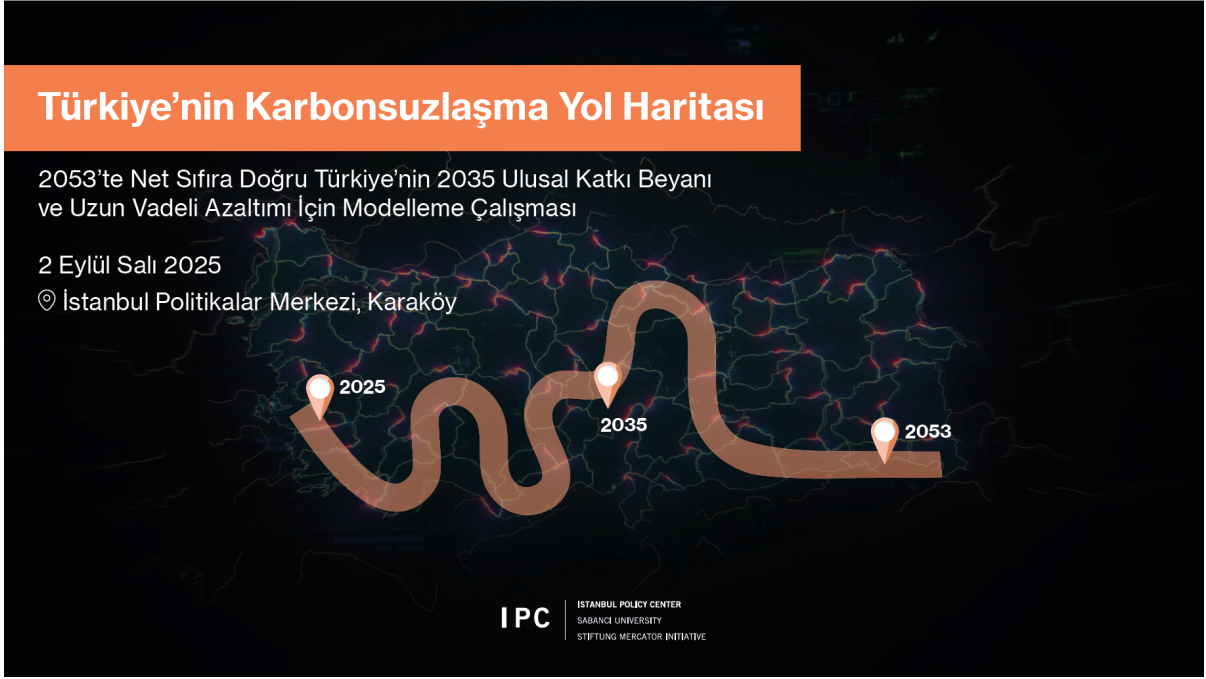


Türkiye'nin Karbonsuzlaşma Yol Haritası

2053'te Net Sıfıra Doğru Türkiye'nin 2035 Ulusal Katkı Beyanı
ve Uzun Vadeli Azaltımı İçin Modelleme Çalışması

2 Eylül Salı 2025

© İstanbul Politikalar Merkezi, Karaköy



TÜRKİYE'NİN KARBONSUZLAŞMA YOL HARİTASI 2053'TE NET SIFIRA DOĞRU

YÖNETİCİ ÖZETİ

Dr. Saeed Alp (EPRA Enerji Ar-Ge Direktörü) – Araştırma koordinatörü

Doç. Dr. Bora Kat (ODTÜ) – Sanayi sektörü

Doç. Dr. Duygu Erten (TURKECO Enerji/Ankara Üniversitesi) – Binalar sektörü

Prof. Dr. Ebru Voyvoda (ODTÜ) – Karbon bütçesi ve makroekonomik analiz

Dr. Erdinç Ersoy – Tarım sektörü

Prof. Dr. Erinc Yeldan (Kadir Has Üniversitesi) – Makroekonomik analiz

Prof. Dr. İlkay Dellal (Ankara Üniversitesi) – Tarım sektörü

Doç. Dr. Osman Bülent Tör (EPRA Enerji/Hacettepe Üniversitesi) – Elektrik sektörü

Dr. Özay Uslu (Medipol Üniversitesi) – Binalar ve ulaştırma sektörleri

Zübeyde Türk (EPRA Enerji) – Elektrik sektörü

Dr. Ümit Şahin (Sabancı Üniversitesi, İPM) – Proje koordinatörü, rapor editörü

İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ
EYLÜL 2025

Giriş

Türkiye 2021 yılında **Paris Anlaşmasına** taraf olmuş ve sera gazı emisyonlarını **2053'te** net sıfıra indirme hedefini açıklamıştır. Ancak 2022'de güncellenen Ulusal Azaltım Beyanında (**NDC**) belirlenen sera gazı emisyonlarını 2030'da referans senaryoya göre %41 azaltma hedefi bu uzun vadeli hedefle uyumlu değildir. Paris Anlaşmasına göre, ülkelerin iklim eylemine olan katkılarını ve azaltım hedeflerini beş yılda bir artırarak güncellemesi gerekmektedir ve bu kural gereğince bu yıl (2025'te) diğer ülkelerle birlikte Türkiye de yeni NDC'sini BM'ye sunacaktır.

İklim eyleminin ve azaltım hedeflerinin ekonominin ilgili bütün sektörlerini kapsamı ve azaltımın en kolay olduğu sektörlerle ve önlemlere öncelik verilmesi önemli bir ilkedir. Buna göre emisyonların, net sıfıra ineceği yıla kadar tedrici bir şekilde ve her sektörde olabilecek en uygun eğriyle azaltılması gerekir. Bu azaltım patikası genellikle mevcut ve gelişmekte olan teknolojiler göz önüne alınarak aşağıdan

yukarı veya hibrit modelleme çalışmalarıyla belirlenir. Bu çalışmalarda ekonominin mevcut gidişatını gösteren ve net sıfır hedefine uygun bir veya birden fazla referans senaryo ve azaltım senaryosu karşılaştırılır.

Sabancı Üniversitesi **İstanbul Politikalar Merkezi'nin (İPM)**, Türkiye henüz Paris Anlaşmasına taraf olmadan önce başlattığı model çalışmalarının sonucu olarak 2021-2023 arasında yayımladığı üç rapor, Türkiye'nin 2050'ye kadar karbonsuzlaşma yol haritasını, karbondioksit emisyonlarını net sıfıra ulaştırmak için izlenmesi gereken politikaların 2020-2030 arası fayda maliyet analizini ve yol haritasının en önemli bileşeni olan enerji dönüşümünün coğrafi dağılım haritasını ortaya koymuştur. Türkiye'de bir ilk olan bu bağımsız bilimsel çalışmalar, Türkiye'nin iklim politikalarını uygularken izlemesi gereken dönüşümün neye benzemesi gerektiği konusunda yapılan tartışmalarda yol gösterici olmuştur.



İPM'nin, 2053 net sıfır hedefine ve 2035 hedeflerini içerecek yeni NDC'ye yönelik tartışmalar için bilimsel bir arka plan çalışması olarak hazırladığı ve bu yeni raporla sonuçları sunulan yeni Karbonsuzlaşma Yol Haritası'nın hazırlıkları yaklaşık bir yıl sürdü. Yeni yol haritasına temel olan model çalışması aşağıdan yukarı bir yaklaşımla, Türkiye ekonomisinin ilgili bütün sektörlerini (**elektrik, sanayi, binalar, ulaştırma, tarım, atık**) ve bütün sera gazlarını (**karbondioksit, metan, nitroz oksit ve F gazları**) içermektedir.

Yol haritasında Türkiye'nin sera gazı emisyonlarının izleyeceği olası patikalar iki ayrı senaryo üzerinden modellenmektedir. Referans Senaryo'da, emisyonları net sıfıra indirmek için ekonomiye ek bir müdahale yapılmadan ve iddialı iklim politikaları uygulanmadan, ekonominin bugünkü gidişatı 2053'e taşınarak enerji talebinin ve sera gazı emisyonlarının nasıl bir yol izleyeceği ortaya konmaktadır. Referans Senaryo'da yenilenebilir enerjiye ve elektrikli araçlara geçiş, sanayide ve binalarda elektrifikasyon gibi iklim politikaları açısından önemli dönüşümlerin mevcut politikalar ve ekonomik yapı altında son yıllardaki ortalamasında devam ettiği varsayılmıştır.

Net Sıfır Senaryosu'nda ise 2053'te net sıfır emisyona inmek için ekonomiye gerekli müdahalelerin yapıldığı varsayımı altında (örneğin **yenilenebilir enerjiye hızlı geçiş, kömürden kademeli çıkış, elektrikli araçlara hızlı geçiş, sanayide kademeli teknoloji dönüşümü ve binalarda elektrifikasyon, vb.**) enerji talebinin ve emisyonların nasıl bir seyir izleyeceği ortaya konmaktadır. Bu müdahalelerin ülkenin enerji güvenliğini

bozmayacak ve ekonomiye zarar vermeyecek oranda, makul sayılabilecek bir ek maliyetle yapıldığı varsayılmıştır. Varsayımlarda günümüzde teknolojik olarak yerleşmiş ve ekonomik olarak etkin müdahalelere öncelik verilmiştir. Henüz yeterince gelişmemiş, etkinliği şüpheli ve çok pahalı teknolojiler (CCS gibi) senaryolarda kullanılmamış ya da çok kısıtlı düzeyde kullanılmıştır.

Net Sıfır Senaryosu'nda ekonominin gidişatını emisyonları azaltma yönünde değiştirecek en önemli kısıt olarak **kalan karbon bütçesi** kullanılmıştır. Dünya ekonomisinin Paris Anlaşmasına göre küresel ısınmayı **1,5-2°C'de** sınırlama hedefi doğrultusunda 2050'lerde net sıfıra inmek için yapılabilecek maksimum karbon emisyonu miktarı, kalan küresel karbon bütçesini oluşturmaktadır. Küresel karbon bütçesinden Türkiye'ye düşen pay hesaplanırken Türkiye'nin tarihsel sorumluluğunun düşük olması ve kalkınma hakkı göz önünde tutulmuştur.

