

TÜRKİYE ELEKTRİKLİ ARAÇLAR GÖRÜNÜMÜ | 2021



**TÜRKİYE
ELEKTRİKLİ ARAÇLAR
GÖRÜNÜMÜ | 2021**

Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü 2021

Bora Şekip Güray

Ersin Merdan

Sabancı Üniversitesi IICEC

İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi

Minerva Palas, Bankalar Caddesi, No:2

Karaköy 34420

İstanbul / Turkey

Tel: +90 212 292 49 39

Kitap Tasarım:

CEEN Enerji Bilgi Servisleri Dan. ve Org. ve Tic. Ltd. Şti.

Kavacık Mah. FSM Cad. Tonoğlu Plaza No: 3/4

Beykoz 34810 İstanbul / Turkey

Tel: +90 216 510 12 40

Kitap Baskı:

Fabrika Basım ve Tic. Ltd. Şti

Göztepe Mah. İnönü Cad. No: 74/A-B-C Mahmutbey/Bağcılar/İstanbul

Tel: +90 212 294 38 00 **Fax:** +90 212 294 39 40

Matbaa Sertifika No: 47653

Aralık 2021

ISBN: 978-625-7329-49-1

IICEC Hakkında

Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC), geleceğe yönelik bir bağımsız araştırma ve politika merkezi olarak, enerji ve iklim konularında nesnel, kaliteli araştırmalar yapmak üzere kurulmuştur.

IICEC, kamu-sanayi-akademi iş birliklerini destekleyen başarı üçgeni modeli içerisinde, enerji ve iklim gündeminde gerçekleştirdiği ulusal, bölgesel ve uluslararası çalışmalar ile daha temiz ve güvenli enerji geleceğine katkı sunmaktadır.

Bölgedeki en seçkin üniversitelerden birinin bünyesinde yer alan IICEC, Türkiye enerji sektörüne stratejik ve bütüncül bakış perspektifiyle analitik çalışmalar gerçekleştirmekte, aynı zamanda enerji ve iklim alanlarında kilit paydaşları bir araya getiren seçkin bir platform sağlayarak fikir alışverişini ve gelişimini de teşvik etmektedir. IICEC tarafından 2020 yılında Türkiye’de bir ilk olarak yayımlanan “Turkey Energy Outlook”, enerji sektörünün verimli, güvenli, rekabetçi, teknoloji-odaklı ve sürdürülebilir geleceğini somut öneriler ile desteklemektedir.

<https://iicec.sabanciuniv.edu>

 [iicec-sabancı-university-istanbul-international-center-for-energy-and-climate](https://www.linkedin.com/company/iicec-sabancı-university-istanbul-international-center-for-energy-and-climate)

 [sabancıu_iicec](https://twitter.com/sabancıu_iicec)

Önsöz

2010 yılında Dr. Fatih Birol ile yaptığım görüşmelerden ilham alarak kurduğumuz Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC), benim *başarı üçgeni* olarak tanımladığım ve Türkiye'nin gelişimi için çok önemli olduğuna inandığım, kamu-özel sektör-akademi iş birlikleri modeliyle, daha temiz ve güvenli bir enerji geleceğine katkısını artırmaya devam etmektedir.

IICEC'in, Dr. Fatih Birol'un fikri önderliğinde hazırlayarak 2020 yılında Türkiye'de bir ilk olarak yayımladığı, ülkemizin enerji geleceği ile ilgili stratejik bir bakış içeren "Turkey Energy Outlook" (TEO) çalışması, sektörde tüm paydaşlar tarafından geniş bir kabul gördü. TEO, daha verimli, güvenli, rekabetçi, teknoloji odaklı ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine ulaşılabilmesi için sunduğu somut önerilerle referans niteliği kazanırken, aynı zamanda gelişmekte olan ülkeler için de güzel bir örnek oluşturdu.

Yıllar önce Dr. Birol'dan, elektrikli araçların, genelde beklenenden daha hızlı bir büyüme ivmesine girerek, güvenli ve temiz bir enerji sistemine ulaşılmasında en kritik teknolojilerden birisi konumuna geleceğini dinlemiştik. Bu teknoloji, gerçekten de, aradan geçen yıllar içerisinde hızla gelişirken, enerji ve ulaşımda payını hızla yükseltmeye devam etmektedir. Küresel enerji dönüşümünde rolünü güçlendiren, Türkiye için de yüksek gelişim potansiyeli ve önemli fırsat alanları sunan bu kritik başlık, Dr. Birol'un IICEC'e bu yıl için verdiği projenin konusu oldu.

Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü çalışmasında, analitik ve bütüncül bir yaklaşımla, elektrikli araçlarda ve ilgili teknolojilerde büyüme perspektifinin, Türkiye'nin enerji dengelerine ve çevresel performansına etkileri irdelenerek, çok boyutlu faydaların gerçekleştirilebilmesi için somut öneriler sunuluyor.

IICEC tarafından, yine Türkiye'de bir ilk olarak gerçekleştirilen bu çalışmanın, gelişen e-mobilite ekosisteminin tüm paydaşları için bir referans oluşturmasını, temiz enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin rolünün artacağı, daha verimli, güvenli ve rekabetçi bir enerji geleceğine önemli katkılar sunmasını bekliyorum. Bu çalışmanın, Türkiye'nin bu yıl içerisinde Paris Anlaşması'nı onaylaması ile temiz enerji dönüşümünde girdiği yeni bir dönemin başlangıcında, zamanlama olarak da ayrıca değer taşıdığını düşünüyorum.

Güler Sabancı

Sabancı Üniversitesi Kurucu Mütevelli Heyeti Başkanı

Yazarlar

IICEC Direktörü **Bora Şekip Güray** tarafından yönetilen IICEC "Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü 2021" çalışması, **Bora Şekip Güray** ve IICEC Enerji Analisti **Ersin Merdan** tarafından kaleme alınmıştır. Çalışmada, IICEC "Turkey Energy Outlook" çalışmasının kritik bulgularından ve enerji modellemesi altyapısından geniş ölçüde faydalanılırken, enerji ve ulaştırma sektörlerine ilişkin detaylı bir veri tabanı kullanılmıştır.

Teşekkürler

Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü çalışması, enerji ve otomotiv sektörleri ve diğer ilgili sektörlerden çok sayıda liderin ve uzmanın destekleri ve iş birlikleri ile hazırlanmıştır.

- **Sabancı Üniversitesi Kurucu Mütevelli Heyeti Başkanı Güler Sabancı'ya**, IICEC'in gelişimine liderlikleri, Türkiye'nin daha temiz ve güvenli enerji geleceğine yönelik analitik çalışmaları destekleyen vizyonları için,
- **Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Direktörü ve IICEC Onursal Başkanı Dr. Fatih Birol'a**, IICEC'in iş planlarına ve bu çalışmaya fikri liderlikleri için,
- **Sabancı Üniversitesi Rektörü Prof. Dr. Yusuf Leblebici'ye**, IICEC'e bağımsız bir araştırma ortamı ve olanağı sağlayan destekleri için,
- **IICEC Yönetim Kurulu'na**, IICEC'in gelişimine sürekli katkıları için,

teşekkür ederiz.

Çalışmanın gelişimine vizyonları ile ışık tutan, Shell Türkiye Ülke Başkanı **Ahmet Erdem'e**, Sabancı Holding Enerji Grup Başkanı **Kıvanç Zaimler'e**, Enerjisa Enerji CEO'su **Murat Pınar'a**, SIRO Genel Müdürü **Özgür Özel'e**, Zorlu Enerji CEO'su **Sinan Ak'a**,

Yakın iş birlikleri için **Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneğine (ELDER)** ve **Otomotiv Sanayii Derneğine (OSD)**,

Analizlere destek veren **Alper Özmumcu'ya**,

Çalışmaya değerli görüş ve önerileri ile katkı sağlayan aşağıda isimleri sunulan sektör paydaşlarına

teşekkür ederiz¹.

¹ İsimler alfabetik olarak belirtilmiştir.

- Ali Türkmen
- Atacan Gülbay
- Aynur Tokel
- Barış Tuğrul Ertuğrul
- Başak Avcı
- Burçin Acan
- Bülent Caner
- Caner Sevginer
- Cem Bahar
- Ceren Sümer
- Didar Gürcü
- Emrah Kalkan
- Emrah Özsavaşçı
- Emre Okuyan
- Ernur Mutlu
- Fakir Hüseyin Erdoğan
- Hakan Yıldırım
- Hayri Erce
- Hülya Akınç
- İbrahim Erden
- İbrahim Halil Karaca
- İnanç Salman
- İsmet Kağan Yıldırım
- İstemi Mavi
- M. Özge Özden
- Mehmet Kapusuz
- Murat Çetinkaya
- Osman Nuri Çalışkan
- Osman Tufan Doğan

OEDAŞ
ELDER
İklim Danışmanı
WAT Motor
Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi
ZES
Shell
TEMSA
Eşarj
Eşarj
Aspilsan
BEDAŞ
Shell
Borusan EnBW Enerji
OTEP
EPDK
Sanko Enerji
ODD
Enerjisa Enerji
RHG Enertürk
TOGG
Zorlu Enerji
Tofaş
ELDER
ELDER
Fichtner
ELDER
Enerjisa Enerji
INNOVA

● Özlem Güçlüer	OSD
● Recep Arslan	ZES
● Selman Nair	Fırat EDAŞ
● Selmiye Alkan Gürsel	Sabancı Üniversitesi
● Serhat Can	MRC Türkiye
● Serkan Valandova	YASED
● Sertaç Yerlikaya	TÜSSİDE
● Seyit Cem Yılmaz	BEDAŞ
● Şule Kılıç	EBRD
● Yasemin Kardeş	TÜSSİDE
● Zeynep Pınar Öztürk	CERES ENVE

Çalışmaya katkı sağlayan kurumlar ve uzmanlar, burada yer verilen görüşlerden sorumlu değildir.

Sorularınız ve görüşleriniz için:

Bora Şekip Güray

Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC)

Bankalar Caddesi, No:2,

Karaköy, İstanbul,

Türkiye

tevo.iicec@sabanciuniv.edu

Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü ile ilgili detaylı bilgilere

<https://iicec.sabanciuniv.edu> adresinden ulaşabilirsiniz

İÇİNDEKİLER

Yönetici Özeti

17

Bölüm 1: Giriş

21

Bölüm 2: Elektrikli Araçlar ile Temiz Enerji Büyümesinde Çok Boyutlu Fırsatlar

29

Bölüm 3: Elektrikli Araçlara Küresel ve Bölgesel Bakış

79

Bölüm 4: Türkiye'ye Bakış

135

Bölüm 5: Elektrikli Araç Gelişiminin Çok Boyutlu Etkileri, Gelişim Alanları ve IICEC Önerileri

169

Ekler

207

IICEC Hakkında	3
Önsöz	5
Yazarlar	6
Teşekkürler	7
Yönetici Özeti	17

1 Giriş	21
----------------	-----------

2 Elektrikli Araçlar ile Temiz Enerji Büyümesinde Çok Boyutlu Fırsatlar	29
--	-----------

2.1. Giriş	30
-------------------	-----------

2.2. Mega Trendler ve E-Mobilité	31
---	-----------

2.2.1. Kentleşme, Ekonomik Aktivite ve Artan Seyahat Talebi	31
---	----

2.2.2. İklim Değişikliği ile Acil Mücadele Gereksinimi	34
--	----

2.2.3 Küresel Net-Sıfır Emisyon (NZE) Patikası	38
--	----

2.2.4. BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ve Daha Geniş Kapsamda Sürdürülebilirlik	42
--	----

2.2.5. Enerji Ekonomisinde Daha Geniş Elektrifikasyon ve Dijitalleşme	46
---	----

2.3. Karayolu Taşımacılığında Elektrikli Araçlar ve E-Mobilitenin Taksonomisi	49
--	-----------

2.4. EA'ların Çok Boyutlu Faydaları	53
--	-----------

2.4.1 Güçlendirilmiş Enerji Verimliliği	53
---	----

2.4.2 Düşük Sera Gazı Emisyonu ve Hava Kalitesinde İyileştirme	54
--	----

2.4.3 Petrolün İkamesi ve Yakıt Portföyünde Çeşitlendirme	57
---	----

2.4.4. Diğer Faydalar	59
-----------------------	----

2.5. Zorluklar ve Fırsatlar	60
------------------------------------	-----------

2.5.1. Maliyetler ve Kullanıcı İçin Ekonomiklik	61
---	----

2.5.2. Menzil Performansı	65
---------------------------	----

2.5.3. Şarjın Emre Amadeliği ve Süresi	66
--	----

2.5.4. Elektrik Şebekesiyle Entegrasyon	69
2.5.5. Maden Gereksinimleri ve Tedarik Zinciri Hususları	70
2.5.6. Batarya ile İlgili Diğer Zorluklar ve Fırsatlar	72

Referanslar	74
--------------------	----

3 Elektrikli Araçlara Küresel ve Bölgesel Bakış 79

3.1. Elektrikli Araç Gelişimini Farklı Piyasa Koşullarında Anlamak	80
3.1.1. Elektrikli Araç Satışlarında ve Parkında Gelişim	80
3.1.2 Bölgesel Farklılıklar	81
3.1.3. Avrupa Odaklı Gelişmeler	86
3.1.4. EA Büyümesinin Dinamosu Olarak Şehirler	89

3.2. Diğer Önemli Gelişmeler	92
3.2.1. Elektrikli Araç Üretimi ve Modelleri	92
3.2.2. Şarj Altyapısında Gelişmeler	94
3.2.3. Batarya Ekosisteminde Gelişmeler	98
3.2.4. Hidrojen Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlarda Gelişmeler	100
3.2.5. Enerji Dengelerine Etkiler	101
3.2.6 Çevresel Performansa Etkiler	103

3.3. Net Sıfır Emisyon Hedefine Doğru Elektrikli Araç Gelişim 103

Perspektifi

3.3.1. Küresel Net Sıfır Emisyon Perspektifi ve Ulaştırma Enerji Ekonomisini Karbondan Arındırma	103
3.3.2. Karayolu Ulaşımının Dekarbonizasyonu	106
3.3.3. 2050'ye Doğru Kilometre Taşları	107

3.4. Kritik Politika, Endüstri, Teknoloji ve İnovasyon Alanları 110

3.4.1. Politika Çerçevesi, Örnekler ve Çıkarılan Dersler	110
3.4.1.1. Temel Politika Bileşenleri	111
3.4.1.2. Diğer Düzenleyici ve Destekleyici Mekanizmalar	114

3.4.1.2.1. Araç Düzenlemeleri ve Teşvikleri	116
3.4.1.2.2. Batarya Düzenlemeleri ve Teşvikleri	121
3.4.1.2.3. Şarj Düzenlemeleri ve Teşvikleri	122
3.4.2 Endüstriyel Yönelimler	123
3.4.3. Kritik Teknoloji ve İnovasyon Alanları	125
Referanslar	129

4

Türkiye'ye Bakış	135
-------------------------	-----

4.1. Türkiye Ulaştırma Sektörünün Enerji ve Emisyon Dinamikleri	136
--	-----

4.1.1. Ulaştırma Sektörünün Temel Karakteristikleri	136
4.1.2. Ulaştırma Sektöründe Enerji Talebi: Fosil Yakıtlara ve İthal Enerjiye Yüksek Bağımlılık	137
4.1.3. Ulaştırma Sektörünün Emisyon Envanteri	141
4.1.4. Türkiye, Paris Anlaşması ve Net-Sıfır Emisyon Perspektifi	144
4.1.5. Türkiye Ulaştırma Sektörü için Enerji ve Çevre Odaklı Politika Seçenekleri	144

4.2. Otomotiv Endüstrisi ve Karayolu Araç Parkına Bakış	145
--	-----

4.2.1. Otomotiv Endüstrisinde Öne Çıkanlar	145
4.2.2. Karayolu Araç Parkında Gelişmeler	148

4.3. Elektrikli Araçlarla İlgili Önemli Gelişmeler	155
---	-----

4.3.1. Elektrikli Araç Parkının Gelişimi	155
4.3.2. Şarj Altyapısının Gelişimi	156
4.3.3. Batarya Ekosisteminde Öne Çıkan Gelişmeler	157
4.3.4. Elektrik Sistemi ile İlişkili Konular	158
4.3.4.1 Elektrik Üretiminin Gelişimi ve Karbondan Arındırılması	158
4.3.4.2 Türkiye Elektrik Sisteminin Omurgası Elektrik Şebekelerinde Gelişmeler	161
4.3.5 İlgili Politika Belgeleri ve Hedefler	163

Referanslar	165
--------------------	-----

5.1. IICEC Senaryolarının Çerçeveseleri	170
5.2. Senaryolarda Elektrikli Araç Satışlarında ve Parkında Gelişim	171
5.3. Senaryo Sonuçları	175
5.3.1. Enerji Verimliliğine Etkiler ve Enerji Tüketiminin Gelişimi	175
5.3.2. Petrol Tüketimine Etkiler	176
5.3.3. Elektrik Talebine Etkiler	179
5.3.3.1. Yıllık Elektrik Enerjisi Talebine Etkiler	179
5.3.3.2. Değişken Elektrik Talebi ve Şebeke Dinamiklerine Etkiler	180
5.3.4. Sera Gazı Emisyonlarına Etkiler	183
5.3.5. Batarya Talebinin Gelişimi	186
5.3.6. Senaryoların Özeti	187
5.3.7. Diğer Analizler	188
5.4. Gelişim Alanları, Fırsatlar ve IICEC Önerileri	190
5.4.1. Genel Politika Çerçevesinde Gelişim Alanları ve Fırsatlar	190
5.4.2. Otomotiv Endüstrisinde Gelişim Alanları ve Fırsatlar	190
5.4.3. Şarj Altyapısında Gelişim Alanları ve Fırsatlar	192
5.4.4. Elektrik Sektörü ile İlişkili Gelişim Alanları ve Fırsatlar	193
5.4.5. Batarya Ekosisteminde Gelişim Alanları ve Fırsatlar	194
5.4.6. Teknoloji ve İnovasyon Odaklı Diğer Gelişim Alanları ve Fırsatlar	197
5.4.7. Gelişim Alanlarının Özeti ve IICEC Önerileri	201
Referanslar	205
Ekler	207
EK A: Temel Politika Belgeleri ve Veri Kaynakları	209
EK B: Dönüşüm Faktörleri	210
EK C: Kısaltmalar	211

Yönetici Özeti

Kişi başına otomobil sahipliği ve kişi başına enerji tüketimi gelişmiş ekonomilerin ortalamalarının üçte biri seviyelerinde olan Türkiye’de, nüfus artışı, genç nüfus, kentleşme, sanayileşme, hizmet sektörlerinde büyüme ve yeni talep merkezlerinin oluşumu, artan ulaşım talebinin itici unsurları olmaya devam edecektir. Pek çok ülkede olduğu gibi, yolcu ve yük taşıma aktivitesinin ağırlıklı bölümünü oluşturan karayolu ulaşımı, %90 üzerinde ithalat ile karşılanan petrol tüketiminde de başı çekmektedir. Sera gazı emisyon envanteri bakımından elektrik üretiminden sonra ikinci sırada olan karayolu ulaşımı, hava kirlетici gazlardaki ağırlığıyla da çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik bakımından öne çıkmaktadır.

Dünya genelinde elektrikli araçlar pazarında ve ilgili teknolojilerde büyüme ve gelişim ivmesi hızlanmaktadır. Türkiye’de elektrikli araçların üretimi için devam eden yatırımlar, açıklanan 2030 hedefleri, düzenleyici çerçevede 2021 yılı içerisinde atılmaya başlanan adımlar, batarya ekosisteminde, dijitalleşmede ve bağlantılı teknolojilerde değer odaklı yeni girişimler, Türkiye’nin E-mobilitе alanında yüksek potansiyelinin değerlendirilebilmesi için önemli bir baz oluşturmaktadır. Paris Anlaşması’nın onaylanması ve 2053 yılında net-sıfır emisyonu ulaşma hedefinin açıklanmasıyla, temiz enerji dönüşümünde yeni bir dönemde girilmiş olması da, Türkiye için yüksek potansiyele sahip bu alanda büyümeyi destekleyecektir.

Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü, IICEC tarafından Türkiye’de bir ilk olarak gerçekleştirilen Turkey Energy Outlook (Türkiye Enerji Görünümü) çalışmasını ve Türkiye enerji sektörünün arzdan talebe tüm değer zincirine bütüncül bir perspektifi yansıtan enerji modellemesi altyapısını temel almaktadır. Sektörde bir ilk olan ve senaryo bazlı bir yaklaşım ile gerçekleştirilen bu çalışmada, karayolu ulaşımı ve elektrifikasyona ilişkin detaylı bir veri altyapısı kullanılmıştır.

IICEC Senaryoları

Türkiye’de elektrikli araçlarda büyüme perspektifi iki temel senaryo ekseninde modellenerek irdelenmiştir. 2030 yılına doğru iki farklı büyüme patikasında, elektrikli araçların farklı hızlarda karayolu araç parkı gelişimine eklenmesinin, enerji dengelerine ve emisyon envanterine etkileri sayısal olarak sunulmuştur.

2030 yılında hafif araç pazarında elektrikli araçların yaklaşık altıda-bir pazar payına sahip olduğu **Yavaş Büyüme Senaryosunda**, elektrifikasyonu destekleyecek politika çerçevesinin öngörülebilirliğinde, yatırımlarda, altyapıda ve yenilikçi iş modellerinde gelişim sınırlı kalmakta, teknolojik fırsatlar kısmen değerlendirilebilmektedir. Elektrikli hafif araçların 2030 yılında üçte birin üzerinde pazar payına ulaştığı, ağır ticari araçlarda elektrifikasyon gelişiminin de güçlendiği **Yüksek Büyüme Senaryosunda** ise, Türkiye’nin E-mobilitе dönüşümündeki yüksek potansiyeli uzun vadeli ve bütüncül sanayi, enerji, ulaşım, iklim politika hedefleri ve bunları destekleyecek yol haritaları,

etkin düzenlemeler, öngörülebilir ve rekabetçi yatırım çerçeveleri, yenilikçi finansman ve iş modelleri yoluyla daha hızlı ve yaygın olarak değerlendirilebilmektedir. Dünyadaki iyi uygulama örneklerinden de faydalanan ve 2030 yılında elektrikli araç parkının Düşük Büyüme Senaryosunun iki kat üzerine çıkarak 2 milyon seviyesine, hafif ticari araç parkında elektrikli araçların payının %7'ye ulaştığı bu senaryoda, Ar-Ge, inovasyon ve girişimcilik ekosistemi de hızlı büyümeyi desteklemektedir.

Karayolu ulaşımından kaynaklı sera gazı emisyonları, elektrifikasyonun gerçekleşmediği durumda 2020-2030 döneminde dörtte-bir oranında artarken, bu artış Yüksek Büyüme Senaryosunda %20'ye düşmektedir. Yüksek Büyüme Senaryosunda 2030 yılına kadar olan dönemde sera gazı emisyonlarında 10 milyon ton CO₂-eşdeğeri azaltım gerçekleşebilmektedir. Sektörün mevcut emisyonlarının %13'üne karşılık gelen bu değer, tarımdaki mevcut emisyon miktarına, çelik endüstrisi mevcut emisyonlarının ise iki katına eşittir.

Karayolu ulaşım emisyonları, Düşük Büyüme Senaryosunda 2030 yılında artmaya devam ederken, Yüksek Büyüme Senaryosunda 2029 yılında en yüksek seviyesinden azalım patikasına geçerek, net-sıfır emisyon perspektifine uyumlu geleceği desteklemektedir. Yüksek Büyüme Senaryosu, temiz elektriğin petrolü ikame etmesiyle, enerji dengelerinin iyileşmesine de önemli katkı sunmaktadır. 2030 yılına kadar olan dönemde toplam petrol maliyetlerinde mevcut fiyat seviyelerinde 2,5 milyar ABD\$ tasarruf (2021 reel fiyatlarıyla) sağlanmakta, küresel petrol fiyatlarındaki dalgalanmalardan kaynaklı riskler azalmaktadır. 2030 yılında elektrikli araçlardan kaynaklı yaklaşık 6 TWh/yıl talep, ortalama 1,3 milyar ABD\$ tutarında yenilenebilir elektrik üretim yatırımı ile gerçekleştirilebilmektedir (2021 reel fiyatlarıyla).

Bu avantajların en uygun maliyetle gerçekleştirilmesi için şarj altyapısında ve elektrik şebekelerinde yatırımların, uzun vadeli bir perspektifle planlanarak verimli şekilde hayata geçirilmesi önemlidir. Ayrıca, karbon emisyonları başta olmak üzere çevresel etkiler ile ilgili dışsallıkların gelecekteki maliyetlerinden sağlanacak tasarruflar da bütüncül perspektifte ekonomik katkılara etki edecektir. Temiz enerji teknolojilerinde küresel trendlerin daha hızlı yakalandığı, Avrupa pazarları ile uyum hızının da yükseldiği Yüksek Büyüme Senaryosu, daha verimli, daha az ithal enerji ve daha düşük karbon yoğunluğuna sahip bir gelişim patikası sunarak, Türkiye'nin temiz enerji dönüşümünü ve enerji güvenliğini güçlü şekilde desteklemektedir. Tüm bu kazanımların sağlanabilmesi için, kamu, özel sektör, akademi iş birlikleri ve eşgüdüm içerisinde kritik gelişim alanlarında önemli iyileşmeler sağlanması gerekmektedir.

Temiz enerji odaklı politika hedefleri ve yol haritaları: Sürdürülebilir ve güçlü büyüme, kamu, özel sektör, akademi iş birlikleri ve koordinasyonu içerisinde, temiz enerjiyi odağına alan somut ve ulaşılabilir politika hedefleri ile desteklenen, uzun vadeli yol haritalarının hayata geçirilmesi ile sağlanabilecektir. Dünyadaki iyi uygulama örneklerine benzer şekilde, verimlilik, rekabetçilik ve sürdürülebilirlik ekseninde, teknoloji ve kullanıcı odaklı yönlendirici ve destekleyici mekanizmaların geliştirilmesi, elektrikli araçlarda çok boyutlu faydalar sunacak dönüşümü hızlandıracak ve güçlendirecektir.

Otomotivde dönüşüm ve mobilite: Otomotiv iş kolu, tüm dünyada geniş kapsamlı bir mobilite sistemine evrilirken, iç pazardaki yüksek büyüme potansiyeli ve Avrupa pazarlarındaki yeni dinamikler, Türkiye otomotiv endüstrisinde elektrifikasyon, yeni teknolojiler ve rekabetçilik için kritik bir dönüşüm hamlesinin önemini ortaya koymaktadır. Son dönemde TOGG ve Ford Otosan tarafından elektrikli araç üretiminde sürdürülen yatırımlar, yerli üretim kabiliyetlerinin gelişimi, böylelikle sektörün bölgesel ve küresel rekabetçiliğinin teknoloji odaklı sürdürülebilirliği için büyük önemdedir. Bu atılımlar, önümüzdeki dönemde yeni yatırım fırsatlarının gelişimine de zemin oluşturabilecektir. Araç teknolojilerinde ve araç parkının dönüşümünde çevreci, yüksek verimli tercihleri öne çıkaracak politika araçları ve teşvik uygulamaları, iç pazardaki yüksek büyüme ve kritik dönüşüm fırsatlarını desteklerken, otomotiv endüstrisinin ve destekleyici iş kollarının dünyadaki ve Avrupa'daki trendler ile uyumlu gelişimine, insan kaynağı ve dijitalleşme boyutlarıyla rekabetçiliğinin sürdürülebilirliğine önemli katkı sunacaktır.

Şarj altyapısında serbest piyasa ve kullanıcı odaklı, güçlü büyüme: Şarj altyapısında gelişim, son dönemde bu alana yapılan yatırımlarla elektrikli araç parkındaki büyümenin önünde gitmektedir. Ancak, bu büyüme ivmesinin 2022 yılından itibaren araç parkının elektrifikasyonunda gerçekleşecek ve özellikle 2025 yılından sonra daha da hız kazanacak büyümeyi destekleyecek şekilde güçlendirilmesi kritiktir. E-mobilite'nin çok boyutlu faydalarının gerçekleşebilmesi için, birincil mevzuat ile tanımlanan düzenleyici çerçevenin, yatırımlara hız kazandıracak şekilde, serbest piyasa kurgusunu esas alan, farklı kullanım özelliklerini ve bölgesel farklılıkları yansıtan, teknoloji ve kullanıcı odaklı ikincil düzenlemeler ile geliştirilmeye devam edilmesi kritik rol oynayacaktır.

Elektrik sisteminde temiz enerji eksenli ve teknolojik dönüşüm: Ulaşımda elektrifikasyonun çevresel performansına ilişkin kazanımlar, temiz enerji dönüşümü içerisinde yeşil elektrik üretiminin artırılması ile sağlanabilecektir. Arzda değişkenliğin artmasına ek olarak elektrikli araçlar ile eklenecek değişken ve dalgalı talep dinamikleri ise, büyüyen ve gelişen elektrik sisteminin omurgasını oluşturan elektrik dağıtım şebekelerinin verimliliğin ve esnekliğinin artırılması ile yönetilebilecektir. Elektrifikasyonu ve dijitalleşmeyi merkezine alan, aynı zamanda daha dağıtık nitelik kazanacak olan enerji sisteminde, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla azami toplumsal faydanın sağlanmasında geleceğin elektrik dağıtım sisteminin kritik bir rolü olacaktır. Bu dönüşüm, elektrik şebekesi planlamalarının ve gerekli yatırımlarının elektrik araçların entegrasyonunu destekleyecek şekilde hayata geçirilmesi, akıllı şebekelere dönüşümün gerçekleştirilmesi, dinamik talep yönetimi, şebeke bağımsız uygulamalar, enerji depolama ve mikro şebekeler gibi verimli çözümlerin yaygınlaşmasının desteklenmesi ile sağlanabilecektir.

Yeni teknolojiler ve girişimcilik ekosisteminde fırsatlar: Çok boyutlu faydalar, özellikle yazılım ve dijitalleşme alanlarında, inovasyon ve yerli üretim yetkinliklerinin değerlendirilmesi ve yeni nesil iş modelleri ile daha ileriye taşınabilecektir. Temiz enerji odaklı yeni finansman kaynaklarıyla da desteklemesi gereken bu adımlar, enerji

verimliliği, temiz enerji üretimi ile entegrasyon, akıllı şehirlere dönüşüm ve çevresel sürdürülebilirlik için kazanımların da destekleyicisi olacaktır. Batarya teknolojilerinde, hücre seviyesini de kapsayacak yatırımların hayata geçirilmesi, Türkiye'nin artan iç talebine ve tedarik güvenliğine katkı sağlarken, enerji depolama sistemlerine genişleyecek çözümler yoluyla temiz elektrik dönüşümünü ve bu alanda bölgesel merkez olma perspektifini de destekleyecektir. Bütün bu kazanımlar, girişimcilik ekosistemi ve insan kaynaklarının, Türkiye için çok kritik olan bu teknolojik dönüşümün merkezinde konumlanarak güçlendirilmesi ile sağlanabilecektir.

IICEC Önerileri

IICEC, Türkiye'nin elektrikli araçlar ve ilgili teknolojilerin gelişiminde çok boyutlu fırsatlar sunan yüksek büyüme potansiyelinin değerlendirilmesi için,

1. 2053 net-sıfır hedefi ve temiz enerji dönüşümü ekseninde, somut, gerçekçi ve ulaşılabilir politika hedeflerinin belirlenmesini, yönlendirici ve destekleyici mekanizmaların uygulanmasını ;
 - 2030 yılında en az 2 milyon elektrikli araç ve 200.000'in üzerinde kamuya açık şarj soketine ulaşacak yol haritasının hayata geçirilmesini,
 - Destekleyici mekanizmaların, enerji ithalatı ve çevresel performans faydalarını da yansıtacak şekilde geliştirilmesini,
2. Bu dönüşümün sürdürülebilirliğinin, yeşil enerji kaynaklarının gelişimi yoluyla güvence altına alınmasını;
3. Çevreyi ve teknolojiyi eksenine alan, bütüncül bir E-mobilite ekosisteminin, kamu, özel sektör, akademi iş birlikleri ve eşgüdüm içerisinde, azami toplumsal fayda ekseninde geliştirilmesini;
 - Otomotiv endüstrisinin rekabetçi dönüşümü için teknoloji odaklı fırsatların değerlendirilmesini,
 - Şarj noktalarının ve elektrik dağıtım şebekelerinin en verimli şekilde planlanarak işletilmesini,
 - Yenilikçi finansmanın ve piyasa ve kullanıcı odaklı, yeni nesil iş modellerinin yaygınlaştırılmasını,
4. Dijitalleşme, akıllı sistemler, enerji depolama gibi yüksek değer önermesi sunan teknolojilerde Ar-Ge ve yerli üretime hız verilmesini;
5. Bireysel ve kurumsal girişimcilik ekosisteminin ve insan kaynakları potansiyelinin, bölgesel ve küresel aktör olarak konumlanmayı destekleyecek şekilde güçlendirilmesini önermektedir.

BÖLÜM 1:

Giriş

IICEC “Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü” çalışması, Türkiye’nin elektrikli araçlarda büyüme ve E-mobilite ekosisteminde yüksek gelişim potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik uzun vadeli ve stratejik bir bakış açısı içerisinde somut öneriler sunmaktadır.

Enerji ve ulaştırma sektörlerinde, enerji dengelerine, emisyon dinamiklerine ve ilgili teknolojilere analitik ve bütüncül bir bakış ve senaryo bazlı modelleme yaklaşımı ile gerçekleştirilen bu çalışma, IICEC tarafından geliştirilen “Turkey Energy Outlook” çalışmasının kritik bulgularını ve bütüncül modelleme altyapısını esas almaktadır¹. Türkiye Elektrikli Araçlar Görünümü çalışmasının modelleme sonuçları, analizleri ve diğer bulguları, karayolu ulaşımı, otomotiv ve elektrik sektörleri ve ilişkili diğer alanlardaki politikalar, piyasalar ve teknolojilerde güncel veri setleri ve analizler ile desteklenmiştir. Çalışmanın gelişiminde, konuya ilişkin güncel politika belgeleri, istatistikler ve sektörel raporlar dikkate alınmıştır (EK-1).

Çalışma 5 Bölümden oluşmaktadır.

- **Bölüm 2’de**, elektrikli araçların temiz enerji gelişiminde sunduğu çok boyutlu fırsatlar küresel bir bakış açısı içerisinde irdelenmektedir. Gelişim perspektifi, İklim değişikliği ile ilgili güncel gelişmeler, COP26 Konferansının çıktıları, Uluslararası Enerji Ajansı’nın küresel enerji sisteminin 2050 itibarıyla karbondan arındırılmasının yol haritasını sunan Net-Sıfır Emisyon Patikası (NZE), Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ve elektrifikasyonun gelişimi gibi kritik belirleyici unsurlar çerçevesinde aktarılmaktadır. Mega trendlerin kesişim kümesinde bulunan elektrikli araçlar ve E-mobilite ekosisteminin, enerji verimliliği ve çevresel performans başta olmak üzere çok boyutlu ekonomik, çevresel ve sosyal faydaları değerlendirilmektedir. İlgili teknolojilerin ana unsurları hakkında bilgilendirmeyi de amaçlayan bu bölümde, gelişimin önündeki zorluklar ve iyileştirilmesi gereken fırsat alanları da sunulmaktadır.
- Elektrikli araçlarda büyüme dinamikleri ve güncel gelişmelere ilişkin küresel bir bakış sunulan **Bölüm 3’te**, bölgeler arasındaki farklılıklar ve bu farklılıkları belirleyen ana faktörler irdelenmektedir. Net-sıfır emisyon hedefi içerisinde elektrikli araçların 2050 yılına doğru küresel gelişimine ilişkin projeksiyonlar ve bununla uyumlu olarak destekleyici altyapıda ve teknolojilerde sağlanması gereken büyümeye ilişkin perspektifin aktarıldığı bu bölümde, kritik politika, sanayi, teknoloji ve inovasyon alanlarında öne çıkan başlıklar üzerinden değerlendirmeler yapılmaktadır. İlgili politika çerçevelerinde, hedeflerde ve önceliklerde bölgesel gelişmelerin bir sentezi yapılarak, düzenleyici ve destekleyici mekanizmalardan örnek uygulamalar aktarılmaktadır.

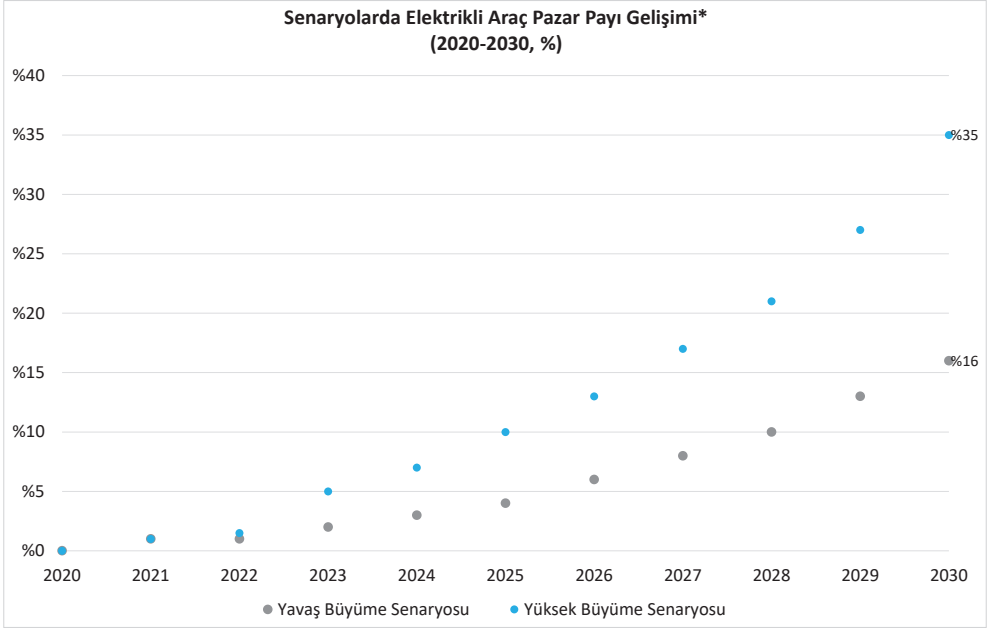
¹ IICEC Turkey Energy Outlook çalışması, TEO Yönetici Özeti ve somut önerileri için:

<https://iicec.sabanciuniv.edu/teo>

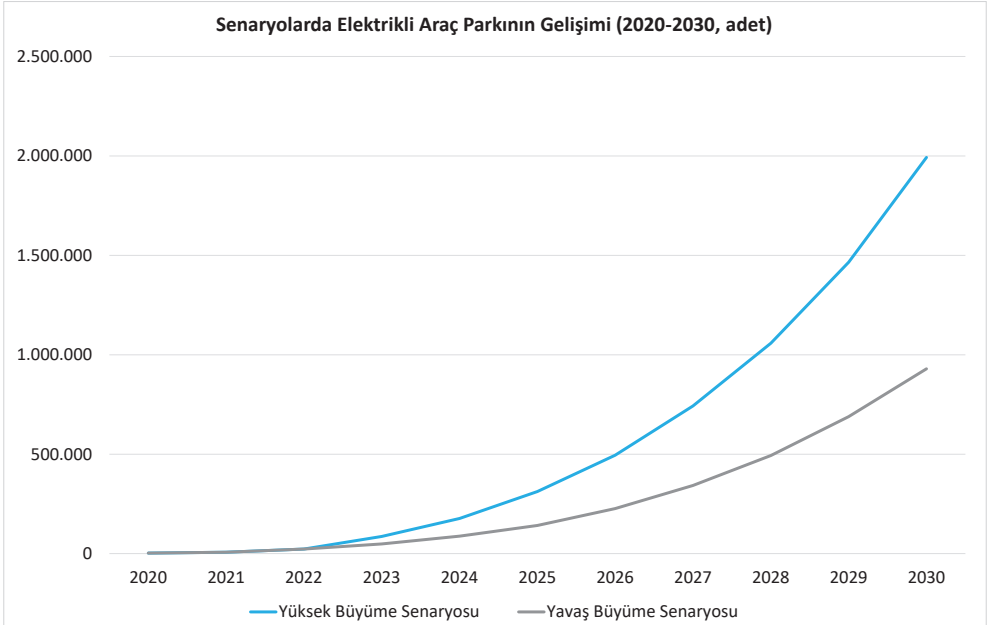
- Türkiye'nin enerji ve ulaştırma dinamiklerine bütüncül bir bakış içerisinde, karayolu ulaşımında, otomotiv ve elektrik sektörlerinde öne çıkan dinamikler **Bölüm 4'te** irdelenmektedir. Bu bölümde elektrikli araçlar ve E-mobilité ekosistemindeki güncel gelişmeler ve beklentiler, ilgili politika öncelikleri ve hedefleri ile birlikte sunulmaktadır.
- Türkiye'de elektrikli araçlarda büyümenin çok boyutlu etkilerinin 2030 yılına kadar olan dönemde senaryo bazlı olarak değerlendirildiği **Bölüm 5'te**, IICEC senaryolarında elektrikli araçlarda büyümenin Türkiye'nin enerji dengelerine ve emisyon envanterine etkileri ve daha güvenli ve verimli enerji geleceğine katkıları sayısal olarak sunulmaktadır. Dünyadaki iyi uygulama örnekleri, Türkiye'deki mevcut durum ve beklentiler çerçevesinde, yüksek büyüme potansiyelinin gerçekleşmesini destekleyecek gelişim alanları irdelenmektedir. Türkiye'nin elektrikli araçlar ve ilgili teknolojilerin gelişiminde çok boyutlu fırsatlar içeren yüksek büyüme potansiyelinin değerlendirilmesi için somut öneriler sunulmaktadır.

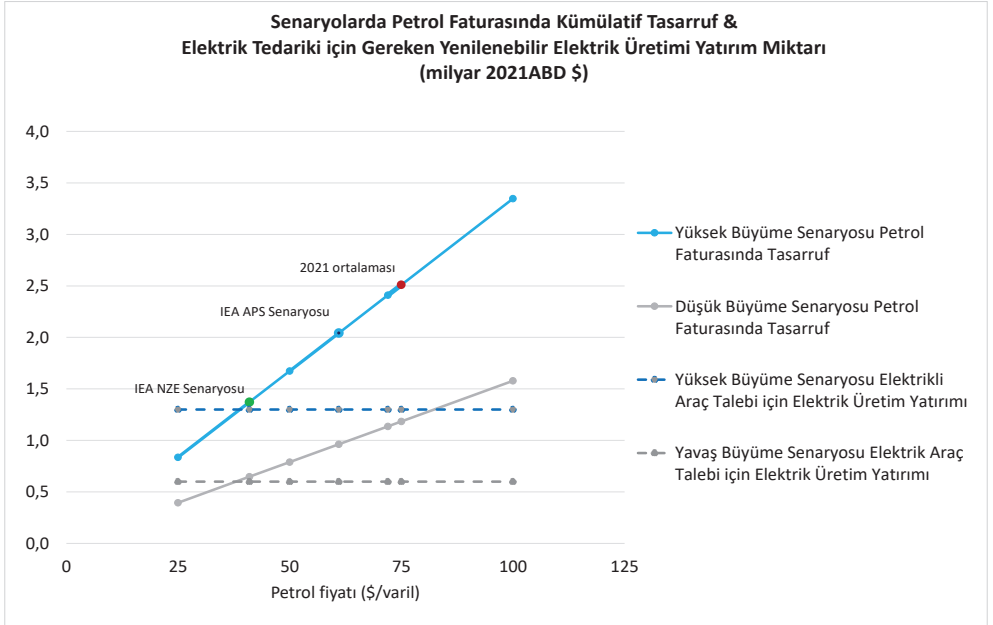
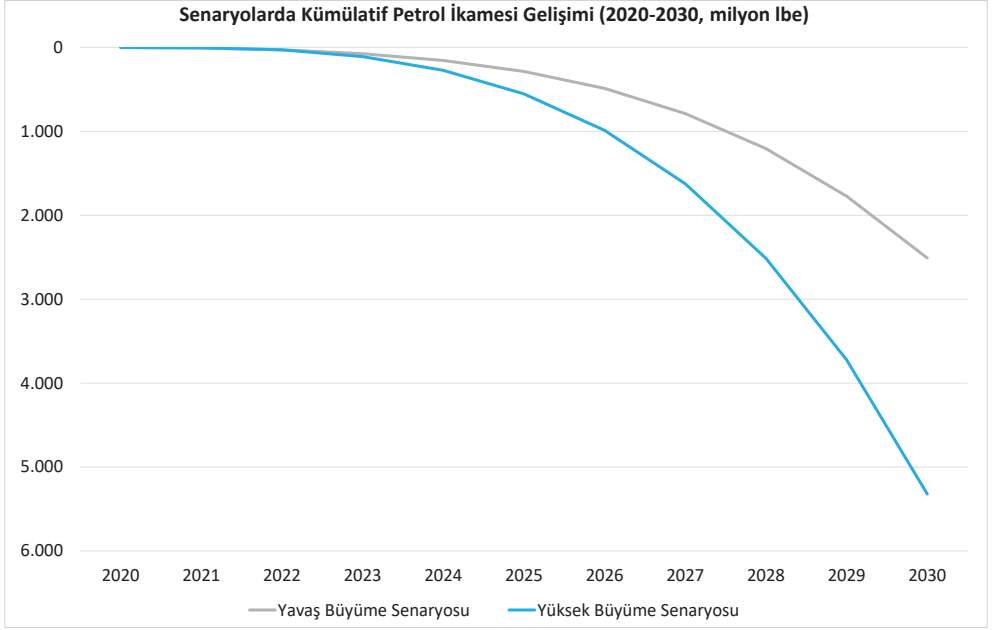
Temel Göstergeler		Yavaş Büyüme Senaryosu		Yüksek Büyüme Senaryosu	
	2021	2025	2030	2025	2030
Elektrikli Araçların Pazar Payı (%)					
otomobil	<%1	4	16	10	35
hafif ticari	0%	4	16	10	35
minibüs ve otobüs	0%	20	30	25	50
kamyon	0%	0	0	0	15
Elektrikli Araçların Araç Parkındaki Payı (%)					
otomobil	<%1	1	3	1	7
hafif ticari	0%	<1%	2	1	5
minibüs ve otobüs	0%	<1%	1	<1%	2
kamyon	0%	0	0	0	<1
Batarya Talebi (GWh)	<1	3,5	17,8	8,5	39,0
<i>2030 yılına kadar</i>					
Kümülatif Petrol İkamesi (milyar lbe)		2,5		5,3	
Petrol Faturasında Azaltım (milyar 2021 ABD\$)*		1,2		2,5	
Sera Gazı Emisyonu Azaltımı (milyon ton CO₂-eşdeğeri)		5,0		99	

*2021 ortalama Brent fiyatları ile

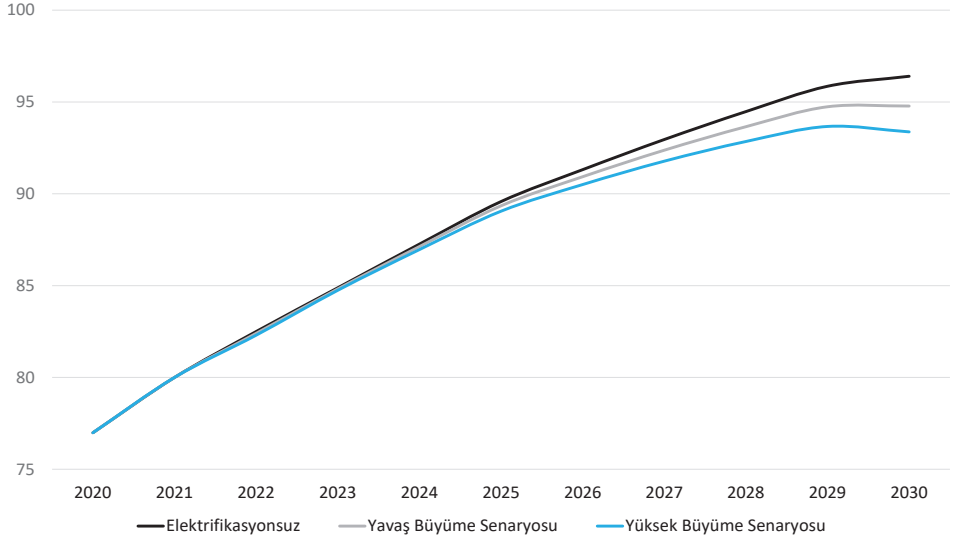


*Not: Otomobiller ve hafif ticari araçlar

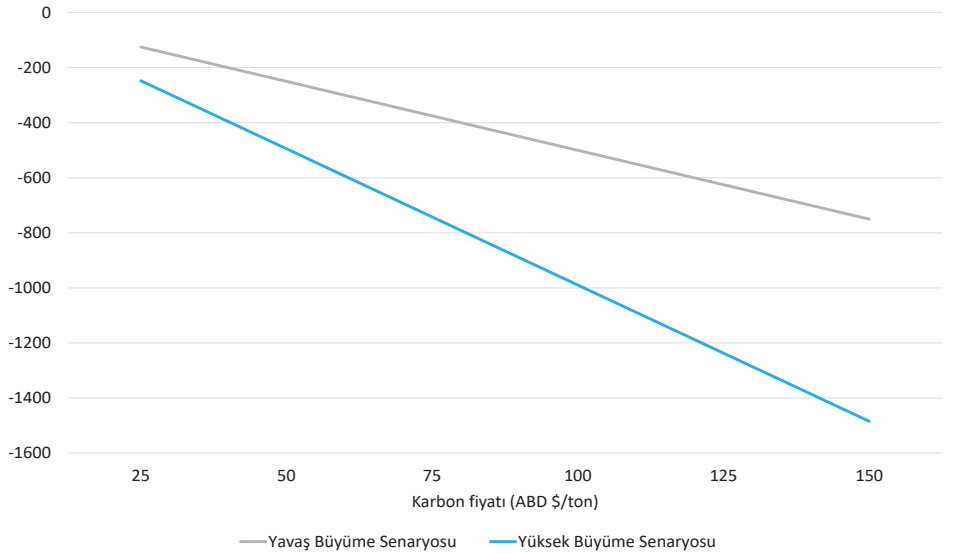




**Senaryolarda Karayolu Ulaşımı Sera Gazı Emisyonu Gelişimi
(2020-2030, milyon ton CO₂-eşdeğeri)**



Senaryolarda Farklı Karbon Fiyat Seviyelerinde Sağlanacak Tasarruf (milyon 2021ABD\$)



Gelişim Alanlarının Özeti

Temiz Enerji ve Ulaşım Dönüşümü ve İklim Odaklı Genel Politika Çerçevesi	
Otomotiv Endüstrisi	●Otomotiv iç pazarında büyüme potansiyelini değerlendirecek adımların atılması ve araç parkının verimli, çevreci dönüşümünün hızlandırılması ●Otomotivde teknolojik mobiliteye dönüşüm hamlesiyle sürdürülebilir küresel ve bölgesel rekabetçiliğinin sağlanması
Şarj Altyapısı	●Şarj faaliyetleri için serbest piyasa ve kullanıcı odaklı düzenleme çerçevesinin oluşturulması ●Şarj altyapılarında öngörülebilir yatırım ortamının temin edilmesi
Elektrik Sektörü	●Elektrik üretiminde düşük karbonlu büyüme ile E-mobilitenin çevresel sürdürülebilirliğinin güvence altına alınması ●Elektrik sisteminin omurgası olan dağıtım şebekelerinin verimliliğin ve esnekliğinin güçlendirilmesi
Batarya Ekosistemi	●Artan batarya talebinin yerli üretimle karşılanmasına yönelik fırsatların değerlendirilmesi ●Küresel teknolojik trendlerin yakalanması ve rekabetçi teknolojik gelişimin temin edilmesi ●E-mobilité eksenli batarya girişimlerinin enerji depolama çözümlerine de genişleyerek değer yaratması ●Batarya ekosisteminde yaşam döngüsü perspektifiyle, çevresel sürdürülebilirliğin güvence altına alınması
Teknoloji ve İnovasyon Odaklı Diğer Fırsatlar	●Veri odaklı iş modellerinin yaygınlaşmasıyla kullanıcılar ve tüm paydaşlar için değer yaratılması ●E-mobilitenin çok boyutlu faydalarının akıllı bağlantılar ve akıllı şehirler ile genişletilmesi ●Hidrojen üretimine ve ağır ticari araçlarda kullanıma yönelik olanakların değerlendirilmesi ●İnsan kaynakları potansiyelinin temiz enerji ve E-mobilité dönüşümünü destekleyecek şekilde güçlendirilmesi ●Bireysel ve kurumsal girişimcilik ekosisteminin geliştirilmesi

IICEC Önerileri

IICEC, Türkiye'nin elektrikli araçlar ve ilgili teknolojilerin gelişiminde çok boyutlu fırsatlar sunan yüksek büyüme potansiyelinin değerlendirilmesi için,

1. 2053 net-sıfır hedefi ve temiz enerji dönüşümü ekseninde, somut, gerçekçi ve ulaşılabilir politika hedeflerinin belirlenmesini, yönlendirici ve destekleyici mekanizmaların uygulanmasını;

- 2030 yılında en az 2 milyon elektrikli araç ve 200.000'in üzerinde kamuya açık şarjsoketine ulaşacak yol haritasının hayata geçirilmesini,
- Destekleyici mekanizmaların, enerji ithalatı ve çevresel performans faydalarını da yansıtacak şekilde geliştirilmesini,

2. Bu dönüşümün sürdürülebilirliğinin, yeşil enerji kaynaklarının gelişimi yoluyla güvence altına alınmasını;

3. Çevreyi ve teknolojiyi eksenine alan, bütüncül bir E-mobilité ekosisteminin, kamu, özel sektör, akademi iş birlikleri ve eşgüdüm içerisinde, azami toplumsal fayda ekseninde geliştirilmesini;

- Otomotiv endüstrisinin rekabetçi dönüşümü için teknoloji odaklı fırsatların değerlendirilmesini,
- Şarj noktalarının ve elektrik dağıtım şebekelerinin en verimli şekilde planlanarak işletilmesini,
- Yenilikçi finansmanın ve piyasa ve kullanıcı odaklı, yeni nesil iş modellerinin yaygınlaştırılmasını,

4. Dijitalleşme, akıllı sistemler, enerji depolama gibi yüksek değer önermesi sunan teknolojilerde Ar-Ge ve yerli üretime hız verilmesini;

5. Bireysel ve kurumsal girişimcilik ekosisteminin ve insan kaynakları potansiyelinin, bölgesel ve küresel aktör olarak konumlanmayı destekleyecek şekilde güçlendirilmesini önermektedir.

BÖLÜM 2:

Elektrikli Araçlar ile Temiz
Enerji Büyümesinde Çok
Boyutlu Fırsatlar

2.1. Giriş

Ulaşımın elektrifikasyonu, pek çok megatrendin kesişme noktasında bulunmaktadır. Bunların başlıcaları, kentleşme, seyahat, mobilite ve bağlantılılık için artan talep ve en önemlisi de enerji sisteminin ve hızla büyüyen seyahat aktivitesinin karbondan arındırılmasını şart kılan küresel iklim değişikliği ile acil mücadele ihtiyacıdır. Elektrikli araçların (EA'ların) daha hızlı ve daha geniş ölçekte benimsenmesini ve enerji sektörünün ulaşımında elektriğin rolünde büyük artışı da içeren hızlı elektrifikasyonu, daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine ulaşılabilmesi bakımından önde gelen enerji politikaları, yatırım alanları ve temiz enerji teknoloji seçenekleri arasında yer almaktadır.

EA'larda, ilgili altyapı, teknolojiler ve hizmetlerdeki gelişmeleri de kapsayacak şekilde büyüme ile genişleyen bir elektrikli mobilite (E-mobilite) ekosistemi, gelişmiş yakıt ekonomisi yoluyla enerji verimliliğine, sera gazı emisyonlarının ve hava kirleticilerinin azaltılmasına ve enerji talebinin petrole bağımlılığının düşürülmesine önemli katkı sağlayacaktır. Geçtiğimiz on yılda bu alanda elde edilen pazar deneyimi, önümüzdeki 30 yıl içinde iki kat artması beklenen küresel seyahat talebinin karşılanmasında ve daha sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin geliştirilmesinde E-mobilitenin katkılarını ve yüksek potansiyelini göstermiştir. Tüm bunların en fazla öne çıktığı alan, E-mobilitenin iklimi korumaya yönelik atılması gereken acil adımlar içerisinde önemli bir yer tutmasıdır.

EA satışları son dönemde giderek artan bir büyüme ivmesi ile gelişmektedir. Yollardaki toplam EA sayısı 2010'da 20.000'den azken, on yıl içinde 55 kat artış göstererek 2020'de 11 milyonun üzerine çıkmıştır. EA parkı günümüzde toplam motorlu taşıt parkının yaklaşık %1'ine karşılık gelmektedir. Elektrikli otomobil parkı, 2020 yılında 3 milyon satışla yaklaşık %40 artarak elektrikli otomobil parkını 2010'daki yaklaşık 10.000 seviyesinden 2020 sonunda 10 milyonun üzerine çıkarmıştır. Bu rakam küresel EA parkının yaklaşık %90'nına karşılık gelmektedir. Şarj altyapısı da buna paralel olarak genişlerken, 1,3 milyonu kamuya açık olmak üzere¹ toplamda 11 milyon şarj ünitesine ulaşılmıştır (IEA, 2021a).

Bu büyümenin hızla artırılması, Birleşmiş Milletler (BM) tarafından kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin (SKH'leri) karşılanması ve 2015 Paris Anlaşması ve 2021 COP26 Konferansı ile ortaya konulan net-sıfır emisyon hedeflerine ulaşılabilmesi için önemli bir gerekliliktir. Net-sıfır emisyonu sahip bir enerji sisteminin oluşturulmasındaki temel adımlardan biri, hızla elektrifikasyonu artan ve dijitalleşen enerji sektörü içerisinde karayolu taşımacılığı araç filosunun 2050 yılına kadar tümüyle elektrik tabanlı olmasının sağlanabilmesidir (IEA, 2021b).

¹ Dünya genelinde kamuya açık şarj ünitesi başına yaklaşık 8 EA düşmektedir.

Son on yıldaki etkileyici büyümeye rağmen, EA'ların karayolu ulaşım parkına entegrasyonunun ve eş zamanlı olarak şarj altyapısının da yaygınlaşma hızının artırılması, böylelikle de çevresel, ekonomik ve toplumsal faydaların daha yüksek oranda değerlendirilebilmesi için çeşitli alanlarda iyileştirmelerin sürdürülmesi gerekmektedir. Bunların başlıcaları, araçların satın alınabilirliğine ilişkin koşulların iyileştirilmesi, otomotiv endüstrisinin ilgili politikalar ve kullanıcı talepleri ile uyumlu dönüşümünün sağlanması, araç menzillerinin ve şarj altyapılarına erişimin artırılması, elektrik dağıtım şebekelerinin bu dönüşümü verimli şekilde destekleyecek yönde geliştirilmesi, batarya teknolojilerinde performans gelişimlerinin devam etmesi, batarya ekosistemi ve ilgili tedarik zincirlerinde ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanmasına yönelik iyileştirmelerin sağlanabilmesidir.

Bu iyileştirmeler, iklim değişikliğini, temiz enerji dönüşümünü ve sürdürülebilirliği eksenine alan, enerji, iklim, ulaşım, sanayi, kentsel ve çevresel yönetim alanlarında, somut ve ulaşılabilir hedefleri içeren politika seçeneklerini, bütüncül yol haritalarını, yönlendirici ve destekleyici piyasa mekanizmalarını gerektirmektedir. Etkinlikleri birçok piyasada kanıtlanmış olan bu tür uygulamalar, yatırımlar, yeni nesil iş modelleri, inovasyon, teknolojik gelişmeler ve daha yaygın iş birlikleri ile desteklendiğinde, mobilite talebindeki büyümenin sürdürülebilir olarak karşılanmasını sağlayacak, E-mobilite ekosisteminin çok boyutlu ekonomik, çevresel ve sosyal faydaları ile güçlenerek gelişimini ve daha güvenli, verimli ve temiz enerji odaklı büyümesini destekleyecektir.

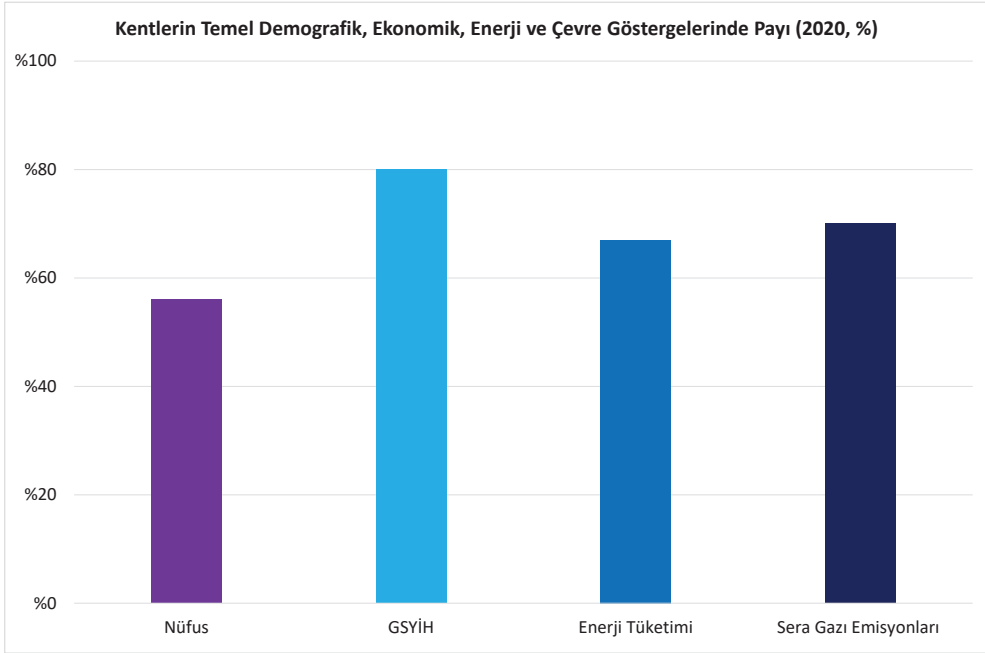
2.2. Mega Trendler ve E-Mobilite

2.2.1. Kentleşme, Ekonomik Aktivite ve Artan Seyahat Talebi

Ulaşım, ticaret ve seyahati olanaklı kılmak için gerekli en temel faaliyetler arasındadır. Modernleşen dünyanın ihtiyaçlarının karşılanması ve sosyo-ekonomik kalkınmanın önemli bir destekleyicisi olan ulaşım sektöründe hızlı büyüme devam etmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki nüfus artışı, dünya genelinde devam eden kentleşme, yeni büyük şehirlerin ve talep merkezlerinin ortaya çıkışı, genişleyen metropol alanlar, artan ekonomik aktivite ve tüketim, bu büyümenin itici unsurları olmaya devam etmektedir. Bütün bu dinamikler, daha fazla bireysel mobilite, özel ulaşım talebi, iş seyahatleri ve ticari yük taşımacılığı gerektirmektedir. Diğer taraftan, sürdürülebilir kalkınma perspektifi içerisinde sosyal ve ekonomik gelişme hedeflerinin sağlanabilmesi, ulaşım sektöründe planlı stratejilerin uygulanmasını ve sektörün verimli, kullanıcı odaklı işlemlerini sağlayacak yatırımların gerçekleşmesini gerektirecektir. Yüksek enerji tüketimi ve çevresel ayak izi gibi olumsuz yan etkilere çözüm getirilebilmesi ise, ulaşım ile ilgili altyapı ve hizmetleri teknoloji odaklı olarak geliştirebilen stratejiler ile desteklenen, yenilikçi ve temiz enerji ve ulaşım teknolojilerinin yaygın kullanımını gerektirecektir (Sabancı Üniversitesi IIEEC 2020).

En son demografik tahminlere göre, dünya nüfusunun 2020'deki 7,7 milyardan 30 yıl içerisinde %26 artarak 2050'de 9,7 milyara çıkması beklenmektedir (UN, 2019). Dünyada kentsel nüfus günümüzde yüzyıl öncesine göre yaklaşık dokuz kat daha fazla olup, kentleşme çağımızın en güçlü trendlerden biri olmaya devam etmektedir. 2050'de dünya nüfusunun yaklaşık üçte-ikisinin kentlerde yaşayacağı öngörülmektedir (2020'de %58). Kentler, aynı zamanda, insan, hizmet ve altyapı boyutlarının tamamında kırsala göre daha fazla yoğunluğa sahiptir (UN Habitat, 2020; WEF, 2020). Bu yönleriyle sosyo-ekonomik kalkınmanın temel motorları işlevine sahip olan kentlerin enerji ve emisyon dengelerindeki ağırlığı artmaya devam edecektir. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık üçte-ikisine karşılık gelen ve küresel GSYİH'nın %80'ini sağlayan kentsel aktivite, insan kaynaklı sera gazı (GHG²) emisyonlarının ise yaklaşık %70'inden sorumludur (Şekil 2.1). Bu emisyonlar, ağırlıklı olarak, şehir-içi ulaşımda ve binalarda enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır. Toplam küresel yolcu seyahati³ faaliyetinin yarısına yakınına oluşturan kentsel yolcu taşımacılığı, yolcu taşımacılığından kaynaklanan toplam sera gazı emisyonlarının ise %40'ından fazlasına neden olmaktadır (ITF 2021; IEA, 2021c). Nüfuslarında otuz yıl içerisinde gerçekleşecek 2,3 milyarlık artış, kentleri ulaşım da dahil pek çok alanda daha sürdürülebilir çözümler bulmaya zorlayacaktır.

Şekil 2.1 Kentlerin Temel Demografik, Ekonomik, Enerji ve Çevre Göstergelerinde Payı (2020, %)



² Greenhouse Gas

³ Özel ve toplu ulaşım

Dünya genelinde şehir-içi ulaşım talebinin 2015-2050 arası dönemde %160 artış göstermesi beklenmektedir. Bu artışın hızı, daha kısa mesafeli seyahatlerin öne çıkması, uzaktan çalışmanın yaygınlaşması, iş kaynaklı seyahatlerin azalması ile düşebilecektir⁴. Bununla birlikte, enerji tüketiminin ve emisyonların azaltılabilmesi, ulaşım, kentsel planlama, enerji yönetimi ve iklim gibi birbiriyle yakından ilişkili tüm boyutların bütüncül olarak ele alındığı, teknoloji odaklı ve sürdürülebilir politika uygulamaları, yatırım ve kullanıcı tercihleri ile olanaklı hale gelebilecektir. Bu tür uygulamalar aşağıdaki yaklaşımları içermelidir:

- Kentsel planlamanın şehir-içi ulaşım planlamaları ve karbonsuzlaştırma hedefleri ile entegrasyonu,
- Sürdürülebilir kentsel ulaşım ve akıllı mobilite için yeni finansman kaynaklarının geliştirilmesi ve dijitalleşmenin avantajlarından geniş ölçekte yararlanılması,
- Temiz şehir-içi ulaşım araçlarının ve bunları destekleyici altyapının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için teşviklerin, teknik ve ekonomik düzenlemelerin hayata geçirilmesi,
- İlgili paydaşlar arasında iş birliklerinin artırılması (ITF, 2021; Sabancı Üniversitesi IIEEC, 2020).

Nüfus artışı ve kentleşme, küresel ekonomik aktivite ve refahta beklenen artışlar, ticaret, hizmetler ve lojistik sektörlerindeki genişleme, şehirlerarası seyahat talebinde, şehir-içi ve bölgeler arası yük taşımacılığında da önemli artışa neden olmaktadır. Karayolu yük taşımacılığı doğası gereği çoğunlukla dizel olmak üzere büyük ölçüde petrol ürünleri tabanlı olmaya devam ederken, şehirlerarası yolcu seyahatleri de artan enerji kullanımı ve emisyon karakteristikleri nedeniyle enerji ve çevre etkileşiminde benzer zorlukları ortaya koymaktadır. Ağır ticari araçlar dünya genelinde toplam motorlu taşıt parkının %10'unu oluşturmakla birlikte karayolu ulaşımından kaynaklı CO₂ emisyonlarının %50'sini, hava kirleticilerin ise yaklaşık %70'ine neden olmaktadır (MIT, 2021).

Genel olarak ulaşımında enerji yoğunluğu (birim seyahat aktivitesi başına harcanan enerji) iyileştirmeleri ise, temiz enerjiye geçiş için gerekli olan gelişimin oldukça gerisinde kalmaktadır. Toplam seyahat faaliyetinin (yolcu-km ve ton-km olarak), son dönemde Covid-19 pandemisi kaynaklı kısmi azalmaya karşın, 2015-2050 arası dönemde iki kattan daha fazla artması⁵ beklenmektedir. Yürüyüş, bisiklet kullanımı, daha az iş seyahati gibi önemli davranış değişikliklerinin gerçekleşmesi durumunda dahi, küresel seyahat talebinin önümüzdeki 30 yılda 2 ila 2,5 kat artacağı öngörülmektedir (ITF, 2021; IEA, 2021b).

⁴ Covid-19 pandemisi ile gelişen davranış değişikliklerinin uzun vadede hangi ölçüde kalıcı olacağına ilişkin belirsizlikler devam etmektedir.

⁵ Yolcu taşımacılığı 2,3 kat ve yük taşımacılığı 2,6 kat

Karayolu ulaşımı, birçok nedenle taşımacılık faaliyetlerinin merkezinde yer almaktadır. Özellikle hareket (çıkış) noktasından varış noktasına kadar kesintisiz hizmet sağlayabildiği için oldukça kullanışlı olan karayolu modu, gerek şehirler içinde gerekse de şehirler ve bölgeler arasında sürekli genişlemelerle desteklenerek çok uzun süredir kullanımdadır. Özel araçla seyahat, kullanıcısına kolaylık ve mahremiyet avantajları sunmaktadır. Bu nedenle, şehir içi toplu taşıma tercihleri kullanıcılar tarafından genellikle maliyet avantajı üzerinden ekonomik bir gereklilik olarak veya trafik sıkışıklığı, park yeri kısıtları gibi zorluklara karşın bir çözüm olarak tercih edilmektedir. Binek otomobillerle seyahat, havayolları, şehirlerarası raylı sistemler ve daha konforlu otobüsler gibi sürekli gelişen ve yaygınlaşan toplu taşıma seçeneklerine kıyasla, şehirler arası ulaşım da en yaygın kullanılan tercih olmaya devam etmektedir (ITF, 2021; Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020).

Bütün bu davranış biçimlerinin ve bunlara eşlik eden mobilite beklentilerinin öngörülebilir bir gelecekte önemli ölçüde değişmesi beklenmemektedir. Karayolu seyahat talepleri karşılanırken aynı zamanda fosil yakıt tabanlı enerji kullanımının ve çevresel etkilerin asgari seviyeye indirilebilmesi, karayolu taşımacılığında temiz enerjiye doğru güçlü ve sürdürülebilir bir dönüşümü gerektirmektedir. Bu, özellikle de hızla büyüyen, coğrafi genişleme olanağı sınırlı, nüfus yoğunluğu yüksek kentsel alanlarda, insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının azaltılabilmesinin ve hava kalitesinin iyileştirilmesinin mutlak koşuludur. Bu çerçevede, EA parkında ve temiz enerji teknolojileri tabanlı diğer ulaşım araçlarında hızlı bir büyümenin, ilgili altyapı, hizmet ve teknolojilerde bunu destekleyici iyileştirmelerle gerçekleştirilmesi, bu kritik dönüşümün en önemli bileşenlerinden birisi olacaktır. Ulaşım da daha sürdürülebilir bir gelecek için önem taşıyan diğer unsurlar, karayoluna göre daha az enerji ve emisyon yoğunluğuna sahip ulaşım modlarının⁶ ve toplu taşıma kullanımının artırılabilmesidir.

2.2.2. İklim Değişikliği ile Acil Mücadele Gereksinimi

En güçlüsü 2021'de yaşanan olağanüstü sıcak hava dalgası olmak üzere, tüm kıtalarda son dönemde görülen sıra dışı hava olayları, iklim değişikliğinin ekonomiler ve toplumlar üzerindeki çok şiddetli ve olumsuz etkilerini hafifletmek için, acil ve etkin iklim eylemlerine olan ihtiyacın altını bir kez daha, kuvvetle çizmiştir⁷. Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC), senaryo odaklı öngörüler ve gözlemlenen değişikliklere yönelik en son raporu, iklim değişikliğinin neden olduğu fiziksel değişikliklere ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır (IPCC, 2021a). İklim bilimindeki en son gelişmeleri esas alan bu raporda aşağıdaki yaşamsal bulgulara ulaşılmıştır:

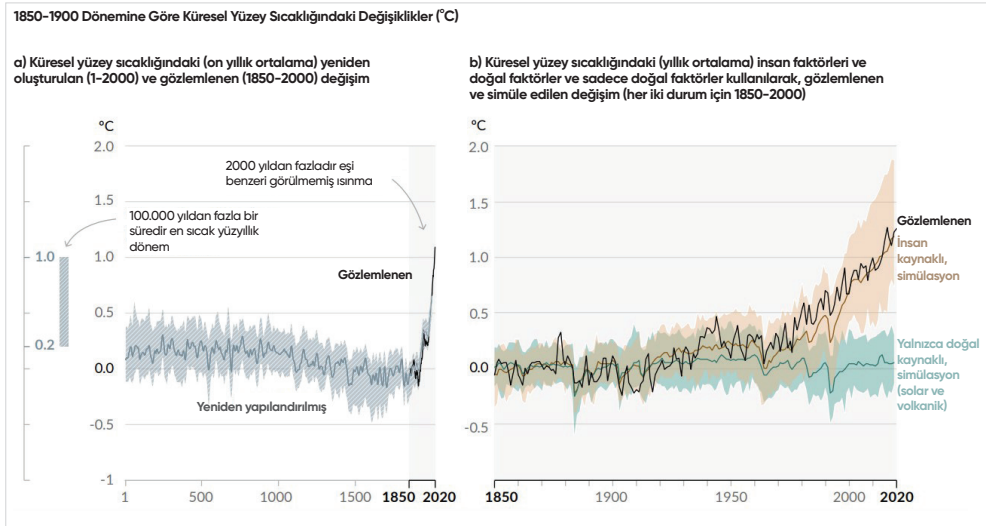
⁶ Denizyolu ve demiryolu

⁷ Bazı örnekler arasında, Arktik deniz buzullarında azalma, Kuzey Amerika'daki yangınlar, Yunanistan ve Türkiye dahil olmak üzere Akdeniz'deki yoğun ısı dalgaları, British Columbia'sında kaydedilen 49.6°C sıcaklık ve Sibirya'daki olağanüstü sıcak dalgaları ve yangınlar sayılabilir.

- İklim değişikliğinin tüm nedenleri büyük ölçüde insan kaynaklıdır.
- İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar, gözlemlenen küresel ısınma seviyelerinin (küresel yüzey sıcaklığındaki artışın) belirleyicisidir.
- Küresel ısınmanın geldiği aşama, son 2.000 yılda hiç görülmemiş bir düzeydedir.

Atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu son dönemde hızla artmaya devam ederek yıllık ortalama 410 ppm (milyon başına düşen parça) üzerine ulaşmıştır (2010'da 389 ppm ve 2015'te 400 ppm). Bu değer, sanayi devrimi öncesinin iki-buçuk kat üzerindedir. 1850-1900'dan 2010-2019'a kadar insan kaynaklı toplam küresel yüzey sıcaklığı artışının muhtemel aralığı 0,8°C-1,3°C olarak tespit edilmiştir⁸ (Şekil 2.2). Farklı emisyon senaryolarının modellenerek analiz edildiği tüm senaryolarda, küresel yüzey sıcaklığının yüzyılın ortasına kadar artmaya devam edeceği tespit edilmektedir. İklim güvenliği için önemli eşik olan, küresel ısınmadaki 1,5°C ve 2°C'lik değişimler ısınmanın yağışlar ve sıcaklıklar üzerinde kritik etkilerini göstermektedir (Şekil 2.3). İklim güvenliği için kritik eşiği temsil eden bu seviyelerin, önümüzdeki 20-30 yıl içerisinde sera gazı emisyonlarında büyük ölçüde azalma sağlanamadığı takdirde aşılabacağı öngörülmektedir.

Şekil 2.2. Dönemine Göre Küresel Yüzey Sıcaklığındaki Değişiklikler (°C)



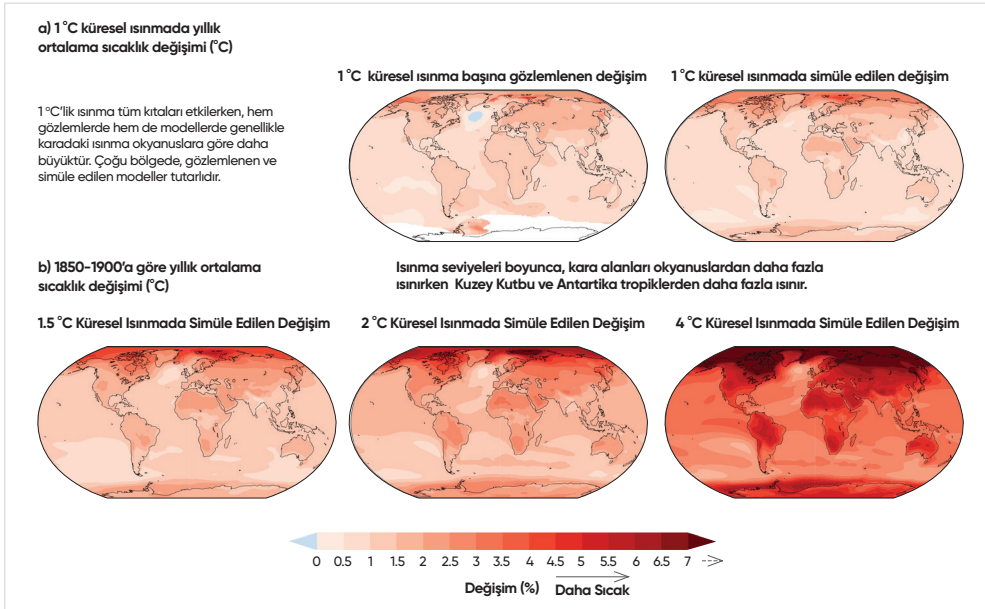
Kaynak: IPCC, 2021a

⁸ En iyi tahminle yaklaşık 1,1°C.

Bazı bölgeler iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine, diğerlerine göre daha fazla maruz kalmaya devam edecektir. Akdeniz ve çevresi, özellikle düşük yağıştan kaynaklanan kuraklık riski açısından bu niteliktedir (MedECC, 2019). IPCC analizlerinde, Akdeniz bölgesinde daha düşük yağış ve daha sık kuraklık karakteristikleri, uzun yıllardır gözlemlenen etkiler ve kritik iklim öngörülleri arasında yer almaktadır. Bu etkiler,

- Hidrolojik, tarımsal ve ekolojik kuraklıklarda gözlemlenen artış,
- 2°C ve üzeri küresel ısınma ile kuraklık ve yangına elverişli hava koşullarında artış,
- En az 2°C ve üzeri küresel ısınma ile değişikliklerin bu yüzyılın ortalarında bir kombinasyonunu (ısınma, aşırı sıcaklıklar, kuraklıkta artış, yağış azalması, yangınlarda artış, aşırı deniz seviyeleri, kar örtüsü ve rüzgar hızında azalma) içerecektir (IPCC, 2021a).

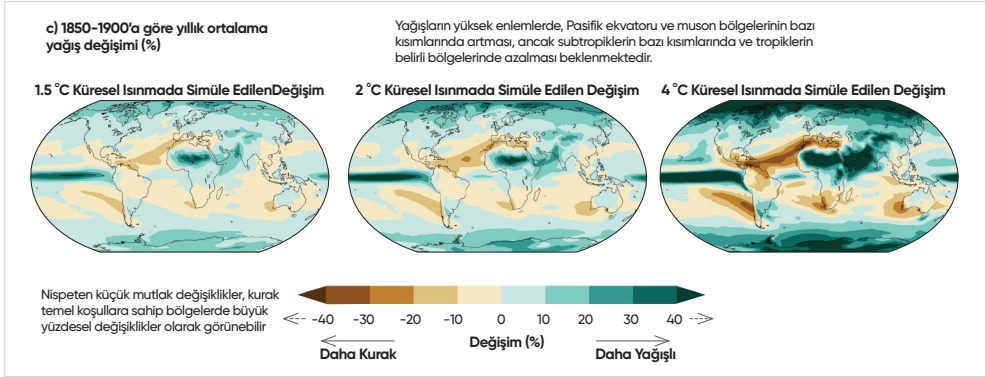
Şekil 2.3. Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yağış Değişimleri
(1°C Küresel Isınmada ve 1850–1900 Dönemine göre °C Sıcaklık Farkı, 1850–1900 Dönemine Göre % Yağış Farkı)



Kaynak: IPCC, 2021a

Tüm bölgeler için, nitelikleri ve boyutları değişkenlik göstermekle birlikte, ciddi iklim değişiklikleri öngörülmektedir. Örneğin, küresel sıcaklıkta 1,5°C'lik bir artış durumunda, şiddetli yağışların ve buna bağlı sel baskınlarının Asya'da yoğunlaşması beklenirken, muson yağışlarının küresel olarak, özellikle de Güney Asya ve Doğu Asya'da artacağı tahmin edilmektedir.

