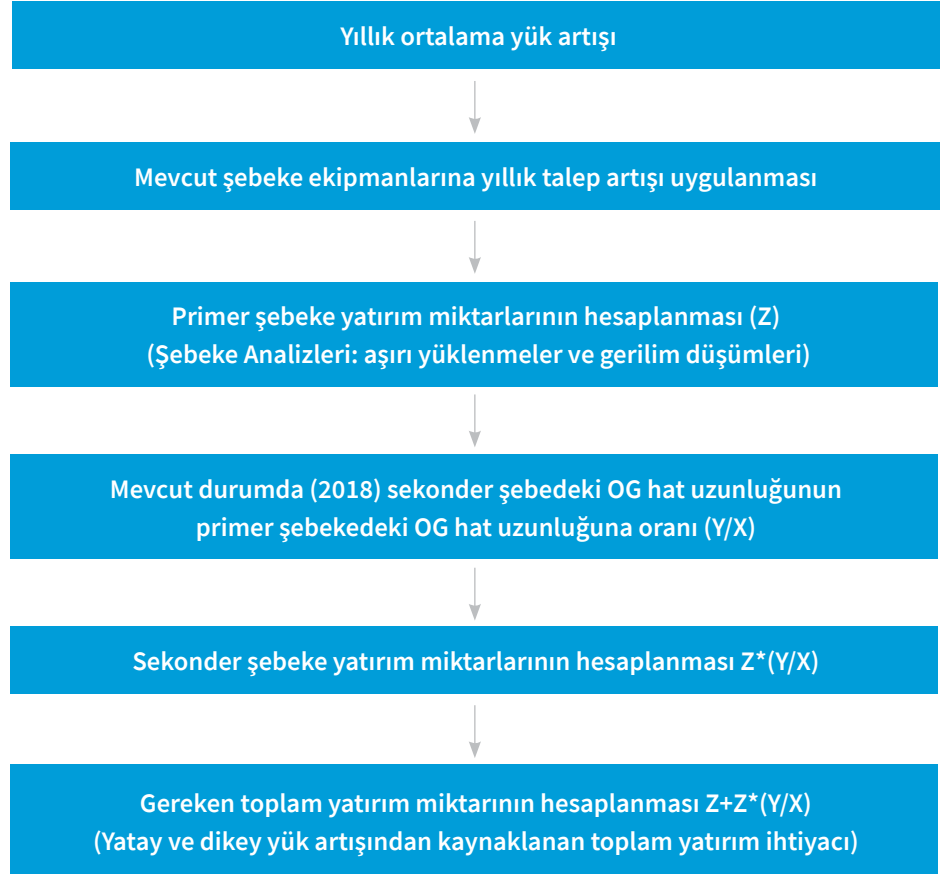
Şekil 44: Jenerik dağıtım üzerindeki dikey talep artışları (mevcut fider üzerinde) ve yatay talep artışları (yeni fider üzerinde) nedeniyle ihtiyaç duyulan OG hat ve OG/AG trafo yatırımları



Pilot bölgelerdeki dikey talep artışı, mevcut DTM'lerin yüklenme profillerine yıllık ortalama %5 artış uygulamak suretiyle modellenmiştir. Fakat, yatay yük artışının modellenmesi dikey talep artışı kadar kolay değildir. Yatay yük artışının modellenmesinde, belediyelerin imar planları, şehir bölge planlaması gibi faktörlerin göz önüne alınması gerekir. Bu çalışmada, toplam talep artışı (yatay ve dikey) mevcut DTM'lere uygulanmış ve mevcut DTM'lerde aşırı yüklenen DTM'lere paralel yeni DTM'ler modellenmiştir. Aynı şekilde, aşırı yüklenen OG hatlara paralel yeni OG hatlar modellenmiştir. Mevcut şebeke ekipmanlarına paralel olarak modellenen yeni OG hatların, primer şebekede ihtiyaç duyulacak olan şebeke yatırımlarını temsil ettiği varsayılmıştır. Primer şebeke, ana dağıtım merkezleri arasındaki hatları ifade etmekte olup, şebekenin ana omurgasını oluşturur. İhtiyaç duyulacak olan sekonder şebeke (DTM'leri besleyen tali hatların oluşturduğu şebeke) yatırımları ise, mevcut şebekedeki primer ve sekonder şebekedeki hatların miktarlarının oranları göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