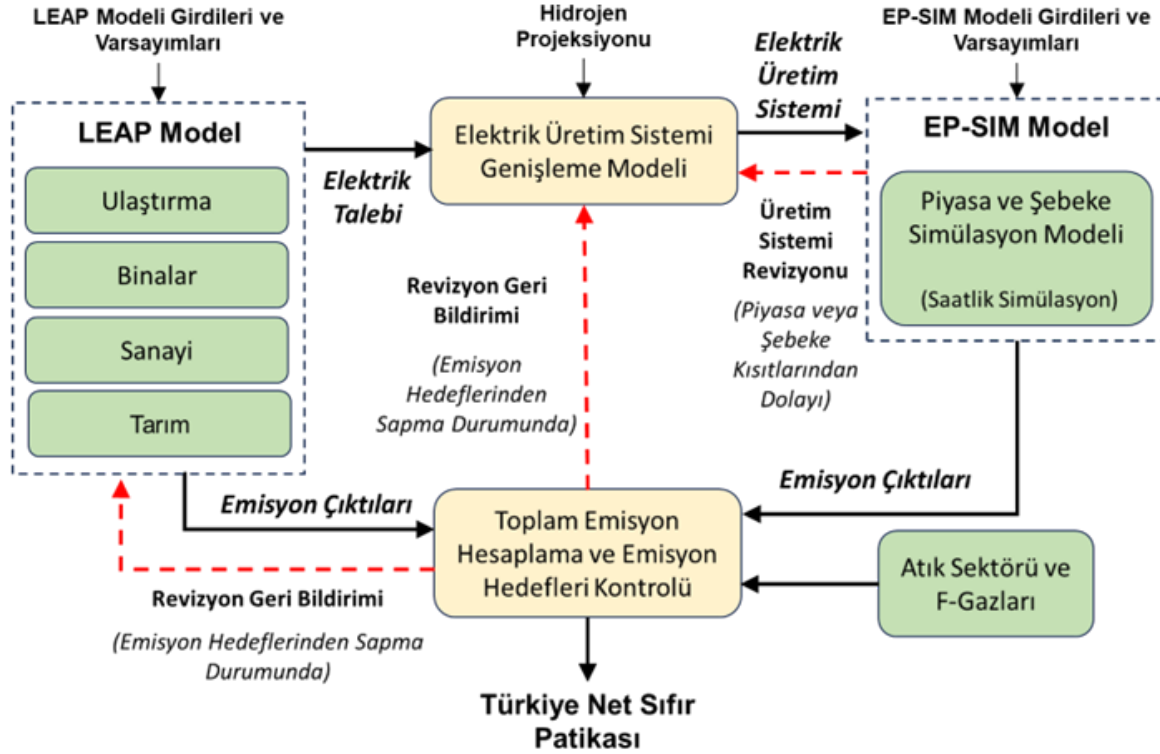
Raporda Net Sıfır Senaryosu ve Referans Senaryo arasındaki farkların ve Net Sıfır Senaryosu'nun izlenmesi halinde ülkenin toplam emisyonlarının **2035'te ve 2053'te 2021'e göre** ne oranda azalacağını yanı sıra bu dönüşümün **2025-2035 arasındaki** on yıl için yaratacağı ek maliyet de hesaplanmıştır.

Bu olası azaltım senaryoları Türkiye'nin 2035 için belirlemesi gereken yeni Ulusal Azaltım Hedefi'ne (NDC) ve 2053'ü hedefleyen Uzun Dönemli Strateji'ye ışık tutmaktadır.

Metodoloji

Araştırmada kullanılan metodolojinin genel çerçevesi ve modeller arası veri akışı Şekil 1’de sunulmaktadır. Çalışmada, Türkiye’nin sera gazı emisyonlarının büyük bölümünü oluşturan beş sektör modellenmiştir: **Sanayi, ulaştırma, binalar, tarım ve elektrik.**

Bunlara ek olarak **atık sektörü ve F gazları** bağımsız bir şekilde ele alınmıştır.



Şekil 1 - Önerilen metodolojinin genel çerçevesi

Çalışmada iki modelleme aracı bir arada kullanılmıştır: **LEAP ve EP-SIM.**

LEAP (Düşük Emisyon Analiz Platformu), enerji, iklim değişikliği ve hava kirliliği azaltım planlaması için entegre bir yazılım sistemidir. **Stockholm Çevre Enstitüsü (SEI)** tarafından geliştirilen LEAP, yaklaşık 60 ülke tarafından NDC’lerin geliştirilmesine yardımcı olmak için kullanılmıştır. Kamu

kurumları dışında akademi, STK’lar ve danışmanlık şirketleri tarafından da kullanılmaktadır. LEAP’te basit muhasebe tabanlı modeller ve en düşük maliyetli kapasite genişleme optimizasyonu modellemesi gibi farklı yöntemler kullanılabilir.

EP-SIM, elektrik piyasası ve şebeke simülasyonu için geliştirilmiş bir

platformdur. Talep projeksiyonları, mevcut üretim kapasitesi ve sistem kısıtları gibi girdiler tanımlanarak piyasa işleyişi ve şebeke davranışı gerçekçi bir şekilde analiz edilebilmektedir. **EPRA-Enerji** tarafından geliştirilen model, matematiksel algoritmalar, optimizasyon yöntemleri ve makine öğrenimi yaklaşımlarını kullanarak üretim dağılımı, kapasite faktörleri, piyasa takas fiyatı ve şebeke güvenilirliği gibi çıktılar üretir. Bu yönüyle, yalnızca piyasanın ekonomik boyutunu değil, aynı zamanda şebeke esnekliği ve güvenliği gibi teknik unsurları birlikte değerlendirmektedir. EP-SIM, yenilenebilir kaynakların entegrasyonu, esneklik seçenekleri ve farklı senaryoların piyasa ile şebeke üzerindeki etkilerini inceleme imkânı sunar. Böylece, referans ve net sıfır senaryolarının daha gerçekçi ve uygulanabilir şekilde kurgulanmasına katkı sağlamaktadır.

Çalışmada her sektör, teknolojik gelişmeler, verimlilik artışları ve makroekonomik varsayımlar dikkate alınarak veri odaklı biçimde modellenmiştir. Sektörel enerji talebi sonuçları, elektrik üretim sistemine yansıtılmış; bu aşamada üretim kapasitesi planlaması, teknoloji dönüşümü ve yatırım gereksinimleri analiz edilmiştir. Elektrik sistemi modeli, ayrıca piyasa ve şebeke simülasyon modeli ile bütünleştirilmiş ve saatlik bazda yapılan simülasyonlarla arz-talep dengesi, sistem güvenilirliği ve esneklik ihtiyacı incelenmiştir.

Bu çalışmada envanterde yayımlanan tüm sera gazları, yani **karbondioksit (CO₂)**, **metan (CH₄)**, **nitröz oksit (N₂O)** modele dahil edilmiştir. **F-gazları** ise ayrıca ele alınarak hesaplamalara katılmıştır.

Çalışmada iki ana senaryo geliştirilmiştir:

- **Referans Senaryo:** Geleneksel “işlerin olduğu gibi devam etmesi” (BAU) yaklaşımından farklı olarak ekonominin bugünkü gidişatı 2053’e taşınmış, teknoloji gelişmeler ve sektörler için en makul kabul edilebilir eğilimler senaryoya dahil edilmiştir. Baz yılı olarak 2023 alınmış, pandemi sonrası ekonomik ve sosyal koşulları yansıtacak şekilde kalibre edilmiştir.
- **Net Sıfır Senaryosu:** Türkiye’nin 2053 yılı net sıfır emisyon hedefi doğrultusunda tasarlanmıştır. Bu senaryo, mevcut ekonomik yapı ve büyüme beklentilerini koruyarak, gerekli politika ve önlemler hayata geçirildiğinde sera gazı emisyonlarının nasıl bir seyir izleyeceğini ortaya koymaktadır.

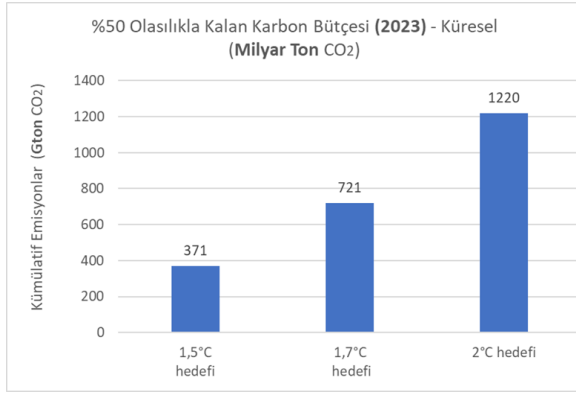
Bu çalışmada hesaplanan sera gazı emisyonları, ulusal düzeyde karbon bütçeleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Karbon bütçesi hesaplama yaklaşımı, İPM’nin 2021’de yayınladığı

Karbonsuzlaşma Yol Haritası çalışmasında geliştirilen metodolojiye dayanmakta olup güncel verilere uyarlanmıştır. Küresel karbon bütçesi, **IPCC’nin Altıncı Değerlendirme Raporu’ndan (AR6)** alınmış ve 2020–2023 yılları arasında gerçekleşen emisyonlar dikkate alınarak güncellenmiştir. Buna göre, 2023 sonrasında iklimin %50 olasılıkla 1,5 °C ile sınırlandırılabilmesi için geriye kalan karbon bütçesi **370,8 GtCO₂** olarak hesaplanmaktadır. Aynı olasılık düzeyi altında bu rakam 1,7 °C için **720,8 GtCO₂**’ye ve 2,0 °C için **1.220,8 GtCO₂**’ye çıkmaktadır.

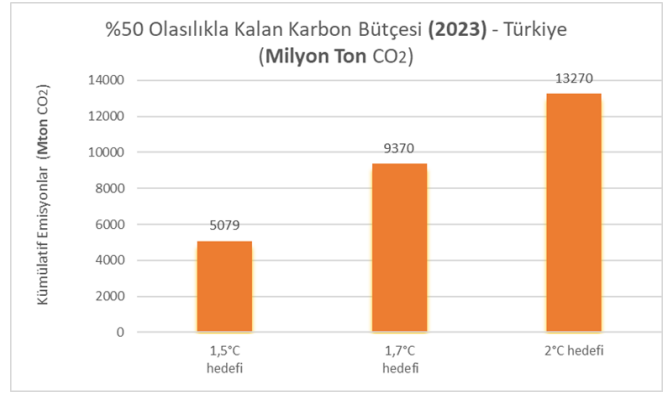
Türkiye’nin bu küresel bütçeden alacağı pay, **Paris Equity Check’in (PEC) Kümülatif Kişi Başına Eşitlik (CPC)** yaklaşımı kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem, tarihsel sorumluluğu görece düşük ve kalkınma

hakkı daha yüksek olan ülkeler için adil bir dağılım esasına dayanmaktadır. Bu yaklaşıma göre Türkiye'nin 1,5°C hedefi ile uyumlu karbon bütçesi küresel toplamın **yüzde 1,37'sine** karşılık gelmektedir. Bu oran Türkiye'nin karbon emisyonlarındaki güncel payından (yaklaşık **yüzde 1,2**) yüksektir ve 2023 itibarıyla yaklaşık **5,08 GtCO₂**'lik bir ulusal bütçeye denk düşmektedir. Bu ulusal bütçe, projede sektörel arasında dağıtılmıştır. Sektörel karbon bütçeleri, her bir sektörün baz senaryo altında projekte edilen kümülatif emisyonları esas alınarak hesaplanmıştır.

Böylece Türkiye'nin küresel sıcaklık artışını **yüzde 50 olasılıkla 1,5°C, 1,7°C ve 2°C** ile sınırlı tutmak için kalan küresel karbon bütçesinden alması gereken bütçenin, sektörlerin mevcut eğilimleri çerçevesinde nasıl dağıldığı ortaya konmuştur. Küresel ve Türkiye'ye özgü karbon bütçelerinin karşılaştırmalı sonuçları Şekil 2 ve Şekil 3'de sunulmaktadır. (Grafiklerde küresel karbon bütçesinin GtCO₂ – milyar ton –, Türkiye'nin karbon bütçesinin ise MtCO₂ – milyon ton – olarak verildiğine dikkat edilmelidir.)



Şekil 2 - Küresel karbon bütçesi (GtCO₂)



Şekil 3 - Türkiye'ye özgü karbon bütçesi (MtCO₂)

Sektörlerin Karbonsuzlaşma Patikaları

SANAYİ SEKTÖRÜ

Sanayi sektörü, Türkiye'nin sera gazı emisyonlarının önemli kaynaklarından biri olup, çalışmada altı alt-sektör altında modellenmiştir: **demir-çelik, alüminyum, çimento, gübre, kimyasallar ve diğer sanayi kolları**. Demir-çelik, alüminyum, çimento ve gübre sektörleri homojen çıktıları nedeniyle kütle bazlı üretim üzerinden; kimyasallar ve diğer sektörler ise ekonomide yarattıkları katma değer üzerinden modellenmiştir. "Diğer sanayi kolları" arasında tekstil, makine vb. gibi emisyon yoğunluğu görece düşük sektörler yer almaktadır.

