



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

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi Hakkında

Avrupa İklim Vakfı (ECF), Agora Energiewende ve Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi (İPM) tarafından kurulan SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, yenilikçi bir enerji dönüşümü platformu aracılığıyla enerji sektörünün karbonsuzlaştırılmasına katkıda bulunmaktadır. Türkiye'nin enerji sektörünün teknolojik, ekonomik ve politik yönlerine ilişkin tartışmalar için sürdürülebilir ve geniş kabul gören bir platform ihtiyacını karşılamaktadır. SHURA, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji yoluyla düşük karbonlu bir enerji sistemine geçiş konusundaki tartışmaları gerçeğe dayalı analizler ve mevcut en iyi verileri kullanarak desteklemektedir. Çok sayıda paydaşın ilgili tüm perspektiflerini dikkate alarak, bu geçiş için ekonomik potansiyel, teknik fizibilite ve ilgili politika araçlarının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunur.

Yazarlar Iannis Charalampidis (E3M Modelleme) ve Yael Taranto (SHURA)

Teşekkür

Leonidas Paroussos (E3M Modeling) raporun hazırlanması, modelleme ve sonuçların değerlendirilmesinde danışmanlık ve destek sağlamıştır. Dr. Erinc Yeldan (Kadir Has Üniversitesi), Gülay Dinçel (Ekonomist/Kıdemli Danışman), Karin Kritzing (Agora Energiewende) ve Dr. Sevil Acar (Boğaziçi Üniversitesi) çalışmanın çeşitli aşamalarında taslak metinleri inceleyerek geri bildirimde bulunmuşlardır. Alkım Bağ Güllü (SHURA), Hasan Aksoy (SHURA) ve Selahattin Hakman (SHURA Yönlendirme Komitesi Başkanı) raporu gözden geçirerek rehberlik ve geri bildirimde bulunmuşlardır. Sağlanan tüm değerlendirme, görüş ve geri bildirimler için minnettarız.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, ECF tarafından sağlanan cömert finansmana minnettardır. Bu rapor www.shura.org.tr adresinden indirilebilir.

Daha fazla bilgi almak veya geri bildirimde bulunmak için lütfen SHURA ekibiyle adresten iletişime geçin info@shura.org.tr

Tasarım

Tasarımhane Tanıtım Ltd. Şti. Copyright

© 2024 Sabancı Üniversitesi

Sorumluluk Reddi

Bu rapor ve çalışma kapsamında yapılan varsayımlar, 2023 yılı sonu itibarıyla farklı senaryolara ve piyasa koşullarına göre hazırlanmıştır. Bu varsayımlar, senaryolar ve piyasa koşulları değişebileceğinden, bu raporda yer alan tahminlerin gerçek rakamlarla aynı olacağı garanti edilmemektedir. Bu raporun hazırlanmasında emeği geçen kurum ve kişiler, raporda yer alan tahminler ile gerçekleşen değerler arasındaki farklılaşmadan doğabilecek ticari kazanç veya kayıplardan sorumlu tutulamaz.

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



İÇİNDEKİLER

Şekillerin Listesi	3
Tablolar Listesi	4
Kısaltmalar Listesi	5
Anahtar Mesajlar	6
Yönetici Özeti	7
Senaryolar	7
Etki Özeti	9
1. Giriş	15
2. Yaklaşım ve Metodoloji	18
2.1. Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve ekonomik faaliyet: Literatürün gözden geçirilmesi	19
2.2. GEM-E3M modeli	23
3. Senaryo Tasarımı	25
3.1. Temel Senaryo	26
3.2. Net Sıfır 2053 (NZ2053) ve NETZERO senaryoları	29
3.3. Makroekonomik yapı	33
3.3.1. NETZERO finansman planları	33
3.3.2. NETZERO işgücü piyasası uyumu	34
3.4. Yatırım matrisi	34
4. Senaryo 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 Maliyet-Fayda Analizi	48
5.1. Genel maliyetler ve faydalar	52

6. Sonuç	53
Ekler	57
GEM-E3M modeli hakkında ek bilgiler	57
Sektörel kapsam	59
Sonuçlar NETZERO	62
Sağlık, çevre ve iklim değişikliği etkileri	65
Bibliyografya	67

LISTE ŞEKİLLERİN

Şekil 1. GSYİH ve ana makroekonomik büyüklüklerin yıllık büyüme oranları (temel senaryo)	26
Şekil 2. Makroekonomik Büyüklükler Makroekonomik büyüklükler ve Türkiye'nin GSYİH'sine katkıları (temel senaryo)	27
Şekil 3. Toplam yurt içi üretimin payı olarak sektörel faaliyet (referans senaryo)	28
Şekil 4. Seçilmiş sektörlerin Seçilmiş sektörlerin İmalat Çıktısı içindeki payı (referans senaryo)	28
Şekil 5. Temel demografik göstergeler Temel demografik ve toplam işgücü piyasası göstergeleri (temel senaryo)	29
Şekil 6. NZ2053 senaryosunda NZ2053 senaryosunda enerji üretiminde teknoloji payları	31
Şekil 7. Referans senaryoya göre kümülatif GSYİH etkileri	38
Şekil 8. Sektörel üretim Sektörel üretim (başlangıç seviyesine göre değişim)	39
Şekil 9. Referans senaryoya göre imalat çıktısı değişiklikleri	40
Şekil 10. Sektörel İthalat Referans senaryoya göre sektörel ithalattaki değişim	41
Şekil 11. Referans senaryoya göre sektörel istihdamdaki değişim	42
Şekil 12. Meslek/beceri düzeyine göre işgücü gelirin başlangıçtaki duruma göre değişimi senaryo (% değişimler)	43
Şekil 13. Alternatif finansman Alternatif finansman altında referans senaryoya göre GSYH'deki değişim şemalar	44
Şekil 14. Ana GSYH büyüklüklerinde referans seviyesine göre kümülatif değişim farklı finansman planları altında senaryo (2021-2053)	45
Şekil 15. Referans senaryoya göre üretimdeki kümülatif değişim farklı finansman planları altında (2021-2053)	46
Şekil 16. Ana GSYİH büyüklüklerinde referans seviyesine göre kümülatif değişim yapışkan ücretlerle birlikte farklı finansman planları altında senaryo (2021-2053)	47
Şekil 17. Referans senaryoya göre üretimdeki kümülatif değişim yapışkan ücretlerle birlikte farklı finansman planları altında (2021-2053)	48
Şekil 18. GEM-E3 ekonomik devre	58

TABLolarının Listesi

Tablo 1. İklim ve enerji politikalarının İklim ve enerji politikalarının GSYİH üzerindeki etkileri-İlgili çalışmaların gözden geçirilmesi	20
Tablo 2. Yeni Zelanda'da enerji sektöründeki yatırım harcamaları (milyar ABD doları) 2053 senaryo	32
Tablo 3. NZ2053 Senaryosunda NZ2053 Senaryosunda enerji verimliliği harcamaları (milyar ABD doları)	32
Tablo 4. NZ2053 senaryosunda motor türüne göre özel araçların payı	33
Tablo 5. Yatırım Matrisi Yatırım matrisi	35
Tablo 6. Mevcut durumla karşılaştırmalı etki özeti tablosu NETZERO (Merkezi Durum) senaryo	50
Tablo 7. Referans senaryoya kıyasla kümülatif etki aralığı (2020-2055)	51
Tablo 8. Temel senaryo ile karşılaştırmalı maliyet-fayda tablosu, NETZERO (2014 milyar ABD doları)	52
Tablo 9. Sektörel çözüm	60
Tablo 10. Temel Makroekonomik Değişkenler Temel makroekonomik değişkenlerde referans çizgisine göre değişim senaryo (milyar ABD doları olarak)	62
Tablo11. Referans senaryoya göre sektörel çıktıdaki değişim (milyar ABD doları olarak) seçilmiş sektörler için	63
Tablo 12. Referans senaryoya göre sektörel istihdamdaki değişim (000 kişi olarak) seçilmiş sektörler için	64

KISALTMALAR LİSTESİ

BAU	Her Zamanki Gibi İş
BEV	Akülü Elektrikli Araçlar
CAPEX	Sermaye Harcamaları
CBAM	Karbon Sınır Ayarlama Mekanizması
CCS	Karbon Yakalama ve Depolama
CGE	Hesaplanabilir Genel Denge
CH ₄	Metan
CO ₂	Karbondioksit
AB	Avrupa Birliği
AVRO	Euro
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GW	Gigawatt
BUZ	İçten Yanmalı Motor
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
MWh	Megawatt-saat
N ₂ O	Azot Oksit
STK	Sivil Toplum Kuruluşu NZ2053
	Net Sıfır 2053
OPEX	Operasyonel Harcamalar
PHV	Plug-in Hibrit Araç
PPP	Satın Alma Gücü Paritesi
PV	Fotovoltaik
AR-GE	Araştırma ve Geliştirme
RES	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
SAM	Sosyal Muhasebe Matrisi
TWh	Terawatt-saat
ABD DOLARI	Birleşik Devletler Doları

Anahtar Mesajlar

- Türkiye için öngörülen net sıfır patikası, sadece enerji sisteminde değil, aynı zamanda endüstriyel kompozisyon ve ulaşım modlarında da büyük bir dönüşüm anlamına gelmektedir. Enerji dönüşümünün GSYH ve toplam istihdam üzerindeki etkisinin çoğunlukla pozitif olduğu, referans GSYH'nin $-%0,2$ ila $\%2,1$ 'i aralığında ve referans istihdamın $\%1,6$ ila $\%6,2$ 'si aralığında olduğu hesaplanmıştır.
- Enerji dönüşümü yatırımları için döner orta ve uzun vadeli finansmanın kullanılması, enerji dönüşümü yatırımlarının diğer sektörlerdeki yatırımları engellemesini önleyerek GSYİH ve istihdam üzerindeki olumlu etkileri artıracaktır. Finansmana erişim, enerji dönüşümünün faydalarının en üst düzeye çıkarılmasında kilit bir unsur olacaktır. Dış finansman ile GSYİH, kendi kendini finanse eden senaryoya kıyasla $\%1,6$ daha yüksek olacaktır.
- Yapışkan ücretlerin - diğer bir deyişle, arz-talep veya dağıtım politikalarından ziyade sadece beceri seviyeleri ve üretkenlikle ilgili ayarlamaların - GSYİH üzerinde $\%0,6$ 'lık ek bir pozitif etkisi olduğu bulunmuştur. Yapışkan ücretlerle istihdam $\%2,9$ ila $\%4,6$ oranında artarken, daha yüksek istihdam karşılığında daha düşük ücretlerin arzu edilebilirliği sosyal açıdan sorgulanabilir. İstihdam ve ücretlerin korunmasına yönelik dikkatlice tasarlanmış adil geçiş politikalarının geçiş sürecinin ayrılmaz bir parçası olması gerekmektedir.
- Temiz enerjiyle ilgili üretimdeki kazanımlar, geleneksel ve fosil yakıtlarla ilgili kayıpları büyük ölçüde telafi edecek ve $-%2,2$ ila $-%0,1$ aralığında küçük bir genel etkiyle sonuçlanacaktır. Finansmana erişim, 1,6 puanlık katkısıyla, olumsuz etkilerin en aza indirilmesinde kilit rol oynayacaktır. Stratejik üretim alanlarına ve adil geçiş ilkelerine gereken özeni gösteren dengeli bir sanayi politikası, uygulanabilir bir sıfır karbon ekonomisine geçişte kilit rol oynayacaktır.
- Enerjide ithalat bağımlılığının azaltılması, enerji dönüşümünün en görünür etkilerinden biri olacaktır. Enerji ithalatındaki önemli düşüşün, geçiş sürecine bağlı olarak artan ekipman ithalatını aşması ve GSYH'nin $\%1,8$ 'ine eşdeğer kümülatif pozitif bir ticaret dengesi etkisi yaratması beklenmektedir. Genel ticaret dengesi etkilenmeyecek olsa da, stratejik ticaret ve sanayi politikalarının uygulanmasıyla temiz enerji ekipmanı ihracatında önemli bir yukarı yönlü potansiyel ve ithalatta aşağı yönlü potansiyel mevcuttur.
- Geçişin toplam kümülatif faydaları, maliyetlerin yaklaşık iki katı olacaktır. 2020-2055 yılları arasındaki toplam ortalama yıllık faydaların, 26 milyar ABD doları tahmini karşılık 51,4 milyar ABD doları civarında 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 Özet

Kasım 2021'de Türkiye, 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefi ilan etti. Hedefe ulaşılması, sadece enerji sisteminin değil, aynı zamanda sanayi, ulaşım ve binalar gibi ana talep sektörlerinin de büyük ölçüde yeniden düzenlenmesini gerektirmektedir. Şubat 2023'te SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, Türkiye'nin enerji sektörünün karbonsuzlaştırılması için Net Sıfır 2053: Türkiye'nin Enerji Sektörü için Bir Yol Haritası başlıklı bir yol haritası yayınlamıştır. Yol haritası, net sıfır hedefine ulaşmanın temel bir bileşeni olan ve enerji sektörünün planlanmasıyla yakından ilgili olan son kullanım sektörlerinin karbonsuzlaştırılmasının yanı sıra elektrifikasyonunu da içermektedir (SHURA, 2023).

Enerji sisteminde böylesine büyük bir değişimin sosyoekonomik etkilerini değerlendirmek, yalnızca olası olumsuz etkileri telafi etmek için değil, aynı zamanda geçişi mümkün kılacak doğru politikaları uygulayabilmek için de önemlidir. Türkiye için 2030 yılına kadar kısmi bir geçiş vizyonunun sosyoekonomik etkisine ilişkin önceki bir SHURA çalışması ve çok sayıda uluslararası çalışma, düşük karbonlu enerji geçişinin gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) ve toplam istihdam üzerindeki genel etkisinin genellikle küçük ve olumlu olduğunu ortaya koyarken (SHURA, 2021), yüzyılın ortasına kadar net sıfır emisyon hedefi ışığında daha kapsamlı bir analiz yapılması gerekli olmuştur. Bu çalışma, potansiyel riskleri en aza indirirken veya ortadan kaldırırken geçişin faydalarını en üst düzeye çıkarmak için gerekli politika eylemlerine rehberlik etmek amacıyla net sıfır enerji sistemi geçişinin milli gelir, istihdam ve sanayi sektörleri üzerindeki etkisini ölçmeyi amaçlamaktadır. Adil bir geçişi mümkün kılmak ilgili sosyoekonomik konuların daha derinlemesine bir politika tartışması için bir araç olarak tasarlanmıştır.

Senaryolar

Türkiye'nin 2053 yılına kadar net sıfır emisyon hedefine ulaşmasıyla ilgili eylemleri, yatırımları ve ana varsayımları içeren Net Sıfır 2053 (NZ2053) Senaryosu, SHURA'nın *Net Sıfır 2053: Türkiye'nin Enerji Sektörü için Bir Yol Haritası* çalışmasından alınmıştır (SHURA, 2023). Net sıfır geçişin sosyoekonomik etkilerine ilişkin mevcut çalışma, NZ2053 senaryosunda açıklanan geçişin etkilerini ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, merkezi bir senaryo ve duyarlılık analizlerini içeren aşağıdaki net-sıfır (NETZERO) senaryo varyantları, bir referans senaryo ile karşılaştırılmak üzere tasarlanmıştır.

Temel senaryo: Türkiye'nin reel GSYH'si 2020-2050 yılları arasında yıllık ortalama %3,3 oranında büyümektedir. Nüfusun %15 oranında artarak 2055 yılında yaklaşık 100 milyon kişiye ulaşması beklenmektedir. Net sıfır çalışmasının amacı doğrultusunda, referans (temel) senaryo, daha yüksek katma değer ve daha düşük enerji/karbon yoğunluğu ikili hedefleri kolaylaştıracak şekilde oluşturulmuştur. Benzer şekilde, Referans senaryodaki ulaştırma modları, mümkün olan yerlerde kara ve hava taşımacılığı yerine daha az karbon yoğun demiryolu ve deniz taşımacılığını vurgulamaktadır.¹

¹Temel Senaryo hakkında daha ayrıntılı bilgi için bkz. <https://shura.org.tr/en/net-zero-2053-a-roadmap-for-the-turkish-electricity-sector/>

Net-Sıfır senaryosu: Türkiye için 2053 yılına kadar net sıfır karbon emisyonuna ulaşma hedefi, fosil yakıtların yenilenebilir enerji ile yer değiştirmesi, enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ve son kullanım sektörlerinde elektrifikasyonun artırılması yoluyla mümkün kılınmaktadır. Net Sıfır 2053 (NZ2053) senaryosuna, toplam karbon emisyonları 2025 yılında zirve yapmakta ve 2035 yılında 2025 seviyesinin %62,8'ine düşmektedir. Nihai enerji tüketimi 2030'da zirve yaptıktan sonra 2020 seviyelerine geri döner; elektrik üretimi üç kattan fazla artar.

Temel senaryo, karbonsuzlaştırmayı desteklemek için mevcut sanayi ve ulaştırma sektörlerinin bileşiminde ayarlamalar içerdiğinden, Net-Sıfır Senaryo yalnızca enerji dönüşümünün etkilerini ölçmeye odaklanmaktadır.

Hem Referans hem de Net-Sıfır senaryolarında aynı seviyede olan karbon fiyatlandırmasının, tüm senaryolarda kamu finansmanı üzerinde nötr bir etkiye sahip olduğu varsayılmaktadır. Senaryoların hiçbirinde ek kolaylaştırıcı koşullar (döngüsel ekonomi, büyük davranış değişiklikleri vb.) varsayılmamıştır.

Hem Temel Senaryo hem de NETZERO olarak adlandırılan merkezi Net-Sıfır senaryosu, yatırımların %5 faiz oranıyla on yıl sonra tamamen geri ödenen kredilerle finanse edildiğini varsaymaktadır. Hem Referans hem de NETZERO'da işgücü piyasalarının esnek olduğu, arz ve talebe göre ayarlandığı varsayılmaktadır.

Tablo ES1'de özetlendiği gibi, Net-Sıfır durumunda çeşitli duyarlılık senaryoları varsayılmıştır:

Tablo ES1. Referans ve net sıfır senaryo varyantlarının özeti

	Başlangıç Noktası	NETZERO	NETZERO_FI	NETZERO_CO	NETZERO_TT	NETZERO_TT_FI	NETZERO_TT_CO
Finansman	Finansman geri ödeme ile	Geri ödemeli finansman	Döner finansman	Öz-finance	Geri ödemeli finansman	Döner Finansman	Öz-finance
İşgücü Piyasası	Esnek	Esnek	Esnek	Esnek	Yapışkan Ücretler	Yapışkan Ücretler	Yapışkan Ücretler

- **NETZERO (merkezi senaryo):** Elektrik üretimine ve şebekeye yapılan yatırımlar, belirli bir faiz oranı üzerinden sonraki dönemlerde geri ödenen kredilerle finanse edilir.
- **NETZERO_FI:** Krediye dayalı, döner finansman senaryosu - simülasyon dönemi içinde geri ödeme olmaksızın artan borç.
- **NETZERO_CO:** kendi kendini finanse etme senaryosu; kredi alınmadığı varsayılır, diğer sektörlerdeki yatırımlar dışlanır.
- **NETZERO_TT:** geri ödemeli finansman ve yapışkan ücretler.
- **NETZERO_TT_FI:** yapışkan ücretlerin olduğu kredi temelli, döner finansman senaryosu.
- **NETZERO_TT_CO:** yapışkan ücretlerle kendi kendini finanse eden senaryo.

Etki Özeti

2020 ve 2055 yılları arasında, GSYİH, ücretler ve toplam istihdamın hem referans hem de net sıfır senaryolarında reel olarak artacağı öngörülmektedir. Özellikle, GSYH'nin 2,7 kat büyümesi, istihdamın ise Referans senaryoda 6,4 milyon kişi, merkezi net-sıfır senaryoda ise 6,8 milyon kişi artması beklenmektedir. Bu, her iki senaryoda da mutlak kayıp olmadığını göstermektedir. Geçişin etkisi, referans ve net sıfır senaryoları arasındaki farklar karşılaştırılarak değerlendirilmektedir.

Tablo ES2. Mevcut durum senaryosuna kıyasla NETZERO (merkezi durum) etki özeti tablosu

Temel GSYİH'nin Yüzdesi Olarak*	Kümülatif (2021-2055)	2030	2040	2055
Milli Gelir Etkisi (GSYİH)	1.4%	0.5%	0.8%	3.0%
Üretim Etkisi	-0.6%	-0.3%	-0.3%	-0.8%
Genel Uluslararası Ticaret Dengesi Etkisi	0.0%	-0.1%	-0.1%	-0.3%
Toplam Enerji Güvenliği Etkisi	1.8%	0.6%	1.9%	2.4%
Sosyoekonomik Refah Etkisi	2.4%	0.7%	2.5%	3.3%
Ücret Geliri	0.6%	0.0%	0.4%	1.1%
Sağlık ve Çevresel Etki	0.7%	0.1%	0.9%	0.7%
İklim Değişikliği Etkisi	1.1%	0.5%	1.2%	1.4%
Temel Toplam İstihdamın Yüzdesi Olarak**				
Net İlave İstihdam	1.6%	-0.2%	0.1%	1.4%

* İlk sütun, toplam kümülatif referans GSYH'nin bir yüzdesi olarak NETZERO ve Referans senaryosundaki kümülatif gösterge arasındaki farkı göstermektedir. Sonraki üç sütun, belirtilen yıldaki referans GSYH'nin yüzdesi olarak net-sıfır ve Referans senaryoları arasındaki farkı göstermektedir.

**Her sütun, baz yıldaki istihdamın yüzdesi olarak baz ve hedef yıl arasında istihdam edilen kişi sayısındaki artışta net-sıfır ve Referans senaryo arasındaki farkı göstermektedir. Kümülatif ve 2030 sütunları için baz yıl 2020 iken, 2040 sütunu için 2030 ve 2055 sütunu için 2040'tır.

Milli gelir etkisi: GSYH'deki değişim ile ölçülür. GSYH üzerindeki etki pozitifdir ve zamanla artar.

İmalat etkisi: İmalat katma değerindeki değişim ile ölçülür. Kümülatif etki küçük, negatiftir ve 2040'tan sonra büyüklüğü artmaktadır. Bununla birlikte, Temel senaryonun halihazırda hem endüstriyel kompozisyonda hem de ulaşım modlarında daha katma değerli ve daha az enerji/karbon yoğun sektörlerle doğru bir kayma içerdiği ve bunun da net sıfır geçişini kolaylaştırdığı vurgulanmalıdır.

Genel uluslararası ticaret dengesi etkisi: Uluslararası ticaret dengesi ihracat eksi ithalat olarak tanımlanır. Genel uluslararası ticaret dengesi etkisi sıfıra yakındır.

Toplam enerji güvenliği etkisi: Bu raporun amaçları doğrultusunda enerji güvenliği, enerji dönüşümünün bir sonucu olarak enerji ve enerji üretim malları 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 (piller, gelişmiş elektrikli cihazlar, gelişmiş ısıtma ve pişirme cihazları, rüzgar enerjisi ekipmanları, fotovoltaik (PV) paneller, hidrojen ve karbon yakalama ve depolama CCS)) ticaret dengesidir (ihracat eksi ithalat). Kümülatif enerji güvenliği etkisi nispeten yüksektir ve zamanla artmaktadır.

