Artvin Çoruh Üniversitesi
Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi
**Doğal Afetler ve Çevre Dergisi**

Artvin Çoruh University
Natural Hazards Application and Research Center
**Journal of Natural Hazards and Environment**

*Araştırma Makalesi / Research Article, Doğ Afet Çev Derg, 2026; 12(1): 183–199, DOI: 10.21324/dacd.1772791*

# Türkiye Otoyollarında Karayolu Ulaşımı Kaynaklı Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesi

**Nevfel Yunus Coskun**[1,*]

[1]*Yozgat Bozok Üniversitesi, Sorgun Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümü, 66700, Sorgun, Yozgat.*

## *Özet*

*Hava kirliliği, küresel ölçekte insan sağlığı, ekosistem dengesi ve iklim sistemi üzerinde çok boyutlu olumsuz etkiler yaratan çevresel bir sorundur. Ulaşım sektörü, özellikle içten yanmalı motorlara sahip taşıtlar aracılığıyla bu kirleticilerin başlıca kaynaklarından biri haline gelmiştir. Türkiye'de artan taşıt sayısıyla şehirlerin trafik yoğunluğu, otoyol hatlarında taşıt kaynaklı emisyonların belirgin biçimde yükselmesine yol açmaktadır. Otoyollar hem yoğun taşıt geçişinin hem de dizel motorlu ağır taşıtların yaygınlığının etkisiyle çevresel açıdan kritik alanlar haline gelmiştir. Bu çalışmada, Türkiye'deki otoyollarda karayolu ulaşımından kaynaklanan hava kirletici emisyonlarının (karbonmonoksit, azot oksitler, uçucu organik bileşikler ve partikül madde) bölgesel düzeyde değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Avrupa Çevre Ajansı 2023 Hava Kirletici Emisyon Envanteri Kılavuzu'ndaki güncel emisyon faktörleri ve Tier-1 metodolojisi kullanılarak, Karayolları Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 2023 yılı gişe bazlı trafik verileri ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, trafik yoğunluğunun en yüksek olduğu İstanbul (Ispartakule-Mahmutbey kesimi), Ankara (İvedik-Esenboğa kesimi) ve İzmir (Otoyol Ayr.-Üniversite kesimi) çevre yollarında karbonmonoksit ve azot oksit emisyonlarının en üst seviyelere ulaştığı tespit edilmiştir. Özellikle sanayi ve lojistik koridoru üzerinde bulunan Adana (Adana Batı-Doğu kesimi) bölgesinde, ağır taşıt kaynaklı azot oksit emisyonunun 2.875 kg/gün gibi oldukça yüksek bir değere ulaştığı belirlenmiştir. Bu bulgular, hava kalitesi yönetimi ve sürdürülebilir ulaşım planlaması için bölgesel ölçekte, veriye dayalı bir temel oluşturmaktadır.*

Anahtar Sözcükler
Hava Kalitesi, Taşıt Teknolojileri, Egzoz Emisyonları, Trafik Yoğunluğu, Otoyollar, Enerji

# Assessment of Road Transport-Induced Air Pollution on Türkiye's Highways

## *Abstract*

*Air pollution is an environmental problem that exerts multidimensional adverse effects on human health, ecosystem balance, and the climate system on a global scale. The transportation sector has become one of the primary sources of these pollutants, particularly through vehicles powered by internal combustion engines. In Türkiye, the increasing number of vehicles has led to rising traffic density in urban areas, resulting in a marked increase in vehicle-related emissions along highway corridors. Highways have thus emerged as environmentally critical areas due to both intensive traffic flow and the widespread presence of diesel-powered heavy-duty vehicles. This study aims to evaluate, at a regional scale, air pollutant emissions (carbon monoxide, nitrogen oxides, volatile organic compounds, and particulate matter) originating from road transport on highways in Türkiye. Emission calculations were performed using the updated emission factors and Tier-1 methodology provided in the European Environment Agency's 2023 Air Pollutant Emission Inventory Guidebook, based on toll-station traffic data for the year 2023 obtained from the General Directorate of Highways. The results indicate that emissions of carbon monoxide and nitrogen oxides reached their highest levels on the ring roads of İstanbul (Ispartakule–Mahmutbey section), Ankara (İvedik–Esenboğa section), and İzmir (Highway Junction–University segment), where traffic density is greatest. In particular, in the Adana region (Adana West–East section), which is located along a major industrial and logistics corridor, nitrogen oxides emissions originating from heavy-duty vehicles were found to reach a notably high value of 2,875 kg/day. These findings provide a data-driven regional basis for air quality management and sustainable transportation planning.*

Keywords
Air Quality, Vehicles Technologies, Exhaust Emissions, Traffic Density, Highways, Energy

## 1. Giriş

Türkiye'de ulaşımdan kaynaklı hava kirliliği, artan taşıt sayısı ve buna bağlı emisyonlar açısından önemli bir sorun oluşturmaktadır. Özellikle otoyollarda yoğun araç trafiğinin yarattığı emisyonlar, hava kirliliğinin başlıca kaynakları arasında yer almakta ve insan sağlığı ile ekosistemler üzerinde ciddi etkiler göstermektedir. Partikül maddeler ($PM_{2.5}$ ve $PM_{10}$), azot oksitler ($NO_x$), kükürt dioksit ($SO_2$) ve ozon ($O_3$) gibi kirleticilerin solunması, solunum ve kardiyovasküler hastalıklarla doğrudan ilişkilendirilmiştir (Ma vd., 2024). Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, 2021), $PM_{2.5}$'in yılda 4,2 milyon erken ölüme neden olduğunu belirtmektedir.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (354) 5020055 Faks: +90 (354) 5020054
E-posta: nevfelyunus.coskun@bozok.edu.tr (Coskun N.Y.)

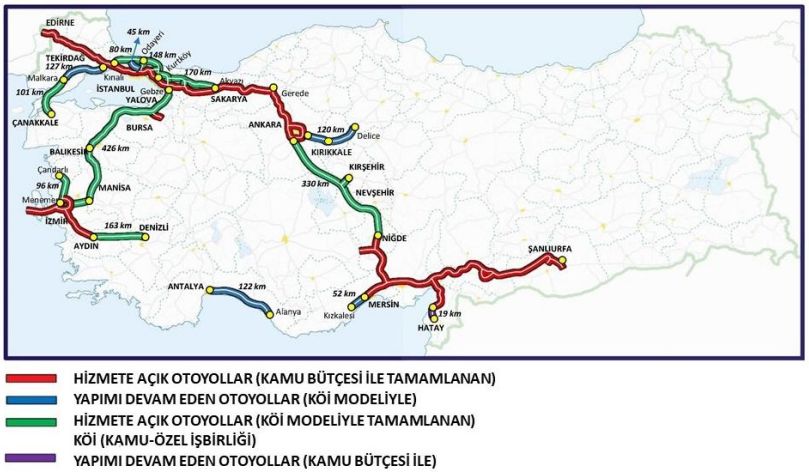
Gönderim Tarihi / Received : 26/08/2025
Kabul Tarihi / Accepted : 20/01/2026

Özellikle çocuklar, yaşlılar ve kronik hastalığı olan bireyler bu etkilere karşı daha savunmasızdır. Ayrıca, hava kirliliğinin kronik inflamasyon yoluyla kanser riskini artırdığına dair epidemiyolojik kanıtlar mevcuttur (Burnett vd., 2018). Emisyonların kontrolsüz artışı, yalnızca sağlık sistemleri üzerindeki ekonomik yükü artırmakla kalmaz, aynı zamanda işgücü verimliliğini de düşürerek makroekonomik istikrarı tehdit eder (Landrigan vd., 2018; İpek & Uyanık, 2022).

Çevresel açıdan ise emisyonlar, ekosistemlerin biyokimyasal döngülerini bozabilir. $NO_x$ ve $SO_2$ emisyonları, asit yağmurlarına neden olarak toprak ve su kaynaklarının pH dengesini değiştirir, bu da bitki örtüsünün azalmasına ve sucul organizmaların toksik metallere maruz kalmasına sebep olur (Avşar, 2019; Arı & Kabakcı, 2024). Troposferik $O_3$ ise bitkilerde fotosentez kapasitesini düşürerek tarımsal verimi %10-15 oranında azaltabilir (Harmens & Mills, 2012; Mills vd., 2018). İklim değişikliğiyle bağlantılı olarak karbondioksit ($CO_2$) ve metan gibi sera gazları, küresel sıcaklık artışını hızlandırarak ekstrem hava olaylarının sıklığını artırmaktadır (Arı & Kabakcı, 2024). Bu süreçler, doğal habitatların parçalanmasına ve türlerin yok oluşuna katkıda bulunarak ekosistem servislerinin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir (Brondízio vd., 2019).

Türkiye'de ulaşım kaynaklı hava kirliliği, özellikle kentsel alanlarda artan taşıt sayısı ve emisyon kontrol politikalarının yetersizliği nedeniyle kritik bir çevresel sorun haline gelmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (Türkiye İstatistik Kurumu, 2025) verilerine göre, son 10 yılda motorlu taşıt sayısı %60 artarak 25 milyonu aşmış ve bu artış, başta $NO_x$, PM ve karbonmonoksit (CO) olmak üzere emisyonların yükselmesine neden olmuştur. Çolak vd. (2025) ile Çelik vd. (2025) İstanbul ve Ankara gibi metropollerde ulaşım kaynaklı emisyonların toplam $PM_{10}$ emisyonlarının %40'ını, $NO_x$ emisyonlarının ise %70'ini oluşturduğunu belirtmektedir. Özellikle dizel araçların yaygınlığı ve Euro emisyon standartlarına uyumun sınırlı kalması, $PM_{2.5}$ ve azot dioksit ($NO_2$) konsantrasyonlarını WHO sınır değerlerinin üzerine çıkarmaktadır.

Otoyollardaki trafik sıkışıklığına bağlı yoğun trafik yakıt tüketimini artırmakta ve buna bağlı olarak emisyon miktarını yükseltmektedir (Elbir vd., 2010; Dündar, 2021). İstanbul'daki Trans-Avrupa Kuzey-Güney (TEM) otoyolunda yapılan bir çalışma, sabit hızda seyir yerine sık sık dur-kalk yapan araçların CO emisyonlarını %30–50 oranında artırdığını ortaya koymuştur (Deniz & Durmuşoğlu, 2008). Ayrıca, ağır tonajlı kamyon ve otobüslerin otoyol kullanım oranının yüksek olması, PM emisyonlarını önemli ölçüde artırmaktadır (Özdemir & Kiraz, 2024). Bu durum, özellikle topografik olarak hava sirkülasyonunun kısıtlı olduğu İzmit ve Bursa gibi sanayi-ulaşım koridorlarında inversiyon olaylarıyla birleşerek akut hava kirliliği epizotlarına yol açmaktadır (Garipağaoğlu & Duman, 2017; Baykal, 2023).




*Şekil 1: Türkiye'nin 2025 yılı otoyollar haritası (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2025)*

Şekil 1'de görüldüğü üzere, Türkiye otoyol ağı hem kamu bütçesiyle tamamlanan hem de kamu-özel iş birliği modeliyle yürütülen projeler aracılığıyla genişlemektedir. Bu ağın gelişimi, farklı bölgelerde trafik yoğunluğunu ve dolayısıyla emisyonların mekânsal dağılımını şekillendirmektedir. Kamu-özel iş birliği modeliyle finanse edilen otoyollar, trafik akışını iyileştirme amacı taşısa da artan kapasite talebi nedeniyle araç kullanımını teşvik ederek uzun vadede emisyon artışına katkıda bulunmaktadır (Dadaşer & Azgın, 2020). Ağır tonajlı kamyonların otoyol kullanım oranının yüksekliği, dizel kaynaklı $PM_{2.5}$ emisyonlarını özellikle sanayi-ulaşım koridorlarında kritik seviyelere taşımaktadır (Şişman, 2019). Coğrafi konumu gereği uluslararası transit trafiğe ev sahipliği yapan Türkiye'de, Avrupa-Asya bağlantılı otoyollar, yük taşımacılığından kaynaklanan ek emisyon yüküne maruz kalmaktadır. Bu durum, 2025 yılı hedefli otoyol genişleme projelerinin, emisyon azaltım stratejileriyle entegre edilmemesi halinde, hava kalitesi üzerinde geri dönüşü zor etkiler yaratabileceğini göstermektedir (Elbir vd., 2010).