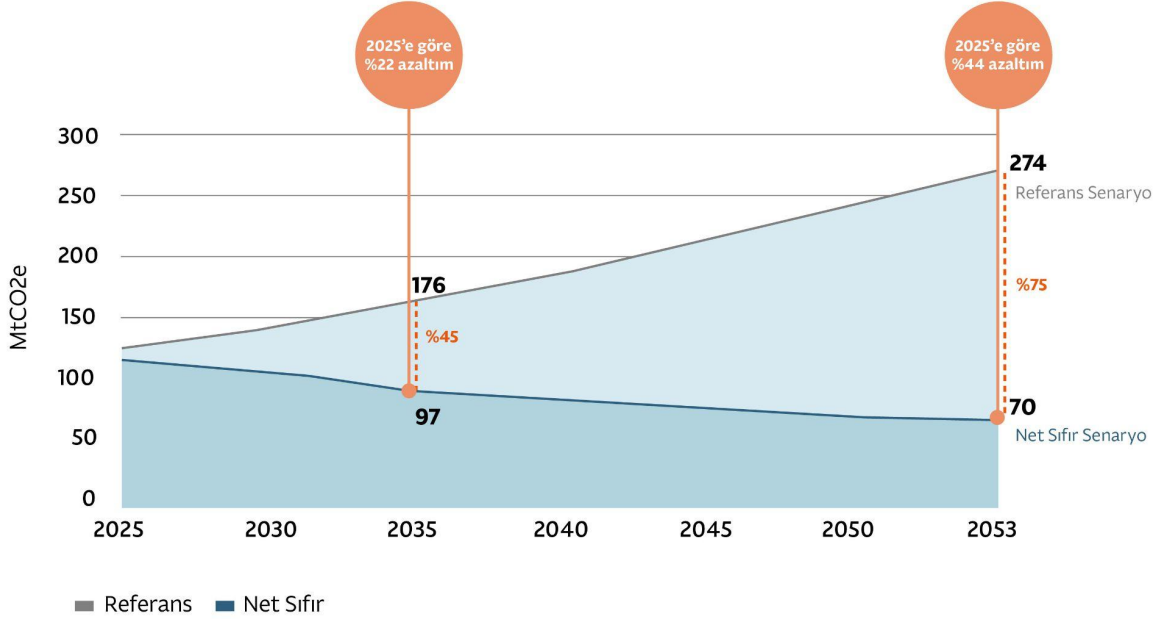
Referans Senaryo'da, sektörler **mevcut büyüme oranları, verimlilik artışları ve teknolojik gelişmeler** dikkate alınarak projekte edilmiştir. Net Sıfır Senaryosu'nda ise **süreç bazlı dönüşümler, verimlilik iyileştirmeleri ve elektrifikasyon** adımları devreye alınmıştır. Demir-çelik ve alüminyum sektörlerinde dönüşümün ana kaynağı proses teknolojilerindeki değişim olurken; gübre sektöründe nitrik asit üretiminde katalitik arıtma teknolojisi öngörülmektedir. Çimento sektöründe ise proses emisyonlarının azaltılması oldukça sınırlı olup, klinker oranının düşürülmesi ve alternatif hammaddelerin kullanımı tek seçenek olarak öne çıkmaktadır. Kimya ve "diğer" sanayi sektörlerinde elektrifikasyon yoluyla dönüşüm hedeflenmiştir.

Modelleme sonuçları, sanayi sektörünün net sıfır patikasında önemli bir dönüşüm yaşadığını göstermektedir. Net Sıfır Senaryosu, Referans Senaryo'ya kıyasla

sanayi sektöründe yaklaşık yüzde 11 daha fazla elektrik talebi yaratmaktadır. Bu artış özellikle kimya ve diğer sanayi sektörlerindeki elektrifikasyondan kaynaklanmaktadır. Buna karşın birçok sektörde verimlilik artışları ve talep düşüşleriyle toplam enerji tüketiminde dengelenme sağlanmaktadır.

2053 yılına gelindiğinde sanayi sektöründe Net Sıfır Senaryosu altında **69,7 MtCO₂e artık emisyon** kalmaktadır. Bu miktarın yaklaşık üçte ikisi proses emisyonlarından oluşmakta olup, bunların da yaklaşık yüzde 78'i çimento sektöründen kaynaklanmaktadır. Bu sonuç, sanayi sektöründe teknolojik sınırların özellikle çimento gibi sektörlerde emisyon azaltımını zorlaştırdığını ortaya koymaktadır. Net Sıfır Senaryosu, Referans Senaryo'ya kıyasla kümülatif emisyonları neredeyse yarı yarıya azaltmaktadır. Ancak bu dönüşüm 2035 yılına kadar yaklaşık **8,65 milyar ABD doları** ek yatırım gerekmektedir.

2025–2053 dönemi boyunca, Referans Senaryo'da sanayi emisyonları ortalama yıllık yüzde 2,5 artış gösterirken, Net Sıfır Senaryosu'nda emisyonlar yıllık yüzde 2 azalmaktadır. Net Sıfır Senaryosu'nda 2035 yılında 2025'e kıyasla yüzde 22, 2053 yılında ise yüzde 44 oranında CO₂ eşdeğeri azaltım sağlanmaktadır. Sanayi sektörüne ilişkin emisyonların 2025–2053 dönemi boyunca Referans ve Net Sıfır senaryoları altındaki seyri Şekil 4'te sunulmaktadır.

Sanayi Sektörü Sera Gazı Emisyonları (MtCO₂e)

Şekil 4 - Sanayi Sektörü - Sera Gazı Emisyonları

BİNALAR SEKTÖRÜ

Türkiye’de binalar, enerji kaynaklı karbondioksit (CO₂) emisyonlarının yaklaşık yüzde 14’ünden sorumludur. Bu emisyonların yaklaşık yüzde 76’sı konutlardan, yüzde 24’ü ise ticari ve kurumsal binalardan kaynaklanmaktadır. Uzun dönemli eğilimlere bakıldığında, binalardan kaynaklanan emisyonların 1990’dan günümüze kadar artış yönünde seyrettiği görülmektedir. 2022 yılı itibarıyla konutlardan gelen enerji kaynaklı emisyonlar 1990 yılına göre belirgin biçimde yükselmiş, her ne kadar 2022–2023 arasında yaklaşık yüzde 4,6 oranında azalma gözlenirse de bu düşüş uzun vadeli eğilimi tersine

çevirememiştir.

Bu çalışmada bina sektöründeki emisyonların modellenmesi için konut ve konut dışı binalar ayrı ele alınmış, **Enerji Kimlik Belgesi (EKB)** sınıfları ve kullanım alanlarına göre enerji tüketimleri ayrıştırılmıştır. Alan ısıtma, soğutma, su ısıtma, pişirme, elektrikli ev aletleri ve aydınlatma gibi alt kullanım kategorileri dikkate alınarak hem konut hem de hizmet sektörleri için detaylı enerji profilleri oluşturulmuştur.

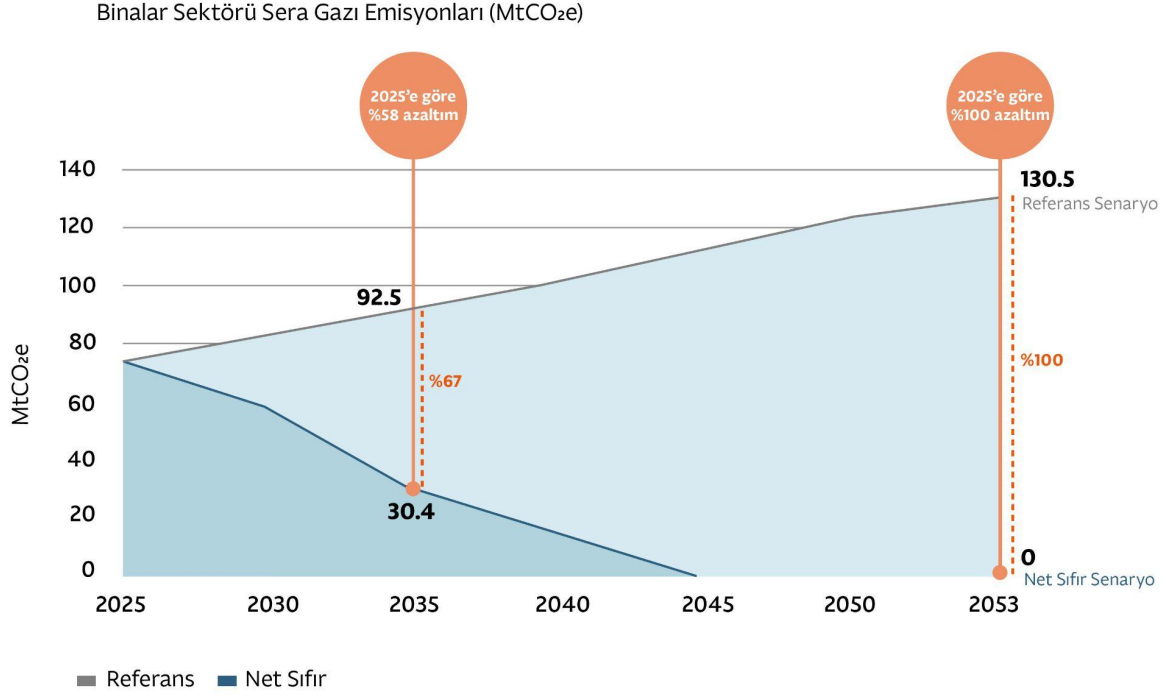
Referans senaryoda 2025 sonrası yapılan yeni binaların **en az C sınıfı EKB’ye** sahip

olacağı, yenilenebilir enerji kullanım oranının yüzde 10 seviyesinde kalacağı ve yıllık yaklaşık 90 bin yeni bina yapılacağı kabul edilmiştir. 2053'e gelindiğinde kullanım alanının konut başına yüzde 55, konut dışı binalarda ise yüzde 51 artacağı öngörülmüştür. Net Sıfır senaryosunda ise daha iddialı politikalar benimsenmiş; 2025 sonrası tüm yeni binaların **"Neredeyse Sıfır Enerjili Bina" (NSEB)** olarak inşa edilmesi, **Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) kullanım oranının** 2040'ta yüzde 20'ye, 2050'de yüzde 30'a çıkarılması, 2000 yılı öncesi binaların kademeli olarak yıkılıp yenilenmesi ve mevcut binalarda enerji verimliliği iyileştirmelerinin yapılması öngörülmüştür. Ayrıca kömürden doğalgaza, ardından doğalgazdan elektriğe geçişle 2045 yılına kadar ısınmada fosil yakıtların tamamen terk edilmesi hedeflenmiştir.

Bu önlemler emisyon azaltımına kayda

değer katkılar sunmaktadır. Özellikle fosil yakıtlardan elektriğe geçiş, bina sektöründeki toplam azaltımın yarısından fazlasını sağlamaktadır. Net sıfır senaryosu kapsamında binalar için ayrılan emisyon bütçesiyle uyum sağlanmış, 2053 yılına kadarki kümülatif emisyonların yaklaşık 796 MtCO₂ seviyesinde gerçekleşeceği hesaplanmıştır. Bu değer, 1,5 °C hedefiyle uyumlu 825 MtCO₂ bütçesinin altında kalmaktadır. Ancak bu dönüşüm yaklaşık **233 milyar ABD dolarlık** bir yatırım ihtiyacı doğurmakta, enerji verimliliği kaynaklı tasarruflarla bu maliyetin yaklaşık 200 milyar ABD dolarına gerilemesi öngörülmektedir.

