

2050'ye kadar Net Sıfır

**Küresel Enerji Sektörü
için Yol Haritası**

International
Energy Agency

iea

2050'ye kadar Net Sıfır

Küresel Enerji Sektörü için Bir Yol Haritası

2050'ye kadar Net Sıfır Interaktif
iea.li/nzeroadmap

2050'ye Kadar Net Sıfır Verileri
iea.li/nzedata

ULUSLARARASI ENERJİ AJANSI

IEA tüm spektrumu inceliyor

Petrol, gaz ve kömür arzı ve talebi, yenilenebilir enerji teknolojileri, elektrik piyasaları, enerji verimliliği, enerjiye erişim, talep tarafı yönetimi ve çok daha fazlasını içeren enerji konuları. IEA, yaptığı çalışmalarla, bulunduğu coğrafyada enerjinin güvenilirliğini, satın alınabilirliğini ve sürdürülebilirliğini artıracak politikaları savunmaktadır.

30 üye ülke,
8 birlik ülkesi ve
ötesi.

Lütfen bu yayının kullanımını ve dağıtımını sınırlayan belirli kısıtlamalara tabi olduğunu unutmayın. Şartlar ve koşullar www.iea.org/t&c/ adresinde çevrimiçi olarak mevcuttur. Bu yayın ve burada yer alan bir harita, herhangi bir bölgenin statusüne veya egemenliğine, uluslararası sınırların ve hudutların sınırlandırılmasına ve herhangi bir bölgenin, şehrin veya alanın adına halel getirmez.

Kaynak: IEA. Tüm hakları saklıdır.
Uluslararası Enerji Ajansı Web
Sitesi: www.iea.org

Gözden geçirilmiş versiyon,
Ekim 2021 (4^{üncü} revizyon)
Bilgi bildirimi şu adreste
bulunabilir: www.iea.org/
düzeltmeler

IEA üyesi ülkeleri:

Avustralya
Avusturya
Belçika
Kanada
Çek Cumhuriyeti
Danimarka Estonya
Finlandiya
Fransa
Almanya
Yunanistan
Macaristan
İrlanda
İtalya
Japonya
Kore
Lüksemburg
Meksika
Hollanda Yeni
Zelanda Norveç
Polonya
Portekiz
Slovak Cumhuriyeti
İspanya
İsveç İsviçre
Türkiye
Birleşik Krallık Birleşik
Devletler

Avrupa Komisyonu da
IEA'nın çalışmalarına
katılmaktadır

IEA birlik ülkeleri:

Brezilya Çin
Hindistan
Endonezya
Fas
Singapur
Güney Afrika Tayland



Çağımızın en büyük sorunlarından biri olan iklim kriziyle mücadeleye yönelik uluslararası çabalar açısından belirleyici bir ana yaklaşıyoruz. Yüzyılın ortasında ya da hemen sonrasında net sıfır emisyonu ulaşmayı taahhüt eden ülkelerin sayısı artmaya devam ediyor, ancak küresel sera gazı emisyonları da artıyor. Eğer 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşma ve küresel sıcaklık artışını 1.5 °C ile sınırlama şansımız olacaksa, söylem ve eylem arasındaki bu uçurumun kapanması gerekiyor.

Bunu yapmak için ekonomilerimizin temelini oluşturan enerji sistemlerinde topyekûn bir dönüşümden başka bir şey gerekmiyor. Bu çabalar için kritik bir on yılın başlangıcında kritik bir yılın içindeyiz. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin Kasım ayındaki 26. Taraflar Konferansı (COP26), 2015 Paris Anlaşması'nın temelleri üzerine inşa edilerek iklim konusundaki küresel hedeflerin ve eylemlerin güçlendirilmesi için odak noktasıdır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Birleşik Krallık hükümetinin COP26 Dönem Başkanlığını desteklemek ve dünyanın ihtiyaç duyduğu başarıyı elde etmesine yardımcı olmak için yoğun bir şekilde çalışmaktadır. Mart ayında COP26 Başkanı Alok Sharma ile birlikte 40'tan fazla ülkeden üst düzey enerji ve iklim liderlerinin temiz enerji geçişlerinin arkasındaki küresel ivmeyi vurguladıkları IEA-COP26 Net Sıfır Zirvesi'ne ev sahipliği yapmaktan mutluluk duydum.

Bu etkinlikteki tartışmalar, özellikle IEA'nın Zirve'de sunduğu ve bugüne kadar 22 üye hükümetimiz tarafından desteklenen Net Sıfırın Uygulanmasına Yönelik Yedi Temel İlke aracılığıyla bu özel raporun hazırlanmasında etkili olmuştur. Bu rapor, küresel enerji sektörünün 2050 yılına kadar nasıl net sıfıra ulaşabileceğini ortaya koymaktadır. Rapora inanıyorum - *2050'ye kadar Net Sıfır: Küresel enerji sistemi için bir yol haritası* - raporunun IEA'nın tarihindeki en önemli ve zorlu girişimlerden biri olduğuna inanıyorum. Yol Haritası, IEA'nın enerji veri modellemesi konusundaki öncü çalışmalarının doruk noktasıdır ve iki amiral gemisi serimiz olan *Dünya Enerji Görünümü* ve *Enerji Teknolojisi Perspektifleri*'nin karmaşık modellerini ilk kez bir araya getirmektedir. IEA'nın çalışmalarına rehberlik edecek ve ileriye dönük olarak bu iki serinin ayrılmasından bir parçası olacaktır.

Emisyonlar konusundaki söylemler ile gerçekler arasındaki mevcut uçuruma rağmen, Yol Haritamız 2050 yılına kadar net sıfıra ulaşmak için hala yollar olduğunu göstermektedir. Odaklandığımız yol - analizimize göre - teknik açıdan en uygulanabilir, en uygun maliyetli ve sosyal açıdan en kabul edilebilir olanıdır. Öyle olsa bile, bu yol dar ve son derece zorludur ve hedefin ulaşılabilir hale gelmesi için tüm paydaşların (hükümetler, işletmeler, yatırımcılar ve vatandaşlar) bu yıl ve sonraki her yıl harekete geçmesini gerektirmektedir.

Bu rapor, küresel ekonomiyi fosil yakıtların hakim olduğu bir ekonomiden, ağırlıklı olarak güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerjiyle çalışan bir ekonomiye dönüştürmek için nelerin ve ne zaman yapılması gerektiğine dair tüm sektörleri ve teknolojileri kapsayan toplam 400' fazla kilometre taşı net bir şekilde ortaya koymaktadır. Yolumuz büyük miktarda yatırım, inovasyon, becerikli politika tasarımı ve uygulaması, teknoloji yayılımı, altyapı inşası, uluslararası işbirliği ve diğer birçok alanda çaba gerektirmektedir.

IEA'nın 1974'teki kuruluşundan bu yana temel misyonlarından biri, ekonomik büyümeyi teşvik etmek için güvenli ve uygun fiyatlı enerji arzını desteklemek olmuştur. Bu husus, Uluslararası Para Fonu ve Uluslararası Uygulamalı Sistem Analizi Enstitüsü ile birlikte yürüttüğümüz özel analize dayanan Yol Haritamızın temel kaygılarından biri olmaya devam etmektedir. Bu analiz gösteriyor ki

Enerji sistemlerimizi dönüştürme zorluğu, milyonlarca yeni iş yaratma ve ekonomik büyümeyi artırma potansiyeli ile ekonomilerimiz için de büyük bir fırsattır.

Yol Haritasının bir diğer yol gösterici ilkesi de temiz enerji geçişlerinin adil ve kapsayıcı olması, kimseyi geride bırakmaması gerektiğidir. Gelişmekte olan ekonomilerin, artan nüfuslarının ve ekonomilerinin ihtiyaçlarını sürdürülebilir bir şekilde karşılamak üzere enerji sistemlerini inşa etmeye devam edebilmeleri için ihtiyaç duydukları finansman ve teknolojik bilgi birikimine sahip olmalarını . Şu anda çoğunluğu Afrika'da olmak üzere elektriğe erişimden mahrum olan yüz milyonlarca insana elektrik götürmek ahlaki bir zorunluluktur.

