



**NET SIFIR 2053: TÜRKİYE'DE
KARBONSUZ ENERJİYE GEÇİŞİN
SOSYOEKONOMİK ETKİLERİ**

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi Hakkında

Avrupa İklim Vakfı (ECF), Agora Energiewende ve İstanbul Politikalar Merkezi (IPC) tarafından Sabancı Üniversitesi'nde kurulan SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, yenilikçi bir enerji dönüşümü platformu aracılığı ile enerji sektörünün karbonsuzlaşmasına katkıda bulunmaktadır. Türkiye enerji sektörünün teknolojik, ekonomik ve politik boyutlarının tartışılması için sürdürülebilir ve geniş çapta tanınan bir platform ihtiyacını karşılamak için çalışmaktadır. SHURA, gerçeklere dayalı analizleri ve bulunabilen en doğru verileri kullanarak enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji vasıtasıyla düşük karbonlu bir enerji sistemine geçiş üzerindeki tartışmaları desteklemektedir. Birçok paydaşın konuya ilişkin bütün bakış açılarını dikkate alarak bu geçişin ekonomik potansiyeli, teknik fizibilitesi ve ilgili politika araçlarına yönelik bir anlayışın oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır.

Yazarlar: Iannis Charalampidis (E3M Modelling) ve Yael Taranto (SHURA)

Teşekkürler

Raporun hazırlanmasında, modellemede ve sonuçların incelenmesinde destek ve danışmanlık sağlayan Leonidas Paroussos'a (E3M Modelling) teşekkür ederiz. Prof. Dr. Erinç Yeldan (Kadir Has Üniversitesi), Gülay Dinçel (İktisatçı/Kıdemli Danışman), Karin Kiritzinger (Agora Energiewende) ve Prof. Dr. Sevil Acar (Boğaziçi Üniversitesi) çalışma ve raporun çeşitli aşamalarında taslak metinleri inceleyerek geri bildirimde bulunmuştur. Alkım Bağ Güllü (SHURA), Hasan Aksoy (SHURA) ve Selahattin Hakman (SHURA Yönlendirme Komitesi Başkanı) rapor metinlerini inceleyerek yönlendirme ve geri bildirim sağlamıştır. Sağlanan tüm inceleme, görüş ve geri bildirimler için teşekkür ederiz.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, ECF'in bu rapor için sağladığı cömert finansmana müteşekkirdir. Bu rapor, www.shura.org.tr sitesinden indirilebilir.

Daha ayrıntılı bilgi almak veya geri bildirimde bulunmak için info@shura.org.tr adresinden SHURA ekibiyle temasa geçiniz.

Tasarım

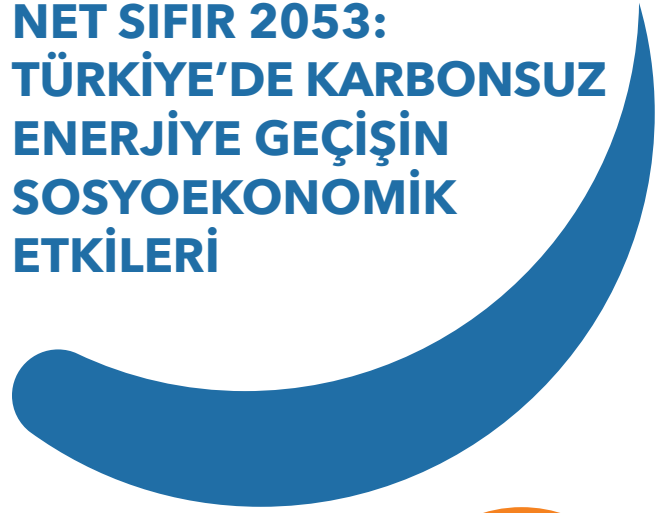
Tasarımhane Tanıtım Ltd. Şti.

Telif Hakkı © 2024 Sabancı Üniversitesi

Sorumluluk Reddi

Bu rapor ve içeriği, çalışma kapsamında göz önünde bulundurulmuş kabuller, senaryolar ve 2023 yıl sonu itibarıyla mevcut olan piyasa koşulları doğrultusunda hazırlanmıştır. Bu kabullerin, senaryolar ve piyasa koşullarının değişime açık olması nedeniyle, rapor kapsamındaki gelecek dönem öngörülerinin, gerçekleşecek sonuçlarla aynı olacağı garanti edilemez. Bu raporun hazırlanmasına katkı yapan kurum ya da kişiler, raporda sunulan öngörülerin gerçekleşmemesi ya da farklı şekilde gerçekleşmesinden dolayı oluşabilecek ticari kazanç ya da kayıplardan sorumlu tutulamazlar.

**NET SIFIR 2053:
TÜRKİYE'DE KARBONSUZ
ENERJİYE GEÇİŞİN
SOSYOEKONOMİK
ETKİLERİ**



İÇİNDEKİLER

Şekil Listesi	3
Tablo Listesi	4
Kısaltmalar	5
Ana Mesajlar	6
Yönetici Özeti	7
Senaryolar	7
Etki Özeti	9
1. Giriş	15
2. Yaklaşım ve Metodoloji	18
2.1. Sera gazı emisyon azaltımı ve ekonomik faaliyet: Literatürün incelenmesi	19
2.2. GEM-E3M modeli	23
3. Senaryo Tasarımı	25
3.1. Baz senaryo	26
3.2. Net Sıfır 2053 senaryosu (NZ2053) ve NETZERO senaryoları	29
3.3. Makroekonomik değerlendirme	33
3.3.1. NETZERO finansman kurguları	33
3.3.2. NETZERO iş gücü piyasası uyum senaryoları	34
3.4. Yatırım matrisi	34
4. Senaryoların Sonuçları	36
4.1. NETZERO	37
4.2. Duyarlılık analizi	43
4.2.1. Finansmanın rolü	43
4.4.2. Ücretlerin rolü	46
5. Genel Etki ve Fayda-Maliyet Analizi	48
5.1. Genel fayda-maliyet analizi	52

6. Sonuç	53
Ekler	57
7.1. GEM-E3M modeline ilişkin ek bilgi	57
7.2. Kapsam dâhilindeki sektörler	59
7.3. Sonuçlar NETZERO	62
7.4. Sağlık, çevre ve iklim değişikliği etkileri	65
Kaynakça	67

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Baz senaryoda GSYİH ve başlıca makroekonomik göstergelerin yıllık büyüme oranları	26
Şekil 2. Baz senaryoda makroekonomik göstergeler ve Türkiye'nin GSYİH'sine katkıları	27
Şekil 3. Baz senaryoda sektörel üretimin toplam yurt içi üretim içindeki payı (%)	28
Şekil 4. Baz senaryoda seçili sektörlerin imalat sanayi üretimi içindeki payı (%)	28
Şekil 5. Baz senaryoda temel demografik göstergeler ve toplam iş gücü piyasası göstergeleri	29
Şekil 6. NZ2053'te elektrik üretiminin kaynaklara ve teknolojilere göre dağılımı (%)	31
Şekil 7. NETZERO senaryosunda baz senaryoya kıyasla GSYİH üzerindeki kümülatif etki (2021-2055)	38
Şekil 8. NETZERO senaryosunda baz senaryoya kıyasla sektörel üretimin değişimi	39
Şekil 9. NETZERO senaryosunda baz senaryoya kıyasla geleneksel ve temiz enerji imalat sektörlerinin değişimi	40
Şekil 10. NETZERO senaryosunda baz senaryoya kıyasla sektörel ithalatın değişimi	41
Şekil 11. Sektör bazında istihdamda değişim (baz senaryoya kıyasla)	42
Şekil 12. Baz senaryoya kıyasla iş gücü gruplarının gelir değişimi (%)	43
Şekil 13. Alternatif finansman kurgularının baz senaryoya kıyasla GSYİH değişimindeki etkileri	44
Şekil 14. Alternatif finansman kurgularının baz senaryoya kıyasla başlıca GSYİH göstergelerindeki kümülatif etkisi (2021-2053)	45
Şekil 15. Alternatif finansman kurgularının baz senaryoya kıyasla imalat sanayi üretimindeki kümülatif etkisi (2021-2055)	46
Şekil 16. Yapışkan ücretlerle birlikte alternatif finansman kurgularının baz senaryoya kıyasla başlıca GSYİH göstergelerindeki kümülatif etkisi (2021-2053)	47
Şekil 17. Yapışkan ücretlerle birlikte alternatif finansman kurgularının baz senaryoya kıyasla başlıca imalat sanayi üretimindeki kümülatif etkisi (2021-2053)	48
Şekil 18. GEM-E3 ekonomik devresi	58

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. İklim ve enerji politikalarının GSYİH üzerindeki etkileri - İlgili çalışmaların gözden geçirilmesi	20
Tablo 2. NZ2053 senaryosunda enerji üretimindeki yıllık yatırım harcamaları (milyar ABD\$)	32
Tablo 3. NZ2053 senaryosunda enerji verimliliği harcamaları (milyar ABD\$)	32
Tablo 4. NZ 2053 senaryosunda kara yolu trafiğindeki binek araçların motor tipine göre payları (%)	33
Tablo 5. Yatırım matrisi (%)	35
Tablo 6. NETZERO ana senaryosunun baz senaryoyla karşılaştırmalı etki özeti	50
Tablo 7. NETZERO senaryoları baz senaryo ile karşılaştırmalı kümülatif etki aralığı (2021-2055)	51
Tablo 8. NETZERO senaryosunun baz senaryo ile karşılaştırmalı fayda-maliyet analizi (milyar ABD\$ 2014)	52
Tablo 9. Sektörlerin dökümü	60
Tablo 10. Baz senaryoya kıyasla temel makroekonomik göstergelerdeki değişim (milyar ABD\$)	62
Tablo 11. Baz senaryoya kıyasla belirli sektörlerin üretimindeki değişim (milyar ABD\$)	63
Tablo 12. Baz senaryoya kıyasla belirli sektörlerdeki istihdam rakamlarında değişim (bin kişi)	64

KISALTMALAR

€	Euro
AB	Avrupa Birliği
ABD\$	Amerika Birleşik Devletleri Doları
AR-GE	Araştırma ve Geliştirme
BAU	Olağan Durum (Business as Usual)
BEV	Bataryalı Elektrikli Araçlar (Battery Electric Vehicles)
CAPEX	Yatırım Giderleri
CCS	Karbon Yakalama ve Depolama
CGE	Hesaplanabilir Genel Denge (Computable General Equilibrium)
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
GW	Gigavat
ICE	İçten Yanmalı Motorlu Araçlar (Internal Combustion Engine Vehicles)
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (International Renewable Energy Agency)
MWh	Megavat-saat
NZ2053	Net Sıfır 2053
N ₂ O	Nitröz Oksit
OPEX	İşletme Giderleri
PHV	Plug-in hibrit araçlar (Plug-in Hybrid Vehicles)
PV	Fotovoltaik
SAM	Sosyal Muhasebe Matrisi (Social Accounting Matrix)
SAGP	Satın Alma Gücü Paritesi
SKDM	Sınırdaki Karbon Düzenlemesi Mekanizması
STK	Sivil Toplum Kuruluşu
TWh	Teravat-saat
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Ana Mesajlar

- Türkiye için öngörülen net sıfır yol haritası, sadece enerji sisteminde değil, aynı zamanda sanayi yapısında ve ulaşım modlarında da büyük bir dönüşüm anlamına gelmektedir. Bu denli kapsamlı bir değişimin enerji dönüşümü boyutunun, GSYİH ve toplam istihdam üzerindeki etkisinin büyük ölçüde olumlu olacağı; baz senaryoya kıyasla GSYİH düzeyinde %-0,2 ile %2,1 arasında, istihdam düzeyinde ise %1,6 ile %6,2 arasında bir fark yaratacağı öngörülmektedir.
- Enerji dönüşümü yatırımları için orta-uzun vadeli döner finansmanın kullanılması, enerji dönüşümü yatırımlarının diğer sektörlerdeki yatırımları dışlamasını (crowding out) önleyerek, GSYİH ve istihdam üzerindeki olumlu etkileri artıracaktır. Finansmana erişim, enerji dönüşümünün sağladığı faydaların azami düzeye çıkarılmasında kilit bir unsur olacaktır. Dışarıdan finansman sağlanan senaryoda GSYİH kendi kendini finanse eden senaryoya kıyasla %1,6 oranında daha yüksek olacaktır.
- Arz-talep veya gelir dağılımı politikaları yerine sadece beceri ve üretkenlik değişimine dayalı ücret farklılaşması olarak tanımlanabilecek yapışkan veya katı ücretlerin (sticky wages), GSYİH üzerinde %0,6 ilave pozitif etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu ücretlerin uygulandığı senaryoda istihdam %2,9 ila %4,6 bandında artarken, daha yüksek istihdam karşılığında daha düşük ücretlerin arzu edilir olup olmadığı toplumsal açıdan sorgulanabilir. İstihdam ve ücretlerin korunmasına yönelik dikkatle tasarlanmış adil dönüşüm politikalarının, bu sürecin ayrılmaz bir parçası haline getirilmesi gerekmektedir.
- İmalat sanayinde temiz enerji sayesinde elde edilecek üretim kazançları, fosil yakıtlarla ilişkili geleneksel imalat alanlarında yaşanacak kayıpları büyük ölçüde telafi edecek ve bu sayede genel etkinin %-2,2 ila %-0,1 aralığında nispeten düşük bir seviyede kalmasını sağlayacaktır. Finansmana erişim, %1,6 puanlık katkısıyla, olumsuz etkilerin en aza indirilmesinde; stratejik üretim alanlarına ve adil dönüşüm ilkelerine gereken özeni gösteren dengeli bir sanayi politikası ise, işlerliği olan bir sıfır karbon ekonomisine geçişte kilit rol oynayacak olan etmenlerdir.
- Enerji dönüşümünün en görünür etkilerinden biri enerjide ithalata bağımlılığın azaltılması olacaktır. Bu önemli azalmanın, dönüşüm sürecine bağlı olarak artan ekipman ithalatını aşması ve toplamda ticaret dengesi üzerinde GSYİH'nin %1,8'ine eş değer olumlu bir etki yaratması beklenmektedir. Çalışılan senaryolar genel ticaret dengesinin etkilenmeyeceğini göstermektedir, ancak stratejik ticaret ve sanayi politikalarıyla temiz enerji ekipmanlarının ihracatında ek artış, ithalatında ise düşüş, yani daha fazla pozitif etki potansiyeli bulunmaktadır.
- Dönüşümün toplam faydaları, maliyetlerinin yaklaşık iki katına ulaşacaktır. 2021-2055 döneminde yıllık ortalama maliyetin 26 milyar ABD\$, yıllık ortalama faydalarinsa 51,4 milyar ABD\$ olacağı tahmin edilmektedir. Toplam faydaların %55'inden fazlası, önlenen hava kirliliği ve karbon emisyonlarıyla ilgili sosyal refah etkilerinden (sağlık, çevre ve iklim değişikliği) kaynaklanmaktadır.

Yönetici Özeti

2021 yılının Kasım ayında Türkiye, 2053 yılı için net sıfır karbon hedefi ilan etmiştir. Bu hedefe ulaşılması sadece enerji sisteminde değil sanayi, ulaşım, binalar gibi temel son kullanım sektörlerinde de köklü bir dönüşüm gerektirmektedir. Bu kapsamda, 2023 yılının Şubat ayında SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, Türkiye elektrik sisteminin karbonsuzlaşmasına yönelik bir yol haritası içeren *Net Sıfır 2053: Türkiye Elektrik Sektörü İçin Yol Haritası* başlıklı çalışmayı yayımlamıştır. Son kullanım sektörlerinin elektrifikasyonu, net sıfır karbon hedefine ulaşmak için kritik önem taşıdığından ve bu süreç elektrik sistemi planlamasıyla yakından ilişkili olduğundan, yayımlanan yol haritası yalnızca elektrik sektörünü değil, aynı zamanda son kullanım sektörlerinin karbonsuzlaşmasını da kapsamaktadır (SHURA, 2023).

Böylesine köklü bir dönüşümün sosyoekonomik etkilerini değerlendirmek, yalnızca olası olumsuz etkileri azaltmak için değil, aynı zamanda geçişin başarılı olmasını sağlayacak etkili politikaların uygulanması açısından da hayati önem taşımaktadır. SHURA tarafından 2030 yılı için kısmi bir geçiş vizyonu kapsamında önceki çalışmaları ve çeşitli uluslararası araştırmalar düşük karbonlu enerji dönüşümünün gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) ve toplam istihdam üzerindeki etkilerinin küçük ve genellikle pozitif olduğunu göstermektedir (SHURA, 2021). Ancak, yüzyılın ortasına kadar net sıfır emisyon hedefi bağlamında Türkiye'yi merkezi alan daha kapsamlı bir analiz gerekmektedir. Bu çalışma elektrik sisteminin net sıfır karbon dönüşümü doğrultusunda ulusal gelir, istihdam ve sanayi sektörleri üzerindeki etkileri ölçmeyi hedeflemektedir. Böylece dönüşümün faydalarını en üst düzeye çıkarırken olası riskleri minimize eden veya ortadan kaldıran politika eylemlerine rehberlik etmek, ilgili sosyoekonomik konularda daha derinlemesine politika tartışmaları için bir temel oluşturarak, Türkiye için adil ve eşitlikçi bir dönüşümü desteklemek amaçlanmaktadır.

Senaryolar

Türkiye'nin 2053 yılına kadar net sıfır karbon hedefine ulaşmasına yönelik eylem, yatırım ve ana varsayımları kapsayan Net Sıfır 2053 (NZ2053) senaryosu, SHURA'nın *Net Sıfır 2053: Türkiye Elektrik Sektörü İçin Yol Haritası* çalışmasından alınmıştır. Bu çalışma ise NZ2053 senaryosu kapsamındaki dönüşümün sosyoekonomik etkilerini ölçmeyi hedeflemektedir. Bu amaçla Baz Senaryo ile karşılaştırılmak üzere aşağıda ayrıntıları verilen ve duyarlılık analizlerini de kapsayan NETZERO senaryoları oluşturulmuştur (SHURA, 2023).

Baz senaryo: Türkiye'nin yıllık ortalama reel GSYİH büyümesinin 2020-2050 döneminde %3,3 olacağı öngörülmektedir. Nüfusun ise %15 oranında artarak 2055 yılında yaklaşık 100 milyon kişiye ulaşacağı beklenmektedir. Net Sıfır 2053 çalışması bağlamında, referans (baz) senaryo, özellikle imalat sanayi sektörlerinin kompozisyonunda "daha yüksek katma değer ve daha düşük enerji/karbon yoğunluğu" ikili hedefine bizi yaklaştıracak şekilde tasarlanmıştır. Benzer şekilde, baz senaryoda mümkün olan yerlerde kara ve hava taşımacılığı yerine daha az karbon yoğun olan demir yolu ve deniz taşımacılığına ağırlık verilmektedir¹.

¹ Baz senaryo hakkında daha ayrıntılı bilgi için bkz.: <https://shura.org.tr/net-sifir-2053-turkiye-elektrik-sektoru-icin-yol-haritasi/>

Net Sıfır Senaryosu: NZ2053 senaryosuna göre, Türkiye, 2053 yılına kadar net sıfır karbon emisyonu hedefine, fosil yakıtların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ikame edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve son kullanıcı sektörlerde elektrifikasyonun yaygınlaştırılması yollarıyla ulaşabilecektir. Senaryo uyarınca, Türkiye'nin toplam karbon emisyonlarının 2025 yılında zirve yapacağı, 2035 yılına gelindiğinde ise 2025'teki seviyenin %62,8'ine düşeceği görülmektedir. Yine senaryoya göre, 2030 yılında zirveye ulaşan nihai enerji tüketimi, 2053 yılında 2020 seviyelerine geri dönerken, elektrik üretimi ise üç katından fazla artmaktadır.

Baz senaryo hâlihazırda, mevcut sanayi ve ulaştırma yapısında karbonsuzlaşmayı kolaylaştıran bir değişimi kapsadığından, bu rapor kapsamında incelenen net sıfır senaryolar yalnızca enerji dönüşümünün etkisini ölçmektedir.

Gerek baz gerekse net sıfır senaryolarında aynı seviyede olan karbon fiyatlandırmasının, tüm senaryolarda kamu finansmanı üzerinde nötr bir etkiye sahip olacağı varsayılmaktadır. Senaryoların hiçbirinde süreci kolaylaştıracak ek koşullar (döngüsel ekonomi, davranışlarda büyük değişiklikler vb.) öngörülmemektedir.

Hem baz senaryo hem de NETZERO olarak adlandırılan ana varyant net sıfır senaryosu, yatırımların 10 yıl içinde tümüyle geri ödenen %5 faizli kredilerle finanse edileceğinden hareket etmektedir. Hem baz senaryoda hem de NETZERO'da iş gücü piyasalarının esnek olacağı, arz ve talebe uyum sağlayacağı varsayılmaktadır.

Tablo YÖ1'de, bu raporda sosyoekonomik etki analizi kapsamında kullanılan belirli varsayımlara dayalı ana senaryolar ve buna bağlı duyarlılık senaryoları özetlenmiştir:

Tablo YÖ1. Baz senaryo ve net sıfır senaryo varyantlarının özeti

	Baz	NETZERO	NETZERO_FI	NETZERO_CO	NETZERO_TT	NETZERO_TT_FI	NETZERO_TT_CO
Finansman	Geri ödemeli finansman	Geri ödemeli finansman	Döner finansman	Kendi kendini ödeyen yatırım finansmanı	Geri ödemeli finansman	Döner finansman	Kendi kendini ödeyen yatırım finansmanı
İş Gücü Piyasası	Esnek	Esnek	Esnek	Esnek	Yapışkan ücretler	Yapışkan ücretler	Yapışkan ücretler

- **NETZERO ana varyant:** Elektrik üretimi ve şebeke yatırımları, belirli bir faiz oranı üzerinden sonraki dönemlerde geri ödenen kredilerle finanse edilir.
- **NETZERO_FI:** Krediye dayalı, döner finansman senaryosu-simülasyon dönemi içinde geri ödemesiz (sürekli yenilenen) daha yüksek borçlanma.
- **NETZERO_CO:** Kendi kendini finanse etme senaryosu; kredi yerine öz kaynak kullanılır, kaynak kıstıllığı nedeniyle diğer sektörlerdeki yatırımlarda dışlanma etkisi (crowding out) yaşanır.
- **NETZERO_TT:** Geri ödemeli finansman ve yapışkan ücretler.
- **NETZERO_TT_FI:** Yapışkan ücretlerin olduğu krediye dayalı döner finansman senaryosu.
- **NETZERO_TT_CO:** Yapışkan ücretlerin olduğu kendi kendini ödeyen yatırım finansmanı.

Etki özeti

Hem baz hem de Net Sıfır senaryolarında GSYİH, ücretler ve toplam istihdamda 2020-2055 döneminde reel artış görülmektedir. GSYİH 2,7 kat artarken, istihdam edilen kişi sayısı baz senaryoda 6,4 milyon, ana net sıfır senaryosunda ise 6,8 milyon artmaktadır. Bu durumda her iki senaryoda da mutlak anlamda bir kayıp söz konusu değildir. Dönüşümün etkisi, baz senaryo ve net sıfır senaryoları arasındaki fark üzerinden ölçülmektedir.

Tablo YÖ2. NETZERO ana senaryosunun baz senaryoya karşılaştırmalı etki özeti

Baz Senaryo GSYİH'sinin Yüzdesi Olarak*	Kümülatif (2021-2055)	2030	2040	2055
Millî Gelire Etkisi(GSYİH)	%1,4	%0,5	%0,8	%3,0
İmalata Etkisi	%-0,6	%-0,3	%-0,3	%-0,8
Genel Dış Ticaret Dengesi Üzerindeki Etkisi	%0,0	%-0,1	%-0,1	%-0,3
Toplam Enerji Güvenliği Etkisi	%1,8	%0,6	%1,9	%2,4
Sosyoekonomik Refaha Etkisi	%2,4	%0,7	%2,5	%3,3
Ücret Gelirleri	%0,6	%0,0	%0,4	%1,1
Sağlık ve Çevre Üzerindeki Etkisi	%0,7	%0,1	%0,9	%0,7
İklim Değişikliğine Etkisi	%1,1	%0,5	%1,2	%1,4
Baz Senaryodaki Toplam İstihdamın Yüzdesi Olarak**				
NETZERO Sonucu Oluşan Net Ek İstihdam	%1,6	%-0,2	%0,1	%1,4

* İlk sütun NETZERO ile baz senaryodaki kümülatif gösterge arasındaki farkı, baz senaryodaki toplam kümülatif GSYİH'nin yüzdesi olarak göstermektedir. Sonraki üç sütun, net sıfır ve baz senaryolar arasındaki farkı, belirtilen yıldaki baz GSYİH'nin yüzdesi olarak göstermektedir.

** Her sütun, başlangıç yılı ile hedef yıl arasındaki istihdam artışında net sıfır senaryosu ile baz senaryo arasındaki farkı, başlangıç yılındaki istihdamın yüzdesi olarak göstermektedir. Kümülatif ve 2030 sütunları için baz yıl 2020 iken, 2040 sütunu için 2030, 2055 sütunu içinse 2040'tır.