Bina sektörüne ilişkin 2025–2053 dönemi boyunca Referans ve Net Sıfır senaryoları altındaki emisyon eğilimleri Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5 - Binalar Sektörü - Sera Gazı Emisyonları

ULAŞTIRMA SEKTÖRÜ

Türkiye’de ulaştırma sektörü, enerji kaynaklı sera gazı emisyonlarının yaklaşık yüzde 23’ünden sorumludur ve bu miktarın neredeyse tamamı, yüzde 94’lük pay ile karayolu taşımacılığından kaynaklanmaktadır. 1990–2023 döneminde ulaştırma sektörü emisyonları yüzde 269 artış göstermiş, fosil yakıtlara bağlı emisyonlar içindeki payı da yaklaşık yüzde 3 artmıştır. Bu çalışma kapsamında emisyonlar, **karayolu, havayolu, demiryolu ve denizyolu** olmak üzere dört ana ulaştırma modu üzerinden modellenmiştir.

Karayolu ulaşımı daha detaylı incelenmiş; taşıt sayısı, taşıt kilometre değerleri ve COPERT programından elde edilen enerji tüketim katsayıları kullanılarak **IPCC Tier 3** seviyesinde hesaplama yapılmıştır. Havayolu, demiryolu ve denizyolu taşımacılığında ise **IPCC Tier 2** metodolojisi esas alınmıştır.

Referans Senaryo’da, yolcu ve yük taşımacılığı faaliyetleri mevcut eğilimlere göre projekte edilmiştir. Demiryolu yatırımları artmasına rağmen karayolu taşımacılığının büyüme hızı daha yüksek

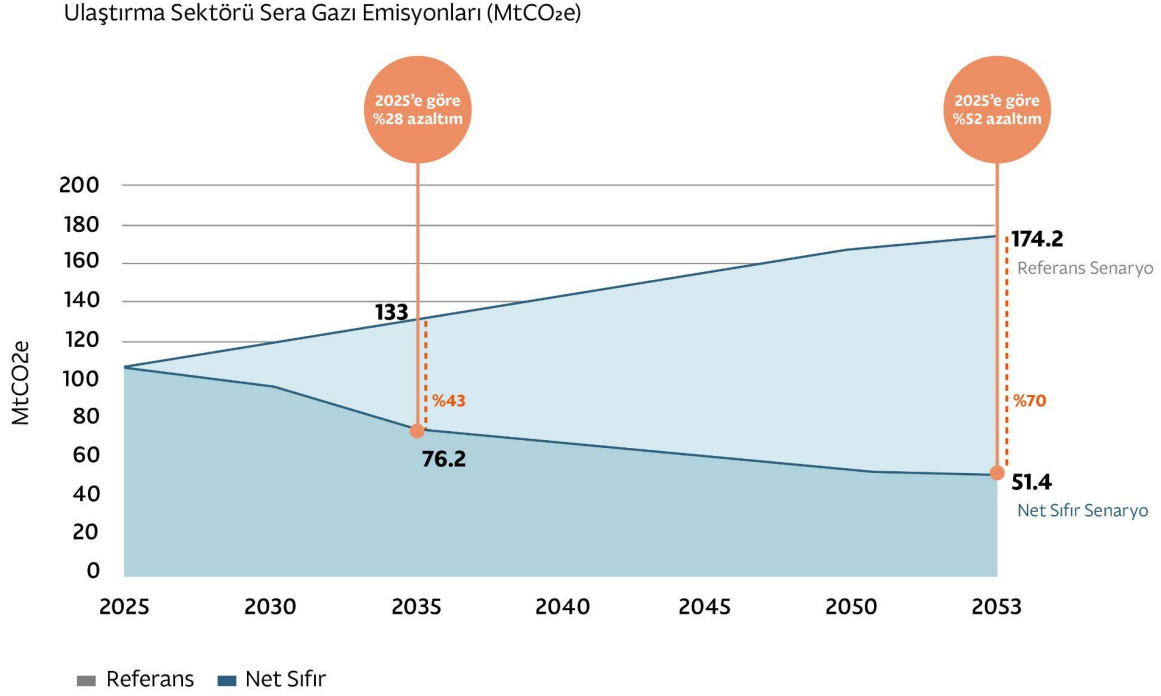
kalmakta ve sektör payı yaklaşık yüzde 90 seviyesinde korunmaktadır. Elektrikli araçların artan pazar payı referans senaryoya dahil edilmiştir: **otomobillerde 2035 yılında yüzde 33'e, 2053 yılında yüzde 67'ye ulaşması**; araç parkında ise sırasıyla yüzde 11 ve yüzde 28 paya sahip olması öngörülmüştür. Demiryolu taşımacılığında elektrifikasyon sürecinin **2045** yılında tamamlanarak tüm hatların elektrikli hale geleceği kabul edilmiştir.

Net Sıfır Senaryosu ise ulaştırma sektöründe daha derin bir dönüşüm öngörmektedir. Yolcu ve yük taşımacılığında karayolundan demiryoluna geçiş hedeflenmiş, Ulaştırma ve Lojistik Ana Planı'ndaki hedefler doğrultusunda demiryolu payının yolcu taşımacılığında yüzde 6'ya, yük taşımacılığında ise yüzde 22'ye çıkarılması öngörülmüştür. Karayolu araçlarının elektrifikasyonu hızlandırılmış, IEA'nın hızlandırılmış elektrifikasyon senaryosu temel alınarak **otomobil pazarının 2040 itibarıyla tamamen elektrikli hale geldiği** varsayılmıştır. Kamyonet, otobüs ve kamyonlarda da yüksek oranlı elektrifikasyon öngörülmüş, ayrıca 2035 sonrası hidrojen yakıtlı araçların sınırlı da olsa sisteme katılacağı kabul edilmiştir. Bunlara ek olarak binek araçtan otobüse geçiş, bisiklet ve yaya ulaşımının artışı, havacılıkta sürdürülebilir havacılık yakıtı (SAF) kullanımı, **yıllık yüzde 2 verimlilik artışı**, otobüslerde biyodizel kullanımı ve

denizyolu taşımacılığında elektrifikasyonun başlaması gibi önlemler senaryoya dahil edilmiştir.

Modelleme sonuçlarına göre, Referans Senaryo'da 2053 yılında ulaştırmanın elektrik talebi yaklaşık **47 TWh** iken, Net Sıfır senaryosunda hızlanan elektrifikasyon nedeniyle bu rakam yaklaşık **176 TWh'ye** yükselmektedir. Buna karşın fosil yakıt kullanımının azalması nedeniyle toplam enerji talebi, Referans Senaryo'daki **62 milyon TEP** seviyesinden Net Sıfır Senaryosu'nda **35 milyon TEP'e** gerilemektedir. Emisyonlar açısından bakıldığında 2053 yılında Referans Senaryo'ya göre **yüzde 70**, 2025 yılına göre **yüzde 52** oranında azaltım sağlanmakta; böylece emisyonlar **174 MtCO₂e'den 51 MtCO₂e'ye** düşmektedir.

Kümülatif CO₂ emisyonları Net Sıfır Senaryosu'nda 2,2 milyar ton olup, bu miktar yüzde 50 olasılıkla 1,7 °C hedefi için belirlenen 2,1 milyar ton sınırının biraz üzerinde kalmaktadır. Dönüşüm için 2035 yılına kadar yaklaşık **75,3 milyar ABD doları** yatırım gerektiği hesaplanırken, enerji verimliliği artışları sayesinde **111,9 milyar ABD dolarlık** tasarruf sağlanmaktadır. Ulaştırma sektörüne ilişkin emisyonların 2025–2053 dönemi boyunca Referans ve Net Sıfır senaryoları altındaki seyri Şekil 6'da sunulmaktadır.



Şekil 6 - Ulaştırma Sektörü - Sera Gazı Emisyonları

TARIM SEKTÖRÜ

Türkiye’de tarım sektörü, toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık yüzde 13’ünden sorumlu olup iklim hedefleri açısından kritik bir konuma sahiptir. Ekonomiye yüzde 5,3 oranında GSYİH katkısı sağlayan ve ulusal gıda güvenliğinde stratejik rol oynayan sektör, aynı zamanda tüm sektörler arasında metan (CH₄) ve nitroz oksit (N₂O) emisyonlarına en yüksek katkıyı yapmaktadır. Bu emisyonlar başlıca enterik fermentasyon, tarımsal topraklar, hayvansal gübre yönetimi, enerji kullanımı, üre uygulamaları, çeltik tarımı ve anız yakılmasından kaynaklanmaktadır. 2023 yılı verilerine göre sektörün toplam emisyonu enerji kullanımı hariç 71,9 MtCO₂e, enerji

dahil edildiğinde ise 82,8 MtCO₂e olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada, 2025 baz yılı esas alınarak 2053 yılına kadar sektörün kapsamlı sera gazı emisyon projeksiyonlarını oluşturmak için LEAP modeli kullanılmıştır. Model, tarımın iki temel bileşenini entegre biçimde ele almaktadır: yakıt yanması ve enerji dışı emisyonlar. Bu çerçevede hem Referans Senaryo hem de Net Sıfır Senaryosu altında değerlendirmeler yapılmıştır.

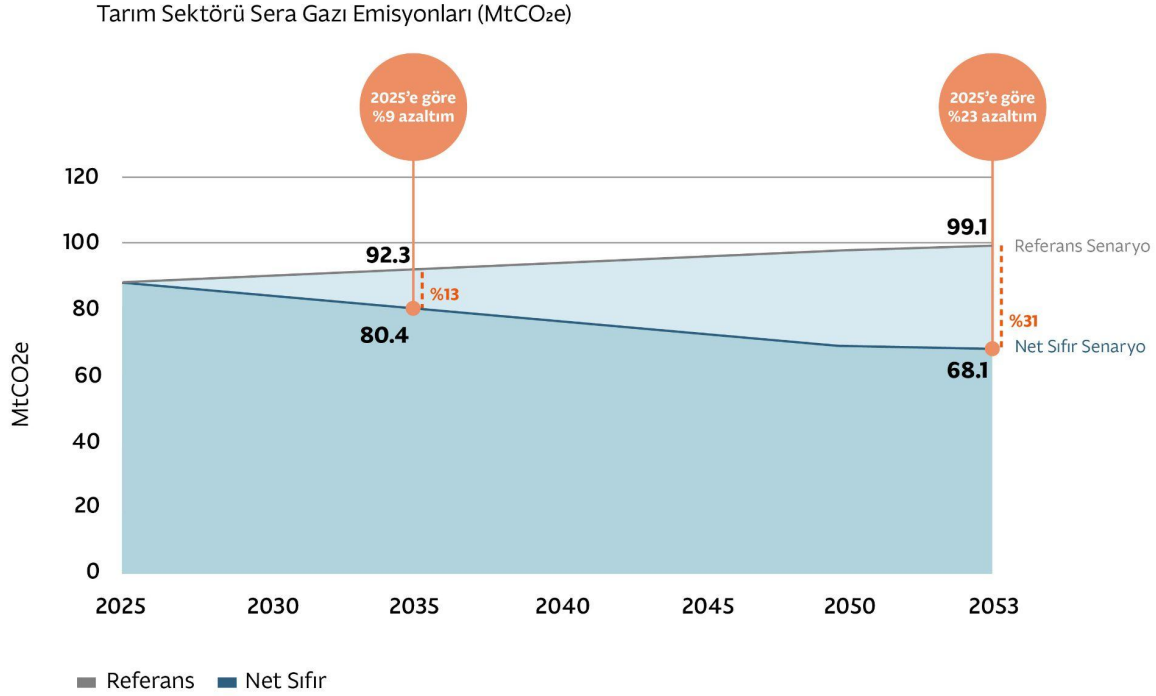
Net Sıfır Senaryosu kapsamında, emisyonları azaltmak için bir dizi strateji öngörülmüştür. Bunlar arasında **tarım**

makinelerinin elektrifikasyonu ve toprak işlemez tarım uygulamaları ile mazot kullanımının azaltılması, sığır yetiştiriciliğinde genetik ıslah ve yem katkılarıyla enterik metan emisyonlarının düşürülmesi, hayvansal gübrelerin biyogaz üretiminde kullanılması, tarım topraklarında baklagil münavebesi uygulanması ile sentetik azotlu gübre ve üre kullanımının azaltılması yer almaktadır.