Net sıfıra geçiş insanlar içindir ve insanlar hakkındadır. Fosil yakıt endüstrisindeki her çalışanın temiz enerji işine kolayca geçemeyeceğinin farkında olmak çok önemlidir, bu nedenle hükümetlerin eğitimi teşvik etmesi ve yeni fırsatları kolaylaştırmak için kaynak ayırması gerekir. Vatandaşlar tüm sürecin aktif katılımcıları olmalı, kendilerini geçişin bir parçası olarak hissetmeli ve sadece ona tabi olmamalıdır. Bu temalar, vatandaşların temiz enerji ekonomisine geçişin fırsatlarından yararlanmalarını ve aksaklıklarını aşmalarını nasıl sağlayabileceğimizi incelemek üzere 2021'in başında topladığım İnsan Merkezli Temiz Enerji Geçişleri Küresel Komisyonu tarafından araştırılan konular arasında yer alıyor. Danimarka Mette Frederiksen'in başkanlığını yaptığı ve hükümet liderleri, bakanlar ve önde gelen düşünürlerden oluşan Küresel Komisyon, Kasım ayındaki COP26 öncesinde temel tavsiyelerini kamuoyuna açıklayacak.

Yol Haritamızda ortaya konan yol küresel kapsamlıdır, ancak her ülkenin kendi özel koşullarını dikkate alarak kendi stratejisini tasarlaması gerekecektir. Temiz enerji geçişleri için herkese uyan tek bir yaklaşım yoktur. Planlar, ülkelerin farklı ekonomik kalkınma aşamalarını yansıtmalıdır: bizim yol haritamızda gelişmiş ekonomiler, gelişmekte olan ekonomilerden önce net sıfıra ulaşmaktadır. Dünyanın önde gelen enerji otoritesi olarak IEA, hükümetlere kendi yol haritalarını tasarlarken ve uygularken destek ve tavsiye sağlamaya ve 2050 yılına kadar net sıfıra ulaşmak için çok gerekli olan sektörler arası uluslararası işbirliğini teşvik etmeye hazırdır.

Bu dönüm noktası rapor, üzerinde yorulmadan ve titizlikle çalışan IEA meslektaşlarının olağanüstü özverisi olmadan mümkün olamazdı. Meslektaşlarım Laura Cozzi ve Timur Gül'ün olağanüstü liderliği altındaki tüm ekibe teşekkür etmek isterim.

Dünyanın önünde, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu dar bir ihtimal olmaktan çıkarıp pratik bir gerçekliğe dönüştürmek gibi büyük bir zorluk var. Küresel karbondioksit emisyonları, ekonomiler geçen yılki pandemi kaynaklı şoktan kurtuldukça zaten keskin bir şekilde toparlanıyor. Hükümetlerin harekete geçmesinin ve temiz enerji dönüşümünü hızlandırmak için kararlı bir şekilde hareket etmesinin zamanı geldi de geçiyor.

Bu raporun da gösterdiği üzere, IEA olarak bu çabalara öncülük etmeye kararlıyız.

Dr. Fatih Birol
Uluslararası Enerji Ajansı İcra
Direktörü

Kurumlar arası bir çalışma olan bu çalışma, Dünya Enerji Görünümü ekibi ve Enerji Teknolojisi Perspektifleri tarafından hazırlanmıştır. Çalışma, Baş Enerji Modelleyicisi ve Enerji Talebi Görünümü Bölüm Başkanı **Laura Cozzi** ve Enerji Teknolojisi Politikası Bölüm Başkanı **Timur Gül** tarafından tasarlanmış ve yönetilmiştir.

Baş yazarlar ve koordinatörler **Stéphanie Bouckaert**, **Araceli Fernandez Pales**, **Christophe McGlade**, **Uwe Remme** ve **Brent Wanner**. Baş Ekonomist **Laszlo Varro**, **Davide D'Ambrosio** ve **Thomas Spencer** da çekirdek ekibin bir parçasıydı.

Diğer ana yazarlar şunlardır: **Thibaut Abergel** (binalar), **Yasmine Arsalane** (ekonomik görünüm, elektrik), **Praveen Bains** (biyoyakıtlar), **Jose Miguel Bermudez Menendez** (hidrojen), **Elizabeth Connolly** (ulaşım), **Daniel Crow** (davranış), **Amrita Dasgupta** (inovasyon), **Chiara Delmastro** (binalar), **Timothy Goodson** (binalar, biyoenerji), **Alexandre Gouy** (sektör), **Paul Hugues** (sektör), **Lilly Lee** (ulaşım), **Peter Levi** (sektör), **Hana Mandova** (sektör), **Ariane Millot** (binalar), **Paweł Olejarnik** (fosil yakıt tedariki), **Leonardo Paoli** (yenilik, ulaşım), **Faidon Papadimitoulis** (veri yönetimi), **Sebastian Papapanagiotou** (elektrik şebekeleri), **Francesco Pavan** (hidrojen), **Apostolos Petropoulos** (ulaşım), **Ryszard Pośpiech** (veri yönetimi), **Leonie Staas** (davranış, endüstri), **Jacopo Tattini** (ulaşım), **Jacob Teter** (ulaşım), **Gianluca Tonolo** (enerji erişimi), **Tiffany Vass** (endüstri) ve **Daniel Wetzel** (işler).

Diğer katkıda bulunanlar: Lucila Arbolea Sarazola, Simon Bennett, Cyril Cassisa, Arthur Contejean, Musa Erdoğan, Enrique Gutierrez Tavaréz, Taku Hasegawa, Shai Hassid, Zoe Hungerford, Tae-Yoon Kim, Vanessa Koh, Luca Lo Re, Christopher Lowans, Raimund Malischek, Mariachiara Poliseni ve Per Anders Widell.

Caroline Abettan, Teresa Coon, Marina Dos Santos, Marie Fournier-S'niehotta, Reka Koczka ve Diana Louis önemli destek sağlamışlardır.

Edmund Hosker editöryal sorumluluğu üstlenirken, **Debra Justus** da metin editörlüğünü yapmıştır.

Uluslararası Para Fonu (IMF), özellikle Benjamin Hunt, Florence Jaumotte, Jared Thomas Bebee ve Susanna Mursula, makroekonomik analizi sağlamak için IEA ile ortaklık kurmuştur. Uluslararası Uygulamalı Sistem Analizi Enstitüsü (IIASA), özellikle Peter Rafaj, Gregor Kiesewetter, Wolfgang Schöpp, Chris Heyes, Zbigniew Klimont, Pallav Purohit, Laura Warnecke, Binh Nguyen, Nicklas Forsell, Stefan Frank, Petr Havlik ve Mykola Gusti, arazi kullanımından kaynaklanan hava kirliliği ve sera gazı emisyonlarına ilişkin analiz ve ilgili göstergeleri sağlamak için IEA ile ortaklık kurmuştur.

Diğer üst düzey yöneticiler ve Uluslararası Enerji Ajansı bünyesindeki çok sayıda meslektaşımız tarafından değerli yorumlar ve geri bildirimler sağlanmıştır. Özellikle Keisuke Sadamori, Mechthild Wörsdörfer, Amos Bromhead, Dan Dorner, Nick Johnstone, Pascal Laffont, Toril Bosoni, Peter Fraser, Paolo Frankl, Tim Gould, Tom Howes, Brian Motherway, Aad van Bohemen, César Alejandro Hernández, Samantha McCulloch, Sara Moarif, Heymi Bahar, Adam Baylin-Stern, Niels Berghout, Sara Budinis, Jean-Baptiste Dubreuil, Carlos Fernández Alvarez, Ilkka Hannula, Jeremy Moorhouse ve Stefan Lorenczik.