Millî gelire etkisi: GSYİH'deki değişim üzerinden ölçülür. GSYİH üzerindeki etki pozitif olup zamanla da artmaktadır.

İmalata etkisi: İmalattaki katma değer değişimi üzerinden ölçülür. Kümülatif etki negatif yönde küçük bir etki olup 2040 yılından sonra büyüklüğü artmaktadır.

Genel dış ticaret dengesine etkisi: Dış ticaret dengesi, ihracat eksi ithalat şeklinde tanımlanmaktadır. Genel dış ticaret dengesi üzerindeki etki sıfıra yakındır.

Toplam enerji güvenliğine etkisi: Bu rapor bağlamında enerji güvenliği, enerji dönüşümünün bir sonucu olarak gerek enerji gerekse enerji üretim araçları ve ekipmanları için ithalata bağımlılığın azalması olarak tanımlanmaktadır. Enerji güvenliği etkisini ölçmek için kullanılan gösterge, enerji (çoğunlukla fosil yakıtlar) artı temiz enerji üretimi ve tüketimi için kullanılan ekipmanların (bataryalar,

gelişmiş elektrikli cihazlar, gelişmiş ısıtma ve pişirme cihazları, rüzgâr enerjisi ekipmanları, güneş panelleri, hidrojen ve karbon yakalama ve depolama (CCS)) dış ticaret dengesidir (ihracat eksi ithalat). Kümülatif enerji güvenliği etkisi nispeten yüksektir ve zamanla artış göstermektedir.

Sosyoekonomik refah etkisi: Bu rapor bağlamında sosyoekonomik refah etkisi, toplam ücret gelirindeki artış ve fosil yakıtların kullanımıyla ilişkili sağlık riskleri ile iklim değişikliği risklerinden kaçınma olarak tanımlanmaktadır. Toplam ücret geliri üzerindeki kümülatif pozitif etki küçük olsa da zaman içinde artış göstermektedir. Hava kirliliğinin sağlık ve üzerindeki çevre etkileri, SHURA'nın 2021 yılında yayınlanan dışsal maliyet analizine göre hesaplanmıştır (SHURA, 2020). İklim değişikliği etkisi için, Türkiye ile referans bir AB ülkesi arasındaki satın alma gücü paritesine göre kişi başına düşen GSYİH (SAGPGSYİH/kişi) farkına göre uyarlanmış 70€/ton karbon fiyatı kullanılmıştır². Bu oldukça mütevazı dışsal maliyet tahminine rağmen, kayda değer bir etki söz konusu olup zaman içinde de artış görülmektedir.

İstihdama etkisi: Net ilave istihdam farkı ile ölçülen istihdam yaratma üzerindeki kümülatif etki pozitifdir. Bununla birlikte, 2040 yılına kadar olan 20 yıllık döneme özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir. Zira bu dönemdeki net etki sıfıra yakındır.

Tablo YÖ3. NETZERO senaryolarının baz senaryo ile karşılaştırmalı kümülatif etki aralığı (2021-2055)

Baz Senaryo GSYİH'sinin Yüzdesi Olarak	Asgari	Ortalama	Maksimum	En Düşük Senaryo	En Yüksek Senaryo
Millî Gelire Etkisi	%-0,2	%1,4	%2,1	NZ_CO	NZ_TT_FI
İmalata Etkisi	%-2,2	%-0,6	%-0,1	NZ_CO	NZ_TT
Genel Dış Ticaret Dengesi Üzerindeki Etkisi	%-0,5	%0,0	%0,0	NZ_CO	NZ_TT_FI
Toplam Enerji Güvenliği Etkisi	%1,8	%1,8	%1,8	-	-
Sosyoekonomik Refaha Etkisi	%2,2	%2,3	%2,4	NZ_CO	NZ_TT_FI
Baz Senaryodaki Toplam İstihdamın Yüzdesi Olarak					
Kümülatif Net Ek İstihdam	%0,2	%1,6	%6,2	NZ_CO	NZ_TT

² Dışsalılık çalışmasında da olduğu gibi, referans ülke olarak Almanya kullanılmış ve SAGP GSYİH/kişi oranının 2022 yılında %59'dan başlayarak 2055 yılında %85'e ulaşacak şekilde kademeli olarak Almanya'ya yakınsayacağı varsayılmıştır. Ortaya çıkan karbon değeri 2022 yılında 35 €/ton iken, 2055 yılına kadar kademeli olarak 49 €/tona yükselecektir.

Tablo YÖ3, kümülatif etki aralığını ve NETZERO ana varyant senaryosuna göre minimum ve maksimum değerlerin olduğu senaryo koşullarını göstermektedir. Neredeyse tüm durumlarda, maksimum olumlu etki, yapışkan ücretlerle uygulanan krediye dayalı senaryoda elde edilirken, minimum etki esnek ücretlerle birlikte kendi kendini finanse etme durumunda ortaya çıkmaktadır. Ancak, finansmanın GSYİH üzerindeki net etkisi (%1,6), yapışkan ücretlerin etkisinden (%0,7) fazladır³. Öte yandan, yapışkan ücretlerle birlikte uygulanan geri ödemeli kredi finansmanı senaryosu, açık ara en fazla istihdamı yaratmaktadır.

Fayda-maliyet analizi

Tablo YÖ2, dönüşümden etkilenmesi muhtemel başlıca sosyoekonomik alanlar üzerindeki etkilerin boyutunu özetlemektedir. Tablodaki net sosyoekonomik fayda hesabında, sosyoekonomik maliyetler göz önünde bulundurulurken net finansal maliyet dikkate alınmamıştır. Tablodaki rakamlarda, sistem maliyetlerinde yansımaları bulan yeni enerji sisteminin kurulması ve işletilmesinin, yenilenebilir enerji tesisleri, elektrik şebekesi iyileştirmeleri, bataryalar, dijitalleşme vb. alanlarındaki yatırımlardan kaynaklanan ek maliyet hesaba katılmamıştır. Dönüşümün söz konusu faydalarının finansal maliyetleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. TabloES4, dönüşümün yıllık fayda ve maliyet dengesini göstermektedir.

Dönüşümün ulusal gelir kapsamındaki faydaları, ancak GSYİH'deki değişimle ölçülebilir. Genel anlamda toplam faydalar ise, GSYİH dışında kalan faydaları, önlenen hava kirliliği ve karbon emisyonlarıyla ilgili sosyal refah etkilerini de içermektedir. Maliyetler, sistem maliyetleri ile gösterilmektedir.

Tablo YÖ4. NETZERO ana senaryosunun baz senaryo ile karşılaştırmalı fayda-maliyet analizi (milyar ABD\$ 2014)

	Yıllık Ortalama (2020-2055)	2030	2035	2040	2045	2050	2055
Faydalar	51,4	13,8	26,5	46,9	67,2	90,4	114,5
Millî Gelirdeki Değişim	22,5	6,0	9,8	13,0	33,4	54,1	70,8
Sağlık, Çevre ve İklim Değişikliği Etkileri	28,9	7,8	16,7	33,9	33,8	36,3	43,8
Maliyetler	26,0	8,9	15,9	43,5	56,0	45,1	36,0
Sistem Maliyetleri	26,0	8,9	15,9	43,5	56,0	45,1	36,0
Net Fayda	25,4	4,9	10,6	3,4	11,2	45,3	78,5
Fayda/Maliyet	2,0	1,5	1,7	1,1	1,2	2,0	3,2

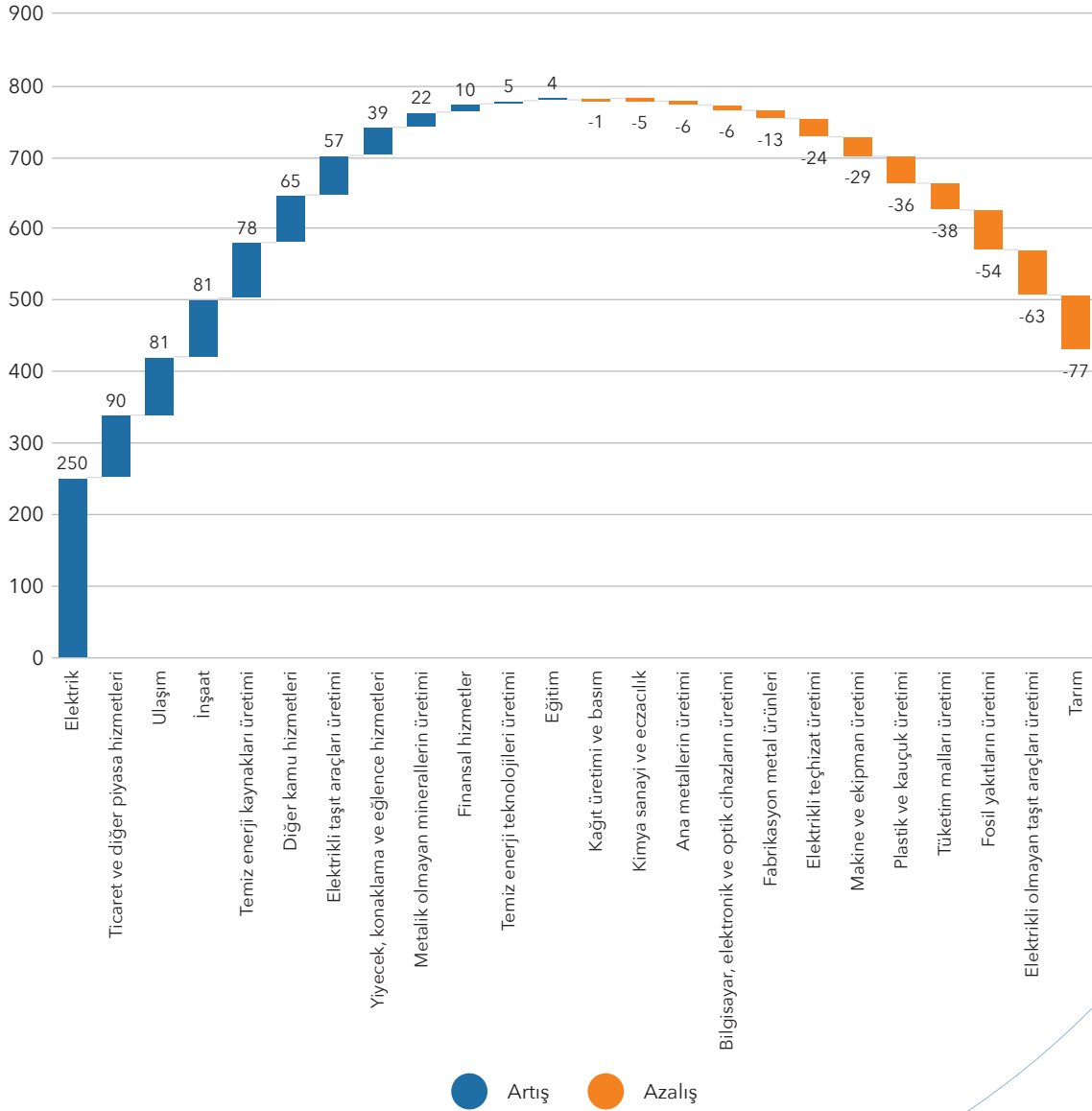
³ Finansmanın etkisi, kendi kendini finanse eden senaryonun etkisinin NETZERO (ana varyant) senaryonun etkisinden çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Yapışkan ücretlerin etkisi, krediye dayalı yavaş değişen ücret senaryosunun etkisinden ana varyant senaryonun etkisinden çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

Ortalamada dönüşümün maddi faydaları, maliyetinin yaklaşık iki katı seviyesindedir. Ancak, 2036-2045 dönemindeki yüksek yatırımların ardından sistem maliyetleri hızla yükselecek ve 2040 yılı civarında geçici olarak net fayda seviyesine yaklaşacaktır. Bu dönemde, GSYİH üzerindeki olumlu etkileri artırmak için uygun sanayi ve adil dönüşüm politikalarının geliştirilmesine özellikle dikkat edilmelidir.

Sektör bazında istihdama etkileri

Toplam istihdam tüm net sıfır senaryolarında dönüşümden olumlu etkilenecek olsa da (NETZERO ana varyant senaryosunda baz senaryoya göre toplam 432 bin daha fazla kişiye iş imkânı yaratılacaktır), özellikle fosil yakıt üretimi ve dağıtımı ile, elektrikli olmayan araçların üretimi gibi belirli sektörler üzerinde olumsuz etkiler görülecektir. Makine ve ekipman ya da elektrikli ekipman gibi sektörler üzerindeki küçük olumsuz etkiler, baz senaryonun hâlihazırda yüksek katma değerli ve düşük karbon yoğunluğuna sahip imalat sektörlerini destekliyor olması nedeniyle endişe yaratacak ölçüde değildir. Bunlar, net sıfır senaryolarına özgü bazı maliyet artışlarından kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, hem baz senaryoda hem de net sıfır senaryolarında bu sektörlerde yaklaşık 600 bin yeni iş olanağı yaratılmaktadır. Elektrikli araçlar dışındaki fosil yakıt kullanan ekipman ve araçların üretiminin yanı sıra geniş bir ticaret ve ulaştırma hizmetleri yelpazesini kapsayan fosil yakıtla ilgili sektörlerdeki istihdam kayıplarını telafi etmek için, adil dönüşüm politikalarının geliştirilmesi elzemdir. Yeni istihdam alanları önemli alternatif istihdam fırsatları sunmaktadır. Ancak, işlerini kaybetme riski altındaki çalışanlar için uygun eğitim, işe yerleştirme ve tazminat programlarının sağlanması büyük önem taşımaktadır.

Şekil YÖ1. NETZERO senaryosunda baz senaryoya kıyasla yaratılan ilave istihdam (kümülatif 2020-2055; istihdam edilen bin kişi)



Sonuçlar

Tanımlanmış bir net sıfır karbon enerji dönüşümü yol haritasının sosyoekonomik göstergeler üzerindeki etkilerini inceleyen ve esas olarak niceliksel bir modelleme uygulaması olan bu çalışma, nihai bir sonuçtan ziyade politikalar için yol gösterebilecek bir başlangıç olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmanın, ülke ekonomisi ve sürdürülebilir kalkınmanın bütününe ele alan adil dönüşüm prensipleri odağında niteliksel çalışma ve tartışmalarla desteklenmesi sağlıklı bir dönüşüm sürecinin planlanmasına katkıda bulunacaktır. Dönüşümün teknik, ekonomik ve sosyal tüm boyutlarına ilişkin kamu, özel sektör, meslek kuruluşları, sivil toplum kuruluşları (STK), işçi ve işveren örgütleri ile üniversite ve diğer araştırma kuruluşlarını içerecek şekilde çalışma ve diyalogların sürdürülmesi bu bağlamda kritik önem taşımaktadır. Bu raporda ele alınan etkilere yönelik kısa dönemde ele alınabilecek ana politika başlıkları enerji ve iklim politikaları, ekonomi politikaları, sanayi politikası, istihdam politikası ve finansman politikaları olarak ortaya çıkmaktadır. Dönüşüm büyük yatırımlar ve özellikle finansman ve iş gücü piyasasına yönelik titiz bir planlama süreci gerektirmekte, ancak maliyetlerinin çok ötesinde faydalar vadetmektedir. Türkiye Sanayi politikası, finansmana erişim ve adil dönüşüm önlemlerini stratejik bir şekilde dengeleyebilmesi halinde, bu dönüşümün olumlu etkilerini çoğaltabilir ve karbonsuz ekonomiye geçişin hem sürdürülebilir hem de tüm paydaşlar için eşitlikçi olmasını sağlayabilir.



BÖLÜM 1

Giriş

2021 yılının Kasım ayında Türkiye, 2053 yılı için net sıfır karbon hedefi ilan etmiştir. Bu hedefe ulaşılması sadece enerji sisteminin değil sanayi, ulaşım, binalar gibi temel son kullanım sektörlerinin de dönüşümünü gerektirmektedir. Bu kapsamda 2023 yılının Şubat ayında SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi Türkiye elektrik sisteminin karbonsuzlaşmasına yönelik bir yol haritası içeren Net Sıfır 2053: Türkiye Elektrik Sektörü İçin Yol Haritası başlıklı çalışmayı yayımlamıştır. Son kullanım sektörlerinin elektrifikasyonu, net sıfır karbon hedefine ulaşmak için kritik önem taşıdığından ve bu süreç elektrik sistemi planlamasıyla yakından ilişkili olduğundan, yayımlanan yol haritası yalnızca elektrik sektörünü değil, aynı zamanda son kullanım sektörlerinin karbonsuzlaşmasını da kapsamaktadır (SHURA, 2023).

Böylesine köklü bir dönüşümün sosyoekonomik etkilerini değerlendirmek, yalnızca olası olumsuz etkileri azaltmak için değil, aynı zamanda geçişin başarılı olmasını sağlayacak etkili politikaların uygulanması açısından da hayati önem taşımaktadır. Her ne kadar SHURA tarafından 2030 yılı için kısmi bir geçiş vizyonu kapsamında önceki çalışmaları ve çeşitli uluslararası çalışmalar düşük karbonlu enerji dönüşümünün gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) ve toplam istihdam üzerindeki etkilerinin küçük ve genellikle pozitif olduğunu göstermektedir (SHURA, 2021). Ancak, yüzyılın ortasına kadar net sıfır emisyon hedefi bağlamında daha kapsamlı bir analiz gerekmektedir. Bu çalışma elektrik sisteminin net sıfır karbon dönüşümü doğrultusunda ulusal gelir, istihdam ve sanayi sektörleri üzerindeki etkileri ölçmeyi hedeflemektedir. Böylece dönüşümün faydalarını en üst düzeye çıkarırken olası riskleri minimize eden veya ortadan kaldıran politika eylemlerine rehberlik edecektir. Ayrıca çalışma, ilgili sosyoekonomik konularda daha derinlemesine politika tartışmaları için bir temel oluşturarak, Türkiye için adil ve eşitlikçi bir dönüşümü desteklemeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışma, Türkiye'nin enerji sistemini karbonsuzlaştırmanın sosyoekonomik etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Enerji sisteminin karbonsuzlaştırılması, rüzgâr türbinleri, güneş panelleri, enerji verimliliği yüksek cihazlar/makineler, sentetik yakıtlar, bataryalar ve diğer enerji depolama seçenekleri ve bataryalar gibi yüksek katma değerli ürünlerin fosil yakıtlar gibi düşük katma değerli ürünlerin yerini aldığı, sermaye yoğun bir süreçtir.

Enerji sisteminin karbonsuzlaştırılması, fosil yakıt talebinde düşüşün yanında yenilenebilir enerji kaynaklarına, enerji verimliliği iyileştirmelerine ve elektrifikasyona yönelik yerli yatırım harcamalarının artmasıyla yakıt ithalatının azalmasına yol açar. Bu süreç, fiyatların, teknoloji maliyetlerinin, üretim yapılarının, tüketici tercihlerinin ve alışkanlıklarının sürekli değiştiği ve yeni iş gücü becerileri, altyapı ve malzeme türlerine ihtiyaç duyulan, dinamik bir çerçevede gerçekleşir.

Düşük karbonlu enerji sistemine geçişin ilk aşamalarında finansman ihtiyacının yüksek olması beklenirken,⁴ dönüşüm için gerekli olan teknoloji ve becerilerin yayılması ve öğrenilmesi sürecinde de atılması gereken birçok adım olacaktır. Dönüşüm sürecinde, uygulamanın ilk

⁴ Düşük karbonlu bir enerji sistemine geçiş, tüketim ve üretim kalıplarının düşük sermaye harcamaları / yüksek faaliyet giderlerinde yansımaları bulan bir yapıdan yüksek sermaye harcamaları / düşük faaliyet giderlerine geçişi de beraberinde getirecektir. Bu, başlangıçta gereken ve önemli rakamlara ulaşan yatırımların/harcamaların uzun vadede düşük işletme ve bakım maliyetleriyle kendini amorti edeceği anlamına gelmektedir. Bu nedenle, uygulamanın ilk aşamalarında sermaye/finansman gereksinimlerinin yüksek seyretmesi, ilgili kaynak ve araçların da mevcut olması beklenmektedir.

aşamalarında piyasadaki mevcut beceri kümesiyle ihtiyaç duyulan becerilerin uyumsuzluğu ve yüksek sermaye gereksinimleri nedeniyle enerji maliyetlerinin artması, üretim maliyetlerini de artırarak GSYİH'deki büyümeyi geçici olarak yavaşlatabilir. Ancak, çalışmanın sonuçlarının da vurguladığı üzere, potansiyel finansman ve iş gücü eksikliklerine yönelik politika ve tedbirlerin zamanında uygulanmasını içeren bir dönüşüm planı, bu olumsuz etkileri önleyerek GSYİH büyümesinin hızlanmasını sağlayabilir.

Çeşitli politikalar ve tedbirler hayata geçirilerek maliyetleri düşüren ve teknolojilerin uygun maliyetle benimsenmesini teşvik eden olumlu etkiler yaratılabilir. Rekabet gücü üzerindeki etkiler statik olmayacaktır: Sektörler yeni katma değerli ürün ve materyaller üretecek şekilde bir dönüşüme geçecek, bu süreçte başı çekenler rekabet gücü açısından kazanımlara liderlik edecek ve ekonomi ihracata dayalı büyüme ve yurt içinde artan katma değerden fayda görebilecektir. Bununla birlikte, yeni teknolojilerin büyük ölçekte yaygınlaştırılmasını desteklemek için yeterli finansmanın harekete geçirilmesi de dâhil olmak üzere, sistemdeki tüm değişikliklerin zamanında koordine edilmesi esastır.

Bu çalışma Giriş'ten sonra beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde literatür taraması dâhil olmak üzere çalışmada kullanılan metodoloji ve model anlatılmakta, üçüncü bölümde de çalışma kapsamında kullanılan senaryolar ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Dördüncü bölümde senaryoların sonuçları ve beşinci bölümde çalışma genel etki analizi özeti ve fayda-maliyet analizi sunulmaktadır. Altıncı ve son bölüm olan Sonuç bölümünde ise çalışma çıktılarının işaret ettiği genel sonuçlar ele alınmaktadır.



BÖLÜM 2 Yaklaşım ve Metodoloji

Enerji sisteminin karbonsuzlaştırılmasının sosyoekonomik etkilerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi, üretici/tüketici tercihleri, teknoloji dinamikleri ve aynı anda birden fazla sistemin karşılıklı bağımlılıkları ile ilgili belirsizliklerin dikkate alınmasını gerektiren karmaşık bir iştir. İklim ve enerji politikalarını değerlendirmede yaygın olarak kullanılan Hesaplanabilir Genel Denge (Computable General Equilibrium - CGE) modellerinin, kullanıcının modelin sonuçlarını şekillendiren temel mekanizmaları anlamasına izin verirken sistemler arasındaki bağımlılıkları tespit etmede özellikle etkili oldukları düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Türkiye'de enerji sektörünün karbonsuzlaştırılmasının ekonomi ve istihdam üzerindeki etkilerini hesaplayabilmek için geniş ölçekli, uygulamalı bir CGE modeli olan GEM-E3 kullanılmıştır (E3-Modelling, t.y.). Modelin izlenebilirliği ve titiz bir mikroekonomik teoriye dayanması CGE modellerini güçlü bir araç haline getirmektedir. Bu nedenle bu çalışmada uluslararası kabul gören bir model olan GEM-E3 kullanılmıştır.

Modelin odak noktasında enerji ve iklim politikalarının sosyoekonomik değerlendirmesi ve özellikle de GSYİH, sektörel üretim, refah, istihdam ve mali gelirlerle ilgili etkiler yer almaktadır. Model, Türkiye'yi münferit bir ülke olarak ele alarak ülkenin ekonomisi ve enerji sistemi arasındaki etkileşimleri ayrıntılı bir şekilde gösterirken, tüm ana ticaret ortaklarıyla ikili dış ticaret akışlarını da endojen olarak içermektedir. Bu kapsamda hem santral tipleri ve teknolojilerine göre enerji üretimi, hem de özellikle temiz enerji teknolojilerine yönelik imalat sanayi üretimleri ayrıştırılmakta, istihdam da ekonomik faaliyetler ve mesleki gruplar bazında detaylandırılmaktadır. Son olarak, model denge durumunda işsizlik ve NETZERO dönüşümü kapsamındaki yatırımlar için alternatif finansman kurgularına yer vermektedir.