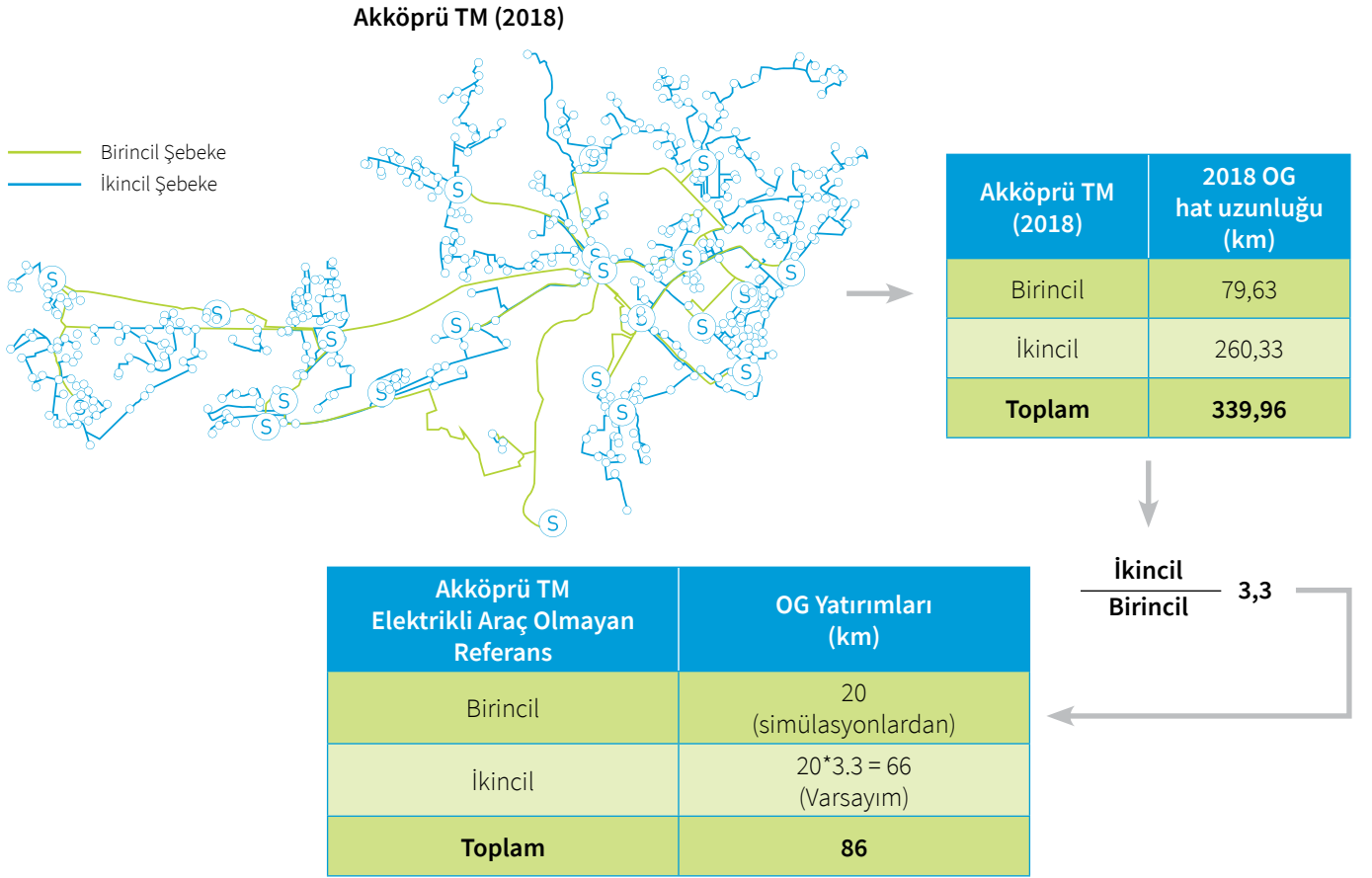
Bu yaklaşım ile hesaplanan primer ve sekonder şebeke OG yatırım miktarları aşağıda bir örnek ile açıklanmıştır. Örneğin, bir dağıtım şebekesinde primer ve sekonder OG hatların toplam uzunluğu mevcutta (2018) sırasıyla "X" km ve "Y" km olsun. Mevcut şebeke ekipmanlarına yıllık talep artışı uygulandığı zaman 2030 Referans Modelde ihtiyaç duyulacak olan şebeke yatırımları ise "Z" km olsun. Primer şebekede ihtiyaç duyulacak olan yatırım miktarının "Z" km, sekonder şebekede ihtiyaç duyulacak olan yatırım miktarının ise " $Z \cdot (Y/X)$ " olacağı varsayılmıştır. Yani, şebekede gereken yatırımların toplam miktarı " $Z + Z \cdot (Y/X)$ " şeklindedir. Yöntemin akış şeması Şekil 45'te sunulmuştur.

Şekil 45: Talep artışı kaynaklı gerekli OG hat yatırım miktarlarının hesaplanmasında izlenen yöntem ve varsayımlar