Projeksiyonlar, mevcut eğilimlerin sürmesi halinde tarım kaynaklı emisyonların 2035 yılında **92 MtCO₂e** seviyesine yükseleceğini göstermektedir. Özellikle enterik fermentasyon ve gübre yönetiminden kaynaklanan emisyonlarda yüzde 16'lık artış beklentisi, sektörün karbonsuzlaşması için öncelikli müdahale alanlarını işaret etmektedir. Net Sıfır senaryosu uygulandığında ise emisyonlar, 2053 yılında BAU senaryosundaki **99,1 MtCO₂e**

düzeyinden **68,1 MtCO₂e'ye** gerilemektedir. Bu, 2025 baz yılına göre yaklaşık 20 MtCO₂e azaltım anlamına gelmektedir. Stratejilerin etkisine bakıldığında, biyogaz kullanımıyla gübre kaynaklı emisyonlarda yüzde 66,5, tarım makinelerinin elektrifikasyonu ile yüzde 67,6, sığır yetiştiriciliğinde genetik ıslah ve yem kalitesi iyileştirmeleriyle yüzde 14,3 oranında azaltım sağlanabilmektedir.

Projeksiyon dönemi boyunca yaklaşık 100 MtCO₂'lik kümülatif azaltım elde edilmekte, bu da tarım sektörünün sınırlı politika alanlarına rağmen küresel ısınmanın 2°C ile sınırlandırılması hedefine katkı sunabileceğini ortaya koymaktadır. Tarım sektörüne ilişkin emisyonların 2025–2053 dönemi boyunca Referans ve Net Sıfır senaryoları altındaki seyri Şekil 7'de sunulmaktadır.

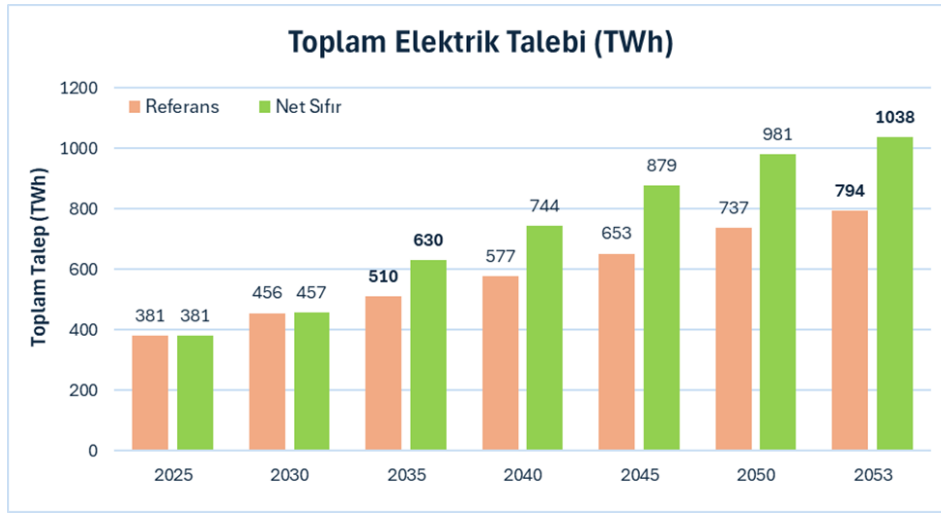


Şekil 7 - Tarım Sektörü - Sera Gazı Emisyonları

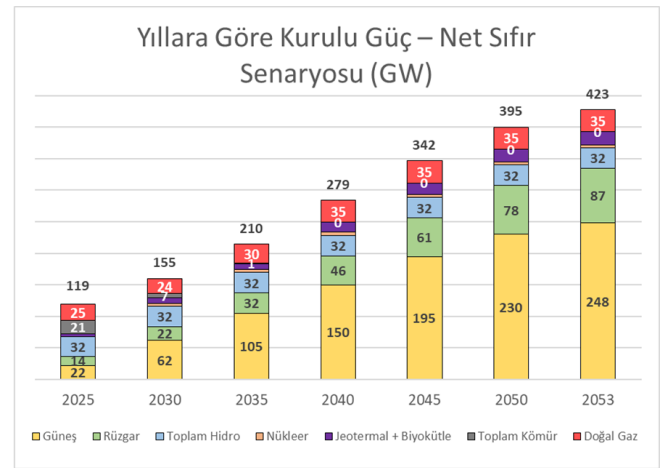
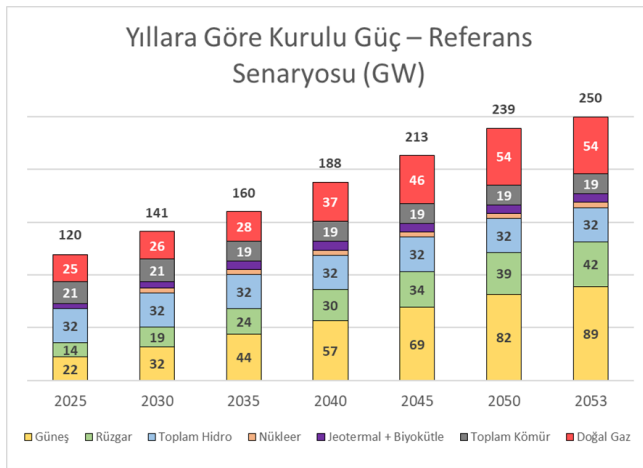
ELEKTRİK SEKTÖRÜ

Elektrik sektörü modellemesinde ilk adım olarak **sanayi, binalar, ulaştırma ve tarım sektörlerinden gelen elektrik talebi** hesaplanmış ve toplam talep projeksiyonu oluşturulmuştur. 2025–2053 dönemi için Referans Senaryo'da yıllık ortalama talep artışı **yüzde 2,8** olarak öngörülürken, Net Sıfır Senaryosu'nda elektrifikasyonun hızlanmasıyla bu oran **yüzde 3,8'e** çıkmaktadır. Toplam elektrik talebine ilişkin projeksiyonlar Şekil 8'de sunulmaktadır.

Elektrik talebini karşılamak için üretim sistemi genişleme modeli kurulmuş ve farklı senaryolar için kapasite yatırımları tanımlanmıştır. Referans Senaryo'da mevcut kompozisyon korunmuş, yalnızca talep artışına bağlı olarak doğalgaz kurulu gücünde artış yapılmıştır. Bu senaryoda güneş enerjisinde yıllık 2,2 GW, rüzgârda ise yıllık 1 GW ilave kapasite öngörülmüştür. Net Sıfır Senaryosu'nda ise ilk adım olarak hızlı bir kömürden çıkış patikası izlenmiş; toplam 21 GW olan kömür kurulu gücü 2025–2030 döneminde 7 GW'a düşürülmüş, 2035 yılı itibarıyla ise tamamen sistemden çıkarılmıştır. Bu dönüşüm sürecinde **güneş enerjisinde yıllık 7,5 GW, rüzgârda ise yıllık 2,4 GW kapasite artışı planlanmıştır**. İki senaryo altında kurulu güçlerin dağılımı ise Şekil 9'da sunulmaktadır.



Şekil 8 - Toplam elektrik talebine ilişkin projeksiyonlar



Şekil 9 - İki senaryo altında kurulu güçlerin dağılımı

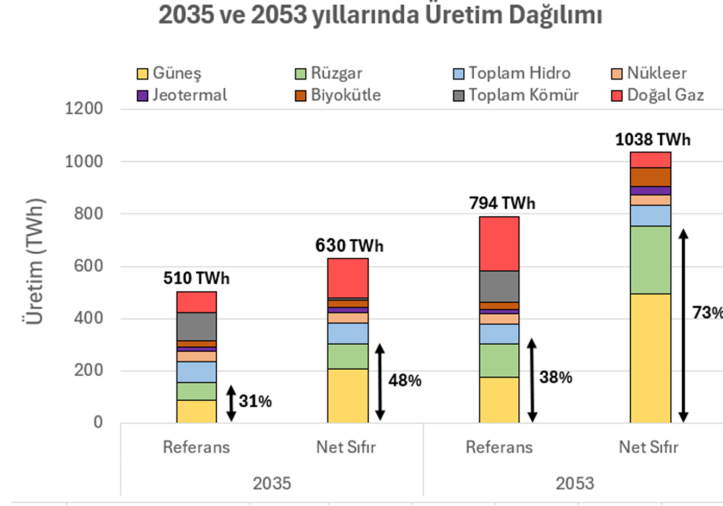
Hesaplanan üretim filosu, EP-SIM modeli kullanılarak, piyasa ve şebeke işletme koşullarına göre test edilmiştir. Bu modelde sanayi, binalar, ulaştırma ve tarım sektörlerinden gelen toplam elektrik talebi, saatlik yük profilleri, barajlı hidroelektrik santrallerin enerji kısıtları, yenilenebilir kaynakların geçmiş üretim verileri, konvansiyonel santrallerin artan fiyata göre sıralamaları (merit-order), rezerv gereksinimleri, jeneratör teknik kısıtları ve güncel şebeke modeli dikkate alınmıştır. 2035 ve 2053 yılları için yapılan piyasa ve

şebeke simülasyonları, **güneş ve rüzgâr enerjisinin 2053 yılında toplam üretimdeki payının referans senaryoda yüzde 38'e, Net Sıfır senaryosunda ise yüzde 73'e ulaşacağını göstermektedir.** Bu süreçte konvansiyonel santrallerin kapasite faktörleri beklenen aralıkta seyretmekte, şebeke güvenilirliği açısından toplam YAL/YAT talimatları yükün yüzde 3'ünün altında kalmakta ve yenilenebilir üretim kesintileri toplam potansiyelin yüzde 3'ünden daha düşük olmaktadır. EP-SIM modelinin 2035 ve 2053 yılları için üretim

dağılımı çıktıları Şekil 10'da sunulmaktadır.