2.1 Sera gazı emisyon azaltımı ve ekonomik faaliyet: Literatürün incelenmesi

Alternatif temiz enerji yol haritalarının ülke ya da küresel düzeydeki ekonomik etkilerine odaklanan geniş bir literatür bulunmaktadır. Ancak, net sıfır ekonomiye geçişin etkileri zaman içinde, ülkeden ülkeye ve sektörden sektöre farklılık gösterebilmeleri, mevcut çalışmaların sonuçlarında da farklılıklar yaratmaktadır. Bazı çalışmalar baz senaryoya/referans duruma kıyasla olumlu GSYİH etkileri bulurken, bazı çalışmalarda ise nispeten küçük GSYİH kayıpları saptanmaktadır. Bu farklılıklar, senaryo tasarımı, kullanılan modellerin türü (statik ya da dinamik, CGE ya da makroekonometrik), dışsallıkların içselleştirilmesi (örn. Sağlık etkileri, kaçınılan diğer etkiler), kaynak kısıtlamaları (örn. yatırım finansman planları), geri dönüşüm ve/veya sübvansiyon planlarının seçimi, temiz enerji teknolojilerinin (örn. Yenilenebilir enerji kaynakları) ve dönüşüm süreciyle ilgili ürünlerin gelecekteki (belirsiz) maliyetlerine ilişkin varsayımlar ve son olarak emisyon azaltımlarının zaman içinde izleyeceği seyir dâhil olmak üzere birçok faktör ile açıklanabilir.

Tablo 1 bu alandaki belli başlı çalışmaların bir özetini sunmaktadır⁵. Çalışmaların vardıkları sonuçlarda görülen farklılıklar, kapsadıkları zaman aralığına ve yapılan yatırımların izlediği yola bağlanabilir. Giriş bölümünde belirtildiği üzere, karbonsuzlaştırma, özellikle kısa ve orta vadede

⁵ Bu tablo, bir önceki SHURA raporunda (2021'de yayınlanan "Türkiye'de Elektrik Sistemi Dönüşümünün Sosyoekonomik Etkileri") verilen literatür derlemesini tamamlamaktadır.

sermaye ve kaynak yoğun bir süreçtir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması, binaların yenilenmesi, enerji verimli ekipmanların satın alınması ve ulaşımın elektrifikasyonu için önden önemli miktarda yatırım gerekmektedir. Ancak, enerji verimliliğinin faydaları daha uzun vadede görülmektedir. Bu nedenle etkiler, enerji dönüşümünün olumlu etkilerinin uzun vadede daha büyük olacağı hesaba katılarak, kümülatif olarak değerlendirilmelidir.

Tablo 1. Enerji dönüşümü ve iklim politikalarının GSYİH üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar

Çalışma	Yazarlar	Model	Ülke-hedefler	Emisyon	GSYİH üzerindeki etki	Notlar
AB iklim politikası alternatiflerinin kapsamlı bir sosyoekonomik analizi	Weitzel ve ark. (2023)	JRC-GEM-E3 (CGE)	AB	%-55	GSYİH: % -0,28 ila % -0,48	Sonuçlar, iş gücü piyasası (kusursuz ya da kusurlu), karbon gelirlerinin geri dönüşümü (toplu ödeme ya da iş gücü vergisi), firmaların davranışları (pazar payı maksimizasyonu ya da kâr maksimizasyonu), emisyon tahsis planı (açık artırma ya da serbest tahsis) ile ilgili varsayımlardan etkilenmektedir.
Net sıfır emisyon geçişin sosyoekonomik sonuçları	Hallegatte ve ark. (2023)	Çok modellenli	Türkiye		GSYİH (NETZERO): 2030'da %1,46, 2040'da %1,15 GSYİH (iş gücü piyasasıyla ilgili sorunlar yaşanmadığı durumda): 2030'da %1,66, 2040'ta %2,23 GSYİH (dışlama durumunda): 2030'da %0,97, 2040'da % -0,33	Üç alternatif durum incelenmiştir: ana senaryo, ücretlerin tamamen esnek olduğu bir senaryo ve diğer yatırımları dışlama etkilerinin tümüyle görüldüğü bir senaryo
Türkiye'de elektrik sistemi dönüşümünün sosyoekonomik etkileri	SHURA (2021)	CGE	Türkiye		GSYİH: 2030'da %1,0, 2040'da %3,4	
Avrupa'da 2°C'nin altında iklim dengelenmesi için dekarbonizasyona yönelik enerji sistemi dönüşümünün makro ekonomik etkileri	Vrontisi, Z., Fragkiadakis K., Kannavou M., Capros P. (2020)	GEM-E3 (CGE)	AB28	AB 2°C'nin çok altında: 1990'daki sera gazı emisyonuna kıyasla %80 Küresel azaltım: 675 Gt CO ₂ 2015-2050	GSYİH (2030): % -0,15 ila % -0,17 GSYİH (2050): +%0,20 ila +%0,80	Çeşitli senaryo kurguları: Küresel ölçekte eylem yok (AB dışı ülkelerde ulusal katkı beyanı (UKB hedefleri) ve küresel ölçekte azaltım çalışmaları. Karbon gelirlerinin dolaylı vergiler yoluyla geri dönüşümü

İklim politikalarının ticaret üzerindeki etkileri nelerdir? G20 ekonomileri için Paris Anlaşması'nın niceliksel değerlendirmesi	Vrontisi, Z., Charalampidis, I. ve Paroussos, L. (2020)	GEM-E3 (CGE)	Dünya	UKB 2°C'nin çok altında 675 Gt CO ₂ 2015-2050	GSYİH-Dünya (2030): %-0,26 ila %-0,80 GSYİH-Dünya (2050): %-1,13% ila %-2,09 GSYİH-TR (2030): %-0,6'ya varan oranda GSYİH-TR(2050): yaklaşık %-0,15 ila %-0,9	Karbon gelirlerinin genel vergiler yoluyla geri dönüşümü
Türkiye enerji sektörünün gelişimi ve Paris Anlaşması hedefleri: CGE modeliyle değerlendirme	Kat, B., Paltsev, S. ve Yan, M. (2018)	TR-EDGE (CGE)	Türkiye	2030'da BAU'dan %-21	GSYİH BAU + TreM (2030): %-0,82 GSYİH NoN + TrEm (2030): %-1,1	
Karbon vergisinin Türkiye ekonomisi üzerindeki olası makro ekonomik ve sektörel etkileri: Bir hesaplanabilir genel denge analizi çalışması	Aydin L. (2018)	CGE	Türkiye	Karbon vergisi için 3 alternatif değer: 7 ABD\$/ton, 20 ABD\$/ton, 35 ABD\$/ton	GSYİH: %-0,061, %-0,181, %-0,328	
Konut ve konut dışı binalarda enerji verimliliği: Kısa dönem makro ekonomik sonuçlar	Slabe-Erker ve ark. (2022)	CGE	Slovenya	Binalara yapılan ek yatırımlar (1,7milyar €)	Projeksiyon dönemi boyunca GSYİH üzerinde pozitif etki (%+1,81 ila %+2,25 aralığında)	
Enerji dönüşümünün sosyoekonomik ayak izinin ölçülmesi	Garcia-Casals X., Ferroukhi R. ve Parajuli B. (2019)	E3M (makro-ekonometrik)	Dünya	760 Gt CO ₂ 2015-2050	GSYİH: 2031'de %1,5, 2050'de %1 Bölgesel düzeyde daha çeşitli etkiler. Kaybedenler arasında enerji üreticisi ülkeler, Arjantin, Güneydoğu Asya, Kanada ve Hindistan yer alıyor.	Geri dönüşüm opsiyonu olarak gelir vergileri
Simulasyon bazlı entegre değerlendirme modeli E3ME-FTT-GENIE kullanılarak iklim değişikliği politikalarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi	Mercureveark. (2018)	E3M-FTT-GENIE (makro ekonometrik)	Dünya	2°C seviyesinin aşılması için %70'ten fazla ihtimal sağlayan politikalar kümesi	Değerlendirme hem kazananları hem de kaybedenleri (OPEC ve Kuzey Amerika) belirlemektedir. Küresel GSYİH'de hafif olumsuz etki	

*GSYİH üzerindeki etki sütununda artış yönündeki etkiler %, azalış yönündeki etkiler %- olarak gösterilmiştir.

İklim ve enerji politikalarının GSYİH üzerindeki etkileri, ekonomik yapı, enerji sistemi, yenilenebilir enerji potansiyeli ve söz konusu coğrafi alanda sağlanan emisyon azaltımının boyutu gibi pek çok etmene bağlıdır. Yerel ekonominin, enerji sisteminin karbonsuzlaştırılması için gerekli ekipman ve hizmetleri üretme kapasitesi; yatırımı destekleyecek mali yeterlilik ve gereken iş gücü becerilerinin mevcudiyeti ve istihdamın fosil üreten sektörlerle bağımlılığı gibi hususlar sonuçlar üzerinde büyük ölçüde belirleyici önem arz etmektedir.

2021 itibarıyla fotovoltaik (PV) güneş panelleri, rüzgâr türbinleri gibi yenilenebilir enerji üretim ekipmanlarının üretiminin birkaç ülkede yoğunlaştığı görülmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, PV güneş panellerinin %74'ünden fazlası Çin'de üretilmiştir (IEA, 2022). Rüzgâr türbinlerinde ise daha büyük bir bölgesel çeşitlilik söz konusudur ve Avrupa, bu alanda %42'lik bir pazar payına sahiptir (Wind Europe, 2020). Bu da elektrik sistemindeki dönüşümün geri kalan ülkeler için ithalat yoğun olabileceği ve cari işlemler dengesinde bozulmalara yol açabileceği ihtimaline işaret etmektedir. Enerji tasarruflu/verimli ekipmanlar, geleneksel ekipmanlara göre daha maliyetli olsalar da daha düşük işletme ve bakım maliyetlerine sahiptir⁶. Bu durum da, uygun finansman araçlarının yokluğunda, bu cihazların alımının, zaman içinde tasarruf sağlasalar bile, kısa vadede harcanabilir geliri azaltacağı sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Yapılan çeşitli çalışmalarda, gelir ve istihdam artışında rol oynayan iki ortak faktör tespit edilmiştir: i) özellikle emek yoğun sektörler olan inşaat ve hizmetler için ekonomide talep artışı sağlayacak mahiyette (enerji üretim teknolojileri gibi alanlarda) artan yatırım ve ii) ekonomileri enerjiye dayalı ülkeler dışında ithalatı azaltan ve kaynakların enerji dışı malların tüketiminde kullanılabilmesine olanak tanıyan daha düşük fosil yakıt tüketimi.

GSYİH üzerindeki etkilerin büyüklüğünü etkileyen bir diğer faktör de karbon gelirlerinin geri dönüşümü konusundaki tercihtir ki özellikle de bunun iş gücü maliyetlerinde azalma yoluyla sağlandığı durumlarda olumlu sonuçlar görülür. Finansman kısıtları/mevcudiyeti de sonuçların büyüklüğü üzerinde belirleyici faktörlerden bir diğeridir. Zira finansal kaynakların maliyetine ilişkin temel varsayımlar, faiz oranları ve sermaye rantlarındaki değişiklikler yoluyla ekonomiyi etkilemektedir. Sermaye piyasalarının sıkışık olduğu durumlar (tam kaynak kullanımı varsayımıyla uyumlu), karbonsuzlaştırma ile bağlantılı daha yüksek maliyetler anlamına gelmektedir; çünkü sermaye piyasaları baskı altındadır ve üretim maliyetlerini artıran dışlama etkileri nedeniyle faiz oranları ve sermaye getirileri yukarı yönde hareket etmektedir. Öte yandan, atıl sermaye ve/veya finansmana dayalı programlar (krediye dayalı yaklaşımlar) sermaye piyasalarındaki stresi azaltmakta ve GSYİH üzerinde olumlu etkiler yaratabilmektedir.

İncelenen çalışmalardan dördü, düşük karbonlu enerji dönüşümünün Türkiye ekonomisi üzerindeki etkisini mercek altına almaktadır. İlk ikisi olan [Hallegatte ve ark. (2023) ve SHURA (2021)] GSYİH üzerinde pozitif etkiler öngörürken diğer ikisi olan [Kat, B., Paltsev, S. ve Yan, M. (2018) ve Aydın, L. (2018)] ise negatif yönde etkiler görüleceğini belirtmektedir. Çalışmalar kapsam ve yaklaşım açısından farklılık göstermektedir: Örneğin, Aydın, L. (2018) üç alternatif karbon vergisi seviyesinin (ton başına 7 Amerika Birleşik Devletleri Doları (ABD\$), 20 ABD\$ ve 35 ABD\$) etkisini incelerken, diğer çalışmalar elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının

⁶ Daha düşük enerji ihtiyacı nedeniyle daha düşük işletme maliyeti. Daha yüksek verimlilik sayesinde azalan aşınma ve yıpranmanın etkisiyle daha düşük bakım maliyeti.

yaygınlaşmasını teşvik eden önlemleri de ele almaktadır. Buna ek olarak, Hallegatte ve ark. (2023) gelişmiş üretim süreçlerinin benimsenmesi yoluyla elektrifikasyon oranı ve diğer verimlilik ölçütlerine ilişkin varsayımları da analizlerine dâhil etmiştir.

Aydin, L. (2018), 35 ABD\$ tutarında bir karbon vergisi ile sera gazı emisyonlarının yaklaşık %17 oranında düştüğünü ve bunun da GSYİH üzerinde %0,33 düzeyinde bir etki doğurduğunu tespitinde bulunurken; Kat,B., Paltsev,S. ve YanM. (2018), sırasıyla nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı kalkınmada (olağan durum senaryolarına kıyasla) %21 emisyon azaltımı sağlamak için 50 ila 70 ABD\$ arasında bir karbon vergisine ihtiyaç duyulduğu sonucuna varmıştır. Hallegatte ve ark. (2023) ise, karbon vergisinin 2022 yılında 11 ABD\$'dan başlayıp 2040 yılında 211 ABD\$'a çıktığı bir senaryoda, net kümülatif emisyonların olağan duruma (BAU'ya) kıyasla %55 oranında düşüp brüt emisyonların %43,8 oranında azalacağını, toplam yatırım gereksiniminin ise 313 milyar ABD\$ (veya yılda yaklaşık 17,3 milyar ABD\$) düzeyinde olacağını öngörmektedir. NETZERO dönüşümü, BAU senaryosuna kıyasla daha yüksek GSYİH'ye yol açacaktır. Faydaları getiren şey, ulaşım ve konut sektörlerindeki enerji tasarruflarının yanı sıra hizmet sektöründeki büyüme olacaktır. GSYİH'nin etkilerinde belirleyici olan diğer faktörler, yatırımların finansmanına ilişkin varsayım (dışsal kaynak ya da diğer sektörlerimize yatırımları dışlama etkileri) ve yan faydaların (örneğin, önlenen emisyonlardan kaynaklanan sağlık faydaları) analize dâhil edilmesidir. GSYİH üzerindeki etkiler, ücret ayarlamaları ve finansmanla ilgili varsayımlara bağlı olarak 2030'a varıldığında %0,97 ila %1,66 aralığında, 2040 itibarıyla ise %0,33 ila %2,23 aralığında olacaktır. Yaratılan net istihdam sayısı toplamda 43 bin kişiye ulaşmaktadır.

Son olarak, SHURA (2021), elektrik üretiminde dönüşüme yönelik tedbirlerle birlikte 25 ABD\$ karbon vergisinin, elektrik üretiminin karbondioksit (CO₂) yoğunluğunda %21'lik bir azalmaya yol açtığını belirtmektedir. Türkiye'de enerji sisteminin dönüşümü için yılda yaklaşık 12,3 milyar ABD\$ (BAU senaryosunun neredeyse iki katı) yatırıma ihtiyaç duyulacaktır. Bu yatırımların %58 oranındaki en büyük kısmı elektrik sistemine, %36'sı yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine, %22'si enerji verimliliği sağlamaya yönelik iyileştirmelere ve geri kalanı da ulaşım ve ısıtmanın elektrifikasyonuna yönlendirilecektir. Çalışma, enerji sektörünün yeniden yapılandırılmasının, baz senaryoya kıyasla 2030 yılında %1, 2040 yılında ise %1,4 oranında GSYİH artışına yol açacağını öngörmektedir. Bu GSYİH artışları, bir yandan faaliyetlerin enerji faturalarını azaltan, diğer yandan da sermaye ve iş gücü kullanılabilirliğini artıran (enerji verimliliği artışıyla birlikte enerji maliyetleri düştükçe diğer sektörlerin kullanabileceği daha fazla sermaye ve iş gücü açığa çıkacaktır) enerji verimliliğinin sağladığı elektrik tasarruflarından kaynaklanmaktadır.

2.2 GEM-E3M modeli

GEM-E3,⁷ makroekonomi ve bunun çevre ve enerji sistemi ile etkileşimi hakkında ayrıntılar içeren çok bölgeli, çok sektörlü, özyinelemeli dinamik bir CGE modelidir. Model, küresel kapsama sahiptir ve dünyanın 20 ülkesini/bölgesini içermektedir. CO₂ (hem fosil yakıt yanmasından hem de çeşitli proseslerden kaynaklanan), metan (CH₄), nitröz oksit (N₂O) ve F-gazları model kapsamında emisyonları dikkate alınan sera gazlarıdır.

⁷ Modele ilişkin kapsamlı dokümantasyon <https://e3modelling.com/modelling-tools/gem-e3/> adresinde mevcuttur.

Model 55 faaliyet ve 12 enerji üretim teknolojisini içermektedir. Temiz enerjiye geçiş için gerekli malları (örneğin PV ekipmanı, rüzgâr türbinleri, elektrikli araçlar) üreten sektörler ayrı ayrı temsil edilmektedir. Bu da modelin karbonsuzlaştırma ile ilişkili olarak üretilen mallara olan talepteki dinamikleri daha iyi tespit edebilmesini sağlayan bir özelliktir. Modelin işleyişine ilişkin detaylı bilgi Ek'te (Bölüm 7.1) verilmiştir.





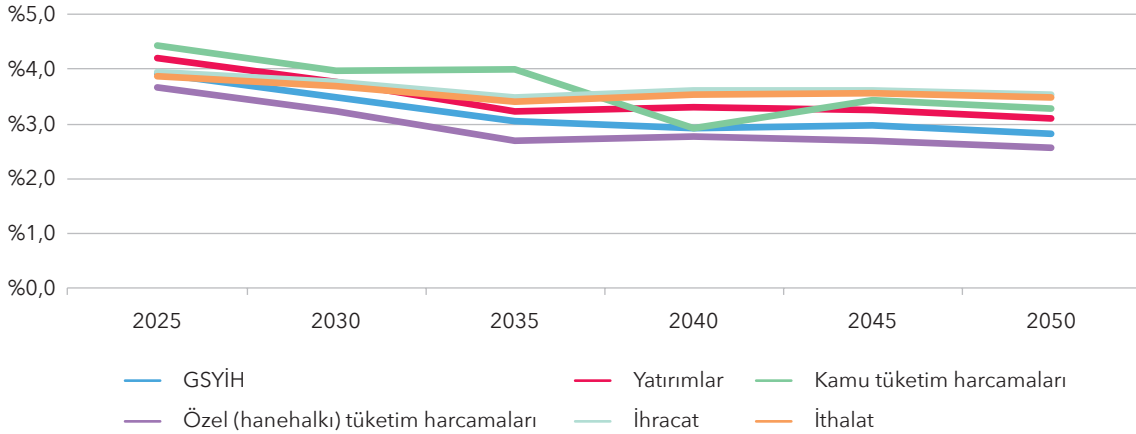
BÖLÜM 3 Senaryo Tasarımı

3.1 Baz senaryo

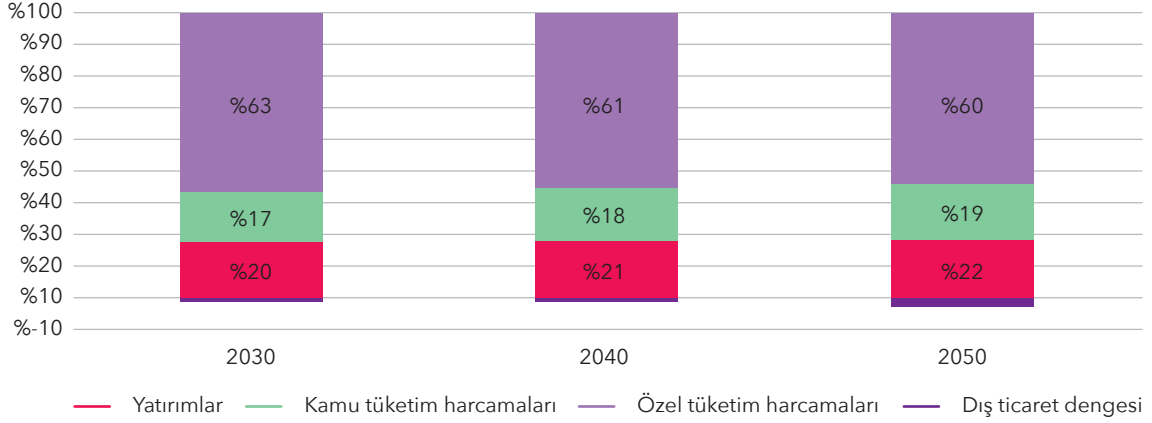
Baz senaryo, modelin ekonomik ve sektörel büyüme ile istihdam üzerindeki dışsal projeksiyonları temsil edecek şekilde kalibre edilmesi anlamında "kurgulanmış" bir senaryodur. Ancak model, genel ekonomik büyümenin verimlilikle ilgili ampirik bulgularla ve muhasebe perspektifiyle (ihracatın diğer ülkelerdeki talepten kaynaklanması vb.) tutarlı olmasını sağlamaktadır.

Baz senaryoda Türkiye'nin yıllık ortalama reel GSYİH büyümesi 2020-2050 döneminde %3,2 olarak varsayılmıştır. Mutlak anlamda bu, 2050 yılında GSYİH'nin (ABD\$'ın 2014 yılındaki değeriyle) 2,4 trilyon ABD\$ düzeyine ulaşacağı anlamına gelmektedir. Ekonomik büyümenin esasen yurt içi üretimin artan talebi karşılayacak şekilde büyümesi için gerekli olan yüksek seviyedeki yatırımlardan kaynaklanacağı öngörülmektedir⁸ (Nüfusun %15 oranında artarak 2055 yılında yaklaşık 100 milyon kişiye ulaşması beklenmektedir). Ülkenin genel ihracat performansının ithalata olan talepten biraz daha yüksek olması ve bunun da ticaret açıklarını azaltıcı etki yapması beklenmektedir (2020'de GSYİH'nin %1,1'inden 2050'ye geldiğinde GSYİH'nin %0,6'sına). Özel tüketimin GSYİH'ye katkısı, kısmen yatırım projelerinin artan finansman gereksinimleri nedeniyle hafifçe azalmaktadır.

Şekil 1. Baz senaryoda GSYİH ve başlıca makroekonomik göstergelerin yıllık büyüme oranları

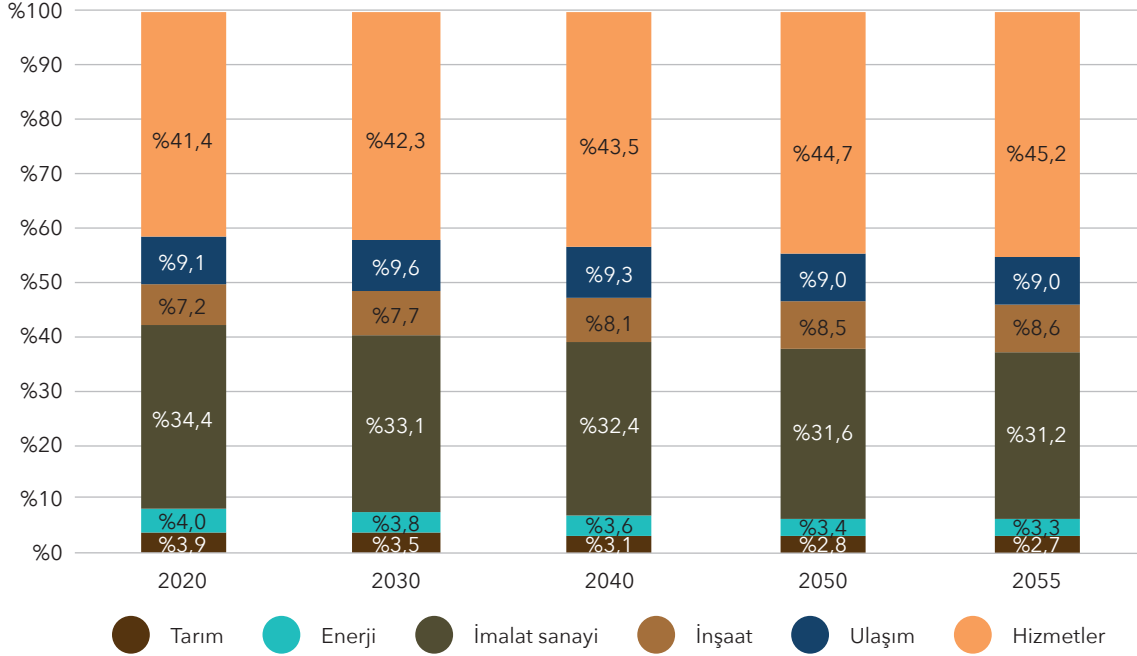


⁸ Yatırımların GSYİH'ye oranı olarak ölçülmektedir.

