



AZOT OKSİT EMİSYONLARIYLA MÜCADELEDE KÜRESEL EĞİLİMLER VE TÜRKİYE’NİN STRATEJİK KONUMU

Ağustos, 2025

Giriş

21. yüzyılın en kritik çevre ve sağlık sorunlarından biri, atmosferik kirleticilerin insan ve doğa üzerindeki yıkıcı etkileridir. Hava kirliliği, iklim değişikliğinden halk sağlığına, ekonomik üretkenlikten sosyal refaha kadar çok boyutlu etkiler doğurmaktadır. Bu kirleticiler arasında yer alan azot oksitler (NO_x), hem hava kalitesini bozan hem de küresel ölçekte sağlık, çevre ve ekonomi üzerinde ciddi sonuçlar doğuran gazlardır.

Azot oksitler, azot (N₂) ve oksijen (O₂) moleküllerinin yüksek sıcaklık altında reaksiyona girmesiyle oluşan gaz bileşiklerini ifade etmektedir. En yaygın ve çevresel etkisi yüksek olan azot oksit bileşikler, azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO₂)'dir. Bu bileşikler büyük ölçüde insan kaynaklı faaliyetlerden, özellikle karayolu taşımacılığı, enerji üretimi, sanayi ve tarım gibi sektörlerden kaynaklanmaktadır (EPA, 2018). NO_x kirliliği, yoğun kentleşme, artan ulaşım talebi ve fosil yakıt bağımlılığı gibi yapısal dinamiklerin bir bileşkesi olarak, sistemik bir çevresel sorun niteliği taşımaktadır. Bu kirleticiler, özellikle şehir içi ulaşım ağları, sanayi bölgeleri ve enerji üretim tesislerinde yoğun biçimde salınmakta ve hava kalitesi üzerinde belirgin olumsuz etkiler ortaya çıkarmaktadır. NO_x emisyonlarının halk sağlığı üzerindeki etkileri çok yönlü ve bilimsel olarak kanıtlanmıştır (WHO, 2021; Orellano et al., 2020; Huangfu & Atkinson, 2020).

NO_x sınır aşan nitelikte bir çevresel tehdit olarak ele alınmalıdır. Küresel düzeyde NO_x ile mücadele, iklim değişikliğiyle mücadele, kamu sağlığının korunması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılması açısından kilit öneme sahiptir. Birçok ülke NO_x emisyonlarına yönelik düzenlemeleri sıkılaştırmakta; emisyon sınır değerlerini aşağı çekmekte ve NO_x azaltım teknolojilerine yatırım yapmaktadır (Posada et al., 2020). Uluslararası politika düzleminde, Paris Anlaşması, Avrupa Yeşil Mutabakatı ve Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG'ler), NO_x ve benzeri kirleticilere karşı bütüncül mücadele stratejileri önermektedir (UN, 2024).

Günümüzde NO_x gibi kirleticilerle mücadele, çevre politikasının ötesine geçerek ekonomik kalkınma, sağlık reformu ve sanayi dönüşümüyle doğrudan ilişkili bir alana dönüşmüştür. Bu bağlamda Türkiye, bu dönüşüm sürecinde kendine özgü fırsatlara ve sorumluluklara sahiptir. Hızla sanayileşen, enerji yoğun bir ülke olarak Türkiye'nin NO_x emisyonlarına dair politika geliştirme kapasitesi giderek daha stratejik bir çerçeveye oturmaktadır. Bu rapor, NO_x emisyonlarının sağlık, çevre ve ekonomi üzerindeki çok boyutlu etkilerini güncel literatür ve bilimsel bulgular çerçevesinde incelemekte, bu emisyonlarla mücadele tedbirlerini küresel ve ulusal düzeyde analiz etmekte ve küresel politika eğilimleri ışığında Türkiye'nin konumunu ve stratejik potansiyelini değerlendirmektedir.

I. Azot Oksit Emisyonlarının Etkileri

Yaşam kalitesinden sağlık hizmetlerine, tarımsal verimlilikten iklim sistemlerine kadar birçok alan NO_x emisyonlardan doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle NO_x gazları, çevre yönetimi politikalarının ötesinde, toplumsal refah, kent planlaması ve ekonomik dirençlilik gibi çok katmanlı alanları da ilgilendiren stratejik bir mesele hâline gelmiştir. Bu bölümde, güncel bilimsel bulgular ışığında, NO_x emisyonlarının sağlık, çevre ve ekonomi üzerindeki etkileri açıklanacaktır.

1.1 Sağlık Üzerindeki Etkiler

Azot monoksit (NO) ve azot dioksit (NO₂), insan sağlığı üzerinde kısa ve uzun vadeli ciddi etkiler ortaya çıkaran gazlardır. Başta motorlu taşıtlar olmak üzere fosil yakıt tüketen kaynaklardan salınan bu bileşikler, atmosferde hem doğrudan sağlık sorunlarına neden olmakta hem de ozon ve PM_{2.5} gibi kirleticilerin oluşumuna katkı sağlayarak dolaylı etkiler üretmektedir. Giderek artan sayıda bilimsel çalışma, bu kirleticilerin başta solunum ve kardiyovasküler sistemler olmak üzere çok çeşitli fizyolojik sistemler üzerindeki olumsuz etkilerini ortaya koymaktadır. Birçok farklı azot oksit kimyasal türü bulunmasına rağmen, insan sağlığı açısından en fazla önem taşıyan hava kirleticisi azot dioksit (NO₂) olarak ifade edilmiştir (EPA, 1993).

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün 2021 tarihli Küresel Hava Kalitesi Raporuna (*Global Air Quality Guidelines*) göre, NO₂ maruziyeti ile erken ölümler arasında anlamlı bir ilişki bulunmaktadır. DSÖ, NO₂'nin düşük seviyelerde bile tehlikeli olduğunu belirtmiş, yıllık ortalama NO₂ maruziyeti için önerdiği hava kalitesi rehber düzeyini 10 µg/m³ olarak belirlemiş ve bu düzeyin üzerinde kalan maruziyetlerin sağlık üzerinde olumsuz etkilere neden olduğunu belirtmiştir. Raporda, 26 adet araştırmanın sonuçlarına atıfla, NO₂ gazına maruz kalmanın ölümler üzerindeki etkisine yer verilmiştir. İncelenen çalışmaların genel sonuçlarına göre, havadaki NO₂ seviyesi her 10 µg/m³ arttığında tüm nedenlere bağlı ölüm riski yaklaşık %2, solunum sistemi kaynaklı ölüm riski ise yaklaşık %3 oranında artmaktadır (Huangfu & Atkinson, 2020, akt. WHO, 2021, s. 112).

Bulgular, NO₂ gazına maruz kalmanın özellikle solunum sistemiyle ilgili hastalıklardan kaynaklanan ölümler üzerinde daha güçlü bir etkisi olduğunu göstermektedir. Yapılan değerlendirmeye göre, havadaki NO₂ seviyesindeki her 10 µg/m³ artış, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve genel solunum sistemi hastalıklarına bağlı ölüm riskini yaklaşık %3; akut alt solunum yolu enfeksiyonlarına bağlı ölüm riskini ise %6 oranında artırmaktadır. Bu oranlar, NO₂'nin özellikle akciğer hastalıkları açısından ciddi bir tehdit oluşturduğunu ortaya koymaktadır.

