



Elektrikli Araçların Hava Kalitesi Üzerine Etkisi: PM₁₀, NO₂, SO₂ ve CO Parametreleri Üzerinden Bir Değerlendirme

Aslıhan KURNUÇ SEYHAN^{1*} Neşe ERTUGAY²

¹Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye

²Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 28/04/2025
Düzeltilme: 24/06/2025
Kabul: 18/07/2025

Anahtar Kelimeler

Elektrikli Araç
Hava Kirliliği
Hava Kalitesi Emisyonları

Article Info

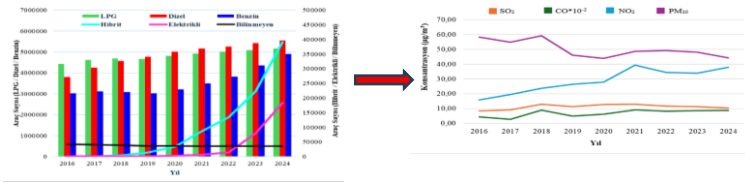
Research article
Received: 28/04/2025
Revision: 24/06/2025
Accepted: 18/07/2025

Keywords

Electric Vehicles
Air Pollution
Air Quality Emissions

Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

Çalışmada, 2016–2024 yılları arasında illere göre elektrikli ve hibrit araç sayısının hava kirliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. / In the study, the effects of the number of electric and hybrid vehicles on air pollution by provinces between 2016-2024 were evaluated.



Şekil A: Türkiye'de trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı ve hava kirleticilerinin yıllık ortalama değişimi (2016-2024) / **Figure A:** Distribution of registered cars in Turkey by fuel type and annual average change in air pollutants (2016-2024)

Önemli noktalar (Highlights)

- Elektrikli ve hibrit araçlar, diğer yakıt türlerine kıyasla yaklaşık 20 kat daha hızlı artış göstermiş; özellikle 2022–2023 döneminde elektrikli araçların artış oranı %450'ye ulaşmıştır. / Electric and hybrid vehicles have increased approximately 20 times faster than other fuel types; especially in the period 2022-2023, the increase rate of electric vehicles reached 450%.
- PM₁₀ konsantrasyonu, 2016'da 58 µg/m³ seviyesinden 2024 yılında ise yaklaşık 44 µg/m³ düzeyine gerileyerek genel anlamda azalan bir eğilim sergilemiştir. / The concentration of PM₁₀ showed an overall decreasing trend, decreasing from 58 µg/m³ in 2016 to approximately 44 µg/m³ in 2024.
- İstanbul, Ankara ve İzmir illeri için PM₁₀, SO₂ ve CO seviyelerinde iyileşmeler olmakla birlikte Ankara ve İzmir illerinde NO₂ emisyonunda artış görülmektedir. / Although there are improvements in PM₁₀, SO₂ and CO levels for İstanbul, Ankara and İzmir provinces, there is an increase in NO₂ emissions in Ankara and İzmir provinces.

Amaç (Aim): 2016–2024 döneminde elektrikli ve hibrit araçlardaki artış, illere özgü PM₁₀, NO₂, SO₂ ve CO verileriyle ilişkilendirilerek hava kalitesi üzerindeki etkilerinin uzun dönemli ve bütüncül olarak analiz edilmiştir. / The increase in electric and hybrid vehicles in the period 2016-2024 has been analysed in a long-term and holistic manner by associating it with province-specific PM₁₀, NO₂, SO₂ and CO data.

Özgünlük (Originality): Çalışmanın özgünlüğü, 2016–2024 döneminde elektrikli ve hibrit araçlardaki artışı, illere özgü PM₁₀, NO₂, SO₂ ve CO verileriyle ilişkilendirilerek hava kalitesi üzerindeki etkileri uzun dönemli ve bütüncül olarak analiz etmesidir. / The originality of the study is that it analyzes the effects on air quality in a long-term and holistic manner by associating the increase in electric and hybrid vehicles with province-specific PM₁₀, NO₂, SO₂, and CO data in the period 2016-2024.

Bulgular (Results): 2016–2024 döneminde Türkiye'deki hava kalitesi, PM₁₀, NO₂, SO₂ ve CO parametreleri açısından olumlu bir eğilim sergilemiştir. Elektrikli/hibrit taşıtların artan kullanımı, fosil yakıt türlerine yönelik azaltıcı politikalar ve pandemi gibi toplumsal olaylarla ilişkilidir. In the period 2016-2024, air quality in Turkey showed a positive trend in terms of PM₁₀, NO₂, SO₂ and CO parameters. The increasing use of electric/hybrid vehicles is associated with policies to reduce the use of fossil fuels and social events such as pandemics.

Sonuç (Conclusion): 2016–2024 döneminde Türkiye'deki hava kalitesi azalan bir eğilim sergilemiştir. Ancak, PM₁₀ ve NO₂ seviyeleri hâlâ DSÖ limitlerinin üzerindedir. / In the period 2016-2024, air quality in Turkey showed a decreasing trend. However, PM₁₀ and NO₂ levels are still above WHO limits.



Elektrikli Araçların Hava Kalitesi Üzerine Etkisi: PM₁₀, NO₂, SO₂ ve CO Parametreleri Üzerinden Bir Değerlendirme

Aslıhan KURNUÇ SEYHAN^{1*} Neşe ERTUGAY²

¹Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye

²Erzincan Binalı Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 28/04/2025
Düzeltilme: 24/06/2025
Kabul: 18/07/2025

Anahtar Kelimeler

Elektrikli Araç
Hava Kirliliği
Hava Kalitesi Emisyonları

Öz

Hava kirliliği, küresel ölçekte halk sağlığını tehdit eden en önemli çevresel sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Bu kirliliğin başlıca kaynaklarından biri olan ulaşım sektörü, artan motorlu taşıt sayısı ile birlikte atmosferdeki zararlı gaz konsantrasyonlarını belirgin şekilde yükseltmektedir. Son yıllarda elektrikli araç teknolojilerinde yaşanan gelişmeler, düşük emisyon profilleri sayesinde hava kalitesinin iyileştirilmesinde etkili bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, 2016–2024 yılları arasında Türkiye’de trafiğe kayıtlı motorlu kara taşıtlarının illere göre dağılımı esas alınarak toplam araç sayısının %65’inden fazlasını oluşturan ve taşıt yoğunluğu bakımından en üst sıralarda yer alan iller (örneğin İstanbul, Ankara, İzmir vb.) seçilerek, bu illere ait 2016–2024 yılları arasındaki PM₁₀, NO₂, SO₂ ve CO hava kirlilik parametrelerine ilişkin veriler analiz edilmiştir. Aynı dönemde elektrikli ve hibrit araç sayılarındaki değişim göz önünde bulundurularak, araç teknolojilerindeki dönüşümün hava kirliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, özellikle PM₁₀, SO₂ ve CO konsantrasyonlarında yıllar içinde belirgin ve kademeli bir azalma olduğunu ortaya koymaktadır. Bu azalma, elektrikli araçların yaygınlaşması, fosil yakıt kullanımının sınırlandırılması, pandemi döneminde sanayi ve ulaşım faaliyetlerinin geçici olarak azalması gibi çok faktörlü yapısal değişimlerle ilişkilendirilmiştir. Ancak bazı illerde NO₂ seviyelerinin artmaya devam ettiği ve ulaşım kaynaklı emisyonların hâlen ciddi bir problem olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, elektrikli araçların hava kalitesini iyileştirmede önemli bir potansiyel taşıdığı; ancak bu etkinin sürdürülebilir çevre politikaları, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve toplu taşımanın güçlendirilmesi gibi çok boyutlu stratejilerle desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Air Quality Changes Caused by Vehicles: An Assessment Based on PM₁₀, NO₂, SO₂ and CO Parameters