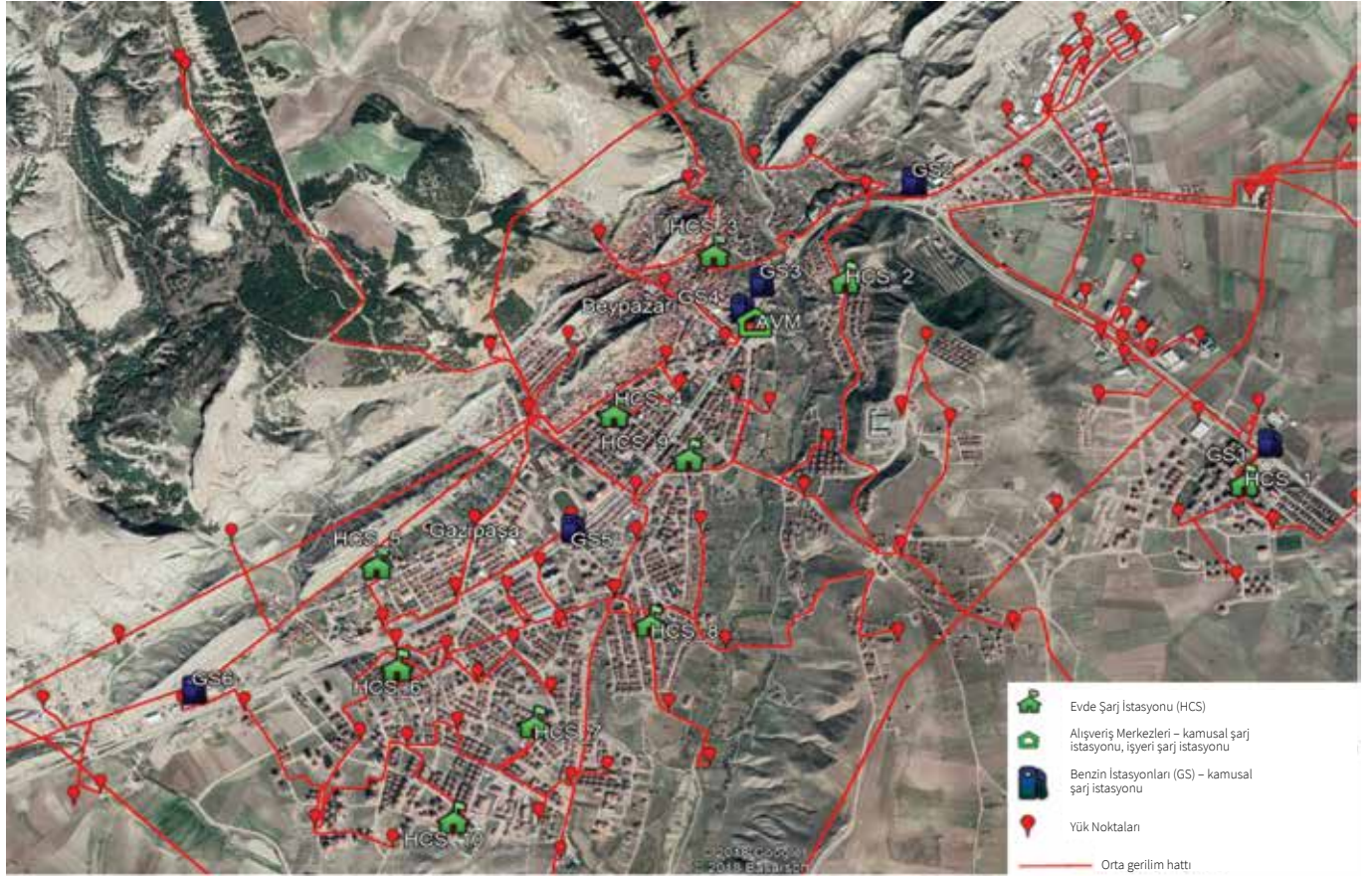


Bu basitleştirilmiş yöntem ile hesaplanan yatırım miktarlarının rasyonelliğini, primer ve sekonder şebekedeki yatırımlar için ayrı ayrı değerlendirmek gerekir. Akköprü TM (Ankara) bölgesindeki primer şebeke aşağıdaki şekilde örnek olarak gösterilmiştir. Akköprü TM pilot bölgesinde 2018 yılında mevcut bulunan primer ve sekonder şebekeler Şekil 46'da gösterilmiştir. 2018 yılında, sekonder OG hatlarının toplam uzunluğunun primer hatların toplam uzunluğuna oranı 3,25'tir. 2030 Referans Modelde Akköprü TM pilot dağıtım bölgesinde şebeke analizleri ile hesaplanan primer şebeke yatırım ihtiyacı miktarı 20 km'dir. Dolayısıyla, sekonder şebekede gerekli OG hat yatırım miktarının 65 km ($20 \times 3,25$) olacağı varsayılmıştır.

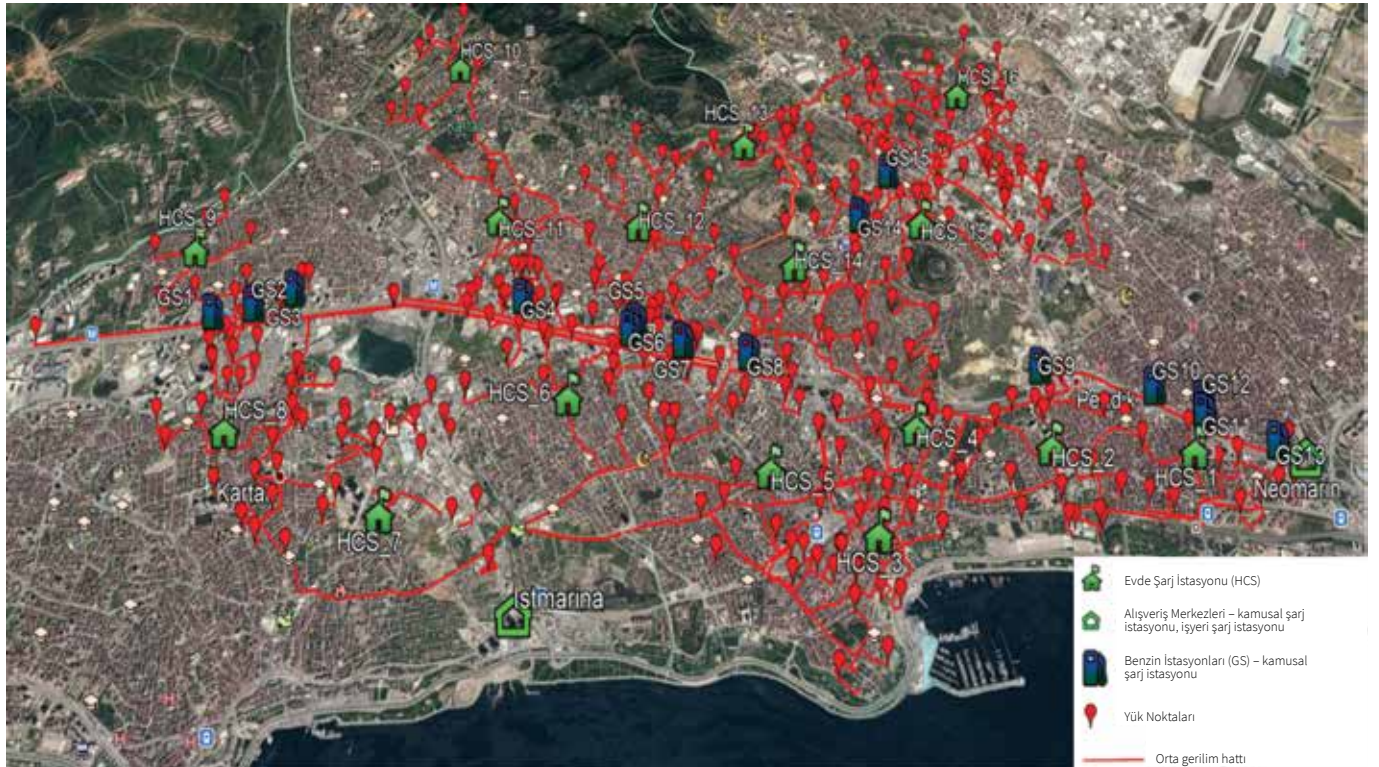
Şekil 46: Akköprü TM pilot bölgesindeki primer ve sekonder şebekeler