Şekil 2. Baz senaryoda makroekonomik göstergeler ve Türkiye'nin GSYİH'sine katkıları

Net sıfır çalışması bağlamında, baz senaryo, daha yüksek katma değer ve daha düşük enerji/karbon yoğunluğu ikili hedefine bizi yaklaştıracak şekilde tasarlanmıştır. Benzer şekilde, baz senaryoda mümkün olan yerlerde kara ve hava taşımacılığı yerine daha az karbon yoğun demir yolu ve deniz taşımacılığına vurgu yapılmaktadır⁹. Sektör bazında üretim açısından, imalat ve birincil faaliyetlerden hizmetlere doğru bir kayma söz konusudur. 2020-2050 döneminde hizmet sektörü yıllık %3,4 büyüyerek 2050 yılında yaklaşık 2 trilyon ABD\$ toplam çıktıya ulaşırken, tüm imalat faaliyetlerinin yıllık %2,9, birincil faaliyetlerinse %0,7 oranında büyüyeceği öngörülmektedir. Toplam imalat hacmi 2050 yılında yaklaşık 1,4 trilyon ABD\$ olurken, tarımsal üretim 78 milyar ABD\$'a ulaşacaktır. Artan yatırım, inşaat hizmetlerine olan talebin artmasına yol açacak ve bu sayede sektör, 2050'ye kadarki dönemde her yıl %3,5 diliminde bir büyüme kaydedecektir (Şekil 3).

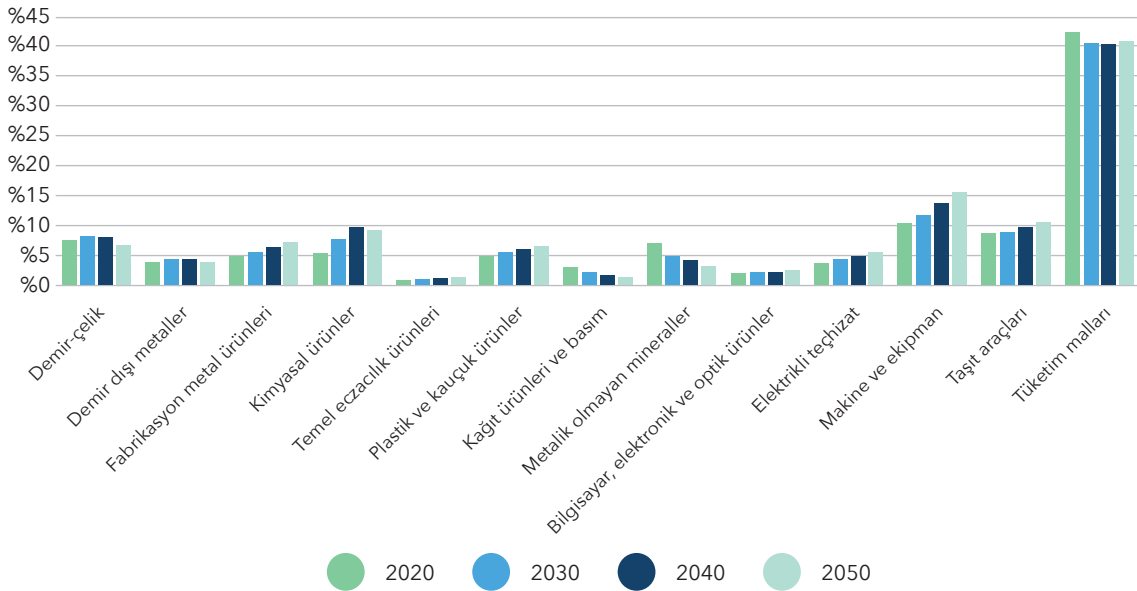
⁹ Baz senaryo hakkında daha ayrıntılı bilgi için: <https://shura.org.tr/net-sifir-2053-turkiye-elektrik-sektoru-icin-yol-haritasi/>

Şekil 3. Baz senaryoda sektörel üretimin toplam yurt içi üretim içindeki payı (%)

*Enerji: Fosil yakıt üretimi (madencilik dâhil), temiz enerji kaynakları üretimi (biyokütle, biyoyakıt, temiz gaz, yeşil hidrojen üretimi), elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı.

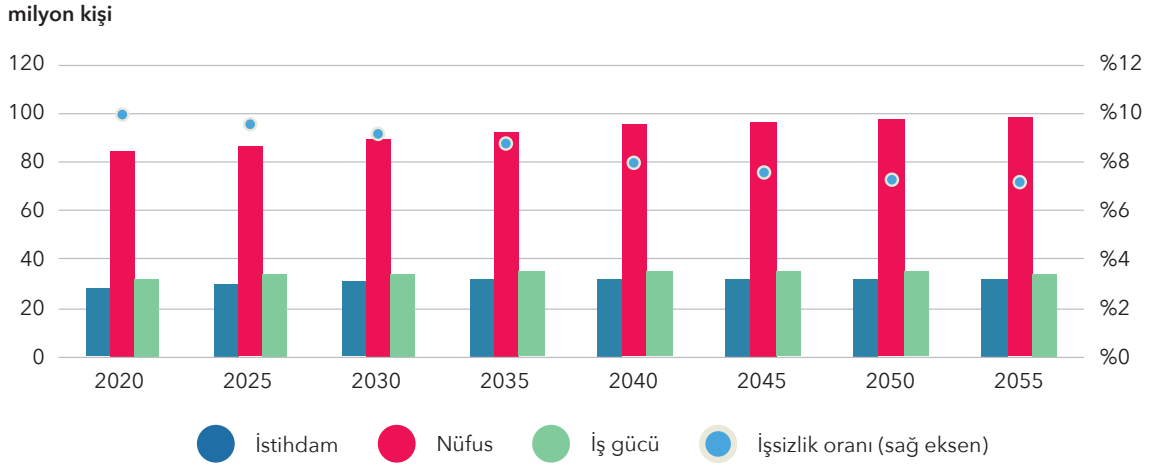
**İmalat Sanayi: Geleneksel imalat sektörleri ve temiz enerjiye yönelik imalat sektörlerini (gelişmiş elektrikli ekipman, yenilenebilir enerji ekipmanları, elektrikli taşıt araçları, ısı pompaları, bataryalar) kapsamaktadır.

Türkiye'de imalat sanayi odağının kademeli olarak, tüketim malları (yıllık ortalama %0,8 büyüme oranı), ulaşım ekipmanları ve demir içeren metallere (%4,2), kimyasal madde (%4,2), bilgisayar ve elektronik ürünler (%6,7), elektrikli ekipman (%4,8), makine ve ekipman (%5,4) ve fabrikasyon metal ürünleri (%4,4) üretimine yöneleceği öngörülmektedir (Şekil 4).

Şekil 4. Baz senaryoda seçili sektörlerin imalat sanayi üretimi içindeki payı (%)

Ekonomik genişleme ve hizmetler ile inşaat gibi emek yoğun ve ithalat etkisi düşük sektörlerle yönelim, projeksiyon dönemi boyunca 2020 yılındakine kıyasla daha yüksek istihdam oranlarını beraberinde getirecektir. İşsizlik, projeksiyon dönemi boyunca yavaşça azalarak 2055'e gelindiğinde %7,1 seviyesine düşecektir.

Şekil 5. Baz senaryoda temel demografik göstergeler ve toplam iş gücü piyasası göstergeleri



Genel olarak, bu analizin temelini oluşturan makroekonomik varsayımlara göre, Türkiye'nin tüm projeksiyon dönemi boyunca önemli bir ekonomik büyüme yaşayacağı ve bunun da toplam enerji talebini artıracığı öngörülmektedir. Ülke, daha yüksek katma değerli ve daha az enerji yoğun ürünlerle üretim kapasitesini koruyacaktır. İç pazara hitap eden inşaat sektörü nüfusla birlikte büyürken, ulaşımda artan GSYİH ile birlikte artış gösterecektir.

3.2 Net Sıfır 2053 senaryosu (NZ2053) ve NETZERO senaryoları

Türkiye'nin 2053 yılına kadar net sıfır karbon hedefine ulaşmasına yönelik eylem, yatırım ve ana varsayımları kapsayan Net Sıfır 2053 (NZ2053) senaryosu, SHURA'nın Net Sıfır 2053: Türkiye Elektrik Sektörü İçin Yol Haritası çalışmasından alınmıştır. Mevcut çalışma ise NZ2053 senaryosu kapsamındaki dönüşümün sosyoekonomik etkilerini ölçmeyi hedeflemektedir. Bu amaçla Bölüm 3.1'de yer alan Baz Senaryo ile karşılaştırılmak üzere Bölüm 3.3'te ayrıntıları verilen ve duyarlılık analizlerini de kapsayan NETZERO senaryoları oluşturulmuştur (SHURA, 2023).

Karbonsuzlaştırılmış enerji sistemiyle ilişkili yatırımlar ve enerji karışımı, GSYİH, sektörel üretim, istihdam, refah ve ulaşım üzerindeki etkiyi hesaplamak için GEM-E3 modeline (PRIMES'ten) dâhil edilmiştir¹⁰.

Enerji sektörünün karbonsuzlaştırılması, NZ2053 senaryosunun merkezinde yer almaktadır. Bu senaryo, enerji sektöründe 2020'den itibaren benimsenen ve 2030'dan sonra hız kazanarak uygulanan, yerinde ve iklim odaklı eylemleri dikkate almaktadır. Nihai enerji talebi 2055

¹⁰ Daha fazla bilgi için: <https://shura.org.tr/net-sifir-2053-turkiye-elektrik-sektoru-icin-yol-haritasi/>

yılında 1.170 teravat-saate (TWh) ulaşacak olup bununun 637 TWh'lik kısmını elektrik tüketimi oluşturacaktır. 2020 yılına kıyasla elektriğin toplam enerji talebi içindeki payı %21'den %54'e yükselerek iki kattan fazla artış göstermektedir.

Senaryoda, nihai kullanım sektörlerinin enerji dönüşümü, enerji verimliliği ve elektrifikasyonuna odaklanılmaktadır. E-yakıtlar (emisyonuz ya da gaz enerji taşıyıcıları gibi) çoğunlukla proseslerinde yüksek sıcaklıklar kullanılan sanayi ve uzun mesafeli taşımacılık gibi elektrifikasyonu zor sektörlerde kullanılmaktadır. Bu senaryoda, yenilenebilir enerji santralleri hem elektrik hem de e-yakıt üretiminde kullanılmaktadır.

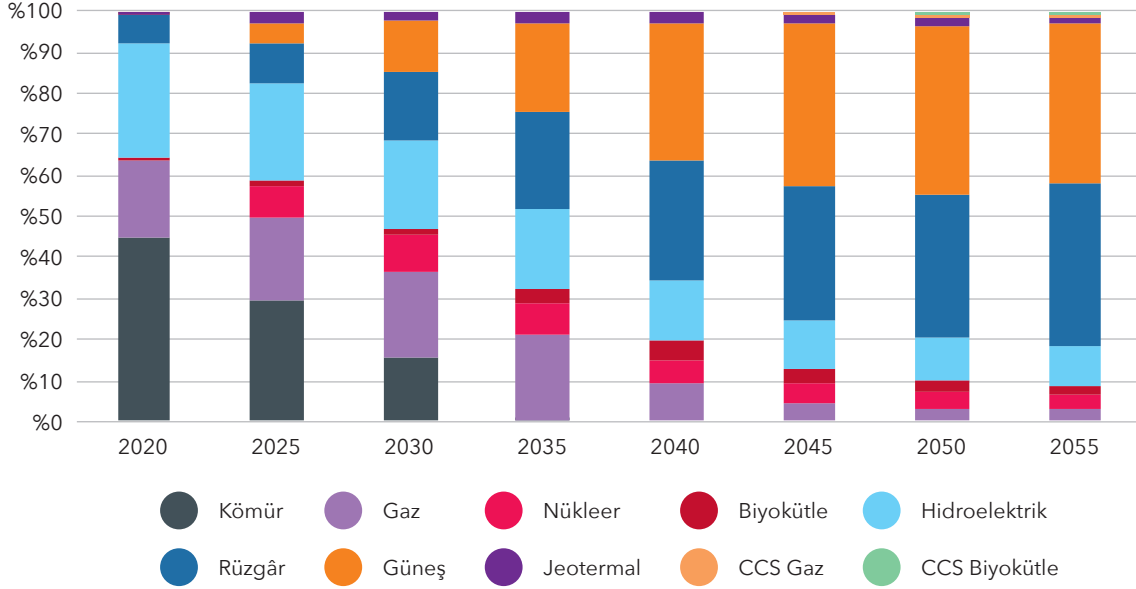
Türkiye için 2053 yılına gelindiğinde net sıfır karbon emisyonu hedefine, fosil yakıtların yenilenebilir enerjilerle ikamesi, enerji verimliliğinin artırılması ve son kullanıcı sektörlerde elektrifikasyonun artırılmasıyla ulaşılabilir. NZ2053 senaryosuna göre, toplam karbon emisyonu 2025 yılında zirveye ulaşacak, 2035 yılında ise 2025'teki seviyenin %62,8'ine düşecektir.

Emisyonların erken bir tarihte (2025) zirve yapmasının başlıca nedeni, elektrik sektöründe kömür kullanımının hızla azalacağı öngörüsünden kaynaklanmaktadır. 2025'ten itibaren on yıl içinde kömürün payının yarıdan fazla düşeceği varsayılmaktadır. Senaryoda en verimsiz kömür ve linyit santrallerinin çalışma saatlerinin azalmasıyla başlayan bu yönelim, kömürün kontrollü bir şekilde kullanımdan kaldırılması ile beraber 2030 sonrasında daha da hızlanacaktır. Yine net sıfır senaryosunda, birincil enerji tüketimi 2030 yılında zirve yapmakta ve projeksiyon döneminin sonunda 2020 seviyelerine gerilemektedir.

Nitekim, 2053 yılındaki Türkiye elektrik sisteminin başlıca iki yönelimin etkisiyle bugünkü elektrik sisteminden çok farklı olacağı varsayılmaktadır:

- Son kullanım sektörlerinin elektrikleştirilmesi ve yeşil hidrojen ve sentetik yakıtların artması nedeniyle elektrik üretiminde önemli artış ve
- Değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının payındaki artış.

2055'e gelindiğinde rüzgâr ve güneş enerjilerinin payı %79'a ulaşmakta ve bu kaynaklar elektrik üretiminde en büyük ağırlığa sahip kaynaklar haline gelmektedir. Hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal enerji de hesaba katıldığında yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), 2055 yılında elektrik üretiminin %92'sinden fazlasını sağlamaktadır (Şekil 6).

Şekil 6. NZ2053 senaryosunda elektrik üretiminin kaynaklara ve teknolojilere göre dağılımı (%)

Hızla artan elektrik talebi ve yeni devreye alınan yenilenebilir enerji tesisleri, beraberinde toplam kurulu kapasitede bir artış getirmektedir. 2020-2055 döneminde toplam kurulu güç yaklaşık 100 gigavat (GW) seviyesinden 572 GW'a, yenilenebilir enerji kapasitesi ise 56 GW'tan 403 GW'a yükseleceği saptanmaktadır. Özellikle son kullanım sektörlerinde e-yakıtlara yönelimin artacağı 2040-2050 döneminde, YEK kapasitesindeki artışın da hızlanarak toplamda 217GW'tan 514 GW'a ulaşacağı öngörülmektedir.

PV güneş ve rüzgâr enerjileri, elektrik üretiminde eşit paya sahip olsa da, daha düşük kapasite faktörlerinden ötürü PV güneş enerjisi için gereken toplam kapasite, çok daha yüksektir. Güneş enerjisi kapasitesi 2040 yılına kadar 119 GW'a yükselecek ve 2053 yılına gelindiğinde ise 220 GW'a ulaşacaktır. Büyük kısmı 2035-2045 döneminde gerçekleşecek olan yatırımlar sonucunda, 2020-2055 döneminde güneş enerjisi kapasitesi yılda ortalama 6,1 GW büyüyecektir. Türkiye ekonomisindeki büyüme beklentileri göz önüne alındığında, bu yatırımlar ekonomik açıdan uygulanabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artışa şebeke kapasitesi ve batarya bazlı enerji depolama yatırımlarının da eşlik edeceği, yine varsayımlar arasında yer almaktadır.

Projeksiyon dönemi boyunca, 2025 sonrasında toplam nükleer santral kapasitesi sabit kalırken, rezerv ihtiyacını karşılamak ve enerji arzını güvence altına almak için temiz gaz yakıtlı santrallerin kapasitesi artacaktır. 2055 yılına kadar enerji sistemine 9 GW daha jeotermal enerji ve biyokütle buhar kapasitesi de eklenmektedir. Bu santraller yüksek emre amadelik oranlarıyla şebekeye istikrarlı elektrik sağlamaktadır. Toplam 1,3 GW kapasiteli karbon yakalama ve depolamalı (CCS) biyokütle enerji santralleri, 2050 yılına kadar devreye alınmaktadır.

Tablo 2'de, net sıfır hedeflerine ulaşmak için gereken yatırım miktarı gösterilmektedir. Yatırımların zaman içinde kademeli olarak artacağı, 2021-2050 döneminde elektrik sektörünün dönüşümünü finanse etmek için yaklaşık 288 milyar ABD\$ tutarında yatırım gerekeceği öngörülmektedir.

Yatırımlar 2030'dan itibaren hızla artarak 2036-2045 döneminde zirve yapacak ve hızla artan elektrik talebini karşılamak ve e-yakıt üretimini desteklemek için gerekli olan, başta PV güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi olmak üzere 86,6 GW'lık bir kapasite kurulacaktır. Projeksiyon dönemi boyunca toplamda GSYİH'nin %0,6'sına tekabül edecek bir yatırımlar bütününe ihtiyaç duyulacaktır.

Tablo 2. NZ2053 senaryosunda enerji üretimindeki yıllık yatırım harcamaları (milyar ABD\$)

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
Kömür	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Doğal gaz¹¹	0,8	0,0	0,0	0,0	0,6	0,6	1,0	1,1
Nükleer	0,0	2,6	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biyokütle	0,2	0,0	1,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Hidroelektrik	1,0	0,4	0,4	0,5	0,2	0,0	0,3	0,2
Rüzgâr	0,4	0,8	2,3	3,4	6,0	6,5	5,7	6,3
PV	0,3	0,5	1,7	2,3	4,5	4,4	2,7	0,7
Jeotermal	0,2	0,1	0,0	0,4	0,8	0,1	0,7	0,2
CCS Gaz	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0
CCS Biyokütle	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0

Son kullanım sektörleriyle ilgili olarak, hane halklarının konutların enerji performansını iyileştirmeye yönelik harcamalar yapacağı öngörülmüştür. Enerji verimliliği harcamaları, yaklaşık olarak toplamda 59 milyar ABD\$'a (hanehalkı gelirinin toplam %0,13'ü) ulaşmaktadır. Elektrik üretim yatırımlarının aksine, enerji verimliliği harcamalarının büyük kısmının (toplam harcamaların yaklaşık %57'si) 2035 yılına kadar gerçekleşeceği öngörülmektedir.

Tablo 3. NZ2053 senaryosunda enerji verimliliği harcamaları (milyar ABD\$)

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
Sanayi	0,10	0,20	0,52	1,64	2,77	3,74	5,42
Hizmetler	0,12	0,51	0,52	1,16	1,51	1,62	1,32
Konut	0,73	3,12	2,69	2,11	2,19	0,70	0,29

Son olarak, ulaşım sektörüyle ilgili olarak, içten yanmalı motorlu araçlardan hibrit ve elektrikli araçlara (BEV'ler) doğru bir geçiş söz konusudur. 2055 yılında dolaşımdaki araçların yalnızca yaklaşık %1'inin sadece içten yanmalı motor kullanacağı öngörülmektedir. BEV'lerin maliyetinin konvansiyonel araçların maliyetinden ortalama 1,35 kat daha yüksek olacağı varsayılmıştır.

¹¹ 2030'dan sonra gazla çalışan tesislerde temiz gaz kullanılacaktır.

Tablo 4. NZ2053 senaryosunda kara yolu trafiğindeki binek araçların motor tipine göre payları (%)

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
İçten yanmalı motorlu araçlar (ICE)	%98	%97	%78	%51	%23	%17	%8	%1
Plug-in hibrit araçlar (PHV)	%1	%2	%8	%19	%18	%13	%8	%4
Yalnız elektrikle çalışan araçlar (EV)	%1	%1	%14	%30	%59	%71	%84	%94

3.3 Makroekonomik değerlendirme

Çalışma kapsamında NZ2053 senaryosunun makroekonomik etkilerini ölçmek üzere Bölüm 3.3.1 ve 3.3.2'de gösterilen NETZERO senaryoları oluşturulmuştur. Etki değerlendirmesinde, finansman seçenekleri ile ücret ve sermaye gelirleri için belirleyici olan temel üretim faktörü piyasalarının katılık veya esneklik düzeyi¹² olmak üzere, ekonominin öngörülen değişikliklere tepkisini etkileyen iki önemli faktör göz önünde bulundurulmaktadır.

3.3.1 NETZERO finansman kurguları

Elektrik üretiminde yenilenebilir santral kapasitelerinin artırılması ve şebekenin geliştirilmesi ek kaynak gerektirecek, ek finansman gereksinimleri sermaye piyasaları üzerinde baskı yaratacaktır. Bunun sonucu olarak sermaye maliyetlerinde gerçekleşecek artışın boyutu ekonomi üzerindeki genel etkiyi de belirleyecektir. Dolayısıyla, dönüşüm sürecindeki finansal kısıtlamaların etkisini ölçmek için alternatif finansman kurgularını incelemek önem taşımaktadır.

İncelenen alternatif finansman kurguları, finansal piyasalardaki alternatif koşulları simüle eden ve genel hatlarıyla iki uç ve bir de orta yolu (ana varyant) temsil etmektedir. Orta yol olarak düşünülen NETZERO senaryosunda, yatırımların 10 yılda tümüyle geri ödemeli ve %5 faizli kredilerle finanse edildiği varsayılmaktadır. Olumsuz durumda (NETZERO_CO), yatırımların yurt içi kaynaklarla diğer sektörlerin aradığı eş değer miktardaki yatırımların dışlanmasıyla finanse edildiği varsayılmaktadır. Bu alternatif, firmaların belirli miktarda finansal kaynak için rekabet ettiği bir durumu simüle etmektedir. Son olarak, yatırımların iç ve dış kaynakların bir kombinasyonu ile (geri ödemesiz olarak) finanse edildiğinin varsayıldığı alternatif, daha elverişli bir durumu (NETZERO_FI) temsil etmektedir.

- NETZERO: Ana varyant: Elektrik üretimi ve şebeke yatırımları, belirli bir faiz oranı üzerinden sonraki dönemlerde geri ödenen kredilerle finanse edilir.
- NETZERO_FI: Krediye dayalı senaryo-simülasyon dönemi içinde geri ödemesiz döner finansman.
- NETZERO_CO: Kendi kendini finanse eden senaryo.

¹² Ekonomi literatüründe üretim için gerekli olan temel faktörler (üretim faktörleri) toprak (veya doğal kaynaklar), emek ve sermaye olarak tanımlanmaktadır. Ücretler veya birim emek gelirleri ile kâr oranları veya birim sermaye gelirlerinin oluştuğu piyasaların esnekliği bu oranların oluşmasında belirleyici role sahiptir.

3.3.2 NETZERO iş gücü piyasası uyum senaryoları

Yatırımlardan kaynaklanan ek talep ve sermaye harcamalarına dayalı bir modele geçiş, ekonomik faaliyetin yapısını değiştirecek ve bu değişimler de ekonomi genelinde iş gücü ve sermaye maliyetlerini etkileyecektir. İş gücüne olan talep arttıkça, ekonomi içindeki toplam arz ve talebi dengelemek için ücretlerin de artma eğilimine girmesi beklenmektedir. Ücretlerin talepteki değişime ne ölçüde uyum sağlayacağı, sendikaların gücü, beceri uyumsuzluğu ve benzeri çeşitli faktörlere bağlıdır. Birincil üretim faktörü fiyatlarının uyarlanması, sektörel üretim maliyetlerini ve sektörlerin hem iç hem de uluslararası piyasalardaki rekabet gücünü büyük ölçüde etkilemektedir. Ekonomik modeller iş gücü piyasasını modellemek için ücretlerde ve sermaye gelirlerinin gelişiminde farklı tepki oranları ile sonuçlanan çeşitli yaklaşımlar kullanılır. GEM-E3 modelinde, iş gücü piyasasındaki aksaklıklar denge durumundaki ücretlerin tam istihdam yaklaşımının öngörülenden daha yüksek olmasına yol açmakta, dolayısıyla denge durumunda istem dışı işsizlik ortaya çıkmaktadır. Alternatif olarak yapılan işgücü piyasası duyarlılık analizlerinde ise ücretlerin başlangıç seviyelerine sabitlendiği, artışların yalnız beceri ve üretkenlik düzeyine göre değişkenlik gösterdiği varsayılmaktadır.