Article Info

Research article
Received: 28/04/2025
Revision: 24/06/2025
Accepted: 18/07/2025

Keywords

Electric Vehicles
Air Pollution
Air Quality Emissions

Abstract

Air pollution stands out as one of the most important environmental problems that threaten public health on a global scale. The transport sector, which is one of the main sources of this pollution, significantly increases harmful gas concentrations in the atmosphere with the increasing number of motor vehicles. In recent years, developments in electric vehicle technologies are considered as an effective solution to improve air quality owing to their low emission profiles. In this study, based on the provincial distribution of registered road traffic vehicles in Turkey between 2016–2024, the provinces (e.g. Istanbul, Ankara, Izmir, etc.), which account for more than 65% of the total number of vehicles and are at the top in terms of number of vehicles, are selected and the data on PM₁₀, NO₂, SO₂ and CO air pollutant parameters for these provinces between 2016–2024 are analysed. Considering the change in the number of electric and hybrid vehicles in the same period, the effects of the transformation in vehicle technologies on air pollution were evaluated. The findings reveal that there has been a significant and gradual decrease in PM₁₀, SO₂ and CO concentrations over the years. This decrease has been attributed to multifactorial structural changes such as the widespread use of electric vehicles, limitation of fossil fuel use, temporary reduction of industrial and transport activities during the pandemic period. However, NO₂ levels continued to increase in some provinces and transport emissions are still a serious problem. In conclusion, it is emphasised that electric vehicles have a significant potential to improve air quality, but this impact needs to be supported by multidimensional strategies such as sustainable environmental policies, renewable energy integration and strengthening public transport.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sürekli artış gösteren insan nüfusunun artan ihtiyaçlarını karşılamak için yapılan tüm faaliyetlerin her aşamasında ortaya çıkan atıklar (sıvı, katı ve gaz atıklar) çevre sorunlarını da beraberinde getirmiştir. Çevre sorunlarının başında yer alan hava kirliliği küresel boyutlara ulaşarak küresel iklim değışikliğı gibi büyük bir felakete dönüşmüştür [1]. Küresel ısınmaya neden olan sera gazları evsel ısınma, enerji üretimi, sanayi, tarım ve trafik kaynaklı hava kirliliğı gibi pek çok sektörden kaynaklanmaktadır. Bahsedilen sektörler arasında hızlı artış gösteren motorlu kara taşıtlarından kaynaklanan, hava kirliliğı hem enerji tüketiminde hem de sera gazı kaynağı olarak çevre üzerinde önemli baskılara neden olmaktadır [2]. Trafik kaynaklı emisyonlar dünya genelinde hava kirliliğinin başlıca nedenlerinden biri olup; azot oksitlerin (NO_x) %30'unu, partikül maddelerin (PM) %10'unu, karbon monoksitin (CO) %54'ünü ve karbon dioksitin (CO₂) %14'ünü oluşturmaktadır. Zararlı gazlar, yalnızca çevreye değil, aynı zamanda insan sağlığına ve ekonomik yapıya da ciddi zararlar vermektedir. Oluşan etkilerin artan şekilde sürdürülemez hale gelmesi, çevreci ve yenilikçi çözümlere olan ihtiyacı daha da artırmaktadır. Bu çerçevede, fosil yakıtlara alternatif olarak geliştirilen elektrikli araç teknolojisi; düşük emisyon profili ve sürdürülebilir yapısıyla geleceğın ulaşım sistemleri için güçlü bir çözüm olarak değerlendirilmektedir [3].

Uluslararası Enerji Ajansı, 1990'dan 2022'ye kadar ulaşım emisyonlarında yıllık %1,7'lik istikrarlı bir artış olduğunu ve bunun sanayi hariç diğer sektörleri geride bıraktığını bildirmiştir [4]. Enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin geldiğı son noktadaki durumu için yapılan küresel çalışmalar hızla devam etmektedir. Paris İklim Anlaşması iklim kriziyle mücadele için devletlerin ortak hareket etmesini amaçlamaktadır. Birçok bilim insanı, iklim felaketlerinin önlenmesi için küresel sıcaklık artışının 1,5 °C ile sınırlandırılması gerektiğini vurgularken, ülkeler de bu hedef doğrultusunda sera gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla ulusal katkı beyanlarını sunarak taahhütlerde bulunmaktadır. Türkiye'de sera gazlarının %72'si ulaşımı da içine alan enerji sektöründen kaynaklanmaktadır. Ulaşımın payı ise %20 düzeylerindedir [5]. Son yıllarda, elektrikli araçlar ve ilgili teknolojilerde önemli ilerlemeler kaydedilmektedir. Bu gelişmelerde hükümetlerin, yatırımcıların ve otomotiv üreticilerinin artan ilgisi ve iddialı hedefleri belirleyici rol oynamaktadır. Elektrikli araçların yaygınlaştırılması ise, fosil

yakıtlara olan bağımlılığın azaltılması, enerji ihtiyacının ulusal ve bölgesel düzeyde daha ekonomik ve sürdürülebilir biçimde karşılanması ile hava kirliliğı kaynaklı emisyonların azaltılması açısından kritik bir öneme sahiptir [6-8]. Elektrikli araç kullanımının sürdürülebilir çevreye olan etkisi sadece hava kirletici emisyonlarını azaltmak değil aynı zamanda doğal kaynakların daha verimli kullanılmasına da olanak sağlar. Sonuçlar, elektrikli araç kullanımının yaygınlaştırılması 2050 yılına kadar ulaşımdan kaynaklanan toplam sera gazı emisyonlarını %34'e kadar azaltabileceğini göstermektedir [9]. Elektrikli araçlar, son yirmi yılda hem teknolojik gelişmeler hem de üretim kapasitesi açısından kayda değer bir ilerleme göstermiştir. 2021 yılında küresel elektrikli araç arzı 3,3 milyona ulaşarak, 2020 yılına göre %120 oranında artış göstermiştir [10,11].

Yapılan çalışmalar içten yanmalı motorlu araçlar yerine çevre dostu elektrikli araç kullanımının tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yaygınlaştırılarak hava kirletici emisyonlarını azalttığını göstermektedir [12]. Binek araçlardan kaynaklı karbondioksit veya atmosferik kirletici emisyonları ile ilgili yapılan pek çok çalışma elektrikli araçların içten yanmalı motorlu araçlara göre önemli emisyon azaltıcı etkileri olduğunu göstermiştir [13]. Elektrikli araçlar, sıfır emisyonla çalıştığı için hava kalitesini iyileştirir, insan sağlığını korur ve iklim değışikliğı ile mücadeleye katkıda bulunur. Ayrıca, elektrikli araçlar, enerjiyi daha verimli kullandıkları için sürücülere yakıt maliyetlerinde de tasarruf sağlar.

Çin'in Elektrikli Araç Tanıtım ve Teşvik Politikasının hava kirliliğı üzerindeki etkisini ve altında yatan mekanizmaları incelemek üzere yapılan çalışma, kentsel hava kirliliğini önemli ölçüde azaltarak ince partikül madde (PM_{2.5}) emisyonlarında %3,1'lik bir azalma ile ölüm riskinde %0,28-1,12'lik ve kirlilik kontrolü için yapılan devlet harcamalarında ise 175,1 milyar Yuan'lık bir azalmaya eşdeğer olduğu belirlenmiştir [9].

Elektrikli araçlar ile içten yanmalı motorlu araçlar arasındaki hava kirletici ve sera gazı emisyonlarındaki farkı analiz etmek için yapılan diğer bir çalışmada Çin'de elektrikli araçların daha fazla teşvik edilmesinin çevresel faydaları değerlendirilmiştir. Sonuçlar, elektrikli araçların içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla CO₂'nin yaşam döngüsü emisyonlarını %12, NO_x'i %69 ve uçucu organik bileşiklerin %9 oranında azalttığını ortaya koymaktadır [13]. Yapılan diğer bir çalışmada 2050 yılına kadar, elektrikli araçlara

geçişin yıllık CO₂eq emisyonlarını %98 ve kümülatif CO₂eq emisyonlarını %50'nin üzerinde azaltacağı tahmin edilmektedir [14]. Elektrikli araç kullanımı ile gelecekte CO₂ emisyon oranının değişiminin tahmin edilmesi üzerine yapılan Türkiye rnekli bir çalışmada CO₂ emisyonunun %2 ve üzerinde azalacağı tahmin edilmiştir.

Elektrikli araçların getirdiği faydaların belirlenmesi çevresel ve ekonomik açıdan önem taşımaktadır. Dolayısı ile elektrikli araç kullanımı ile gelen çevresel faydaların belirlenmesi gerekmektedir. Türkiye'de trafiğe kayıtlı elektrikli ve hibrit araç sayısı 2019 yılında ilk kez binin üzerine çıkarak (Tablo 1) 2020'de neredeyse üç kat artış

göstermiştir. 2023 yılında bu oran 2022 senesinin yaklaşık 5,5 katına 2024 yılında ise araç sayısı 183776'ya yükselmiştir. 2023 yılında trafiğe çıkan her bin araçtan beşi elektrikli araç olarak belirlenmiştir [15]. Tablo 1 ve Tablo 2'de görüldüğü üzere 2023 yılında Türkiye'de üretilen elektrikli araç sayısı 2023 yılında Dünyada üretilen elektrikli araç sayısının ise %1'lik kısmını oluşturmaktadır. İngiltere merkezli araştırma şirketi Rho Motion'un elektrikli araç satışlarına ilişkin açıkladığı 2024 verilerine göre, küresel elektrikli araç satışlarının 2023'e göre yüzde 25 büyüdüğünü ve bu büyümeyle, dünyada 2024 yılında 17.1 milyon elektrikli araç satışıyla rekor kırdığını açıklamıştır [16].