Sosyoekonomik refah etkisi: Bu raporun amaçları doğrultusunda, sosyoekonomik refah etkisi, toplam ücret gelirindeki artış ve fosil yakıtların kullanımıyla ilişkili sağlık ve iklim değişikliği risklerinden kaçınma olarak tanımlanmaktadır. Toplam ücret geliri üzerindeki kümülatif etki küçüktür ancak zamanla artar. Hava kirliliğinden kaynaklanan sağlık ve çevresel etkiler, SHURA'nın 2020 yılında yayınlanan dışsalılık çalışmasına göre ücretlendirilmiştir (SHURA, 2020). İklim değişikliği etkisi için, Türkiye ile referans bir AB ülkesi arasındaki satın alma gücü paritesine göre kişi başına düşen GSYH (SAGP GSYH/kişi) farkına göre ayarlanmış 70 EUR/ton karbon değeri kullanılmıştır.⁽²⁾Dışsal maliyetlerin bu oldukça mütevazı tahminine rağmen, etki önemlidir ve zamanla artmaktadır.

İstihdam 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 çünkü bu dönemdeki net etki sifıra yakındır.

Tablo ES3. Referans Senaryo ile Karşılaştırmalı Kümülatif Etki Aralığı (2020-2055)

Temel GSYİH'nin Yüzdesi Olarak	Minimum	Merkez	Maksimum	Sc. Min.	Sc. Max
Milli Gelir Etkisi	-0.2%	1.4%	2.1%	NZ_CO	NZ_TT_FI
Üretim Etkisi	-2.2%	-0.6%	-0.1%	NZ_CO	NZ_TT
Genel Uluslararası Ticaret Dengesi Etkisi	-0.5%	0.0%	0.0%	NZ_CO	NZ_TT_FI
Toplam Enerji Güvenliği Etkisi	1.8%	1.8%	1.8%	-	-
Sosyoekonomik Refah Etkisi	2.2%	2.3%	2.4%	NZ_CO	NZ_TT_FI
Temel Toplam İstihdamın Yüzdesi Olarak					
Kümülatif Net İlave İstihdam	0.2%	1.6%	6.2%	NZ_CO	NZ_TT

²Dışsalılık çalışmasında 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 EUR/ton iken, 2055 yılında kademeli olarak 49 EUR/tona yükselmiştir.

Tablo ES3, kümülatif etki aralığını ve merkezi NETZERO senaryosuna göre minimum ve maksimum değerlerin oluştuğu senaryo koşullarını göstermektedir. Neredeyse tüm durumlarda, maksimum pozitif etki yapışkan ücretlerle birlikte krediye dayalı senaryoda elde , minimum etki esnek ücretlerle birlikte kendi kendini finanse eden senaryoda ortaya çıkmaktadır. Ancak, finansmanın GSYH üzerindeki net etkisi (%1,6), yapışkan ücretlerin etkisinden (%0,7) daha yüksektir.³Öte yandan, finansmanı kredi geri ödemesi ile birleştiren yapışkan ücret senaryosu, büyük bir farkla maksimum sayıda istihdam yaratmaktadır.

Maliyet-fayda analizi

Tablo ES2, geçişten etkilenmesi muhtemel ana sosyoekonomik alanlar üzerinde geçiş etkilerinin büyüklüğünü özetlemektedir. Tablo, sosyoekonomik maliyetler hesaba katıldıktan sonra geçişin net sosyoekonomik faydalarına ilişkin bir perspektif sunarken, net finansal maliyeti içermemektedir. Tablodaki rakamlar, esas olarak yenilenebilir enerji tesisleri, elektrik şebekesi iyileştirmeleri, bataryalar, dijitalleşme vb. yatırımlardan kaynaklanan sistem maliyetlerine yansıyan yeni enerji sisteminin kurulması ve işletilmesine ilişkin ek maliyetleri hesaba katmamaktadır. Geçişin faydaları, finansal maliyetlere karşı tartılmalıdır. Tablo ES4, geçişin yıllık fayda ve maliyet dengesini göstermektedir.

Ulusal muhasebenin parçası olan geçişin net faydaları GSYH'deki farkla yakalanabilir. Toplam faydalar, GSYH'de yer almayan faydaları, önlenen hava kirliliği ve karbon emisyonlarıyla ilgili sosyal refah etkilerini de içerir. Maliyetler ise sistem maliyetleri ile temsil edilmektedir.

Tablo ES4. Referans senaryo ile karşılaştırmalı olarak NETZERO için fayda-maliyet tablosu (2014 milyar ABD Doları)

	Yıllık Ortalama (2020-2055)	2030	2035	2040	2045	2050	2055
Avantajlar	51.4	13.8	26.5	46.9	67.2	90.4	114.5
Ulusal Farklılık	22.5	6.0	9.8	13.0	33.4	54.1	70.8
Sağlık, Çevre & İklim Değişikliği Etki	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

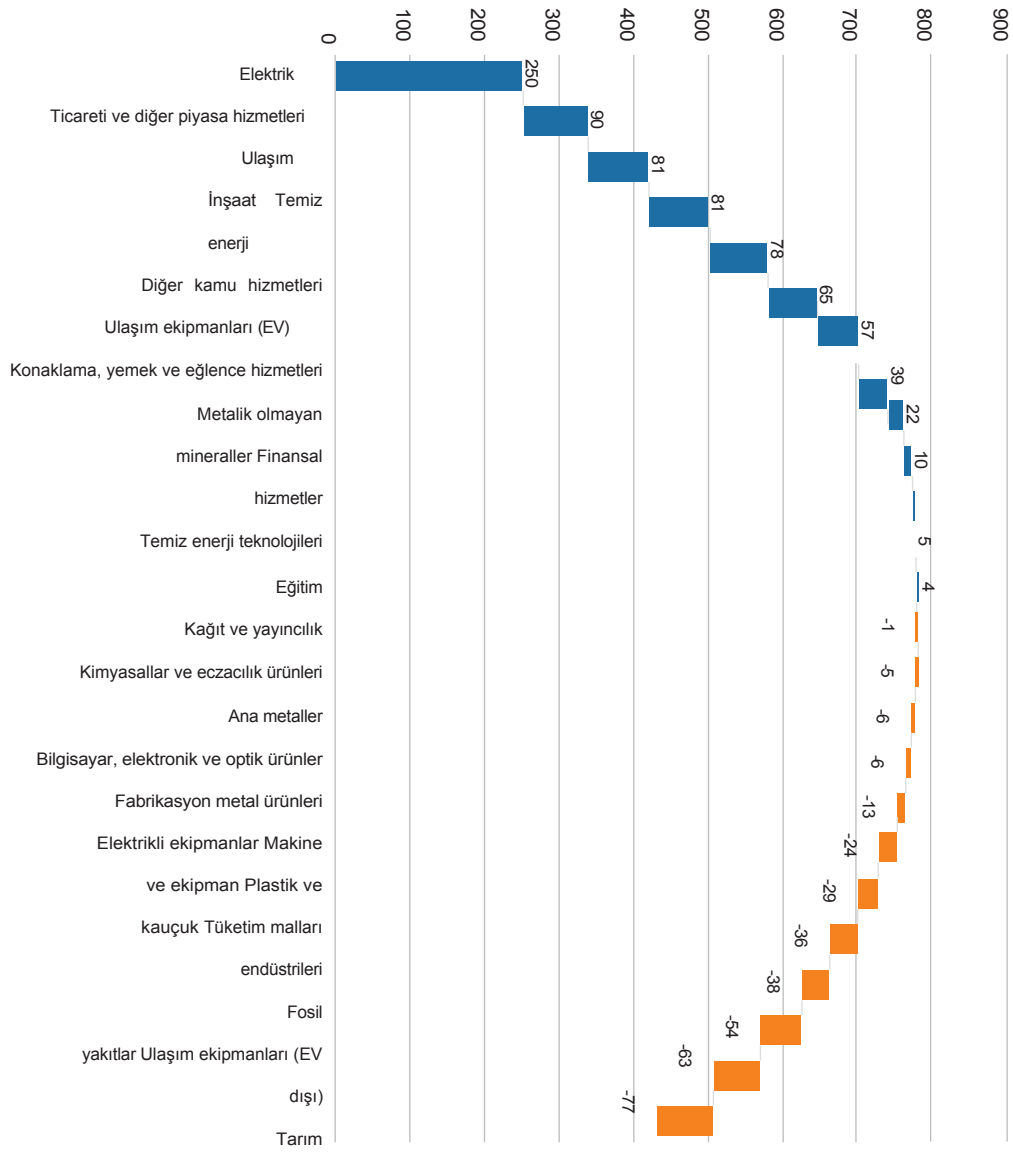
³Finansmanın etkisi, kendi kendini finanse eden senaryonun etkisinin NETZERO (merkezi) senaryonun etkisinden çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Yapışkan ücretlerin etkisi, merkezi senaryonun etkisinin krediye dayalı yapışkan ücretler senaryosundan çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

Ortalama olarak, geçişin faydaları maliyetlerinin yaklaşık iki katı olacaktır. Yatırımların 2036-2045 döneminde zirveye ulaşmasının ardından, sistem maliyetleri hızla artacak ve 2040 civarında geçici olarak net fayda seviyesine yaklaşacaktır. Bu dönemde, GSYİH üzerindeki olumlu etkileri artırmak için uygun endüstriyel ve adil geçiş politikalarının geliştirilmesine özellikle dikkat edilmesi gerekecektir.

Sektörel istihdam etkileri

Tüm net-sıfır senaryolarında toplam istihdam geçişten olumlu etkilenecek olsa da (merkezi NETZERO senaryosunda referans senaryoya göre toplam 432.000 daha fazla iş yaratılmaktadır), özellikle fosil yakıt üretimi ve dağıtımı ile elektrikli olmayan araçların üretiminde olduğu gibi ilgili sektörlerde olmak üzere münferit sektörler üzerinde olumsuz etkiler olacaktır. Referans senaryo halihazırda yüksek katma değerli ve düşük karbon yoğunluğuna sahip üretim alanlarını desteklediğinden, makine ve ekipman ile elektrikli ekipman gibi sektörler üzerindeki küçük olumsuz etkilerin endişe yaratmasına gerek yoktur. Bu etkiler, özellikle net-sıfır senaryolarındaki bazı maliyet artışlarından kaynaklanmaktadır; bununla birlikte, hem referans hem de net-sıfır senaryolarında bu sektörlerde yaklaşık 600.000 yeni iş yaratılmaktadır. Elektrikli olmayan araç imalatı gibi fosil yakıt kullanan ekipman ve araç üretiminin yanı sıra çok çeşitli ticaret ve ulaştırma hizmetlerini kapsayan fosil yakıtla ilgili sektörlerdeki istihdam kayıplarını telafi etmek için adil geçiş politikalarının geliştirilmesi önemli olacaktır. Yeni istihdam alanları önemli alternatif istihdam fırsatları sunmaktadır; ancak işlerini kaybetme riski altındaki çalışanlar için uygun eğitim ve tazminat programlarının sağlanması çok önemli olacaktır.

Şekil ES1. Referans senaryoya kıyasla NETZERO senaryosunda yaratılan ek istihdam (kümülatif 2020-2055; istihdam edilen bin kişi)



Artış

Azalma

Sonuçlar

Tanımlanmış bir net-sıfır karbon enerji geçiş yolunun sosyoekonomik göstergeler üzerindeki etkilerini inceleyen ve esasen nicel bir modelleme çalışması olan bu çalışma, kesin bir sonuçtan ziyade politika rehberliği için bir başlangıç noktası olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmanın, adil geçiş ilkelerini merkeze alan, ulusal ekonomiyi ve sürdürülebilir kalkınmayı bir bütün olarak ele alan nitel araştırma ve tartışmalarla desteklenmesi, sağlıklı bir geçiş sürecinin planlanmasına katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda, kamu ve özel sektör, meslek örgütleri, sivil toplum kuruluşları (STK'lar), işçi ve işveren örgütleri, üniversiteler ve diğer araştırma kurumlarının katılımıyla geçişin tüm teknik, ekonomik ve sosyal yönlerine ilişkin çalışmaların sürdürülmesi ve diyalogların devam ettirilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu raporda tartışılan etkilere yanıt vermek için kısa vadede ele alınabilecek başlıca politika alanları enerji ve iklim politikaları, ekonomi politikaları, sanayi politikası, istihdam politikası ve finansman politikalarıdır. Geçiş, özellikle finansman ve işgücü piyasaları açısından önemli yatırımlar ve titiz bir planlama süreci gerektirmekle birlikte, maliyetinin çok ötesinde faydalar vaat etmektedir. Türkiye sanayi politikası, finansmana erişim ve adil geçiş tedbirleri arasında stratejik bir denge kurduğu takdirde, bu geçişin olumlu etkilerini artırabilir ve karbonsuz ekonomiye geçişin tüm paydaşlar için hem sürdürülebilir hem de eşitlikçi olmasını sağlayabilir.



BÖLÜM 1

Giriş

Kasım 2021'de Türkiye, 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefi ilan etmiştir. Bu hedefe ulaşılması, sadece enerji sisteminin değil, aynı zamanda sanayi, ulaşım ve binalar gibi başlıca talep sektörlerinin de büyük ölçüde yeniden düzenlenmesini gerektirmektedir. Şubat 2023'te SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, Türkiye'nin enerji sektörünün karbonsuzlaştırılması için Net Sıfır 2053: Türkiye'nin Enerji Sektörü için Bir Yol Haritası başlıklı bir yol haritası yayınlamıştır. Yol haritası, net sıfır hedefine ulaşmanın temel bir bileşeni olan ve enerji sektörünün planlanmasıyla yakından ilgili olan son kullanım sektörlerinin karbonsuzlaştırılmasının yanı sıra elektrifikasyonuna yönelik planları da içermektedir (SHURA, 2023).

Enerji sisteminde böylesine büyük değişimin sosyoekonomik etkilerini değerlendirmek, yalnızca olası olumsuz etkileri telafi etmek ve azaltmak için değil, aynı zamanda geçişi başarılı kılmak için etkili politikalar uygulayabilmek için de önemlidir. Türkiye için 2030 yılına kadar kısmi bir geçişin sosyoekonomik etkisine ilişkin önceki bir SHURA çalışması ve çok sayıda uluslararası çalışma, düşük karbonlu enerji geçişinin gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) ve toplam istihdam üzerindeki genel etkisinin genellikle küçük ve olumlu olduğunu ortaya koyarken (SHURA, 2021), Türkiye'nin yüzyılın ortasına kadar net sıfır emisyon hedefi ışığında daha kapsamlı bir analiz yapılması gerekli olmuştur. Bu çalışma, potansiyel riskleri en aza indirirken veya ortadan kaldırırken geçişin faydalarını en üst düzeye çıkarmak için gerekli politika eylemlerine rehberlik etmek amacıyla net sıfır enerji sistemi geçişinin milli gelir, istihdam ve sanayi sektörleri üzerindeki etkisini ölçmeyi amaçlamaktadır. Adil bir geçişi mümkün kılmak için ilgili sosyoekonomik konulara ilişkin daha derinlemesine bir politika tartışması için bir araç olarak tasarlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin enerji sisteminin karbonsuzlaştırılmasının sosyo-ekonomik etkilerini değerlendirmektir. Enerji sisteminin karbonsuzlaştırılması, rüzgar türbinleri, PV panelleri, enerji verimli cihazlar/makineler, sentetik yakıtlar, 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 talebinin azalmasına ve yakıt ithalatının daralmasına yol açarken, yenilenebilir enerji kaynaklarına, enerji verimliliği iyileştirmelerine ve elektrifikasyona yönelik yerel yatırım harcamaları artmaktadır. Bu geçiş, fiyatların, teknoloji maliyetlerinin, üretim yapılarının, tüketici tercihlerinin ve alışkanlıklarının sürekli olarak ve yeni işgücü becerileri, altyapı ve malzeme türlerini gerektiren dinamik çerçevede gerçekleşir.

Düşük karbonlu enerji sistemine geçişin ilk aşamalarında, finansman ihtiyaçlarının yüksek olması beklenmektedir⁴ ve temel teknolojiler ve beceriler tam öğrenme potansiyeline ulaşmamış olabilir. Sonuç olarak, beceri uyumsuzlukları ve yüksek sermaye gereksinimleri nedeniyle enerji maliyetleri başlangıçta yükselebilir, potansiyel olarak üretim maliyetlerini artırabilir ve GSYH büyümesinde geçici bir yavaşlamaya yol açabilir. Ancak çalışmamız, potansiyel finans ve işgücü eksikliklerini gidermek için zamanında politikalar ve önlemler içeren iyi yapılandırılmış bir geçiş planının zaman içinde GSYH büyümesini hızlandırabileceğini göstermektedir."

⁴Düşük karbonlu bir enerji sistemine geçiş, tüketim ve üretim modellerinin düşük CAPEX/yüksek OPEX'ten yüksek CAPEX/düşük OPEX'e değiştirilmesi anlamına . Bu, uzun vadede düşük işletme ve bakım maliyetleri ile kendini amorti eden önemli ön yatırımlar/harcamalar gerektirir. Bu nedenle, uygulamanın ilk aşamalarında sermaye/finansman gereksinimlerinin yüksek olması ve ilgili kaynak ve araçların mevcut olması beklenmektedir.

Politikalar ve tedbirler, maliyetleri azaltan ve teknolojilerin maliyet etkin bir şekilde benimsenmesini teşvik eden pozitif dışsallıklar yaratabilir. Rekabet gücü etkileri dinamiktir: endüstriler yeni katma değerli ürünler ve malzemeler üretecek şekilde gelişecek, ilk hamle avantajları rekabet gücünü artıracak ve ekonomi ihracata dayalı büyüme ve artan yerli katma değerden faydalanabilecektir. Ancak, yeni teknolojilerin büyük ölçekli dağıtımını desteklemek için yeterli finansmanın harekete geçirilmesi de dahil olmak üzere, tüm sistem değişikliklerinin etkili bir şekilde koordine edilmesi çok önemlidir.

Bu çalışma giriş bölümünü takiben beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde literatür taraması yapılmakta ve çalışmada kullanılan metodoloji ve model anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde ise çalışmada kullanılan senaryolar ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Dördüncü bölüm senaryoların sonuçlarını sunmakta, beşinci bölüm ise genel etki analizi ve fayda-maliyet analizinin bir özetini sunmaktadır. Altıncı ve son bölüm sonuç bölümünde ise çalışmada işaret edilen genel sonuçlar tartışılmaktadır.





BÖLÜM 2

Yaklaşım ve Metodoloji

Enerji sisteminin karbonsuzlaştırılmasının sosyo-ekonomik etkilerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi, üretici/tüketici tercihleri, teknolojik dinamikler ve birden fazla sistemin karşılıklı bağımlılıklarına ilişkin belirsizliklerin aynı anda dikkate alınmasını gerektirdiğinden karmaşık bir iştir. Hesaplanabilir Genel Denge (CGE) modelleri, iklim ve enerji politikalarını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır ve bu sistemler arası bağımlılıkları yakalamada özellikle etkilidir.

Bu çalışmada, Türkiye'de enerji sektörünün karbonsuzlaştırılmasının ekonomik ve istihdam üzerindeki etkilerini hesaplamak için büyük ölçekli uygulamalı bir CGE modeli olan GEM-E3 kullanılmıştır. Model, titiz mikroekonomik teori temelleri ve model izlenebilirliği sayesinde kullanıcıların model sonuçlarını yönlendiren temel mekanizmaları anlamalarına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada uluslararası üne sahip GEM-E3 modeli kullanılmıştır.

Modelin odak noktası, enerji ve iklim politikalarının sosyo-ekonomik değerlendirmesi ve özellikle GSYİH, sektörel üretim, refah, istihdam mali gelirlerle ilgili etkilerdir. Model, Türkiye'yi tek bir ülke olarak temsil etmekte, ekonomisi ve enerji sistemi arasındaki etkileşimlerin ayrıntılı bir temsili sunmakta ve tüm ana ticaret ortaklarıyla olan (ikili) akışlarını endojen bir şekilde temsil etmektedir. Modelde enerji üretim teknolojileri, temiz enerji teknolojilerini sağlayan/üreten sektörler ve ekonomik faaliyet ve mesleklere göre istihdamın ayrıntılı bir temsili bulunmaktadır. Son olarak, model denge işsizliğine ve NETZERO geçişiyle ilişkili yatırımlar için alternatif finansman planlarına izin vermektedir.

2.1. Sera gazı emisyonlarının azaltılması ve ekonomik faaliyet: literatürünün gözden geçirilmesi

Hem ulusal hem de küresel düzeyde çeşitli temiz enerji yollarının ekonomik etkilerini araştıran önemli bir literatür bulunmaktadır. Ancak, net sıfır ekonomiye geçişin etkileri ülkeler, sektörler ve zaman içinde önemli ölçüde değişebilmektedir. Çalışmalar, temiz enerji geçişlerinin ekonomik etkilerine ilişkin karışık sonuçlar ortaya koymaktadır. Bazıları Temel senaryolara kıyasla olumlu GSYH etkileri tahmin ederken, diğerleri nispeten küçük GSYH kayıpları önermektedir. Bu farklılıklar, senaryoların tasarımı, kullanılan model türleri (örneğin statik ve dinamik, CGE ve makro-ekonometrik), dışsalılıkların dahil sağlık etkileri ve diğer kaçınılan maliyetler gibi), kaynak kısıtlamaları (yatırım finansman planları dahil), geri dönüşüm ve sübvansiyon planlarının seçimi ve geçişle ilişkili temiz enerji teknolojileri ve mallarının gelecekteki maliyetleri hakkındaki varsayımlar gibi çeşitli faktörlere bağlanmaktadır. Ayrıca, emisyon azaltımlarının zaman çizelgesi de bu farklı sonuçlarda rol oynamaktadır.

Tablo 1 bu alandaki başlıca çalışmaların özetini sunmaktadır.⁵ Çalışmalar arasındaki sonuç farklılıkları, üstlenilen yatırımların süresine ve yoluna da bağlanmaktadır. Belirtildiği üzere, karbonsuzlaştırma özellikle kısa ve orta vadede oldukça sermaye ve kaynak yoğun bir süreçtir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artan penetrasyonu, binaların yenilenmesi,

⁵Tablo, bir önceki SHURA raporunda (Türkiye'de Enerji Sistemi Dönüşümünün Sosyoekonomik Etkileri, 2021 yılında yayınlanmıştır) yer alan literatür taramasını tamamlamaktadır

Enerji verimli ekipmanların satın alınması ve ulaşımın elektrifikasyonu, önceden önemli miktarda para gerektirecektir. Ancak enerji tasarrufları daha uzun vadeli faydalar sağlayacaktır. Bu nedenle, enerji dönüşümünün olumlu etkilerinin uzun vadede daha büyük olduğu göz önünde bulundurularak, etkiler kümülatif olarak değerlendirilmelidir.