İş gücü ve sermaye piyasalarının tepkisine ilişkin olarak, ana senaryoda, ücretlerin ve sermaye gelirlerinin tamamen esnek olduğu bir durum ile duyarlılık senaryolarında hiçbir ayarlanmanın olmadığı bir durum değerlendirilmiştir. Alternatif finansman düzenleri ve piyasa koşulları, temel ekonomik unsurların dönüşüm sürecindeki etkisinin araştırılmasına ve makroekonomik etkilere ilişkin sağlıklı bir tahmin yelpazesi sunulmasına olanak tanımaktadır. Senaryo varyantlarının isimleri, özellikleriyle birlikte aşağıda verilmiştir:

- NETZERO_TT: Yapışkan ücretlerle birlikte geri ödemeli krediye dayalı senaryo
- NETZERO_TT_FI: Yapışkan ücretlerle birlikte döner finansmana dayalı senaryo.
- NETZERO_TT_CO: Yapışkan ücretlerle birlikte kendi kendini ödeyen yatırım finansmanına dayalı senaryo.

3.4 Yatırım matrisi

GEM-E3'te, elektrik üretim yatırımları, sabit teknik katsayılardan oluşan ve "yatırım matrisi" olarak adlandırılan bir matris kullanılarak, mal ve hizmet talebine dönüştürülmektedir. Yatırım matrisinin oluşturulmasında "Capital Cost and Performance Characteristic Estimates for Utility Scale Electric Power Generating Technologies" (EIA, 2020) ve "Renewable Power Generation Costs in 2019" (IRENA, 2020) çalışmalarından sağlanan veriler temel alınmıştır. Matris, teknoloji türü bazında her bir yatırım biriminin makine/ekipman, inşaat ve diğer piyasa hizmetleri için tetiklediği harcama oranını göstermektedir. Başlıca enerji üretim teknolojilerine yapılan yatırımların ilgili sektörlerde yarattığı etkinin iyi bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 5. Yatırım matrisi¹³

	Kömür	Doğal gaz	Biyokütle	Hidro-elektrik	Rüzgâr	PV	CCS Kömür	CCS Gaz	CCS Biyo
Makine ve ekipman	%56	%61	%57	%19					
İnşaat	%23	%17	%23	%65	%25	%36	%23	%17	%17
Diğer Piyasa Hizmetleri	%21	%22	%20	%16	%20	%7	%21	%22	%22
Rüzgâr enerjisi teknolojisine yönelik ekipman					%55				
PV panellere yönelik ekipman						%57			
CCS enerji teknolojisine yönelik ekipman							%56	%61	%61

Yatırım matrisi, ek harcamalardan en fazla fayda sağlayacak sektörleri gösterdiğinden, NETZERO sonuçlarının değerlendirilmesinde kilit bir role sahiptir.

¹³ Bu, GEM-E3 modelinin varsayılan matrisidir



BÖLÜM 4 Senaryoların Sonuçları

4.1 NETZERO

NETZERO senaryosu, projeksiyon döneminde (2020-2055) baz senaryoya kıyasla kümülatif¹⁴ GSYİH kazanımları getirmektedir. Tahmini kazanımlar yaklaşık 787 milyar ABD\$'a tekabül etmekte olup, esasen artan yatırımlardan kaynaklanmaktadır. Yenilenebilir enerji kapasitelerinin daha fazla kullanılması ve şebeke gelişimi, ekonomide bir talep uyarımı yaratarak inşaat sektörü başta olmak üzere daha yüksek faaliyet düzeyini beraberinde getirmektedir. İnşaat sektörünün belirleyici özellikleri arasında nispeten düşük ithalat bağımlılığı¹⁵ ve yüksek çarpan etkisi¹⁶ sayılabilir.

Yenilenebilir enerji ile ilişkili faaliyetlerdeki artışın GSYİH üzerinde yarattığı etkinin ayrıntıları aşağıda verilmiştir:

- a) Dönüşüm sermaye yoğun olduğu için yatırımlar artar.
- b) Fosil yakıtlara olan bağımlılığın azalması nedeniyle ithalat baz senaryoya kıyasla azalır.
- c) Daha yüksek ekonomik faaliyet ve istihdam düzeyi ile artan enerji tasarrufu sayesinde özel tüketim artar (baz senaryoya kıyasla kümülatif olarak %0,92 oranında).
- d) Yükselen enerji maliyetleri nedeniyle¹⁷ artan üretim maliyetlerinin yerli ürünlerin rekabet gücünü azalttığı varsayıldığı için, ihracat, baz senaryoya kıyasla daha düşüktür. Bu etki, büyük ölçüde diğer ülkelerin enerji ve iklim politikalarına ilişkin varsayımlara bağlıdır. Senaryo kurgusunda, diğer ülkelerin emisyon azaltımına yönelik herhangi bir eylemde bulunmadığı varsayılmaktadır. Bununla birlikte, küresel eylem bağlamında, diğer ülkelerin de dönüşümle ilişkili daha yüksek üretim maliyetleriyle karşı karşıya kalma ihtimali bulunmaktadır. Bu ihtimale göre, göreceli fiyatlarda (yani, yabancı malların fiyatına göre yerli ürünlerin fiyatında) daha küçük bir düzeltme gerekecek ve ihracattaki muhtemel değişiklikler daha sınırlı kalacaktır. Aynı zamanda dönüşümle bağlantılı olarak, Türkiye'nin hâlihazırda üretim kapasitesine sahip olduğu mallara (örneğin, elektrikli araçlar) yönelik talep, potansiyel olarak daha yüksek olacaktır.

Enerji verimliliği iyileştirmeleri ve ekipmanlarına yönelik hanehalkı harcamalarının daha yüksek seyrettiği (dolayısıyla yüksek sermaye maliyetlerinin hanehalkı bütçesi üzerindeki etkilerinin enerji tasarruflarından daha fazla olduğu) dönüşümün ilk aşamalarında (2035'e kadar) özel tüketim düşerken, uzun vadede sağlanan enerji tasarrufları enerji faturalarının düşmesi ve diğer mal ve hizmetlerin tüketiminin artması sonucunu doğuracaktır. Diğer taraftan Türkiye ekonomisinin geleneksel imalat sanayi sektörlerindeki faaliyetlerinin göreceli olarak azalacağı varsayılmakta ve "temiz enerji" ürünleri imalatı ile inşaat sanayi, NETZERO senaryosundaki dönüşümden en çok yararlanacak sektörler olarak ön plana çıkmaktadır.

¹⁴ Bundan böyle 2021-2055 dönemindeki toplam değişime atıfta bulunmak için kümülatif değişim terimi, incelenen zaman aralığında bir değişkenin yıllık yüzdelik değişimine atıfta bulunmak için büyüme oranı terimi kullanılırken, tanımlanan diğer değişiklikler belirli bir yılda baz senaryo ile incelenen senaryo arasındaki karşılaştırmaya atıfta bulunmaktadır.

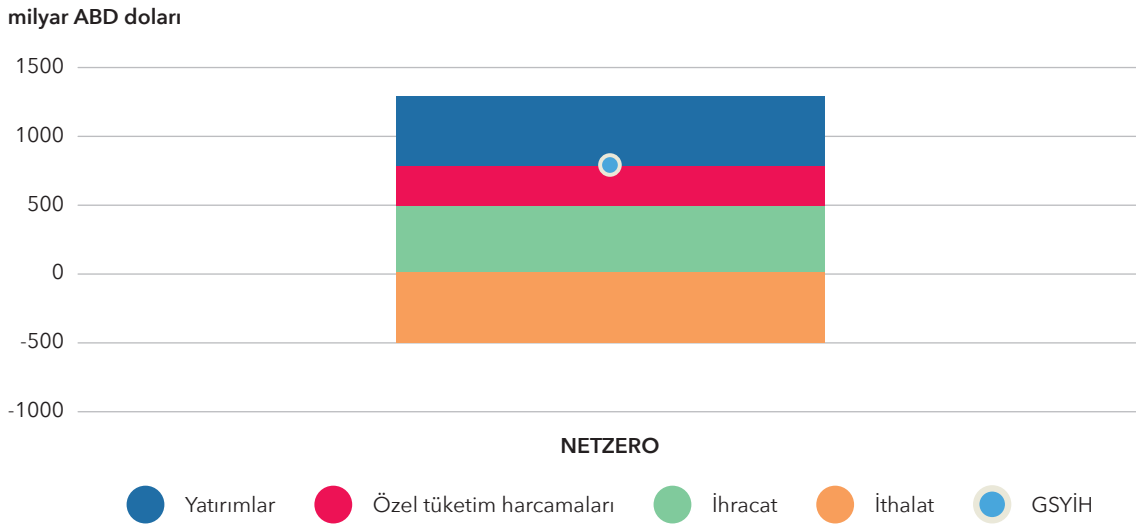
¹⁵ Toplam yurt içi talepte ithalatın payı. İnşaat hizmetleri ithalatı toplam yurt içi talebin ortalama %0,6'sını oluşturmaktadır.

¹⁶ Leontief çarpanı, bir sektörün talebinde (veya üretiminde) 1 ABD\$ tutarındaki artışın ekonomi üzerindeki etkilerini ölçer. Çarpanın 2 olması, talepteki 1 ABD\$'lık artışın ekonominin toplamında 2 ABD\$'lık net faydaya yol açtığı anlamına gelmektedir. Örneğin, inşaat sektörünün ortalama çıktı çarpanı 2,1, istihdam çarpanı ise 21'dir (bu da yatırılan her bir milyon doların 21 kişiye istihdam yarattığı anlamına gelmektedir).

¹⁷ Özellikle geçiş döneminde artan yenilenebilir enerji, iletim altyapısı, depolama yatırımları sistem maliyetlerini artırmakta, dolayısıyla enerji maliyetleri baz senaryoya kıyasla artmaktadır.

Dış ticaret dengesinde baz senaryoya kıyasla önemli bir değişiklik görülmemektedir. Fosil yakıt tüketimindeki düşüş ve talebi karşılamak için yapılan harcamaların işletme giderlerinden (OPEX) yatırım giderlerine kayması (CAPEX) sonucunda ithalat azalırken, üretim maliyetlerindeki artışa bağlı olarak ihracatta da baz senaryoya kıyasla küçük bir düşüş beklenmektedir¹⁸.

Şekil 7. NETZERO senaryosunda baz senaryoya kıyasla GSYİH üzerindeki kümülatif etki (2021-2055)¹⁹



Kaynak: GEM-E3

Üretim açısından bakıldığında, dönüşümden en fazla fayda sağlayan sektörler hizmetler, inşaat ve "temiz enerji" ekipmanı imalatıdır. Daha spesifik olarak, baz senaryoya kıyasla elektrikli araç üretimi, projeksiyon dönemi boyunca, yılda ortalama 8,4 milyar ABD\$; ev aletleri ve ekipmanı üretimi yılda 0,8 milyar ABD\$; yenilenebilir enerji ekipmanı üretimi ise 1 milyar ABD\$ düzeyinde artış gösterecektir. Öte yandan, geleneksel imalat faaliyetlerinde baz senaryoya kıyasla yaklaşık %2 oranında düşüş kaydedilecektir (2020-2055 dönemi için). Bu düşüş kısmen, geleneksel taşıt araçlarının yerini elektrikli araçların almasına, ev aletlerinin yenilenmesine ve daha verimli ekipmanlara geçişe ve (özellikle tüketim malları sektöründe) yüksek üretim maliyetleriyle bağlantılı rekabet gücü kayıplarına bağlıdır.

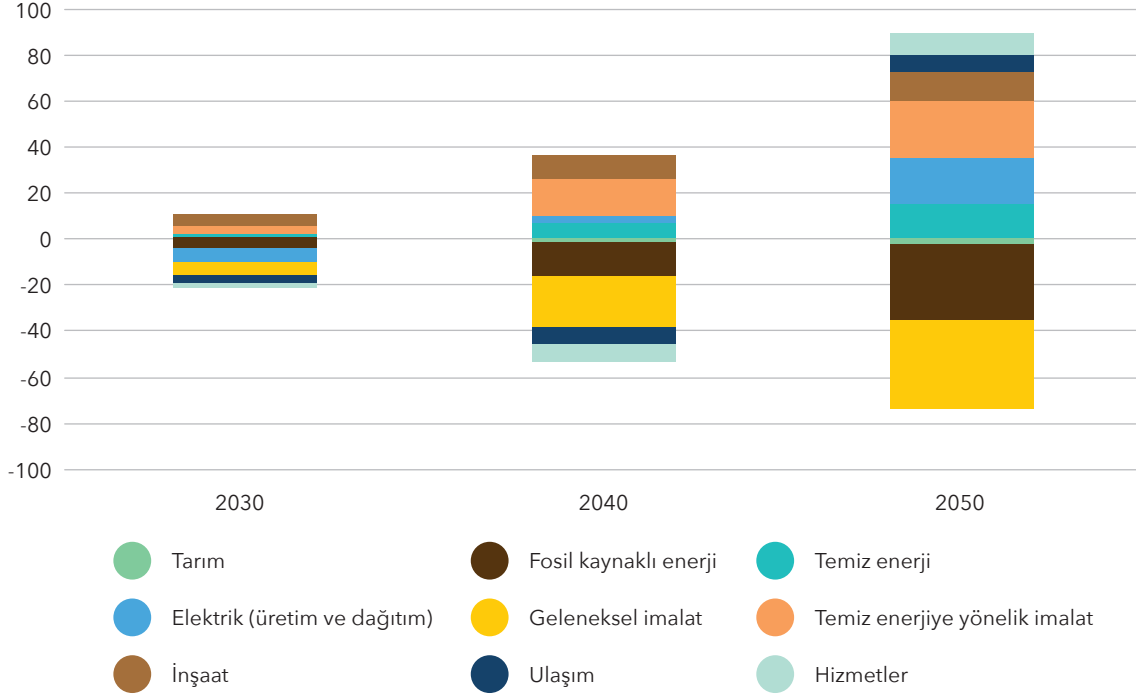
Hizmet sektörü ve bağlantılı sektörlerin üretimi ise baz senaryoya kıyasla toplamda %0,2 daha yüksektir. Dönüşümden en çok fayda sağlayan sektörler toptan ve perakende ticaret (+%1,2), konaklama ve yiyecek hizmetleri (+%0,4) ve diğer piyasa hizmetleridir (kamusal olmayan hizmetler) (+%0,3).

¹⁸ Üretim maliyetlerindeki artış, baz senaryoya kıyasla daha yüksek büyüme nedeniyle ücretlerin ve sermaye maliyetlerinin artışından kaynaklanmaktadır. Modelde ücretler ve sermaye gelirleri, ilgili piyasaları denge durumuna getirmek (yani arz ile talebi dengelemek) için düzeltmeye tabi tutulmuştur. Düzeltmenin düzeyi ve bunun makroekonomik performans üzerindeki etkisi duyarlılık senaryolarında incelenmiştir.

¹⁹ Kamu Harcamaları baz senaryo ve dönüşüm senaryosunda eşit olarak varsayıldığından bu grafikte ve sonraki grafiklerde yalnız özel tüketim üzerindeki etki gösterilmektedir.

Şekil 8. NETZERO senaryosunda baz senaryoya kıyasla sektörel üretimin değişimi

milyar ABD doları



Kaynak: GEM-E3

Toplamda imalat sanayindeki faaliyetler, baz senaryoya kıyasla nispi bir yavaşlama göstermektedir. Ortalamada, 2020-2055 döneminde Türkiye'nin toplam imalat sanayi üretiminin büyüme oranının, baz senaryodaki %2,6 oranına kıyasla %2,5 olacağı öngörülmektedir (bu, imalatın GSYİH'ye katkısında %1'lik bir düşüğe tekabül etmektedir). Bu değişimde başı çeken geleneksel imalat sektörlerinin²⁰ faaliyetleridir. Bu sektörlerin üretimi baz senaryoya kıyasla %2,1 oranında azalırken temiz enerji imalatının, üretimi projeksiyon dönemi boyunca iki katına çıkmaktadır.

Hem içten yanmalı motorlu araçların hem de elektrikli/plug-inhibrit araçları kapsayan ulaşım ekipmanları sektörünün üretimi baz senaryoya kıyasla %4,8 oranında artmaktadır. Bu artış, temel olarak, içten yanmalı motorlu araçların satışlarındaki düşüşü fazlasıyla karşılayan miktarda elektrikli araç üretiminden kaynaklanmaktadır. Diğer imalat sanayii faaliyetleri arasında en fazla etkilenen sektörler, demir dışı metaller (baz senaryoya göre %4,9), elektrikli ekipman sanayii, kauçuk ve plastik sanayii (sırasıyla %3,8 ve %3,1) olurken, en az etkilenen sektörler ise metalik olmayan mineraller ve demir-çelik ürünleri (sırasıyla %0,14 ve %0,7) olmuştur.

²⁰ Toplam etkinin sektör bazında kırılımı ile model kapsamındaki sektörler arasında geçişin ayrıntılı bir tablosu Ek'te (Bölüm 7.2) sunulmaktadır.

Şekil 9. NETZERO senaryosunda baz senaryoya kıyasla geleneksel ve temiz enerji imalat sektörlerinin değişimi

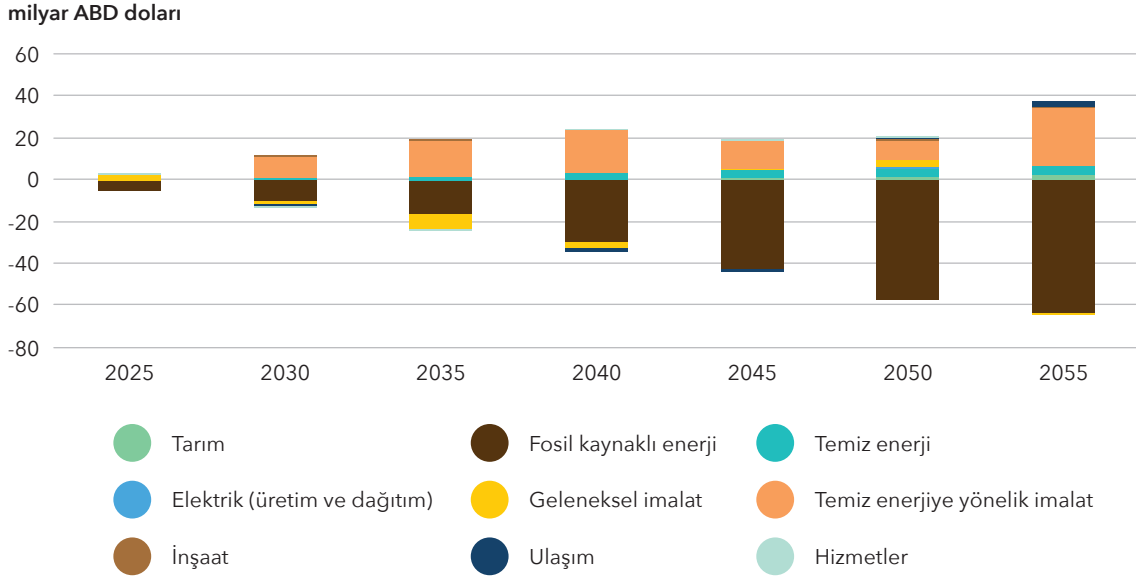
milyar ABD doları



Kaynak: GEM-E3

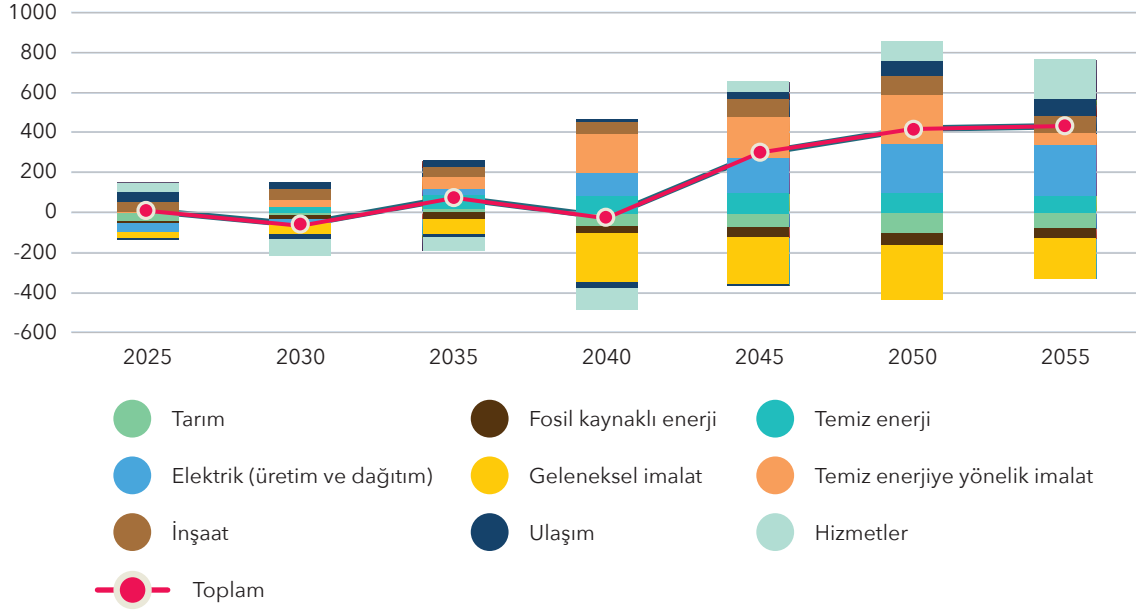
Ticaret açısından bakıldığında, kısa ve orta vadelere baz senaryoya kıyasla daha yüksek seyreden ihracat, 2040 yılından sonra gerileme gösterecektir. İlk başlarda nispeten düşük faiz oranlarıyla finansman sağlanabildiği ve henüz kredilerin geri ödemesine geçilmediğinden, sermaye maliyetleri düşüktür. Uzun vadede, daha yüksek kredi geri ödeme tutarları, daha yüksek sermaye maliyetleri ile birleşerek üretim maliyetlerinde değişikliklere yol açmaktadır. Etkiler, tüketim malları sanayi, demir-çelik sanayi ve içten yanmalı motorlu ulaşım ekipmanı üreticileri için daha belirgindir. Bu mallar karbon yoğun nitelikleri, karşılaştıkları yoğun dış rekabet ve karbonsuzlaştırma sürecine doğrudan katkıda bulunmayışlarından ötürü etkilenmektedir (Örneğin, içten yanmalı motorlara olan talebin azalacağı varsayılmaktadır).

İthalat 2040'a kadar olan dönemde artmakta, sonrasında ise düşmektedir. İlk aşamalarda, yenilenebilir enerji ekipmanları ve yeni cihazlara yönelik artan talep ithalatta artışa yol açmaktadır. Uzun vadede, yerli temiz enerji sektörleri üretim kapasiteleri artacak, enerji tasarrufu oranı yükselecek, bu da ithalatın yavaşlamasına yol açacaktır. Fosil yakıt ithalatının azalmasından (baz senaryoya kıyasla 2020-2055 döneminde %43) elde edilen fayda, imalat sanayi ürünleri (+%3,7) ve temiz enerji ürünleri ithalatındaki artışla kısmen dengelenmektedir (Örneğin, daha yüksek yenilenebilir enerji ekipmanı, elektrikli araç ve biyoyakıt, hidrojen vb. ithalatı).

Şekil 10. NETZERO senaryosunda baz senaryoya kıyasla sektörel ithalatın değişimi

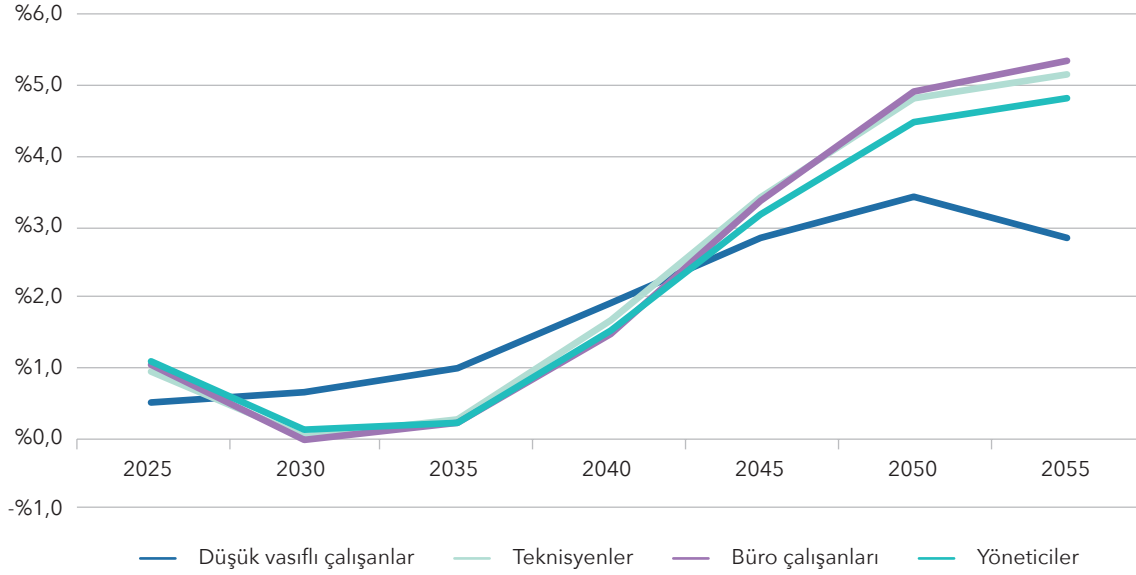
Kaynak: GEM-E3

İstihdam, dönüşüm sürecinin büyük kısmında baz senaryoya kıyasla daha yüksek seyredecektir. Geleneksel imalat sektörleri ve yakıt sektörlerindeki istihdam olanağı kayıpları, yıllık ortalama 183 bin yeni iş olanağı sağlanacağı öngörülen yenilenebilir enerji, enerji tasarruflu cihazlar ve temiz enerji üretimindeki faaliyet artışı ile kısmen telafi edilmektedir). Ayrıca, ulaşım ekipmanları sektöründe yaklaşık 51 bin kişilik ortalama istihdam artışı da yine öngörüler arasındadır. Temiz enerjide ve temiz enerjiye geçişle bağlantılı ekipmanlarda iş olanakları yaratılması, talebin ağırlıklı olarak ithal mallara kayması ve ekonominin yapısal uyumunu henüz tamamlamamış olması nedenleriyle dönüşüm sürecinin ilk yıllarında daha yavaş olacak ve bu boyutta ilerlemeler daha çok, genellikle uzun vadede, üretim kapasitesini artırmak için erken dönemlerde yapılan yatırımlar karşılığını verdiği gerçeğe olacaktır. Enerji yoğun sektörlerdeki istihdam ancak çok küçük ölçüde değişecektir. Son olarak, elektrik üretimine ve şebekesine yapılan yatırımlar daha yüksek düzeyde olup inşaat (yılıda 66 bin yeni istihdam) ve hizmet sektörlerinde (bu sektörler baz senaryoda toplam istihdamın yaklaşık %34'ünü oluşturmaktadır) faaliyetlerin artmasına neden olmaktadır. Hizmet sektöründe ortalama yıllık yaklaşık 20 bin yeni iş imkânı yaratılmaktadır. Ortalama ücretler ise dönüşüm sürecinde genel olarak artış gösterecektir (+%1,7). Bunun başlıca nedeni, inşaat ve hizmet sektörlerindeki büyümedir, zira bu sektörler, örneğin imalat sanayine kıyasla emek yoğun olması sebebiyle işçiliğe olan talebi de artıracaktır.