Analize değerli katkılar şu kişiler tarafından sağlanmıştır: Trevor Morgan (bağımsız danışman) ve David Wilkinson (bağımsız danışman).

Başta CDO Başkanı Jad Mouawad olmak üzere IEA İletişim ve Dijital Ofisi'ne (CDO) ve raporun ve web sitesi materyallerinin hazırlanmasında ve tanıtımında yardımcı olan Astrid Dumond, Jon Custer, Tanya Dyhin, Merve Erdil, Grace Gordon, Christopher Gully, Jethro Mullen, Julie Puech, Rob Stone, Gregory Viscusi, Therese Walsh ve Wonjik Yang'a teşekkür ederiz.

Son olarak, IEA Bilgi Sistemleri Birimi'nden Ivo Letra'ya üretim sürecindeki önemli desteği için ve IEA Hukuk Müşavirliği Ofisi, Yönetim ve İdare Ofisi ve Enerji Veri Merkezi'ne bu raporun hazırlanması sırasında sağladıkları yardımlar için teşekkür ederiz.

Hakemler

Çok sayıda üst düzey hükümet yetkilisi ve uluslararası uzman rapora girdi sağlamış ve raporun ön taslaklarını incelemiştir. Onların yorum ve önerileri çok değerliydi. Bunlar arasında şunlar yer almaktadır:

Aimee Aguilar Jaber	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı (OECD) Keigo Akimoto	Dünya için Yenilikçi Teknoloji Araştırma Enstitüsü, Japonya Doug Arent	Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL), Amerika Birleşik Devletleri Daniel Balog	Macaristan'ın OECD nezdindeki Daimi Delegasyonu
Georg Bäuml	Volkswagen			
Harmeet Bawa	Hitachi ABB Güç Şebekeleri			
Pete Betts	Grantham İklim Değişikliği ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Birleşik Krallık			
Sama Bilbao y Leon	Dünya Nükleer Birliği Diane			
Cameron	Nükleer Enerji Ajansı Rebecca			
Collyer	Avrupa İklim Vakfı Russell Conklin			
	ABD Enerji Bakanlığı François			
Dassa	EDF			
Jelte de Jong	Ekonomik İşler ve İklim Politikası Bakanlığı, Hollanda Carl de Maré			
	ArcelorMittal			
Guillaume De Smedt	Air Liquide			
Agustin Delgado	Iberdrola			
Johanna Fiksdahl	Norveç'in OECD nezdindeki Daimi Delegasyonu			
Alan Finkel	Avustralya Hükümeti Düşük Emisyon Teknolojisi Özel Danışmanı			
Niklas Forsell	Uluslararası Uygulamalı Sistem Analizi Enstitüsü (IIASA) James Foster			
Birleşik Krallık İş, Enerji ve Endüstriyel Strateji Bakanlığı Hiroyuki Fukui	Toyota			
Rosanna Fusco	Eni			
Li Gao	Çin Halk Cumhuriyeti Ekoloji ve Çevre Bakanlığı			

François Gautier	Fransa'nın OECD nezdindeki Daimi Delegasyonu
Oliver Geden	Alman Uluslararası ve Güvenlik İşleri Enstitüsü Dolf Gielen Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA)
Francesca Gostinelli	Enel
Jae H. Jung	Dışişleri Bakanlığı, Kore Cumhuriyeti Michael Hackethal Ekonomik İşler ve Sanayi Bakanlığı, Almanya Peter Wood Kabuk
Selwin Hart	Birleşmiş Milletler
David Hawkings	Doğal Kaynaklar Savunma Konseyi Jacob
Herbers	ABD Enerji Bakanlığı
Takashi Hongo	Mitsui & Co. Küresel Stratejik Araştırmalar Enstitüsü, Japonya
Christina Hood	Compass Climate, Yeni Zelanda
Michael Kelly	Dünya LPG Birliği
Sir David King	Cambridge Üniversitesi
Ken Koyama	Enerji Ekonomisi Enstitüsü, Japonya
Fabien Kreuzer	Enerji Genel Müdürlüğü, Avrupa Komisyonu
Joyce Lee	Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi (GWEC)
Chen Linhao	Halk Cumhuriyeti Bilim ve Teknoloji Bakanlığı Çin
Todd Litman	Victoria Ulaştırma Politikası Enstitüsü, Kanada
Claude Lorea	Küresel Çimento ve Beton Birliği
Ritu Mathur	Enerji ve Kaynaklar Enstitüsü (TERI)
Vincent Minier	Schneider Electric
Steve Nadel	Enerji Verimli Ekonomi için Amerikan Konseyi
Stefan Nowak	Fotovoltaik Enerji Alanında Teknoloji İşbirliği Programı Sistemleri (PVPS TCP)
Brian Ó Gallachóir	MaREI, SFI Enerji, İklim ve Deniz Araştırma Merkezi, Cork Üniversitesi Koleji
Henri Paillère	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) Yongduk
Pak	Kore Enerji Ekonomisi Enstitüsü (KEEI) Alessandra
Pastorelli	İtalya'nın OECD Daimi Delegasyonu Jonathan
Pershing	ABD Dışişleri Bakanlığı
Glen Peters	Uluslararası İklim ve Çevre Araştırmaları Merkezi (CICERO)
Stephanie Pfeifer	İklim Değişikliği Kurumsal Yatırımcılar Grubu (IIGCC) Cédric
Philibert	Bağımsız danışman
Lynn Price	Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı, Amerika Birleşik Devletleri
Andrew Purvis	Dünya Çelik
Julia Reinaud	Çığır Açan Enerji
Yamina Saheb	OpenEXP
Ignacio Santelices	Sürdürülebilir Enerji Ajansı, Şili
Andreas Schäfer	Londra Üniversite Koleji
Vivian Scott	Edinburgh Üniversitesi

Simon Sharpe	Kabine Ofisi, Birleşik Krallık
Adnan Shihab Eldin	Eski adıyla Kuwait Foundation for Advancement of Sciences Toshiyuki
Shirai	Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı, Japonya
Adam Sieminski	KAPSARC
Stephan Singer	İklim Eylem Ağı
Varun Sivaram	ABD Dışişleri Bakanlığı
Jim Skea	Londra İmparatorluk Koleji
Jeff Stehm	İklimle İlgili Finansal Açıklamalar Görev Gücü
Jonathan Stern	Oxford Enerji Çalışmaları Enstitüsü
Wim Thomas	Bağımsız danışman
David Turk	ABD Enerji Bakanlığı
Fritjof Unander	Norveç Araştırma Konseyi
Rob van der Meer	Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREAU)
Noé van Hulst	Hidrojen ve Yakıt Pilleri için Uluslararası Ortaklık Ekonomi
Tom van Ierland	İklim Eylemi Genel Müdürlüğü, Avrupa Komisyonu
David Victor	Kaliforniya Üniversitesi, San Diego
Amanda Wilson	Kanada Doğal Kaynaklar
Harald Winkler	Cape Town Üniversitesi
Markus Wolf	Elektrik Enerjisi Araştırma Enstitüsü (EPRI), Amerika Birleşik
Devletleri Markus Wråke	İsveç Enerji Araştırma Merkezi
William Zimmer	BP

Bu çalışmaya katkıda bulunan kişi ve kuruluşlar, içerdiği herhangi bir görüş veya yargıdan sorumlu değildir. Tüm hata ve eksiklikler yalnızca IEA'nın sorumluluğundadır.

Bu belge ve burada yer alan herhangi bir harita, herhangi bir bölgenin statüsüne veya egemenliğine, uluslararası hudutların ve sınırların belirlenmesine ve herhangi bir bölgenin, şehrin veya alanın adına halel getirmez.