Tablo 1. İklim ve enerji politikalarının İklim ve enerji politikalarının GSYİH üzerindeki etkileri-İlgili çalışmaların gözden geçirilmesi

Çalışma	Yazarlar	Model	Ülke hedefleri	Emisyonlar	GSYİH Üzerindeki Etkisi	Notlar
A kapsamlı sosyo-ekonomik değerlendirme AB'nin iklim politika yolları	Weitzel ve ark. (2023)	JRC-GEM-E3 (CGE)	AB	-55%	GSYİH: -%0,28 ile -0.48%	Sonuçlar şu şekildedir tarafından etkilendi varsayımlar emeğin piyasa (mükemmel vs. kusurlu), geri dönüşümü karbon gelirleri (toplu ödeme vs. işgücü vergisi), firmaların (pazar payı maksimizasyon vs. kar maksimizasyonu), ve emisyonlar Tahsis şemalar (açık artırma vs. ücretsiz ödenekler)
Bu Makroekonomik Çıkarımlar Bir Geçişin Sıfır Net'e Emisyonlar	Hallegatte ve ark. (2023)	Çoklu model	Türkiye		GSYİH (NETZERO): 2030'da %1,46, 2040 yılında %1,15 GSYİH (işçilik yok Pazar sürüşmeler): 1.66% 2030'da %2,23 240'da GSYİH (dışarı): 0,97 içinde 2030'da -%0,33 2040	Üç alternatif davalar incelendi ana senaryo, bir senaryo ile tamamen esnek ücretler, ve bir senaryo tam kalabalık ile dışarı etkileri
Sosyoekonomik etkisi güç sistemi içinde geçiş Türkiye	SHURA (2021)	CGE	Türkiye		GSYİH: 1.0% içinde 2030'da %3,4 2040	
Enerji sistemi geçiş ve makroekonomik etkileri bir Avrupa karbonsuzlaştırma yönelik eylem a aşağıda 2°C iklim stabilizasyon	Vrontisi Z., Fragkiadakis K., Kannavou M., Capros P. (2020)	GEM-E3 (CGE)	EU28	EU-WB2°C: -%80 SERA emisyonları 1990 Küresel hafifletme: 675Gt CO ₂ 2015-2050	GSYİH (2030): -%0,15 ila -0.17% GSYİH (2050): +%0,20 ile +0.80%	Farklı senaryo kuruluşlar: küresel eylem (AB dışı ülkelerin NDC'si hedefler) ve küresel azaltım eylemler. Karbon gelirlerinin geri dönüşümü dolaylı olarak Vergiler

Nedir bu etkileri iklim politikaları ticaret konusunda? Paris'in sayısallaştırılmış değerlendirm G20 ekonomileri için	Vrontisi Z., Charalampidis I. Paroussos L. (2020)	GEM-E3 (CGE)	Küresel	NDC WB2C: 675 Gt CO ₂ 2015-2050	GSYİH-Kelime (2030): -0.26% %-1,13'e kadar GSYİH-Dünya (2050): -1.13% -2,09'a kadar GSYİH-TUR (2030): kadar -0.6% GSYİH-TUR (2050): yaklaşık olarak -%0,15 ila -%0,9	Geri Dönüşüm karbon gelirleri genel aracılığıyla VERGİLENDİRME
Türkiye enerji sektörünün gelişimi ve Paris Anlaşması hedefleri: A CGE model değerlendirm esi	Kat B., Paltsev S. ve Yan M. (2018)	TR-EDGE (CGE)	Türkiye	BAU'ya göre -21% 2030'da	GSYH BAU+TreM (2030): -0.82% GSYİH NoN+TrEm (2030): -1.1%	
Olası makroekonomik ve sektörel etkileri karbon Türkiye'nin ekonomisi: A hesaplanabilir genel DENGİ ANALİZLER	Aydın L. (2018)	CGE modeli	Türkiye	3 alternatif için değerler Karbon vergisi: %7 USD/ton, 20 USD/ton, 35 USD/ton	GSYİH: -0.061%, -0.181%, -0.328%	
Enerji verimliliği konut ve konut dışı Binalar: Kısa vadeli makroekonomik etkileri	Slabe-Erker ve al. (2022)	CGE modeli	Slovenya	Ek yatırımlar binalarda (1,7 milyar Euro)	Pozitif GSYİH etkiler boyunca projeksiyon dönem (değişen arasında +1.81% ve +2.25%)	
Sosyo-ekonomik ayak izinin ölçülmesi enerji geçişi	Garcia-Casals X., Ferroukhi R. ve Parajuli B. (2019)	E3M (makro-ekonometrik)	Dünya	760 Gt CO ₂ 2015-2050	GSYH: İçinde +%1,5 2031 ve +1% 2050 yılında Bölgesel düzeyde karışık etkiler. Kaybedenler arasında enerji üreticisi ülkeler ve Arjantin yer almaktadır, Diğerlerinin yanı sıra Güneydoğu Asya, Kanada,	Geri dönüşüm opsiyonu gelir vergileri
Çevresel etki için değerlendirme iklim değişikliği politikası ile simülasyon tabanlı entegre değerlendirme model E3ME-FTT-GENIE	Mercure ve (2018)	E3M-FTT-GENIE (makro-ekonometrik)	Dünya	Politika seti başaran >%70 şans aşmak değil 2°C	Değerlendirme her ikisini de kazananlar ve kaybedenler (OPEC ve Kuzey Amerika). Hafifçe olumsuz etki küresel GSYİH'de	

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

İklim ve enerji politikalarının GSYİH üzerindeki etkileri, söz konusu coğrafi alandaki ekonomik yapıya, enerji sistemine, yenilenebilir enerji potansiyeline ve emisyon azaltımının kapsamına bağlıdır, örneğin: (i) yerel ekonominin enerji sisteminin karbonsuzlaştırılması için gerekli ekipman ve hizmetleri üretme kapasitesi,) yatırımı desteklemek için mevcut mali kaynaklar ve (iii) vasıflı işgücünün ve fosil yakıt üreten sektörlere istihdam bağımlılığı.

2021 yılında yenilenebilir enerji üretim ekipmanlarının (güneş PV panelleri, rüzgar türbinleri) üretimi birkaç ülkede yoğunlaşmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre, Çin güneş PV panellerinin %74'ünden fazlasını üretmiştir (IEA, 2022). Rüzgâr türbinleri üretiminde ise bölgesel çeşitlilik daha fazladır ve Avrupa %42'lik bir pazar payına sahiptir (Wind Europe, 2020). Bu yoğunlaşma, elektrik sisteminin dönüşümünün diğer ülkeler için ithalat yoğun olabileceği ve cari hesap dengelerini potansiyel olarak kötüleştirebileceği anlamına gelmektedir. Enerji tasarruflu ve verimli ekipmanlar, geleneksel ekipmanlara göre daha maliyetlidir ancak zaman içinde daha düşük işletme ve bakım maliyetlerine sahiptir.⁶ Uygun finansman araçları olmadan, bu cihazların ilk satın alımı, uzun vadede maliyet tasarrufu sağlasa bile kısa vadede harcanabilir geliri azaltabilir. Farklı çalışmalar arasında, gelir ve istihdam iki faktör ortaktır: i) özellikle emek yoğun olan inşaat ve hizmetler için ekonomide talep artışı sağlayan artan yatırımlar (örneğin, enerji üretim teknolojilerinde); ii) ithalatı azaltan (enerji üretmeyen ülkeler söz konusu olduğunda) ve enerji dışı malların tüketimine yönlendirilecek kaynakları serbest bırakan daha düşük fosil yakıt tüketimi.

GSYİH etkilerinin büyüklüğünü etkileyen bir diğer faktör de karbon gelirlerinin nasıl geri dönüştürüleceğinin seçimidir; özellikle işgücü maliyetlerini düşürmek için kullanıldıklarında olumlu etkiler gözlemlenmektedir. Finansal kaynakların maliyetine ilişkin varsayımlar, faiz oranları ve sermaye getirilerindeki değişiklikler yoluyla ekonomiyi etkilediğinden, finansman kısıtlamaları ve de önemli bir rol oynamaktadır. Tersine, atıl sermaye veya krediye dayalı yaklaşımlar gibi finansman planlarını içeren varsayımlar, sermaye piyasalarındaki stresi azaltabilir ve potansiyel olarak olumlu GSYİH etkileri sağlayabilir.

İncelenen çalışmalardan dördü, düşük karbonlu enerji dönüşümünün Türkiye ekonomisi üzerindeki etkisini değerlendirmektedir. Bunlardan ikisi, Hallegatte ve diğerleri (2023) ve Taranto ve diğerleri (2021), olumlu etkiler bulurken, diğer ikisi, Kat B., Paltsev S., Yan M. (2018) ve Aydın L. (2018), olumsuz GSYH etkileri bildirmektedir. Çalışmalar kapsam ve yaklaşım açısından farklılık göstermektedir: örneğin, Aydın L. (2018) üç farklı karbon vergisi seviyesinin (7, 20 ve 35 USD/ton) etkilerine odaklanırken, diğer çalışmalar elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin benimsenmesini teşvik eden önlemleri de dikkate almaktadır. Ayrıca, Hallegatte ve diğerleri (2023), gelişmiş üretim süreçlerinin benimsenmesi yoluyla elektrifikasyon oranı ve diğer verimlilik önlemlerine ilişkin varsayımları da dahil etmektedir.

(6) Daha düşük enerji ihtiyacı nedeniyle daha düşük işletme maliyetleri. Daha yüksek verimlilik sayesinde daha az aşınma ve yıpranma nedeniyle daha düşük bakım maliyetleri.

Aydın L. (2018) 35 USD/tonluk bir karbon vergisinin sera gazı emisyonlarında yaklaşık %17'lik bir azalma sağladığını ve buna karşılık gelen GSYH maliyetinin %-0,33 olduğunu bulmuştur. Kat B., Paltsev S. ve Yan M. (2018), sırasıyla nükleer kalkınma ve yenilenebilir enerji RES) kalkınması altında, her zamanki gibi iş (BAU) senaryosuna kıyasla emisyonlarda %21'lik bir azalma elde etmek için 50 ila 70 USD/ton arasında bir karbon vergisinin gerekli olduğunu tahmin etmektedir. Nükleer senaryonun GSYH üzerinde RES senaryosuna kıyasla daha düşük bir olumsuz etkisi bulmuşlardır (2030'da %-0,82'ye karşılık %-1,01). Hallegatte ve diğerleri (2023), karbon vergisinin 2022'de 11 ABD dolarından başlayıp 2040'ta 211 ABD dolarına yükseldiğini, bunun da BAU senaryosuna kıyasla net kümülatif emisyonlarda %55'lik bir azalmaya yol açtığını, brüt emisyonların ise %43,8 oranında azaldığını belirtmektedir. Kümülatif yatırım ihtiyacının 313 milyar ABD Doları (veya yılda yaklaşık 17,3 milyar ABD Doları) olacağı tahmin edilmektedir. NETZERO geçişi, ulaşım ve konut sektörlerindeki enerji tasarruflarının yanı sıra hizmet sektöründeki artan faaliyetler nedeniyle, BAU senaryosuna kıyasla daha yüksek GSYİH ile sonuçlanmaktadır. GSYİH etkilerini etkileyen diğer faktörler arasında yatırım finansmanına ilişkin varsayımlar (dışsal ve dışlama) ve önlenen emisyonlardan kaynaklanan sağlık faydaları gibi yan faydaların dahil yer almaktadır. GSYH etkileri, ücret ayarlaması ve finansman varsayımlarına bağlı olarak 2030 yılında %0,97 ile %1,66 arasında, 2040 yılında ise %-0,33 ile %2,23 arasında değişmektedir.

Son olarak, SHURA'da (2021), elektrik üretiminin dönüşümüne yönelik önlemlerle birlikte 25 ABD doları karbon vergisi, elektrik üretiminin CO₂ yoğunluğunda %21'lik bir azalmaya yol açmaktadır. Türkiye'de enerji sisteminin dönüşümü için yılda yaklaşık 12,3 milyar ABD dolarına ihtiyaç duyulacaktır (BAU senaryosunun neredeyse iki katı). Bu yatırımların en büyük kısmı (%58) elektrik sistemine, %36'sı yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine, %22'si enerji verimliliği iyileştirmelerine ve geri kalanı da ulaşım ve ısıtmanın elektrifikasyonuna yönlendirilecektir. Çalışma, enerji sektörünün yeniden yapılandırılmasının, Temel senaryoya kıyasla 2030 yılında %1 ve 2040 yılında %1,4 oranında GSYİH kazanımına yol açacağını tahmin etmektedir. Bu kazançlar, elektrik üretimi azaldıkça enerji faturalarını azaltan ve diğer sektörlerde kullanılmak üzere sermaye ve işgücünü serbest bırakan enerji verimliliğinden elde edilen elektrik tasarruflarından kaynaklanmaktadır.

2.2. GEM-E3M modeli

GEM-E3⁷ modeli, makroekonomik detayları ve bunların çevre ve enerji sistemi ile etkileşimini sağlayan çok bölgeli, çok sektörlü, özyinelemeli dinamik bir hesaplanabilir genel denge (CGE) modelidir. Model küresel kapsama sahiptir ve dünyanın 20 ülkesini/bölgesini içermektedir. Sera gazları açısından model, CO₂ (hem fosil yakıt yanmasından hem de süreçlerden kaynaklanan), metan (CH₄), azot oksit (N₂O) ve F-gazlarının emisyonlarını içermektedir.

⁷Tam model dokümantasyonu <https://e3modelling.com/modelling-tools/gem-e3/> adresinde mevcuttur.

Model 55 faaliyet ve 12 enerji üretim teknolojisini içermektedir. Temiz enerji geçişi için gerekli malları üreten sektörler (örneğin, PV ekipmanı, rüzgar türbinleri, elektrikli araçlar vb.) ayrı ayrı temsil edilmektedir; bu da modelin karbonsuzlaştırma ile ilişkili olarak üretilen mallara olan talepteki dinamikleri daha iyi yakalamasını sağlayan bir özelliktir. Model hakkında daha fazla bilgi Ek'te mevcuttur (Bölüm 7.1).





BÖLÜM 3

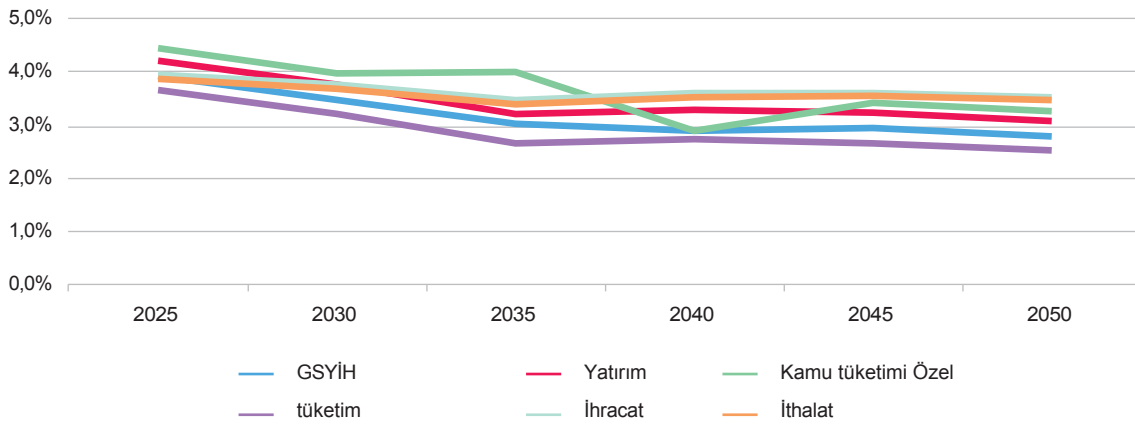
Senaryo Tasarımı

3.1. Temel senaryosu

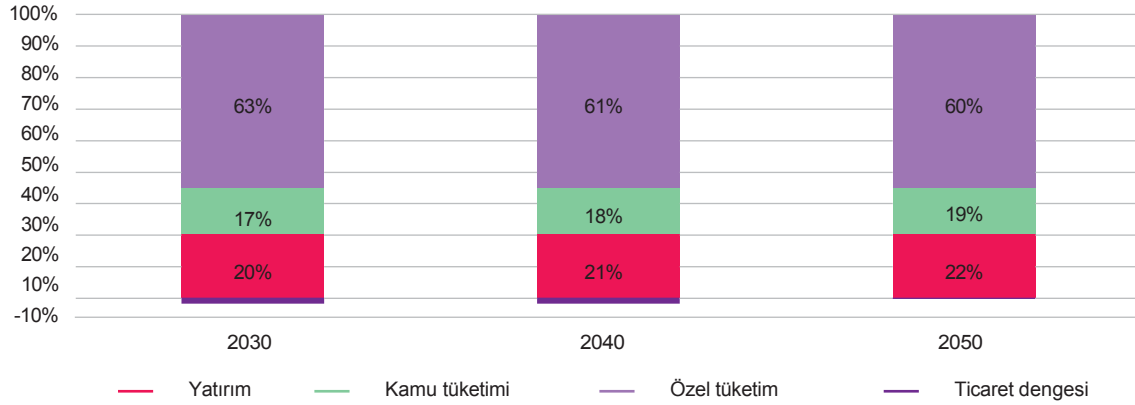
Temel Senaryo, modelin ekonomik ve sektörel büyüme ve istihdama ilişkin dışsal projeksiyonları taklit edecek şekilde kalibre edilmesi anlamında "kurgulanmış" bir senaryodur. Ancak model, genel ekonomik büyümenin verimlilikle ilgili ampirik bulgularla ve muhasebe perspektifiyle tutarlı olmasını sağlar (örneğin, ihracatın diğer ülkelerdeki talep tarafından yönlendirilmesi vb.)

Temel Senaryoda, Türkiye'nin reel GSYH'si 2020-2050 yılları arasında yıllık ortalama %3,2 oranında büyümektedir. Mutlak , GSYH'nin (2014 sabit doları cinsinden ifade edilmiştir) 2050 yılına kadar 2,4 trilyon ABD dolarına ulaşacağı öngörülmektedir. Ekonomik büyüme temel olarak, artan talebi karşılamak üzere yerli üretimi genişletmek için gerekli olan daha yüksek yatırım oranlarından⁽⁸⁾ kaynaklanmaktadır (nüfusun %15 artarak 2055 yılında yaklaşık 100 milyon kişiye ulaşması beklenmektedir). Ülkenin genel ihracat performansının ithalat talebinden biraz daha yüksek olması ve bunun da ticaret açıklarının azalmasına yol açması beklenmektedir (2020'de GSYH'nin %1,1'inden 2050'de GSYH'nin %0,6'sına). Özel tüketimin GSYH'ye katkısı, kısmen yatırım projelerinin artan finansman gereksinimleri nedeniyle hafifçe azalmaktadır.

Şekil 1. GSYİH ve ana makroekonomik büyüklüklerin yıllık büyüme oranları (referans senaryo)

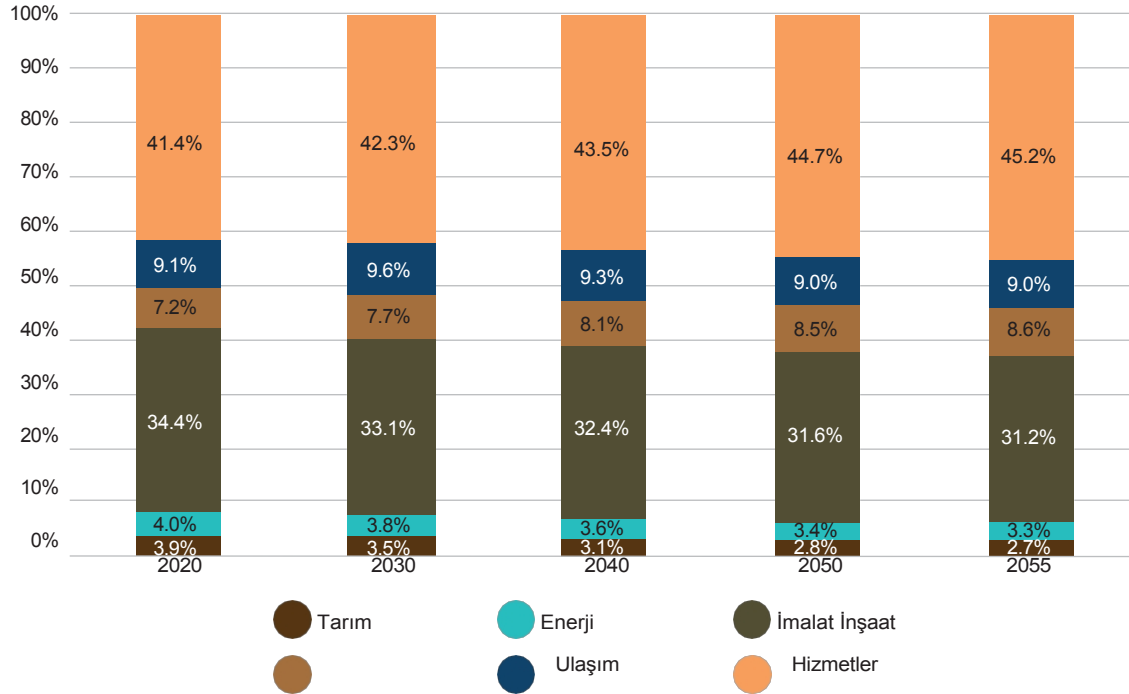


⁸Yatırımların GSYH'ye oranı olarak ölçülmüştür

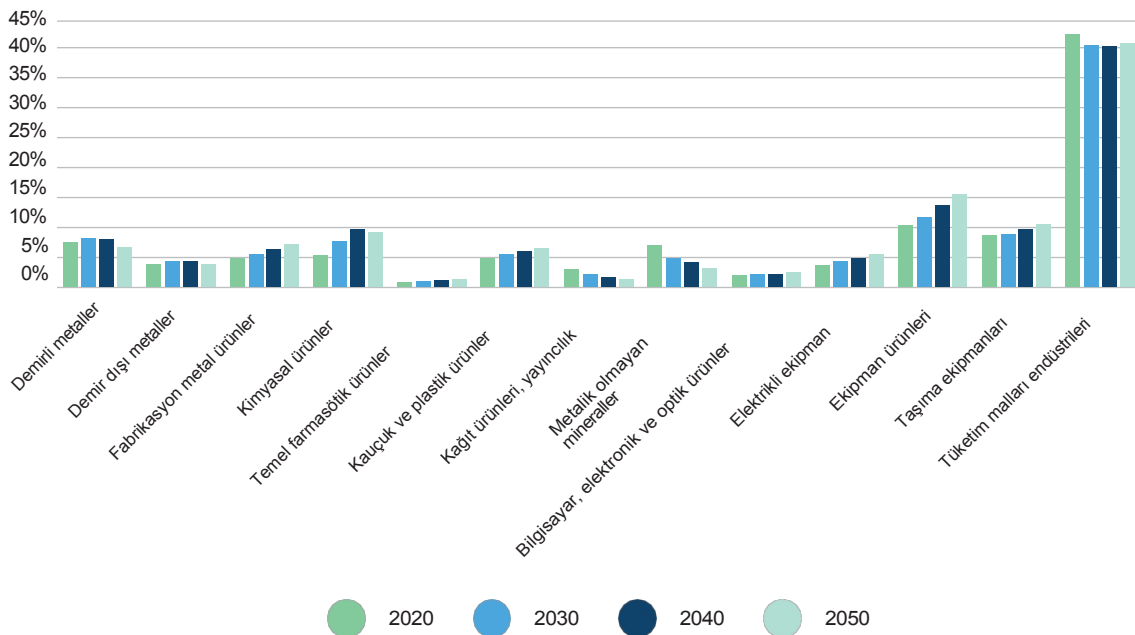
Şekil 2. Makroekonomik büyüklükler Makroekonomik büyüklükler ve Türkiye'nin GSYİH'sine katkıları (Referans senaryo)

Net sıfır çalışmasının amacı doğrultusunda, Temel senaryo, daha yüksek katma değer ve daha düşük enerji/karbon yoğunluğu gibi ikili hedefleri kolaylaştıracak şekilde oluşturulmuştur. Benzer şekilde, Temel senaryodaki ulaştırma modları, mümkün olan yerlerde kara ve hava taşımacılığını yerine daha az karbon yoğun demiryolu ve deniz taşımacılığını vurgulamaktadır.⁹Sektörel üretim açısından, imalat ve birincil faaliyetlerden hizmetlere doğru bir kayma söz konusudur. 2020 ve 2050 yılları arasında hizmet sektörleri yıllık %3,4 oranında büyüyerek 2050 yılında yaklaşık 2 trilyon ABD doları toplam çıktıya ulaşırken, (toplam) imalat faaliyetleri yıllık %2,9 ve birincil faaliyetler %0,7 oranında büyümektedir. Toplam imalat üretimi 2050 yılında yaklaşık 1,4 trilyon ABD doları olurken, tarımsal üretim 78 milyar ABD dolarına ulaşacaktır. Artan yatırımlar inşaat hizmetlerine olan talebin artmasına yol açmakta ve sektör 2050'ye kadar olan dönemde yıllık %3,5 büyümeye kaydetmektedir.