*Tablo 1: Otoyol kaynaklı hava kirliliği üzerine akademik çalışmaların analizi*

| Metodoloji | Şehir/Alan | Vurgulanan Unsurlar | Sonuç | Referans |
|---|---|---|---|---|
| Uydu verileri ve yer ölçümleri | Çin Beijing Otoyolu | •$PM_{2.5}$ konsantrasyonları: 120 µg/m³ (WHO limiti: 25 µg/m³).<br>• Trafik yoğunluğu ile $NO_2$ arasında doğrusal ilişki. | Elektrikli araç geçişi ve sıkı emisyon standartları önerildi. | Yang vd. (2019) |
| Doğu Akdeniz Bölgesi (Kahramanmaraş-Adana otoyolu) boyunca karayosunlarında Al, Cu, Zn gibi ağır metal kirliliğini incelemiştir. | Kahramanmaraş-Adana Otoyolu: Sanayileşme, tarımsal faaliyetler ve artan nüfus baskısıyla ilişkili ağır metal birikimleri analiz edilmiştir. | • Trafik yoğunluğu ve dizel araçların emisyonları ön planda.<br>•PM ve $NO_x$ seviyeleri WHO limitlerini aşıyor.<br>• Kurşunsuz benzin politikası Pb'de düşüş sağlamış ancak diğer metaller artmış. | Adana merkezinde Pb (86 mg/kg) ve Cu (91,6 mg/kg) konsantrasyonları en yüksek seviyede tespit edilmiştir. Kontrol bölgelerine kıyasla şehir içi numunelerde ağır metaller 2-5 kat daha fazla birikmiştir. | Koz (2019) |
| Doğu Karadeniz Bölgesi (Giresun-Samsun otoyolu) üzerinde trafik kaynaklı Cr, Fe, Mn, Pb gibi ağır metal birikimini analiz etmişlerdir. | Yoğun transit trafik, sanayi-ulaşım koridorları ve topoğrafik hava sirkülasyonu kısıtlılığı nedeniyle PM ve $NO_x$ emisyonlarının kritik seviyelerde olduğu vurgulanmıştır. | •Sanayi ve nüfus artışına bağlı Cu-Zn birikimi.<br>•Fren ve lastik aşınması Cu emisyonlarını tetikliyor.<br>•Şehir içi kirlilik kırsala göre belirgin şekilde yüksek. | Şehir merkezlerinde Fe (6.087 mg/kg) ve Pb (19,4 mg/kg) konsantrasyonları, kırsal alanlara göre belirgin şekilde yüksek bulunmuştur. Trafik sıkışıklığı ve dizel araçların yaygınlığı, $PM_{2.5}$ ve $NO_2$ seviyelerini WHO limitlerinin üzerine çıkarmaktadır. | Koz & Kaya (2022) |
| Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Tier 1 yöntemi; 2011–2021 verileri | Eskişehir (Türkiye) | •2011-2021'de karayolu $CO_2$ emisyonu %45,5 arttı<br>•En yüksek emisyon 2017'de 1 406,6 Gg; en düşük 2012'de 778,5 Gg<br>•Motorinden kaynaklanan emisyon benzine ve LPG'ye göre çok daha yüksek | Emisyon artışı net; dizel baskın. Pandemi nedeniyle geçici düşüş görüldü. Sürdürülebilir ulaşım için yakıt tüketimini azaltıcı politikalar önerildi. | Timuralp (2023) |
| EMEP/EEA 2023 Tier-1 emisyon envanteri; Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) AADT verileri; TÜİK yakıt dağılımı, QGIS ile mekânsal dağılım; 2050'ye polinom regresyon tahmini | Türkiye (devlet yolları; il düzeyi) | •2010–2020'de emisyon artışları: $CO_2$ %29,6, $NO_x$ %19,9, PM %39,7<br>•Kaynak katkısı: HDV'ler $NO_x$'nin %74'ü, PM'nin %67'si; PC'ler $NH_3$'ün %95'i, CO'nun %86'sı<br>•Ankara–Antalya–Bursa öne çıkıyor; batı/orta Anadolu yoğunluklu dağılım<br>•2050'de araç sayısı %105 artış öngörüsü; emisyonlarda>%100 artış projeksiyonu | Ulaştırma kaynaklı emisyonlar artış eğiliminde; yakıt/filo dönüşümü, toplu taşıma ve sıkı standartlar gerekli. Tier-1 ulusal tarama için uygun; il düzeyi politika çıkarımlarına temel sağlar. | Çetin vd. (2025) |
| Saha ölçümü + Entropi ağırlıklı yöntem; 28 işletme | Kuzey Çin Ovası'nda bir sanayi kenti | •Petrokimya (15,93 kg/t) ve ilaç (135 kg/t) sektörleri en yüksek VOC emisyon faktörlerine sahip<br>•VOC bileşimi yüzey kaplamada %69 halojenli; petro-kimyada %58 aromatik; ilaçta %53 oksijenli<br>•Ozon ve ikincil aerosol oluşum potansiyeli yüksek; reçine/plastik ve petrol sektörlerinde sağlık riski fazla | Endüstriyel VOC emisyonları sektörlere göre çok değişken. Freon-12/11 iklim etkisinin %83'ünü oluşturuyor; petrol sektörü öncelikli kontrol alanı. Sektör-özgü emisyon faktörleri ve reaktiviteye dayalı politikalar öneriliyor. | Zhu vd. (2025) |
| IPCC Tier 1 yöntemi; 2010–2022 verileri | Ankara (Türkiye) | •2022'de karayolu $CO_2$ emisyonu 8 296,34 Gg; 2010-2022 değişimi %79,01<br>•Emisyonların en büyük payı dizel yakıtlı araçlardan<br>•Yerel yönetimler adımlar atsa da karbon vergisi, toplu taşıma ve yakıt/araç düzenlemeleri gibi politika önerileri sunuldu | Ankara'da karayolu $CO_2$ emisyonları hızla artıyor. Dizel yakıt baskın. Emisyon azaltımında ekonomik araç kullanımı, toplu taşıma yatırımları ve karbon vergisi gerekliliği vurgulanıyor. | İbik & Öztürk (2025) |
| IPCC Tier 1 yöntemi; 2010 ve 2022 karşılaştırması | Akdeniz Bölgesi illeri (Türkiye) | •Antalya 2022'de 3 348,51 Gg $CO_2$ ile en yüksek emisyona sahip il<br>•Emisyon artış oranı Hatay'da %107,23 ile en yüksek<br>•Bütün illerde karayolu $CO_2$ emisyonu artıyor. | Bölgedeki tüm illerde emisyon artışı gözleniyor. Antalya ve Hatay öne çıkmakta. Yol kaynaklı emisyonların azaltılması için bölgesel politika ve önlem önerileri sunuluyor. | İbik (2025) |

Tablo 1'de verilen literatür çalışmaları, Türkiye ve dünyadan örneklerle, karayolu taşımacılığı kaynaklı emisyonların insan sağlığı ve ekosistemler üzerinde ciddi etkiler yarattığını göstermektedir (Timuralp, 2023; Zhu vd., 2025; İbik & Öztürk, 2025; Çetin vd., 2025). Eskişehir ilinde 2011-2021 döneminde karayolu $CO_2$ emisyonlarının %45,5 arttığı ve dizel yakıtın baskın katkıya sahip olduğu görülmüş, pandemi koşullarındaki kısa süreli düşüşün kalıcı olmadığı vurgulanmıştır (Timuralp, 2023).

Çin'in Kuzey Ovası'ndaki endüstriyel tesislerde yapılan kapsamlı uçucu organik bileşikler (VOC) ölçümleri, petrokimya ve ilaç sektörlerinde yüksek emisyon faktörleri, bileşim farklılıkları ve ozon/aerosol oluşum potansiyeli ile beraber sektör bazlı önlemlerin önemine işaret etmektedir (Zhu vd., 2025). Ankara kentinde 2010-2022 döneminde karayolu $CO_2$ emisyonlarının 8.296,34 Gg'a çıkarak %79,01 arttığı ve dizel araçların belirleyici rol oynadığı saptanmış; karbon vergisi, toplu taşıma yatırımları ve yakıt düzenlemeleri gibi politika önerileri gündeme getirilmiştir (İbik & Öztürk, 2025). Akdeniz Bölgesi illerinde 2010-2022 karşılaştırması Antalya'da en yüksek $CO_2$ emisyonunun (3.348,51 Gg) ve Hatay'da en büyük artış oranının (%107,23) gerçekleştiğini; tüm illerde artış eğiliminin devam ettiğini göstermektedir (İbik, 2025). Türkiye genelinde KGM verileri ve TÜİK yakıt dağılımıyla hazırlanan ulusal sera gazı envanteri ise 2010-2020 arasında araç sayısının %60, $CO_2$ emisyonlarının %29,6 $NO_x$'in %19,9 ve PM'nin %39,7 arttığını ortaya koymakta; polinom regresyon projeksiyonları 2050'de araç parkının %105 artabileceğini ve emisyonların iki kattan fazla yükselebileceğini göstermektedir (Çetin vd., 2025). Bu bulgular, yakıt/filo dönüşümü, toplu taşıma yatırımları ve sektörel emisyon kontrolü gibi bütüncül politikaların önemini vurgulamaktadır.

Mevcut literatürde Türkiye'de karayolu taşımacılığından kaynaklanan emisyonlar üzerine çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte, bu çalışmalar genellikle şehir ölçeğinde $CO_2$ odaklı değerlendirmeler (Timuralp, 2023; İbik & Öztürk, 2025) veya ulusal düzeyde il bazlı emisyon taramaları (Çetin vd., 2025) sunmakta olup, otoyol ağının tamamını kapsayan segment temelli (kesim bazlı) bir emisyon envanteri ortaya koymamaktadır. Bu çalışmanın literatüre somut katkısı, Türkiye'de ilk kez 2023 yılına ait Karayolları Genel Müdürlüğü'ne bağlı 1., 2., 4., 5., 6., 9. ve 14. Bölge Müdürlükleri sorumluluğundaki toplam 118 adet gişe sayım noktasından elde edilen trafik verileri kullanılarak, her bir otoyol kesimi için CO, $NO_x$, VOC ve PM emisyonlarının EMEP/EEA 2023 Tier-1 faktörleri ile ayrı ayrı hesaplanmasıdır. Böylece çalışma, literatürde eksik olan otoyol-kesim düzeyinde mekânsal emisyon dağılımı boşluğunu doldurmaktadır. Elde edilen veri seti, önceki araştırmalardan farklı olarak, her kesimin trafik yoğunluğu, taşıt bileşimi ve yol uzunluğunu birlikte modele dâhil ederek, İstanbul–İzmit sanayi koridoru, Ankara çevre yolu veya Adana–Gaziantep lojistik hattı gibi kritik bölgelerde ağır taşıt kaynaklı $NO_x$ ve PM yoğunlaşmalarını nicel olarak ortaya koymaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Türkiye'nin karayolu ağı 68.617 km'ye ulaşmış olup, otoyol (%5,5), devlet yolu (%45) ve il yolu (%49,5) şeklinde sınıflandırılmaktadır. Otoyolların tamamı asfalt betonundan oluşurken, devlet yollarında asfalt betonu ve sathi kaplama, il yollarında ise sathi kaplama baskındır (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023). Bu yol ağı yapısı ve trafik yoğunluğu, taşıtlardan kaynaklanan emisyonların hesaplanmasında kritik parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmada, taşıt emisyonları araç aktivitesi, yakıt tüketimi ve emisyon faktörleri dikkate alınarak hesaplanmıştır.