Yorum ve sorulara açığız ve adrese gönderilmelidir:

Laura Cozzi ve Timur Gül

Sürdürülebilirlik, Teknoloji ve Genel Görünümler Müdürlüğü Uluslararası Enerji
Ajansı

9, rue de la Fédération 75739

Paris Cedex 15 Fransa

E-posta: IEANZE2050@iea.org Web:

www.iea.org

Önsöz	3
Teşekkür	5
Yönetici özeti	13

1

Açıklanan net sıfır taahhütleri ve enerji sektörü

29

1.1 Giriş	30
1.2 Emisyon azaltım hedefleri ve net sıfır taahhütleri	31
1.2.1 Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılar	31
1.2.2 Net sıfır emisyon taahhütleri	32
1.3 STEPS'te emisyonlar ve enerji için görünüm	36
1.3.1 CO ₂ emisyonları	36
1.3.2 Toplam enerji arzı, toplam nihai tüketim ve elektrik üretimi	37
1.3.3 Mevcut varlıklardan kaynaklanan emisyonlar	39
1.4 İlan Edilen Bağışlar Davası	40
1.4.1 CO ₂ emisyonları	41
1.4.2 Toplam enerji arzı	43
1.4.3 Toplam nihai tüketim	44
1.4.4 Elektrik üretimi	45

2050'de net sıfır CO₂ emisyonuna giden küresel bir yol

47

2

2.1 Giriş	48
2.2 Senaryo tasarımı	48
2.2.1 Nüfus ve GSYİH	50
2.2.2 Enerji ve CO ₂ fiyatları	51
2.3 CO ₂ emisyonları	53
2.4 Toplam enerji arzı ve toplam nihai tüketim	56
2.4.1 Toplam enerji arzı	56
2.4.2 Toplam nihai tüketim	60
2.5 Dekarbonizasyonun temel direkleri	64
2.5.1 Enerji verimliliği	65
2.5.2 Davranış değişikliği	67
2.5.3 Elektrifikasyon	70

2.5.4	Yenilenebilir Enerji.....	73
2.5.5	Hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar.....	75
2.5.6	Biyoenjeri	77
2.5.7	Karbon yakalama, kullanma ve depolama.....	79
2.6	Yatırım.....	81
2.7	Temel belirsizlikler.....	83
2.7.1	Davranış değışikliği.....	84
2.7.2	Biyoenjeri ve arazi kullanım değışikliği	90
2.7.3	Fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlara uygulanan CCUS.....	94

2050'ye kadar net sıfır emisyonla giden sektörel yollar

3.1	Giriş	100
3.2	Fosil yakıt tedarığı	100
3.2.1	Net Sıfır Emisyon Senaryosundaki enerji eğilimleri	100
3.2.2	Petrol ve gaz yatırımları	103
3.2.3	Fosil yakıt üretiminden kaynaklanan emisyonlar.....	104
3.3	Düşük emisyonlu yakıt tedarığı.....	105
3.3.1	Net Sıfır Emisyon Senaryosundaki enerji eğilimleri	105
3.3.2	Biyoyakıtlar.....	106
3.3.3	Hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar	108
3.3.4	Kilit kilometre taşları ve karar noktaları.....	111
3.4	Elektrik sektörü	113
3.4.1	Net Sıfır Emisyon Senaryosunda enerji ve emisyon eğilimleri.....	113
3.4.2	Kilit kilometre taşları ve karar noktaları.....	117
3.5	Endüstri	121
3.5.1	Net Sıfır Emisyon Senaryosunda enerji ve emisyon eğilimleri.....	121
3.5.2	Kilit kilometre taşları ve karar noktaları.....	129
3.6	Nakliye.....	131
3.6.1	Net Sıfır Emisyon Senaryosunda enerji ve emisyon eğilimleri.....	131
3.6.2	Kilit kilometre taşları ve karar noktaları.....	138
3.7	Binalar	141
3.7.1	Net Sıfır Emisyon Senaryosunda enerji ve emisyon eğilimleri.....	141
3.7.2	Kilit kilometre taşları ve karar noktaları.....	147

4.1	Giriş	152
4.2	Ekonomi	153
4.2.1	Yatırım ve finansman	153
4.2.2	Ekonomik faaliyet	155
4.2.3	İstihdam	157
4.3	Enerji endüstrisi	160
4.3.1	Petrol ve gaz	160
4.3.2	Kömür	162
4.3.3	Elektrik	163
4.3.4	Enerji tüketen endüstriler	165
4.4	Vatandaşlar	167
4.4.1	Enerji ile ilgili Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri	167
4.4.2	Ekonomiklik	170
4.4.3	Davranış değişiklikleri	173
4.5	Hükümetler	175
4.5.1	Enerji güvenliği	175
4.5.2	Altyapı	180
4.5.3	Perakende enerji satışlarından elde edilen vergi gelirleri	183
4.5.4	İnovasyon	184
4.5.5	Uluslararası işbirliği	187

Ekler**191**

Ek A. Senaryo projeksiyonları için tablolar	193
Ek B. Teknoloji maliyetleri	201
Ek C. Tanımlar	203
Ek D. Referanslar	217

Enerji sektörü günümüzde sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte üçünün kaynağıdır ve belki de insanlığın karşılaştığı en büyük zorluk olan iklim değişikliğinin en kötü etkilerini önlemenin anahtarını elinde tutmaktadır. Küresel karbondioksit (CO₂) emisyonlarının 2050 yılına kadar net sıfıra indirilmesi, ortalama küresel sıcaklıklardaki uzun vadeli artışı 1,5 °C ile sınırlama çabalarıyla tutarlıdır. Bunun için enerjiyi üretme, taşıma ve tüketme biçimimizde tam bir dönüşümden başka bir şey gerekmemektedir. Net sıfır emisyona ulaşma konusunda artan siyasi uzlaş, dünyanın kaydedebileceği ilerleme konusunda kayda değer bir iyimserlik yaratmaktadır, ancak 2050 yılına kadar küresel olarak net sıfır emisyona ulaşmak için gereken değişiklikler yeterince anlaşılamamıştır. Bugünün etkileyici hedeflerini gerçeğe dönüştürmek için, özellikle ülkeler arasındaki farklı durumlar ve gerekli değişiklikleri yapma kapasiteleri göz önüne alındığında, büyük miktarda çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu özel IEA raporu, insan refahı ve esenliği için büyük faydalar sağlayacak temiz ve dirençli bir enerji sistemi ile sonuçlanacak bu hedefe ulaşmak için bir yol ortaya koymaktadır.

Bu raporda ayrıntıları verilen 2050 yılına kadar net sıfır emisyona giden küresel yol, tüm hükümetlerin enerji ve iklim politikalarını önemli ölçüde güçlendirmelerini ve ardından başarılı bir şekilde uygulamalarını gerektirmektedir. Bugüne kadar verilen taahhütler, bu yolun gerektirdiklerinin çok gerisinde kalmaktadır. Net sıfır emisyona ulaşma taahhüdünde bulunan ülkelerin sayısı geçtiğimiz yıl hızla artmıştır ve şu anda küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %70'ini kapsamaktadır. Bu ileriye doğru atılmış büyük bir adımdır. Bununla birlikte, taahhütlerin çoğu henüz yakın vadeli politika ve tedbirlerle desteklenmemektedir. Ayrıca, başarılı bir şekilde yerine getirile bile, bugüne kadar verilen taahhütler 2050 yılında dünya çapında yaklaşık 22 milyar ton CO₂ emisyonu bırakacaktır. Bu eğilimin devam etmesi, 2100 yılında yaklaşık 2,1 °C'lık bir sıcaklık artışı ile tutarlı olacaktır. Küresel emisyonlar Covid-19 krizi nedeniyle 2020'de düştü ancak ekonomiler toparlandıkça şimdiden güçlü bir şekilde toparlanıyor. Bu eğilimi tersine çevirmek için harekete geçmede daha fazla gecikme, 2050 yılına kadar net sıfıra ulaşılmasını imkansız hale getirecektir.