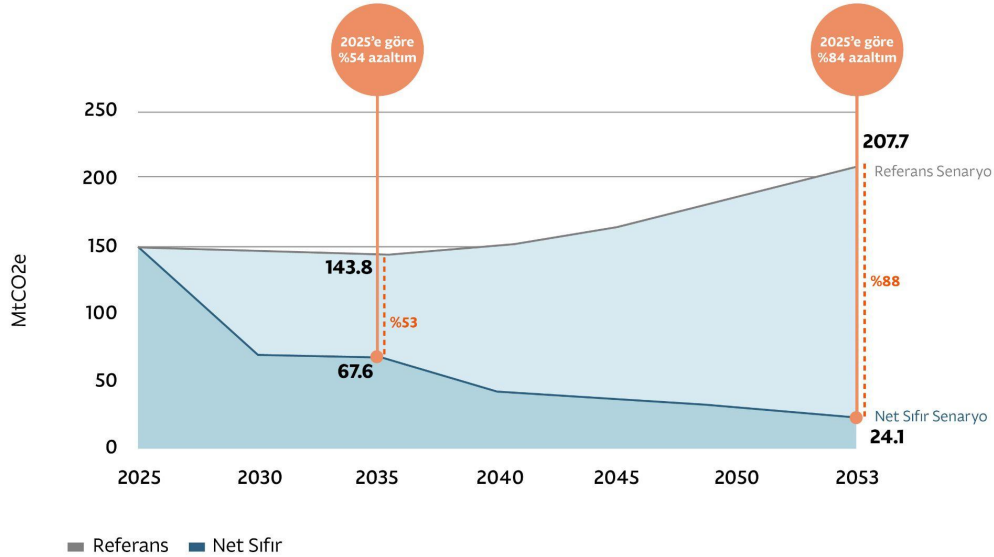
Sera gazı emisyonları açısından bakıldığında, 2025–2053 dönemi boyunca Referans Senaryo'da yıllık ortalama yüzde **1,2 artış**, Net Sıfır Senaryosu'nda ise yıllık ortalama **yüzde 6,5 azalma** gözlenmektedir. Net Sıfır Senaryosu'nda 2035 itibarıyla

2025'e göre **yüzde 54**, 2053 itibarıyla ise 2025'e göre **yüzde 84** oranında CO₂ eşdeğeri azaltım sağlanmaktadır. Elektrik sektörüne ilişkin emisyonların 2025–2053 dönemi boyunca Referans ve Net Sıfır senaryoları altındaki seyrini gösteren eğriler Şekil 11'de sunulmaktadır.



Şekil 10 - 2035 ve 2053 yılları için üretim dağılımı

Elektrik Sektörü Sera Gazı Emisyonları (MtCO₂e)



Şekil 11 - Elektrik Sektörü - Sera Gazı Emisyonları

Net sıfır dönüşüm maliyeti 2025–2035 dönemi için ayrıca hesaplanmıştır. Yatırım, bakım, yakıt, işletme ve şebeke yatırımlarını içeren bu hesaplama göre dönüşümün toplam maliyeti **80,1 milyar ABD dolarıdır**.

Bu maliyet kalemleri içerisinde santral yatırım maliyetleri, emisyon azaltım senaryosunda en büyük paya sahiptir.

ATIK SEKTÖRÜ

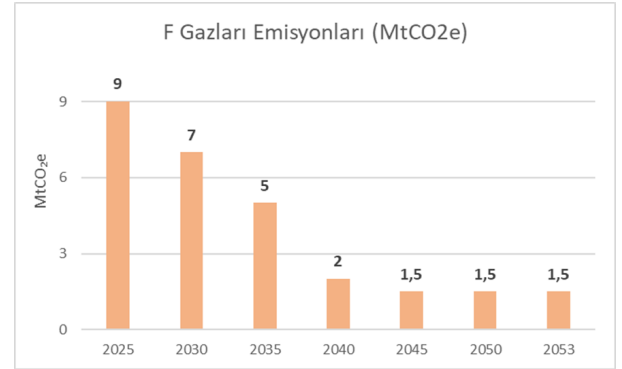
Atık sektörü veri odaklı doğrusal regresyon yaklaşımıyla modellenmiş ve emisyonların 2025'te **14 MtCO₂e**'den 2053'te **8.2 MtCO₂e**'ye lineer olarak azalacağı varsayılmıştır. Atık sektörüne ilişkin emisyon projeksiyonları Tablo 1'de sunulmaktadır.

Atık sektörü - Sera Gazı Emisyonları (MtCO ₂ e)							
Sera Gazı	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2053
CO ₂	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CH ₄	11.9	11.6	10.6	9.6	8.6	7.5	6.9
NO _x	2.1	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3
Total	14.0	13.7	12.5	11.3	10.1	8.9	8.2

Tablo 1 - Atık Sektörü - Sera Gazı Emisyonları

F GAZLARI

Sektörel değil toplam ele alınan F-gazları emisyonu Sera Gazı Envanteri'ne göre 2023'te **9,9 MtCO₂e**'dir. Ozon Tabakasını İncelten Maddelere İlişkin Montreal Protokolü altında yer alan **Kigali Değişikliği**'ne göre Türkiye'nin 2045'e kadar **F-gazları emisyonunu yaklaşık %80 azaltması gerekmektedir**. Modelde Kigali Değişikliği'nde Türkiye için verilen azaltım trendi dikkate alınarak lineer azaltım uygulanmıştır. (Şekil 12)

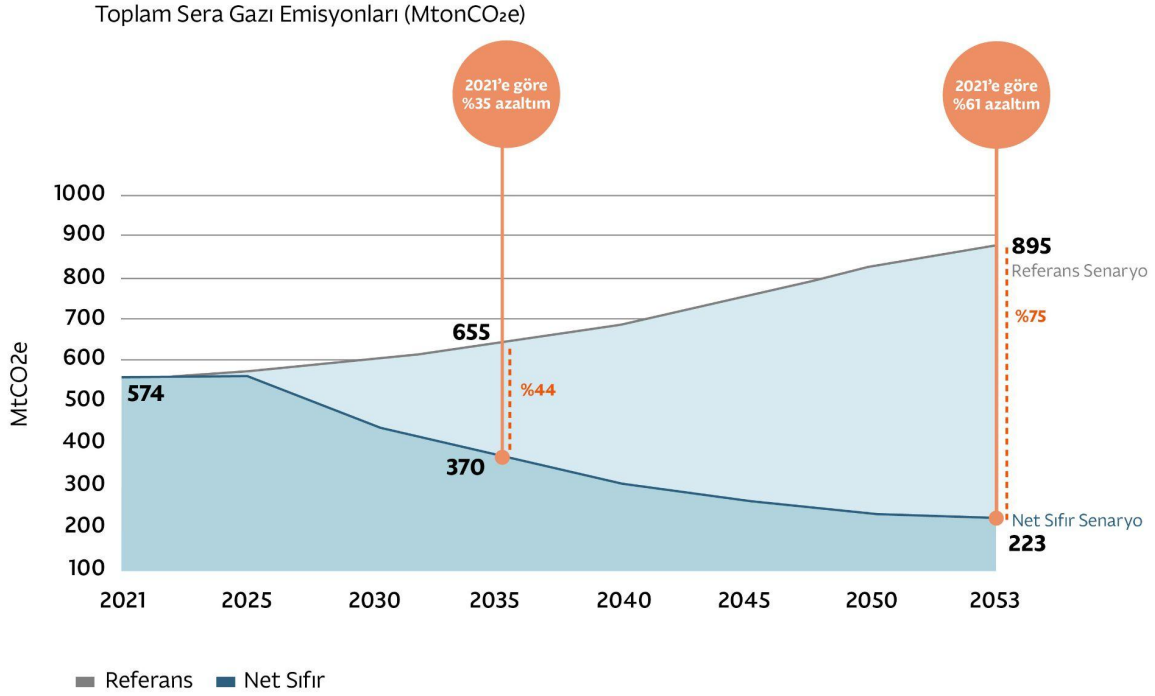


Şekil 12 - F Gazları Emisyonları

Toplam Emisyonların Azaltım Patikası ve Maliyeti

Çalışmada tüm sektörlerden elde edilen emisyonlar birleştirilerek, Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonları 2021–2053 dönemi için projekte edilmiştir. Sonuçlar, Referans Senaryo'nun emisyonları artış eğiliminde tuttuğunu, Net Sıfır Senaryosu'nun ise keskin bir düşüş sağladığını ortaya koymaktadır. Şekil 13'te görüldüğü üzere, Net Sıfır senaryosu kapsamında 2053 yılına

kadar toplam sera gazı emisyonlarında 2021'e göre yaklaşık **yüzde 60** oranında azalma öngörülmektedir. Bu da **yıllık ortalama yaklaşık yüzde 3'lük** bir azaltıma karşılık gelmektedir. **Toplam emisyonlar 2035 yılında ise 2021'e göre yüzde 35 azalmaktadır.**

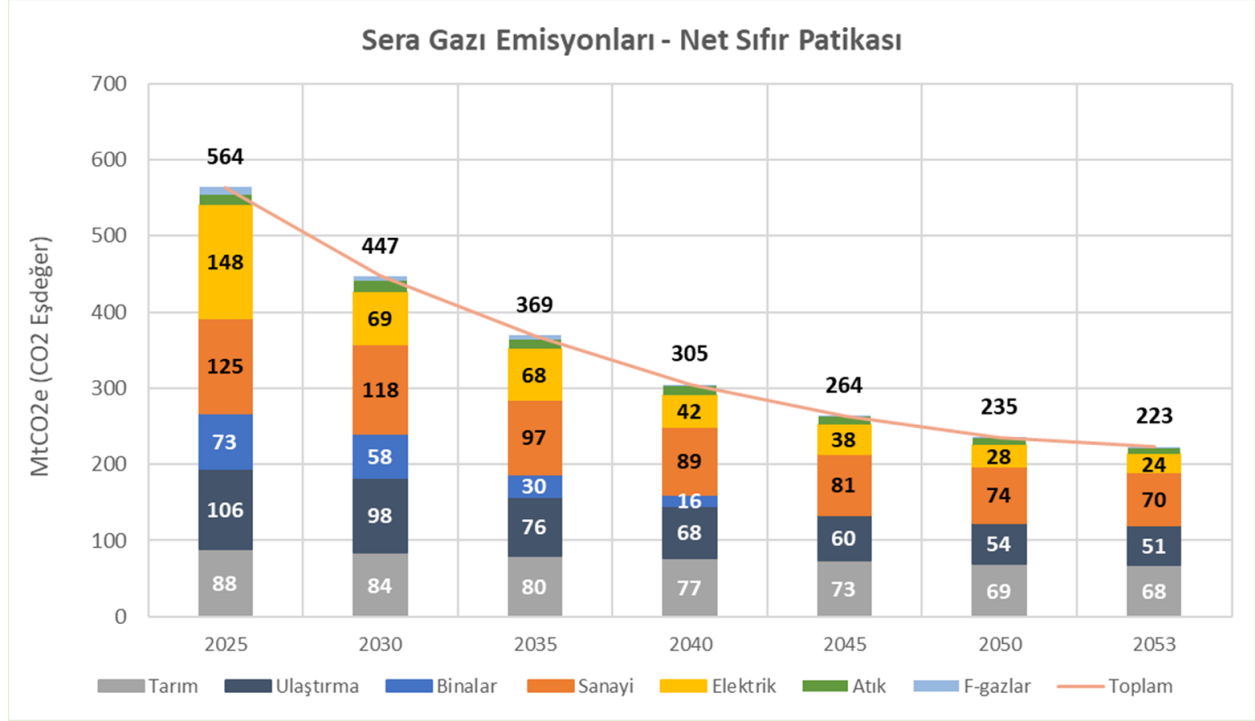


Şekil 13 - Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonları

Şekil 14' te sunulan sektörel dağılım, sanayi sektörünün toplam emisyonlardaki payının 2025–2035 döneminde arttığını, buna karşılık yenilenebilir enerji kaynaklarının hızlı entegrasyonu sayesinde elektrik sektörünün payının belirgin şekilde azaldığını

göstermektedir. Ayrıca, 2040 yılından itibaren bina sektöründen kaynaklanan emisyonların sıfırlanacağı öngörülmektedir. **2053 yılına gelindiğinde kalan emisyonların yaklaşık yüzde 65'ini CO₂ oluştururken, geri kalan kısmı metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O)**

ve F-gazlarından kaynaklanmaktadır.