Şekil 48: Elektrikli araç şarj noktalarının Ankara, Beypazarı pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı



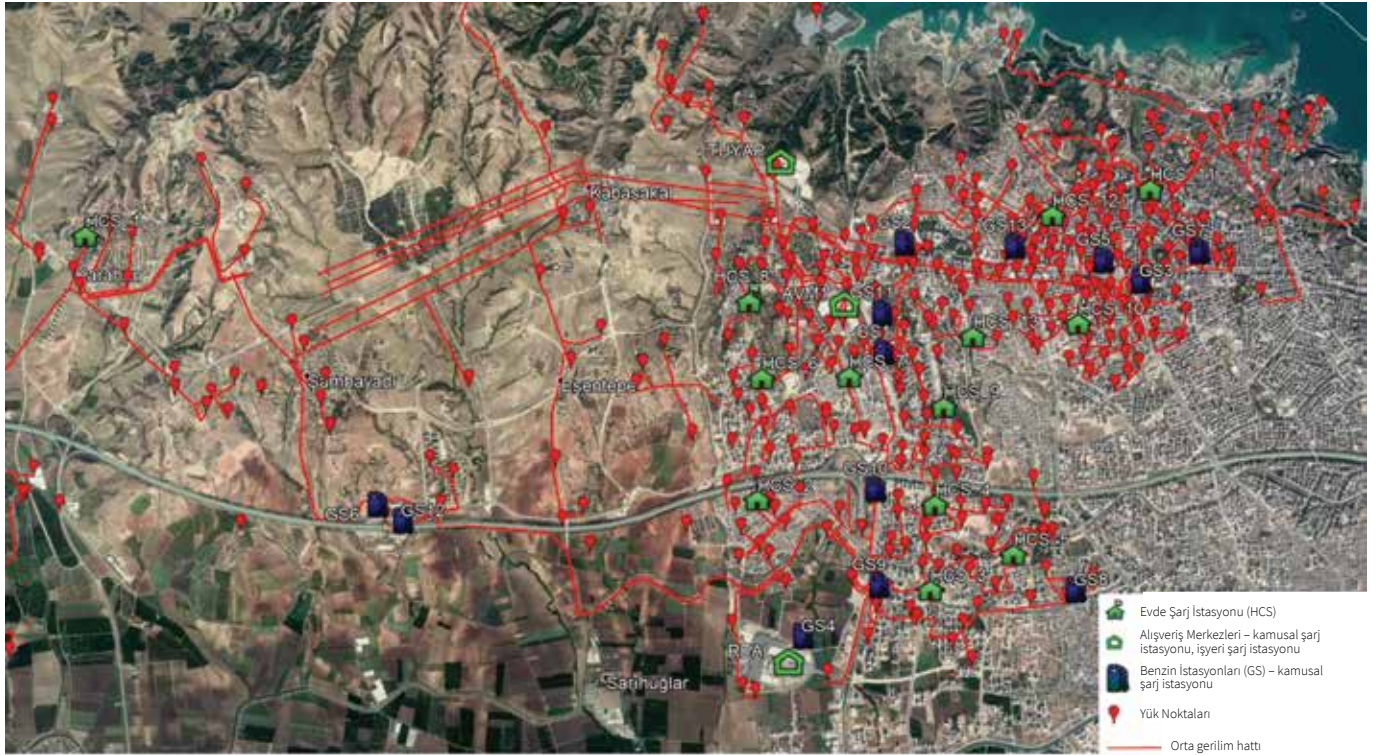
Şekil 49: Elektrikli araç şarj noktalarının İstanbul, Kartal pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı



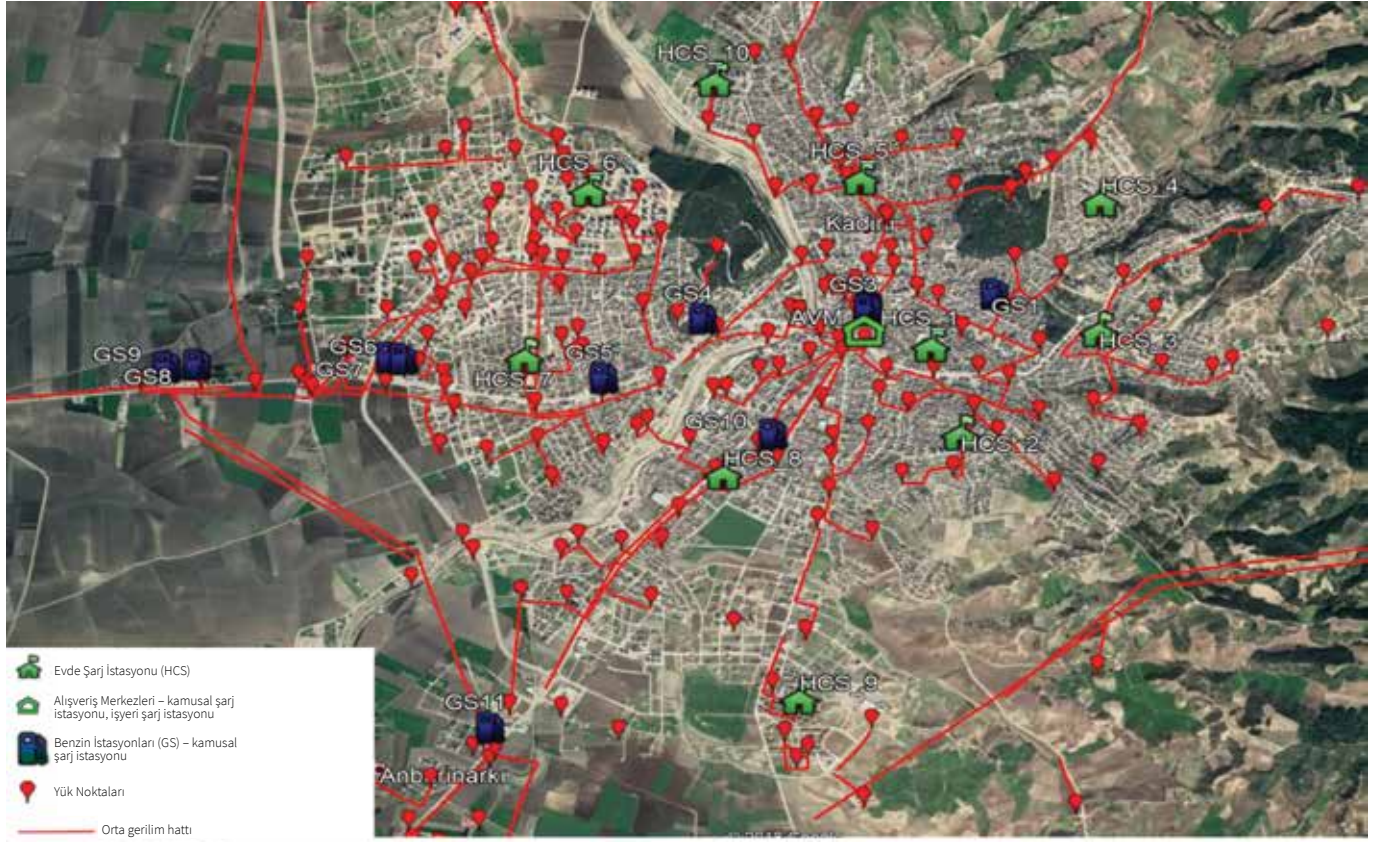
Şekil 50: Elektrikli araç şarj noktalarının İstanbul, Şile pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı



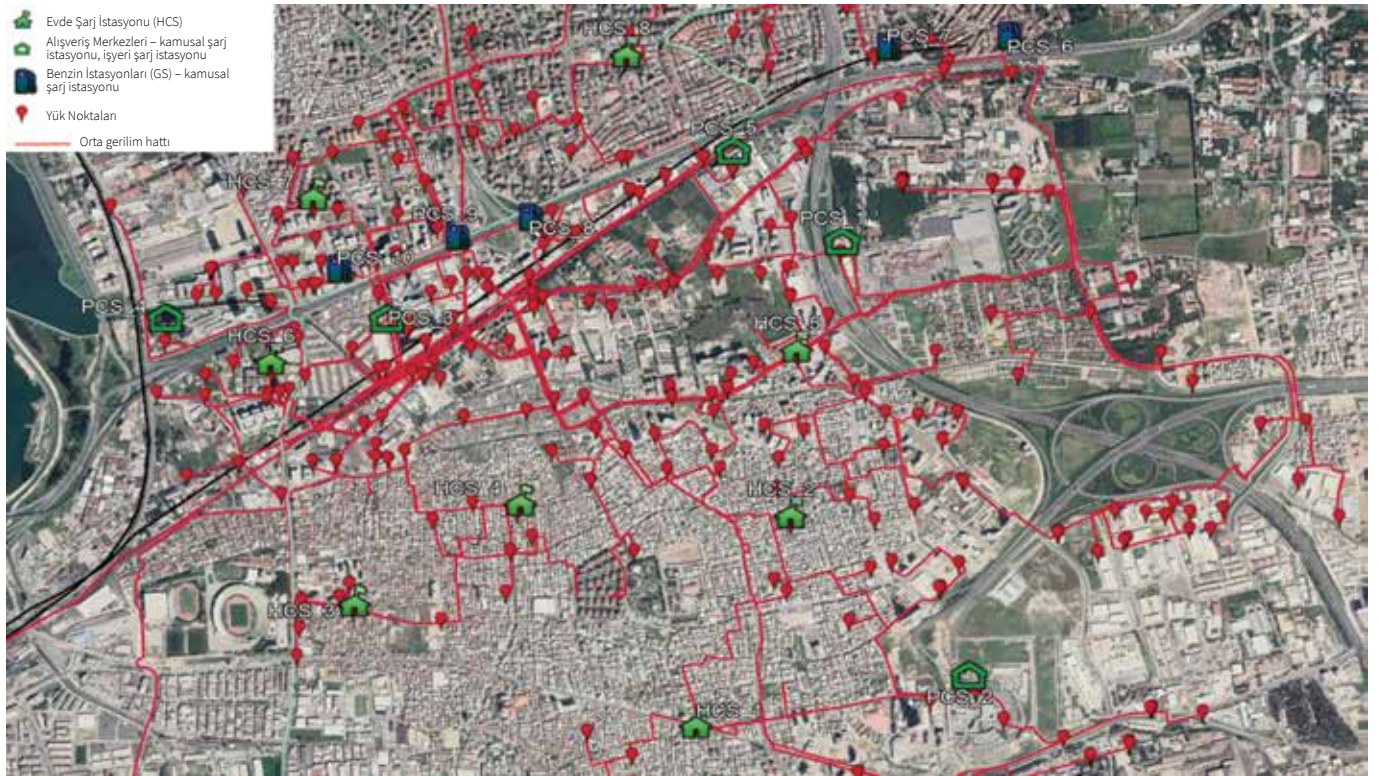
Şekil 51: Elektrikli araç şarj noktalarının Adana, Karahan pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı



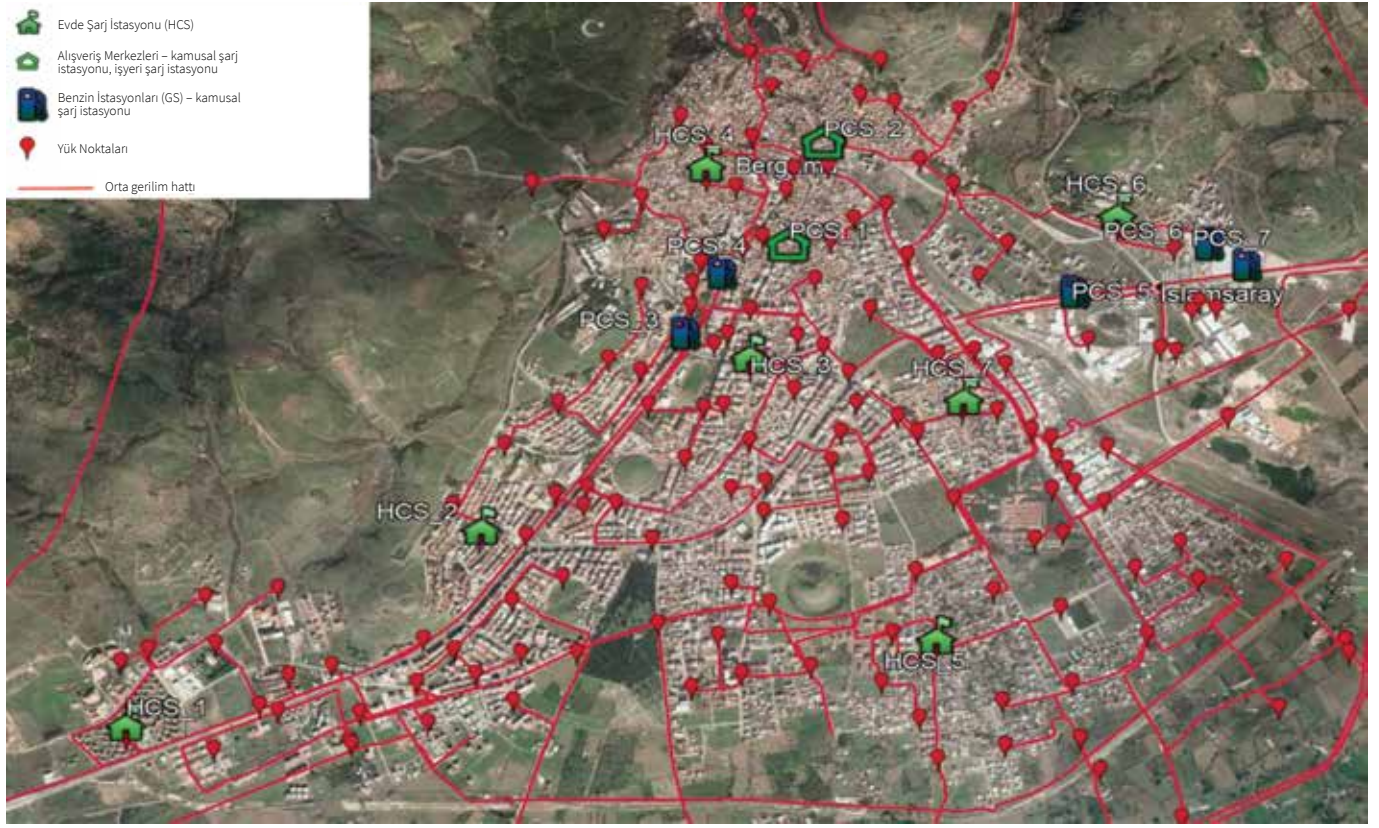
Şekil 52: Elektrikli araç şarj noktalarının Osmaniye, Kadirli pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı



Şekil 53: Elektrikli araç şarj noktalarının İzmir, Bornova pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı



Şekil 54: Elektrikli araç şarj noktalarının İzmir, Bergama pilot dağıtım bölgelerindeki konumlarının dağılımı



Ek 3: Paydaş danışma toplantı notları

8 Ağustos 2019 tarihinde, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı yerleşkesinde, çalışmanın taslak sonuçlarının değerlendirildiği bir paydaş danışma toplantısı düzenlenmiştir.