⁹Temel Senaryo hakkında daha ayrıntılı bilgiye <https://shura.org.tr/en/net-zero-2053-a-roadmap-for-the-turkish-electricity-sector/> adresinden erişilebilir.

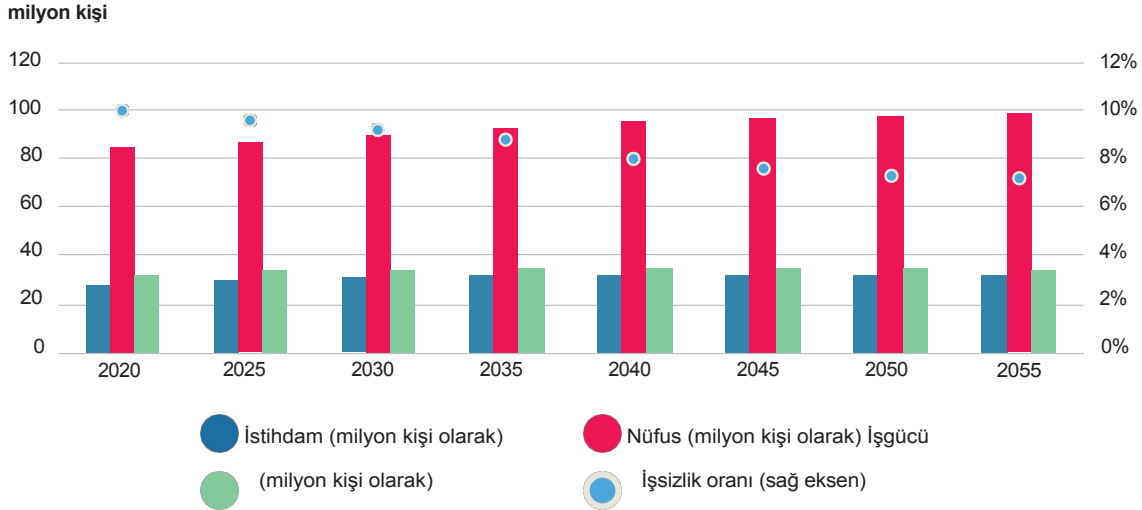
Şekil 3. Toplam yurt içi üretimin payı olarak sektörel faaliyet (Referans senaryo)

Türkiye'nin imalatının kademeli olarak tüketim malları yıllık ortalama %0,8 büyüme oranı), ulaşım ekipmanları ve demirli metallerden kimyasal üretim (%4,2), bilgisayar ve elektronik imalatı (%6,7), elektrikli ekipman %4,8), makine ve ekipman (%5,4) ve fabrikasyon metal ürünlerine (%4,4) kayacağı öngörülmektedir (Şekil 4).

Şekil 4. Seçilmiş sektörlerin Seçilmiş sektörlerin imalat çıktısı içindeki payı (Referans senaryo)

Ekonomik genişleme ve hizmetler ile inşaat gibi emek yoğun ve ithalat etkisi düşük faaliyetlere yönelim, projeksiyon dönemi boyunca 2020 seviyelerine kıyasla daha yüksek istihdam oranlarına yol açmaktadır. İşsizlik, projeksiyon dönemi boyunca yavaş bir hızda düşerek 2055 yılında %7,1'e ulaşmaktadır.

Şekil 5. Temel demografik ve Temel demografik ve toplam işgücü piyasası göstergeleri (Referans senaryo)



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. İnşaat, iç pazara hitap ederek nüfusla birlikte büyürken, ulaşım da artan GSYİH ile birlikte yükselmektedir.

3.2. Net Sıfır 2053 (NZ2053) ve NETZERO senaryoları

Türkiye'nin 2053 yılına kadar net sıfır karbon hedefine ulaşması için gerekenleri, yatırımları ve temel varsayımları içeren Net Sıfır 2053 (NZ2053) senaryosu, SHURA'nın *Net Sıfır 2053: Türkiye Elektrik Sektörü için Bir Yol Haritası* (SHURA, 2023) raporundan alınmıştır. Mevcut çalışma ise NZ2053 senaryosu kapsamında öngörülen geçişin sosyoekonomik etkilerini ölçmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, Bölüm 3.3'te ayrıntıları verilen NETZERO senaryoları ve duyarlılık analizleri, Bölüm 3.1'de özetlenen Temel senaryo ile karşılaştırılmak üzere geliştirilmiştir.

Karbonsuzlaştırılmış enerji sistemiyle ilişkili yatırımlar ve enerji karışımı, GSYİH, sektörel üretim, istihdam, refah ve ulaşım üzerindeki etkiyi hesaplamak için GEM-E3 modeline (PRIMES'en) dahil edilmiştir⁽¹⁰⁾.

Enerji sektörünün karbonsuzlaştırılması NZ2053 senaryosunun merkezinde yer almaktadır. NZ2053 senaryosu, enerji sektöründe en kısa sürede benimsenen zamanında ve iklim odaklı eylemleri dikkate alır

¹⁰Daha fazla bilgi için lütfen Net Sıfır 2053: Türkiye Elektrik Sektörü için Bir Yol Haritası, SHURA, 2023'e bakınız.

2020 ve 2030'dan sonra hızlanacaktır. 2055 yılında nihai enerji talebi 1.170 terawatt saate (TWh) ve elektrik tüketimi 637 TWh'ye ulaşacaktır. 2020 yılına kıyasla elektriğin toplam enerji talebi içindeki payı iki kattan fazla artarak %21'den %54'e çıkmıştır.

Nihai kullanım sektörlerinin enerji dönüşümü, enerji verimliliği ve elektrifikasyona odaklanmaktadır. E-yakıtlar (emisyonuz sıvılar ve gaz enerji taşıyıcıları gibi) çoğunlukla sanayi (yüksek sıcaklıkta ısı gerektiren) ve uzun mesafeli taşımacılık gibi elektrikleştirilmesi zor sektörlerde kullanılmaktadır. Senaryoda hem elektrik hem de e-yakıtlar yenilenebilir enerji santralleri kullanılarak üretilmektedir.

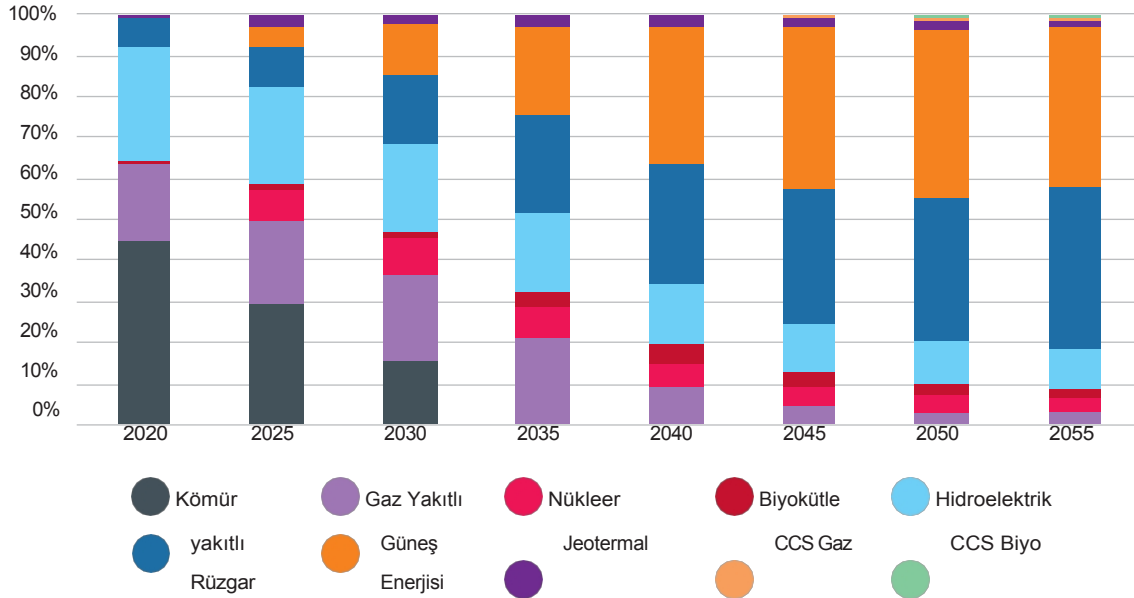
Türkiye için 2053 yılına kadar net sıfır karbon emisyonuna ulaşma hedefi, fosil yakıtların yenilenebilir enerjiyle yer değiştirmesi, enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ve son kullanım sektörlerinde elektrifikasyonun artırılmasıyla mümkün olmaktadır. Net-Sıfır 2053 (NZ2053) senaryosuna , toplam karbon emisyonları 2025 yılında zirve yapmakta ve 2035 yılında 2025 seviyesinin %62,8'ine düşmektedir.

Emisyonlardaki erken zirvenin (2025) arkasındaki ana etken, enerji sektöründe kömürün hızlı bir kullanımdan kaldırılmasıdır. İçinde bulunduğumuz on yıl içinde bile kömür payının yarıdan düşeceği varsayılmaktadır. Senaryoda, en verimsiz kömür ve linyit santrallerinin çalışma saatleri azalmaktadır. 2030'dan sonra bu eğilim, tüm kömürlü termik santrallerin 2035'e kadar elektrik üretimini durdurduğu ve 2040'a kadar tamamen kapatıldığı düzenlenmiş bir kömür aşamalı azaltımı nedeniyle daha da hızlanmaktadır. Ayrıca, birincil enerji tüketimi 2030 yılında zirve yapmakta ve projeksiyon döneminin sonunda 2020 seviyelerine gerilemektedir.

Gerçekten de, 2053 yılındaki Türk elektrik sisteminin iki ana eğilim nedeniyle mevcut elektrik sisteminden kökten farklı olacağı varsayılmaktadır:

- son kullanım sektörlerinin elektrifikasyonu ve yeşil hidrojen ve sentetik yakıtlardaki artış nedeniyle elektrik üretiminde önemli bir artış; ve
- değişken YEK'in artan bir payı.

Rüzgar ve güneş enerjisi, 2055 yılında %79'a ulaşan payları ile elektrik üretiminde baskın kaynaklar haline gelmektedir. Hidro, biyokütle ve jeotermal ile birlikte YEK, 2055 yılında elektrik üretiminin %92'sinden fazlasını sağlayacaktır (Şekil 6).

Şekil 6. NZ2053 senaryosunda NZ2053 senaryosunda elektrik üretiminde teknoloji payları

Hızla artan elektrik talebi ve yeni yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye girmesi toplam kurulu kapasiteleri artırmaktadır. 2020-2055 döneminde toplam kurulu kapasite 100 gigavattan (GW) 572 GW'a, toplam YEK kapasitesi ise 56 GW'tan 403 GW'a yükselmiştir. YEK kapasitesi ilaveleri 2040-2050 döneminde hız kazanarak 217 GW'tan 514 GW'a çıkarken, bu artış özellikle son kullanım sektörlerindeki e-yakıt talebindeki artıştan kaynaklanmaktadır.

Güneş PV ve rüzgar elektrik üretiminde eşit paya sahip olsa da, daha düşük kapasite faktörleri nedeniyle güneş PV için gereken toplam kapasite çok daha yüksektir. Güneş enerjisi kapasiteleri 2040 yılına kadar 119 GW'a ve 2053 yılına kadar 220 GW'a ulaşacaktır. Yatırımların çoğu 2035-2045 yılları arasında yoğunlaşırken, 2020 ile 2055 yılları arasında PV kapasite ilavelerinin ortalama oranı yılda 6,1 GW'tır. Türkiye ekonomisinin büyüme beklentileri göz önüne alındığında, bu yatırımlar ekonomik açıdan uygulanabilir. YEK'teki artışa şebeke kapasitesi ve batarya depolama yatırımları eşlik etmektedir.

Projeksiyon dönemi boyunca, toplam nükleer enerji santrali kapasitesi sabit kalırken, temiz gaz yakıtlı enerji santrallerinin kapasitesi rezerv ihtiyacını karşılamak ve enerji arzını güvence altına almak için artmaktadır. Jeotermal kapasiteler ve biyokütle buhar türbinleri uzun vadede (2055'e kadar) enerji sistemine 9 GW daha ekleyecektir. Bu santraller şebekeye istikrarlı elektrik sağlayan yüksek kullanım oranlarına sahiptir. Toplam kapasitesi 1,3 GW olan CCS'li bir biyokütle enerji santrali 2050 yılında devreye alınacaktır.

Tablo 2, net sıfır hedeflerine ulaşmak için gereken yatırım ölçeğini göstermektedir. Aslında, yatırım oranı zaman içinde kademeli olarak artmaktadır. Enerji sektörü dönüşümünü finanse etmek için 2021'den 2050'ye kadar 288 milyar ABD dolarına yakın yatırım yapılması gerekmektedir.

Yatırımlar 2030'dan sonra hızlanmakta, 2036-2045 döneminde zirveye ulaşmakta ve hızla artan elektrik talebini karşılamak ve e-yakıt üretimini desteklemek için gerekli olan, başta güneş ve rüzgar olmak üzere 86,6 GW'lık enerji üretim kapasitesinin kuruluma yönlendirilmektedir. Yatırım gereksinimleri, projeksiyon dönemi boyunca kümülatif olarak GSYH'nin %0,6'sına eşittir.

Tablo 2. NZ2053 senaryosunda NZ2053 senaryosunda enerji sektöründeki yatırım harcamaları (milyar ABD doları).

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
Kömür yakıtlı	1.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gaz yakıtlı ¹¹	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
Rüzgar	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 Biyo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0

Nihai talep sektörleriyle ilgili olarak, hanehalkları konutların enerji performansını iyileştirmek için harcamalar yapmaktadır. Kümülatif enerji verimliliği harcamaları yaklaşık 59 milyar ABD dolarına eşittir (hane halkı gelirin %0,13'ü). Elektrik üretim yatırımlarının aksine, enerji verimliliği harcamalarının büyük kısmı 2035 yılına kadar gerçekleşecektir (toplam harcamaların yaklaşık %57'si).

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

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
Endüstri	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, ulaştırma sektörü ile ilgili olarak, içten yanmalı motorlu araçlardan hibrit ve bataryalı elektrikli araçlara (BEV'ler) doğru bir geçiş söz konusudur. 2055 yılında, dolaşımdaki toplam araçların yalnızca yaklaşık %1'i yalnızca içten yanmalı motorlar kullanmaktadır. BEV'lerin maliyetinin ortalama olarak şu şekilde olduğu varsayılmaktadır

Geleneksel araçların maliyetinden 1,35 kat daha yüksek.

¹¹2030'dan sonra gaz yakıtlı tesislerin temiz kullandığı unutulmamalıdır.

Tablo 4. NZ2053 Senaryosunda NZ2053 Senaryosunda motor tipine göre özel araçların payı.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055
Geleneksel	98%	97%	78%	51%	23%	17%	8%	1%
Plug-in Hibrit	1%	2%	8%	19%	18%	13%	8%	4%
Saf Elektrik	1%	1%	14%	30%	59%	71%	84%	94%

3.3. Makroekonomik kurulum

NZ 2053 senaryosunun makroekonomik etkilerini ölçmek için Bölüm 3.3.1 ve 3.3.2'de sunulan NETZERO senaryoları geliştirilmiştir. Etki değerlendirmesi, ekonominin öngörülen değişikliklere tepkisini etkileyen iki önemli faktörü dikkate almaktadır: finansman seçenekleri ve ücretlerin ve sermaye kiralalarının tepkisini etkileyen üretim faktörleri piyasalarındaki katılımlar⁽¹²⁾.

3.3.1. NETZERO finansmanı planları

Elektrik üretiminde ve şebeke geliştirmede YEK kapasitelerinin artırılması ek kaynak gerektirecektir. Ek finansman gereksinimleri sermaye piyasaları üzerinde baskı yaratacaktır. Sermaye maliyetlerinin ne ölçüde artacağı, ekonomi üzerindeki genel etkiyi belirleyecektir. Geçiş sürecindeki finansal kısıtların önemini ölçmek için alternatif finansman düzenlerini incelemek önemlidir.

İncelenen alternatif finansman planları genel olarak iki uç durumu ve finansal piyasalardaki alternatif koşulları simüle eden bir orta durumu (merkezi) temsil etmektedir. Merkezi durumda (NETZERO), yatırımların %5 faiz oranıyla on yıl sonra tamamen geri ödenen kredilerle finanse edildiği varsayılmaktadır. Olumsuz durumda (NETZERO_CO), yatırımların iç kaynaklarla ve daha spesifik olarak diğer sektörlerdeki eşit miktardaki yatırımların dışlanmasıyla finanse edildiği varsayılmaktadır. Bu alternatif, firmaların belirli bir miktardaki finansal kaynak için rekabet ettiği bir durumu simüle etmektedir. Son olarak, yatırımların iç ve dış kaynakların bir kombinasyonu ile finanse edildiğinin varsayıldığı (ancak geri ödeme yapılmadığı varsayılan) alternatif, daha elverişli bir durum NETZERO_FI) incelenmiştir.

- **NETZERO:** (Merkezi varyant) Elektrik üretimine ve şebekeye yapılan yatırımlar, belirli bir faiz oranı üzerinden sonraki dönemlerde geri ödenen kredilerle finanse edilir
- **NETZERO_FI:** Simülasyon dönemi içinde geri ödemesi olmayan kredi bazlı senaryo-dönüşümlü finansman.
- **NETZERO_CO:** Kendi kendini finanse etme senaryosu.

¹²Ekonomi literatüründe üretim için gerekli ana faktörler (üretim faktörleri) toprak (veya doğal kaynaklar), emek ve sermaye olarak tanımlanmaktadır. Ücretlerin (birim işgücü geliri) ve karların (birim sermaye rantı) oluştuğu piyasalardaki esneklik derecesi bu değerlerin temel belirleyicilerinden biridir.

3.3.2. NETZERO işgücü piyasası ayarlama

Yatırımlardan kaynaklanan ek talep ve sermaye harcamalarına (CAPEX) dayalı bir modele geçiş, ekonomik faaliyetin yapısını değiştirecektir. Bu değişiklikler ekonomi genelindeki işgücü ve sermaye maliyetlerini etkileyecektir. İşgücüne olan talep arttıkça, ücretler de ekonomideki toplam talep ve arzı dengelemek için artma eğiliminde olacaktır. Ücretlerin talepteki değişikliklere ne ölçüde uyum sağlayacağı, sendikaların gücü, beceri uyumsuzluğu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Birincil üretim faktörü fiyatlarının ayarlanması, sektörel üretim maliyetlerini ve bunların hem iç hem de uluslararası piyasalardaki rekabet gücünü çok büyük ölçüde etkiler. Ekonomik modeller işgücü piyasasını modellemek için alternatif yaklaşımlar kullanmaktadır; bu yaklaşımlar ücretlerde ve sermaye kiralalarında farklı tepki oranlarına yol açmaktadır. GEM-E3 modelinde, işgücü piyasası kusurları denge ücretlerinin tam istihdam yaklaşımının ima ettiğinden daha yüksek olmasına yol açmakta, dolayısıyla dengede gayri iradi işsizlik ortaya çıkmaktadır. Duyarlılık çalışmalarında, ücretlerin başlangıç seviyelerine sabitlendiğini varsayıyoruz.

İşgücü ve sermaye piyasasının tepkisine ilişkin olarak, ücretlerin ve sermaye kiralalarının tamamen esnek olduğu bir vaka ile hiçbir ayarlamamanın yapılmadığı bir vaka ele alınmıştır. Alternatif finansman planları ve piyasa koşulları, geçiş sürecindeki temel ekonomik unsurların etkisinin araştırılmasına ve makroekonomik etkilerin sağlam bir tahmin aralığının sağlanmasına olanak . Senaryo varyantlarının ve özellikleri aşağıdaki gibidir:

- **NETZERO_TT:** Geri ödenen kredilerle birlikte yapışkan ücretler
- **NETZERO_TT_FI:** Döner finansman ile birlikte yapışkan ücretler (geri ödeme yok)
- **NETZERO_TT_CO:** Yapışkan ücretlerle birlikte kendi kendini finanse etme senaryosu

3.4. Yatırım matrisi

GEM-E3'te enerji üretim yatırımları, sabit teknik katsayılardan oluşan bir matris kullanılarak mal ve hizmet talebine dönüştürülür. Bu matris yatırım matrisi olarak adlandırılır. Yatırım matrisinin oluşturulması, "Elektrik Enerjisi Üreten Teknolojiler için Sermaye Maliyeti ve Performans Karakteristiği Tahminleri" (EIA, 2020) ve 2019'da Yenilenebilir Enerji Üretim Maliyetleri'nden (IRENA, 2020) alınan verilere dayanmaktadır. Matris, teknoloji türüne göre her bir yatırım birimi tarafından makine/ekipman, inşaat ve diğer piyasa hizmetleri için tetiklenen harcama oranını göstermektedir. Başlıca enerji üretim teknolojilerine yapılan yatırımların ilgili sektörlerde yarattığı etkinin iyi bir göstergesi olarak hizmet etmektedir.

Tablo 5. Yatırım Matrisi Yatırım matrisi¹³

	Kömür yakıtı	Gaz yakıtı	Biyokütle	Hidroelektrik	Rüzgar	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 Market Hizmetleri	21%	22%	20%	16%	20%	7%	22%	21%	22%
Rüzgar enerjisi teknolojisi için ekipman					55%				
PV paneller için ekipman						57%			
CCS güç teknolojisi için ekipman							56%	61%	61%

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

¹³Bu GEM-E3 modelinin varsayılan matrisidir.



BÖLÜM 4

Senaryo Sonuçları

4.1. NETZERO

NETZERO senaryosu, projeksiyon dönemi boyunca (2020-2055)¹⁴Temel senaryoya kıyasla kümülatif¹⁴GSYİH kazanımlarına yol açmaktadır. Tahmini kazançlar, esas olarak artan yatırımlardan kaynaklanarak yaklaşık 787 milyar ABD doları tutarındadır. YEK kapasitelerinin daha fazla kullanılması ve şebeke gelişimi ekonomideki talebi canlandırarak özellikle inşaat hizmetlerinde faaliyetlerin artmasına yol açmaktadır. Bu sektör, nispeten düşük ithalat bağımlılığı¹⁵ve yüksek çarpan etkisi ile karakterize edilmektedir¹⁶.