Hava Kirleticilerinin Tıbbi Etkileri Komitesi (COMEAP) tarafından yapılan ve uzun süreli NO₂ maruziyeti ile ölüm riski arasındaki ilişkiye dair 11 farklı çalışmanın incelendiği analizde, hava kirliliğindeki her 10 µg/m³ NO₂ artışının, ölüm riskini yaklaşık %2,3 oranında artırdığı belirlenmiştir. Veriler, NO₂'ye uzun süreli maruziyetin insan sağlığı üzerinde doğrudan olumsuz etkiler ortaya çıkardığını ve bu konuda alınacak önlemlerin halk sağlığı açısından önem taşıdığını göstermektedir (COMEAP, 2018).

Sağlık Etkileri Enstitüsü'nün (Health Effects Institute – HEI) 2025 yılı Küresel Hava Kirliliği Raporu da bu bulguları desteklemektedir. Rapora göre, azot oksitler, özellikle azot dioksit (NO₂), tüm yaş gruplarında solunum sağlığını olumsuz etkileyen başlıca hava kirleticiler arasında yer almaktadır. NO₂, özellikle trafik kaynaklı hava kirliliğinin önemli bir bileşenidir ve solunum yolu hastalıkları, astım alevlenmeleri ve kardiyovasküler sorunlar gibi sağlık etkileriyle ilişkilidir (HEI, 2025). Avrupa Çevre Ajansı'nın (EEA) Avrupa'daki mevcut açık hava kalitesinin durumu hakkında bilgi verdiği 2024 tarihli raporunda, Avrupa genelinde NO₂ kirliliğinin hâlâ yaygın bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır (Targa et al., 2024). Çevre Koruma Ajansı (EPA) da, NO₂'nin sağlık üzerindeki etkilerinin, hem akut hem de kronik solunum yolu hastalıkları açısından ciddi bir halk sağlığı sorunu teşkil ettiğini belirtmekte ve

NO₂ maruziyetinin özellikle yaşlılar ve çocuklar gibi hassas gruplar üzerindeki olumsuz etkilerini raporlamaktadır (O'Domhnaill et al., 2023).

Tüm bu bulgular bir araya getirildiğinde, NO_x emisyonlarının halk sağlığı üzerindeki etkisinin yalnızca maruz kalan bireylerin fizyolojik durumu ile sınırlı kalmadığı, aynı zamanda bu etkilerin etkin politika ve düzenlemelerle azaltılabilir olduğu görülmektedir. NO₂ başta olmak üzere azot oksitlerin neden olduğu sağlık yükü, yalnızca çevresel bir sorun değil; aynı zamanda küresel bir halk sağlığı krizi olarak ele alınmalıdır.

1.2 Çevresel Etkiler

Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan azot oksitler, çevre ve ekosistem üzerinde önemli olumsuz etkilere neden olan kirleticilerdir. Bu gazlar, çeşitli ekolojik süreçlerde kritik roller oynamakta ve hava kalitesine, karasal ve sucul ekosistemlere ciddi zararlar vermektedir. NO_x emisyonlarının çevresel etkileri, hava kirliliği ve biyolojik çeşitlilik üzerinde farklı yollarla kendini göstermektedir.

Hava kirliliği, özellikle büyük şehirlerde ve yoğun nüfuslu bölgelerde önemli bir çevresel risktir (OECD, 2016). Birçok AB ülkesinde, yıllık ortalama NO₂ konsantrasyonları, DSÖ'nün Hava Kalitesi Kılavuzları'nda belirtilen yasal sınır değerleri aşmaktadır. Bu sınırların sıkça ihlal edilmesi, kısmen, araçların NO_x emisyonlarının olduğundan düşük tahmin edilmesinden kaynaklanmaktadır. Ulaşım sektörünün NO_x emisyonlarına katkısının, önceki tahminlere kıyasla dört kat daha fazla olduğu belirlenmiştir (Karl et al., 2017; OECD, 2018).

NO_x emisyonlarının en önemli çevresel etkilerinden biri, sis tabakasının ana bileşeni olan yer seviyesinde ozon (O₃) oluşumuna katkısıdır. NO_x, güneş ışığı altında uçucu organik bileşiklerle (VOC) kimyasal reaksiyonlara girerek ozon üretir. Bu süreç, özellikle fosil yakıt kullanımının yoğun olduğu kentsel alanlarda solunum yolu hastalıkları ve diğer sağlık sorunlarına yol açmaktadır (Geddes et al., 2022; Buruiană et al., 2021). Ayrıca, NO_x, stratosferdeki ozon tabakasının tükenmesine katkıda bulunan temel tehditlerden biridir (Ravishankara et al., 2009).

NO_x emisyonları, ayrıca asit yağmuru oluşumuna katkıda bulunarak toprak ve su kalitesini bozmakta ve ekosistem sağlığını olumsuz etkilemektedir. NO_x'in atmosferde su buharıyla reaksiyona girerek nitrik asit (HNO₃) oluşturması, asit yağmurunun temel nedenlerinden biridir. Asit yağmuru, son yüz yılda ortaya çıkan önemli bir çevresel sorundur ve bu sorunun ekosistem üzerindeki zararlı ve geniş ölçekli etkileri bulunmaktadır. Bu süreç, toprak asitlenmesine, bitki kök sistemlerinde hasara ve topraktaki besin maddelerinin erişilebilirliğinin azalmasına yol açmaktadır. Asit yağmuru, tarımsal verimde düşüşü ve doğal ekosistemlerin istikrarsızlaşmasını beraberinde getirmektedir (Prakash et al., 2022). Sonuç olarak, NO_x emisyonları çevresel sistemler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İnsan kaynaklı (antropojenik) emisyonlar, atmosfer kimyası ve ekolojik tepkiler arasındaki etkileşim, çevresel yönetim için daha bütünlüklü bir yaklaşımı gerektirmektedir.

1.3 Ekonomik Etkiler

Azot oksit emisyonları, yalnızca çevresel ve sağlık sorunlarına değil, aynı zamanda önemli ölçüde ekonomik kayıplara da yol açmaktadır. NO_x gazlarının neden olduğu dışsallıklar, özellikle sağlık sistemleri üzerindeki yük, iş gücü verimliliğinde azalma ve tarımsal üretimdeki kayıplar gibi maliyetlerle birlikte değerlendirildiğinde, makroekonomik düzeyde kayda değer etkilere sahiptir. Avrupa Çevre Ajansı'nın 2024 yılı raporuna göre, 2012–2021 döneminde

Avrupa'daki endüstriyel hava emisyonlarının tahmini dışsal maliyeti toplamda 2.7 ile 4.3 trilyon Avro arasında değişmiştir. Bu da yılda ortalama 268 ila 428 milyar Avroluk bir ekonomik yüke karşılık gelmektedir. 2021 yılında, büyük endüstriyel işletmelerden kaynaklanan hava kirliliğinin dışsal maliyetleri, AB'nin gayrisafi yurt içi hasılasının yaklaşık %2'sine eşdeğer olduğu hesaplanmıştır. (EEA, 2024).

Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü (OECD), hava kirliliğinin uzun vadeli ekonomik etkilerini analiz etmek amacıyla kapsamlı bir değerlendirme raporu hazırlamıştır. Rapora göre, hava kirliliğinin en tehlikeli sonuçları, erken ölümlerle ilgilidir. Sıkı önlemler alınmadığı takdirde, hava kirliliğine bağlı erken ölümlerin sayısının 2010 yılında yaklaşık 3 milyon kişiden, 2060 yılında yıllık 6 ila 9 milyon kişiye çıkacağı ve yıllık küresel iş gücü kaybının 2060 yılına kadar 3.7 milyar güne ulaşacağı öngörülmektedir (2015 yılı itibarıyla yaklaşık 1.2 milyar gün) (OECD, 2016).

Avrupa Komisyonu'nun 2021 tarihli "Sıfır Kirlilik Eylem Planı" Raporunda hava kirliliğinin Avrupa Birliği'ndeki sağlık ve ekonomik faaliyetler üzerindeki yıllık maliyetinin 330 ila 940 milyar Avro arasında tahmin edildiği belirtilmektedir (SWD, 2013; Akt. European Commission, 2021). Bu maliyetlere iş gücü kaybı, sağlık hizmetleri harcamaları, tarımsal ürün verimindeki düşüş ve yapılar üzerindeki zararlar dâhildir. Buna karşılık, AB genelinde hava kalitesini iyileştirmeye yönelik tüm tedbirlerin toplam yıllık maliyeti 70 ila 80 milyar Avro olarak öngörülmektedir (Amann et al. 2017; Akt. European Commission, 2021). Avrupa Komisyonu'nun 2025 tarihli "Dördüncü Temiz Hava Görünümü" Raporuna göre ise hava kirliliğinin neden olduğu sağlık zararlarının, 2030 yılı itibarıyla yıllık 290 ila 950 milyar Avro arasında olacağı tahmin edilmektedir (European Commission, 2025).

Sonuç olarak, NOx emisyonlarının çevresel ve sağlık üzerindeki çok yönlü olumsuz etkileri, yalnızca ekosistemlerin tahribatına ve halk sağlığında ciddi risk artışına yol açmakla kalmamakta, aynı zamanda büyük çaplı ekonomik kayıplara da neden olmaktadır. Bu etkiler; erken ölümler, solunum ve kardiyovasküler hastalıklar, tarımsal verim kaybı, biyolojik çeşitlilikte azalma, asit yağmurlarının neden olduğu toprak ve su kalitesi bozulmaları gibi çok çeşitli alanlarda kendini göstermektedir. Dolayısıyla, NOx emisyonlarını azaltmaya yönelik olarak geliştirilecek bütüncül çevre politikaları, yasal düzenlemeler ve yenilikçi teknolojiler, hem çevrenin ve toplum sağlığının korunması hem de uzun vadeli ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanması açısından stratejik bir öncelik olarak ele alınmalıdır.

II. Dünyada ve Türkiye'de Düzenleyici Çerçeve

Azot oksit emisyonlarının çevresel, sağlık ve ekonomik etkilerinin küresel düzeyde artan şekilde belgelenmesi, bu kirleticilerin sınırlandırılmasına yönelik uluslararası politika çerçevelerinin ve düzenleyici girişimlerin önemini ön plana çıkarmıştır. Hava kalitesinin iyileştirilmesi ve sınır ötesi kirleticilerin kontrol altına alınması amacıyla uluslararası sahada kapsamlı düzenlemeler ve stratejik yol haritaları geliştirmiştir. Bu çerçevede, Avrupa Birliği Hava Kalitesi Direktifleri ve Dünya Sağlık Örgütü'nün hava kalitesi kılavuzları gibi belgeler, NOx emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve azaltılması yönünde önemli standartlar sunmaktadır.

2.1 Uluslararası Düzenleyici Çerçeve

Uluslararası Düzenleyici çerçevede, Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), hava kirleticilerinin insan sağlığı üzerindeki etkilerini bilimsel kanıtlara dayalı olarak değerlendiren ve bu doğrultuda hava kalitesi kılavuzları (Air Quality Guidelines) yayımlayan bir küresel otoritedir. Azot dioksit (NO₂) başta olmak üzere azot oksitlerin solunum yolları hastalıkları, kalp-damar rahatsızlıkları ve erken ölümlerle ilişkilendirilmesi, bu kirleticiler için sağlık temelli sınır değerlerin belirlenmesini zorunlu kılmıştır. NO₂'nin özellikle çocuklar, yaşlılar ve solunum hastalıkları olan bireyler üzerinde oluşturduğu etkiler, DSÖ kılavuzlarının politika yapım süreçlerindeki ağırlığını artırmıştır.

DSÖ, 2021 yılında yayımladığı güncellenmiş hava kalitesi kılavuzlarında NO₂ için yıllık ortalama maruziyet sınırını 10 µg/m³, 24 saatlik ortalama sınırı ise 25 µg/m³ olarak belirlemiştir (WHO, 2021). Bu değerler, önceki kılavuzlara kıyasla daha düşüktür ve sağlık risklerine ilişkin artan bilimsel bulguları yansıtmaktadır. Kılavuzlar doğrudan bağlayıcı olmamakla birlikte, Avrupa Birliği başta olmak üzere pek çok ülke ve bölgesel kuruluşun emisyon standartlarına ve hava kalitesi mevzuatlarına yön vermektedir.

Avrupa Birliği sahasında ise, çevresel alandaki düzenlemelerin en kapsamlı ve yönlendirici adımı ise, Avrupa Komisyonu tarafından Aralık 2019'da açıklanan ve Avrupa Birliği'ni 2050 yılına kadar iklim açısından nötr hâle getirmeyi (net sera gazı emisyonlarını sıfırlamayı) hedefleyen Avrupa Yeşil Mutabakatı'dır. Bu belgede Avrupa Birliği, 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hedefiyle "dünyanın ilk iklim nötr kıtası" olma vizyonunu ortaya koymaktadır (European Commission, 2019). 2021 yılında, Avrupa Birliği, yeşil büyüme stratejisinin bir parçası olarak "Sıfır Kirlilik Eylem Planı"nı (Zero Pollution Action Plan) kabul etmiştir. Bu belge, Avrupa Komisyonu tarafından çevre kirliliğiyle mücadelede 2030 ve 2050 hedeflerine ulaşmak amacıyla oluşturulmuş, makro düzeyde stratejik bir eylem planı ve çevre politikalarına yön veren üst düzey bir politika belgesi niteliğindedir.