### 2.1. Çalışma Alanı ve Veri Kaynakları

Bu çalışma Türkiye'deki otoyollarda karayolu ulaşımdan kaynaklanan emisyonları değerlendirmek amacıyla tasarlanmıştır. Türkiye karayolu ağı farklı sınıflara ayrılmıştır; otoyollar tamamen asfalt betondan oluşurken, devlet ve il yollarında sathi kaplama ve asfalt beton karışımı kullanılır. Araç sayıları ve trafik yoğunlukları 2023 yılına ait KGM gişe istasyonlarından elde edilmiştir. Tablo 2, Türkiye'deki otoyol ağının KGM tarafından belirlenen kodlar, resmi isimler ve güzergâh ilişkileriyle birlikte sistematik bir özetini sunmaktadır. Otoyol kodları, her bir yolun hangi ana şehirler ve bölgeler arasında köprü görevi gördüğünü vurgulamaktadır. İstanbul'un birinci ve ikinci çevre yolları O-1 ve O-2 kodları altında yer alırken, Avrupa yakasını Trakya'ya bağlayan Edirne-İstanbul Otoyolu O-3 ve Anadolu'ya uzanan İstanbul-Ankara Otoyolu O-4 olarak adlandırılır. Listede ayrıca, Gebze–Orhangazi–İzmir hattı üzerinden Marmara ve Ege bölgelerini birbirine bağlayan O-5 gibi uzun mesafeli arterler ile Gaziantep çevre yolu gibi bölgesel bağlantılar da yer almakta ve otoyol ağının coğrafi çeşitliliği ortaya konmaktadır. Bu sınıflandırma, her bir gişe istasyonunun hangi otoyol kesimine karşılık geldiğinin belirlenmesinde ve taşıt akımlarının uygun şekilde gruplanmasında temel alınan bir referans çerçevesi sağlamaktadır; böylece analizlerde kullanılan trafik verisi coğrafi olarak doğru otoyol segmentine atanabilmektedir. Hesaplamalarda, her bir gişe noktasında 2023 yılına ait günlük taşıt sayıları kullanılmış ve 58 gişe sayım noktasındaki hafif (yolcu arabası ve hafif ticari) ve ağır (ağır vasıta ve otobüs) taşıt sayılarına dayalı olarak günlük trafik hacimleri hesaplanmıştır. Motorlu araç filosunun yakıt dağılımı (benzin, dizel, LPG/hibrid) için Türkiye İstatistik Kurumu (Türkiye İstatistik Kurumu, 2023) istatistiklerinden yararlanılmış, ancak elektrikli araçların emisyon oluşturmaması ve hibrit elektrikli araçlarında verilerinin düşük olmasından dolayı çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

*Tablo 2: Türkiye'deki otoyolların resmi isimlendirmesi ve çalışmada kullanılan sınıflandırma (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2025)*

| Otoyol Kodu (KGM) | Resmi İsim | Bağlantı / Güzergâh |
|---|---|---|
| O-1 | 15 Temmuz Şehitler Köprüsü ve bağlantıları (1. Çevreyolu) | İstanbul Avrupa → İstanbul Anadolu |
| O-2 | Fatih Sultan Mehmet Köprüsü ve bağlantıları (2. Çevreyolu / TEM'in İstanbul kesimi) | Edirne → İstanbul → Ankara |
| O-3 | Edirne – İstanbul Otoyolu (TEM Avrupa kesimi) | Kapıkule → İstanbul |
| O-4 | Anadolu Otoyolu | İstanbul → Ankara |
| O-5 | Gebze – Orhangazi – İzmir Otoyolu (Osmangazi Köprüsü dahil) | İstanbul → Bursa → İzmir |
| O-6 | Ankara – Niğde Otoyolu | Ankara → Niğde |
| O-7 | Kuzey Marmara Otoyolu (3. Köprü - Yavuz Sultan Selim ve bağlantıları) | Kocaeli → İstanbul → Sakarya |
| O-21 | Adana – Şanlıurfa Otoyolu | Adana → Gaziantep → Şanlıurfa |
| O-22 | Bursa – İzmir Otoyolu (O-5 bağlantısı hariç kalan kesimler) | Bursa → Balıkesir → İzmir |
| O-30 | İzmir Çevre Otoyolu | İzmir çevre hattı |
| O-31 | İzmir – Çeşme Otoyolu | İzmir → Çeşme |
| O-32 | İzmir – Aydın Otoyolu | İzmir → Aydın |
| O-33 | Balıkesir – Edremit Otoyolu | Balıkesir → Edremit |
| O-50 | Tarsus – Adana – Gaziantep Otoyolu | Tarsus → Adana → Gaziantep |
| O-52 | Adana – Şanlıurfa Otoyolu (Doğu Akdeniz kesimi) | Adana → Osmaniye → Gaziantep |
| O-54 | Gaziantep Çevre Otoyolu | Gaziantep çevresi |
| O-55 | Samsun – Ordu Otoyolu | Samsun → Ordu |
| O-60 | Ordu – Giresun Otoyolu (planlanan) | Ordu → Giresun |

## 2.2. Güncel Emisyon Faktörleri

Bütüncül ve karşılaştırılabilir emisyon envanterlerinin hazırlanabilmesi için, faaliyet verilerinden türetilen emisyon katsayılarının bilimsel olarak doğrulanması ve her kaynak kategorisi için uygun metodolojilerin seçilmesi gerekmektedir; Avrupa Çevre Ajansı (EEA) ile Avrupa'da Uzun Menzilli Hava Kirletici Taşınımının İzlenmesi ve Değerlendirilmesi Ortak Programı (EMEP) tarafından yayımlanan 2023 tarihli Hava Kirletici Emisyon Envanteri Kılavuzu, standart bir metodolojik çerçeve ile varsayılan emisyon faktörlerini sunmaktadır. EMEP/EEA 2023 emisyon envanteri kılavuzunda, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 2006 ve 2019 yönergeleri esas alınarak ulusal hava kirletici envanterlerinde kullanılacak yöntemlerin seçimini yönlendiren üç kademeli "Tier" yaklaşımı tanımlanmıştır. Tier 1 yöntemi, veri ve teknoloji detaylarının yetersiz olduğu durumlarda ulusal emisyon envanterleri için başlangıç noktası olarak kullanılmakta ve farklı ülkeler veya bölgeler arasında karşılaştırılabilir sonuçlar sağlamaktadır. Bu basit yöntem, akademik çalışmalarda temel envanterlerin hazırlanması, senaryo analizlerinde başlangıç değerlerinin belirlenmesi ve politika değişikliklerinin genel etkilerinin hızlı şekilde değerlendirilmesi amacıyla başvurulan bir araç olarak yer almaktadır. Tier 2, ülkeye özgü veya teknolojiye özel emisyon faktörleriyle bu belirsizliği azaltırken, Tier 3 yöntemlerinin ayrıntılı faaliyet verileri ve gelişmiş modeller aracılığıyla envanter doğruluğunu daha da artırdığı ifade edilmektedir. Bu bağlamda, Tier 2 ve Tier 3 yöntemleri ülkeye özgü, teknolojiye dayalı ayrıntılı faaliyet verisi, emisyon faktörünün mevcut olmaması, veri kısıtları, karmaşık yapıları ve kaynak yoğunluğu nedeniyle literatürde etkin bir kullanımı olan Tier 1 yöntemi seçilmiştir (Zhu vd., 2025; Çetin vd. 2025; Öztürk & İbik, 2025; İbik, 2025; İbik & Öztürk, 2025; Timuralp, 2023; Kılıç vd., 2021).

*Tablo 3: Araç türü ve yakıt cinsine göre emisyon faktörleri (European Environment Agency, 2023)*

| Araç türü \ Yakıt | CO (g/kg yakıt) | $NO_x$ (g/kg yakıt) | VOC (g/kg yakıt) | PM (g/kg yakıt) |
|---|---|---|---|---|
| Benzinli yolcu arabası | 48,36 | 3,98 | 7,75 | 0,02 |
| Dizel yolcu arabası | 2,41 | 11,77 | 0,51 | 0,78 |
| Benzinli hafif ticari | 118,70 | 5,93 | 7,42 | 0,02 |
| Dizel hafif ticari | 6,81 | 13,48 | 1,23 | 1,22 |
| Ağır vasıta (dizel) / otobüs | 6,10 | 25,95 | 0,90 | 0,55 |
| Motosiklet (benzinli) | 244,88 | 7,23 | 92,74 | 0,51 |

Tablo 3'te yer alan araç türü ve yakıt cinsine göre bir kilogram yakıt başına gram emisyon miktarı Tier 1 emisyon faktörleri, EMEP/EEA 2023 kılavuzunun Tablo 3-5 (CO ve VOC için) ve Tablo 3-6 ($NO_x$ ve PM için) ortalama değerlerinden derlenmiştir. Tabloda verilen araç türleri için hafif taşıtlar <3,5 ton yolcu arabası, hafif ticari araç ve motosikletleri; ağır taşıtlar ise kamyon, çekici ve otobüsleri ifade etmektedir. Tier 1 yöntemi için bu değerler Avrupa'daki filo ortalamalarını yansıtır ve Türkiye filosu için uygun bir başlangıç noktası sağlamaktadır.

*Tablo 4: Araç kategorisine göre kilometre başına yakıt tüketimi (European Environment Agency, 2023)*

| Araç türü \ Yakıt | Yakıt tüketimi (g yakıt/km) |
|---|---|
| Benzinli yolcu arabası | 61,9 |
| Dizel yolcu arabası | 56,8 |
| Benzinli hafif ticari | 72,5 |
| Dizel hafif ticari | 79,0 |
| Ağır vasıta (dizel) / otobüs | 216,8 |
| Motosiklet (benzinli) | 27,7 |

Tablo 4'te verilen araç kategorisine göre kilometre başına tipik yakıt tüketimleri, EMEP/EEA 2023 kılavuzunun Tablo 3-15'inden alınmıştır.

## 2.3. Emisyon Hesaplama Yaklaşımı

Emisyon hesaplamalarında EMEP/EEA 2023 kılavuzunun güncel verileri temel alınarak, Tier 1 yöntemi her bir kirletici için araç kategorisine özgü emisyon faktörünün (g kirletici/kg yakıt) ve tipik yakıt tüketiminin (g yakıt/km) çarpımı esasına dayanmaktadır. Bu yaklaşımda toplam emisyon, ilgili yol kesimindeki taşıt sayısı ve kesim uzunluğu ile çarpılarak kilometre başına emisyon değerlerinin bölgesel ölçekte yaygınlaştırılmasıyla elde edilmektedir.

$$E_{i,j} = EF_{i,j} \times A_j \times FC_j \quad (1)$$

Denklem 1'de (Cuci & Polat, 2015; Behçet & Yakın, 2020), $E_{i,j}$ araç türü için kirleticisinin emisyonunu (g), $EF_{i,j}$ emisyon faktörünü (g/km), "A" taşıt aktivitesini (km), $FC_{i,j}$ kilometre başına yakıt tüketimini (g-yakıt/km) i: kirletici türü (CO, $NO_x$, VOC, PM), j: araç kategorisi (hafif, ağır), m: yakıt türüne bağlı emisyon faktörü ve yakıt tüketim parametresini ifade etmektedir.

$$A_j = N_j \times L \quad (2)$$

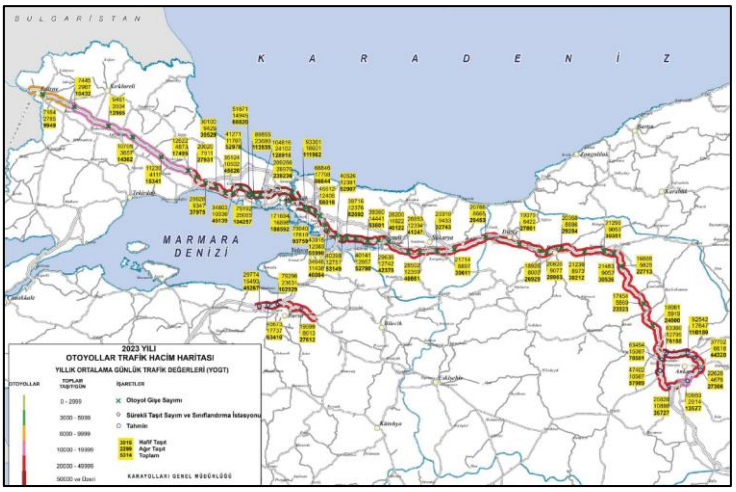
$$FC_j = sfc_{j,m} \quad (3)$$

$E_{i,j}$ 'nin hesaplanmasında kullanılan $A_j$ denklem 2'de $N_j$ günlük adet araç sayısını, L yol kesiminin km uzunluğunu göstermektedir. $FC_j$ ise denklem 3'te $sfc_{j,m}$ araç türü ve yakıt tipine göre kilometre başına yakıt tüketiminin kullanımıyla hesaplanmaktadır.

Tablo 5'te yer alan kilometre başına emisyon değerleri, Denklem 1'de verilen formül kullanılarak Tablo 3 ve Tablo 4'ün çarpımından elde edilen kilometre başına emisyon değerlerini (g/km) göstermektedir.