GSYH üzerindeki etki aşağıdaki şekilde detaylandırılmıştır:

- a) Geçiş sermaye yoğun olduğu için yatırımlar artar,
- b) Fosil yakıtlara olan bağımlılığın azalması nedeniyle ithalat, Referans Noktasına kıyasla azalmıştır,
- c) daha yüksek ekonomik faaliyet, istihdam ve enerji tasarrufu nedeniyle özel tüketim artar (Temel kıyasla kümülatif olarak %0,92 oranında) ve
- d) Artan enerji maliyetlerinden¹⁷kaynaklanan üretim maliyeti artışlarının, yurt içinde üretilen malların rekabet gücünü azaltacağı ve bunun da BBaseline senaryosuna kıyasla daha düşük ihracatla sonuçlanacağı varsayılmaktadır. Bu etki esas olarak diğer ülkelerin enerji ve iklim politikalarına varsayımlara bağlıdır. Bizim kurgumuzda, diğer ülkelerin emisyon azaltımını hedeflemediği varsayılmaktadır. Ancak, küresel eylem bağlamında, diğer ülkeler potansiyel olarak geçişle ilişkili daha yüksek üretim maliyetleriyle karşı karşıya kalacaktır. Bu da i) görece fiyatlarda (yani, yabancı malların fiyatına göre Türk ürünlerinin fiyatında) daha küçük bir ayarlama anlamına gelecek ve potansiyel olarak ihracatta daha küçük değişikliklere yol açacaktır ve ii) geçişle ilişkili ve Türkiye'nin üretim kapasitesine sahip olduğu mallara (örneğin, elektrikli araçlar) potansiyel olarak daha yüksek talep olacaktır.

Enerji verimliliği iyileştirmeleri ve yönelik hane halkı harcamalarının daha yüksek olduğu (dolayısıyla daha yüksek sermaye maliyetlerinin hane halkı bütçeleri üzerindeki etkilerinin enerji tasarruflarından daha fazla olduğu) geçişin ilk aşamalarında (2035'e kadar) özel tüketim düşerken, uzun vadede enerji tasarrufları daha düşük enerji faturaları ve daha yüksek diğer mal ve hizmet tüketimi anlamına gelmektedir. Türkiye ekonomisi geleneksel imalat faaliyetlerinden uzaklaşırken, "temiz enerji" imalatı ve inşaat NETZERO geçişinden en çok faydalanan sektörlerdir.

¹⁴Bundan böyle, 2020-2055 dönemi boyunca toplam değişiklikleri ifade etmek için kümülatif değişiklik terimini ve incelenen zaman dilimi içinde bir değişkenin yıllık % değişimini ifade etmek için büyüme oranı terimini kullanacağız; açıklanan değişikliklerin geri kalanı ise belirli bir yıldaki Temel Durum ile senaryo arasındaki karşılaştırmayı ifade etmektedir.

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

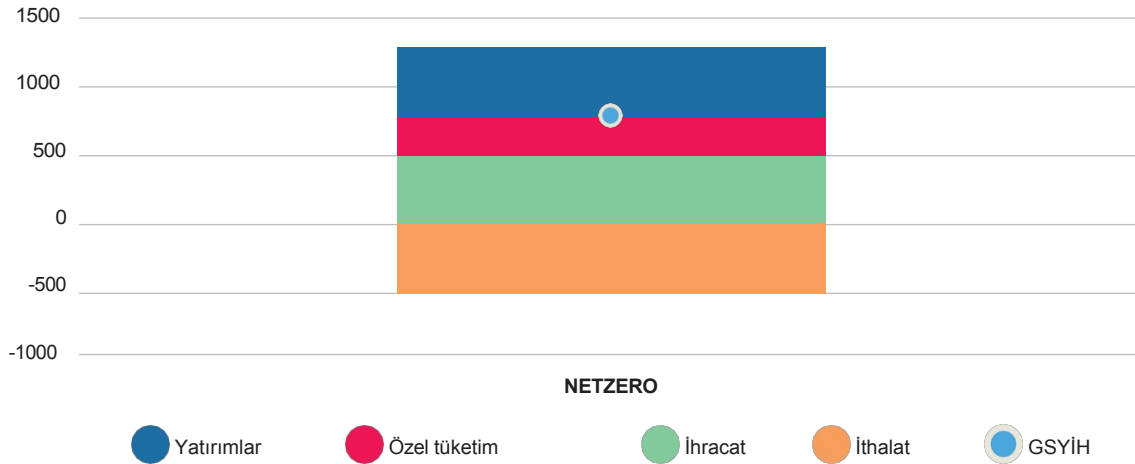
¹⁶Leontief çarpanı, sektörün talebindeki veya) 1 ABD doları artışın ekonomi üzerindeki etkilerini ölçer. 2 çarpanı, her 1 ABD doları ek talep için ekonominin toplamda 2 ABD doları ürettiği ve 1 ABD doları net fayda sağladığı anlamına gelir. Örneğin, inşaatın ortalama ,1 çıktı çarpanı ve 21 istihdam çarpanı vardır (bu, yatırılan her bir milyon dolar için 21 ek iş yaratıldığı anlamına gelir).

¹⁷Özellikle geçiş döneminde yenilenebilir enerjiye, şebeke altyapısına ve enerji depolamaya yapılan yatırımların artması, sistem maliyetlerinin artmasına ve dolayısıyla enerji maliyetlerinin Referans senaryodakinden daha yüksek olmasına neden olmaktadır.

Dış ticaret dengesi, net-sıfır durumunda Temel senaryoya kıyasla önemli ölçüde değişmemektedir. Daha düşük ithalat (daha düşük fosil yakıtlar, OPEX'ten CAPEX tüketim kalıplarına geçiş), ihracatta küçük bir düşüşle birleşmektedir, ikincisi üretim maliyetlerindeki artıştan kaynaklanmaktadır.¹⁸

Şekil 7. Referans senaryoya göre kümülatif GSYİH etkileri⁽¹⁹⁾

milyar ABD Doları

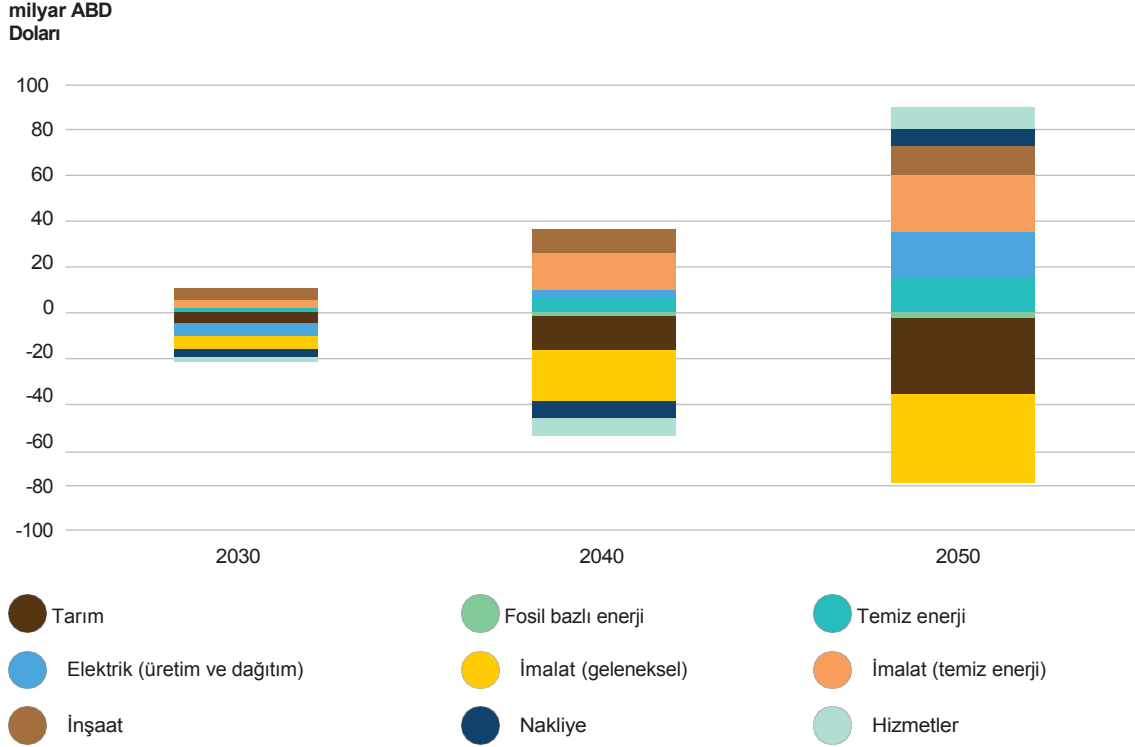


Kaynak: GEM-E3

Üretim açısından, geçişten en çok yararlanan sektörler hizmetler, inşaat ve "temiz enerji" ekipmanı imalatıdır; daha spesifik olarak, elektrikli araç üretimi projeksiyon dönemi boyunca yılda ortalama 8,4 milyar ABD doları, ev aletleri ve ekipmanları yılda 0,8 milyar ABD doları ve RES ekipmanı imalatı 1 milyar ABD doları artmaktadır. Öte yandan, geleneksel imalat faaliyetleri, Referans Noktasına kıyasla (2020-2055 dönemi için) yaklaşık %2 oranında kayıp kaydetmektedir. Bu düşüş kısmen, geleneksel araçlar yerine elektrikli araçların satın alınmasına, ev aletlerinin yenilenmesine ve daha verimli ekipmanların satın alınmasına ve daha yüksek üretim maliyetleriyle (özellikle tüketim malları endüstrileri için) ilişkili rekabet gücü kayıplarına bağlanmaktadır.

Hizmetle ilgili sektörlerin çıktısı Temel senaryoya kıyasla kümülatif olarak %0,2 artmaktadır. En çok fayda sağlayan sektörler toptan ve perakende ticaret (+%1,2), konaklama ve gıda hizmetleri (+%0,4) ve diğer pazar hizmetleri (+%0,3) ile ilgili sektörlerdir.

¹⁸Üretim maliyetlerindeki artış, Temel duruma kıyasla daha yüksek büyüme nedeniyle ücretlerin ve sermaye maliyetlerinin daha yüksek bir seviyeye ayarlanmasından kaynaklanmaktadır. Modelde, ücretler ve sermaye kiralari ilgili piyasaları temizlemek için (yani arz ile talebi dengelemek için) ayarlanmaktadır. Ayarlamaların derecesi ve makroekonomik performans üzerindeki etkisi duyarlılık senaryolarında incelenmektedir. ¹⁹Kamu harcamalarının baz ve net sıfır senaryolarında eşit olduğu varsayıldığından, bu ve sonraki şekillerde sadece özel tüketim üzerindeki etki gösterilmektedir.

Şekil 8. Sektörel Üretim Sektörel üretim (Başlangıç Noktasına göre değişim)

Kaynak: GEM-E3

Toplamda imalat sektörü, Temel kıyasla faaliyet seviyelerinde göreceli bir yavaşlama kaydetmektedir. Ortalama olarak, 2020-2055 dönemi için Türkiye'deki toplam imalat çıktısının büyüme oranı, Referans durumdaki %2,6'ya kıyasla %2,5'e eşittir (bu, imalatın ulusal gayri safi katma değere katkısında %1'lik bir düşüşe karşılık gelmektedir). Bu değişim esas olarak, projeksiyon dönemi boyunca "temiz enerji" imalatının çıktısı iki katına çıkarken, çıktıları Referans duruma kıyasla %2,1 oranında azalan "geleneksel" imalat sektörlerinin²⁰ faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır.

Ulaşım ekipmanları sektörünün çıktısı (yani hem içten yanmalı motorlu araçların hem de elektrikli/plug-in araçların üretimi) Referans duruma kıyasla %4,8 oranında artmaktadır. Bu artış esas olarak, içten yanmalı motorlu araçların satışındaki düşüşten daha ağır basan daha yüksek elektrikli araç üretiminden kaynaklanmaktadır. Diğer imalat faaliyetleriyle ilgili olarak, en fazla etkilenen faaliyetler demir dışı metaller (Referans duruma göre %-4,9), elektrikli ekipmanlar ve kauçuk ve plastik üreten sanayiler (sırasıyla %-3,8 ve %-3,1) olurken, en az etkilenenler metalik olmayan mineral sanayiler ve demirli metaller sırasıyla %-0,14 ve %-0,7) olmuştur.

²⁰Toplam sektörel çözünürlük ile model sektörler arasında ayrıntılı bir uygunluk tablosu Ek'te Bölüm 7.2) verilmektedir.

Şekil 9. Referans senaryoya göre üretim çıktısındaki değişiklikler

milyar ABD Doları



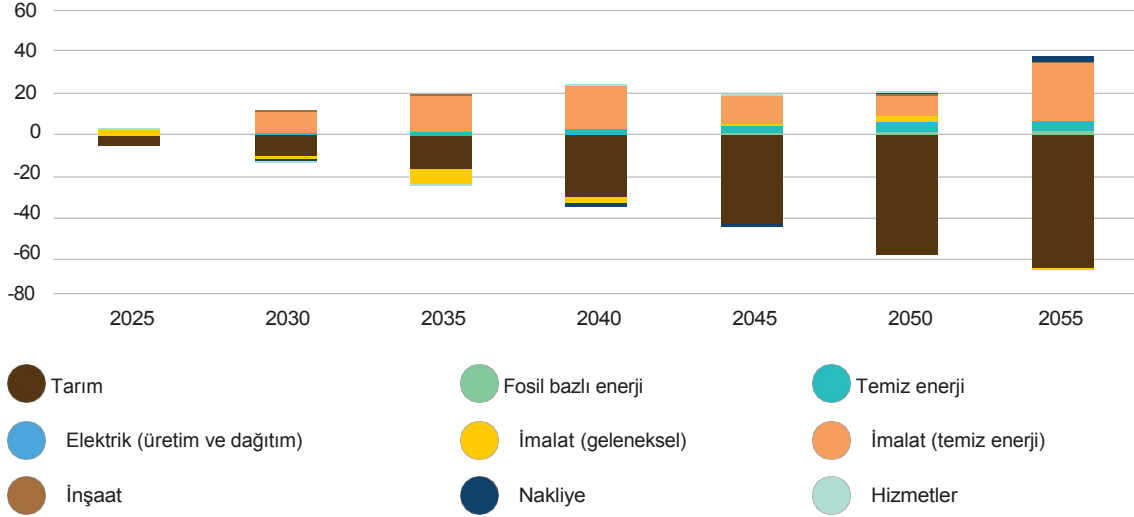
Kaynak: GEM-E3

Ticaret açısından bakıldığında, ihracat kısa ve orta vadede Referans Noktasına kıyasla daha yüksektir ancak 2040'tan sonra daha düşüktür. İlk dönemlerde, düşük faiz oranlarıyla finansman sağlandığı ve henüz faiz ödenmediği için sermaye maliyetleri düşüktür. Uzun vadede, daha yüksek kredi geri ödeme maliyetleri, daha yüksek sermaye maliyetleri ile birleşerek üretim maliyetlerinde değişikliklere yol açmaktadır. Tüketim malları endüstrileri, demirli metal endüstrileri ve içten yanmalı motorlu araçlara sahip ulaşım ekipmanı üreticileri için etkiler daha belirgindir. Bu ürünler karbon yoğun oldukları, dış rekabete yüksek oranda maruz kaldıkları ve karbonsuzlaştırma sürecine doğrudan katkıda bulunmadıkları için etkilenmektedir (örneğin, içten yanmalı motorlara olan talep azalmaktadır).

İthalat 2040'a kadar olan dönemde artmakta ve sonrasında düşmektedir. Erken aşamalarda, YEK ekipmanlarına ve yeni cihazlara yönelik artan talep ithalatta artışa yol açmaktadır. Uzun vadede, yerli "temiz enerji" sektörleri üretim kapasitelerini artırmış ve enerji tasarrufları daha yüksek olmuş, bu da ithalatın azalmasına yol açmıştır. Daha düşük fosil yakıt (2020-2055 döneminde Referans Noktasına kıyasla -%43) elde edilen fayda, imalat ürünleri (+%3,7) ve temiz enerji (yani, daha yüksek YEK ekipmanı, elektrikli araçlar ve biyoyakıtlar, hidrojen vb. ithalatı) ithalatındaki artışla kısmen dengelenmektedir.

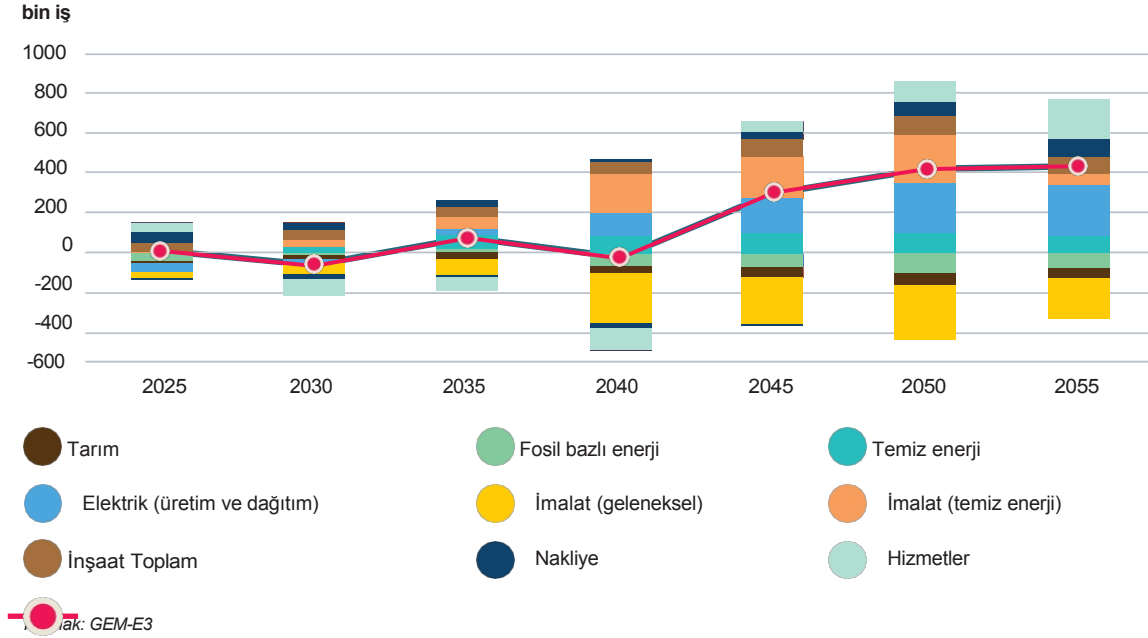
Şekil 10. Sektörel İthalat Referans senaryoya göre sektörel ithalattaki değişim

milyar ABD Doları

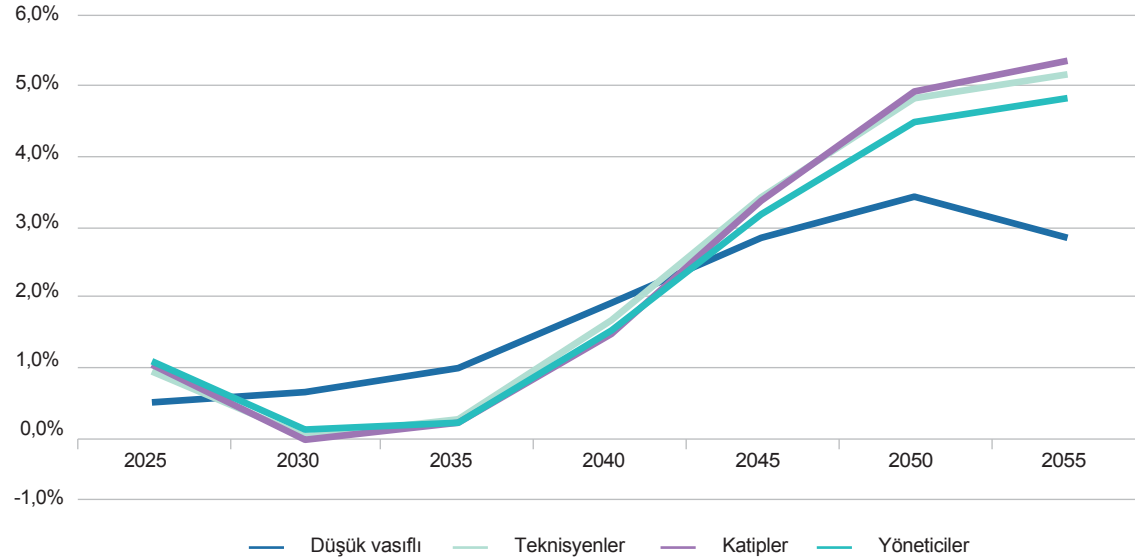


Kaynak: GEM-E3

İstihdam, geçiş sürecinin çoğu yılında Referans Noktasına kıyasla daha yüksektir. "Geleneksel" imalat sektörlerindeki ve yakıt sektörlerindeki iş kayıpları, YEK, enerji tasarruflu cihazlar ve temiz enerji imalatındaki artan faaliyetlerle kısmen telafi edilmektedir (son sektörlerdeki yıllık ortalama istihdam artışı 183.000 işe eşittir). Ayrıca, ulaştırma ekipmanları sektöründe yıllık ortalama yaklaşık 51.000 istihdam artışı kaydedilmiştir. Temiz enerji ve temiz enerji geçişi ile ilişkili ekipmanlarda istihdam yaratımı, talebin ağırlıklı olarak ithal edilen mallara doğru kayması ve ekonominin yapısal uyumunu tamamlamamış olması nedeniyle geçişin ilk yıllarında daha düşüktür (bu durum çoğunlukla üretken kapasiteyi artırmak için erken dönemlerde yapılan yatırımlar karşılığını verdiğinde uzun vadede gerçekleşir). Enerji yoğun sektörler marjinal istihdam farklılıkları kaydetmektedir. Son olarak, elektrik üretimine ve şebekeye yapılan yatırımlar daha yüksektir, bu da inşaat (yılda +66.000 iş) ve hizmet sektörlerinde faaliyetlerin artmasına yol açmaktadır (bu sektörler Temel Durumda ekonomideki toplam istihdamın yaklaşık %34'ünü oluşturmaktadır). Hizmetlerde ortalama olarak yılda yaklaşık 20.000 iş yaratılmaktadır. Ortalama ücretlerle ilgili olarak, bunlar geçiş dönemi boyunca genel olarak (+%1,7), öncelikle inşaat ve hizmet sektörlerindeki daha yüksek faaliyetler nedeniyle artmaktadır (özellikle ikincisi emek yoğunudur ve örneğin imalat sektörlerine kıyasla yüksek talebe sahiptir).