Politika Yapıcılar için bu Özet, küresel enerji sektörünün 2050 yılına kadar net sıfır CO₂ emisyonuna ulaşması için gerekli koşulları özetliyoruz. Bu raporda derinlemesine açıklanan yol, bu hedefe enerji sektörü dışından herhangi bir denkleştirme olmadan ve negatif emisyon teknolojilerine düşük bağımlılıkla ulaşmaktadır. Teknik fizibilite, maliyet etkinliği ve sosyal kabulü en üst düzeye çıkarırken, ekonomik büyümenin devamını ve güvenli enerji arzını sağlamak üzere tasarlanmıştır. 2050'ye kadar net sıfır - dar ama yine de ulaşılabilir - fırsatının kaybedilmemesini sağlamak için bugün ihtiyaç duyulan öncelikli eylemleri vurguluyoruz. Rapor küresel bir bakış açısı sunmaktadır, ancak ülkeler aynı yerden başlamamakta ya da aynı zamanda bitirmemektedir: gelişmiş ekonomiler, yükselen piyasalar ve gelişmekte olan ekonomilerden önce net sıfıra ulaşmalı ve diğerlerinin de yardımcı olmalıdır. Ayrıca, burada çizilen rotanın bir yol olduğunun, her zaman gidilecek yol olmadığının farkındayız ve bu nedenle, özellikle biyoenerji, karbon yakalama ve davranış değişikliklerinin oynadığı rollerle ilgili bazı temel belirsizlikleri inceliyoruz. Net sıfıra ulaşmak, dünyanın dört bir yanındaki insanların vereceği sayısız kararı içerecektir, ancak öncelikli amacımız, dünyayı iklim hedeflerine yaklaştırmak için en büyük kapsama sahip olan politika yapıcılar tarafından alınan kararları .

2050 yılına kadar net sıfır, 2030 yılına kadar benzeri görülmemiş bir temiz teknoloji hamlesine bağlı

Net sıfır emisyonu giden yol dardır: bu yolda kalmak, mevcut tüm temiz ve verimli enerji teknolojilerinin derhal ve yoğun bir şekilde kullanılmasını gerektirir. Bu raporda sunulan net sıfır emisyon yolunda, 2030 yılında dünya ekonomisi bugünkünden yaklaşık %40 daha büyük olacak ancak %7 daha az enerji kullanacaktır. Enerji verimliliğini artırmaya yönelik dünya çapında büyük bir çaba, bu çabaların önemli bir parçasıdır ve 2030'a kadar enerji yoğunluğundaki yıllık ortalama %4'lük iyileşme oranıyla sonuçlanır - son yirmi yılda elde edilen ortalama oranın yaklaşık üç katı. Enerji sektöründen kaynaklanan emisyon azaltımları CO₂ ile sınırlı değildir: yolumuzda, fosil yakıt tedarikinden kaynaklanan metan emisyonları, mevcut tüm azaltım önlemlerini ve teknolojilerini uygulamaya yönelik küresel ve ortak bir çabanın sonucu önümüzdeki on yıl içinde %75 oranında azalacaktır.

Her zamankinden daha ucuz yenilenebilir enerji teknolojileri, sıfıra doğru yarışta elektriğe avantaj sağlıyor. İzlediğimiz yol, bu on yıl içinde güneş ve rüzgâr enerjisinin hızla artırılmasını ve 2030 yılına kadar yıllık 630 gigawatt (GW) güneş fotovoltaik (PV) ve 390 GW rüzgâr enerjisi ilavesine ulaşılmasını gerektiriyor. 2020'de belirlenen rekor seviyelerin dört katı. Güneş için bu, dünyanın mevcut en büyük güneş enerjisi parkının yaklaşık her gün kurulmasına eşdeğerdir. Günümüzde düşük karbonlu elektriğin en büyük iki kaynağı olan hidroelektrik ve nükleer, geçişler için önemli bir temel sağlamaktadır. Elektrik sektörü daha temiz hale geldikçe, elektrifikasyon, emisyonların azaltılması için ekonomi çapında önemli bir araç olarak ortaya çıkmaktadır. Elektrikli araçlar (EV'ler) küresel otomobil satışlarının yaklaşık %5'inden 2030'a kadar %60'ının üzerine çıkacaktır.

PRIORITY

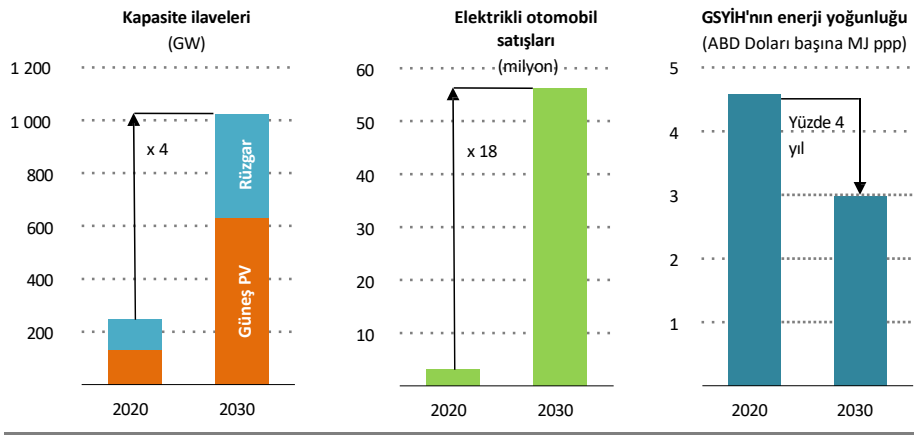
ACTION

2020'li yılları temiz enerjide büyük bir genişlemenin on yılı haline getirin

2030'a kadar küresel emisyonlarda gerekli derin kesintileri sağlamak için gereken tüm teknolojiler halihazırda mevcuttur ve bunların yaygınlaştırılmasını sağlayabilecek politikalar zaten kanıtlanmıştır.

Dünya Covid-19 salgınının etkileriyle boğuşmaya devam ederken, ekonomik toparlanmayı desteklemek için ortaya çıkan yatırım ve harcama dalgasının net sıfır yolu ile uyumlu olması çok önemlidir. Temiz ve verimli enerji teknolojilerinin yaygınlaştırılmasını hızlandırmak için politikalar güçlendirilmelidir. Zorunluluklar ve standartlar, tüketici harcamalarını ve endüstri yatırımlarını en verimli teknolojilere yönlendirmek için hayati önem taşımaktadır. Hedefler ve rekabetçi ihaleler, rüzgâr ve güneş enerjisinin elektrik sektöründeki geçişi hızlandırmasını sağlayabilir. Fosil yakıt sübvansiyonlarının aşamalı olarak kaldırılması, karbon fiyatlandırması ve diğer piyasa reformları uygun fiyat sinyalleri sağlayabilir. Politikalar, azaltılmamış kömür yakıtlı elektrik santralleri, gaz kazanları ve geleneksel içten yanmalı motorlu araçlar gibi belirli yakıtların ve teknolojilerin kullanımını sınırlamalı veya caydırıcı önlemler almalıdır. Hükümetler, akıllı iletim ve dağıtım şebekeleri de dahil olmak üzere büyük altyapı yatırımlarının planlanmasına ve teşvik edilmesine öncülük etmelidir.

Net sıfır yolunda kilit temiz teknolojiler 2030'a kadar artıyor



Not: MJ= megajul; GDP= satın alma gücü paritesine göre gayri yurtiçi hasıla.

2050'ye kadar net sıfır, temiz enerji inovasyonunda büyük sıçramalar gerektiriyor

2050'ye kadar net sıfıra ulaşılması, mevcut teknolojilerin daha hızlı bir şekilde kullanılmasının yanı sıra henüz piyasada olmayan teknolojilerin de yaygın bir şekilde kullanılmasını gerektirmektedir. Bu yeni teknolojilerin zamanında piyasaya sürülebilmesi için bu on yıl içinde büyük inovasyon çabalarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Yolumuzda 2030 yılına kadar CO₂ emisyonlarındaki küresel azaltımların çoğu bugün hazır olan teknolojilerden . Ancak 2050 yılında, azaltımların neredeyse yarısı şu anda gösterim veya prototip aşamasında olan teknolojilerden gelmektedir. Ağır sanayi ve uzun mesafe taşımacılığında, bugün hala geliştirilme aşamasında olan teknolojilerden kaynaklanan emisyon azaltımlarının payı daha da yüksektir.