Tablo 1. Türkiye'de elektrikli ve hibrit araç sayısı (Number of electric and hybrid vehicles in Turkey)

Yıllar	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Elektrikli Araç	643	760	952	1176	2797	6267	14552	80.043	183776
Hibrit Araç	517	925	4415	13877	33690	86682	134662	222328	391296

Tablo 2. Dünyada elektrikli ve hibrit araç sayısı (Number of electric and hybrid vehicles in the World)

Yıllar	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Elektrikli Araç	490000	820000	1400000	1650000	2200000	4670000	7410000	7720000	17.1 Milyon
Hibrit Araç	280000	400000	630000	570000	980000	1940000	2840000	2920000	

Taşıt kaynaklı hava kirleticiler, şehir içi hava kalitesini belirleyen en kritik unsurlar arasındadır. Elektrikli araçların hava kirliliği, sağlık, ekonomi üzerindeki etkisini belirlemek üzere pek çok çalışma yapılmış ve olumlu sonuçlar alındığı ortaya çıkarılmıştır [17-22]. Böylece enerji tasarrufu, daha az emisyon ve çevreyi koruma, elektrikli araçların hızla yayılmasını sağlayan önemli nedenler arasında yerini almıştır [7].

Bu alışmada, Türkiye genelindeki toplam araç sayısının %65'ini barındıran illerde, 2016-2024 yılları arasındaki hava kalitesi verileri incelenerek elektrikli araç kullanımının hava kalitesi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, seçilen illerin 2016 ile 2024 yılları arasındaki PM₁₀ (apı 10 mikron veya daha az partikül madde), NO₂, SO₂ ve CO seviyelerinin değişimi, aynı dönemdeki araç sayılarındaki değişimle birlikte değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motorlu araçlara göre daha verimli enerji kullanımı sağlar. Geleneksel içten yanmalı motorlar genellikle %20-30 arasında verimlilikle çalışırken, elektrikli araçlar %90-95 arasında verimlilik oranına sahip olabilirler. Bu da aynı miktarda enerji ile daha uzun mesafeler kat edilmesini mümkün kılar. Bu verimlilik, doğal kaynakların daha az tükenmesine ve enerji tüketiminin azaltılmasına da yardımcı olur.

Fosil yakıtla çalışan içten yanmalı motorlu araçlar, atmosferdeki karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazlarını önemli lde artırırken, elektrikli araçlar sıfır emisyonu sahiptir. Elektrikli araçlar, doğrudan egzoz misyonu üretmedikleri için özellikle şehir içi trafik yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde hava kalitesini iyileştirir. Ayrıca, bu araçların sessiz çalışma özelliği, gürültü kirliliğini de azaltarak yaşam kalitesini artırır.

2024 yılı itibarıyla Türkiye genelinde trafiğe kayıtlı 31301389 motorlu kara taşıtı bulunmaktadır. Bu çalışmada, iller araç sayısına göre sıralanmış ve toplam araç sayısının %65'ini kapsayan iller analiz kapsamına alınmıştır (Tablo 3). Seçilen illere ait

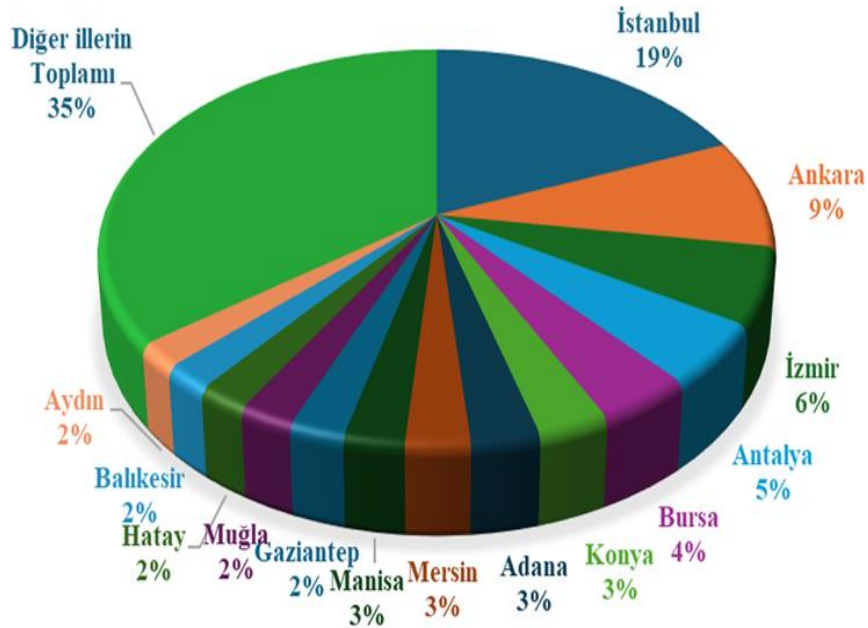
hava kalitesi verileri Türkiye Cumhuriyeti evre, şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'ndan elde edilmiştir. Bu yıllara ait elektrikli ve hibrit araç sayıları ise Türkiye İstatistik Kurumu'ndan alınmıştır (Tablo 1).

Tablo 3. İllere göre motorlu kara taşıtları sayısı, 2024 (Number of motor vehicles by province, 2024)

İller	Araç Sayısı
İstanbul	5840973
Ankara	2783571
İzmir	1954408
Antalya	1571626
Bursa	1243113
Konya	928837
Adana	896419
Mersin	836281
Manisa	789697
Gaziantep	725458
Muğla	717695
Hatay	667324
Balıkesir	641764
Aydın	624709
Diğer İller	11079514
Toplam	31301389

Hava kalitesi parametrelerinin de büyük kısmını etkileyen bu illere ait araç yüzdelikleri şekil 1'de görülmektedir. Bu veriler kullanılarak seçilen illerin

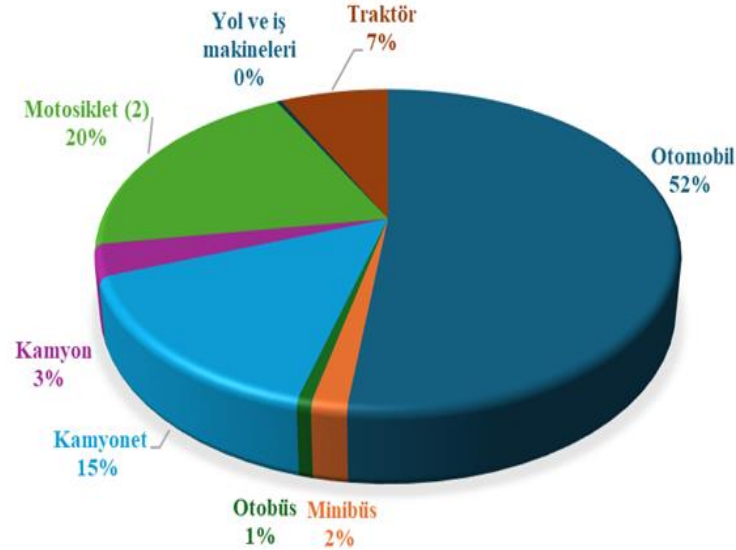
hava kalitesi parametrelerinin elektrikli ve hibrit araç sayılarındaki artış ile yıllara göre nasıl değiştiği tartışılmıştır.



şekil 1. Motorlu kara taşıtlarının sayısının illere göre yüzdelik dağılımı, 2024 (Percentage distribution of the number of motor vehicles by provinces, 2024)

Mevcut çalışma, trafiğe kayıtlı otomobiller yönünden değerlendirileceği için 2024 yılı Türkiye motorlu kara taşıt sayıları içinde otomobillerin oranı %52'dir (Şekil 2). Çalışmada, seçilen illerin 2016

ile 2024 yılları arasındaki PM_{10} , NO_2 , SO_2 ve CO seviyelerinin değişimi, aynı dönemdeki otomobil sayılarındaki değişimle birlikte değerlendirilmiştir.