Soru ve öneriler

- “Hızlı Gelişim” ve “Orta Gelişim” senaryolarında öngörülen sırasıyla 2.5 ve 1 milyon elektrikli araç, yerli üretim göz önünde tutularak mı tahmin edildi? Senaryolar için yıllık ortalama %5 puant artışı öngörülürken elektrikli araçlar dahil edildi mi? Yoksa genel bir artış olarak mı değerlendirildi? Elektrikli taşıt araçların evde şarjı özel bir ekipman üzerinden mi yapılacak ya da normal bir kablo yoluyla yapılması mümkün mü?
- Güvenlik açısından prizin bataryaya direk bağlanması tehlikeli olabilir. Bunun için daha basit ev tipi kutu şeklinde AC tip ürünler mevcut.
- Araçların batarya kapasiteleri nedir?
- Halka açık alanlarda “state of charge” %5 ila %40 arasında olasılık dağılım fonksiyonu kabul edilmiş. Olasılık, bizim alışkanlıklarımız düşünüldüğünde düşük olabilir mi? Ev uygulamaları için %80 olasılık olabilir mi?
- Yenilenebilir enerjinin dağıtık olarak şarj istasyonları ile entegrasyonu, elektriğin üretilen yerde tüketilmesini sağlayarak şebekeye olumsuz etkilerini azaltır. Yenilenebilir enerjinin bu şekilde stratejik olarak kullanılması fayda sağlayabilir.
- Bunun dışında, simülasyonların geliştirilmesinde toplumu etkileyen yönlerin belirlenerek, sosyolojik olarak değerlendirilmesi farklı bir bakış açısı sunabilir.
- Normalde şarj ihtiyacının çok olmadığı fakat bayram tatili gibi zamanlarda şarj ihtiyacının pik yaptığı bölgelerdeki altyapı planlanması gerekiyor.
- Normalde şarj ihtiyacının çok olmadığı fakat bayram tatili gibi zamanlarda şarj ihtiyacının pik yaptığı bölgelerdeki altyapı planlanması kurulmasında dinamik fiyatlandırma yoluyla teşvikler sağlanabilir. Akıllı şarj teknolojileri ile güç kısıtlamaları başka bir yöntem olarak karşımıza çıkabilir. Küresel bazda hızlı şarj konusunda trendeler oluşuyor. Bu doğrultuda hesaplamaların yapılması daha doğru olabilir.
- Elektrikli araçların farklı tüketim koşulları dikkate alınarak duyarlılık analizleri yapılabilir. Özellikle yaz aylarında klimadan dolayı elektrik tüketimi artacaktır. Dünya genelindeki uygulamalarda fiyatlamalar CO₂ emisyon etkileri dikkate alınarak yapılıyor.
- Yenilenebilir enerji kaynakları, enerji depolama ve şarj istasyonlarının birlikte uygulanması, şebeke entegrasyonu problemlerini azaltmak için bir seçenek olarak düşünülebilir. Yenilenebilir enerji entegrasyonu için merkezi bir kontrol sistemi olduğu taktirde ilave yatırımlara ihtiyaç olmayabilir. Çeşitli teşvik mekanizmaları (Örn. Otopark ve Otoyollar için) hayata geçirilebilir. Yapılan çalışma kapsamında OG seviyesinden bağlanan şarj istasyonlarının faydalı olabileceği gözlenmiştir.
- 2030 yılında hesaplanan 1 milyon elektrikli taşıt araç sayısına ulaşmak olası gözüküyor. Aynı şekilde 2030 yılında 1 milyon şarj istasyonuna erişmek de olası gözüküyor. Hızlı şarj uygulamaları yönünde dünya genelinde trendler mevcut. Elektrikli araç batarya kapasiteleri 50-60 kWh'lere ulaşmakla birlikte, tüketici tercihlerini iyi analiz etmek gerekiyor. Elektrikli taşıt araçların şebekeye geri besleme yapması konusuna odaklanılmalı.
- Hesaplamalarda öngörülen elektrikli taşıt araç sayısı yüksek gözüküyor. Halka açık sokaklarda şarj istasyonları belediyeler öncülüğünde hayata geçirilebilir.