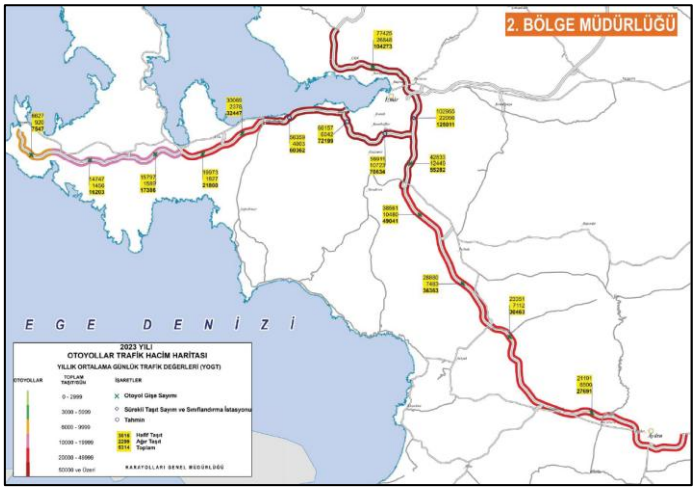
*Tablo 5: Araç türlerine göre kilometre başına emisyonlar (European Environment Agency, 2023)*

| Araç türü | CO (g/km) | $NO_x$ (g/km) | VOC (g/km) | PM (g/km) |
|---|---|---|---|---|
| Benzinli yolcu arabası | 2,99 | 0,25 | 0,48 | 0,0012 |
| Dizel yolcu arabası | 0,14 | 0,67 | 0,029 | 0,044 |
| Benzinli hafif ticari | 8,61 | 0,43 | 0,54 | 0,0015 |
| Dizel hafif ticari | 0,54 | 1,06 | 0,097 | 0,096 |
| Ağır vasıta (dizel)/otobüs | 1,32 | 5,63 | 0,20 | 0,119 |
| Motosiklet (benzinli) | 6,78 | 0,20 | 2,57 | 0,014 |



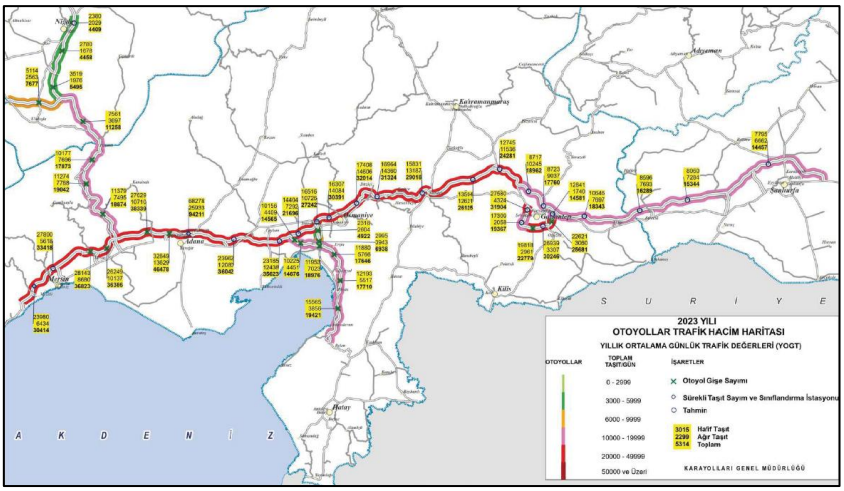

*Şekil 2: Karayolları 1., 4. ve 14. bölge müdürlükleri otoyolları yıllık trafik hacim haritası (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023)*

Şekil 2, Türkiye'deki 1., 4. ve 14. Karayolları Bölge Müdürlüklerine ait otoyolların 2023 yılı trafik hacmini göstermektedir. Bu bölge için 58 otoyol gişe sayım noktasından hafif ve ağır taşıtların sayısal verileri alınmıştır. Günlük taşıt yoğunluğu İstanbul ile bağlı otoyollarda en yoğun olduğu görülmektedir. Trafik hacmi, bu bölgelerdeki otoyol kullanım yoğunluğunu ve bu yolların taşıma kapasitesinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.




*Şekil 3: Karayolları 2. bölge müdürlüğü otoyolları yıllık trafik hacim haritası (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023)*

Şekil 3, Karayolları 2. Bölge Müdürlüklerinin otoyollarındaki 2023 yılı trafik hacimlerini görsel olarak sunmaktadır. Bu bölgenin 15 otoyol gişe sayım noktasına İzmir merkezi ve merkeze bağlı otoyollar için daha yoğun günlük taşıt sayılarının olduğu görülmektedir.




*Şekil 4: Karayolları 5., 6. ve 9. bölge müdürlükleri otoyolları yıllık trafik hacim haritası (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2023)*

KGB'nin 5, 6 ve 9. Bölge müdürlüklerine kayıtlı otoyolların 2023 yılı trafik hacim haritası Şekil 4'te verilmiştir. Bu haritaya göre, 45 otoyol gişe sayım noktası için taşıt sayımları yapıldığında günlük taşıt sayıları bölgelere göre değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

Harita, bölgesel trafik akışlarının yoğunluklarını belirleyerek, emisyon hesaplamalarına temel oluşturacak verilerin sunulmasına katkı sağlamaktadır. Şekil 2, 3 ve 4 trafik yoğunluğunun coğrafi dağılımını göstermektedir. Ayrıca bu dağılımlar, emisyon hesaplamalarında kullanılan trafik aktivitesinin mekânsal yapısını ortaya koymakta ve yüksek trafik akışına sahip kesimlerin CO, $NO_x$ ve PM emisyonlarına katkısının hangi bölgelerde yoğunlaştığını belirlemeye olanak sağlamaktadır. Bu görsel dağılımlar, çalışma kapsamında yapılan bölgesel karşılaştırmaların daha sağlıklı yorumlanmasına yardımcı olmakta ve özellikle emisyon değerlerinin hangi otoyol kesimlerinde daha belirgin olduğu konusunda genel bir değerlendirme yapılmasını desteklemektedir. Bu nedenle şekiller, emisyon hesaplamalarının yorumlanmasında hangi otoyol kesimlerinde trafik kaynaklı yükün daha belirgin olduğunu göstermeye yardımcı olmakta ve bulguların genel değerlendirilmesine destekleyici bir görsel çerçeve sağlamaktadır.

Bu çalışmada KGM'nin sınıflandırması kullanılarak: hafif taşıtlar <3,5 ton ağırlığa sahip yolcu arabaları ve ticari araçlardan, ağır taşıtlar ise kamyon, çekici ve otobüslerden oluşmaktadır. Hafif taşıt (H), benzinli otomobil + dizel otomobil + benzinli/dizel hafif ticari + motosiklet birleşimini; ağır taşıt (A) ise dizel kamyon + dizel otobüs birleşimini ifade eder. Emisyon faktörleri, Tablo 3,4 ve 5'te verilen CORINAIR/EEA setinden seçilmiştir. Hafif ve ağır taşıtların ayrımıyla birlikte araçlar sayıları TÜİK'in 2023 verilerine göre Türkiye'deki motorlu kara taşıtlarının yakıt dağılımı benzinli araçlarda 9.300.769 adetle %33 dizel araçlarda 13.571.596 adetle %48,2 LPG'li araçlarda 5.215.533 adetle %18,5 ve yakıt türü bilinmeyen araçlarda 62.316 adetle %0,2 olarak hesaplanmaktadır. KGM'nin yıllık trafik hacim haritaları yol kesimlerine göre günlük hafif ve ağır taşıt sayılarını verdiğinden, hafif taşıt grubunu oluşturan otomobil ve motosikletler için benzinli araçlar yaklaşık %33, dizel araçlar %48 ve LPG'li araçlar %18,5 paya sahiptir. Elektrikli araçların egzoz emisyonlarının bulunmaması ve hibrit araçların emisyonlarının ihmal edilebilir düzeyde olması nedeniyle araç muayene istasyonlarında emisyon ölçümü yapılmadığından, bu araç türleri hesaplamalara dâhil edilmemiştir.

$$\text{Emisyon (kg/gün)} = \text{Araç Sayısı} \times \text{Emisyon Faktörü (g/km)} \times \text{Uzunluk (km)} \times 10^{-3} \quad (4)$$

Denklem 4'te bir önceki denklemde hesaplanan emisyon faktörü kullanılarak, her kirletici (CO, $NO_x$, VOC, PM) için toplam emisyon miktarı (kg/gün veya ton/yıl) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar doğrultusunda, her bir yol kesimi için taşıt yoğunluğuna bağlı olarak günlük emisyon miktarları belirlenmiş ve emisyon dağılımı detaylı şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, yol güzergahları arasındaki emisyon farklılıklarını ortaya koyarak trafik hacminin hava kirliliği üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Böylece, otoyollardaki taşıt kaynaklı emisyonların mevcut durumu bilimsel temellere dayalı olarak ortaya konmuş ve ilerleyen analizlerde karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılmasına olanak sağlanmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, 2023 yılında Türkiye'deki KGM otoyolları üzerinde hafif ve ağır taşıtların ortalama trafik hacmi dağılımı dikkate alınarak, CO, $NO_x$, VOC ve PM emisyonları hesaplanmıştır. Emisyon hesaplamalarında, EEA tarafından yayımlanan emisyon faktörleri kullanılmıştır. Elde edilen veriler, otoyolların trafik hacmi ile bağlantılı olarak emisyon seviyelerinin nasıl değiştiğini ortaya koymaktadır. Her bir otoyol kesimi için günlük bazda hesaplanan emisyon değerleri, Tablo 6, Tablo 7, Tablo 8 ve Tablo 9'da detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Yapılan hesaplamalar, otoyolları kullanan taşıtlar kaynaklı emisyonların mevcut hava kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirerek, trafik yoğunluğunun çevresel etkilerini daha iyi anlaşılması amaçlamaktadır.

*Tablo 6: Karayolları 1., 4. ve 14. bölgelerinin otoyol kesimleri için emisyon hesaplamaları*

| Yol Kesim Adı | Uzunluk (km) | Araç Türü/ Hafif (H)-Ağır (A) | Araç Sayısı | CO (kg/gün) | $NO_x$ (kg/gün) | VOC (kg/gün) | PM (kg/gün) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **İSTANBUL ÇEVRE YOLU** | | | | | | | |
| Edirne - Havsa | 19,9 | H | 7164 | 221 | 65,5 | 38,6 | 3,1 |
| | | A | 2785 | 65,4 | 272 | 10 | 6,4 |
| Havsa - Babaeski | 27,2 | H | 7445 | 314 | 93,1 | 54,8 | 4,5 |
| | | A | 2987 | 95,8 | 398,5 | 14,6 | 9,4 |
| Babaeski - Lüleburgaz | 24,4 | H | 9461 | 358,2 | 106,2 | 62,5 | 5,1 |
| | | A | 3504 | 101,2 | 420,7 | 15,4 | 9,9 |
| Lüleburgaz - Saray | 28,8 | H | 10705 | 478,4 | 141,8 | 83,5 | 6,8 |
| | | A | 3657 | 124,3 | 516,8 | 18,9 | 12,2 |
| Saray - Çorlu | 20,2 | H | 11230 | 351,8 | 104,3 | 61,4 | 5 |
| | | A | 4111 | 98 | 407,5 | 14,9 | 9,6 |
| Çorlu - Çerkezköy | 18,5 | H | 12622 | 361,6 | 107,2 | 63,1 | 5,1 |
| | | A | 4873 | 106,4 | 442,3 | 16,2 | 10,4 |
| Çerkezköy - Kınalı | 12,3 | H | 20020 | 381,8 | 113,2 | 66,6 | 5,4 |
| | | A | 7911 | 114,5 | 476 | 17,4 | 11,3 |
| Kınalı - Silivri | 7,2 | H | 28628 | 319,6 | 94,7 | 55,8 | 4,5 |
| | | A | 9347 | 79,4 | 330,2 | 12,1 | 7,8 |
| Silivri - Selimpaşa | 11,8 | H | 30100 | 550,3 | 163,1 | 96 | 7,8 |
| | | A | 9429 | 131,2 | 545,4 | 20 | 12,9 |
| Selimpaşa - Kumburgaz | 7,5 | H | 35124 | 408,3 | 121 | 71,2 | 5,8 |
| | | A | 10502 | 92,9 | 386,3 | 14,1 | 9,1 |
| Kumburgaz - Çatalca | 6 | H | 34803 | 323,7 | 96 | 56,5 | 4,6 |
| | | A | 10336 | 73,2 | 304,3 | 11,1 | 7,2 |
| Çatalca - Hadımköy | 12,1 | H | 41271 | 773,9 | 229,4 | 135 | 11 |
| | | A | 11707 | 167,3 | 695,4 | 25,5 | 16,4 |
| Hadımköy - Esenyurt | 4,9 | H | 51871 | 394,2 | 116,8 | 68,8 | 5,6 |
| | | A | 14949 | 86,5 | 359,5 | 13,2 | 8,5 |
| Esenyurt - Avcılar | 1,1 | H | 79192 | 135 | 40 | 23,5 | 1,9 |
| | | A | 25065 | 32,5 | 135,3 | 5 | 3,2 |
| Avcılar - Ispartakule | 2,5 | H | 89855 | 348,2 | 103,2 | 60,8 | 4,9 |
| | | A | 23680 | 69,9 | 290,6 | 10,6 | 6,9 |
| Ispartakule - Mahmutbey | 8,9 | H | 104816 | 1446,1 | 428,6 | 252,3 | 20,5 |
| | | A | 24102 | 253,3 | 1053 | 38,6 | 24,9 |
| F.S. Mehmet Köprüsü | 1 | H | 209266 | 324,4 | 96,2 | 56,6 | 4,6 |
| | | A | 28970 | 34,2 | 142,1 | 5,2 | 3,4 |
| 15 Temmuz Şehitleri Köprüsü | 1 | H | 171694 | 266,1 | 78,9 | 46,4 | 3,8 |
| | | A | 16898 | 19,9 | 82,9 | 3 | 2 |
| Çamlıca - Samandıra | 7,8 | H | 93361 | 1130,5 | 335,1 | 197,3 | 16 |
| | | A | 18601 | 171,2 | 711,6 | 26,1 | 16,8 |
| Samandıra - Sultanbeyli | 4,5 | H | 75940 | 529,7 | 157 | 92,4 | 7,5 |
| | | A | 17819 | 94,3 | 392 | 14,4 | 9,3 |
| Sultanbeyli - Kurtköy | 7,6 | H | 68846 | 810,9 | 240,4 | 141,5 | 11,5 |
| | | A | 17798 | 163,5 | 679,7 | 24,9 | 16,1 |
| Kurtköy - Orhanlı | 1,4 | H | 45612 | 99,0 | 29,3 | 17,3 | 1,4 |
| | | A | 12406 | 20,5 | 85,2 | 3,1 | 2 |
| Orhanlı - Şekerpınarı | 7,9 | H | 43915 | 537,8 | 159,4 | 93,8 | 7,6 |
| | | A | 12083 | 112,7 | 468,5 | 17,2 | 11,1 |
| Şekerpınarı - Gebze | 10,2 | H | 34646 | 549,4 | 162,8 | 95,9 | 7,8 |
| | | A | 11438 | 137,8 | 572,8 | 21 | 13,5 |
| Gebze - Dil Ovası | 6,2 | H | 40526 | 389,4 | 115,4 | 67,9 | 5,5 |
| | | A | 12381 | 90,7 | 377 | 13,8 | 8,9 |
| Dil Ovası - Batı Hereke | 6,1 | H | 40398 | 381,9 | 113,2 | 66,6 | 5,4 |
| | | A | 12751 | 89,4 | 371,7 | 13,6 | 8,8 |
| Batı Hereke - Doğu Hereke | 2,4 | H | 39716 | 147,8 | 43,8 | 25,8 | 2,1 |
| | | A | 12376 | 35 | 145,6 | 5,3 | 3,4 |