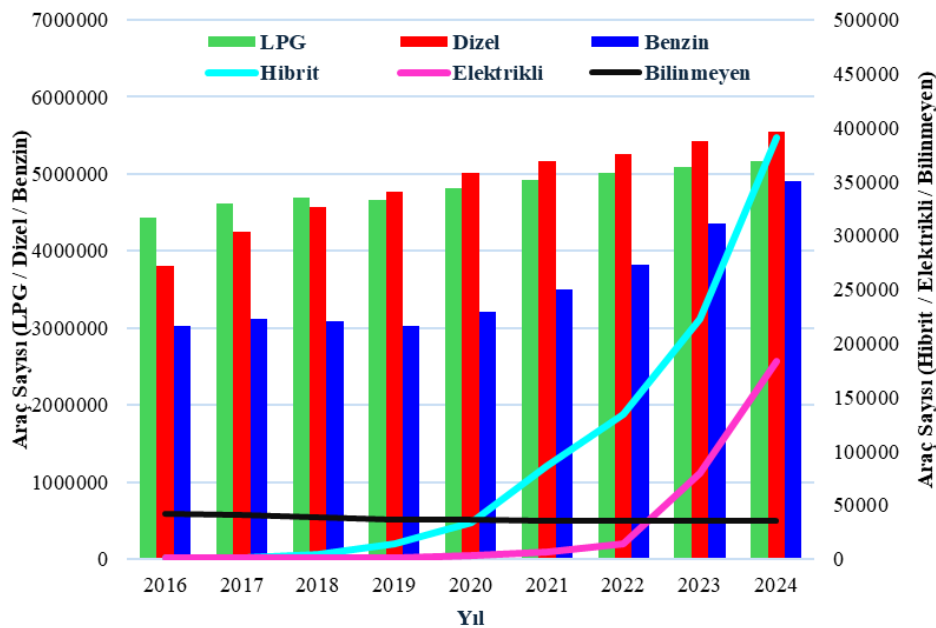


Şekil 2. Motorlu kara taşıtlarının sayısı, 2024 (Number of motor vehicles, 2024)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Motorlu taşıtlarda kullanılan yakıt türleri hem enerji politikaları hem de çevresel etkiler açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle fosil yakıt tüketen araçların neden olduğu sera gazı emisyonları ve hava kirliliği, alternatif yakıtlı araçlara olan ilgiyi artırmaktadır. Bu bağlamda, Türkiye'deki otomobillerin yakıt türlerine göre dağılımının

incelenmesi, sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesi açısından önemli bir veri kaynağı sunmaktadır. Türkiye'de trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı Şekil 3'ten görüldüğü üzere yıllar içerisinde LPG, dizel ve benzinli araçların sayısındaki artışa oranla elektrikli, hibrit ve diğer araç türlerinde görülen yüksek artış miktarı umut verici olarak değerlendirilmektedir.



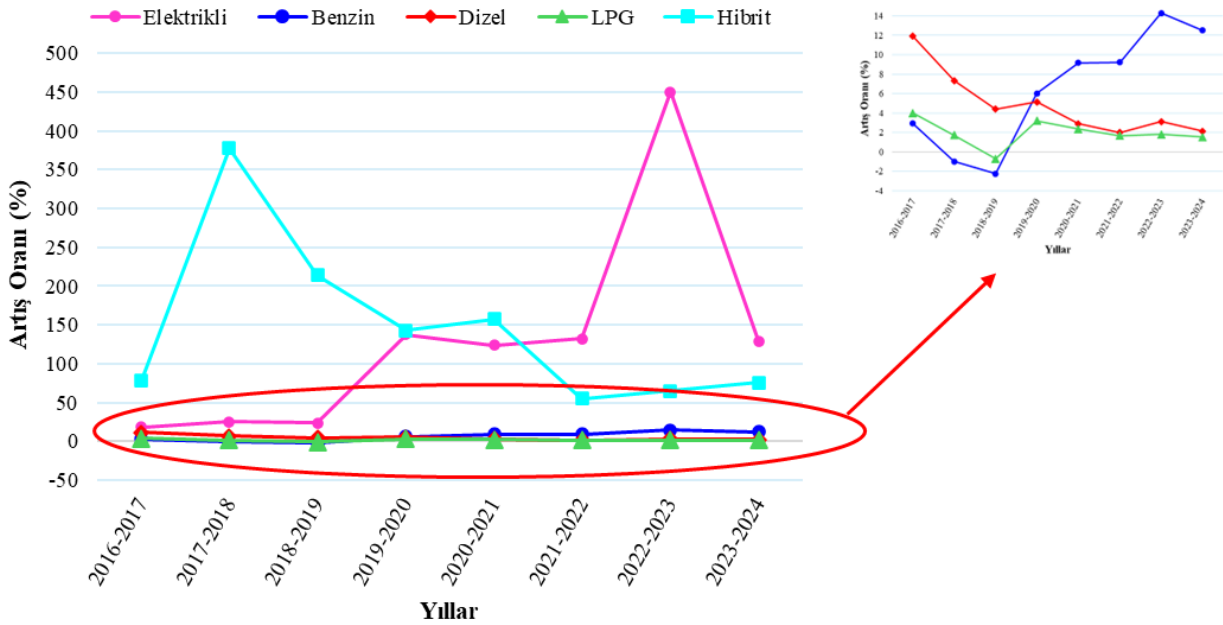
Şekil 3. Trafiğe kayıtlı otomobillerin yakıt cinsine göre dağılımı (Distribution of registered cars by fuel type)

Şekil 4'te sunulan veriler, Türkiye'de 2016–2024 yılları arasında motorlu taşıt türlerine göre yıllık artış oranlarını ortaya koymaktadır. Elektrikli ve hibrit araçların artış oranları, diğerk yakıt türlerine kıyasla 20 kat daha hızlı büyüme göstermiştir. Özellikle 2022–2023 döneminde elektrikli araçların artış oranı yaklaşık %450'ye ulaşarak en yüksek artışı göstermiştir. Bu durum, elektrikli araçlara yönelik devlet destekleri, şarj altyapısındaki gelişmeler ve çevresel farkındalığın artmasıyla ilişkilendirilebilir.

Benzer şekilde, hibrit araçlar 2017–2018 döneminde %380 oranında artış göstermiş, ancak takip eden yıllarda bu oranlar düşüş eğilimine girmiştir. Buna karşılık benzinli, dizel ve LPG'li araçlar daha sınırlı artış oranları sergilemiş ve genel olarak durağank bir seyir izlemiştir. Benzinli araçlar yıllara göre %0 ila %12 arasında değişen artış oranları göstermiş, 2017–2018 döneminde kısa süreli bir azalma yaşasa da sonraki yıllarda artış

trendine girmiştir. Dizel araçlar ise 2016–2017'de %13'e yakın bir artış yaşamış, ancak yıllar içinde bu oran istikrarlı bir şekilde azalarak son dönemde durağanklaşmıştır. Dizel araçlara yönelik çevresel kaygılar ve düzenleyici politikalar bu gerilemeyi açıklamaktadır. LPG'li araçların artış oranları ise genellikle %0–%4 seviyelerinde seyrederek düşüş ve istikrarlı kalmıştır. Yakıt türüne göre araçların ortalama yıllık artış oranları (2016–2024) elektrikli %132, hibrit %147, benzinli %6, dizel %5 ve LPG de ise %2'dir. Elektrikli ve hibrit araçlar, Türkiye otomotiv sektöründe açık ara en hızlı büyüme oranına sahiptir.

Tüm bu veriler, Türkiye'de motorlu taşıt tercihlerinde önemli bir dönüşüm yaşandığını ve fosil yakıtlı araçların yerini giderek elektrikli ve hibrit araçlara bıraktığını göstermektedir. Bu dönüşüm, sürdürülebilir ulaşım politikalarının etkisini ve kullanıcı tercihlerindeki yapısal değişimi yansıtmaktadır.



Şekil 4. Türkiye'de araç türlerine göre yıllık artış oranları (Annual increase rates according to vehicle types in Turkey)

Kapsamlı bilimsel kanıtlara dayanarak dünya çapında halk sağlığın korumak için gerekli olan hava kalitesi seviyelerini belirleyen Dünya Sağlık rgt (DSÖ), hava kirliliğine neden olan bu maddelerin kılavuz değerlerini içeren DSÖ Küresel Hava Kalitesi Kılavuzu'nun 2021 yılında revize ederek daha da aşağıya çekmiştir.

DSÖ'nün 2005 yılı hava kalitesi kılavuz değerleri, 2021 yılı Eylül ayında güncellenen değerleri ve Türkiye'nin güncel limitleri Tablo 4'te görülmektedir [23].