Avrupa kıtasının tümünü kapsayan bazı ortak riskler arasında ise, son dönemde gözlemlendiği şekilde, küresel sıcaklık değişim ortalamasından daha yüksek oranda sıcaklık artışları yer almaktadır. Ayrıca, Avrupa'da son yıllarda yükselen sıcakların hem sıklığının hem de yoğunluğunun artmaya devam etmesi, mevsimsel yağış düzenlerinin Avrupa'nın kuzey kesimlerinde kış dönemlerinde öngörülen artışla birlikte birçok ekosistemi olumsuz yönde etkilemesi, Akdeniz'de yaz yağışlarında azalmanın da Avrupa'nın kuzey bölgelerine doğru yayılması beklenmektedir (IPCC, 2021a; IPCC, 2021b).



Kaynak: IPCC, 2021a

Yoğunlaşan iklim tehlikelerinden kaynaklanacak ölüm riskleri ve potansiyel ekonomik kayıpların da iklim riskleri ile ilgili değerlendirmelerde göz önünde bulundurulması gerekmektedir. İklim değişikliği, tüm ekosistemlerin ve toplumların işleyişine yönelik en temel tehdit durumuna gelmiştir. Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından 1970'den 2019'a kadar hava, iklim ve su felaketleri ile ilişkilendirilmiş olan 11.000'den fazla afetin sunulduğu güncel bir çalışmada, tüm afetlerin yarısına, bildirilen tüm ölümlerin %45'ine ve raporlanan tüm ekonomik kayıpların da yaklaşık üçte ikisine iklim değişikliği ile ilişkili felaketlerin neden olduğu belirtilmektedir⁹. Doğrudan iklim değişikliği ile bağlantılı olan, kuraklık, fırtına, sel ve aşırı sıcaklıklar, küresel ölçekte insan yaşamında en büyük kayba neden olan ilk on afet arasında yer almaktadır (WMO, 2021).

İklim değişikliğinin en önemli nedeni enerji sektörü olup, bu büyük tehdide çözüm de yeni bir enerji sisteminin oluşturulabilmesi ile olanaklı olabilecektir. Zira, mevcut enerji ve iklim politikalarına ilişkin gerçekleştirmelerde, yatırım tercihlerinde ve piyasa mekanizmalarında, endüstriyel yönelimlerde ve teknolojilerin kullanımında büyük değişiklikler olmaması durumunda, iklim krizlerinin sıklığı ve etkisi artmaya devam edecektir. İklim risklerinin acil olarak bertaraf edilebilmesi, net-sıfır CO₂ emisyonuna ulaşılabilmesini ve diğer sera gazlarında da önemli azalmaları gerektirmektedir (IPCC 2021a; IEA, 2021b).

⁹ Kayıpların %90'ından fazlası gelişmekte olan ülkelerde meydana gelmiştir.

Bu zorlu, ancak yaşamsal dönüşüm, bütüncül bir perspektif içerisinde, tüm sektörleri ve faaliyetleri kapsayan geniş bir temiz enerji dönüşümü ile mümkün olabilecektir. Verimli ve yeni teknolojileri, sürdürülebilir iş modellerini eksenine alması gereken bu büyük dönüşümde, ekonomik ve sosyal gelişimin ana destekleyicilerinden olan ulaştırma sektörünün performansı da belirleyici olacaktır.

2.2.3 Küresel Net-Sıfır Emisyon (NZE) Patikası

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), iklim değişikliği ile küresel ölçekte, acil mücadele çabalarına yol gösteren bu çerçevede de küresel sıcaklık artışını 1,5 °C ile sınırlama kritik hedefine ulaşılmasının detaylı yol haritasını sunan kapsamlı raporunu 2021 yılı içerisinde yayımlamıştır (IEA, 2021b). Bu çalışmada, küresel enerji sisteminin 2050 yılına kadar net-sıfır-emisyona (NZE¹⁰) ulaşması için gereken eylemler, hidrokarbon üretimi, elektrik üretimi, ulaşım, endüstriyel sektörler, binalar, tarım ve diğer alanlarda, artık ticarileşmiş olan temiz enerji teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla, aynı zamanda diğer pek çok temiz enerji teknolojilerinde de inovasyon ve ticarileşme süreçlerinin hızlandırılması ile gerçekleştirilecek, 400'ün üzerinde kilometre taşı tanımlanmaktadır.

Ayrıca, 2050 yılına kadar net-sıfır enerji sistemine doğru, ulaşılabilir bir geçiş gösterilirken, aynı zamanda daha sürdürülebilir bir sosyo-ekonomik kalkınmanın diğer önemli unsurları da gözetilmektedir. Bunların arasında, modernleşen toplumların enerji ihtiyaçlarını karşılamak için istikrarlı ve uygun fiyatlı enerji arzı, enerjiye evrensel erişim, temiz enerji odaklı ve güçlü ekonomik büyüme yer almaktadır. 2050'ye doğru NZE patikası, sadece iklim riskleri ve karbonsuzlaştırma ile sınırlı olmayan, her yönüyle daha sürdürülebilir bir enerji geleceği ve yeni bir enerji sistemi perspektifi sunmaktadır. NZE patikasında temiz enerji yatırımları yıllık 1,2 trilyon ABD \$'ı seviyesinden üç kat daha fazla artarak 2050'de 4 trilyon ABD \$'ının üzerine çıkmaktadır.

Ulaşım, mevcut enerji ve emisyon karakteristikleri nedeniyle, iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarını azaltmaya yönelik önlemlerin merkezinde yer almak durumundadır.

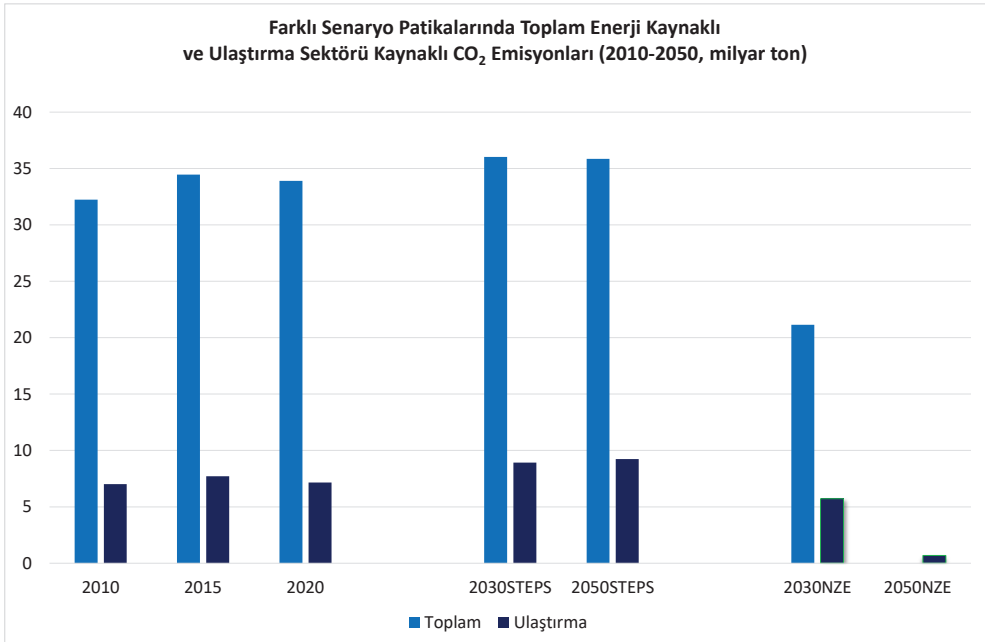
- Ulaştırma sektörü, elektrik üretimi, binalar ve sanayi sektörleri birlikte en fazla enerji tüketen sektörler arasında yer almakta olup, küresel nihai enerji talebinin dörtte-birini temsil etmektedir.
- Petrol, diğer sektörlerde çok sınırlı kullanımı ile artık çok ağırlıklı olarak bir ulaştırma hikayesi durumuna gelmiştir. 2020 yılında ulaşımda toplam enerji talebinin %90'ı petrolden sağlanmıştır. Ulaştırma sektörü, dünya toplam petrol talebinin %60'ına, enerji-dışı kullanım¹¹ hariç tutulduğunda ise %80'inden fazlasına karşılık gelmektedir.

¹⁰ Kayıpların %90'ından fazlası gelişmekte olan ülkelerde meydana gelmiştir.

¹¹ Örneğin petrokimya sektörü

- Ulaştırma, fosil yakıtlara bağımlılığı en yüksek nihai tüketim sektörü olup, ulaşımda enerji tüketimi, yakıt üretimi¹² ve ulaşım araçları üretimi ile bağlantılı emisyonlar göz ardı edilse dahi, küresel sera gazı oluşumuna ve dolayısıyla iklim değişikliğine etki eden başlıca alanlar arasında yer almaktadır. 2020 yılında küresel sera gazı emisyonlarının beşte-birden fazlası, çok büyük kısmı petrolden kaynaklanmak üzere, ulaşım sektöründe gerçekleşmiştir. Nihai enerji tüketiminde toplam CO₂ emisyonlarının %37'si ulaştırma sektöründen kaynaklanmaktadır
- Ulaşımда enerji yoğunluğunun düşürülmesine ve yakıt portföyünün kısmen çeşitlendirilmesine yönelik çabalarda son dönemde bazı ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen, seyahat talebindeki güçlü artış ve petrol ürünlerine yüksek oranda bağımlılık nedeniyle, ulaştırma sektörünün karbondan arındırılması dikkatle tasarlanarak uygulanması gereken zorlu bir politika ve teknoloji alanıdır (IEA, 2021b; IEA, 2021d).

Şekil 2.4. Farklı Senaryo Patikalarında Toplam Enerji Kaynaklı ve Ulaştırma Sektörü Kaynaklı CO₂ Emisyonları (2010-2050, milyar ton)



Kaynak: IEA, 2021a, 2021 b

¹² Özellikle ham petrol üretimi

NZE patikası, net-sıfır enerji sistemine ulaşılması hedefi içerisinde, 2050'ye kadar seyahat aktivitesinde öngörülen iki katın üzerindeki artışa karşın ulaştırma sektörü CO₂ emisyonlarında %90 azalımı¹³ sağlayabilecek temiz enerji politikası ve teknoloji seçeneklerini sunmaktadır. Bu gelişim, 2020'den 2050'ye kadar olan dönemde ulaşım emisyonlarında %29'luk bir artış (veya NZE patikasındaki 6,5 milyar ton azaltıma karşın 2,1 milyar ton artış) öngören STEPS Senaryosu¹⁴ ile öngörülen gelecekte çok farklı dinamikleri olan, sürdürülebilir ve temiz enerji merkezli bir ulaşım enerji sistemine doğru hızlı bir dönüşüme işaret etmektedir. NZE patikasının gerçekleşmesi, artan seyahat talebinin petrol ve sera gazı emisyonu yoğun bir enerji tüketim yapısından hızla ayrıştırılabilmesini, bunun için de temiz enerji teknolojilerinin katkısının hızla artırılabilmesini gerektirmektedir (Şekil 2.4). Ulaştırma sektöründe yıllık temiz enerji yatırımlarının 75 milyar ABD \$'dan yaklaşık sekiz kat artışla 2030 yılında 570 milyar ABD \$'a çıkması beklenmektedir (IEA, 2021d).

Küresel ulaşım sistemlerinin enerji tüketiminde temiz, verimli ve sürdürülebilir bir geleceğe dönüşümü sağlayacak başlıca unsurlar arasında,

- Tüm ulaşım modlarında iyileştirilmiş yakıt ekonomisi yoluyla enerji verimliliğinin güçlendirilmesi,
- Karayolundan daha az enerji yoğun olan denizyolu ve demiryolu modlarına geçişler yoluyla enerji verimliliğinin güçlendirilmesi,
- Yolcu seyahat aktivitesi başına daha az enerji tüketen toplu taşıma kullanımının artırılması ile enerji verimliliğinin güçlendirilmesi,
- Enerji ve yakıt yoğun seyahat talebinde büyüme hızını kısmen azaltabilecek, yürüyüş ve bisiklet yolları gibi seçeneklerin geliştirilmesi ve buna bağlı davranış değişiklikleri,
- EA'ların, içten yanmalı motorlu araçlara (İYMA'lar) göre sunduğu çevresel avantajlarından faydalanılabilmesi için karayolu taşımacılığının temiz elektrik üretiminin payının artmasının getireceği fırsatlardan da faydalanılarak geniş ölçekte elektrifikasyonu,
- Hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak tüm ulaşım modları ve teknolojilerinde kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik stratejiler öne çıkmaktadır.

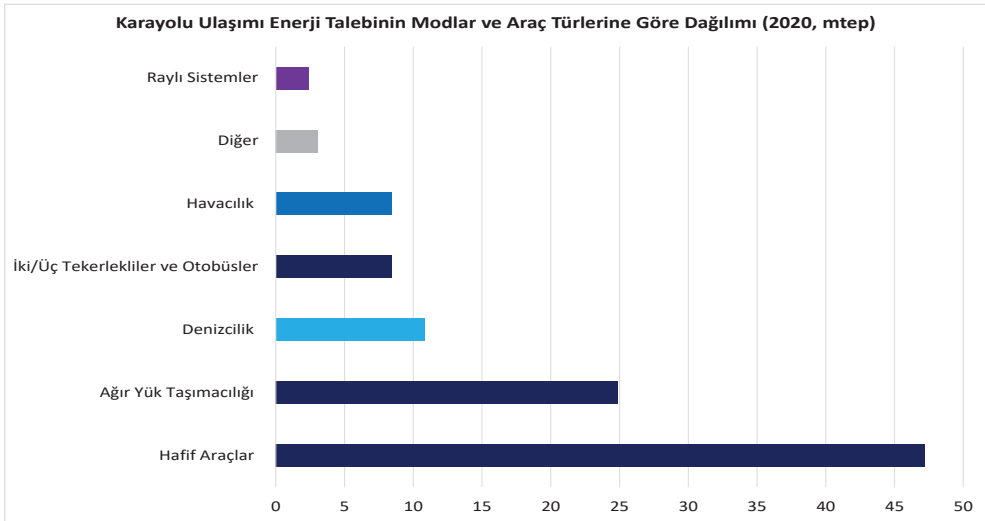
¹³ 30 yıl içerisinde 7,1 milyar tondan 0,6 milyar tona düşüş

¹⁴ IEA STEPS Senaryosu, mevcut politika çerçevelerinin ve somut olarak belirtilmiş olan politika hedeflerinin etkisini göstermektedir. Bu senaryonun amacı, mevcut politikaların enerji kullanımı, emisyonlar ve enerji güvenliği bakımından sonuçlarını göstermektir.

Karayolları, Bölüm 2.2.1’de belirtilen özellikleri çerçevesinde, yolcu ve yük taşımacılığında birincil seyahat tercihi olmaya devam edecektir. Karayolu taşımacılığının enerji tüketimini ve emisyon envanterinin azaltılması, ulaştırma sektörü toplam emisyonlarında en büyük mutlak azaltımı sağlama potansiyeline sahiptir.

- Karayolu taşımacılığı dünya genelinde toplam yolcu seyahati faaliyetinin %70’ini, toplam yük taşımacılığı faaliyetinin de %20’sini temsil etmektedir. Sınırlar ötesi yük taşımacılığı hariç tutulduğunda bu oran %60’a yakındır. Karayolu ulaşımı, birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkede toplam yolcu ve yük seyahatinin yaklaşık %90’ını oluşturmaktadır (ITF, 2021).
- Ulaşımında enerji tüketiminin yaklaşık %55’i binek otomobiller dahil hafif ticari araçlarda gerçekleşmekte, bunu ağır kamyonlar (%24), ve iki-üç tekerlekli araçlar ve otobüsler (%10) izlemektedir (Şekil 2.5). Karayolu araçları, ulaşımında toplam enerji tüketiminin yaklaşık %90’ını ve toplam petrol talebinin %90’ından fazlasını temsil etmektedir (IEA, 2021b).
- Karayolu modu, dünya genelinde ulaştırma sektörü toplam emisyonlarının dörtte üçünden, enerjiden kaynaklı toplam CO₂ emisyonlarının ise %15’inden fazlasından sorumludur. Ağırlıklı olarak arabalar, hafif-ticari araçlar ve otobüsler tarafından gerçekleşen yolcu taşımacılığı, karayolu taşımacılığından kaynaklı toplam emisyonların yaklaşık üçte ikisine karşılık gelmektedir (IEA, 2021d)

Şekil 2.5. Karayolu Ulaşımı Enerji Talebinin Modlar ve Araç Türlerine Göre Dağılımı (2020, mtep¹⁵)



Kaynak: IEA, 2021a

¹⁵ Milyon ton petrol eşdeğeri

EA büyümesi, 2030 yılına kadar olan dönemde 1,5°C sınırının altında kalabilmeyi sağlayacak¹⁶, en kritik üç temiz enerji gelişim alanı¹⁷ arasında yer almaktadır. Karayolu ulaşımında elektrifikasyonunun 2050 yılına doğru, otomobiller, hafif-ticari araçlar, otobüsler ve kamyonlar dahil tüm araç parkında emisyon azaltımının ana bileşeni konumuna gelmesi beklenmektedir (IEA, 2021b; IEA 2021d).

- Elektrikli otomobillerin yıllık satışları 2030'a kadar 18 kat artış gösterecek ve 2050 yılında toplam otomobil parkının %86'sını bu araçlar oluşturacaktır.
- Binek araç parkı, 2050 yılına kadar, yakıt hücreli araçlar da dahil olmak üzere, tamamen elektrikli olacaktır.
- EA'lara yönelik yıllık yatırım miktarı, 2030 yılına kadar 25 kattan fazla artış gösterecektir.
- Hidrojen, özellikle enerji yoğunluğu avantajları nedeniyle yük taşımacılığında temiz enerji geçişlerini desteklemede önemli bir büyüme eksenini olacak, elektrikli kamyonlar 2030'a kadar toplam ağır kamyon satışlarının yaklaşık dörtte-birini ve 2050'de ise yaklaşık üçte -ikisini oluşturacaktır.
- EA'lar toplam araç parkının 2030'da %20'sini ve 2050'de %60'ını oluşturacaktır.
- NZE patikası ile ortaya konan zorlu, ancak ulaşılabilir hedeflerin gerçekleştirilmesi durumunda EA'lar 2050 yılında enerjiden kaynaklı toplam CO₂ emisyonlarında azaltımın %15'ini sağlayabilecektir (Detaylar için lütfen Bölüm 3.3'e bakınız).

2.2.4. BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ve Daha Geniş Kapsamda Sürdürülebilirlik

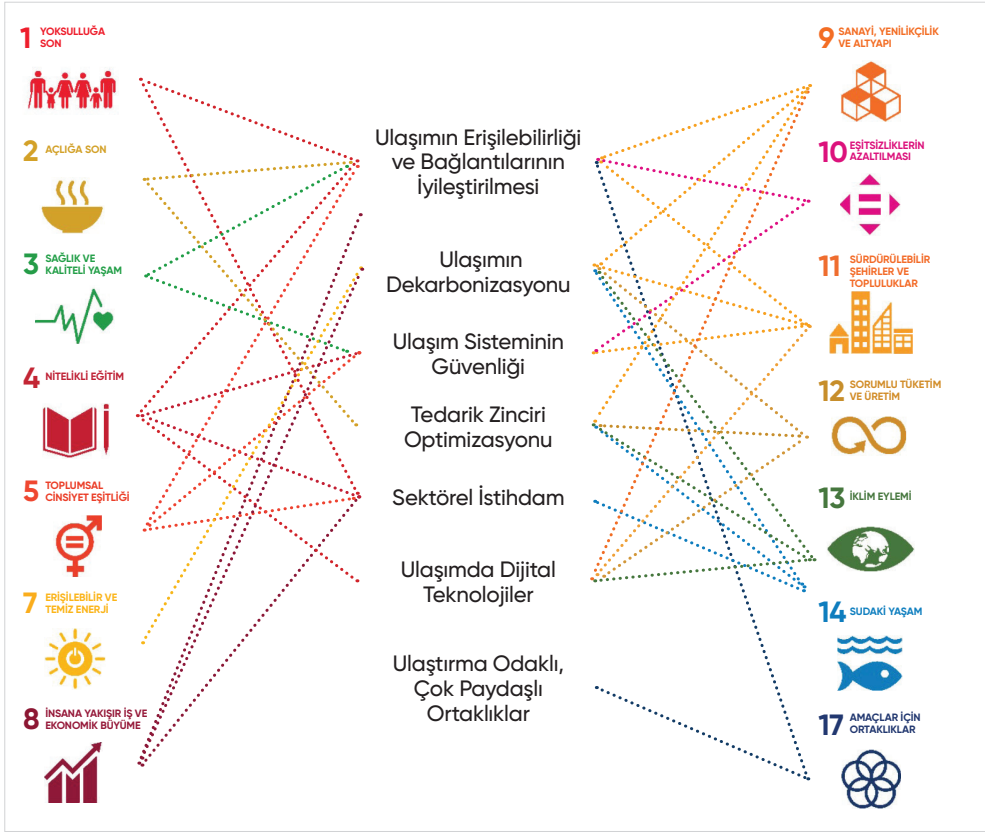
Ulaştırma politikaları, BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin de (SKH'ler) temel bir unsurudur. Bu politikaların, ulaşım sistemlerinin erişilebilirliğini, kullanılabilirliğini, güvenliğini ve esnekliğini geliştirmeleri, mobilite ihtiyaçlarını karşılamada karbonsuzlaştırmayı sağlamaları, akıllı bağlantıların, veri analitiği ve dijitalleşmenin, dinamik yazılım ve donanım teknolojilerinin yaygın kullanımını desteklemeleri gerekmektedir. Ulaşımında sürdürülebilirlik, gelişimi desteklerken, çevresel zorluklara yenilikçi çözümler getirmeli, ulaşımında sosyal eşitliği, şehirlerin ve kentsel sistemlerin dayanıklılığını geliştirmeli, kentsel ve kırsal bölgeler arasındaki bağlantıları ve kırsal alanların üretkenliğini artırmalıdır.

¹⁶ COP26-2021 Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı'nda açıklanan yeni iklim hedefleri çerçevesinde IEA tarafından yapılan analizler, hedeflerin gerçekleştirilmesi durumunda sıcaklık artışının 1,8 °C olacağına işaret etmektedir. Açıklanan hedefler, 2030 yılına kadar 1,5°C hedefi ile uyumlu olabilmek için gereken azaltım miktarının altında kalmaktadır (IEA, 2021i).

¹⁷ Yenilenebilir enerji kaynaklarından (özellikle solar PV and rüzgardan) elektrik üretimi, enerji arz-talep zincirinde verimlilik iyileştirmeleri, elektrikli araçlarda hızlı büyüme

Bütün bu yönleriyle sürdürülebilir ulaşım, ekonomik büyüme, altyapı, sağlık, gıda güvenliği, kentler, enerji ve iklim eylemi ile ilgili olanlar başta olmak üzere birçok SKH ile çok yakından ilişkilidir (Şekil 2.6). Bu hedeflere ulaşılmasında başarı, temiz enerji ve ulaşım teknolojilerinin daha fazla yaygınlaştırılabilmesi, bunun için de yönlendirici iklim hedefleri ve önlemlerinin ulusal politikalar ve stratejilere entegre edilerek uygulanabilmesi ile sağlanabilecektir.

Şekil 2.6. Ulaştırma Politikalarının BM SKH Kapsamında Konumlanması

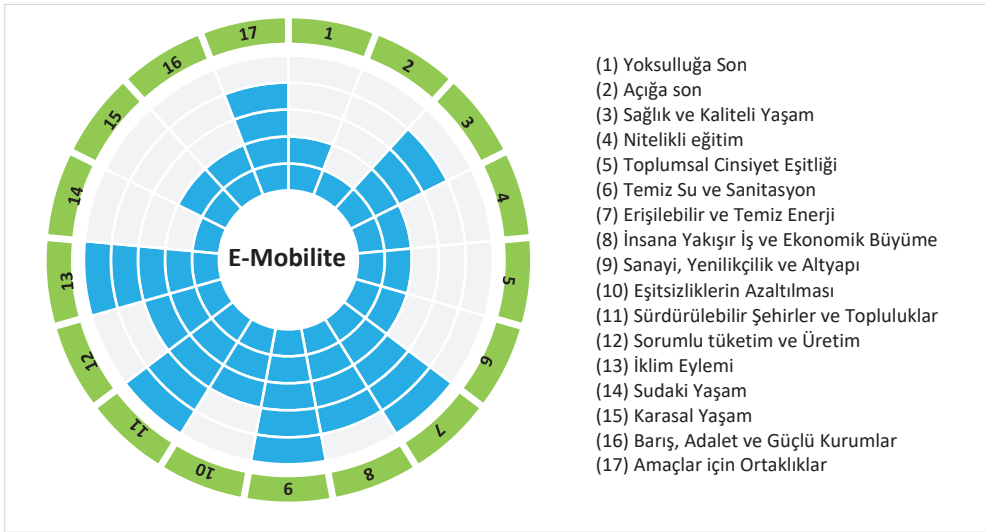


Kaynak: ITF, 2021

Elektrikli otomobiller, diğer elektrikli motorlu kara taşıtları ve daha geniş bir E-mobilité ekosistemi, elektrifikasyon, dijitalleşme, karbondan arındırma gibi önemli fırsat alanlarının kesişiminde yer alarak, sürdürülebilirlik perspektifinden çok boyutlu katkılarıyla ayrıca öne çıkmaktadır. Mevcut İYMA'lara göre yüksek verimlilik avantajlarına sahip olan ve karbon yoğunluğu azalan elektrik tedariki ile çevresel performansı da sürekli iyileşen EA'lar (Lütfen Bölüm 2.4'e bakınız), daha düşük çevresel ayak izinden, mobilitéde daha teknoloji odaklı ve katma değerli büyümeye kadar birçok alanda önemli toplumsal faydalar sunmaktadır.

Bu kazanımlar, özellikle SDG 13 (İklim Eylemi) ve SDG 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji) ile doğrudan uyumlu olup, SDG 9 (Sanayi, Yenilik ve Altyapı), SDG 11 (Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar) ve SDG 12 (Sorumlu Tüketim ve Üretim) gibi birçok hedefin desteklenmesi için de kritik role sahiptir (Şekil 2.7). Örneğin, ulaşım boyutundan sürdürülebilir şehirler, enerji verimliliği yüksek, aynı zamanda daha teknoloji odaklı olan EA çözümlerini kullanmakta, entegre ve yenilikçi altyapı gelişimini de öncü ve yol gösterici uygulamalarla ilerletebilmektedir (Bazı örnek şehirler için lütfen Bölüm 3'e bakınız). Güçlü politika inisiyatifleri ve iş modelleri tarafından desteklenmesi durumunda, şarj altyapısında gelişim, önemli istihdam çarpanları ve katma değer sağlayabilmektedir. IEA'nın son bulgularına göre, elektrikli şarj noktaları, 1 milyon ABD \$ tutarında yatırım başına 12'den fazla istihdam yaratabilmektedir (Lütfen Bölüm 2.4'e bakınız). Elektrikli otobüsler, verimli ve esnek bir toplu taşıma seçeneği sunarak önemli sosyal sürdürülebilirlik kazanımları yaratabilen bir diğer önemli örnektir. Batarya maliyetlerinin düşürülmesi ve bunun sonucunda geri ödeme sürelerinin kısaltılması, toplu taşımada E-mobilitenin toplumsal faydalarını daha da artırabilecektir (IEA, 2020a).

Şekil 2.7. E-Mobilité ve BM SKH İlişkisi



Kaynak: IICEC değerlendirmesi

Covid-19, Ulaşım ve Sürdürülebilirlik: Covid-19 pandemisi, 2019'un sonunda başlayarak küresel ulaşım faaliyetini belirgin şekilde etkilemiştir. Uluslararası seyahat kısıtlamalarının bir sonucu olarak, 2020'de dünya genelinde havacılık faaliyeti 2019'a kıyasla üçte-iki oranında azalırken, karayolu taşımacılığı ise, özellikle yük taşımacılığı faaliyetlerinin büyük oranda devam etmesi ve 2020'nin ortalarından itibaren seyahat sınırlamalarında sağlanan kademeli azalmalar ile pandemiden havayollarına göre daha sınırlı etkilenmiş, 2020 yılını enerji kullanımında 2019 yılına kıyasla %10'luk bir düşüş ile tamamlamıştır.

Karayolu seyahat aktivitesinde son dönemde en önemli değişim, sağlık önlemlerinden kaynaklı kısıtlamalar ve dijitalleşmenin katkısıyla uzaktan çalışmanın artması ile gerçekleşmiştir (IEA, 2021e). 2021 yılı içerisinde artan aşılama seviyeleri ve karantina önlemlerinin hafifletilmesiyle birlikte, karayolu seyahat aktivitesinin, Covid-19 öncesi seviyelere yaklaşması beklenmektedir.

Uzun vadede ulaşım biçimlerinin öngörülmesindeki önemli belirsizliklerden birisi, Covid-19 pandemisinin neden olduğu bazı davranış değişikliklerinin kalıcı hale gelip gelmeyeceğidir. Bu değişimler, orta ve uzun vadede seyahat talebinin büyüme hızını ve modlar içerisinde dağılımını değiştirebilecektir. Örneğin uzaktan çalışma uygulamalarının kısmen kalıcı hale gelmesi toplam yolcu taşımacılığı aktivitesini azaltarak enerji talep büyümesini yavaşlatıcı etki yapma potansiyeline sahiptir. Diğer taraftan, sağlık riskleri odaklı bireysel tercihlerin toplu taşıma kullanımında kalıcı azalmalara yol açması sonucunda hava kirliliğini azaltma ve ulaşımı karbondan arındırma çabalarını olumsuz yönde etkileyecek gelişmeler yaşanabilecektir.

Ulaştırma sektörü emisyonları 2010-2019 arası dönemde %21 (yıllık ortalama %2,3) artış gösterirken, Covid-19'un mobilite üzerindeki olumsuz etkisi nedeniyle yıllık CO₂ envanteri 2019'da yaklaşık 8,5 milyar tondan 2020'de 2010'daki seviyesi olan 7 milyar tona düşmüştür. Ancak, küresel ekonominin toparlanması ve karantina önlemlerinin kademeli olarak hafifletilmesiyle birlikte, sektörün CO₂ envanteri 2021 içerisinde yeniden yükselişe geçmiştir. Seyahat faaliyetinin pandemi öncesi seviyelere yaklaşması, petrolün yanmasından kaynaklanan emisyonları 2019 seviyelerinin üzerine çıkarabilecek ve dünya genelinde CO₂ emisyonlarını %1,5'ten fazla oranda (2019 seviyelerinin üzerinde) artırabilecektir. Enerji sektöründeki toplam sera gazı envanterinin, 2021'de yaklaşık 33 milyar ton CO₂-eşdeğerine ulaşacağı tahmin edilmekte olup, bu durum tarihteki en büyük ikinci yıllık artışa karşılık gelmektedir (IEA, 2021e).

Covid-19'un ulaştırma sektörü üzerindeki bir diğer önemli etkisi otomotiv pazarında ve 2020'de %15 düşüş gösteren araba satışlarında gerçekleşmiştir (IEA, 2021f). Bu çarpıcı daralmaya karşın, elektrikli otomobil satışları 2020 yılı boyunca dirençli kalarak 2019 yılına göre yaklaşık %40 büyüme ile rekor satışlara ulaşmış, elektrikli arabaların yıllık satış payı yaklaşık %3'ten %6'ya çıkmıştır. 2021 yılında bu ivme güçlenerek sürmektedir. Küresel elektrikli otomobil satışları 2021'in ilk yarısında 2020'nin aynı dönemine kıyasla %168 artarak 2,7 milyona ulaşmıştır. 2021 yılında yaklaşık 6 milyon EA satışı beklenmekte olup, bu rakam 2020 yılına göre yaklaşık iki katlık bir artışa işaret etmektedir (BNEF, 2021a; EV Volumes, 2021). Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi, Covid-19 pandemisi nedeniyle ekonomilerde değişen bazı önceliklere rağmen E-mobilite ekosisteminin büyümesinin en önemli itici güçleri olmaya devam etmektedir.

Covid-19'un ekonomiler ve sosyal hayat üzerindeki olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılabilmesine yönelik çabalar, aynı zamanda küresel ekonomiyi, sürdürülebilir katma değer, yeni iş alanları ve istihdam yaratacak şekilde, güçlü bir büyüme patikasına döndürmenin en önemli araçlarından birisi olarak görülmektedir. Yeni ekonomik büyüme planlarında, artan iklim değişikliği tehdidinin etkilerinin ve potansiyel risklerinin yönetilebilmesi için gereken eylemlerin tanımlanması, bu planların sürdürülebilirlik hedefleriyle yakından ilişkilendirilmesi daha fazla öne çıkmaktadır. Son dönemde, bu planların ve eylemlerin, tüm endüstrileri kapsayan, bütüncül bir bakış açısı içerisinde, iklim risklerinin yönetilebilmesi için temiz enerjiye geçişi destekleyen iklim-pozitif bir zemine oturması konusunda geniş bir mutabakat oluşmuştur. Ekonomilerin karbondan arındırılmasına yönelik yatırımların hızlandırılması ve temiz enerji odaklı iş modelleri oluşturulması, bu zeminin temel taşlarından birisi olarak konumlandırılmaktadır (OECD, 2020).

2019'daki %2,7'lik büyüme sonrasında 2020'de %3,5 daralan küresel GSYH'nin 2021'de %6 seviyesinde artacağı, bunun da 2020'deki daralmanın etkisini ancak bir seviyeye kadar giderebileceği tahmin edilmektedir (OECD Data, 2021). EA pazarında 2021 içerisinde daha da güçlenen büyümede, ekonomilerin yeniden büyüme patikasına dönüşünde çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği sağlamayı da önceleyen ekonomik kurtarma paketlerinin önemli katkısı olduğu değerlendirilmektedir.

2.2.5. Enerji Ekonomisinde Daha Geniş Elektrifikasyon ve Dijitalleşme

Elektrifikasyon ve dijitalleşme, en önemli küresel trendlerden biri olup, enerji ekonomilerini elektrik sistemi eksenli bir yapıya dönüştürmektedir. Elektrifikasyonun yanı sıra güneş enerjisi ve jeotermal ile ısıtma gibi alanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarının nihai enerji tüketiminde doğrudan kullanımı, enerji talebi hizmetlerinde fosil yakıtların ikamesini hızla artırmaktadır. Bu yönelim, refah seviyelerinde ve konfor talebinde artış, temiz elektrik üretim ve verimli elektrik tüketim teknolojilerindeki gelişmeler ve elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinin, enerji depolama sistemlerinin hızla gelişimi ile de desteklenmektedir.

Binalarda elektrikli ev aletlerinden ulaşım da EA'lara kadar, inovasyon, teknolojik ilerlemeler ve akıllı bağlantıların geliştirilmesi de bu süreçte önemli bir işleve sahip olmaktadır. Sürdürülebilirliği güçlendiren tüm bu değişimler, fosil yakıtlara dayalı ısıtma ve soğutma seçeneklerinin yerini elektrikli ekipmanların alması ve çeşitli endüstriyel proseslerin ısı işlemlerinde elektrikten daha fazla yararlanılması gibi pek çok alanda kendini göstermektedir. Binalardan ulaşım ve sanayi kollarından tarıma kadar nihai enerji talebi hizmetlerinde elektrik enerjisi kullanımının büyümesi, kullanıcı (enerji tüketicisi) konforuna katkı sağlarken, aynı zamanda talep edilen hizmetlerde (örneğin bina ısıtma veya bir noktadan diğerine ulaşım) birim nihai enerji tüketimi başına çevresel ayak izini de, temiz elektrik tedarikinde büyüme ile orantılı paralel olarak düşürmektedir.

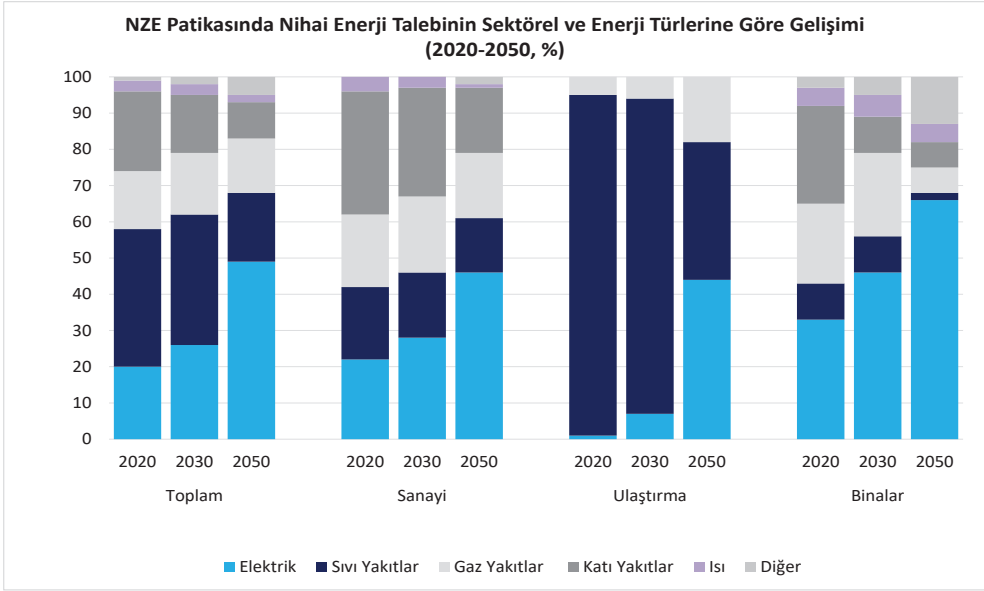
Doğrudan kullanımda elektriğin fosil yakıtlara kıyasla sahip olduğu çevresel faydalar, düşük karbonlu enerji kaynaklarından (yenilenebilir enerji ve nükleerden) elektrik üretiminin, enerji politikaları ve temiz elektrik teknolojilerindeki gelişmeler ile desteklenerek büyümesi sonucunda artmaya devam etmektedir. Yenilenebilir enerji, dünya genelinde en hızlı büyüyen elektrik üretim alanı olmaya devam edecektir. Dünya elektrik sisteminin, diğer temiz elektrik teknolojilerindeki (özellikle nükleer enerji, akıllı şebekeler, enerji depolama ve enerji verimli tüketim teknolojilerinde) gelişmelerle de desteklenerek 2040 yılına kadar net-sıfır-emisyon konumuna ulaşması beklenmektedir. NZE patikasında, yenilenebilir enerji kaynaklarının 2050 yılında dünya elektrik üretiminin %90'ını oluşturması (güneş PV ve rüzgarın toplam payının %15'ten %70'e kadar yükselmesi), geri kalan bölümün ağırlıklı olarak nükleerden gelmesi, doğal gazın da marjinal katkı sunması öngörülmektedir.

Günümüzde toplam küresel nihai enerji tüketiminin yaklaşık %20'sini temsil eden elektriğin (1990'da %13 ve 2000'de %16), 2050 yılına kadar payını her yıl yaklaşık 1 puan artırması beklenmektedir (IEA, 2021b). Elektriğin toplam nihai enerji talebindeki payı, binalar, sanayi sektörü ve enerji kullanan diğer tüm sektörlerde hızla artacak elektrik 2050 yılına kadar enerji tüketicisi tüm büyük sektörlerde en fazla paya sahip yakıt konumuna gelecektir. Elektriğin binaların enerji talebindeki payının 2020 yılında yaklaşık üçte-bir seviyesinden 2050 yılına kadar üçte-ikiye yükselmesi, aynı dönemde sanayi sektöründeki payının ise iki kattan fazla artması beklenmektedir (%22'den %46'ya).

Diğer sektörlerle karşılaştırıldığında, nihai enerji talebinde en hızlı elektrifikasyonun ulaşımında gerçekleşmesi öngörülmektedir. Bunun bir nedeni mevcut bazın oldukça düşük olması (yaklaşık %2), bir diğer nedeni ise EA'ların oyun değiştirici bir temiz enerji teknolojisi olarak öne çıkarak ulaşımın elektrifikasyonunda yüksek büyüme için önemli fırsat alanları sunmasıdır. Özellikle karayolu taşımacılığının hızlı bir şekilde elektrifikasyonu ve buna ek olarak demiryollarında elektrifikasyonun sürmesi ile elektrik enerjisinin 2050 yılında toplam ulaştırma enerji talebinin %44'ünü karşılaması öngörülmektedir (Şekil 2.8).

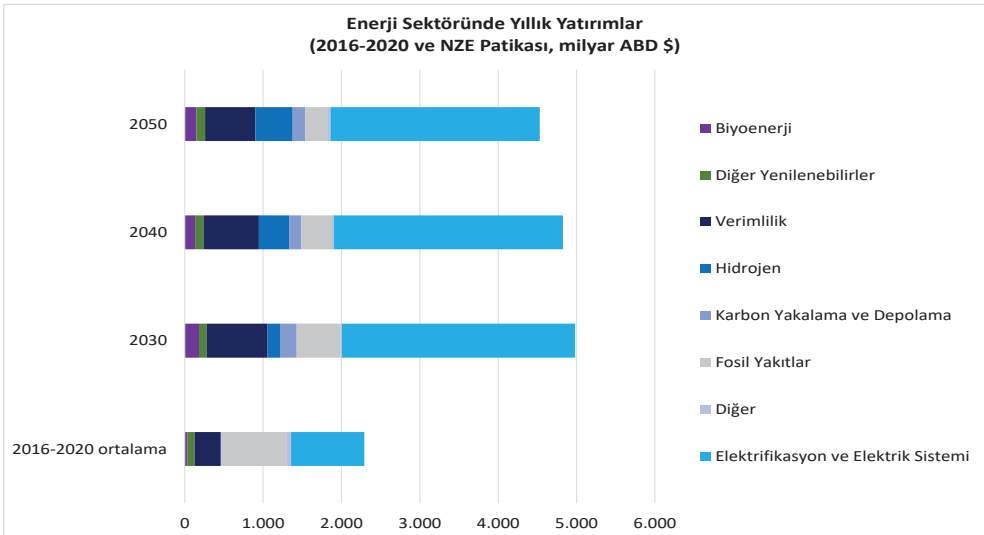
Enerji talebi hizmetlerindeki elektrifikasyona eğilimleri, hammadde ve insan kaynaklarının, yatırımların ve finansmanın daha fazla elektrikli bir enerji ekonomisine yönelik konumlandırılması ile desteklenmelidir. Son dönemin yatırım gelişmeleri irdelendiğinde, nihai enerji tüketiminde elektrifikasyon da dahil toplam elektrik yatırımlarının diğer tüm sektörleri geride bırakarak toplam enerji yatırımlarında en büyük paya ulaştığı görülmektedir. Elektrik yatırımları, son beş yılda toplam enerji yatırımlarının ortalama olarak yaklaşık %40'ını (yılda yaklaşık 800 milyar ABD \$) oluşturmuştur.

Şekil 2.8. NZE Patikasında Nihai Enerji Talebinin Sektörel ve Enerji Türlerine Göre Gelişimi (2020-2050, %)



Kaynak: IEA, 2021b

Şekil 2.9. Enerji Sektöründe Yıllık Yatırımlar (2016-2020 ve NZE Patikası, milyar ABD \$)



Kaynak: IEA, 2021b

Binalar, sanayi ve ulaşımda hızla artan elektrifikasyon oranlarının sağlanabilmesi için 2050 yılına kadar olan dönemde enerji sisteminde yıllık toplam yatırımların yaklaşık %60'ının (veya yıllık yaklaşık 2.4 trilyon ABD \$) elektrik sistemleri odaklı gerçekleşmesi beklenmektedir (IEA, 2021b). Yıllık elektrik sektörü yatırımlarında üç kat artışa işaret eden bu dönüşüm içerisinde yatırım portföylerinde temiz elektrik üretim teknolojilerinin, elektrik şebekelerini daha dayanıklı ve esnek hale getirecek, enerji depolama çözümlerinin, dijitalleşme ile desteklenen akıllı sistemlerin rolünün artması, E-mobilite ekosisteminde sürdürülebilir büyüme hedeflerini destekleyecektir (Şekil 2.9).

2.3. Karayolu Taşımacılığında Elektrikli Araçlar ve E-Mobilitenin Taksonomisi

EA'lar, güç aktarma organları bir elektrik motoruyla birlikte batarya içeren motorlu taşıtlardır. EA'lar üç formda olabilir: sadece bataryalı elektrikli araçlar (BEV'ler¹⁸), plug-in hibrit elektrikli araçlar (PHEV'ler¹⁹) ve yakıt hücresel elektrikli araçlar (FCEV'ler).

- BEV'ler İYM'ye sahip olmayıp yalnızca batarya ile çalışan bir elektrik motoru ile hareket etmektedir.
- PHEV'lerde batarya ve İYM birliktedir.
- FCEV'ler ise hibrit güç aktarma organları kullanırken, yakıt hücrelerini batarya ve süper kapasitör ile entegre ederek değerlendirmektedir.

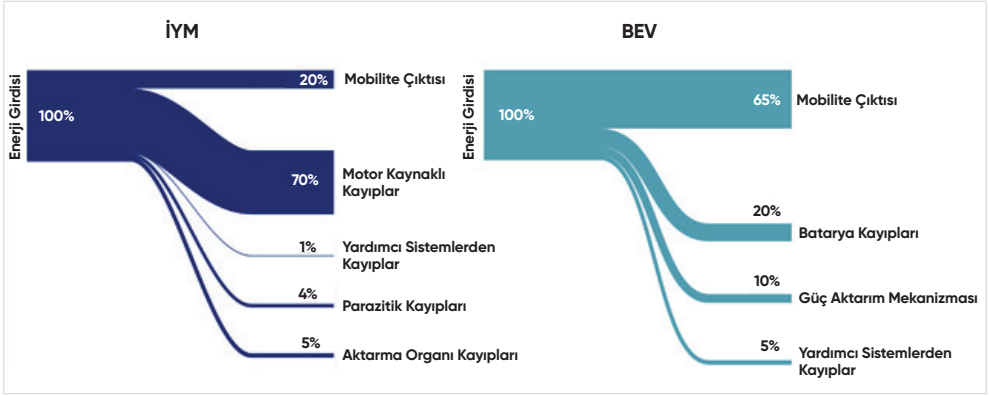
Tamamen elektrikle çalışan BEV'ler, harici bir güç kaynağı aracılığıyla yeniden şarj edilebilen bataryalar kullanırken, PHEV'ler de bataryalarını harici bir güç kaynağı ile şarj edebilme özelliğine sahiptir. PHEV'lerde hem geleneksel yakıt (benzin) hem de elektrik enerjisi hareket imkanı sağlamaktadır. Ancak, sadece elektrik temelinde çalıştıklarında bu tür araçlar BEV'lere kıyasla çok daha kısa menzil kabiliyetine sahip olmaktadır.

Verimlilik: Bir aracın verimliliği, hareket enerjisine dönüşen faydalı enerji ile tüketilen toplam enerji arasındaki oranı ifade etmektedir. İYMA'ların çalışma prensipleri nedeniyle, motordaki enerji girdisinin (yakıtın enerji içeriğinin) önemli bir miktarı kaybedilmektedir (Şekil 2.10). EA'ların tahrik sistemi ise, benzinli motordaki %64-75'lik kayba karşın sadece %15-20'lik bir kayıp içermektedir. Elektrik motoru, rejeneratif fren kullanımından sağlanabilecek kazanımlar da dahil edildiğinde, aracın hareketinde ettirmede girdi enerjisinin %85-95'ini kullanabilen, yüksek verimli bir sistemdir (US DOE, 2021a). EA'ların "tanktan tekerleklerle" verimliliği, İYMA'lar ile karşılaştırıldığında en az üç kat daha yüksektir. 2020'de ortalama bir BEV otomobil, ortalama bir İYM otomobilde aynı miktarda seyahat için gereken enerjinin yaklaşık %30'unu tüketmiştir (IEA, 2021b). Bu yüksek verim karakteristiği, ulaşımda yakıt ekonomisinin ve çevresel performansın iyileştirilmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır (Detaylar için Bölüm 2.4'e bakınız).

¹⁸ Battery Electric Vehicles, Plug-in Hybrid Electric Vehicles, Fuel Cell Electric Vehicles

¹⁹ Plug-in Hybrid Elektrikli Araçlar (PHEV), Türk Standardları Enstitüsü (TSE) tanımında "Harici Olarak Şarj Edilebilen (fişli) Hibrit Elektrikli Araçlar" olarak yer almaktadır (TSE, 2021)

Şekil 2.10. İYMA'lar ve EA'lar için Şematik Sankey Diagramları



Kaynak: US DOE, 2021'a'dan uyarlanmıştır.

Not: BEV'ler için yukarıda sunulan Sankey Diagramı, rejeneratif fren ile tekrar kazanılan enerjiyi içermemektedir. Bu oran, kentsel sürüş dinamiklerinde %30'a kadar çıkabilmektedir.

Şarj: EA'ların şarj edilmesi, İYM'lere yakıt ikmalinden oldukça farklıdır. EA'lar, farklı güç seviyelerinde şarj edilebilmektedir. Kullanıcı perspektifi dikkate alındığında, en uygun şarj stratejisinin, yaygın bir altyapıdan yararlanılabilecek şekilde kurgulanması en önemli önceliktir. Bazı kentsel EA kullanım biçimleri özel şarj ünitelerine (örneğin ofislere ve konut birimlerine), bazıları da alışveriş merkezleri ve eğlence alanları gibi özel alanlarda veya halka açık caddelerde yerleşik, kamuya açık şarj altyapısına dayanmalıdır. Daha kısa mesafelerde seyahat ihtiyaçlarından farklı olarak, uzun mesafeli seyahat, kullanıcı beklentilerini karşılamak için hızlı şarj deneyimini sunabilen, coğrafi olarak yaygın şarj altyapısı gerektirmektedir. *Menzil kaygısı* (istenilen mesafeyi asgari şarj ihtiyacı ve süresi ile kat edebilmek), E-mobilite ekosisteminde geliştirilmesi gereken en önemli alan olarak görülmektedir. Bu beklentilerin karşılanabilmesi için, hızlı şarjın önümüzdeki dönemde E-mobilitenin gelişiminde etkisini artırması gerekmektedir²⁰.

Özel otomobiller zamanın çok büyük bölümünde (çoğu zaman günün %90'dan fazlasında) konut birimlerinde, işyerlerinde, alışveriş merkezlerinde, halka açık caddelerde veya özel park alanlarında park edilmektedir. Bu kullanım durumları, genellikle günlük rutin mobilite ile sınırlı olduğundan, ilgili menzil ihtiyaçlarının karşılanmasında yavaş şarjı uygun bir çözüm durumuna getirmektedir. Bu özellik, aynı zamanda, konvansiyonel yakıtlar için geçerli olanın aksine, park ve şarj ihtiyaçlarının birlikte sağlanmasına da olanak tanımaktadır. EA kullanıcıları ihtiyaç bazında (yani depo boşaldığında bir yakıt istasyonuna giderek) değil, fırsat bazında (şarj imkanı ortaya çıktığında) şarj işlemini gerçekleştirebilmekte, şarja sadece bataryanın ihtiyacı olan durumlarda erişim ihtiyacını da azaltabilmektedir.

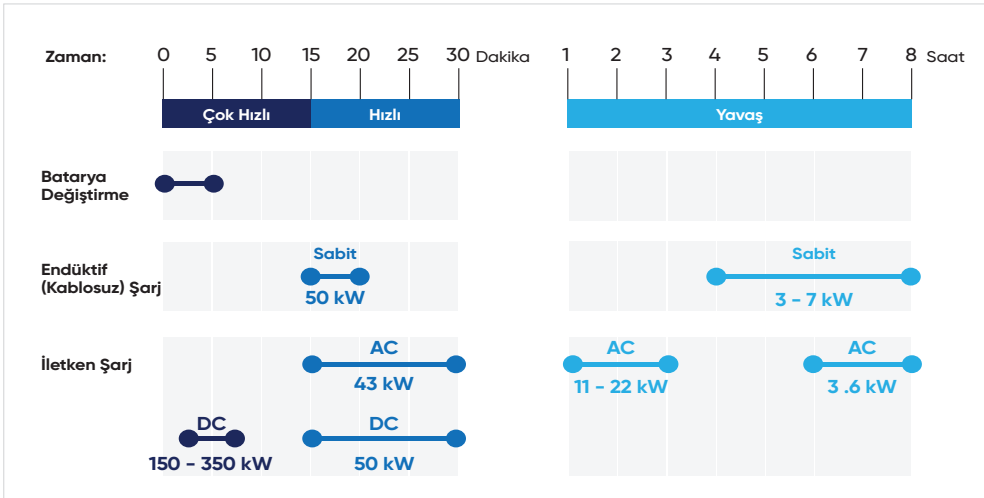
²⁰ Örnek olarak, Avrupa'da halka açık şarj noktalarının sayısı 200.000'i aşmıştır. Bu noktaların yaklaşık %90'ı 22 kW'ın altındadır. Kalan stok ise 50 kW'ın üzerinde şarj gücüne izin veren hızlı şarj birimleridir (ENTSO-E, 2021).

EA şarj altyapısının kullanımı için iki yöntem bulunmaktadır:

- **Alternatif akım (AC) ile şarj²¹** : Araç içindeki invertör, elektrik şebekesinden gelen alternatif akımı doğru akıma (DC) dönüştürmektedir. DC, bataryayı şarj etmek için kullanılmaktadır.
- **Doğru Akım (DC) ile şarj²²** : Şarj ünitesi, şebekedeki alternatif akımı araca ulaşmadan önce doğru akıma dönüştürmektedir.

AC altyapıları, EA'lar üzerinde yerleşik ekipmanları kullanmaktadır. Bu tür yapılar, araçlarda boyut ve maliyetle ilgili sınırlamalar nedeniyle güç seviyelerinde de sınırlıdır. DC ile şarj ise, çok daha büyük bileşenlere izin vererek, en iyi performans gösteren cihazlarda, yeni teknolojilerle MW seviyelerine kadar güç sağlayabilmektedir. EA'lar ve şarj altyapısında gelişimin ilk aşamalarında, AC şarj gücünün iyileştirilmesi yönünde olan genel eğilim, gelişen kullanıcı ihtiyaçlarına karşılık verebilmek üzere değişmiştir. AC şarj güç seviyelerinin sınırlanması, artan oranda hızlı şarjın artık tüm yeni EA modellerinde standart hale gelen DC şarj ile gerçekleştirilmesi, günümüzde şarj altyapılarının gelişiminde temel yönelimdir (ENTSO-E, 2021).

Şekil 2.11. Şarj Güçleri ve Sürelerine Genel Bakış



Kaynak: ENTSO, 2021'den uyarlanmıştır.

²¹ Bu şarj yöntemi, "Yöntem 1, 2 ve 3" olarak tanımlanmaktadır. Yöntem 1, aracın standart bir prize bağlanarak şarj edilmesidir. Yöntem 2, standart bir prize kablo içi kontrol ve koruma cihazı vasıtası ile gerçekleşen şarj yöntemidir. Yöntem 3 ise, "EA besleme donanımından, elektrikli araca uzanan bir kontrol pilot fonksiyonuna sahip bir alternatif akım (a.a) besleme şebekesine kalıcı olarak bağlı bir a.a. elektrikli araç besleme donanımına bağlanması yöntemi"dir (TSE, 2021).

²² Bu şarj yöntemini TSE, "Yöntem 4" olarak tanımlamaktadır. Bu yöntemde bataryaya doğru akım iletilmesi için harici bir şarj cihazı kullanılmaktadır.

E-mobilite ekosisteminin merkezinde kullanıcı yer almakta olup, aracın nasıl ve ne zaman kullanılacağı kararı da kullanıcıya ait olmalıdır. Şarj altyapılarının gelişimi, otomotiv endüstrisinin dönüşümü, araç ve batarya üretimi ile ilgili yatırımlar ve teknolojik gelişmeler, karayolu taşımacılığında E-mobilitenin kullanıcı odaklı gelişimini desteklemek için hayati öneme sahip alanlardır. İlgili düzenleyicilerin, yatırımcıların ve piyasa oyuncularının katılımıyla birlikte, tüm elektrik sisteminin (özellikle elektrik şebekelerinin) şarj altyapısı ile verimli etkileşimleri de, iyi işleyen bir sistemin merkezinde kurgulanmalıdır. E-mobilite ekosisteminde, elektrik enerjisi ve veri akışlarının dijitalleşme fırsatlarından yararlanılarak yönetilmesi gerekmektedir. Paydaşlar arasındaki tüm etkileşimlerin teknik, veri tabanlı ve finansal tüm etkileşimlerin iklim-nötr ve teknoloji odaklı iş modelleri ve yenilikçi çözümler yoluyla tüm paydaşlar için sürdürülebilir değer ve azami toplumsal fayda sağlayacak şekilde tasarlanarak yönetilmesi önem taşımaktadır (Şekil 2.12).

2.4. Elektrikli Araçların Çok Boyutlu Faydaları

2.4.1 Güçlendirilmiş Enerji Verimliliği

EA'lar, Bölüm 2.3'te belirtildiği gibi, İYMA'lara göre sahip oldukları yapısal teknik avantajlar sayesinde ulaştırma talebinin karşılanmasında enerji verimliliğini üç kat artırmaktadır. Ortalama bir benzinli İYMA 100 km ulaşım için 6,8 litre harcarken aynı mesafe için ortalama bir BEV otomobilin enerji tüketimi 19 kWh düzeyindedir (IEA, 2021g). 1 kWh 3,6 MJ'ye eşdeğer olup, 1 litre benzin ise 32 MJ enerji içermektedir (8,9 kWh eşdeğeri). Bu çerçevede, ortalama bir elektrikli BEV otomobil, ortalama bir benzinli otomobile göre yaklaşık %70 daha verimlidir.

Özel yolcu seyahati, yolcu taşımacılığının enerji yoğunluğu en yüksek seçenekleri arasında yer almaktadır. 2018'de ortalama bir otomobil 1,8 MJ/yolcu-km enerji tüketirken, bu değer otobüsler ve minibüsler için 0,7 MJ/yolcu-km, demiryolu yolcu taşımacılığı için ise 0,2 MJ/yolcu-km olarak gerçekleşmiştir. Büyük otomobiller ve spor arazi araçları (SUV'ler) 2018 yılı itibarıyla ortalama 2,7 MJ/yolcu-km tüketim ile enerji verimliliği en düşük yolcu seyahat seçeneği konumundadır (IEA, 2020b). Küresel ölçekte araç sahipliğinde büyümenin ve binek araçlarda SUV yöneliminin devam ettiği dikkate alındığında, otomobillerin ve hafif ticari araçların elektrifikasyonu, ulaşımında enerji yoğunluğunu iyileştirmenin en etkin çözümleri arasında önde gelmektedir. Gerek yüksek elektrifikasyon potansiyeli gerekse de önümüzdeki dönemde yeni araçlarda yakıt verimliliği iyileştirmelerinin sürmesi ile birlikte, 2050 yılında ortalama bir otomobilin enerji tüketiminin bugüne kıyasla dörtte üç oranında azalacağı tahmin edilmektedir²³ (IEA, 2021b). Toplu karayolu ulaşımında (özellikle şehir içi otobüslerde) dizelden elektrığe geçiş yoluyla sağlanabilecek araç başına yakıt ekonomisi iyileştirmeleri bundan daha yüksektir. Bu potansiyel, birim aktivite (yolcu-km) bazında değerlendirildiğinde çok daha düşük enerji yoğunluğu kazanımını da beraberinde getirmektedir (Detaylar için Bölüm 3'e bakınız).

²³ Bu önemli fırsat, elektrik tabanlı olmayan araçlardaki yakıt ekonomisi iyileştirmeleri ve küresel otomobil filosunun hızla artan elektrifikasyonundan kaynaklanmaktadır.

2.4.2 Düşük Sera Gazı Emisyonu ve Hava Kalitesinde İyileştirme

İYMA'lar, teknolojilerdeki sürekli gelişmelere rağmen, termodinamik sınırlamalar nedeniyle egzoz emisyonlarına neden olmaktadır. Yanma süreçleri olmayan EA'lar ise, petrol ürünleri tüketimini (dizel, benzin ve LPG) ikame ederek "tanktan-tekerleğe" çevresel performans bakımından önemli faydalar sunmaktadır. Bu önemli özellik, elektrik sektörünün karbon yoğunluğunun düşürülmesi ile birleştiğinde, CO₂ ve diğer sera gazlarının salımını belirgin şekilde azaltabilmektedir. EA'lar, 2020'de dünya genelinde 50 milyon ton CO₂-eşdeğeri emisyon azaltımı sağlamıştır. Toplam enerji kaynaklı CO₂ emisyonlarının 2020'de %1'den daha azına karşılık gelen bu katkı, küresel karbon bütçesinin yönetilmesindeki payını, elektrikli otomobillerin ve diğer elektrikli araçların hızla yaygınlaşmasına paralel olarak önemli ölçüde artacaktır (Ayrıntılar için lütfen Bölüm 3'e bakınız). EA'lar, araç ve batarya üretimi hesaba katıldığında da sera gazı emisyonları bazında karşılaştırılabilir seviyede çevresel etkiye neden olmaktadır. EA'ların hava kirliliğini azaltarak sağladığı çevresel avantajları da sağlık etkilerinin azaltılabilmesi bakımından önemli faydalar sağlamaktadır.

Benzinli otomobiller, en verimli olanlara geçiş durumunda dahi nitrojen oksit (NO_x) emisyonlarını yalnızca %14 oranında azaltabilmektedir. Toplu karayolu taşımacılığı, dizel-yoğun yapıda devam etmesi durumunda yüksek NO_x emisyonlarına neden olmayı sürdürecektir (ICCT, 2019). Ulaşımда elektrifikasyonun kamu sağlığına katkıları ile ilgili son dönemde yapılan çalışmalar, EA'ların yaygın penetrasyonlarının NO_x, PM_{2.5} ve CO başta olmak üzere sağlık riskleri taşıyan hava kirleticilerde önemli düşüş sağlayabileceğini göstermiştir (American Lung Association, 2021; Choma ve Spengler, 2020; Horton et al, 2021; ICCT, 2021b).

Hava kalitesi odaklı yaklaşımlar, karar vericileri birçok farklı bölgede, özellikle de büyük şehirlerde, ulaşımда elektrifikasyona yönlendiren temel etkenler arasında yer almaktadır. Yaygınlaşan bir uygulama olarak şehir içi otobüs filolarının elektrifikasyonu, kentsel alanlarda hava kirliliğinin azaltımında belirgin faydalar göstermektedir. Örneğin, Çin'in Shenzhen şehri, ekonomik teşvikler, hızlı altyapı düzenlemesi ve rota optimizasyonu uygulamalarını da kullanarak, dünyada tüm otobüs filosunu elektrikleştiren ilk şehir olmuştur. Böylelikle, otobüs filosunda 2016'ya göre %73 daha az enerji tüketen Shenzhen, 510 otobüs şarj istasyonu kurmuştur. Çoğu özel otomobillerin de erişebildiği toplam 8.000 şarj ünitesini işletilerek bu istasyonlardan ayrıca ek gelir de elde edilmektedir. Bir diğer önemli örnek olarak öne çıkan Londra'da hava kirliliğini azaltmaya yönelik politikaların desteğiyle, Avrupa'nın en büyük elektrikli otobüs filosu gelişmektedir. Şehirde, otobüs filosunun %5'ine karşılık gelen 400'ün üzerinde elektrikli otobüs bulunmaktadır (IEA, 2021h). Daha geniş bir perspektifle ve bütüncül şehir planlaması yaklaşımı temelinde düşük emisyonlu ve sıfır emisyonlu bölgeler (LEZ ve ZE) oluşturan şehirlerin sayısı hızla artmakta, bu gelişmeler de ulaşım talebi ve ilgili hizmetlerden kaynaklanan hava kirliliğini azaltmaktadır (C40 Cities, 2020, ICCT 2021c) (Detaylar için lütfen Bölüm 3'e bakınız).

Elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonlar ("şebekeden tekere" emisyonlar) dahil edildiğinde, BEV'ler İYMA'lara kıyasla AB'de %80, ABD'de %60 ve Çin'de %40 daha az CO₂ emisyonuna neden olmaktadır (ICCT, 2021a). Rüzgar, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla kullanımı sayesinde elektrik üretiminin karbon yoğunluğunun azaltılmasına paralel olarak önümüzdeki dönemde bu oranların artması öngörülmektedir.

Karşılaştırmalı çevresel etkilere yönelik bütüncül bir değerlendirme yapılabilmesi için, hammadde madenciliği, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve araçların hurdaya çıkarılması gibi tedarik ve kullanım zincirlerindeki diğer süreçlerden kaynaklanan çevresel etkilerin de hesaba katılması gerekmektedir. Bu tür bir değerlendirme, araç bazında yakıt tüketiminin ötesinde, daha geniş sınır koşulları olan bir hesaplama yöntemine dayanmalıdır. Kapsamlı bir yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA²⁴) yöntemiyle, hammadde çıkarılması, araçların ve pillerin üretimi ve araçların kullanım sürecinin yanı sıra geri dönüşüm ve atık bertarafı da dahil olmak üzere kullanım ömrünün sonunu da kapsayan analizler geniş bir emisyon envanteri sağlayabilmektedir. Böylelikle, "depodan tekerleklere" veya "şebekeden tekerleklere" yaklaşımlarının ötesinde "beşikten mezara" bir yaklaşım bazı oluşturabilmektedir (Şekil 2.13) (Rise Swedish Research Institute, 2018). Bölgesel ve küresel ölçekte yapılan karşılaştırmalı analizler, LCA envanterleri çerçevesinde de BEV'lerin performansına ilişkin yeni bulgular içermektedir (IEA, 2021g; ICT, 2021a; PSI, 2020).

Şekil 2.13. Araçlar için LCA Aşamalarına Şematik Bakış



Kaynak: Rise Swedish Research Institute, 2018'den uyarlanmıştır.

²⁴ Life Cycle Assessment

Yakın tarihli bir araştırmada, büyük ekonomiler ve otomotiv pazarlarında (Avrupa, ABD, Çin ve Hindistan) benzinli ve elektrikli otomobillerin, kullanım ömrü sonu hariç yaşam döngüsü emisyonlarının ayrıntılı bir karşılaştırması sunulmaktadır. Gerek araçların yakıt ekonomisindeki, gerekse de elektrik üretim portföylerindeki bölgesel farklılıkları yansıtan bu analizlerde, BEV otomobillerin emisyonlarının incelenen tüm bölgeler için benzinli otomobillerden daha düşük seviyeye ulaşmış olduğu gösterilmektedir. Benzinli otomobiller için hesaplanan 250 gCO₂-eşdeğeri/km üzerinde rakamlara karşın, BEV'ler halihazırda Avrupa ve ABD'de 100 gCO₂-eşdeğeri/km'nin altında emisyon üretmektedir. Emisyonlar arasındaki farklar, Avrupa'da %66-69, ABD'de %60-68 seviyelerindedir. Çin ve Hindistan'da, elektrik üretim portföylerinde fosil yakıtlara (esas olarak kömüre) daha yüksek bağıllık nedeniyle bu fark daha düşüktür (Çin'de %37-45, Hindistan'da %19-34). Tüm bölgelerde elektrik üretim portföyünde karbon yoğunluğu azalmaya devam ederken, BEV'ler ve İYMA'lar arasında emisyonlar arasındaki fark da büyüyecektir. 2030'da tescil edilmesi öngörülen orta segment otomobiller için bu farkın Avrupa'da %77'ye, ABD'de %76'ya, Çin'de %64'e ve Hindistan'da %56'ya kadar çıkabileceği hesaplanmaktadır²⁵ (ICCT, 2021a). İsviçre'de yapılan bir araştırmada ise²⁶, yaklaşık 100 gCO₂/kWh içeren bir elektrik şebekesi için, elektrikli otomobillerin özel ulaşımda karbon yoğunluğu en düşük seçenek olduğu, düşük karbonlu elektrik üretiminden tedarikin, batarya ve araç imalatından kaynaklı emisyon seviyelerini dengeleyebildiği gösterilmektedir (PSI, 2020).

IEA'nın konuya ilişkin olarak Şekil 2.14'te sunulan son bulguları da kullanım ömrü sonu süreçler hariç yaşam döngüsü perspektifinden bakıldığında, BEV'lerin İYMA'lara kıyasla ortalamada %50 daha az sera gazı emisyonuna neden olduğunu ortaya koymaktadır. Elektrik üretiminde daha geniş karbonsuzlaştırmanın, bu farkı küresel olarak %25 daha artıracakı öngörülmektedir. EA'ların toplam sera gazı emisyonları, aracın kullanım ömrü boyunca yaklaşık 20 ton CO₂-eşdeğeri olarak hesaplanmaktadır. Elektrik şebekesi için küresel ortalama sera gazı yoğunluğu dikkate alındığında²⁷, 200.000 km'lik kullanım ömrü varsayımıyla İYMA'lar için ortalamada yaklaşık 210 gCO₂-eşdeğeri/km olan emisyon yoğunluğu, BEV'lerde 100 gCO₂-eşdeğeri/km olarak gerçekleşmektedir. Çalışmada ayrıca yüksek karbon yoğunluklu bir elektrik şebekesi (800 gCO₂-eşdeğeri/kWh) ve statik bir düşük karbon kaynağından tedarik (50 gCO₂-eşdeğeri/kWh) olarak iki uç örnek de sunulmaktadır. İlkinde araç ömrü başına hesaplanan yaklaşık 40 ton CO₂-eşdeğeri (veya yaklaşık 200 gCO₂-eşdeğeri/km) emisyon, İYMA'lardan daha düşükken, temiz elektrik üretimi ve dağıtık üretim trendleri ile desteklenen ikinci durumda karbon ayak izi azalımı üç kata çıkabilmektedir.

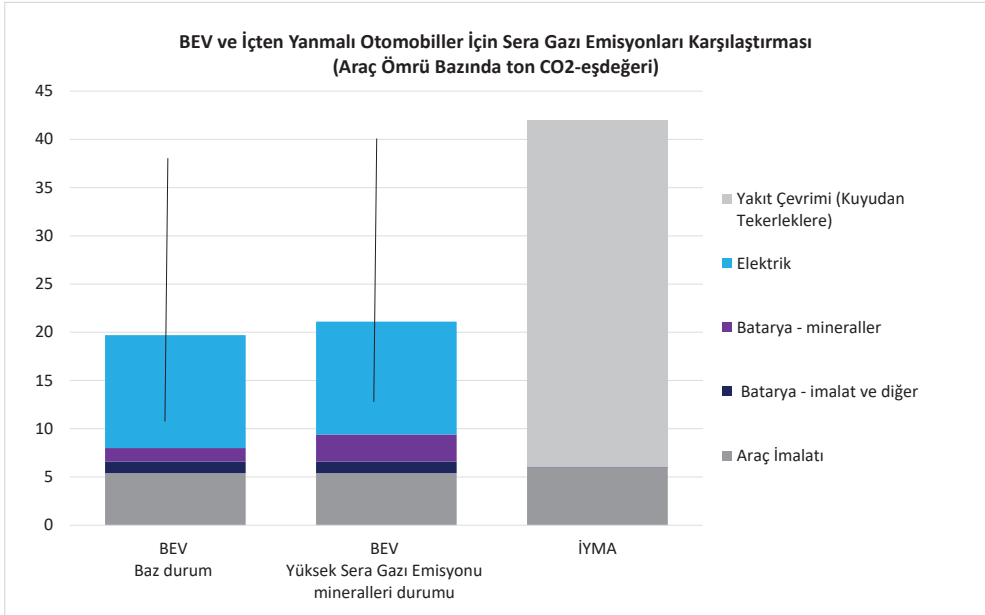
²⁵ Çalışma, her bölge için en yaygın pazar segmentlerindeki ortalama araç özelliklerine dayanmakta, gerçek sürüş koşullarını ve politika yönelimlerini de dikkate alarak 2021 ve 2030 yakıt ekonomisi ve elektrik portföyü özelliklerini yansıtmaktadır.

²⁶ Büyük ölçüde hidroelektrik ve nükleerin hakim olduğu İsviçre elektrik sisteminde, ülkenin net elektrik ithalatının içerdiği karbon ayak izi de dahil edilerek

²⁷ IEA Sürdürülebilir Kalkınma Senaryosu'ndaki (SDS) elektrik sistemi gelişimi

Analizler, İYMA'lar için yaşam boyu sera gazı yoğunluğunun %86'sının yakıt döngüsünden (veya "tanktan tekerleğe"emissionlardan) kaynaklandığını, araç üretiminden kaynaklanan %14'lük bölümün ise mutlak değer olarak BEV'lerde araç üretimi ile yaklaşık olarak aynı değere karşılık geldiğini göstermektedir²⁸ (IEA, 2021g).

Şekil 2.14. BEV ve İçten Yanmalı Otomobiller için Sera Gazı Emisyonları Karşılaştırması (Araç Ömrü Bazında ton CO₂ - eşdeğeri)



Kaynak: IEA, 2021g

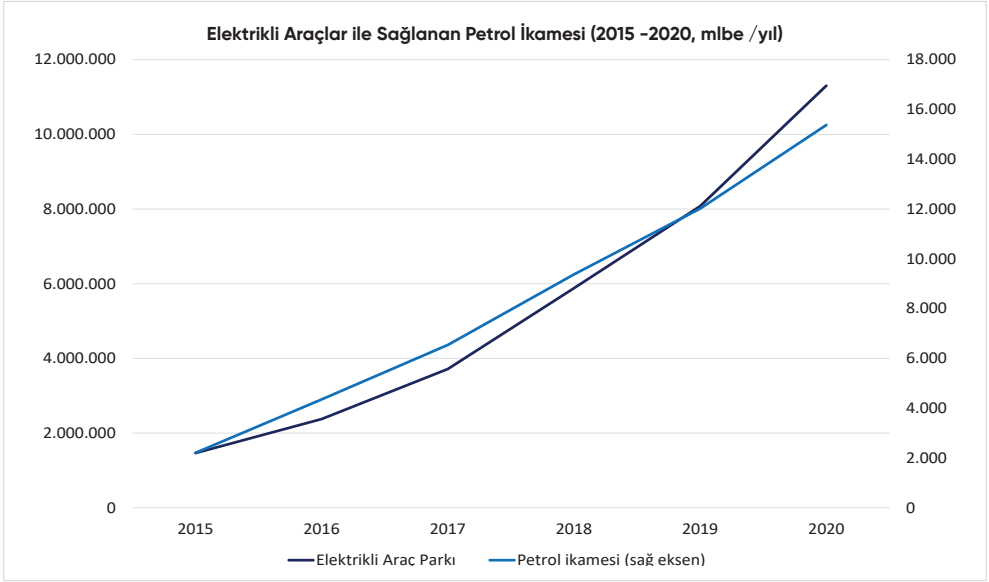
Notlar: "Yüksek sera gazına sahip mineraller" durumu, 35 kgCO₂-eşdeğeri/kWh içeren baz senaryoya göre batarya mineralleri için iki kat daha yüksek sera gazı emisyon yoğunluğunu yansıtmaktadır. Yakıt ekonomisi: 6,8 lbe/100 km ve 19 kWh/100 km. BEV pil özellikleri: 40 kWh ve NMC622 (6:2:2 oranında nikel-manganez-kobalt).

2.4.3 Petrolün İkamesi ve Yakıt Portföyünde Çeşitlendirme

2015-2020 arası dönemde, elektrikli araçların sağladığı kümülatif petrol ikamesi, ağırlıklı bölümü otobüsler ve otomobillerden gelmek üzere 25.000 milyon litre benzin eşdeğeri (lbe) düzeyine yaklaşmıştır. Yalnızca 2020'de, yollardaki 11 milyondan fazla EA, yaklaşık 8.600 milyon lbe petrol kullanımının yerini almıştır (Şekil 2.15) (Ayrıntılar için lütfen Bölüm 3'e bakınız).

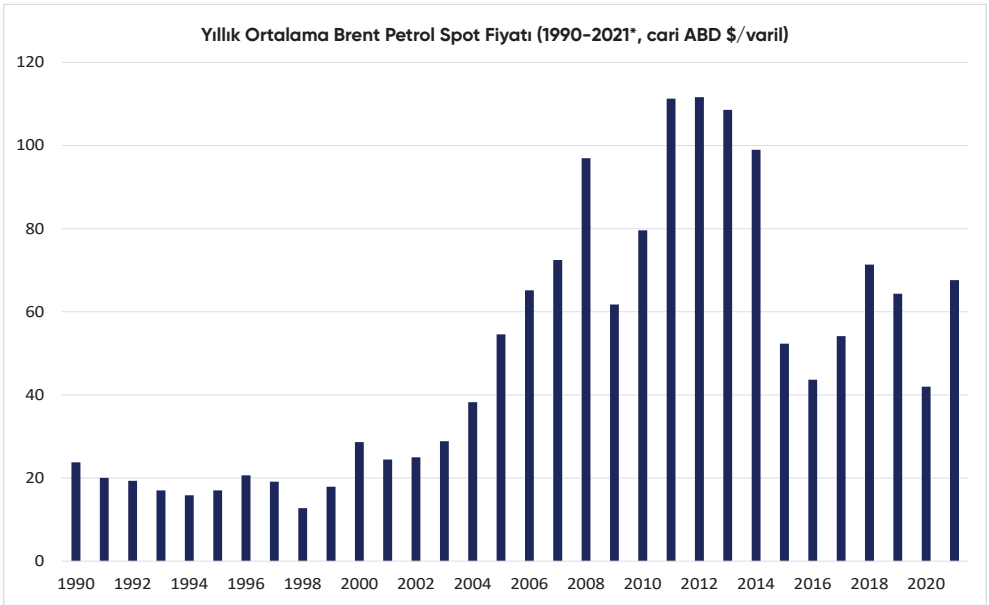
²⁸ Bataryaların kullanım ömrü sonunda yeniden değerlendirilmelerine yönelik aktivitelerin neden olacağı çevresel ayak izine ilişkin analizlerin de bu tür çalışmaların tamamlayıcısı olarak gerçekleştirilmesi önem taşımaktadır.

Şekil 2.15. Elektrikli Araçlar ile Sağlanan Petrol İkamesi (2015 -2020, mlbe /yıl)



Kaynak: IEA, 2021a

Şekil 2.16. Yıllık Ortalama Brent Petrol Spot Fiyatı (1990-2021*, cari ABD \$/varil)



Kaynak: US EIA, 2021

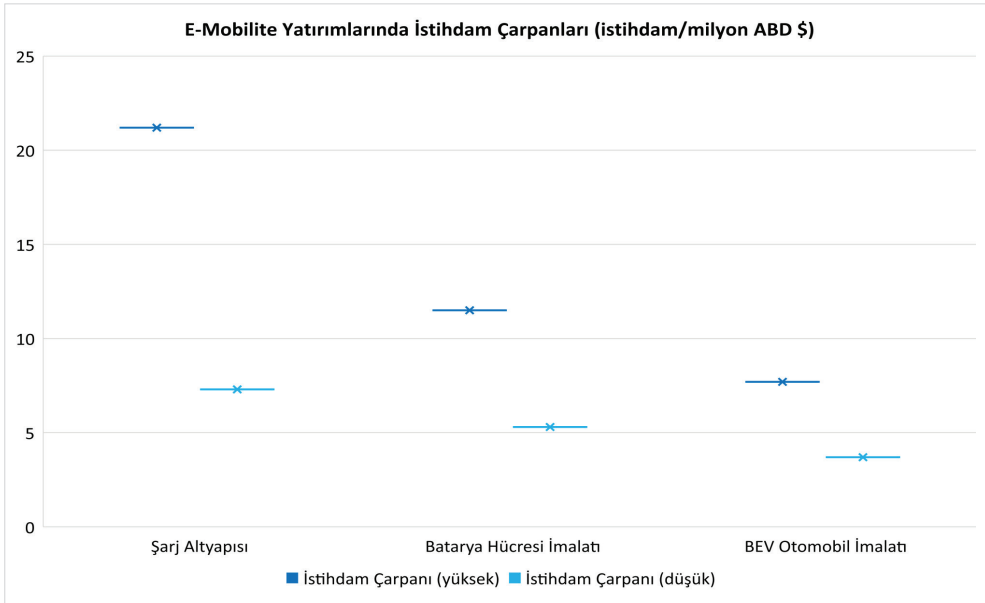
*Not: 2021 ilk 9 ay ortalaması

Ulaşımında elektrifikasyon, ekonomilerin petrole olan bağımlılığını azaltarak enerji arz güvenliğine de katkı sağlamaktadır. Bu durum özellikle ham petrol ve petrol ürünleri ithalatına bağımlılığı yüksek olan, gelişen enerji ekonomileri için çok daha büyük öneme sahiptir²⁹. Petrol tüketiminde sağlanan düşüşler, bu tür ekonomiler için kritik olan petrol ticaret dengelerinin iyileştirilmesini sağlarken, genel olarak tüm enerji sistemlerinin ve daha geniş ölçekte ekonomilerin küresel petrol fiyatlarındaki dalgalanmalara maruz kalma riskinin azaltılması yoluyla enerji güvenliği perspektifine de katkı sunmaktadır (Şekil 2.16.).