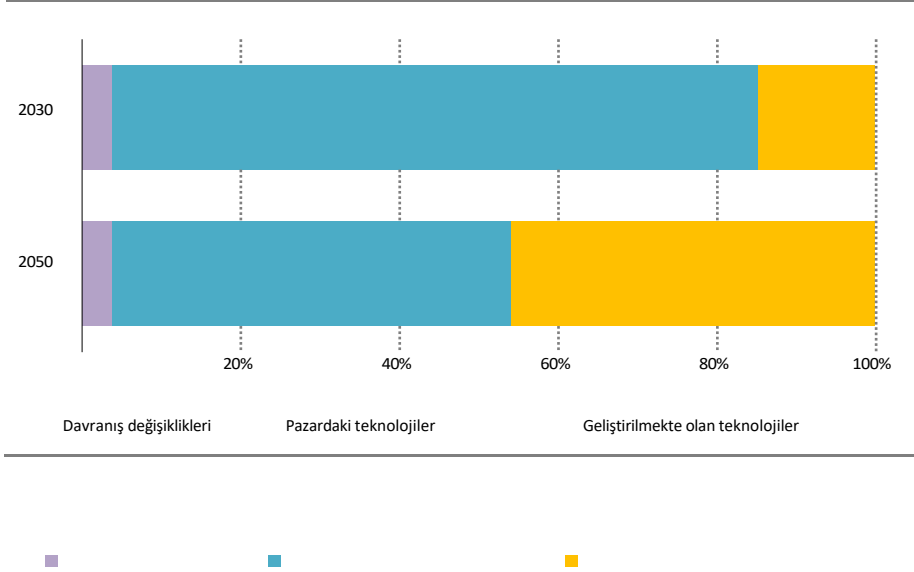
En büyük inovasyon fırsatları gelişmiş bataryalar, hidrojen elektrolizörleri ve doğrudan hava yakalama ve depolama ile ilgilidir. Bu üç teknoloji alanı birlikte, yolumuzda 2030 ve 2050 yılları arasında CO₂ emisyonlarının azaltılmasına hayati katkılar sağlamaktadır. Önümüzdeki on yıl boyunca sadece araştırma ve geliştirme (AR-GE) ve tanıtım yoluyla değil, aynı zamanda dağıtım yoluyla da inovasyona, teknolojilerin ihtiyaç duyacağı altyapının büyük ölçekli inşası eşlik etmelidir. Bu, yakalanan CO₂ emisyonlarını taşımak için yeni boru hatlarını ve hidrojeni limanlar ve sanayi bölgeleri arasında taşıyacak sistemleri içermektedir.

İnovasyonu artırarak geçişin bir sonraki aşamasına hazırlanın

Temiz enerji inovasyonu, hükümetlerin Ar-Ge, demonstrasyon ve dağıtım enerji ve iklim politikasının merkezine koymasıyla hızla hızlanmalıdır.

Devletin Ar-Ge harcamalarının artırılması ve önceliklerinin yeniden belirlenmesi gerekmektedir. Elektrifikasyon, hidrojen, biyoenerji ve karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS) kritik alanlar bugün, daha yerleşik düşük karbonlu elektrik üretimi ve enerji verimliliği teknolojilerinin kamu Ar-Ge finansmanı seviyesinin yalnızca yaklaşık üçte birini almaktadır. Demonstrasyon projelerinin yaygınlaştırılmasını hızlandırmak, Ar-Ge'ye yapılan özel yatırımları artırmak ve maliyetleri düşürmeye yardımcı olmak için genel dağıtım seviyelerini yükseltmek için de desteğe ihtiyaç vardır. 2030'dan önce bir demonstrasyon projeleri portföyünü tamamlamak için küresel çapta yaklaşık 90 milyar ABD doları tutarında kamu parasının mümkün olan en kısa sürede harekete geçirilmesi gerekmektedir. Şu anda bu dönem için sadece yaklaşık 25 milyar ABD doları bütçe ayrılmıştır. Bu teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması büyük yeni endüstrilerin yanı sıra ticari ve istihdam fırsatları yaratacaktır.

Net sıfır yolunda 2020'ye göre yıllık CO₂ emisyonu tasarrufu



Net sıfıra geçiş insanlar içindir ve insanlar hakkındadır

Net sıfır yolunun tarif ettiği ölçek ve hızda bir geçiş, vatandaşların sürekli desteği ve katılımı olmadan başarılamaz. Değişiklikler, ulaşım, ısınma ve yemek pişirmeden şehir planlaması ve işlere kadar insanların yaşamlarının birçok yönünü etkileyecektir. Yolda kümülatif emisyon azaltımlarının yaklaşık %55'inin bir elektrikli araç satın almak, bir evi enerji verimli teknolojilerle donatmak veya bir ısı pompası kurmak gibi tüketici tercihleriyle bağlantılı olduğunu tahmin ediyoruz. Özellikle gelişmiş ekonomilerde araba yolculuklarını yürüme, bisiklete binme veya toplu taşıma ile değiştirme ya da uzun mesafeli bir uçuştan vazgeçme gibi davranış değişiklikleri de kümülatif emisyon azaltımlarının yaklaşık %4'ünü sağlamaktadır.

Erişimi olmayan yaklaşık 785 milyon kişiye elektrik ve bu seçeneklerden yoksun 2,6 milyar kişiye temiz pişirme çözümleri sağlamak, yolumuzun ayrılmaz bir parçasıdır. Emisyonların azaltılması, 2030 yılına kadar herkes için enerji erişiminin sağlanması çabalarıyla el ele gitmelidir. Bu, yıllık ortalama enerji sektörü yatırımının yaklaşık %1'ine denk, yılda yaklaşık 40 milyar ABD dolarına mal olurken, aynı zamanda iç mekan hava kirliliğinin azalmasından kaynaklanan önemli yan faydaları da beraberinde getirmektedir.

Temiz enerji dönüşümünün getirdiği bazı değişikliklerin uygulanması zor olabilir, bu nedenle kararlar şeffaf, adil ve uygun maliyetli olmalıdır. Hükümetler, temiz enerji dönüşümlerinin insan merkezli ve kapsayıcı olmasını sağlamalıdır. Harcanabilir gelirin bir payı olarak hane halkı enerji harcamaları - verimli cihazların satın alınması ve yakıt faturaları da dahil olmak üzere - daha fazla insanın enerjiye erişmesi ve modern enerji hizmetlerine olan talebin hızla artmasıyla net sıfır yolumuzda yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde mütevazı bir şekilde artmaktadır. Hane halkları için enerjinin satın alınabilirliğini sağlamak yakın ilgi gerektirmektedir: en yoksullara doğrudan destek sağlayabilecek politika araçları arasında vergi kredileri, krediler ve hedefe yönelik sübvansiyonlar yer almaktadır.