Avrupa Birliği'nin hava kalitesini iyileştirmeye yönelik yaklaşımı, üç temel alanda (veya "sütunda") eyleme geçmeyi içermektedir: Birinci alan, Ortam Hava Kalitesi Direktifi kapsamında belirlenen ortam hava kalitesi standartlarıdır. İkinci alan, başlıca sınır ötesi hava kirleticileri için, Ulusal Emisyon Azaltım Yükümlülükleri Direktifi (NEC Direktifi) kapsamında belirlenen ulusal emisyon azaltım taahhütleridir. Üçüncü alan ise, araç ve gemi emisyonlarından enerji ve sanayi kaynaklarına kadar kilit kirlilik kaynaklarına ilişkin AB düzeyinde yasal düzenlemelerle getirilen emisyon standartlarıdır (European Commission, 2025).

19 Nisan 2023 tarihinde Avrupa Parlamentosu ve Konsey, yeni binek otomobiller ve hafif ticari araçlar için CO₂ emisyon performans standartlarını güçlendiren (AB) 2023/851 sayılı Tüzüğü kabul etmiştir. Bu Tüzük, hem otomobiller hem de hafif ticari araçlar için 2035 yılından itibaren yüzde 100 emisyon azaltım hedefi belirlemektedir. Bu da, 2035 yılı itibarıyla içten yanmalı motorla çalışan yeni otomobil ve hafif ticari araçların AB iç pazarında yasaklanacağı anlamına gelmektedir. Öte yandan, kamyon, otobüs ve diğer ağır vasıta gibi diğer içten yanmalı motorlu araçların üretimi 2035 sonrası da devam edecektir (European Council, 2024).

2015 yılında kabul edilen Paris Anlaşması, küresel ortalama sıcaklık artışını endüstriyelleşme öncesi döneme kıyasla 2°C'nin olabildiğince altında (mümkünse 1.5 derece seviyesinde) tutmayı hedefleyen ve uluslararası bağlayıcılığı olan en kapsamlı iklim mutabakatıdır. Anlaşma,

ülkeleri sera gazı emisyonlarını azaltmaya, adaptasyon kapasitesini artırmaya ve iklim finansmanını teşvik etmeye yönelik ulusal katkı beyanları (NDC) hazırlamakla yükümlü kılmiştir. Bu kapsamda, iklim politikalarının temel odak noktası doğrudan sera gazlarıdır (UNFCCC, 2022).

Uluslararası alanda, NOx'un iklim üzerindeki politika yapım süreçlerinde dikkate alınmaktadır. NOx atmosferde uçucu organik bileşiklerle (VOC) reaksiyona girerek troposferik ozon (O₃) oluşumunu tetiklemektedir. Ozon, kısa ömürlü iklim kirleticileri (SLCP) arasında yer almakta olup, sera etkisine neden olmasının yanı sıra, insan sağlığı ve ekosistemler üzerinde zararlı etkilere sahiptir (UNEP, 2011; IPCC, 2021). Hava kalitesini olumsuz etkilemesinden dolayı NOx emisyonlarının sınırlandırılmasına önem atfedilmekte ve iklim değişikliğiyle mücadelede bütüncül politika yaklaşımı içinde yer bulmaktadır. Paris Anlaşması, yalnızca CO₂ değil, tüm önemli iklim etkili kirleticilerin azaltımına imkân tanıyan esnek bir çerçeve sunmakta, böylece hava kalitesi ve iklim politikalarının entegrasyonuna zemin hazırlamaktadır (UNFCCC, 2015).

AB ülkeleri, NOx emisyonlarının sınırlandırılmasını, hem Paris Anlaşması kapsamındaki emisyon azaltım yükümlülükleriyle hem de AB'nin Ortam Hava Kalitesi Direktifleriyle uyumlu şekilde ele almaktadır. AB, iklim değişikliğiyle mücadelede hukuki bağlayıcılığı olan hedefler belirleyerek küresel düzeyde öncü bir konuma gelmiştir. Bu çerçevede, "*Avrupa İklim Yasası*" olarak adlandırılan, 2021/1119 sayılı Avrupa Parlamentosu ve Konsey Tüzüğü, iklim nötrlüğü hedefini bağlayıcı hale getirerek, 2050 yılına kadar sera gazı emisyonlarının AB düzeyinde nötrlenmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda yasa, 2050 yılı itibarıyla net sıfır emisyonla ulaşılması ve bu tarihten itibaren negatif emisyonların hedeflenmesi gerektiğini hükme bağlamaktadır (European Parliament and the Council, 2021: Madde 2/1).

Yasanın bir diğer temel hedefi, 2030 yılına kadar 1990 seviyelerine kıyasla net sera gazı emisyonlarında en az %55 oranında azalma sağlanmasını zorunlu kılmasıdır. Bu hedef, Paris Anlaşması kapsamında öngörülen küresel sıcaklık artışını 1,5 °C ile sınırlama amacına uyumlu biçimde belirlenmiştir (Madde 4). Avrupa İklim Yasası ile belirlenen bağlayıcı hedeflerin hayata geçirilmesi için gerekli mevzuat altyapısı ve sektörel politika araçları ise "*Fit for 55*" adı verilen kapsamlı politika paketiyle ortaya konmuştur. 14 Temmuz 2021 tarihinde Avrupa Komisyonu tarafından yayımlanan bu paket, 2030 yılına kadar net emisyonların %55 azaltılması hedefini gerçekleştirmeye yönelik mevzuat düzeyinde uyumlaştırılmış önlemleri içermektedir.

Uluslararası sahada öne çıkan bir diğer politika çerçevesi ise Birleşmiş Milletler Genel Kurulu tarafından 2015 yılında kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleridir (SDG). SDG'ler, yoksullukla mücadele, eşitsizliklerin azaltılması, ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal refah gibi alanlarda 2030 yılına kadar küresel ölçekte ilerleme sağlamayı amaçlayan 17 ana hedef ve 169 alt hedeften oluşan bir kalkınma gündemidir (United Nations, 2015). Bu hedefler, ekonomik, sosyal ve çevresel boyutların bir bütün olarak ele alındığı çok paydaşlı bir dönüşüm vizyonunu temsil etmektedir. AB'nin, hava kalitesi standartlarını belirleyen 2024/2881 sayılı Direktifinde, Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'ne (Sustainable Development Goals – SDGs) doğrudan atıf yapılmakta ve Direktifin, özellikle 3, 7, 10, 11 ve 13 numaralı hedefler olmak üzere Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin (SDG'ler) gerçekleştirilmesine katkı sağladığı belirtilmektedir (European Parliament and Council. 2024)¹. Bu vurgu, hava kirliliğiyle mücadelenin yalnızca

¹ SDG 3 – Sağlıklı ve kaliteli yaşamı her yaşta güvence altına almak, SDG 7 – Herkes için karşılanabilir, güvenilir, sürdürülebilir ve modern enerjiye erişimi sağlamak, SDG 10 – Ülkelerin içinde ve arasında

çevresel değil, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve sağlıkla ilgili boyutları da içeren çok katmanlı bir sürdürülebilirlik meselesi olduğunu ortaya koymaktadır.