2.4.4. Diğer Faydalar

Önemli çevresel ve ekonomik avantajlara ek diğer bazı toplumsal faydalar, daha teknoloji odaklı ve yüksek katma değerli bir ekosistemde yeni istihdam fırsatları ve iş modelleriyle bağlantılıdır. Yatırım başına sağlanan istihdam olarak hesaplanan istihdam çarpanları, özellikle temiz enerji ve teknoloji yatırımlarıyla desteklenecek ekonomik toparlanma faaliyetlerini değerlendirmede temel göstergeler arasında yer almaktadır.

Şekil 2.17. E-Mobilité Yatırımlarında İstihdam Çarpanları (istihdam/milyon ABD \$)



Kaynak: IEA, 2020c

²⁹ Türkiye dizelde net ithalatçı olup toplam talebin önemli bir bölümü ithalatla karşılanmaktadır (Sabancı Üniversitesi IIEEC, 2020) (Detaylar için Bölüm 4'e bakınız). Dizel ithalatı, doğal gazdan sonra Türkiye'nin en büyük ikinci enerji ithal kalemini oluşturmaktadır.

Ana E-mobilite iş kolları arasında, şarj altyapısı, 7-21 iş/1 milyon ABD \$ yatırım oranıyla en büyük istihdam çarpanına sahiptir. BEV üretimi, İYMA'ların üretimine kıyasla daha az emek yoğun olup 4-7 iş/milyon ABD \$'ı istihdam çarpanı sağlarken, bu oran batarya hücresi üretiminde 5-11'e kadar yükselmektedir. E-mobilite ekosistemi, inovasyon, dijitalleşme ve insan kaynaklarının temiz enerji dönüşümü odaklı olarak geliştirilmesi durumunda, yüksek sosyal fayda sağlama potansiyeline sahiptir (Şekil 2.17) (IEA, 2020c).

Daha yüksek verimlilik performansına ek olarak, elektrikli güç aktarma organları, İYM'ler ile kullanıcı perspektifinden farklı özellikleri ile de ayrılmaktadır. Bu avantajlar, daha az hareketli parça ve bakıma neden olan daha yüksek mekanik güvenilirliği, gelişmiş sürüş konforunu ve sürüş kaynaklı olarak daha az gürültüyü içermektedir. Bazı büyük EA pazarlarında yakın zamanda yapılan bir anket³⁰, sürüş deneyiminin EA'ların tüketiciler tarafından en fazla farkında olunan faydalar arasında yer aldığını göstermektedir (McKinsey, 2020).

2.5. Zorluklar ve Fırsatlar

EA'ları geleneksel karayolu ulaşım araçlarına kıyasla sunduğu önemli makro avantajlara (Şekil 2.18) ve son on yıl içerisinde Avrupa ve Çin başta olmak üzere büyük pazarlarda otomobillerin ve diğer karayolu araçlarının elektrifikasyonundaki hızlı büyümeye rağmen, EA penetrasyonunun yaygınlaşmasının önünde çeşitli zorluklar bulunmaktadır. Bu konular arasında başlıcaları,

- Satın almaya yönelik mali teşviklerin olmaması durumunda mevcut ekonomiklik düzeyi,
- Menzil sınırlamaları,
- Şarj altyapısının yaygınlığı, talep durumunda emre-amadeliği ve şarj süreleridir.

Şekil 2.18. EA'lar ve E-Mobilitenin Çok Boyutlu Faydaları



Kaynak: IICEC Sentezi

³⁰ ABD, Almanya, Çin ve Norveç

2.5.1. Maliyetler ve Kullanıcı İçin Ekonomiklik

EA'ların daha yaygın şekilde benimsenmesindeki en belirleyici etken, bir yüzyıldan uzun süredir piyasada olan İYMA'lar ile maliyet rekabetidir. İlk EA'lar yirminci yüzyılın başında tanıtılmış olsa da³¹, 2000'li yılların başlarına kadar geleneksel araçlara alternatif nitelik kazanmamıştır. EA'lar, perakende seviyesinde ve herhangi bir vergi olmaksızın, halen ortalama olarak İYMA'lardan daha pahalı durumdadır. Bu nedenle, Çin ve Avrupa ülkelerinin çoğunluğu da dahil olmak üzere birçok bölge ve ülke, EA satın alımlarında kullanıcılara çeşitli teşvikler sunmaktadır (Lütfen Bölüm 3'e bakınız).

EA'larda maliyetlerin, dolayısıyla da fiyatların düşüşünü destekleyecek olan ana faktörler, araçlar için verimlilik artışı sağlayacak teknolojik iyileştirmeler, batarya fiyatlarındaki düşüş eğilimi ve otomotiv endüstrisinin EA'lar için özel üretim platformlarına artan yönelimleri olacaktır. Bataryalarda süregelen maliyet düşüşlerinin devam etmesi durumunda, otomotiv sektöründe ölçek artışları ve model gamında artan çeşitlendirmenin de etkisiyle, EA'ların 2020'lerin ortalarında İYMA'larla fiyat paritesine³² ulaşabilecekleri öngörülmektedir. Avrupa pazarına ilişkin olarak yakın zamanda yapılan bir araştırma, BEV'lerin 2025 ile 2027 yılları arasında eşdeğer İYMA modelleriyle herhangi bir finansal teşvik olmaksızın fiyat paritesine ulaşabileceğini göstermektedir³³. Orta sınıf bir elektrikli otomobilin, 2030 itibarıyla eşdeğer sınıfta bir İYM otomobilden vergi öncesi perakende satış düzeyinde %18 daha ucuz duruma geleceği tahmin edilmektedir³⁴ (BNEF, 2021b). NZE patikasında dünya genelinde ortalama BEV fiyatının (vergi ve teşvikler hariç) 2020 yılındaki yaklaşık 22,000 ABD \$'ı seviyesinden 2030'da yaklaşık 15,000 ABD \$'ına, 2050 yılında da yaklaşık 13.000 ABD \$'ına kadar düşeceği (2020-reel fiyatlarıyla) öngörülmektedir (IEA, 2021d).

- **Batarya paketi fiyatları ve teknik performansı:** Lityum-iyon (Li-iyon) bataryaların düşen fiyatları, dünya genelinde EA satışlarındaki hızlı artışın en önemli destekçilerinden birisi olmuştur. Batarya paketi fiyatlarında 2020'de yıllık %13 azalma gerçekleşirken, son beş yıldaki toplam azalış %70'e ulaşmış, ortalama fiyatlar 2020 yılında 2010 seviyesine göre %90 daha düşük noktaya gelmiştir. 2020'de ortalama 120€/kWh (137 ABD \$/kWh) seviyesinde olan batarya paketlerinin fiyatlarının, 2030'a kadar %40-60 oranında azalacağı tahmin edilmektedir (IEA, 2021b; BNEF, 2021b).

³¹ İlk patent 1886'da alındı.

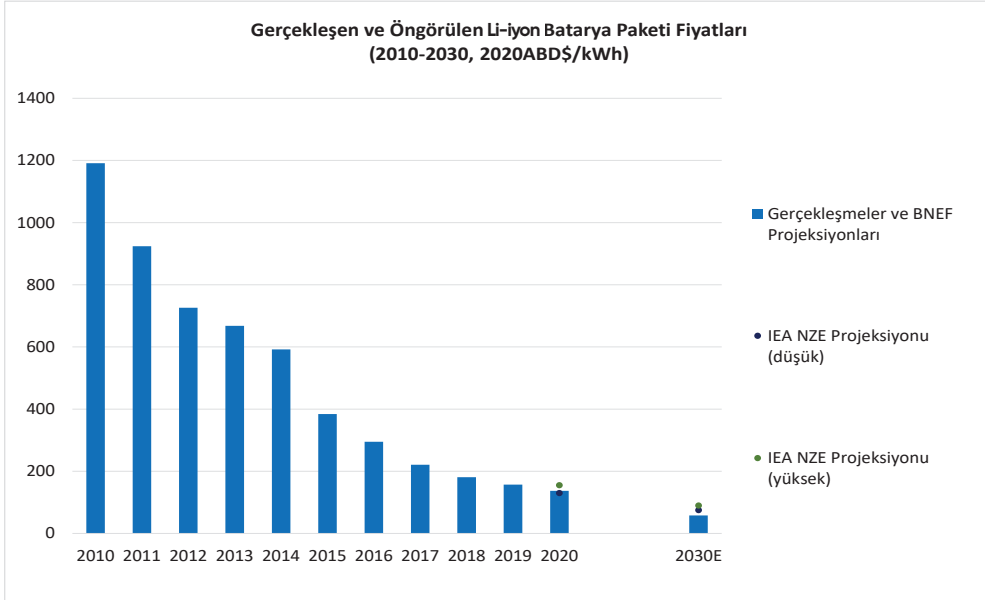
³² Fiyat paritesi, teorik olarak, bir otomotiv üreticisinin, benzer bir İYMA modeliyle karşılaştırılabilir bir marjla ve herhangi bir sübvansiyon olmaksızın bir EA üretilip satılabildiği duruma işaret etmektedir.

³³ Fiyat paritesine en erken küçük kamyonetlerin ulaşması (2025), onları orta ve büyük sedanlar ve SUV'lerin (2026) ve küçük otomobillerin (2027) izlemesi beklenmektedir.

³⁴ Bu analizler, Avrupa pazarında 400 km menzile sahip orta segment bir otomobili baz almakta olup, BEV otomobilin vergi öncesi perakende fiyatının 2020'de 38.000 €'dan 2025'te 20.000 €'ya (beş yılda %50 azalma) ve 2030'da 16.000 €'ya (sonraki beş yılda da yaklaşık %20 azalma) düşmesi öngörülmektedir.

2030 sonrasında 50 ABD \$/kWh seviyesine doğru düşüşün devam etmesine yönelik öngörüler bulunmaktadır (Şekil 2.19). Bu iddialı maliyet eğrisinin gerçekleşmesi, malzeme maliyetlerinde azalma, enerji yoğunluğunda artış, üretim hacimlerinde artış ve batarya üretiminden kaynaklı hurda miktarında azalma gibi eş zamanlı pek çok önemli gelişme ile yakından ilişkili olacaktır.

Şekil 2.19. Gerçekleşen ve Öngörülen Li-iyon Batarya Paket Fiyatları (2010-2030, 2020 ABD \$/kWh)



Kaynak: IEA, 2021b; BNEF, 2021

Maliyet performansında gelişime ilişkin bu öngörüler, daha hafif araçlara olanak sağlayan daha yüksek batarya yoğunlukları ve imalatla özel platformlardan sağlanabilecek teknik iyileştirmeler sayesinde önümüzdeki on yıl içerisinde ortalama BEV verimliliğinde sağlanabilecek %30 oranında iyileşmeyi de dikkate almaktadır. Zira bu gelişmeler, menzil performansı yüksek fakat daha küçük bataryalara geçişe, dolayısıyla paket seviyesinde daha düşük fiyatlara baz oluşturabilecektir. Li-iyon batarya paketi enerji yoğunluğu son on yılda yıllık ortalama %7 artış göstermiştir. Enerji yoğunluğunda 2030'a kadar olan dönemde ise yılda ortalama %12 (veya kümülatif olarak %86) artış gerçekleşmesi beklenmektedir (BNEF, 2021b). 2050 yılında ortalama bir batarya paketinin, mevcut ticari paketlere kıyasla 2,2 kat daha fazla enerji yoğunluğuna sahip olabileceği tahmin edilmektedir (IEA, 2021b) (Ayrıntılar için lütfen Bölüm 3'e bakınız).

- **Elektrikli araç üretimi için özel platformlara geçiş:** Halihazırda çoğu BEV, modifiye edilmiş araç platformlarında³⁵ üretilmektedir. Bu tür platformlar, esas olarak BEV üretiminin özellikleri için optimize edilmiş olmadıklarından, üretim maliyetlerinde rekabetçilik bakımından bazı dezavantajlar taşıyabilmektedir. Artan E-mobilite talebinin karşılanmasında, özel BEV platformları giderek daha fazla öne çıkmakta olup, bu yönelimlerin üretim maliyetlerinde azalmaları beraberinde getirmesi beklenmektedir (BNEF, 2021b).
- **Diğer maliyet avantajları:** EA'lar halen İYMA'lara kıyasla daha yüksek satın alma maliyetine sahip olmakla birlikte, yakıt tüketimi perspektifinden önemli maliyet kazanımları sağlamaktadır. Bu maliyet avantajı, Bölüm 2.3'te belirtildiği gibi yüksek araç verimliliği (seyahat etkinliği başına enerji tüketimi) daha düşük maliyetli enerji girdisi ile gerçekleşmektedir (Birim enerji başına elektrik ve petrol ürünleri fiyatları).

30 ABD\$/varil petrol fiyatında, ortalama bir elektrikli otomobilin geri ödeme süresi³⁶, mevcut piyasa koşullarında 9-12 yıl olarak hesaplanmakta, 60 ABD \$/varil seviyesinde ise 6-9 yıla düşmektedir (IEA, 2020c). Bu süreler, elektriğin benzin veya dizel ile fiyat farkının daha yüksek olduğu ülkelerde kısalmaktadır. Dinamik bir maliyet eğrisi çerçevesinde, batarya maliyetlerindeki iyileştirmelerle, önümüzdeki yıllarda geri ödeme sürelerinin kısalmaya devam etmesi beklenmektedir.

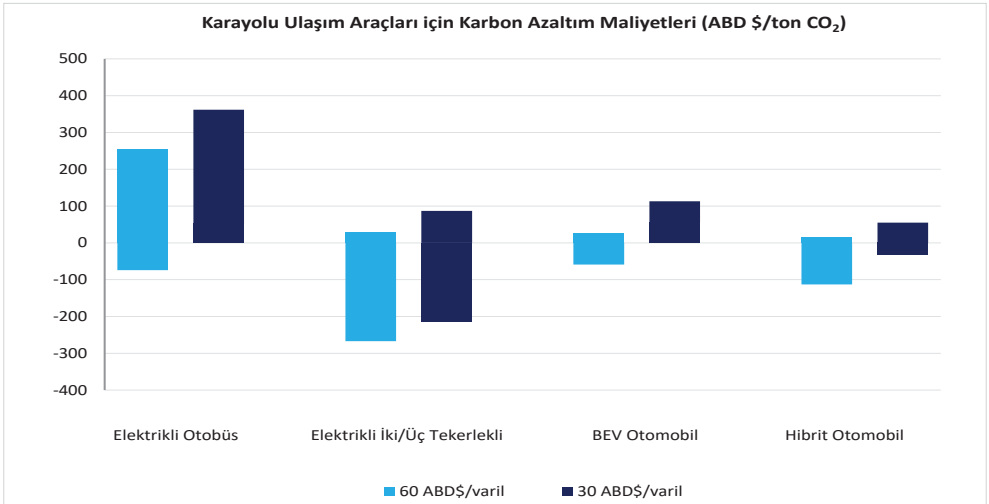
EA'ların maliyetlerde sürdürülebilir rekabet gücünü artıran bir diğer önemli etken, CO₂ azaltma stratejileri ve bununla ilgili maliyetlerdir. Karbon fiyatlandırması perspektifi, elektrikli karayolu taşımacılığının gelecekteki rekabetçiliği bakımından büyük avantajlar sunmaktadır. Temiz enerji dönüşümünün, emisyonların piyasaya dayalı fiyatlandırması yoluyla sera gazlarının azaltılabilmesini sağlayacak politikalar ve piyasa seçenekleri, finansal önlemlerle birlikte yürütülmesi gerekecektir. Şekil 2.20'de gösterildiği gibi, mevcut araç maliyetleri ile 60 ABD \$/varil petrol fiyatı seviyesinde bir analiz yapıldığında, azaltım maliyeti³⁷, yakıt vergilerine, kat edilen mesafeye ve bölgesel koşullara bağlı olarak -60 ABD \$/tCO₂ ile +15 ABD \$/tCO₂ arasında değişmektedir (IEA, 2020c).

³⁵ İlk BEV tasarımları bu tür modifiye platformlara dayanmaktaydı. OEM'ler, yeni yatırım harcamalarından tasarruf etmek ve esnek üretim sağlamak için modifiye edilmiş İYMA platformlarında BEV veya PHEV üretimini tercih edebilmektedir. İYMA platformları yaklaşık beş ila yedi yıllık bir ömre sahiptir.

³⁶ Geri ödeme süresi, geleneksel bir araca (yani benzinli ve dizel otomobillere) kıyasla daha yüksek satın alma maliyetleri nedeniyle ortaya çıkan daha yüksek ilk maliyetlerle, kullanım maliyetlerinde gerçekleşen tasarrufun başa baş olması için gerekli olan ve genellikle yıl cinsinden belirtilen süredir.

³⁷ Azaltım maliyetleri, emisyonların azaltılmasıyla ilişkili maliyet veya tasarrufları göstermektedir. Bu değerler belirli bir önlemin (veya teknolojinin) uygulanmasının yaşam boyu maliyetine ve ilgili yaşam süresi boyunca kümülatif emisyon azaltımları başına tüketici tarafından elde edilecek tasarruflara dayanmaktadır. Pozitif azaltım maliyetleri, ilgili önlemin emisyonları azaltmak için maliyetinin olacağı anlamına gelmektedir. Negatif azaltım maliyeti durumunda ise, emisyonları düşürmenin aynı zamanda maliyetten de tasarruf sağladığı düşünülmelidir.

Şekil 2.20. Karayolu Ulaşım Araçları için Karbon Azaltım Maliyetleri (ABD \$/ton CO₂)



Kaynak: IEA, 2020c.

Not: Hesaplamalar, önemli pazarların her biri için referans teknolojiler olan, benzinli otomobiller ve motosikletler ve dizel otobüsler gibi geleneksel taşıtlar ile karşılaştırmaları göstermektedir. Azaltım maliyetleri, “tanktan tekerleklerle” ve EA’lar için elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonları içerecek şekilde “şebekeden tekerleklerle” emisyonları baz almaktadır.

- **TSOM odağı:** Toplam sahip olma maliyeti (TCOO³⁸) kavramı, bir varlığın satın alma fiyatının ve işletme ile ilgili tüm maliyetlerinin, paranın zaman değerini dikkate alacak şekilde toplamını yansıtmaktadır. Sadece satın alma fiyatıyla ilişkili olan ilk maliyetin ötesinde, tüm maliyetlerin zaman fonksiyonu ile uzun vadeli bir değerlendirmesine yoluyla, araç seçeneklerinin genel maliyet performansı için değerli bir metrik olan TSOM, daha geniş bir karşılaştırma perspektifi sağlamaktadır.

Satın alım maliyetlerinde, EA’ların İYMA’larla arasındaki fark, kullanım ömrü boyunca daha düşük yakıt ve bakım maliyetleri sonucunda TSOM perspektifinden kısalmaktadır. Mutlak farkın büyüklüğü ise, birim elektrik ve petrol ürünleri fiyatları başta olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Örneğin, EA’ların halihazırda bazı bölgelerde, özellikle vergiler nedeniyle petrole dayalı yakıtların perakende fiyatının yükseldiği Avrupa ülkeleri ve Hindistan’da, TSOM bazında İYMA’larla sıkı bir rekabet noktasına geldiği görülmektedir (IEA, 2021d). Pek çok Avrupa pazarında uygulanmakta olan satın alma teşvikleri de TSOM bazındaki farkı büyük oranda daraltmaktadır³⁹.

³⁸ Total Cost of Ownership

³⁹ AB’nin satın alma sübvansiyonları, elektrikli otomobillerde toplam satın alma maliyetinin %20’sine kadar ulaşabilmektedir (ACEA,2021). AB Üyesi ülkelerde EA satın alma ve kullanımına yönelik mali destek programlarının yaygınlığı için lütfen Bölüm 3’e bakınız.

AB ve Birleşik Krallık pazarlarında TSOM odaklı analizler sunan bir araştırmada, elektrikli otomobillerin, araç boyutundan bağımsız olarak, sübvansiyonları, artık değeri ve daha düşük yakıt ve bakım maliyetlerini hesaba katan analizler sonucunda önemli avantajlara sahip oldukları gösterilmiştir (Avicenne, 2021). ABD pazarından, maliyet bileşenlerinin ayrıntılı hesaplanmasına dayalı TSOM modellemesi ile gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise, hibrit elektrikli araçların beş yıl içinde TSOM açısından rekabetçi duruma geleceği, BEV otomobillerin kısa bir gecikme ile bu süreyi takip edeceği gösterilmektedir (US DOE, 2021b).

Bireysel kullanıcı tercihlerinde de belirleyici olmaları beklenmekle birlikte⁴⁰, TSOM odaklı satın alma kararlarının ticari filo operatörlerini EA'lara geçmeye yönlendiren temel faktörlerden biri olduğu görülmektedir. Avrupa çapında EA filosunu 530'a çıkaran büyük bir ilaç şirketi, binek araç filosunun yaklaşık üçte ikisini EA'lara dönüştüren küresel bir mühendislik ve danışmanlık firması, İngiltere'de filosundaki 5.500'den fazla aracı elektrikli hale getirmeyi ve 600 mağazasında şarj istasyonu kurmayı taahhüt eden büyük bir süpermarket zinciri ve filosunda şu anda 1.000'den fazla BEV bulunan bir Avrupa posta şirketi, son dönemde araç filosunda elektrifikasyon sağlayan bazı örnekler arasında yer almaktadır (Climate Group, 2021). Araç kiralama şirketlerinin elektrikli dönüşüm planları da giderek daha fazla öne çıkmaktadır. Orta ve uzun vadeli maliyet avantajlarının yanı sıra, iklim değişikliği perspektifinin de bu kararlarda belirleyici rol oynadığı görülmektedir.

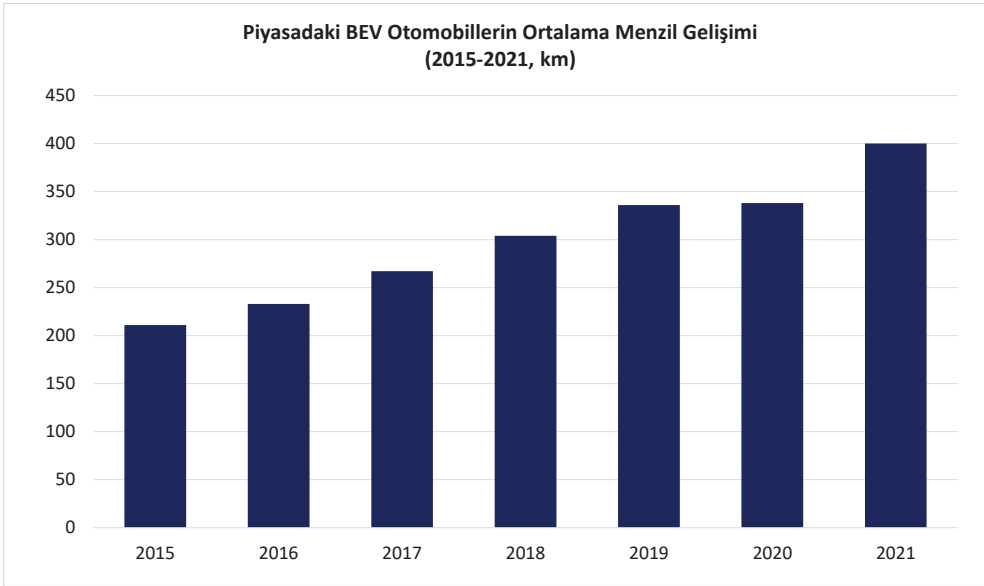
2.5.2. Menzil Performansı

EA'lar, araç içerisinde enerjiyi, petrol ürünlerinden daha az enerji yoğunluğuna sahip olan bataryalar ile depolamaktadır. Bu nedenle EA'ların daha geniş bir şekilde yaygınlaşmasının önündeki en büyük zorlukların başında geleneksel İYMA'lara kıyasla sürüş menzilerindeki sınırlar gelmektedir. Batarya ve şarj teknolojilerinde performans iyileşmeleri sürmektedir. Yeni BEV otomobillerinin ortalama sürüş menzili, 2015'ten itibaren yıllık ortalama %12 oranında artmaktadır (Şekil 2.21). Yeni bir BEV otomobil için ortalama menzil⁴¹, 2015'te 200 km'nin biraz üzerindeyken, 2020'de yaklaşık 350 km'ye, 2021 içerisinde de 400 km'ye kadar ulaşmıştır. Günümüzde, küresel pazarda geniş bir araç yelpazesi sunan 500'ün üzerinde elektrikli otomobil modeli mevcut olup, bu araçların sürüş menzilleri 100 km ile 750 km arasında değişmektedir. Avrupa'da birçok model artık 450 km'nin üzerinde menzil sağlayabilmektedir. Dünya genelinde 2022 yılında piyasaya olmaları açıklanan modellerin ortalama menzilleri 480 km'ye ulaşmaktadır. PHEV otomobillerinin ortalama elektrik menzili ise son on yılda yaklaşık 50 km düzeyinde seyretmektedir. Bu nedenle PHEV'ler, özellikle şehirler arası seyahatlerde çoğunlukla petrol ürünlerine bağlı olmaya devam etmektedir (IEA, 2021a; BNEF, 2021a).

⁴⁰ Marka, model ve teknoloji tercihlerinin de bireysel kullanıcı yönelimlerinin önemli bir belirleyicisi olacağı düşünülmektedir.

⁴¹ Dünya genelinde ağırlıklı ortalama

Şekil 2.21. Piyasadaki BEV Otomobillerin Ortalama Menzil Gelişimi (2015-2021, km)



Kaynak: IEA, 2021a; BNEF, 2021a

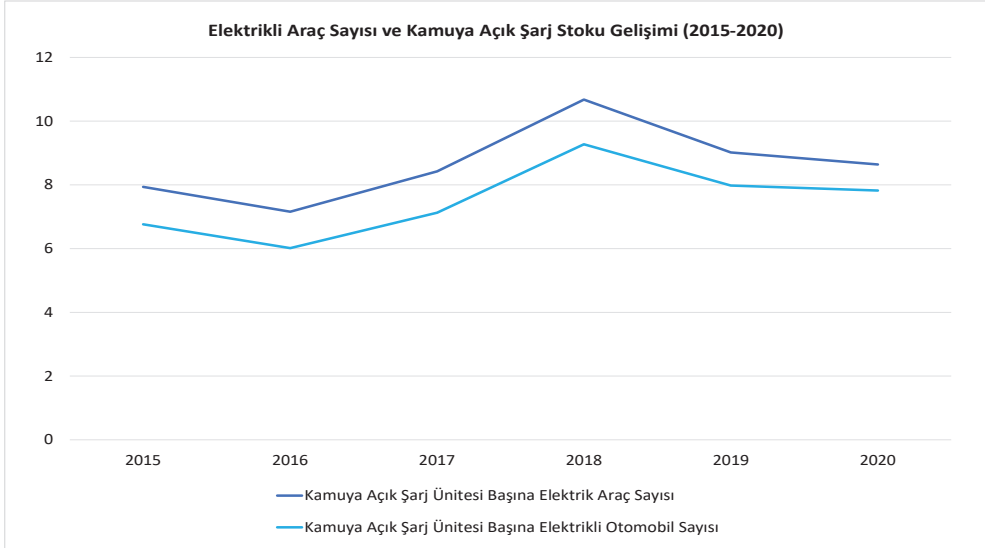
2.5.3. Şarjın Emre Amadeliği ve Süresi

Kullanıcı perspektifinden bir diğer önemli unsur, talep durumunda şarj imkanının varlığı ve şarj için gerekli olan süredir. 2020’de özel şarj birimleri, toplam şarj birimlerinin %88’ini oluşturmuştur. Gelecekte de EA kullanımlarının çoğunluğu özel şarj birimlerine dayalı olmaya devam edecektir. Kamuya açık ünitelerin sayısı 2010’da sadece 4.000 seviyesinden, 2020 sonunda 1,3 milyona yükselmiştir (Detaylar için lütfen Bölüm 3’e bakınız). Küresel EA filosundaki büyümenin hızlanabilmesi, kamuya açık şarj altyapılarının önemli ölçüde genişletilmesi ihtiyacını doğurmaktadır. 2030 yılına kadar kamuya açık şarj ünitesi sayısının 40 milyona kadar çıkması beklenirken, EA parkının da aynı dönemde 11 milyondan 150 milyona ulaşması tahmin edilmektedir (IEA, 2021a; IEA 2021b).

Dünya genelinde her 1.000 EA için yaklaşık 130 kamuya açık şarj ünitesi mevcuttur (veya 1 kamuya açık şarj ünitesi başına yaklaşık 8 EA) (Şekil 2.22). Küresel ölçekte, EA satışlarında son dönemde büyümenin, kamu ve özel sektör oyuncularının yatırımlarıyla desteklenen kamuya açık şarj altyapısındaki gelişim ile orantılı olduğu değerlendirilebilir. Bununla birlikte, EA başına kamuya açık şarj ünitesi sayısı bakımından bölgeler ve ülkeler arasındaki farklılıkların arkasındaki nedenlerin anlaşılması da önem arz etmektedir (Ayrıntılar için lütfen Bölüm 3’e bakınız). Örneğin, Norveç’te 1 kamuya açık şarj ünitesine 25 EA düşmekte olup Hollanda’da bu oran sadece 3’tür. Yüksek hızlı şarj altyapısı, aynı sayıda ve modelde bir EA portföyü için daha az şarj ünitesi gerektirmektedir. Diğer bir neden ise, BEV’ler ve PHEV’ler arasındaki talep farklılıklarıdır.

Yapı stoku ve şehir mimarileri ile ilgili faktörler de önemli varyasyonlara neden olmaktadır. Örneğin, apartmanların konutlar içerisinde büyük paya sahip olduğu ülkelerde, özel şarjın kullanılabilirliğinin sınırlı olmasına bağlı olarak kamuya açık altyapının daha fazla öne çıkması gerekmektedir⁴².

Şekil 2.22. Elektrikli Araç Sayısı ve Kamuya Açık Şarj Stoku Gelişimi (2015-2020)

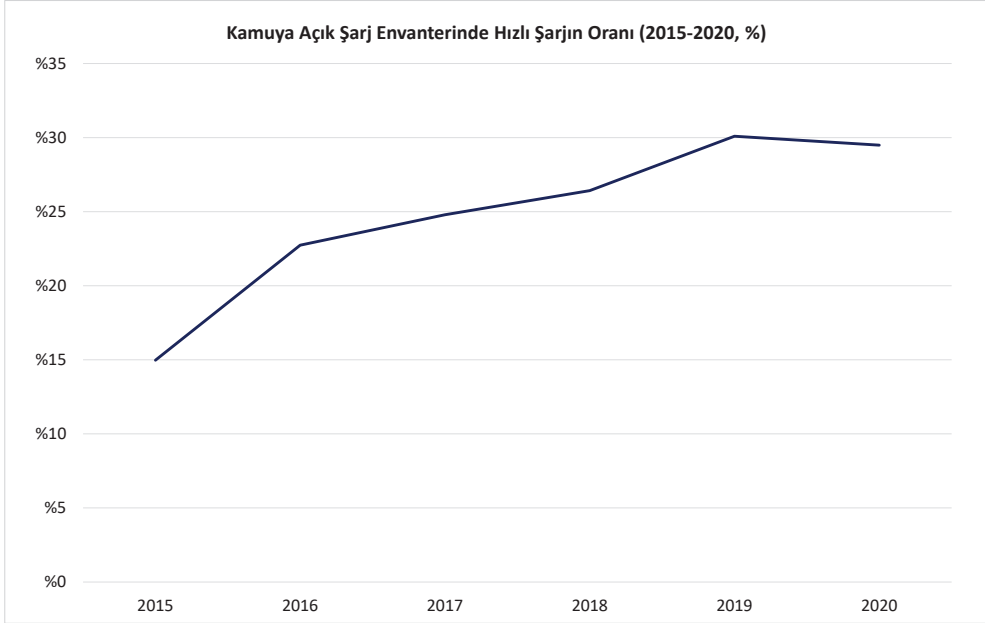


Kaynak: IEA,2021a

Yavaş şarj, şehir içi seyahat talepleri için büyük ölçüde yeterli olurken, Bölüm 2.3'te belirtildiği gibi, uzun mesafeli seyahatlerde (çoğunlukla şehirler arası destinasyonlarda) kullanıcı beklentilerinin karşılanabilmesi için, hızlı şarjın daha yaygın kullanılabilirliği gerekecektir. Şimdiye kadar 350 kW DC'de test edilmiş olan en yüksek güç seviyesi, araçların 15 dakikada bataryanın %80'ini şarj etmesine olanak tanımaktadır (ENTSO-E, 2021). Şarj altyapısına artan yatırımlarla birlikte büyüyen bir EA pazarında, hızlı birimler kamuya açık toplam şarj envanterinin üçte birini oluşturmaktadır. Bu, 2015'teki altıda birlik oranla kıyaslandığında son 5 yılda güçlü bir büyümenin sağlanabildiğine işaret etmektedir (Şekil 2.23). EA'ların İYMA'larla göreceli maliyetlerinde, üretim ve perakende satış seviyelerinde ve özellikle de TSOM perspektifi dikkate alındığında devam eden olumlu gelişmeler, CO₂ limitleri ve iklim değişikliğini hafifletmeye yönelik politika öncelikleri çerçevesinde, özellikle 2025-2030 döneminde EA parkında daha hızlı bir artış gerçekleşecektir. Şarj ünitelerinin kurulumunda ve hızlı şarjın gelişiminde ivmenin artarak sürdürülmesi en kırık konulardan birisi olmaya devam edecektir.

⁴² Örneğin Japonya, Güney Kore, Çin gibi ülkelerde, daha az müstakil ev olması nedeniyle evde özel şarj penetrasyon oranları da pek çok Avrupa ülkesine göre düşük seyretmektedir.

Şekil 2.23. Kamuya Açık Şarj Envanterinde Hızlı Şarjın Oranı (2015-2020, %)



Kaynak: IEA, 2021a

Şarjın kurulumu ve kullanımı, üretilen yeni EA sayısında sağlanabilecek anlık ve hızlı artışlara kıyasla çok farklı bir yaklaşım gerekmektedir. Şarj altyapısı, dağıtık ve esnek şekilde yaygınlaştırılabilir. Bu yaklaşım, coğrafi planlamayı da içeren ve farklı kullanıcı gruplarının ihtiyaçlarına uygun yanıt verebilecek şekilde tasarlanmış, uzun vadeli planlamalar ve yatırım stratejileri ile desteklenmelidir. Bu konudaki araştırmalar ve piyasa deneyimleri, yüksek EA penetrasyon oranlarını yönetmek için yeterli şarj altyapısının önceden emre amade olması gerektiğini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, EA ve şarj yatırım döngüleri artık bir *tavuk-yumurta* sorunu olarak kabul edilmemektedir⁴³. Değişen seyahat ve kullanıcı ihtiyaçlarının karşılanabilmesi ve mobilitede büyümenin sürdürülebilir şekilde yönetilmesi, yavaş, hızlı ve ultra hızlı şarj ünitelerinin, bölgesel planlama perspektifi içerisinde, verimli ve etkin bir bileşimini zorunlu kılmaktadır. Teknik standardizasyon ise, donanım ve yazılım boyutlarıyla şarj altyapısının güvenli, sağlıklı, verimli ve sürdürülebilir şekilde genişletilmesinin ve elektrik şebekeleriyle entegrasyonunun gerçekleştirilmesinin en önemli unsurlarından birisi olmaya devam edecektir.

⁴³ Bu paradoksun yerini, "İnşa edersen gelirler" yaklaşımı almaktadır (Yale, 2021).

2.5.4. Elektrik Şebekesiyle Entegrasyon

2020'de EA'lar toplam 80 TWh elektrik tüketmiştir. Bu, dünya toplam nihai elektrik tüketiminin %1'ine karşılık gelmektedir. EA satışlarının 2030 yılına kadar 18 kat artması ve sonrasında da NZE patikası çerçevesinde katlanarak artmaya devam etmesi durumunda dahi, EA kaynaklı yıllık elektrik talebi küresel toplam yıllık elektrik talebinin oldukça küçük bir bölümünü oluşturacaktır. EA'lardan kaynaklı olarak, elektrik talebi ile ilgili yönetilmesi gereken temel zorluk, belirli bir dönem içerisinde oluşan kümülatif elektrik talebinden değil, EA'ların şarj süreçlerinin elektrik şebekesinde ve tüm elektrik sisteminde oluşturduğu anlık ve değişken güç taleplerinden kaynaklanmaktadır.

EA'ların payının artmasıyla birlikte, elektrik şebekeleri değişken yük karakteristikleri nedeniyle dikkatle yönetilmelidir. Bu değişkenliğin yönetimi, enerji arzında kalite ve güvenliği sürdürmek için önemli bir husus olan elektrik sistemi esnekliğini sağlayabilmek üzere teknolojiye azami şekilde faydalanılmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte, elektrik sistem işletmecilerinin arz ve talebi eşleştirmede, büyük ölçüde merkezileştirilmiş sistemlere dayanan geleneksel iş modeli yerine değişken yenilenebilir ve dağıtık enerji kaynaklarını (arzu) artan oranda sisteme entegre etme ihtiyaçları da göz önüne alınarak daha geniş bir elektrik sistemi perspektifinden bakıldığında, arz talep dengesinin yönetilmesinde EA parkının büyümesi yeni fırsatlar da sunabilecektir (Sabancı Üniversitesi IIEEC, 2020).

Elektrik sistemlerinde esneklik sağlayabilen ve elektrikli araçların artan oranda ve hızla entegrasyonuna olanak tanıyan teknolojik çözümler gelişmektedir. Örneğin şarj yönetiminde dinamik ve akıllı sistemler, EA'ların entegrasyonlarına hizmet etmenin yanı sıra, bu araçların değişken yenilenebilir elektrik üretiminin (güneş PV ve rüzgar) ve dağıtık enerjinin artan oranlarda kullanımına da destek olacak bir esneklik kaynağı durumuna gelmelerini sağlayabilecektir. Bu çözümler, şarj sürecinin pik talep saatlerinden (genellikle akşam) pik dışı saatlere kaydırılması yoluyla marjinal (dolayısıyla da daha maliyetli) üretim kapasitesinin pik zamanlarda emre amadeliği ihtiyacının azaltılmasını da içermektedir. EA'ların elektrik depolama fonksiyonları ile konumlandırılmaları, araçtan şebekeye (V2G⁴⁴) teknolojilerin kullanılabilmesi durumunda araçların gün içerisinde şarj edilerek pik zamanlarda şebekeye elektrik vermelerine olanak tanıyabilmektedir. EA'lar, pik zamanlarda elektrik üretim ihtiyacını azaltabildikleri durumlarda, toplam sistem maliyetlerinin ve elektrik sektörü emisyonlarının azaltımını da sağlayabilmektedir. Tüm bu faydalar ise, zamana göre farklılaşabilen (ToU⁴⁵) tarifelerin uygulanması, elektrik sektöründe dijitalleşmeyi odağına alan akıllı şebekeler, mikro şebekeler, şebeke dışı uygulamalar gibi çeşitli yenilikçi uygulamalara işlerlik kazandırılması sayesinde verimli ve etkin şekilde gerçekleştirilebilecektir (ENTSO, 2021; IEA, 2021a).

⁴⁴ Vehicle to Grid

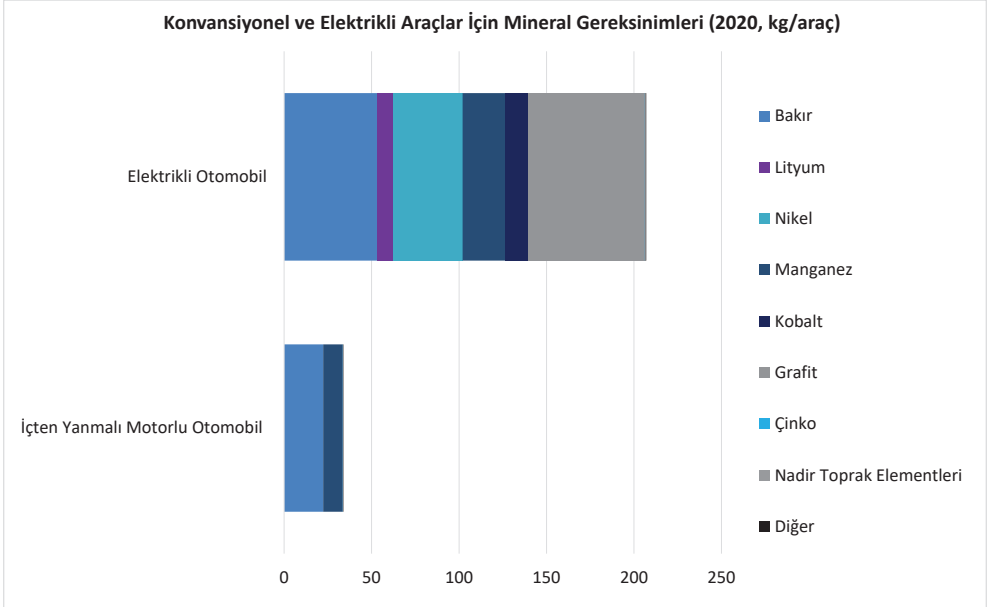
⁴⁵ Time of Use

2.5.5. Maden Gereksinimleri ve Tedarik Zinciri Hususları

Paris Anlaşması hedefleri ile uyumlu, net-sıfır emisyona ulaşacak, yeni ve temiz bir enerji sistemine geçiş, bazı minerallere olan talebin bugüne göre çok daha hızla artışı da beraberinde gerektirecektir. Temiz enerji geçişlerinin ivme kazanması ve inovasyon ve Ar-Ge konusundaki ilerlemelerin neticesinde temiz enerji teknolojileri dünya genelinde bazı minerallere olan talebin en hızlı büyüyen segmenti olacaktır. IEA tarafından yapılan en son çalışmalara göre, 2040 yılına kadar temiz enerji teknolojilerine yönelik mineral talebi dört kattan fazla artış gösterecektir (IEA, 2021g). Bu artış, temiz enerji dönüşümü ile ilgili olarak özellikle güneş PV, rüzgar, elektrik şebekeleri teknolojileri ve EA'lar ile ilgili olan mineralleri içermektedir. Bunlar arasında lityum, kobalt, nikel, manganez, bakır ve nadir toprak elementleri öne çıkmaktadır.

EA'larda mevcut ticari teknolojilerde ağırlıklı olarak lityum, nikel, kobalt, grafit ve nadir toprak elementlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ortalama bir elektrikli otomobil için mineral gereksinimleri, geleneksel bir otomobilden altı kat daha fazladır (Şekil 2.24). Bu nedenle, arz ve tedarik zincirleri, elektrifikasyona ve elektrik motorlu araçlara geçişlerin sürdürülebilirliği için dikkatle yönetilmelidir (IEA, 2021g).

Şekil 2.24. Konvansiyonel ve Elektrikli Arabalar İçin Mineral Gereksinimleri (2020, kg/araç)

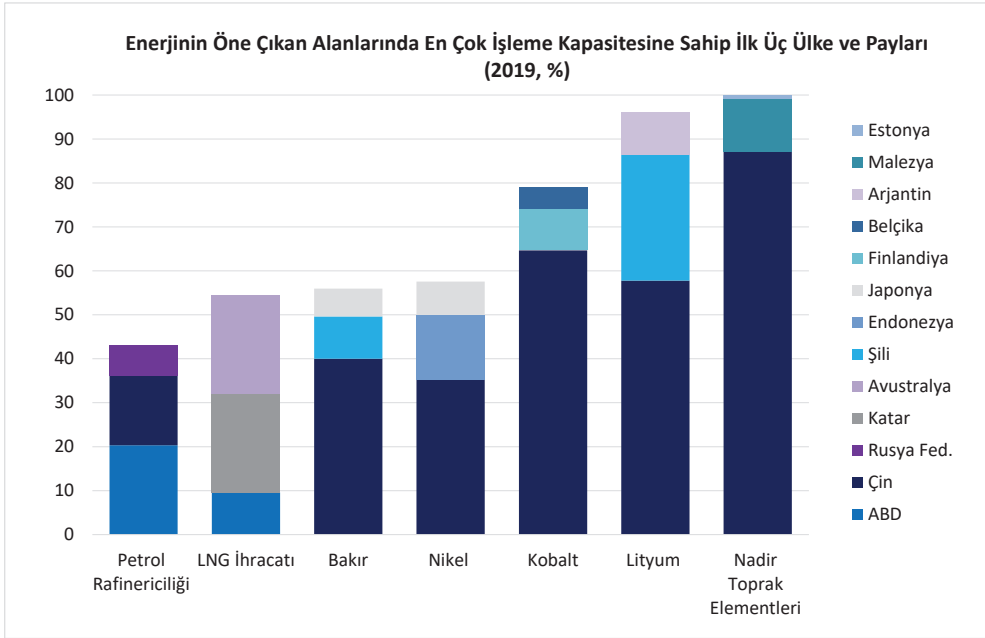


Kaynak: IEA, 2021g

Not: Alüminyum ve çelik dahil değildir.

Günümüzde EA minerallerinin üretiminde bölgesel konsantrasyon, hidrokarbonların üretimi ile karşılaştırıldığında çok daha yüksektir. Lityum, kobalt ve nadir toprak elementlerinde dünyanın en büyük üç üretici ülkesi, toplam arzın dörtte-üçünü kontrol etmektedir. 2019'da kobaltın %70'ı ve nadir toprak elementlerinin %60'ı iki ülkede üretilmiştir (Çin ve Demokratik Kongo Cumhuriyeti). İşleme kapasitesi olarak bakıldığında Çin'in payı nikel için üçte-ikiden fazla, lityum ve kobalt için %50-70 ve nadir toprak elementleri için de yaklaşık %90 seviyesindedir (Şekil 2.25). Çin menşeli şirketler yurt dışında birçok varlığa yatırım yapmaya devam etmektedir (IEA, 2021g).

Şekil 2.25. Enerjinin Öne Çıkan Alanlarında En Çok İşleme Kapasitesine Sahip İlk Üç Ülke ve Payları (2019, %)



Kaynak: IEA, 2021g

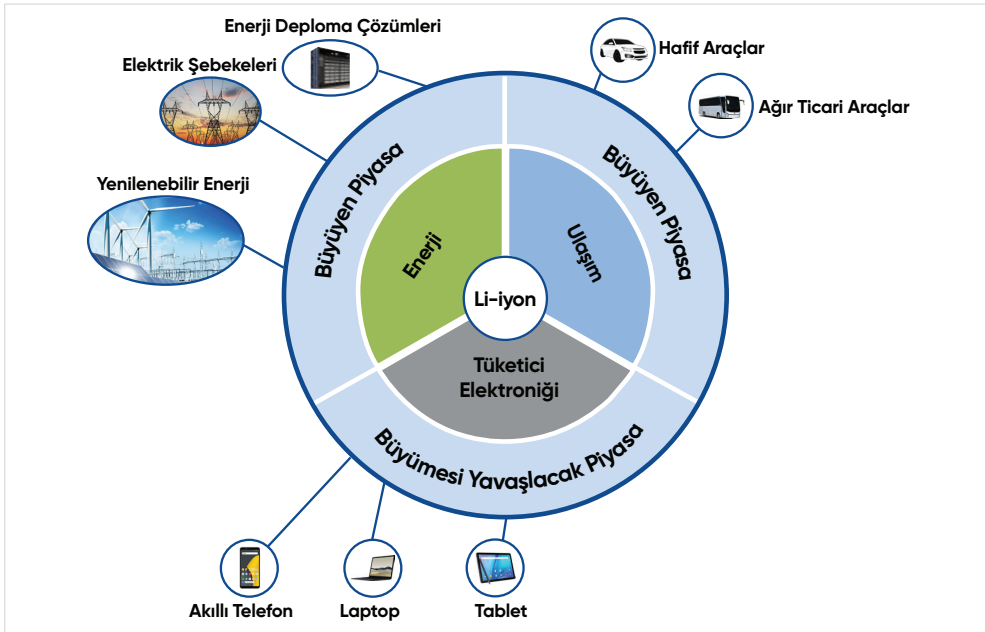
Yüksek konsantrasyon seviyesi, sınırlı tedarikçi çeşitliliği, geleneksel minerallere ve giderek çeşitlenen petrol, gaz ve kömür arzına kıyasla daha karmaşık olan tedarik ve değer zincirleri, temiz büyüme için arzı güvence altına almak bakımından risk yönetiminin önemine işaret etmektedir. Mineral arzında daralmaların potansiyel etkilerinin, uzun zamandır çözümler geliştirilmiş olan petrol arzı kıtlığından farklı olacağı da göz önünde bulundurulmalıdır. Petrol piyasası dinamiklerinden farklı olarak, bu tür bir durum EA kullanıcıları üzerinde anında bir arz noksanı veya maliyet yükselişi etkisine neden olmayacaktır. Bununla birlikte, yüksek veya değişken fiyatlar, mineral arzında uzun süreli kesintiler temiz enerji geleceğine doğru küresel ilerlemenin hızını yavaşlatabilecek veya bu dönüşümü daha maliyetli duruma getirebilecektir (IEA, 2021d).

Elektrifikasyonu artan bir enerji ekonomisinde temiz enerjiye geçişlerin, geleneksel "yakıt (çoğunlukla petrol ve doğal gaz) güvenliği" kavramından, "elektrik sistemi güvenliği" ve "malzeme tedarik güvenliği" kavramlarına doğru genişleyen, yeni bir enerji güvenliği paradigması oluşturduğu dikkate alınmalıdır. Bütün bu nedenlerle, EA'lar için gerekli olan minerallerin tedarikinde güvenilirliğin, rekabetçiliğin ve sürdürülebilirliğin sağlanmasının, ilgili politikaların ve yatırım gündeminin ana unsurlarından biri haline gelmesi gerekecektir.

2.5.6. Batarya ile İlgili Diğer Zorluklar ve Fırsatlar

Enerji depolama sistemlerine olan taleple birlikte EA satışlarının hızlı büyümesi, önümüzdeki dönemde batarya ekosisteminde bir dizi yeni alanın daha fazla öne çıkmasına neden olacaktır. Elektrikli otomobillerin toplam binek otomobil stoku içindeki payının 2030'da yaklaşık %20'ye ve 2050'de %86'ya çıkması, otobüs ve kamyonetlerde de hızlı elektrifikasyon ile birlikte, kullanılmış batarya hacminde artışın, atık yönetimi alanında yeni yaklaşımlarını beraberinde getirmesi beklenmektedir. Kullanılmış bataryaların yönetiminde öne çıkan iki yöntem, geri dönüşüm ve yeniden kullanımdır. Geri dönüşüm, kobalt, lityum ve nikel gibi değerli minerallerinin geri kazanımına odaklanarak tedarik zincirinde dalgalanmaların yönetilmesine ve bu minerallerin büyük miktarlarda çıkarılmasından kaynaklanacak çevresel ve sağlık etkilerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Şekil 2.26. Batarya Taeknolojilerinde Kullanım Alanları



Kaynak: Ding et.al., 2019

EA bataryalarının ikinci el olarak yeniden kullanımları ise, teknik nedenlerle EA'ların kullanım gereksinimlerinin karşılayamayacak duruma gelen, ancak çeşitli enerji depolama sistemi (ESS⁴⁶) uygulamaları için elverişli olabilen kapasitelerin maliyet-etkin kullanımını amaçlamaktadır. Yeniden kullanımın önemli bir faydası, değişken yenilenebilir enerjinin ve EA'ların elektrik şebekelerine daha fazla entegrasyonu sağlamak için elektrik sistemi esnekliğini geliştirmekte önemli bir araç olan enerji depolama çözümleri olarak konumlandırılabilmesidir (Şekil 2.26). Bununla birlikte, dinamik bir elektrik sistemi içerisinde bu tür bir yeniden konumlandırmanın gerçekleştirilmesi, kullanılmış EA bataryalarının yeniden paketlenmesi, sertifikalandırılması ve garanti yükümlülüğü gibi alanlarda standardizasyon unsurlarının da göz önünde bulundurulmasını gerektirmektedir (IEA, 2021b; IEA 2021f).

EA bataryalarının performansı ile ilgili iyileştirilmesi gereken bir diğer alan da güvenlidir. Mevcut Li-iyon bataryalarda yüksek sıcaklıkta yanıcı ve uçucu bir organik sıvı olan elektrolitler kullanılmaktadır. Bu nedenle Li-iyon bataryalar aşırı ısınmaya, aşırı şarja ve termal kaçaklara karşı hassas olup sistemlerde tasarım etkinliği sağlayamadığı durumlarda, harici bir kuvvet, kimyasal sızıntıya ve yangın tehlikelerine neden olabilmektedir. Son zamanlarda gerçekleşen bazı olaylar bataryalarda güvenlik gelişmelerinin önemini göstermiştir.

Güvenlik ilkelerinin standartlaştırılması odaklı çalışmalara ek olarak, farklı batarya mimarilerine ve kimyalarına geçiş, batarya yönetiminde akıllı sistemlerin geliştirilmesi, soğutma performanslarının iyileştirilmesi gibi yeni çözümler de öne çıkmaktadır (Chen, 2021; US NHTSA, 2017). Bu araştırma alanları ve tespit edilen iyileştirme noktaları, enerji yoğunluğunu güçlendirme hedefleri ile birlikte, daha etkili batarya yönetim sistemlerine ve sıvı elektrolit formları yerine katı malzemeler kullanan katı-hal bataryalar gibi alanlarda inovasyon çabalarının da destekleyicisi olmaktadır (IEA, 2020a).

⁴⁶ Energy Storage Systems

Referanslar

- ACEA (2021), Electric Vehicles: Tax Benefits & Purchase Incentives
https://www.acea.auto/files/Electric_vehicles-Tax_benefits_purchase_incentives_European_Union_2020.pdf
- American Lung Association (2021), The Road to Clean Air
<https://www.lung.org/getmedia/99cc945c-47f2-4ba9-ba59-14c311ca332a/electric-vehicle-report.pdf>
- Avicenne Energy (2021), European Union and UK Automotive ICE vs EV Total Cost of Ownership
<https://nickelinstitute.org/media/8d9058c08d2bcf2/avicenne-study-tco-eu-and-uk-automotive.pdf>
- BNEF (2021a), Zero Emission Vehicles Factbook, BNEF Special Report Prepared for COP26
https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/BNEF-Zero-Emission-Vehicles-Factbook_FINAL.pdf
- BNEF (2021b), Hitting the EV Inflection Point
<https://www.transportenvironment.org/discover/hitting-the-ev-inflection-point/>
- Chen, et.al, (2021), A Review of Lithium-Ion Battery Safety Concerns: The Issues, Strategies, And Testing Standards, *Journal of Energy Chemistry, Volume 59, August 2021*,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095495620307075>
- Choma, Spengler (2020), Assessing the Health Impacts of Electric Vehicles Through Air Pollution in the United States, *Environment International, Volume 144, November 2020*
- Climate Group (2021), EV 100 Progress and Insights Report 2021
<https://www.theclimategroup.org/ev100-annual-report-2021>
- C40 Cities (2020), How C40 Cities Are Implementing Zero Emission Areas
https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-C40-cities-are-implementing-zero-emission-areas?language=en_US
- Ding et.al., Automotive Li-ion batteries: current status and future perspectives, *Electrochemical Energy Reviews* 2, no. 1 (2019), pp. (1-28).

- ENTSO-E (2021), Position Paper: Electric Vehicle Integration into Power Grids
https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Publications/Position%20papers%20and%20reports/210331_Electric_Vehicles_integration.pdf
- EV Volumes (2021), Global EV Sales for 2021 H1
<https://www.ev-volumes.com/>
- Horton et al., (2021), Effect of Adoption of Electric Vehicles on Public Health and Air Pollution in China: A Modelling Study, *The Lancet*, Volume 5, Special Issue, S8, April 2021
- ICCT (International Council of Clean Transportation) (2019), Future Heavy-Duty Emission Standards an Opportunity for International Harmonization
https://theicct.org/sites/default/files/publications/Future%20_HDV_standards_opportunity_20191125.pdf
- ICCT (International Council of Clean Transportation) (2021a), A Global Comparison of The Life-Cycle Greenhouse Gas Emissions of Combustion Engine and Electric Passenger Cars
<https://theicct.org/publications/global-LCA-passenger-cars-jul2021>
- ICCT (International Council of Clean Transportation) (2021b), Understanding the Air Quality and Health Impacts of Large-Scale Vehicle Electrification in India
<https://theicct.org/publications/india-ev-air-quality-sept21>
- ICCT (International Council of Clean Transportation) (2021c), A Global Overview of Zero-Emission Zones in Cities and Their Development Progress
<https://euagenda.eu/publications/a-global-overview-of-zero-emission-zones-in-cities-and-their-development-progress>
- IEA (International Energy Agency) (2020a), Innovation in batteries and electricity storage: A global analysis based on patent data
<https://www.iea.org/reports/innovation-in-batteries-and-electricity-storage>
- IEA (International Energy Agency) (2020b), Key World Energy Statistics 2020
<https://www.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2020>
- IEA (International Energy Agency) (2020c), Sustainable Recovery, World Energy Outlook Special Report
<https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>

- IEA (International Energy Agency) (2021a), Global Electric Vehicle Outlook 2021
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- IEA (International Energy Agency) (2021b), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- IEA (International Energy Agency) (2021c), Empowering Cities to a Net Zero Future
<https://www.iea.org/reports/empowering-cities-for-a-net-zero-future>
- IEA (International Energy Agency) (2021d), World Energy Outlook 2021
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- IEA (International Energy Agency) (2021e), Global Energy Review 2021
<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>
- IEA (International Energy Agency) (2021f), *How Global Electric Car Sales Defied Covid-19 in 2020*
<https://www.iea.org/commentaries/how-global-electric-car-sales-defied-covid-19-in-2020>
- IEA (International Energy Agency) (2021g), the Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions
<https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- IEA (International Energy Agency) (2021h), EV City Casebook 2021
<https://www.iea.org/reports/ev-city-casebook>
- IEA (International Energy Agency) (2021i), *COP26 Climate Pledges Could Help Limit Global Warming to 1.8 °C, but Implementing Them Will Be the Key*
<https://www.iea.org/commentaries/cop26-climate-pledges-could-help-limit-global-warming-to-1-8-c-but-implementing-them-will-be-the-key>
- IPCC (2021a), Climate Change 2021: The Physical Science Basis
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf
- IPCC (2021b), Sixth Assessment Report WGI Interactive Atlas
<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

- ITF (International Transport Forum) (2021), Transport Outlook 2021
<https://www.oecd.org/publications/itf-transport-outlook-25202367.htm>
- McKinsey (2020), The Road Ahead For E-Mobility
<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-road-ahead-for-e-mobility>
- MedECC (2019), Risks Associated to Climate and Environmental Changes In The Mediterranean Region
<https://www.medecc.org/medecc-booklet-isk-associated-to-climate-and-environmental-changes-in-the-mediterranean-region/>
- MIT (2021), Why the Electric Grid is Ready for Fleets of Electric Trucks, MIT Technology Review, July 9, 2021
<https://www.technologyreview.com/2021/07/09/1028135/electric-trucks-short-distance>
- OECD (2020), Policy Responses to Coronavirus (COVID-19)
<https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/covid-19-and-the-low-carbon-transition-impacts-and-possible-policy-responses-749738fc/>
- OECD Data (2021), Real GDP Forecast
<https://data.oecd.org/gdp/real-gdp-forecast.htm#indicator-chart>
- PSI (Paul Scherrer Institute) (2020), Make Way for Electric Cars
<https://www.psi.ch/en/media/our-research/make-way-for-electric-cars>
- Rise Swedish Research Institute (2018), LCA Guidelines for Electric Vehicles
<https://www.ri.se/sites/default/files/2019-06/Bilaga%20%2C%20LCA%20Guidelines%20for%20electric%20vehicles.pdf>
- Sabancı University Istanbul International Center for Energy and Climate (IICEC) (2020), Turkey Energy Outlook
<https://iicec.sabanciuniv.edu/teo>
- TSE (Türk Standardları Enstitüsü) (2021) TSE'den Elektrikli Araç Şarj İstasyonları Kurulum Gereklere Standardı (TS 13909-Mayıs 2021)
<https://www.tse.org.tr/Icerik/HaberDetay?HaberID=15999>
- UN (United Nations) (2019), World Population Prospects 2019
<https://population.un.org/wpp/>

- UNDP (United Nations Development Program (2015), Sustainable Development Goals
https://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/brochure/SDGs_Booklet_Web_En.pdf
- UN Habitat (2020), World Cities Report 2020, The Value of Sustainable Urbanization
https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/10/wcr_2020_report.pdf
- US DOE (2021a), Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, *Where the Energy Goes: Electric Cars*
<https://www.fueleconomy.gov/feg/atv-ev.shtml>
- US DOE (2021b), Argonne National Laboratory, Comprehensive Total Cost of Ownership Quantification for Vehicles with Different Size Classes and Powertrains
<https://publications.anl.gov/anlpubs/2021/05/167399.pdf>
- US EIA (Energy Information Administration) (2021), Petroleum & Other Liquids-Spot Prices Data
https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_d.htm
- US NHTSA (US National Highway Traffic Safety Administration) (2017), Lithium-ion Battery Safety Issues for Electric and Plug-in Hybrid Vehicles
<https://www.nhtsa.gov/document/lithium-ion-battery-safety-issues-electric-and-plug-hybrid-vehicles>
- WEF (World Economic Forum) (2020) Community Paper: Guidelines for City Mobility
https://www3.weforum.org/docs/WEF_Guidelines_for_City_Mobility_2020.pdf
- WMO (World Meteorological Organization) (2021), The Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019)
https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21930#.YV4KyrgzblU
- Yale (2021), *EV Turning Point: Momentum Builds for U.S. Electric Vehicle Transition*, Yale Environment360, March 15, 2021
<https://e360.yale.edu/features/ev-turning-point-momentum-builds-for-u.s.-electric-vehicle-transition>

BÖLÜM 3:

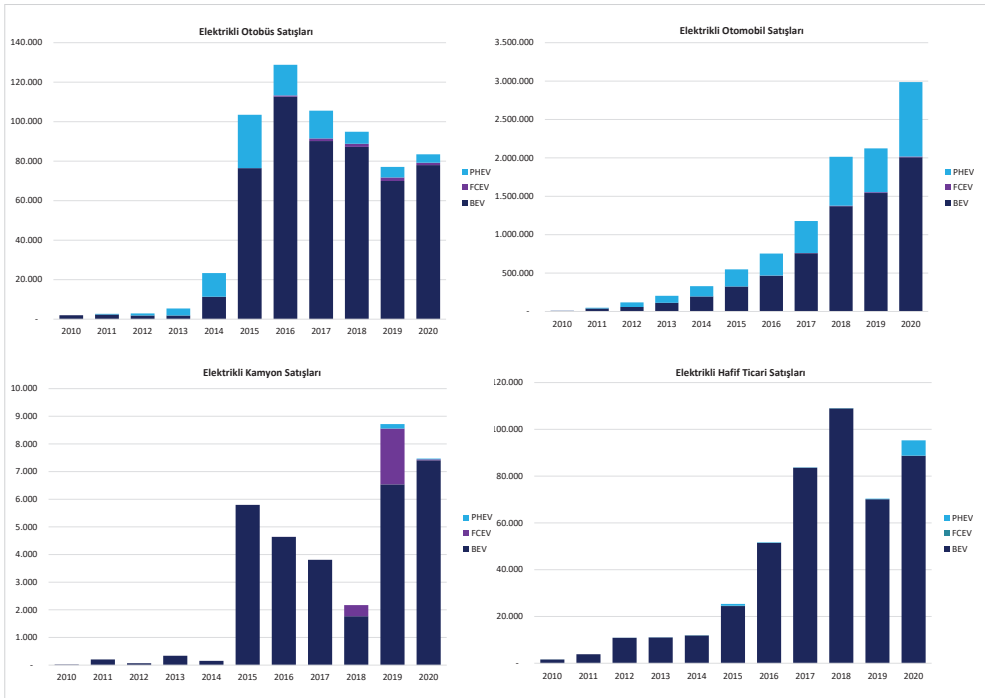
Elektrikli Araçlara Küresel
ve Bölgesel Bakış

3.1. Elektrikli Araç Gelişimini Farklı Piyasa Koşullarında Anlamak

3.1.1. Elektrikli Araç Satışlarında ve Parkında Gelişim

Dünyada elektrikli araç parkı, Bölüm 2’de belirtildiği gibi 2020 sonu itibariyle 11 milyonun üzerine çıkmıştır. Bunun %90’ından fazlasını oluşturan elektrikli otomobiller, 2020 yılında 3,1 milyonluk artış (yıllık %40 olan rekor büyüme) ile güçlü gelişimini sürdürmüş, dünya genelinde otomobil parkının %1’i elektrikli duruma gelmiştir¹. Otomobil dışındaki diğer EA’lar ise yıllık %20 kombine büyüme ile toplamda 1 milyon seviyelerine ulaşmıştır (IEA, 2021a; IEA 2021b) (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). 2021 yılının ilk yarısında 2,5 milyon adede ulaşan toplam EA satışının, yıl sonu itibariyle 5,6 milyona çıkması beklenmektedir (BNEF, 2021).

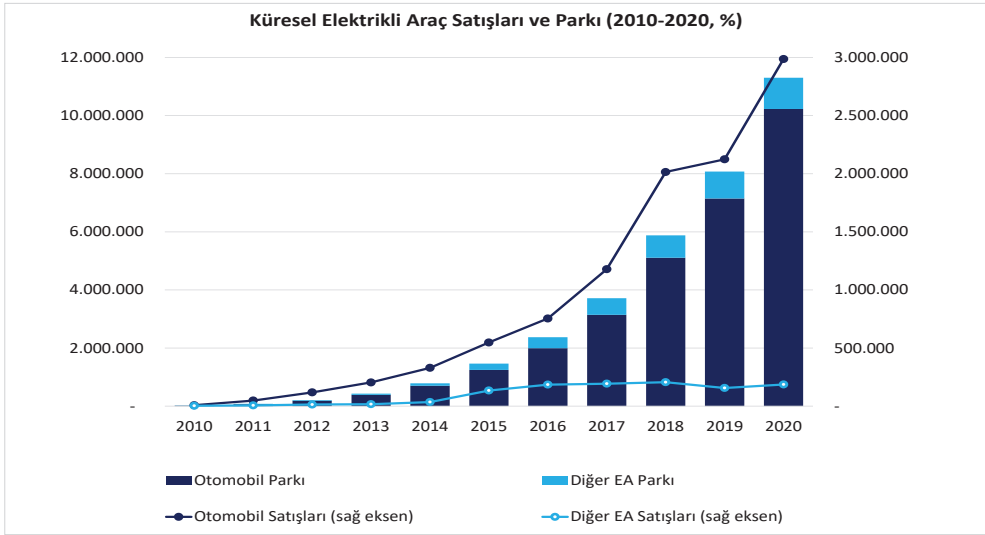
Şekil 3.1. Küresel Elektrikli Araç Satışlarının Araç Türlerine Göre Dağılımı



Kaynak: IEA, 2021b

¹ Bölüm 2’de tanımlandığı gibi BEV, PHEV ve FCEV otomobiller. Hibritler dahil değildir.

Şekil 3.2. Küresel Elektrikli Araç Satışları ve Parkı (2010-2020 %)



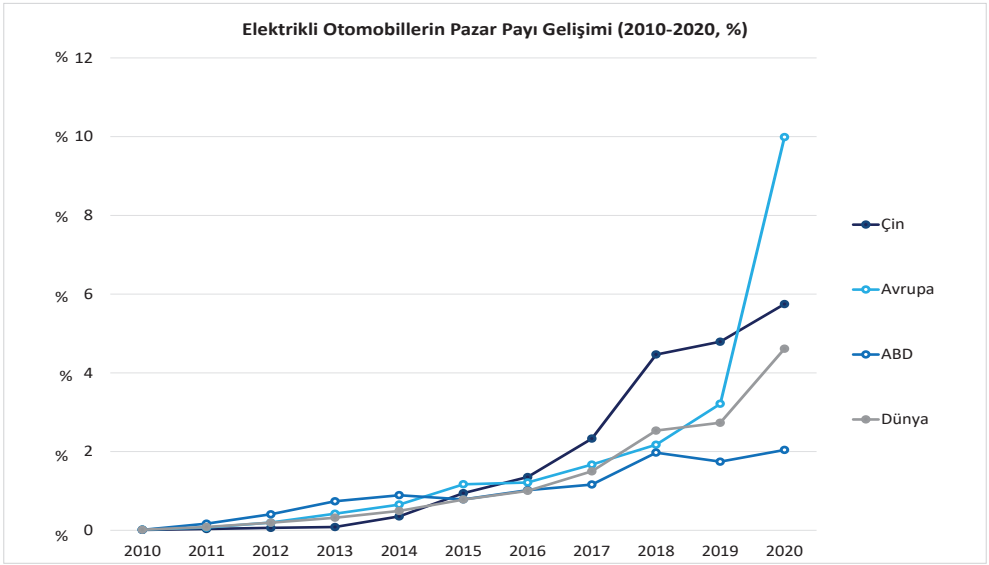
Kaynak: IEA, 2021a

3.1.2 Bölgesel Farklılıklar

2010 yılında 10.000 seviyesinde olan elektrik araba parkı 2015 yılında 1 milyonu aşmış, 2016-2020 döneminde ise yaklaşık 10 kat büyümeye göstermiştir. 2020 yılındaki 3 milyonluk artış ile elektrikli otomobillerin dünya genelinde yıllık satışlardaki payı %5'e yaklaşmıştır. 2021 yılında güçlenerek devam eden büyümeye ile birlikte bu oran yılın ilk yarısında %7 seviyesine ulaşmış olup, özellikle Avrupa ve Çin pazarlarında iki haneli büyümeye seviyeleri gerçekleşmiştir. EA gelişimi tüm dünyada çarpıcı bir büyümeye trendi göstermekle birlikte, son dönemde bazı bölgeler giderek daha fazla öne çıkarken gelişim ivmesi ve seviyesi bakımından da bölgesel farklılıklar göze çarpmaktadır.

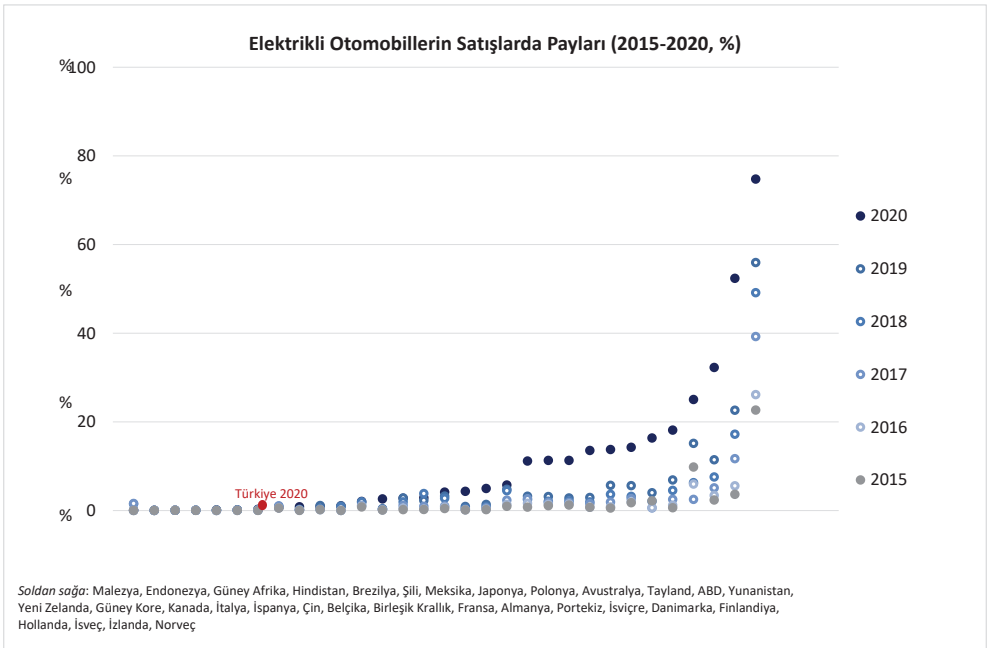
- **Avrupa'da ivmelenme:** 2020 yılında Avrupa ilk defa elektrikli otomobil satış hacminde Çin'i geçerek lider konuma gelmiş (1,2 milyona karşın 1,4 milyon), elektrikli otomobillerin toplam otomobil satışlarındaki payı 2019 yılındaki %3'ten %10'a çıkmıştır. Bu gelişme bölge bazında oransal büyümeye bakımından şimdiye kadar kaydedilmiş en yüksek büyümeye işaret etmektedir. Dünya genelinde, 2020 yılında elektrikli otomobil satışlarında en yüksek pazar payına ulaşan ilk 10 ülkenin tümü Avrupa'dadır (Sırasıyla Norveç, İzlanda, İsveç, Hollanda, Finlandiya, Danimarka, İsviçre, Portekiz, Almanya ve Fransa). 2021 yılının ilk yarısında Avrupa'da satılan toplam araçların %17'sini EA'lar oluşturmuştur. Çin 2020 yılında toplam satışlarda elektriklielerin payı bakımından dünya ortalamasının üzerinde büyümeye gösterirken (yaklaşık %6), ABD'de elektrik arabaların pazar payı %2 civarında kalmıştır (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4).

Şekil 3.3. Elektrikli Otomobillerin Pazar Payı Gelişimi (2010-2020, %)



Kaynak: IEA, 2021b

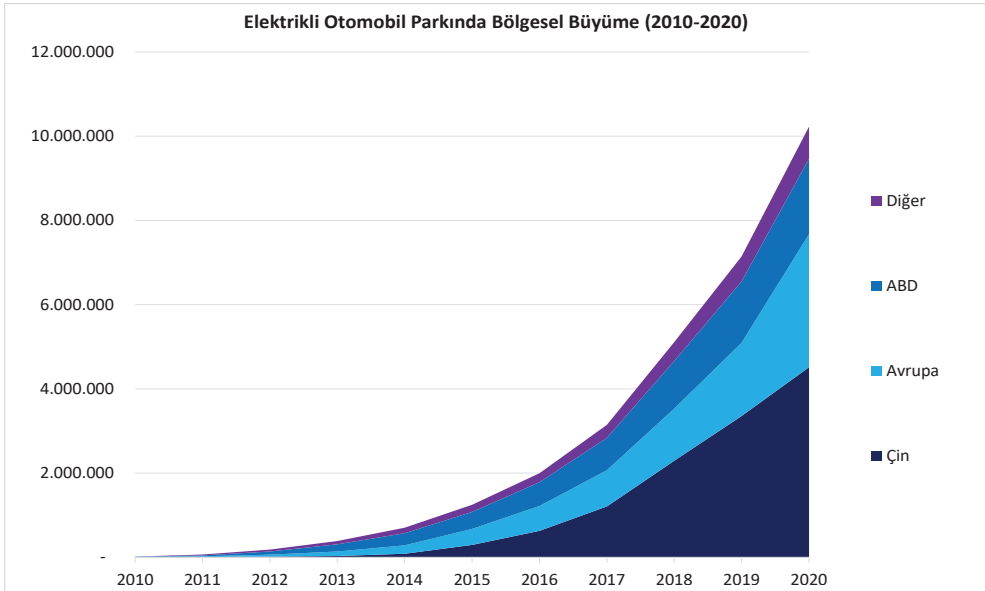
Şekil 3.4. Elektrikli Otomobillerin Satışlarda Payları (2015-2020, %)



Kaynak: IEA, 2021b

- **Büyük ekonomilerin ağırlıklı payı:** 2021'in ilk yarısı itibariyle dünyada 12,6 milyonun üzerine çıkan elektrikli araba parkının %90'dan fazlası %44'ü Çin'de, %32'si Avrupa'da ve %16'sı ABD'de olmak üzere halen üç bölgede bulunmaktadır. Geriye kalanın bölümün %80'inden fazlası ise G20'nin üç ülkesinde yer almaktadır: Güney Kore, Japonya ve Kanada. Büyük ekonomiler arasında Brezilya, Hindistan, Rusya Federasyonu ve Türkiye'de² EA gelişimi henüz başlangıç aşamasındadır (Şekil 3.5).

Şekil 3.5. Elektrikli Otomobil Parkında Bölgesel Büyüme (2010-2020)



Kaynak: IEA, 2021a

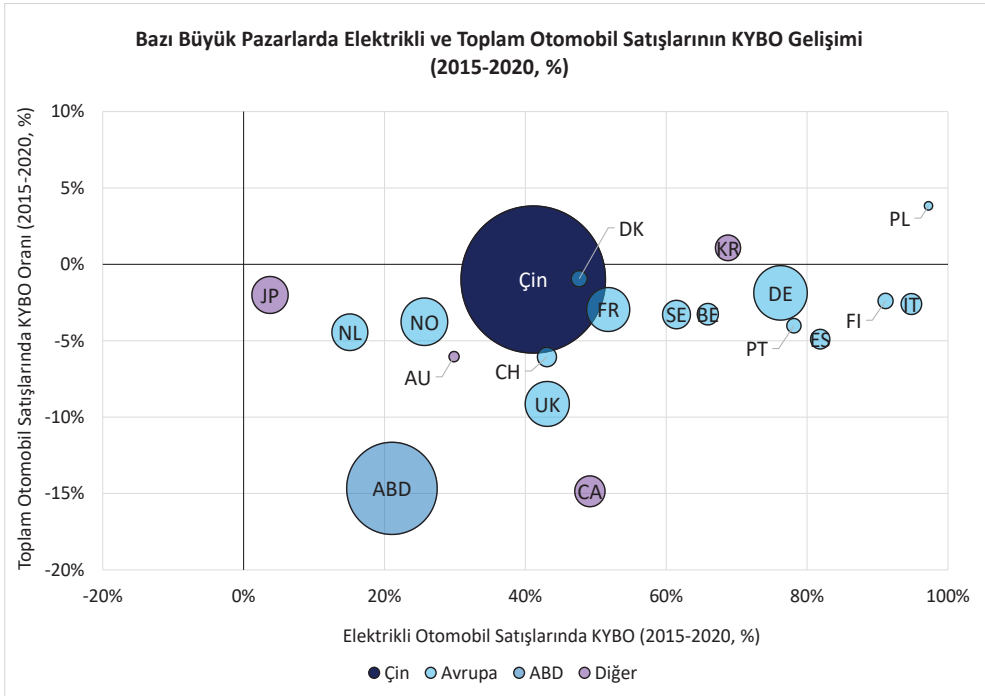
- **Covid-19 Pandemisine Dayanıklılık:** Covid-19 pandemisinin etkilerinin yoğun olarak kendini gösterdiği 2020 yılında toplam otomobil satışları önemli bir daralma ile sonuçlanmış, ancak elektrikli arabalar bu dönemi büyük pazarların tamamında güçlü bir büyüme ile kapatmıştır³ (Detaylar için lütfen Bölüm 3.1.1'e bakınız).

² Türkiye'deki gelişmeler için lütfen Bölüm 4'e bakınız.

³ 2020 yılında Yeni Zelanda'da elektrikli araba pazarı toplam araba pazarı ile benzer oranda daralırken (%21), Japonya'da %25 küçülme olmuştur.

Elektrikli otomobil pazarındaki büyümenin toplam otomobil parkındaki büyüme ile karşılaştırmalı analizi, son dönemde elektrikli arabalar lehine hızla gelişen pazar dinamiklerini göstermektedir. Özellikle 2020 yılındaki pandeminin etkisiyle, Çin dışındaki tüm büyük piyasalarda 2015-2020 döneminde otomobil satışlarında KYBO⁴ bazında %15'e kadar ulaşan bir daralma gerçekleşirken (Almanya, Japonya ve Fransa'da %3, Hollanda'da %5, Birleşik Krallık'ta %9, ABD ve Kanada yaklaşık %15), elektrikli otomobil pazarı aynı dönemde tüm piyasalarda önemli büyüme göstermiştir (Japonya'da %5, Hollanda'da %15, ABD'de %20, Birleşik Krallık'ta %40, Kanada'da %50, Fransa'da %52, Almanya'da %75). İtalya, İspanya, Polonya ve Finlandiya gibi elektrikli otomobil parkının görece olarak çok daha küçük olduğu ülkelerde, aynı dönemde KYBO bazında %80'nin üzerinde büyüme gerçekleşmiştir (Şekil 3.6).

Şekil 3.6. Bazı Büyük Pazarlarda Elektrikli ve Toplam Otomobil Satışlarının KYBO Gelişimi (2015-2020, %)



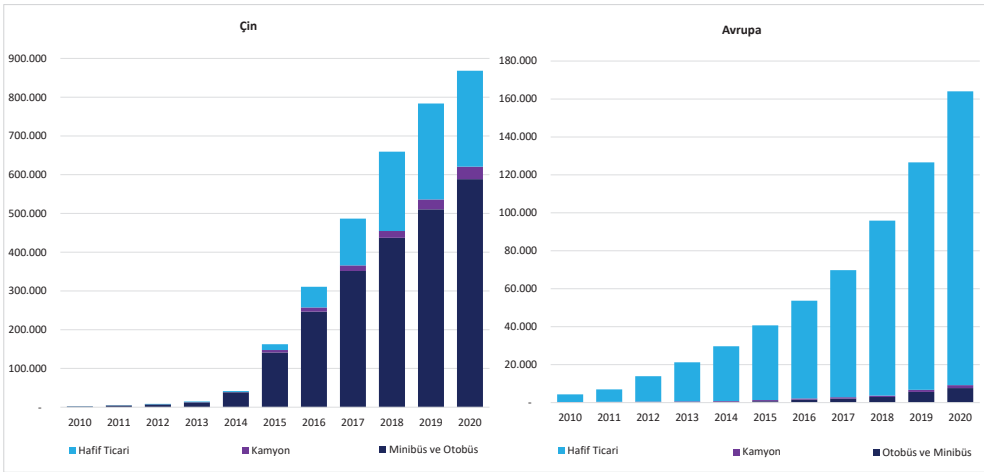
Kaynak: IEA, 2021a ve pazar araştırmaları

⁴ Kümülatif yıllık büyüme oranı

Elektrikli otomobillerin satışlarında ve pazar büyüme dinamiklerindeki bölgesel farklılıklar, ticari araçlarda da belirgindir.