PRIORITY

ACTION

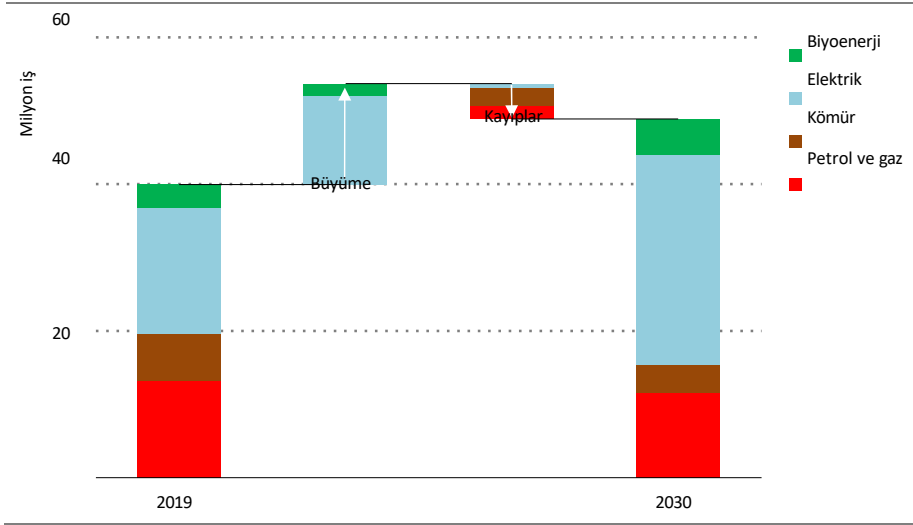
Temiz enerji işleri güçlü bir şekilde büyüyecek ancak geniş bir alana yayılmalı

Enerji dönüşümleri, bireyler ve toplumlar üzerindeki sosyal ve ekonomik etkileri dikkate almalı ve insanları aktif katılımcılar olarak ele almalıdır.

Net sıfıra geçiş, yeni faaliyetler ve temiz enerjiye yapılan yatırımlar sayesinde 2030 yılına kadar yaratılacak 14 milyon iş ile istihdam için önemli yeni fırsatlar getirmektedir. Daha verimli cihazlara, elektrikli ve yakıt hücreli araçlara, bina iyileştirmelerine ve enerji tasarruflu inşaatlara yapılacak harcamalar 16 milyon işçiye daha ihtiyaç duyacaktır. Ancak bu fırsatlar genellikle fosil yakıtlar azaldıkça kaybedilecek işlerden farklı yerlerde, beceri setlerinde ve sektörlerde. Bizim yolumuzda yaklaşık 5 milyon iş kaybı söz konusudur. Bu işlerin çoğu fosil yakıt kaynaklarının yakınında yer almaktadır ve birçoğu iyi ücretlidir, yani yapısal değişiklikler topluluklar için şoklara neden olabilir ve etkileri zaman içinde devam edebilir. Bu durum, istihdamı ele almak için dikkatli bir politika dikkati gerektirmektedir

kayıplar. Bu kesintilerle ilgili zorlukları en aza indirmek hayati önem taşıyacaktır, örneğin İşçilerin yeniden eğitilmesi, yeni temiz enerji tesislerinin mümkün olan her yerde yoğun olarak etkilenen bölgelere yerleştirilmesi ve bölgesel yardım sağlanması.

Net sıfır yolunda enerji arzında küresel istihdam, 2019-2030



Yenilenebilir enerji kaynaklarının hakim olduğu bir enerji sektörü

Net sıfır patikasında, 2050 yılında küresel enerji talebi bugünkünden yaklaşık %8 daha azdır, ancak iki kattan daha büyük bir ekonomiye ve 2 milyar daha fazla insana hizmet etmektedir. Enerjinin daha verimli kullanımı, kaynak verimliliği ve davranış değişiklikleri bir araya , dünya ekonomisi büyüdükçe ve enerjiye erişim herkese yayıldıkça enerji hizmetlerine olan talepteki artışları dengeleyecektir.

Enerji sektörü fosil yakıtlar yerine büyük ölçüde yenilenebilir enerjiye dayanmaktadır. 2050'de toplam enerji arzının üçte ikisi rüzgar, güneş, biyoenerji, jeotermal ve hidro sağlanacaktır. Güneş enerjisi, enerji arzının beşte birini oluşturarak en büyük kaynak haline gelir. Güneş PV kapasitesi bugün ile 2050 arasında 20 kat, rüzgar enerjisi ise 11 kat artacaktır.

Net sıfır, fosil yakıtların kullanımında büyük bir düşüş anlamına gelmektedir. Bugün toplam enerji arzının neredeyse beşte oluşturan fosil yakıtlar, 2050 yılında beşte birin biraz üzerine düşecektir. 2050'de kalan fosil yakıtlar, karbonun plastik gibi ürünün içinde bulunduğu mallarda, CCUS ile donatılmış tesislerde ve düşük emisyonlu teknoloji seçeneklerinin az olduğu sektörlerde kullanılmaktadır.

Elektrik, 2050 yılında toplam enerji tüketiminin neredeyse %50'sini oluşturmaktadır. Ulaşımından binalara ve sanayiye kadar tüm sektörlerde kilit bir rol oynamaktadır ve hidrojen gibi düşük emisyonlu yakıtların üretilmesi için gereklidir. Bunu başarmak için toplam elektrik üretiminin

Bugün ile 2050 arasında iki buçuk kat. Aynı zamanda, yeni kömürlü termik santraller için ilave nihai yatırım kararı alınmaması, en az verimli kömürlü termik santrallerin 2030 yılına kadar aşamalı olarak kapatılması ve 2040 yılına kadar halen kullanımda olan kömürlü termik santrallerin iyileştirilmesi gerekmektedir. 2050 yılına gelindiğinde, elektrik üretiminin neredeyse %90'ı yenilenebilir kaynaklardan sağlanırken, rüzgar ve güneş enerjisi birlikte yaklaşık %70'ini oluşturmaktadır. Geri kalanın çoğu nükleerden gelmektedir.

Sanayi, ulaşım ve binalardan kaynaklanan emisyonların azaltılması daha uzun zaman almaktadır. Sanayi emisyonlarının 2050 yılına kadar %95 oranında azaltılması, yeni altyapı inşa etmek için büyük çabalar gerektirmektedir. Yeni temiz teknolojilerin pazara sunulması için AR-GE, demonstrasyon ve 2030'a kadar ilk dağıtım yoluyla inovasyonda hızlı bir ilerleme kaydedildikten sonra, dünyanın bunları uygulamaya koymasına gerekmektedir. 2030'dan itibaren her ay on ağır sanayi tesisi CCUS ile donatılmakta, üç yeni hidrojen bazlı sanayi tesisi inşa edilmekte ve sanayi tesislerine 2 GW elektrolizör kapasitesi eklenmektedir. Yeni içten yanmalı motorlu araçların satışını 2035 yılına kadar sonlandıran ve elektrifikasyonu artıran politikalar, ulaşım emisyonlarındaki büyük düşüşü desteklemektedir. 2050 yılında dünya genelinde yollardaki otomobiller elektrik veya yakıt hücreleriyle çalışacaktır. Düşük emisyonlu yakıtlar, enerji ihtiyaçlarının elektrikle kolayca veya ekonomik olarak karşılanamadığı yerlerde çok önemlidir. Örneğin, havacılık büyük ölçüde biyoyakıtlara ve sentetik yakıtlara dayanmaktadır ve amonyak nakliye için hayati önem taşımaktadır. Binalarda, yeni fosil yakıtlı kazanlara yönelik yasakların 2025 yılında küresel olarak başlanması ve elektrikli ısı pompalarının satışlarının artırılması gerekmektedir. Eski binaların çoğu ve yeni binaların tamamı sıfır karbona hazır bina enerji kodlarına uygundur.¹

PRIORITY

ACTION

Uzun vadeli hedeflere doğru ilerlemek için yakın vadeli kilometre taşları belirlemin

Hükümetlerin net sıfır hedeflerine ulaşmak için güvenilir adım adım planlar sunmaları ve yatırımcılar, sanayi, vatandaşlar ve diğer ülkeler arasında güven oluşturmaları gerekmektedir.

Hükümetler, tüm hükümet organlarının ve paydaşların değişimi planlamasına ve düzenli bir geçişi kolaylaştırmasına olanak tanıyacak uzun vadeli politika çerçevelerini uygulamaya koymalıdır. Paris Anlaşması tarafından talep edilen uzun vadeli ulusal düşük emisyon stratejileri, bu raporun küresel düzeyde yaptığı gibi, ulusal geçişler için bir vizyon ortaya koyabilir. Bu uzun vadeli hedeflerin ölçülebilir kısa vadeli hedef ve politikalarla ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Yol haritamız, 2050 yılına kadar net sıfıra giden küresel yolculuğa rehberlik edecek 400'den fazla sektörel ve teknolojik kilometre taşı detaylandırmaktadır.