Şekil 11. Referans senaryoya göre sektörel istihdamdaki değişim

NETZERO geçişi sermaye yoğun bir süreçtir. Bu durum gelir üretimine de yansımaktadır. Temel senaryo ile karşılaştırıldığında, sermayenin toplam milli gelir içindeki payı %1 artmaktadır. Türkiye'de toplam gelir projeksiyon dönemi boyunca %2,9 artmaktadır (işgücü geliri %2,3 ve sermaye geliri %3,2 artmaktadır). İşgücü gelirindeki değişimin meslek veya beceri düzeyine göre analizi Temel senaryo ile karşılaştırıldığında, net-sıfır geçişin beceri düzeyinden bağımsız olarak tüm kategoriler için daha yüksek gelir düzeylerine yol açacağını ortaya koymaktadır. Ancak, vasıfsız işçiler için gelirdeki artış, daha yüksek vasıf düzeyine sahip olanlara kıyasla daha yavaş olacaktır ve Temel senaryo ile aradaki olumlu fark 2050'den sonra azalacaktır. Bu çalışmada gelir dağılımı üzerindeki etkinin doğrudan ölçülmesi mümkün olmamakla birlikte, hem sermaye ve işgücü gelirleri arasında hem de farklı işgücü grupları gelir değişimindeki farklılıklar, geçişin gelir dağılımı üzerindeki etkisinin izlenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

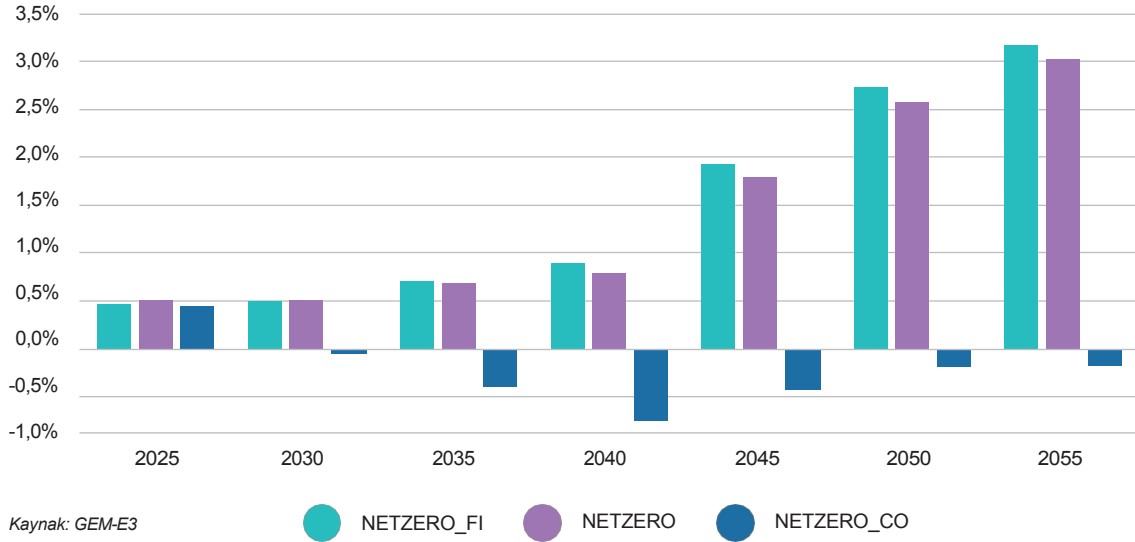
Şekil 12. Temel senaryoya göre meslek/beceri düzeyine göre işgücü geliri değişimi (% değişimler)

Kaynak: GEM-E3

4.2. Duyarlılık analizi

4.2.1. finansmanının rolü

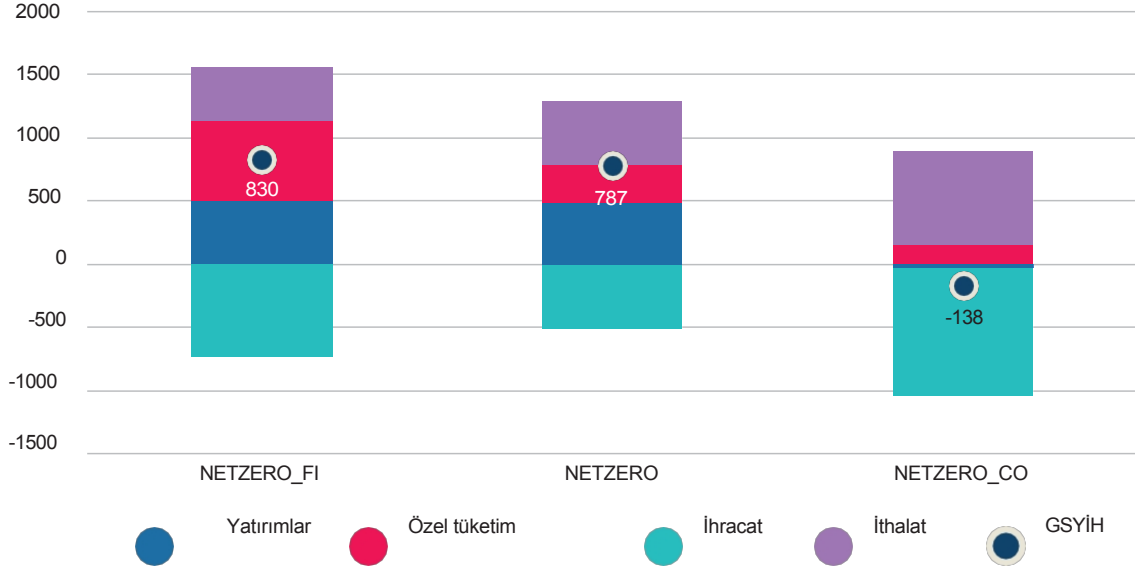
NETZERO senaryosu, dış finansmanın hiçbir ek maliyet olmadan mevcut olduğu durumda da olumlu etkiler yaratmakta, ancak yatırımların ülkenin kendi kaynakları kullanılarak finanse edilmesi gerektiği durumda olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Daha önce sunulduğu üzere, merkezi senaryoda (NETZERO) kümülatif GSYH 2020-2055 dönemi için Referans senaryoya kıyasla %1,4 oranında artmaktadır. Karma finansman düzeninde (NETZERO_FI), etkiler pozitifdir ve merkezi durum senaryosundan marjinal olarak daha yüksektir (GSYH %1,5 artar). Dışlama senaryosu kümülatif GSYH kayıplarına yol açmaktadır, yani olumsuz finansman koşulları temiz enerji dönüşümünün büyüme potansiyelini engellemektedir (-%0,25). İkinci senaryodaki GSYH kayıplarının arkasındaki ana neden, enerji dışı yatırımların çarpan etkisinin (d) enerji üretim sektörlerinin çarpan etkisinden daha yüksek olmasıdır.

Şekil 13. Alternatif Finansman Alternatif finansman planları altında Temel senaryoya göre GSYİH'deki değişim

Dış finansman senaryolarında (NETZERO, NETZERO_FI), olumlu etkiler esas olarak yatırımlardan kaynaklanırken, kendi kendini finanse eden düzende ekonomi GSYH'de kayıplar yaşamaktadır. NETZERO_CO kurgusu altında, elektrik sisteminin karbonsuzlaştırılması ve şebekenin geliştirilmesi için gereken yatırımlar diğer üretken yatırımlar pahasına gerçekleşir (ekonomideki toplam yatırımların azalmasına yol açar) ve daha yüksek tasarruf oranları gerektirir; dolayısıyla, özel tüketim üzerindeki olumlu etkiler diğer finansman senaryolarına kıyasla daha azdır. Ayrıca, NETZERO_CO senaryosunda, artan yatırım gereksinimleri sermaye piyasalarını zorlamakta, daha yüksek sermaye maliyetlerine yol açmakta, bu da daha yüksek üretim maliyetleri ve rekabet gücü kayıpları anlamına gelmektedir. İhracat üzerindeki etki diğer iki düzene göre daha yüksektir.

Şekil 14. Farklı finansman planları altında Temel senaryoya göre ana GSYİH büyüklüklerindeki kümülatif değişim (2021-2053)

milyar ABD Doları

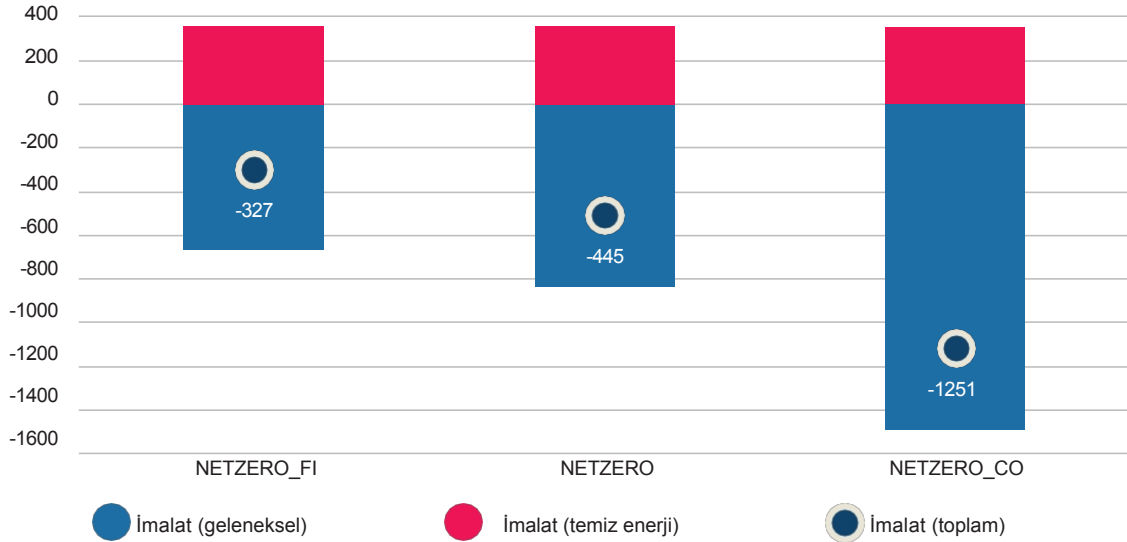


Kaynak: GEM-E3

Kendi kendini finanse etme durumunda toplam kümülatif üretim çıktısı, yatırımların YEK'in yaygınlaştırılmasına yönelik artan yatırımları telafi edememesi nedeniyle Temel senaryoya kıyasla yaklaşık %2,2 oranında azalmaktadır. Daha düşük yatırımlar, daha düşük üretken kapasiteler ve daha yüksek sermaye maliyetleri anlamına gelmektedir. Bu durum, yurt içinde üretilen malların göreceli maliyetini artırarak Türk ürünlerinin diğer menşeli ürünlerle ikame edilmesini tetikler.

Şekil 15. Farklı finansman planları altında Referans senaryoya göre üretimdeki kümülatif değişim (2021-2053)

milyar ABD Doları



Kaynak: GEM-E3

4.2.2. Ücretlerin rolü

NETZERO geçişinin ücretlere etkisi de analizimiz kapsamında değerlendirilmiştir. Ücretler büyük ölçüde üretim maliyetlerini, dolayısıyla ekonomideki genel fiyat seviyesini ve Türk ürünlerinin uluslararası piyasalardaki rekabet gücünü belirler. Ücretler, işgücü piyasasını temizlemek için talep değişikliklerine uyum sağlar.²¹ Ücretlerin duyarlılığı çeşitli faktörlere (asgari ücretler, sendikalar, işgücü politikaları vb.) bağlıdır ve ülkeler arasında farklılık gösterir.

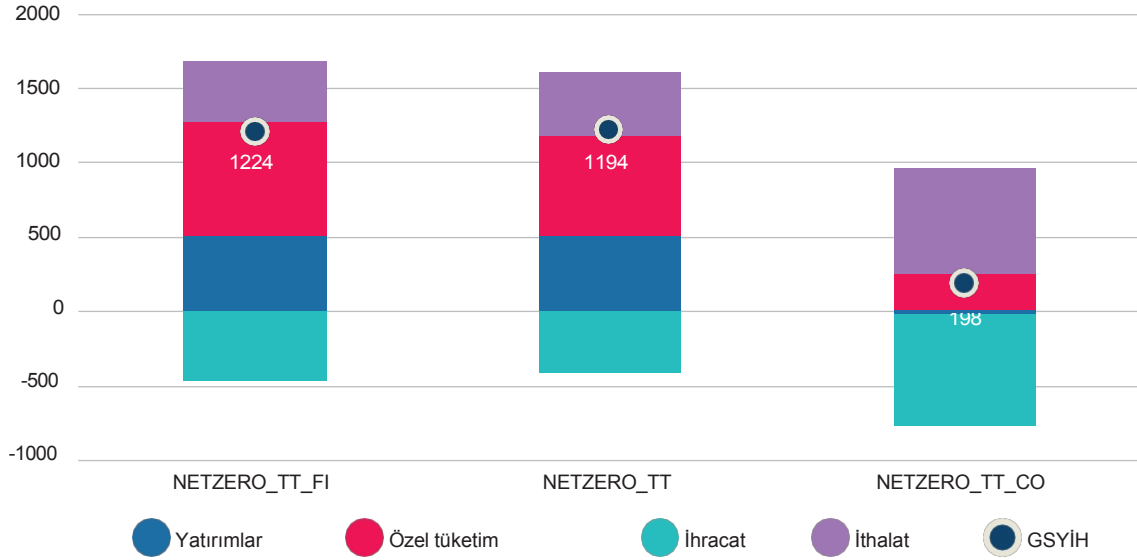
NETZERO_TT senaryolarında, sürtünmelerin ve/veya işgücü politikalarının yapışkan ücretlere yol açtığı (ve Başlangıç seviyelerine eşit olduğu) varsayılmaktadır. Duyarlılık çalışmaları, yatırımların finansmanına ilişkin varsayımları sabit ücretlerle birleştirmektedir. Merkezi durum senaryosunda (finansmanın kredilerden geldiği), sabit birincil üretim faktörü maliyetleri, merkezi duruma (NETZERO) kıyasla daha yüksek GSYH kazançlarına yol açmakta ve GSYH 2020-2055 döneminde %2,24 oranında artmaktadır. Üretim maliyetleri ve rekabet gücü üzerindeki olumsuz etkiler, esnek işgücü piyasalarının olduğu senaryolara kıyasla daha düşüktür. Dolayısıyla, yüksek üretim maliyetlerinin ihracat üzerindeki olumsuz etkisi hafiflemekte ve artan faaliyet faydalarından kaynaklanan ek talep ekonomiye geri kazandırılmaktadır.²²

²¹Arz= talep

²²Düşük üretim maliyetlerinin yarattığı ek faydaların yurtiçi ekonomide kalacağı ve artan talep olarak ekonomiye döneceği varsayılmaktadır.

Şekil 16. Yapışkan ücretlerle birlikte farklı finansman planları altında Temel senaryoya göre ana GSYİH büyüklüklerindeki kümülatif değişim (2021-2053)

milyar ABD Doları



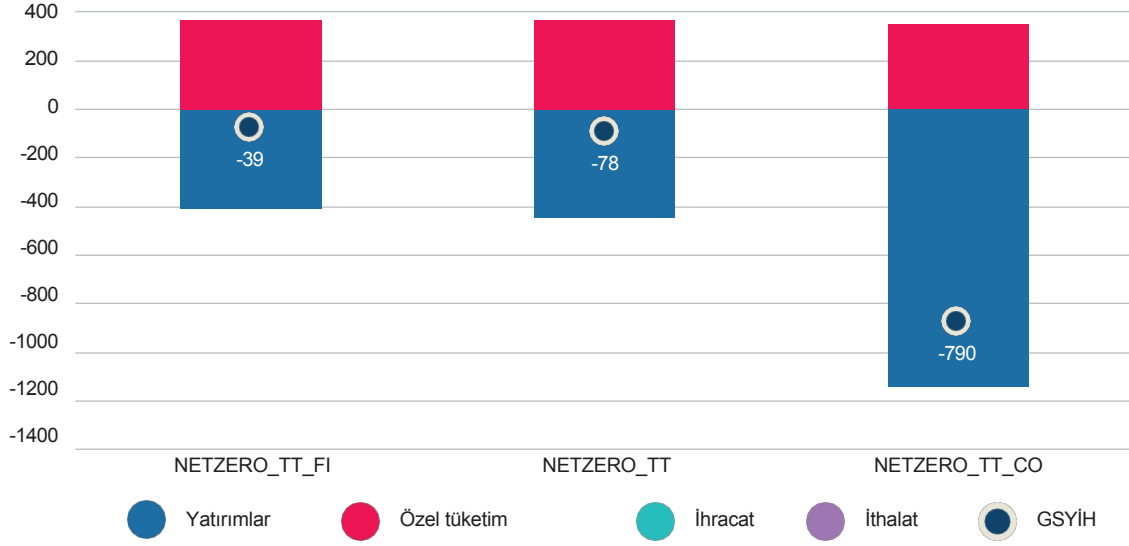
Kaynak: GEM-E3

Yapışkan ücretler ve sermaye kiralrı (NETZERO_TT) varyantı da diğer finansman senaryolarında olumlu sonuçlar üretmektedir. Kendi kendini finanse eden durumda (CO), esnek ücretlere sahip senaryo projeksiyon dönemi boyunca yaklaşık 138 milyar ABD doları kümülatif kayıp yaratırken, sabit ücretlere sahip varyant yaklaşık 198 milyar ABD doları kümülatif kazançta yol açmaktadır.

İmalat sanayilerinin çıktısı üzerindeki etkiler esnek ücret senaryolarına kıyasla daha azdır. Örneğin, merkezi durum senaryosunda toplam imalat çıktısı kümülatif olarak yaklaşık 308 milyar ABD doları azalırken, sabit ücretli muadilinde (NETZERO_TT) çıktı sadece 39 milyar ABD doları azalmaktadır.

Şekil 17. Yapışkan ücretlerle birlikte farklı finansman planları altında Referans senaryoya göre üretimdeki kümülatif değişim (2021-2053)

milyar ABD Doları



Kaynak: GEM-E3



BÖLÜM 5

Genel Etki ve
Maliyet-Fayda
Analizi

GSYH, ücretler ve toplam istihdam, hem referans hem de net sıfır senaryolarında 2020-2055 yılları arasında reel olarak artmaktadır. GSYİH 2,7 kat büyürken, istihdam edilen kişi sayısı Referans senaryoda 6,4 milyon ve merkezi net sıfır senaryosunda 6,8 milyon. Başka bir deyişle, her iki senaryoda da mutlak anlamda kayıp yoktur. Geçişin etkisi, referans ve net sıfır senaryoları arasındaki farkla ölçülmektedir.

Tablo 6. Temel senaryo ile karşılaştırmalı olarak NETZERO (merkezi durum) etki özeti tablosu

Temel GSYİH'nin Yüzdesi Olarak*	Kümülatif (2021-2055)	2030	2040	2055
Milli Gelir Etkisi (GSYİH)	1.4%	0.5%	0.8%	3.0%
Üretim Etkisi	-0.6%	-0.3%	-0.3%	-0.8%
Genel Uluslararası Ticaret Dengesi Etkisi	0.0%	-0.1%	-0.1%	-0.3%
Toplam Enerji Güvenliği Etkisi	1.8%	0.6%	1.9%	2.4%
Sosyoekonomik Refah Etkisi	2.4%	0.7%	2.5%	3.3%
Ücret Geliri	0.6%	0.0%	0.4%	1.1%
Sağlık ve Çevre Etkisi	0.7%	0.1%	0.9%	0.7%
İklim Değişikliği Etkisi	1.1%	0.5%	1.2%	1.4%
Temel Toplam İstihdamın Yüzdesi Olarak**				
Net İlave İstihdam	1.6%	-0.2%	0.1%	1.4%

* İlk sütun, toplam kümülatif referans GSYH'nin bir yüzdesi olarak NET SIFIR ve referans senaryolarındaki kümülatif gösterge arasındaki farkı göstermektedir. Sonraki üç sütun, Net-Sıfır ve Referans senaryoları arasındaki farkı, belirtilen yıldaki referans GSYH'nin yüzdesi olarak göstermektedir.

**Her sütun, baz yıl ile hedef yıl arasında istihdam edilen kişi sayısındaki artışta net-sıfır ve Referans senaryo arasındaki farkı, baz yıldaki istihdamın yüzdesi olarak göstermektedir. Kümülatif ve 2030 sütunları için baz yıl 2020 iken, 2030 için 2040 sütunu ve 2055 sütunu için 2040'tır.

Milli gelir etkisi: GSYH'deki değişim ile ölçülür. GSYH üzerindeki etki pozitifdir ve zamanla artar.

İmalat etkisi: İmalat katma değerindeki değişim ile ölçülür. Kümülatif etki küçük, negatiftir ve 2040'tan sonra büyüklüğü artar.

Genel uluslararası ticaret dengesi etkisi: Uluslararası ticaret dengesi ihracat eksi ithalat olarak tanımlanır. Genel uluslararası ticaret dengesi etkisi sıfıra yakındır.

Toplam enerji güvenliği etkisi: Bu raporun amaçları doğrultusunda enerji güvenliği, enerji dönüşümünün bir sonucu olarak enerji ve enerji üretim malları 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, rüzgar enerjisi ekipmanları, PV panelleri, hidrojen ve CCS) ticaret dengesidir (ihracat eksi ithalat). Kümülatif enerji güvenliği etkisi nispeten yüksektir ve zaman içinde artar.

Sosyoekonomik refah etkisi: Bu raporun amaçları doğrultusunda, sosyoekonomik refah etkisi, toplam ücret gelirindeki artış ve fosil yakıtların kullanımıyla ilişkili sağlık ve iklim değişikliği risklerinden kaçınma olarak tanımlanmaktadır. Toplam ücret geliri üzerindeki kümülatif etki küçüktür ancak zaman içinde artar. Hava kirliliğinden kaynaklanan sağlık ve çevresel etkiler, SHURA'nın 2020 yılında yayınlanan dışsalılık çalışmasına göre ücretlendirilmiştir (SHURA, 2020). İklim değişikliği etkisini değerlendirmek için, Türkiye ile referans bir AB ülkesi arasındaki satın alma gücü paritesine göre kişi başına düşen GSYH (SAGP GSYH/kişi) farkına göre ayarlanmış 70 EUR/ton karbon değeri ⁽²³⁾Dışsal maliyetlerin bu oldukça mütevazı tahminine rağmen, etki önemlidir ve zaman içinde artmaktadır. Dış maliyetlerin tahmin edilmesine yönelik metodoloji ve varsayımlar Ek'te özetlenmiştir (Bölüm 7.4)

İstihdam 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 çünkü bu dönemdeki net etki sıfıra yakındır.

Tablo 7. Referans senaryoya kıyasla kümülatif etki aralığı (2020-2055)

Temel GSYİH'nin Yüzdesi Olarak	Minimum	Merkez	Maksimum	Sc. Min.	Sc. Max
Milli Gelir Etkisi	-0.2%	1.4%	2.1%	NZ_CO	NZ_TT_FI
Üretim Etkisi	-2.2%	-0.6%	-0.1%	NZ_CO	NZ_TT
Genel Uluslararası Ticaret Dengesi Etkisi	-0.5%	0.0%	0.0%	NZ_CO	NZ_TT_FI
Toplam Enerji Güvenliği Etkisi	1.8%	1.8%	1.8%	-	-
Sosyoekonomik Refah Etkisi	2.3%	2.4%	2.5%	NZ_CO	NZ_TT_FI
Temel Toplam İstihdamın Yüzdesi Olarak					
Kümülatif Net İlave İstihdam	0.2%	1.6%	6.2%	NZ_CO	NZ_TT

Tablo 7, kümülatif etki aralığını ve merkezi NETZERO senaryosuna göre minimum ve maksimum değerlerin ortaya çıktığı senaryo koşullarını göstermektedir. Neredeyse tüm durumlarda, maksimum pozitif etki yapışkan ücretlerle birlikte krediye dayalı senaryoda elde , minimum etki esnek ücretlerle birlikte kendi kendini finanse eden senaryoda ortaya çıkmaktadır. Ancak, finansmanın GSYH üzerindeki net etkisi (%1,6), yapışkan ücretlerin etkisinden (%0,7) daha yüksektir.²⁴Öte yandan, finansmanı kredi geri ödemesi ile birleştiren yapışkan ücret senaryosu, büyük bir farkla maksimum sayıda istihdam yaratmaktadır.

²³Dışsalılık çalışmasında 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 EUR/ton iken, 2055 yılında kademeli olarak 49 EUR/tona yükselmiştir.

²⁴Finansmanın etkisi, kendi kendini finanse eden senaryonun etkisinin NETZERO (merkezi) senaryonun etkisinden çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Yapışkan ücretlerin etkisi, merkezi senaryonun etkisinin krediye dayalı yapışkan ücretler senaryosundan çıkarılmasıyla hesaplanır.