- **Elektrikli Hafif Ticari Araçlar:** Bu alanda elektrifikasyon ise, son dönemde Covid-19 pandemisinin de etkisiyle evde tüketimi ve elektronik ticareti artıran davranış değişiklikleri ile hız kazanmıştır. 2020 sonunda araç parkı 435.000'e ulaşmıştır. Avrupa 2020'de kaydedilen yıllık %40 artış ile büyüme hızına liderlik ederken, Çin ile birlikte dünya toplam elektrikli hafif ticari araç parkının yaklaşık yarısını oluşturmaktadır (Şekil 3.2 ve Şekil 3.7). Özellikle ticari filo yöneticilerinin Bölüm 2'de belirtilen TSOM eksenli motivasyonları, iklim değişikliği aksiyonları ve elektrifikasyona geçişe artan yönelimleri ile birlikte, bu alanda büyüme potansiyelinin önümüzdeki dönemde daha hızlı değerlendirilmesi beklenmektedir.

Şekil 3.7. Ticari Elektrikli Araçlarda Lider Bölgeler (2010-2020)



Kaynak: IEA, 2021a

- **Elektrikli Otobüsler:** Çin, dünya genelinde 600.000'ı aşan⁵ elektrikli otobüs parkının %90'ından fazlasına ev sahipliği yapmakta olup, ülkede elektrikli otobüsler 2020 sonu itibarıyla %27 pazar payına sahiptir (Şekil 3.2 ve Şekil 3.7). Avrupa'da bu oran, bazı büyük şehirlerde görülen hızlı büyümeye karşın, halen %5'in altında seyretmektedir. Bölüm 2'de belirtildiği üzere, TSOM bazında filo yönetimi bakımından maliyet avantajlarının ve emisyonlar başta olmak üzere sürdürülebilirlik bakımından önem taşıyan dışsalılıkların da göz önüne alındığı durumda, şehirlerde elektrikli otobüs

⁵ Bu rakamın 2021 sonuna kadar yaklaşık 700.000 adedi bulması beklenmektedir.

kullanımının gelişimi tüm bölgelerde yüksek potansiyelli ve çok boyutlu faydalar sunan bir fırsat alanı konumuna gelmiştir. Batarya teknolojilerindeki gelişmeler ile birlikte, şehir içi toplu ulaşımın menzil ve sabit rota gibi elektrikli araç kullanımı için uygun olarak özellikleri çerçevesinde otobüs parkında hızlı bir elektrifikasyon beklenmektedir. Önümüzdeki beş yıl içerisinde yaklaşık 1 milyon elektrikli otobüsün ulaşım sistemine entegre olması tahmin edilmektedir (IEA, 2021a).

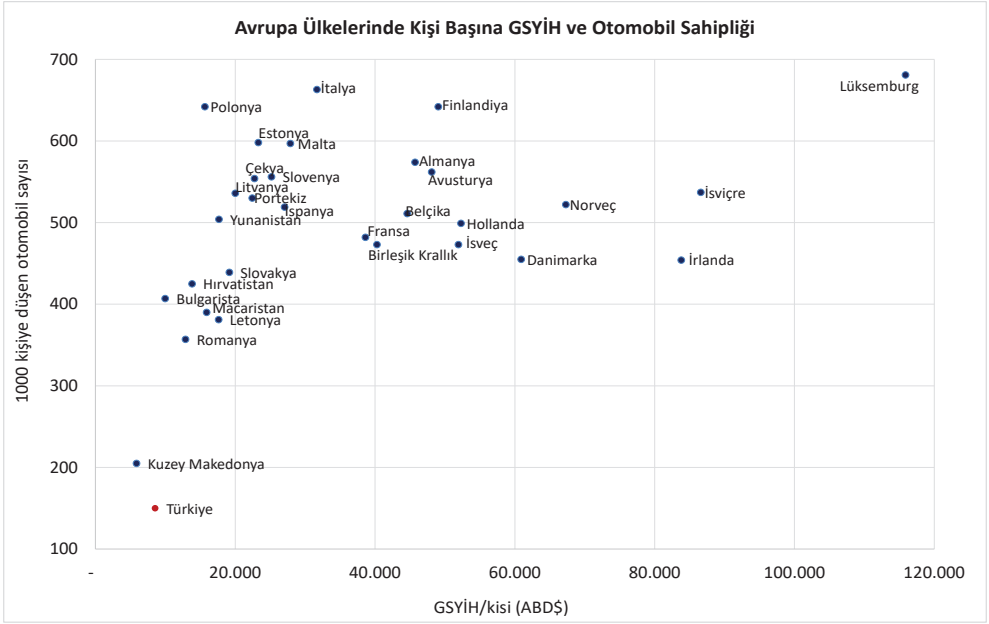
- **Elektrikli Kamyonlar:** Dünyada elektrikli kamyon parkı 2020 yılında 7.400 artış (yıllık %10 büyüme) ile 31.000'e ulaşmıştır. Bu artışın %91'i Çin'de gerçekleşmiştir. 2020 sonu itibarıyla toplam parkın sadece %2'si Avrupa'da (450 araç) ve sadece %1'i ABD'de (240 araç) bulunmaktadır. 2021 yılı ilk yarısında 2.500 elektrikli kamyon daha araç parkına eklenmiştir. Batarya teknolojilerindeki gelişim hızı ile birlikte uzun menzilli yük taşımacılığında elektrifikasyonda ticari yaygınlaşmanın artması, karayolu taşımacılığında petrol tüketiminin ve emisyonların azaltılması bakımından kritik olacaktır. Hidrojenin enerji taşıyıcı olarak ağır ticari taşımacılıkta kullanılması, menzil avantajları çerçevesinde, ilgili altyapıların oluşturulması durumunda özellikle 2030 sonrası dönemde ulaşımında önemli bir seçenek konumuna gelecektir (Detaylar için lütfen Bölüm 3.3.3. ve Bölüm 3.4.1'e bakınız).

3.1.3. Avrupa Odaklı Gelişmeler

Elektrikli araç parkında büyümede liderliği hedefleyen, bu yöndeki politikalar ve endüstri yönelimlerinde son dönemde pek çok somut gelişme kaydeden Avrupa pazarlarının detaylı incelenmesi ile aşağıdaki bulgulara ulaşılmaktadır.

- Ülkelerde kişi başına otomobil sahipliği ile kişi başına GSYİH arasında bir korelasyon bulunmakla birlikte, davranış ile ilgili faktörler de araç sahipliğinde belirleyici olabilmektedir (Şekil 3.8). Kişi başına otomobil sahipliğinin yüksekliği, her koşulda elektrikli otomobil pazar paylarının da yüksek olması ile sonuçlanmayabilir. Kişi başına otomobil sahipliğinin yüksek, kişi başına GSYİH'nin düşük olduğu bazı ekonomilerde, geleneksel teknolojilerden elektrikliye dönüş ve araç parkının yenilenmesi daha uzun bir süre alabilecektir.
- Elektrikli arabalar, kişi başına GSYİH'nin görece olarak daha yüksek olduğu ekonomilerde genelde daha yüksek pazar girdi oranlarına ulaşmıştır. Örneğin, Almanya, Hollanda ve tüm Kuzey Avrupa ülkeleri, pazar paylarının en yüksek gerçekleştiği piyasalardır (Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10). Bu ülkelerde alım gücü, elektrifikasyonu önceliklendiren ve kolaylaştıran teşvik ve destek mekanizmaları, ulaşım ve elektrifikasyonda bütüncül planlama yaklaşımı, hızlı büyümeyi birlikte destekleyen ana faktörlerdir. 2020 yılında elektrikli otomobillerin satış payı, bu alanda liderlik eden ekonomilerde oldukça yüksek oranlara ulaşmıştır (Norveç'te %75, İsveç'te %30, Hollanda'da %25).

Şekil 3.8. Avrupa Ülkelerinde Kişi Başına GSYİH ve Otomobil Sahipliği



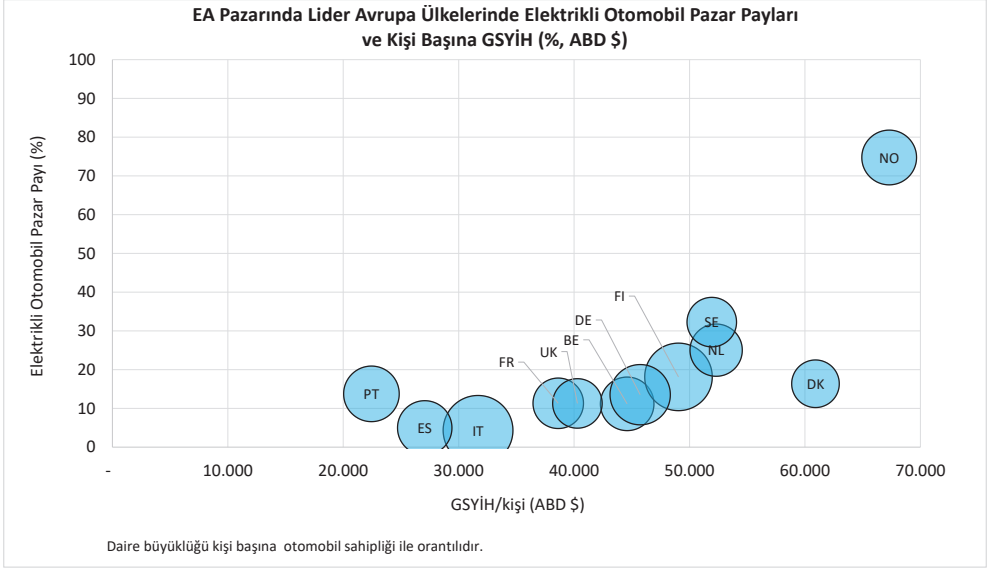
Kaynak: Eurostat ve World Bank istatistikleri

Not: 2019 ve 2020 verileri ile

- Diğer taraftan, toplam araç parkı bakımından büyük pazarlar, toplam elektrikli otomobil satış hacminde de öne çıkmaktadır. Almanya, Birleşik Krallık ve Fransa, 2020 yılında elektrikli araba pazarının ulaştığı %10 seviyesinde paylar ile Avrupa'daki toplam elektrikli araba parkının yarısından fazlasını oluşturmaktadır. 2020 yılında, Almanya'da yaklaşık 400.000, Fransa ve İngiltere'de de yaklaşık 180.000'er elektrikli otomobil satışı gerçekleşmiştir⁷. Diğer iki büyük pazar olan İtalya ve İspanya da 2020 yılında %5'e ulaşan pazar payları ile elektrikli otomobil parklarını milyon seviyelerine ulaştırmıştır. Avrupa'daki elektrikli otomobil parkının %80'den fazlası bu beş ülkede yer almaktadır (Şekil 3.9).

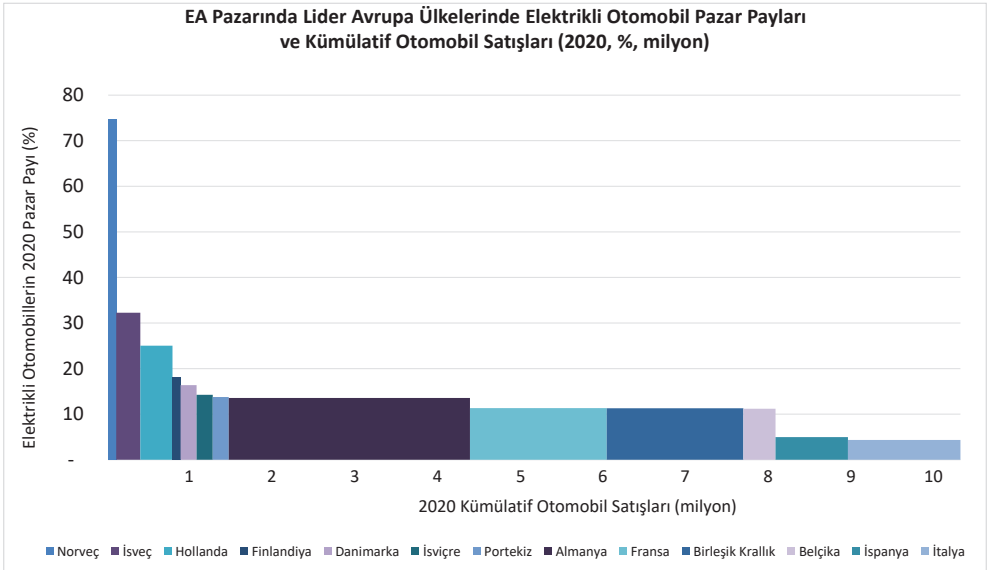
⁷ Bu üç ülkede elektrikli otomobillerin toplam yıllık satış hacmi, Türkiye yıllık toplam otomobil satışlarının üzerinde olmuştur. Detaylar için lütfen Bölüm 4'e bakınız.

Şekil 3.9. EA Pazarında Lider Avrupa Ülkelerinde Elektrikli Otomobil Pazar Payları ve Kişi Başına GSYİH (% , ABD \$)



Kaynak: IEA, 2021a; Eurostat ve World Bank istatistikleri

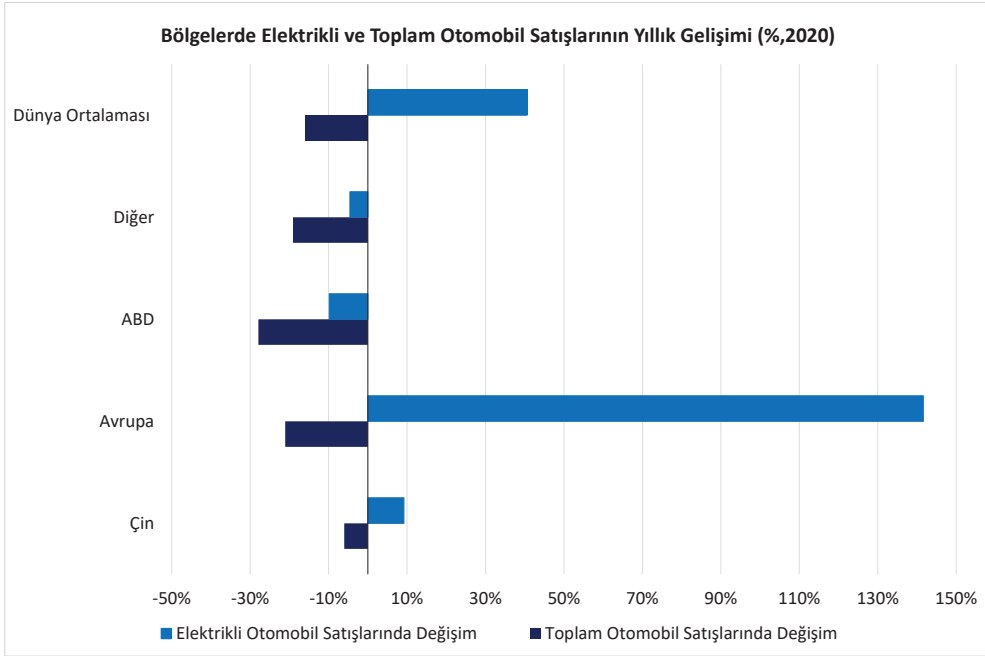
Şekil 3.10. EA Pazarında Lider Avrupa Ülkelerinde Elektrikli Otomobil Pazar Payları ve Kümülatif Otomobil Satışları (2020, %, milyon)



Kaynak: IEA, 2021a; OICA İstatistikleri

- Avrupa, 2020 yılında elektrikli araçlarda büyümede küresel lider konuma gelmiş, toplam araba satışlarında %22 daralmaya karşın, elektrikli arabalarda gerçekleşen %140 büyüme, Avrupa'yı diğer bölgelerden belirgin şekilde ayırmıştır (Şekil 3.11). Destekleyici politika çerçevesinin, özellikle satın alma teşvikleriyle ve temiz enerji odaklı teknolojik dönüşümü destekleyici uygulamalar ile zenginleştirilmiş olması büyümenin güçlenerek sürdürülmesine önemli katkı sağlamıştır. AB ülkelerinin yarısından fazlasında, EA alımına ve kullanımına yönelik önemli finansal teşvik mekanizmaları uygulanmaktadır (ACEA, 2021b) (Detaylar için lütfen Bölüm 3.5'e bakınız).

Şekil 3.11. Bölgelerde Elektrikli ve Toplam Otomobil Satışlarının Yıllık Gelişimi (% , 2020)



Kaynak: IEA, 2021a; OICA istatistikleri

3.1.4. Elektrikli Araçlar Büyümesinin Dinamosu Olarak Şehirler

Bölüm 2'de belirtildiği üzere, kentleşme ve kent odaklı ekonomik ve sosyal faaliyetler, enerji ve mobilitede yeni dinamiklerin en önemli belirleyicilerinden birisi durumundadır. Büyük pazarlarda EA gelişim ivmesindeki belirgin bölgesel farklılıklara ek olarak, bazı büyük şehirlerin ve metropollerin de diğerlerine göre daha fazla öne çıktığı görülmektedir. 25 metropol bölge, dünya genelinde toplam EA parkının yaklaşık %40'ına ev sahipliği yapmaktadır (ICCT, 2020a).

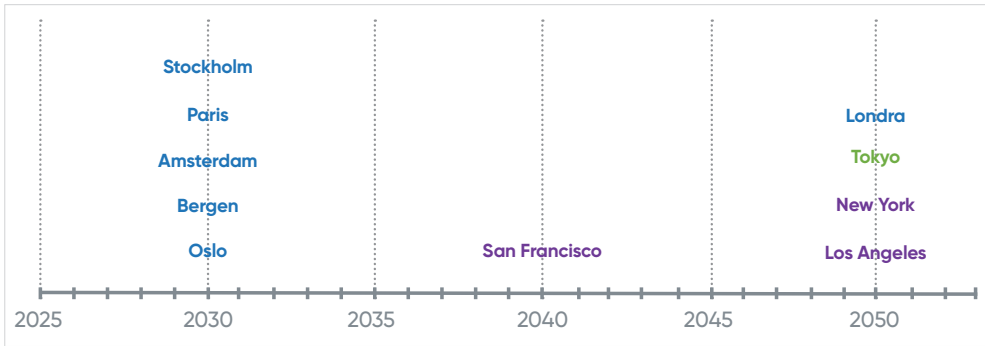
Literatürde “EA Başkentleri” olarak da ifade edilen bu 25 bölge⁸, EA'lar ve E-mobilite ekosistemini destekleyici politika ve piyasa araçlarını devreye alırken, bu yaklaşımı kentsel planlama, şehir-içi ulaşım seçeneklerinde verimlilik ve sürdürülebilirlik perspektifi ve akıllı şehir uygulamaları ile bütüncül olarak güçlendirebilmiştir.

Çin dışındaki pek çok “EA Başkenti”, trafikte elektrikli araçların payına ilişkin sayısal hedefler tanımlamış, bazıları da İYMA'ların devreden çıkarılması için somut takvim açıklamış bulunmaktadır. Bu şehirlerin 10 tanesinde, İYMA'ların, en geç olanı 2050'ye kadar olmak üzere, tamamen sistemden çıkarılması hedefi yer almaktadır (Şekil 3.12). Son olarak, Glasgow İklim Zirvesi'nin “Sıfır Emisyonlu Araçlara Geçişin Hızlandırılmasına İlişkin COP26 Deklarasyonu”, otomobiller ve hafif ticari araçlarda en geç 2040 yılına kadar satışların tümüyle sıfır emisyonlu araçlarda gerçekleşmesini hedeflerken, bu bildirge toplam 41 şehir, eyalet ve bölgesel hükümet tarafından imzalanmıştır (Government of the UK, 2021a) (Detaylar için lütfen Bölüm 3.4.1'e bakınız).

Bu bölgeler tarafından yaygın olarak kullanılan ve somut hedefler ile yönlendirilen seçenekler,

- Sıfır veya düşük emisyonlu bölge yaklaşımları,
- Kamuya açık şarj ünitelerinin yaygınlaşmasına ilişkin teşvikler,
- Taksilerde ve yerel yönetimlere ait filoalarda elektrifikasyonun önceliklendirilmesini içermektedir. (Şekil 3.13)

Şekil 3.12. İÇYM Kullanımını Yasaklayan Şehirler



Kaynak: ICCT, 2020a

⁸ Çin'de Shanghai, Beijing, Shenzhen, Hangzhou, Guangzhou, Tianjin, Qingdao, Zhengzhou, Changsha, Liuzhou, Weifang, Wuhan, Chongqing, and Xi'an, Japonya'da Tokyo, Norveç'te Oslo ve Bergen; Fransa'da Paris, Birleşik Krallık'ta Londra, Hollanda'da Amsterdam, İsveç'te Stokholm, ABD'de Los Angeles, San Francisco, San Jose ve New York.

Şekil 3.13. "EA Başkentleri"nde EA'ları Destekleyici Enstrümanlar

Ülke	Metropol Bölgesi	Şehir Planlama					Altyapı			Filolar					Teşvikler						
		%100 Elektrikli Satış Hedefi	%100 Elektrikli Araç Parkı Hedefi	Planlanan Merkezi Sıfır Emisyon Bölgesi	Düşük Emisyon Bölgesi	Fosil Yakıtlı Sokaklar Deklarasyonu	Kamuya Açık Şarj için Teşvikler	Özel Şarj için Teşvikler	EA'lara Hazır Bina Düzenlemeleri	Şarj Stratejisi	Belediye Filo Hedefi	Taksi Elektrifikasyon Hedefi	Paylaşımlı Yalculuk Elektrifikasyon Hedefi	Elektrikli Araç Araç Paylaşım Programı	%100 Elektrikli Otobüs Hedefi	%100 Elektrikli Otobüslere Ulaşıldı	Mali Teşvikler	Plaka Tercihli Erişim	Elektrikli Araç Parkı Ayrıcalıkları	Otobüs /Otomobil Şeritlerine Özel Erişim	Otoyol, Köprü veya Feribot İndirimleri
Çin	Shanghai				X		⊗		X	X	X	X		X	⊗		○	X	X		
	Beijing				X		⊗		X	X	X	X		X	○		○	X	X		
	Shenzhen				X		⊗		X	X	X	X	X	X		X	○	X	X		
	Hangzhou				X		⊗	X	⊗	X	○	X		X	⊗		○	X	X	○	
	Guangzhou				X		⊗		⊗	X	⊗	⊗	X	X		X	○	X	⊗	X	
	Tianjin				X		⊗		X	X	X			X	⊗		○	X	X		
	Qingdao				X		⊗		⊗	X	⊗	X	X	X	⊗		○		⊗		
	Zhengzhou				X		⊗		⊗	X	⊗	⊗		X	⊗		○		⊗		
	Changsha						⊗		⊗	X	X	X		X	X		○		X		
	Liuzhou				X		⊗		⊗	X	X			X			○		⊗	⊗	
	Weifang				X		⊗		⊗	X	○		X	X			○		⊗		
	Wuhan				X		⊗		X	X	⊗	X		X	X		○		⊗		X
	Chongqing				X		⊗		X	X	X		X	X			○		X		X
	Xi'an				X		⊗		⊗	X	⊗	X		X	○		○		X	⊗	
Japonya	Tokyo			X	X	X	⊗	X		X	X		X			⊗					
Norveç	Oslo	X	X	X	X	X		X	X	X	⊗	X		X	X		○		X	X	○
	Bergen	X	X	X	X			X	X		⊗	X		X			○		X		○
Fransa	Paris		X		X	X		X	X		X	X	X	X	X		⊗		X		
Birleşik Krallık	Londra	X	X	X	X	X		○	X	X	X		X	X			○		X		X
Hollanda	Amsterdam		X	X	X	X		X	X	X	○	X		X	X		○		X		○
İsveç	Stockholm		X		X			○	X	X	X		X				○				
ABD	Los Angeles		X	X		X		⊗	X	⊗	X			X	X		○			○	○
	San Francisco	X	X				⊗	○	X	⊗	X				X		○			○	○
	San Jose							○	X	⊗	X				○		○		X	○	○
	New York		X					○	X						X		○			○	○
X	Yerel Yönetimlerin Faaliyetleri																				
○	Eyaletler veya Hükümetlerin Faaliyetleri																				
⊗	Birden Çok Seviyede Faaliyet																				

x Yerel Yönetimlerin Faaliyetleri ○ Eyaletler veya Hükümetlerin Faaliyetleri ⊗ Birden Çok Seviyede Faaliyet

Kaynak: ICCT, 2020a

Şehirlerin ve yerel yönetimlerin, EA ve kullanımında demonstrasyon işlevi de önem taşımaktadır (IEA, 2021b). Bu tür örnek uygulamalar, Bölüm 2.4'te sunulan çok boyutlu faydalarının, kullanıcılar ve mobilite ekosisteminin geniş paydaş profilinde farkındalığına katkı sağlamasında ve şehirlerde iyi uygulamaların yaygınlaşmasında önemli rol oynayabilecektir.

3.2. Diğer Önemli Gelişmeler

3.2.1. Elektrikli Araç Üretimi ve Modelleri

2020 yılı sonu itibariyle dünya genelinde 370'e ulaşan elektrikli otomobil model sayısı, 2021'in ilk yarısı itibariyle 500'ü aşmıştır. Elektrikli otomobil satışlarındaki artış ile bölgesel ve ulusal piyasalarda kullanıcı tercihleriyle uyumlu EA model portföylerinin varlığı arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Son dönemde model çeşitliliğinde en büyük artış Avrupa'da gerçekleşmiş olmakla birlikte, Çin halen AB'nin yaklaşık iki katı, AB ise ABD'nin yaklaşık iki katı sayıda elektrikli araba modeli sunmaktadır (BNEF, 2021). Bu büyüklükler, bölgelerdeki mevcut elektrikli araç parkı ile orantılı görünmekle birlikte, özellikle Avrupa'da ilgili politika çerçevesinde son dönemde atılan önemli adımların ürün gamında hızlı bir artışı ve rekabetçiliği de beraberinde getirmesi beklenmelidir.

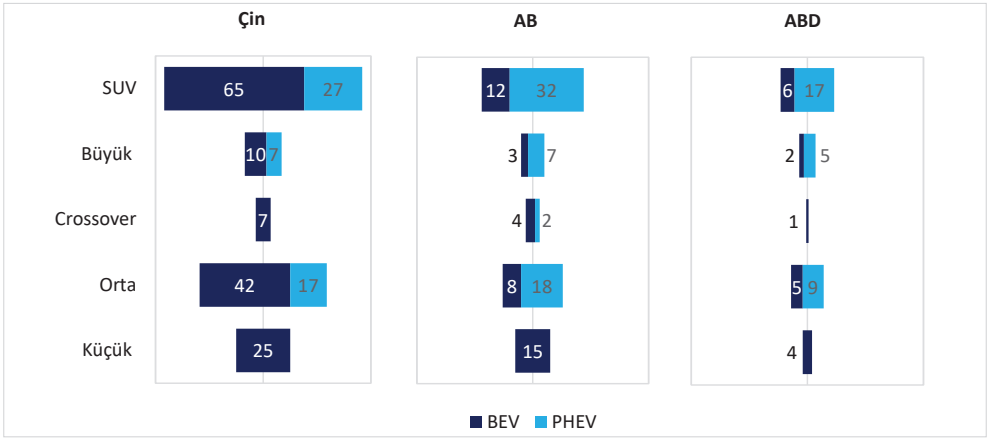
Son dönemde tüketici tercihlerinin bir sonucu olarak en geniş model yelpazesi ve en fazla büyüme SUV⁹ segmentinde görülmekte, piyasadaki elektrikli otomobil modellerinin yaklaşık yarısını SUV modelleri oluşturmaktadır (Şekil 3.14). Yakında piyasaya girecek olan modellerin yarısından fazlasını da SUV'ler ve pick-up türü araçların oluşturması beklenmektedir. Orijinal Ekipman Üreticilerinin (OEM¹⁰) bu segmentte daha yüksek oranda elektrifikasyona yönelmelerinin bir nedeni, bu tür araçların halihazırda ABD'de en yüksek pazar payına sahip olan, Avrupa ve Çin'de ise en hızlı büyüyen segment olması, bir diğer nedeni de daha küçük araçlara göre daha yüksek fiyat seviyelerinde satılabilmesidir.

Piyasaya giren yeni modellerin gelişiminin incelenmesinden ulaşılan bir diğer sonuç da, BEV modellerinin tüm bölgelerde ağırlığı oluşturmaya başlaması, PHEV araçların ise daha çok büyük segmentlerde konumlanmasıdır (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15). 2020 yılında satılan elektrikli otomobillerin yaklaşık üçte ikisi BEV modelleri olmuştur. Diğer araç türlerindeki satışlarda da benzer bir oran gerçekleşmiştir. Önümüzdeki dönemde BEV'lerin, gerek artan ürün gamıyla, gerekse de Bölüm 2'de de açıklanmış olduğu gibi, gelişimi süren menzil performanslarının katkısıyla pazar paylarının yükselmeye devam etmesi beklenmektedir.

⁹ Sport Utility Vehicle

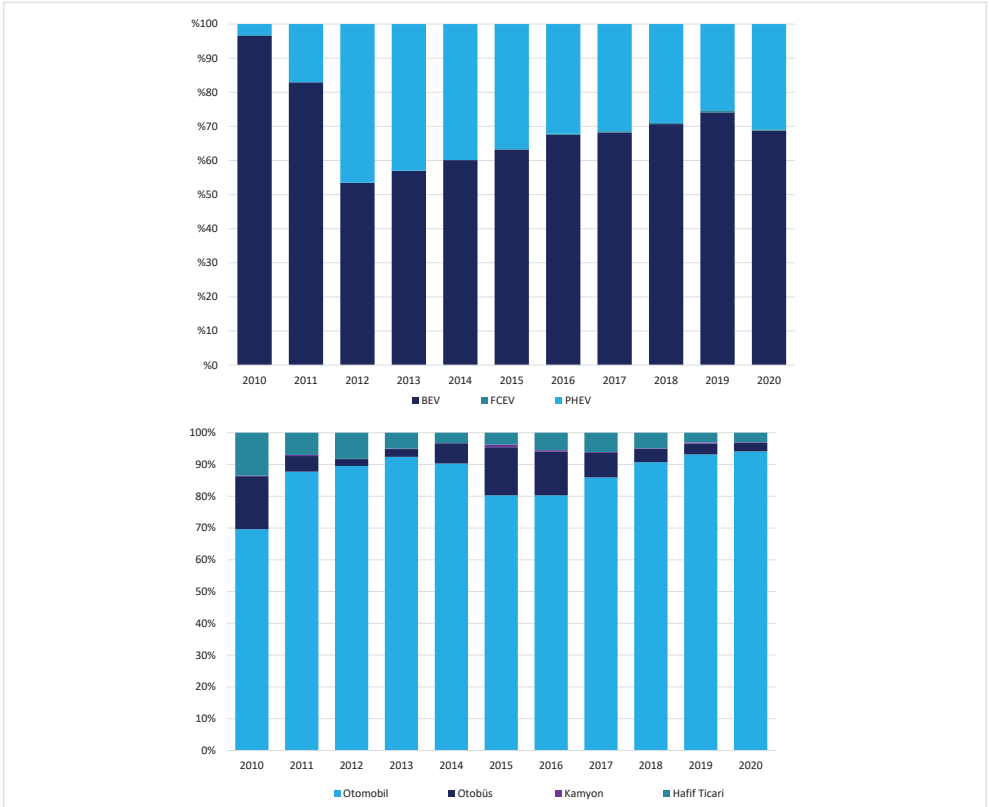
¹⁰ Original Equipment Manufacturers

Şekil 3.14. Elektrikli Otomobil Modellerinin Dağılımı (2020)



Kaynak: IEA,2021b

Şekil 3.15. Küresel EA Satışlarının Kırılımı (2010-2020)



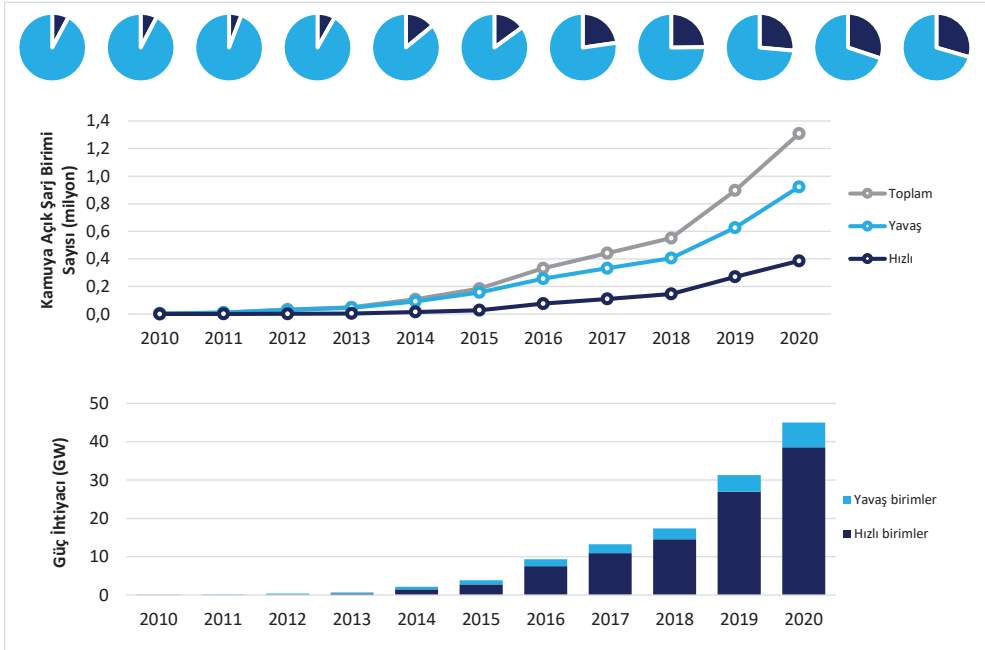
Kaynak: IEA,2021b

Son dönemde piyasaya sunulan BEV araçların önemli bir bölümü, hızlı şarj özelliklerine de sahiptir. 100-250 kW aralığında şarj olabilen BEV otomobiller 2021'de yeni modeller içerisinde %53 paya sahip duruma gelmiştir (2019'da %38). 2019'da satışa sunulan BEV otomobiller için 115 kW olan ortalama maksimum şarj gücü, 2021'de piyasaya sürülen modellerde ortalama 140 kW'a yükselmiştir (BNEF, 2021). Kullanıcı talepleri, hızlı şarj teknolojisindeki gelişmeler ve hızlı şarj altyapılarının yaygınlaşması, yeni modellerin gelişiminde belirleyici bir unsur olmaya devam edecektir.

3.2.2. Şarj Altyapısında Gelişmeler

Kamuya açık şarj ünitesi sayısı 2020 yılında 1,3 milyona ulaşmıştır. 2020'de, Covid-19 pandemisinin etkisine bağlı yaşanan kısmi yavaşlamaya karşın bu alanda yıllık %45'lik büyüme sağlanabilmiştir (2019 yılında yıllık %85 büyüme). Böylelikle 2016-2020 döneminde yedi kat artış gerçekleşirken, 2016'da 10 GW, 2019'da 30 GW olan elektrik gücü karşılığı 2020 sonunda 45 GW'a ulaşmıştır (2016-2020 döneminde 4,5 kat artış) (Şekil 3.16). 2021 sonu itibarıyla, kamuya açık şarj ünitesi sayısının 1,9 milyona, ev tipi şarj ünitelerinin sayısının ise 5,4 milyona ulaşması beklenmektedir. 2021 yılında, yıllık şarj altyapı yatırımının miktarının 8 milyar ABD \$'ı seviyesinde gerçekleşmesi beklenmektedir (BNEF, 2021).

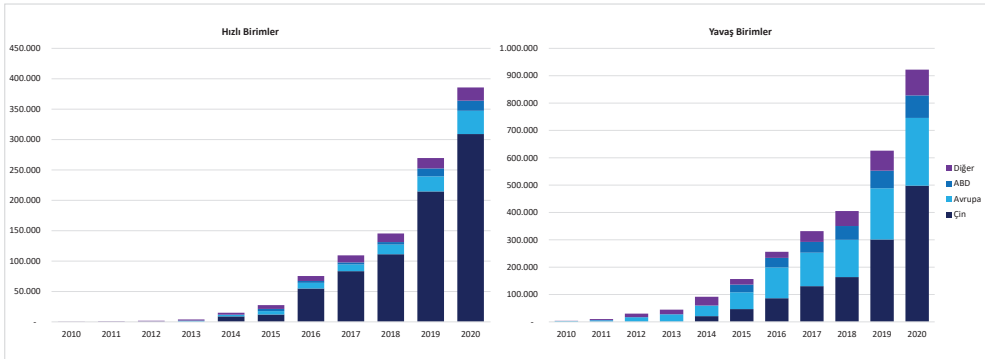
Şekil 3.16. Kamuya Açık Şarj Ünitelerinin ve Kapasitenin Gelişimi (2010-2020, milyon ve GW)



Kaynak: IEA, 2021a; IEA 2021c

Kamuya açık şarj stoku bölgesel olarak incelendiğinde, dünya genelinde yavaş ünitelerde (22 kW'ın altı) envanterin yarısından fazlasının, hızlı ünitelerde ise yaklaşık dörtte üçünün Çin'de bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte 2020 yılında hızlı ünitelerin sayısında en hızlı artış %55 ile Avrupa'da gerçekleşmiş ve bölgede hızlı ünite sayısı 40.000'e yaklaşmıştır. Çin'de hızlı ünitelerin oranı, nüfus yoğunluğunun yüksekliği, özel şarj opsiyonlarının Avrupa'nın bazı bölgelerine göre az olması, ticari araçlarda da EA parkında hızlı büyümeyi hedefleyen politikaların yaygın kullanımı nedeniyle Avrupa'dan daha yüksektir (Şekil 3.17). 2020 sonu itibariyle dünya genelinde kamuya açık şarj ünitelerinin %30'unu hızlı şarj üniteleri oluştururken, buradaki gelişmenin sürdürülebilirliği kullanıcı beklentilerinin karşılanmasında ve ulaşımda elektrifikasyonun çok boyutlu faydalarının artan oranda gerçekleştirilmesinde kritik bir gelişim alanı olmaya devam etmektedir.

Şekil 3.17. Kamuya Açık Hızlı ve Yavaş Şarj Altyapılarının Bölgelere Göre Gelişimi (2010-2020)

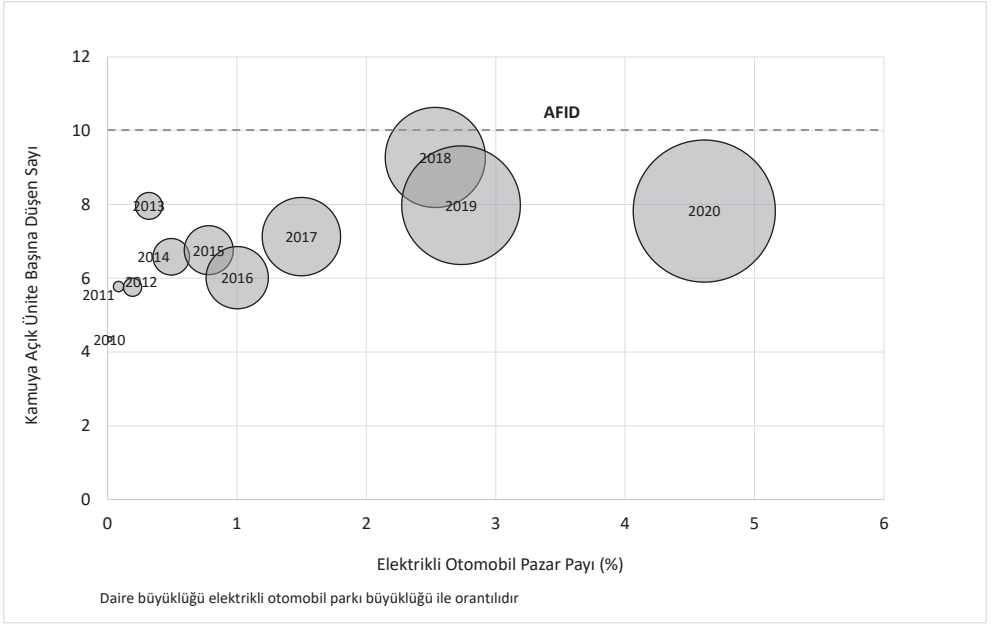


Kaynak: IEA, 2021a

2015-2020 döneminde araç başına şarj ünitesi sayısı gelişimi, küresel ölçekte ve bölgesel olarak, elektrikli arabaların pazar payındaki gelişim ile birlikte Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'de gösterilmektedir. Çin 2020 yılında kamuya açık ünite başına düşen yaklaşık 5 EA ile bu alanda da bölgesel liderliğini sürdürmektedir. Kamuya açık şarj ünitelerinin yeterliliği ile ilgili önemli bir ölçüt AB'nin bu alandaki temel yaklaşımı olan AFID¹¹ (Alternatif Yakıt Altyapısı Direktifi) düzenlemesidir. Bu çerçevede, 2020 yılında her 10 EA karşın 1 kamuya açık ünite önerilmektedir. Avrupa ve ABD'deki yayılım halen bu düzeyin altında seyretmektedir. Avrupa'da 2015-2016 döneminde 5 olan oran, EA parkının kamuya açık şarj altyapısından daha hızlı büyümesi ile birlikte hızla yükselerek 11'e ulaşmıştır. Bu alanda performansı daha geriden gelen ABD'de ise 2020 yılı için aynı oran yaklaşık 17'dir.

¹¹ Alternative Fuels Infrastructure Directive

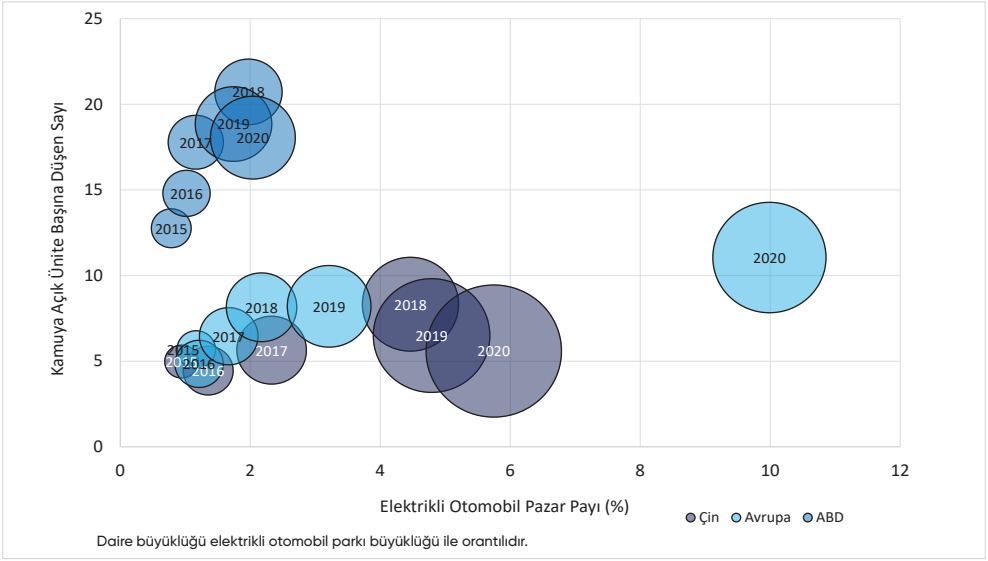
Şekil 3.18. Küresel Ölçekte Kamuya Açık Şarj Ünitesi Başına Düşen Elektrikli Araba Sayısı (2015-2020)



Kaynak: IEA, 2021a

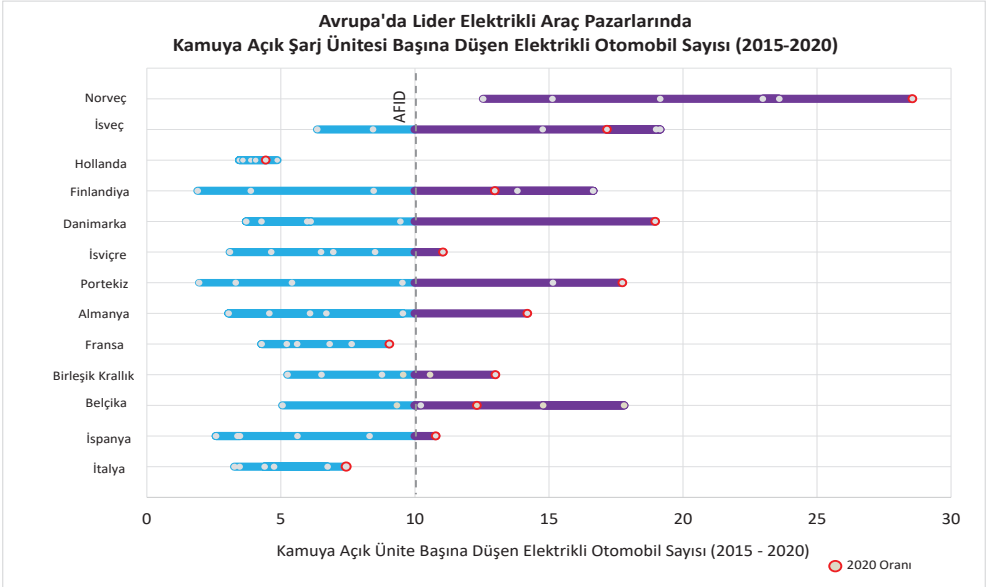
Avrupa özelinde aynı dönemdeki gelişim için AFID hedefi ile kıyaslamalı olarak bir değerlendirme yapıldığında, ülkelerin büyük bölümünün 2020 hedeflerini karşılayamadığı görülmektedir (Şekil 3.20). AB’de kamuya açık şarj ünitesi başına EA sayısı 0,09 (11 EA’a bir kamuya açık ünite) olmakla birlikte, ülkeler arasında önemli farklılıklar dikkat çekmektedir. Örneğin Hollanda ve İtalya hedef seviyenin üzerinde olan ülkeler olmakla birlikte (sırasıyla 0,22 ve 0,13), bu ülkelerde şarj altyapısında yavaş üniteler ağırlıklı paya sahiptir (hızlı ünitelerin oranı Hollanda’da sadece %3 ve İtalya’da %9 seviyesindedir). Diğer taraftan, en yüksek EA Pazar paylarına ulaşmış bazı ülkelerde, AFID oranı en düşükler arasındadır (Norveç’te ve İzlanda’da 0,03, Danimarka’da 0,05). Ancak, bu ülkeler aynı zamanda hızlı ünitelerin ağırlığının nispeten daha yüksek olduğu bölgelerdir (hızlı şarjın payı İzlanda’da %40, Norveç’te %31 ve Danimarka’da %17). 2. Bölüm’de de belirtildiği üzere, nüfus yoğunluğunun ve araç parkının coğrafi dağılımı, şehir planlarının ve bina stokunun karakteristikleri, konut yapıları, özel park alanlarının yaygınlığı gibi bir dizi faktörün de mutlaka dikkate alınması yoluyla, bölgesel ihtiyaçları odağına alan, yaklaşımlar gerekmektedir.

Şekil 3.19 Kamuya Açık Şarj Ünitesi Başına Düşen Elektrikli Araba Sayısına Bölgesel Bakış (2015-2020)



Kaynak: IEA, 2021a

Şekil 3.20. Avrupa'da Lider Elektrikli Araç Pazarlarında Kamuya Açık Şarj Ünitesi Başına Düşen Elektrikli Otomobil Sayısı (2015-2020)

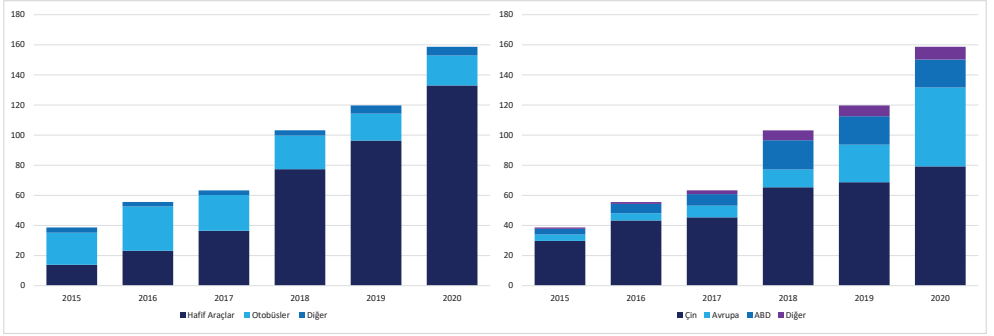


Kaynak: IEA, 2021a

3.2.3. Batarya Ekosisteminde Gelişmeler

Otomotiv sektörü için yıllık Li-iyon batarya üretimi 2020 yılında üçte bir oranında artış ile 160 GWh'e ulaşmıştır. Bu artış, aynı dönemde elektrikli otomobil satışlarında gerçekleşen %40'lık büyümeyi destekleyici niteliktedir. Diğer araç türlerinde batarya talebi toplam %10 artmıştır. Dünya genelinde EA parkında lider konumda olan Çin, özellikle hafif ve ağır ticari araçlardaki yüksek payıyla, küresel batarya talebinin yarısına karşılık gelmektedir (80 GWh). 2020 yılında en yüksek bölgesel artış, elektrifikasyonda yüksek ivmelenme ile Avrupa'da gerçekleşmiş (%110 artış ile 52 GWh), ABD'deki talep ise yaklaşık 20 GWh olmuştur. Otomobiller ve hafif ticari araçlar 2020 yılında toplam batarya talebinin üçte ikisinden fazlasını gerçekleştirmiştir (Şekil 3.21).

Şekil 3.21. Küresel Yıllık Batarya Talebine Bölgeler ve Araç Türleri Bazında Bakış (2015-2020, GWh/yıl)



Kaynak: IIEA, 2021a

Üretim tarafındaki gelişmeler incelendiğinde, giga-fabrikaların¹² sayısının 2020'de 181'e yükseldiği görülmektedir (2019'da 118). Bu tesislerin 136'sı Çin'de, 16'sı Avrupa'da ve 10'u ABD'de yer almaktadır (OIES, 2021). Çin'in üretimde yüksek ağırlığı devam etmekte, dünya genelinde toplam batarya hücresi üretim kapasitesinin %70'i Çin'de bulunmaktadır. 2021 yılının ilk 5 ayında toplam hücre tedarikinin %95'i en büyük 10 üretici tarafından gerçekleştirilmiştir (IEEE, 2021). En büyük 10 hücre üreticisinin 6 tanesi Çin menşelidir¹³ (Tablo 3.1). Avrupa'daki üretim kapasitesi ise, hızla artmakta olan bölgesel talebin oldukça altında olup, 35 GWh/yıl seviyesindedir. Açıklanan kapasite yatırımları ile bu hacmin 2025'te yıllık 400 GWh'e kadar çıkabileceği beklenmektedir.

¹² Giga-fabrikalar yıllık üretim kapasitesi 1 GWh ve üzeri olan tesislerdir.

¹³ CATL, LG Energy Solutions, Panasonic, Samsung SDI, BYD ve SK Innovation 2020'nin ilk yarısında EA bataryalarının %87'sinin tedarikini gerçekleştirmişti.

Tablo 3.1. En Büyük 10 Batarya Hücre Üreticisi Tarafından Sağlanan Kapasite ve Pazar Payları (Ocak-Mayıs 2021, GWh, %)

Sıra	Hücre Tedarikçisi	Alıcılar	GWh	Pazar Payı (%)
1	Contemporary Amperex Technology (CATL)	BMW, Daimler, Dongfeng Motor Corp., Honda, Stellantis, Volkswagen, Volvo Car Group	21.5	26
2	LG Energy Solutions	General Motors, Hyundai, Ford, Renault, Stellantis, Tesla, Volvo, VW Group	21.4	26
3	Panasonic	Tesla, Toyota, Honda, Ford	14.1	17
4	Samsung SDI	BMW, Ford, Stellantis, VW Group	5.5	7
5	BYD CO. LTD	BYD, Ford	5.5	7
6	SK Innovation	Daimler, Ferrari, Ford, Jaguar, Kia, Land Rover	3.4	4
7	China Aviation Lithium Battery (CALB)	GAG Motor, Zhejiang Geely Holding Co.	2.7	3
8	Gotion High-Tech	Cherry Automobile Co., SAIC, VW Group	1.4	2
9	Automotive Energy Supply Corp. (AESC)	Renault, Nissan	1.4	2
10	Reipu Energy Co. (REPT)	Dongfeng, Yudo Auto	0.6	1
11	Diğer		4.2	5

Kaynak: IEEE, 2021

2050 yılına doğru net sıfır emisyon patikasını gerçekleştirecek elektrifikasyon, dünya genelinde toplam batarya üretim kapasitesinin 3 TWh/yıl düzeyine ulaşmasını gerektirecektir (Detaylar için lütfen Bölüm 3.3.3'e bakınız). Bu alanda performans ve maliyet iyileştirmeleri odaklı teknolojik gelişmeler ile desteklenecek kapasite yatırımları, E-mobilite ekosisteminin sürdürülebilirliği için kritik önemdedir. Bölgesel rekabetin değer zincirlerine yansımalarının ve Bölüm 2.4.2'de aktarılan hammadde erişimi ve sürdürülebilirliği konularının, önümüzdeki dönemde batarya kapasitelerinde ve teknolojilerindeki gelişim bakımından daha fazla öne çıkacağı değerlendirilmektedir.

3.2.4. Hidrojen Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlarda Gelişmeler

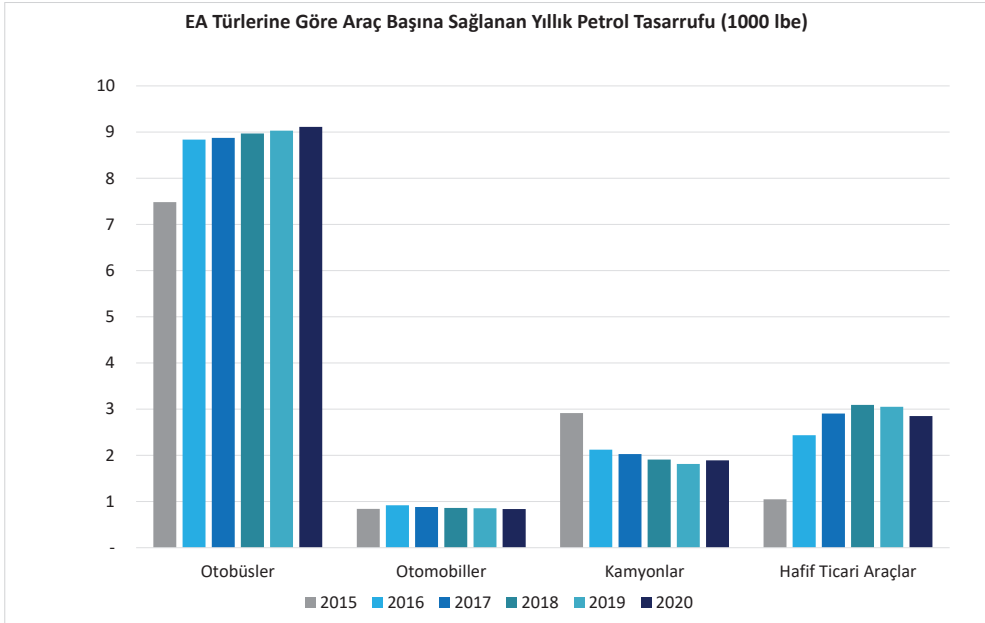
Hidrojen yakıt hücreli elektrikli araçlar (YHEA), Bölüm 2.3'de belirtildiği gibi, elektrik motoruna güç sağlamak için yakıt hücresi teknolojisi kullanarak hidrojenden faydalanmaktadır. 2014 yılında ticari olarak satışa sunulmuş olan bu teknoloji, hidrojen tedarik zincirlerinin ve yakıt ikmal istasyonlarının yaygın olarak bulunmaması ve maliyetlerin görece yüksekliği nedeniyle pazarlarda henüz hızlı bir ivme göstermemiştir (IEA, 2021b). 2020'de YHEA'larda yaklaşık 11.000 satış gerçekleşerek küresel araç parkı yaklaşık 40.000 seviyesine ulaşmıştır (IEA, 2021a). Toplam YHEA parkının %15'i otobüslerden ve %10'u ise kamyonlardan oluşmaktadır. 2021 ilk yarısı itibariyle 9 adet YHEA modeli mevcuttur (BNEF, 2021). Hidrojen yakıt ikmal istasyon sayısı 2020 yılında %15 artış göstermiş olup, dünya genelinde YHEA'lara hizmet veren hidrojen yakıt ikmal istasyonu sayısı 500'ü geçmiştir. (IEA, 2021b). Toplam yıllık YHEA satışlarının, politika teşviklerinin de desteği ile son yıllarda ivme kazanmış olmasına karşın, kullanımda olan araç sayısı BEV veya PHEV araçların ulaştığı seviyelerin çok altındadır.

YHEA'ların en önemli avantajı, sahip oldukları yüksek enerji yoğunlukları sayesinde, araç özelliklerine ve istenilen menzillere bağlı olarak 3-5 dakikalık yakıt ikmal süreleri ile konvansiyonel araçlara benzer bir yakıt ikmal deneyimi sunabilmesidir. Bu özellik, YHEA'ları özellikle uzun mesafeli ulaşım için önemli bir seçenek durumuna getirmektedir. Bu çerçevede, YHEA'ların ulaştırma sektörünün temiz enerji dönüşümünde önemli bir rol oynaması beklenmektedir (Sabancı Üniversitesi IIEEC, 2020). Yakıt hücreli elektrikli kamyonlar ve bunların destekleyici altyapısı, çoğunluğu şehir düzeyindeki pilot projelerde olmak üzere, yaygınlaşmanın erken aşamalarındadır. Özellikle, sıfır emisyonlu ağır ticaret araçlarına talebin artış gösterdiği ülke veya şehirlerde, bu araçların benimsenmesi, politika teşvikleri ile gerçekleşmektedir (IEA 2020c; IEA 2021b). Özellikle 2030 yılından sonra ivme kazanacak bir büyüme patikası ile, 2050 yılı itibariyle satışa sunulan ağır yük kamyonlarının tamamına yakınının yakıt hücreli veya elektrikli olacağı öngörülmektedir (IEA, 2021c).

3.2.5. Enerji Dengelerine Etkiler

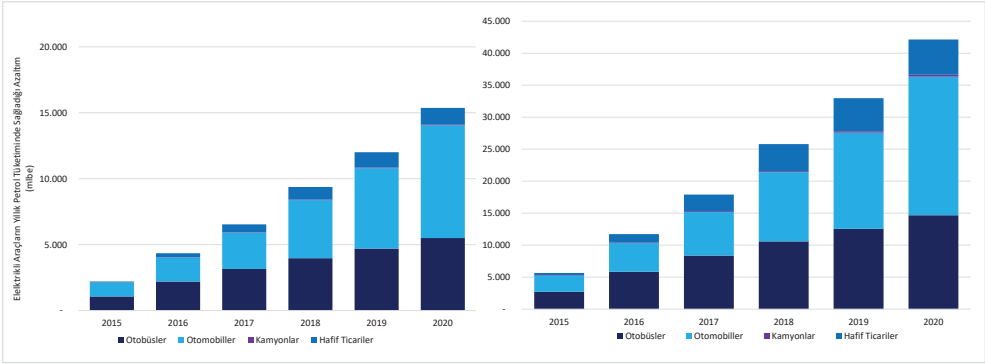
Yıllık petrol tüketimi: EA'ların yaygınlaşmasının enerji dengeleri üzerindeki en önemli etkisi petrol tüketiminde azaltım potansiyelidir. Ortalama bir elektrikli otomobil, yılda yaklaşık 1.000 litre petrolü ikame etmektedir. Ortalama bir elektrikli otobüsün ise bu miktarın 9 katı kadar azaltım gerçekleştirdiği hesaplanmaktadır. Elektrikli otobüslerde menzil gelişimleri ve araç başına yolcu sayısında sağlanan artış ile son dönemde petrol ikamesinde düzenli bir artış kaydedilmektedir. Ortalama bir elektrikli kamyon, elektrikli otomobilin 2 katı, ortalama bir elektrikli hafif ticari araç ise elektrikli otomobilin 3 katı kadar yıllık petrol tasarrufu sağlamaktadır (Şekil 3.22). 2015-2020 döneminde petrol tüketiminde EA'lar sayesinde sağlanan azaltım, yarısından fazlası otomobillerden gelmek üzere yaklaşık 16.000 milyon lbe olarak hesaplanmaktadır (Şekil 3.23).

Şekil 3.22. EA Türlerine Göre Araç Başına Sağlanan Yıllık Petrol Tasarrufu (1000 lbe)



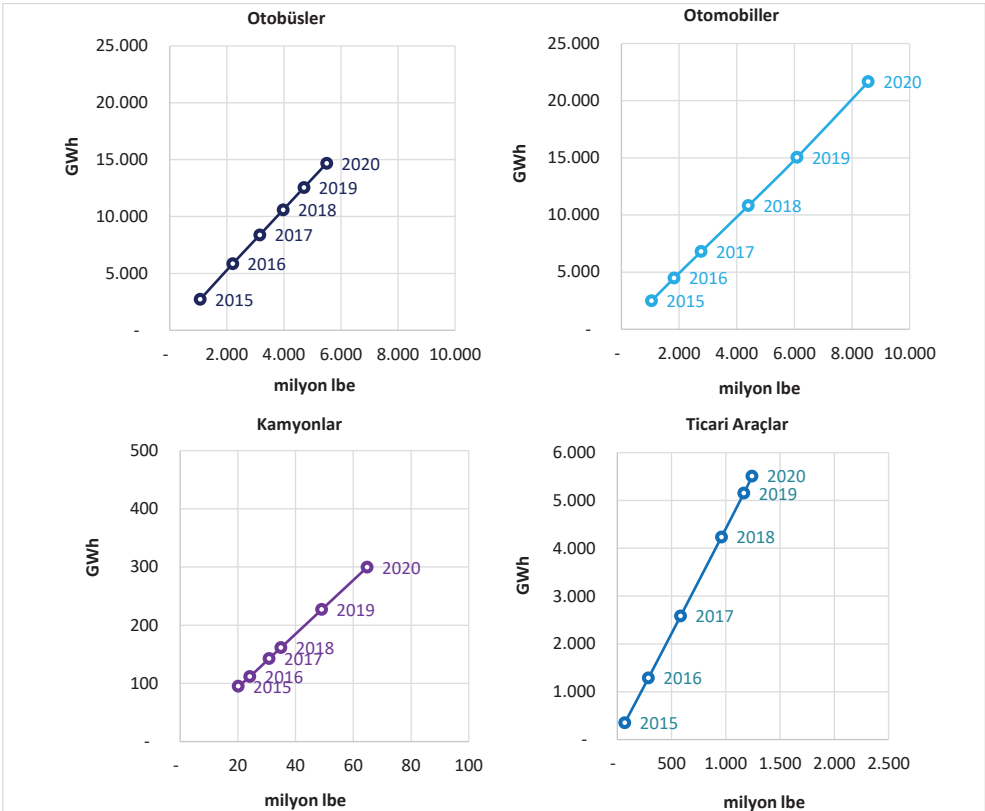
Kaynak: IEA, 2021a

Şekil 3.23. Küresel Ölçekte EA Türleri Bazında Yıllık Petrol Tüketiminde Tasarruf ve Elektrik Talebi Gelişimi (2015-2020, mİbe ve GWh)



Kaynak: IEA, 2021a

Şekil 3.24. Küresel Ölçekte EA Türleri Bazında Yıllık Petrol Tüketiminde Tasarruf ve Elektrik Talebi Gelişimi (2015-2020, mİbe ve GWh)



Kaynak: IEA, 2021a

Yıllık elektrik tüketimi: 2. Bölüm’de detaylarıyla aktarılan yüksek verim karakteristikleri çerçevesinde, 2020 yılında 11 milyona ulaşan EA parkının (iki/üç tekerliler hariç) toplam elektrik talebi 40 TWh seviyesinde gerçekleşmiştir. Bu değer, 2015 seviyesinin yaklaşık sekiz katı olmakla birlikte 2020 yılında gerçekleşen küresel elektrik talebinin %1’inden daha azına karşılık gelmektedir (Şekil 3.23 ve Şekil 3.24). Çok büyük bölümü halen Çin’de bulunan iki/üç tekerli araçların tamamı da dahil edildiğinde 2020 yılında EA’lar toplam 80 TWh elektrik tüketmiştir. 2020 yılındaki bu talep, dünya toplam elektrik tüketiminin sadece %1’ine karşılık gelmiştir.

3.2.6 Çevresel Performansa Etkiler

2020 yılında EA’ların sağladığı sera gazı emisyonu azaltımı, 50 milyon ton CO₂-eşdeğerinin biraz üzerinde hesaplanmaktadır. EA’ların, toplam enerji sektörü kaynaklı emisyonların azaltımında katkısı %1 civarındadır. Otomobiller ve hafif ticari araçlarda devam eden güçlü büyüme ivmesine ek olarak, petrol ve emisyon yoğunluğu daha yüksek olan uzun menzilli yük taşımacılığında ve otobüslerde elektrifikasyonla sağlanacak gelişmeler ile birlikte, emisyon azaltımına katkının daha hızlı artacağı, iklim değişikliği risklerine karşı etkili bir NZE patikası dahilinde 2050 yılına kadar %15’e kadar ulaşacağı öngörülmektedir. (Detaylar için Bölüm 3.4’e bakınız),,

İklim değişikliği ile mücadele bakımından yüksek kazanımlar sunabilen EA teknolojilerinin sürdürülebilir enerji geleceğine katkısında, elektrik sektöründe karbon yoğunluğunun düşürülmesine yönelik yatırımlar önemli rol oynayacaktır. Buna ek olarak, batarya ve araç imalatında sağlanması gereken çevresel performans iyileştirmeleri de yaşam döngüsü boyunca sera gazı emisyonlarının gelişiminde belirleyici olacaktır. Bölüm 3.5.1.’de bazı iyi uygulama örneklerine yer verildiği üzere, elektrikli araçların hava kalitesinin iyileştirilmesindeki önemli rolü de, azami toplumsal faydayı ve geniş bir sürdürülebilirlik perspektifini odağına alacak politikalar çerçevesinde çevresel performansı daha ileriye taşıyabilecektir.

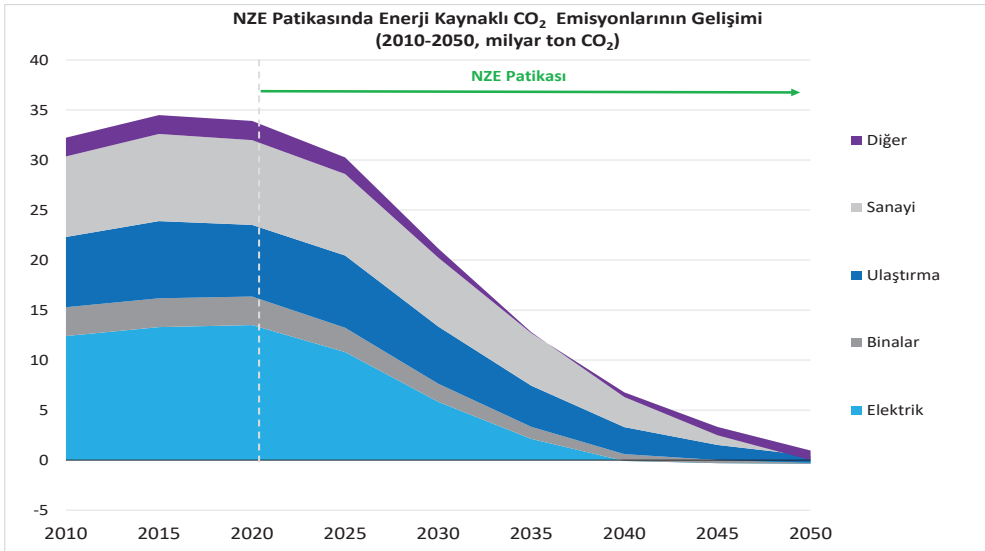
3.3. Net Sıfır Emisyon Hedefine Doğru Elektrikli Araç Gelişim Perspektifi

3.3.1. Küresel Net Sıfır Emisyon Perspektifi ve Ulaştırma Enerji Ekonomisini Karbondan Arındırma

IEA net-sıfır emisyon patikasında (NZE patikası), fosil enerji kaynaklarının toplam enerji arzındaki payı %80’den %20 seviyelerine düşmektedir. Fosil yakıt tüketiminin 2050 itibarıyla kısmen devam edeceği sektörlerin, enerji-dışı ürünlerin üretimi (örneğin petrokimya), Karbon Yakalama ve Depolama (CCUS) teknolojisi ile entegre elektrik üretim birimleri, dekarbonizasyonun görece daha zorlu olduğu bazı ağır sanayi alanları ve kısmen uzun yol taşımacılığı (özellikle havayolu ve denizyolu) ile sınırlı olması öngörülmektedir.

Günümüzde enerji sektöründen kaynaklı CO₂ emisyonlarının beşte birinden fazlasını oluşturan ulaştırma sektörü emisyonlarının, 2030'a kadar %20 ve 2050'ye kadar %90 oranında azaltılması gerekmektedir¹⁴ (Şekil 3.25). Bunu sağlayacak en önemli bileşenler, ulaşım sistemlerinin operasyonel ve teknik veriminin yükseltilmesi, ulaşım modlarında enerji yoğunluğu daha düşük olanlara yönelimin hızlandırılması, toplu taşımanın yaygınlaştırılması ve karayolu ulaşımının, teknolojik gelişimin de desteğiyle, hızlı ve yaygın elektrifikasyonunun tesis edilmesi, hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak ticari ölçekte kullanımının yaygınlaştırılmasıdır.

Şekil 3.25. NZE Patikasında Enerji Kaynaklı CO₂ Emisyonlarının Gelişimi (2010-2050, milyar ton CO₂)



Kaynak: IEA, 2021c

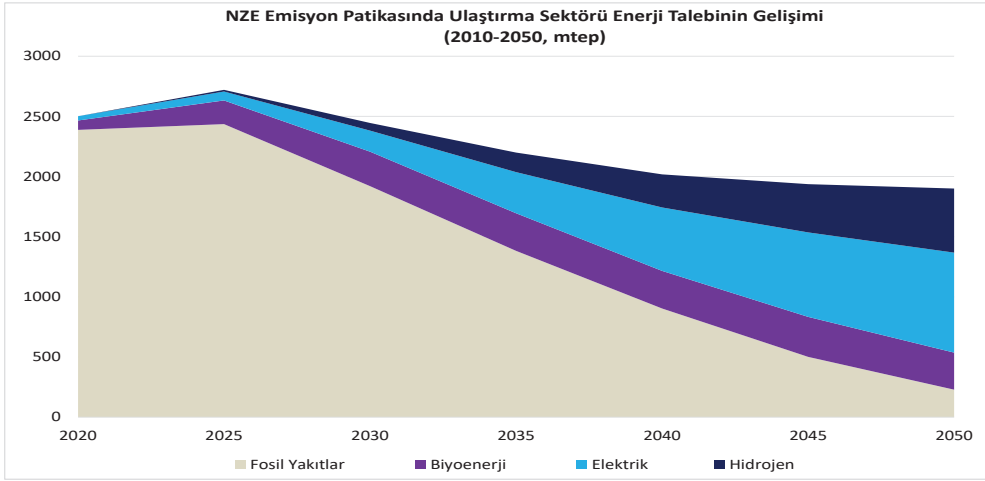
NZE patikasında ulaştırma sektöründe çok boyutlu bir dönüşüm gerçekleşmektedir (Şekil 3.26 ve Şekil 3.27):

- 2020 yılında 2.500 mtep seviyesinde olan toplam enerji tüketimi, yakıt ekonomisi ve ulaşım modları arası geçiş ile sağlanan verimlilik artışları, elektrifikasyonun verimlilik etkileri ile 2040 yılında 2.000 mtep seviyesine, 2050 yılında da 1.800 mtep'e düşmektedir (30 yılda %28 azaltım).
- Enerji kullanımında petrolün ağırlıklı payı tedricen azalmakta ve fosil yakıtların ulaştırma sektörü enerji talebindeki toplam payı %10'a kadar düşmektedir.

¹⁴ Halen en yüksek emisyon envanterine sahip olan elektrik üretim sektörünün, net-sıfır emisyon patikasında, son dönemde yenilenebilir enerjide sağlanan ivmenin de katkısıyla en hızlı dekarbonizasyonu sağlayacak sektör olması öngörülmektedir. Elektrik sektörü emisyonlarının 2030'a kadar %60 azaltımı ve sektörün 2040 yılı civarında da küresel ölçekte "net-negatif emisyon" konumuna gelmesi öngörülmektedir. Elektrik üretimi dışındaki sektörlerde ise net-sıfır seviyesine teknolojik gelişmeler ve etkin politika araçlarının uygulanması ile 2040 sonrasında ulaşılması beklenmektedir.

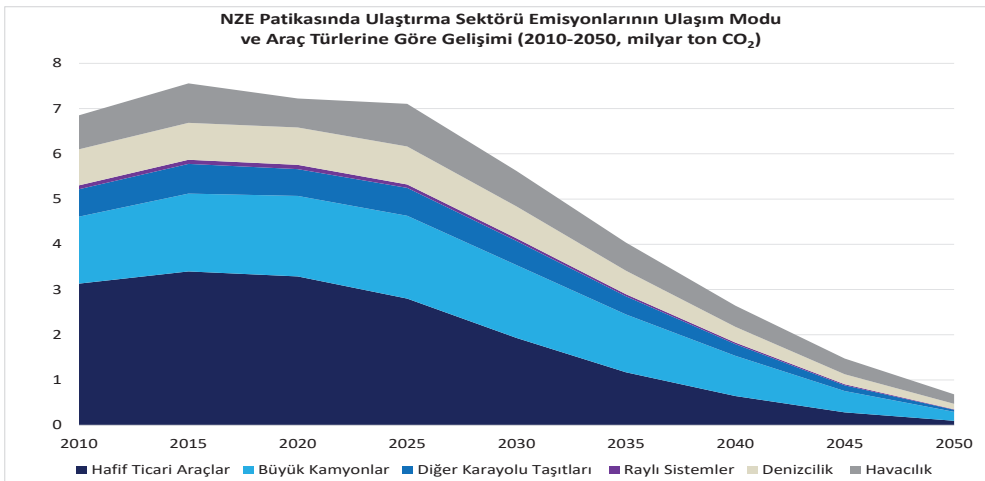
- Bugün itibariyle hidrojenin çok sınırlı olan payı 2050'ye kadar yaklaşık üçte bire ulaşırken, biyoyakıtların payı da üç kat artarak %15'e yükselmektedir.
- Elektrik 2040'larda %45'e kadar ulaşan payı ile sektörün ana enerji girdisi konumuna erişmektedir (2020 yılında sadece %2).
- Karayolunun, ulaştırma sektörü CO₂ emisyonlarında 2020 yılında %80 civarında olan payı 2050'de yaklaşık %50 seviyelerine kadar düşmektedir.

Şekil 3.26. NZE Emisyon Patikasında Ulaştırma Sektörü Enerji Talebinin Gelişimi (2010-2050, mtep)



Kaynak: IEA, 2021c

Şekil 3.27. NZE Patikasında Ulaştırma Sektörü Emisyonlarının Ulaşım Modu ve Araç Türlerine Göre Gelişimi (2010-2050, milyar ton CO₂)

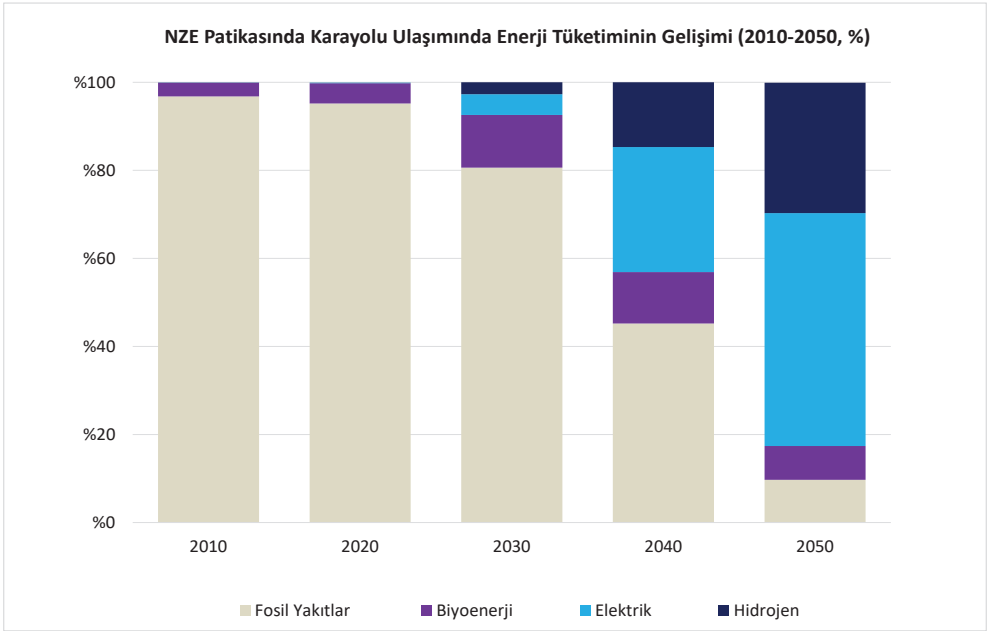


Kaynak: IEA, 2021c

3.3.2. Karayolu Ulaşımının Dekarbonizasyonu

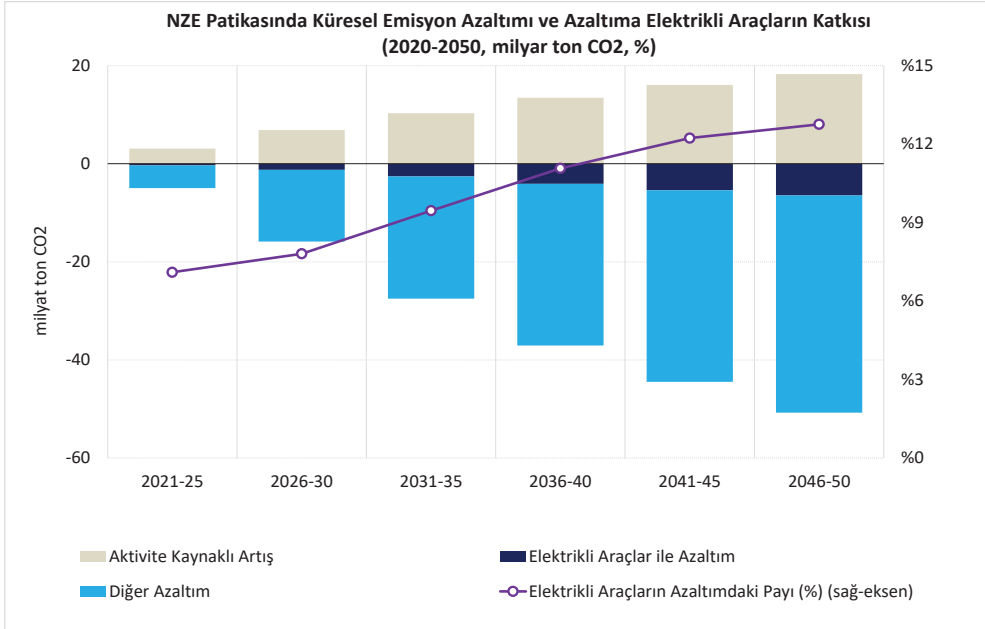
Hızlı bir dekarbonizasyon sürecinden geçecek olan karayolu ulaşımında fosil kaynakların çok büyük bölümü petrol ürünlerinden gelmek üzere %95'in üzerinde olan payı 2030'da %80'e, 2050'ye kadar da %10'a düşmektedir. Güçlü elektrifikasyon trendleri ve teknolojik gelişmeler ile birlikte karayolu ulaşımında elektrik enerjisinin payı 2050'de %60'ın üzerine çıkmakta, kalan yaklaşık üçte birlik bölüm ise hidrojenin bir enerji taşıyıcısı olarak özellikle uzun menzilli yük taşıtlarında kullanımının yaygınlaşmasından ve biyoyakıtlarda gelişmelerden gelmektedir (Şekil 3.28). Özellikle elektrik enerjisinin payındaki hızlı artışla birlikte, 2050 CO₂ emisyonu azaltımı 2050 yılında 5 milyar ton üzerine ulaşabilmektedir (2020 yılında 50 milyon ton). EA'ların enerjiden kaynaklı toplam emisyonların azaltımına katkısı 2021-2025 %7'den 2046-2050 döneminde %13'e kadar ulaşmaktadır (Şekil 3.29).