2.2 Türkiye’de Düzenleyici Çerçeve

Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından ve 31 Ekim 2023 tarihinde Türkiye Büyük Millet Meclisi’nde kabul edilerek yürürlüğe giren On İkinci Kalkınma Planı (2024–2028) çevresel sürdürülebilirliği kamu yatırım politikalarına entegre edilmesi gereken temel bir stratejik öncelik olarak ele almaktadır. Kalkınma Planı, çevre koruma, iklim değişikliğiyle mücadele ve hava kalitesinin iyileştirilmesi konularına bütüncül bir yaklaşım getirmektedir. Özellikle enerji verimliliğinin artırılması, temiz ulaşım uygulamalarının yaygınlaştırılması, yenilenebilir enerji yatırımlarının teşviki ve emisyon azaltımı gibi öncelikler, hava kirliliğinin önlenmesine yönelik temel stratejik hedefler arasında yer almaktadır (SBB, 2023).

Kalkınma Planı’nda yer alan politika ve tedbirlerin kurumsal, sektörel ve bölgesel düzeyde uygulanabilirliğini sağlamaya yönelik en önemli teknik belgelerden biri, plan hazırlık sürecinde oluşturulan Özel İhtisas Komisyonu (ÖİK) Raporlarıdır. Çok sayıda Özel İhtisas Komisyonu raporlarında, azot oksit emisyonlarının azaltılması ve hava kalitesinin iyileştirilmesine etki edebilecek nitelikte tedbir ve politikaları ele almıştır²

Türkiye’deki düzenleyici çerçeve kapsamında en güncel gelişme, Türkiye Büyük Millet Meclisi’nde 2 Temmuz 2025 tarihinde kabul edilen ve 9 Temmuz 2025 tarihli ve 32951 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren 7552 sayılı İklim Kanunudur. Kanunun amacı; yeşil büyüme vizyonu ve net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda iklim değişikliğiyle mücadele etmek olarak ifade edilmiştir. Kanun; iklim değişikliği ile mücadelede esas olan sera gazı emisyonlarının azaltılması ve iklim değişikliğine uyum faaliyetleri ile planlama ve uygulama araçlarını, izni, denetimi ve bunlara ilişkin yasal ve kurumsal çerçevenin usul ve esaslarını kapsamaktadır.

İklim Kanunu’nun, Türkiye’nin Paris Anlaşması kapsamındaki taahhütlerini ve 2053 net sıfır emisyon hedefini gerçekleştirebilmesi açısından kritik bir adım olduğu değerlendirilmektedir. Kanun, Türkiye’nin iklim değişikliğiyle mücadelesinde yalnızca düzenleyici değil, aynı zamanda yönlendirici ve teşvik edici bir araç olarak yapılandırılmıştır. Kanun, düşük karbonlu kalkınmayı ve iklim dostu yatırımları teşvik eden stratejik bir yönelim sergilemektedir. Özellikle, enerji, sanayi, ulaşım ve tarım gibi yüksek emisyonlu sektörlerde düşük karbonlu üretim teknolojilerinin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaştırılması yönünde kamu kaynaklarının yönlendirilmesine zemin hazırlamaktadır. Bu kapsamda, sera gazı emisyonlarını azaltmaya yönelik ETS’nin getirilmiş olması, karbon fiyatlandırmasını mümkün kılarak özel sektörün sürece daha etkin katılımını teşvik etmektedir. Bu yönüyle kanun, çevre politikalarının kalkınma politikalarıyla entegrasyonuna yönelik yapısal bir dönüşüm sürecini işaret etmektedir.

eşitsizlikleri azaltmak, SDG 11 – Şehirleri ve insan yerleşimlerini kapsayıcı, dayanıklı, güvenlik ve sürdürülebilir kılmak, SDG 13 – İklim değişikliği ve etkileri ile mücadele için acilen eyleme geçmek.

² Örneğin, Ar-Ge ve Yenilik Ekosisteminin Güçlendirilmesi Özel İhtisas Komisyonu Raporu; İklim Değişikliğinin Sürdürülebilir Kalkınmaya Etkisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu; İmalat Sanayi Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu; İş ve Yatırım Ortamının İyileştirilmesi Özel İhtisas Komisyonu Raporu; Kent İçi Ulaşım Özel İhtisas Komisyonu Raporu; Otomotiv Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu.

III. NOx Küresel Pazarı ve Türkiye'nin Stratejik Potansiyeli

NOx sensörü pazarı, küresel ölçekte istikrarlı bir büyüme sergilemekte ve teknoloji ile üretim alanlarında yeni fırsatlar sunmaktadır. Türkiye ise, artan çevresel düzenlemelere uyum süreciyle birlikte, yerli üretim kapasitesi ve jeostratejik konumunun sağladığı avantajlar sayesinde bu pazarda stratejik bir aktör olma potansiyeline sahiptir. Bu bağlamda, Türkiye'nin NOx sensörü teknolojilerinde ithal ikamesi oluşturma, ihracat kapasitesini artırma ve bölgesel tedarik zincirlerinde güçlü bir konuma yerleşme imkânı önemli bir fırsat alanı sunmaktadır.

3.1 NOx Küresel Pazarı³

2024 yılı itibarıyla küresel NOx sensörü pazar büyüklüğü yaklaşık 4,12 milyar ABD doları olarak tahmin edilmiştir. Sektörün, 2025 yılında 4,40 milyar ABD dolarına ulaşması ve 2034 yılına kadar 7,89 milyar ABD doları seviyesine yükselmesi beklenmektedir. Bu doğrultuda, 2025–2034 döneminde pazarın yıllık büyüme oranının %6,69 düzeyinde seyredeceği öngörülmektedir. Küresel bir bakış açısıyla NOx sensörü pazarında öne çıkan eğilimler şu şekilde özetlenebilir:

NOx sensörü pazarı, özellikle emisyonlara yönelik düzenleyici baskının artması ve hava kalitesinin iyileştirilmesi yönündeki acil ihtiyaç nedeniyle önemli bir büyüme süreci içerisinde. Dünyanın dört bir yanındaki hükümetler, motorlu taşıtlar ve endüstriyel kaynaklardan kaynaklanan azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik katı düzenlemeler hayata geçirmektedir. Bu düzenleyici çerçeve, üreticileri mevzuata uyum ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda gelişmiş NOx sensör teknolojilerini benimsemeye teşvik etmektedir.

Otomotiv sektöründe yaşanan dönüşüm de bu artışı desteklemektedir. Özellikle hibrit ve elektrikli araçlara yönelim, hibrit araçlarda içten yanmalı motorların hâlen kullanılıyor olması nedeniyle NOx sensörlerine olan talebi sürdürmektedir. Diğer yandan, Dünya genelinde sanayileşmenin artması NOx sensörlerine olan talebi önemli ölçüde artırmaktadır. Sanayi tesisleri, emisyonları gerçek zamanlı olarak izlemek, yasalara uyumu sağlamak ve yanma süreçlerini optimize ederek verimliliği artırmak için bu sensörlere ihtiyaç duymaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde modernleşme ve kentleşme süreciyle birlikte etkili emisyon kontrol çözümlerine olan ihtiyaç artmakta, bu da NOx sensörü pazarı için yeni büyüme alanları ortaya çıkarmaktadır. Son dönemde, kablosuz sensör teknolojilerine yönelik eğilim dikkat çekmektedir. Bu teknolojiler, çeşitli uygulamalarda daha kolay entegrasyon ve kullanım imkânı sunmaktadır. Ayrıca, çevresel sorunlara yönelik artan toplumsal farkındalık, hem tüketicileri hem de sanayi kuruluşlarını daha çevreci teknolojilere yöneltmektedir. Bu eğilim, NOx sensörlerine olan ilginin artmasına katkı sağlamaktadır.