*Tablo 6'nın devamı*

| Yol Kesim Adı | Uzunluk (km) | Araç Türü/ Hafif (H)- Ağır (A) | Araç Sayısı | CO (kg/gün) | $NO_x$ (kg/gün) | VOC (kg/gün) | PM (kg/gün) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Doğu Hereke - Körfez | 13,4 | H | 40141 | 834,5 | 247,3 | 145,6 | 11,8 |
| | | A | 12657 | 200,3 | 832,7 | 30,5 | 19,7 |
| Körfez - Batı İzmit | 7,2 | H | 39360 | 439,3 | 130,2 | 76,6 | 6,2 |
| | | A | 14441 | 122,7 | 510 | 18,7 | 12,1 |
| Batı İzmit - Kandıra | 11,7 | H | 29636 | 537,6 | 159,3 | 93,8 | 7,6 |
| | | A | 12742 | 175,1 | 728 | 26,7 | 17,2 |
| Kandıra - Doğu İzmit | 7,4 | H | 28200 | 323,3 | 95,8 | 56,4 | 4,6 |
| | | A | 11922 | 104,0 | 432,4 | 15,8 | 10,2 |
| Doğu İzmit - Sapanca | 19,3 | H | 28853 | 863,4 | 256 | 150,7 | 12,2 |
| | | A | 12394 | 282,3 | 1173,5 | 43 | 27,7 |
| Sapanca - Adapazarı | 13,5 | H | 28502 | 597,1 | 177 | 104,2 | 8,5 |
| | | A | 12359 | 197,0 | 819,1 | 30 | 19,4 |
| Adapazarı - Akyazı | 15,8 | H | 23310 | 570,7 | 169,2 | 99,6 | 8,1 |
| | | A | 9433 | 175,9 | 731,2 | 26,8 | 17,3 |
| Akyazı - Hendek | 13,6 | H | 21714 | 479,2 | 142 | 83,6 | 6,8 |
| | | A | 8897 | 143 | 594,5 | 21,8 | 14,1 |
| Hendek - Düzce | 42,2 | H | 20788 | 1360,1 | 403,1 | 237,3 | 19,3 |
| | | A | 8665 | 431,5 | 1794 | 65,7 | 42,4 |

Tablo 6, İstanbul çevre yolu (O-2, O-3, O-4, O-7) güzergâhındaki emisyon dağılımını göstermektedir. Ispartakule – Mahmutbey kesimi, hem hafif (H) hem de ağır (A) taşıtlar için tüm kirletici türlerinde en yüksek değerlere sahiptir. Bu kesimdeki hafif taşıt kaynaklı CO emisyonu 1446,1 kg/gün, $NO_x$ emisyonu ise 428,6 kg/gün olarak ölçülmüştür. Ağır taşıtlarda ise $NO_x$ değeri 1053,0 kg/gün ile dikkat çekmektedir. Bu sonuç, İstanbul'daki yoğun kentsel trafik ve araç yoğunluğunun emisyon seviyelerini doğrudan etkilediğini göstermektedir (Çolak vd., 2025). Buna karşılık, Esenyurt – Avcılar gibi kısa mesafeli (1,1 km) ancak yüksek araç sayılı (H: 79.192, A: 25.065) kesimlerde ise toplam emisyon miktarları nispeten düşük kalmıştır (H-CO: 135,0 kg/gün). Bu durum, emisyon hesaplamalarında yol uzunluğunun da kritik bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır (Timuralp, 2023).

Ağır taşıtların emisyon profiline bakıldığında, Doğu Hereke – Körfez kesiminde ağır taşıt kaynaklı $NO_x$ emisyonunun 832,7 kg/gün ve PM emisyonunun 19,7 kg/gün olduğu görülmektedir. Bu değerler, ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu sanayi bağlantılı güzergâhlarda partikül madde ve nitrojen oksit emisyonlarının arttığı yönündeki literatür bulgularıyla örtüşmektedir (İbik, 2025).

*Tablo 7: Karayolları 1., 4. ve 14. bölgelerinin otoyol kesimleri için emisyon hesaplamaları*

| Yol Kesim Adı | Uzunluk (km) | Araç Türü/ Hafif (H)- Ağır (A) | Araç Sayısı | CO (kg/gün) | $NO_x$ (kg/gün) | VOC (kg/gün) | PM (kg/gün) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Düzce - Kaynaşlı | 9,5 | H | 19379 | 285,5 | 84,6 | 49,8 | 4 |
| | | A | 8422 | 94,8 | 394,2 | 14,4 | 9,3 |
| Kaynaşlı - Abant | 23,2 | H | 18926 | 681,1 | 201,9 | 118,8 | 9,7 |
| | | A | 8003 | 218,4 | 908 | 33,3 | 21,5 |
| Abant - Bolu Batı | 7,9 | H | 20826 | 255,1 | 75,6 | 44,5 | 3,6 |
| | | A | 9077 | 84,6 | 351,7 | 12,9 | 8,3 |
| Bolu Batı - Bolu Doğu | 19,2 | H | 20368 | 605,9 | 179,6 | 105,7 | 8,6 |
| | | A | 8886 | 201,1 | 836,2 | 30,6 | 19,8 |
| Bolu Doğu - Yeniçağa | 22,5 | H | 21239 | 740,7 | 219,5 | 129,2 | 10,5 |
| | | A | 8973 | 227,3 | 945 | 34,6 | 22,3 |
| Yeniçağa - Dörtdivan | 10,1 | H | 21298 | 333,4 | 98,8 | 58,2 | 4,7 |
| | | A | 9053 | 107,9 | 448,5 | 16,4 | 10,6 |
| Dörtdivan - Gerede | 6,4 | H | 21483 | 213,2 | 63,2 | 37,2 | 3 |
| | | A | 9053 | 68,4 | 284,4 | 10,4 | 6,7 |
| Gerede - Çamlıdere | 46,3 | H | 16888 | 1211,9 | 359,2 | 211,5 | 17,2 |
| | | A | 5825 | 317,4 | 1319,5 | 48,3 | 31,2 |
| Çamlıdere - Çeltikçi | 15,8 | H | 17454 | 427,3 | 126,7 | 74,5 | 6,1 |
| | | A | 5869 | 109,5 | 455,2 | 16,7 | 10,8 |
| Çeltikçi - Akıncılar | 44,1 | H | 18081 | 1230,9 | 364,8 | 214,8 | 17,5 |
| | | A | 5919 | 307,5 | 1278,4 | 46,8 | 30,2 |

*Tablo 7'nin devamı*

| Yol Kesim Adı | Uzunluk (km) | Araç Türü/ Hafif (H)- Ağır (A) | Araç Sayısı | CO (kg/gün) | $NO_x$ (kg/gün) | VOC (kg/gün) | PM (kg/gün) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **ANKARA ÇEVRE YOLU** | | | | | | | |
| İstanbul Ayr. - İvedik Ayr. | 11,2 | H | 63360 | 1100,2 | 326,1 | 191,9 | 15,6 |
| | | A | 12795 | 169,1 | 703 | 25,8 | 16,6 |
| İvedik Ayr. - Esenboğa Ayr. | 11,6 | H | 92542 | 1664,1 | 493,2 | 290,4 | 23,6 |
| | | A | 17647 | 241,4 | 1003,5 | 36,8 | 23.7 |
| Esenboğa Ayr. - Samsun Ayr. | 16,3 | H | 37702 | 953,3 | 282,5 | 166,3 | 13,5 |
| | | A | 6618 | 127,3 | 529,1 | 19,4 | 12,5 |
| Samsun Ayr. - Yakupabdal Ayr. | 8,5 | H | 22628 | 298,4 | 88,4 | 52,1 | 4,2 |
| | | A | 4678 | 47 | 195,4 | 7,2 | 6,6 |
| Yakupabdal Ayr. - Konya Ayr. | 17,3 | H | 10663 | 285,4 | 84,6 | 49,8 | 4 |
| | | A | 2914 | 59,5 | 247,3 | 9,1 | 5,8 |
| Konya Ayr. - Eskişehir Ayr. | 23,5 | H | 25828 | 940,7 | 278,8 | 164,1 | 13,3 |
| | | A | 10899 | 300,9 | 1251,1 | 45,8 | 29,6 |
| Eskişehir Ayr. - Ayaş Ayr. | 13,8 | H | 47402 | 1013,1 | 300,2 | 176,7 | 14,4 |
| | | A | 10587 | 172,3 | 716,3 | 26,2 | 16,9 |
| Ayaş Ayr. - İstanbul Ayr. | 7,9 | H | 63494 | 777,4 | 230,4 | 135,6 | 11 |
| | | A | 15087 | 140,6 | 584,5 | 21,4 | 13,8 |
| **BURSA ÇEVRE YOLU** | | | | | | | |
| Bursa Batı - Görükle Ayr. | 8,5 | H | 29774 | 392,5 | 116,3 | 68,5 | 5,6 |
| | | A | 15493 | 155,7 | 647,3 | 23,7 | 15,3 |
| Görükle Ayr. - Mudanya Ayr. | 8,4 | H | 45673 | 594,9 | 176,3 | 103,8 | 8,4 |
| | | A | 17737 | 175,8 | 730,9 | 26,8 | 17,3 |
| Mudanya Ayr.- Gemlik Ayr. | 8,1 | H | 79298 | 995,4 | 295 | 173,7 | 14,1 |
| | | A | 23631 | 226,1 | 939,9 | 34,4 | 22,2 |
| Gemlik Ayr.- İnegöl Ayr. | 32,7 | H | 19599 | 992,8 | 294,3 | 173,2 | 14,1 |
| | | A | 8013 | 309,2 | 1285,3 | 47,1 | 30,4 |

Tablo 7, Ankara (O-4, O-6) ve Bursa (O-5, O-22) çevre yollarına ait verileri içermektedir. Ankara çevre yolunda, İvedik Ayr. – Esenboğa Ayr. kesimi, hafif taşıt kaynaklı CO (1664,1 kg/gün) ve $NO_x$ (493,2 kg/gün) açısından en yüksek değerlere sahiptir. Bu durum, başkentteki şehir içi trafik yoğunluğunun ve günlük hareketliliğin emisyonlara önemli bir katkı sağladığını göstermektedir (İbik & Öztürk, 2025). Bursa çevre yolunda ise Mudanya Ayr. – Gemlik Ayr. kesimi öne çıkmaktadır. Bu kesimdeki ağır taşıt kaynaklı $NO_x$ emisyonu 939,9 kg/gün, PM emisyonu ise 22,2 kg/gün'dür. Bursa'nın sanayi ve tarımsal üretim merkezi olması, bu bölgedeki ağır taşıt kaynaklı emisyonların İstanbul'daki bazı kesimlere yaklaşmasına neden olmaktadır. Dikkat çekici bir diğer nokta ise, Gerede – Çamlıdere gibi kırsala yakın kesimlerde, ağır taşıt sayısı düşük olmasına rağmen (A: 5.825), uzun mesafe (46,3 km) nedeniyle ağır taşıt kaynaklı $NO_x$ emisyonunun 1319,5 kg/gün gibi yüksek bir seviyeye ulaşabilmesidir.