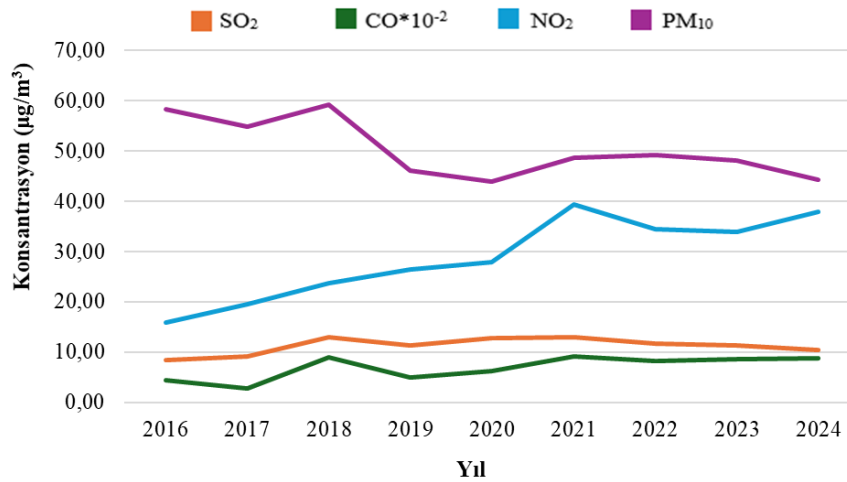
Tablo 4. Hava kalitesi kılavuz değerleri (Air quality guidance values)

Kirletici	DSÖ 2005 Yılı Kılavuz Değerleri (mg/m ³)	DSÖ 2021 Yılı Kılavuz Değerleri (mg/m ³)	Türkiye Güncel Limitler (mg/m ³)
PM ₁₀ (Yıllık Değer)	20	15	40
NO ₂ (Yıllık Değer)	40	10	40
SO ₂ (Günlük Değer)	20	40	20
CO (Günlük Değer)	-	4	10

2016-2024 yılları arasında seçilen illerdeki hava kalitesi parametrelerinin araç sayılarına göre değerlendirilmesi Tablo 4'te verilen hava kalitesi kılavuz değerleri baz alınarak yapılmıştır. 2016–2024 yılları arasında Türkiye’de hava kalitesini etkileyen temel kirleticiler olan SO₂, CO, NO₂ ve PM₁₀’nin yıllık ortalama konsantrasyon değerleri Şekil 5’te gösterilmiştir. Genel eğilim incelendiğinde, hava kirliliğinde en baskın olan PM₁₀ (partikül madde) parametresi 2016 yılında yaklaşık 58 µg/m³ iken 2020 yılında 45 µg/m³ seviyelerine kadar düşmüştür. Ancak takip eden yıllarda kısmi bir artış gösterdikten sonra 2024’te yaklaşık 44 µg/m³ düzeyine gerilemiştir. Bu değişim, PM₁₀ kaynaklarının (inşaat faaliyetleri, ulaşım ve ısınma) dönemsel etkilerle çeşitlilik gösterdiğini düşündürmektedir. NO₂ (azot dioksit) konsantrasyonu, analiz edilen dönemde belirgin bir artış eğilimi sergilemiştir. 2016 yılında 15 µg/m³ düzeyindeyken, 2021 yılında yaklaşık 39 µg/m³ seviyesine kadar yükselmiş ve bu artış motorlu taşıt kullanımındaki artışla doğrudan ilişkilendirilebilir. 2022 ve 2023’te bir miktar düşüş yaşansa da 2024 yılı itibarıyla NO₂ seviyesi tekrar yükselme eğilimigöstermiştir. SO₂ (kükürt dioksit) konsantrasyonu 2016’da yaklaşık 8 µg/m³ iken, 2018’de kısa süreli bir artışla 12 µg/m³’e ulaşmış,

ardından yeniden düşüş eğilimi göstererek 2024 yılında yaklaşık 10 µg/m³’e gerilemiştir. Bu eğilim, sanayi kaynaklı emisyonların ve kentsel ısınma yöntemlerinin zamanla daha çevreci yakıt türlerine yönelmesiyle açıklanabilir. CO (karbon monoksit) değerleri grafikte 10⁻² katsayısı ile gösterilmiş olup oldukça düşük seviyelerde seyretmiştir. 2016 yılında yaklaşık 4×10⁻² µg/m³ olan CO konsantrasyonu, 2018’de kısa süreli artış göstermiş ve 2021’de yeniden yükselerek 9×10⁻² µg/m³ düzeyine ulaşmıştır. Bu durum, motorlu taşıt trafiği ve fosil yakıt kullanımına bağlı olarak CO emisyonlarının hâlen çevresel risk oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

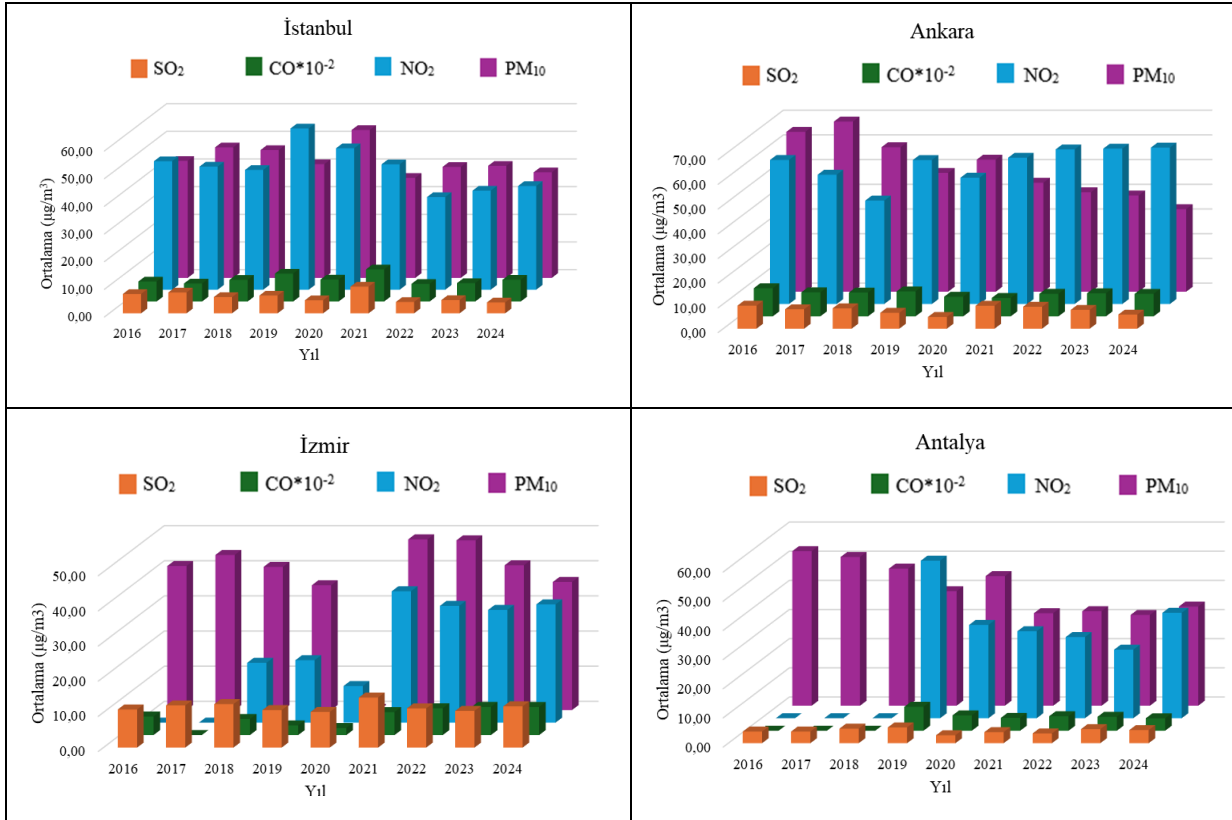
Genel olarak değerlendirildiğinde, PM₁₀ ve NO₂ gibi ulaşım ve sanayi kaynaklı kirleticilerin hâlen DSÖ’nün limitlerinin üzerinde seyretmektedir. Buna karşın SO₂ ve CO değerlerindeki azalma, belirli alanlarda emisyon kontrol önlemlerinin etkili olmaya başladığını göstermektedir. Bu bağlamda, hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik elektrikli ve hibrit taşıtların gelişen teknolojisi ve artan kullanımı ile sürdürülebilir ulaşım politikaları, yakıt türlerine yönelik azaltıcı politikalar, sanayi kaynaklı emisyonların denetimi ve pandemi gibi toplumsal olaylarla ilişkilendirilebilir.