5.1. Genel maliyetler ve faydaları

Tablo 6, geçişten etkilenmesi muhtemel ana sosyoekonomik alanlar üzerinde geçişin etkilerinin büyüklüğünü özetlemektedir. Tablo, sosyoekonomik maliyetler hesaba katıldıktan sonra geçişin net sosyoekonomik faydalarına ilişkin bir perspektif sunarken, net finansal maliyeti içermemektedir. Tablodaki rakamlar, esas olarak sistem maliyetlerine yansıyan yenilenebilir enerji tesisleri, elektrik şebekesi iyileştirmeleri, bataryalar, dijitalleşme vbyatırımlardan kaynaklanan yeni enerji sistemini kurmanın ve çalıştırmanın ek maliyetini hesaba . Geçişin faydaları, finansal maliyetlere karşı tartılmalıdır. Tablo 8, geçişin yıllık fayda ve maliyet dengesini göstermektedir.

Ulusal muhasebenin bir parçası olan geçişin net faydaları GSYH'deki farkla yakalanabilir. Toplam faydalar, önlenen hava kirliliği ve karbon emisyonlarıyla ilgili sosyal refah etkileri GSYH'de yer almayan faydaları da içerir. Maliyetler sistem maliyetleri ile temsil edilir.

Tablo 8. Maliyet-fayda tablosu, Referans senaryo ile karşılaştırmalı olarak NETZERO (2014 milyar ABD Doları)

	Yıllık Ortalama (2021-2055)	2030	2035	2040	2045	2050	2055
Avantajlar	51.4	13.8	26.5	46.9	67.2	90.4	114.5
Ulusal Farklılık	22.5	6.0	9.8	13.0	33.4	54.1	70.8
Sağlık, Çevre & İklim Değişikliği Etkisi	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

Ortalama olarak, geçişin faydaları maliyetlerin iki katı olacaktır. Yatırımların 2036-2045 yılları arasında zirveye ardından sistem maliyetleri hızla artacak ve 2040 yılı civarında geçici olarak net fayda seviyesine yaklaşacaktır. Bu dönemde, GSYİH üzerindeki olumlu etkileri artırmak için uygun endüstriyel ve adil geçiş politikalarının geliştirilmesine özellikle dikkat edilmesi gerekecektir.



BÖLÜM 6

Sonuç

NZ2053 yolunun Türkiye'deki etki değerlendirmesi, geçişin yatırımların artması ve fosil yakıt ithalatının azalması gibi çeşitli ekonomik faydalar sağlayacağını ortaya koymaktadır. Artan yatırımlar, özellikle inşaat sektörü aracılığıyla yerel ekonomi için bir destek sağlarken, enerji sisteminin yeniden yapılandırılması ek faydalar anlamına gelmektedir. Fosil yakıtlar ağırlıklı olarak ithal edilirken, elektrik üretiminde YEK'in geliştirilmesi ve ekonominin elektrifikasyonu, temiz enerji ve elektrik sektörlerinin daha yüksek yerli içeriğinden dolayı kazanımlara yol açmaktadır. Ayrıca, enerji tasarrufu ve ulaşım elektrifikasyonu ile birlikte YEK'in geliştirilmesi, temiz enerji ekipman ürünleri sağlayan yerli imalat sektörlerinde daha yüksek faaliyete yol açarak geleneksel imalat sektörlerindeki kayıpları (düşük talep veya rekabet gücü kayıpları nedeniyle) kısmen telafi etmektedir. NETZERO'da istihdamın Referans duruma kıyasla daha yüksek olduğu ve işgücü gelirin tüm işgücü sınıflarında daha yüksek bulunmuştur.

Analiz, finansal kaynakların ve talep yapısındaki değişime işgücü maliyetinin tepki derecesi gibi belirsizlik faktörlerini de kapsamaktadır. Analiz, birincil üretim piyasalarının talebe uyum derecesinin yanı sıra gerekli yatırımların finansman kolaylığının temiz enerji dönüşümünün etkisini etkilediğini göstermektedir. Daha yüksek ücret katılığı ve dış finansman, Türkiye'nin enerji sisteminin karbonsuzlaştırılmasından elde edilen kazanımları daha da artırmaktadır. 2020-2055 döneminde kümülatif GSYH etkilerinin -138 milyar ABD Doları ile 1.224 milyar ABD Doları (kümülatif GSYH'nin -%0,2 ile +%2,1'i) aralığında olduğu tespit edilmiştir. Ek yatırımlar için mütevazı bir finansman maliyetinin varsayıldığı ve işgücü piyasalarının talep tarafındaki değişikliklere uyum sağladığı merkezi senaryo, 787 milyar ABD doları tutarında kümülatif kazanıma yol açmaktadır. Genel sonuçlar literatürde bildirilenlerle uyumludur (enerji ile ilgili girdiler ve sektörel kapsamdaki farklılıklar dikkate alındığında): 2030 yılında, GEM-E3 NETZERO çalışması GSYİH değişikliklerini +%0,5 ve SHURA (2021) %1,01 olarak tahmin etmektedir; 2040 yılında ise ilgili değişiklikler iki çalışma için sırasıyla %0,8 ve %1,4 olarak tahmin edilmektedir. Duyarlılık sonuçları, Hallegate ve (2023) olduğu gibi, işgücü piyasası ayarlamalarının ve finansman geçiş sürecinde ekonomiyi olumlu yönde etkilediğini de vurgulamaktadır.

Geçiş, yeni sektörler ortaya çıktıkça ekonomiyi dönüştürecek, diğerleri ise Temel duruma kıyasla yavaşlama ve hatta faaliyet seviyelerinde düşüş yaşayacaktır. Daha fazla fayda sağlaması beklenen sektörler, NETZERO senaryosunun için gerekli malları sağlayan sektörlerdir. Başka bir deyişle, yenilenebilir ekipman, enerji verimliliği ekipmanı ve elektrikli araçlar alanlarında faaliyet gösteren sektörlerin faaliyet seviyelerinde büyük bir artış yaşanması beklenmektedir.

Tanımlanmış bir net-sıfır enerji geçiş yolunun sosyoekonomik göstergeler üzerindeki etkilerini inceleyen ve esasen nicel bir modelleme çalışması olan bu çalışma, kesin bir sonuçtan ziyade politika rehberliği için bir başlangıç noktası olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmanın, ulusal ekonomiyi ve sürdürülebilir kalkınmayı bir bütün olarak ele alan adil dönüşüm ilkelerini merkeze alan niteliksel araştırma ve tartışmalarla desteklenmesi, sağlıklı bir geçiş sürecinin katkı sağlayacaktır. Çabanın bir parçası olarak SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, biri Türkiye için sanayi politikası alternatifleri (SHURA 2024a), diğeri ise bölgesel istihdam politikası seçenekleri üzerine iki tartışma belgesi yayınlamıştır.

(SHURA 2024b). Bu bağlamda, kamu ve özel sektör, meslek örgütleri, sivil toplum kuruluşları (STK'lar), işçi ve işveren örgütleri, üniversiteler ve diğer araştırma kurumlarının katılımıyla geçişin tüm teknik, ekonomik ve sosyal yönlerine ilişkin çalışmaların ve diyalogların devam ettirilmesi kritik önem taşımaktadır.

Bu raporda ele alınan etkilere yanıt vermek için kısa vadede ele alınabilecek temel politika alanları aşağıda listelenmiştir.

Enerji ve İklim Politikaları: Türkiye'nin 2053 yılı için net sıfır emisyon hedefinin ara adımlarının ve bu hedefe yönelik ara hedef ve eylemlerin açıkça belirlenmesi ve kamuoyuna duyurulması öngörülebilirliği artıracaktır. Enerji sektöründeki mevcut sübvansiyon ve teşviklerin fosil yakıtlardan temiz elektriğe yönlendirilmesi ve sanayi, ulaşım ve hanelerde elektrifikasyonun teşvik edilmesi geçiş süreci için elzemdir. Türkiye'de ulusal bir emisyon ticaret sisteminin kurulması ve geçiş sürecini destekleyecek şekilde uygulanması da geçiş gündeminin bir parçası olmalıdır.

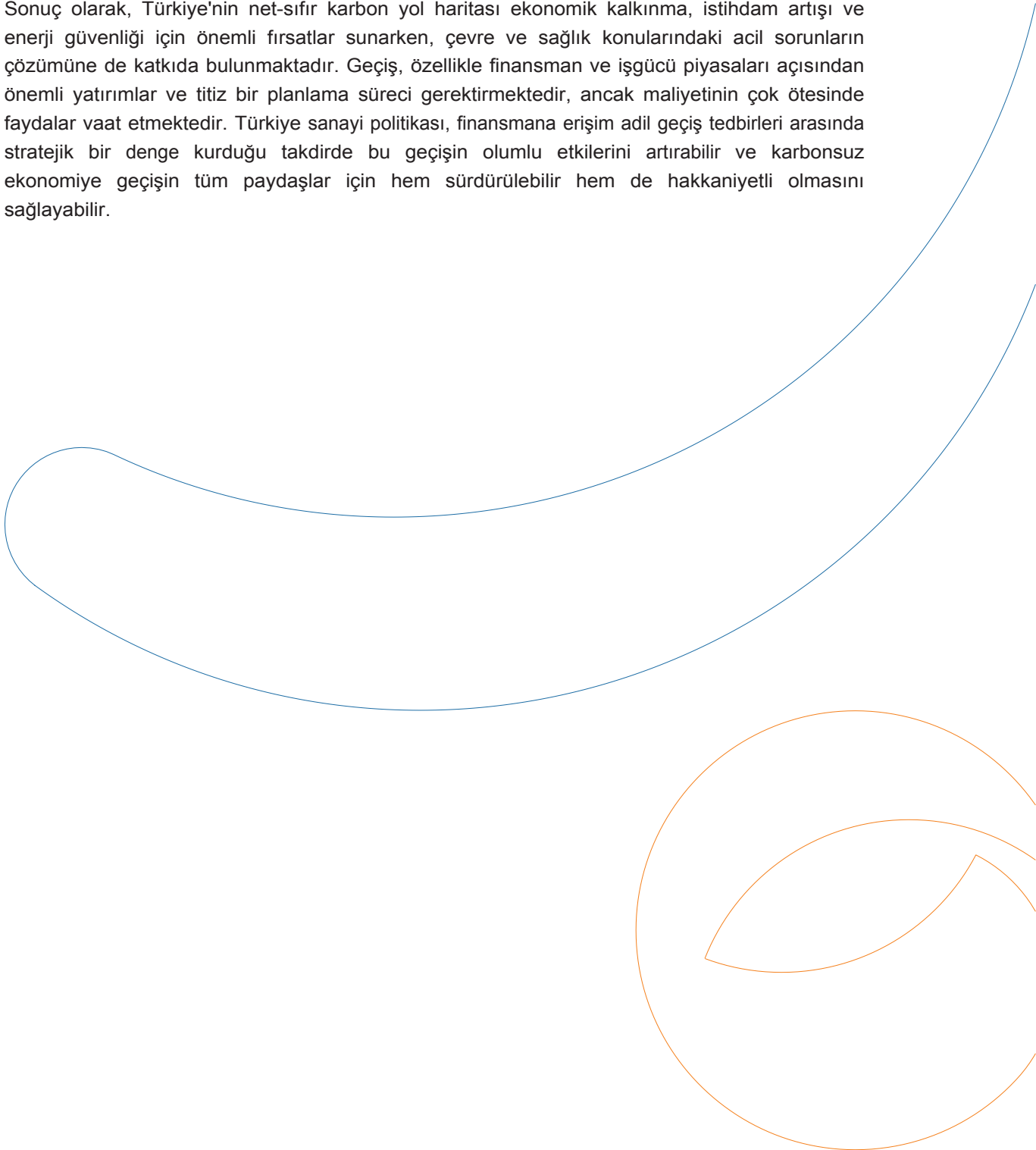
Ekonomi Politikaları: Türkiye'nin makroekonomik gündeminin odağının yüksek enflasyon, döviz kuru ve faiz oranı gibi güncel konulardan katma değerli üretim, işgücünün geliştirilmesi ve sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması gibi yapısal konulara sanayi politikasını da içerecek şekilde kaydırılması, geçiş sürecinin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi açısından önem taşımaktadır.

Sanayi Politikası: Türkiye'de sanayinin düşük teknoloji, düşük katma değerli ve karbon yoğun üretim yapısının, dış ticaret açığı ve orta gelir tuzağı gibi makroekonomik sorunların temelinde yattığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, karbonsuzlaştırma ile birlikte üretimin teknoloji düzeyini yükseltmek için enerji dönüşümünün endüstriyel dönüşümle birlikte ele alınması elzem olacaktır. Uluslararası değer zincirlerine daha fazla entegrasyon ile kilit sektörlerde yapısal dönüşümü sağlayan bütüncül sanayi, ulaştırma, finans ve ticaret politikalarının benimsenmesi, geçişin olumlu etkilerinin mevcut tahminleri aşmasını sağlayabilir. Bu bağlamda, özellikle enerji yoğun endüstrilerde ürün kompozisyonunun daha katma değerli ürünlere doğru kaydırılmasıyla birlikte karbonsuzlaştırmanın desteklenmesi, geçişle ilişkili olumsuz etkileri azaltabilir. Bu bağlamda, Karbon Sınır Ayarlama Mekanizmasının (CBAM) etkilerini dikkate almak ve uygun ticaret politikaları ve stratejileri geliştirmek önemli olacaktır.

İstihdam Politikası: Geçişle birlikte ihtiyaç duyulacak yeni becerilerin geliştirilmesi ve işgücünün yeni alanlarda istihdamının kolaylaştırılmasına yönelik aktif istihdam politikalarının yanı sıra, dönüşüm sonucunda daralan sektörlerde işini kaybetme riski ile karşı karşıya kalabilecek çalışanlar için yeniden eğitim, tazminat, yeniden istihdam ve erken emeklilik gibi alternatif politikaların planlanması büyük önem taşımaktadır. Karbon yoğun sektörlerde işlerin yoğunlaştığı bölgelerde tüm paydaşların katılımıyla adil bir geçiş perspektifine bölgesel kalkınma politikalarının benimsenmesi, dönüşümün faydalarını pekiştirirken olumsuz etkilerini de azaltacaktır.

Finansman Politikaları: Bu çalışmanın sonuçları, uygun koşullarda sağlanan finansmanın geçişin olumlu etkilerini artıracığını göstermektedir. Dünyada ve Türkiye'de makroekonomik ortamda ve finansmana erişimde yaşanan zorluklar, iklim diplomasisi, kalkınma ve finansman için stratejik planlamanın önemini artıran yeni zorlukları beraberinde getirmektedir. Finansmana erişimi artırmak ve finansal kaynakları çeşitlendirmek için kamu sektörü, özel sektör, finans kuruluşları ve STK'ların aktif katılımıyla uzun vadeli enerji dönüşümü stratejisi kapsamında finansal yapılar ve fonlama mekanizmaları oluşturulmalıdır (SHURA, 2022).

Sonuç olarak, Türkiye'nin net-sıfır karbon yol haritası ekonomik kalkınma, istihdam artışı ve enerji güvenliği için önemli fırsatlar sunarken, çevre ve sağlık konularındaki acil sorunların çözümüne de katkıda bulunmaktadır. Geçiş, özellikle finansman ve işgücü piyasaları açısından önemli yatırımlar ve titiz bir planlama süreci gerektirmektedir, ancak maliyetinin çok ötesinde faydalar vaat etmektedir. Türkiye sanayi politikası, finansmana erişim adil geçiş tedbirleri arasında stratejik bir denge kurduğu takdirde bu geçişin olumlu etkilerini artırabilir ve karbonsuz ekonomiye geçişin tüm paydaşlar için hem sürdürülebilir hem de hakkaniyetli olmasını sağlayabilir.



Ekler

GEM-E3M modeli hakkında ek bilgiler

GEM-E3 modeli, mikroekonomik mekanizmaları ve kurumsal özellikleri tutarlı bir makroekonomik çerçeve içinde birleştirmekte ve davranışların indirgenmiş biçimde temsil edilmesini önlemektedir. Modelde tam rekabet piyasası rejimleri, enerji üretim teknolojilerinin ayrık temsili, yarı içsel yaparak öğrenme etkileri, denge işsizliği, enerji verimliliği standartları getirme seçeneği ve sera gazı ve atmosferik kirleticiler için formüle edilmiş emisyon izinleri bulunmaktadır. Kapsamı iki açıdan geneldir: eşzamanlı olarak birbiriyle ilişkili tüm piyasaları içerir ve sistemi coğrafya, alt sistem (enerji, çevre, ekonomi) ve araçların davranışlarının dinamik mekanizmaları açısından uygun düzeyde temsil eder. Ekonomik aktörlerin arz veya talep davranışlarını ayrı ayrı formüle eder ve bu aktörlerin hedeflerini bireysel olarak optimize ettikleri kabul edilirken, piyasadan türetilen fiyatlar küresel dengeyi garanti ederek politikaların dağılımsal etkilerinin tutarlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. Enerji, çevre ve ekonomi piyasalarında piyasa takas mekanizmalarını ve ilgili fiyat oluşumunu açıkça dikkate alır: fiyatlar, piyasalardaki arz ve talep etkileşimlerinin bir sonucu olarak model tarafından hesaplanır ve tam rekabete ek olarak farklı piyasa takas mekanizmalarına izin verilir.

Model, üretim teknolojilerini endojen olarak formüle etmekte ve tüm ara tüketim ile sermaye ve işgücünden elde edilen hizmetlerin fiyat odaklı olarak türetilmesine izin vermektedir. Elektrik sektöründe, farklı enerji üretim teknolojilerini temsil etmek için aşağıdan yukarıya bir yaklaşım benimsemektedir. Talep tarafında, model tüketici davranışını formüle etmekte ve dayanıklı (ekipman) ile tüketim malları ve hizmetleri arasında ayırım yapmaktadır. Model dinamiktir, zaman içinde yinelenir ve sermaye ve ekipman birikimi tarafından yönlendirilir. Teknolojik ilerleme, özel sektör ve kamu sektörü tarafından yapılan araştırma ve geliştirme (AR-GE) harcamalarına bağlı olarak üretim fonksiyonunda dışsal veya içsel olarak açıkça temsil edilmekte ve yayılma etkilerini hesaba katmaktadır. Ayrıca model, katılımcıların miyop beklentilerine dayalı olarak çalışmaktadır. GEM-E3 modelinin tasarımı dört ana ilke izlenerek geliştirilmiştir:

- 1) Temel bir genel denge çekirdeği etrafında modüler bir şekilde model tasarımı, böylece farklı modelleme seçenekleri, piyasa rejimleri ve kapanış kuralları aynı model spesifikasyonu ile desteklenir.
- 2) Üretimde ve tüketici talebinde tamamen esnek (içsel) katsayılar.
- 3) İstatistiksel olarak gözlemlenen ayrıntılı Sosyal Muhasebe Matrislerini içeren bir temel yıl veri setine kalibrasyon.
- 4) Dinamik mekanizmalar, sermaye stoku birikimi ve öğrenme etkileri yoluyla.

GEM-E3, Sosyal Muhasebe Matrisine (SAM) dayalı olarak oluşturulmuştur. Üretim ve talepteki teknik katsayılar, üreticilerin sadece birincil üretim faktörleri açısından değil aynı zamanda ara mallar açısından da üretim karışımını değiştirebilmeleri anlamında esnektir. Üretim, birçok faktörü (tüm ara ürünler ve üç birincil faktör - sermaye, doğal kaynaklar ve işgücü) içeren KLEM (sermaye, işgücü, enerji ve malzeme) üretim fonksiyonları aracılığıyla modellenir. Aynı zamanda tüketiciler de mal ve hizmetlere olan taleplerinin yapısına endojen olarak karar verebilirler. Tüketim karmalarına, dayanıklı ve dayanıksız malları içeren esnek bir harcama sistemi aracılığıyla karar verilir.

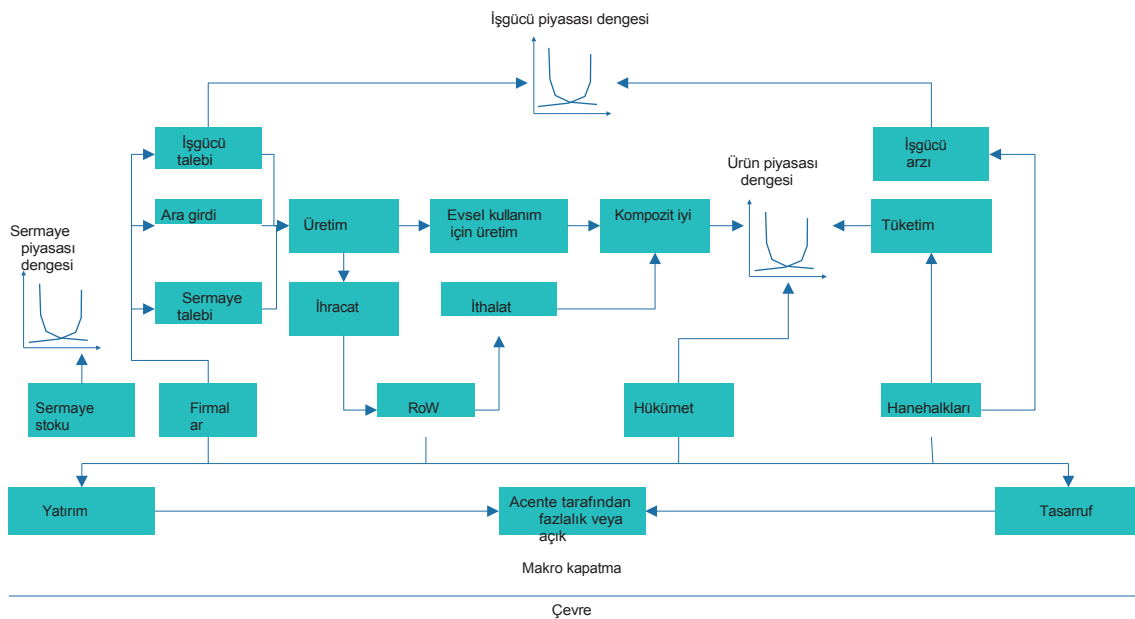
GEM-E3 modeli, merkezi CGE çekirdeği etrafında modüler bir şekilde inşa edilmiştir. Modeli yeniden tanımlamak veya yeniden kalibre etmek zorunda kalmadan çeşitli alternatif rejimlerin ve kapanış kurallarının tanımlanmasını destekler. Bu seçeneklerden en önemlileri aşağıda sunulmuştur:

- Sektörler ve/veya ülkeler arasında sermaye hareketliliği
- Esnek veya sabit cari hesap (yabancı sektöre göre)
- Esnek veya sabit işgücü arzı
- Sera gazı izinleri için piyasa ulusal/uluslararası, çevresel kısıtlamalar
- Sabit veya esnek kamu açığı

Model, projeksiyonların zaman içinde değişmesi anlamında dinamiklidir. Özellikleri temel olarak stok/akış ilişkileri, teknik ilerleme, sermaye birikimi ve araçların (miyop) beklentileri aracılığıyla ortaya çıkmaktadır. Her ülkedeki toplam talep (nihai ve ara), yerli ve ithal mallar arasında, bunların eksik ikame olarak kabul edildiği varsayımı altında (yerel olarak üretilen mallar ve ithalat arasında eksik "Armington" varsayımı) optimal olarak tahsis edilir. Modeldeki ekonomiler, ticaret marjları ve taşıma maliyetleri dikkate alınarak iki taraflı ticaret akışları yoluyla birbirine bağlanmaktadır. Tüketim ve yatırım, amaca göre tüketimi mal talebine ve menşesine göre yatırımı varış yerine göre yatırıma bağlayan geçiş matrisleri etrafında oluşturulmuştur. Şekil 1, GEM-E3 modelinin ekonomik aktörleri arasındaki temel bağlantıların şematik bir gösterimini sunmaktadır.