*Tablo 8: Karayolları 2. bölge müdürlüğü otoyol kesimleri için emisyon hesaplamaları*

| Yol Kesim Adı | Uzunluk (km) | Araç Türü/ Hafif (H)- Ağır (A) | Araç Sayısı | CO (kg/gün) | $NO_x$ (kg/gün) | VOC (kg/gün) | PM (kg/gün) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Şehitlik - Seferihisar | 12,5 | H | 56359 | 1092 | 323,6 | 190,5 | 15,5 |
| | | A | 4003 | 59 | 245,4 | 9 | 5,8 |
| Seferihisar - Urla | 9,7 | H | 30069 | 452,2 | 134 | 78,9 | 6,4 |
| | | A | 2378 | 27,3 | 113,4 | 4,2 | 2,7 |
| Urla - Karaburun | 9,2 | H | 19973 | 284,8 | 84,4 | 49,7 | 4 |
| | | A | 1827 | 19,4 | 80,6 | 3 | 1,9 |
| Karaburun - Zeytinler | 12,5 | H | 15797 | 305,9 | 90,7 | 53,4 | 4,3 |
| | | A | 1589 | 23,4 | 97,3 | 3,6 | 2,3 |
| Zeytinler - Alaçatı | 17 | H | 14747 | 388,7 | 115,2 | 67,8 | 5,5 |
| | | A | 1456 | 28,7 | 119,4 | 4,4 | 2,8 |
| Alaçatı - Çeşme | 11,1 | H | 6627 | 114 | 33,8 | 19,9 | 1,6 |
| | | A | 920 | 11,9 | 49,4 | 1,8 | 1,2 |
| Işıkkent - Tahtalıçay | 11,1 | H | 42833 | 737,3 | 218,5 | 128,7 | 10,5 |
| | | A | 12449 | 152,3 | 633,2 | 23,2 | 15 |

*Tablo 8'in devamı*

| Yol Kesim Adı | Uzunluk (km) | Araç Türü/ Hafif (H)- Ağır (A) | Araç Sayısı | CO (kg/gün) | $NO_x$ (kg/gün) | VOC (kg/gün) | PM (kg/gün) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tahtalıçay - Torbalı | 13,6 | H | 38561 | 812,9 | 240,9 | 141,8 | 11,5 |
| | | A | 10480 | 172,6 | 717,5 | 26,3 | 17 |
| Torbalı - Belevi | 21,6 | H | 28880 | 965,1 | 286 | 168,4 | 13,7 |
| | | A | 7483 | 186,3 | 774,6 | 28,4 | 18,3 |
| Belevi - Germencik | 22 | H | 23351 | 796,6 | 236,1 | 139 | 11,3 |
| | | A | 7112 | 181 | 752,4 | 27,6 | 17,8 |
| Germencik - Şevketiye | 21,7 | H | 21191 | 712,8 | 211,3 | 124,4 | 10,1 |
| | | A | 6500 | 155,2 | 645,2 | 23,6 | 15,3 |
| **İZMİR ÇEVRE YOLU** | | | | | | | |
| Balçova - Gaziemir | 9,6 | H | 66157 | 984,3 | 291,7 | 171.7 | 14.0 |
| | | A | 6042 | 68,5 | 284,7 | 10.4 | 6.7 |
| Gaziemir - Otoyol Ayr. | 9 | H | 59911 | 835,6 | 247,7 | 145.8 | 11.9 |
| | | A | 10723 | 113,8 | 473,1 | 17.3 | 11.2 |
| Otoyol Ayr. - Üniversite Ayr. | 11,5 | H | 102955 | 1835,2 | 543,9 | 320.2 | 26.0 |
| | | A | 22056 | 292,8 | 1217,2 | 44.6 | 28.8 |
| Üniversite Ayr. - Karşıyaka | 9,7 | H | 77425 | 1163,1 | 344,7 | 202.9 | 16.5 |
| | | A | 26848 | 308,2 | 1281,2 | 46.9 | 30.3 |

Tablo 8, İzmir çevre yolu (O-30, O-31, O-32) ve Ege otoyollarına ait emisyon değerlerini sunmaktadır. Otoyol Ayr. – Üniversite Ayr. kesimi, hem hafif hem de ağır taşıtlarda en yüksek emisyon değerlerine sahiptir. Bu kesimdeki hafif taşıt kaynaklı CO emisyonu 1835,2 kg/gün, $NO_x$ emisyonu ise 543,9 kg/gün'dür. İzmir'in metropol trafiğinin ve çevre yolu üzerindeki yoğun taşıt akışının bu sonucu şekillendirdiği değerlendirilmektedir. Turizm bölgelerine hizmet veren Alaçatı – Çeşme kesimi ise, düşük araç sayısı (H: 6.627, A: 920) ve emisyon değerleri (H-CO: 114,0 kg/gün) ile dikkat çeker. Bu da, trafik yoğunluğunun coğrafi ve ekonomik faaliyetlere bağlı olarak büyük farklılık gösterdiğinin bir göstergesidir. Torbalı – Belevi kesimi, ağır taşıt kaynaklı $NO_x$ (774,6 kg/gün) ve PM (18,3 kg/gün) emisyonlarıyla öne çıkar. İzmir-Aydın otoyolu üzerinde bulunan bu kesim, bölgelerarası ticari yük trafiğinin emisyon profilini yansıtmaktadır.

*Tablo 9: Karayolları 5., 6. ve 9. bölge müdürlükleri otoyol kesimleri için emisyon hesaplamaları*

| Yol Kesim Adı | Uzunluk (km) | Araç Türü/ Hafif (H)- Ağır (A) | Araç Sayısı | CO (kg/gün) | $NO_x$ (kg/gün) | VOC (kg/gün) | PM (kg/gün) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| İskenderun Ayr. Batı-Yum.Ser. Böl. | 6,9 | H | 10156 | 108,6 | 32,2 | 18,9 | 1,5 |
| | | A | 4409 | 35,9 | 149,3 | 5,5 | 3,5 |
| Yum.Ser.Böl-Gozeneler Kav. | 8,9 | H | 10225 | 141,5 | 41,9 | 24,7 | 2 |
| | | A | 4451 | 46,7 | 194,2 | 7,1 | 4,6 |
| Gozeneler Kav.-Erzin | 2,4 | H | 11953 | 44,5 | 13,2 | 7,8 | 0,6 |
| | | A | 7023 | 19,9 | 82,7 | 3 | 2 |
| Erzin-Dörtyol | 16,1 | H | 11880 | 296,2 | 87,8 | 51,7 | 4,2 |
| | | A | 5766 | 111,9 | 465,3 | 17 | 11 |
| Dörtyol-Payas | 13,8 | H | 12193 | 260,8 | 77,3 | 45,5 | 3,7 |
| | | A | 5517 | 89,7 | 372,9 | 13,7 | 8,8 |
| Payas-İskenderun | 16 | H | 15565 | 385,9 | 114,4 | 67,3 | 5,5 |
| | | A | 3856 | 72,7 | 302,3 | 11,1 | 7,2 |
| İskenderun Ayr. Doğu-Osmaniye Org. | 7,5 | H | 2318 | 27 | 8 | 4,7 | 0,4 |
| | | A | 2604 | 23 | 95,6 | 3,5 | 2,3 |
| Osmaniye Org.-Gozeneler Kav. | 4,1 | H | 2995 | 19,1 | 5,7 | 3,3 | 0,3 |
| | | A | 3943 | 19,1 | 79,4 | 2,9 | 1,9 |
| **GAZİANTEP ÇEVRE YOLU** | | | | | | | |
| Niğde Kuzey- Niğde Güney | 7,8 | H | 2380 | 28,9 | 8,6 | 5,0 | 0,4 |
| | | A | 2029 | 18,7 | 77,7 | 2,8 | 1,8 |
| Niğde Güney-Kemerhisar | 23,9 | H | 2780 | 103 | 30,5 | 18 | 1,5 |
| | | A | 1678 | 47,1 | 195,8 | 7,2 | 4,6 |
| Kemerhisar-Eminlik | 15,5 | H | 3519 | 84,5 | 25 | 14,7 | 1,2 |
| | | A | 1976 | 36,1 | 150,1 | 5,5 | 3,5 |
| Ereğli-Eminlik | 28,2 | H | 5114 | 223,5 | 66,2 | 39 | 3,2 |
| | | A | 2563 | 85,2 | 354,2 | 13 | 8,4 |

*Tablo 9'un devamı*

| Yol Kesim Adı | Uzunluk (km) | Araç Türü/ Hafif (H)-Ağır (A) | Araç Sayısı | CO (kg/gün) | $NO_x$ (kg/gün) | VOC (kg/gün) | PM (kg/gün) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eminlik-Pozantı | 33,1 | H | 7561 | 388 | 115 | 67,7 | 5,5 |
| | | A | 3697 | 144,5 | 600,6 | 22 | 14,2 |
| Pozantı-Tekir | 19,7 | H | 10177 | 310,8 | 92,1 | 54,2 | 4,4 |
| | | A | 7696 | 178,6 | 742,5 | 27,2 | 17,6 |
| Tekir-Çamalan | 15,7 | H | 11274 | 274,2 | 81,3 | 47,8 | 3,9 |
| | | A | 7768 | 143,6 | 597 | 21,9 | 14,1 |
| Çamalan-Yenice | 32,5 | H | 11379 | 573,3 | 169,9 | 100 | 8,1 |
| | | A | 7495 | 287,6 | 1195,6 | 43,8 | 28,3 |
| Çeşmeli-Mersin | 22,3 | H | 23980 | 830,8 | 246,3 | 145 | 11,8 |
| | | A | 6434 | 169,1 | 703 | 25,8 | 16,6 |
| Mersin-Serbest Bölge | 4,8 | H | 27800 | 206,9 | 61,3 | 36,1 | 2,9 |
| | | A | 5618 | 31,3 | 130,1 | 4,8 | 3,1 |
| Serbest Bölge-Tarsus | 24 | H | 28143 | 1047,1 | 310,4 | 182,7 | 14,9 |
| | | A | 8680 | 241,7 | 1004,8 | 36,8 | 23,8 |
| Tarsus-Çamtepe | 11 | H | 26249 | 447,5 | 132,6 | 78,1 | 6,3 |
| | | A | 10137 | 129,4 | 537,9 | 19,7 | 12,7 |
| Çamtepe-Yenice | 2,1 | H | 27629 | 90 | 26,7 | 15,7 | 1,3 |
| | | A | 10710 | 26,1 | 108,5 | 4 | 2,6 |
| Yenice-Adana Batı | 19,1 | H | 32849 | 973,4 | 288,5 | 169,8 | 13,8 |
| | | A | 13629 | 307,3 | 1277,5 | 46,8 | 30,2 |
| Adana Batı-Adana Doğu | 22,6 | H | 68278 | 2391,4 | 708,8 | 417,2 | 33,9 |
| | | A | 25933 | 691,6 | 2875 | 105,3 | 68 |
| Adana Doğu-Ceyhan | 39 | H | 23962 | 1450,6 | 429,9 | 253,1 | 20,6 |
| | | A | 12080 | 555,2 | 2308,2 | 84,6 | 54,6 |
| Ceyhan-İskenderun Ayr. Batı | 11,8 | H | 23185 | 424 | 125,7 | 74 | 6 |
| | | A | 12438 | 173,1 | 719,6 | 26,4 | 17 |
| İskenderun A. Batı-İskenderun A. Doğu | 15,7 | H | 14404 | 350,3 | 103,8 | 61,1 | 5 |
| | | A | 7292 | 135,1 | 561,6 | 20,6 | 13,3 |
| İskenderun Ayr. Doğu-Toprakkale | 2,9 | H | 16516 | 74,2 | 22 | 12,9 | 1,1 |
| | | A | 10726 | 36,6 | 152,2 | 5,6 | 3,6 |
| Toprakkale-Osmaniye | 11,7 | H | 16307 | 296,2 | 87,8 | 51,7 | 4,2 |
| | | A | 14084 | 194,4 | 808,2 | 29,6 | 19,1 |
| Osmaniye-Düziçi | 20,4 | H | 17408 | 550,9 | 163,3 | 96,1 | 7,8 |
| | | A | 14606 | 350,9 | 1458,7 | 53,4 | 34,5 |
| Düziçi-Bahçe | 9,4 | H | 16964 | 247,1 | 73,2 | 43,1 | 3,5 |
| | | A | 14360 | 156,4 | 650,3 | 23,8 | 15,4 |
| Bahçe-Nurdağı | 25 | H | 15831 | 613,8 | 181,9 | 107,1 | 8,7 |
| | | A | 13187 | 382,3 | 1589,3 | 58,2 | 37,6 |
| Nurdağı-Narlı | 36,3 | H | 13504 | 759,7 | 225,2 | 132,5 | 10,8 |
| | | A | 12621 | 527,5 | 2193,0 | 80,3 | 51,9 |
| Narlı-Gaziantep Batı | 18,8 | H | 12745 | 371,4 | 110,1 | 64,8 | 5,3 |
| | | A | 11536 | 251,6 | 1045,9 | 38,3 | 24,7 |
| Gaziantep Batı-Gaziantep Kuzey | 13,5 | H | 8717 | 182,5 | 54,1 | 31,8 | 2,6 |
| | | A | 10245 | 160 | 665,2 | 24,4 | 15,7 |
| Gaziantep Kuzey-Gaziantep Doğu | 9,8 | H | 8723 | 132,5 | 39,3 | 23,1 | 1,9 |
| | | A | 9037 | 102,5 | 426,1 | 15,6 | 10,1 |
| Gaziantep Doğu-Nizip | 34,8 | H | 10646 | 575,1 | 170,5 | 100,3 | 8,2 |
| | | A | 7697 | 315,8 | 1312,8 | 48,1 | 31,1 |
| Nizip-Birecik | 19,4 | H | 8596 | 258,6 | 76,6 | 45,1 | 3,7 |
| | | A | 7693 | 172,7 | 718 | 26,3 | 17 |
| Birecik-Suruç | 41,1 | H | 8060 | 510,2 | 151,2 | 89 | 7,2 |
| | | A | 7284 | 352,3 | 1464,6 | 53,6 | 34,6 |
| Suruç-Şanlıurfa | 37 | H | 7795 | 446,4 | 132,3 | 77,9 | 6,3 |
| | | A | 6662 | 290,8 | 1209 | 44,3 | 28,6 |
| Gaziantep Batı 2-Gölgelik | 4,9 | H | 27580 | 209,6 | 62,1 | 36,6 | 3 |
| | | A | 4324 | 25 | 103,9 | 3,8 | 2,5 |
| Gölgelik-Kilis | 10,1 | H | 17309 | 271 | 80,3 | 47,3 | 3,8 |
| | | A | 2058 | 25,1 | 104,3 | 3,8 | 2,5 |