Şekil 3.28. NZE Patikasında Karayolu Ulaşımında Enerji Tüketiminin Gelişimi (2010-2050, %)



Kaynak: IEA, 2021c

Şekil 3.29. NZE Patikasında Küresel Emisyon Azaltımı ve Azaltıma Elektrikli Araçların Katkısı (2020-2050, milyar ton CO₂, %)



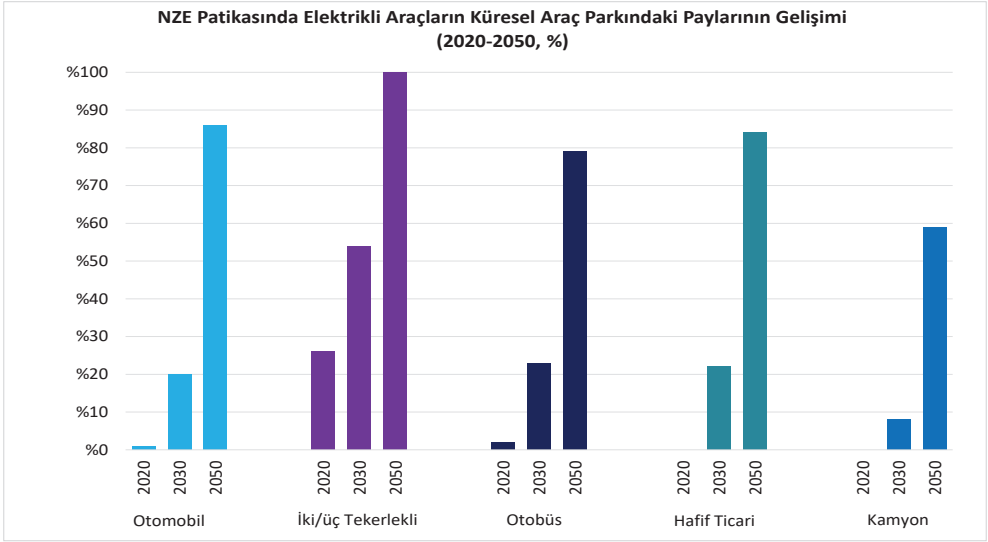
Kaynak: IEA, 2021c

3.3.3. 2050'ye Doğru Kilometre Taşları

NZE patikasında, 2030 yılında dünya genelinde elektrikli otomobillerin satışlardaki payı mevcuttaki %5'ten %60'ın üzerine çıkmakta, yakıt hücreli hidrojen araçlar dahil elektrikli ağır vasıtaların pazar payı da %30'a ulaşmaktadır. 2035'e gelindiğinde, satılan otomobillerin tamamının, 2050 itibariyle de satılan ağır vasıtaların tamamının elektrik tabanlı olması gerekmektedir. Satışlardaki ivmenin ve araç parkının yenilenmesinin sonucunda, 2050'de EA parkının toplam araç parkındaki payı, hafif araçlarda %86'ya, otobüslerde yaklaşık %80'e ve kamyonlarda da yaklaşık %70'e ulaşmaktadır (Şekil 3.30).

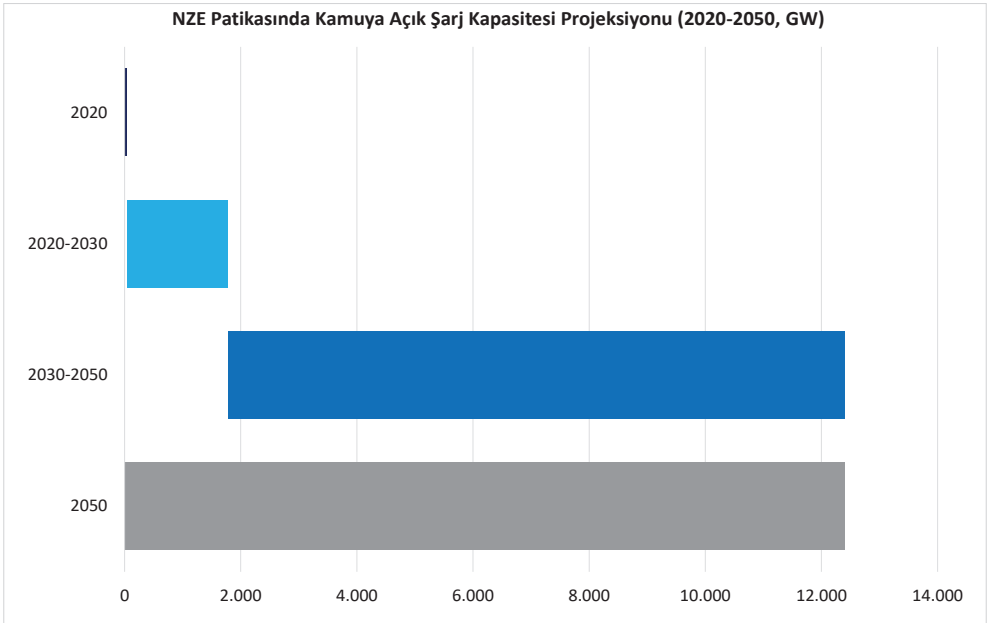
NZE patikasının sürdürülebilir gelişimi için, 2030 yılına kadar olan dönemde yıllık EA satışlarının 18 kat, kamuya açık şarj ünitesi stokunun ise yaklaşık 40 kat artması öngörülmektedir. Bunun güç karşılığı ise, aynı dönemde 50 GW'a yakın bir seviyeden yaklaşık 1.800 GW'a artışa işaret etmektedir. 2030-2050 döneminde araç parkının tamamına yakının elektrifikasyonunu sağlamak üzere gereken kapasite artışı ise yaklaşık 11.000 GW olarak hesaplanmaktadır (Şekil 3.31).

Şekil 3.30.NZE Patikasında Elektrikli Araçların Küresel Araç Parkındaki Paylarının Gelişimi (2020-2050, %)



Kaynak: IEA, 2021c

Şekil 3.31. NZE Patikasında Kamuya Açık Şarj Kapasitesi Projeksiyonu (2020-2050, GW)

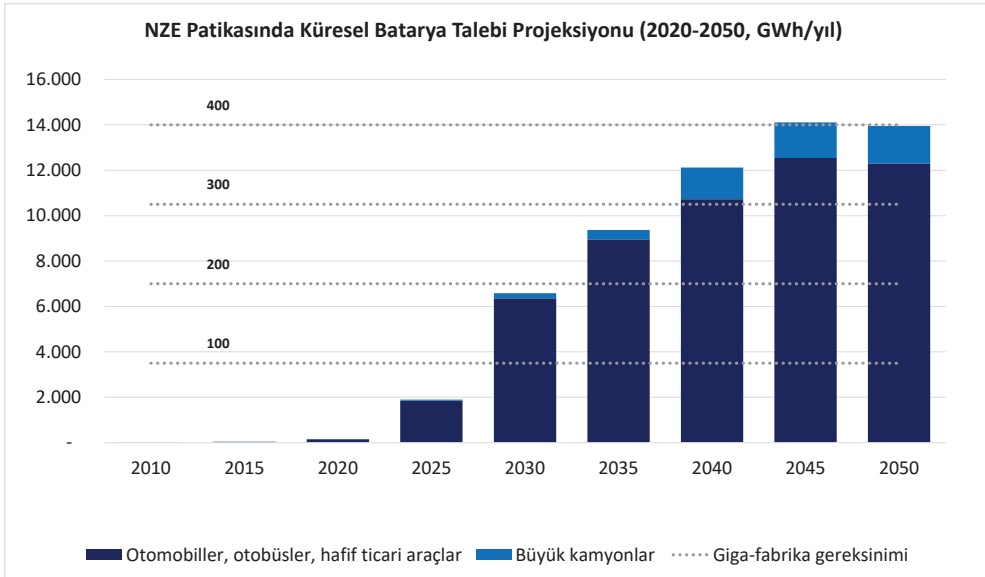


Kaynak: IEA, 2021c

Batarya ekosisteminin de EA parkında hızlı büyüme ve yaygınlaşmayı destekleyecek şekilde güçlü bir gelişim gösterebilmesi gerekmektedir. EA'ların yıllık batarya talebinin 2030 yılına kadar 160 GWh seviyesinden 6.600 GWh'e genişlemesini gerektiren NZE patikasının elektrifikasyon perspektifi, bu dönemde her yıl yaklaşık 20 giga-fabrika eklenmesine eşdeğer bir kapasite artışına işaret etmektedir. 2030-2050 arası dönemde 14.000 GWh'e kadar çıkabilecek yıllık talep ise, enerji yoğunluğunda öngörülen güçlü artış ile birlikte her yıl yaklaşık 10 giga-fabrika kurulumunu gerektirmektedir (Şekil 3.32). Buradaki temel zorluk, açıklanmış olan üretim yatırımlarının 2030 yılı için öngörülen talebin sadece yarısını karşılayabilecek seviyede olmasıdır. Bir taraftan üretim kapasitesinde sürdürülebilir büyüme sağlanırken, menzil performansında ve maliyetlerde gelişimin sürdürülmesi, katı-hal teknolojisi gibi yenilikçi teknolojilerin ticarileşmesine yönelik fırsatların da değerlendirilmesi gerekecektir. Ancak, bu zorluk, aynı zamanda teknoloji-yoğun ve yüksek büyüme potansiyeline sahip bir alanda, uygun teknolojik ve bölgesel konumlandırma ile yüksek değer yaratma potansiyeline sahip olabilecek, yeni yatırım fırsatlarına da işaret etmektedir.

Bölüm 2.5'te belirtilmiş olduğu üzere, EA gelişim ivmesinin en önemli belirleyicilerinden birisi batarya maliyetlerinde ve enerji yoğunluğunda sağlanacak gelişmeler olacaktır. Şekil 3.33'te gösterildiği gibi, NZE patikasında 2050'ye kadar olan dönemde batarya paketi maliyetinin 60-80 ABD \$/kWh bandına kadar inebileceği, hücre bazında enerji yoğunluğunun ise üç katın üzerinde artışla 50 Wh/kg'dan yaklaşık 160 Wh/kg'a kadar ulaşabileceği beklenmektedir.

Şekil 3.32. NZE Patikasında Küresel Batarya Talebi Projeksiyonu (2020-2050, GWh/yıl)



Kaynak: IEA, 2021c

3.4. Kritik Politika, Endüstri, Teknoloji ve İnovasyon Alanları

3.4.1. Politika Çerçevesi, Örnekler ve Çıkarılan Dersler

Sürdürülebilir ve temiz enerji odaklı gelişmenin sağlanabilmesinde en belirgin piyasa yönlendirmesini, çevresel performansa dayalı politikaların, bu çerçevede de temiz ulaşım teknolojilerini ve uygulamalarını yönlendirecek, teşvik ederek yaygınlaştıracak alanlarda atılacak adımların oluşturması beklenmektedir. Ağırlıklı olarak elektrifikasyon ve hidrojen yoluyla, karbondan arındırılmış bir karayolu ulaşım ekonomisine doğru güçlü bir geçiş, enerji verimliliği ve yakıt ekonomisi iyileşmeleri ile desteklendiğinde, sektörün emisyon azaltımını sağlayabilecektir. Somut, ulaşılabilir ve öngörülebilir politika hedeflerinin, bu hedefleri destekleyecek uzun-vadeli yol haritalarının varlığı, EA gelişiminde ve E-mobilite ekosisteminde çok boyutlu potansiyelin artan oranda performansa dönüştürülebilmesinde en temel işleve sahip olacaktır.

Elektrikli araçların daha geniş ve daha hızlı kullanımının Bölüm 2.4'te sunulan çoklu faydalarının gerçekleştirilebilmesi için, EA'ların ve destekleyici altyapıların, özellikle şarj ünitelerinin yaygınlaşmasına yönelik yatırımlarda ve teknolojilerde büyümenin hızlandırılması, elektrik şebekesi ile etkileşimlerin planlanması ve yönetilmesi, tüm bunlar için de uzun vadeli bir perspektif içerisinde, ilgili tüm sektörleri içeren somut hedeflerin belirlenerek uygulanması gerekmektedir. Son dönemde EA satışlarında belirgin bir ivme sağlayabilmiş olan piyasalardaki başarı faktörleri incelendiğinde, iklim ve net-sıfır emisyon perspektifi içerisinde, yakıt ekonomisi, emisyon limitleri, şarj altyapısının gelişiminin sürdürülmesi gibi alanlara odaklı mekanizmaların planlı bir yaklaşım ile uygulanmasının en önemli belirleyici olduğu görülmektedir. Özellikle pazarın henüz ilk aşamalarında bulunduğu ekonomilerde, EA'ların kullanıcı nezdinde rekabetçiliğini ve araç parkında konumlanmasını güçlendirecek şekilde, araç satın alımına ve kullanımına yönelik teşvik modellerinin de büyümenin etkinliğinde önemli bir rol oynamaya devam edeceği değerlendirilmektedir.

Karayolu ulaşımının karbondan arındırılması, diğer sektörlerdeki gelişmelerden, özellikle de elektrik sisteminin karbon yoğunluğunun azaltılması perspektifinden ayrı düşünülmemelidir. Daha sürdürülebilir bir mobilite geleceği, ancak daha temiz elektrik üretimi ve tedariki ile ulaşılabilir olabilecektir. Bu yöndeki stratejilerin, araç ve batarya teknolojilerinin yanı sıra, güneş ve rüzgar gibi temiz elektrik üretim teknolojilerinde, akıllı şebekeler ve sistemlerde, enerji depolama teknolojilerinde, dijitalleşmeden de faydalanılarak gerçekleştirilmesinin, temiz enerji odaklı bu kritik dönüşümün odağında yer alması gerekmektedir. Bu alanlarda sağlanacak gelişmeler, karayolu taşımacılığında karbon ayak izini büyük oranda ortadan kaldırarak küresel ekonominin net-sıfır emisyon patikasını başarıyla gerçekleştirebilmesi için en önemli unsurlardan birisi olacaktır.

3.4.1.1. Temel Politika Bileşenleri

EA gelişimini güçlendirecek en önemli unsur, artan sayıda ülke ve bölgenin net sıfır emisyon hedeflerini ve yol haritalarını oluşturarak uygulamaya geçmeleri ve böylelikle de karayolu ulaşımından kaynaklı emisyonları asgari seviyede tutabilmeye yönelik politika çerçeveleridir. Paris Anlaşması 192 imzacısı (191 ülke ve AB) tarafından onaylanmış olup, toplam sera gazı emisyonlarının ve toplam karayolu taşımacılığı emisyonlarının tamamına yakınına kapsar duruma gelmiştir. EA parkının ve gerekli altyapının güçlü ve sürdürülebilir şekilde genişletilmesine yönelik temel sanayi, enerji, endüstri ve ulaşım politikaları da, küresel sıcaklık artışını 1.5-2 °C ile sınırlandırmak üzere hızla eyleme geçirilmesi gereken iklim taahhütleri etrafında şekillenmektedir.

**Şekil 3.33. Bazı Ülkeler ve Şehirler Tarafından İYMA'ların
Tümüyle Devreden Çıkarılması Planları**

2035	2040
Şehirler	Ülkeler
Atlanta	Avusturya
Barselona	Azerbaycan
Bristol	Belçika
Bologna	Kanada
Buenos Aires	Şili
Dallas	Danimarka
Floransa	Finlandiya
Los Angeles	İzlanda
New York	İrlanda
Rio de Janeiro	İsrail
Roma	Hollanda
San Francisco	Yeni Zelanda
San Diego	Norveç
Santa Monica	Polonya
Sao Paolo	Slovenya
Seattle	İsveç
Seoul	Birleşik Krallık
	Uruguay

Kaynaklar: UK Government, 2021a

Şimdiye kadar, dünya genelinde karayolu taşıt parkının¹⁵ yaklaşık %85'ini oluşturan 120'den fazla ülke bu yönde takvimlerini açıklamıştır. Uygulanabilir bir küresel net-sıfır emisyon patikasının gerçekleştirilmesinde en önemli kilometre taşlarından birisi, 2040 yılına kadar İYMA yeni satışlarından vazgeçilmesi olacaktır. Son dönemde pek çok ülke bu yönde somut takvimlerini açıklamıştır. Temiz enerji ve ulaşım dönüşümüne liderlik eden örneklerden biri olan Avrupa Komisyonu, ortaya koyduğu kapsamlı "Fitfor55"¹⁶ paketinin bir bileşeni olarak 2035'ten itibaren İYMA'ların satışını yasaklayacak yönde adım atmıştır (European Council, 2021). İYMA satış yasaklarını, çoğunlukla 2035 veya daha öncesini hedefleyen bir takvimde planlayan diğer ekonomiler arasında Kanada, İzlanda, Birleşik Krallık, Norveç ve Singapur da yer almaktadır (ICCT, 2021). ABD de, yakın zamanda, araç teknolojilerinde temiz enerji dönüşümüne, geniş bir elektrikli araç parkına ve bunu destekleyecek altyapıyı kullanıma sunmaya yönelik kapsamlı bir plan açıklamıştır (White House, 2021).

Bu alanda son dönemin en önemli gelişmesi, Paris Anlaşması hedeflerini de destekleyecek şekilde, sıfır emisyonlu araçlara tümüyle geçişin hızlandırılmasına ilişkin kararların yer aldığı COP26 Bildirgesi'dir. 2040 yılına kadar küresel ölçekte tüm otomobil ve hafif ticari araçların sıfır emisyonlu olmasını hedefleyen çok sayıda ülke, otomotiv üreticisi, ticari filo işletmecisi ve finans kuruluşu tarafından imzalanan¹⁷ bu bildirge ile,

- Şehirler ve bölgesel yönetimlerin, en geç 2035 yılına kadar sahip olduğu veya kiraladığı tüm araç filolarını sıfır emisyonlu bir yapıya dönüştürmek için çalışması ve süreci daha da hızlandıracak ve teşvik edecek politikalara işlerlik kazandırmaları,
- Otomotiv üreticilerinin, 2035 yılına kadar önde gelen pazarlarda araç satışlarının tümüyle sıfır emisyonlu olması doğrultusunda yol haritası ve iş planları belirlemeleri,
- Ticari filo sahipleri ve işletmecilerinin, en geç 2030 yılına kadar, sahip oldukları araç parkının tümüyle sıfır emisyonlu araçlardan oluşması yönünde çalışmaları,
- Finans kuruluşlarının ise 2035 yılına kadar başlıca pazarlarda sadece sıfır emisyonlu araç satışlarının gerçekleştirilmesi doğrultusunda, temiz enerjiye geçişi destekleyici finansal ürünleri geliştirmeleri ve bu yönde yatırımları desteklemeleri (Government of the UK, 2021a)

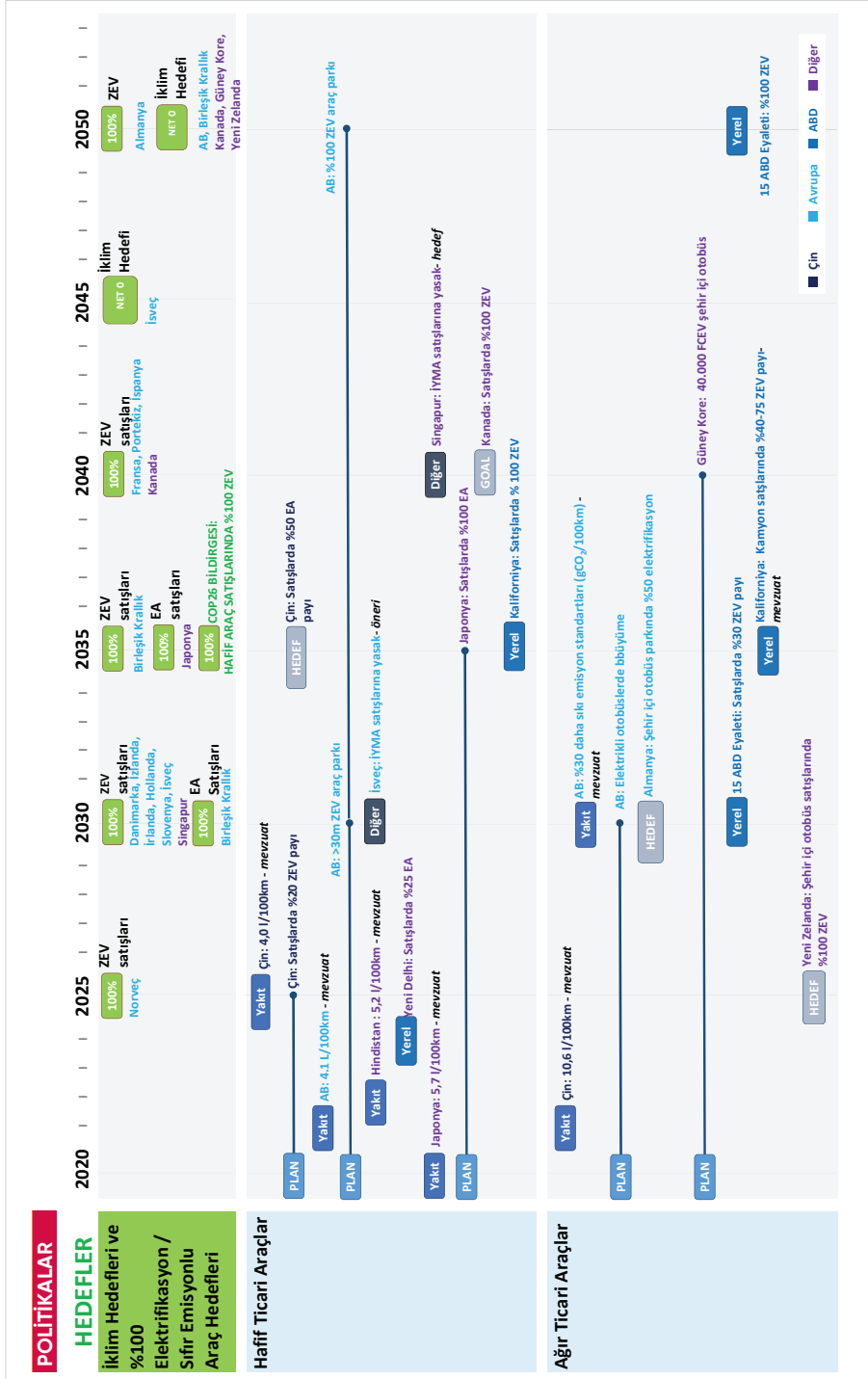
hedeflenmektedir (Şekil 3.33).

¹⁵ İki/üç tekerlekli hariç

¹⁶ "Fitfor55" 2030 yılına kadar AB çapında toplam emisyonlarda 1990'a kıyasla %55 azalma sağlanmasını hedefleyen, çok kapsamlı bir yasama paketidir.

¹⁷ Deklarasyonu 38 ülke, 41 şehir, eyalet ve bölgesel hükümet; 11 otomotiv üreticisi, 28 araç filosu sahibi, işletmecisi veya ortak mobilite platformu; 2 finansal kurum ve 13 yatırımcı kurum imzalamıştır.

Şekil 3.34. Elektrikli Araçlar ile ilgili Politika Hedeflerine Bakış



Kaynaklar: IEA, 2021a ve pazar araştırmalarına dayalı ICEC sentezi

Yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonu standartlarının birçok bölgede kademeli olarak sıkılaştırılması da otomotiv sektöründe daha verimli ve temiz seçeneklerin yaygınlaşmasına yönelik dönüşümü hızlandırmaktadır. Çarpıcı bir değerlendirme olarak, dünya genelinde otomobil satışlarının %85'inden fazlasının artık bu tür standartlara tabi olduğu görülmektedir. Tüm bu dönüştürücü hedeflerin, emisyon yoğun ulaşımın maliyetini artıracak yönde, piyasa eksenli ve çevreci mekanizmalarla da desteklenmesi, temiz enerji odaklı araç alternatiflerinin üretimine, kullanımına ve temiz ulaşım çözümlerine daha hızlı geçişi teşvik edecektir. Binek otomobiller, hafif ve ağır ticari araçlar için ülkeler tarafından, yakıt ekonomisine, emisyon limitlerine, EA satış hacimlerine ve EA parkında büyümeye dair somut sayısal hedefleri de içeren temel politika bileşenlerinin detaylı bir bölgesel bir sentezi, iklim taahhütleri ve bununla ilişkili temel teknolojik dönüşüm perspektifleri ile birlikte Şekil 3.34'te sunulmaktadır.

3.4.1.2. Diğer Düzenleyici ve Destekleyici Mekanizmalar

EA gelişimini destekleyerek büyümeyi güçlendirmeye yönelik uygulanmakta olan mekanizmaları, düzenlemeler ve teşvikler olarak iki düzlemde değerlendirmek mümkündür. Bu çalışmada, bu türden düzenlemeler ve teşvikler, araç üretimi ve kullanımı, şarj altyapısı ve batarya üretimine odaklı olarak irdelenerek, uygulamaların ana çerçevesi ve hedefleri ABD, Avrupa, Avustralya, Çin, Japonya ve Hindistan'dan 23 örnek ile sunulmaktadır (Tablo 3.2).

Otomotiv endüstrisi odaklı kotalar ve elektrikli karayolu taşıtlarının satın almasını ve kullanılmasını, kullanıcı tarafında destekleyen çeşitli finansal araçlar, mevcut piyasa koşullarında EA'ların üretimini hızlandırmak ve satın alınabilirliğini güçlendirmek üzere birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomide uygulanmakta olan iki önemli politika mekanizmasıdır. Finansal destek mekanizmaları, satın alma teşvikleri ve vergi avantajları gibi yöntemlerle uygulanmakta olup, EA'ların çevresel, ekonomik ve toplumsal avantajlarından daha geniş ölçekte faydalanılabilmesine katkı sunmaktadır. 2030 yılına yaklaşırken, Bölüm 2'de belirtildiği üzere TSOM bazında göreceli rekabetçiliğin, özellikle batarya sistemlerinde devam eden maliyet düşüşleri ve diğer kritik teknolojilerdeki ilerlemeler neticesinde gelişmesi ile birlikte bu tür doğrudan finansal desteklere bugüne göre çok daha az ihtiyaç duyulabileceği değerlendirilmektedir. Daha uzun vadede ise, iklim ve sürdürülebilirlik odaklı hedefler ve stratejiler içerisinde yeni nesil iş modelleri ve yenilikçi teknolojilerin daha fazla öne çıkarak, ilgili ekosistemlerin geniş yayılımını desteklemesi öngörülmektedir.

Şarj altyapısında kullanıcı odaklı sürdürülebilir büyümeyi sağlamaya yönelik politikalar, E-mobilite gelişimi için kritik önemdedir. Önümüzdeki dönemde dünya genelinde toplam şarj envanterinin yaklaşık %80'inin evlerde, işyerlerinde, alışveriş merkezlerinde, rekreasyon alanlarında ve kentsel alanların benzer noktalarında yerleşik, özel ve kamuya açık yavaş şarj birimleri olması beklenmektedir. Uzun mesafeli seyahatler için iyi planlanmış ve uygulamaya alınmış hızlı kamusal şarj ünitelerinde gelişim de mutlaka devam etmelidir.

Son on yıldaki deneyimler, şarj gelişiminin dinamik ve öngörülebilir politika çerçeveleri ve değer yaratmaya yönelik diğer önlemlerle planlanarak yönlendirilmediği ve desteklenmedikleri durumlarda sürdürülebilirlik bakımından zorluklara neden olabileceğini göstermiştir (AVERE, 2021; UK 2021). Bu nedenle, EA parkının daha geniş yayılımını desteklemeye odaklanan politikaların, güçlü bir şarj altyapısının gelişimini güvence altına alacak unsurları içermesi gerekmektedir. Bu tür yaklaşımlar, rekabetçi ve sürdürülebilir iş modelleri sağlamalı ve EA satın alımlarını teşvik etme uygulamalarına paralel olarak şarj altyapılarının kurulumunu ve kullanımını da hızlandıracak, serbest piyasa odaklı, finansal ve teknik yöntemleri içermelidir (IEA, 2020a). Tüm bu eylemlerin uzun vadeli planlama çerçevesinde geçirilmesi, özellikle uzun mesafeli seyahatler, özel park yeri olmayan kullanıcılar ve yüksek kullanımlı uygulamalarda, kamuya açık veya yarı kamusal kuruluşların fizibilite ve yaygın kullanıcı erişimi için önemlidir.

Tablo 3.2. Örnek Düzenleyici ve Destekleyici Mekanizmalar

Politika Mekanizmaları				
	Düzenleme		Teşvik	
Araç Odaklı	Çin'de NEV Kredilerinin Uzatılması	Çin'de Şehirlerde Trafik Kısıtlamalarından Muafiyet	Çin'de Yeni Teşvik Programının Genişletilmesi	Norveç'te muafiyetler
	British Columbia, Quebec ve Kaliforniya'da Sıfır Emisyonlu Araç Zorunluluğu	Hollanda, Londra ve Barcelona'da Sıfır Emisyon Bölgeleri	Avrupa'da 2020 yılı ortasında başlayan yeni teşvikler	Japonya'da ek teşvikler
	Milano'da toplu ulaşımın elektrifikasyonu	AB ve Kaliforniya'da Ağır kamyonlarda ağırlık muafiyetleri	Hindistan'ın FAME-II Finansman Programı	
Batarya Odaklı	AB'de Yeni Batarya Düzenlemeleri	Çin'de Batarya Tedarikinde Merkezi Planlama	Japonya'nın Yeşil Büyüme Hedeflerinde Batarya	ABD ve Kanada'da batarya araştırmaları ve kurumlar için yeni fonlar
Şarj Odaklı	Birleşik Krallık'ta Kentsel Uygulamalarda Düzenlemeler	AB Binalarda Enerji Performans Direktifi	Çin'de Yeni Altyapı Kamu Harcama Programı	Birleşik Krallık Hızlı Şarj Fonu

● Çin ● Avrupa ● ABD ● Diğer

Kaynaklar: IEA, 2021d ve pazar araştırmalarına dayalı IICEC sentezi

3.4.1.2.1. Araç Düzenlemeleri ve Teşvikleri

- **Çin 'de NEV Kredilerinin Uzatılması**

Çin'de 2017'den bu yana uygulanan Yeni Enerji Araçlar (NEV¹⁸) kredileri, ülkede EA satışlarının büyümesinde önemli bir itici güç olmuştur. 2020 yılında, program ve hedefleri 2023 yılına kadar uzatılmıştır. Bu modelde, araç üreticileri için yıllık araç satışları çerçevesinde sıfır emisyonlu araç (ZEV¹⁹) hedefleri belirlenmektedir. OEM'ler tanımlanan hedefleri sağlayabilmek üzere EA'ların daha yüksek oranda satışına odaklanırken, diğer benzer üreticilerle kredi ticareti de yapabilmektedir. 2020 yılında devreye alınan "yakıt verimliliği yüksek binek araç" teşvik sistemi de şirketlerin sahip olacakları kredilerin hesaplanmasında kullanılabilmektedir (World Bank, 2020; IEA, 2021b).

- **Çin'in Önemli Şehirlerinde Trafik Kısıtlamalarından Muafiyet**

Elektrikli otomobiller, Pekin, Changsha, Lanzhou, Wuhan, Nanchang ve Chengdu'da araç trafiği kısıtlamalarından muaftır. Bu şehirlerde elektrikli araç sahipleri, zamandan bağımsız olarak, sınırsız yol erişimine sahiptir. Shenzhen, Xi'an ve Zhengzhou ise, yılın ve günün belirli zamanlarında geleneksel yakıtlı otomobiller için karayolu erişimini kısıtlayan, ancak elektrikli otomobiller için bu tür kısıtlamalar getirmeyen şehirler arasındadır. Çin'de 29'dan fazla bölgenin gelişim planlarında yeni EA'lara karayolu erişiminde öncelik sağlanması planlanmıştır (ICCT, 2018).

- **Kaliforniya Sıfır Emisyonlu Araç (ZEV) Zorunluluğu ve Gelişmiş Temiz Kamyon Kuralı**

Kaliforniya, İYM otomobilleri devreden çıkarma hedefi çerçevesinde satılan tüm yeni otomobillerin ve hafif ticari araçların 2035 itibarıyla sıfır-emisyonlu olması yönünde karar almıştır. Bu hedefin, sera gazı emisyonlarında %35'ten fazla azaltım sağlayacağı hesaplanmaktadır. Buna ek olarak, 2035'te yürürlüğe girecek bir düzenleme ile tüm orta ve ağır segment ticari araçların da 2045 yılına kadar sıfır-emisyon olması amaçlanmaktadır (Government of California, 2020).

- **Londra ve Barcelona'nın Sıfır Emisyon Bölgeleri (ZEZ²⁰) Planları**

Bölüm 2.2.1'de sunulduğu gibi, kentler, daha temiz ve sürdürülebilir bir mobiliteye geçişin temel aksını oluşturacaktır. Yolcu taşımacılığında küresel EA satışlarının %40'ından fazlası 25 "EV Başkenti"nde gerçekleşirken, bunlara hızla ilave olan yeni şehirler de ulaşım sistemi elektrifikasyonunda öncü rol oynayabilecektir. Farklı kıtalarda birçok şehir, sıfır emisyonlu araçlara yönelimi, bisiklet ve toplu taşımanın daha geniş

¹⁸ New Energy Vehicles

¹⁹ Zero Emission Vehicles

²⁰ Zero Emission Zones

kullanımını özendiren, kentsel ölçekte sıfır emisyonlu mobilite gelişimi bakımından öncü nitelikte pilot uygulamalar oluşturmaktadır. Düşük emisyon ve sıfır emisyon bölgeleri, sera gazı ve hava kirleticilerindeki azalmaların yanı sıra, daha az gürültü kirliliği ve “kentsel ısı adası” etkisinin azaltılması gibi çoklu çevresel kazanımlara ek olarak ekonomi ve sağlık perspektifinden de önemli faydalar sunmaktadır (Şekil 3.35). Temiz araç teknolojilerinin kullanımını destekleyen şehir planlarının geliştirilmesi, hava kirliliğinin azaltımına ve iklim değişikliği risklerine dayanıklı şehir mimarilerinin ve altyapılarının gelişimine katkı sağlamaktadır.

Londra’nın 2020’de başlatılan ZEZ planı, 2050 yılına kadar sıfır karbonlu bir şehre ulaşma hedefinin önemli bir bileşenidir. Londra, şehir merkezinde CO₂ emisyonlarında %15’lik bir azalmaya ek olarak karayolu taşımacılığı NO_x emisyonlarında ve PM10 emisyonlarında %45’lik bir azalma hedeflemektedir (C40 Cities, 2019a). Barcelona’nın ZEZ Planı da 2020’de başlatılmıştır. Bu planlama, EA’lar için caddeler üzerindeki park kullanımlarında indirimler, şarj istasyonları kullanımında indirimler, taksiler, şehir içi nakliye ve özel ulaşım gibi ticari hizmetler odaklı olarak da düşük ve sıfır emisyonlu araçların satın alınmasına yönelik çeşitli teşvikler sunmaktadır (C40 Cities, 2020).

● Hollanda’da 2025’e kadar Sıfır Emisyon Bölgelerin (ZEZ) Oluşturulması

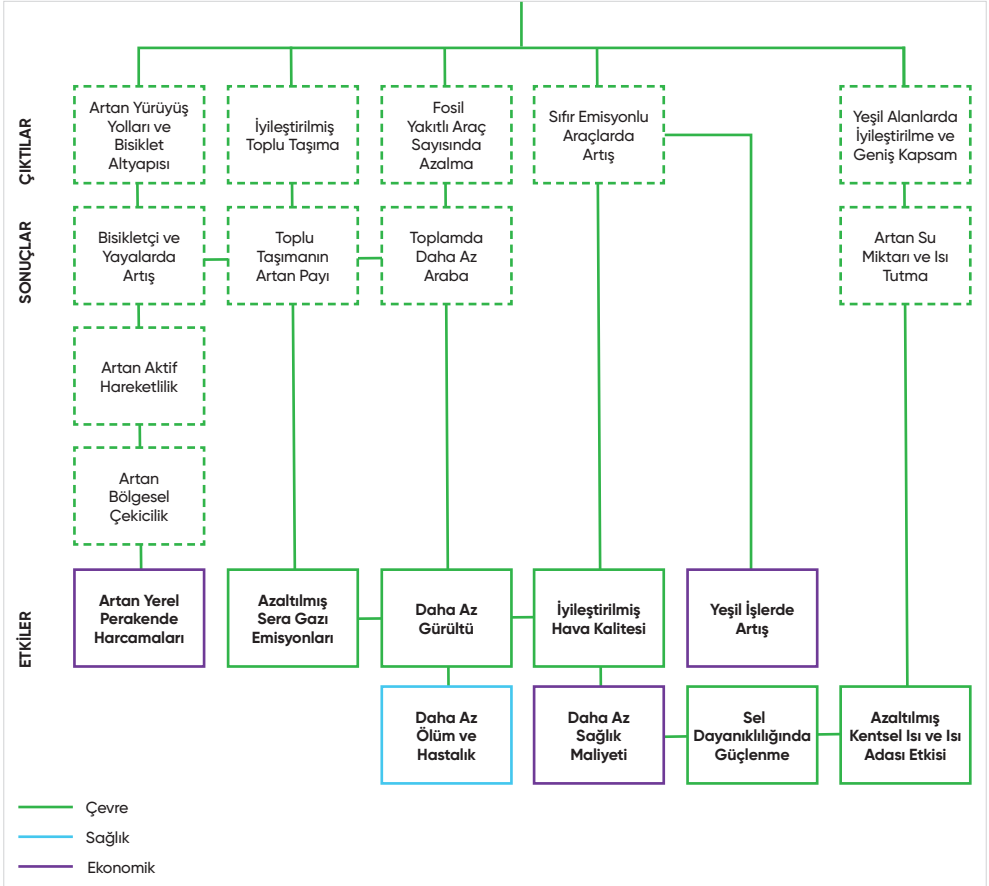
Hollanda, 2025 yılına kadar çok sayıda şehirde ZEZ bölgeler kurmayı planlamaktadır. 14 şehir, 2025 yılına kadar sıfır emisyonlu bir bölge oluşturma hedeflerini açıklamıştır. 2025’te bu uygulamaya geçecek olan Tilburg’ta, geniş paydaş katılımı içerisinde, karar vericiler, sanayi grupları ve sektörel dernekler planların belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Government of the Netherlands, 2021). Halihazırda EA satışlarında dünya liderlerinden birisi olan Amsterdam’da, en çok kirleticisi olan araçların tamamen yasaklandığı altı adet düşük emisyonlu bölge bulunmaktadır. 2030’dan itibaren şehrin tüm ulaşım türlerinde tamamen sıfır-emisyon konumuna ulaştırılması hedeflenmektedir. Amsterdam, EA’lar için öncelikli park erişimi sunmakta, ticari elektrikli araçlara park yerlerine erişimde öncelikli alanlar sağlamaktadır. Konutlar da ihtiyaç duyulduğunda ilave şarj birimleri temin edilerek desteklenmektedir (C40 Cities, 2020).

● Milano’da Şehir içi Toplu Ulaşımın Elektrifikasyonu

Kamu filosunda elektrifikasyon, filo yönetimi içerisinde, tanımlı ve düzenli rotalar ve menzil ihtiyacı avantajları ile öne çıkan bir başka önemli fırsat alanıdır²¹. Yerel yönetimlerin filo genişletme planlarında elektrikli otobüslerin önceliklendirilmesi ile değerlendirilebilecek çevresel potansiyel yüksektir. Milano’nun 2030 yılına kadar toplu taşıma filosunun 1.200 elektrikli otobüs de dahil olacak şekilde tümüyle elektrığe dönüştürülmesini hedefleyen, kapsamlı “Full Electric 2030” planı bu yönde önemli bir örnektir (C40 Cities, 2019b).

²¹ Şehir taksileri de yüksek aktiviteleri ve gün içinde çoğunlukla eşit bir saatlik dağılımda kullanıldıklarından elektrifikasyon için önemli fırsat alanlarından birisidir. Şehir içi yük taşımacılığında da, özellikle e-ticaretin artmasıyla birlikte ticari filolarda elektrifikasyon güçlenen bir trend durumundadır (IEA, 2021e; EY, 2021).

Şekil 3.35. Düşük ve Sıfır Emisyonlu Bölgelerin İtici Güçleri ve Avantajları



Kaynak: C40, 2020

● British Columbia ve Quebec'te Yeni Sıfır Emisyonlu Araç Zorunluluğu

2019 yılında British Columbia Eyaleti, Sıfır-Emisyonlu Araçlar Kanunu'nu onaylamıştır. British Columbia, dünyada %100 sıfır-emisyonlu araç satış hedefini yürürlüğe koyan ilk örnek olmuştur. Yasal çerçeve, otomotiv üreticilerinin, sıfır-emisyon araç satış ve kiralama oranlarını kademeli olarak artırmalarını, hafif ticari araçlarda bu oranları 2025 yılına kadar %10'a, 2030 yılına kadar %30'a ulaştırmaları ve 2040 yılına kadar tümüyle sıfır-emisyonlu satışların gerçekleşmesini hedeflemektedir (Government of British Columbia, 2019). Québec ise 2018'den itibaren sıfır-emisyon araç standardını kullanmaya başlamış olup, ilgili üreticiler, sıfır-emisyonlu arabaların satışı veya kiralınması yoluyla kredi kazanmak durumundadır. Zorunlu kredilerin oranı, her üretici için Québec'te satılan veya kiralanan toplam yeni araç sayısına göre belirlenmektedir (Government of Québec, 2021).

● AB ve Kaliforniya'da Elektrikli Ağır Vasıtalar için Ağırlık İstisnaları

Bataryaların ağırlığı elektrikli kamyonlar için önemli bir zorluk oluşturmaya devam etmektedir. Bazı sıfır-emisyonlu ağır vasıta politikaları, bu zorluğa odaklı ağırlık muafiyetleri getirmektedir. AB'de kullanılmakta olan ağırlık muafiyetleri, sıfır emisyonlu yük taşıtlarının kendi sınıfları için belirlenen limitin 2 ton üzerinde taşıma yapabilmesine olanak tanımaktadır. 2000 pound'a kadar ağırlık artışına izin veren Kaliforniya da bu yöndeki uygulamalara bir diğer örnektir (IEA, 2021b).

● Çin'de Yeni Teşvik Programı'nın Genişletilmesi

Çin'de, 2020 sonunda bitmesi planlanan NEV sübvansiyon programı 2022'ye kadar uzatılmış, Covid-19 pandemisi koşullarında EA pazarında yavaşlamayı önleyebilmek amacıyla da kademeli bir azalmanın uygulanması yoluna gidilmiştir. Uzun sürüş menzili, geliştirilmiş yakıt verimliliğini ve daha yüksek enerji yoğunluğu olan araçları önceliklendiren bu program, 2020 yılında yeniden şekillendirilerek yılda 2 milyon araç satış limitiyle güncellenmiştir (ICCT, 2021b).

● Norveç'te KDV ve Kayıt Vergisi Muafiyeti

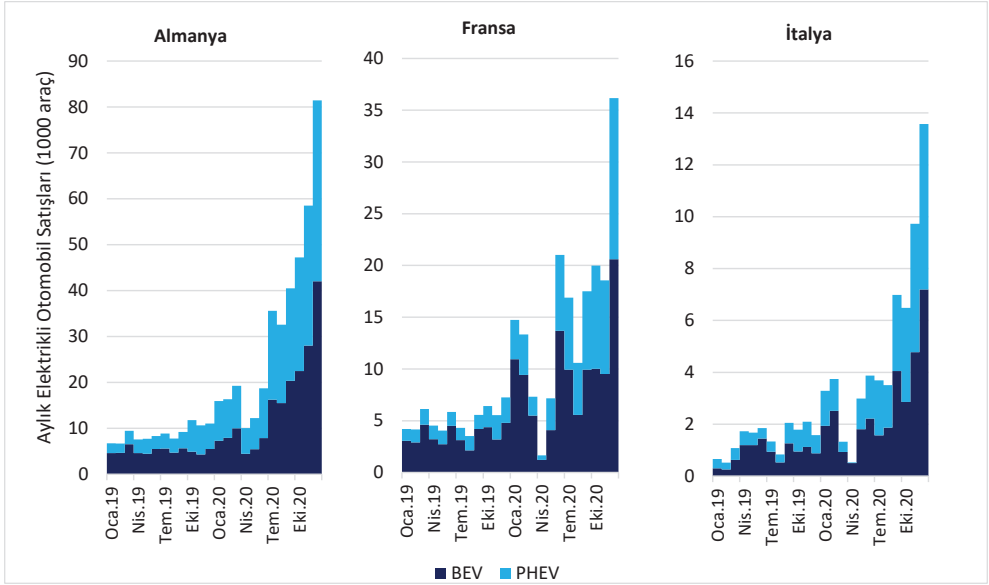
Norveç'te EA'lar 1990'dan bu yana trafik tescil vergisinden, 2001'den bu yana da KDV'den muaftır. Elektrikli araçlar ile konvansiyonel olanlar arasındaki fiyat farkını kapatmak için satın alma teşvikleri de uygulayarak EA parkını hızla büyüten Norveç'te, EA'lar 2018'den itibaren yeniden kayıt vergisi de ödememektedir (Royal Ministry of Finance Norway, 2020).

● 2020'nin Ortalarında Almanya Tarafından Liderlik Edilen Ulusal Ekonomi İyileştirme Paketlerinde EA Destekleri

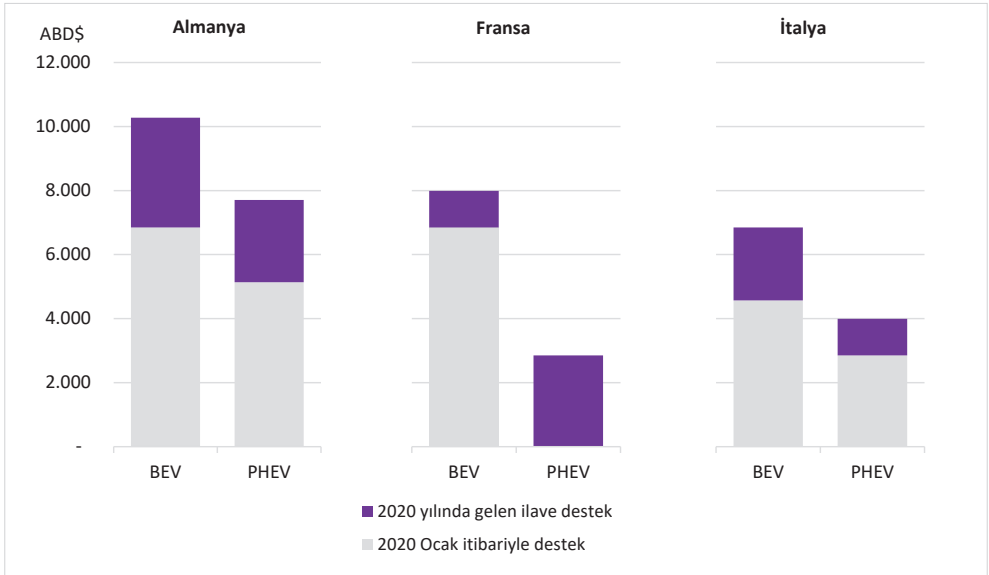
Almanya, ekonomik toparlanma paketinin bir parçası olarak 2020 yılında BEV'ler ve PHEV'ler için teşvikleri 6.000 € ve 4.500 €'ya yükseltmiştir. Mali yardım, BEV'ler için 3.000 € ve PHEV'ler için 2.250 € tutarında sektör teşvikleri ile de desteklenerek, toplamda BEV'ler için 9.000 € ve PHEV'ler için 6.750 € düzeyine çıkmıştır. Bu teşvik paketinde, yeni bir benzinli veya dizel araç alımına yönelik herhangi bir desteğe yer verilmemiştir (ICCT, 2020b). Fransa ve İtalya da, satın alma teşviklerinin belirgin şekilde yükseldiği diğer örneklerdir.

2019-2020 döneminde aylık satışların gelişimi incelendiğinde, 2020 yılının Temmuz-Aralık döneminde bu pazarların tümünde EA satışlarının Covid-19 pandemisinin etkilerine rağmen 2019 yılının aynı döneminin üzerinde gerçekleştiği, 2020 ortalarında atılan teşvik adımlarının EA parkında büyüme ivmesini hızla yukarıya çektiği görülmektedir (Şekil 3.36). Avrupa'daki bu yaklaşımlar, sadece ekonomik krizin etkilerini azaltmaya yönelik mali tedbirler niteliğinde olmayıp, iklim risklerini yönetmeyi ve temiz enerjiye geçişi hızlandırmayı amaçlayan ekonomik toparlanma çabalarının ve genel sanayi politikalarının ana bileşenlerinden de birisi durumuna gelmiştir.

Şekil 3.36. Başlıca Avrupa Otomobil Pazarlarında Elektrikli Satışlarına Yönelik Alım Teşviklerinin Etkisi (2019-2020)



Kaynak: IEA, 2021b



Kaynaklar: IEA 2021b; EAFO, 2021; ACEA 2021a

- **Japonya’da Sübvansiyonların İki Katına Çıkarılması ve Vergi Muafiyetlerinin Uzatılması**

Japonya, Bölüm 3.2.2’de de belirtildiği üzere, EA pazarının dünya genelinde hızla büyüdüğü 2020 yılında elektrikli araba satışlarının toplam araba satışlarından daha hızlı düştüğü birkaç pazardan birisi olmuştur. Japonya’nın 2020 sonuna kadar kayıt olacak sıfır-emisyon araçlar için satın alım desteklerini dört katına çıkaracağını açıklamasının ardından satışlar ivme kazanmıştır. EA’larda vergi indirimlerinin iki yıl daha uzatılmış olması da bu yönde atılan bir diğer adımdır (IEA, 2021b).

- **Hindistan’ın FAME-II Finansman Programı**

Hindistan’ın temel EA politikası, Elektrikli Araçların Daha Hızlı Yaygınlaşması ve Üretimi Çerçevesidir (FAME II). 2030 hedefinin EA satışlarında %30 paya ulaşmak olarak belirlendiği bu çerçevede, 1,6 milyon hibrit araç ve EA satışına ek olarak EA bileşenlerinin yerli üretimini artırma girişimleri için 2019’dan başlayarak üç yılda 1,4 milyar ABD \$’ı taahhüt edilmiştir. Ancak, 2022 yılı Nisan ayında sonlanacak olan bu programın geldiği aşamada, bütçelenen tutarın sadece %3’ünün harcandığı görülmüştür (toplamda 30.000 EA). Konuya ilişkin değerlendirmeler, ilerlemedeki bu yavaşlığın, sıfır-emisyon araçlarda satış zorunlulukları veya İYMA’ların aşamalı olarak kaldırılması hedefleri gibi arz eksenli politika araçlarının eksikliği ve EA model çeşitliliğinin azlığı ile ilişkili olduğuna işaret etmektedir (Government of India 2019; IEA, 2021b).

3.4.1.2.2. Batarya Düzenlemeleri ve Teşvikleri

- **AB Yeni Batarya Yönetmeliği**

Avrupa Parlamentosu, yeni döngüsel ekonomi eylem planına ilişkin 10 Şubat 2021 tarihli kararında AB’de batarya üretimi, yeniden kullanım ve geri dönüşüm için rekabetçi ve sağlam değer zincirlerinin kurulmasını öne çıkarmıştır. Bu yaklaşım ve yeni Batarya Yönetmeliği çerçevesi, iç pazarın işleyişini geliştirirken aynı zamanda döngüsel ekonomiyi teşvik etmeyi, batarya değer zincirinde çevresel ve sosyal etkilerin azaltılmasını, geri dönüştürülmüş malzemeler, yeniden kullanım, üretim ve geri dönüşüm gibi konuları düzenleyerek daha sürdürülebilir bir ekosistemi geliştirmeyi amaçlamaktadır (EU Parliament, 2021).

- **Çin’de Batarya Tedariki için Merkezi Planlama**

Çin’de batarya odaklı sübvansiyonlar ve düzenlemeler, Li-iyon batarya üretiminde 8 GWh/yıl kapasitenin üzerinde olanlar tesisleri desteklemekte, konsolidasyonu ve ölçek ekonomisi yoluyla maliyetlerde rekabetçiliği öne çıkarmaktadır. Çin batarya üreticilerini, kullanılmış bataryaları toplamaya ve geri dönüşüm operasyonları kurmaya yönlendirmek için bazı adımlar da atmıştır. Bataryaların tasarım, üretim, performans doğrulama, ikinci kullanım ömrü gibi konular da merkezi planlama ile tasarlanmaktadır (IEA, 2021b).

- **Japonya Yeşil Büyüme Stratejisinin Hedefleri**

Japonya'nın, 2030'ların ortalarına kadar ulaşımında tümüyle elektrifikasyonu sağlamaya yönelik hedefleri içerisinde, bataryalar ve ilişkili teknolojilerde endüstriyel tedarik zincirlerinin ülke içinde geliştirilmesi önceliklendirmektedir. 2030 yılına kadar elektrikli otomobillerin benzinli alternatiflerle aynı maliyet seviyesine getirilmesi hedefi de bu stratejinin önemli bir bileşenidir (METI Japan, 2020).

- **Kanada'da Batarya Tesisi için Finansman**

Kanada'da ulaşımında elektrifikasyona olan talep hızla artarken, federal hükümetler tarafından yerel üreticilere destek verilmesi gündemdedir. Quebec ve Ottawa, bir batarya fabrikasının geliştirilmesine yaklaşık 100 milyon ABD \$ yatırım yapmak üzere bir araya gelmişlerdir. Yeni tesisin, üretim maliyetlerine ek olarak elektrikli okul otobüsleri ve elektrikli kamyonlarda kullanılan teknolojilerin tasarımında iyileştirmelere odaklanması beklenmektedir (The Prime Ministry of Canada, 2021).

- **ABD'de Batarya Araştırmaları için Fonlama**

ABD, 2021 Ekim ayı içerisinde, EA'lar, gelişmiş batarya teknolojileri ve bağlantılı araçlar yönelik 26 yeni araştırma projesine toplam 209 milyon ABD \$ büyüklüğünde bir finansman paketi açıklamıştır. Özellikle Li-iyon değer zincirinin geliştirilebilmesine odaklanan bu araştırma portföyünün, kamu, özel sektör ve akademi iş birliklerinde yeni bir büyüme zemini oluşturması hedeflenmektedir. Başlıca araştırma konuları arasında, yeni nesil batarya teknolojilerinin yanı sıra, şarj sürelerini on beş dakikanın altına düşürebilecek, çok hızlı sistemlerin geliştirilmesi, araçlar arası iletişim sistemlerine ilişkin teknolojiler de yer almaktadır (US DOE, 2021).

3.4.1.2.3. Şarj Düzenlemeleri ve Teşvikleri

- **AB Binalarda Enerji Performansı Direktifi**

AB'de binalarda şarj altyapısının yaygınlaşması için önemli bir düzenleyici unsur olan bu direktif ile, binalardaki otoparkların kademeli olarak şarj istasyonlarıyla donatılmasını hedefleyen bir düzenleme getirilmiştir. Böylelikle, EA sahiplerinin araçlarını istedikleri zaman ve istedikleri yerde şarj etmelerine de olanak tanınması hedeflenmiştir. Sayıları ondan fazla fark yerine sahip konut yapılarının, yeni inşa edilmiş veya yenilenmiş binalarda her bir park yeri için bir şarj çıkışının nihai kurulumuna uygun özel altyapı sağlamaları gerekecektir. Aynı kural, ondan fazla park yeri olan konut dışındaki binalar için de geçerli olmakla birlikte, bu tür binalar için oran %20 olarak tanımlanmıştır. Yirmiden fazla park yeri olan tüm konut dışı binalarda, minimum sayıda şarj noktasının kurulması için 1 Ocak 2025'e kadar düzenlemelerin tamamlanması ve binalarda şarj noktalarının konuşlandırılmasının kolaylaştırılması hedeflenmektedir (EU Commission, 2018).

● Çin'de Yeni Altyapı Kamu Harcama Programı

Çin, yeni nesil altyapılar inşa edilmesi için 2025 yılına kadar 10,6 trilyon yuan (yaklaşık 1,6 trilyon ABD \$'ı) yatırım yapılmasını planlamaktadır. Altyapı odaklı bu yeni programa, şarj üniteleri, 5G telekomünikasyon ağı ile birlikte öncelikli alanlar arasında yer almaktadır (Nikkei Asia, 2021).

● Birleşik Krallık'ta Kentsel Uygulamalar için Yeni Şarj Düzenlemeleri

Diğer bazı kentsel planlama odaklı örnekler şarj ünitelerinin yeni binalar ile entegrasyonunu ve bina yenilemelerinin bir parçası olarak konumlandırılmasına yönelik önlemleri içermektedir. Birleşik Krallık, akıllı şarj teknolojilerinin desteğiyle, her beş park yeri için şarj altyapısı sağlanması da dahil ahi olmak üzere, tüm yeni konutlara ve ofis binalarına şarj üniteleri kurulmasını hedeflemektedir. Bununla birlikte, ülkede son dönemde, elektrik şebekesiyle entegrasyonu kolaylaştırmak için bazı yerlerde şarj kullanımının belirli saatlerle (örneğin pik talep saatleri dışında kalan zamanlarla) sınırlandırılması da gündeme gelmektedir (Government of the UK, 2021b).

● Birleşik Krallık ve Avustralya'da Hızlı Şarj Fonu

Hızlı şarj altyapılarında gelişimi özel olarak desteklemek için programlar da uygulamaya alınmaktadır. Bunlar arasında Avustralya'nın büyük şehirlerde ve bölgesel merkezlerde hızlı şarj ünitelerini finanse etmeye yönelik "Future Fuels Fund" girişimi ve EA artış hedeflerine uygun bir hızlı şarj altyapısını oluşturmak için Birleşik Krallık tarafından tasarlanan "Rapid Charging Fund" öne çıkmaktadır (Arena, 2021; Government of the UK, 2020). "Rapid Charging Fund" planının gelişimi, bölgede önemli güzergahlarda ilave şarj istasyonuna ihtiyacını belirleyen kapsamlı bir çalışmayı esas almıştır. Hızlı şarj birimlerinin gelişimine odaklı bir fon, EA şarj altyapısı için 500 milyon £ tutarında yatırımın bir bileşeni olarak açıklanmıştır. 2030 yılına kadar, otoyollarda ve ana güzergahlarda yaklaşık 2.500 yüksek güçlü şarj istasyonu kurulması hedeflenirken ve 2035 yılına kadar bu sayının 6.000'e kadar çıkarılabileceği öngörülmektedir (Government of the UK, 2020).

3.4.2 Endüstriyel Yönelimler

Endüstrilerin ve yatırımların, ulaşımda yüksek büyüme potansiyeli ve çok boyutlu faydalar sunan elektrifikasyon etrafında konumlandırılması, verimli, rekabetçi, teknoloji-odaklı, temiz enerji dönüşümünü odağına alan, sürdürülebilir bir E-mobilite ekosistemini gerçekleştirmenin anahtarı olacaktır. Özellikle, otomotiv endüstrisinde yönelimler, giderek daha fazla öne çıkan iklim eylemi odaklı politika hedeflerine ve kullanıcı beklentilerine yanıt verebilecek şekilde gelişirken, araç performanslarında sürekli iyileştirmelerin devam etmesi yoluyla çoklu çevresel, ekonomik ve toplumsal faydaların sağlanmasında da belirleyici bir faktör olacaktır. Otomotiv endüstrisi küresel GSYİH'nın yaklaşık %3'üne katkıda bulunmakta, yaklaşık 11 milyon kişiyi doğrudan, 4 milyon kişiyi de dolaylı istihdam ederek, ekonomik büyüme ve sosyal gelişim için en önemli sanayi sektörleri arasında yer almaktadır (ILO, 2021). Sektörün GSYİH içindeki payı birçok gelişmiş ülkede

%10'dan daha yüksek olup, gelişmekte olan bazı ekonomilerde de yükselmeye devam etmektedir (Örneğin Çin ve Hindistan'da %7, Türkiye'de %6). Dünyanın altıncı en büyük ekonomisinin büyüklüğü olan 1,5 trilyon ABD \$'a eşdeğer yıllık ciroya sahip olan otomotiv endüstrisi, dünya genelinde sermaye-yoğunluğu en yüksek sektörler arasında da ilk sıralarda yer almakta, endüstriyel Ar-Ge ve inovasyonda da imalat sanayi sektörleri arasında öne çıkmaktadır (ILO, 2021). 2019 yılında dünya genelinde, endüstriyel Ar-Ge yatırımlarının %3'ü ve temiz enerji Ar-Ge yatırımlarının %1'i otomotiv endüstrisi tarafından gerçekleştirilmiştir (US Congress, 2021; IEA, 2021c) .

Otomotiv şirketleri tarafından açıklanan net-sıfır emisyon hedefleri, dünya karayolu taşıtları üretiminin %60-70'ini temsil etmektedir. Büyük otomotiv üreticileri, geleneksel, İYM imalat işlerini elektrikli modellere dönüştürürken²², 20 büyük OEM'den 18'i EA gelişim planlarını duyurmuştur (IEA, 2021b). 2025'e kadar pazara ulaşacak 400 yeni elektrikli model 2021 yılı içerisinde açıklanmıştır (McKinsey, 2021).

Bölüm 3.5.1. ve 3.5.3'te belirtilen politika ve piyasa dinamikleri ve teknolojinin katkısıyla EA'lara yönelik olarak hızla artan talep, üreticileri daha düşük emisyonlu modellere geçmeye, ürün portföylerini belirli bir program dahilinde sıfır-emisyon düzeyine getirmeye, batarya üretim tesislerinde performans/maliyet oranlarında iyileştirmelere yönlendirmektedir. Araç alım ve kullanım teşvikleri, şarj altyapısına yönelik destekler gibi uygulamaların genişletilmesinin, eski ve verimsiz İYMA'ların, elektrikli motorlu araçlarla değiştirilmesini hızlandıracak sıfır emisyonlu bölgeler gibi planların uygulanmasının, otomotiv endüstrisinde daha geniş bir elektrifikasyona yönelik sürdürülebilir bir geçişi destekleyeceği düşünülmektedir.

İyi işleyen bir elektrik sisteminin belkemiği olan elektrik dağıtım şebekeleri, EA'ların yayılımı ile gelişen, değişken elektrik talep karakteristiklerinin verimli yönetimi için kritik önemdedir. Geleceğin elektrik şebekelerinin, daha dijital ve dağıtık yapılar içerisinde elektrikli araçların sisteme entegrasyonunda işlevleri çok daha fazla öne çıkacaktır. Artan ulaştırma talebinde elektrifikasyonun çok önemli kazanımlarından etkin şekilde faydalanabilmesi, bu çalışmanın çeşitli bölümlerinde de belirtildiği üzere elektrik üretiminin daha geniş oranda karbondan arındırılması ve aynı zamanda elektrik sisteminin güvenliğinin ve esnekliğinin geliştirilmesi ile mümkün olabilecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklı elektriğin kullanımına öncelik veren yatırımların öne çıkmasıyla birlikte, elektrik tedarikçileri ve E-mobilité ekosisteminin diğer oyuncularları arasında iklimi, dijitalleşmeyi ve sürdürülebilirliği eksenine alan, yeni değer önermelerine yönelik sinerjiler de artacaktır. Elektrik sektörü oyuncularının aynı zamanda kendi filolarında elektrifikasyona geçmesine dair örnekler de çoğalmaktadır²³ .

²² Örneğin Jaguar 2025'te, Opel 2028'de Avrupa'da, Fiat ve Volvo 2030'da, Ford yine 2030'da Avrupa'da, Audi 2033'te, Hyundai 2035'te Avrupa'da %100 elektrikli otomobil satış hedeflerini açıklarken, Volkswagen 2035'te Avrupa'da İYM otomobil satışlarını durduracağını duyurmuştur. Honda ise 2040 itibarıyla küresel ölçekte İYM otomobil satmayacağını açıklamıştır.

²³ ABD ve Birleşik Krallık'ta faaliyet gösteren bir elektrik şirketi, hafif ticari araçlarda ABD'de 2030 yılında tamamen elektrifikasyonu ve Birleşik Krallık'ta da tüm ticari filosunu aynı vadede tümüyle fosil yakıtlara alternatif yakıtlara (elektrik dahil) geçirmeyi hedeflemektedir.

Bir diğer önemli dönüşüm dalgası ise petrol ve gaz endüstrilerinde yaşanmaktadır. Birçok büyük ve köklü piyasa oyuncusu, yatırım ve iş portföylerini "enerji şirketleri" odağıyla dönüştürürken, elektrik, hidrojen ve diğer temiz enerji teknolojilerini kapsayacak şekilde genişletmektedir. E-mobilite ekosisteminde, özellikle de büyüyen şarj endüstrisinde, akaryakıt, perakende, lojistik ve diğer birçok ilgili alandaki geniş deneyimle desteklenecek şekilde konumlanmak, bu stratejilerin en önemli bileşenlerinden biridir²⁴.

E-mobilitede uzun dönemli büyüme perspektifi, kullanıcı ve teknoloji odaklı diğer mobilite trendlerinden ayrı düşünülmemelidir. Özellikle *hizmet olarak mobilite*²⁵ alanında son dönemde gelişen iş modelleri, araç paylaşımı, mikromobilite ve dijitalleşmenin etkin kullanımı ile birlikte değer-odaklı büyüme için önemli fırsatlar sunmaktadır (Oliver Wyman, 2020; Arthur D. Little, 2021).

3.4.3. Kritik Teknoloji ve İnovasyon Alanları

- **Araç Teknolojileri ve Bataryalar:** EA teknolojileri, ticarilikleri kanıtlanmış "erken benimsenme" aşamasındadır. Önümüzdeki dönemde performans ve maliyet parametrelerinde olgunluk seviyelerine gelişim için, son dönemde sağlanan güçlü ivmesinin sürdürülmesi önem taşımaktadır (Şekil 3.38). Pazar paylarının tüm bölgelerde genişlemeye devam etmesi, maliyetlerde ve teknik performansta iyileştirmelerin sürmesine bağlıdır. Bu nedenle, teknoloji odak alanları, geliştirilmiş batarya performansı ile sürüş menzillerini artırmaya odaklanırken, maliyet, yoğunluk ve verimlilik parametrelerindeki gelişmeler, daha rekabetçi ve sürdürülebilir bir EA endüstrisini destekleyici rol oynamaktadır.

Son on yılda, elektrik depolama alanındaki patente faaliyetleri, hızlı büyümüştür. Özellikle Li-iyon teknolojisi için kuvvetli bir inovasyon dalgasından söz etmek mümkündür (IEA, 2020a). Son zamanlarda, batarya paketlerindeki patent faaliyetleri, hücrelere göre daha hızlı artmıştır. Bu eğilim, hücre seviyesinde belli bir teknolojik olgunluğa ulaştığını, odağın temel bilimlerden mühendislik uygulamalarına, ticari yönü artan ve yüksek büyüme fırsatı sunan E-mobilite pazarlarında kullanıcı taleplerinin karşılanmasına odaklı çözümlere kaymaya başladığını da göstermektedir.

Teknolojik gelişim alanları ve inovasyon, farklı kimyalar aracılığıyla daha uzun menzile (daha yüksek enerji yoğunluğu), daha yüksek dayanıklılığa ve gelişmiş güvenlik performansına sahip, kompakt bataryaları ticarileştirebilecek ilerlemeleri hedeflemektedir (IEA, 2020b; MIT, 2021; Stanford, 2021).

²⁴ Örneğin Shell, 2025 yılına kadar elektrikli araç şarj istasyonu ağını 500.000'e çıkararak ve hidrojene daha fazla yatırım yaparak temiz enerji işini genişletmeyi taahhüt etmiştir.

²⁵ Mobility-as-a-service

Özellikle katı-hal bataryaları bu perspektif içerisinde öne çıkmaktadır. Tüm bu çalışmaların, önümüzdeki dönemde üretim kapasitelerinin artışında ve daha sürdürülebilir değer zincirlerinin gelişiminde etkili olması beklenmektedir. EA'ların elektrik sistemine entegrasyonu için öne çıkan enerji depolama çözümleri, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji eksenli büyümenin de önemli destekçisi olacaktır.

Şekil 3.37. Elektrik Sektöründe Teknoloji Hazırlık Seviyeleri (TRL)



Kaynak: IEA, 2020a

- **Şarj teknolojileri:** Hızlı şarj, dünya genelinde kamuya açık toplam şarj stokunun yaklaşık %30'unu temsil eden önemli bir büyüme eksenine haline gelmiştir. Kritik teknoloji hedefleri, çok daha yüksek güç seviyelerinde şarj etme kapasitelerine ulaşılmasına yöneliktir. Halihazırda genelde 30 kW ile 120 kW arasında bir güç aralığında olan hızlı şarj cihazlarına kıyasla güç seviyeleri 100kW ile 1MW arasında değişen daha hızlı şarj ünitelerinin, bunun da ötesinde 1 MW üzerinde ultra-hızlı şarj birimlerinin kurulup işletilebilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir.

Büyük prototipler ile iyi örnekleri görülmeye başlanan akıllı şarj uygulamaları, şarj zamanlamasını elektrik talebinin düşük olduğu, elektrik fiyatlarının düşük olduğu, fosil yakıtlardan elektrik üretiminin düşük olduğu zamanlara kaydırmak için dijital sistemler ile desteklenmiş piyasa mekanizmaları ve iş modelleri üzerinden gelişmeye devam etmektedir. Bir diğer teknoloji alanı da, taşıtın rotası boyunca şarj edilmesine olanak veren dinamik şarj teknolojisidir (Şekil 3.37). Şarj için yerinde üretim ve enerji depolama seçeneklerinin kullanılmasını sağlayarak verimli çözümlere olanak tanıyan mikro-şebeke uygulamaları da önemli bir teknolojik çözüm niteliğindedir (ENTSO-E, 2021; US DOE INL, 2021). Mikro-şebeke çözümlerinin yaygınlaştırılması, elektrik şebekelerinde artabilecek teknik yükün ve bunun sonucunda ortaya çıkacak yatırım ihtiyaçlarının verimli yönetimini sağlarken, ulaşımda elektrifikasyonunun özellikle şehirlerarası noktalarda ve kırsalda genişlemesini de kolaylaştırıcı bir yaklaşım olacaktır.

- **Akıllı sistemler ve dijitalleşme:** Büyük veri ve dijitalleşmeden yararlanan akıllı sistemlerin daha geniş kullanımını sağlamanın E-mobilite için çok yönlü faydaları bulunmaktadır. İletişimden yapay zekaya ve derin öğrenme algoritmalarına kadar çok çeşitli alanları kapsayan dijital teknolojilerdeki yenilikler, araç-şebeke, şarj-şebeke ve kullanıcı-araç etkileşimlerini donanım ve yazılım boyutlarıyla destekleyecek, aynı zamanda giderek çok daha fazla elektrikli hale gelen karayolu ulaşım sistemlerinde arz ve talebin optimizasyonuna da önemli katkı verebilecektir.

Dijital teknolojiler ve akıllı sistemlere yönelik yatırımlar ve iş modelleri, daha güvenilir ve daha fazla bağlantılı elektrik sistemlerinin gelişimini destekleyerek 2050 yılında 1,6 milyar elektrikli arabayı ulaşım ve elektrik sektörlerine dahil edebilmenin en önemli dayanaklarından birisi olacaktır (IEA, 2021f). Dijitalleşmenin, temiz enerji dönüşüm patikasında ilerleyecek olan yeni ulaşım ve enerji sistemlerinin teknoloji-odaklı ve sürdürülebilir şekilde büyümesinin, yatırımlar ve operasyonlarda esneklik ve verimliliğin, enerji tüketicisini ve EA kullanıcılarını merkezine alan iş modelleri ve piyasa çözümlerinin en önemli bileşenlerinden birisi durumuna gelmesi beklenmektedir.

Son dönemde pek çok sektörde ve uygulamada iyi örneklerinin sayısı hızla artan *Nesnelerin İnterneti*²⁷ kavramının da bir izdüşümü olarak, enerjinin üretim, dağıtım ve tüketiminde, dijitalleşme ve otomasyon fırsatları yoluyla değer-odaklı dönüşüme odaklanan *Enerjinin İnterneti*²⁸ etrafında yeni iş modelleri gelişmektedir (Shahzad Y. et.al., 2020). Enerji kaynaklarının ve altyapının kullanımında optimizasyon, dağıtık enerji, akıllı şebekeler gibi, daha temiz bir enerji dönüşümünde birbirlerini tamamlayıcı pek çok alanda ileri veri analitiği çözümlerinden ve donanımda yeni teknolojilerden faydalanan bu tür iş modellerinin, E-mobilite gelişiminin de en temel destekleyicilerinden birisi olması beklenmektedir. Optimizasyon ve simülasyon odaklı yazılımlar, büyük verinin toplanmasına ve işlenmesine dayalı bir ekosistem içerisinde bu tür fırsatları daha ileriye taşıyabilecektir (US DOE NREL, 2021).

EA kullanıcıları, E-mobilite ekosisteminin ana aktörleridir. Bu nedenle, kullanıcıların, şarj süreçlerine ilişkin işlevsellikten beklentilerinin karşılanması önem taşıyacaktır. Dijitalleşme ve veri biliminden etkin şekilde yararlanılabilecek konular arasında, şarj noktalarının konumu ve erişiminin tasarlanması izleme, ödeme ve ücretlendirme alanlarında daha iyi kullanıcı deneyimi sağlayabilecek ek hizmetler önem taşımaktadır. Veri yönetimi ve dijitalleştirme üzerinden şekillendirilen bu tür hizmetler aynı zamanda yatırımcılar ve piyasa oyuncularını için yeni iş modellerini desteklerken, katma-değeri yüksek, teknoloji-yoğun alanlarda sürdürülebilir büyüme potansiyelinin değerlendirilmesine de katkı sağlayabilecektir. Otomotiv endüstrisindeki dijital yenilikler arasında, gelişmiş navigasyon yetenekleri ve internet bağlantıları öne çıkmaktadır. Ek değer yaratma potansiyeline sahip, yarı-otonom ve otonom araçlar ile ilişkili teknolojik gelişmeler de devam etmektedir.

Daha dijitalleştirilmiş çözümler, toplu taşıma ve diğer paylaşımlı mobilite hizmetleri de içerecek şekilde elektrikli karayolu taşımacılığının daha verimli gelişimini sağlamak için de önemlidir. Hızla büyüyen ve gelişen bir mobilite ekosisteminde fırsatlar, hem zaman hem de maliyet bakımından daha verimli rota planlamalarını, ulaşım teknolojilerinin paylaşımlı kullanımını, politika ve yatırım kararlarının maliyet etkin şekilde alınmasını destekleyecek, büyük veri temelli karar süreçlerinin yaygınlaşmasını da içermektedir. Kentsel planlamaların, ulaşım, lojistik, enerji ve çevre boyutları ile birlikte ele alınması ile toplam ulaşım talebinde (özel ve toplu taşıma, yolcu ve yük taşıma) optimizasyon sağlanabilirken, aynı zamanda kullanıcılar için erişilebilirliği iyileştirecek, daha iklim dostu ve sürdürülebilir bir ulaşım sistemine ulaşılabilesini destekleyecek, toplumsal faydaları yüksek bir E-mobilite sistemi geliştirilebilecektir.

²⁷ Internet-of-Things

²⁸ Internet-of-Energy

Referanslar

- ACEA (2021a), 2021 Progress Report: Making the Transition to Zero-Emission Mobility
<https://www.acea.auto/publication/2021-progress-report-making-the-transition-to-zero-emission-mobility/>
- ACEA (2021b), Electric Vehicles: Tax Benefits & Purchase Incentives
https://www.acea.auto/files/Electric_vehicles-Tax_benefits_purchase_incentives_European_Union_2020.pdf
- ARENA (Australian Renewable Energy Agency) (2021), Future Fuels Fund
<https://arena.gov.au/funding/future-fuels-fund/>
- Arthur D. Little (2021), How to Realize the Promise of Mobility-as-a-Service
<https://www.adlittle.com/fr/node/23783>
- AVERE (2021), Discussion Paper: What Role of Charging Infrastructure in Encouraging EV Uptake?
<https://www.avere.org/avere-discussion-paper-what-role-of-charging-infrastructure-in-encouraging-ev-uptake/>
- BNEF (2021), Zero Emission Vehicles Factbook, BNEF Special Report Prepared for COP26
https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/BNEF-Zero-Emission-Vehicles-Factbook_FINAL.pdf
- C40 Cities (2019a), Cities 100 2019: Case Studies and Best Practice Examples
https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Cities100-2019?language=en_US
- C40 Cities (2019b), Case Study: Milan's Network of Public Transport Going Full Electric by 2030
https://www.c40.org/case_studies/milan-s-network-of-public-transport-going-full-electric-by-2030
- C40 Cities (2020), How C40 Cities Are Implementing Zero Emission Areas
<https://c40.my.salesforce.com/sfc/p/#360000001Enhz/a/1Q000000gRsu/pqUWb2YDTtiefJcgDwPExqUylko..EpKwgrqV9xeVJI>
- EAFO (2021), "Europe's Progress towards Clean Transportation"
<https://www.eafo.eu/sites/default/files/2021-03/EAFO%20Europe%20on%20the%20electrification%20path%20March%202021.pdf>

- ENTSO-E (2021), Position Paper: Electric Vehicle Integration into Power Grids
https://eepublicdownloads.entsoe.eu/clean-documents/Publications/Position%20papers%20and%20reports/210331_Electric_Vehicles_integration.pdf
- EY (2021), Accelerating Fleet Electrification in Europe: When Does Reinventing the Wheel Make Perfect Sense?
https://www.ey.com/en_tr/energy-resources/when-does-reinventing-the-wheel-make-perfect-sense
- European Commission (2018), Questions & Answers on Energy Performance in Buildings Directive
https://ec.europa.eu/info/news/questions-answers-energy-performance-buildings-directive-2018-apr-17_en
- European Council (2021), Fit for 55: The Europe's Plan for a Green Transition
<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/eu-plan-for-a-green-transition/>
- EU Parliament (2021), New EU Regulatory Framework for Batteries, Setting Sustainability Requirements
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI\(2021\)689337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689337/EPRS_BRI(2021)689337_EN.pdf)
- Government of British Columbia (2019), Zero-Emission Vehicles Act
<https://www2.gov.bc.ca/gov/content/industry/electricity-alternative-energy/transportation-energies/clean-transportation-policies-programs/zero-emission-vehicles-act>
- Government of California (2020), Governor Newsom Announces California Will Phase Out Gasoline-Powered Cars & Drastically Reduce Demand for Fossil Fuel in California's Fight against Climate Change
<https://www.gov.ca.gov/2020/09/23/governor-newsom-announces-california-will-phase-out-gasoline-powered-cars-drastically-reduce-demand-for-fossil-fuel-in-californias-fight-against-climate-change/>
- Government of India (2019), FAME India Scheme Phase II
https://fame2.heavyindustries.gov.in/content/english/1_1_AboutUs.aspx
- Government of the Netherlands (2021), New Agreements to Supply Cities without CO₂ Emissions
<https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2021/02/09/nieuwe-afspraken-om-steden-te-bevoorraden-zonder-co2-uitstoot>

- Government of Québec (2021), Act To Increase the Number of Zero-Emission Motor Vehicles in Québec in order to Reduce Greenhouse Gas and Other Pollutant Emissions
<https://www.environnement.gouv.qc.ca/changementsclimatiques/vze/rapport-mise-oeuvre-2018-2020-en.pdf>
- Government of the UK (2020), Policy Paper, Government Vision for the Rapid Charge Point Network in England
<https://www.gov.uk/government/publications/government-vision-for-the-rapid-chargepoint-network-in-england/government-vision-for-the-rapid-chargepoint-network-in-england>
- Government of the UK (2021a), COP26 Declaration on Accelerating the Transition to 100% Zero Emission Cars and Vans
<https://www.gov.uk/government/publications/cop26-declaration-zero-emission-cars-and-vans/cop26-declaration-on-accelerating-the-transition-to-100-zero-emission-cars-and-vans>
- Government of the UK (2021b), Electric Car Charge points to be Installed in All Future Homes in World First
<https://www.gov.uk/government/news/electric-car-chargepoints-to-be-installed-in-all-future-homes-in-world-first>
- ICCT (International Council on Clean Transportation) (2018), Assessment of Electric Car Promotion Policies in Chinese Cities
<https://theicct.org/publications/assessment-electric-car-promotion-policies-chinesecities>
- ICCT (International Council on Clean Transportation) (2020a), Electric Vehicle Capitals: Cities Aim For All-Electric Mobility
<https://theicct.org/sites/default/files/publications/ev-capitals-update-sept2020.pdf>
- ICCT (International Council on Clean Transportation) (2020b), Economic Recovery Packages in Response to COVID-19: Another Push for Electric Vehicles in Europe
<https://theicct.org/blog/staff/economic-recovery-covid-19-ev-europe-aug2020>
- ICCT (International Council on Clean Transportation) (2021), Update on Government Targets for Phasing Out New Sales of Internal Combustion Engine Passenger Cars
<https://theicct.org/publications/update-govt-targets-ice-phaseouts-jun2021>
- IEA (International Energy Agency) (2020a), Tracking Transport 2020
<https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020>

- IEA (International Energy Agency) (2020b), Energy Technologies Perspectives
<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- IEA (International Energy Agency) (2020c), Global Electric Vehicle Outlook 2020
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
- IEA (International Energy Agency) (2021a), Global EV Data Explorer
<https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>
- IEA (International Energy Agency) (2021b), Global Electric Vehicle Outlook 2021
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>
- IEA (International Energy Agency) (2021c), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector
<https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- IEA (International Energy Agency) (2021d), Global EV Policy Explorer
<https://www.iea.org/articles/global-ev-policy-explorer>
- IEA (International Energy Agency) (2021e), EV City Casebook 2021
<https://www.iea.org/reports/ev-city-casebook>
- IEA (International Energy Agency) (2021f), World Energy Outlook 2021
<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- IEEE Spectrum (2021), The Top 10 EV Battery Makers
<https://spectrum.ieee.org/the-top-10-ev-battery-makers>
- ILO (International Labor Organization) (2021), The Future of Work in the Automotive Industry: The Need to Invest in People's Capabilities And Decent And Sustainable Work
https://www.ilo.org/sector/Resources/publications/WCMS_741659/lang--en/index.htm
- McKinsey (2021), Electric Vehicle Index
<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/mckinsey-electric-vehicle-index-europe-cushions-a-global-plunge-in-ev-sales>
- METI Japan (2020), Green Growth Strategy through Achieving Carbon Neutrality in 2050,
https://www.meti.go.jp/english/press/2020/pdf/1225_001b.pdf

- MITei (MIT Energy Initiative) (2021), Designing Better Batteries for Electric Vehicles
<https://energy.mit.edu/news/designing-better-batteries-for-electric-vehicles/>
- Nikkei Asia (2021), China to Pump \$1.6tn into Tech Infrastructure through 2025
<https://asia.nikkei.com/Business/China-tech/China-to-pump-1.6tn-into-tech-infrastructure-through-2025>
- OIES (Oxford Institute for Energy Studies) (2021), The Global Battery Arms Race: Lithium-Ion Battery Giga-factories and Their Supply Chain
<https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2021/02/THE-GLOBAL-BATTERY-ARMS-RACE-LITHIUM-ION-BATTERY-GIGAFACTORIES-AND-THEIR-SUPPLY-CHAIN.pdf>
- OICA (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers Statistics) (2021),
<https://www.oica.net/category/production-statistics/2020-statistics/>
- Oliver Wyman (2020), Mobility As a Service
https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/global/en/images/insights/automotive/2020/Mobility_as_a_service.pdf
- Royal Ministry of Finance Norway (2020), Notification of Zero Rate VAT for Electric Vehicles
<https://www.regjeringen.no/contentassets/4caf291e88db48f4a5ff61865521608b/notification-of-zero-rate-vat-for-electric-vehicles.pdf>
- Sabancı University Istanbul International Center for Energy and Climate (IIEEC) (2020), Turkey Energy Outlook
<https://iieec.sabanciuniv.edu/teo>
- Shahzad Y. et.al., (2020), Internet of Energy: Opportunities, Applications, Architectures and Challenges In Smart Industries, Computers & Electrical Engineering, Volume 86-106739
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790620305942>
- Stanford University (2021), Stanford Researchers Make Rechargeable Batteries that Store Six Times More Charge
<https://energy.stanford.edu/news/stanford-researchers-make-rechargeable-batteries-store-six-times-more-charge>
- The Prime Ministry of Canada (2021), Major Investments by Canada and Quebec in Electric Vehicle Battery Assembly
<https://pm.gc.ca/en/news/news-releases/2021/03/15/major-investments-canada-and-quebec-electric-vehicle-battery-assembly>

- TSE (Türk Standardları Enstitüsü) (2021) TSE'den Elektrikli Araç Şarj İstasyonları Kurulum Gerekleri Standardı (TS 13909-Mayıs 2021)
- US Congress (2021), Global Research and Development Expenditures: Fact Sheet
<https://sgp.fas.org/crs/misc/R44283.pdf>
- US DOE (2021), DOE Announces \$209 Million for Electric Vehicles Battery Research
<https://www.energy.gov/articles/doe-announces-209-million-electric-vehicles-battery-research>
- US DOE INL (US DOE Idaho National Laboratory) (2021), Electric Vehicle Charging: First of a Kind Lab Project will Simulate Fast Charging Station Microgrids
<https://inl.gov/article/electric-vehicle-charging-first-of-a-kind-national-lab-project-will-simulate-fast-charging-station-microgrids/>
- US DOE NREL (US DOE National Renewable Energy Laboratory) (2021), Electric Vehicle Smart Charging at Scale
<https://www.nrel.gov/transportation/managed-electric-vehicle-charging.html>
- White House (2021), Fact Sheet: Historic Bipartisan Infrastructure Deal
<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/07/28/fact-sheet-historic-bipartisan-infrastructure-deal/>
- World Bank (2020), The Role of Government in the Market for Electric Vehicles Evidence from China
<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/34356>

BÖLÜM 4:

Türkiye'ye Bakış

4.1. Türkiye Ulaştırma Sektörünün Enerji ve Emisyon Dinamikleri

4.1.1. Ulaştırma Sektörünün Temel Karakteristikleri

Bölüm 2'de sunulduğu gibi, ulaştırma sistemleri ile modern ekonomilerin gelişimi arasında kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır. Kendi başına birekonomik faaliyet niteliği taşıyan ulaştırma sektörü, aynı zamanda diğer tüm sektörlerle doğrudan ilişkisi nedeniyle, sürdürülebilir ekonomik ve sosyal faaliyetin en önemli belirleyicilerinden birisi durumundadır.