Şirketlerin daha etkin ve verimli sensörler üretmeye yönelik Ar-Ge yatırımlarında da artış gözlenmektedir. Yenilikçi çalışmaların artmasıyla birlikte, çok işlevli ve birden fazla kirleticiyi izleyebilen sensörlerin pazara girmesi beklenmektedir. Bu gelişmeler, çevresel izleme ve yasal uyum süreçlerinde NOx sensörlerinin önemini daha da artıracaktır.

³ Bu bölüm, NOx sensörüne ilişkin küresel görünümü ele alan aşağıdaki raporlardan derlenmiştir: Market Research Future (2024). *NOx Sensor Market Report*. Erişim adresi: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/nox-sensor-market-33723>
Next Move Strategy Consulting. (n.d.). *NOx sensor market size, share, growth & forecast (2024–2030)*. <https://www.nextmsc.com/report/nox-sensor-market-se2911>

NOx sensörü pazarının büyümesini, genişlemesini veya teknolojik dönüşümünü tetikleyen başlıca faktörler, piyasa yapısının anlaşılması ve stratejik planlama açısından kritik öneme sahiptir. Bu faktörler; emisyon düzenlemelerinin giderek sıkılaşması, sensör teknolojilerindeki yenilikler ve sürdürülebilir uygulamalara yönelik artan ilgi olarak sıralanabilecektir.

3.2 Sahaya Bakış: MCT Teknik'in Katkıları

NOx emisyonlarına yönelik düzenleyici politikaların sahada karşılık bulabilmesi, ancak yenilikçi sanayi aktörlerinin aktif ve sürdürülebilir katkılarıyla mümkün olmaktadır. Bu doğrultuda, 2020 yılında kurulan Türkiye merkezli MCT Technic, çevreci vizyona sahip yüksek teknoloji odaklı çözümleriyle, otomotiv bileşenleri üretiminde stratejik bir konuma sahiptir.

MCT Technic, azot oksit emisyonlarını önemli ölçüde azaltan NOx sensörü üretiminde Türkiye'de faaliyet gösteren tek şirket olmasının yanı sıra, Avrupa genelinde üç üreticiden biri konumundadır. Geliştirilen NOx sensörü, uluslararası standartlara uygun, modern egzoz arıtma sistemlerinin gereklerini karşılayabilecek nitelikte yüksek teknoloji bir ölçüm cihazı olarak tasarlanmıştır. MCT Technic'in diğer üretimi ise, motorlu taşıtlardan kaynaklanan zararlı emisyonların hassas ve yüksek doğruluklu biçimde ölçülmesini sağlayan, taşınabilir egzoz gazı analiz cihazıdır. Geliştirilen cihaz, özellikle emniyet birimleri, çevresel denetim kuruluşları ve otomotiv sanayi test merkezlerinin ölçüm ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanmıştır. Aşağıdaki kısımlarda şirketin üretim ve faaliyetleri neticesinde çevresel, ekonomik ve sosyal açılardan sağladığı katkılara değinilecektir.

Çevresel sürdürülebilirlik katkıları: MCT Technic, Türkiye'nin iklim politikalarında dışa bağımlılığın azaltılması ve çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sunan kritik bir aktör olarak öne çıkmakta; aynı zamanda ülkemizin iklim taahhütlerine uyum sürecinde stratejik bir teknoloji tedarikçisi olarak konumlanmaktadır. Şirketin yürüttüğü faaliyetler, yeşil dönüşüm odaklı kalkınma politikalarıyla güçlü bir uyum içindedir.

NOx sensörü, dizel araçlardaki Seçici Katalitik İndirgeme (SCR) sisteminin ayrılmaz bir bileşeni olarak işlev görmektedir ve egzoz gazındaki azot oksit seviyelerini ölçerek SCR sisteminin doğru, etkin ve çevreye duyarlı çalışmasına önemli katkı sağlamaktadır. 1970'lerin başından bu yana kullanılan ve günümüzde NOx emisyonlarını kontrol etmede en etkili ve en yaygın yöntem haline gelen SCR, dizel motorlu taşıtlarda ve endüstriyel tesislerde kullanılan, azot oksit emisyonlarını azaltmaya yönelik ileri düzey bir teknolojidir. SCR sistemi, %95'e varan oranlarda NOx dönüşüm verimliliği (azaltım) sağlamaktadır (Yang et al., 2015).

SCR sistemlerin işlevselliği, egzoz hattında konumlandırılan iki adet NOx sensörü sayesinde izlenmekte ve optimize edilmektedir. NOx sensörleri, egzoz gazındaki toplam azot oksit konsantrasyonunu gerçek zamanlı olarak ölçerek, motor kontrol ünitesine (ECU) sürekli veri akışı sağlamaktadır. Giriş sensörü, motordan çıkan NOx miktarını tespit ederek üre bazlı dizel egzoz sıvısının (AdBlue) ne kadar dozajlanması gerektiğini belirlemede kritik rol oynamaktadır. Çıkış sensörü ise sistemin performansını izleyerek NOx indirgeme verimliliğini değerlendirmektedir. NOx sensörü, enjeksiyon öncesi ve sonrası NOx değerlerini ölçmekte ve bu verilere göre motor kontrol ünitesi (ECU), AdBlue dozajını optimize etmektedir (Bonfils et al. 2014; Li et al., 2022).

Ekonomik katkıları: MCT Technic, küresel düzeyde artan çevre odaklı düzenlemelere yanıt verebilecek nitelikte yüksek mühendislik çözümleri sunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri ve Bulgaristan'daki operasyonel ofisleri aracılığıyla yürütülen dış pazar faaliyetleri, şirketin

uluslararası pazarlardaki faaliyet alanını genişlettiğini göstermektedir. Yerli üretim altyapısı, Ar-Ge faaliyetleri ve çevresel sürdürülebilirlik yaklaşımıyla MCT Technic, hem ihracat kapasitesi hem de ithalatı ikame edici üretim kabiliyeti sayesinde Türkiye ekonomisine katkı sağlayan bir teknoloji şirkettir. Bu yönleriyle, dış ticaret açığının azaltılması ve üretim odaklı büyüme hedefleriyle uyumlu bir konumda yer almaktadır. Üretim kapasitesi ve yeni ürün geliştirme stratejileri göz önüne alındığında, MCT Technic'in ülke ekonomisi için ortaya çıkarabileceği katkıyı önümüzdeki dönemde artırma potansiyeline sahiptir. Bugün itibarıyla 29 ülkeye ihracat gerçekleştiren MCT Technic, 2027-2028 döneminde 4 milyar dolar ihracat hacmine ulaşmayı hedeflemektedir. MCT Technic'in son bir yıl içerisinde gerçekleştirdiği, ulusal ve uluslararası düzeyde yürüttüğü bazı stratejik iş ortaklıkları bulunmaktadır. Bu çerçevede, Türk Traktör, Temsa, Siemens, Continental, Doosan, Daedong, Iveco, Cummins, Detroit Diesel gibi işletmelerle ticari anlaşmaları bulunmaktadır. Mercedes-Benz, Volkswagen ve Volvo ile anlaşma yapma süreci devam etmektedir. MCT Technic, dünya genelinde sekiz farklı markanın güvenilir tedarikçisi olarak konumlanmıştır. Bu iş ortaklıkları ve ticari anlaşmalar, MCT Technic'in sektörel yetkinliğini ve uluslararası pazardaki büyüme kapasitesini somut biçimde ortaya koymaktadır.