*Tablo 9'un devamı*

| Yol Kesim Adı | Uzunluk (km) | Araç Türü/ Hafif (H)-Ağır (A) | Araç Sayısı | CO (kg/gün) | $NO_x$ (kg/gün) | VOC (kg/gün) | PM (kg/gün) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kilis-Hipodrum | 5,5 | H | 19818 | 169 | 50,1 | 29,5 | 2,4 |
| | | A | 2961 | 19,2 | 79,9 | 2,9 | 1,9 |
| Hipodrum-Havaalanı | 5,2 | H | 26939 | 217,5 | 64,5 | 38 | 3,1 |
| | | A | 3307 | 20,2 | 84 | 3,1 | 2 |
| Havaalanı-Sanayi | 5,8 | H | 22621 | 203,1 | 60,2 | 35,4 | 2,9 |
| | | A | 3060 | 20,5 | 85,3 | 3,1 | 2 |
| Sanayi-Gaziantep Doğu 2 | 2,9 | H | 12841 | 57,7 | 17,1 | 10,1 | 0,8 |
| | | A | 1740 | 5,9 | 24,7 | 0,9 | 0,6 |

Tablo 9, Türkiye'nin güneyindeki otoyol ağlarını (O-21, O-50, O-52) kapsamaktadır. En dikkat çekici veriler, Çukurova bölgesindeki Adana Batı – Adana Doğu kesiminde görülmektedir. Bu kesimdeki hafif taşıt kaynaklı CO emisyonu 2391,4 kg/gün, $NO_x$ emisyonu 708,8 kg/gün'e ulaşmaktadır. Ağır taşıtlarda ise $NO_x$ emisyonu 2875 kg/gün gibi oldukça yüksek bir seviyededir. Bu durum, Adana'nın tarım ve sanayi sektörlerindeki canlılığın yarattığı yoğun kamyon ve ticari araç trafiği ile açıklanabilir (Kılıç vd., 2021). Sanayi bölgelerine yakın kesimlerde PM emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. Örneğin, Ceyhan – İskenderun Ayr. Batı kesiminde ağır taşıt kaynaklı PM emisyonu 17 kg/gün olarak ölçülmüştür. Buna karşılık, Niğde Kuzey – Niğde Güney gibi iç kesimlerde ve daha düşük ekonomik hareketliliğe sahip güzergâhlarda (Gaziantep Kuzey – Gaziantep Doğu), hem hafif hem de ağır taşıt emisyon değerleri önemli ölçüde daha düşük seyretmektedir.

Tüm tablolar bölgesel bazda karşılaştırıldığında, emisyon seviyelerinin tamamen trafik yoğunluğu, araç kompozisyonu (hafif/ağır oranı) ve bölgenin sosyo-ekonomik profilinden kaynaklanan ulaşım talebi ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir.

- İstanbul (Tablo 6), mutlak sayısal değerler açısından en yüksek emisyon yüküne sahip bölge olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, nüfus yoğunluğu ve metropol trafiğinin doğal bir sonucudur.
- Ankara ve Bursa (Tablo 7), İstanbul'a kıyasla daha düşük emisyon değerlerine sahip olsa da, özellikle hafif taşıt kaynaklı CO ve VOC emisyonlarında yüksek seviyelere ulaşabilmektedir. Bursa, sanayi ve lojistik faaliyetleri nedeniyle ağır taşıt kaynaklı $NO_x$ ve PM'de dikkat çekicidir.
- İzmir ve Ege Bölgesi (Tablo 8), İstanbul ve Ankara'ya kıyasla daha düşük bir emisyon profili çizmekle birlikte, özellikle İzmir çevre yolundaki yoğun kesimlerde değerler önemli ölçüde artabilmektedir. Turistik bölgeler ise genel ortalamanın oldukça altında kalmaktadır.
- Güney ve Güneydoğu Anadolu (Tablo 9), özellikle Çukurova ve Gaziantep gibi sanayi ve tarım lojistiğinin merkezlerinde, ağır taşıt kaynaklı emisyonların çok yüksek seviyelere ulaşabildiğini göstermektedir. Adana kesimlerindeki ağır taşıt $NO_x$ değerleri, İstanbul'daki birçok kesimi dahi geride bırakabilmektedir. Buna karşın, bölgenin daha az gelişmiş iç kesimlerinde emisyon değerleri belirgin şekilde düşüktür.

*Tablo 10: Otoyolların toplam emisyon miktarları*

| Otoyol Kesimleri | Taşıt Türü | CO (kg/gün) | $NO_x$ (kg/gün) | VOC (kg/gün) | PM (kg/gün) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1., 4. ve 14. bölge karayolları - İstanbul çevre yolu (O-2, O-3, O-4, O-7) | Hafif | 18338,2 | 5435,5 | 3199,7 | 259,9 |
| | Ağır | 4492,8 | 18678,3 | 684,2 | 441,5 |
| 1., 4. ve 14. bölge karayolları - Ankara (O-4, O-6) ve Bursa (O-5, O-22) çevre yolları | Hafif | 15993,2 | 4740 | 2790,3 | 226,7 |
| | Ağır | 3861,8 | 16054,7 | 588,1 | 46218,7 |
| 2. bölge karayolları - İzmir çevre yolu (O-30, O-31, O-32) ve Ege otoyolları | Hafif | 11480,5 | 3402,5 | 2003,1 | 176,6 |
| | Ağır | 1800,4 | 7484,6 | 274,3 | 177,1 |
| 5., 6. ve 9. bölge karayolları güneyindeki otoyol ağlarını (O-21, O-50, O-52) | Hafif | 17628,3 | 5224,9 | 3075,4 | 250,2 |
| | Ağır | 7229,9 | 30056,8 | 1101,1 | 711,1 |
| **TOPLAM** | Hafif | 63440,2 | 18802,9 | 11068,5 | 913,4 |
| | Ağır | 17384,9 | 72274,4 | 2647,7 | 47548,4 |

Tablo 10'da sunulan toplam emisyon değerleri, İstanbul çevre yollarının hafif taşıt kaynaklı CO ve $NO_x$ açısından Türkiye genelinde en yüksek yüke sahip olduğunu; buna karşın Adana ve çevresindeki otoyollarda ağır taşıtlardan kaynaklanan $NO_x$ ve PM değerlerinin belirgin şekilde yüksek seyrettiğini göstermektedir. Bu durum, ağır taşıt yoğunluğunun hâkim olduğu sanayi ve lojistik koridorlarında emisyon profilinin tamamen farklı bir yapıya büründüğünü ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın bulguları, Türkiye'deki otoyol kaynaklı emisyonların coğrafi olarak büyük farklılıklar gösterdiğini ve bu dağılımın, bölgelerin sosyo-ekonomik yapısından (nüfus, sanayi yoğunluğu, ticari hacim) kaynaklanan trafik karakteristiği ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. İstanbul gibi mega-kentlerdeki yüksek emisyon yükü, metropol trafiğinin doğasını yansıtırken; Adana ve İzmir gibi bölgesel ekonomilerde, ağır taşıt kaynaklı emisyonların sanayi ve tarım lojistiği nedeniyle öne çıkması dikkat çekicidir. EEA Tier 1 metodolojisi, ulusal ölçekte genel bir emisyon envanteri oluşturmak için etkili bir çerçeve sunsa da, bu çalışmanın detaylı kesimsel analizleri, yöntemin standart emisyon faktörlerinin, yerel ölçekteki spesifik koşulları (örn. araç yaş ortalaması, bakım durumu, lokal trafik akış dinamikleri) tam olarak yansıtamayabileceğine işaret etmektedir. Nitekim, benzer metodolojiyi kullanan Çetin vd. (2025) ve Timuralp (2023) çalışmaları da, Tier 1 yönteminin genel eğilimleri doğru bir şekilde yakaladığını, ancak yerel emisyon azaltım stratejileri geliştirilirken daha detaylı (Tier 2 veya Tier 3) yöntemlere ve yerel verilere duyulan ihtiyacı vurgulamaktadır. Dolayısıyla, bu çalışma ile literatürdeki diğer çalışmalar, Türkiye'de karayolu kaynaklı emisyon yönetiminde, ulusal envanterlerin yanı sıra, bölgesel ve yerel ölçekte trafik yönetimi, araç filo yenilenmesi ve temiz ulaşım teknolojilerine yönelik politikalara olan gereksinimi ortak bir şekilde işaret etmektedir.

## 3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye otoyollarındaki karayolu ulaşımından kaynaklanan hava kirletici emisyonlarını (CO, $NO_x$, VOC, PM) niceliksel olarak değerlendirmek ve bu emisyonların trafik yoğunluğu ile ilişkisini ortaya koymaktır. Bu kapsamda, KGM'den temin edilen 2023 yılına ait günlük trafik verileri ile Avrupa Çevre Ajansı (European Environment Agency, 2023) tarafından yayımlanan EMEP/EEA 2023 Kılavuzu'ndaki Tier 1 emisyon faktörleri kullanılarak, otoyol kesimleri bazında günlük emisyon miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar, otoyol trafiğinin hava kirliliği potansiyelini bölgesel ölçekte haritalandırmayı ve politika yapıcılar için veri bazlı temel bir çalışma oluşturması hedeflemiştir.

Çalışmada benimsenen metodoloji, literatürde karayolu emisyon envanteri oluşturmak için sıklıkla başvurulan Tier 1 yaklaşımı ile uyumludur (Çetin vd., 2025; European Environment Agency, 2023; Öztürk & İbik, 2025). Bu yöntem, ulusal ölçekte genel eğilimlerin ve karşılaştırılabilir sonuçların elde edilmesinde etkili bir araç olarak kabul edilmektedir. Timuralp (2023), Çetin vd. (2025) ve İbik & Öztürk (2025) gibi Türkiye odaklı çalışmalar da benzer şekilde Tier 1 metodolojisini temel almıştır. Ancak, bu çalışma, Türkiye'deki otoyol ağının tamamına yakınını kapsayan, gişe bazlı detaylı trafik verileri ile kesimsel emisyon dağılımını sunması açısından literatürdeki benzer çalışmalardan ayrışmaktadır. Öte yandan, Tier 1 yönteminin standart ve ortalama emisyon faktörlerine dayanması, ülkeye veya bölgeye özgü filo kompozisyonu, araç yaşı ve bakım durumu gibi faktörlerdeki farklılıkları tam olarak yansıtamama sınırlılığını da beraberinde getirmektedir (Timuralp, 2025).