Ortanca yaş seviyesi 33 yıl olan Türkiye'de (AB ortalaması 44), AB'de %11 olan 15-24 yaş grubundaki genç nüfusun toplam nüfusa oranı %15'tir (TÜİK, 2021a; Eurostat, 2021). Nüfus artışı ve genç nüfusun gelişen mobilite taleplerine ek olarak, kentler ve gelişen yeni talep merkezleri, yolcu ve yük taşımacılığı aktivitesindeki artışın ana aksını oluşturmaya devam edecektir. Türkiye'de 1 milyonun üzerinde nüfusa sahip 23 şehir bulunmaktadır. 2 milyonun üzerinde nüfusa ev sahipliği yapmakta olan 9 şehir¹ ise toplam nüfusun %46'sını oluşturmaktadır (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi, 2021). 2010 yılında 96 kişi/km² olan ortalama nüfus yoğunluğu 2020 yılında 108 kişi/km²'ye yükselmiştir. Kentleşme ile bu yoğunluğun artmaya devam etmesi, kentsel planlama ile bütünleşik verimli ulaşım çözümlerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Şehirler arası yolcu ve yük taşımacılığında yatırımların ve operasyonların verimli teknoloji ve altyapı çözümleri ile gerçekleştirilmesi de önemli olacaktır. Artan ulaştırma talebinin, güvenli, verimli ve zamanında karşılanabilmesi, ulaştırma altyapıları ve çözümlerinin ana önceliğidir (UAB, 2021).

Karayolu ulaşımı, son dönemde şehirler arası raylı sistemlerdeki ve havayolu ulaşımındaki büyümeye ve büyük şehirlerde gelişmeye devam eden raylı toplu taşıma sistemlerine karşın, pek çok gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomide olduğu gibi ulaşım modları içerisindeki ağırlıklı payını Türkiye'de de sürdürmektedir. 2005 yılında şehirlerarası yollarda 182 milyar yolcu-km olan yolcu taşımacılığı, 2020 yılında 273 milyar yolcu-km'ye yükselmiştir (15 yılda %50 artış). Yük taşımacılığı da söz konusu altyapı içerisinde aynı dönemde %44 artış göstererek 190 milyar ton-km'den 273 milyar ton-km'ye ulaşmıştır. Kentsel ulaşım aktivitesi kısmen hariç tutulduğunda, 2020 yılında yolcu taşımacılığının %94'ü, yük taşımacılığının ise %88'i karayolları ile sağlanmıştır² (UAB, 2021).

IICEC analizleri, kentsel ulaşım aktiviteleri de tümüyle hesaba katıldığında, yolcu taşımacılığının %93'ünün ve yük taşımacılığının %90'ünün karayolu ile gerçekleştiğini göstermektedir (Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020). Bu oranlar, modlar arası geçişlere hız kazandırılarak yolcu ve yük taşımacılığında karayolunun payının sırasıyla %72 ve %60'a düşürülmesine yönelik politika hedeflerinden uzak kaldığına işaret etmektedir. Karayolu ulaşımında verimlilikte, enerji kullanımında ve çevresel etki performansında sağlanacak iyileştirmeler, ulaşımın sürdürülebilir geleceği için kritik önemde olmaya devam edecektir.

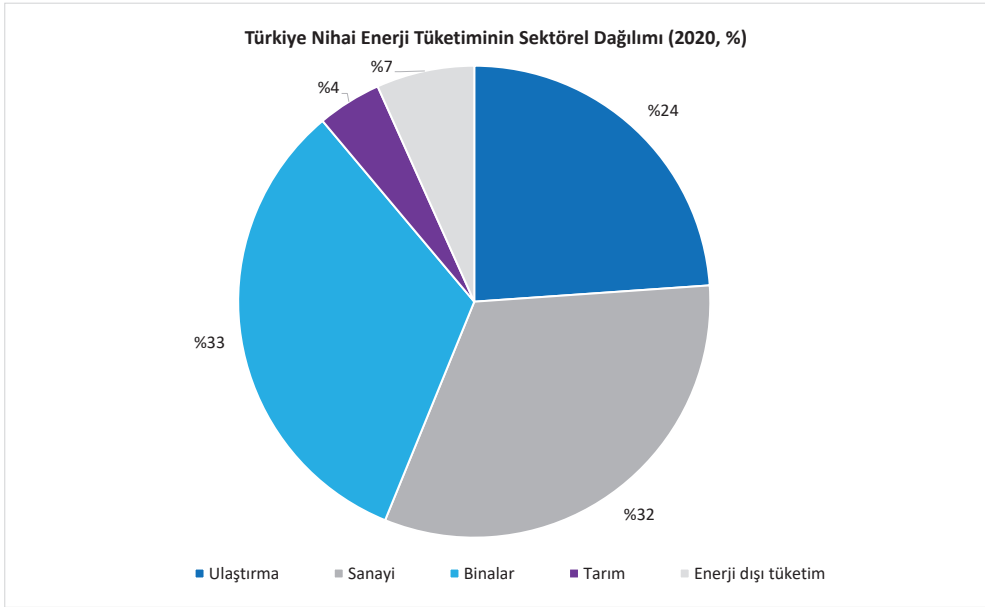
¹ İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Antalya, Adana, Konya, Şanlıurfa, Gaziantep

² Yolcu taşımacılığında karayolunu %6 ile havayolu; yük taşımacılığında ise %7 ile denizyolu ve %5 ile demiryolu izlemektedir.

4.1.2. Ulaştırma Sektöründe Enerji Talebi: Fosil Yakıtlara ve İthal Enerjiye Yüksek Bağımlılık

2020 yılında 1129,6 PJ enerji tüketen ulaştırma sektörü, Türkiye toplam nihai enerji tüketiminin yaklaşık dörtte-birini oluşturmaktadır. Bu oran, diğer iki büyük tüketim sektörünün paylarından daha düşük olmakla birlikte (binalar %33 ve sanayi %32), ulaştırma talebinin karşılanmasında enerji kaynaklarının çeşitliliği, enerji tüketicisi diğer sektörlerle göre oldukça sınırlı durumdadır. Petrol, ulaştırma enerji talebinin %99'unu karşılarken, Türkiye'nin toplam petrol tüketiminin yaklaşık üçte ikisi ulaştırma sektöründe gerçekleşmektedir (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2).

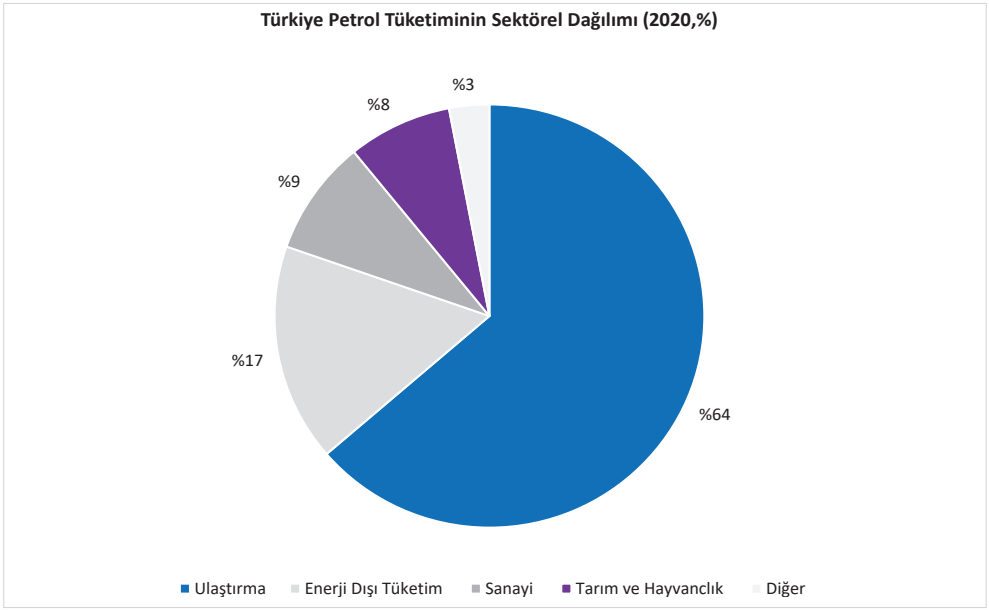
Şekil 4.1. Türkiye Nihai Enerji Tüketiminin Sektörel Dağılımı (2020,%)



Kaynak: ETKB, 2021a

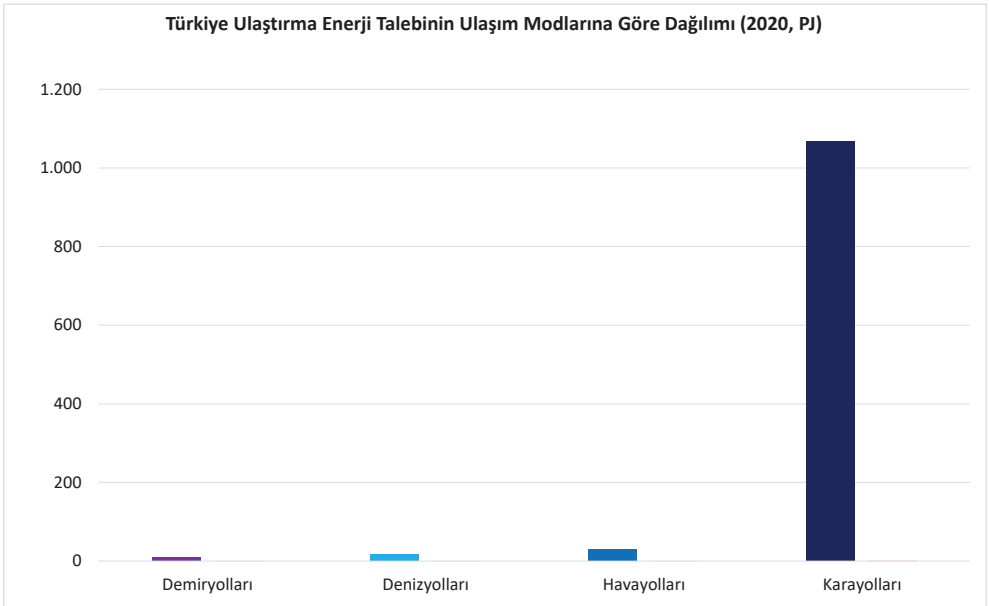
- **Karayolu Ulaşımında Enerji Talebi:** Ulaştırma enerji talebinin %93'ü karayolundan kaynaklanmaktadır. Karayolunun, toplam aktivitedeki yüksek payı (%91) ile birlikte demiryolu ve denizyoluna göre yüksek enerji yoğunluğunu (birim ulaşım aktivitesi başına tüketilen enerji) yansıtan bu oran, karayolu ulaşımında enerji verimliliğini artıracak ve yakıt çeşitlendirmesini sağlayacak politika ve teknoloji seçeneklerinin uygulanmasının önemini göstermektedir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4). Türkiye petrol tüketiminin beşte-üçünden fazlası karayolu ulaşımında gerçekleşmektedir.

Şekil 4.2. Türkiye Petrol Tüketiminin Sektörel Dağılımı (2020, %)



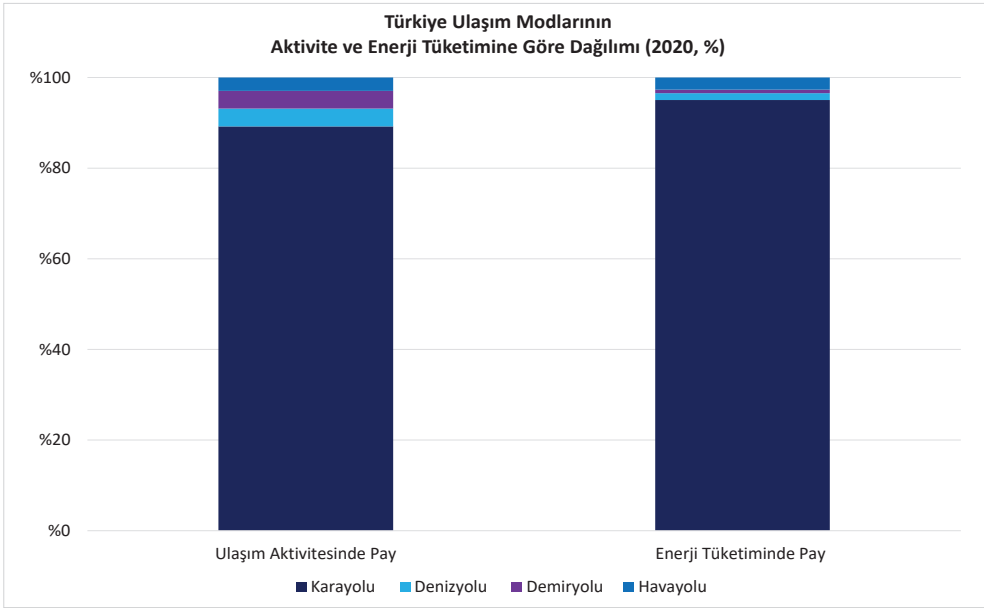
Kaynak: ETKB, 2021a

Şekil 4.3. Türkiye Ulaştırma Enerji Talebinin Ulaşım Modlarına Göre Dağılımı (2020, PJ)



Kaynak: ETKB, 2021a

Şekil 4.4. Türkiye Ulaşım Modlarının Aktivite ve Enerji Tüketimine Göre Dağılımı (2020, %)

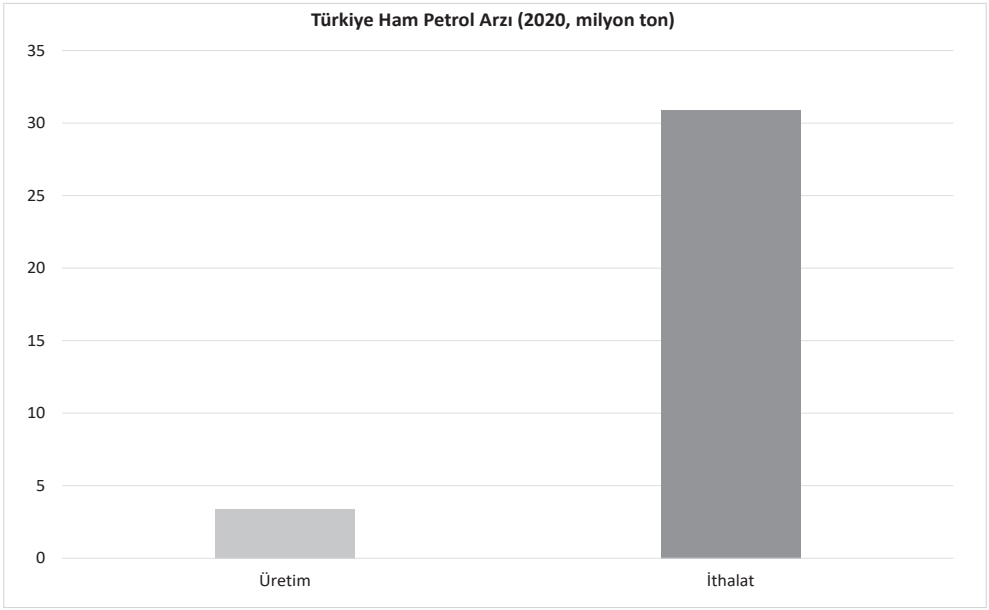


Kaynak: ETKB, 2021a; UAB, 2021; IICEC analizleri

- **Karayolu Ulaşımında Petrol İthalatı:** Türkiye petrol arzında büyük oranda net ithalatçı durumundadır. Son dönemde ham petrol üretiminde gerçekleşen artışlara karşın, 2020 yılında 3,4 milyon ton olarak gerçekleşen yerli üretim, toplam ham petrol arzının %11'ini sağlamıştır (Şekil 4.5). Rafineri üretim kapasitesi ile petrol ürünleri talebi arasındaki farklılık nedeniyle, dizel ve LPG yakıtlarda da net ithalatçı konum devam etmektedir. 2020 yılında, dizel ithalatı net 5,9 milyon ton, LPG ithalatı ise net 2,9 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Benzin üretimi ise iç talebin üzerinde seyretmeye devam etmektedir (Şekil 4.6). 2020 yılında karayolu ulaşımında yakıt tüketiminden kaynaklı ithalat faturasının yaklaşık 10 milyar ABD \$ olarak gerçekleştiği hesaplanmaktadır³.
- **Dizel ve LPG:** Dizel yakıtı, ulaştırma sektörü enerji talebinin yaklaşık dörtte-üçünü, karayolu ulaşımı enerji talebinin üçte-ikisini oluşturmaktadır. Türkiye toplam dizel tüketiminin %83'ü karayolu ulaşımından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.7). LPG tüketiminin yaklaşık %80'i de karayolu ulaşımında gerçekleşmektedir. Bu nedenle, Türkiye'nin rafineri ve talep dengelerini iyileştirerek ve talep büyümesinin hızını azaltarak ithalatı düşürecek çözümler, enerji ticaret dengelerinin ve enerji güvenliğinin iyileştirilmesi bakımından özel bir önem taşımaktadır (Detaylar için lütfen Bölüm 4.1.5'e bakınız).

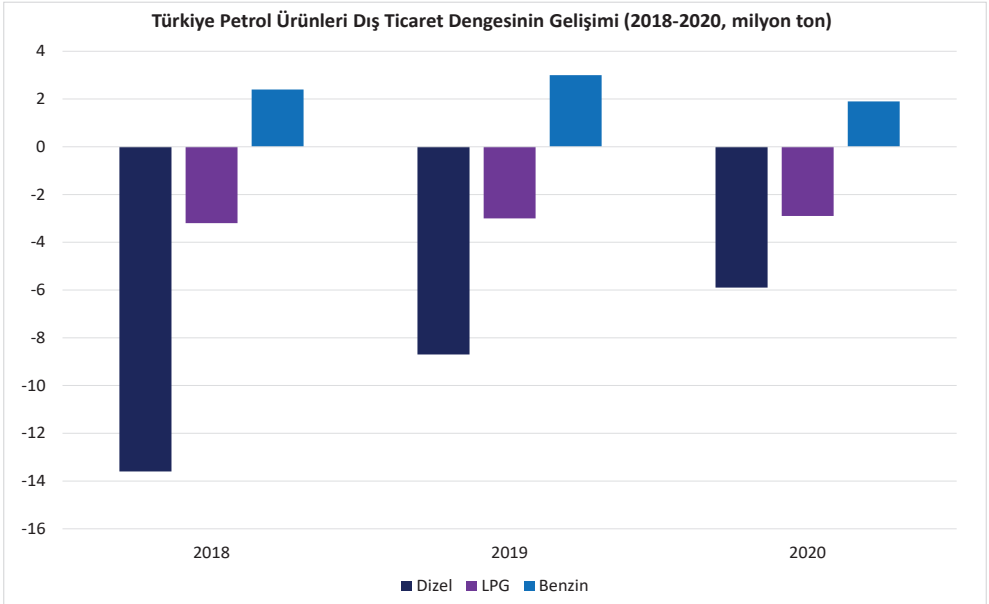
³ 2020 yılında Türkiye toplam enerji ithalatının yaklaşık üçte-birine karşılık gelmektedir.

Şekil 4.5. Türkiye Ham Petrol Arzı (2020, milyon ton)



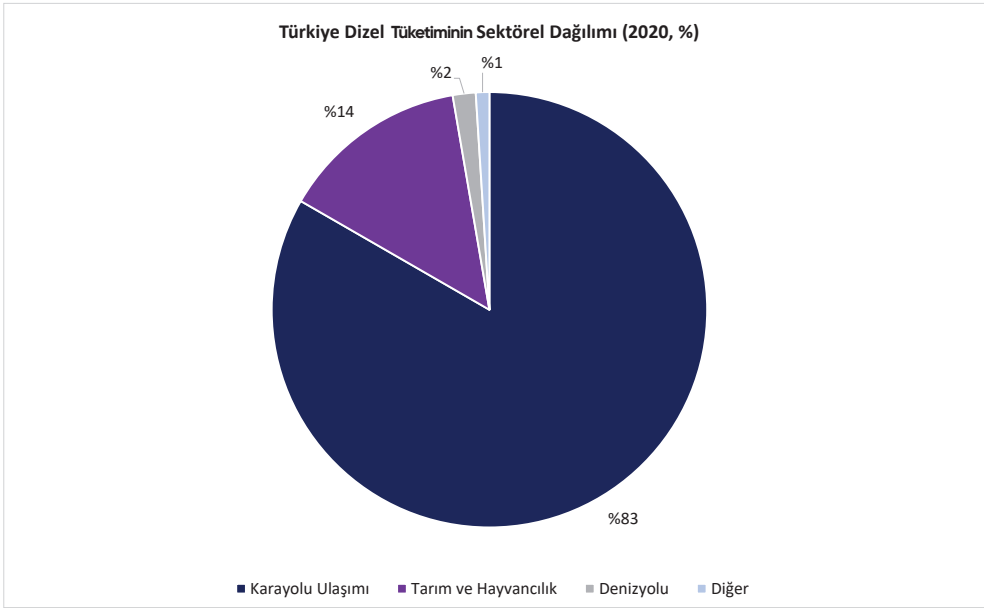
Kaynak: ETKB, 2021a

Şekil 4.6. Türkiye Petrol Ürünleri Dış Ticaret Dengesinin Gelişimi (2018-2020, milyon ton)



Kaynak: ETKB, 2021a

Şekil 4.7. Türkiye Dizel Tüketiminin Sektörel Dağılımı (2020, %)



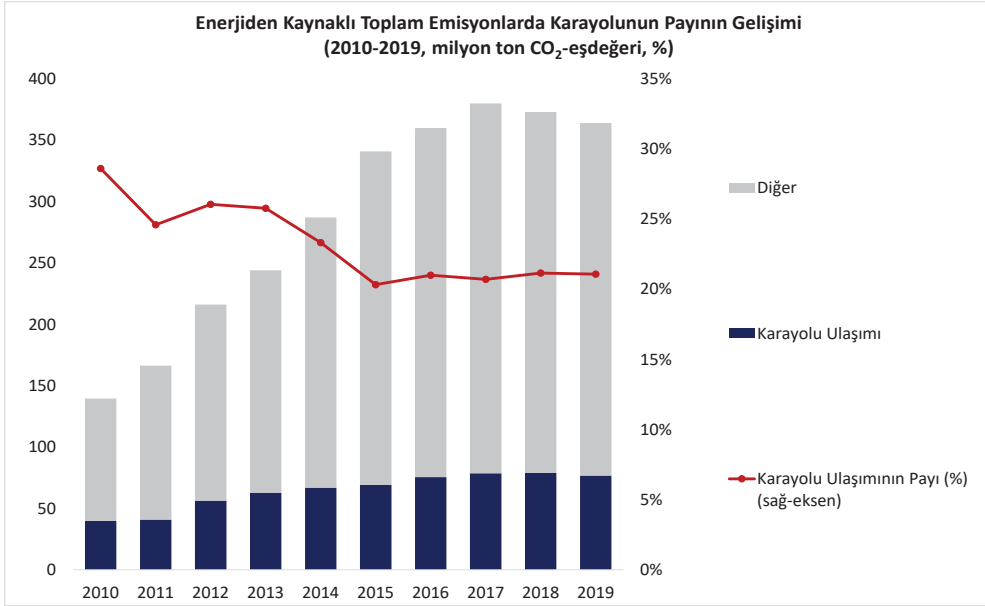
Kaynak: ETKB, 2021a

4.1.3. Ulaştırma Sektörünün Emisyon Envanteri

Ulaştırma sektörü, petrol ürünlerine olan yüksek bağımlılığı nedeniyle, enerji sektörü kaynaklı emisyonlar içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. En son emisyon envanterlerine göre, sektör 82,4 milyon ton CO₂-eşdeğeri sera gazı emisyonu ile elektrik üretiminden (183,3 milyon ton CO₂-eşdeğeri) sonra ikinci sırada yer almaktadır. Ulaştırma sektörünün emisyon envanteri 1990-2019 döneminde üç kattan fazla artış gösterirken (%206 artış), aynı dönemde enerjiden kaynaklı toplam emisyonlar %161 artmıştır. Böylelikle, sektörün enerji kaynaklı emisyonlardaki payı, aynı dönemde %19'dan %23'e yükselmiştir.

Karayolu ulaşımı, 76,7 milyon ton CO₂-eşdeğeri emisyon envanteri ile ulaştırma emisyonlarının %93'ünü, enerji kaynaklı toplam emisyonların ise yaklaşık beşte-birini oluşturmaktadır (Şekil 4.8). Bu değer, imalat sanayinin tamamında yakıt tüketiminden kaynaklı toplam emisyonların (54,3 milyon ton CO₂-eşdeğeri) %41 üzerindedir. Karayolu sera gazı emisyonlarının dörtte üçünden fazlası hafif ve ağır araçlarda tüketilen dizel yakıttan, kalan bölümü ise hafif araç parkının yaklaşık üçte-ikisini oluşturan benzin ve LPG yakıtlı araçlardan kaynaklanmaktadır (Detaylar için Bölüm 4.2.2'ye bakınız).

Şekil 4.8. Enerjiden Kaynaklı Toplam Emisyonlarda Karayolunun Payının Gelişimi⁴
(2010-2019, milyon ton CO₂-eşdeğeri, %)



Kaynak: TÜİK, 2021b

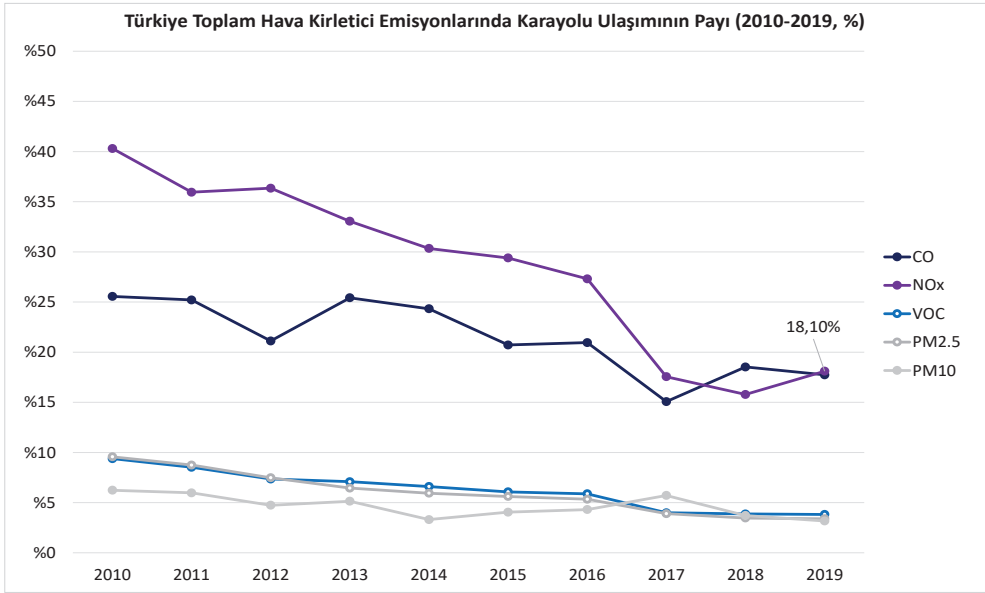
Bölüm 2’de belirtildiği üzere, karayolu ulaşımı hava kirleticiler bakımından da önem taşımaktadır. Türkiye’de karayolu ulaşımından kaynaklı hava kirleticileri, yakıt ekonomisindeki ve motorlu kara taşıtlarının çevresel performansındaki iyileşmeler ile azalmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, sektör, her iki kirleticide de toplam emisyonların %18’ini oluşturmaya devam etmektedir. Karayolu ulaşımının, PM₅ (partikül madde) emisyonlarındaki payı ise son 10 yıl içerisinde yarıya yakın azalarak 2019 yılında %5 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.9). Sektörel CO emisyonlarının yaklaşık %80’i hafif araçlardan kaynaklanırken, büyük bölümü dizele dayalı ağır ticari araçlar, NO_x emisyonlarının üçte ikisine neden olmaktadır⁶ (Şekil 4.10). Sektörel emisyonların, net-sıfır emisyon patikasını destekleyecek bir düzleme oturabilmesi ve hava kalitesinin iyileştirilmesi, eski ve verimsiz araçların devreden çıkarılması ve araç parkının yenilenmesinde petrole alternatif, verimli teknolojilere yaygınlık kazandırılması ile sağlanabilecektir.

⁴ Tarımda dizel tüketiminden kaynaklı emisyonlar 2011 yılından itibaren ulaştırma sektörüne dahil edilmiştir (TÜİK, 2021b)

⁵ PM₁₀ ve P_{2.5} emisyonları sağlık için risk oluşturan bir diğer önemli hava kirleticisi olup, toplam emisyonların yaklaşık yarısı konutlarda ısıtma nedeniyle yakıt tüketiminden kaynaklanmaktadır.

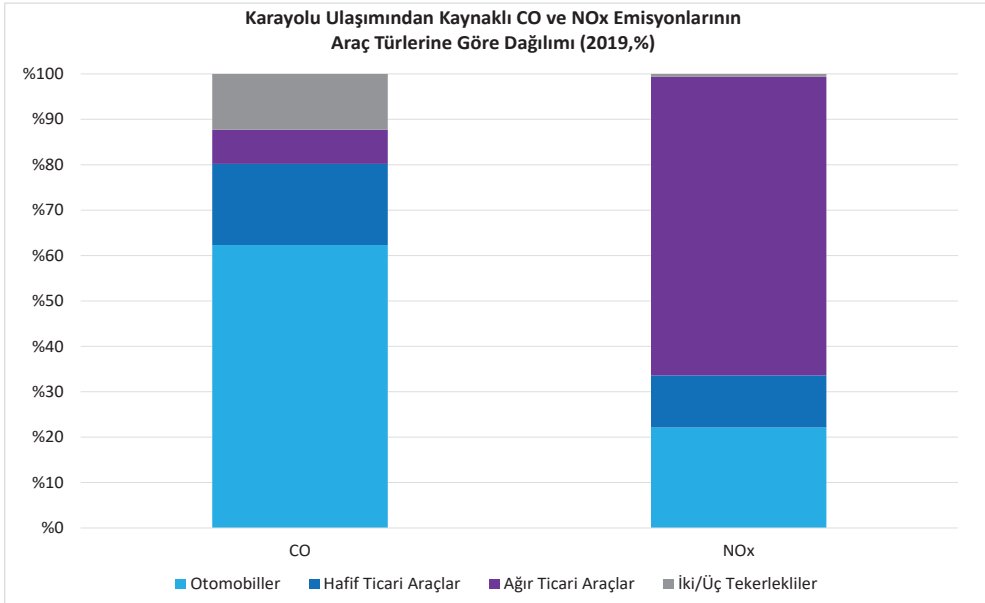
⁶ Türkiye NO_x emisyonlarında ilk sırayı elektrik üretim birimleri almaktadır (345.000 ton), bunu ağır ticari araçlar (93 milyon ton) ve tarım ve hayvancılık (68,1 milyon ton) izlemektedir.

Şekil 4.9. Türkiye Toplam Hava Kirlenici Emisyonlarında Karayolu Ulaşımının Payı (2010-2019, %)



Kaynak: ÇŞB, 2021

Şekil 4.10. Karayolu Ulaşımından Kaynaklı CO ve NOx Emisyonlarının Araç Türlerine Göre Dağılımı (2019, %)



Kaynak: ÇŞB, 2021

4.1.4. Türkiye, Paris Anlaşması ve Net-Sıfır Emisyon Perspektifi

Türkiye Paris Anlaşması'nı 2016 yılında imzalamıştır. Anlaşma, 7 Ekim 2021 tarihinde Cumhurbaşkanı Kararı ile onaylanmış olup, Türkiye Büyük Millet Meclisi tarafından "Paris Anlaşmasının Onaylanmasının Uygun Bulunduğuna Dair Kanun" 7 Ekim 2021 tarihli ve 31621 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Türkiye, 2021 yılı içerisinde 2053 net-sıfır emisyon hedefini de açıklamış, böylelikle, iklim stratejilerinde ve temiz enerji dönüşümünde yeni bir sürece geçilmiştir.

Bu dönüşümün, tüm sektörlerde karbon yoğunluğunun azaltılmasını ve temiz enerji teknolojilerinden azami şekilde yararlanılmasını temin edecek, uzun vadeli, bütüncül politikalar ve somut hedefler ile desteklenmesi beklenmektedir. Paris Anlaşması kapsamında Türkiye'nin öncelikli olarak, emisyon azaltım hedeflerini içeren ulusal katkı beyan çalışmalarının güncellemesi, uzun-vadeli bir perspektifle, net-sıfır emisyon hedefine ilişkin yol haritasının hazırlanması gerekmektedir.

4.1.5. Türkiye Ulaştırma Sektörü için Enerji ve Çevre Odaklı Politika Seçenekleri

Türkiye'nin artan ulaştırma talebinin karşılanmasında, enerji ithalatını azaltırken, aynı zamanda sera gazı ve hava kirleticisi emisyonlarında kalıcı düşüşler sağlayacak politikalara, piyasa mekanizmalarına temiz enerji ve ulaşım teknolojilerine işlerlik kazandırılması ihtiyacı bulunmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi, ulaştırma sektöründe emisyon azaltımını sağlayacak politikaların, önümüzdeki dönemde ulaşım modlarının gelişimi, araç parkının ve yakıt tercihlerinin değişimi, temiz enerji ve ulaşım teknolojilerinin yaygınlaştırılması alanlarında kritik bir dönüşümü desteklemesi gerekmektedir. Enerji sektörüne stratejik ve bütüncül bir bakış içerisinde, IICEC Türkiye Enerji Görünümü çalışmasının Alternatif Senaryo⁷ patikasında, enerji güvenliğini güçlendirecek ve temiz enerji dönüşümünü destekleyecek ulaştırma ve petrol odaklı politika önerileri:

- Ulaşım modları arasında geçişlerin güçlendirilmesi,
- Karayolu araçlarında yakıt verimliliğinde iyileştirmeler yoluyla petrol tüketiminin azaltılması,
- Petrol ürünleri talebi ve rafineri üretim dengelerinin iyileştirilmesine yönelik piyasa mekanizmalarının geliştirilmesi,
- Petrole alternatif yakıtlara ve teknolojilere yaygınlık kazandırılarak ithalatın azaltılması ve aynı zamanda çevresel performansın güçlendirilmesi,
- Kentsel ulaşımdaya veriye dayalı bütüncül planlama perspektiflerinin hayata geçirilmesidir.

⁷ TEO Alternatif Senaryosu, daha güvenli, verimli, rekabetçi, teknoloji-odaklı ve sürdürülebilir bir enerji geleceğini desteklemektedir.

Türkiye için önemli bir büyüme potansiyeli içeren EA'larda ve şarj altyapısında hızlı büyümenin sağlanması ve eski, verimsiz ve kirleticiliği yüksek ulaşım araçlarının araç parkından çıkarılması, Türkiye Enerji Görünümü çalışmasının 10 ana önerisi arasında yer almaktadır (Sabancı Üniversitesi ICEC, 2020) (Şekil 4.11).

Şekil 4.11. IICEC Türkiye Enerji Görünümü (TEO) Önerileri



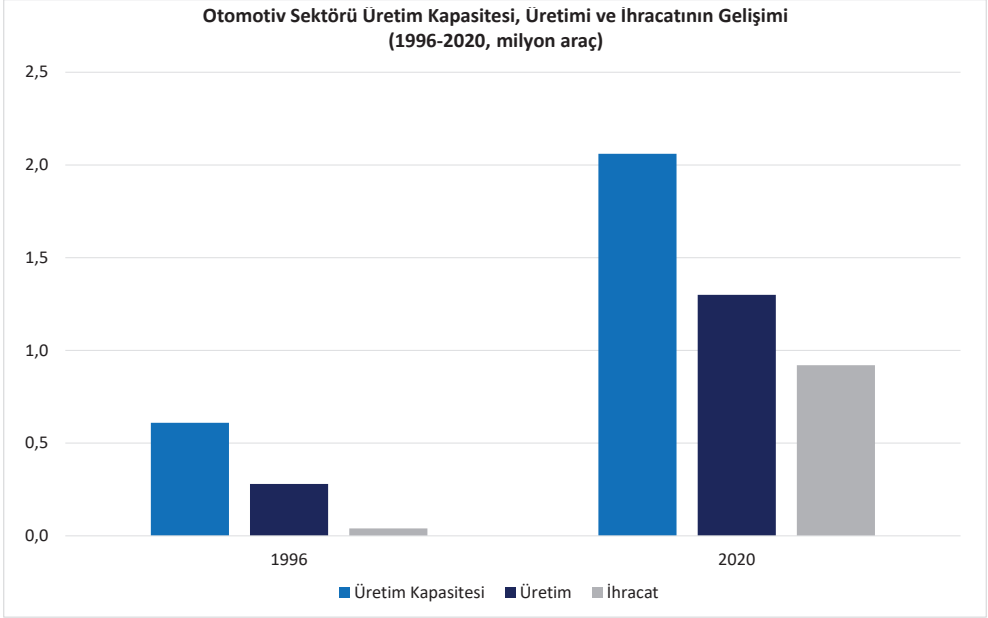
Kaynak: Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020

4.2. Otomotiv Endüstrisine ve Karayolu Araç Parkına Bakış

4.2.1. Otomotiv Endüstrisinde Öne Çıkanlar

1950'li yılların başında ilk adımları atılan otomotiv sanayisinde, otomobil üretimi 1954 yılında başlamıştır. İlk yerli otomobilin üretim çalışmaları 1960'ların başında başlatılmış olmakla birlikte, üretimde büyüme ivmesi 1970'lerde hız kazanabilmektedir. 1996 yılında Gümrük Birliği ile yeni bir büyüme ve dönüşüm sürecine giren endüstri, aradan geçen sürede, üretim kapasitesini beş kat, üretimini ise üç kata kadar artırmıştır (Şekil 4.13). Sektör, 2020 yılında 2 milyonu bulan üretim kapasitesi ile 1,3 milyon adet üretim gerçekleştirmiş, Türkiye GSYH'sinin %6'sını oluşturmuştur (OSD, 2021b). Sahip olduğu üretim kapasitesi ile Türkiye otomotiv sektörü, otomobil üretiminde dünyada 15. ve Avrupa'da 6. sırada yer almaktadır. Hafif ticari üretiminde dünyanın en büyük 9. ve Avrupa'nın ise en büyük 2. üreticisi konumuna gelen sektör, toplam otomotiv üretiminde ise Avrupa'da 4. sıradadır sektörün rekabetçiliğinde sürdürülebilirlik, araç teknolojilerinde elektrifikasyon ve alternatif yakıtlarda hızlı bir dönüşüm hamlesini gerektirmektedir. (OSD, 2021c).

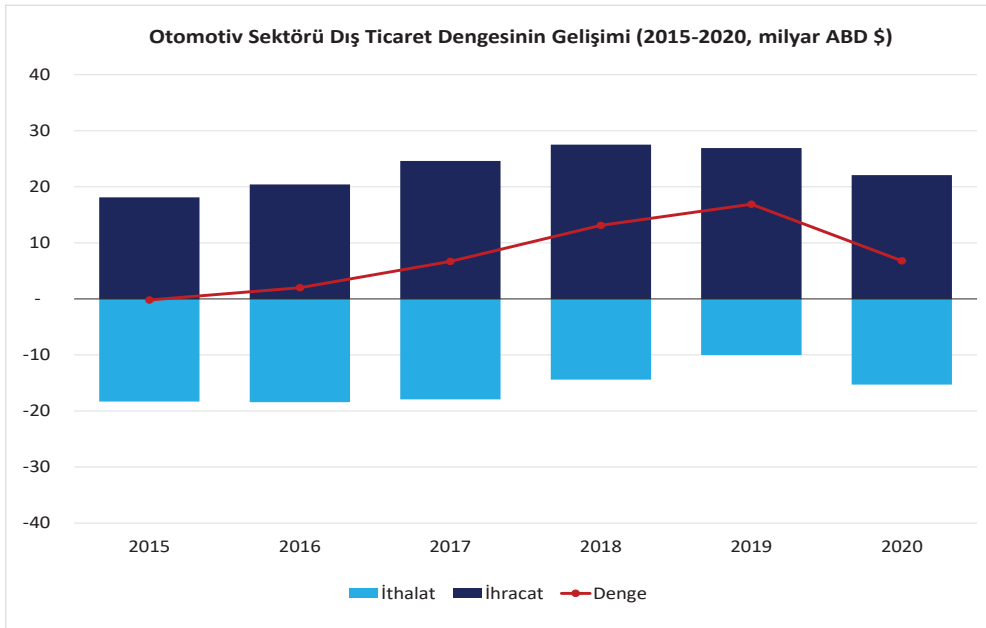
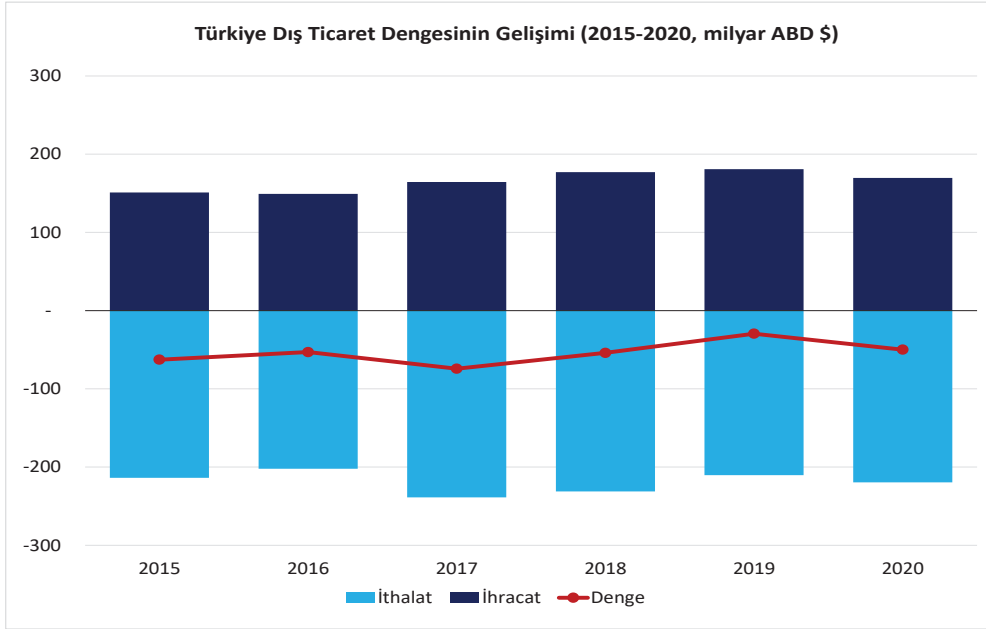
Şekil 4.12. Otomotiv Sektörü Üretim Kapasitesi, Üretimi ve İhracatının Gelişimi (1996-2020, milyon araç)



Kaynak: OSD, 2021c

- **İhracatta Liderlik ve Dış Ticaret Dengelerine Katkı:** Türkiye'nin otomotiv ihracatı 1996 yılından bu yana 35 kat artış göstermiş, 2019 yılında 1,3 milyon seviyesine ulaşmıştır (Şekil 4.12). 2020 yılında, döviz kurlarındaki gelişmelerin de etkisiyle ihracat hacmi yaklaşık 920.000 adet olarak gerçekleşmiştir. Otomotiv sanayi, 2006 yılından bu yana Türkiye'nin önde gelen ihracat sektörü konumunu sürdürmektedir. 2020 yılında gerçekleşen 26 milyar ABD \$ ihracat, toplam ihracatın %15'ini sağlamıştır (OSD, 2021a; 2021c). 2019 yılında 30 milyar ABD \$, 2020 yılında da 50 milyar ABD \$ dış ticaret açığı veren ülke ekonomisinde, pozitif dış ticaret dengesiyle öne çıkan otomotiv sektörü, 2019 yılında 16,9 milyar ABD \$, 2020 yılında ise 6,8 milyar ABD \$ cari fazla vermiştir (Şekil 4.13) (OSD, 2021a).
- **İstihdam ve Ar-Ge:** 2020 yılında 500.000'den fazla çalışanı istihdam eden sektör, Türkiye imalat sanayinin toplam istihdamının yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır (OSD, 2021c). Türkiye otomotiv endüstrisi, imalat sanayi üretiminin yanı sıra, tasarım ve mühendislik alanlarında da Türkiye'nin teknoloji-odaklı büyüme çabalarını desteklemektedir. 2020 yılı sonu itibarıyla 157 adet Ar-Ge merkezinde yaklaşık 4.000 kişiye istihdam sağlayan sektör, 200 patent tescili ve 2,4 milyar TL Ar-Ge harcaması gerçekleştirmiştir (OSD, 2021c).

Şekil 4.13. Türkiye ve Otomotiv Sektörü Dış Ticaret Dengelerinin Gelişimi (2015-2020, milyar ABD \$)

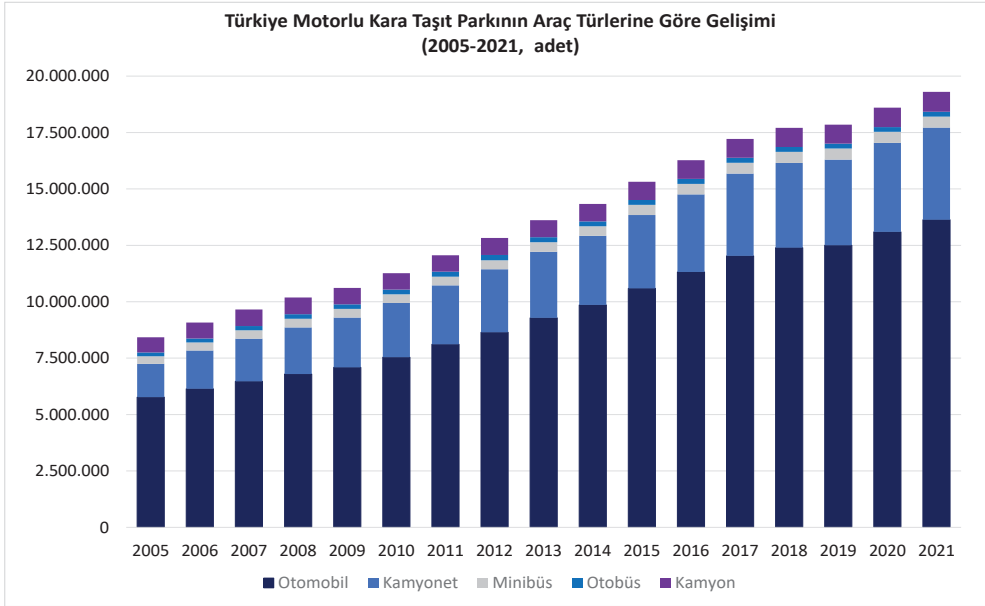


Kaynak: OSD, 2021a

4.2.2. Karayolu Araç Parkında Gelişmeler

Türkiye motorlu kara taşıtları parkı son 15 yıl içerisinde %125 büyüyerek 25 milyonun üzerine ulaşmıştır. Bunun yaklaşık %15'ini motosikletler, %10'unu ise traktörler ve iş makineleri gibi araçlar oluşturmaktadır. Aynı dönemde otomobil parkı üç katın üzerinde büyümeye (%246) ile 13,6 milyona çıkarken, kamyonet ve minibüs parkı da toplamda yaklaşık iki-buçuk kat genişleyerek 4,6 milyona ulaşmıştır. Aynı dönemde ağır ticari araç parkında büyümeye hafif araçlara göre daha yavaş gerçekleşmiş, otobüs parkı %28 büyümeye ile 210.000'e kamyon parkı ise %30 büyümeye ile 890.000'e çıkmıştır (Şekil 4.14). Dizel yakıtı, ağır ticari araçlardaki çok ağırlıklı payıyla, otomobil, hafif ticari ve ağır ticari araç parkının yaklaşık yarısını oluşturmaya devam etmektedir. Benzin ve LPG yakıtlı araçlar ise sırasıyla bu parkın %28 ve %21'ine karşılık gelmektedir (Şekil 4.15).

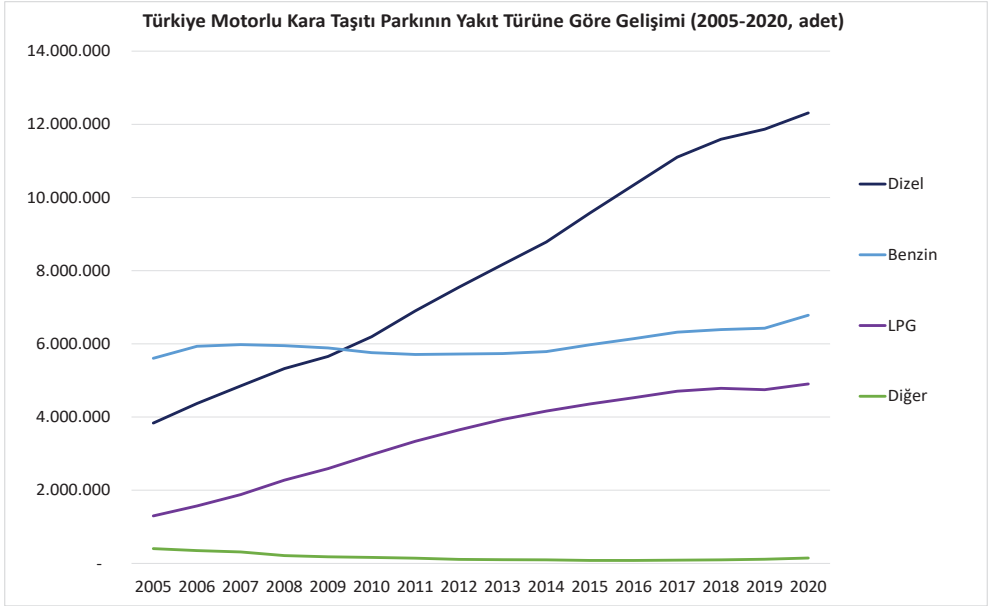
Şekil 4.14. Türkiye Motorlu Kara Taşıt Parkının Araç Türlerine Göre Gelişimi (2015-2021*, adet)



Kaynak: TÜİK, 2021a

*2021 Kasım itibarıyla

Şekil 4.15. Türkiye Motorlu Kara Taşıtı Parkının Yakıt Türüne Göre Gelişimi (2015-2020, adet)



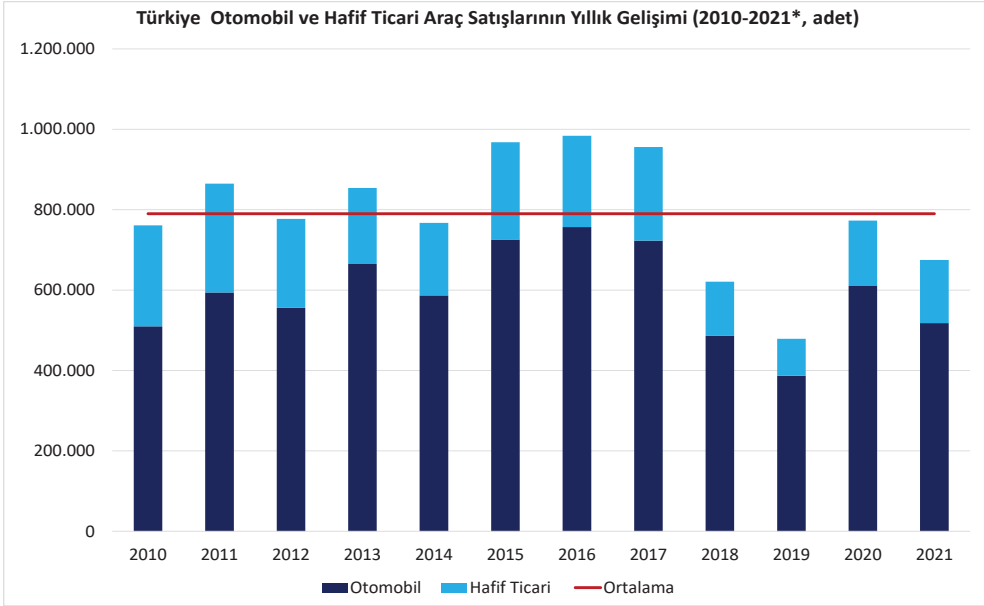
Kaynak: TÜİK, 2021a

Bölüm 3'de de belirtildiği gibi, kişi başında otomobil sahipliği halen Avrupa'nın en düşük seviyesinde olmakla birlikte, Türkiye otomobil parkının son dönemdeki büyüme hızı Avrupa ortalaması ile farkı yakın gelecekte kapatmaktan uzak seyretmektedir.

- Kişi başına gelir, alım gücü ve vergi düzenlemeleri gibi birçok ekonomik faktörün belirleyici olduğu piyasada, son on yılda yıllık ortalama otomobil satışları yaklaşık 600.000 olarak gerçekleşmiştir. Otomobil ve hafif ticari araç satışlarında aynı dönemin ortalaması yaklaşık 800.000 olmuştur.
- Otomobil ve hafif ticari araçların toplam satışları üç yıl üst üste (2005, 2006, 2007) 1 milyon seviyesine yaklaşmış, ancak bu seviyeyi aşamamıştır. 2020 yılında 800.000 satış gerçekleşen bu piyasanın, 2021 yılını da buna yakın hacimde tamamlaması beklenmektedir⁸ (Şekil 4.16).

⁸ 2021 Kasım sonu itibarıyla 2020 yılının aynı dönemine göre %1 artış ile 675,000 satış (ODD, 2021). Çip krizinin etkileri pazarda büyümeyi yavaşlatmaktadır.

Şekil 4.16. Türkiye Otomobil ve Hafif Ticari Araç Satışlarının Yıllık Gelişimi (2010-2021*, adet)

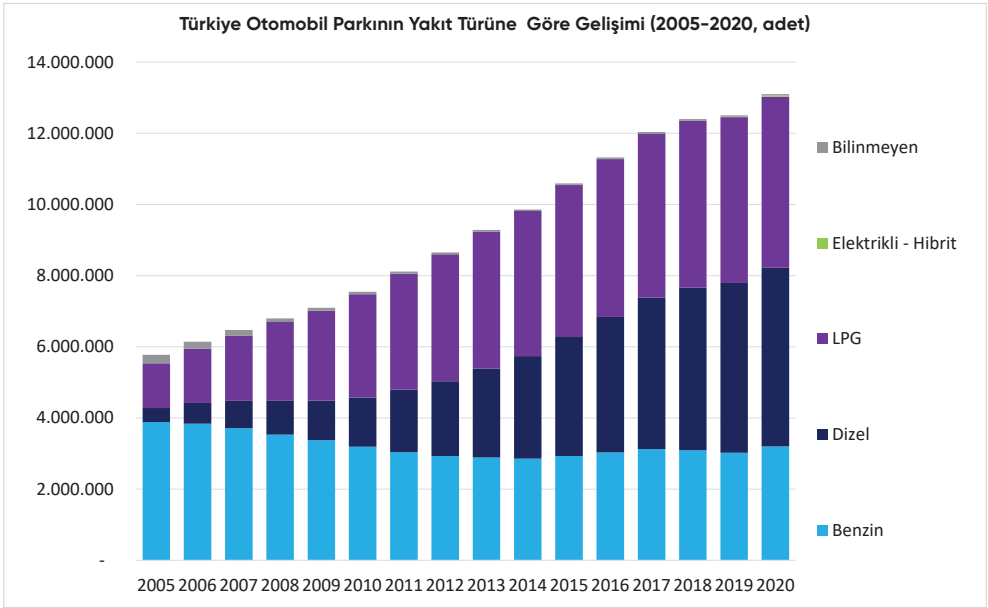


Kaynak: ODD, 2021

Türkiye otomobil parkının yaklaşık %40'ını dizel yakıtlı araçlar oluşturmakta, bunu LPG (%36) ve benzin (%30) izlemektedir (Şekil 4.17). Ancak, yakıt tercihlerinde 2000'li yılların ortalarından itibaren dizel lehine gerçekleşen büyüme, son dönemde hızla değişmektedir.

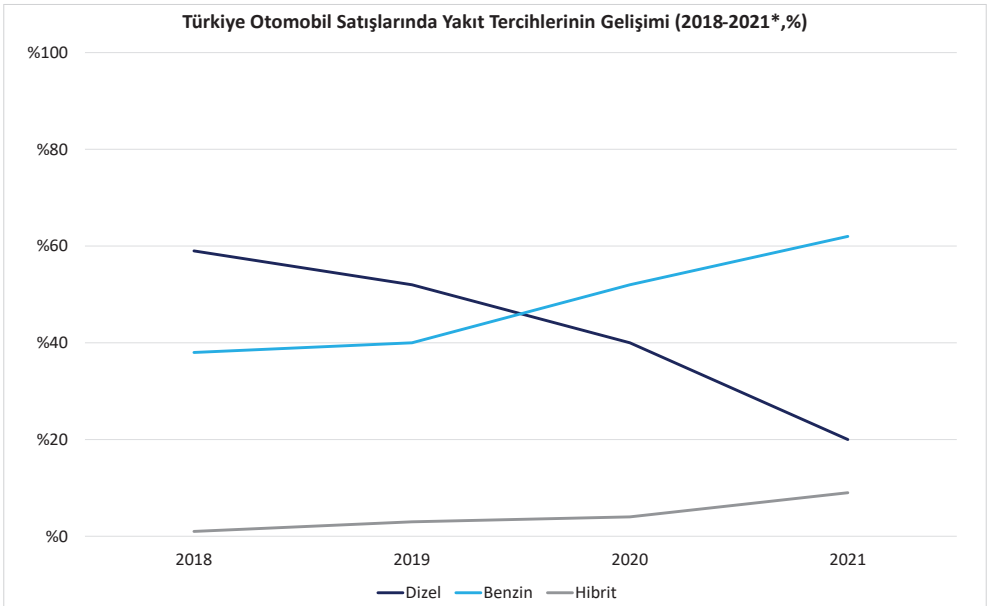
- 2018 yılında benzinli araçlar toplam satışların %38'ini oluştururken 2021 yılında bu oran %66'ya çıkmış, aynı dönemde dizel araçların satışlardaki payı %59'dan %20'ye düşmüştür. Yakıt fiyatlarının yanı sıra arz tarafında model portföylerinin gelişimi de bu dönüşümde etkili olmaktadır.
- Dönüşümün bir diğer boyutu, hibrit araçlarda hızlı büyüme ile gerçekleşirken, bu araçların 2019 yılında %1 olan pazar payı 2021 yılında %10'a yaklaşmıştır (Şekil 4.18).
- Elektrikli otomobil satışları, son dönemde ivme kazanan büyümeye karşın, halen toplam pazarın %1'den azını oluşturmaktadır (Detaylar için lütfen Bölüm 4.3'e bakınız).

Şekil 4.17. Türkiye Otomobil Parkının Yakıt Türüne Göre Gelişimi (2005-2020, adet)



Kaynak: TÜİK, 2021a

Şekil 4.18. Türkiye Otomobil Satışlarında Yakıt Tercihlerinin Gelişimi (2018-2021*, %)



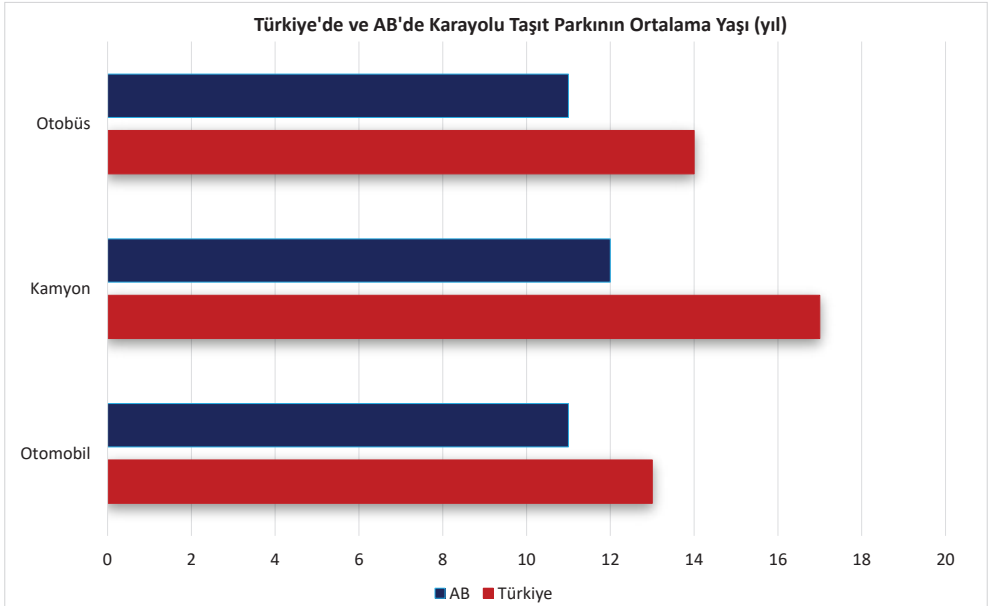
Kaynak: ODD, 2021

*Kasım, 2021

Türkiye karayolu ulaşım araç parkının yenilenme hızının düşük olması, yeni çözümler geliştirilerek hızla iyileştirilmesi gereken bir alandır.

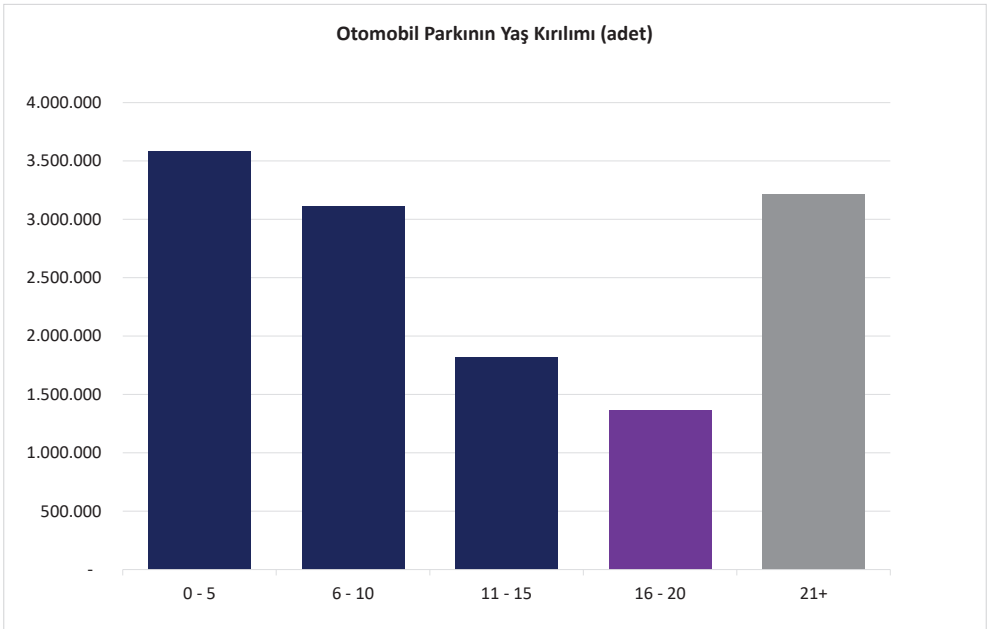
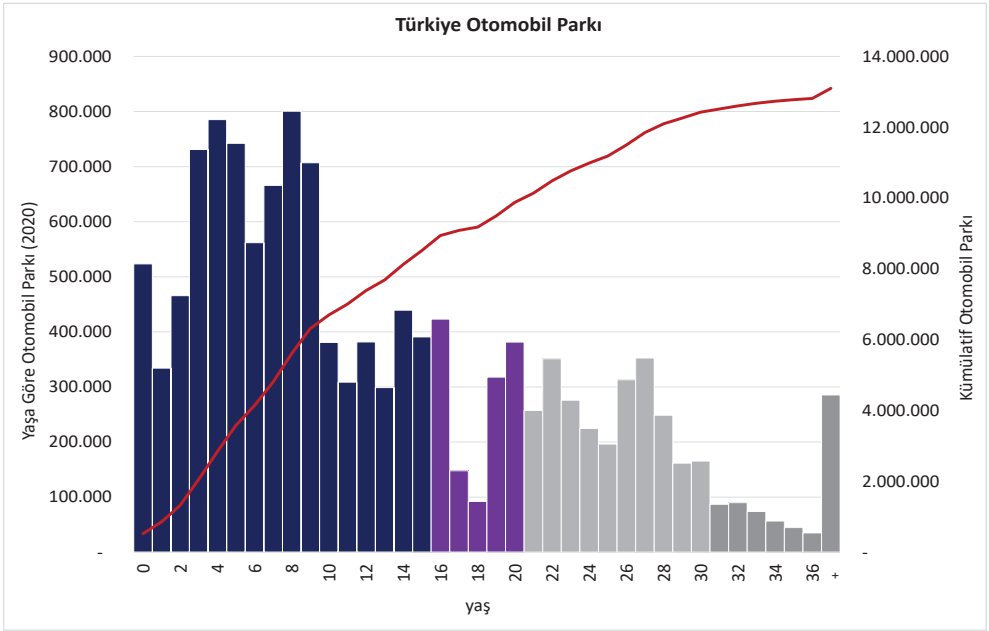
- AB'de 11 olan otomobil parkının ortalama yaşı Türkiye'de 13 seviyesindedir. Parkın yaklaşık dörtte-biri 20 yıldan eskidir (Şekil 4.19 ve 4.20).
- Ortalama yaşı 17 olan kamyon parkının üçte-biri 20 yıldan eskidir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.21). Otobüs parkının ortalama yaşı da AB ortalamasından yüksektir (11'e karşın 14) (Şekil 4.19).
- AB ortalamasının oldukça üzerinde olan kamyon ve otobüs park yaşlarının iyileştirilebilmesi dolayısı ile büyüyen parkın yakıt verimliliği ve çevre performansında güçlü iyileştirmeler sağlanabilmesi için zorunludur. Eski, verimsiz ve kirleticiliği yüksek araçların devreden çıkarılması yoluyla daha verimli ve sürdürülebilir bir ulaşım geleceğine dönüşümü destekleyecek, piyasa eksenli yönlendirme mekanizmalarına işlerlik kazandırılması gerekmektedir.

Şekil 4.19. Türkiye'de ve AB'de Karayolu Taşıt Parkının Ortalama Yaşı (yıl)



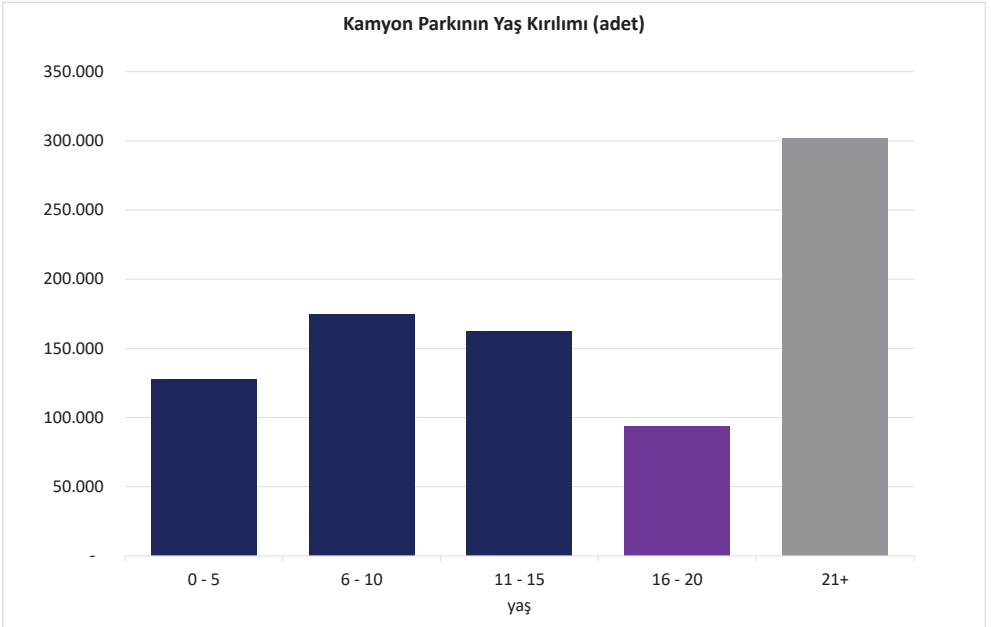
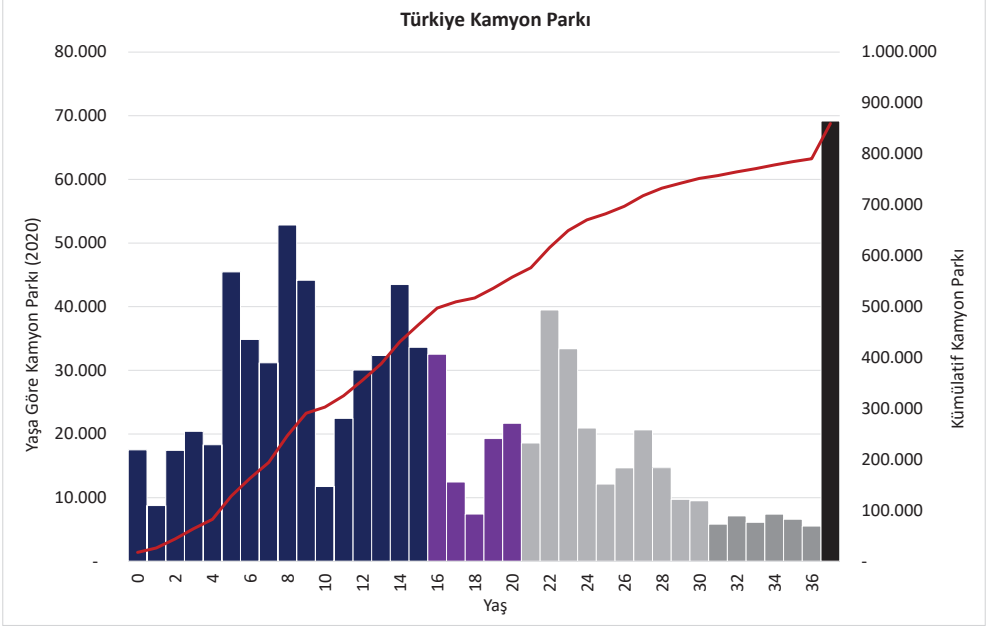
Kaynak: TÜİK, 2021; Eurostat istatistikleri

Şekil 4.20. Türkiye Otomobil Parkının Yaşı (yıl)



Kaynak: TÜİK, 2021a; IICEC analizleri

Şekil 4.21. Türkiye Kamyon Parkının Yaşı (yıl)



Kaynak: TÜİK, 2021a; IICEC analizleri

4.3. Elektrikli Araçlarla İlgili Önemli Gelişmeler

4.3.1. Elektrikli Araç Parkının Gelişimi

Türkiye’de EA satışları 2021 yılı içerisinde büyümeye devam etmiştir (AA, 2021; TEHAD, 2021). Son dönemde satışlardaki sürekli artışa karşın, EA’ların otomobil pazarında payı %1’in altındadır. Özellikle 2022 yılı sonundan itibaren, TOGG otomobillerinin pazara sunulmasının önemli etkisiyle daha hızlı bir artış sağlanması amaçlanmaktadır. Türkiye’de EA satın alımlarına ilişkin olarak, Avrupa başta olmak üzere pek çok bölgede uygulanan teşvik mekanizmaları bulunmamaktadır. Bununla birlikte, vergi düzenlemeleri, EA'lara fosil yakıtlı muadillerine göre ÖTV avantajı sunmaktadır. 2011 yılından bu yana uygulanmakta olan ÖTV oranları, 2021 yılı Şubat ayında yeni bir düzenleme ile yükseltilmiştir (Motor gücü 85 kW geçmeyenler için %3'ten %10'a, motor gücü 85-120 kW arasında olanlar için %7'den %25'e, motor gücü 120 kW'ı geçenler için %15'ten %60'a). Lüks ve ithal araç satışları kaynaklı olan bu düzenleme, EA pazarının tamamında son dönemdeki büyüme hızını daha ileriye taşıyan satış projeksiyonlarının aşağı yönde revize edilmesine neden olmuştur. Bu değişikliğin etkilerine rağmen, 2021 yılında 2000'in üzerinde EA satışı gerçekleşmiş ve toplam park 6.000 aracın üzerine çıkmıştır.

TOGG : Otomotiv sektöründe küresel bir marka olarak, yerli, yeni nesil otomobil üretmek amacıyla 2018 yılında kurulan TOGG (Türkiye’nin Otomobili Girişim Grubu), doğuştan elektrikli bir marka olarak, yeni mobilite ekosistemi içerisinde BEV araçlar, destekleyici teknolojiler ve iş modelleri geliştirmek üzere çalışmalarını sürdürmektedir. Gemlik’te kurulan fabrikada üretim çalışmalarına devam eden TOGG’un C-SUV segmentinde olacak ilk modelinin 2022 yılı sonunda pazara sunulması hedeflenmektedir. TOGG, 2030 yılına kadar ürün gamında tamamı BEV olmak üzere beş modele yer verecektir. Plato döneminde yıllık 175.000 üretim kapasitesine ulaşması beklenen TOGG, on yıl içerisinde toplam 1 milyon üretim planlamaktadır. Akıllı ve bağlantılı çözümleri iş modelinin ana ekseninde konumlayan TOGG, Türkiye otomotiv endüstrisinin, yenilikçi ve teknoloji-odaklı bir mobilite ekosistemine dönüşümüne öncülük etmeyi hedeflemektedir. İki alternatif batarya seçeneği ile geliştirilen TOGG otomobillerin, 300 km üzeri veya 500 km üzeri modellerle, 2030 yılına kadar olan dönemde Türkiye karayolu ulaşımının elektrifikasyonunun en kritik destekçilerinden birisi olması beklenmektedir⁹.

Ford Otosan: Ticari araç üretiminde Türkiye’nin bulunduğu bölgenin en büyüklerinden olan Ford Otosan, elektrikli araç üretimine yönelik çalışmalarda da öncü rolünü sürdürmektedir. E-Transit modelini 2022 yılının ilk yarısında satışa sunmayı hedefleyen Ford Otosan, Kocaeli fabrikalarını 2022 yılında 650.000 adet üretim kapasitesine ulaştırmayı hedeflemektedir. Ford Otosan 2023 yılının ilk yarısında yeni nesil Custom ailesinin PHEV ve BEV modellerini piyasaya sunacaktır. Yeni nesil Volkswagen ticari araç modelinin de Ford Otosan tarafından, Kocaeli’de üretilmesi planlanmaktadır¹⁰.

⁹ Detaylı bilgi için lütfen <http://togg.com.tr> adresini ziyaret ediniz.

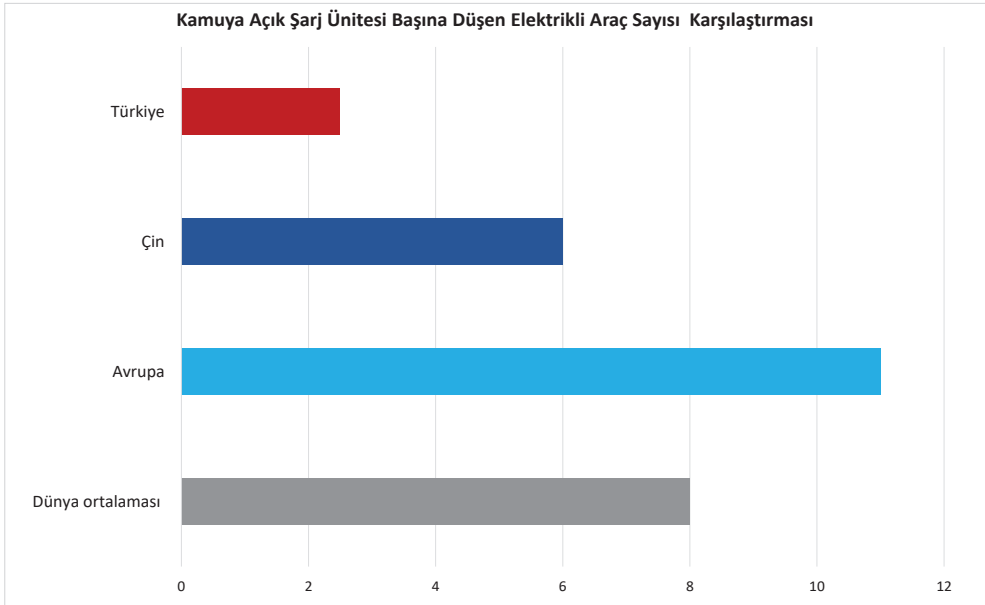
¹⁰ Detaylı bilgi için lütfen <http://fordotosan.com.tr> adresini ziyaret ediniz.