Şekil 11. Sektör bazında istihdamda değişim (baz senaryoya kıyasla)**Bin iş olanağı**

Kaynak: GEM-E3

NETZERO senaryosunda dönüşüm, sermaye yoğun bir süreçtir. Bu durum ulusal gelir hesabına da yansımakta olup, baz senaryo ile karşılaştırıldığında, sermayenin toplam millî gelir içindeki payını %1 puan artırmaktadır. Projeksiyon döneminde Türkiye’de toplam gelir yıllık ortalama %2,9 artarken, iş gücü geliri %2,3, sermaye geliri ise %3,2 oranlarında artmaktadır. İş gücü gruplarına göre gelir değişimi incelendiğinde, dönüşümün tüm beceri düzeylerinde baz senaryoya kıyasla daha yüksek gelir artışı sağlayacağı görülmektedir. Bununla birlikte dönüşümle gelen gelir artışının vasıfsız işlerde çalışanlarda daha yüksek vasıflı işlerde çalışanlara kıyasla daha yavaş olacağı ve 2050’den sonra gerileyeceği öngörülmektedir. Çalışmada dönüşüm sürecinin gelir dağılımı üzerindeki etkileri doğrudan ölçülemez. Ancak, hem sermaye ve iş gücü, hem de farklı iş gücü gruplarının arasında gelir artışıdaki farklar, dönüşümün gelir dağılımı üzerindeki etkilerinin izlenmesinin şart olduğunu göstermektedir.

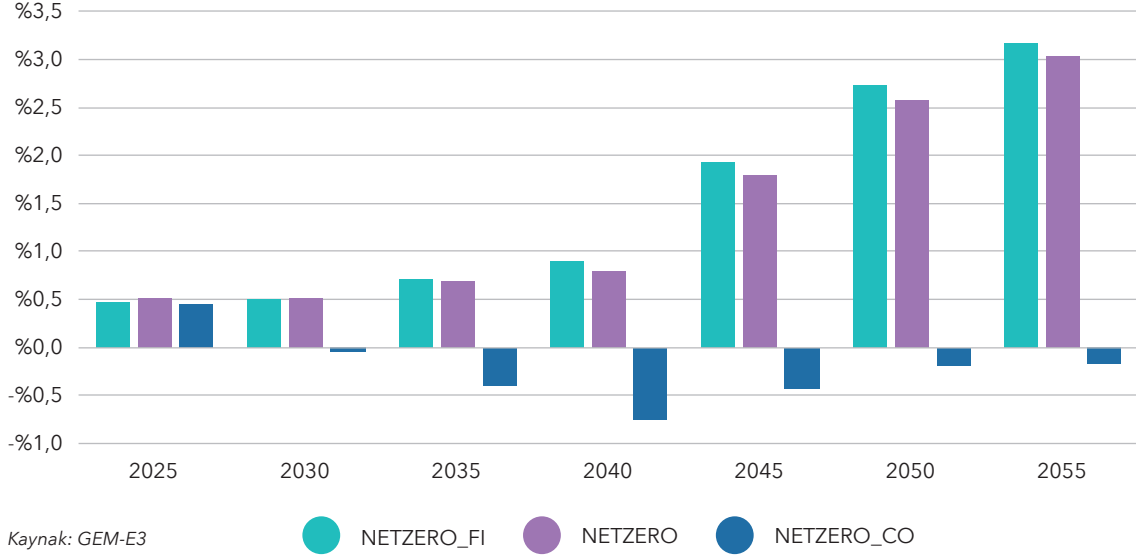
Şekil 12. Baz senaryoya kıyasla iş gücü gruplarının gelir değişimi (%)

Kaynak: GEM-E3

4.2 Duyarlılık analizi

4.2.1 Finansmanın rolü

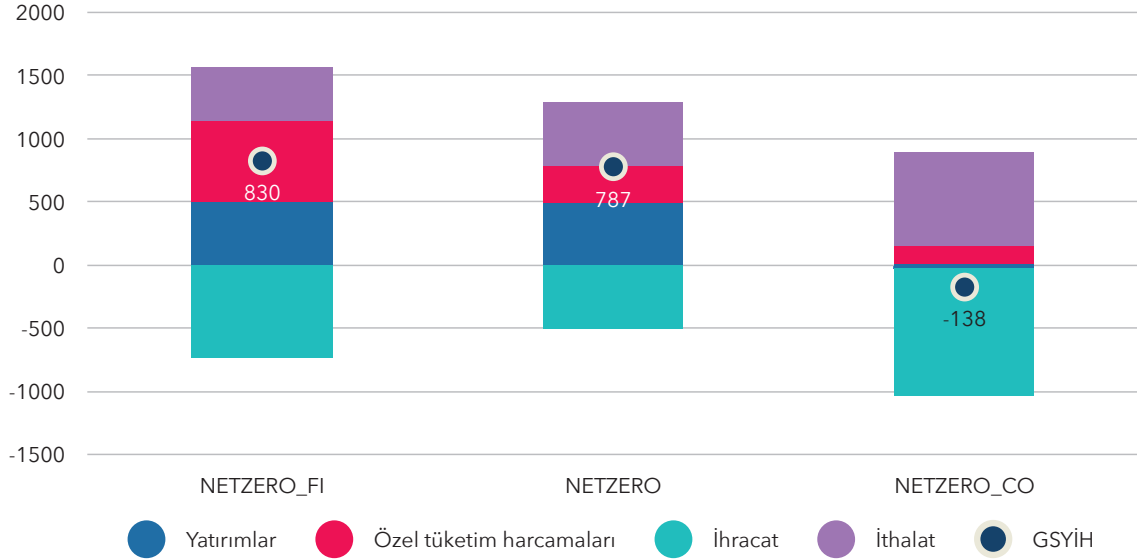
NETZERO senaryosu, ek maliyet olmaksızın dış finansmanın sağlandığı durumlarda da olumlu etkiler yaratırken, yatırımların ülkenin kendi kaynakları kullanılarak finanse edilmesinin gerektiği durumlarda olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Daha önce de belirtildiği üzere, bu senaryoda kümülatif GSYİH, 2020-2055 döneminde baz senaryoya kıyasla %1,4 oranında daha yüksektir. Kredilerin sürekli yenilendiği döner finansman senaryosunda (NETZERO_FI), etkiler pozitif ve ana varyant senaryodan az da olsa daha yüksektir (GSYİH baz senaryodakinden %1,5 daha yüksek). Dışlama (crowding out) senaryosu ise kümülatif GSYİH kayıplarına yol açmaktadır, yani olumsuz finansman koşulları temiz enerji dönüşümünde büyüme potansiyelini azaltmaktadır (GSYİH baz senaryodan %0,25 daha düşük). Söz konusu senaryodaki GSYİH kayıplarının arkasındaki temel neden, dışlamayla karşılaşan enerji dışı yatırımların çarpan etkisinin enerji üretim sektörlerinin çarpan etkisinden daha yüksek olmasıdır.

Şekil 13. Alternatif finansman kurgularının baz senaryoya kıyasla GSYİH değişimindeki etkileri

Dış finansman senaryolarında (NETZERO, NETZERO_FI), olumlu etkiler esas olarak yatırımlardan kaynaklanırken, kendi kendini finanse eden yapıda ekonomi GSYİH kayıplarına maruz kalmaktadır. NETZERO_CO kurgusunda, elektrik sisteminin karbonsuzlaştırılması ve şebekenin geliştirilmesi için gereken yatırımlar, diğer üretken yatırımlar pahasına gerçekleşmekte (ekonomideki toplam yatırımlarda azalmaya yol açmakta) ve bu durum daha yüksek tasarruf oranları gerektirmektedir. Dolayısıyla özel tüketim üzerindeki olumlu etkiler, diğer finansman senaryolarına kıyasla daha sınırlıdır. Dahası, NETZERO_CO senaryosunda, artan yatırım gereksinimleri sermaye piyasalarını zorlayarak daha yüksek sermaye maliyetlerine yol açmakta, bu da daha yüksek üretim maliyetleri ve rekabet gücü kayıpları anlamına gelmektedir. İhracat üzerindeki etki ise diğer iki kurguya göre daha yüksektir.

Şekil 14. Alternatif finansman kurgularının baz senaryoya kıyasla başlıca GSYİH göstergelerindeki kümülatif etkisi (2021-2053)

milyar ABD doları

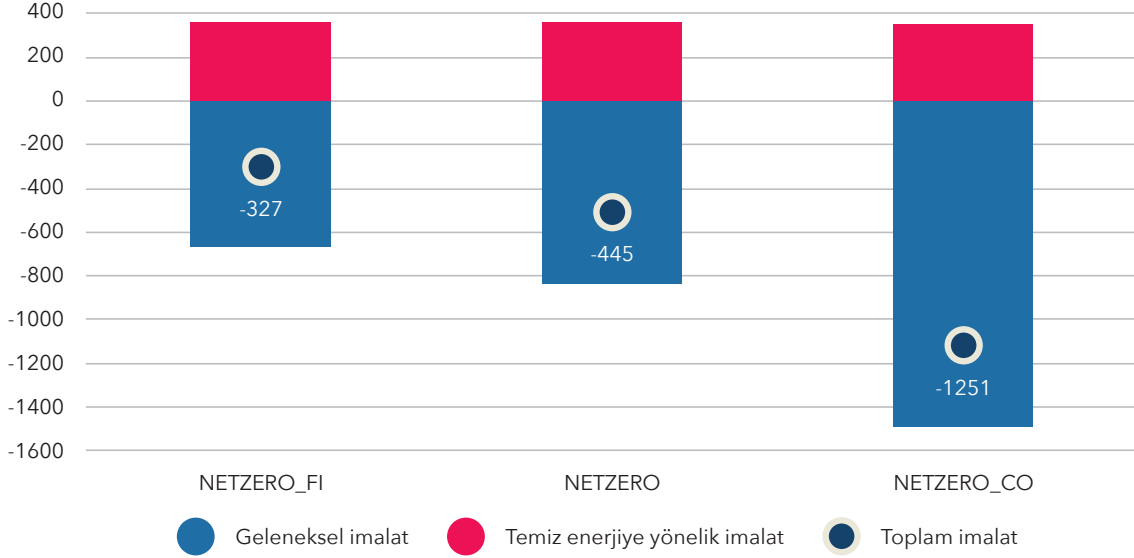


Kaynak: GEM-E3

Yenilenebilir enerji tesislerinin kurulumu için gerek duyulan yatırımların diğer yatırımlar için kullanılabilir kaynakları tüketmesinden ötürü, toplam kümülatif üretim, kendi kendini finanse etme durumunda baz senaryoya kıyasla yaklaşık %2,2 oranında daha düşüktür ve daha düşük yatırım rakamı da daha düşük üretken kapasite ve daha yüksek sermaye maliyeti anlamına gelmektedir. Daha yüksek sermaye maliyeti yurt içinde üretilen malların göreceli maliyetini artırmakta ve bu da başka ülkelerden ithal edilen ürünlerin yurt içinde üretilen ürünlerin yerini almasına neden olmaktadır.

Şekil 15. Alternatif finansman kurgularının baz senaryoya kıyasla imalat sanayi üretimindeki kümülatif etkisi (2021-2055)

milyar ABD doları



Kaynak: GEM-E3

4.2.2 Ücretlerin rolü

NETZERO dönüşüm sürecinde ücretlerin etkisi de, analiz kapsamında değerlendirilmiştir. Ücretler, üretim maliyetlerini şekillendiren başlıca faktörlerden biri olarak, ekonomideki genel fiyat seviyelerini ve yerli ürünlerin uluslararası piyasalardaki rekabet gücünü belirlemede önemli rol oynamaktadır. Ücretler, iş gücü piyasasının denge konumuna ulaşma sürecinde talepteki değişime göre ayarlanır²¹. Ücretlerin duyarlılığı çeşitli faktörlere (asgari ücret, sendikalar, iş gücü politikaları vb.) bağlıdır ve ülkeden ülkeye farklılık gösterir.

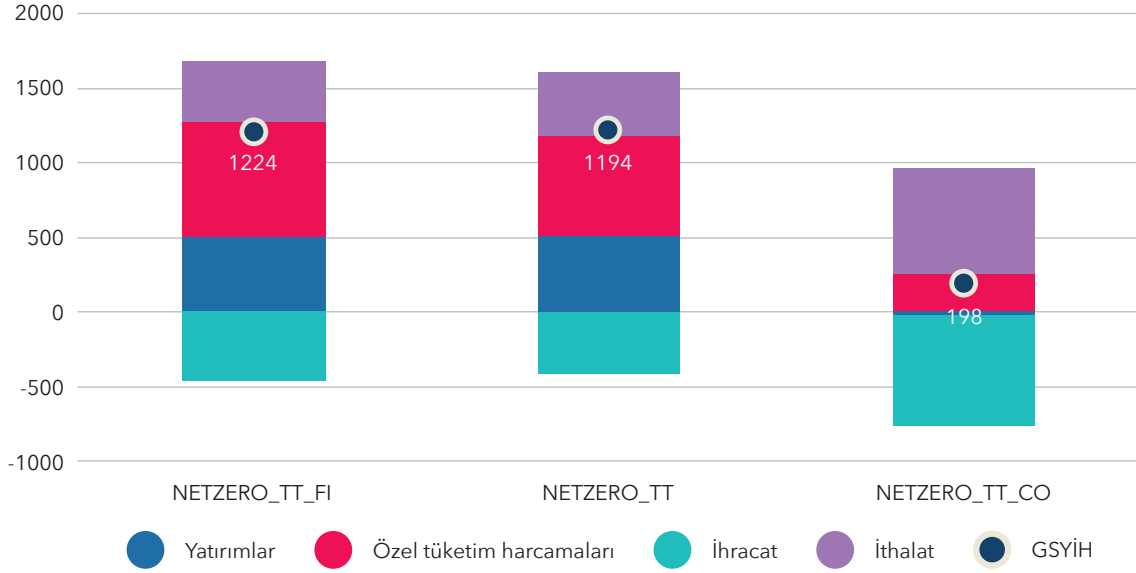
NETZERO_TT senaryolarında piyasadaki arıza etkilerin (friction) ve/veya iş gücü politikalarının, ücretlerin ancak yavaş değişmesi sonucunu doğurduğu (ve baz senaryodaki seviyelerine eşit kaldığı) kabul edilmiştir. Duyarlılık çalışmaları, yatırımların finansmanına ilişkin varsayımları sabit reel ücretlerle bir araya getirmektedir. Finansmanın kredilerle sağlandığı senaryoda (NETZERO_FI) sabit birincil üretim faktör maliyetleri, ana varyanta (NETZERO) kıyasla daha yüksek GSYİH kazançlarına yol açmakta ve böylece GSYİH 2020-2055 döneminde %2,24 oranında artmaktadır. Yapışkan ücret senaryolarında üretim maliyetleri ve rekabet gücü üzerindeki olumsuz etkiler, esnek istihdam piyasaları senaryolarına kıyasla daha sınırlıdır. Bu senaryolarda üretim maliyetlerinin ihracat üzerindeki olumsuz etkisi hafifletmekte ve artan faaliyet faydalarından kaynaklanan ek talep, ekonomiye katkı olarak geri döneceği görülmektedir²².

²¹ Arzın talebe eşit olduğu nokta

²² Maliyet düşüşüyle yaratılan ek faydanın ekonomiye talep artışı olarak döneceği sonucu ek gelirlerin yurtiçinde kalacağı geri varsayımına dayanmaktadır.

Şekil 16. Yapışkan ücretlerle birlikte alternatif finansman kurgularının baz senaryoya kıyasla başlıca GSYİH göstergelerindeki kümülatif etkisi (2021-2053)

milyar ABD doları



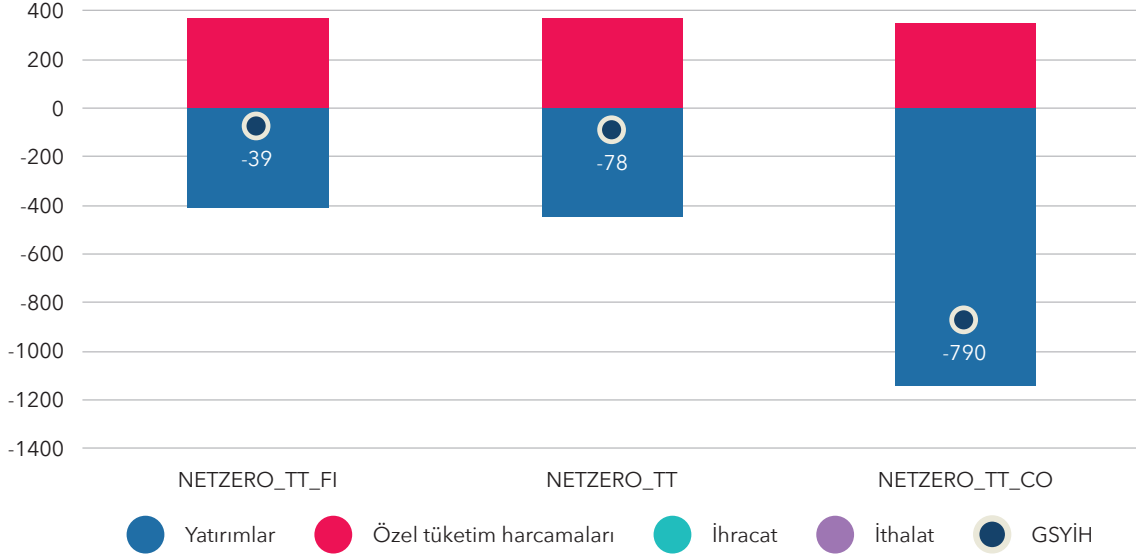
Kaynak: GEM-E3

Yapışkan ücretler ve sermaye gelirlerini kapsayan NETZERO_TT varyantı, tüm finansman senaryolarında pozitif sonuçlar sağlamaktadır. Kendi kendini finanse etme durumunda (NET_TT_CO), ücretlerde esneklik öngören senaryo, projeksiyon dönemi boyunca yaklaşık 138 milyar ABD\$ tutarında kümülatif bir kayıp yaratırken, sabit ücretler öngören varyant, yaklaşık 198 milyar ABD\$ tutarında kümülatif bir kazanç getirmektedir.

İmalat sanayi üretimleri üzerindeki etkiler de esnek ücret senaryolarına kıyasla daha azdır. Örneğin, ana varyant senaryoda, toplam imalat sanayi üretimi kümülatif olarak yaklaşık 308 milyar ABD\$ düşerken, sabit ücretli muadilinde (NETZERO_TT) üretim sadece 39 milyar ABD\$ azalmaktadır.

Şekil 17. Yapışkan Ücretlerle birlikte alternatif finansman kurgularının baz senaryoya kıyasla imalat sanayi üretimindeki kümülatif etkisi (2021-2053)

milyar ABD doları



Kaynak: GEM-E3

Yukarıda yer alan analiz sonucunda yapışkan ücretlerin (sticky wages), yani arz-talep veya dağıtım politikaları yerine yalnızca beceri ve üretkenlik değişimine dayalı ücret farklılaşmasının, GSYİH üzerinde ilaveten %0,6 oranında pozitif bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Yapışkan ücretlerin uygulandığı senaryoda, istihdam, baz senaryoya kıyasla %2,9 ila %4,6 arasında artarken, bu durumun getirdiği daha yüksek istihdam karşılığında daha düşük ücretlerin arzu edilir olup olmadığı toplumsal açıdan tartışmaya açıktır. Bu nedenle, istihdam ve ücretlerin korunmasına yönelik dikkatle tasarlanmış adil dönüşüm politikalarının bu sürecin ayrılmaz bir parçası haline getirilmesi gerekmektedir. Böylece, ekonomik büyümenin sağladığı faydalar dengeli bir şekilde dağıtılabilir ve sosyal adaletin korunmasına katkı sağlanabilir.



BÖLÜM 5
Genel Etki ve
Fayda-Maliyet
Analizi

Hem baz senaryoda hem de net sıfır senaryolarında, GSYİH, ücretler ve toplam istihdamda 2020-2055 döneminde reel artış görülmektedir. GSYİH 2,7 kat artarken, istihdam edilen kişi sayısı baz senaryoda 6,4 milyon, ana net sıfır senaryosunda ise 6,8 milyon artmaktadır. Başka bir deyişle, her iki senaryoda da mutlak anlamda bir kayıp söz konusu değildir. Dönüşümün etkisi, baz senaryo ve net sıfır senaryoları arasındaki fark şeklinde ölçülmektedir.

Tablo 6. NETZERO ana senaryosunun baz senaryoyla karşılaştırmalı etki özeti

Baz Senaryo GSYİH'sinin Yüzdesi Olarak*	Kümülatif (2021-2055)	2030	2040	2055
Millî Gelire Etkisi (GSYİH)	%1,4	%0,5	%0,8	%3,0
İmalata Etkisi	%-0,6	%-0,3	%-0,3	%-0,8
Genel Dış Ticaret Dengesi Üzerindeki Etkisi	%0,0	%-0,1	%-0,1	%-0,3
Toplam Enerji Güvenliği Etkisi	%1,8	%0,6	%1,9	%2,4
Sosyoekonomik Refaha Etkisi	%2,4	%0,7	%2,5	%3,3
Ücret Gelirleri	%0,6	%0,0	%0,4	%1,1
Sağlık ve Çevre Üzerindeki Etkisi	%0,7	%0,1	%0,9	%0,7
İklim Değişikliğine Etkisi	%1,1	%0,5	%1,2	%1,4
Baz Senaryodaki Toplam İstihdamın Yüzdesi Olarak**				
Net Ek İstihdam	%1,6	%-0,2	%0,1	%1,4

* İlk sütun NETZERO ile baz senaryodaki kümülatif gösterge arasındaki farkı, baz senaryodaki toplam kümülatif GSYİH'nin yüzdesi olarak göstermektedir. Sonaki üç sütun, net sıfır ve baz senaryolar arasındaki farkı, belirtilen yıldaki baz GSYİH'nin yüzdesi olarak göstermektedir.

** Her sütun, başlangıç yılı ile hedef yıl arasındaki istihdam artışında net sıfır senaryosu ile baz senaryo arasındaki farkı, başlangıç yılındaki istihdamın yüzdesi olarak göstermektedir. Kümülatif ve 2030 sütunları için baz yıl 2020 iken, 2040 sütunu için 2030, 2055 sütunu içinse 2040'tır.

Millî gelire etkisi: GSYİH'deki değişim üzerinden ölçülür. GSYİH üzerindeki etki pozitif olup zamanla da artmaktadır.

İmalata etkisi: İmalattaki katma değer değişimi üzerinden ölçülür. Kümülatif etki, negatif yönde küçük bir etki olup 2040 yılından sonra büyüklüğü artmaktadır.

Genel dış ticaret dengesine etkisi: Dış ticaret dengesi, ihracat eksi ithalat şeklinde tanımlanmaktadır. Genel dış ticaret dengesi üzerindeki etki, sıfıra yakındır.