Hesaplamalar sonucunda elde edilen Tablo 6'ya göre, İstanbul çevre yolunun Ispartakule - Mahmutbey kesiminde hem hafif (CO: 1446,1 kg/gün; $NO_x$: 428,6 kg/gün) hem de ağır ($NO_x$: 1053 kg/gün) taşıtlardan kaynaklanan emisyonlar en üst seviyeye ulaşmaktadır. Ankara çevre yolunda ise (Tablo 7) İvedik Ayr. - Esenboğa Ayr. kesimi, hafif taşıt kaynaklı CO (1664,1 kg/gün) ve $NO_x$ (493,2 kg/gün) emisyonları ile öne çıkmaktadır. İzmir'deki Otoyol Ayr. - Üniversite Ayr. kesimi (Tablo 8), hafif taşıt CO (1835,2 kg/gün) ve ağır taşıt $NO_x$ (1217,2 kg/gün) emisyonlarıyla bölgesel bir sıcak nokta oluştururken, en çarpıcı değerler Güney Anadolu'daki Adana Batı - Adana Doğu kesiminde (Tablo 9) gözlemlenmiştir. Bu kesimde, ağır taşıt kaynaklı $NO_x$ emisyonu 2875 kg/gün gibi oldukça yüksek bir seviyede hesaplanmıştır.

Bu emisyon konsantrasyonlarının halk sağlığı üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmek için, hesaplanan emisyon yüklerinin Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, 2021) Küresel Hava Kalitesi Kılavuzu'nda belirtilen sınır değerlerle dolaylı bir karşılaştırması yapılabilir. Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, 2021) uzun süreli maruziyet için yıllık ortalama $NO_2$ konsantrasyon limitini 10 µg/m³ ve $PM_{2.5}$ limitini 5 µg/m³ olarak belirlemiştir. Bu çalışmada doğrudan hava kalitesi ölçümü yapılmamış olsa da, özellikle İstanbul, Ankara ve Adana gibi metropol bölgelerdeki otoyol kesimlerinde hesaplanan yüksek $NO_x$ ve PM emisyon değerleri, bu kirleticilerin atmosferik dönüşüm ve birikim süreçleri sonucunda WHO'nun önerdiği güvenli seviyelerin aşılmasına önemli ölçüde katkıda bulunabileceğine işaret etmektedir (World Health Organization, 2021; Burnett vd., 2018). Benzer şekilde, yüksek $NO_x$ emisyonları, $O_3$ ve ince partiküller gibi ikincil kirleticilerin oluşumuna yol açarak dolaylı ancak ciddi sağlık tehditleri oluşturabilmektedir (World Health Organization, 2021; Burnett vd., 2018; Landrigan vd., 2018).

Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye otoyollarındaki trafik kaynaklı emisyon yükünün bölgesel dağılımını niceliksel olarak ortaya koymuş ve bu emisyonların halk sağlığı üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerine dair önemli bulgular sunmuştur. Ancak, kullanılan Tier 1 yöntemi, ortalama emisyon faktörlerine dayandığı için belirli bir belirsizlik aralığı içermektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar için, daha hassas ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek adına Tier 2 veya Tier 3 metodolojilerinin kullanımı önerilmektedir (Çetin vd., 2025; İbik & Öztürk, 2025). Tier 2 ve Tier 3 yöntemleri, araç yaşı, motor teknolojisi, yakıt kalitesi ve ülkeye özgü sürüş dinamikleri gibi ayrıntılı parametreleri dikkate alarak emisyon tahminlerindeki belirsizliği azaltacaktır. Ayrıca, ulaşım sektöründeki dönüşüm göz önüne alındığında, elektrikli ve hibrit araçların filodaki payının artmasıyla birlikte, bu araçların yaşam döngüsü emisyonlarının (üretim, şarj kaynağına bağlı enerji emisyonları vb.) da envanterlere dahil edilmesi, sürdürülebilir ulaşım politikalarının şekillendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Harrison & Beddows, 2017).

## Kaynaklar


Arı, M. Ç., & Kabakcı, S. B. (2024). Bir organize sanayi bölgesinde sera gazı envanteri hazırlanması ve emisyon azaltım projelerinin belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, *10*(2), 465–477. https://doi.org/10.21324/dacd.1410541

Avşar, E. (2019). Tartışma: "Bitlis hava kirliliği emisyon envanteri ve sağlık etkilerinin çoklu lineer regresyonla tahmini" başlıklı yayınla ilgili yorum (Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, Ocak 2019, 5(1), 1-10). *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, *5*(2), 377–380. https://doi.org/10.21324/dacd.473503

Baykal, T. M. (2023) Hava kalitesi parametreleri (pm10 ve so2) kullanılarak hava kirliliği riskli bölgelerin zamana bağlı konumsal analizi: Kocaeli ili örneği. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, *13*(4), 1386–1415. https://doi.org/10.31466/kfbd.1280317

Behçet, R., & Yakın, A. (2020). Emission inventory of traffic-borne air pollutants in malatya province. *Journal of the Institute of Science and Technology*, *10*(4), 2783–2790. https://doi.org/10.21597/jist.704308

Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope III, C. A., ... & Spadaro, J. V. (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(38), 9592–9597. https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115

Brondízio, E. S., Settele, J., Díaz, S., & Ngo, H. T. (2019). *Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.* IPBES. 15 Ağustos 2025'te http://icsfarchives.net/id/eprint/21551 adresinden alındı.

Cuci, Y., & Polat, E. E. (2015). Determination of traffic-induced air pollution in Gaziantep. *Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences*, *18*(2), 1–11. https://doi.org/10.17780/ksujes.12923

Çelik, M. A., Bilik, A., Akiner, M. E. & Gemeda, D. O. (2025). Türkiye'de arazi kullanımı/örtü değişiklikleri hava kalitesini nasıl etkiler? Uydu Tabanlı Bir Değerlendirme. *Land*, *14*(10), Article 1945. https://doi.org/10.3390/land14101945

Çetin D. Ş., Demirarslan, K. O., & Çavuşoğlu, S. V., (2025). Evaluation of Turkey's road-based greenhouse gas inventory and future projections. *Applied Sciences*, *15*(13), Article 7007. https://doi.org/10.3390/app15137007

Çolak, Z., Onat, B., Coşgun, M. S., Uzun Ayvaz, B. …& Alver Şahin, Ü., (2024). İstanbul'da Kentsel Arka Planda Atmosferik Siyah Karbon Konsantrasyon Değişiminin Değerlendirilmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, *9*(4), 648–659. https://doi.org/10.35229/jaes.1561066

Dadaşer Ç. F., & Azgın, Ş. T. (2020). Forecasting of primary air pollutions: emission inventory sample from Turkey. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6*(1), 66–75. https://doi.org/10.21324/dacd.584889

Deniz, C., & Durmuşoğlu, Y. (2008). Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara, Turkey. *Science of the Total Environment*, 390(1), 255-261. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.033

Dündar, A. O. (2021). Türkiye'deki büyükşehirlerin karayolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyon miktarının karşılaştırmalı analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7*(2), 318-337. https://doi.org/10.21324/dacd.862836

Elbir, T., Mangir, N., Kara, M., Simsir, S., Eren, T., & Ozdemir, S. (2010). Development of a GIS-based decision support system for urban air quality management in the city of Istanbul. *Atmospheric Environment, 44*(4), 441–454. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.11.008

European Environment Agency. (2023). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023: Road transport 2025.* European Environment Agency. 15 Ekim 2025'te https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2023 adresinden alındı.

Garipağaoğlu, N., & Duman, C. (2017). Bursa kenti hava kalitesinin zaman içerisindeki değişimi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, *36*, 57–70.

Harrison, R. M., & Beddows, D. C. (2017). Efficacy of recent emissions controls on road vehicles in Europe and implications for public health. *Scientific Reports, 7*(1), Article 1152. https://doi.org/10.1038/s41598-017-01135-2

Harmens, H., & Mills, G. (2012). *Ozone pollution: Impacts on carbon sequestration in Europe*. NERC/Centre for Ecology & Hydrology.

İbik, T. (2025). Ulaşım sektörünün hava kirliliği ve çevresel sürdürülebilirlik üzerindeki etkisi: Akdeniz bölgesi örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 16*(45), 324–342. https://doi.org/10.17065/huniibf.1564332

İbik, T., & Öztürk, S. (2025). Ekonomik ve çevresel boyutlarıyla kentleşme ve ulaşım sektörüne etkisi: Ankara ili örneği. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 43*(3), 539–566. https://doi.org/10.21324/dacd.1056806

İpek, Z., & Uyanık, İ. (2022). Sanayi kaynaklı noktasal emisyonların hava kalitesine katkısı: Kayseri ili örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 8*(2), 341–350. https://doi.org/10.21324/dacd.1056806

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2023). *Türkiye karayolları tarihsel gelişim raporu.* Karayolları Genel Müdürlüğü. 15 Ekim 2025'te https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Otoyollar/Otoyollar.aspx adresinden alındı.

Karayolları Genel Müdürlüğü. (2025). *Otoyollar Haritası*. 15 Ekim 2025'te https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionImages/KGMimages/Otoyollar/otoyollarharitasi.jpg adresinden alındı.

Kılıç, M. Y., Dönmez, T., & Adalı, S. (2021). Karayolu ulaşımında yakıt tüketimine bağlı karbon ayak izi değişimi: Çanakkale örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11*(3), 943-955. https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.848016

Koz, B. (2019). Türkiye'nin doğu Akdeniz bölgesindeki (Kahramanmaraş-Adana) otoyol çevresindeki karayosunlarında ağır metal analizleri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 9*(2), 311-322. https://doi.org/10.31466/kfbd.633466

Koz, B., & Kaya, S. (2022). Doğu Karadeniz bölgesi sahil otoyol çevresindeki karayosunlarında trafik kaynaklı ağır metal analizleri. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 12*(1), 82–96. https://doi.org/10.31466/kfbd.996089

Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J., Adeyi, O., Arnold, R., Baldé, A. B., ... & Zhong, M. (2018). The lancet commission on pollution and health. *The lancet, 391*(10119), 462–512. http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0

Ma, M., Liu, M., Liu, M., Xing, H., Wang, Y., & Meng, F. (2024). Spatiotemporal patterns and quantitative analysis of factors influencing surface ozone over east China. *Sustainability, 16*(1), Article 123. https://doi.org/10.3390/su16010123

Mills, G., Pleijel, H., Malley, CS, Sinha, B., Cooper, OR, Schultz, MG, ... & Xu, X. (2018). Tropospheric Ozone Assessment Report: Present-day tropospheric ozone distribution and trends relevant to vegetation. *Elementa: Science of the Anthropocene*, *6*, Article 47. https://doi.org/10.1525/elementa.302

Özdemir, T., & Kiraz, D. E. (2024). Ulaşım kaynaklı emisyonların çevresel etkilerinin ve insan sağlığına yansımalarının incelenmesi: Ege Bölgesi örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 29*(2), 530–561. https://doi.org/10.53433/yyufbed.1429813

Öztürk, S., & İbik, T. (2025). Elektrikli araç teknolojisi, ekonomi ve ulaşım sektörü: doğu anadolu bölgesi örneği. *Yönetim Bilimleri Dergisi, 23*(55), 432–456. https://doi.org/10.35408/comuybd.1542953

Şişman, E. (2019). Türkiye'de seçilen hava kalitesi izleme istasyonları için eğilim (trend) değerlendirmeleri. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 5*(1), 134–152. https://doi.org/10.21324/dacd.444503

Timuralp, Ç. (2023). Eskişehir ilinde karayolu taşımacılığında yakıt tüketiminden kaynaklanan co2 emisyonlarının tier 1 yöntemine göre tespiti ve değerlendirilmesi. *Mühendis ve Makina, 64*(711), 194–210.

Türkiye İstatistik Kurumu. (2023). *Motorlu kara taşıtları istatistikleri*. 15 Ekim 2025'te https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Ocak-2023-49433 adresinden alındı.

Yang, D., Zhang, S., Niu, T., Wang, Y., Xu, H., Zhang, K. M., & Wu, Y. (2019). High-resolution mapping of vehicle emissions of atmospheric pollutants based on large-scale, real-world traffic datasets. *Atmospheric Chemistry and Physics, 19*(13), 8831–8843. https://doi.org/10.5194/acp-19-8831-2019

Zhu, J., Xia, S., Niu, H., Xu, J., Wang, Y., Yu, X., ... & Li, L. (2025). Volatile organic compounds from typical industries in North China plain: emissions, air pollution contribution, health risks, and policy implications. *Environment International*, *202*, Article 109673. https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109673

World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter ($PM_{2.5}$ and $PM_{10}$), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.* World Health Organization. 15 Ekim 2025'te https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228 adresinden alındı.