MCT Technic'in ithal ikame kabiliyeti ise Türkiye'deki dizel araç sayısı ve NOx sensörü maliyetleri göz önüne alındığında açıkça görülmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre, 2025 yılı Haziran ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı 16 milyon 739 bin 977 otomobilin %33,4'ü dizeldir. Bu orana göre Türkiye'de yaklaşık 5,6 milyon dizel araç bulunmaktadır (TÜİK, 2025). MCT Technic, NOx sensörlerini Avrupalı rakiplerine kıyasla üçte bir maliyetle üretebilme kapasitesine sahiptir. Bu teknolojik ve üretim avantajı sayesinde, ülkemizdeki yüksek dizel araç sayısı ve sensörlerin sınırlı kullanım ömrü dikkate alındığında, MCT Technic'in ithal ikame potansiyeli oldukça yüksektir. Bu doğrultuda, şirketin yerli üretim kabiliyetiyle Türkiye ekonomisine yüz milyonlarca dolarlık tasarruf ve katma değer sağlama imkânı bulunmaktadır.

Ayrıca, MCT Technic, Ar-Ge faaliyetleri kapsamında, yeni nesil AdBlue pompası projesi, yeni nesil enjektör projesi ve yerli çip üretim tesisi kurma çalışmalarına devam etmektedir. 2025 yılı içerisinde faaliyete geçmesi planlanan Tesis, NOx sensörleri ve SCR sistemlerinde kullanılacak kritik elektronik bileşenlerin tamamen yerli üretimi sağlanacaktır.

Sosyal katkıları: MCT Technic, toplumsal fayda üretme vizyonu ile hareket etmekte ve eğitime, spora, çevreye ve sosyal dayanışmaya destek vererek topluma katkı sunmaktadır. Şirket, sosyal sorumluluğu kurumsal kimliğinin ayrılmaz bir parçası olarak görmekte ve çok boyutlu destek programlarıyla geleceğe yatırım yapmaktadır. Aşağıda, MCT Technic'in yürüttüğü başlıca sosyal sorumluluk projelerine ve sponsorluk faaliyetlerine yer verilmiştir:

- Galatasaray Erkek Basketbol Takımı'nın ana sponsorlarından.
- Galatasaray Lisesi'ndeki Robotik Kodlama Teknolojisi Sınıfı'nın ana sponsorudur.
- Her ay 726 öğrenciye eğitim bursu sağlamaktadır.
- 100'den fazla yetim çocuğa düzenli olarak maddi ve sosyal destek sağlayarak temel ihtiyaçlarını karşılamaktadır.
- 5 lise ve 2 üniversitenin teknoloji derslerinin sponsorudur.
- İsviçre'de Uluslararası Bakalorya (IB) sistemine kayıtlı İstanbul'daki bir lisenin tüm yıllık eğitim, seyahat ve okul masraflarının birincil sponsorudur ve toplam 520 öğrenciye destek sağlamaktadır.

- Deprem bölgesindeki çocuklardan ve genç sporculardan oluşan amatör bir futbol takımı kurmuştur.
- 2024 Türkiye Şampiyonu Drone Takımı'na sponsor olmuştur.
- Türkiye'nin ilk ve tek dağ bisikleti kulübü olan ve uluslararası turnuvalarda yarışan MCT NOX UCI Bisiklet Kulübü bulunmaktadır.
- Mountain Bike World Cup XCE Şampiyonu olan ve çok sayıda uluslararası turnuvada başarı elde eden Didi de Vries'in sponsorudur.
- Fransa'da eğitim gören, triatlon dalında birden fazla madalya kazanan bir sporcunun ve Belçika ve diğer Avrupa ülkelerinde yarışan 16 yaşındaki bir kadın triatlon sporcusunun sponsorudur.
- Üretim sattığı her 10 NOx sensörü için müşterileri adına 1 ağaç dikmektedir. MCT Technic tarafından çevresel sürdürülebilirliğe adanmış 1 milyon metrekarelik kara orman alanı vardır.

Sonuç ve Değerlendirme

Azot oksit (NOx) emisyonları, sadece bir çevre sorunu değil; aynı zamanda halk sağlığı, ekonomik sürdürülebilirlik ve iklim politikalarıyla doğrudan ilişkili yapısal bir meseledir. NOx'un neden olduğu sağlık riskleri, özellikle çocuklar, yaşlılar ve kronik hastalığı bulunan bireyler için ciddi tehditler oluştururken; çevresel etkileri yer seviyesinde ozon oluşumu, asit yağmurları ve tarımsal verim kaybı gibi geniş çaplı sonuçlar doğurmaktadır. Buna ek olarak, NOx kaynaklı sorunlar, sağlık harcamalarından iş gücü kaybına, ekosistemin bozulmasından tarımsal üretim düşüşüne kadar çok yönlü ekonomik maliyetlere neden olmaktadır.

Küresel ölçekte Avrupa Birliği başta olmak üzere birçok ülke, NOx emisyonlarını azaltmaya yönelik sıkı mevzuatlar, izleme sistemleri ve teknolojik dönüşüm programları uygulamaktadır. Türkiye de bu sürece gerek çevre mevzuatı gerekse uluslararası yükümlülükler çerçevesinde uyum sağlamaktadır. NOx emisyonlarının azaltılması yalnızca bir çevre koruma yükümlülüğü değil, aynı zamanda sağlık sisteminde önleyici politika anlayışının hayata geçirilmesi, ekonomik kaynakların verimli kullanımı ve uluslararası pazarlarda rekabet avantajının artırılması gibi açılardan stratejik öneme sahip çok boyutlu bir mücadeledir.

Temiz üretim teknolojilerine geçiş ve yerli çevre teknolojilerinin geliştirilmesi gibi adımlar, Türkiye'nin hem iç pazarda sürdürülebilir sanayi politikaları inşa etmesine hem de dış pazarda çevresel standartlara uyumlu olarak ihracat kapasitesini güçlendirmesine olanak tanıyacaktır. Bu bağlamda, NOx emisyonlarının azaltılması, yalnızca bugünün çevresel sorunlarını çözmeye değil, aynı zamanda geleceğin düşük karbonlu, yenilikçi ve dirençli ekonomisinin temellerini atmaya yönelik stratejik bir yatırım olarak değerlendirilmektedir.