Diğer Gelişmeler: TOGG ve Ford Otosan tarafından devam eden büyük yatırımların yanı sıra, Türkiye otomotiv sektörü ulaşımın elektrifikasyonuna öncülük eden çok sayıda farklı girişime de ev sahipliği yapmaktadır. Temsa ve Karsan, son dönemde Avrupa pazarlarına da giriş yaparak, elektrikli otobüs ve mobilite yatırımlarını sürdürmektedir. DMA Oto ve ZY Traktör de elektrikli araçların gelişimi ve üretiminde öne çıkan örneklerdir. Önümüzdeki dönemde, küresel ölçekte ve Avrupa özelinde ulaşımın elektrifikasyon odaklı dönüşümün hız kazanmasıyla, elektrikli araç üretiminin yeni oyuncuların katılımıyla büyümeye ve çeşitlenmeye devam etmesi gerekmektedir¹¹.

4.3.2. Şarj Altyapısının Gelişimi

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de EA’larda büyümenin en temel destekleyicisi, yaygın bir şarj altyapısının kullanıcı taleplerine yanıt verebilecek şekilde gelişimi olacaktır. Özel sektör tarafından yatırımların sonucunda, toplam şarj ünitesi sayısı 2021 yılında 3.000’in üzerine çıkmıştır. Ulaşımın elektrifikasyonunun ilk yıllarında 10 seviyelerinde olan kamuya açık şarj noktası başına düşen EA sayısı, şarj endüstrisi tarafından gerçekleştirilen yatırımlarla 2021 yılında 2-3 bandına kadar düşmüştür (Şekil 4.22). Bununla birlikte, EA parkında 2022 yılından itibaren hız kazanacak büyüme, şarj altyapısında daha hızlı bir büyümenin güçlendirilmesini, bunun için de piyasa-odaklı düzenlemeler içerisinde yeni yatırımların ve iş modellerinin gelişimini gerekli kılmaktadır.

Şekil 4.22. Kamuya Açık Şarj Ünitesi Başına Düşen Elektrikli Araç Sayısı Karşılaştırması



¹¹ Detaylı bilgi için lütfen <http://temsa.com.tr>, <http://karsan.com.tr>, <http://zyelektrikli.com>, <http://dmaoto.com>, <http://isuzu.com.tr>, adreslerini ziyaret ediniz.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca Mart 2021’de, 2018 yılı tarihli Otopark Yönetmeliğinde yapılan değişiklik, şarj altyapılarının gelişimini yönlendirecek yönde önemli bir çerçeve oluşturmuştur. Otopark sayısı 20 ve üzerinde olan yeni yapılar için yapı ruhsatı başvurularının şarj üniteleri ve EA'lara göre planlanması, yeni açık otoparklardaki ve alışveriş merkezlerindeki park yerlerinde de şarj üniteleri konumlandırmaları yönünde düzenleme yapılmıştır.

2022 yılında EA parkındaki hızlı büyüme yaklaşırken, bu alandaki en önemli düzenleyici adım 16 Kasım 2021 tarihli Torba Yasa teklifi ile 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu’na eklenmek üzere EA’ların şarj hizmetine ilişkin hususların düzenlendiği birincil mevzuat gelişimidir. Şarj hizmetinin sunulabilmesi için gerekli teknik altyapıların ve buna ilişkin yasal altyapının kurulmasını hedefleyen bu düzenleme, piyasa faaliyetlerine ilişkin temel prensipleri, EPDK’nın bu alandaki görev, yetki, sorumluluklarını tanımlamaktadır. İkincil mevzuat çalışmalarının da 2022 yılı içerisinde tamamlanması ile şarj altyapılarının gelişiminde sektör gündemine yerleşecek olan önemli bir çerçeve belirlenmiş olacaktır (Detaylar için Bölüm 5’e bakınız).

4.3.3. Batarya Ekosisteminde Öne Çıkan Gelişmeler

Türkiye’de E-mobilité ekosisteminin gelişiminde, Bölüm 2’de ve Bölüm 3’te belirtilen küresel ve bölgesel dinamikleri de yansıtacak, teknoloji-odaklı bir batarya ekosisteminin oluşturulması önem taşımaktadır. EA parkındaki büyümenin yanı sıra, enerji dönüşümünün desteklenmesi bakımından enerji depolama çözümlerinin sunduğu fırsatlar, Türkiye piyasasında batarya teknolojilerine yönelik yatırım potansiyelini artırmaktadır.

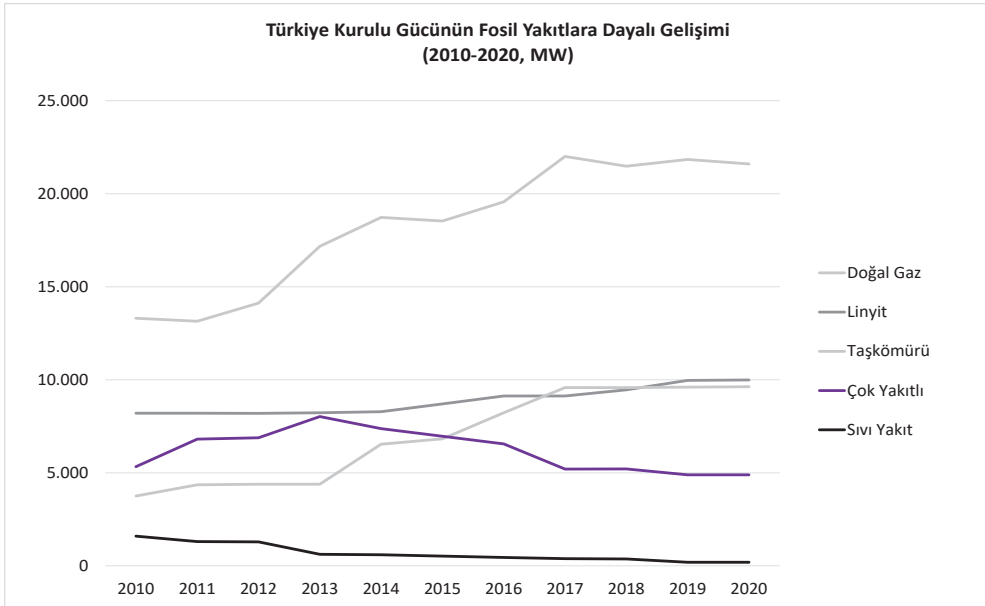
Batarya odaklı yeni girişimlerin sayısı son dönemde artmaktadır. TOGG ve Farasis ortaklığında kurulan SiRo, TOGG otomobillerinin yanı sıra daha geniş bir e-mobilité ekosistemine, aynı zamanda enerji depolama çözümlerine de hizmet edebilecek, 20 GWh/yıl modül ve 15 GWh/yıl hücre kapasiteli bir yatırıma başlamaktadır. Ford Otosan, hafif ticari araçlarda elektrifikasyon yatırımlarının entegre bir bileşeni olarak batarya montaj tesislerini 2022 yılı içerisinde Kocaeli fabrikalarında işletmeye almayı planlamaktadır. Aselsan ve Aspilsan, e-mobilité çözümlerini de içerecek batarya teknolojileri üzerinde çalışmalarını genişletmektedir. Eti Maden tarafından, bor kaynaklarının lityuma dönüştürülmesi perspektifiyle planlanan Lityum Karbonat Üretim Tesisi 2020 yılı sonunda işletmeye alınmıştır. Diğer örnekler arasında, Temsa ve Karsan’ın elektrikli otobüsleri için batarya paketlerine yönelik işbirliklere ve yatırımları yer almaktadır. *Uçtan uca* bir batarya üretim ekosistemi, Türkiye’nin bu alandaki küresel yarışta konumunu güçlendirecektir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi ve TÜSSİDE, 2020).

4.3.4. Elektrik Sistemi ile İlişkili Konular

4.3.4.1 Elektrik Üretiminin Gelişimi ve Karbondan Arındırılması

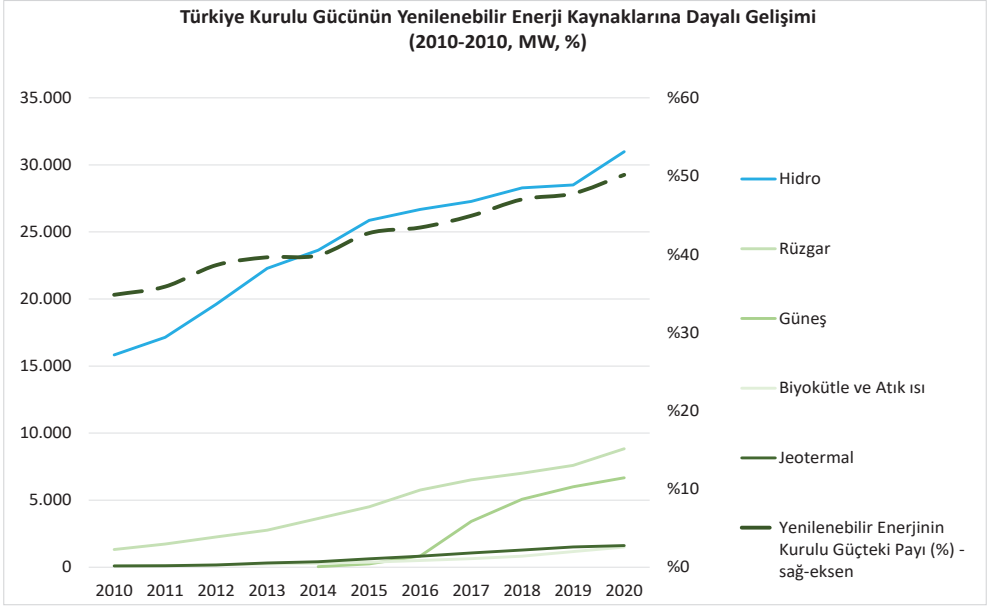
Kişi başına elektrik tüketimi halen OECD ortalamasının üçte-biri düzeyinde olan Türkiye’de elektrik tüketiminde yıllık artış son 10 yılda ortalama %4 seviyesinde gerçekleşmiştir. Bütün ekonomilerde olduğu gibi, Covid-19 pandemisinin ilk aşamalarında hızlı bir daralmaya giren talep, özellikle 2020 yılının ilk yarısından itibaren tekrar güçlü bir büyüme patikasına girerek, 2021 yılında yaklaşık %8 artış göstermiştir. 2030 yılına kadar olan dönemde, talebin, yıllık ortalama %3 artışla 430 TWh, yıllık ortalama %3,5 artışla ise 450 TWh seviyelerine ulaşması öngörülmektedir¹².

Şekil 4.23. Türkiye Kurulu Gücünün Gelişimi ve Yenilenebilir Enerjinin Katkısı (2010-2020, MW, %)



Kaynak: TEİAŞ, 2021a

¹² ETKB projeksiyonuna göre 2030 yılında 427-450 TWh (ETKB, 2021b). 2030 yılında TEO Referans Senaryosunda 425 TWh, talep tarafında daha verimli bir gelişim patikası sunan TEO Alternatif Senaryosunda ise 400 TWh (Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020).



Kaynak: TEİAŞ, 2021a

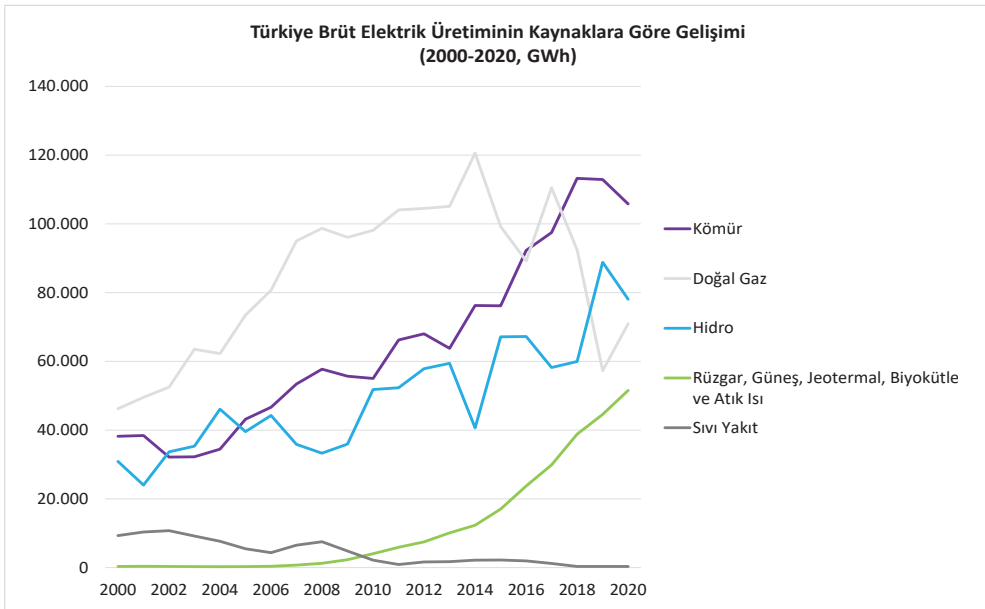
Türkiye kurulu gücü son 20 yılda, ağırlıklı bölümü özel sektör yatırımlarından gelmek üzere, üç katın üzerinde büyüme göstererek 100.000 MW seviyesine ulaşmıştır. Rüzgar ve güneşte teknolojik gelişmeleri ve yenilenebilir üretimi destekleyen YEKDEM modelinin uygulanmasıyla, son 10 yılda yenilenebilir kaynaklara dayalı kurulu güçte büyüme hızlanmış, bu kaynakların 2010 yılında kurulu güç içerisinde %35 olan payı 2021 yılında %50'yi aşmıştır (Şekil 4.23). 2021 yılı içerisinde rüzgar kurulu gücü 10 GW'ı geçerken güneş kurulu gücü 8 GW'a yaklaşmıştır. Bu uzun vadeli değişime rağmen, ulaşılan kapasiteler, Türkiye'nin rüzgar ve güneş potansiyelinin oldukça altındadır¹³. Bu potansiyelin artan oranlarda üretime kazandırılabilmesi için, yenilenebilir enerji yatırım ivmesinin güçlenmesine, bunun için de yeni yatırımlarda fizibiliteleri ve öngörülebilirliği iyileştirecek piyasa mekanizmalarına gereksinim bulunmaktadır.

Türkiye'nin elektrik üretim portföyü, yenilenebilir enerji kaynakları odaklı yeni kapasitelerin etkisiyle, karbon yoğunluğu daha düşük bir yapıya doğru ilerlemektedir. Hidro kaynakları, Türkiye elektrik sisteminin uzun yıllardır en temel bileşenlerinden birisi olup, yağış rejimlerindeki dalgalanmalar nedeniyle katkıları son dönemde genellikle %20-30 bandında değişmektedir.

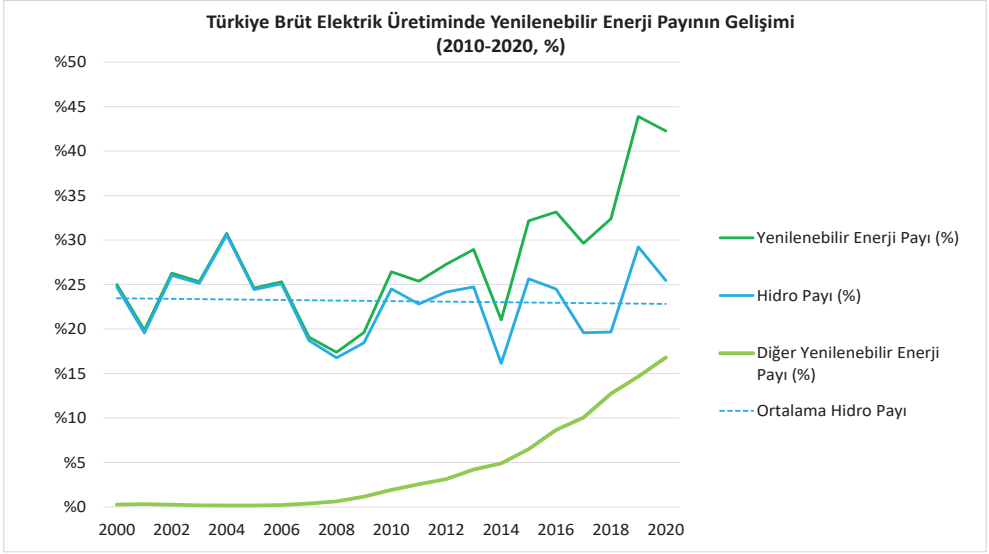
¹³ Toplam rüzgar potansiyeli, yeni teknolojilerin verim karakteristiklerini yansıtabilecek şekilde güncellenmekte olup, off-shore potansiyelin de eklenmesiyle potansiyelinin 100 GW'a kadar ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Son dönemde hibrit üretim yatırımlarına yönelik düzenlemeler ile yenilenebilir enerji kaynak potansiyelinin, verimli ve teknoloji-odaklı gelişiminde önemli bir yatırım hamlesinin başlangıcı yapılmıştır. Güneş enerjisinde çatı üstü sistemlerde yüksek büyüme potansiyelinin ise henüz oldukça sınırlı bir bölümü değerlendirilebilmiştir.

Hidro üretimdeki bu dalgalanmaya karşın, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından, özellikle rüzgar ve güneşten üretimin artmasıyla, elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin 2010 yılında %25 olan payı 2019 ve 2020 yıllarında %40'ın üzerine çıkmıştır (Şekil 4.24). 2021 yılında kuraklık nedeniyle azalan hidro üretim nedeniyle, yenilenebilir enerjinin toplam katkısı %35 seviyelerinde gerçekleşmektedir. Yatırım ivmesinin güçlendirilmesi durumunda, yenilenebilir enerjinin üretimdeki payı 2030 yılına kadar %50 seviyelerine ulaşabilecektir¹⁴. İnşa halindeki nükleer ünitelerin 2030 yılından önce devreye girmesi de, Türkiye elektrik üretiminde karbon yoğunluğunun azaltılmasını destekleyecektir.

Şekil 4.24. Türkiye Brüt Elektrik Üretiminde Gelişimi ve Yenilenebilir Enerjinin Katkısı (2010-2020, GWh, %)



¹⁴ TEO Alternatif Senaryosunda 2030 yılında brüt elektrik üretiminin yaklaşık yarısı yenilenebilir enerjiden sağlanmaktadır (Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020).



Kaynak: TEİAŞ, 2021a

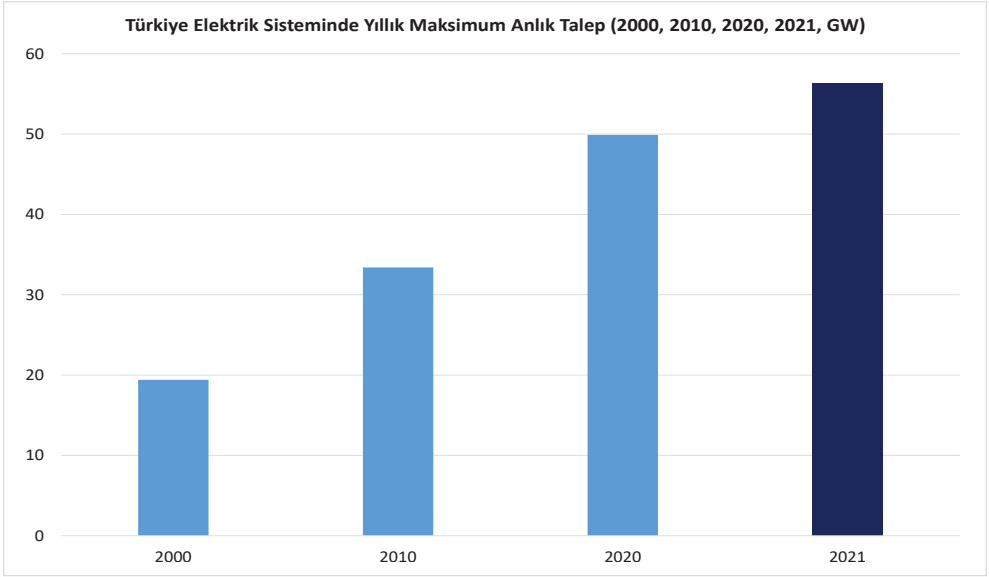
4.3.4.2 Türkiye Elektrik Sisteminin Omurgası Elektrik Şebekelerinde Gelişmeler

Türkiye elektrik iletim sistemi 72.000 km uzunluğunda hat ile Avrupa'nın en büyük sistemleri arasında yer almaktadır. 11 enterkoneksiyon bağlantısına sahip olan iletim sisteminde 2020 yılı sonunda trafo merkezi sayısı 750'yi aşmıştır (TEİAŞ, 2021). Dağıtım şebekeleri, özellikle 2013 yılında özelleştirmeler sonrasında özel sektör yatırımları ile hızlı bir büyüme sürecine girmiş, tüketici sayısı 36,4 milyondan 46,1 milyona çıkarken, dağıtım hat uzunluğu 1,2 milyon km seviyesine ulaşmıştır. 5.000'i aşan trafo sayısı ile dağıtım sistemi, şebekeye bağlı kullanıcılara 2020 yılında 233,4 TWh elektrik sağlamıştır. Dağıtım şebekelerinde verimlilik iyileştirmeleri sürerken, 2013 yılında %19 olan kayıp-kaçak oranları %12'ye inmiştir. 2010-2015 döneminde 2,5 milyar TL olan toplam dağıtım yatırımları, 2016-2020 döneminde iki kat artışla 5 milyar TL olarak gerçekleşmiştir. 2021-2026 döneminde yatırımların bir önceki döneme göre %50 artış ile 7,5 milyar TL seviyesinde gerçekleşmesi beklenmektedir (ELDER 2020; ELDER 2021).

Türkiye yıllık maksimum anlık talebi 2010 yılında 20 GW'ın altındayken 2020 yılında 50 GW seviyesine ulaşmış, 2021 yılında pandeminin baz etkisi ve yaz dönemindeki yüksek sıcaklıkların da etkisiyle %10 'u geçen artış ile 56 GW olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.25 ve Şekil 4.26). 2030 yılına kadar dönemde yıllık ortalama %3,5 büyüme ile puant talebin 70 GW'ın üzerine çıkması beklenmektedir¹⁵. Mevsimselliği ve değişkenliği artan bu talebin en verimli şekilde yönetilmesinde, elektrik şebekelerinin, planlama, yatırımlar ve teknolojiler boyutlarıyla daha fazla öne çıkması gerekmektedir.

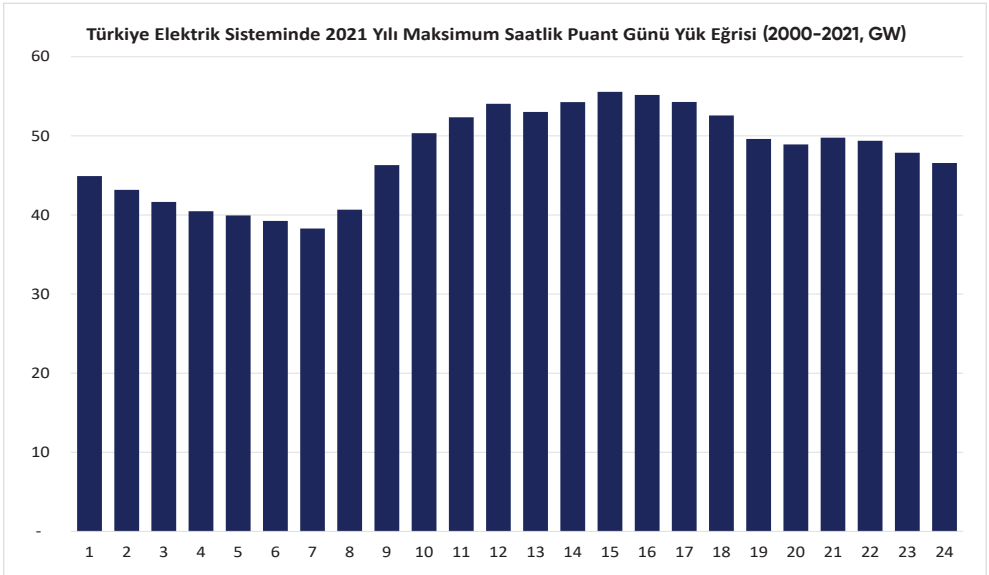
¹⁵ TEİAŞ projeksiyonunda 2030 yılında 72 GW (TEİAŞ, 2020)

Şekil 4.25. Türkiye Elektrik Sisteminde Yıllık Maksimum Anlık Talep (2000, 2010, 2020, 2021, GW)



Kaynak: TEİAŞ, 2021a

Şekil 4.26. Türkiye Elektrik Sisteminde 2021 Yılı Maksimum Saatlik Puant Günü Yük Eğrisi (2000-2021, GW)



Kaynak: EPİAŞ, 2021

Türkiye'nin büyüyen ve elektrifikasyonu artan enerji ekonomisinde, elektrik şebekesinde büyüme ve teknoloji-odaklı dönüşüm kritik bir işlev üstlenecektir. Giderek daha dağıtık bir yapıya doğru gelişen elektrik sisteminde, elektrik dağıtım şebekelerinin, üretimdeki yenilenebilir enerji ağırlıklı büyümeyi, talepteki büyümeyi ve aynı zamanda talebi daha değişken yapıya eviren, elektrikli araçlar gibi yeni dinamikleri yönetebilecek şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Daha verimli ve esnek elektrik şebekelerinin oluşturulabilmesi için, uzun vadeli planlamalar ve etkin düzenlemeler ile desteklenen, teknoloji-odaklı yatırımlar ve yeni nesil iş modellerine daha fazla işlerlik kazandırılması sektörün temel öncelikleri arasında konumlanmaya devam edecektir (Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020).

4.3.5 İlgili Politika Belgeleri ve Hedefler

Türkiye'de EA'larda büyüme perspektifi ve bunu destekleyici altyapının, teknolojilerin ve yatırımların gelişimi, daha verimli, teknoloji-odaklı ve sürdürülebilir büyümeyi desteklemek amacı ile son dönemde geliştirilen politika belgelerinde işlenmektedir. Bu belgelerde öne çıkan alanlar aşağıda özetlenmektedir:

- **Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)** (Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2019):
 - Otomotiv destek programı ve farklı destek mekanizmalarının hayata geçirilmesi ile birlikte sensör, batarya, yakıt hücresi ve yazılım gibi konularda teknolojik yetkinliklerin ilerletilmesi ve üretime yönlendirilmesi,
 - EA'lar için uygun altyapının oluşturulması, batarya yatırımlarının gerçekleştirilmesi ve veri-bazlı ve yüksek katma değerli katma hizmetlere dönüşüm sağlanması
- **Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi ve Teknoloji Stratejisi 2023** (STB, 2019):
 - E-mobilite ekosisteminin yeni yatırım gereksinimleri gözetilerek destekler verilmesi.
- **Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019-2023 Stratejik Planı** (ETKB, 2019):
 - EA gelişimine yönelik enerji sistem planlamalarının yapılması,
 - Şarj altyapısının geliştirilmesi,
 - Batarya tedarikinde yerlilik sağlanması.

- **Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi 2020-2023** (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2020):
 - Toplu taşıma ve belediye hizmet araçlarında EA kullanımının artırılması,
 - Akıllı otopark altyapılarının şarj üniteleri de içerecek şekilde geliştirilmesi
- **2021 Ekonomik Reformlar Kitapçığı** (Hazine ve Maliye Bakanlığı, 2021):
 - Şarj altyapısının gelişimi için gerekli düzenlemelerin tamamlanması.
- **Ticaret Bakanlığı Yeşil Mutabakat Eylem Planı** (Ticaret Bakanlığı, 2021):
 - Şarj altyapılarının geliştirilmesine yönelik strateji geliştirme ve planlama faaliyetlerinin yapılması,
 - Yenilenebilir enerjinin kullanımının artırılması için Yeşil Tarife, YEK-G Belgesi gibi altyapıların geliştirilmesi,
 - EA bataryalarının geri dönüşümü için gerekli düzenlemelerin yapılması.
- **Mobilite Araç ve Teknolojileri Stratejik Hedefleri ve Yol Haritası Taslağı** (2021)
 - EA alımlarının desteklenmesine yönelik mekanizmaların oluşturulması,
 - EA üretim yatırımlarının teşvik edilmesi ve yeni yatırımların geliştirilmesi,
 - Elektrifikasyon teknolojilerinde tedarikçilerin gelişiminin sağlanması,
 - Bölgesel Batarya Üretim Merkezi konumuna ulaşılmasının sağlanması,
 - Batarya geri dönüşüm ve yeniden kullanım stratejilerinin belirlenmesi,
 - Şarj altyapısının gelişiminin sağlanması,
 - **2030 yılında elektrikli araç satışlarının pazar payının %35'e, elektrikli araç parkının 2,5 milyona, kamuya açık şarj soketi sayısının 250,000 seviyesine ulaşması.**

Referanslar

- Anadolu Ajansı (AA) (2021), EPDK Başkanı Yılmaz Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Altyapısına İlişkin Detayları AA'ya Açıkladı
<https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/epdk-baskani-yilmaz-elektrikli-arac-sarj-istasyonu-altyapisina-iliskin-detaylari-aaya-acikladi/2430103>
- ÇŞB (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı) (2021), Turkey's Informative Inventory Report (IIR) 2021
- ELDER (Elektrik Dağıtım Hizmetleri Derneği) (2020), Sektör Raporu
https://www.elder.org.tr/Content/edergi/ELDER%20SEKTOR%20RAPORU_2020.pdf
- ELDER (2021) Rakamlarla ELDER
- EPIAŞ (2021), Şeffaflık Platformu
<https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/>
- ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı) (2019), 2019-2023 Stratejik Planı
https://sp.enerji.gov.tr/ETKB_2019_2023_Stratejik_Planı.pdf
- ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı) (2021a) Denge Tabloları
<https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablolari>
- ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı) (2021b), Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu Raporu
https://enerji.enerji.gov.tr//Media/Dizin/EIGM/tr/Raporlar/ENTAP/114176-turkiye_elektrik_enerjisi_talep_projeksiyonu_raporu.pdf
- Eurostat (2021), Database
<https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>
- Hazine ve Maliye Bakanlığı (2021), Ekonomik-Reformlar-Kitapçığı
<https://ms.hmb.gov.tr/uploads/2021/03/Ekonomik-Reformlar-Kitapcigi.pdf>
- ODD (Otomotiv Distribütörleri Derneği) (2021) Raporlar
https://www.odd.org.tr/web_2837_1/neuralnetwork.aspx?type=35
- OSD (Otomotiv Sanayii Derneği) (2021a), Foreign Trade Report
<http://www.osd.org.tr/sites/1/upload/files/2020 OSD Dis Ticaret Raporu-5543.pdf>

- OSD (Otomotiv Sanayii Derneği) (2021b), General and Statistical Information Bulletin of Automotive Manufacturers
http://www.osd.org.tr/sites/1/upload/files/YILLIK_2021-5564.pdf
- OSD (Otomotiv Sanayii Derneği) (2021c), (Head of EU Delegation Ambassador, H.E. Nikolaus Meyer-Landrut – President of OSD, Mr.Haydar Yenigün Meeting)
- Sabancı Üniversitesi IICEC (2020), Turkey Energy Outlook 2020
<https://iicec.sabanciuniv.edu/teo>
- STB (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı) (2019), Sanayi ve Teknoloji Stratejisi 2023
<https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/SanayiStratejiBelgesi2023.pdf>
- TEHAD (2021), Raporlar
<https://www.tehad.org/category/raporlar/>
- TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.) (2020), Beş ve On Yıllık Bölgesel Bağlanabilir Kapasite Raporu
<https://www.teias.gov.tr/tr-TR/haberler/elektrik-piyasasi-kanununun-23-maddesi-kapsamindaki-5-ve-10-yillik-2025-2030-bolgesel-baglanabilir-kapasite-raporu>
- TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.) (2021), Elektrik Üretim İletim İstatistikleri
<https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>
- Ticaret Bakanlığı (2021), Yeşil Mutabakat Eylem Planı 2021
<https://ticaret.gov.tr/data/60f1200013b876eb28421b23/MUTABAKAT%20YE%C5%9E%C4%B0L.pdf>
- TÜİK (2021a), Veri Portalı
<https://data.tuik.gov.tr/>
- TÜİK (2021b), Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990-2019
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (2019), On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023)
<https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2019/07/OnbirinciKalkinmaPlani.pdf>
- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi ve TÜSSİDE (2020), Batarya ve Yenilikçi Enerji Teknolojileri Çalışma Grubu Raporu

- Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi (2021), Neden Türkiye'ye Yatırım Yapmalı

<https://www.invest.gov.tr/tr/library/publications/lists/investpublications/neden-turkiyeye-yatirim-yapmali.pdf>

- UAB (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı) (2020), Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri Strateji Belgesi 2020-2023

<https://www.uab.gov.tr/uploads/announcements/ulusal-akilli-ulasim-sistemleri-strateji-belgesi-v/ulusal-akilli-ulas-im-sistemleri-strateji-belgesi-ve-2020-2023-eylem-plani.pdf>

- UAB (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı) (2021), Ulaşan ve Erişen Türkiye 2021

<https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/bakanlik-yayinlari/ulasan-ve-erisen-turkiye-2021.pdf>

BÖLÜM 5:

Elektrikli Araç Gelişiminin
Çok Boyutlu Etkileri,
Gelişim Alanları
&
IICEC Önerileri

5.1. IICEC Senaryolarının Çerçevesi

Senaryo perspektifi ile gerçekleştirilen bu çalışma, IICEC tarafından Türkiye’de bir ilk olarak gerçekleştirilen Turkey Energy Outlook¹ (Türkiye Enerji Görünümü) çalışmasını ve Türkiye enerji sektörünün arzdan talebe tüm değer zincirinde bütüncül bir perspektifi yansıtan enerji modellemesi altyapısını baz almaktadır. Farklı gelişim seviyelerinde elektrikli araç parkında ve e-mobilite ekosisteminde büyümenin, Türkiye enerji sektörüne, ulaşımda enerji verimliliği ve petrol tüketimine, elektrik sektörüne ve çevresel performansa etkilerine, senaryo bazlı ve uzun vadeli bir perspektifle ışıktutulmaktadır. Sektörde bir ilk olan bu çalışmada, karayolu ulaşımı ve elektrifikasyona ilişkin geliştirilen detaylı bir veri altyapısı kullanılmış, çok boyutlu etkilere dair çeşitli hassasiyet analizleri de gerçekleştirilmiştir.

2030 yılına kadar olan dönemde Türkiye’de elektrikli araçlarda büyüme perspektifi iki senaryo ile irdelenmiştir. Dünyada elektrikli araçlar ve e-mobilite ekosisteminde son dönemde sağlanan önemli ivme ve bunu destekleyici faktörler, Türkiye otomotiv sektörünün dinamikleri ve iç pazarın büyüme potansiyeli, e-mobilite alanında son dönemde açıklanan 2030 hedefleri ile politikalar, regülasyon çerçevesinde ve yatırımlarda atılmakta olan somut adımlar, 2022 ve 2023 beklentileri, temiz enerji dönüşümünde ve ulaşımda elektrifikasyonda potansiyelin performansa dönüşümünü sağlamada öne çıkan teknolojilerdeki gelişim trendleri dikkate alınmıştır. İki farklı hızda büyüme patikası için, elektrikli araç entegrasyon seviyelerinin ve karayolu araç parkının gelişiminin, 2030 yılına kadar olan dönemde Türkiye’nin enerji dengelerine ve karayolu ulaşımından kaynaklı emisyon envanterine etkileri sayısal olarak sunulmaktadır.

Yavaş Büyüme Senaryosunda 2030 yılı için taslak Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası ile belirlenen yaklaşık 2,5 milyon elektrikli araç seviyesine ulaşılmasını sağlayacak düzenlemelerde ve karayolu ulaşım parkında dönüşüm yavaş gelişmekte, destekleyecek yatırımlarda, altyapıda ve yenilikçi iş modellerinde büyüme sınırlı kalmakta, teknoloji ekosisteminde gelişim fırsatları ise kısmen değerlendirilebilmektedir. Bu senaryoda, küresel trendler ve özellikle Avrupa’da elektrikli araçlarda büyüme perspektifi ile uyum seviyesi de sınırlı kalmaktadır.

Yüksek Büyüme Senaryosunda ise Türkiye’nin e-mobilite alanında yüksek potansiyeli, uzun vadeli ve bütüncül sanayi, enerji, ulaşım ve iklim politikaları, kentsel ve çevresel planlamalar, etkin düzenlemeler ve yönlendirici mekanizmalar, öngörülebilir, rekabetçi ve serbest piyasa eksenli yatırım ortamı ve yeni nesil iş modelleri ile daha hızlı ve yaygın olarak değerlendirilebilmektedir. Bu senaryoda, uluslararası ve bölgesel iş birlikleri, Ar-Ge ve inovasyon da hızlı büyümeyi desteklemektedir. Avrupa pazarları ile uyumun seviyesinin ve hızının da yükseldiği bu senaryo, aynı zamanda daha teknoloji-odaklı ve daha az karbon yoğun bir gelişim patikası sunarak, Türkiye’nin 2053 net-sıfır emisyon hedefini ve temiz enerji dönüşümünü daha güçlü şekilde desteklemektedir (Şekil 5.1).

¹ Turkey Energy Outlook (Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020)

Şekil 5.1. IICEC Senaryoları

Yavaş Büyüme Senaryosu	Yüksek Büyüme Senaryosu
▪ Elektrikli araçlarda büyüme hedeflerini destekleyecek bütüncül politika çerçevesi ve etkin düzenlemeler yavaş gelişmektedir. ▪ Dönüşümü ve büyümeyi destekleyecek yatırımlarda, altyapıda ve yenilikçi iş modellerinde gelişim sınırlı kalmaktadır. ▪ Teknoloji ekosisteminde iş birlikleri ve gelişim fırsatları kısmen değerlendirilmektedir. ▪ Küresel trendler, Avrupa pazarı ve Türkiye'nin iklim hedefleri ile uyum sınırlı kalmaktadır.	▪ Elektrikli araçlarda büyüme potansiyeli, bütüncül politika hedefleri, uzun vadeli planlamalar, etkin düzenlemeler, öngörülebilir ve rekabetçi piyasa gelişimi ile daha fazla değerlendirilebilmektedir. ▪ Dönüşümü sağlayacak yatırımlarda, altyapıda ve yenilikçi iş modellerinde büyüme ivmesi, insan kaynakları, dijitalleşme ve girişimcilik ekosistemi boyutlarıyla güçlenmektedir. ▪ Uluslararası ve bölgesel işbirlikleri, Ar-Ge ve inovasyon yoluyla teknoloji ekosistemi büyümektedir. ▪ Küresel trendler, Avrupa pazarı ve Türkiye'nin iklim hedefleri ile uyum seviyesi güçlenmektedir.

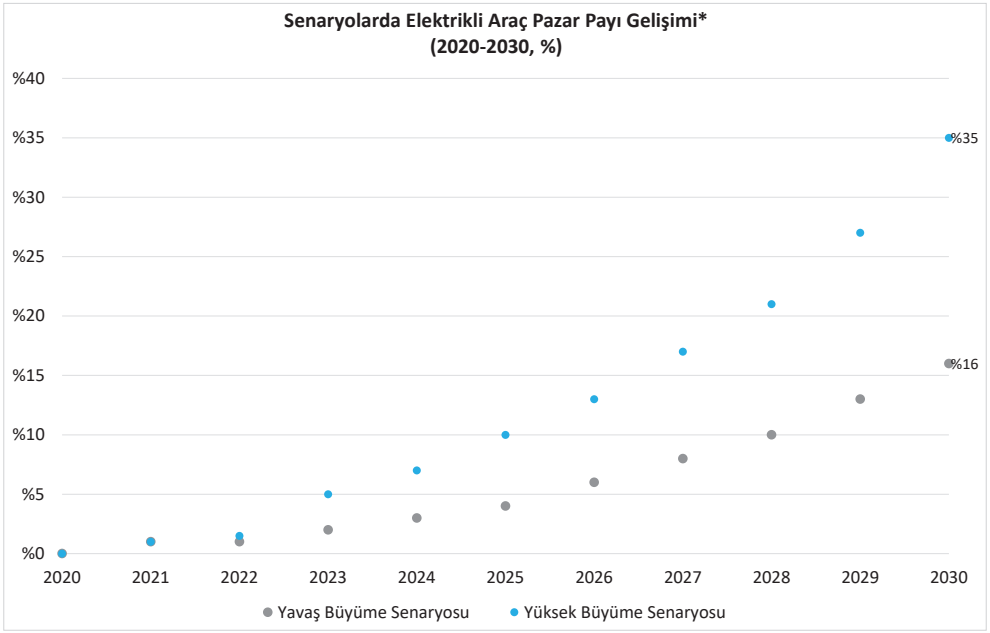
5.2. Senaryolarda Elektrikli Araç Satışlarında ve Parkında Gelişim

- Yavaş Büyüme Senaryosunda elektrikli araçların² pazar payı 2025'te %3'e yaklaşmakta, 2030 yılına gelindiğinde satılan her 6 hafif araçtan yaklaşık 1 tanesi elektrikli olmaktadır (2030 yılında %16 pazar payı). 2030 yılında toplam elektrikli araç parkı 930,000'e çıkmaktadır.
- Özellikle 2025 yılından sonra büyüme ivmesinin daha hızlı geliştiği Yüksek Büyüme Senaryosunda, hafif araçlar pazarında elektrifikasyon oranı 2025 yılında %10'a, 2030 yılında ise %35'e ulaşmaktadır. Diğer bir ifadeyle 2030 yılında satılan her üç hafif araçtan biri elektrikli olmaktadır. Satışlarda ulaşılan pay itibarıyla taslak Mobilite Araç ve Teknolojileri Yol Haritası ile öngörülen 2030 hedefi ile de uyumlu olan bu büyüme patikasında, 2030 yılında Türkiye'nin elektrikli araç parkı 2 milyon seviyesine ulaşmaktadır³ (Şekil 5.2 ve Şekil 5.3).

² Otomobil ve hafif ticari

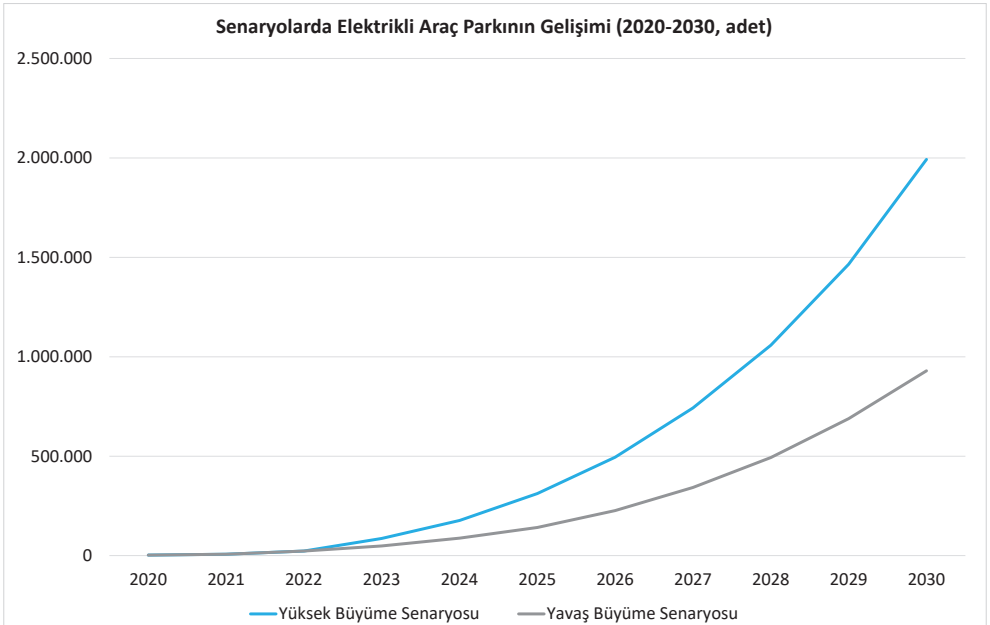
³ Yol Haritasında EA parkı hedefi, 2030 yılında 2,5 milyon olarak belirtilmektedir. 2030 yılında satışlarda aynı orana karşın toplam parkın büyüklüğündeki farklılık, satışlardaki payın 2021-2030 döneminde yıllık büyüme hızı ve toplam hafif araç parkında yıllık satış hacmi varsayımlarının farklılığından kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.2. Senaryolarda Elektrik Araç Pazar Payı Gelişimi* (2020-2030, %)



*Not: Otomobiller ve hafif ticari araçlar

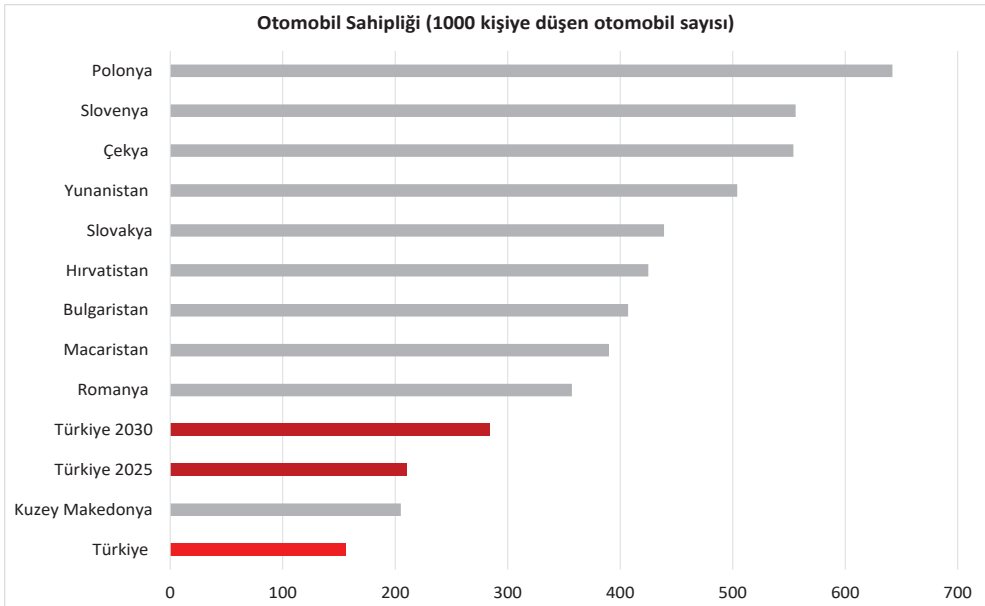
Şekil 5.3. Senaryolarda Elektrik Araç Parkının Gelişimi (2020-2030, adet)



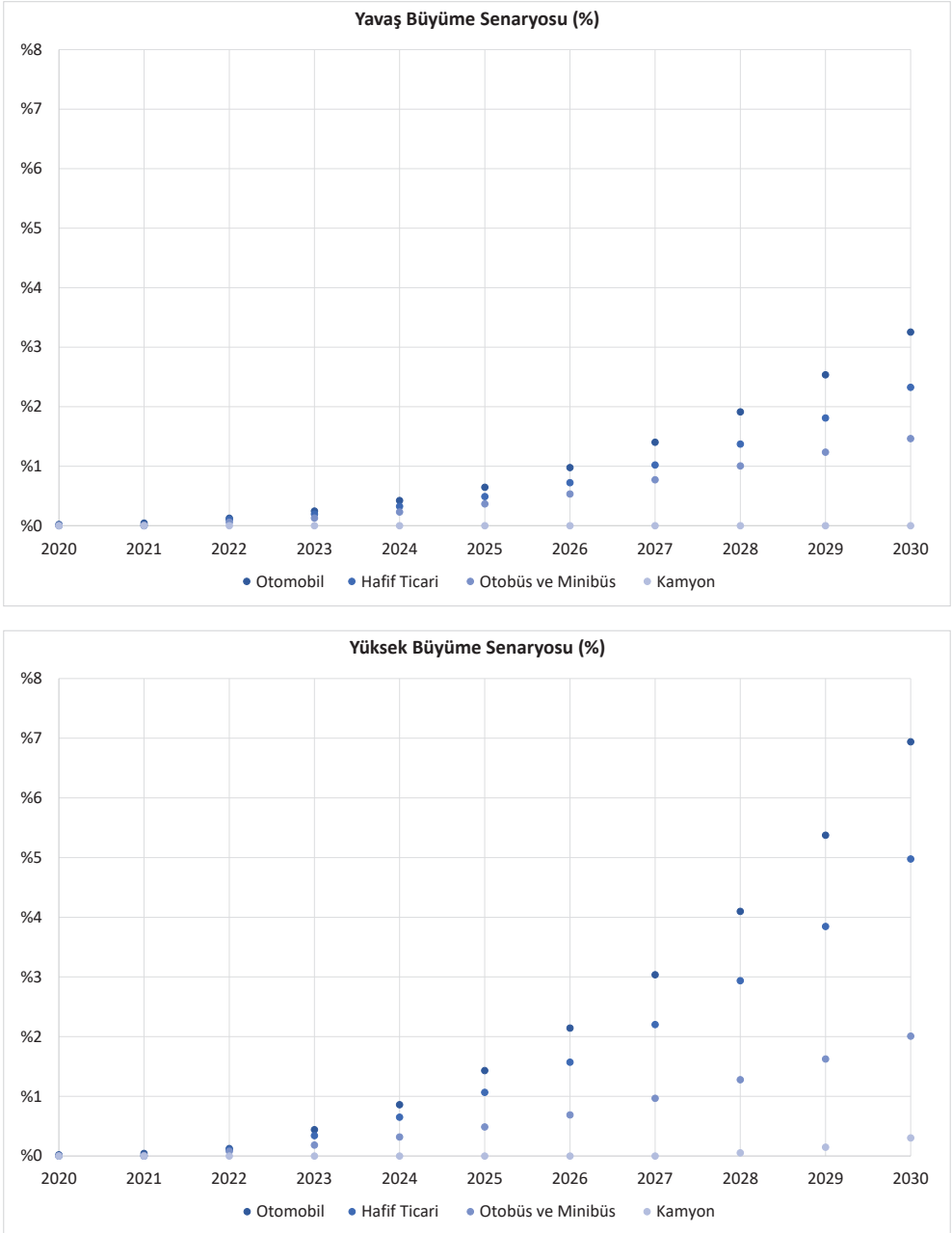
Türkiye, kişi başına otomobil sahipliği bakımından Avrupa'da en alt sırada yer almaktadır. Ekonomik ve sosyal gelişim hedefleri, kentleşme ve gelişen mobilite talepleri, aynı zamanda yaşanan bu parkta satışlar ile hızlı büyüme için önemli potansiyel oluşturmakla birlikte, son dönemde pazarın ortalama büyüme hızları, Bölüm 4'te de belirtildiği gibi, bu potansiyelin oldukça altındadır (2010-2021 döneminde hafif araçlarda yıllık ortalama 800,000 satış).

IICEC Senaryolarında otomobil pazarında satışlar, 2021-2025 döneminde ortalama 900.000/yıl, 2026-2030 döneminde ise ortalama 1,2 milyon/yıl olarak gelişirken 2030 yılına kadar olan dönemde otomobil parkı %73 büyüme ile 23,1 milyona ulaşmaktadır (2021 yılında yaklaşık 13 milyon). Bu büyüme patikasında kişi başına otomobil sahipliği aynı dönemde %81 (1000 kişi başına 157'den 286'ya) artış göstermektedir. Otomobil parkında son dönemin ortalamalarından yaklaşık %50 daha yüksek satış hacmine karşın, yine de Çekya ve Slovenya'daki mevcut sahiplik oranlarının yarısına, Bulgaristan ve Macaristan'ın %71'ine karşılık gelmektedir (Şekil 5.4). Hafif ticari araç satışlarının ise 2030 yılına kadar olan dönemde ortalama 250.000/yıl seviyesinde gerçekleşeceği ve parkın toplam %55 büyüme ile yaklaşık 7 milyona ulaşacağı varsayılmaktadır. 2030 yılına kadar hafif araç parkı 30 milyonun üzerine çıkmaktadır (2021 sonunda yaklaşık 18 milyon).

Şekil 5.4. Senaryolarda Otomobil Sahipliği Gelişimi ve Bazı Avrupa Ülkeleri ile Karşılaştırması
(Türkiye 2021, 2025, 2030; diğer ülkeler 2020-2021, araç/1000 kişi)



Şekil 5.5. Senaryolarda Elektrikli Araçların Araç Parkındaki Paylarının Gelişimi (2020-2030, %)



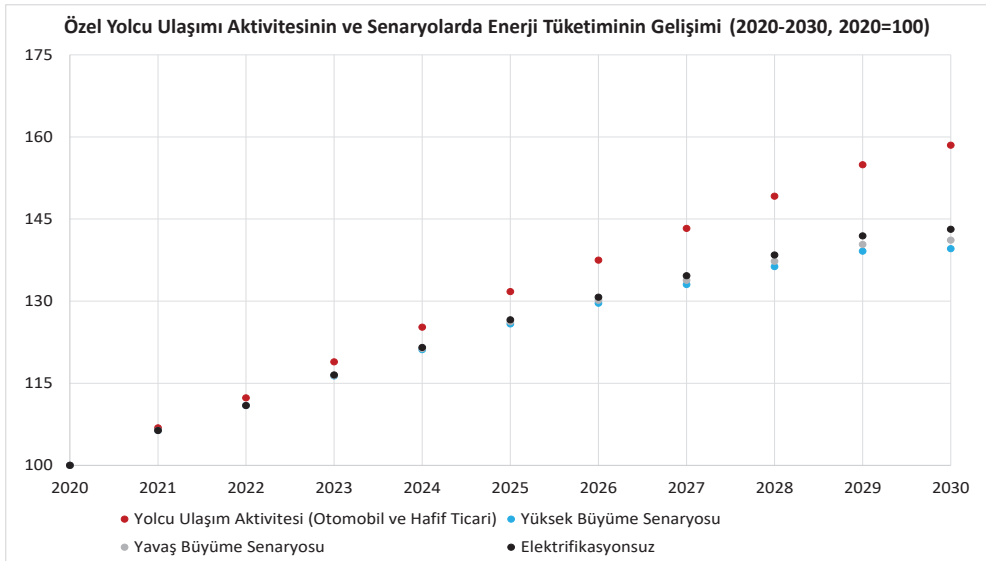
- Düşük Büyüme Senaryosunda, 2030 yılına kadar olan dönemde EA parkındaki büyüme hafif araçlar ve elektrikli toplu ulaşım araçlarındaki yaygınlaşma ile sınırlı kalmaktadır. 2030 yılında elektrifikasyon otomobil parkında %3, hafif ticari araç parkında %2 olarak gerçekleşmektedir.
- Teknolojik gelişim fırsatlarının daha etkin değerlendirilebildiği, altyapıda daha esnek, yaygın ve hızlı gelişimin sağlanabildiği Yüksek Büyüme Senaryosunda ise hafif araçlarda ve toplu yolcu taşımacılığında daha güçlü elektrifikasyona ek olarak yük taşımacılığında elektrikli araç parkı da HYHA teknolojilerinin kullanımı yoluyla 2030 yılı öncesinde gelişmeye başlamaktadır. 2030 yılına gelindiğinde EA'lar, otomobil parkında %7, hafif ticari araç parkında %5, toplu ulaşım araç parkında %2, ağır ticari yük taşımacılığı araç parkında ise binde 2 paya ulaşmaktadır (Şekil 5.5).

5.3. Senaryo Sonuçları

5.3.1. Enerji Verimliliğine Etkiler ve Enerji Tüketiminin Gelişimi

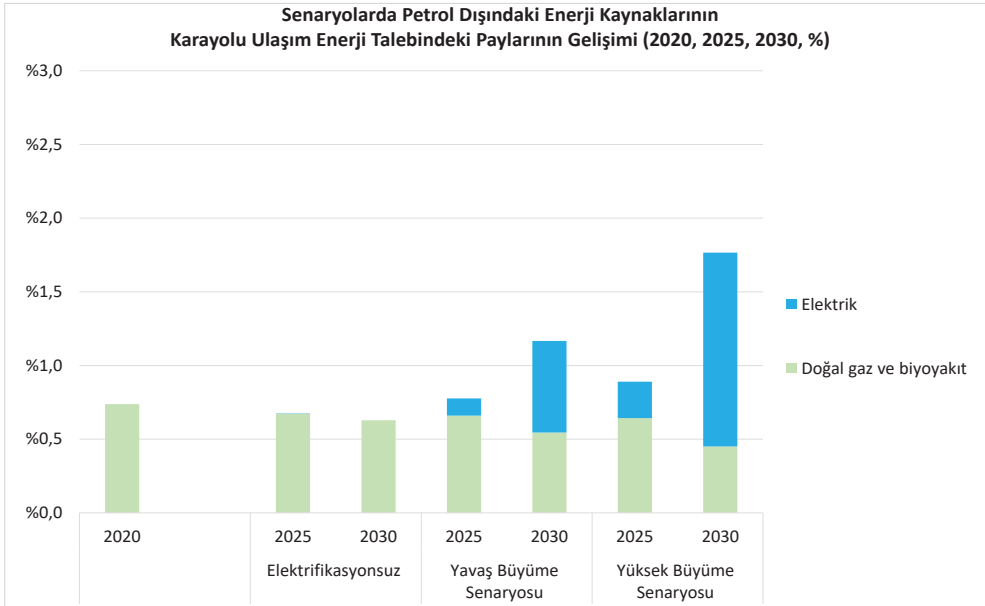
IICEC Senaryolarında 2020-2030 döneminde özel ulaşım aktivitesinde %58 ve hafif araç parkında %74 artışa karşın, Yüksek Büyüme Senaryosunda özel ulaşım enerji tüketimi %40 artmaktadır. IICEC Senaryolarında modlar arası geçişler ve İYMA parkının yenilenmesi yoluyla yakıt ekonomisinde iyileştirmeler de karayolu ulaşımında enerji verimliliğini yükseltmektedir. Yüksek Büyüme Senaryosunda enerji yoğunluğunda azalmanın %80'i bu yöndeki gelişmelerden sağlanmaktadır (Şekil 5.6).

Şekil 5.6. Özel Yolcu Ulaşımı Aktivitesinin ve Senaryolarda Enerji Tüketiminin Gelişimi (2020-2030, 2020=100)



Elektrik enerjisi 2030 yılında Yüksek Büyüme Senaryosunda karayolu ulaşım enerji talebinin binde 15'ini sağlamaktadır. Doğal gaz ve biyoyakıtlar da eklendiğinde, petrole alternatif yakıtlar enerji talebinin yaklaşık %2'sini karşılamaktadır (Düşük Büyüme Senaryosunda toplam binde oniki) (Şekil 5.7). Hafif araç parkında elektrifikasyon hızının artması ve EA'ların yük taşımacılığına entegrasyonu ile birlikte 2030 sonrası dönemde bu oranlarda daha hızlı yükselişler sağlanabilecektir. Petrol ürünlerinin artan oranlarda ikamesi, Türkiye'nin büyük bölümü ithalata dayalı olan petrol faturasının azaltılması hedeflerine ve enerji güvenliğine katkı sunacaktır.

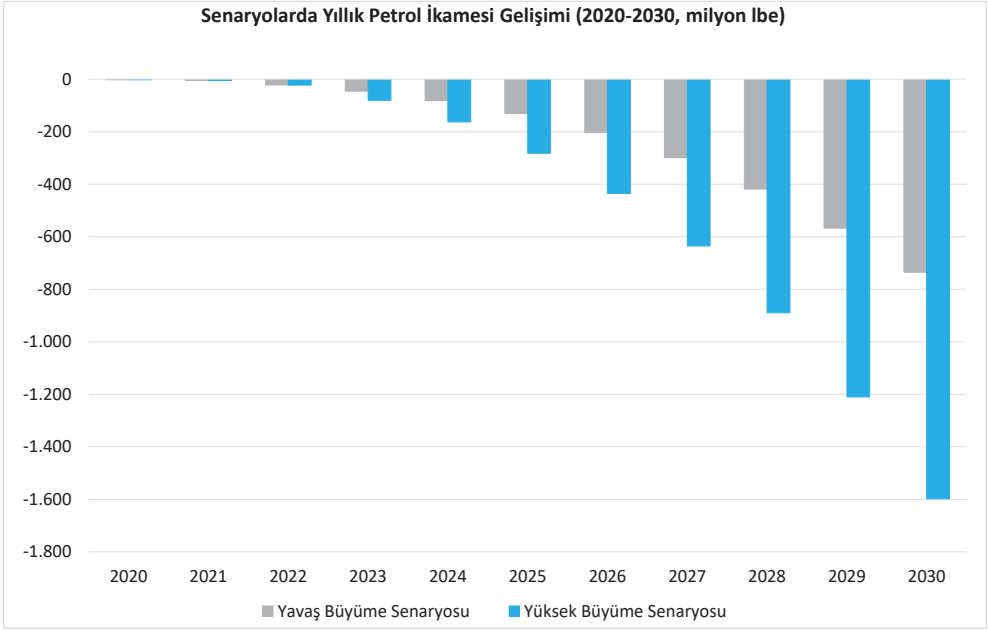
Şekil 5.7. Senaryolarda Petrol Dışındaki Enerji Kaynaklarının Karayolu Ulaşım Enerji Talebindeki Paylarının Gelişimi (2020, 2025, 2030, %)



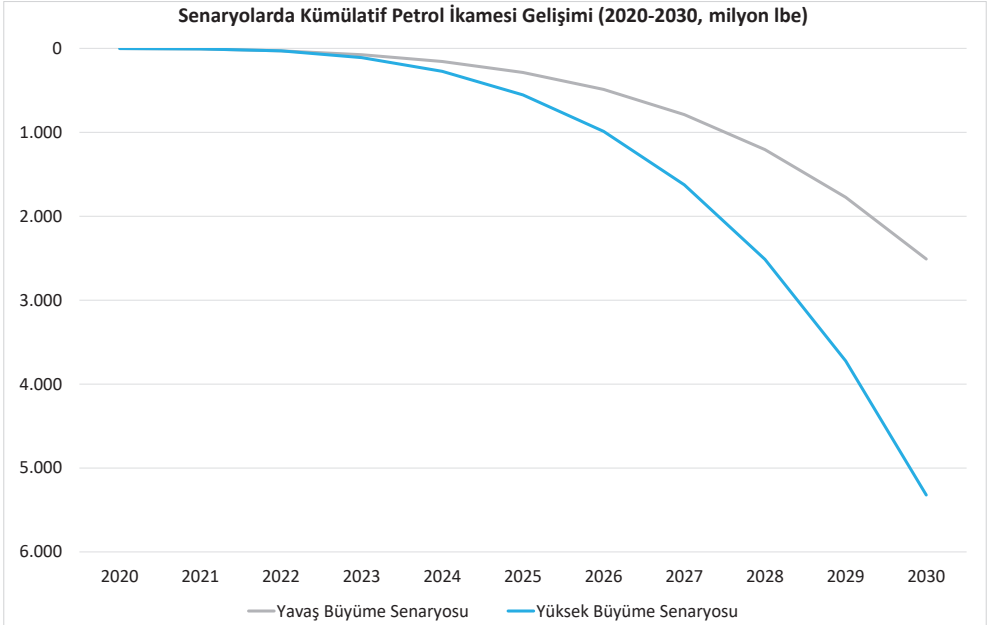
5.3.2. Petrol Tüketimine Etkiler

Yavaş Büyüme Senaryosunda 2025 ve 2030 yıllarında 130,5 milyon lbe/yıl ve 75,2 milyon lbe/yıl olan petrol ikamesi, Yüksek Büyüme Senaryosunda 2025 yılında 281,9 milyon lbe ve 2030 yılında 1597,7 milyon lbe/yıl'a çıkmaktadır. Yüksek Büyüme Senaryosunda 2020-2030 döneminde EA'ların gerçekleştirdiği kümülatif petrol ikamesi 5.322 milyon lbe seviyesine ulaşmaktadır (Düşük Büyüme Senaryosunda 2.510 milyon lbe) (Şekil 5.8 ve Şekil 5.9). 2020 yılında ulaştırma sektörünün toplam enerji tüketiminin altıda-birini eşit olan bu miktar, sanayi sektörünün mevcut petrol tüketim miktarının %11 üzerindedir.

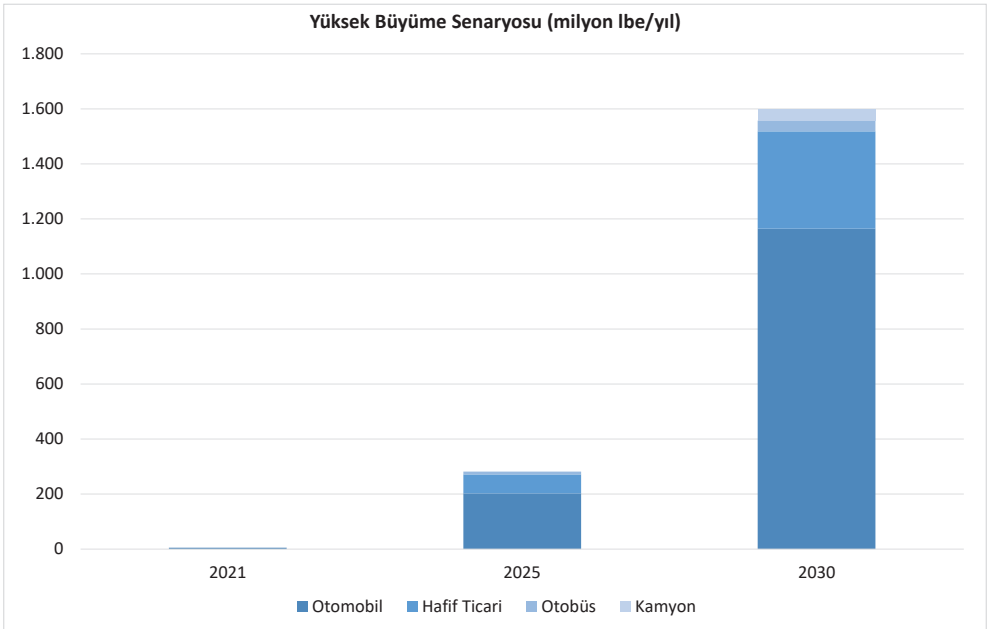
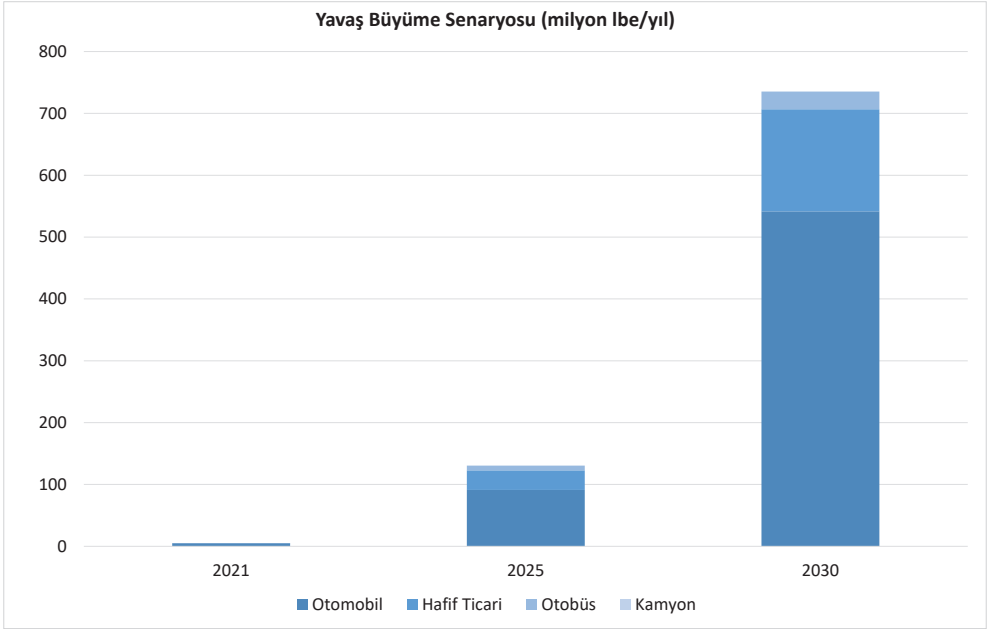
Şekil 5.8. Senaryolarda Yıllık Petrol İkamesi Gelişimi (2020-2030, milyon lbe)



Şekil 5.9. Senaryolarda Kümülatif Petrol İkamesi Gelişimi (2020-2030, milyon lbe)



**Şekil 5.10. Senaryolarda Petrol İkamesinin Araç Türlerine Göre Gelişimi
(2021, 2025, 2030, milyon lbe/yıl)**



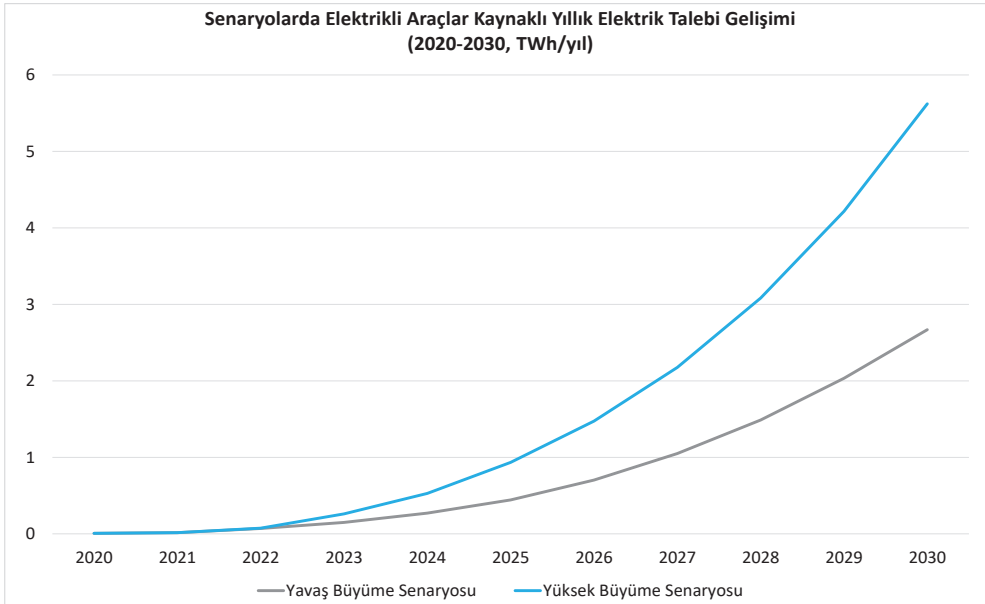
Her iki senaryoda da, 2030 yılında toplam petrol ikamesinin yaklaşık %70'i otomobillerde gerçekleşmektedir. 2030 yılında Yavaş Büyüme Senaryosunda elektrikli toplu ulaşım yoluyla 30 milyon lbe tasarruf sağlanırken, bu rakam kentsel toplu taşımacılıkta EA'ların daha hızlı yaygınlaştığı Yüksek Büyüme Senaryosunda 40 milyon lbe seviyesine çıkmaktadır (Yüksek Büyüme Senaryosunda 2030 yılında toplam petrol ikamesinin %3'ü). Bu senaryoda kamyon parkında gelişmeye başlayan elektrifikasyon da petrol ikamesine benzer miktarda katkı sunmaktadır (Şekil 5.10).

5.3.3. Elektrik Talebine Etkiler

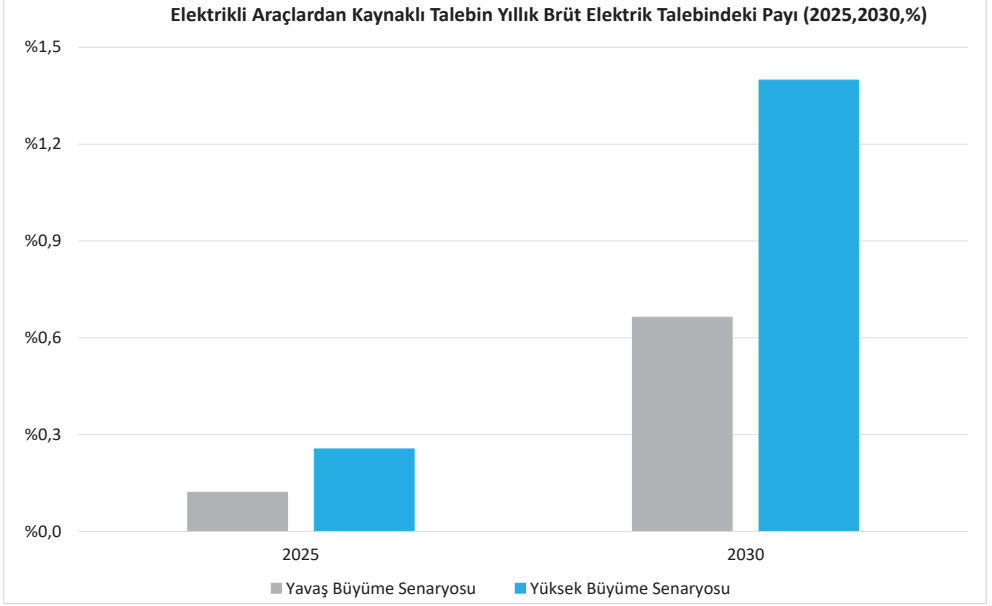
5.3.3.1. Yıllık Elektrik Enerjisi Talebine Etkiler

EA'ların yıllık elektrik talebi, Yüksek Büyüme Senaryosunda 2025 yılında yaklaşık 1 TWh, 2030 yılında 5,6 TWh seviyesinde gerçekleşmektedir (Düşük Büyüme Senaryosunda 0,4 TWh ve 2,7 TWh). EA parkının 2 milyona ulaştığı Yüksek Büyüme senaryosunun bu talebi, Türkiye'nin 2030 yılı için öngörülen toplam elektrik talebinin binde ondördüne karşılık gelmektedir (Şekil 5.11 ve Şekil 5.12).

Şekil 5.11. Senaryolarda Elektrikli Araçlar Kaynaklı Yıllık Elektrik Talebi Gelişimi (2020-2030, TWh/yıl)



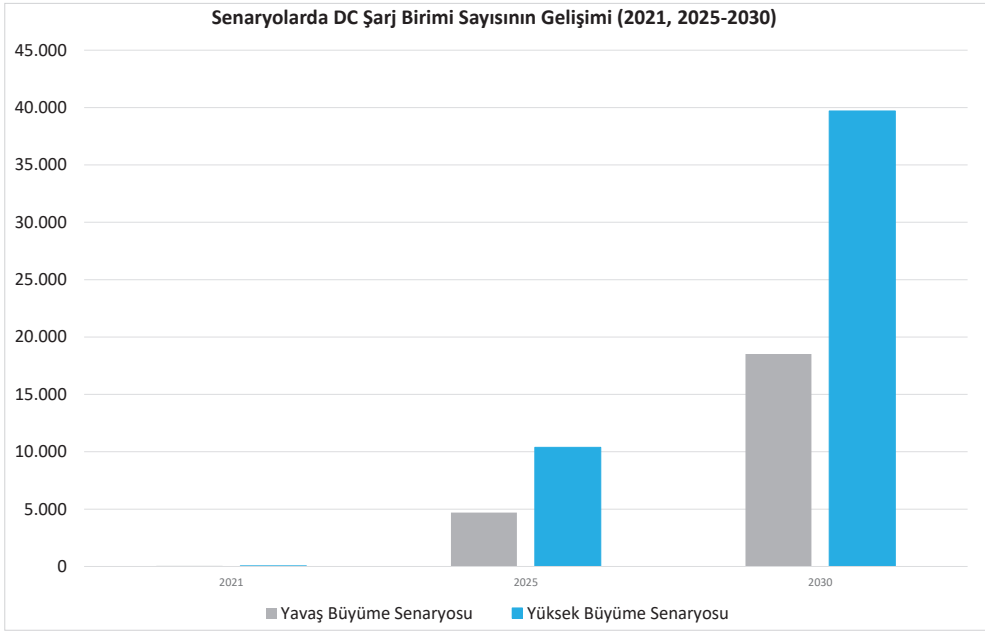
Şekil 5.12. Elektrikli Araçlardan Kaynaklı Talebin Yıllık Brüt Elektrik Talebindeki Payı (2025, 2030, %)



5.3.3.2. Değişken Elektrik Talebi ve Şebeke Dinamiklerine Etkiler

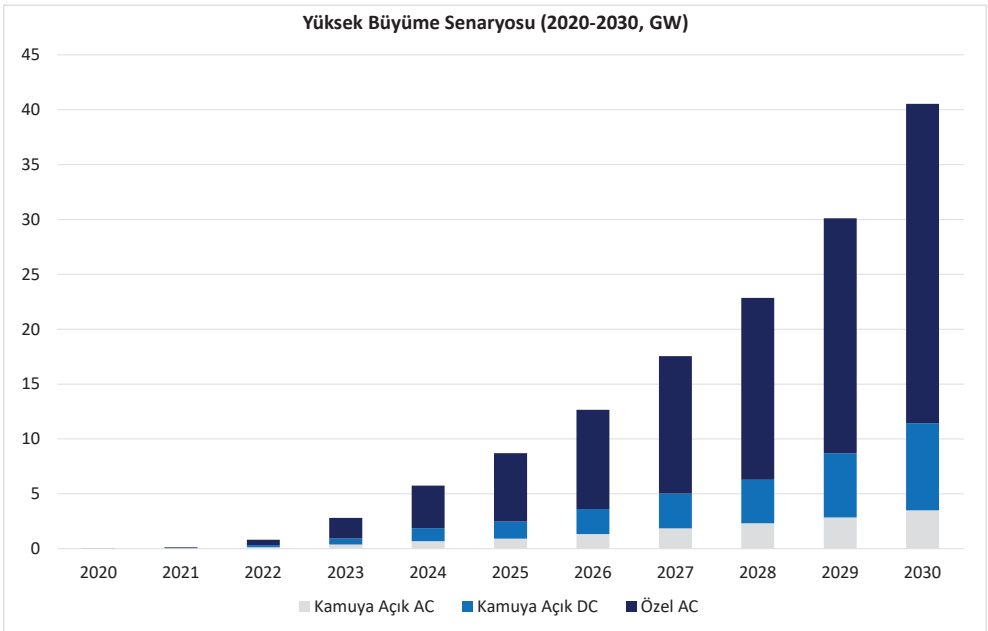
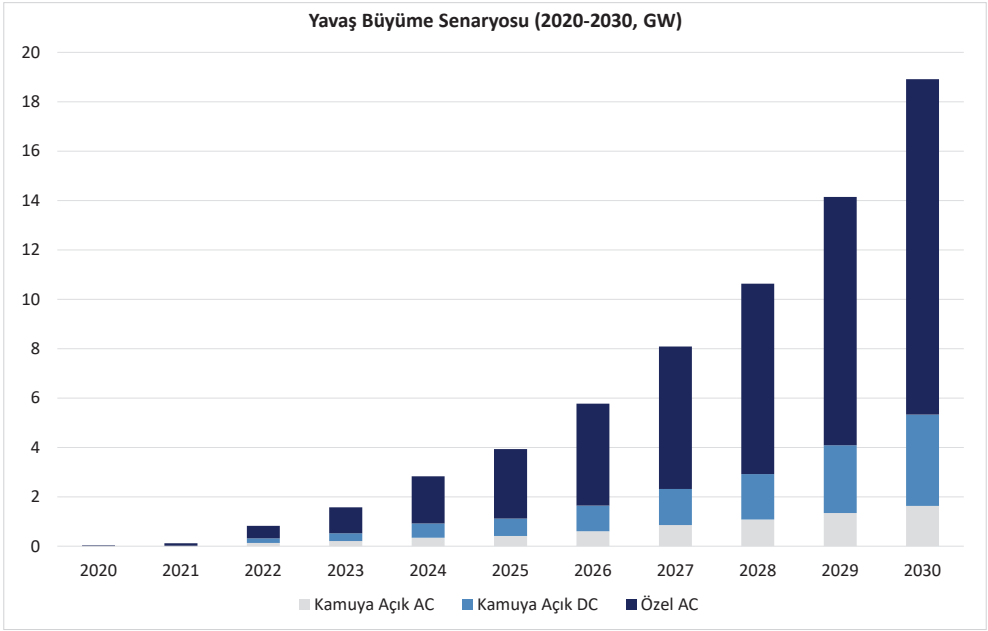
EA'ların elektrik sistemine esas etkisi, şarj talebinden kaynaklı dalgalı ve değişken yük karakteristiklerinin talep eğrisi üzerinde yaratacağı değişimlerdir. IICEC Senaryolarında, 2030 yılına doğru kamuya açık şarj ünitesi başına 8 EA düşeceği ve bu ünitelerin %20'sinin DC olması perspektifi dikkate alınmıştır. DC şarj birimi sayısının 2030 yılında Yavaş Büyüme Senaryosunda 18.500, Yüksek Büyüme Senaryosunda ise yaklaşık 40.000 olacağı hesaplanmaktadır (Şekil 5.13). Şarj envanteri, 2030 yılında Yavaş Büyüme Senaryosunda 710.000'e, Yüksek Büyüme Senaryosunda ise 1,5 milyona ulaşmaktadır. Şarj altyapılarının talep edeceği güç miktarı ise 2030 yılında Yavaş Büyüme Senaryosunda 18,5 GW, Yüksek Büyüme Senaryosunda ise 40,5 GW olarak öngörülmektedir. (2025 yılında Yavaş Büyüme Senaryosunda 3,9 GW ve Yüksek Büyüme Senaryosunda 8,7 GW) (Şekil 5.14).