Toplam enerji güvenliğine etkisi: Bu rapor bağlamında enerji güvenliği, enerji dönüşümünün bir sonucu olarak gerek enerji gerekse enerji üretim araçları ve ekipmanları için ithalata bağımlılığın azalması olarak tanımlanmaktadır. Enerji güvenliği etkisini ölçmek için kullanılan gösterge, enerji (çoğunlukla fosil yakıtlar) ve temiz enerji üretimi ve tüketimi için kullanılan ekipmanların (bataryalar, gelişmiş elektrikli cihazlar, gelişmiş ısıtma ve pişirme cihazları, rüzgâr enerjisi ekipmanları, güneş panelleri, hidrojen ve CCS) ticaret dengesidir (ihracat eksi ithalat). Kümülatif enerji güvenliği etkisi nispeten yüksektir ve zamanla artış göstermektedir.

Sosyoekonomik refah etkisi: Bu rapor bağlamında sosyoekonomik refah etkisi, toplam ücret gelirindeki artış ve fosil yakıtların kullanımıyla ilişkili sağlık riskleri ile iklim değişikliği risklerinden kaçınma olarak tanımlanmaktadır. Toplam ücret geliri üzerindeki kümülatif pozitif etki küçük olsa da zaman içinde artış göstermektedir. Hava kirliliğinin sağlık ve üzerindeki çevre etkileri, SHURA'nın 2021 yılında yayınlanan dışsal maliyet analizine göre hesaplanmıştır (SHURA, 2020). İklim değişikliği etkisi için, Türkiye ile referans bir Avrupa Birliği (AB) ülkesi arasındaki satın alma gücü paritesine göre kişi başına düşen GSYİH (SAGPGSYİH/kişi) farkına göre uyarlanmış 70€/ton karbon fiyatı kullanılmıştır²³. Bu oldukça mütevazı dışsal maliyet tahminine rağmen, kayda değer bir etki söz konusu olup zaman içinde de artış görülmektedir. Dışsal maliyetlerin hesaplanmasına ilişkin metodoloji ve varsayımlar ekte (Bölüm 7.4) verilmiştir.

İstihdama etkisi: Net ilave istihdam farkı ile ölçülen istihdam yaratma üzerindeki kümülatif etki pozitiftir. Bununla birlikte, 2040 yılına kadar olan 20 yıllık döneme özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir. Zira bu dönemdeki net etki sıfıra yakındır.

Tablo 7. NETZERO senaryoları baz senaryo ile karşılaştırmalı kümülatif etki aralığı (2021-2055)

Baz Senaryo GSYİH'sinin Yüzdesi Olarak*	Asgari	Ortalama	Maksimum	En Düşük Senaryo	En Yüksek Senaryo
Millî Gelire Etkisi (GSYİH)	%-0,2	%1,4	%2,1	NZ_CO	NZ_TT_FI
İmalata Etkisi	%-2,2	%-0,6	%-0,1	NZ_CO	NZ_TT
Genel Dış Ticaret Dengesi Üzerindeki Etkisi	%-0,5	%0,0	%0,0	NZ_CO	NZ_TT_FI
Toplam Enerji Güvenliği Etkisi	%1,8	%1,8	%1,8	-	-
Sosyoekonomik Refaha Etkisi	%2,3	%2,4	%2,5	NZ_CO	NZ_TT_FI
Baz Senaryodaki Toplam İstihdamın Yüzdesi Olarak**					
Kümülatif Net Ek İstihdam	%0,2	%1,6	%6,2	NZ_CO	NZ_TT

Tablo7'de, kümülatif etki aralığını ve NETZERO ana varyant senaryosuna göre minimum ve maksimum değerlerin oluştuğu senaryo koşullarını gösterilmektedir. Neredeyse tüm durumlarda, maksimum olumlu etki yapışkan ücretlerle uygulanan krediye dayalı senaryoda elde edilirken, minimum etki esnek ücretlerle birlikte kendi kendini finanse etme durumunda ortaya çıkmaktadır. Ancak, finansmanın GSYİH üzerindeki net etkisi (%1,6), yapışkan ücretlerin etkisinden (%0,7) fazladır²⁴. Öte yandan, yapışkan ücretlerle birlikte uygulanan geri ödemeli kredi finansmanı senaryosu, açık ara en fazla istihdamı yaratmaktadır.

²³ Dışsalılık çalışmasında da olduğu gibi, referans ülke olarak Almanya kullanılmış ve SAGP GSYİH/kişi oranının 2022 yılında %59'dan başlayarak 2055 yılında %85'e ulaşacak şekilde kademeli olarak Almanya'ya yakınsayacağı varsayılmıştır. Ortaya çıkan karbon değeri 2022 yılında 35 €/ton iken, 2055 yılına kadar kademeli olarak 49 €/tona yükselecektir.

²⁴ Finansmanın etkisi, kendi kendini finanse eden senaryonun etkisinin NETZERO (ana varyant) senaryonun etkisinden çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Yapışkan ücretlerin etkisi, krediye dayalı yavaş değişen ücret senaryosunun etkisinden ana varyant senaryonun etkisinin çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

5.1 Genel fayda-maliyet analizi

Tablo 6'da dönüşümden etkilenmesi muhtemel başlıca sosyoekonomik alanlar üzerindeki etkilerin boyutu özetlenmektedir. Tablodaki net sosyoekonomik fayda hesaplamasında, sosyoekonomik maliyetler göz önünde bulundurulurken net finansal maliyet dikkate alınmamaktadır. Tablodaki rakamlar, sistem maliyetlerinde yansımaları bulan yeni enerji sisteminin kurulması ve işletilmesinin yenilenebilir enerji tesisleri, elektrik şebekesi iyileştirmeleri, bataryalar, dijitalleşme vb. alanlarındaki yatırımlardan kaynaklanan ek maliyetini hesaba katmamaktadır. Dönüşümün söz konusu faydalarının karşılaşılabilecek maliyetler ışığında değerlendirilmesi gerekmektedir. Tablo 8'de dönüşümün yıllık fayda ve maliyet dengesi gösterilmektedir.

Dönüşümün ulusal muhasebe kapsamında kalan faydaları GSYİH'deki değişimle ölçülebilir. Genel anlamda faydalar, GSYİH dışında kalan faydaları, önlenen hava kirliliği ve karbon emisyonlarıyla ilgili sosyal refah etkilerini (dışsallıklar) de içerir. Maliyetler ise sistem maliyetleri ile gösterilmektedir.

Tablo 8. NETZERO senaryosunun baz senaryo ile karşılaştırmalı fayda-maliyet analizi (milyar ABD\$ 2014)

	Yıllık Ortalama (2021-2055)	2030	2035	2040	2045	2050	2055
Faydalar	51,4	13,8	26,5	46,9	67,2	90,4	114,5
Millî Gelirdeki Değişim	22,5	6,0	9,8	13,0	33,4	54,1	70,8
Sağlık, Çevre ve İklim Değişikliği Etkileri	28,9	7,8	16,7	33,9	33,8	36,3	43,8
Maliyetler	26,0	8,9	15,9	43,5	56,0	45,1	36,0
Sistem Maliyetleri	26,0	8,9	15,9	43,5	56,0	45,1	36,0
Net Fayda	25,4	4,9	10,6	3,4	11,2	45,3	78,5
Fayda/Maliyet	2,0	1,5	1,7	1,1	1,2	2,0	3,2

Ortalamada, dönüşümün faydaları, maliyetlerini iki katına ulaşacaktır. Yatırımların zirve yapacağı 2036-2045 döneminden sonra sistem maliyetleri hızla yükselecek ve 2040 yılı civarında geçici olarak net fayda seviyesine yaklaşacaktır. Bu dönemde, GSYİH üzerindeki olumlu etkileri artırmak için uygun sanayi ve adil dönüşüm politikalarının geliştirilmesine özellikle dikkat edilmelidir.



BÖLÜM 6 Sonuçlar

NZ2053 yol haritasının Türkiye'deki etkisinin değerlendirilmesi, dönüşümden ekonomik faydalar elde edileceğini ortaya koymaktadır. Artan yatırımlar ve azalan fosil yakıt ithalatının ekonomiyi olumlu yönde etkileyeceği saptanmaktadır. Özellikle inşaat/altyapı sektöründe artan yatırımlar aracılığıyla ülke ekonomisine destek sağlanırken, enerji sisteminin yeniden yapılandırılması ile de ek faydalar getirilmiş olunacaktır. Fosil yakıtlar ağırlıklı olarak ithal edilirken, elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların geliştirilmesi ve ulaşımın elektrifikasyonu, temiz enerji ve elektrik sektörlerinin görece daha yüksek yerli içeriği nedeniyle kazanımlara yol açacaktır. Dahası, enerji tasarrufu ve ulaşımın elektrifikasyonu ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, geleneksel imalat sektörlerinde (düşük talep veya rekabet gücü kayıpları nedeniyle) yaşanacak kayıpları kısmen telafi eden temiz enerji ekipmanı ürünleri sağlayan yerli imalat sektörlerini canlandırıcı bir etkide bulunacaktır. NETZERO'da istihdamın baz senaryoya kıyasla daha yüksek olduğu ve iş gücü gelirin tüm iş gücü kategorilerinde daha yüksek olduğu görülmektedir.

Analiz, aynı zamanda, finansal kaynakların mevcudiyeti ve talep yapısındaki değişime iş gücü maliyetinin tepki verme derecesi gibi belirsizlik faktörlerini de kapsamaktadır. Birincil üretim piyasalarının talebe uyum sağlama derecesinin yanı sıra gerekli yatırımların finansman kolaylığının da temiz enerjiye geçişin etkisini şekillendirdiği anlaşılmaktadır. Yapışkan ücretler ve dışarıdan finansman sağlanması, Türkiye'nin enerji sisteminin karbonsuzlaştırılmasından elde edilen kazanımları daha da artırmaktadır. GSYİH üzerindeki kümülatif etkilerin 2020-2055 döneminde farklı senaryolar altında -138 milyar ABD\$ ile +1.224 milyar ABD (kümülatif GSYİH'nin %0,2'si ile +%2,1'i) aralığında olacağı tespit edilmiştir. İlave yatırımlar için mütevazı bir finansman maliyetinin öngörüldüğü ve iş gücü piyasalarının talep tarafındaki değişikliklere uyum sağladığı ana varyant senaryoda, 787 milyar ABD\$ tutarında kümülatif kazanç beklenmektedir. Genel itibarıyla sonuçlar (enerji ile ilgili girdiler ve sektörel kapsamdaki farklılıklar dikkate alındığında) literatürde bildirilenlerle uyumludur. Bu çalışma ana varyant NETZERO senaryosunda 2030 yılına gelindiğinde GSYİH'de %0,5 artış öngörürken SHURA (2021) artış oranını %1,0 olarak tahmin etmiştir. 2040 yılı için ise iki çalışma değişimin sırasıyla %0,8 ve %1,4 düzeyinde olacağını tahmin etmektedir. Hallegate ve ark. (2023) tarafından ulaşılan sonuçlara paralel olarak duyarlılık analizi, iş gücü piyasasındaki uyarlamaların ve finansman kolaylığının dönüşüm sürecinde ekonomiyi olumlu yönde etkilediğinin altını çizmektedir.

Dönüşüm süreci ekonomide bir değişimi tetikleyecek, yeni sektörler ortaya çıkarken diğer sektörlerin faaliyet seviyelerinde baz senaryoya kıyasla yavaşlama ve hatta azalma yaşanacaktır. Nispeten daha fazla fayda sağlanması beklenen sektörler, net sıfır karbon yol haritasının gerçekleşmesi için gerekli ürün ve hizmetleri sağlayan sektörlerdir. Diğer bir deyişle, yenilenebilir enerji ekipmanları, enerji verimliliği ekipmanları ve elektrikli araç sektörlerinin faaliyetlerinde büyük bir artış yaşanması beklenmektedir.

Tanımlanmış bir net sıfır karbon enerji dönüşümü yol haritasının sosyoekonomik göstergeler üzerindeki etkilerini inceleyen ve esas olarak niceliksel bir modelleme uygulaması olan bu çalışma, nihai bir sonuçtan ziyade politikalar için yol gösterebilecek bir başlangıç olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmanın, ülke ekonomisi ve sürdürülebilir kalkınmanın bütününe ele alan adil dönüşüm prensipleri odağında niteliksel çalışma ve tartışmalarla desteklenmesi sağlıklı bir dönüşüm sürecinin planlanmasına katkıda bulunacaktır. Bu doğrultuda SHURA

Enerji Dönüşümü Merkezi biri Türkiye için sanayi politikası alternatiflerini (SHURA 2024a), diğeri bölgesel istihdam politikası (SHURA 2024b) seçeneklerini ele alan iki tartışma raporu yayımlamıştır. Dönüşümün teknik, ekonomik ve sosyal tüm boyutlarına ilişkin kamu, özel sektör, meslek kuruluşları, sivil toplum kuruluşları (STK), işçi ve işveren örgütleri ile üniversite ve diğeri araştırma kuruluşlarını içerecek şekilde çalışma ve diyalogların sürdürülmesi bu bağlamda kritik önem taşımaktadır.

Bu raporda ele alınan etkilere yönelik kısa dönemde ele alınabilecek ana politika başlıkları aşağıda sıralanmıştır.

Enerji ve İklim Politikaları: Türkiye'nin 2053 için belirlediği net sıfır karbon hedefinin ara başlıklarının ve buna yönelik ara hedef ve eylemlerin net bir şekilde belirlenerek kamuoyuyla paylaşılması öngörülebilirliği artıracaktır. Enerji sektöründeki mevcut sübvansiyon ve desteklerin fosil yakıtlardan temiz elektriğe yönlendirilmesi, sanayi, ulaşım ve konutlarda elektrifikasyonun teşvik edilmesi dönüşüm süreci açısından önem taşımaktadır. Türkiye'de ulusal emisyon ticaret sisteminin oluşturulması ve dönüşümü destekleyecek şekilde uygulanması da bu alandaki önemli gündem maddeleri arasında yer almalıdır.

Ekonomi Politikaları: Türkiye'nin yüksek enflasyon, döviz kuru, faiz gibi mevcut dengesizliklerinin giderilmesine yönelik makroekonomik gündeminin sanayi politikasını da içerecek şekilde katma değerli üretim, iş gücünün geliştirilmesi, sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması gibi yapısal konulara doğru yönlenebilmesi dönüşüm sürecinin sağlıklı yürütülmesi açısından da önem taşımaktadır.

Sanayi Politikası: Türkiye'de sanayinin düşük teknolojili, düşük katma değerli ve karbon yoğun üretim kompozisyonunun dış ticaret açığı ve orta gelir tuzağı gibi makroekonomik dengesizliklerin kaynağında yer aldığı saptanmaktadır. Dolayısıyla enerji dönüşümünün sanayi dönüşümüyle birlikte ele alınması, karbonsuzlaşma ile birlikte teknoloji düzeyini yükselten, temel sektörlerde yapısal dönüşümü ve uluslararası değer zincirlerine gelişkin entegrasyonu sağlayan bütüncül sanayi, ulaştırma, finans ve ticaret politikalarının benimsenmesi dönüşümün olumlu etkilerinin öngörülerin üstüne çıkmasını sağlayabilir. Bu bağlamda özellikle enerji yoğun sanayilerde katma değeri artıracak ürün kompozisyonu değişimiyle birlikte karbonsuzlaşmanın desteklenmesi dönüşümle bağlantılı olumsuz etkileri hafifletebilir. Yine bu kapsamda, Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) etkilerinin dikkate alınması ve dış ticarete yönelik politika ve stratejilerin geliştirilmesi önem kazanacaktır.

İstihdam Politikası: Dönüşümle birlikte ihtiyaç duyulacak yeni becerilerin geliştirilmesine ve iş gücünün yeni iş alanlarında istihdamın kolaylaştırılmasına yönelik aktif istihdam politikalarının yanı sıra dönüşüm sonucunda daralan iş alanlarında işini kaybetme riskiyle karşılaşabilecek çalışanlara yönelik yeniden eğitim, tazminat, işe yerleştirme, erken emeklilik gibi alternatif politikaların planlanması önem taşıyor. Adil dönüşüm prensipleri çerçevesinde karbon yoğun istihdam alanlarının yer aldığı bölge ve sektörlerde tüm paydaşların katılımıyla bölgesel kalkınma politikalarına yönelim olumsuz etkiler azaltılırken olumlu katkıların artırılmasını sağlayacaktır.

Finansman Politikaları: Bu çalışmanın sonuçları uygun koşullarda sağlanacak finansmanın dönüşümün olumlu etkilerini çoğaltacağına işaret etmektedir. Dünyadaki ve Türkiye'deki makroekonomik ortamın ve finansal kaynaklara erişimin geçmiş yirmi yıllık döneme kıyasla yeni zorluklar içermesi, iklim diplomasisi, kalkınma ve finansman bağlamlarında stratejik planlamanın önemini artırmaktadır. Finansmana erişimin artırılması ve finansal kaynakların çeşitlendirilmesi için kamu öncülüğünde, özel sektör, finans kuruluşları ve STK'ların aktif katılımıyla uzun dönemli enerji dönüşümü stratejisi kapsamında finansal yapılar ve fon mekanizmaları oluşturulmalıdır (SHURA, 2022).

Sonuç olarak, Türkiye'nin net-sıfır karbon yol haritası ekonomik gelişme, istihdam artışı ve enerji güvenliği için önemli olanaklar sağlarken öncelikli çevre ve sağlık sorunlarının çözümüne de katkıda bulunmaktadır. Dönüşüm büyük yatırımlar ve özellikle finansman ve iş gücü piyasasına yönelik titiz bir planlama süreci gerektirmekte, ancak maliyetlerinin çok ötesinde faydalar vadetmektedir. Türkiye sanayi politikası, finansmana erişim ve adil dönüşüm önlemlerini stratejik bir şekilde dengeleyebilmesi halinde, bu dönüşümün olumlu etkilerini çoğaltabilir ve karbonsuz ekonomiye geçişin hem sürdürülebilir hem de tüm paydaşlar için eşitlikçi olmasını sağlayabilir.

Ekler

7.1 GEM-E3M modeline ilişkin ek bilgi

GEM-E3 modeli, mikroekonomik mekanizmaları ve kurumsal özellikleri tutarlı bir makroekonomik çerçeve içinde bir araya getirmekte ve davranışların indirgemeci bir yaklaşımla temsil edilmesini önlemektedir. Modelde tam rekabetin hâkim olduğu piyasa rejimleri, enerji üretim teknolojilerinin somut bir şekilde temsil edilmesi, yarı içsel yaparak öğrenme etkileri, denge durumunda işsizlik, enerji verimliliği standartlarını uygulamaya koyma seçeneği, sera gazı ve atmosferik kirleticilere ilişkin emisyon izinlerinin formüle edilebilmesi gibi özellikler bulunmaktadır. Kapsamı iki açıdan geneldir: Eş zamanlı olarak birbiriyle ilişkili tüm piyasaları kapsar ve sistemi coğrafya, alt sistem (enerji, çevre, ekonomi) ve aktörlerin davranışlarının dinamik mekanizmaları açısından uygun düzeyde temsil eder. Hedeflerini bireysel olarak optimize ettikleri varsayılan ekonomik aktörlerin arz veya talep davranışları modelde ayrı ayrı formüle edilirken bir yandan da piyasada ortaya çıkan fiyatlar küresel dengeyi garanti eder ve politikaların dağıtımsal etkilerinin tutarlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak tanır. Enerji, çevre ve ekonomi piyasalarındaki piyasa takas mekanizmalarını ve ilgili fiyat oluşumunu açıkça dikkate alan modelde fiyatlar, piyasalardaki arz ve talep etkileşimlerinin bir sonucu olarak hesaplanır ve tam rekabetin yanında çeşitli piyasa takas mekanizmalarına da izin verilir.

Model, üretim teknolojilerini içsel bir şekilde formüle etmekte ve tüm ara tüketimin yanı sıra sermaye ve iş gücünden elde edilen hizmetlerin fiyat odaklı olarak türetilmesine izin vermektedir. Elektrik sektöründe, çeşitli enerji üretim teknolojileri aşağıdan yukarıya bir yaklaşımla gösterilmektedir. Talep tarafında model, tüketici davranışını formüle etmekte ve dayanıklı ekipman ve tüketilebilir mal ve hizmetler arasında ayırım gözetmektedir. Dinamik niteliğiyle modelin işleyişi zaman içinde yinelenip sermaye ve ekipman birikimi ile yönlendirilir. Teknolojinin ilerleyişi, özel sektör ve kamu sektörü tarafından yapılan araştırma ve geliştirme (AR-GE) harcamalarına dayanarak ve yayılma etkileri göz önünde bulundurularak üretim fonksiyonunda dışsal ya da içsel nitelikte açıkça temsil edilmektedir. Ayrıca katılımcı aktörlerin dar ufuklu beklentilerine de dayanmaktadır. GEM-E3 modelinin tasarımı dört ana prensibe dayanır:

- 1) Temel bir genel denge durumu etrafında şekillenen modüler model tasarımı sayesinde farklı modelleme seçenekleri, piyasa rejimleri ve kapanış kuralları aynı model spesifikasyonu ile desteklenebilmektedir.
- 2) Üretim ve tüketici talebine ilişkin tamamen esnek (içsel) katsayılar.
- 3) İstatistiksel gözleme dayalı olarak ayrıntılı Sosyal Muhasebe Matrislerini içerecek şekilde baz yıl veri setine kalibrasyon.
- 4) Sermaye birikimi ve öğrenme etkileri yoluyla dinamik mekanizmalar.

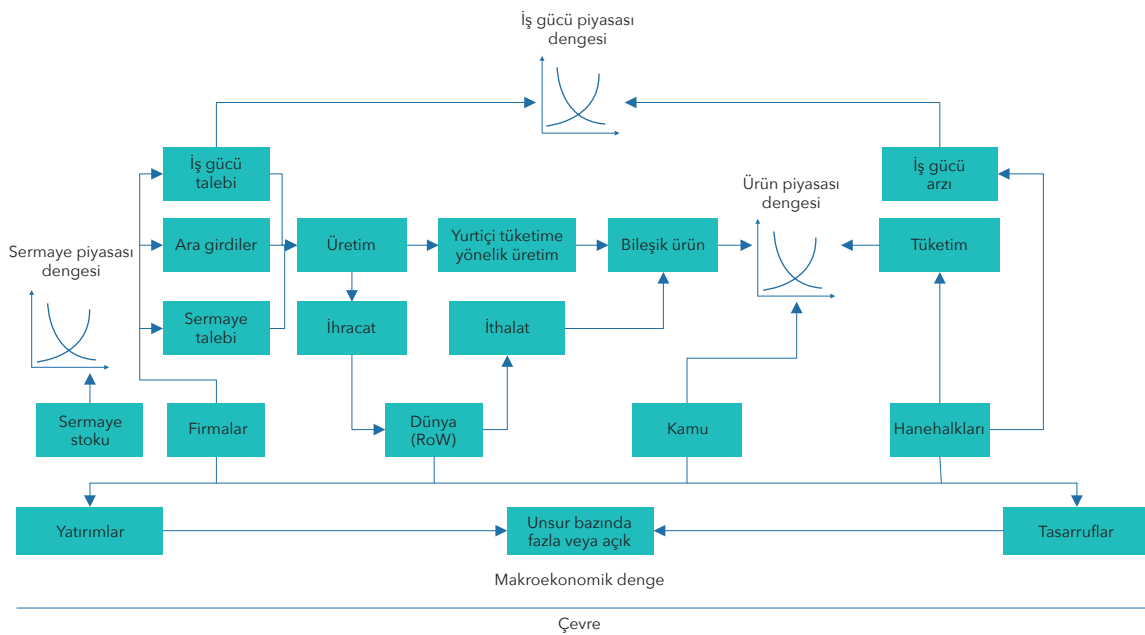
GEM-E3, Sosyal Muhasebe Matrisi (SAM) temel alınarak oluşturulmuştur. Üretim ve talepteki teknik katsayılar, üreticilerin sadece birincil üretim faktörleri açısından değil, aynı zamanda ara mallar açısından da üretim kompozisyonunu değiştirebilmeleri bakımından esnekler. Üretim, birçok faktörü (tüm ara ürünler ve üç ana faktör -sermaye, doğal kaynaklar ve iş gücü) kapsayan KLEM (sermaye, iş gücü, enerji ve malzeme) üretim fonksiyonları aracılığıyla modellenir. Aynı zamanda tüketiciler, mal ve hizmetlere yönelik taleplerinin yapısına içsel olarak da karar verebilirler. Tüketim bileşimleri, dayanıklı ve dayanıksız malları içeren esnek bir harcama sistemi üzerinden şekillenir.