**Şekil 5.** Türkiye genelinde hava kirleticilerde yıllık ortalama değişim (2016-2024) (Average annual changes in air pollutants in Turkey (2016-2024))

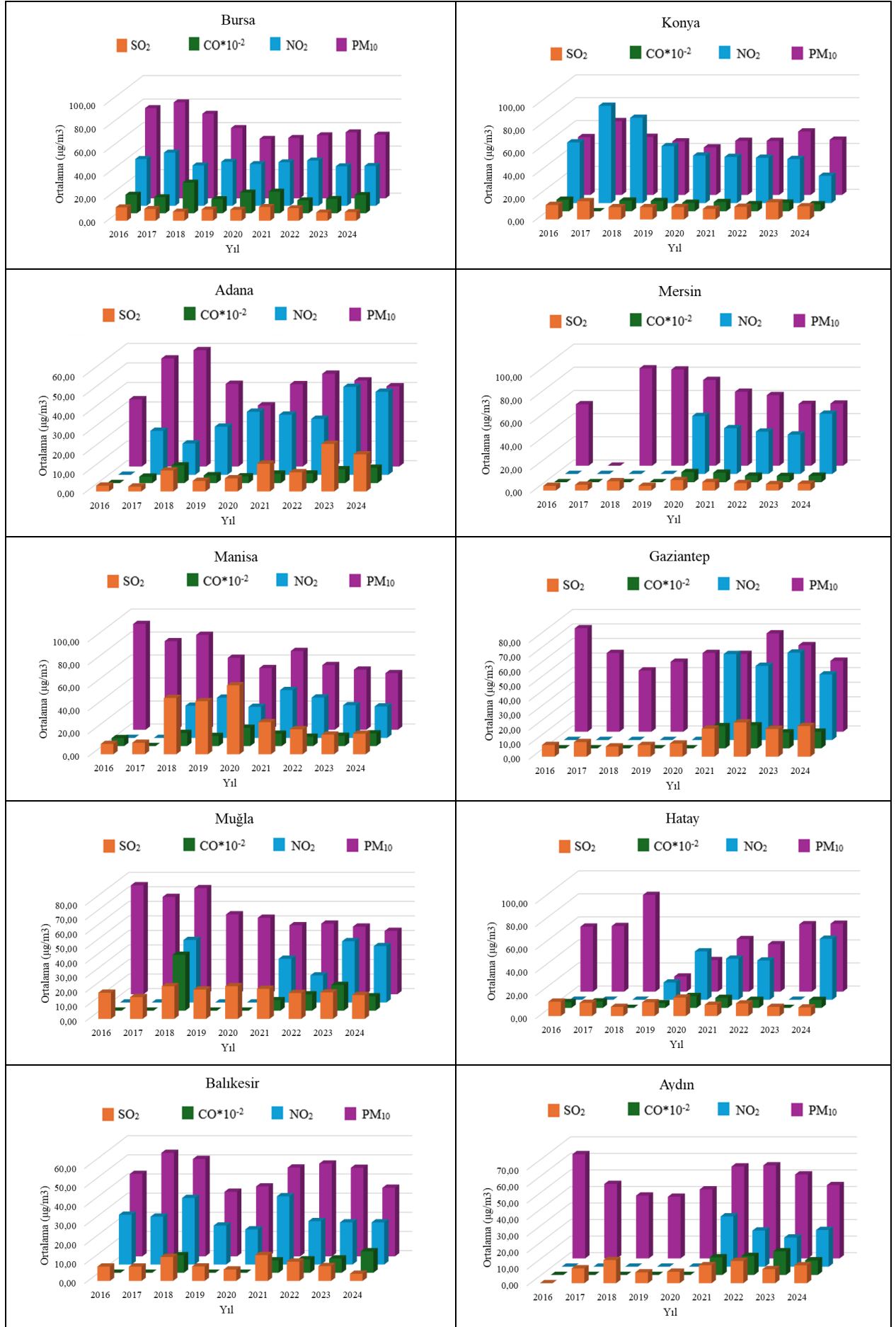
Hava kalitesi göstergelerinin zamana bağlı değişimi elektrikli araçlardaki artışla beraber, kentleşme düzeyi, sanayi yoğunluğu, ulaşım altyapısı ve yerel evre politikaları gibi çeşitli etkenlere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Çalışmada seçilen illere ait hava kalitesi parametrelerinin yıllara göre değişimi iyileşme göstermiş ancak tüm illerde eşit dağılım göstermemiştir (şekil 6). PM₁₀ konsantrasyonları, 2016 yılında birçok ilde 60–80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyelerinde iken, 2024 yılında 30–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığına gerilemiştir. Özellikle Ankara, İzmir, Antalya, Muğla gibi şehirlerde belirgin iyileşme gözlemlenmiştir. 2016–2017 yıllarında birçok ilde PM₁₀ seviyeleri 50–80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ arasında yoğunlaşmış. 2020 sonrası birçok şehirde düşüş gözlemleniyor. 2024 yılı itibarıyla çoğu ilde değerler 30–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığına düşmüş. 2016 ve 2024 yılları arasında, PM₁₀ konsantrasyonları Türkiye'deki çoğu şehirde azalma eğilimi göstermiştir. Bu azalma, araç teknolojilerindeki gelişmelere, alternatif yakıtların daha fazla benimsenmesine ve yerel evre düzenlemelerine bağlanabilir. Bununla birlikte, birçok bölgede PM₁₀ seviyeleri hala DSÖ'nün önerdiği sınırların üzerinde kalmaktadır ve bu da halk sağlığını korumak için özellikle kentsel ve sanayileşmiş alanlarda daha fazla emisyon kontrol önlemine acilen ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

NO₂ seviyeleri özellikle büyük şehirlerde motorlu kara taşıtlarından kaynaklı emisyonları yansıtır. 2016'da İstanbul, Ankara gibi büyükşehirlerde NO₂ ortalamaları 50–60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ iken, 2024 verileri çoğu ilde 30–40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında seyretmektedir. Bazı şehirlerde (rneğin İzmir), 2018–2020 yılları arasında değerler 15–20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ düzeyine kadar gerilemiştir. Bu düşüş, taşıt kaynaklı emisyonların azaldığının göstergesidir. Aynı dönemde hibrit ve elektrikli araçların artışı, içten yanmalı motorlu kara taşıtların toplam trafik içindeki ağırlığını azaltmış, bu da NO₂ konsantrasyonlarını olumlu yönde etkilemiştir.

SO₂ seviyesi, genellikle kömür ve düşük kaliteli dizel gibi yüksek kükürtlü yakıtların kullanımına bağlıdır. SO₂ seviyeleri, Bursa, Konya ve Manisa gibi illerde yüksek seyretmiştir. Ancak, 2016–2017 yıllarında 10–15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ civarındaki değerler, 2024 yılında 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ altına gerilemiştir. 2016–2017 yıllarında bazı şehirlerde 10–15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ düzeyinde olan SO₂, 2024'te birçok ilde 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'nin altına inmiştir. Bu azalma, motorin ve kömür gibi kükürt içeriği yüksek yakıtların kullanımının azaltılması ve taşıtlarda daha temiz yakıtların (LPG, elektrik) tercih edilmesiyle de ilişkilidir. En yüksek SO₂ değerleri geçmişte Bursa, Konya, Manisa gibi sanayi yoğun şehirlerde gözlenmiştir.



şekil 6. İllere ait hava kalitesi parametreleri (Air quality parameters of provinces)



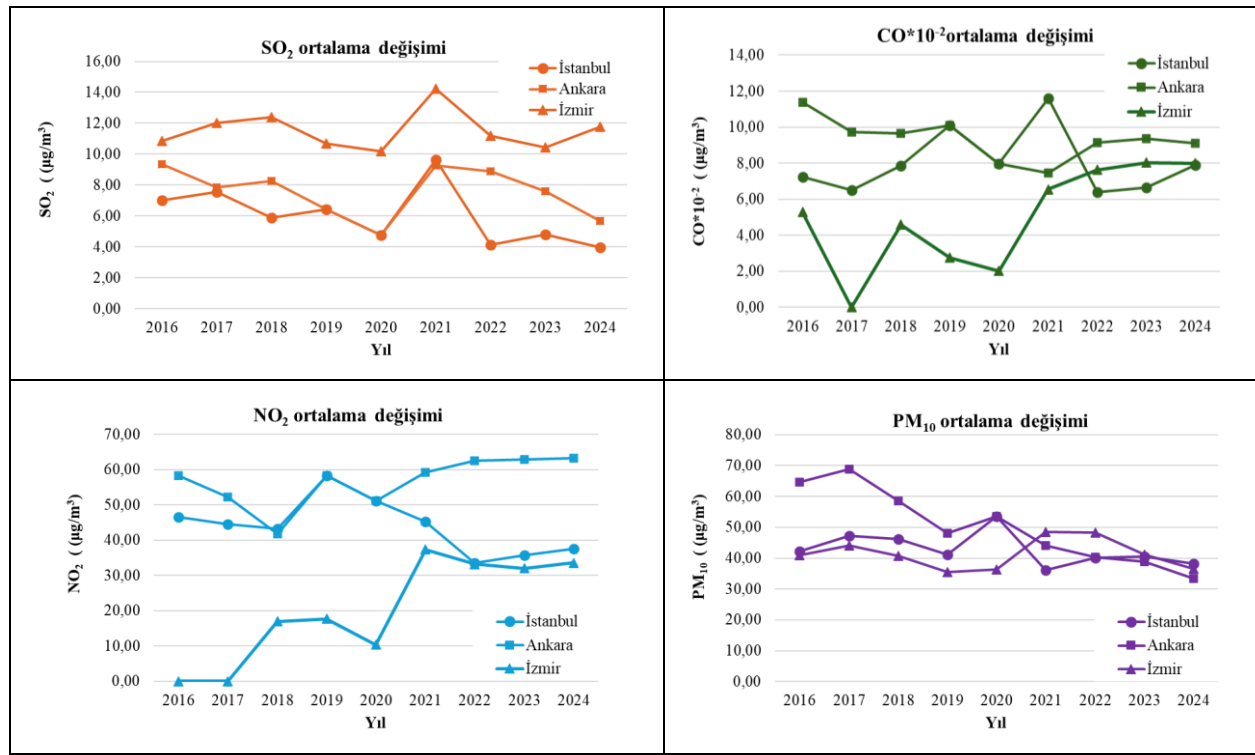
Şekil 6. İllere ait hava kalitesi parametreleri (devam) (Air quality parameters of provinces (continue))