Şekil 5.13. Senaryolarda DC Şarj Birimi Sayısının Gelişimi (2021, 2025, 2030)



Türkiye'nin puant elektrik talebindeki büyüme dikkate alındığında, özellikle yüksek büyüme patikasında 2025 yılı sonrası dönemde dağıtım şebekelerine etkilerinin esnek ve verimli çözümler yoluyla yönetilmesinin E-mobilite ekosisteminde daha belirgin bir öncelik konumuna gelmesi beklenmektedir. Bu etkinin sistem seviyesinde boyutunu değerlendirebilmek üzere EA'ların gün içinde şarj patenlerine ilişkin iki örnek durumun etkisi, makro bir bakış açısı ile incelenmiştir (Şekil 5.15). Bu örneklerde Yüksek Büyüme Senaryosunda EA'lar kaynaklı ek talep, 2030 yılında öngörülen puant talebe %3-5 mertebesinde ek talep getirebilecektir. Mevcut araç parkının bölgesel dağılımı ve mobilite aktivitesindeki bölgesel farklılıklar değerlendirildiğinde, EA parkındaki büyümenin, sosyo-ekonomik faktörlerin de etkisiyle yine benzer bir bölgesel gelişim trendi izlemesi beklenebilir. Özellikle nüfus yoğunluğu ve elektrik talebi yüksek olan yerlerde, EA kaynaklı ek talebin puanta etkisi daha yüksek gerçekleşecektir. EA'ların şebekeye entegrasyonunun, uzun vadeli planlama yaklaşımları ve dağıtım şebeke işletmeciliğinde teknolojik çözümler ile yönetilmesi kritik olacaktır.

Şekil 5.14. Senaryolarda Şarj Birimlerinin Güç Talebi (2020-2030, GW)



Şekil 5.15. 2030 Yılında EA'ların Türkiye Puant Talebine İndikatif Etkisi (GW)



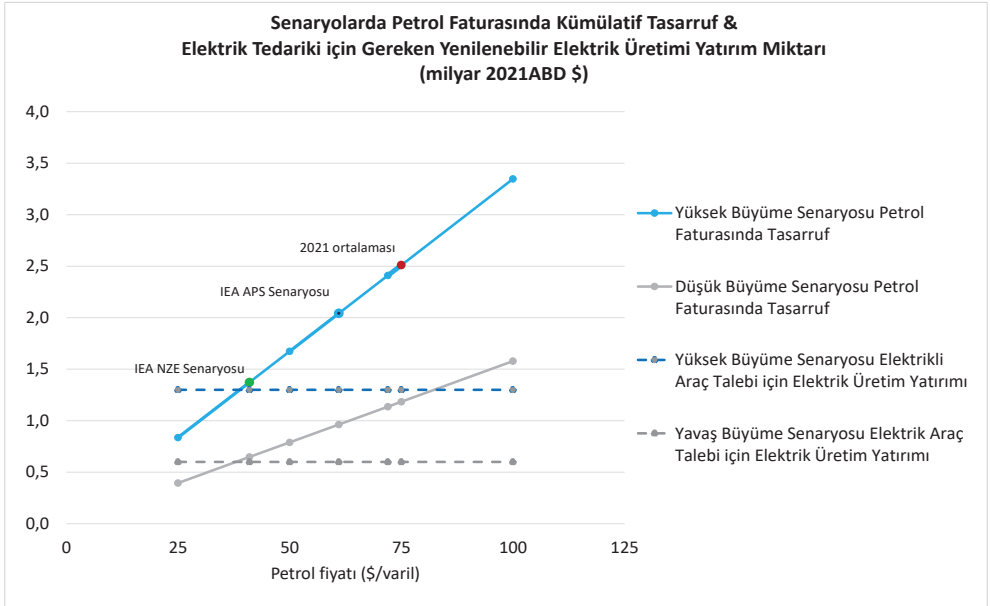
EA'lar petrol tüketimini elektrik enerjisi ile ikame ederken, Türkiye enerji ekonomisinde makro perspektiften önemli kazanımları beraberinde getirmektedir. Farklı fiyat seviyelerinde⁴, petrol faturasında sağlanacak tasarruf miktarı Şekil 5.16'da sunulmaktadır. Yüksek Büyüme Senaryosu, 2021 yılı ortalama Brent petrol seviyesinde, 2030 yılına kadar olan dönemde 2,5 milyar ABD\$ azaltım sağlayabilmektedir (Düşük Büyüme Senaryosunda 1,2 milyar ABD \$). Bunu destekleyecek yenilenebilir elektrik üretim yatırımı 1.3 milyar ABD\$ olacaktır (Tüm rakamlar 2021 reel fiyatlarıyla).

5.3.4. Sera Gazı Emisyonlarına Etkiler

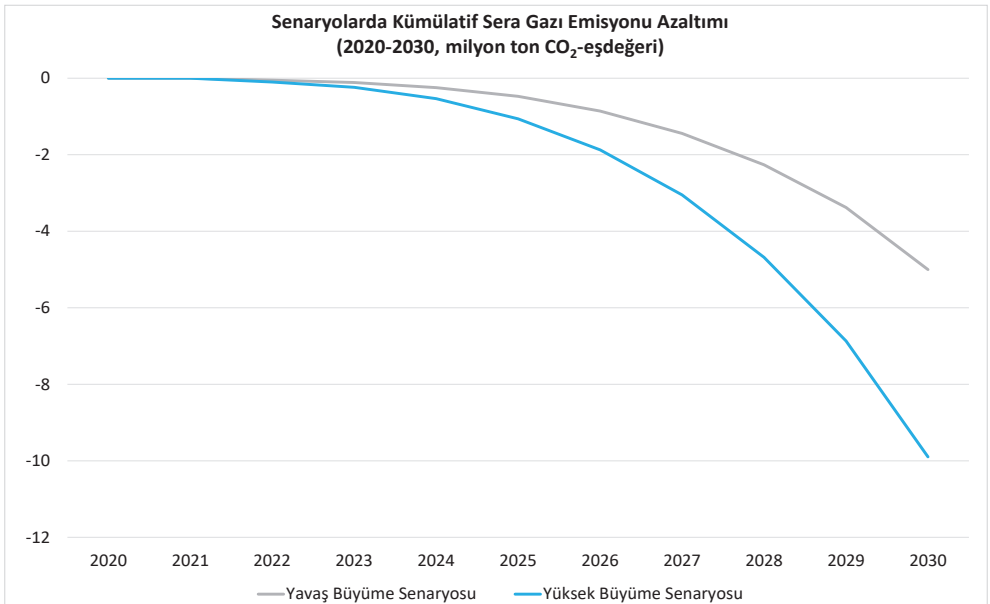
Karayolu ulaşımından kaynaklı sera gazı emisyonları, elektrifikasyonun gerçekleşmediği durumda 2020-2030 döneminde dörtte-bir oranında artmaktadır. Bu artış, Yüksek Büyüme Senaryosunda beşte-bire düşmektedir. Yüksek Büyüme Senaryosunda 2030 yılına kadar olan dönemde sera gazı emisyonlarındaki kümülatif azaltım 10 milyon ton CO₂-eşdeğerine ulaşmaktadır (Düşük Büyüme Senaryosunda 5 milyon ton CO₂-eşdeğeri) (Şekil 5.17). Sektörün mevcut emisyonlarının %13'üne karşılık gelen bu değer, tarımdaki mevcut emisyon miktarına, çelik endüstrisi mevcut emisyonlarının ise iki katına eşittir.

⁴ IEA NZE: Net Zero Emissions Scenario; IEA APS: Announced Pledges Scenario.

Şekil 5.16. Senaryolarda Petrol Faturasında Kümülatif Tasarruf & Elektrik Tedariki için Gereken Yenilenebilir Elektrik Üretimi Yatırım Miktarı (milyar 2021 ABD\$)

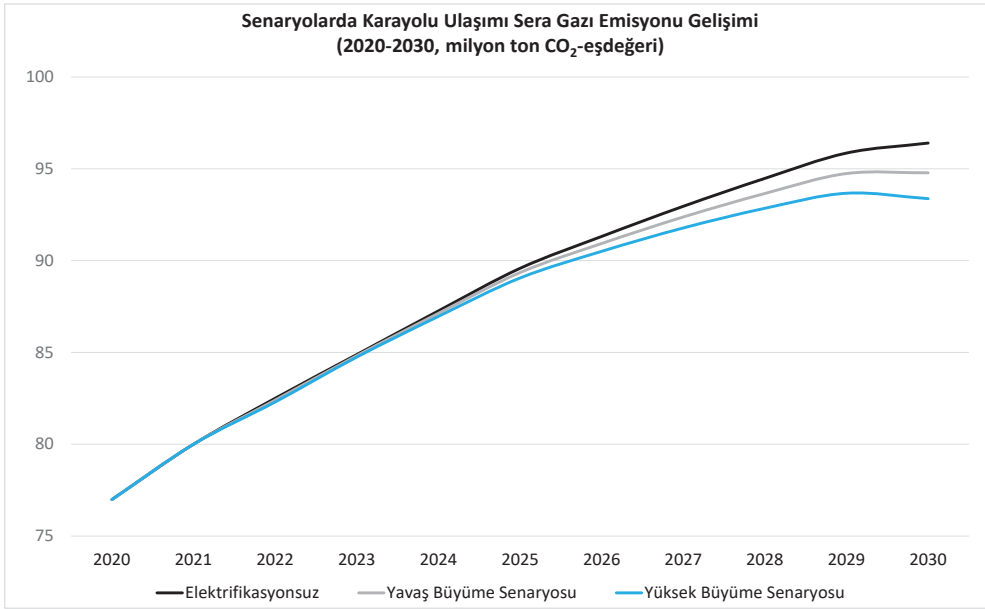


Şekil 5.17 Senaryolarda Kümülatif Sera Gazı Emisyonu Azaltımı (2020-2030, milyon ton CO₂-eşdeğeri)

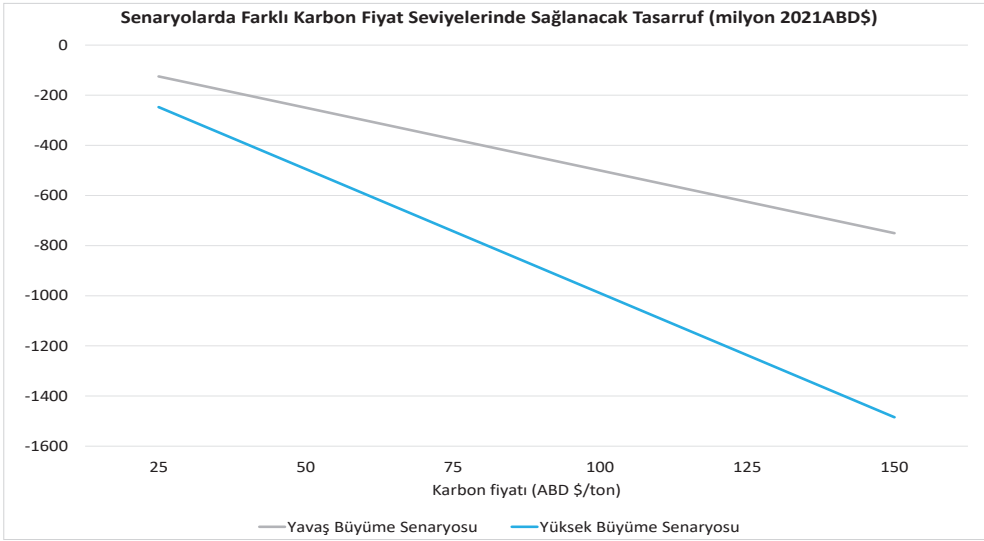


Yüksek Büyüme Senaryosu temiz enerji dönüşümü perspektifi bakımından önemli bir dönüşüme hizmet etmektedir. Karayolu ulaşım emisyonları, Düşük Büyüme Senaryosunda 2030 yılında artmaya devam ederken, Yüksek Büyüme Senaryosunda 2029 yılında en yüksek seviyesinden azalım patikasına geçerek, net-sıfır emisyon perspektifine uyumlu enerji geleceğini desteklemektedir (Şekil 5.18). Emisyon azaltımına katkılar, potansiyel karbon fiyatlandırma mekanizmalarının işlerlik kazanması durumunda ekonomik önemini pekiştirecektir. Örneğin, karbon fiyatları için 50 ABD\$/ton düzeyinde bir hesaplama yapıldığında, Yüksek Büyüme Senaryosunun tasarruf miktarı 500 milyon ABD\$ seviyesinde gerçekleşecektir (Şekil 5.19).

**Şekil 5.18. Senaryolarda Karayolu Ulaşımı Sera Gazı Emisyonu Gelişimi
(2020-2030, milyon ton CO₂-eşdeğeri)**



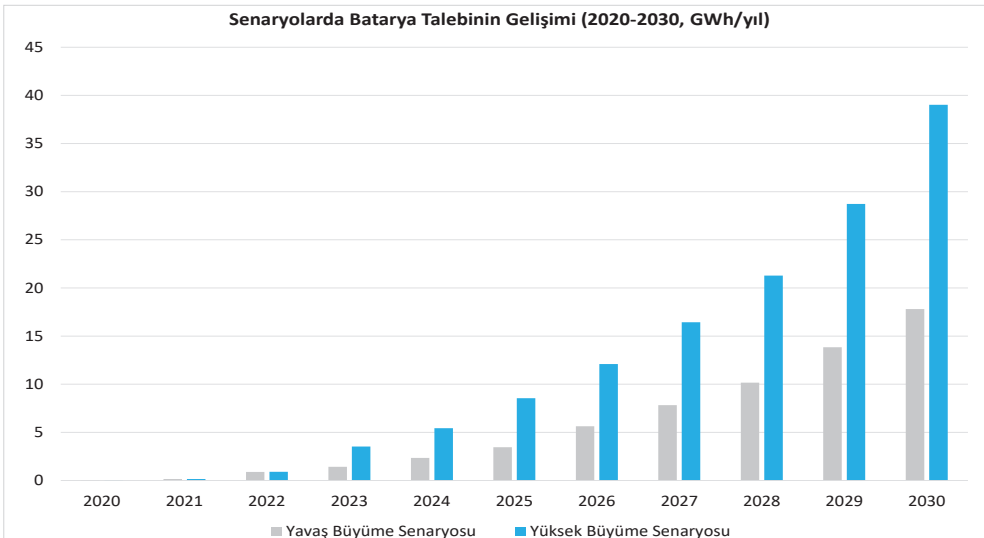
Şekil 5.19. Senaryolarda Farklı Karbon Fiyat Seviyelerinde Sağlanacak Tasarruf (milyon 2021 ABD\$)



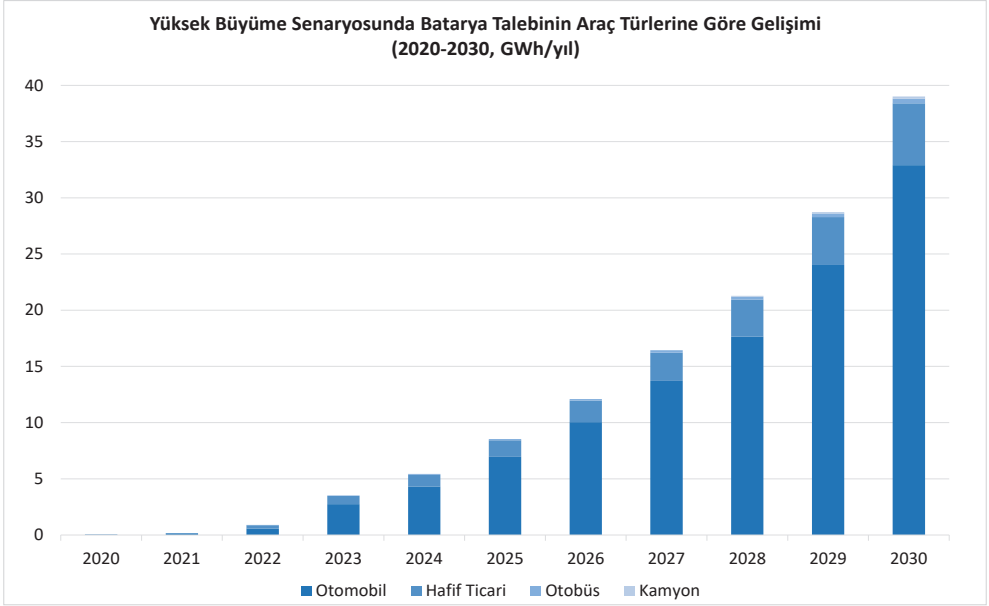
5.3.5. Batarya Talebinin Gelişimi

EA'larda büyümeye paralel olarak batarya talebi de artış gösterecektir. Düşük Büyüme Senaryosunu destekleyecek batarya talebi 2030 yılında 17,8 GWh olurken, Yüksek Büyüme Senaryosunda 39 GWh/yıl olarak gerçekleşecektir. Bu talebin %85'i otomobillerden gelecektir (yaklaşık 33 GWh/yıl) (Şekil 5.20 ve Şekil 5.21).

Şekil 5.20. Senaryolarda Batarya Talebinin Gelişimi (2020-2030, GWh/yıl)



**Şekil 5.21. Senaryolarda Batarya Talebinin Gelişimi
(2020-2030, GWh/yıl)**



5.3.6. Senaryoların Özeti

IICEC Senaryolarının temel bulguları Tablo 5.1'de özetlenmektedir.

Tablo 5.1. Senaryoların Özeti

Temel Göstergeler		Yavaş Büyüme Senaryosu		Yüksek Büyüme Senaryosu	
	2021	2025	2030	2025	2030
Elektrikli Araçların Pazar Payı (%)					
otomobil	<%1	4	16	10	35
hafif ticari	0%	4	16	10	35
minibüs ve otobüs	0%	20	30	25	50
kamyon	0%	0	0	0	15
Elektrikli Araçların Araç Parkındaki Payı (%)					
otomobil	<%1	1	3	1	7
hafif ticari	0%	<1%	2	1	5
minibüs ve otobüs	0%	<1%	1	<1%	2
kamyon	0%	0	0	0	<1
Batarya Talebi (GWh)	<1	3,5	17,8	8,5	39,0
2030 yılına kadar					
Kümülatif Petrol İkamesi (milyar lbe)		2,5		5,3	
Petrol Faturasında Azaltım (milyar 2021 ABD\$)*		1,2		2,5	
Sera Gazı Emisyonu Azaltımı (milyon ton CO ₂ -eşdeğeri)		5,0		99	

*2021 ortalama Brent fiyatları ile

5.3.7. Diğer Analizler

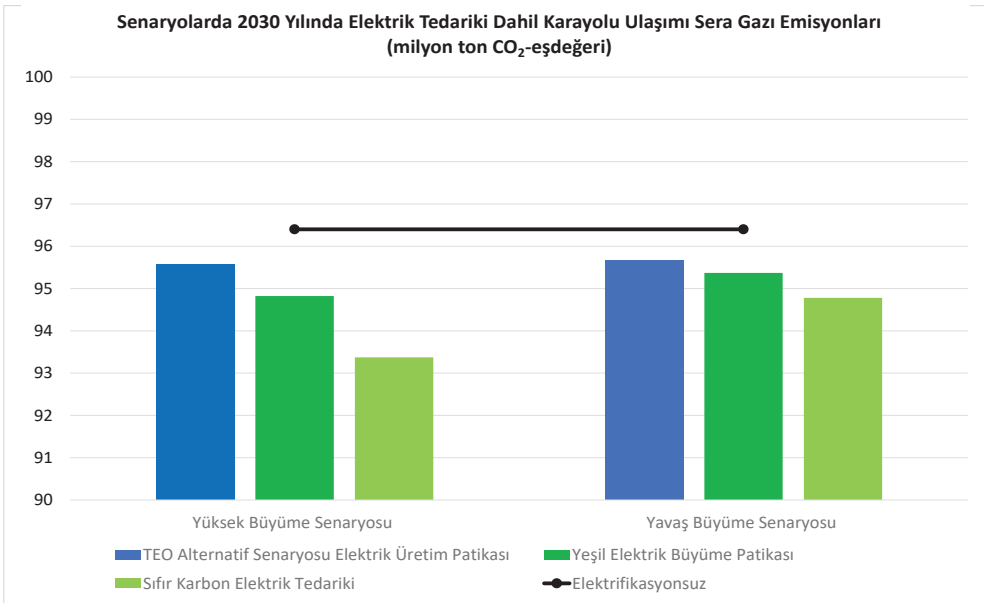
● Elektrik Üretimi Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Etkisi

Karayolu ulaşımında elektrifikasyonun sera gazı envanteri, elektrik tedarikinden kaynaklı emisyonlar da hesaplanarak irdelenmiştir. 2030 yılında Düşük Büyüme Senaryosunda, karayolu ulaştırma sektöründe 94,8 milyon ton olan CO₂-eşdeğeri emisyonlar, TEO Alternatif Senaryosu elektrik üretim patikasında şebeke elektriğinin emisyonu eklendiğinde 95,7 milyon tona, elektrik üretiminde nükleer ve yenilenebilir kaynakların payının üçte-ikiye ulaştığı bir yeşil elektrik büyüme patikasında şebeke elektriğinin emisyonu eklendiğinde 95,6 milyon tona ulaşmaktadır. Yüksek büyüme senaryosunda bu değerler sırasıyla 93,4 milyon ton, 95,6 milyon ton ve 94,8 milyon ton olarak gerçekleşmektedir. (Elektrifikasyonsuz gelişimde 96,4 milyon ton) (Şekil 5.22).

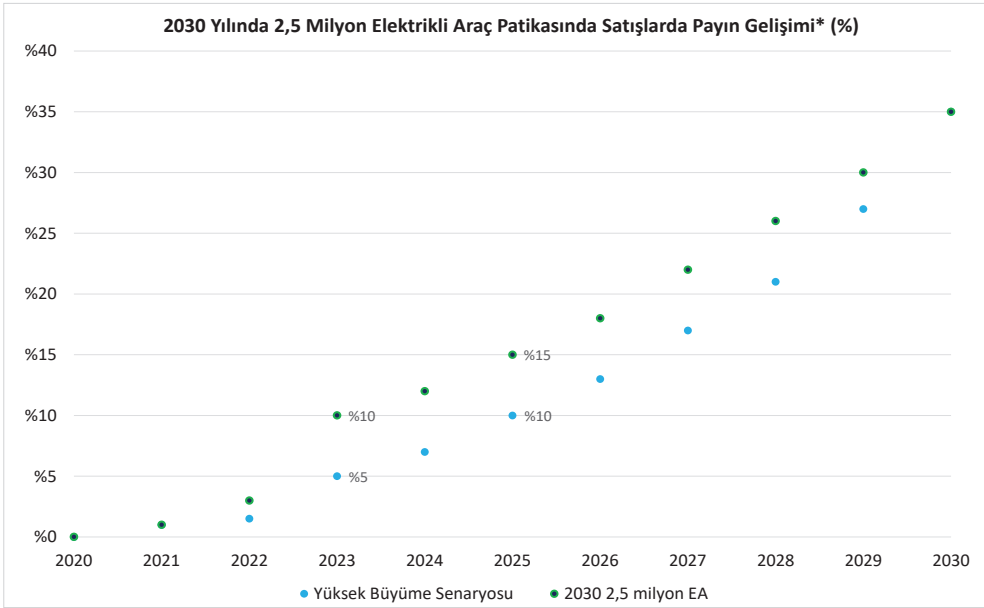
● 2030 yılında 2,5 milyon EA

Bölüm 5.1’de belirtildiği gibi, 2030 yılında 2,5 milyon araçlık bir park bu çalışmanın temel senaryoları içerisinde irdelenmemiş olmakla birlikte, enerji ve emisyon performansına etkileri, bu hedefi gerçekleştirecek bir büyüme patikası üzerinden analiz edilmiştir (Şekil 5.23). Şekil 5.24’te sunulduğu gibi, bu iddialı patika 2030 yılına kadar olan dönemde, Yüksek Büyüme Senaryosuna kıyasla, kümülatif sera gazı emisyonlarında %40, petrol faturasında %36 daha fazla azaltım sağlayabilmektedir (Yüksek Büyüme Senaryosuna Göre EA parkında 2030 yılında %25 artış ile).

Şekil 5.22. Senaryolarda 2030 Yılında Elektrik Tedariki Dahil Karayolu Ulaşımı Sera Gazı Emisyonları (milyon ton CO₂-eşdeğeri)

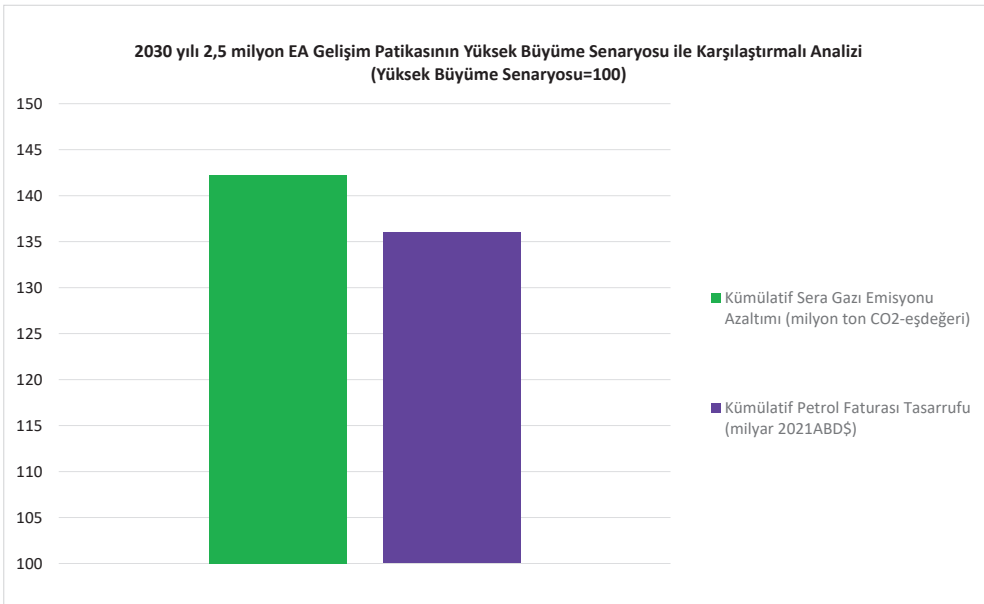


Şekil 5.23. 2030 Yılına 2,5 Milyon Elektrikli Araç Patikasında Satışlarda Payın Gelişimi* (%)



Not: Otomobiller ve hafif ticari araçlar

Şekil 5.24. 2030 yılı 2,5 milyon EA Gelişim Patikasının Yüksek Büyüme Senaryosu ile Karşılaştırmalı Analizi (Yüksek Büyüme Senaryosu=100)



5.4. Gelişim Alanları, Fırsatlar ve IICEC Önerileri

5.4.1. Genel Politika Çerçevesinde Gelişim Alanları ve Fırsatlar

Bölüm 3'te genel trendleri ve uygulama örnekleri sunulduğu üzere, dünya genelinde EA'lar ve e-mobilite ekosisteminde büyüme ve gelişim perspektifi, araç parkında dönüşümü ve elektrifikasyonun hızını yönlendiren somut politika hedefleri çerçevesinde hayata geçirilmektedir. Son dönemde bu hedefler, enerji sektöründe net-sıfır emisyon hedefleri ile bu hedeflere ulaşılmasını sağlayacak temiz enerji dönüşümü yol haritaları içerisinde konumlandırılarak güçlendirilmektedir. Türkiye'de de EA'larda sürdürülebilir ve güçlü büyüme, kamu, özel sektör, akademi iş birlikleri içerisinde, temiz enerjiyi odağına alan somut ve ulaşılabilir politika hedefleri ile desteklenen, uzun vadeli yol haritalarının hayata geçirilmesi ile sağlanabilecektir.

Türkiye, 2021 yılında Paris Anlaşmasının onaylanması ile temiz enerji dönüşümünde yeni bir döneme girmiştir. COP26 çerçevesinde, sıfır emisyonlu araçlara geçişi destekleyen bildirgenin sahiplenilmiş olması da, karayolu ulaşımında yüksek elektrifikasyon hedeflerinin ve beklentilerinin önemli bir işaretidir. Mobilite Araç ve Teknolojileri Strateji Yol Haritası taslağı, 2030 yılına kadar olan dönemde EA'ların satışlarda %35 paya çıkmasını ve yaklaşık 2,5 milyon EA parkına ulaşılmasını öngörmektedir. EA ve batarya teknolojilerinin üretiminden EA'ların kullanımının yaygınlaşmasını temin edecek teşviklere ve E-mobilite ekosisteminin genelinde yüksek yerlilik oranlarına ulaşılmasına kadar pek çok alanda yeni mekanizmalara ve iş modellerine işlerlik kazandırılmasını hedefleyen bu stratejik yaklaşım, net sıfır emisyon hedefi ile bağlantılı ve kapsamlı yol haritalarının oluşturulmasında önemli bir baz teşkil edecektir.

Dünyadaki iyi uygulama örneklerine benzer şekilde, verimlilik, rekabetçilik ve çevresel sürdürülebilirlik prensipleri temelinde, E-mobilite ekosisteminin tamamında teknolojik gelişmeleri destekleyici, enerji ve mobilite kullanıcıları odaklı somut mekanizmaların geliştirilmesi, elektrikli araçlarda çok boyutlu faydalar sunacak dönüşümü hızlandıracak ve güçlendirecektir. Aşağıda sunulan gelişim alanlarında sağlanacak iyileştirmeler, bu çalışmada somut enerji çevre performans göstergeleri ile sunulduğu üzere, enerji yoğun karayolu ulaşımını daha verimli bir düzleme taşıyacak, petrol tüketimini ve ithalatını azaltacak, çevresel performansı iyileştirmeye ve iklim değişikliğine yönelik hedeflere sağlayacağı katkılar ile Türkiye'nin daha güvenli ve temiz enerji geleceğini destekleyecektir.

5.4.2. Otomotiv Endüstrisinde Gelişim Alanları ve Fırsatlar

- **Otomotiv iç pazarında büyüme potansiyelini değerlendirecek adımların atılması ve araç parkının verimli, çevreci dönüşümünün hızlandırılması**

Türkiye'de kişi başına otomobil ve araç sahipliği, Avrupa ortalamalarının üçte-biri seviyelerinde olmasına karşın yıllık satış hacimlerindeki son dönem gelişmeleri, araç parkında büyümeye ilişkin bu yüksek potansiyel ile uyumlu hızda seyretmemektedir.

Alım gücündeki gelişmeler, otomobil sahipliğinde belirleyici unsurlardan biri olmaya devam edecektir. Bununla birlikte, vergi düzenlemelerinin ve kredi kaynaklarına erişim koşullarının da pazarın büyüme hızı ve satış hacimlerinde önemli bir etkisi olduğu bilinmektedir. Araç alımında uygulanan tek seferlik vergilerin araçların kullanım ömrüne yayılacağı düzenlemelerin, verimli dönüşümü destekleyecek fayda-maliyet analizleri perspektifiyle çalışılması, pazarın büyüme potansiyelini daha yüksek hızda gerçekleştirebilecek bir politika ve piyasa seçeneği olarak düşünülebilir.

EA'lara ilişkin ÖTV düzenlemeleri, 2021 yılında gerçekleştirilen ani artışa karşın halen diğer araçlara göre avantajını korumaktadır. Bununla birlikte Türkiye'de, pek çok Avrupa ülkesinde uygulanan satın alma teşvikleri bulunmamaktadır. EA parkında hızlı bir büyümenin kullanıcı tarafında desteklenmesinde, düşük ÖTV uygulaması modelinin sürdürülmesine ek olarak, E-mobilitenin Türkiye'nin enerji dengelerine ve çevresel performansına sağlayacağı katkıları gözetken yeni çözümlere genel ekonomik dengeler içerisinde işlerlik kazandırılabilmesi önemli olacaktır.

Türkiye'nin artan karayolu ulaşım aktivitesinin enerji ve çevre performansının iyileştirilmesinde, petrol ürünlerine dayalı yeni araçların yakıt verimlilikleri ve EA'ların sağlayacağı fırsatlar tek başına yeterli olmayacaktır. Türkiye'nin AB ortalamasına göre daha yaşlı olan araç parkı, petrol ticaret dengelerinin iyileştirilmesi ve karayolu ulaşımının çevresel performansının geliştirilmesi için yüksek potansiyelli bir iyileştirme alanıdır. Araç parkının, özellikle büyük bölümü 25 yaşın üzerinde bulunan kamyon parkının, yeni ve yüksek verimli, dolayısıyla daha az kirlletici teknolojilerin piyasaya entegre edilebilmesini sağlayacak şekilde dönüşümünü temin edecek yeni düzenlemeler hayata geçirilmelidir. Çevresel kirlilik standartlarının, gerçekleştirilebilir bir takvim içerisinde planlanarak aşamalı olarak devreye alınması, Türkiye'nin araç parkının ortalama enerji ve çevre performansını yeni araçların yakıt ekonomisi ile uyumlu düzeye getirecek, etkili bir çözüm olabilecektir. Bu tür çözümlerin tasarlanmasında, enerji ekonomisi ve çevresel performansa ek olarak kullanıcı tarafında sosyal etkiler ve kamuoyu kabulü, otomotiv endüstrisi için istihdam ve büyüme kazanımları ile birlikte değerlendirilmelidir.

- **Otomotivden teknolojik mobiliteye dönüşüm hamlesiyle sürdürülebilir küresel ve bölgesel rekabetçiliğinin sağlanması**

Otomotiv iş kolu, tüm dünyada geniş kapsamlı bir mobilité sistemine evrilmektedir. Kişi başına otomobil ve araç sahipliği, iç pazardaki yüksek büyüme potansiyeline işaret ederken, Avrupa pazarlarında Fitfor55 stratejileri, Yeşil Mutabakat hedefleri ve takvimi, temiz enerji ve ulaşım da hızlı bir dönüşümün teşvikleri ve yeni finansman kaynakları ile desteklenmesi gibi yeni dinamikler içerisinde, Türkiye otomotiv endüstrisinin de iklim ve çevre hedefleri eksenli bir teknolojik dönüşümü için kritik bir döneme girilmiştir.

Otomotivde güçlü elektrifikasyon trendleri ekseninde gelişen küresel ve bölgesel rekabetçilik, Türkiye otomotiv endüstrisi için yeni teknolojiler ve daha yüksek değer odaklı bir dönüşüm hamlesinin önemini ortaya koymaktadır. Türkiye'nin sanayi üretimine ve ihracatına, imalat sanayide istihdama ve Ar-Ge'ye katkılarıyla öne çıkan otomotiv sektörünün bu dönüşümü rekabetçi ve sürdürülebilir şekilde gerçekleştirmesini destekleyecek bir yol haritasının, Türkiye'nin net sıfır emisyon hedefi perspektifi de gözetilerek çalışılmasının, sektörde bu yeni dinamiklere fırsata çevirmede önemli bir işleve sahip olabileceği düşünülmektedir.

Türkiye'nin bu yıl içerisinde COP26 çerçevesinde yeni araç satışlarında sıfır emisyonlu geleceğe geçişle ilgili uluslararası yaklaşımlara dahil olması, araç teknolojilerinin üretiminde ve araç parkının dönüşümünde çevreci, yüksek verimli tercihleri öne çıkaracak politika tercihleri ve büyüme potansiyeli yüksek bir piyasaya odaklı etkin teşvik uygulamalarının önemini artırmaktadır. Son dönemde TOGG ve Ford Otosan tarafından elektrikli araç üretiminde sürdürülen yatırımlar, yerli üretim kabiliyetlerinin artırılmasıyla ve küresel trendlerin yakalanmasıyla otomotivde ve geleceğin mobilite dünyasında sürdürülebilir rekabetçiliğin temin edilmesi bakımından büyük önemdedir. Bu öncü yatırımlar, iklim hedefleri, dijitalleşme ve insan kaynağı gelişimini odağına alan bir teşvik kurgusu içerisinde önümüzdeki dönemde Türkiye pazarında yeni yatırım fırsatlarının gelişimine de zemin oluşturabilecektir (Avcı, 2021). Güçlü insan kaynağı altyapısının sürdürülebilirliği ve geleceğin mobilite dünyasının gerektirdiği yeteneklerin kazanılması, dijitalleşmenin getirdiği yeni fırsatlardan yararlanılabilmesi ile birlikte bu kritik dönüşümün ana ekseninde konumlanması gereken diğer stratejik başlıklardır.

5.4.3. Şarj Altyapısında Gelişim Alanları ve Fırsatlar

- **Şarj faaliyetleri için serbest piyasa ve kullanıcı odaklı düzenleme çerçevesinin oluşturulması**

Şarj altyapısında gelişim, son dönemde bu alana yapılan yatırımlarla EA parkındaki büyümenin önünde gitmekle birlikte, bu ivmenin 2022 yılından itibaren araç parkının elektrifikasyonunda gerçekleşecek ve özellikle 2025 yılından sonra daha da hız kazanacak büyümeyi destekleyecek şekilde güçlendirilmesi kritiktir.

Şarj altyapıları ve piyasa kurgusuna ilişkin birincil mevzuat kurgusu düzenleyici çerçevenin ana prensiplerini tanımlamaktadır. Şarj operatörleri için lisans düzenlemeleri getiren, ilgili fiyatların da belirli bir metodolojiye göre belirlenmesini öngören çerçevenin, yatırımlara hız kazandıracak şekilde, serbest piyasa kurgusunu ve işleyişini esas alan, teknoloji odaklı ikincil düzenlemeler ile 2022 yılı içerisinde tamamlanması, E-mobilite ekosisteminin düzenleyici çerçevesinin oluşmasında belirleyici bir adım olacaktır. Kullanıcı odaklı bir yaklaşımın esas alındığı bir yaklaşım, yatırımlarda geri dönüşleri ve sürdürülebilirliği de temin etmelidir. Öngörülen platform mekanizması, dijitalleşme fırsatlarından yararlanarak şarj altyapılarına erişimde şeffaflığı, kullanıcı deneyimini ve memnuniyetini güçlendirmede faydalı bir işleve sahip olabilecektir.

- **Şarj altyapılarında öngörülebilir ve sürdürülebilir yatırım ortamının temin edilmesi**

Şarj birimlerinin konumlarına ve kapasitelerine ilişkin planlamaların, dünyadaki iyi uygulama örneklerine benzer şekilde, kentsel planlama faaliyetleri, yapı stokunun gelişimi, bina mimarilerinin özellikleri ve elektrik şebeke yatırım planlamaları ile koordinasyon içerisinde geliştirilmesi önem taşıyacaktır. Özellikle DC altyapısındaki gelişim ihtiyacı, talep öngörülleri ve büyüme perspektifi ile birlikte planlanarak, en verimli şekilde yönetilmelidir. Özellikle araç trafiğinin yoğun olacağı kritik arterlerde elektrik dağıtım şirketleri önemli bir işlev üstlenecektir.

5.4.4. Elektrik Sektörü ile İlişkili Gelişim Alanları ve Fırsatlar

- **Elektrik üretiminde düşük karbonlu büyüme ile E-mobilitenin çevresel sürdürülebilirliğinin güvence altına alınması**

Ulaşımда elektrifikasyonun çevresel performansına ilişkin kazanımlar, temiz enerji dönüşümü içerisinde yeşil elektrik üretiminin artırılması ile orantılı şekilde gelişecektir. Türkiye’de yenilenebilir enerji potansiyelinin daha hızlı değerlendirilebilmesi için yatırımlarda öngörülebilirliğin ve sürdürülebilirliğin güçlendirilmeye devam edilmesi önem taşıyacaktır. Bu alanda büyümeyi güçlendirecek bir diğer gelişme, Yeşil Mutabakat Eylem Planı’nda da belirtildiği üzere, karbon piyasasına işlerlik kazandırılması olacaktır. Hibrit elektrik üretim yatırımları odaklı gelişmeler, güneş enerjisinde çatı üstü potansiyelinin daha hızlı değerlendirilmesine yönelik yatırımlar, rüzgarda deniz-üstü potansiyeli harekete geçirecek yatırım modelleri, depolama ve hidrojen üretimi gibi temiz enerji teknolojileri ile entegrasyonu sağlayabilecek piyasa ve fiyat mekanizmaları, dijitalleşme ile verimlilik artışları gibi alanlarda sağlanacak gelişmeler, 2030 yılına kadar olan dönemde temiz elektrik odaklı büyümeyi destekleyecek önemli başlıklar olacaktır. 2030 yılına kadar olan dönemde, nükleer enerjinin, nükleer güvenlik ile ilgili tüm koşullar sağlanarak elektrik üretimine entegrasyonu, Türkiye’nin temiz elektrik dönüşümünü desteklemelidir.

- **Elektrik sisteminin omurgası olan şebekelerin verimliliğin ve esnekliğinin güçlendirilmesi**

Arzda güneş ve rüzgardan üretimin artması ile gelişen değişken özelliklere ek olarak elektrikli araçlar kaynaklı olarak oluşacak değişken ve dalgalı talep dinamikleri, büyüyen ve gelişen elektrik sisteminin omurgasını oluşturan elektrik dağıtım şebekelerinin verimliliğinin ve esnekliğinin artırılması ile yönetilebilecektir (Sabancı Üniversitesi IIEEC, 2020; ELDER 2018). E-mobilite ekosisteminde büyüme potansiyelini gerçekleştirecek dönüşüm, elektrik şebekesi planlamalarının ve gerekli yatırımlarının elektrik araçların entegrasyonunu destekleyecek şekilde hayata geçirilmesi ile sağlanabilecektir. Bu çerçevede, akıllı şebekelere dönüşümün ilerletilmesi, dinamik talep yönetimi, şebeke bağımsız uygulamalar, enerji depolama ve mikro şebekeler gibi verimli, yeni nesil

uygulamalara dağıtım şebeke yatırımları ve Ar-Ge çalışmaları ile işlerlik kazandırılması gerekecektir. Elektrikli araçlarda büyümenin ve bunu destekleyecek şarj altyapılarının şebekelere etkisi, elektrikli araç satışlarında, şebekelerin mevcut altyapı ihtiyaçlarında ve kullanım karakteristiklerinde bölgesel farklılıklar dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Böylelikle talepteki büyümeyi destekleyecek en verimli teknik ve ekonomik çözümler, dağıtım şebekeleri ve ilgili paydaşlar arasında etkin iş birlikleri ve yeni nesil iş modelleri çerçevesinde hayata geçirilebilecektir

Modernleşen elektrik sistemlerinde, dağıtım şebekelerinin, şebeke yatırımları ve işletilmesi ile sınırlı geleneksel rolleri, teknolojiyi odağına alan, bölgesel elektrik sistem işletmeciliği işlevine doğru genişlemektedir. Türkiye enerji sektöründe elektrifikasyon ve dijitalleşme trendleri, enerji geleceğinde belirleyici olacak net-sıfır emisyon hedefi, dağıtık üretimde, elektrikli araçlarda, batarya teknolojileri gibi yenilikçi ve temiz enerji çözümlerinde yüksek gelişim potansiyeli, elektrik dağıtım sistemine daha stratejik bir bakışı gerektirecektir. Türkiye için daha güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir enerji geleceğini destekleyecek temiz enerji dönüşümü içerisinde dağıtım şebekelerinin en etkin şekilde konumlandırılabilmesine ilişkin fırsat alanları bugünden düşünülmelidir.

5.4.5. Batarya Ekosisteminde Gelişim Alanları ve Fırsatlar

- **Artan batarya talebinin yerli üretimle karşılanmasına yönelik fırsatların değerlendirilmesi**

Batarya teknolojilerine yönelik yatırımlar, son dönemde Türkiye’de endüstrinin gündeminde ağırlığını artırmaktadır. Aselsan ve Aspilsan tarafından uzun zamandır farklı sektörlerde kazanılan deneyim ve yetkinlikler, e-mobilité odaklı yeni fırsatlara açılım sağlamaktadır. EA parkında büyümenin itici unsuru olacak TOGG’un Farasis ile ortak girişimi SiRo’nun 20 GWh/yıl modül ve 15 GWh/yıl hücre üretim kapasite hedefiyle yatırıma başlayacak olması, bölgesel ticari araçlar piyasasının en önemli oyuncular arasında olan Ford Otosan’ın batarya üretimini entegre eden tesis yatırımı, yerli üretimin gelişimi yönünde atılmakta olan yüksek ölçekli yatırım adımlardır. Elektrikli toplu ulaşım araçlarında, özellikle Avrupa’da hızla büyüyen pazarlara odaklı teknoloji hamleleri de, Türkiye’nin batarya ekosisteminde kapasite ve ürün çeşitliliğini geliştirmeye devam etmektedir.

Bu gelişmeler, 2030 yılında Yüksek Büyüme Senaryosunda 2 milyona ulaşan elektrikli araçlar parkının 40 GWh/yıl seviyesinde gerçekleşecek olan batarya talebinin yerli üretimle karşılanması için önemli bir bazın gelişimine işaret etmektedir. Türkiye’nin hızla büyüyecek iç talebi, bölgesel arz talep dengeleri, temiz enerji dönüşümünün ana bileşenleri olan lityum, kobalt, nadir toprak elementleri gibi kritik madenlerde tedarik güvenliği perspektifi birlikte değerlendirildiğinde, batarya değer zincirinde yerli üretim yetkinliklerinin ve kapasitelerinin artırılmasının, teknolojik büyüme için önemli bir fırsat alanı sunduğu görülmektedir. Batarya ekosisteminin yatırım performansının gelişiminin

sürdürülmesi, iç talebin yerli kaynaklardan karşılanmasını güvence altına alırken, aynı zamanda otomotiv endüstrisinin ve E-mobilite ekosisteminin bölgesel rekabetçiliğini destekleyecektir. Batarya yatırımlarının, özellikle hücre teknolojilerinde yerli üretim yetkinliklerinin gelişimini temin edecek yönde Ar-Ge girişimleri, sanayi-üniversite iş birlikleri, uzun vadeli planlamalar ve teşvik modelleri ile desteklenmesinde fayda görülmektedir.

- **Küresel teknolojik trendlerin yakalanması ve rekabetçi teknolojik gelişim sağlanması**

Bölüm 2 ve Bölüm 3'te belirtildiği gibi, batarya teknolojilerinde gelişim, EA'larda rekabetçi büyüme için en belirleyici faktörlerden birisi olacaktır. Ar-Ge, inovasyon ve üretim kapasite yatırımları ile desteklenerek ticari olgunluk seviyesine ulaşan ve hızla yaygınlaşan Li-iyon teknolojisinde performans ve maliyet iyileştirmelerine yönelik çalışmalar sürmektedir. Diğer taraftan, enerji yoğunluğu ve güvenlik bakımından daha güçlü performans iyileştirmeleri sağlayabilmek için, farklı kimyalara yönelik arayışlar küresel ölçekte hızla devam etmektedir.

Tablo 5.2. Batarya Teknolojilerinin Teknoloji Hazırlık Seviyeleri ve Güçlü Yönler (IEA, 2021)

Teknoloji	Karakteristikler ve Güçlü Yönler	THS*	
Li-iyon	Yaygınlık ve maliyet avantajları. Kobalt içeriğinin azaltılmasına yönelik teknolojiler ¹	9 - 11	Olgun
Katı hal ve Li metal	Katı elektrolit ile enerji yoğunluğunda ve ve güvenlikte iyileştirmeler	5	Büyük prototipler
Silikon anot	Silikonun grafitte göre yüksek enerji yoğunluğu	5	Büyük prototipler
Li-sülfür	Sülfürün maliyet-etkin bir çözüm olarak enerji yoğunluğunu güçlendirmede kullanılması	4	Küçük prototipler
Multivalent iyon	Lityum yerine Alüminyum, Magnezyum veya Kalsiyum kullanılarak tedarik güvenliğinin artırılması	2	Kavramsal
Li-hava	Havadaki oksijenin katot olarak kullanılması	1 - 2	Kavramsal

¹ SiRo batarya katotlarında NMC811 teknolojisini kullanacağını açıklamıştır (%80 Nikel, %10 Manganez, %10 Kobalt).

Li-iyon teknolojisine alternatif kimyalar günümüzde farklı Teknoloji Hazırlık Seviyelerinde⁵ (THS) bulunmaktadır. Bunların bir bölümü lityuma alternatif malzemelerle performans iyileştirmeleri hedeflerken (multivalent iyon), bazıları da lityum tabanlı yeni nesil kimyalara dayanmaktadır (Katı hal ve lityum metal, Li-hava, silikon anot). THS bakımından diğer alternatiflerden daha ileride olan lityum tabanlı kimyalarda ticarileşmenin⁶, batarya ekosisteminin geleceğinde öne çıkacak yenilikler arasında olacağı öngörülmektedir. (Tablo 5.2.). Bu alanlarda küresel teknolojik gelişmelere odaklı sanayi-üniversite iş birliklerinin geliştirilmesi, yerli batarya ekosisteminin sürdürülebilir rekabetçiliği bakımından önerilmektedir.

- **E-mobilité eksenli batarya girişimlerinin enerji depolama çözümlerine de genişleyerek değer yaratması**

Rüzgar ve güneşe dayalı üretimde hedeflenen hızlı artışla gelişen arz dalgalanmalarının ve elektrikli araçlar kaynaklı talep dalgalanmalarının⁷ yönetilmesinde, elektrik sisteminin esnekliğini güçlendirecek teknolojilere ve piyasa mekanizmalarına⁸ işlerlik kazandırılması gerekecektir. Batarya tabanlı enerji depolama sistemleri de Türkiye elektrik sisteminin verimli ve esnek yönetiminde öncelikli çözümler arasında yer alacaktır. 2021 yılı için enerji depolama çözümlerinin elektrik piyasasına entegrasyonuna ilişkin ikincil düzenlemelerin gerçekleşmesiyle, elektrik sisteminin genelinde batarya eksenli çözümlerin uygulanabilmesinde önemli bir adım atılarak, şebekelerde, yenilenebilir elektrik üretim birimleri ile entegre olarak ve kullanıcı (talep) tarafında konumlandırılacak batarya sistemlerinin, elektrik sektörünün temiz enerji dönüşümü içerisindeki rolüne ilişkin bir çerçeve oluşturulmuştur. Yaygınlık kazanma hızları, elektrik piyasası fiyatları, batarya sistemlerinin maliyetleri, şebekelerin tarife bileşenleri gibi ekonomik faktörlere bağlı olacak bu çözümler, elektrik sistemlerinin daha esnek ve verimli yönde gelişimini destekleyecektir.

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de, E-mobilité odaklı batarya gelişmelerinin, elektrifikasyonu artan enerji depolama çözümlerinin üretiminde ve yaygınlaşmasında önemli bir öğrenme ve teknoloji bazı oluşturması beklenmektedir. Türkiye’nin temiz enerji geleceği için yüksek potansiyele sahip E-mobilité ve enerji dönüşümü sinerjilerini güçlendirecek bu gelişmeler, batarya üretim kapasitelerinin büyümesi ve teknoloji çözümlerinin çeşitlenmesiyle, iç talep ve ihracat odaklı yeni değer önermeleri sunabilecektir. Bölüm 3’te belirtildiği gibi, kullanılmış EA bataryalarının enerji depolama sistemlerine dönüşümü için yüksek teknik potansiyel, teknik standartlar yoluyla performansa dönüşebilmektedir.

⁵ Technology Readiness Level

⁶ Katı hal bataryaları, hücre seviyesinde 400 Wh/kg üzerinde enerji yoğunlukları sunabilmektedir (IEA, 2021).

⁷ Turkey Energy Outlook Alternatif Senaryosunda 2040 yılında toplam elektrik üretiminin üçte-birden fazlası rüzgar ve güneşten sağlanabilmektedir.

⁸ Pompaj depolamalı hidro üretim birimleri, esnek üretim sağlayan doğal gaz santralleri, talep tarafı katılımı (Detaylar için: Sabancı Üniversitesi IICEC, 2020)

Türkiye’de EA parkının yaşanması ile birlikte, 2030 yılına yaklaşırken bu alanda uygulama örneklerinin hayata geçirilebilmesi için de yeni bir döneme girilecektir. Talebe ilişkin projeksiyonlarda, fayda-maliyet analizleriyle birlikte yeniden kullanım perspektifinin de değerlendirmeye alınmasının, ilgili teknik düzenlemelerin şimdiden tasarlanması yeni nesil iş modelleri için önemli bir gelişim alanı sunduğu düşünülmektedir.

- **Batarya ekosisteminde yaşam döngüsü perspektifiyle, çevresel sürdürülebilirliğin güvence altına alınması**

E-mobilité dönüşümünde bataryaların kritik rolünün, daha geniş bir perspektiften çevresel etkilerin yönetilmesi ile ilgili planlamaları da içerecek şekilde kurgulanması, her yönden sürdürülebilir bir E-mobilité ekosisteminin temin edilebilmesi için önemli olacaktır. IICEC senaryolarında 2030 yılına kadar olan dönemde 5-10 milyon ton CO₂-eşdeğeri sera gazı emisyon azalımı sağlayacak ve 2030 sonrası dönemde karayolu ulaşımı emisyonlarında hızlı bir düşüşü destekleyecek başlıca teknolojiler arasında olacak elektrikli araçların çevresel performansının hesaplanarak yönetilmesinde, bataryaların üretimine, kullanım ömürleri sonunda yeniden işlenmelerine veya bertaraf edilmelerine ilişkin süreçlerin çevresel ayak izlerine ilişkin yaklaşımların da şimdiden belirlenerek uygulamaya geçirilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilirlik odaklı bu geniş bakışın, özellikle ikinci kullanımda enerji depolama çözümlerinde maliyet-etkin kullanım potansiyelinin belirlenmesi, yeniden kullanım ile sağlanabilecek faydaların kritik madenlere erişim ile ilgili tedarik güvenliği risklerinin yönetimine katkısı, batarya üretim süreçlerinin enerji girdilerinde temiz enerji teknolojilerinin kullanımının sağlanması gibi stratejik bileşenleri de içermesi önerilmektedir.

5.4.6. Teknoloji ve İnovasyon Odaklı Diğer Gelişim Alanları ve Fırsatlar

- **Veri odaklı iş modellerinin yaygınlaşmasıyla kullanıcılar ve tüm paydaşlar için değer yaratılması**

Dijitalleşme, enerji sistemlerini daha fazla elektriğe dayalı ve daha verimli bir yapıya dönüştürürken, aynı zamanda otomotiv iş kollarının mobilitéye evrilmesinin ve E-mobilitéde güçlü gelişiminin ana itici gücü olmaya da devam edecektir. Türkiye’nin ilgili teknolojilerde ve iş modellerinde, bölgesel ve küresel rekabet düzleminde, yerlilik oranı yüksek, aynı zamanda çevresel ve sosyal sürdürülebilirliği destekleyecek çözümlerle fark yaratabileceği alanların başında yazılım ve donanım gelmektedir. Otomotiv ve şarj endüstrilerinin yatırım gündeminde son dönemde daha fazla ağırlık kazanan bu alanlar, dijitalleşmeyi yüksek katma değer fırsatları ile birleştirebilmeleri bakımından da ayrıca önemlidir.

Türkiye E-mobilité ekosistemi, büyük veri ve veri analitiği fırsatlarından faydalanacak şekilde gelişimini sürdürecektir. Araç kullanımına ve şarj hizmetlerine ilişkin verilerin ve kullanıcı taleplerine göre şekillenecek diğer özelliklerin, E-mobilité ekosistemi paydaşları için veri-tabanlı gelir akışı sağlayabilecek hizmetler arasında öne çıkacağı değerlendirilmektedir.

Yapay zeka tabanlı algoritmalar, şarj istasyonlarının optimal konumlarının tespit edilmesi ve şarj süreçlerinde yoğunlukların azaltılmasına da katkı verebilecektir. Bu teknolojilerin elektrikli araçların adaptasyonuna etkisinin sadece bu tür uygulamalarla sınırlı kalmayıp, düşük maliyetli ve yüksek teknik performansla sahip batarya malzemelerinin gelişimi, batarya imalat verimliliğinin iyileştirilmesi, sürüş menzillerinin artırılmasını sağlayacak rota ve enerji optimizasyonu alanlarında verimli ve güvenli bir E-mobilite geleceğine önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir. Elektrikli araçların farklı bakım gereksinimleri satış sonrası hizmetler alanında da yeni iş modellerini gündeme getirirken, kullanıcı deneyiminin zenginleştirilmesinde IoT ve yapay zeka teknolojileri kullanılarak batarya durumunun gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve önleyici bakım uygulamalarının aktif kullanımı gibi konular da değer önermesi niteliği kazanabilecektir. Veri odaklı tüm bu çözümler, Bilgi ve İletişim (ICT⁹) alanında teknoloji geliştiren şirketleri ve start-up ekosistemini de elektrikli araç ekosisteminin önemli paydaşları konumuna getirecektir. Geleceğin otonom araçlarının ve ulaşımda paylaşım ekonomisi odaklı iş modellerinin ekseninde de büyük veri ve veri analitiği destekli çözümler yer alacaktır.

- **E-mobilitenin çok boyutlu faydalarının akıllı bağlantılar ve akıllı şehirler ile genişletilmesi**

E-mobilitenin çok boyutlu faydalarının ileriye taşınabileceği bir diğer önemli gelişim alanı, akıllı bağlantılar ve akıllı şehir uygulamalarıdır. V2G teknolojileri başta olmak üzere, elektrikli araçlar ile çevrelerindeki etkileşim evreni arasında veriye dayalı değer önermesi sunan V2V ve V2X¹⁰ tüm çözümler, geleceğin mobilite gündemini daha fazla belirleyecektir. Yüksek kentleşme hızı, nüfusu ve tüketimi büyüyen kentlerin artan trafik ve hava kirliliği gibi sorunları, enerji ve ulaşım planlamalarında sürdürülebilir kalkınmayı odağına alan, veriye dayalı, bütüncül ve akıllı çözümlerin önemini artırmaktadır. Dijitalleşmenin getirdiği fırsatlardan faydalanılarak, park yeri alanlarının optimal kullanımından toplu ulaşım seçeneklerine erişimin kolaylaştırılmasına kadar pek çok iyileştirme sunabilen akıllı ulaşım çözümleri, ilk yaygınlaşma süreci şehir merkezlerinde olacak olan elektrikli araçların ve şarj altyapılarının entegrasyonu dinamikleri ile önemli kesişim alanları içermektedir. Dağıtım şebekelerinin modernizasyonuna yönelik planlamalar ve akıllı elektrik şebekelerinin gelişimi de, tüm kaynakların daha etkin ve verimli kullanımını esas alan akıllı şehir perspektiflerini ve akıllı elektrikli ulaşım çözümlerini destekleyecektir.

Veriye dayalı bu tür planlamalar, Türkiye'nin ulaştırma politikalarının toplu ulaşımın yaygınlaşması gibi diğer unsurlarını teşvik etmek için yeni fırsatlar da sağlayabilecektir. Örneğin Sıfır Emisyon Bölgeler perspektifiyle, elektrikli araçlar için işlek kentsel yollara ve yoğun park alanlarına ayrıcalıklı erişim gibi çözümler, dünyadaki iyi uygulamalara benzer şekilde geliştirilebilecektir.

⁹ Information and Communication Technologies

¹⁰ Vehicle to Everything

Geleceğin akıllı şehirlerine hizmet edecek ulaşım seçenekleri, elektrikli toplu karayolu ulaşımı teknolojilerden daha yaygın şekilde faydalanabilmelidir. Elektrikli otobüslerin ve minibuslerin ilk yatırım maliyetlerinde konvansiyonel araçlara göre sahip olduğu dezavantajların, batarya maliyetlerinde süregelen iyileşmeler ile önümüzdeki yıllarda ortadan kalkması beklenmektedir. TSOM bazında rekabetçi konumda bulunan bu tür araçların, emisyonların sağlık etkileri gibi dışsallıkların dikkate alınması durumunda çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik bakımından değeri pekişmektedir. Yenilikçi finansman kaynaklarına erişimin güçlendirilmesi yoluyla toplu ulaşım filolarının elektrifikasyonun hızlandırılabilmesi, daha verimli bir enerji geleceğini destekleyecektir.

- **Hidrojen üretimine ve ağır ticari araçlarda kullanıma yönelik olanakların değerlendirilmesi**

Bölüm 3'te küresel ticarileşme düzeyi kısaca sunulduğu gibi, hidrojen tabanlı karayolu ulaşımı, batarya esaslı elektrikli araçlarda kıyaslandığında henüz ticarileşme sürecinin oldukça başlarında yer almaktadır. Ancak, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de 2030'a yaklaşırken ağır ticari araçlar ve uzun menzilli kullanımlarda HYEALARIN sürdürülebilir bir enerji geleceği için önemli bir ticari seçenek durumuna geleceği düşünülmektedir. Karayolu ulaşımında enerji tüketiminin ve emisyonların yarısına yakınının yük taşımacılığından kaynaklandığı dikkate alındığında, bu alanda sağlanabilecek kazanımların şimdiden planlanarak hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Türkiye'nin hidrojen üretimi için yüksek yenilenebilir enerji potansiyelinin ve karbon yakalama ve depolama teknolojileri ile entegre edilmeleri durumunda linyit kaynaklarının, küresel teknolojik gelişmelere paralel olarak ekonomiye kazandırılması, ulaşımında enerji tüketiminin ithal fosil yakıt yoğunluğunun ve karbon yoğunluğunun azaltılmasına, böylelikle daha güvenli bir enerji geleceğine net-sıfır emisyon patikası içerisinde ulaşılmasına önemli katkı sunacaktır. IICEC, hidrojen üretiminde ve enerji taşıyıcısı olarak araçlarda kullanımında küresel teknolojik gelişmeler devam ederken, bu alanlarda sanayi-üniversite işbirliklerinin yaygınlaşmasını ve eş zamanlı olarak rüzgar, güneş, jeotermal elektrik üretim birimlerinden faydalanarak hidrojen üretiminin fizibilitelerini destekleyecek teşvik modellerinin, Türkiye elektrik sistemine ve karayolu ulaşımının geleceğine bütüncül bir bakışı içeren fayda-maliyet analizleri çerçevesinde kurgulanacak bir program dahilinde hayata geçirilmesini önermektedir.

- **İnsan kaynakları potansiyelinin temiz enerji ve E-mobilite dönüşümünü destekleyecek şekilde güçlendirilmesi**

Türkiye'nin EA'lar ve E-mobilitenin çok boyutlu ekonomik, çevresel ve sosyal faydalarını, azami toplumsal katkı elde edecek şekilde değerlendirebilmesi, büyüme patikasını destekleyecek yetenek havuzlarının gelişimi ve insan kaynağı potansiyelinin teknoloji-odaklı olarak güçlendirilmesi ile sağlanabilecektir.

Türkiye imalat sanayisinin ve ihracatının itici güçlerinden olan otomotiv endüstrisinin küresel trendleri yakalayacak ve bölgesel rekabetçilikte sürdürülebilirliğini sağlayacak bir mobilite ekosistemine dönüşümü, elektrikli araçlar ve batarya teknolojilerinin geliştirilmesi ve üretimi, şarj teknolojilerinin gelişimi ve yaygınlaştırılması, elektrik sisteminin temiz enerji odaklı büyümesi ile e-mobilite gelişiminin kesişim alanlarının etkin ve verimli yönetimi, veriye dayalı, akıllı enerji ve ulaşım sistemlerinin tasarlanması ve uygulamaya geçirilmesi gibi pek çok alanda genç ve dinamik nüfusun yetkinliklerinden faydalanacak insan kaynağı stratejilerinin geliştirilmesi ile gerçekleştirilebilecektir.

IICEC, Türkiye'nin, tüm dünyada hızla gelişen bu alanda, ülke ihtiyaçlarını karşılarken aynı zamanda bölgesel ve küresel bir aktör olarak konumlanmasını sağlayacak stratejik ve geniş çaplı bir eğitim-öğretim programının planlanmasını önermektedir. E-mobilite ekosistemi oyuncuları ile üniversiteler arasında stajlara ve tematik eğitimlere odaklı iş birliklerinin, bu tür bir planlama içerisinde önemli bir işlev sağlayabileceği düşünülmektedir. Üniversitelerde E-mobilite ekosisteminin gerektirdiği çeşitlilikte bir yetenek havuzunun oluşumunu temin edecek yan dal programlarının, kamu ve sanayi paydaşları ile birlikte geliştirilmesi, lise seviyesinde de EA'lar ve ilgili teknolojilerin kullanımına odaklı teknik programlarının müfredatta konumlandırılmasının insan kaynağı gelişimini destekleyecektir.

● Bireysel ve kurumsal girişimcilik ekosisteminin geliştirilmesi

Teknoloji adaptasyon hızı ve genç nüfus, Türkiye için diğer pek çok teknoloji-odaklı sektörde olduğu gibi E-mobilite alanında da bireysel ve kurumsal girişimcilik ile yüksek değer önermesi sağlayan iki önemli faktördür. İç pazar talebindeki büyüme potansiyeli ve araç parkında gelişime ilişkin beklentilerle eş zamanlı olarak, dünya genelinde bu alanda yeni teknolojilerin ve iş modellerinin önemli oranda prototip veya erken adaptasyon süreçlerinde olması, ulaştırma, enerji, otomotiv ve diğer pek çok sektörde çevreyi ve iklimi odağına alan, sürdürülebilir büyümeyi destekleyecek, verimli bir girişimcilik ekosisteminin desteklenmesi ve gelişimi bakımından kritik bir fırsat penceresi sunmaktadır.

Bireysel ve kurumsal girişimcilik, piyasa modellerinde öngörülebilirlik ve rekabetçilik ekseninde, son dönemde sayıları artan, çevre ve teknoloji odaklı, yeni nesil finansman kaynakları ve fiziksel altyapılar ile güçlendirildiğinde, yukarıda sunulan gelişim alanlarının tamamına katkı sunacaktır. Girişimcilik, özellikle 2023 yılından itibaren hızla gelişmeye başlayacak olan pazarı, gelişmekte olan düzenleyici çerçevesi ve ticari altyapısı, otomotiv ve şarj endüstrilerinde büyüyen kurumsal yatırımcıları ile Türkiye E-mobilite ekosisteminin potansiyelini hızla performansa dönüştürebilecek, Türkiye'nin bölgesel ve küresel rekabette güçlü yönlerini hızla öne çıkarabilecek en kritik alandır.

5.4.7. Gelişim Alanlarının Özeti ve IICEC Önerileri

Bu çalışmada, Türkiye'nin temiz enerji ve ulaşım dönüşümü fırsatlarına da katkı sağlayacak şekilde elektrikli araçlarda ve E-mobilitede güçlü ve sürdürülebilir bir büyümeyi destekleyecek gelişim alanları sunulmuştur.

Gelişim Alanlarının Özeti

Temiz Enerji ve Ulaşım Dönüşümü ve İklim Odaklı Genel Politika Çerçevesi	
Otomotiv Endüstrisi	●Otomotiv iç pazarında büyüme potansiyelini değerlendirecek adımların atılması ve araç parkının verimli, çevreci dönüşümünün hızlandırılması ●Otomotivde teknolojik mobiliteye dönüşüm hamlesiyle sürdürülebilir küresel ve bölgesel rekabetçiliğinin sağlanması
Şarj Altyapısı	●Şarj faaliyetleri için serbest piyasa ve kullanıcı odaklı düzenleme çerçevesinin oluşturulması ●Şarj altyapılarında öngörülebilir yatırım ortamının temin edilmesi
Elektrik Sektörü	●Elektrik üretiminde düşük karbonlu büyüme ile E-mobilitenin çevresel sürdürülebilirliğinin güvence altına alınması ●Elektrik sisteminin omurgası olan dağıtım şebekelerinin verimliliğin ve esnekliğinin güçlendirilmesi
Batarya Ekosistemi	●Artan batarya talebinin yerli üretimle karşılanmasına yönelik fırsatların değerlendirilmesi ●Küresel teknolojik trendlerin yakalanması ve rekabetçi teknolojik gelişimin temin edilmesi ●E-mobilité eksenli batarya girişimlerinin enerji depolama çözümlerine de genişleyerek değer yaratması ●Batarya ekosisteminde yaşam döngüsü perspektifiyle, çevresel sürdürülebilirliğin güvence altına alınması
Teknoloji ve İnovasyon Odaklı Diğer Fırsatlar	●Veri odaklı iş modellerinin yaygınlaşmasıyla kullanıcılar ve tüm paydaşlar için değer yaratılması ●E-mobilitenin çok boyutlu faydalarının akıllı bağlantılar ve akıllı şehirler ile genişletilmesi ●Hidrojen üretimine ve ağır ticari araçlarda kullanıma yönelik olanakların değerlendirilmesi ●İnsan kaynakları potansiyelinin temiz enerji ve E-mobilité dönüşümünü destekleyecek şekilde güçlendirilmesi ●Bireysel ve kurumsal girişimcilik ekosisteminin geliştirilmesi

Temiz enerji odaklı politika hedefleri ve yol haritaları:

Sürdürülebilir ve güçlü büyüme, kamu, özel sektör, akademi iş birlikleri ve koordinasyonu içerisinde, temiz enerjiyi odağına alan somut ve ulaşılabilir politika hedefleri ile desteklenen, uzun vadeli yol haritalarının hayata geçirilmesi ile sağlanabilecektir. Dünyadaki iyi uygulama örneklerine benzer şekilde, verimlilik, rekabetçilik ve sürdürülebilirlik ekseninde, teknoloji ve kullanıcı odaklı yönlendirici ve destekleyici mekanizmaların geliştirilmesi, elektrikli araçlarda çok boyutlu faydalar sunacak dönüşümü hızlandıracak ve güçlendirecektir.

Otomotivde dönüşüm ve mobilite:

Otomotiv iş kolu, tüm dünyada geniş kapsamlı bir mobilite sistemine evrilirken, iç pazardaki yüksek büyüme potansiyeli ve Avrupa pazarlarındaki yeni dinamikler, Türkiye otomotiv endüstrisinde elektrifikasyon, yeni teknolojiler ve rekabetçilik için kritik bir dönüşüm hamlesinin önemini ortaya koymaktadır. Son dönemde TOGG ve Ford Otosan tarafından elektrikli araç üretiminde sürdürülen yatırımlar, yerli üretim kabiliyetlerinin gelişimi, böylelikle sektörün bölgesel ve küresel rekabetçiliğinin teknoloji odaklı sürdürülebilirliği için büyük önemdedir. Bu atılımlar, önümüzdeki dönemde yeni yatırım fırsatlarının gelişimine de zemin oluşturabilecektir. Araç teknolojilerinde ve araç parkının dönüşümünde çevreci, yüksek verimli tercihleri öne çıkaracak politika araçları ve teşvik uygulamaları, iç pazardaki yüksek büyüme ve kritik dönüşüm fırsatlarını desteklerken, otomotiv endüstrisinin ve destekleyici iş kollarının dünyadaki ve Avrupa'daki trendler ile uyumlu gelişimine, insan kaynağı ve dijitalleşme boyutlarıyla birlikte rekabetçiliğinin sürdürülebilirliğine önemli katkı sunacaktır.

Şarj altyapısında serbest piyasa ve kullanıcı odaklı, güçlü büyüme:

Şarj altyapısında gelişim, son dönemde bu alana yapılan yatırımlarla elektrikli araç parkındaki büyümenin önünde gitmektedir. Ancak, bu büyüme ivmesinin 2022 yılından itibaren araç parkının elektrifikasyonunda gerçekleşecek ve özellikle 2025 yılından sonra daha da hız kazanacak büyümeyi destekleyecek şekilde güçlendirilmesi kritiktir. E-mobilite'nin çok boyutlu faydalarının gerçekleşebilmesi için, birincil mevzuat ile tanımlanan düzenleyici çerçevenin, yatırımlara hız kazandıracak şekilde, serbest piyasa kurgusunu esas alan, farklı kullanım özelliklerini ve bölgesel farklılıkları yansıtan, teknoloji ve kullanıcı odaklı ikincil düzenlemeler ile geliştirilmeye devam edilmesi kritik rol oynayacaktır.

Elektrik sisteminde temiz enerji eksenli ve teknolojik dönüşüm:

Ulaşımda elektrifikasyonun çevresel performansına ilişkin kazanımlar, temiz enerji dönüşümü içerisinde yeşil elektrik üretiminin artırılması ile sağlanabilecektir. Arzda değişkenliğin artmasına ek olarak elektrikli araçlar ile eklenecek değişken ve dalgalı talep dinamikleri ise, büyüyen ve gelişen elektrik sisteminin omurgasını oluşturan elektrik dağıtım şebekelerinin verimliliğin ve esnekliğinin artırılması ile yönetilebilecektir. Elektrifikasyonu ve dijitalleşmeyi merkezine alan, aynı zamanda daha dağıtık nitelik kazanacak olan enerji sisteminde, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutlarıyla azami toplumsal faydanın sağlanmasında geleceğin elektrik dağıtım sisteminin kritik bir rolü olacaktır. Bu dönüşüm, elektrik şebekesi planlamalarının ve gerekli yatırımlarının elektrik araçların entegrasyonunu destekleyecek şekilde hayata geçirilmesi, akıllı şebekelere dönüşümün gerçekleştirilmesi, dinamik talep yönetimi, şebeke bağımsız uygulamalar, enerji depolama ve mikro şebekeler gibi verimli çözümlerin yaygınlaşmasının desteklenmesi ile sağlanabilecektir.

Yeni teknolojiler ve girişimcilik ekosisteminde fırsatlar:

Çok boyutlu faydalar, özellikle yazılım ve dijitalleşme alanlarında, inovasyon ve yerli üretim yetkinliklerinin değerlendirilmesi ve yeni nesil iş modelleri ile daha ileriye taşınabilecektir. Temiz enerji odaklı yeni finansman kaynaklarıyla da desteklemesi gereken bu adımlar, enerji verimliliği, temiz enerji üretimi ile entegrasyon, akıllı şehirlere dönüşüm ve çevresel sürdürülebilirlik için kazanımların da destekleyicisi olacaktır. Batarya teknolojilerinde, hücre seviyesini de kapsayacak yatırımların hayata geçirilmesi, Türkiye'nin artan iç talebine ve tedarik güvenliğine katkı sağlarken, enerji depolama sistemlerine genişleyecek çözümler yoluyla temiz elektrik dönüşümünü ve bu alanda bölgesel merkez olma perspektifini de destekleyecektir. Bütün bu kazanımlar, girişimcilik ekosistemi ve insan kaynaklarının, Türkiye için çok kritik olan bu teknolojik dönüşümün merkezinde konumlanarak güçlendirilmesi ile sağlanabilecektir.

IICEC Önerileri

IICEC, Türkiye'nin elektrikli araçlar ve ilgili teknolojilerin gelişiminde çok boyutlu fırsatlar sunan yüksek büyüme potansiyelinin değerlendirilmesi için,

1. 2053 net-sıfır hedefi ve temiz enerji dönüşümü ekseninde, somut, gerçekçi ve ulaşılabilir politika hedeflerinin belirlenmesini, yönlendirici ve destekleyici mekanizmaların uygulanmasını;

- 2030 yılında en az 2 milyon elektrikli araç ve 200.000'in üzerinde kamuya açık şarj soketine ulaşacak yol haritasının hayata geçirilmesini,
- Destekleyici mekanizmaların, enerji ithalatı ve çevresel performans faydalarını da yansıtacak şekilde geliştirilmesini,

2. Bu dönüşümün sürdürülebilirliğinin, yeşil enerji kaynaklarının gelişimi yoluyla güvence altına alınmasını;

3. Çevreyi ve teknolojiyi eksenine alan, bütüncül bir E-mobilite ekosisteminin, kamu, özel sektör, akademi iş birlikleri ve eşgüdüm içerisinde, azami toplumsal fayda ekseninde geliştirilmesini;

- Otomotiv endüstrisinin rekabetçi dönüşümü için teknoloji odaklı fırsatların değerlendirilmesini,
- Şarj noktalarının ve elektrik dağıtım şebekelerinin en verimli şekilde planlanarak işletilmesini,
- Yenilikçi finansmanın ve piyasa ve kullanıcı odaklı, yeni nesil iş modellerinin yaygınlaştırılmasını,

4. Dijitalleşme, akıllı sistemler, enerji depolama gibi yüksek değer önermesi sunan teknolojilerde Ar-Ge ve yerli üretime hız verilmesini;

5. Bireysel ve kurumsal girişimcilik ekosisteminin ve insan kaynakları potansiyelinin, bölgesel ve küresel aktör olarak konumlanmayı destekleyecek şekilde güçlendirilmesini önermektedir.

Referanslar

- Avcı.B, Presidency of the Republic of Turkey Investment Office, (2021), Why Invest in the Turkish E-mobility Ecocystem
- ELDER (2018), Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi
<https://www.elder.org.tr/Content/yayinlar/TAS%20TR.pdf>
- International Energy Agency (IEA) (2021) ETP Clean Energy Technology Guide
<https://www.iea.org/articles/etp-clean-energy-technology-guide>
- Sabancı Üniversitesi IIcec (2020) Turkey Energy Outlook

EKLER

- **EK A:** Temel Politika Belgeleri ve Veri Kaynakları
- **EK B:** Dönüşüm Faktörleri
- **EK C:** Kısaltmalar

EK A:

Temel Politika Belgeleri ve Veri Kaynakları

- Cumhurbaşkanlığı 11. Beş Yıllık Kalkınma Planı (2019–2023)
- Bakanlıkların Stratejik Planları (2019–2023)
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Denge Tabloları
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı İstatistikleri
- Mobilite Araç ve Teknolojileri Hedefleri ve Yol Haritası taslağı
- UNFCCC'ye sunulan Türkiye Emisyon Envanteri raporları
- TÜİK İstatistikleri
- TEİAŞ İstatistikleri ve raporları
- OSD istatistikleri ve raporları
- ODD istatistikleri ve raporları
- ELDER istatistikleri ve raporları
- TEHAD istatistikleri ve raporları
- Sektör paydaşları ile görüşmeler ve diğer sektörel raporlar
- IEA istatistikleri
- OECD istatistikleri
- UN istatistikleri
- Eurostat istatistikleri
- AFID İstatistikleri
- IICEC Turkey Energy Outlook Modeli
- IICEC veri tabanı ve pazar araştırmaları

EK B:

Dönüşüm Faktörleri

		EJ	Gcal	Mtep	Mbtu	GWh
	EJ	1	2.388×10^{-8}	23,88	$9,478 \times 10^8$	$2,788 \times 10^5$
	Gcal	$4,1868 \times 10^{-9}$	1	10^{-7}	3,968	$1,163 \times 10^{-3}$
	Mtep	$4,1868 \times 10^{-2}$	10^7	1	$3,968 \times 10^7$	11630
	Mbtu	$1,0551 \times 10^{-9}$	0.252	$2,52 \times 10^{-8}$	1	$2,931 \times 10^{-4}$
	GWh	$3,6 \times 10^{-6}$	860	$8,6 \times 10^{-5}$	3412	1

EK C:

Kısaltmalar

AB:	Avrupa Birliği
ABD:	Amerika Birleşik Devletleri
AC:	Alternatif Akım
AFID:	Alternatif Yakıt Altyapıları Direktifi
AI:	Yapay zeka
APS:	IEA "Announced Pledges Senaryosu"
BEV:	Bataryalı Elektrikli Araçlar
BM:	Birleşmiş Milletler
CCUS:	Karbon Yakalama ve Depolama
CO:	Karbon Monoksit
COP 26:	26. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Konferansı
DC:	Doğru Akım
EA:	Elektrikli Araç
EBRD:	Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası
E-mobilite:	Elektrikli Mobilite
ESS:	Enerji Depolama Sistemi
FAME II:	Elektrikli Araçların Daha Hızlı Yaygınlaşması ve Üretimi Çerçevesi
FCEV:	Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar
GHG:	İnsan Kaynaklı Sera Gazı
GSYİH:	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
lbe:	Litre Benzin Eşdeğeri
IEA:	Uluslararası Enerji Ajansı
IPCC:	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli

İYMA:	İçten Yanmalı Motorlu Araçlar
KYBO:	Kümülatif Yıllık Büyüme Oranı
LCA:	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
Li-ion:	Lityum-iyon
LPG:	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
NEV:	Yeni Enerji Araç
NOx:	Azot oksitler
NZE:	Net-Sıfır Emisyon
ODD:	Otomotiv Distribütörleri Derneği
OEM:	Orijinal Ekipman Üreticileri
OECD:	Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OSD:	Otomotiv Sanayii Derneği
PHEV:	Harici Olarak Şarj Edilebilen (Fişli) Hibrit Elektrikli Araçlar
PM:	Partikül madde
SDS:	IEA "Sustainable Development" Senaryosu
SKH:	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri
STEPS:	IEA "Stated Policies" Senaryosu
SUV:	Spor Arazi Araçları
ToU:	Zamana Göre Farklılaşabilen
TSOM:	Toplam Sahip Olma Maliyeti
V2G:	Araçtan Şebekeye
V2x:	Araç ile kendisini etkileyebilecek diğer varlıklar arasında ilişki sağlayan teknolojiler
WHO:	Dünya Meteoroloji Örgütü
ZEV:	Sıfır Emisyonlu Araç
ZEZ:	Sıfır Emisyon Bölgeleri

TÜRKİYE ELEKTRİKLİ ARAÇLAR GÖRÜNÜMÜ | 2021



Sabancı
Universitesi

IICEC

SABANCI UNIVERSITY
İSTANBUL INTERNATIONAL
CENTER FOR ENERGY AND CLIMATE

ISBN 978-625-7329-49-1



9 786257 329491