GEM-E3 modeli, merkezî CGE çekirdeği etrafında modüler bir şekilde tasarlanmıştır. Modelin spesifikasyonunu baştan yapmak ya da yeniden kalibrasyona gitmek zorunda kalmadan çeşitli alternatif rejimlerin ve kapanış kurallarının tanımlanmasını destekler. Bu seçeneklerden en önemlileri aşağıda verilmiştir:

- Sektörler ve/veya ülkeler arasında sermaye hareketliliği
- Esnek veya sabit cari hesap (yabancı sektör bağlamında)
- Esnek veya sabit iş gücü arzı
- Sera gazı ulusal/uluslararası kotalar ve çevresel kısıtlamalara ilişkin pazar.
- Sabit veya esnek kamu açıkları

Model, projeksiyonların zaman içinde değişmesi anlamında dinamiktir. Özellikleri temel olarak stok/akış ilişkileri, teknik ilerleme, sermaye birikimi ve aktörlerin (dar ufuklu) beklentileri üzerinden kendisini gösterir. Her ülkedeki toplam (nihai ve ara) talep, yerli ve ithal mallar arasında eksik ikame varsayımı altında (yerelde üretilen mallar ve ithalat arasında eksik ikameye ilişkin "Armington" varsayımı) optimal olarak tahsis edilir. Model kapsamındaki ekonomiler, ticaret marjları ve taşıma maliyetleri dikkate alınarak çift yönlü ticaret akışı üzerinden birbirine bağlanmaktadır. Tüketim ve yatırım, tüketimi mal talebine ve menşesine yatırımı ise varış yerine göre yatırıma bağlayan amaca uygun geçiş matrisleri etrafında yapılandırılmıştır. Şekil 18, GEM-E3 modelinin ekonomik aktörleri arasındaki temel bağlantıların bir şemasını sunmaktadır. Kamu maliyesi, vergilendirme ve sosyal politika gibi aktör davranışlarını ve piyasa dengesini etkileyen kurumsal rejimler açıkça temsil edilmektedir. Model, çevreye verilen zararlar gibi ekonominin dışında kalan unsurları da temsil etmektedir.

Şekil 18. GEM-E3 ekonomik devresi



Kaynak: GEM-E3 el kitabı

Çevresel dışsallıkların içselleştirilmesi ya vergilendirme ya da gölge maliyetleri ekonomik aktörlerin kararlarını etkileyen küresel sistem kısıtlamaları yoluyla sağlanır. GEM-E3 modelinde küresel/bölgesel/ sektörel kısıtlar çevreyle ilgili emisyonlar, tüketim veya üretim modellerindeki değişiklikler, dışsal maliyetler/faydalar, vergilendirme, kirlilik azaltma yatırımları ve kirlilik kotalarıyla bağlantılıdır. Model, emisyon ve ortaya çıkan zararlardaki değişimi hesaplayarak politika değişikliklerinin çevre üzerindeki etkisini değerlendirir ve küresel refahın eşdeğer bir varyasyon ölçümü (çevre üzerinde kapsayıcı etki) yoluyla maliyet ve faydalarını belirler.

7.2 Kapsam dâhilindeki sektörler

Aşağıdaki tablo GEM-E3 modeli kapsamındaki sektörleri ve bu raporda sunulan toplam sektörler ile GEM-E3 modelinde yer bulan sektörler arasındaki uyumu göstermektedir.



Tablo 9. Sektörlerin dökümü

Tarım	Diğer tarım ve hayvancılık ürünleri
	Buğday, tahıllar, şeker kamışı, şeker pancarı
	Yağlı tohumlar
	Orman ürünleri
Fosil Kaynaklı Enerji	Kömür
	Ham petrol
	Petrol
	Doğal gaz üretimi
	Doğal gaz
Temiz Enerji	Katı biyokütle
	Etanol
	Biyo-dizel
	Hidrojen
	Temiz gaz
	CO ₂ yakalama
Elektrik (Üretim ve İletim)	Elektrik arzı
İmalat (Geleneksel)	Demir-çelik
	Demir dışı metaller
	Fabrikasyon metal ürünleri
	Kimyasallar
	Temel eczacılık ürünleri
	Kauçuk ve plastik ürünleri
	Kâğıt ürünleri, basım
	Metalik olmayan mineraller
	Bilgisayar, elektronik ve optik ürünler
	Elektrikli teçhizat
	Makine ve ekipman
	Elektrikli olmayan taşıt araçları
	Diğer ekipman ürünleri
Tüketim malları endüstrileri	

İmalat (Temiz Enerji)	Bataryalar
	Elektrikli taşıt araçları
	Gelişmiş Elektrikli Aletler
	Gelişmiş Isıtma ve Pişirme Cihazları
	Güneş enerjisi teknolojisine yönelik ekipman
	PV panellere yönelik ekipman
	CCS enerji teknolojisine yönelik ekipman
İnşaat	İnşaat
Taşımacılık (Yolcu)	Havayolu taşımacılığı
	Karayolu yolcu taşımacılığı
	Demiryolu yolcu taşımacılığı
	Denizyolu yolcu taşımacılığı
Taşımacılık (Yük)	Denizyolu yük taşımacılığı
	Depolama ve destek faaliyetleri
	Karayolu yük taşımacılığı
	Demiryolu yük taşımacılığı
Hizmetler	Ticaret
	Konaklama, yiyecek ve eğlence faaliyetleri
	Finansal hizmetler
	Sigortacılık
	Rekreasyon ve diğer hizmetler
	Eğitim
	Diğer piyasa hizmetleri
	Diğer piyasa dışı hizmetler
	Ar-Ge

7.3 Sonuçlar NETZERO

Tablo 10. Baz senaryoya kıyasla temel makroekonomik göstergelerdeki değişim (milyar ABD\$)

	2030	2040	2050	2055
GSYİH	6,4	13,0	54,1	70,5
Özel Tüketim	0,0	-4,1	23,6	56,8
Yatırımlar	7,8	19,3	24,4	19,6
İhracat	-3,4	-13,3	-32,3	-34,4
İthalat	-2,0	-11,1	-38,5	-28,5
Üretim				
Tarım	-0,2	-0,9	-1,8	-1,2
Fosil Kaynaklı Enerji	-3,8	-14,9	-33,1	-36,5
Temiz Enerji	1,8	7,5	15,7	15,0
Elektrik (Üretim ve İletim)	-5,5	2,5	19,9	22,3
İmalat (Geleneksel)	-6,1	-22,2	-38,8	-37,7
İmalat (Temiz Enerji)	3,0	16,6	24,4	6,8
İnşaat	5,6	10,2	13,4	12,5
Taşımacılık (Yolcu)	-1,9	-4,2	6,3	11,2
Taşımacılık (Yük)	-1,2	-3,1	0,4	0,0
Hizmetler	-2,3	-8,0	9,6	0,0

Tablo 11. Baz senaryoya kıyasla belirli sektörlerin üretimindeki değişim (milyar ABD\$)

	2030	2040	2050	2055
İmalat	-3,1	-5,6	-14,4	-19,2
Demir-çelik	-0,5	-0,2	0,1	2,2
Demir dışı metaller	-0,3	-1,5	-2,7	-2,9
Fabrikasyon metal ürünleri	0,1	-0,2	-1,1	0,1
Kimyasallar	0,3	-1,1	-2,0	-6,9
Temel eczacılık ürünleri	0,0	-0,2	-0,5	-0,3
Kauçuk ve plastik ürünleri	-0,3	-1,6	-3,3	-3,0
Kâğıt ürünleri, basım	-0,1	-0,4	-0,5	-0,1
Metalik olmayan mineraller	0,1	-0,1	1,1	0,4
Bilgisayar, elektronik ve optik ürünleri	-0,1	-0,1	-0,5	-0,4
Elektrikli teçhizat	-0,3	-1,3	-3,3	-2,2
Ekipman ürünleri	1,0	1,1	-2,0	-0,9
Makine ve ekipman	-0,2	-1,1	-3,3	-1,6
Gelişmiş elektrikli aletler	0,5	0,4	0,2	0,4
Gelişmiş ısıtma ve pişirme cihazları	0,6	0,5	0,4	0,6
PV panellere yönelik ekipman	0,0	0,2	0,1	-0,1
Güneş enerjisi teknolojilerine yönelik ekipman	0,1	1,7	2,2	0,0
CCS enerji teknolojisine yönelik ekipman	0,0	0,0	0,1	0,0
Diğer ekipman ürünleri	0,1	-0,5	-1,7	-0,2
Taşıt araçları	-0,3	7,9	13,2	-2,1
Elektrikli olmayan taşıt araçları	-2,1	-5,9	-8,2	-8,4
Elektrikli taşıt araçları	1,8	13,8	21,4	6,4
Tüketim malları endüstrileri	-2,5	-8,0	-12,9	-3,1
Bataryalar	0,0	0,0	0,0	0,0
İnşaat	5,6	10,2	13,4	11,5
Hizmetler	-2,3	-7,9	9,7	39,7
Ticaret	0,7	0,9	7,3	15,1
Konaklama, yiyecek ve hizmet faaliyetleri	-0,7	-1,7	1,8	7,2
Finansal hizmetler	-0,4	-0,9	0,4	2,6
Sigortacılık	-0,1	-0,3	-0,5	0,0
Rekreasyon ve diğer hizmetler	-0,3	-1,0	0,0	2,7
Eğitim	-0,4	-1,3	-1,3	-0,4
Diğer piyasa hizmetleri	-0,8	-2,9	1,7	10,5
Diğer piyasa dışı hizmetler	-0,2	-0,7	0,3	2,0

Tablo 12. Baz senaryoya kıyasla belirli sektörlerdeki istihdam rakamlarında değişim (bin kişi)

	2030	2040	2050	2055
İmalat	-17,0	-42,3	-27,6	-67,9
Demir-çelik	1,2	0,1	2,4	4,1
Demir dışı metaller	-0,9	-6,7	-7,9	-7,4
Fabrikasyon metal ürünleri	-2,8	-11,2	-15,3	-3,8
Kimyasallar	4,9	-4,8	-6,0	-21,7
Temel eczacılık ürünleri	-0,5	-2,0	-2,7	-1,4
Kauçuk ve plastik ürünleri	-9,1	-26,5	-39,8	-31,5
Kâğıt ürünleri, basım	-0,3	-4,8	-3,1	0,5
Metalik olmayan mineraller	0,5	6,1	18,7	15,8
Bilgisayar, elektronik ve optik ürünleri	-0,3	-1,4	-2,8	-2,0
Elektrikli teçhizat	-2,6	-15,4	-27,6	-15,8
Ekipman ürünleri	10,3	4,9	-13,7	-3,5
Makine ve ekipman	-1,0	-14,8	-31,1	-11,1
Gelişmiş elektrikli aletler	6,7	3,8	2,0	2,8
Gelişmiş ısıtma ve pişirme cihazları	7,1	4,8	3,5	4,3
Güneş enerjisi teknolojisine yönelik ekipman	0,9	20,4	21,2	0,0
PV panellere yönelik ekipman	0,2	1,8	1,2	-0,6
CCS enerji teknolojisine yönelik ekipman	0,0	0,0	0,9	0,0
Diğer ekipman ürünleri	-3,7	-11,1	-11,3	1,1
Ulaşım Ekipmanı	-2,9	110,9	157,6	3,0
Ulaşım Ekipmanları (Elektrikli Araç Hariç)	-29,2	-59,8	-60,7	-55,7
Elektrikli Ulaşım Ekipmanı	26,2	170,7	218,4	58,7
Tüketim Malları Endüstrileri	-14,4	-91,6	-87,6	-4,2
Bataryalar	0,0	0,1	0,1	0,0
İnşaat	54,0	59,3	89,1	70,4
Hizmetler	-85,8	-115,8	107,6	229,4
Ticaret	-12,7	-14,3	46,0	76,1
Konaklama, yiyecek ve hizmet faaliyetleri	-15,9	-25,6	11,1	36,1
Finansal hizmetler	-8,4	-11,8	3,7	12,9
Sigortacılık	-0,8	-2,0	-2,0	-0,6
Rekreasyon ve diğer hizmetler	-6,0	-10,4	0,1	14,0
Eğitim	-15,9	-18,3	-4,9	14,9
Diğer piyasa hizmetleri	-10,6	-28,9	4,6	18,3
Diğer piyasa dışı hizmetler	-15,5	-4,5	49,0	57,6

7.4 Sağlık, çevre ve iklim değişikliği etkileri

2018 yılında Türkiye'nin elektrik üretimi, kara taşımacılığı, sanayi ve ısınmada fosil yakıt kullanımından kaynaklanan dışsalıkların mali boyutunun, yılda 8 milyar ABD\$ olduğu tahmin edilmektedir. Bu rakam Türkiye'nin 2018'deki GSYİH'sinin %1,5'ine, sağlık harcamalarının ise 1/3'üne karşılık gelmektedir (SHURA, 2020). Bu toplamın yaklaşık %0,42'si elektrik üretiminden kaynaklanırken, enerji sektörüyle ilgili yapılmış diğer çalışmalar hem emisyonların hem de dışsal maliyetlerin bu rakamın iki katından fazlasına ulaşabileceğini ve GSYİH'nin %1'ini aşabileceğini belirtmektedir (HEAL, 2021; Greenpeace, 2020). SHURA çalışmasının dışsal maliyet tahminleri, 2018 yılında gerçekleşen elektrik üretimi, ısı kullanımı ve yolcu ve yük taşımacılığının kilometre rakamlarına dayanmaktadır²⁵.

Sağlıkla ilgili ve çevresel etkilerin birim dışsal maliyeti (CH₄, CO, N₂O, NMVOC, NO_x, PM, PM₁₀, PM_{2.5} hava kirlenici emisyonları dâhil²⁶) üretilen megavat-saat (MWh) elektrik başına linyit yakıtlı elektrik santralleri için 39,9€, taş kömürü santralleri için 16,1€, doğal gaz santralleri için 5,2€ ve petrol için 5,9€ olarak hesaplanmıştır. Fosil yakıtı dayalı üretim ve ortaya çıkan emisyonla ilişkin ortalama teknolojik tablonun 2053'te de geçerli olacağı varsayımından hareketle elektrik üretiminin sağlık ve çevre üzerindeki etkilerini ölçmek için hem baz senaryoda hem de dönüşüm senaryosunda aynı dışsal maliyet rakamları kullanılmıştır. Diğer enerji kullanımının dışsal maliyetlerini hesaplamak için de aynı rakamlar kullanılmıştır. Öte yandan 2018'deki dışsal maliyet rakamları esas alınsa da, hedeflenen dönemde referans alınan ülkelerdeki reel kişi başına düşen GSYİH (PPP) rakamında meydana gelmesi beklenen değişikliklere kıyasla baz senaryoda ve dönüşüm senaryosunda reel kişi başına düşen GSYİH (PPP) rakamında öngörülen değişiklikler IRENA (2016) tarafından geliştirilen metodolojiye dayanılarak hesaplanmıştır.

²⁵ Çalışmada her bir fosil yakıtlı santral için CO₂ emisyonu rakamının yanında her bir kirlenici emisyonu da hesaplanmakta ve sonrasında yakıt türü, santral türü ve emisyon türü bazında gerçekleşen üretimden hareketle dışsal maliyet rakamlarına ulaşılmaktadır. Maliyetler, kirlenicilerin çoğunlukla AB ülkelerinden oluşan belirli bir ülke kümesinde etkisini ölçmek için tasarlanmış uluslararası alanda kabul gören veri tabanlarını esas almaktadır. Sonraki adımda ise maliyetler kişi başına düşen GSYİH (PPP) çarpanı yardımıyla Türkiye'ye uyarlanmaktadır.

²⁶ CH₄: Metan, CO: Karbon Monoksit, N₂O: Azot Oksit, NMVOC: Metan Dışı Uçucu Organik Bileşikler, NO_x: Azot Oksitler, PM: Partikül madde PM₁₀: Solunabilir Partiküller, PM_{2.5}: İnce Solunabilir Partiküller SO_x: Sülfür Oksit.

Yerel bir karbon fiyatı olmayışı göz önünde bulundurularak ve mevcut Avrupa karbon fiyatları dikkate alınarak, 70€'luk bir temel karbon değeri varsayılmış ve yukarıda belirtildiği gibi referans ülkelere model alınarak reel GSYİH/kişi (PPP) farklılıklarına göre ayarlanmıştır. Bu nedenle, düzeltilmiş etkin karbon değerinin 2025 yılında 42,7€/ton olacağı ve 2055 yılına kadar da kademeli olarak 59,5€/tona ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Dönüşüm vesilesiyle kaçınılan dışsallıkların 2055 yılına kadar CO₂ için 572 milyar€'ya ve hava kirleticiler için 348 milyar €'ya ulaşarak toplamda baz senaryodaki kümülatif GSYİH'nin %1,8'ine tekabül edeceği hesaplanmıştır.

Kaynakça

- Aydın, L., 2018. The possible macroeconomic and sectoral impacts of carbon taxation on Turkey's economy: A computable general equilibrium analysis. https://www.researchgate.net/publication/323313255_The_possible_macro-economic_and_sectoral_impacts_of_carbon_taxation_on_Turkey's_economy_A_computable_general_equilibrium_analyses
- EİA, 2020. Capital Cost and Performance Characteristic Estimates for Utility Scale Electric Power Generating Technologies. https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/pdf/capital_cost_AEO2020.pdf
- Erker, R., Dominko, M., 2022. Energy efficiency in residential and non-residential buildings: Short-term macroeconomic implications. https://www.researchgate.net/publication/361968067_Energy_efficiency_in_residential_and_non-residential_buildings_Short-term_macro-economic_implications
- E3-Modelling,t.y. GEM-E3. <https://e3modelling.com/modelling-tools/gem-e3/>
- Garcia-Casals, X., Ferroukhi, R., Parajuli, B., 2019. Measuring the socio-economic footprint of the energy transition. <https://link.springer.com/article/10.1007/s41825-019-00018-6>
- Greenpeace, 2020. Toxic air: the price of fossil fuels. <https://www.greenpeace.org/southeastasia/publication/3603/toxic-air-the-price-of-fossil-fuels-full-report/>
- HEAL, 2021. Chronic coal pollution in Turkey: the health burden caused by coal power in Turkey and how to stop the coal addiction. https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2021/02/Chronic-Coal-Pollution-Turkey_web.pdf
- Hallegatte, S., Mclsaac, F., Dudu, H., Jooste, C., Knudsen, C., Beck, H., 2023. The Macroeconomic Implications of a Transition to Zero Net Emissions: A Modelling Framework <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/659cc0e8-38a4-4657-b8bd-6aa4373a9dc2>
- IEA, 2022. Solar PV manufacturing capacity by country and region, 2021. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/solar-pv-manufacturing-capacity-by-country-and-region-2021>
- IRENA, 2020. Renewable Power Generation Costs in 2019. <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>
- IRENA (2016). The true cost of fossil fuels: externality cost assessment methodology (Background to the Brief "The true cost of fossil fuels: Saving on the externalities of air pollution and climate change"). https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/REmap/IRENA_REmap_externality_methodology_2016.pdf?rev=f8f2045a8ee74e9a96144366ba73b62d&hash=574C67113520F78875BD494D218AC9C5
- Kat, B., Yuan, M., 2018. Turkish energy sector development and the Paris Agreement goals: A CGE model assessment. <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/30361>

- Lutz, C., Banning, M., Ahmann, L., Flaute, M., 2021. Energy efficiency and rebound effects in German industry - evidence from macro econometric modelling.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09535314.2021.1937953#:~:text=The%20mesoeconomic%20rebound%20effect%20of,2021%20and%2018%25%20in%202030.>
- Mercure, J., Pollitt, H., 2018. Environmental impact assessment for climate change policy with the simulation-based integrated assessment model E3ME-FTT-GENIE.
https://www.researchgate.net/publication/323869409_Environmental_impact_assessment_for_climate_change_policy_with_the_simulation-based_integrated_assessment_model_E3ME-FTT-GENIE
- SHURA, 2020. Türkiye'de Elektrik Üretimi, Isıtma ve Karayolu Taşımacılığında Fosil Yakıt Kullanımının Dışsal Maliyeti.
<https://shura.org.tr/turkiyede-elektrik-uretimi-isitma-ve-karayolu-tasimaciliginda-fosil-yakit-kullaniminin-dissal-maliyeti/>
- SHURA, 2021. Türkiye'de Elektrik Sistemi Dönüşümünün Sosyoekonomik Etkileri.
<https://shura.org.tr/turkiyede-elektrik-sistemi-donusumunun-sosyoekonomik-etkileri/>
- SHURA, 2022. Yeşil Yeni Düzen Bağlamında Türkiye'de Enerji Dönüşümünün Finansmanı.
<https://shura.org.tr/wp-content/uploads/2022/06/SHURA-2022-06-Yesil-Yeni-Duzen-Baglaminda-Turkiyede-Enerji-Donusumunun-Finansmani.pdf>
- SHURA, 2023. Net Sıfır 2053: Türkiye Elektrik Sektörü için Yol Haritası.
<https://shura.org.tr/net-sifir-2053-turkiye-elektrik-sektoru-icin-yol-haritasi/>
- SHURA, 2024a. Adil Dönüşüm Kapsamında Türkiye İçin Sanayi Politikası Alternatifleri.
<https://shura.org.tr/adil-donusum-kapsaminda-turkiye-icin-sanayi-politikasi-alternatifleri/>
- SHURA, 2024b. Adil Dönüşüm ve Bölgesel İstihdam: Türkiye İçin Politika Seçenekleri.
<https://shura.org.tr/adil-donusum-ve-bolgesel-istihdam-turkiye-icin-politika-secenekleri/>
- Vrontisi, Z., Fragkiadakis, K., Kannavou, M., Capros, P., 2020. Energy system transition and macroeconomic impacts of a European decarbonization action towards a below 2 °C climate stabilization.
https://www.researchgate.net/publication/332854880_Energy_system_transition_and_macro-economic_impacts_of_a_European_decarbonization_action_towards_a_below_2_C_climate_stabilization
- Vrontisi, Z., Charalampidis, I., Paroussos, L., 2020. What are the impacts of climate policies on trade? A quantified assessment of the Paris Agreement for the G20 economies.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520301324>
- Weitzel, M., Vandyck, T., Rey Los Santos, L., Tamba, M., Temursho, U., Wojtowicz, K., 2022. A comprehensive socio-economic assessment of EU climate policy pathways.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800922003214>
- Wind Europe, 2020. Wind energy and economic recovery in Europe: How wind energy will put communities at the heart of the green recovery.
<https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-and-economic-recovery-in-europe/>

İstanbul Politikalar Merkezi

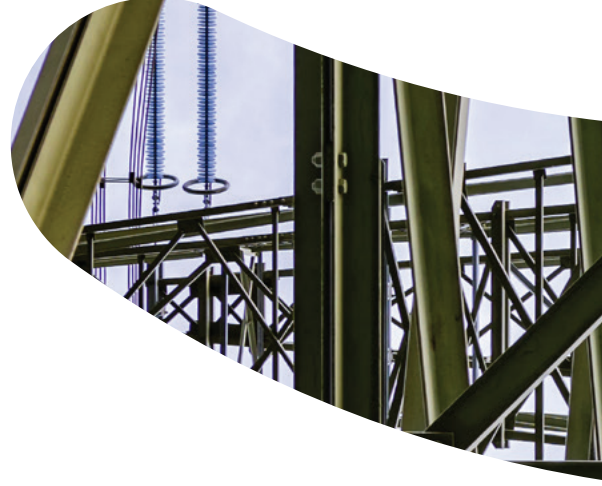
İstanbul Politikalar Merkez (İPM) demokratikleşmeden iklim değişikliğine, transatlantik ilişkilerden çatışma analizi ve çözümüne kadar, önemli siyasal ve sosyal konularda uzmanlığa sahip, çalışmalarını küresel düzeyde sürdüren bir politika araştırma kuruluşudur. İPM araştırma çalışmalarını üç ana başlık altında yürütmektedir: İPM-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi, Demokratikleşme ve Kurumsal Reform, Çatışma Çözümü ve Arbuluculuk. 2001 yılından bu yana İPM, karar alıcılara, kanaat önderlerine ve paydaşlara uzmanlık alanına giren konularda tarafsız analiz ve yenilikçi politika önerilerinde bulunmaktadır.

European Climate Foundation

European Climate Foundation (ECF) Avrupa'nın düşük karbonlu bir toplum haline gelmesine yardımcı olabilmek ve iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası alanda güçlü bir lider rolü oynayabilmek amacıyla kurulmuştur. ECF, her türlü ideolojiden uzak kalarak düşük karbonlu bir topluma geçişin "nasıl" olacağı konusunu odağına alır. Ortaklarıyla yaptığı iş birliği kapsamında ECF, bu geçişte kilit rol oynayacak patikaları ve farklı alternatiflerin sonuçlarını ortaya çıkararak bu tartışmalara katkı sağlamayı hedefler.

Agora Energiewende

Agora Energiewende; Özellikle Almanya ve Avrupa olmak üzere tüm dünyada temiz enerjiye başarılı bir geçiş yapılmasını sağlamak amacıyla veri odaklı, politik açıdan uygulanabilir stratejiler geliştirir. Bir düşünce kuruluşu ve politika laboratuvarı olan Agora; yapıcı bir fikir alışverişi sağlarken siyaset, iş ve akademi dünyasından paydaşlarla da bilgi birikimini paylaşmayı hedefler. Kâr amacı gütmeyen ve bağışlarla finanse edilen Agora, kendini kurumsal ve siyasi çıkarlara değil, iklim değişikliğiyle mücadeleye adanmıştır.



Bankalar Caddesi, No:2, Minerva Han,
Kat:3, 34420 Karaköy/İstanbul
T: 0 (212) 292 49 39
E-posta: info@shura.org.tr
www.shura.org.tr

SHURA Kurucu Ortakları