CO seviyeleri, motorlu taşıt egzozlarından kaynaklanan önemli bir kirlenici olarak dikkat çekmektedir. 2016–2019 arasında birçok şehirde CO seviyeleri 7–10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığında seyredirken, 2020 sonrasında özellikle elektrikli araç kullanımındaki artışla birlikte CO seviyelerinde düşüş gözlemlenmiştir. 2023 ve 2024 verileri, İstanbul, Antalya, Muğla ve Mersin gibi şehirlerde CO değerlerinin 4–6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyelerine gerilediğini göstermektedir.

Yakın zamanda yapılan araştırmalar Türkiye’de gözlemlenen eğilimleri desteklemektedir. Örneğin Li ve arkadaşlarının 2021 yılında yaptığı çalışmada [24], Çin’in büyük şehirlerinde elektrikli araçların yaygın olarak kullanılmasının NO_2 ve $\text{PM}_{2.5}$

konsantrasyonlarını önemli ölçüde azalttığını bildirmiştir. Benzer şekilde, Avrupa Çevre Ajansı [25], hibrit ve akülü elektrikli araçların daha yüksek oranda benimsendiği bölgelerde kentsel hava kalitesinde kayda değer iyileşmeler yaşandığını vurgulamıştır. Bu uluslararası bulgular, 2016-2024 döneminde Türkiye’deki şehirlerde gözlemlenen iyileşmelerle paralellik göstermektedir.

Türkiye’de son 9 yılda hava kalitesi göstergelerinde gözlenen iyileşme, özellikle araç teknolojilerindeki dönüşüm (elektrikli ve hibrit araç yaygınlaşması) ve enerji politikalarındaki düzenlemeler ile yakından ilişkilidir. Ancak PM_{10} ve NO_2 hâlâ DSÖ sınır değerlerinin üzerinde seyretmektedir.



Şekil 7. İstanbul, Ankara ve İzmir illerine ait yıllık hava kalitesi değişimi (Annual air quality change in Istanbul, Ankara and Izmir)

Nüfus yoğunluğu en fazla olan İstanbul, Ankara ve İzmir illerine ait 2016–2024 yılları arasındaki PM_{10} , CO, SO_2 ve NO_2 konsantrasyonlarının yıllık değişimini daha ayrıntılı bir şekilde gösteren Şekil 7, elektrikli araç sayısının artışının önemini daha iyi göstermektedir. Bu parametrelere ait verilere bakıldığında genel olarak olumlu ve farklı bir hava kalitesi eğilimi sergilemektedir.

İstanbul için PM_{10} seviyeleri daha istikrarlı olup 2016–2024 arası genelde 36–53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aralığındadır. 2016’da 42.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2024’te 38.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e düşmüştür. Dalgalı bir seyir izlese de

belirgin bir iyileşme vardır. CO değerleri 2016’da 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2021’de maksimum değeri olan 11,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e çıkmış sonrasında düşüle 2024’te 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e ulaşmıştır. SO_2 konsantrasyonu 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’den 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e ciddi bir düşüş (%43) göstermiştir. NO_2 seviyelerinde ise genel anlamda düşüş mevcut olup maksimum değeri olan 58,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e 2019 yılında çıkmıştır. 2016 yılındaki NO_2 değeri olan 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’den yaklaşık %19 oranında bir azalma ile 2024 yılında 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e kadar azalmıştır. Genel olarak İstanbul’da hava kirlenmelerde düşüş eğilimi hakimdir.

Ankara'da PM₁₀ seviyelerinde çok daha belirgin bir iyileşme gözlenmiş olup, 65 µg/m³'den 33 µg/m³'e düşerek yaklaşık %48 oranında azalma kaydedilmiştir. CO konsantrasyonunda da %19,92'lik bir düşüş (11.39 µg/m³'den 9.12 µg/m³'e) meydana gelmiştir. SO₂ seviyelerinde ise 2021 yılı hariç genel anlamda düşüş mevcuttur. 2016 yılında SO₂ konsantrasyonu 9.33 µg/m³ değeriinde iken yaklaşık %39'luk bir düşüş ile 2024 yılında 5.69 µg/m³'e gerilemiştir. Ancak dikkat çekici olarak, NO₂ konsantrasyonunda 2016-2018 yılları arasında ciddi bir azalma görülse de sonrasında artış tespit edilmiştir. 2016 yılında 58.33 µg/m³ olan seviye 2024 yılında 63.33 µg/m³'e çıkarak yaklaşık %8,57 oranında artmıştır. Ankara'da genel bir iyileşme eğilimi mevcut olmakla birlikte, NO₂ artışı taşıt kaynaklı emisyonların kontrolünde güçlükler olduğunu göstermektedir.

İzmir için ise PM₁₀, 2016–2019 arasında kademeli azalma ile 2021'den sonra tekrar yükselmiş ardından düşüş başlamış ve 2024 itibarıyla 41 µg/m³'den 36 µg/m³'e düşerek %11 oranında azalma göstermiştir. Muhtemel nedenler olarak dizel araç sayısının azalması, hibrit ve elektrikli araç sayısındaki artış ve pandemi sonrası azalan trafik yoğunluğu (özellikle 2020-2022 yılları arasında) sıralanabilir. Ancak nüfus ve araç yoğunluğu nedeniyle PM₁₀ seviyesi hala Dünya Sağlık Örgütü'nün önerdiği sınırın (15 µg/m³) üzerindedir. Buna karşın CO konsantrasyon değerlerinde 2017-2019-2020 yıllarında düşüş olsa da genel olarak belirgin bir artış gözlenmiş ve 2016 yılında 5 µg/m³'den 2024 yılında 8 µg/m³'e yükselerek yaklaşık %51 oranında artmıştır. SO₂ konsantrasyonu da 11 µg/m³'den 12 µg/m³'e çıkarak %8'lik bir artış sergilemiştir. NO₂ için 2018 yılında 17 µg/m³ olan seviyenin 2024 yılında 34 µg/m³'e yükselerek dramatik bir artış yaşanmıştır. İzmir'de özellikle CO ve NO₂ konsantrasyonlarındaki bu ciddi artış, taşıt emisyonlarının ve kentsel hava kalitesi yönetiminin daha fazla dikkat gerektirdiğini ortaya koymaktadır.