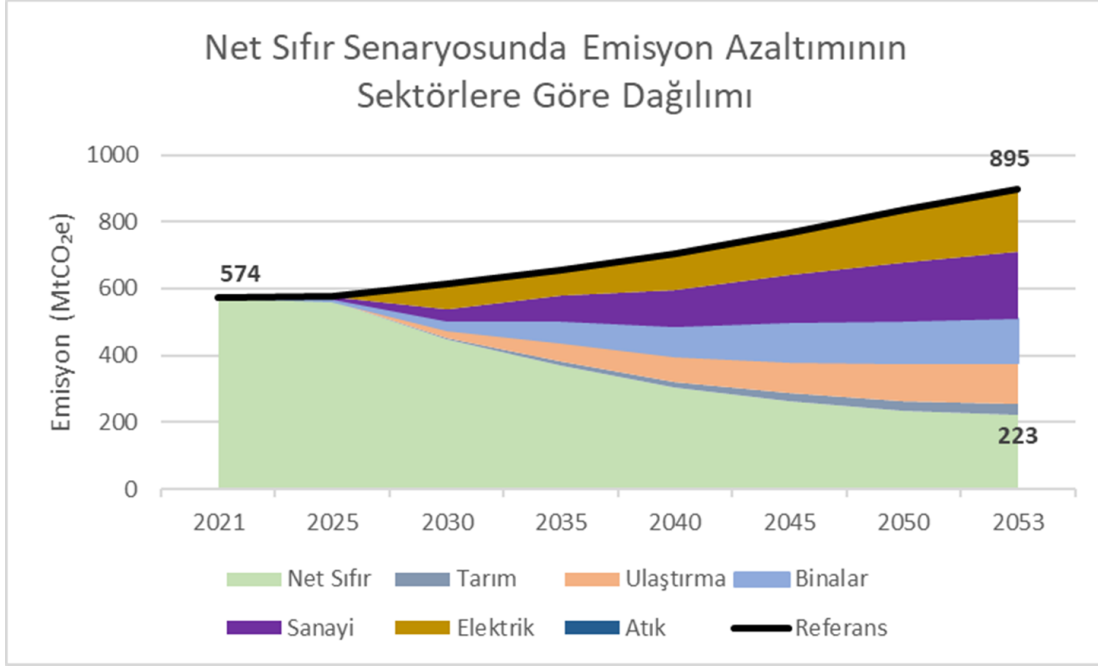
Şekil 14 - Toplam Emisyonların Sektörel Dağılımı – Net Sıfır Senaryosu

Net Sıfır Senaryosu'nda Referans Senaryo'ya göre gerçekleşen azaltımın sektörlere göre dağılımı Şekil 15'te, bu azaltımda başlıca önlemlerin (elektrifikasyon, teknolojik dönüşüm, verimlilik artışı ve diğer) payı ise Şekil 16'da verilmiştir.

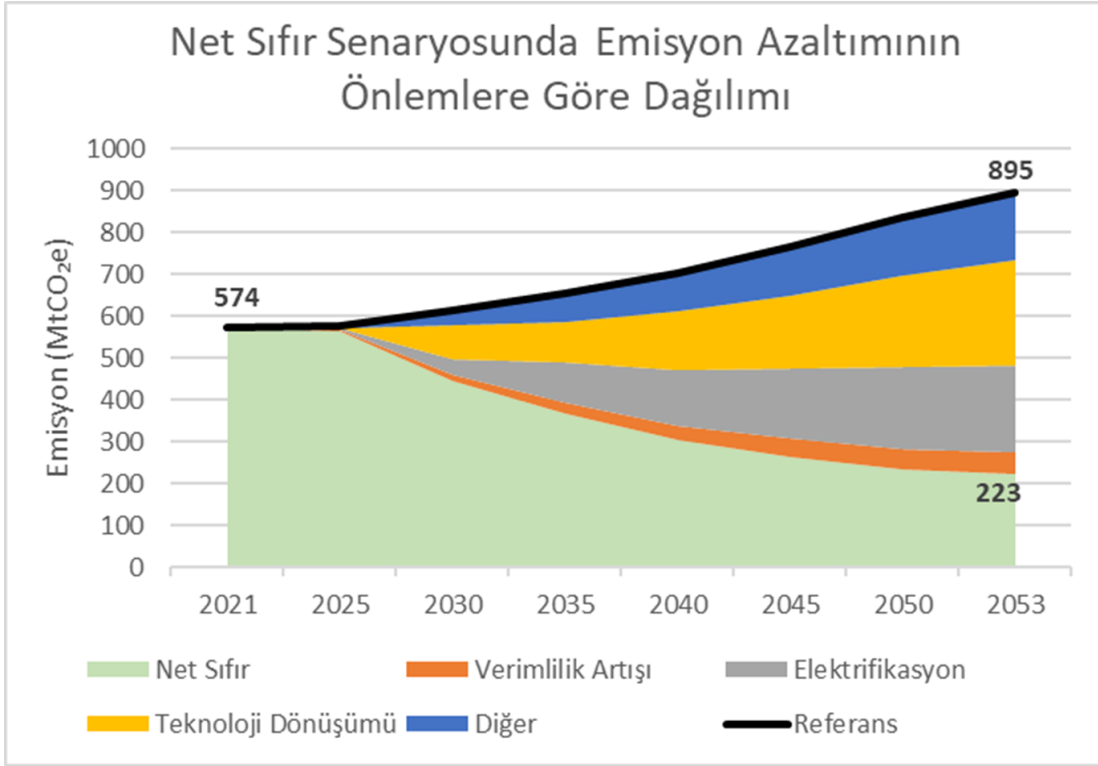
Şekil 17'de gösterildiği gibi, Referans Senaryo'ya kıyasla **Net Sıfır Senaryosu 2035 yılında 2021'e göre yüzde 40 oranında, 2053 yılında ise 2021' göre yüzde 82 oranında CO₂ azaltımı sağlamaktadır.** Bu önemli düşüş, Türkiye'nin 2053 Net Sıfır

hedefine ulaşabilmesi için gerekli dönüşümün ölçeğini gözler önüne sermektedir. Çalışmada bu dönüşümün maliyetleri de ortaya konmuştur.

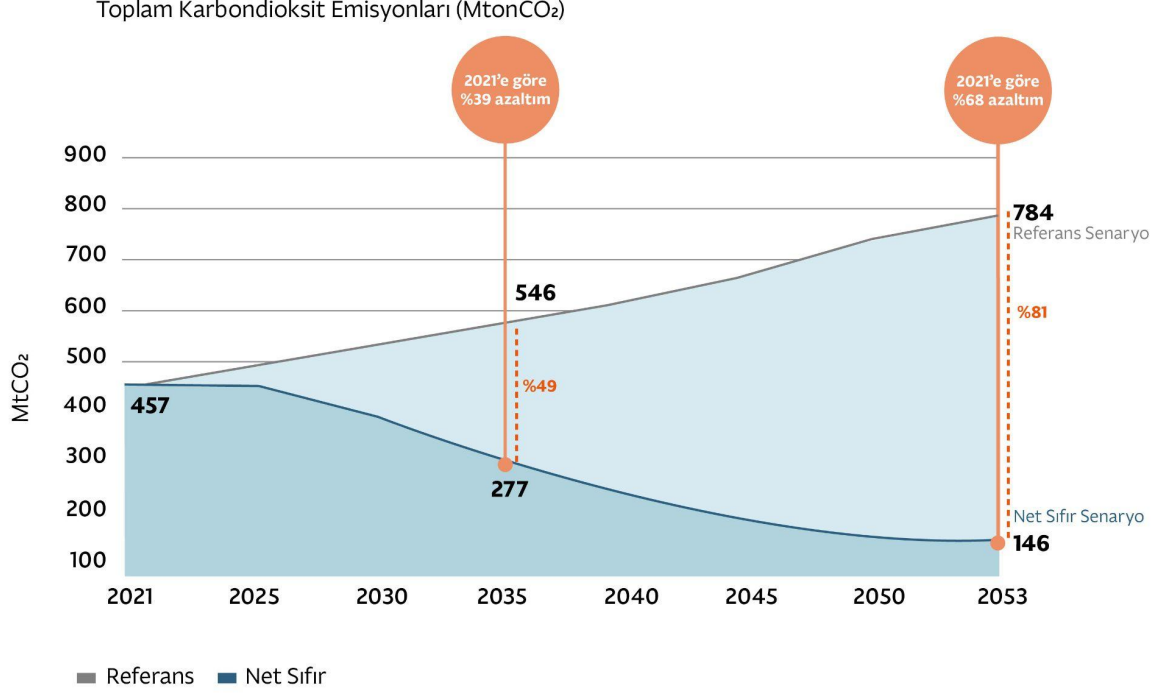
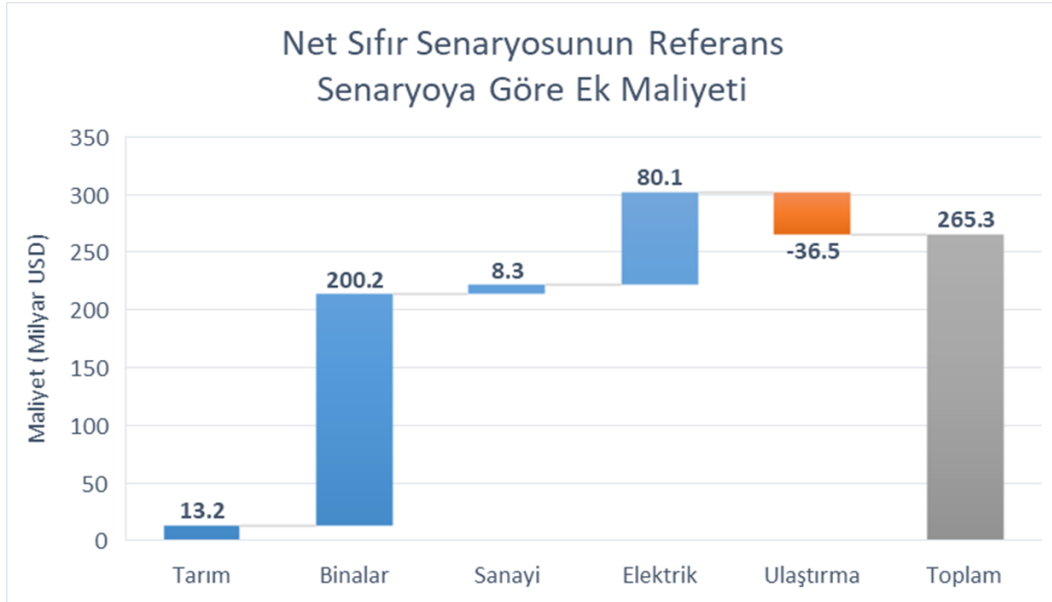
Şekil 18'de görüldüğü gibi, Net Sıfır senaryosunun uygulanması referans senaryoya göre **toplam 265 milyar ABD doları (yılda 26,5 milyar ABD doları) ek maliyet doğurmaktadır.** Bu maliyetin en büyük kısmı bina sektöründeki dönüşüm yatırımlarıdır.



Şekil 15 - Net Sıfır Senaryosu'nda emisyon azaltımının sektörlere göre dağılımı



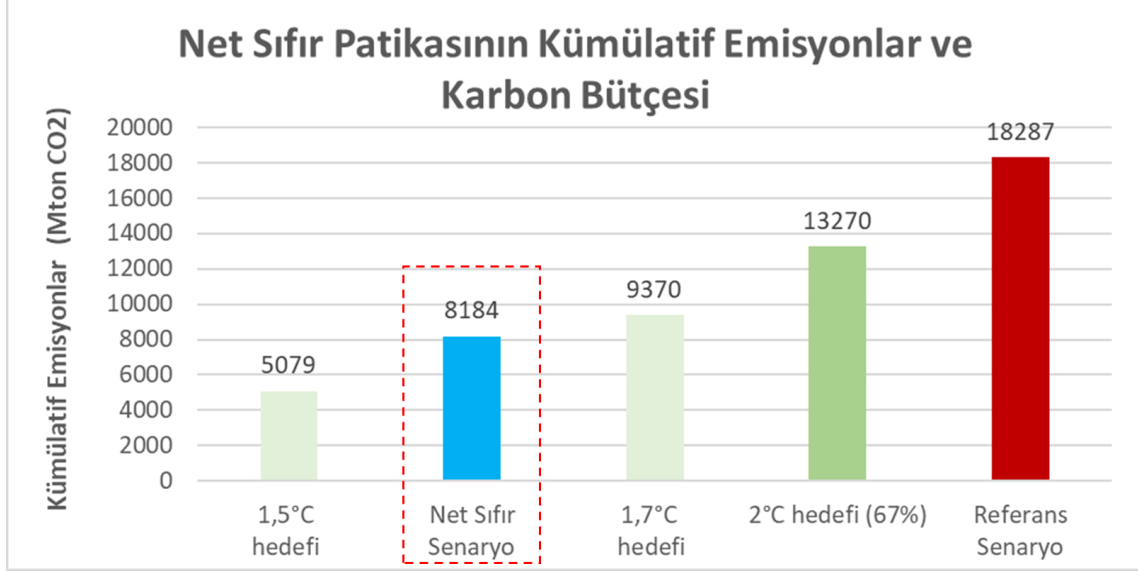
Şekil 16 - Net Sıfır Senaryosu'nda emisyon azaltımının önlemlere göre dağılımı

Şekil 17 - Toplam CO₂ emisyonları

Şekil 18 - 2025-2035 dönemi için net sıfıra dönüşüm maliyeti

Son olarak, emisyonların kalan küresel karbon bütçesinden Türkiye için ayrılan payla uyumu değerlendirildiğinde, kümülatif emisyonların 1,5°C hedefi için belirlenen sınırın üzerinde, ancak 1,7°C hedefi için belirlenen sınırın altında kaldığı

görülmektedir (Şekil 19). Bu durum, Türkiye'nin Net Sıfır patikasının küresel iklim hedefleriyle kısmen uyumlu olduğunu, ancak daha iddialı azaltım adımlarına ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 19 - Türkiye'nin 2053'e kadar kümülatif sera gazı emisyonları ve karbon bütçesi

Sonuç

Yapılan modelleme çalışmasına göre Türkiye'nin **2035'e** yönelik yeni **Ulusal Katkı Beyanı'na (NDC)** ve **2053'te Net Sıfır** hedefine yönelik **Uzun Dönemli Stratejisi'ne (LTS)** yol gösterebilecek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1- Türkiye bütün ekonomisini kapsayan planlı bir stratejiyle, bugünkü ekonomik yapının, büyüme anlayışının ve yaşam biçiminin sürdüğü durumda ve günümüzde teknolojik ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğu kanıtlanmış önlemlerle **sera gazı emisyonlarını 2025-2035 arasında mutlak olarak azaltabilir** ve 2053'e kadar emisyonlarını daha da azaltarak net sıfır hedefine yaklaşabilir. 2053'te net sıfır hedefine tam olarak erişmek, gelecek on yıllarda gelişecek ve ekonomik olarak daha uygulanabilir hale gelecek yeni teknolojilere ve mevcut yaşam biçiminden

daha düşük enerji yoğunluklu, daha ekolojik yaşam biçimi ve davranışların benimsenmesine bağlıdır.

2- TÜİK tarafından hazırlanan ve İklim Değişikliği Başkanlığı tarafından UNFCCC'ye sunulan son sera gazı envanterine göre **Türkiye'nin emisyonları 2021 yılında 573,8 MtCO₂e ile tepe noktasına çıkmış** ve emisyonları açıklanan son yıl olan 2023'e kadar yüzde 3,8 azalarak **552,2 MtCO₂e'ye düşmüştür**. **Bu düşüş geçici olabileceği gibi**, ekonominin yapısıyla ilgili çeşitli nedenlerle birlikte yenilenebilir enerji gibi ekonominin karbon yoğunluğunu azaltan gelişmelere de bağlıysa, **emisyonlar 2021'de kalıcı olarak tepe noktasına çıkmış olabilir**. Bu çalışmada yer verilen Referans Senaryo net sıfır hedefine yönelik yeni önlemler alınmazsa, ekonominin mevcut gidişatına göre bu düşüşün geçici olabileceğini ve emisyonların 2035'e kadar 2021'deki düzeyine göre **yüzde 12'den fazla artışla 655 MtCO₂e'ye** çıkabileceğini göstermektedir.

3- Bu çalışmada ortaya konan Net Sıfır Senaryosu'na göre Türkiye'nin bu yıl sunacağı yeni NDC'nin 2053'te Net Sıfır hedefiyle uyumlu olabilmesi için;

- a. **2021'in emisyonlarda tepe yıl** olarak korunması ve emisyonların 2025'ten itibaren hızlanarak azaltılması gerekmektedir.
- b. Türkiye'nin sera gazı emisyonları gerekli politikalar izlenerek **2035'te 2021'e göre yüzde 35** azaltılarak **370 MtCO₂e'ye** düşürülebilir. Bu aynı zamanda emisyonların **2010 öncesi** düzeylere düşürülmesi anlamına gelmektedir.
- c. Net sıfır senaryosuna göre karbondioksit emisyonlarındaki azaltım daha hızlı olmaktadır. Türkiye'nin CO₂ emisyonları **2035'te 2021'e göre yüzde 40** azaltılarak **277 MtCO₂'ye** düşürülebilir. Bu da CO₂ emisyonlarının **2005 öncesi** düzeylerine gerileyebileceği anlamına gelmektedir.
- d. 2035'e kadar yapılabilecek bu azaltım büyük ölçüde elektrik sektöründe kömürden kademeli çıkışa ve yeni yenilenebilir enerji santrallerinin hızlı bir şekilde kurulmasına bağlıdır. **Elektrik sektöründe kömür kullanımından kademeli çıkış 2036'ya kadar tamamlanabilir**. Bu kademeli çıkış yeni yenilenebilir enerji (rüzgâr ve güneş) kurulum hızının **yılda yaklaşık 10 GW'a** ulaşmasıyla ve **2035'e kadar 9 GW** batarya yatırımı yapılmasıyla mümkündür.
- e. 2035'e kadar yapılacak azaltımda ayrıca binalarda fosil yakıt kullanımının azaltılması ve **elektrifikasyon**, ulaşımda **elektrikli araçlara geçiş** ve sanayide **verimlilik artışı** başta olmak üzere alınacak önlemler kayda değer bir etkiye sahiptir.

4- Gelecek on yılda sera gazı emisyonlarını üçte birden daha yüksek bir oranda azaltmayı öngören bu senaryonun maliyeti elektrik sektörü için **yılda 8 milyar ABD dolarıyla** ve sanayi sektörlerinde **yılda 830 milyon ABD dolarıyla** sınırlıdır. Ulaşımda ise fosil yakıt kullanımının ve dolayısıyla petrol ithalatının azaltılmasına bağlı **yılda 3,6 milyar ABD doları** fayda sağlanmaktadır. Net sıfır senaryosunun yüksek maliyeti elektrifikasyon ve binaların enerji standartlarını yükseltmek için yapılması gereken yatırımlar nedeniyle **yılda 20 milyar ABD dolarıyla** binalar sektöründedir. Bu nedenle **toplam maliyet 265 milyar ABD dolarına**

yükselmektedir.

5- Net Sıfır Senaryosu'nda Türkiye'nin 2053'te Net Sıfır hedefiyle uyumlu olarak sera gazı emisyonlarını 2053 yılında sıfıra indirmesi hedeflense de bu çalışmada kullanılan modellemeyle mevcut teknolojilerle ve ekonominin mevcut yapısında bu düşüş sağlanamamaktadır. Net sıfır senaryosuna göre Türkiye'nin sera gazı emisyonları **2053'te 2021'e göre yaklaşık yüzde 62 azalarak 223 MtCO₂e'ye** düşmektedir. Bu azaltım referans senaryoda **895 MtCO₂'ye** çıkması öngörülen emisyonlardan **yüzde 75** azdır. Sadece CO₂ emisyonlarına bakıldığında 2053'te **143 MtCO₂** artık emisyon kaldığı görülmektedir. Bu da 2021'e göre yaklaşık **yüzde 69** azaltım anlamına gelmektedir. Bu azaltım referans senaryoda 2053'te **784 MtCO₂'ye** çıkması beklenen CO₂ emisyonlarından **yüzde 82** azdır. Net sıfır senaryosunda 2053'teki azaltım oranları büyük ölçüde tarım sektöründe metan ve nitröz oksit gazlarını azaltmanın daha zor olmasına bağlı olarak sera gazı emisyonları için daha düşük kalmaktadır.

6- 2053'te kalan **223 MtCO₂e** artık emisyonun üçte biri metan ve nitröz oksit gibi diğer sera gazlarından kaynaklanmaktadır. Artık **146 MtCO₂** karbondioksit emisyonunun büyük kısmı da sanayi sektöründeki proses emisyonlarından ve ulaşırmada fosil yakıt kullanan araçlardan kaynaklanmaktadır. Elektrik sektöründe karbonsuzlaşmanın daha kolay olması nedeniyle bu sektörde büyük ölçüde şebeke esnekliği ihtiyacı nedeniyle kullanılmaya devam edecek doğal gazdan kaynaklanan **24 MtCO₂e** artık emisyon kalmaktadır. 2053'te gerçek anlamda net sıfıra ulaşılabilmesi için başta çimento sektörü olmak üzere proses emisyonlarını önleyecek yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve ulaşırmada elektrifikasyonunu hızlanmasını sağlayacak yeni önlemler veya teknolojiler gerekmektedir. Ayrıca bu modellemede büyük ölçüde göz ardı edilen tüketimi azaltmayı ve daha ekolojik bir yaşam biçimine dönmeyi sağlayacak davranış değişiklikleri emisyonların gerçek anlamda sıfıra inmesine yardımcı olabilir.

7- Bu çalışmada kullanılan karbon bütçesi yaklaşımı ile ülkeler arasındaki karbon eşitsizliği dikkate alınmıştır. Türkiye, iklim değişikliğinin ortaya çıkmasında ABD ve Avrupa ülkeleri gibi erken sanayileşmiş ülkelerden ve Çin gibi son dönemde çok hızlı sanayileşen ülkelerden daha az tarihsel sorumluluğa sahiptir. Yine de dünyanın en fazla sera gazı emisyonu yapan 15. ülkesi ve G20 üyesi, üst orta gelir grubu, sanayileşmiş bir ülke olan Türkiye, alt orta gelir grubu ve az gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında çok daha yüksek azaltım sorumluluğuna sahiptir. Bu çalışmada küresel karbon bütçesinden Türkiye'ye ayrılan pay Türkiye'nin kalkınma hakkının göz önünde alınması nedeniyle güncel emisyonlarındaki paydan yüksektir. Ancak bu çalışmanın Net Sıfır Senaryosu'nda **Türkiye'nin 2053'e kadar kümülatif emisyonu, sıcaklık artışını yüzde 50 olasılıkla 1,5°C'nin altında tutmak için Türkiye'ye ayrılan kalan karbon bütçesinden yüksektir.** Bu da Paris Anlaşması'nın 1,5°C hedefine uygun olması için izlenmesi gereken politikaların Net Sıfır Senaryosu'nda esas alınandan daha sıkı olması gerektiğini göstermektedir.