Temsilci davranışını ve piyasa takasını etkileyen kurumsal rejimler, kamu maliyesi, vergilendirme ve sosyal politika dahil olmak üzere açıkça temsil edilmektedir. Model, örneğin çevreye verilen zararlar gibi ekonominin dışında kalan malları da temsil etmektedir.

Şekil 18. GEM-E3 ekonomik devre



Çevresel dışsallıkların içselleştirilmesi ya vergilendirme ya da küresel sistem kısıtlamaları yoluyla gerçekleştirilir ve gölge maliyetler ekonomik aktörlerin kararlarını etkiler. GEM-E3 modelinde, küresel/bölgesel/sektörel kısıtlar çevresel emisyonlar, tüketim veya üretim kalıplarındaki değişiklikler, dışsal maliyetler/faydalar, vergilendirme, kirlilik azaltma yatırımları ve kirlilik izinleri ile bağlantılıdır. Model, emisyon ve zararlardaki değişimi hesaplayarak politika değişikliklerinin çevre üzerindeki etkisini değerlendirir ve küresel refahın eşdeğer bir değişim ölçümü (kapsayıcı çevresel etki) yoluyla maliyet ve faydaları belirler.

Sektörel kapsamı

Aşağıdaki tablo GEM-E3 sektörel kapsamını ve bu raporda sunulan toplam sektörler ile GEM-E3 sektörleri arasındaki uyumu göstermektedir.



Tablo 9. Sektörel çözünürlük

Tarım	Tarım
	Buğday, ve Tahıllar, Şeker Kamışı, Şeker Pancarı
	Yağ ve Tohumlar
	Ormancılık
Enerji	Kömür
	Ham Petrol
	Yağ
	Gaz Çıkarma
	Gaz
Temiz enerji	Biyokütle Katı
	Etanol
	Biyodizel
	Hidrojen
	Temiz Gaz
	CO ₂ Yakalama
Elektrik (üretim ve dağıtım)	Güç Kaynağı
İmalat (geleneksel)	Demirli Metaller
	Demir Dışı Metaller
	Fabrikasyon Metal Ürünler
	Kımyasal Ürünler
	Temel Eczacılık Ürünleri
	Kauçuk ve Plastik Ürünler
	Kağıt Ürünleri, Yayıncılık
	Metalik Olmayan Mineraller
	Bilgisayar, Elektronik ve Optik Ürünler
	Elektrikli Ekipmanlar
	Makine ve Ekipmanlar
	Taşıma Ekipmanları (EV Hariç)
	Diğer Ekipman Ürünleri
	Tüketim Malları Endüstrileri

İmalat (temiz enerji)	Aküler
	EV Taşıma Ekipmanları
	Gelişmiş Elektrikli Aletler
	Gelişmiş Isıtma ve Pişirme Cihazları
	Rüzgar Enerjisi Teknolojisi için Ekipman
	PV Paneller için Ekipman
	CCS Güç Teknolojisi için Ekipman
İnşaat	İnşaat
Ulaşım (yolcular)	Hava Taşımacılığı
	Karayolu-Yolcu taşımacılığı
	Demiryolu-Yolcu taşımacılığı
	Su-Yolcu taşımacılığı
Nakliye (navlun)	Su-Yük Taşımacılığı
	Depolama ve Destek Faaliyetleri
	Karayolu-Yük Taşımacılığı
	Demiryolu-Yük Taşımacılığı
Hizmetler	Ticaret
	Konaklama, Yiyecek ve Hizmet Faaliyetleri
	Finansal Hizmetler
	Sigorta
	Rekreasyonel ve Diğer Hizmetler
	Eğitim
	Diğer Market Hizmetleri
	Diğer Piyasa Dışı Hizmetler
	AR-GE

Sonuçlar NETZERO

Tablo 10. Temel Makroekonomik Değişkenler Referans senaryoya göre temel makroekonomik değişkenlerdeki değişim (milyar ABD doları cinsinden)

	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
Enerji	-3.8	-14.9	-33.1	-36.5
Temiz enerji	1.8	7.5	15.7	15.0
Elektrik (üretim ve dağıtım)	-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
Ulaşım (yolcular)	-1.9	-4.2	6.3	11.2
Nakliye (navlun)	-1.2	-3.1	0.4	0.0
Hizmetler	-2.3	-8.0	9.6	0.0

Kaynak: GEM-E3

Tablo 11. Seçilen sektörler için Referans senaryoya göre sektörel çıktıdaki değişim (milyar ABD doları cinsinden)

	2030	2040	2050	2055
Üretim	-3.1	-5.6	-14.4	-19.2
Demirli Metaller	-0.5	-0.2	0.1	2.2
Demir Dışı Metaller	-0.3	-1.5	-2.7	-2.9
Fabrikasyon Metal Ürünler	0.1	-0.2	-1.1	0.1
Kimyasal Ürünler	0.3	-1.1	-2.0	-6.9
Temel Eczacılık Ürünleri	0.0	-0.2	-0.5	-0.3
Kauçuk ve Plastik Ürünler	-0.3	-1.6	-3.3	-3.0
Kağıt Ürünleri, Yayıncılık	-0.1	-0.4	-0.5	-0.1
Metalik Olmayan Mineraller	0.1	-0.1	1.1	0.4
Bilgisayar, Elektronik ve Optik Ürünler	-0.1	-0.1	-0.5	-0.4
Elektrikli Ekipmanlar	-0.3	-1.3	-3.3	-2.2
Ekipman Ürünleri	1.0	1.1	-2.0	-0.9
Makine ve Ekipmanlar	-0.2	-1.1	-3.3	-1.6
Gelişmiş Elektrikli Aletler	0.5	0.4	0.2	0.4
Gelişmiş Isıtma ve Pişirme Cihazları	0.6	0.5	0.4	0.6
Rüzgar Enerjisi Teknolojisi için Ekipman	0.1	1.7	2.2	0.0
PV Paneller için Ekipman	0.0	0.2	0.1	-0.1
CCS Güç Teknolojisi için Ekipman	0.0	0.0	0.1	0.0
Diğer Ekipman Ürünleri	0.1	-0.5	-1.7	-0.2
Taşıma Ekipmanları	-0.3	7.9	13.2	-2.1
Taşıma Ekipmanları (EV hariç)	-2.1	-5.9	-8.2	-8.4
EV Taşıma Ekipmanları	1.8	13.8	21.4	6.4
Tüketim Malları Endüstrileri	-2.5	-8.0	-12.9	-3.1
Aküler	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
Sigorta	-0.1	-0.3	-0.5	0.0
Rekreasyonel ve Diğer Hizmetler	-0.3	-1.0	0.0	2.7
Eğitim	-0.4	-1.3	-1.3	-0.4
Diğer Market Hizmetleri	-0.8	-2.9	1.7	10.5
Diğer Piyasa Dışı Hizmetler	-0.2	-0.7	0.3	2.0

Tablo 12. Seçilmiş sektörler için Referans senaryoya göre sektörel istihdamdaki değişim (000 kişi olarak)

	2030	2040	2050	2055
Üretim	-17.0	-42.3	-27.6	-67.9
Demirli Metaller	1.2	0.1	2.4	4.1
Demir Dışı Metaller	-0.9	-6.7	-7.9	-7.4
Fabrikasyon Metal Ürünler	-2.8	-11.2	-15.3	-3.8
Kimyasal Ürünler	4.9	-4.8	-6.0	-21.7
Temel Eczacılık Ürünleri	-0.5	-2.0	-2.7	-1.4
Kauçuk ve Plastik Ürünler	-9.1	-26.5	-39.8	-31.5
Kağıt Ürünleri, Yayıncılık	-0.3	-4.8	-3.1	0.5
Metalik Olmayan Mineraller	0.5	6.1	18.7	15.8
Bilgisayar Elektronik ve Optik Ürünler	-0.3	-1.4	-2.8	-2.0
Elektrikli Ekipmanlar	-2.6	-15.4	-27.6	-15.8
Ekipman Ürünleri	10.3	4.9	-13.7	-3.5
Makine ve Ekipmanlar	-1.0	-14.8	-31.1	-11.1
Gelişmiş Elektrikli Aletler	6.7	3.8	2.0	2.8
Gelişmiş Isıtma ve Pişirme Cihazları	7.1	4.8	3.5	4.3
Rüzgar Enerjisi Teknolojisi için Ekipman	0.9	20.4	21.2	0.0
FV Paneller için Ekipman	0.2	1.8	1.2	-0.6
CCS Güç Teknolojisi için Ekipman	0.0	0.0	0.9	0.0
Diğer Ekipman Ürünleri	-3.7	-11.1	-11.3	1.1
Taşıma Ekipmanları	-2.9	110.9	157.6	3.0
Taşıma Ekipmanları (elektrikli araçlar hariç)	-29.2	-59.8	-60.7	-55.7
EV Taşıma Ekipmanları	26.2	170.7	218.4	58.7
Tüketim Malları Endüstrileri	-14.4	-91.6	-87.6	-4.2
Aküler	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, Yemek ve Servis Faaliyetleri	-15.9	-25.6	11.1	36.1
Finansal Hizmetler	-8.4	-11.8	3.7	12.9
Sigorta	-0.8	-2.0	-2.0	-0.6
Rekreasyonel ve Diğer Hizmetler	-6.0	-10.4	0.1	14.0
Eğitim	-15.9	-18.3	-4.9	14.9
Diğer Market Hizmetleri	-10.6	-28.9	4.6	18.3
Diğer Piyasa Dışı Hizmetler	-15.5	-4.5	49.0	57.6

Sağlık, çevre ve iklim değişikliği etkileri

Türkiye'nin 2018 yılında elektrik üretimi, kara taşımacılığı, sanayi ve ısınmada fosil yakıt kullanımından kaynaklanan dışsalılıkların yılda 8 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmektedir; bu rakam 'nin 2018 GSYH'sinin %1,5'ine ve sağlık harcamalarının üçte birine karşılık gelmektedir (SHURA, 2020). Bu toplamın yaklaşık %0,42'elektrik üretiminden kaynaklanırken, sektörüyle ilgili diğer çalışmalar hem emisyonların hem de dış maliyetlerin bu rakamın iki katından fazla olabileceğini ve GSYH'nin %1'ini aşabileceğini tahmin etmektedir (HEAL, 2021; Greenpeace, 2020). SHURA çalışmasının dış maliyet tahminleri, 2018 yılındaki gerçek elektrik üretimi, ısı kullanımı ulaşım için yolcu ve yük-km değerlerine dayanmaktadır.²⁵

Sağlık ve çevresel etkilerin birim dış maliyeti (hava kirleticiler emisyonları dahil)

CH_4 , CO , $\text{N}_{(2)0}$, NMVOC, NO_x , PM, PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ ²⁶) üretilen MWh elektrik başına hesaplanmıştır linyit santralleri için 39,9 Avro, taş kömürü santralleri için 16,1 Avro, doğal gaz santralleri için 5,2 Avro ve petrol santralleri için 5,9 Avro olarak hesaplanmıştır. Fosil yakıt üretimi ve emisyonlar için ortalama teknolojik koşulların 2053 yılına kadar benzer olacağı varsayılmıştır ve bu nedenle, elektrik üretiminden kaynaklanan sağlık ve çevresel etkileri ölçmek için hesaplanan aynı dış maliyetler bu çalışmada referans ve geçiş senaryolarına uyarlanmıştır. Diğer enerji kullanımlarının dışsal maliyetlerini hesaplamak için de aynı rakamlar kullanılmıştır. Ancak, 2018'den itibaren dış maliyetler uyarlanırken, IRENA (2016) tarafından geliştirilen metodolojiye göre referans ülkelerdeki reel GSYİH/kişi (PPP) değerlerinde hedef yıllarda meydana gelen tahmini değişikliklere kıyasla referans ve geçiş senaryolarındaki reel GSYİH/kişi (PPP) değerlerinde meydana gelen tahmini değişiklikler dikkate alınmıştır.

²⁵Çalışma, 2018 yılı için her bir fosil yakıt tesisi için her bir kirleticiler ve CO2 emisyonunu hesaplamakta ve fiili üretime dayalı olarak yakıt türü, tesis türü ve emisyon türüne göre dış maliyetleri tahmin etmektedir. Maliyetler, çoğu AB ülkesi olan bir dizi ülke için kirleticilerin etkilerini ölçmek amacıyla tasarlanmış uluslararası kabul görmüş veri tabanlarında belirtilenlere dayanmakta olup, maliyetler daha sonra GSYİH/kişi (PPP) çarpanı kullanılarak Türkiye'ye uyarlanmıştır.

²⁶ CH_4 : Metan, CO : Karbon Monoksit, $\text{N}_{(2)0}$: Azot Oksit, NMVOC: Metan Dışı Uçucu Organik Bileşikler, NO_x : Azot Oksitler, PM: Partikül madde PM_{10} : Solunabilir Partiküller, $\text{PM}_{2.5}$: İnce Solunabilir Partiküller SO_x : Sülfür Oksit.

Yerel bir karbon fiyatının ve mevcut Avrupa karbon fiyatları dikkate alındığında, 70 EUR'luk bir temel karbon değeri varsayılmış ve yukarıda belirtildiği gibi referans ülkelere göre reel GSYİH/kışı (PPP) farklılıklarına göre ayarlanmıştır. Böylece düzeltilmiş efektif karbon değerinin 2025 yılında 42,7 EUR/ton olacağı ve 2055 yılında kademeli olarak 59,5 EUR/tona ulaşacağı tahmin edilmektedir.

Geçiş nedeniyle kaçınılan dışsallıkların 2055 yılına kadar CO₂ için 572 milyar Euro'ya ve hava kirleticiler için 348 milyar Euro'ya ulaşarak toplam kümülatif referans GSYH'nin %1,8'ine eşdeğer olacağı hesaplanmıştır.

Bibliyografya

Aydın, L., 2018. Karbon vergilendirmesinin Türkiye ekonomisi üzerindeki olası makroekonomik ve sektörel etkileri: Hesaplanabilir bir genel denge analizi.

https://www.researchgate.net/publication/323313255_The_possible_macro-economic_and_sectoral_impacts_of_carbon_taxation_on_Turkey's_economy_A_computable_general_equilibrium_analysis

EİA2020. Kamu Ölçeğinde Elektrik Enerjisi Üretim Teknolojileri için Sermaye Maliyeti ve Performans Karakteristik Tahminleri.

https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/pdf/capital_cost_AEO2020.pdf

Erker, R., Dominko, M., 2022. Konutlarda ve konut dışı binalarda enerji verimliliği: Kısa vadeli makroekonomik çıkarımlar.

https://www.researchgate.net/publication/361968067_Energy_efficiency_in_residential_and_non-residential_buildings_Short-term_macro-economic_implications

E3-Modelleme, t.y. GEM-E3. <https://e3modelling.com/modelling-tools/gem-e3/>

Garcia-Casals, X., Ferroukhi, R., Parajuli, B., 2019. Enerji dönüşümünün sosyo-ekonomik ayak izinin ölçülmesi. <https://link.springer.com/article/10.1007/s41825-019-00018-6>

Greenpeace, 2020. Zehirli hava: fosil yakıtların bedeli.

<https://www.greenpeace.org/southeastasia/publication/3603/toxic-air-the-price-of-fossil-fuels-full-report/>

HEAL, 2021. Türkiye'de kronik kömür kirliliği: Türkiye'de kömür enerjisinin neden olduğu sağlık yükü ve kömür bağımlılığının nasıl durdurulacağı.

https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2021/02/Chronic-Coal-Pollution-Turkey_web.pdf

Hallegatte, S., McIsaac, F., Dudu, H., Jooste, C., Knudsen, C., Beck, H., 2023. Sıfır Net Emisyona Geçişin Makroekonomik Etkileri: Bir Modelleme Çerçevesi

<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/659cc0e8-38a4-4657-b8bd-6aa4373a9dc2>

IEA, 2022. Ülke ve bölgelere göre solar PV üretim kapasitesi, 2021. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/solar-pv-manufacturing-capacity-by-country-and-region-2021>

IRENA, 2020. 2019'da Yenilenebilir Enerji Üretim Maliyetleri.

<https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>

IRENA (2016). Fosil yakıtların gerçek maliyeti: dışsalılık maliyeti değerlendirme metodolojisi ("Fosil yakıtların gerçek maliyeti" dosyasının arka planı: Hava kirliliği ve iklim değişikliğinin üzerine tasarruf").

https://www.irena.org/-/media/Irena/Files/REmap/IRENA_REmap_externality_methodology_2016.pdf?rev=f8f2045a8ee74e9a96144366ba73b62d&hash=574C67113520F78875BD494D218AC9C5

Kat, B., Yuan, M., 2018. Türkiye enerji sektörünün gelişimi ve Paris Anlaşması hedefleri: Bir CGE modeli değerlendirmesi. <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%2030.>

Mercure, J., Pollitt, H., 2018. Simülasyon tabanlı entegre değerlendirme modeli E3ME-FTT-GENIE ile iklim değişikliği politikası için çevresel etki değerlendirmesi.

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, ısınma ve karayolu taşımacılığında fosil yakıt kullanımının dış maliyeti:

<https://shura.org.tr/en/the-external-cost-of-fossil-fuel-use-in-power-generation-heating-and-road-transport-in-turkey/>

SHURA, 2021. Türkiye'de güç sistemi geçişinin sosyoekonomik etkileri.

<https://shura.org.tr/en/socioeconomic-impact-of-the-power-system-transition-in-turkey/>

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>. İngilizce yönetici özeti için: https://shura.org.tr/en/financing_the_energy_transition_in_turkey/

SHURA, 2023. Net Sıfır 2053: Türkiye elektrik sektörü için bir yol haritası

<https://shura.org.tr/en/net-zero-2053-a-roadmap-for-the-turkish-electricity-sector/>

SHURA, 2024a. Adil Dönüşüm Kapsamında Türkiye İçin Sanayi Politikası Alternatifleri.

<https://shura.org.tr/adil-donusum-kapsaminda-turkiye-icin-sanayi-politikasi-alternatifleri/> İngilizce yönetici özeti için:

<https://shura.org.tr/en/industrial-policy-alternatives-for-turkiye-within-the-framework-of-a-just-transition/>

SHURA, 2024b. Adil Dönüşüm ve Bölgesel İstihdam Türkiye İçin Politika Seçenekleri.

<https://shura.org.tr/adil-donusum-ve-bolgesel-istihdam-turkiye-icin-politika-secenekleri/>

İngilizce yönetici özeti için:

<https://shura.org.tr/en/just-transition-and-regional-employment-policy-choices-for-turkiye/>

Vrontisi, Z., Fragkiadakis, K., Kannavou, M., Capros, P., 2020. Enerji sistemi geçişi ve 2 °C'nin altında bir iklim stabilizasyonuna yönelik bir Avrupa dekarbonizasyon eyleminin makroekonomik etkileri. 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. İklim politikalarının ticaret üzerindeki etkileri nelerdir? G20 ekonomileri için Paris

Anlaşması <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421520301324>nın sayısallaştırılmış bir değerlendirmesi.

Weitzel, M., Vandyck, T., Rey Los Santos, L., Tamba, M., Temursho, U., Wojtowicz, K., 2022. AB iklim politikası yollarının kapsamlı bir sosyo-ekonomik değerlendirmesi.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800922003214>

Rüzgar Avrupa, 2020. Avrupa'da rüzgar enerjisi ve ekonomik toparlanma: Rüzgar enerjisi toplumları yeşil toparlanmanın merkezine nasıl yerleştirecek?
<https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-and-economic-recovery-in-europe/>

Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi Hakkında

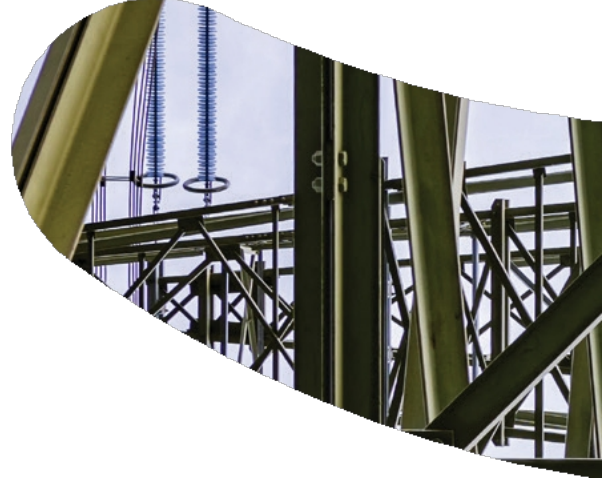
İstanbul Politikalar Merkezi (İPM), demokratikleşmeden iklim değişikliğine, transatlantik ilişkilerden çatışma çözümü ve arabuluculuğa kadar önemli sosyal ve siyasi konularda uzmanlaşmış küresel bir politika araştırma kurumudur. İPM, araştırmalarını üç ana küme altında organize etmekte ve yürütmektedir: İstanbul Politikalar Merkezi- Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi, Demokratikleşme ve Kurumsal Reform ve Çatışma Çözümü ve Arabuluculuk. İPM, 2001 yılından bu yana karar alıcılara, kanaat önderlerine ve diğer önemli paydaşlara objektif analizler ve yenilikçi politika önerileri sunmaktadır.

Avrupa İklim Vakfı Hakkında

Avrupa İklim Vakfı (ECF), Avrupa'nın düşük karbonlu bir toplumun gelişimini teşvik ve iklim değişikliğinin azaltılmasında daha da güçlü bir uluslararası liderlik rolü oynamasına yardımcı olmak amacıyla büyük bir hayırseverlik girişimi olarak kurulmuştur. ECF, düşük karbonlu geçişin "nasıl" ideolojik olmayan bir şekilde ele almayı amaçlamaktadır. ECF, ortaklarıyla işbirliği içinde, bu geçişteki temel yol bağımlılıklarını ve farklı seçeneklerin sonuçlarını vurgulayarak tartışmaya katkıda bulunmaktadır.

Agora Energiewende Hakkında

Agora Energiewende, Almanya, Avrupa ve dünyanın geri kalanında temiz enerji dönüşümünün başarısını sağlamak için kanıta dayalı ve politik olarak uygulanabilir stratejiler geliştirmektedir. Bir düşünce kuruluşu ve politika laboratuvarı olarak Agora, siyaset, iş ve akademi dünyasındaki paydaşlarla bilgi paylaşmayı ve verimli bir fikir alışverişi sağlamayı amaçlamaktadır. Temel olarak hayırsever bağışlarıyla finanse edilen ve kâr amacı gütmeyen bir vakıf olarak Agora, dar kurumsal veya siyasi çıkarlara değil, iklim değişikliğiyle mücadele taahhüdüne bağlıdır.



Bankalar Caddesi, No:2, Minerva Han,
Kat:3, 34420 Karaköy, İstanbul/Türkiye T:
+90 (212) 292 49 39
E-posta: info@shura.org.tr
www.shura.org.tr

SHURA şu kişiler tarafından kurulmuştur

İPM | IPC İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ
İSTANBUL POLICY CENTER
ATILIM ÜNİVERSİTESİ



European
Climate
Foundation