Bu dönüşüm süreci zamanında, kapsamlı ve çok paydaşlı bir yaklaşımla yönetildiği takdirde; halk sağlığının daha etkin şekilde korunabileceği, çevresel olumsuz etkilerin azaltılabileceği ve yeşil kalkınma vizyonuna yönelik somut ve kalıcı ilerlemeler kaydedebileceği değerlendirilmektedir. Böylece Türkiye, sadece sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmakla kalmayacak aynı zamanda çevreye duyarlı kalkınma modeliyle uluslararası düzeyde örnek bir uygulayıcı ülke konumuna gelebilecektir.

Kaynakça

- Amann, M., Holland, M., Maas, R., Vandyck, T., & Saveyn, B. (2017). *Costs, benefits and economic impacts of the EU Clean Air Strategy and their implications on innovation and competitiveness*. IIASA.
- Bonfils, A., Creff, Y., Lepreux, O., & Petit, N. (2014). Closed-loop control of a SCR system using a NO_x sensor cross-sensitive to NH₃. *Journal of Process Control*, 24(2), 368–378. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2013.08.010>
- Buruiană, D., Sachelarie, A., Butnaru, C., & Ghisman, V. (2021). Important contributions to reducing nitrogen oxide emissions from internal combustion engines. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9075. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179075>
- COMEAP (Committee on the Medical Effects of Air Pollutants). (2018). *Associations of long-term average concentrations of nitrogen dioxide with mortality*. Public Health England.
- EEA (European Environment Agency) (2024). *The costs to health and the environment from industrial air pollution in Europe – 2024 update*. <https://www.eea.europa.eu/publications/the-cost-to-health-and-the>
- EPA (United States Environmental Protection Agency). (1993). *Air quality criteria for oxides of nitrogen* (EPA/600/8-91/049aF-cF; Vols. 1–3). Research Triangle Park, NC: U.S. Environmental Protection Agency.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). (2018). *Report on the environment: Nitrogen oxides emissions*. <https://www.epa.gov/report-environment>
- European Commission. (2019). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640>
- European Commission. (2021). *Pathway to a Healthy Planet for All: EU Action Plan Towards Zero Pollution for Air, Water and Soil* (COM(2021) 400 final). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0400>
- European Commission. (2025). *The Fourth Clean Air Outlook* (COM(2025) 64).
- European Council. (2024). *Euro 7: Council adopts new rules on emission limits for cars, vans and trucks*. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/04/12/euro-7-council-adopts-new-rules-on-emission-limits-for-cars-vans-and-trucks/>
- European Parliament and Council. (2024). *Directive (EU) 2024/2881 on ambient air quality and cleaner air for Europe*. PE/88/2024/REV/1.
- Geddes, J., Pusede, S., & Wong, A. (2022). Changes in the relative importance of biogenic isoprene and soil NO_x emissions on ozone concentrations in nonattainment areas of the United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127(13). <https://doi.org/10.1029/2021jd036361>
- HEI (Health Effects Institute). (2025). *Trends in air quality and health impacts: Insights from Central, South, and Southeast Asia*. Health Effects Institute.
- Huangfu, P., & Atkinson, R. (2020). Long-term exposure to NO₂ and O₃ and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 144, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Karl, T., Graus, M., Striednig, M., ... et al. (2017). Urban eddy covariance measurements reveal significant missing NO_x emissions in Central Europe. *Scientific Reports*, 7, 2536. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02699-9>
- Li, C., Ma, T., Karavalakis, G., ... et al. (2023). Evaluation of on-board sensor-based NO_x emissions from the heavy-duty vehicles in an inspection and maintenance program. *Emission Control Science and Technology*, 9, 12–24. <https://doi.org/10.1007/s40825-022-00218-5>
- Market Research Future. (2024). *NO_x sensor market report*. <https://www.marketresearchfuture.com/reports/nox-sensor-market-3372>
- Next Move Strategy Consulting. (n.d.). *NO_x sensor market size, share, growth & forecast (2024–2030)*. <https://www.nextmsc.com/report/nox-sensor-market-se2911>
- O'Domhnaill, A., O'Mahony, M., Broderick, B., Hennessy, M., Donnelly, A., Naughton, O., ... Lyons, S. (2023). *Impact of nitrogen dioxide on health with particular emphasis on vulnerable groups*

- (Report No. 442). Environmental Protection Agency.
https://www.epa.ie/publications/research/air/Research_442.php
- OECD (2016). *The economic consequences of outdoor air pollution*. OECD Publishing.
<https://doi.org/10.1787/9789264257474-en>
- OECD (2018). *Human acceleration of the nitrogen cycle: Managing risks and uncertainty*. OECD Publishing.
<https://doi.org/10.1787/9789264307438-e>
- Orellano, P., Reynoso, J., Quaranta, N., Bardach, A., & Ciapponi, A. (2020). Short-term exposure to particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}), nitrogen dioxide (NO₂), and ozone (O₃) and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and meta-analysis. *Environment International*, 142, 105876. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105876>
- Posada, F., Badshah, H., & Felipe, R. (2020). *Current state of NOx emissions from in-use heavy-duty diesel vehicles in Europe and the United States* [White paper]. International Council on Clean Transportation.
- Prakash, J., Agrawal, S. B., & Agrawal, M. (2023). Global trends of acidity in rainfall and its impact on plants and soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(1), 398–419.
<https://doi.org/10.1007/s42729-022-01051-z>
- Ravishankara, A. R., Daniel, J. S., & Portmann, R. W. (2009). Nitrous oxide (N₂O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century. *Science*, 326(5949), 123–125.
<https://doi.org/10.1126/science.1176985>
- SBB (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı). (2019). *Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları Türkiye 2019 Değerlendirme Raporu*. T.C. Kalkınma Bakanlığı. <https://www.sbb.gov.tr>
- SBB (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı). (2023). *On İkinci Kalkınma Planı (2024–2028)*. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/10/OnikinciKalkinmaPlani2024-2028.pdf>
- Targa, J., Colina, M., Banyuls, L., González Ortiz, A., & Soares, J. (2024). *Status report of air quality in Europe for year 2024, using validated and up-to-date data* (ETC-HE Report 2025/1). European Topic Centre on Human Health and the Environment.
- TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2025). *Motorlu kara taşıtları, Haziran 2025 verileri*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Tasitlari-Haziran-2025-54042>
- UNEP (United Nations Environment Programme). (2011). *Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone*. <https://earthjustice.org/wp-content/uploads/integrated-assessment-of-black-carbon.pdf>
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2015). *The Paris Agreement*. <https://unfccc.int>
- UN (United Nations) (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- UN (United Nations) (2024). *The Sustainable Development Goals Report 2023*. <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023>
- WHO (World Health Organization). (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.
- Yang, L., Franco, V., Campestrini, A., German, J., & Mock, P. (2015). *NOx control technologies for Euro 6 diesel passenger cars: Market penetration and experimental performance assessment* [White paper]. International Council on Clean Transportation, in collaboration with ADAC.