- Hesaplamalarda öngörülen araç sayılarının yüksek tutulması, ileride oluşabilecek etkilerinin daha iyi analiz edilebilmesi açısından fayda sağlayacağını düşünüyorum. Çalışmanın 360 derece bakış açısıyla ele alınması önemli. Tüketici hakları, vergisel konular ve enerji bu bakış açılarının temelini oluşturmali.
- Çalışmada batarya enerji depolama ve yenilenebilir enerji etkilerinin detaylı incelenmesi önemli olmalı. Batarya enerji depolama maliyetleri günden güne düşüş eğilimi gösteriyor. Batarya konusunda mahalle ve apartman bazında uygulamalar dikkate alınmalı. Akıllı şarj sistem kullanımlarının etkileri değerlendirilmeli.
- Elektrikli araçlar sorun değil, çözüm olabilir. Elektrik dağıtım şirketleri mevcut durumda finansal problemleri nedeniyle yatırımları yetiştiremeyebilir. Elektrikli araçlar şebekeye yan hizmet sunarak fayda sağlayabilir.
- Otobüs, kamyon gibi araçlar yük çekişlerinin fazla olmasından dolayı şebekeye en çok etkiyi yaparlar. Analizlerde dikkate alınmalılar.
- Çalışmada dağıtım şebekelerinde harmoniklerle ilgili resim ortaya kondu mu? Bu anlamda bir problem ile karşılaşıldı mı?
- Değişim değil, dönüşüm yolunda hızla gidiliyor. Yenilenebilir enerji ve enerji depolamanın yanında, sanayi ve yerli üretim üzerine de odaklanılmalı.
- Hesaplamalarda elektrikli taşıt araç menzili yaklaşık olarak ne kadar hesap edildi? İleriki yıllarda menzilin artacağı öngörüldü mü?
- Dönüşüm kısmında dikkate alınırken yaşamsal ve tercihsel dönüşümler de değerlendirilmeli.
- Hızlı şarj konusu dünya genelinde artış gösterirken, batarya kapasiteleri menzilin uzaması çalışmada dikkate alınmalı. Araçların elektrik şebekesini geri beslemesi olumsuz etkilerin azaltılması ve maliyetlerin düşmesinde etkili olabilir.
- Bu bir optimizasyon problemi ve bu problemin çözümünde tüm taraflar taşın altına elini koymalı. Emisyon değerlerinin nasıl oluşturulması gerektiği üzerine çalışmak gerekiyor. Fakat, sıfır CO₂ emisyonu ulaşmak için istihdamın çok azaldığı bir ortam kabul edilemez. Burada yerlilik ön plana çıkmalı, bütçenin yurt dışına kaçmaması üzerinde durulmalı ve araç, aracın bataryası, şarj istasyonları gibi tüm etkilerin değerlendirildiği bir iş planının yapılması gerekiyor.

Soru ve önerilerin değerlendirilmesi ve sonraki adımlar

- Avrupa Birliği fiyat tarife yapısı yan hizmetler fırsatını getirebilir.
- Öngörülebilirlik, paylaşım ekonomisi, regülasyonlar vasıtasıyla şarj noktası standartlaşması, Avrupa birliği bina uygulamaları değerlendirilmesi, dağıtık üretimin artması, otoyol ve otopark gibi teşvikler, fiyat tarife yapısı, yan hizmetler, enerji verimliliği, şebeke esnekliği ve yönetimi, düşük karbon ekonomisine geçiş, akıllı şarj sistemleri altyapısının kurulması, otomasyon ve telekomünikasyon, kayıt zinciri gibi gelişim senaryolarına çok açıdan bakılması gerekecek.
- Tüm paydaşların soru ve önerileri değerlendirilerek farklı bakış açıları rapor nihai haline getirilirken göz önünde tutulacak.
- Çalışma Ekim ayında tamamlanarak, tüm paydaşlara sunulacak.

NOTLAR

İstanbul Politikalar Merkezi

İstanbul Politikalar Merkez (İPM) demokratikleşmeden iklim değişikliğine, transatlantik ilişkilerden çatışma analizi ve çözümüne kadar, önemli siyasal ve sosyal konularda uzmanlığa sahip, çalışmalarını küresel düzeyde sürdüren bir politika araştırma kuruluşudur. İPM araştırma çalışmalarını üç ana başlık altında yürütmektedir: İPM-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi, Demokratikleşme ve Kurumsal Reform, Çatışma Çözümü ve Arabuluculuk. 2001 yılından bu yana İPM, karar alıcılara, kanaat önderlerine ve paydaşlara uzmanlık alanına giren konularda tarafsız analiz ve yenilikçi politika önerilerinde bulunmaktadır.

European Climate Foundation

European Climate Foundation (ECF) Avrupa'nın düşük karbonlu bir toplum haline gelmesine yardımcı olabilmek ve iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası alanda güçlü bir lider rolü oynayabilmek amacıyla kurulmuştur. ECF, her türlü ideolojiden uzak kalarak düşük karbonlu bir topluma geçişin "nasıl" olacağı konusunu odağına alır. Ortaklarıyla yaptığı iş birliği kapsamında ECF, bu geçişte kilit rol oynayacak patikaları ve farklı alternatiflerin sonuçlarını ortaya çıkararak bu tartışmalara katkı sağlamayı hedefler.

Agora Energiewende

Agora Energiewende; Özellikle Almanya ve Avrupa olmak üzere tüm dünyada temiz enerjiye başarılı bir geçiş yapılmasını sağlamak amacıyla veri odaklı, politik açıdan uygulanabilir stratejiler geliştirir. Bir düşünce kuruluşu ve politika laboratuvarı olan Agora; yapıcı bir fikir alışverişi sağlarken siyaset, iş ve akademi dünyasından paydaşlarla da bilgi birikimini paylaşmayı hedefler. Kâr amacı gütmeyen ve bağışlarla finanse edilen Agora, kendini kurumsal ve siyasi çıkarlara değil, iklim değişikliğiyle mücadeleye adanmıştır.



Evliya Çelebi Mh. Kibelezade
Sk. Eminbey Apt. No:16 K:3 D:4
34430 Beyoğlu / İstanbul
Tel: +90 212 243 21 90
E-mail: info@shura.org.tr
www.shura.org.tr

SHURA Kurucu Ortakları:

