

**TÜRKİYE'NİN
KARBONSUZLAŞMA
YOL HARİTASI
2050'DE NET SIFIR**

YÖNETİCİ ÖZETİ

ÜMİT ŞAHİN, OSMAN BÜLENT TÖR,
BORA KAT, SAEED TEİMOURZADEH,
KEMAL DEMİRKOL, ARİF KÜNAR,
EBRU VOYVODA,
ERİNÇ YELDAN

İPM

İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ
SABANCI ÜNİVERSİTESİ
STİFTUNG MERCATOR GİRİŞİMİ

**TÜRKİYE'NİN KARBONSUZLAŞMA
YOL HARİTASI:
2050'DE NET SIFIR
YÖNETİCİ ÖZETİ**

**EDİTÖR
ÜMİT ŞAHİN**

İstanbul Politikalar Merkezi Hakkında

İstanbul Politikalar Merkezi (İPM) demokratikleşmeden iklim değişikliğine, transatlantik ilişkilerden çatışma analizi ve çözümüne kadar, önemli siyasal ve sosyal konularda uzmanlığa sahip, çalışmalarını küresel düzeyde sürdüren bir politika araştırma kuruluşudur. İPM araştırma çalışmalarını üç ana başlık altında yürütmektedir: İstanbul Politikalar Merkezi-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi, Demokratikleşme ve Kurumsal Reform, Çatışma Çözümü ve Arabuluculuk. İPM, 10 yılı aşkın süredir, karar alıcılara, kanaat önderlerine ve paydaşlara uzmanlık alanına giren konularda tarafsız analiz ve yenilikçi politika önerilerinde bulunmaktadır.

www.ipc.sabanciuniv.edu

İPM-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi Hakkında

İstanbul Politikalar Merkezi-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi, Türkiye-Almanya ve Türkiye-Avrupa arasındaki akademik, politik ve sosyal bağları güçlendirmeyi hedeflemektedir. Ortaklığın kuruluş amacı, küreselleşen dünyada bilgi sahibi olma ve 21. yüzyılın koşullarıyla yüzleşebilmek için fikir ve insan alışverişinin önkoşul olduğu inancından kaynaklanmaktadır.

Editör:

Ümit Şahin, Dr., İPM

Araştırmacı ve Yazarlar:

Ümit Şahin, Dr., İPM

Osman Bülent Tör, Doç. Dr., EPRA

Bora Kat, Dr., ODTÜ

Saeed Teimourzadeh, Dr., EPRA

Kemal Demirkol, GTE Carbon

Arif Künar, VENESCO

Ebru Voyvoda, Prof. Dr., ODTÜ

Eriş Yeldan, Prof. Dr., Kadir Has Üniversitesi

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	4
2. YÖNTEM	6
3. BAŞLICA SONUÇLAR	8
3.1. Karbon Bütçesi	8
3.2. Baz Senaryo	8
3.3. Net Sıfır Senaryosu	10
4. SEKTÖRLERE GÖRE BAŞLICA SONUÇLAR	13
4.1. Elektrik Sektörü	13
4.2. Ulaşım Sektörü	20
4.3. Binalar	23
4.4. Sanayi ve Diğer Üretici Sektörler	24
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	28

I. GİRİŞ

İklim değişikliğiyle mücadelenin önemli bir adımı olarak 2015 yılında kabul edilen **Paris Anlaşması**, küresel ortalama sıcaklık artışını 2 derecenin çok altında tutmayı ve 1,5 derecede tutmak için çabalamayı hedefleyen uluslararası bir iklim anlaşmasıdır. Paris Anlaşması'nın kabul edildiği 2015 yılından itibaren taraf ülkeler küresel ısınmaya yol açan sera gazlarını nasıl sınırlayacaklarına dair hedeflerini ve yol haritalarını içeren **Ulusal Katkı Beyanları'nı (NDC)** BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) Sekretaryasına sunmaktadırlar. Bu yıl, Paris Anlaşması'nın yürürlüğe girmesinin beşinci yılında 118 ülke NDC'lerini güncelleyerek Sekretarya'ya sunmuş veya sunacaklarını açıklamışlardır. Paris Anlaşması'nın 4. maddesi küresel emisyonların en kısa zamanda tepe noktasına çıkarılarak azaltılmasını ve yüzyılın ikinci yarısında insan etkinlikleriyle salınan emisyonlarla yutaklar tarafından uzaklaştırılan emisyonlar arasında bir denge kurulmasını öngörür. Net Sıfır Emisyon kavramı bu denge noktasını ifade etmek için kullanılmaktadır.

Paris Anlaşması'nın kabul edilmesinden sonra tarafların Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneline (IPCC) verdikleri görev sonucunda 2018 yılında IPCC'nin 1,5 Derece Özel Raporu yayımlanmıştır. Rapora göre sıcaklık artışını 1,5 derecede sınırlamak hayati önem taşır ve bu hedefi gerçekleştirebilmek için küresel emisyonları 2030'da 2010 seviyesinin %45 altına indirmek ve 2050'de sıfırlamak gerekir. Bu yol haritası 2021'de yayımlanan IPCC'nin 6. Değerlendirme Raporu'nda (AR6) da doğrulanarak 1,5 derece hedefi için kalan küresel karbon bütçesi güncellenmiştir. AR6'da bugünkü küresel emisyon düzeyi sürdürüldüğü takdirde karbon bütçesinin 2030'ların başında tüketileceği ve 2030'larda küresel ortalama sıcaklıklarda 1,5 derece sınırının

geçileceği ortaya konmuştur. IPCC'nin kılavuzluğunda taraf ülkeler Paris Anlaşması'nın hedefinin küresel ortalama sıcaklık artışını 2 derecede değil 1,5 derecede sınırlama ve emisyonları 2050'de sıfırlama hedefine bağlılıklarını ve **2050'de Net Sıfır Emisyon** hedefini kabul ettiklerini açıklamaya başlamışlardır. Bugün aralarında ABD, Çin, AB, çok sayıda Avrupa ülkesi, Japonya ve Güney Kore'nin de olduğu küresel emisyonların önemli bir bölümünden sorumlu çok sayıda ülke Net Sıfır Emisyon hedefini açıklamıştır.

Türkiye, 21 Eylül 2021'de Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'nda Cumhurbaşkanı Erdoğan'ın yaptığı açıklamayla Paris Anlaşması'na taraf olacağını ve 2053'te Net Sıfır Emisyon hedefini kabul edeceğini ilan etmiş, Paris Anlaşması'nın Onaylanmasının Uygun Bulduğuna Dair Kanun 6 Ekim 2021'de TBMM'de oybirliğiyle kabul edilmiştir. Öte yandan, Türkiye'nin 2015'te Paris Anlaşması yapılmadan hemen önce niyet beyanı olarak açıkladığı ve anlaşmaya taraf olmasının ardından resmileşen NDC'si Net Sıfır hedefine uyumlu değildir. Bu nedenle Türkiye'nin ilk iş olarak 2053'te Net Sıfır hedefiyle uyumlu orta ve uzun vadeli bir yol haritası belirlemesi ve hedeflerini güncelleyerek yeni bir NDC hazırlaması gerekmektedir. Türkiye ekonomisinin 2053'e kadar nasıl karbonsuzlaşacağına dair çalışmalar da özel önem kazanmış durumdadır.

“Türkiye'nin Karbonsuzlaşma Yol Haritası: 2050'de Net Sıfır” raporu, Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi tarafından 2020 yılında başlatılan bir araştırmanın sonuçlarını bir araya getirmektedir. Araştırmanın amacı, Türkiye'nin Paris Anlaşması'nı onaylaması ve 2050'de Net Sıfır hedefini kabul etmesi halinde ekonomisinin nasıl bir dönüşümden geçmesi gerektiğini ortaya koyacak bir yol haritası hazır-

lamaktır. Bu çalışma Türkiye'nin ekonomik faaliyetlerinden kaynaklanan karbon emisyonlarının 2050 tarihine kadar nasıl bir seyir izleyeceğini ve Net Sıfır hedefine uygun olarak 2050'ye kadar emisyonlarını sıfırlamak ve NDC'sini güncellemek için izlemesi gereken olası patikayı ortaya koyan yayımlanmış ilk çalışmadır.

Raporun yazımı bitmek üzereyken Türkiye'nin Paris Anlaşması'na taraf olması ve Net Sıfır hedefini açıklaması çalışmanın önemini daha da artırmaktadır. Türkiye'nin yeni Ulusal Katkı Beyanı'nın (NDC) belirlenmesinde ve 2050'lere kadar tamamlanması gereken ekonomik dönüşümün planlanmasında bu ve benzeri bilimsel çalışmaların yol gösterici olması gerekmektedir. Bu raporun amacı da Türkiye'nin yeni emisyon azaltım patikasına ilişkin bilimsel temellere dayalı bir iklim politikası tartışmasını başlatmak ve dönüşümün yol haritasını belirleyecek bilimsel çalışmalara katkıda bulunmaktır.

2. YÖNTEM

Araştırma, Türkiye'nin 2018 yılındaki ekonomik göstergelerini ve emisyonlarını baz almaktadır. Araştırmada elektrik sektörü, ulaşım sektörü, binalar ve sanayiden kaynaklanan enerji kaynaklı karbondioksit (CO₂) emisyonlarıyla sanayi proseslerinden kaynaklanan CO₂ emisyonları ele alınmıştır. (Tablo YÖ.1)

Tablo YÖ.1. Çalışmaya dahil edilen sektörler

Sektörler
Elektrik
Ulaşım
Binalar
Sanayi
Hizmetler
Tarım

Araştırmada Türkiye'nin 2018-2050 arasındaki CO₂ emisyonları patikası iki senaryo altında karşılaştırılmaktadır. (Tablo YÖ.2)

- **Baz Senaryo'da** Türkiye ekonomisinin, enerji tüketiminin ve enerji kaynaklarının mevcut gidişatı altında ve dünyadaki gelişmelerin ışığında, ancak iklim değişikliğiyle mücadele amacıyla emisyonları azaltmak için herhangi bir politikanın izlenmediği durumda CO₂ emisyonlarının seyri verilmektedir. Baz Senaryo'da 2070'e kadar projeksiyon yapılmıştır.
- **Net Sıfır Senaryosu'nda**, 2050'de Net Sıfır Emisyon hedefi doğrultusunda emisyonları azaltmak için gerekli politikaların izlenmesi durumunda, Türkiye'nin mevcut ekonomik yapısı, nüfus artışı, ekonomik büyüme gibi makroekonomik varsayımları koruyarak

2050'ye kadar CO₂ emisyonlarının seyri verilmektedir.

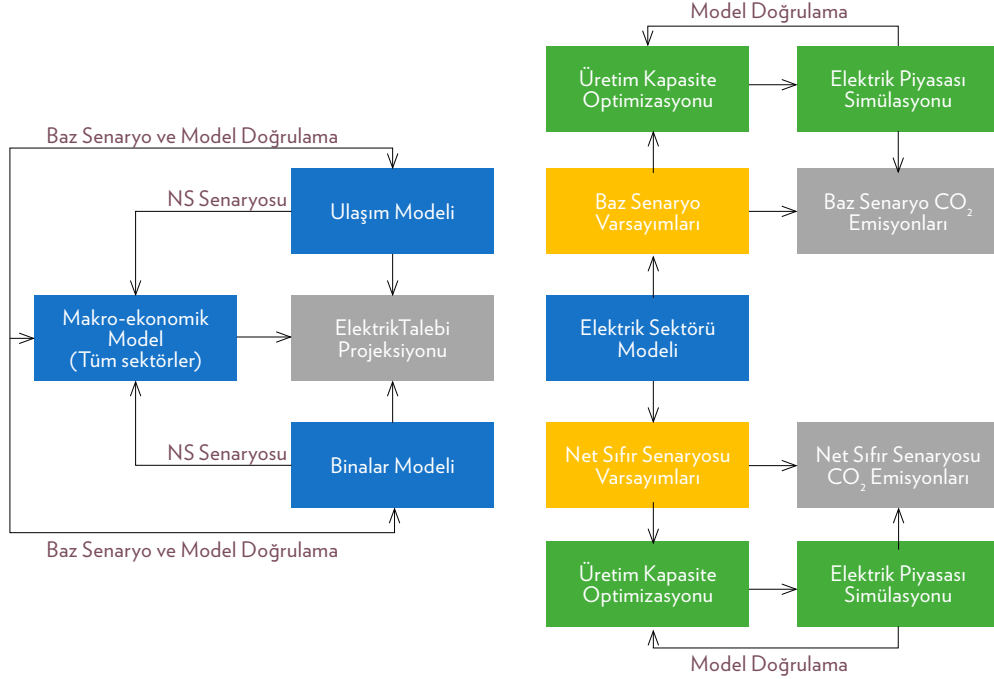
- Elektrik modeli senaryosunda bir ek olarak nükleer enerjinin enerji kaynağı olarak sistemde olduğu ve olmadığı olasılıklar karşılaştırılmıştır.

Tablo YÖ.2. Çalışmada kullanılan senaryolar

Senaryolar	Emisyon	Hedef	Zaman aralığı
Baz Senaryo (BS)	CO ₂	-	2018-2070
Net Sıfır Senaryosu (NSS)	CO ₂	1,5 °C	2018-2050

Araştırmanın temelini oluşturan modelleme çalışması **elektrik sektörü modeli, ulaşım modeli, binalar modeli ve makroekonomik modelin** birlikte çalıştırılmasına dayanmaktadır. Baz Senaryo'da kullanılan temel girdi, elektrik sektörünün 2018-2030 dönemi için Baz Senaryo'ya uygun üretim patikasıdır. Elektrik sektörü için oluşturulan Baz Senaryo'daki tüketim projeksiyonları diğer sektörler için de girdi olarak kullanılmış, dolayısıyla tüm sektörler için kullanılan Baz Senaryo tüketim projeksiyonları, Elektrik Sektörü Baz Senaryosu ile uyumlu olarak oluşturulmuştur. 2050-2070 dönemi için ise Baz Senaryo tüketim projeksiyonları makroekonomik model tarafından oluşturularak diğer sektörlerle girdi sağlamıştır. Bu projeksiyonlardan yola çıkarak bu patikayı destekleyecek toplam/sektörel büyüme, toplam faktör verimliliği ve enerji verimliliği patikaları oluşturulmuştur. Bu varsayımlar altında oluşturulan Makroekonomik Baz Senaryo öncelikle elektrik sektörüne ve ayrıca ulaşım ve sanayi modellerine verdiği girdiler nedeniyle diğer sektör modelleri ile de uyumlaştırılmıştır. Sonuç olarak 2030'a kadar oluşturulan

Şekil YÖ.1. Çalışmaya dahil edilen sektörlerde varsayımlar ve senaryolarla modellerin ilişkisi ve doğrulama yolları



patikada kullanılan parametrelerdeki trendler kullanılarak, aynı varsayım kümesi altında 2018-70 dönemi patikası yeniden yaratılmıştır. (Şekil YÖ.1)

Elektik sektörü modelinde yıllık yatırım, işletme ve yakıt maliyetleri ile elektrik kesinti maliyetlerini dikkate alarak toplam güç sisteminin toplam indirgenmiş maliyetini minimize etmeyi amaçlayan üretim kapasitesi genişleme modelinde makroekonomik modelden, ulaşım ve bina modellerinden gelen verilerle elektrifikasyonun yaratacağı ilave elektrik talebi ile talep projeksiyonları netleştirilmektedir. Üretim kapasite genişleme modelinin çıktıları elektrik piyasası simülasyon modeli ile (saatlik çözünürlükte) doğrulanmıştır. Modellerde, devreden çıkacak kömür santralleri belirlenirken eski ve ana yük merkezlerinden uzak linyit santrallerine öncelik verilmiştir. Ayrıca, güç sistemine yeni eklenecek doğal gaz ve yenilenebilir enerji santrallerinin ana yük merkezlerine yakın konumlanacağı varsayılmıştır.

Depolama sistemlerinin de yine aynı şekilde ana yük merkezlerine öncelik verilerek konumlanacağı ve şebekenin esneklik ihtiyacına göre merkezi bir şekilde kontrol edileceği varsayılmıştır. Bu merkezi kontrol için gerekli altyapı ve piyasa mekanizmaları çalışmanın kapsamı dışındadır.

Enterkoneksiyon hatlarının net transfer kapasitelerinin de piyasa birleştirmesi mekanizmaları sayesinde şebekenin esneklik ihtiyacına göre kullanılacağı varsayılmıştır. Bu piyasa mekanizmaları da çalışmanın kapsamı dışındadır.

Çalışmada ayrıca 1,5 derece hedefine ulaşmak için kalan küresel karbon bütçesinden adil paylaşım ve hakkaniyet ilkesine uygun olarak Türkiye'ye düşen pay da hesaplanarak Net Sıfır Senaryosu'ndaki kümülatif emisyonların Türkiye'nin karbon bütçesinin sınırları içinde kalması öngörülmüştür.

3. BAŞLICA SONUÇLAR

3.1. KARBON BÜTÇESİ

Karbon bütçesi “siyasi olarak kabul edilen ısınma sınırının altında kalmak için iklim sisteminin fiziksel özelliklerine dayalı olarak ‘izin verilen’ maksimum kümülatif küresel emisyon miktarı” olarak tanımlanır. IPCC’nin 1,5 Derece Özel Raporu’na göre 2018’den itibaren ısınmayı %50 olasılıkla 1,5°C’nin altında tutmak için kalan karbon bütçesi **580 GtCO₂** olarak belirtilmiştir.

Paris Anlaşması küresel bir hedef belirlese de ülkelerin emisyon azaltım yükümlülüklerini neye göre belirleyeceğine, emisyonların nasıl bir yol izleyerek azaltılacağına ilişkin net bir yöntem getirmemiştir. Dolayısıyla küresel karbon bütçesinin ülkeler arasında nasıl paylaşılacağına ilişkin resmi olmayan, ancak bilimsel araştırmalarda ortaya konan çeşitli yaklaşımlar vardır. Bu yaklaşımlar arasında bulunan Paris Equity Check (PEC), küresel sera gazı emisyonlarından sorumlu başlıca ülkelerin karbon bütçelerini belirlemek için hakkaniyet temelli bir yöntem kullanmaktadır. PEC’in IPCC’nin eşitlik ilkesinden yola çıkan Kümülatif Kişi Başı Eşitlik (CPC) yaklaşımında kişi başı emisyonları tarihsel olarak yüksek olan ülkelerin daha hızlı azaltım yapmasını öngörmektedir. Bu yaklaşımda az gelişmiş ülkeler kadar tarihsel kişi başı emisyonları yüksek olmayan gelişmekte olan ve hızlı büyüyen ülkeler de karbon bütçesinden daha fazla pay almaktadır.

Türkiye’nin kişi başı emisyonları şu anda dünya ortalamasına yakın olsa da 1990 yılında dünya ortalamasının yarısı düzeyindedir. Bu nedenle Türkiye’nin kümülatif kişi başı emisyonu düşük kabul edilebilir. Türkiye’nin kümülatif CO₂ emisyonlarının toplamdaki payı da (%0,6) mevcut emisyonlarının toplamdaki payının yarısından biraz fazladır. Bu nedenle bu çalışmada Türkiye’ye

ayrılan pay PEC kategorilerinde daha az tarihsel sorumluluğu ve daha fazla gelişme hakkı olduğu kabul edilen ülkelere uygun olan Kümülatif Kişi Başı Eşitlik (CPC) yaklaşımıyla belirlenmiştir.

Sonuç olarak Türkiye’nin 1,5°C için adil paylaşım ve hakkaniyet ilkesine uygun CO₂ bütçesi 2018’den itibaren **7,95 GtCO₂** ile küresel bütçenin %1,37’sini oluşturmaktadır. Türkiye’nin 2017 itibarıyla küresel CO₂ emisyonlarının %1,2’sini saldırdığı düşünüldüğünde, bu hesaplama yöntemine göre gelecekte kümülatif karbon emisyonları içindeki payının yaklaşık %14 artacağı, dolayısıyla bu çalışmada Türkiye’nin gelişmiş ülkelere ve dünya ortalamasından daha geç ve daha yavaş azaltım yapacağını varsayıldığı ortaya çıkmaktadır.

3.2. BAZ SENARYO

Temel makroekonomik göstergelerle ilgili varsayımlara göre;

- 1| Türkiye’nin reel GSYİH büyüme hızı 2020-2030 dönemi için yıllık ortalama %3,7; 2030-2040 dönemi için yıllık ortalama %3,5; 2040-2050 dönemi için yıllık ortalama %3,0; 2050-2060 dönemi için yıllık ortalama %2,9; 2060-2070 dönemi için yıllık ortalama %2,7 olarak oluşturulmuştur.
- 2| Baz Senaryo’da yıllık ortalama %0,3’lük enerji verimliliği artışı (TEP/2018 Reel Üretim Değeri) varsayılmaktadır.
- 3| 2020-2030 arasında elektrik talebi yıllık artış oranı %4,2 olarak hesaplanırken, 2030-50 arasındaki elektrik talebi artışı yıllık ortalama %2,6 ve 2050-2070 dönemi için de %1,8 olarak tahmin edilmiştir.
- 4| Baz Senaryo’da 2018’de 300 TWh/yıl olan yıllık elektrik talebi tüm 2018-2070 dönemi

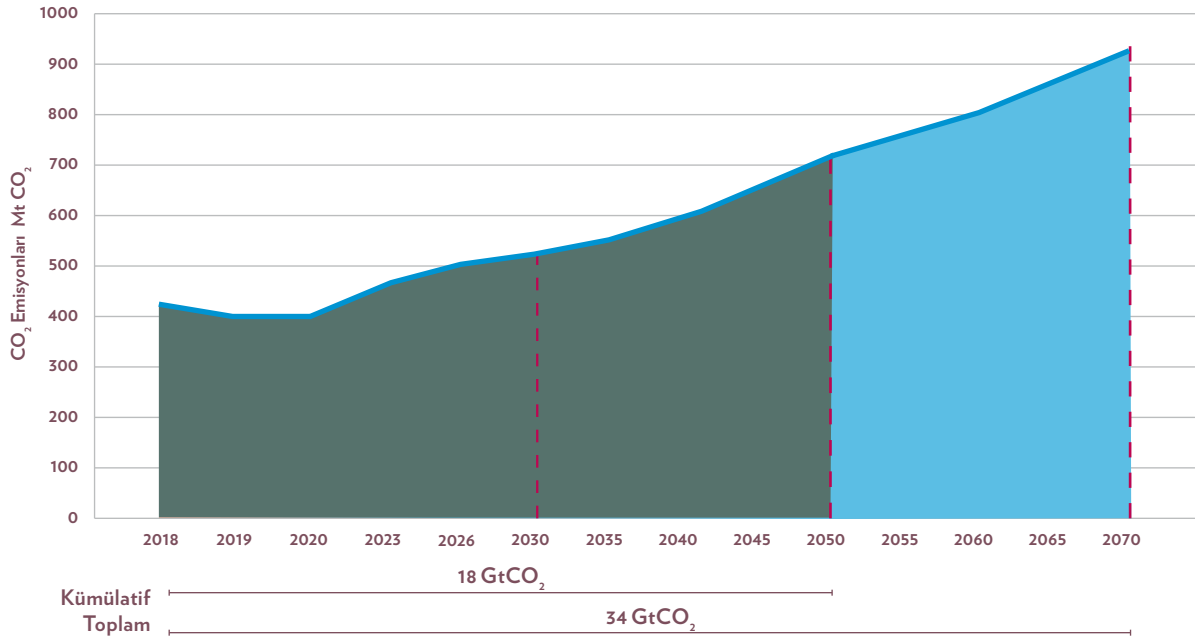
için yılda ortalama %2,5 artışla 2030'da 460 TWh'ye, 2050'de 770 TWh'ye ve 2070'te yaklaşık 1.100 TWh'ye çıkmaktadır.

5 | Baz Senaryo'nun patikası, sera gazı emisyon yoğunluğu gibi modelleme açısından kritik pa-

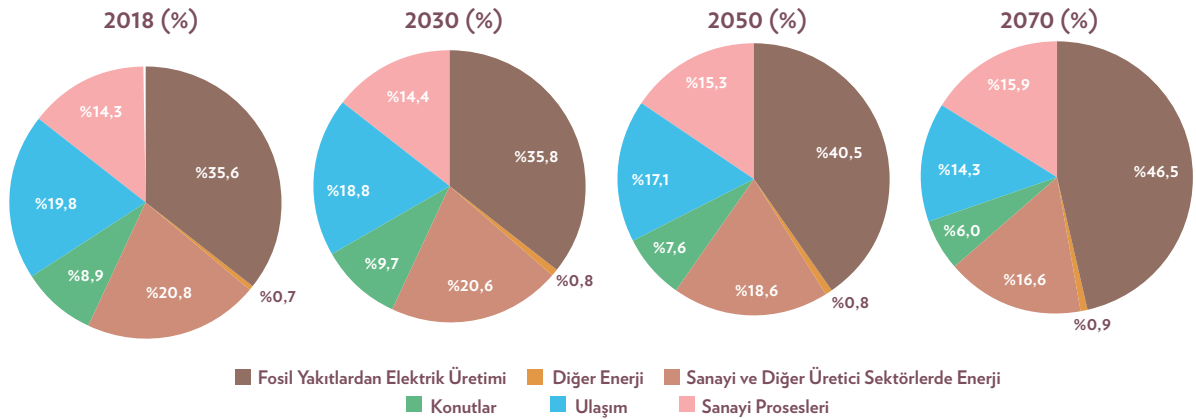
rametrelerin izlediği tarihsel değişimi de göz önünde bulundurmakta ve bu değişimi projeksiyonlara yansıtılmaktadır.

Sonuç olarak Baz Senaryo'da Türkiye'nin toplam CO₂ emisyonları 2050'de 2018 seviyesine göre

Şekil YÖ.2. Baz Senaryoda toplam CO₂ emisyonlarının 2018'den 2050'ye ve 2070'e kadar artışı (MtCO₂)



Şekil YÖ.3. Baz Senaryoda 2018, 2030, 2050 ve 2070'te CO₂ emisyonlarının sektörlere göre oransal dağılımı (%)



%66 artarak yaklaşık **700 milyon tona**, 2070'te ise %120 artarak 920 milyon tona çıkmaktadır. Toplam sera gazı emisyonları ise 2050'de 2018 seviyesine göre %70 artarak yaklaşık **890 milyon tona**, 2070'te ise %125 artarak 1.170 milyon tonun üzerine çıkmaktadır. Baz Senaryo'da enerji kaynaklı kümülatif CO₂ emisyonları 2018-2050 arası **18 GtCO₂** ve 2018-2070 arası 34 GtCO₂ olmaktadır. (Şekil YÖ.2)

Baz Senaryo'da elektrik sektörünün ve sanayi proseslerinin payı yıllar içinde artmakta, ulaşım, binalar ve sanayide elektrik tüketiminin payı azalmaktadır. (Şekil YÖ.3)

3.3. NET SIFIR SENARYOSU

Net Sıfır Senaryosu'nda, Baz Senaryo'da yer alan temel makroekonomik göstergelerle ilgili varsayımlara emisyonların azaltılmasını sağlayan aşağıdaki sektörel varsayımlar eklenmiştir:

- 1 | Elektrik sektöründe yenilenebilir enerjinin payını artıracak ve fosil yakıtların payını azaltacak müdahaleler olarak, batarya ve pompajlı barajlardan oluşan depolama sistemlerini ve uluslararası entegrasyon kapasitesini artırarak piyasa birleştirme mekanizmaları ile elektrik sisteminde şebeke esnekliğini sağlamak öne çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji potansiyeli özellikle rüzgâr ve güneş için en üst düzeyde ve mümkün olduğu kadar hızlı kullanılmaktadır. Böylece kömür elektrik üretiminden 2035'te büyük ölçüde çıkarılmakta, doğal gaz ise 2050'de çok düşük kapasiteye indirilmekte, böylece elektrik sektörü 2050'ye kadar büyük ölçüde karbonsuzlaşmaktadır.
- 2 | Ulaşım sektöründe bireysel ve toplu taşımada karayolundan demiryoluna geçiş, fosil yakıtlı ulaşım araçlarında verimlilik artışı, bireysel ulaşım, toplu ulaşım ve yük taşımada fosil yakıt kullanan araçlardan elektrikli araçlara ve diğer bir emisjonsuz yakıt türü olan yeşil hidrojene geçiş emisyonları etkile-

yen başlıca varsayımlardır. Ayrıca emisyon neden olan ulaşım araçlarını kullanmamayı tercih etmek (otomobilden bisiklete geçmek vb.) seyahat davranış değişikliği olarak düşük oranlarda varsayımlara eklenmiştir.

- 3 | Binalarda emisyonların azaltılması için konutlar ve ticari/kurumsal binalar için bina yenileme oranı, yeni bina yapım ve yıkım oranları kullanılarak emisyonların azaltılmasını sağlayacak müdahaleler eklenmektedir: Elektrikli aletlerde enerji performansı iyileşmesi, eski ve yeni binalarda ısınma için kömürden, sıvı yakıtlardan ve doğal gazdan elektrığe ve düşük oranlarda yeşil hidrojene geçiş, ısı pompası kullanımı ve ısı pompası performansında iyileşme, davranış değişikliği.
- 4 | Sanayi ve diğer üretici sektörlerde enerji tüketiminden kaynaklanan emisyonların azaltılmasında yüksek enerji yoğunluklu sanayi sektörlerinde küresel talep projeksiyonlarına uygun bir şekilde talep değişimi, enerji verimliliği, elektrifikasyon, düşük enerji yoğunluklu sanayi sektörlerinde, tarımda ve hizmetler sektöründe doğrudan yenilenebilir enerji kullanımı, yüksek enerji yoğunluklu sektörlerde 2040'tan sonra düşük oranlarda yeşil hidrojen ve karbon yakalama ve gömme teknolojilerinin (CCSU) kullanımı varsayımlara eklenmiştir. Sanayiden kaynaklanan proses emisyonları ise literatürde azaltım sağlayacak yeterli varsayım olmadığından makroekonomik modelde çok kısıtlı çalışılabilmektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'nin 2018'de azalmaya başlayan toplam CO₂ emisyonları Net Sıfır Senaryosu'na temel teşkil eden varsayımlar altında 2020'den sonra da azalmaya devam etmektedir. Tüm sektörlerde enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları 2030'da 2018 seviyesine oranla **%37** azalarak **225 milyon tona**, 2050'de ise **%80** azalarak **74 milyon tona** inmektedir. Sanayiden kaynaklanan proses emisyonları dahil edildiğinde tüm sektörlerden kaynaklanan CO₂ emisyonları

Tablo YÖ.3. Baz Senaryoda ve Net Sıfır Senaryosunda CO₂ emisyonlarının sektörlere göre dağılımı ve yıllara göre değişimi (2018-50) (MtCO₂)

SEKTÖRLER	BAZ SENARYO				NET SIFIR SENARYOSU			
	2018	2020	2030	2050	2018	2020	2030	2050
Fosil Yakıtlardan Elektrik Üretimi	149,0	133,9	184,0	281,9	149,0	133,9	72,7	15,0
Ulaşım	82,8	80,7	96,5	119,5	82,8	80,7	65,3	28,9
Binalar	50,9	59,3	69,3	73,8	50,9	58,0	27,5	0,0
Sanayi ve Diğer Üretici Sektörlerde Enerji	77,2	68,7	99,4	108,5	77,2	69,3	60,0	30,2
ENERJİ TÜKETİMİNDEN KAYNAKLANAN CO ₂ EMİSYONLARI	359,9	342,6	449,3	583,6	359,9	341,9	225,5	74,1
Proses Emisyonları	59,8	55,3	73,9	106,9	59,8	55,3	61,8	57,6
TOPLAM CO ₂ EMİSYONLARI	419,7	397,9	523,2	690,5	419,7	397,2	287,3	131,6

Tablo YÖ.4. Net Sıfır Senaryosunda CO₂ emisyonlarının 2030 ve 2050'de 2018'de göre değişimi

SEKTÖRLER	2030-2018		2050-2018	
	CO ₂ Emisyonu (MtCO ₂)	%	CO ₂ Emisyonu (MtCO ₂)	%
Fosil Yakıtlardan Elektrik Üretimi	-76,3	-51,2	-134,0	-89,9
Ulaşım	-17,5	-21,1	-53,9	-65,1
Binalar	-23,4	-46,0	-50,9	-100,0
Sanayi ve Diğer Üretici Sektörlerde Enerji	-17,2	-22,3	-47,0	-60,9
ENERJİ TÜKETİMİNDEN KAYNAKLANAN CO ₂ EMİSYONLARI	-134,4	-37,3	-285,8	-79,4
Proses Emisyonları	2,0	3,3	-2,3	-3,8
TOPLAM CO ₂ EMİSYONLARI	-132,4	-31,5	-288,1	-68,6

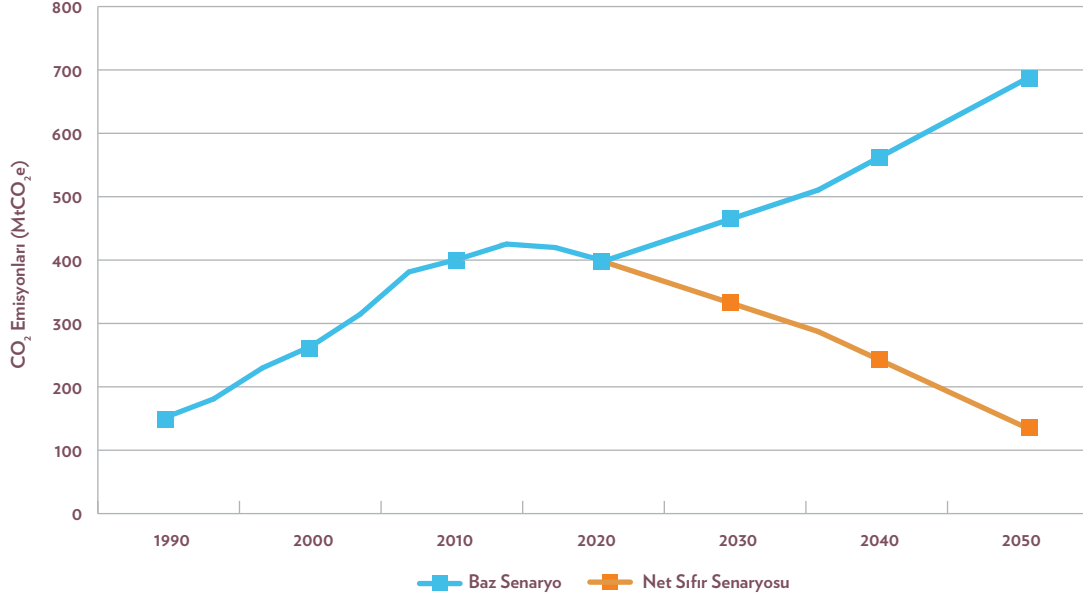
2030'da %32 azalarak **287 milyon tona**, 2050'de ise %70'e yakın azalarak **132 milyon tona** inmektedir. (Tablo YÖ.3 ve YÖ.4)

Böylece Türkiye'nin 1990'dan itibaren yaklaşık %130 artan emisyonları 2018 yılında tepe noktasına çıktıktan sonra azalmaya başlamakta ve 2050'de Baz Senaryo'da öngörüldüğü gibi 700 milyon tona çıkmak yerine Net Sıfır Senaryosu'nda 2018'e göre %70'e yakın azaltımla 132 milyon tona düşmekte ve 1990 seviyesinin %13 altına inmektedir.

2050'de kalan (artık) emisyon düzeyi¹ sanayi prosesleri dahil edilmediğinde 2018 seviyesine göre %80 azalarak 74 milyon tona düşmekte ve 1990 seviyesinin %43 altına inmektedir. (Şekil YÖ.4)

¹ Fosil yakıtlardan kaynaklanan artık emisyon, ilgili model ve senaryonun varsayımları altında azaltılması ekonomik olarak yapılabilir veya teknik olarak mümkün olmayan, fosil yakıtlar ve sanayi kaynaklı CO₂ emisyonları olarak tanımlanır.

Şekil YÖ.4. Baz Senaryoda ve Net Sıfır Senaryosunda bütün sektörlerin CO₂ emisyonlarının (proses emisyonları dahil) 1990'dan itibaren değişimi



2050'de kalan toplam artık emisyonun en büyük kısmı sanayi proseslerinden, enerji tüketiminden kaynaklanan artık emisyonun en büyük kısmı ise sanayiden ve ulaşımdan kaynaklanmaktadır. Elektrik sektöründen sadece 15 milyon ton artık emisyon kalmakta, binalardan kaynaklanan emisyonlar ise sıfırlanmaktadır.

Net Sıfır Senaryosu'nda 2018-2050 arasında enerji tüketiminden kaynaklanan kümülatif CO₂ emisyonları **7,4 GtCO₂** ile Türkiye'nin adil paylaşım ve hakkaniyet temelinde belirlenen karbon bütçesinin (7,95 GtCO₂) altında kalmaktadır. Ancak emisyon azaltımı için gerekli müdahale seçenekleri sınırlı kalan sanayi proses emisyonları dahil edildiğinde kümülatif emisyonlar **9,4 GtCO₂**'ye çıkarak Türkiye'nin karbon bütçesini aşmaktadır.

4. SEKTÖRLERE GÖRE BAŞLICA SONUÇLAR

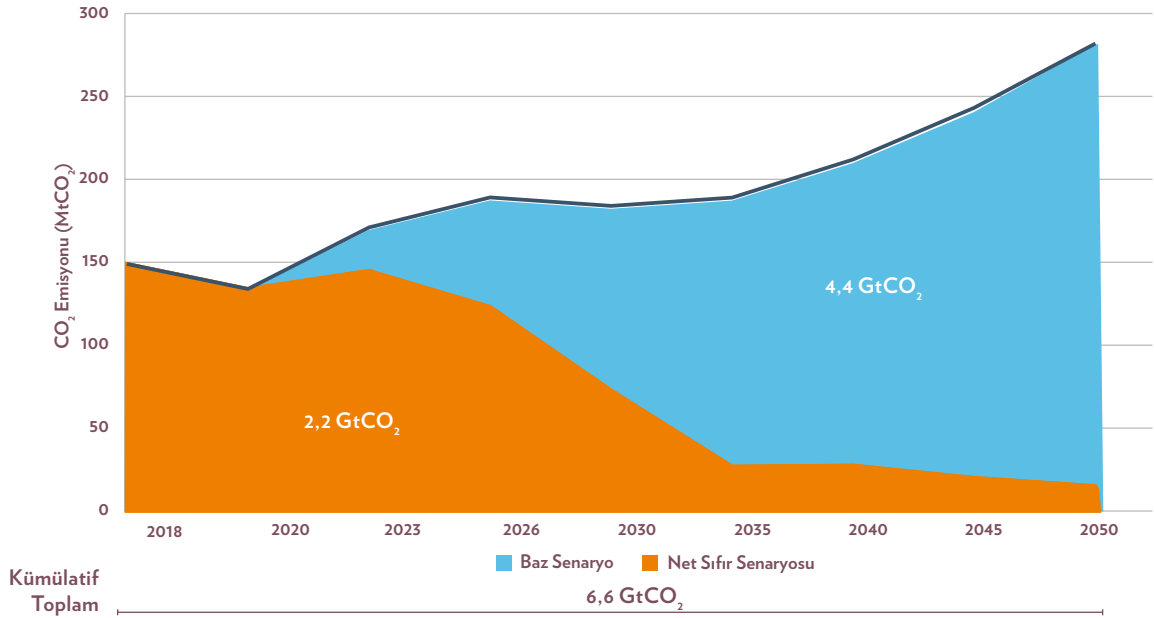
4.1. ELEKTRİK SEKTÖRÜ

Net Sıfır Senaryosu'nda elektrik sektöründe emisyonlarda tüm sektörlerin toplamından daha hızlı bir azalma görülmektedir. Elektrik sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonları da 2030'da 2018 seviyesine oranla %51 azalarak 73 milyon tona,

2050'de ise %90 azalarak 15 milyon tona gerilemektedir. (Şekil YÖ.5)

Elektrik sektöründe kurulu gücün gelişimi Baz Senaryo'da ve Net Sıfır Senaryosu'nda Tablo YÖ.5 ve YÖ.6'da verilmiştir.

Şekil YÖ.5. Baz Senaryoda ve Net Sıfır Senaryosunda karşılaştırmalı olarak elektrik sektörünün CO₂ emisyonları (MtCO₂)



Tablo YÖ.5. Baz Senaryoda elektrik sektöründe kaynaklara göre kurulu gücün gelişimi (GW)

Yıl	Taş Kömürü	İthal Kömür	Linyit	Doğal Gaz	Diğer	Nükleer	HES (Barajlı)	HES (Akarsu)	Güneş	Rüzgâr	Jeotermal	Biyokütle	Toplam
2018	0,6	8,9	9,6	25,7	1,4		20,5	7,8	5,7	7,5	1,3	0,8	89,9
2020	0,7	8,9	9,5	25,6	1,6		23,0	8,2	6,9	8,6	1,5	1,1	95,6
2023	0,7	10,2	10,7	26,1	2,2		23,5	8,2	10,1	11,2	1,8	1,6	106,4
2026	0,8	11,7	12,8	26,6	2,8		23,5	8,2	13,6	14,1	2,0	2,2	118,5
2030	0,9	11,7	14,9	27,1	3,6	4,8	23,5	8,2	18,9	18,2	2,4	3,0	137,3
2035	1,0	11,5	17,1	29,8	4,1	4,8	25,5	8,2	28,1	28,9	3,0	4,5	166,5
2040	1,0	11,5	21,3	32,2	4,7	4,8	27,5	8,2	30,4	42,2	3,0	5,0	191,9
2045	1,0	12,9	21,2	37,3	4,9	4,8	29,5	8,2	38,8	48,0	2,8	4,9	214,4
2050	1,0	16,7	21,2	43,2	5,0	4,8	31,5	8,2	44,6	48,0	2,8	4,8	231,8
2060	1,0	16,6	21,0	59,3	5,0	4,8	33,5	8,2	67,4	48,0	2,8	4,6	272,1
2070	1,0	26,3	25,0	60,0	5,0	4,8	35,5	8,2	88,1	48,0	2,7	4,4	308,9

Tablo YÖ.6. Net Sıfır Senaryosunda elektrik sektöründe kaynaklara göre kurulu gücün gelişimi (GW)

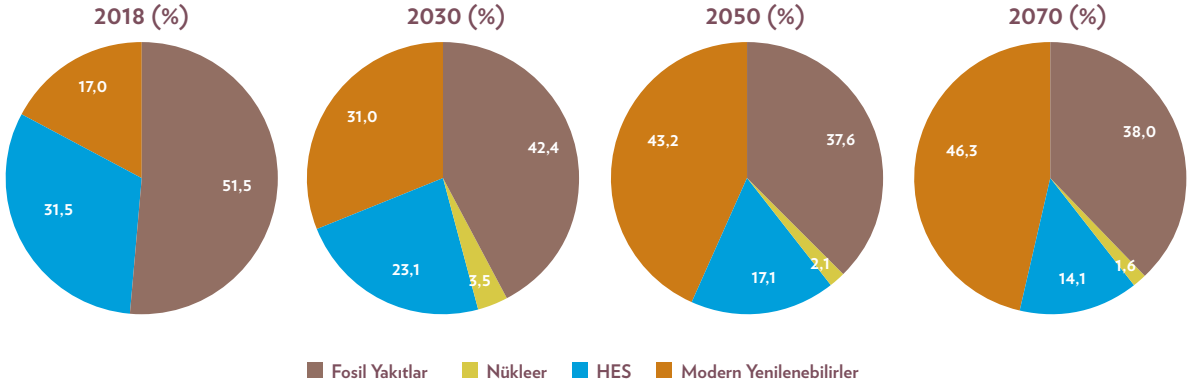
Yıl	Taş Kömürü	İthal Kömür	Linyit	Doğal Gaz	Diğer	Nükleer	HES (Barajlı)	HES (Akarsu)	Güneş	Rüzgâr	Jeotermal	Biyokütle	Toplam
2018	0,6	8,9	9,6	25,7	1,4		20,5	7,8	5,7	7,5	1,3	0,8	89,9
2020	0,6	8,9	9,5	25,6	1,6		23,0	8,2	6,9	8,6	1,5	1,1	95,6
2023	0,6	9,4	8,6	28,5	1,7		23,5	8,2	14,1	14,4	2,0	2,5	113,5
2026	0,5	8,0	7,2	30,3	1,9		23,5	8,2	22,0	20,9	2,5	3,8	128,9
2030	0,2	4,0	2,9	33,8	2,1	4,8	23,5	9,1	36,4	32,6	3,4	6,1	158,9
2035		1,3		32,5	2,6	4,8	25,5	9,1	59,7	50,1	3,4	13,0	202,1
2040				36,9	2,6	4,8	27,5	9,1	83,5	52,9	3,4	15,0	235,6
2045				34,0	2,7	4,8	29,5	11,5	116,3	59,1	5,1	15,4	278,4
2050				32,7	2,7	4,8	32,0	12,0	192,7	62,4	5,4	16,1	360,8

Baz Senaryo'da ve Net Senaryosu'nda kurulu gücün fosil yakıtlar, HES'ler, nükleer enerji ve modern yenilenebilir enerji² olarak toplulaştı-

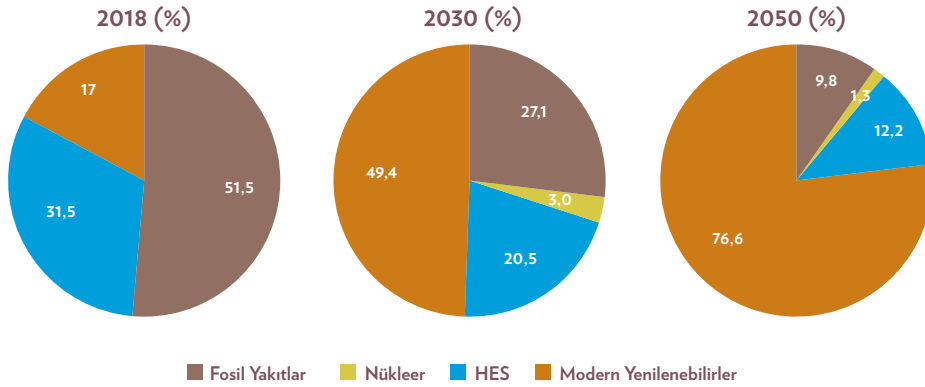
rılmış oransal dağılımındaki değişim Şekil YÖ.6 ve YÖ.7'de verilmiştir.

2 Raporda rüzgâr, güneş, jeotermal ve modern biyokütle, modern yenilenebilir enerji kaynakları olarak sınıflandırılmış, ancak çok sayıda çevresel ve sosyal soruna neden olan ve iklim değişikliğinin neden olduğu su krizi nedeniyle kaynağı yenilenebilir olmaktan çıkmaya başlayan barajlı ve akarsu tipi hidroelektrik santraller (HES) yenilenebilir enerji dışında ayrı bir kategori olarak alınmıştır.

Şekil YÖ.6. Baz Senaryoda kurulu gücün 2018, 2030, 2050 ve 2070'te kaynaklara göre toplulaştırılmış olarak oransal dağılımı (%)



Şekil YÖ.7. Net Sıfır Senaryosunda kurulu gücün 2018, 2030 ve 2050'de kaynaklara göre toplulaştırılmış olarak oransal dağılımı (%)



Net Sıfır Senaryosu'nda fosil yakıt kaynaklarının elektrik üretimindeki payı Baz Senaryo'ya göre bariz bir şekilde erken ve daha fazla azalmaktadır. Özellikle linyit santrallerinin kurulu gücü ve üretimdeki payı 2030'a gelmeden oldukça azalmakta, 2030'da sadece 2,9 GW linyitle çalışan kömürlü termik santral kalmakta, 2030'ların ilk yarısında taş kömürü ve linyitle çalışan bütün termik santraller kapanmaktadır. 2035'e gelindiğinde kömür olarak sadece ithal kömürle çalışan 1,3GW kurulu güce sahip termik santral kapasitesi kalmakta, bunlar da 2040'tan önce kapanmaktadır. Bu sonuçlara göre Türkiye, **2035'te** elektrik

sektörünü büyük ölçüde kömürden arındırmış olmaktadır.

Doğal gaz santrallerinin kurulu gücü ise kömür santrallerinin kapanmasına bağlı esneklik ihtiyacı nedeniyle hızlı azalmamakta, ancak 2040'tan sonra biraz azalarak yaklaşık **32,5 GW'de** kalmaktadır. Yine de Net Sıfır Senaryosu'nda 2050'deki doğal gaz kurulu gücü Baz Senaryo'da beklenen 43 GW'nin çok altındadır. Öte yandan doğal gazdan elektrik üretimi 2030'dan sonra dalgalı bir şekilde olsa da azalarak 2050'de **37,5 TWh**'ye inmektedir. Bu da doğal gaz santrallerinin, kapatılmasalar da

yenilenebilir enerjinin kapasiteye büyük miktarlarda eklenmesi nedeniyle artan esneklik ihtiyacı nedeniyle düşük kapasite faktörüyle çalıştırılması gerekeceği anlamına gelmektedir.

Net Sıfır Senaryosu'nda yenilenebilir kaynaklar ise büyük bir hızla artmaktadır. Baz Senaryo'da 2018'de 7,5 GW olan ve 2040'lara kadar hızla artan rüzgâr kurulu gücünün daha sonra 2070'e kadar Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli olarak verilen 48 GW'de sabit kalacağı varsayılmıştır. Rüzgâr kurulu gücü Net Sıfır Senaryosu'nda ise artmaya devam etmekte ve 2050'de **62 GW**'yi geçerek, elektrik üretimi 2018'de 20 TWh'den 2030'da 90 TWh'ye, 2050'de **146 TWh**'ye çıkmaktadır.

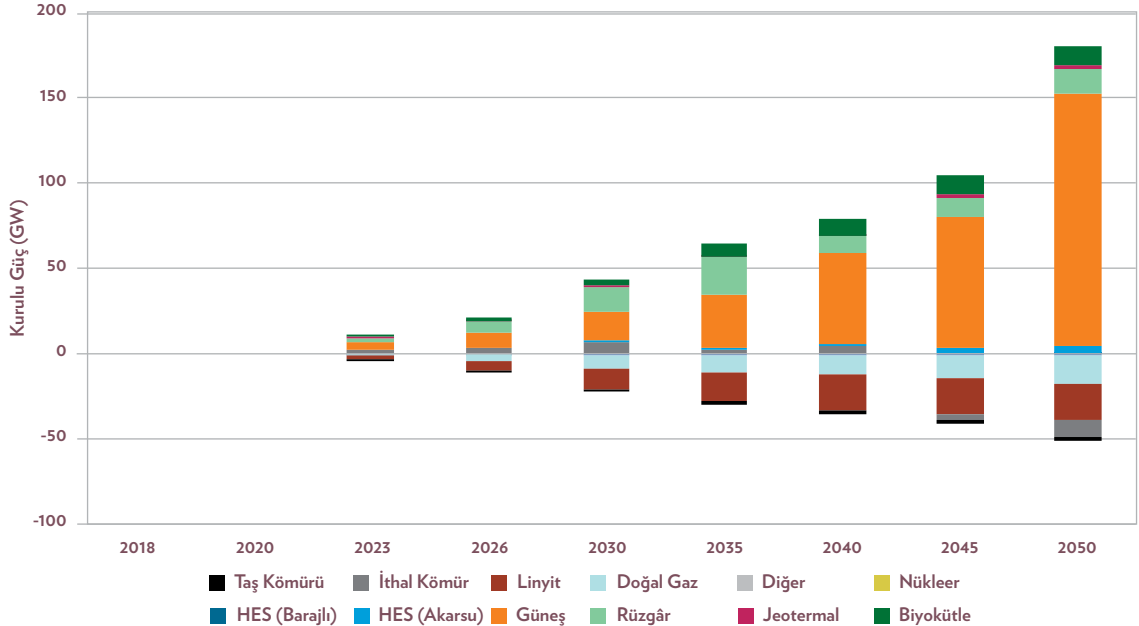
Rüzgârdan daha yüksek seviyelere çıkan güneş kurulu gücü ise 2018'de 6 GW'nin altında olduğu halde hızla artarak 2030'da 36,5 GW'ye, 2050'de ise **193 GW**'ye varmaktadır. Güneşten üretilen enerji de 2018'de 10 TWh'nin biraz üzerindeyken

2030'da 72,5 TWh'ye 2050'de ise **362 TWh**'ye ulaşmaktadır.

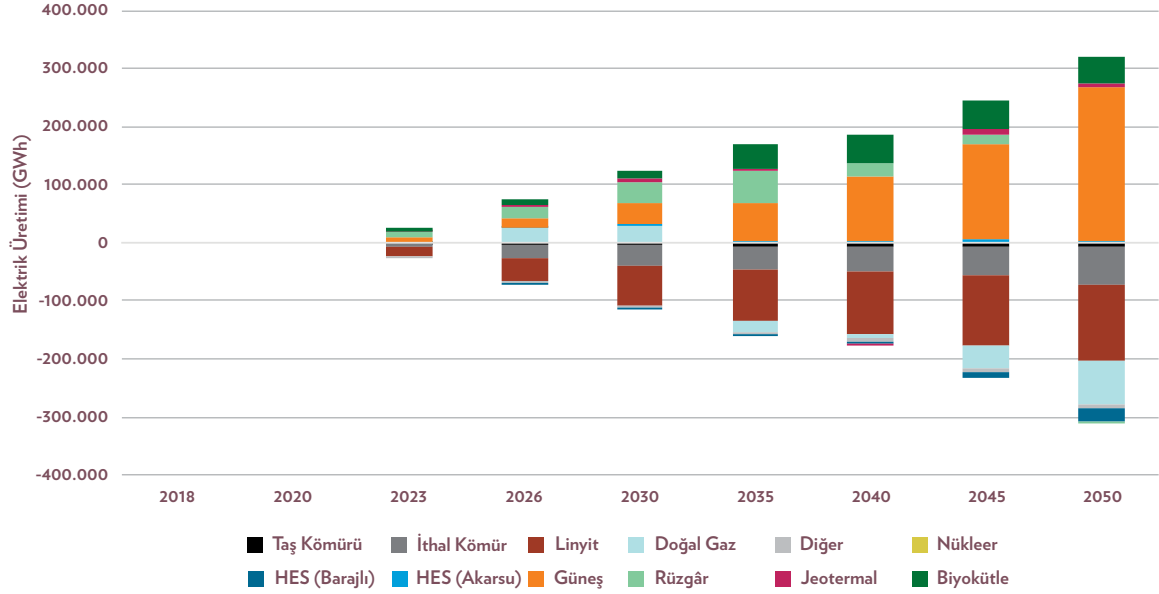
Net Sıfır Senaryosu'nda modern yenilenebilir kaynakların kurulu güçteki payı 2018'de %17 ile sınırlıyken 2030'da yaklaşık %50'ye, 2050'de ise %77'ye çıkmaktadır. Fosil yakıtların kurulu güçteki payı ise 2018'de %50'nin üzerindeyken 2030'da %27'ye, 2050'de ise tamamı doğal gaz olmak üzere %10'a düşmektedir. Elektrik üretiminde ise modern yenilenebilir kaynakların 2018'de %14 olan payı 2030'da %50'ye, 2050'de ise %80'e yaklaşmaktadır. HES'lerin üretimdeki payı 2018'de %20 iken 2030'da %17, 2050'de %11 olmaktadır. Fosil yakıtların üretimdeki payı ise hızla gerilemekte, 2018'de elektriğin %65'i fosil yakıtlardan üretilirken bu oran 2030'da %28'e, 2050'de ise %5'e gerilemektedir.

Net Sıfır Senaryosu'nda elektrik üretim kaynaklarının kurulu güç ve üretim düzeylerinin Baz Senaryo'dan farkları Şekil YÖ.8 ve YÖ.9'da gösterilmiştir.

Şekil YÖ.8. Net Sıfır Senaryosunda elektrik sektöründe kaynakların kurulu güç olarak Baz Senaryoya göre değişimi (GW)



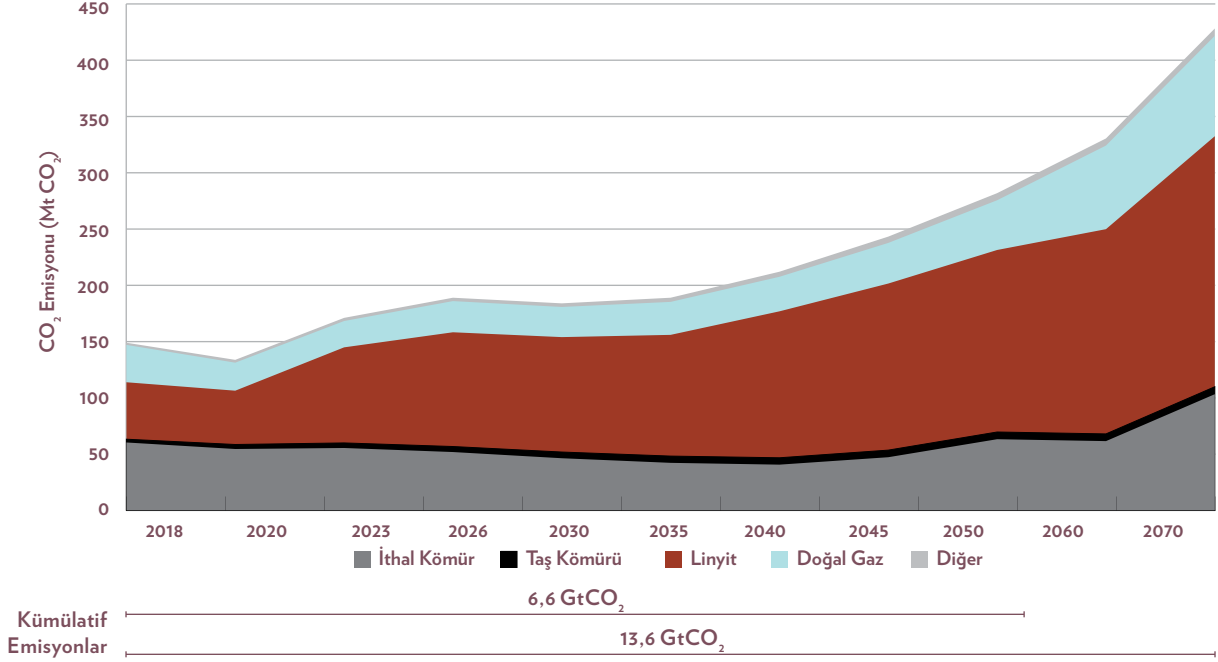
Şekil YÖ.9. Net Sıfır Senaryosunda elektrik sektöründe kaynakların üretim düzeyinin Baz Senaryoya göre değişimi (GWh)



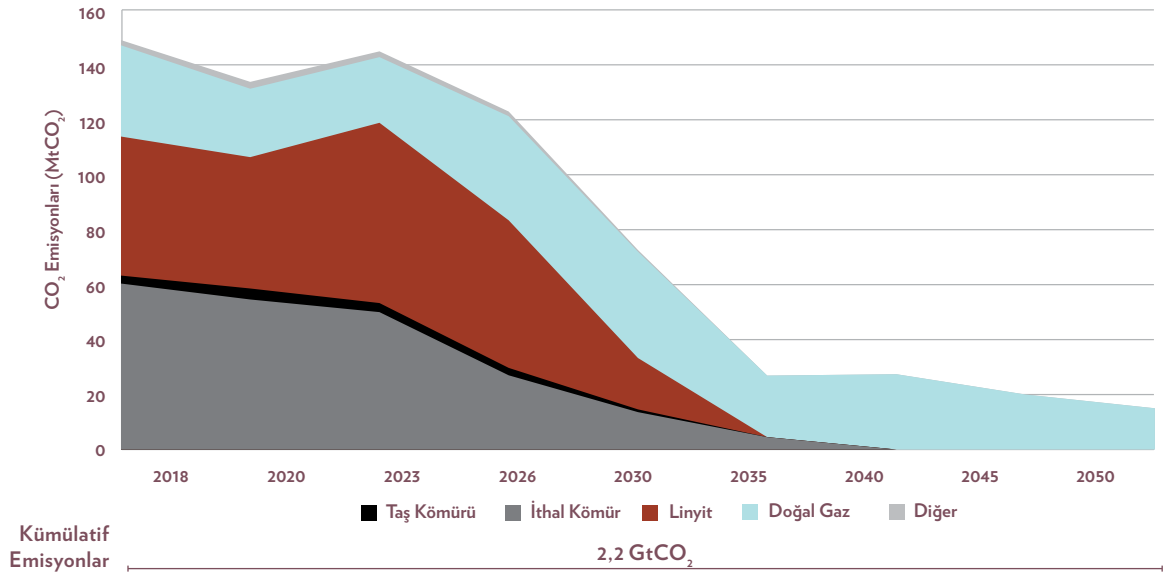
2030'da elektrik sektöründen kaynaklanan emisyonların %53'ü halen çoğunluğu linyit olmak üzere kömür kaynaklıdır, ancak linyit santrallerinin tamamının 2030'ların ilk yarısında, son kalan ithal kömür santrallerinin de 2030'ların ikinci yarısında kapanmasının ardından 2040'tan itibaren elektrik sektöründe kalan emisyonların

tamamı doğal gazdan kaynaklanmaktadır. Doğal gaz santrallerinden kaynaklanan emisyonlar da 2050'de 2018 seviyesinin yarısından azdır. Baz Senaryo'da ve Net Sıfır Senaryosu'nda elektrik sektöründe emisyonların seyri ve fosil yakıt kaynaklarının payı Şekil YÖ.10 ve YÖ.11'de görülmektedir.

Şekil YÖ.10. Baz Senaryoda elektrik sektörünün fosil yakıt kaynaklarına göre CO₂ emisyonları (MtCO₂)



Şekil YÖ.11. Net Sıfır Senaryosunda elektrik sektörünün fosil yakıt kaynaklarına göre CO₂ emisyonları (MtCO₂)



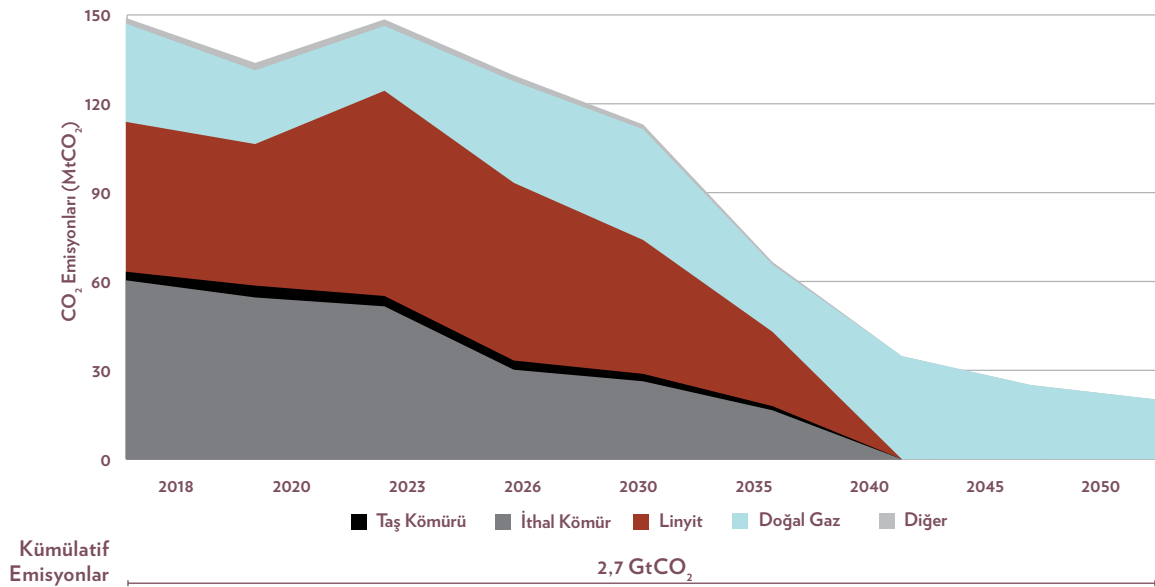
Elektrik sektörü modelinde alternatif olarak çalışılan Nükleersiz Net Sıfır Senaryosu'nda ise elektrik sektöründen kaynaklanan emisyonlar 2050'de 15 milyon ton yerine 20 milyon tona inerek 5 milyon ton fazla artık emisyon kalmaktadır. (Şekil YÖ.12) Nükleersiz Net Sıfır Senaryosu'nda

Net Sıfır Senaryosu'ndan farkı kömürlü termik santrallerin kapatılma tarihinin birkaç yıl geç olmasıdır (Tablo YÖ.7) ve linyit ve ithal kömür santrallerinin 2035'ten sonra kapanmasının ardından 2040'tan itibaren elektrik sektöründe kalan emisyonların tamamı doğal gazdan kaynaklanmaktadır.

Tablo YÖ.7. Nükleersiz Net Sıfır Senaryosunda elektrik sektöründe kaynaklara göre kurulu gücün gelişimi (GW)

	Taş Kömürü	İthal Kömür	Linyit	Doğal Gaz	Diğer	HES (Barajlı)	HES (Akarsu)	Güneş	Rüzgâr	Jeotermal	Biyokütle	Toplam
2018	0,6	8,9	9,6	25,7	1,4	20,5	7,8	5,7	7,5	1,3	0,8	89,9
2020	0,7	8,9	9,5	25,6	1,6	23,0	8,2	6,9	8,6	1,5	1,1	95,6
2023	0,6	9,8	9,1	26,0	1,6	23,5	8,2	14,1	14,4	2,0	2,5	111,8
2026	0,5	8,9	8,2	27,8	1,8	23,5	8,2	22,0	20,9	2,5	3,8	128,1
2030	0,4	7,6	6,7	31,3	2,1	23,5	8,2	36,4	32,6	3,4	6,1	158,3
2035	-	4,9	3,8	30,0	2,8	25,5	8,2	68,6	50,1	3,4	10,7	208,3
2040	-	-	-	39,5	2,6	27,5	8,2	94,1	52,9	3,4	15,0	243,2
2045	-	-	-	35,6	2,7	30,0	12,0	133,7	59,1	5,1	15,4	293,6
2050	-	-	-	37,4	2,7	32,0	12,0	243,4	62,4	5,4	16,1	411,4

Şekil YÖ.12. Nükleersiz Net Sıfır Senaryosunda elektrik sektörünün fosil yakıt kaynaklarına göre CO₂ emisyonları (MtCO₂)

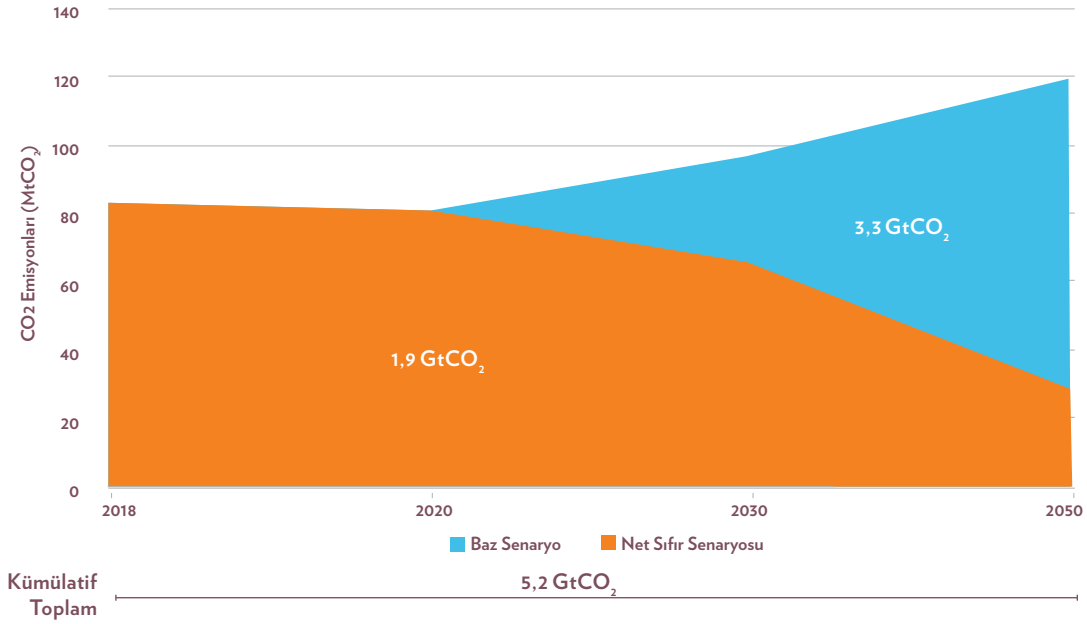


4.2. ULAŞIM SEKTÖRÜ

Ulaşım sektöründe emisyonlar tüm sektörlerin toplamına yakın oradan azalmaktadır. Ulaşım sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonları 2030'da 2018 seviyesine oranla %21 azalarak yaklaşık 65 milyon tona ve 2050'de %65 azalarak 29 milyon tona inmektedir. (Şekil YÖ.13)

Ulaşım sektöründe emisyonların azaltılmasını sağlayan bireysel ulaşım, toplu ulaşım ve yük taşımada elektrikli araç sayısı, yük taşıyan ağır vasıtalarda yeşil hidrojen kullanımı, raylı sisteme geçiş ve seyahat davranış değişikliğiyle ilgili müdahalelerin Net Sıfır Senaryosu'nda Baz Senaryo'dan farkları Tablo YÖ.8, YÖ.9 ve YÖ.10'da görülmektedir.

Şekil YÖ.13. Baz Senaryoda ve Net Sıfır Senaryosunda karşılaştırmalı olarak ulaşım sektörünün CO₂ emisyonları (MtCO₂)



Tablo YÖ.8. Ulaşım sektörünün modellenmesinde binek araçlarla ilgili kullanılan varsayımlar

Yıl	Baz Senaryo				Net Sıfır Senaryosu			
	Motorizasyon Oranı (binde)	E-Binek Araç Sayısı (Milyon)	E-Binek Araçların Toplam Binek Araçlar İçindeki Payı (%)	Seyahat davranış değişikliği (%)	Motorizasyon Oranı (binde)	E-Binek Araç Sayısı (Milyon)	E-Binek Araçların Toplam Binek Araçlar İçindeki Payı (%)	Seyahat davranış değişikliği (%)
2030	340	1,9	10	0	340	3,8	20	0
2050	408	9,7	33	0	408	19,4	66	5
2070	400	21,3	66	0	-	-	-	-

Tablo YÖ.9. Ulaşım sektörünün modellenmesinde toplu taşıma ve yük taşımacılığında elektrik ve yeşil hidrojen kullanan araçların toplam araç sayısına oranıyla ilgili kullanılan varsayımlar (%)

Yıl	Baz Senaryo			Net Sıfır Senaryosu		
	Toplu Taşımada E-araçların Toplam Araçlara Oranı	Yük Taşımada E-araçların Toplam Araçlara Oranı	Yeşil Hidrojenli Ağır Vasıtaların Toplam Ağır Vasıtalara Oranı	Toplu Taşımada E-araçların Toplam Araçlara Oranı	Yük Taşımada E-araçların Toplam Araçlara Oranı	Yeşil Hidrojenli Ağır Vasıtaların Toplam Ağır Vasıtalara Oranı
2030	5	5	0	10	10	0
2050	10	10	0	20	20	5
2070	20	20	0	-	-	-

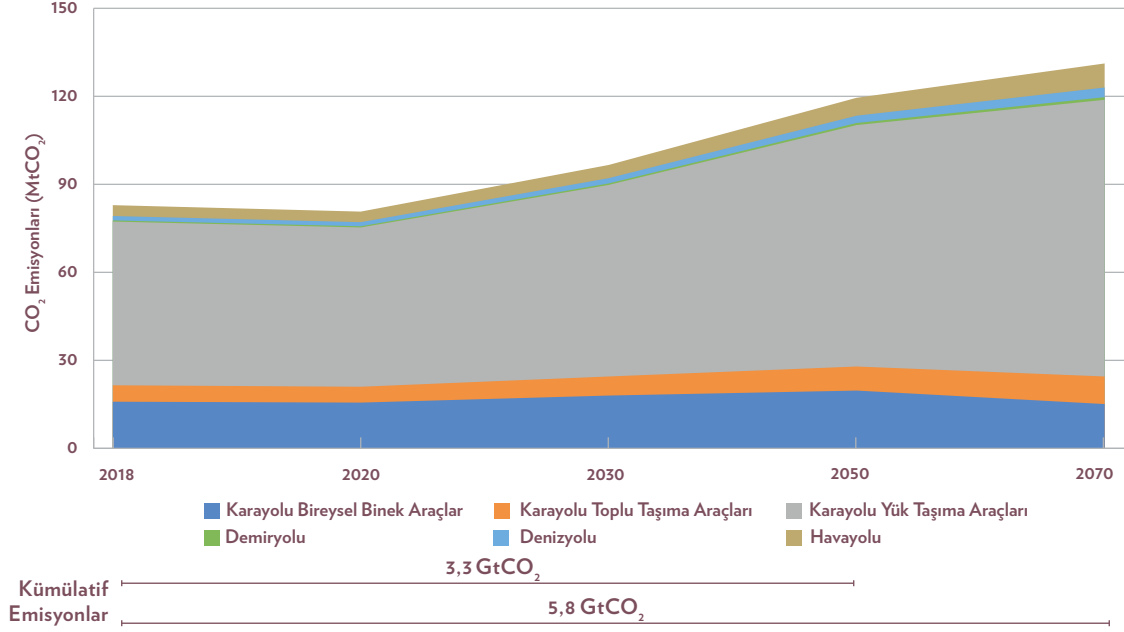
Tablo YÖ.10. Ulaşım sektörünün modellenmesinde karayolundan raylı sisteme geçiş oranıyla ilgili kullanılan varsayımlar (%)

Yıl	Net Sıfır Senaryosu		
	Karayolunda Bireysel Araçlardan Raylı Toplu Taşımaya Geçiş Oranı	Karayolu Toplu Taşıma Araçlarından Raylı Toplu Taşımaya Geçiş Oranı	Karayolunda Yük Taşımadan Raylı Yük Taşımaya Geçiş Oranı
2030	5	10	10
2050	15	50	50

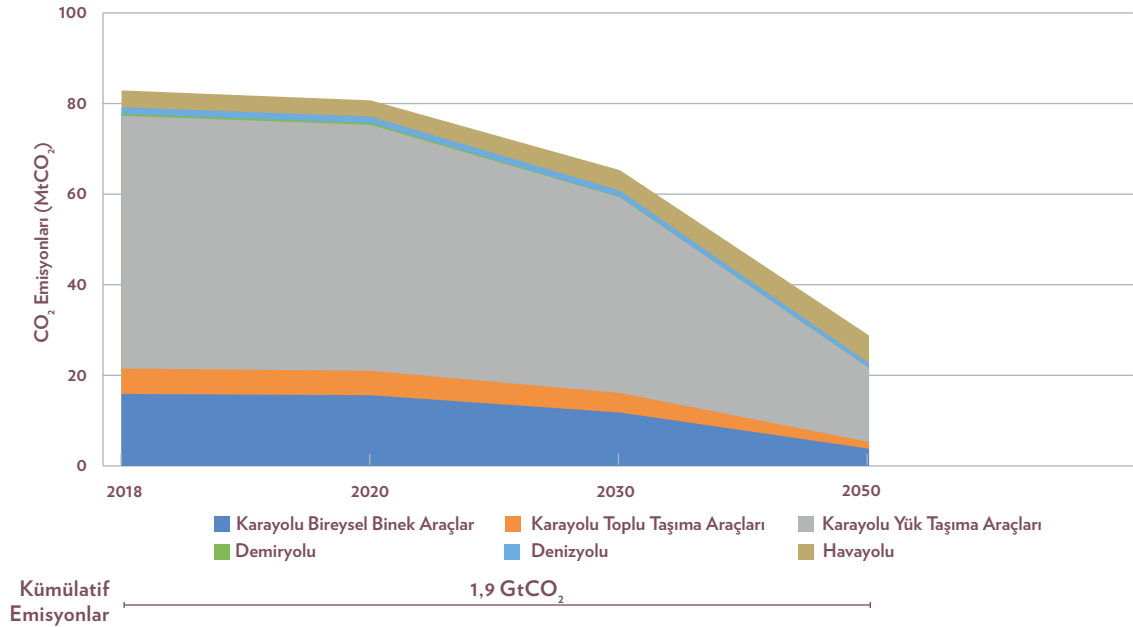
2018'de 83 milyon ton olan ulaşım sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonları 2030'da 97 milyon tona, 2050'de 120 milyon tona ve 2070'te 131 milyon tona çıkarken, Net Sıfır Senaryosu'nda 2030'da 65 milyon tona ve 2050'de **29 milyon tona** düşmektedir. Ulaşım sektöründe CO₂ emisyonlarının

en büyük kısmı karayolu yük taşımacılığında kaynaklanmaktadır. Baz Senaryo'da ve Net Sıfır Senaryosu'nda ulaşım sektöründe emisyonların seyri ve ulaşım araçlarının payları Şekil YÖ.14 ve YÖ.15'te görülmektedir.

Şekil YÖ.14. Baz Senaryoda ulaşım sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonlarının 2018-2070 arasında artışı ve kümülatif emisyon düzeyi



Şekil YÖ.15. Net Sıfır Senaryosunda ulaşım sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonlarının 2018-2050 arasındaki seyri ve kümülatif emisyon düzeyi



4.3. BİNALAR

Sektörler arasında en yüksek azalma binalardan kaynaklanan emisyonlardadır. Binalardan kaynaklanan CO₂ emisyonları 2030'da 2018 seviyesine oranla %46 azalarak 28 milyon tona inmekte ve 2050'de **sıfırlanmaktadır**. (Tablo YÖ.11 ve Şekil YÖ.16)

Tablo YÖ.11. Baz Senaryoda ve Net Sıfır Senaryosunda 2018, 2030, 2040 ve 2050'de binalardan kaynaklanan CO₂ emisyonları (MtCO₂).

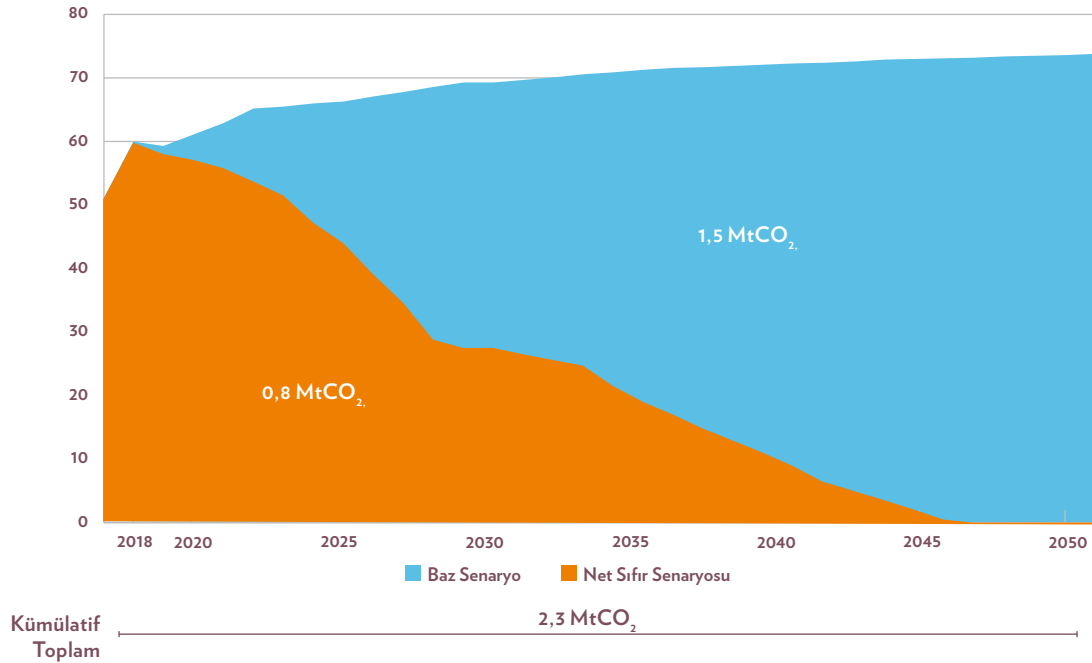
Yıl	Baz Senaryo	Net Sıfır Senaryosu
2018	50,9	50,9
2030	69,3	27,5
2040	72,3	8,9
2050	73,8	0,0

Net Sıfır Senaryosu'nda bu azaltımı sağlayan en önemli müdahale, **2030** yılından itibaren konutlarda ve ticari/kurumsal binalarda ısınma amaçlı kömür ve sıvı yakıt kullanımının sonlandırılması ve kısmen doğal gaz, büyük ölçüde elektrikle ısınmaya geçilmesidir.

Binalarda doğal gaz ve LPG tüketimi de 2030'a kadar konutlarda %13, ticari/kurumsal binalarda %21 azaltıldıktan sonra **2040'larda** sonlandırılmaktadır. Binalarda fosil yakıtlar yerine büyük ölçüde elektrik kullanılmaktadır.

Ayrıca 2035'ten sonra sisteme doğal gaz yerine küçük ölçekte yeşil hidrojen katılmaya başlandığı ve özellikle 2045'ten sonra artarak binalarda ısınma vb. için 2050'de 10 TWh'ye eşdeğer yeşil hidrojen kullanıldığı da varsayılmıştır.

Şekil YÖ.16. Baz Senaryoda ve Net Sıfır Senaryosunda karşılaştırmalı olarak binalardan kaynaklanan CO₂ emisyonları (MtCO₂)



4.4. SANAYİ VE DİĞER ÜRETİCİ SEKTÖRLER

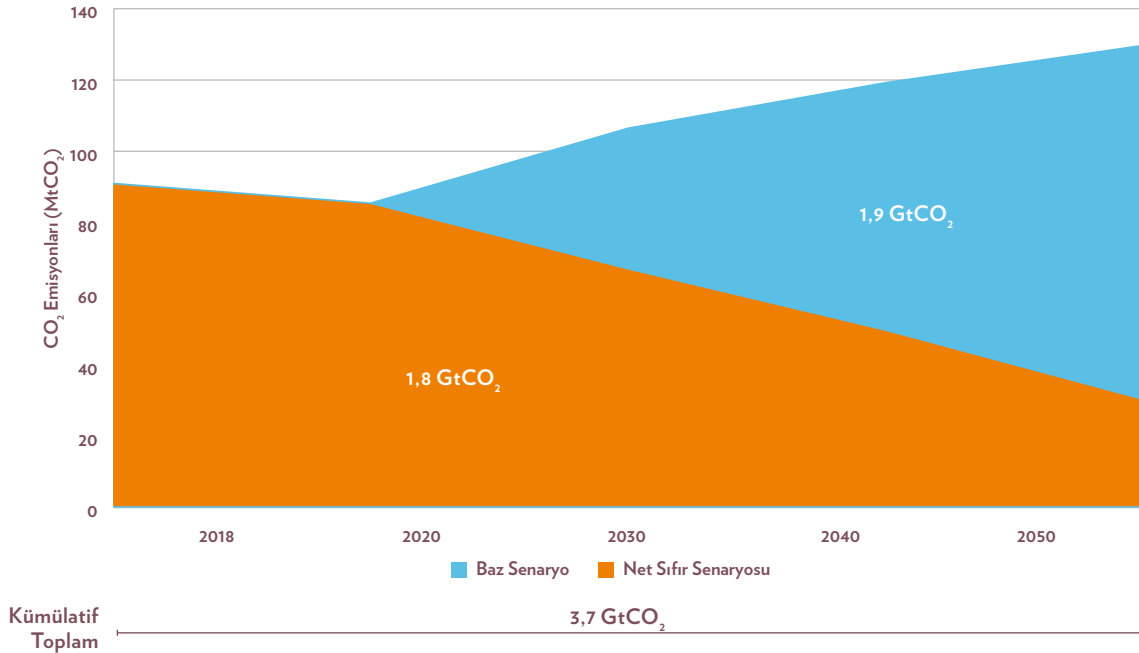
Sanayi ve diğer üretici sektörlerde (tarım ve hizmetler) enerji tüketiminden kaynaklanan emisyonlar kısa vadede tüm sektörlerin toplamına yakın, uzun vadede ise daha yavaş azaltılabilmektedir. Sanayi ve diğer üretici sektörlerde enerjiden kaynaklanan CO₂ emisyonları 2030'da 2018 seviyesine oranla %22 azaltarak 60 milyon tona, 2050'de ise %61 azalarak 30 milyon tona inmektedir. (Şekil YÖ.17)

Sınırlı emisyon azaltımı sağlayacak müdahale varsayımları altında proses emisyonlarında ise ciddi bir azalma görülmemekte, ancak artış sınırlandırılabilir. Böylece sanayi proses-

lerinden kaynaklanan CO₂ emisyonları 2030'da 2018 seviyesinin %3 üzerine çıkarak 62 milyon ton olmakta, 2050'de ise %4'e yakın azalarak 58 milyon tona inmektedir. Ancak bu değerler yine de Baz Senaryo'da görülen değerlerin 2030'da %16, 2050'de ise %46 altındadır.

Yüksek Enerji Yoğunluklu Sanayi (YES) ve Düşük Enerji Yoğunluklu Sanayi (DES) sektörleri ile Tarım (TAR) ve Hizmetler (HİZ) sektörlerinde emisyonların azalmasına neden olan talep değişimi, enerji verimliliği, elektrifikasyon ve doğrudan yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili Senaryo'da ve Net Sıfır Senaryosu'nda kullanılan varsayımlar Tablo YÖ.12, YÖ.13, YÖ.14 ve YÖ.15'te gösterilmiştir.

Şekil YÖ.17. Baz Senaryoda ve Net Sıfır Senaryosunda karşılaştırmalı olarak sanayi ve diğer üretici sektörlerde enerjiden kaynaklanan CO₂ emisyonları (MtCO₂)



Tablo YÖ.12. Yüksek Enerji Yoğunluklu Sanayi (YES) sektörlerinde yıllar içinde varsayılan talep değişimi

YES Sektörleri	Baz Senaryo					Net Sıfır Senaryosu			
	2020	2030	2040	2050	2070	2020	2030	2040	2050
Metaller Hariç Madenler: Çimento, vb	1,00	1,29	1,56	1,84	2,51	1,00	1,12	1,08	1,00
Demir-Çelik	1,00	1,34	1,64	1,94	2,60	1,00	1,18	1,15	1,12
Enerji Yoğun Üretici Sektörler	1,00	1,34	1,66	1,99	2,74	1,00	1,32	1,30	1,30

Tablo YÖ.13. Tüm üretici sektörlerde (Enerji hariç) yıllar içinde Baz Senaryoda ortalama enerji verimliliğinde varsayılan artış oranı (2018 TL/TEP) ve Net Sıfır Senaryosunda Baz Senaryoya göre ortalama enerji verimliliğinde varsayılan artış oranı (2018 TL/TEP)

Sektörler	Baz Senaryo				Net Sıfır Senaryosu		
	2030	2040	2050	2070	2030	2040	2050
YES	0,62	0,60	0,00	0,93	1,73	1,53	1,02
DES	0,34	1,06	1,36	2,00	3,37	1,50	1,01
TAR	0,24	0,34	0,26	0,56	4,22	1,05	1,17
HİZ	0,00	0,00	0,12	0,74	3,93	1,05	1,17

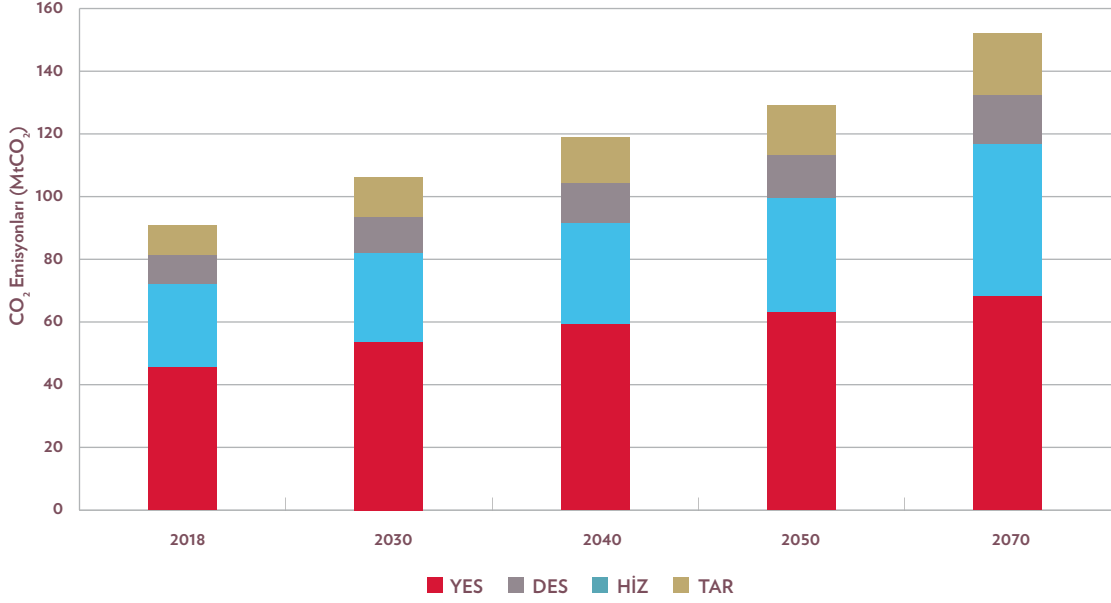
Tablo YÖ.14. Tüm üretici sektörlerde (Enerji hariç) yıllar içinde elektriğin toplam enerji içindeki oranında varsayılan değişim (%)

Sektörler	Baz Senaryo					Net Sıfır Senaryosu			
	2018	2030	2040	2050	2070	2018	2030	2040	2050
YES	23,2	23,3	24,7	25,9	27,1	23,2	24,0	26,0	26,0
DES	47,2	49,3	50,9	52,5	55,5	47,2	50,0	60,0	73,0
TAR	20,2	20,5	21,2	21,8	21,2	20,2	25,0	30,0	40,0
HİZ	55,9	57,7	59,4	61,1	63,9	55,9	60,0	60,0	73,0

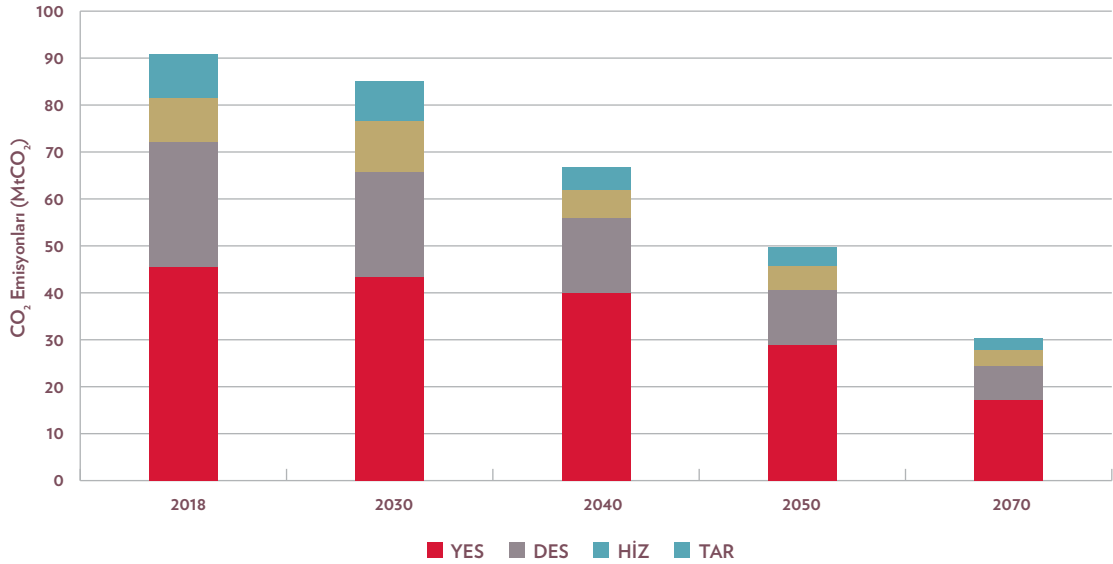
Tablo YÖ.15. Net Sıfır Senaryosunda tüm üretici sektörlerde (YES ve Enerji hariç) yıllar içinde doğrudan kullanılan yenilenebilir kaynakların toplam enerji içindeki oranında varsayılan değişim (%)

Sektörler	Net Sıfır Senaryosu			
	2018	2030	2040	2050
DES	-	12,0	15,0	18,0
TAR	14,0	16,0	20,0	25,0
HİZ	-	5,0	5,0	5,0

Şekil YÖ.18. Baz Senaryoda sanayi ve diğer üretici sektörlerde enerji tüketiminden kaynaklanan emisyonlar (MtCO₂)



Şekil YÖ.19. Net Sıfır Senaryosunda üretici sektörlerin (Enerji hariç) ve toplam enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarında azalma (MtCO₂)



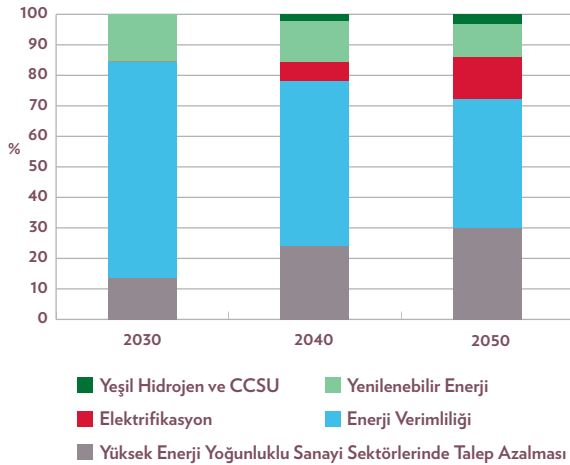
Sanayide, tarımda ve hizmetler sektöründe enerji tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları Baz Senaryo'da ve Net Sıfır Senaryosu'nda Tablo YÖ.16'da ve sektörlere göre dağılımı Şekil YÖ.18 ve YÖ.19'da gösterilmiştir.

Tablo YÖ.16. Net Sıfır Senaryosunda üretici sektörlerde enerji tüketiminden kaynaklanan toplam emsionların azalması (MtCO₂)

Senaryolar	2018	2020	2030	2040	2050
Baz Senaryo	90,7	85,2	106,1	118,8	129,2
Net Sıfır Senaryosu	90,7	85,2	66,8	49,6	30,2

Net Sıfır Senaryosu'nda sanayi ve diğer üretici sektörlerde enerji tüketiminden kaynaklanan emisyonlardaki azalmanın hangi değişikliklerden (talep, enerji verimliliği, elektrifikasyon, yenilenebilir kaynaklar ve yeşil hidrojen/CCSU) kaynaklandığı Şekil YÖ.20'de görülmektedir.

Şekil YÖ.20. Net Sıfır Senaryosu'nda azaltım yollarının emisyonlardaki azalmaya etkisi



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'nin mevcut Net Sıfır hedefine nasıl ulaşacağına ve güncellenmesi beklenen Ulusal Katkı Beyanı'nın içeriğine dair yayımlanmış ilk çalışma olan bu raporun sonuçlarına göre, Türkiye ekonomisinin fosil yakıtlar terk edilerek, yenilenebilir enerjiye geçilerek, enerji verimliliği ve ilgili sektörlerde elektrifikasyon yoluyla 30 yıl içinde büyük ölçüde karbonsuzlaştırılması ve 2050'lerin başında Net Sıfır hedefine yaklaşılması mümkündür. Bu raporda kullanılan varsayımlarda mevcut ekonomik yapının temel nitelikleri korunmakta, ağırlıklı olarak enerji dönüşümü ve karbonsuz teknolojilere yapılacak yatırımlara dayanan politika değişikliklerinin sonuçları gösterilmektedir. Bunun için orta ve uzun vadede net ve ölçülebilir hedefler konmalıdır.

Bu çalışmanın sonucu olarak;

- 1 | Türkiye'nin 1990'dan itibaren yaklaşık %130 artan emisyonları 2018 yılında tepe noktasına çıktıktan sonra azalmaya başlamakta ve 2050'de Baz Senaryo'da öngörüldüğü gibi 700 milyon ton yerine Net Sıfır Senaryosu'nda 2018'e göre %70 azaltımla 132 milyon tona düşmekte ve 1990 seviyesinin %13 altına inmektedir. 2050'de kalan artık emisyon düzeyi sanayi prosesleri dahil edilmediğinde 2018 seviyesine göre %80 azalarak 74 milyon tona düşmekte ve 1990 seviyesinin %43 altına inmektedir.
- 2 | Tüm sektörlerde enerjiden kaynaklanan karbondioksit emisyonları 2030'da 2018 seviyesine göre %37, bütün karbondioksit emisyonları ise 2030'da 2018 seviyesine göre %32 azaltılabilir.
- 3 | Elektrik üretiminin en hızlı azaltım sağlayacak sektör olmasından hareketle elekt-

rik sektöründen kaynaklanan emisyonların 2030'da yarıya indirilmesi hedeflenebilir.

- 4 | Enerji üretiminde kömürün 2035'te tamamen terk edilmesi hedeflenebilir.
- 5 | Elektrik üretiminde doğal gaz, şebeke esnekliğiyle ilgili daha iddialı çözümler üretmek yoluyla 2050'den önce tamamen terk edilebilir.
- 6 | Modern yenilenebilir enerji (rüzgâr, güneş, jeotermal ve biyokütle) kurulu gücünün elektrik kurulu gücündeki payı 2030'da %50'ye çıkarılabilir.
- 7 | 2030'a kadar her yıl ortalama 3 GW güneş ve 2,5 GW rüzgâr enerjisi santrali yapılarak 2030'da her iki yenilenebilir enerji kurulu gücünün yaklaşık 35 GW'ye ulaştırılması hedeflenebilir.
- 8 | Elektrikli araçların toplam binek araçları arasındaki oranının 2030'da en az %20'ye, toplu taşımada ve yük taşımada kullanılan araçlar arasındaki oranının en az %10'a çıkarılması hedeflenebilir.
- 9 | Binalarda kömür kullanımının en kısa zamanda sonlandırılması, doğal gazdan elektrığe geçilmesi ve ısı pompalarının kullanımının hızlandırılması yoluyla 2030'da 2018 seviyesine göre %50 emisyon azaltımı hedeflenebilir.
- 10 | Sanayi ve diğer üretici sektörlerin enerji tüketiminden kaynaklanan emisyonları 2018 seviyesine göre 2030'da %26, 2050'de %67 azaltılabilir, ancak sanayi proseslerinden kaynaklanan emisyonların azaltılabilirliği ve tüm sanayi emisyonlarının daha hızlı

düşürülmesi için enerji verimliliği, elektrifikasyon, yeni teknolojiler, yeşil hidrojen ve CCSU konusunda araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada öngörülen varsayımların etkisiyle 2050'de tam olarak net sıfır hedefine ulaşılamamaktadır. Bunun nedenleri şöyle sıralanabilir:

- 1| Diğer ülkelerde yapılan benzer çalışmalarda varsayımlara daha yüksek düzeylerde katılan Karbon Yakalama ve Gömme (CCSU) gibi negatif emisyon teknolojilerine enerji sektöründe hiç yer verilmemiş, yüksek enerji yoğunluklu sanayi sektörleri için de çok düşük oranlarda kullanılacağı varsayılmıştır.
- 2| Yeni ve henüz yeterince gelişmemiş teknolojilere modelde fazla yer verilmemiştir. Örneğin sanayi, ısınma ve ulaşımda yeşil hidrojen kullanımı, ağır vasıtalarda elektrifikasyon gibi petrol kullanımının alternatifleri, havacılıkta alternatif yakıtlar, sanayide alternatif üretim teknikleri modele çok düşük oranlarda dahil edilmiştir. Bireysel ulaşımda elektrikli araç kullanımı da gelişmiş ülkelerdeki öngörülerden daha yavaş artırılmıştır.
- 3| Başta tüketimin azaltılması olmak üzere ekolojik yönde bireysel davranış değişiklikleri modele çok düşük oranlarda dahil edilmiştir. Motorlu taşıt kullanmamak, uzun mesafeli tatilleri azaltmak, uzun mesafeli yük taşımayı gerektirecek gıda tüketimini azaltmak, beslenme biçimini değiştirmek, elektrik tüketimini tamamen veya belli saatlerde kısıtlamak gibi emisyonları azaltabilecek yaşam biçimi değişikliklerine modelde ya hiç verilmemiş ya da seyahat davranış değişikliği başlığında görüldüğü gibi çok düşük oranlarda yer verilmiştir.
- 4| Net Sıfır Senaryosu'nda, ulusal ekonomide bir karbon fiyatlaması olması durumunda

ekonominin yaşayabileceği yapısal değişiklik modellenmemiş, Baz Senaryo altındaki üretim yapısı, sektörel paylar vb. büyük ölçüde korunmuştur. Bu nedenle örneğin sera gazı emisyonlarında önemli etkiye sahip (çimento, demir-çelik vb. sektörler nedeni ile) inşaat sektörü küçültülmemiş, ancak uluslararası öngörülere uygun olarak büyümesi kısıtlanmıştır.

2050'de kalan toplam artık emisyonun en büyük kısmı sanayi proseslerinden, enerji tüketiminden kaynaklanan artık emisyonun en büyük kısmı ise sanayiden ve ulaşımdan kaynaklanmaktadır. Elektrik sektöründen sadece 15 milyon ton artık emisyon kalmakta, binalardan kaynaklanan emisyonlar ise sıfırlanmaktadır. Bu nedenle 2050'de emisyonların tam olarak Net Sıfır'a düşürülmesi için mevcut Net Sıfır Senaryosu'ndaki varsayımların üzerine aşağıdaki politikalar eklenebilir:

- 1| Uluslararası dinamiklere paralel olarak uygulanabilecek bir karbon fiyatlama stratejisiyle ekonomide emisyon yoğunluğunu azaltarak, üretim yapısının yüksek katma değerli ve düşük emisyon yoğunluklu bir yönde dönüşmesinin sağlanması;
- 2| Ulaşım sektöründe karayolu yük taşımacılığında demiryoluna geçiş, ağır vasıtalarda daha fazla elektrifikasyon, enerji verimliliği önlemlerinin azami düzeyde uygulanması, bireysel ulaşımda tüm binek araçların 2050'ye kadar elektrikli hale getirilmesi ve petrol kullanımının sonlandırılacağı bir çıkış yılı belirlenmesinin yanı sıra toplu ulaşımda daha fazla demiryolu kullanımı, bireysel araç kullanımı yerine elektrikli toplu ulaşım, bisiklet vb. gibi karbonsuz yöntemlere geçiş ve uçak seyahatlerini azaltmak gibi bireysel davranış değişiklikleri;
- 3| Sanayide enerji tüketimini ve proses emisyonlarını azaltacak yeni teknolojilerin ge-

liştirilmesi, daha fazla yenilenebilir kaynak kullanımı ve elektrifikasyon, döngüsel ekonomi yaklaşımlarının, hammadde tüketiminde verimliliğin, geri dönüşüm ve sıfır atık yöntemlerinin kullanılması;

- 4 | Sanayide yüksek enerji yoğunluklu sektörlerin ürünlerine (çimento, demir çelik gibi) talebi azaltacak alternatif malzemelerin kullanımı;
- 5 | Ulaşım, sanayide ve binalarda yeşil hidrojen kullanımının daha hızlı artırılması;
- 6 | Şebekede esneklik ihtiyacı için, depolama sistemleri ve entegrasyon hatları üzerinden piyasa birleştirme mekanizmaları dışında, talep birleştirme mekanizmaları ile destekli talep yönetimi, yenilenebilir santrallerden sıcak rezerv sağlanması gibi yöntemler de kullanılarak, doğal gaz santrallerinin emre amade tutulmasının önlenmesi ve doğal gazdan arta kalan emisyonların 2050'den önce sıfırlanması;
- 7 | Yüksek enerji yoğunluklu sanayilerde CCUS kullanımı ve 2050'ye doğru yeni geliştirilecek negatif emisyon teknolojilerinin devreye sokulması.

Bu çalışmanın en önemli kısıtlarından biri de bütün sera gazlarını kapsamaması ve ekonomi genelinde emisyon azaltımını öngörmemesidir. Sera gazları içinde CO₂ dışındaki en önemli paya sahip olan CH₄ ve N₂O emisyonlarının azaltılması için sadece fosil yakıt kullanımında ve sanayide alınacak önlemler yeterli değildir. Özellikle tarımdan kaynaklanan emisyonların azaltılması ve atıkların kontrolü için politikalar geliştirilmelidir. Türkiye'nin ekonomi genelinde sera gazı emisyonları azaltım hedefini belirlemek ve 2050'lerde net sıfır sera gazı emisyonu hedefini yakalayabilmek için CO₂ dışındaki sera gazlarının nasıl azaltılacağını da modelleyen çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmanın içerdiği

azaltım patikasını da kapsayan senaryoların da farklı metodoloji ve varsayımlarla tekrar tekrar çalışılması, dönüşümün maliyet ve yan faydalarını belirleyen araştırmaların da yapılması ve çalışma sonuçlarının şeffaf biçimde kamuoyuyla paylaşılması önemlidir. Türkiye'nin iklim politikaları ancak bilimsel çalışmalara dayalı olarak ve müzakereci bir politika yapım süreciyle iyileştirilebilir.

İPM

İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ
SABANCI ÜNİVERSİTESİ
STIFTUNG MERCATOR GİRİŞİMİ

İstanbul Politikalar Merkezi
Bankalar Caddesi No: 2 Minerva Han 34420
Karaköy, İstanbul Türkiye

 +90 212 292 49 39

 +90 212 292 49 57

@ ipc@sabanciuniv.edu

w ipc.sabanciuniv.edu