Hava kirliliği göstergelerinde gözlemlenen azalma, çeşitli çevresel ve yapısal müdahalelere dayanmaktadır. Bu iyileşmede, elektrikli araç kullanımının yaygınlaşması, çevreye duyarlı politika ve yönetmeliklerin uygulanması, doğalgaz ve merkezi ısıtma sistemlerinin kullanım oranındaki artış, inşaat ve ulaşım kaynaklı partikül madde salımlarının kontrol altına alınması gibi faktörler önemli rol oynamaktadır. Özellikle 2020 yılında COVID-19 pandemisine bağlı olarak sanayi üretiminin ve ulaşım faaliyetlerinin geçici olarak durma noktasına gelmesi, hava kirlleticilerin

konsantrasyonlarında belirgin düşüşlere neden olmuştur. Ayrıca, ulaşım altyapısında yapılan düzenlemeler, hava kalitesi denetimlerinin sıkılaştırılması ve kükürt içeriği yüksek yakıtların (örneğin kömür ve fuel-oil) kullanımının sınırlandırılması da bu olumlu gelişmeleri destekleyen başlıca etkenler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, bu çalışmada belirli hava kirleticilerde (özellikle NO₂ ve CO) gözlemlenen bölgesel artışlar; içten yanmalı motorlu araçların trafik içindeki yüksek oranı, toplu taşıma sistemlerinin yetersizliği, şehirleşme ve nüfus yoğunluğundaki artış, sanayi faaliyetlerinin bölgesel dağılımı ile liman ve havaalanı kaynaklı yoğun ulaşım hareketliliği gibi etmenlerle açıklanabilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Elektrikli araçlar, sürdürülebilir çevreye olan katkıları açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Karbon emisyonlarının azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesi, doğal kaynakların verimli kullanılması ve yenilenebilir enerji ile entegrasyon gibi birçok avantaj, elektrikli araçların çevreye olumlu etkilerini ortaya koymaktadır.

2016–2024 döneminde Türkiye'deki hava kalitesi, özellikle PM₁₀, NO₂, SO₂ ve CO parametreleri açısından olumlu bir eğilim sergilemiştir. Bu eğilim, elektrikli/hibrit taşıtların artan kullanımı, fosil yakıt türlerine yönelik azaltıcı politikalar ve pandemi gibi toplumsal olaylarla ilişkilidir. Ancak, PM₁₀ ve NO₂ seviyeleri hâlâ DSÖ limitlerinin üzerindedir. Hava kalitesindeki iyileşme tüm illerde eşit dağılım göstermemiştir. Özellikle İstanbul, Ankara ve İzmir illeri için PM₁₀, SO₂ ve CO seviyelerinde iyileşmeler olmakla birlikte Ankara ve İzmir illerinde NO₂ emisyonunda artış görülmektedir. Bu bulgular, hava kalitesinin korunması için elektrikli araç kullanımının daha da yaygınlaştırılması, toplu taşıma sistemlerinin güçlendirilmesi ve yerel emisyon yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Türkiye genelinde hava kalitesi parametrelerinde ölçülebilir iyileştirmeler elde edilmiş olsa da uzun vadeli halk sağlığı ve ekolojik dayanıklılığı sağlamak için sürdürülebilir çevre politikası çabaları esastır.

Sonuç olarak, elektrikli araçlar daha uzun vadede, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha düşük yaşam döngüsü emisyonlarına sahiptir. Bu da elektrikli araçların çevreye olan olumlu etkisinin uzun vadede daha belirgin hale gelmesini sağlar. Elektrikli araçların çevresel faydaları, kullandıkları enerji kaynağına da bağlıdır. Bu

araçlar temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslendiğinde (örneğin, güneş, rüzgâr veya hidroelektrik enerji) daha da evre dostu hale gelir. Bu tür enerji kaynakları, elektrikli araçların karbon ayak izini daha da küçültür. Özellikle güneş panelleri ile donatılmış evlerde, araçların şarjı yenilenebilir enerji ile sağlanabilir ve bu durum hem sürdürülebilirlik hem de enerji verimliliği açısından büyük bir adım olur. Bu teknolojinin potansiyelinden tam olarak yararlanabilmek için çevresel etkilerinin yönetilmesi ve yaygınlaştırılarak daha fazla yatırım yapılması gerekmektedir. Geleceğin ulaşım sistemlerinin temel taşlarından biri olarak kabul edilen elektrikli araçların yaygınlaşması, yalnızca çevreye olan olumlu etkileri artırmakla kalmaz, aynı zamanda toplumların daha sürdürülebilir bir yaşam tarzına geçişini de hızlandıracaktır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır.

The authors contributed equally to this study.

IKAR ATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir ıkar atışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Demirbaş, M., & Aydın, R. (2020). 21. Yüzyılın en büyük tehdidi: küresel iklim değışikliği. *Ecological Life Sciences*, 15(4), 163-179.
- [2] Ding, X., Gong, K., & Li, A. (2024). Electric vehicle adoption and counter-urbanization: Environmental impacts and promotional effects. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 132, 104260.
- [3] Requia, W. J., Mohamed, M., Higgins, C. D., Arain, A., & Ferguson, M. (2018). How clean are electric vehicles? Evidence-based review of the effects of electric mobility on air pollutants, greenhouse gas emissions and human health. *Atmospheric Environment*, 185, 64-77.
- [4] Chi, J. (2025). Impacts of electric vehicles and environmental policy stringency on transport CO2 emissions. *Case Studies on Transport Policy*, 19, 101330.
- [5] Köksal, E., Ardiyok, S., & Ikiler, B. (2021). Elektrikli araçlar için şarj altyapısı–Türkiye için fırsatlar ve öneriler (Charging infrastructure for electric vehicles–opportunities and suggestions for Turkey). *Baseak CORE Papers*, (11).
- [6] Ding, N., Prasad, K., & Lie, T. T. (2017). The electric vehicle: a review. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 9(1), 49-66.
- [7] Wu, Y., & Zhang, L. (2017). Can the development of electric vehicles reduce the emission of air pollutants and greenhouse gases in developing countries? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 51, 129-145.
- [8] Tang, B., Jiang, H., Zhuge, W., & Sun, L. (2024). Adaptability and environmental impact of CO2/R41 mixture in heat pump air conditioning systems for electric vehicles. *Applied Thermal Engineering*, 250, 123463.
- [9] Lin, J. (2025). Effects of electric vehicle demonstration and promotion policy on air pollution: Evidence from China. *Transport Policy*, 162, 1-19.
- [10] Suganya, R., Joseph, L. L., & Kollem, S. (2024). Understanding lithium-ion battery management systems in electric vehicles: Environmental and health impacts, comparative study, and future trends: A review. *Results in Engineering*, 24, 103047.
- [11] Safarian, S. (2023). Environmental and energy impacts of battery electric and conventional vehicles: A study in Sweden under recycling scenarios. *Fuel Communications*, 14, 100083.
- [12] Kang, H., Jung, S., Kim, H., An, J., Hong, J., Yeom, S., & Hong, T. (2025). Life-cycle environmental impacts of reused batteries of electric vehicles in buildings considering battery uncertainty. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 207, 114936.
- [13] Shang, H., Sun, Y., Huang, D., & Meng, F. (2024). Life cycle assessment of atmospheric environmental impact on the large-scale promotion of electric vehicles in China. *Resources, Environment and Sustainability*, 15, 100148.
- [14] Mehlig, D., Staffell, I., Stettler, M., & ApSimon, H. (2023). Accelerating electric vehicle uptake favours greenhouse gas over air pollutant emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 124, 103954.

- [15] Türkiye İstatistik Kurumu (TUIK). Motorlu Kara Taşıtları. [Veri Dosyası] <https://data.tuik.gov.tr/Search/Search?text=motorlu%20kara%20ta%C5%9F%C4%B1tlar%C4%B1> (Son Erişim Tarihi: 25.04.2025)
- [16] EV Production Quarterly Outlook rhomotion. <https://rhomotion.com/research/ev-production-quarterly-outlook/> (Son Erişim Tarihi: 31.07.2025)
- [17] Franz, S., & Nasca, A. (2021). The environmental impact of electric vehicles: A novel life cycle-based evaluation framework and its applications to multi-country scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 315, 128005.
- [18] Pipitone, E., Caltabellotta, S., & Occhipinti, L. (2021). A life cycle environmental impact comparison between traditional, hybrid, and electric vehicles in the European context. *Sustainability*, 13(19), 10992.
- [19] Schmid, A. (2017). An analysis of the environmental impact of electric vehicles. *Missouri S&T's Peer to Peer*, 1(2), 2.
- [20] Ferrero, E., Alessandrini, S., & Balanzino, A. (2016). Impact of the electric vehicles on the air pollution from a highway. *Applied energy*, 169, 450-459.
- [21] Ercan, T., Onat, N. C., Keya, N., Tatari, O., Eluru, N., & Kucukvar, M. (2022). Autonomous electric vehicles can reduce carbon emissions and air pollution in cities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 112, 103472.
- [22] Sharma, A., Shiwang, J., Lee, A., & Peng, W. (2023). Equity implications of electric vehicles: A systematic review on the spatial distribution of emissions, air pollution and health impacts. *Environmental Research Letters*, 18(5), 053001.
- [23] WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf](https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf)
- [24] Li, J. et al. (2021). The Role of Electric Vehicles in Reducing Urban Air Pollution in China. *Environmental Science & Technology*, 55(8), 5022–5030.
- [25] European Environment Agency (EEA). (2022). Air quality in Europe — 2022 report. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022>