¹ Sıfır karbona hazır bir bina yüksek enerji verimliliğine sahiptir ve ya doğrudan yenilenebilir enerji kullanır ya da elektrik veya bölgesel ısı gibi 2050 yılına kadar tamamen karbonsuzlaştırılacak bir enerji kaynağı kullanır.

2025

- Fosil yakıtlı kazanların yeni satışı yok

2021

- Geliştirilmesine onay verilen yeni kömürlü termik santral yok
- Geliştirilmesi için onaylanan yeni petrol ve gaz sahası yok; yeni kömür madeni veya maden genişletmesi yok

2030

- Evrensel enerji erişimi
- Tüm yeni binalar sıfır karbona hazırdır
- Küresel otomobil satışlarının %60'ı elektrikli
- Ağır sanayide yeni temiz teknolojilerin çoğu ölçekli olarak sergilendi
- 1 020 GW yıllık güneş ve rüzgar enerjisi ilavesi
- Gelişmiş ekonomilerde azaltılmamış kömürün aşamalı olarak kullanımdan kaldırılması

2035

- Satılan çoğu cihaz ve soğutma sistemi sınıfının en iyisidir
- Ağır kamyon satışlarının %50'si elektrikli
- Yeni ICE araç satışı yok
- Tüm endüstriyel elektrik motoru satışlarının sınıfının en iyisidir
- Genişletilmiş elektrik toplama net sıfır emisyonlu elektrik ekono

2040

- Mevcut binaların %50'sinin sıfır karbona hazır seviyeye yükseltilmesi
- Havacılıkta kullanılan yakıtların %50'si düşük emisyonludur
- Ağır sanayide mevcut kapasitenin yaklaşık %90'ı yatırım döngüsünün sonuna ulaştı
- Küresel olarak net sıfır emisyonlu elektrik
- Tüm kömür ve petrol santrallerinin aşamalı olarak kapatılması

2050

- Binaların %85'inden fazlası sıfır karbona hazır
- Ağır sanayi üretiminin %90'ından fazlası düşük emisyonludur
- Küresel elektrik üretiminin neredeyse %70'ı güneş enerjisi ve rüzgardan elde ediliyor

2045

- 4 Gt CO₂ yakalanması
- 7,6 Gt CO₂ yakalanması

Binalar

Nakliye

Endüstri

Elektrik ve ısı

Diğer

Net sıfır yolumuzda yeni fosil yakıt arzına yatırım yapılmasına gerek yoktur

Hali hazırda 2021 itibarıyla taahhüt edilen projelerin ötesinde, yolumuzda geliştirilmesi onaylanan yeni petrol ve gaz sahası yoktur ve yeni kömür madeni veya maden genişletmesi gerekmemektedir. Net sıfır patikasında iklim değişikliğine yönelik değişmez politika odağı, fosil yakıt talebinde keskin bir düşüşe neden olur; bu da petrol ve gaz üreticileri için odak noktasının tamamen mevcut varlıkların işletilmesinden elde edilen üretime - ve emisyon azaltımlarına - geçtiği anlamına gelir. Kesintisiz kömür talebi 2050 yılında %98 oranında azalarak toplam enerji kullanımının %1'inin altına düşmektedir. Gaz talebi %55 azalarak 1 750 milyar metreküpe, petrol ise 2020'deki 90 milyon varil/gün seviyesinden %75 azalarak 24 milyon varil/gün'e (mb/d) düşecektir.

Temiz elektrik üretimi, şebeke altyapısı ve son kullanım sektörleri, yatırımların artırılması için kilit alanlardır. Altyapı ve teknolojilerin etkinleştirilmesi, enerji sisteminin dönüştürülmesi için hayati önem taşımaktadır. İletim ve dağıtım şebekelerine yapılan yıllık yatırım bugün 260 milyar ABD dolarından 2030 yılında 820 milyar ABD dolarına çıkacaktır. Elektrikli araçlar için kamuya açık şarj noktalarının sayısı bugün yaklaşık 1 milyon iken 2030'da 40 milyona yükselecek ve bu da 2030'da yıllık yaklaşık 90 milyar ABD doları yatırım gerektirecektir. Elektrikli araçlar için yıllık batarya üretimi bugün 160 gigawatt-saatten (GWh) 2030'da 6 600 GWh'ye sıçramaktadır - bu da önümüzdeki on yıl boyunca her yıl yaklaşık 20 gigafabrika² eklemeye eşdeğerdir. Hidrojen ve CCUS'un 2030'dan sonra yaygınlaştırılması için gerekli olan zemin şimdiden hazırlanıyor: CO₂ boru hatları ve hidrojen altyapısına yapılan yıllık yatırım bugün 1 milyar ABD dolarından 2030'da yaklaşık 40 milyar ABD dolarına yükseliyor.

PRIORITY

ACTION

Temiz enerji yatırımlarında tarihi bir artışa yol açın

Politikaların, özellikle gelişmekte olan ekonomilerde yeni iş modellerinin önünü açacak ve özel harcamaları harekete geçirecek piyasa sinyalleri gönderecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Uluslararası kamu finansmanının hızlandırılması, özellikle gelişmekte olan ekonomilerde enerji dönüşümleri için kritik öneme sahip olacaktır, ancak nihayetinde özel sektörün gerekli ekstra yatırımların çoğunu finanse etmesi gerekecektir. Büyük ölçekli altyapı için sermayenin harekete geçirilmesi, geliştiriciler, yatırımcılar, kamu finans kurumları ve hükümetler arasında daha yakın bir işbirliği gerektirmektedir. Yatırımcılar için risklerin azaltılması, başarılı ve uygun fiyatlı temiz enerji geçişlerinin sağlanması için elzem olacaktır. Yeni enerji projeleri ve sanayi tesisleri için ağırlıklı olarak kamu finansmanına dayanan birçok yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonominin, daha fazla özel finansman çekmek için politika ve düzenleyici çerçevelerinde reform yapması gerekecektir. Hem mevcut hem de yeni ortaya çıkan temiz enerji teknolojilerinin gelişimini desteklemek için bu ekonomilere uzun vadeli uluslararası sermaye akışına ihtiyaç .

² Pil gigafabrikası kapasitesi varsayımı= yılda 35 gigawatt-saat.

Net sıfır yolunda temiz enerji yatırımı



Benzeri görülmemiş bir temiz enerji yatırım patlaması küresel ekonomik büyümeyi yükseltiyor

Toplam yıllık enerji yatırımı 2030 yılına kadar 5 trilyon ABD dolarına ulaşarak

Uluslararası Para Fonu ile yaptığımız ortak analize göre, yıllık küresel GSYH büyümesine yılda yüzde 0,4 puan katkı sağlamaktadır. Temiz enerji ve enerji altyapısına yapılan yatırımların 2030 yılına kadar üç kattan fazla artacağı bu benzersiz artış, dünya Covid-19 krizinden çıkarken önemli ekonomik faydalar sağlamaktadır. Özel sektör ve devlet harcamalarındaki bu sıçrama, enerji verimliliği de dahil olmak üzere temiz enerjinin yanı sıra mühendislik, imalat ve inşaat sektörlerinde milyonlarca istihdam yaratmaktadır. Tüm bunlar, 2030 yılında küresel GSYH'nin mevcut eğilimlere göre %4 daha yüksek olmasını sağlayacaktır.

Hükümetler, yatırıma dayalı büyümenin sağlanması ve faydaların herkes tarafından paylaşılmasının temin edilmesinde kilit bir role sahiptir. Bölgeler arasında makroekonomik etkiler açısından büyük farklılıklar vardır. Ancak hükümet yatırımları ve kamu politikaları, büyük miktarda özel sermayeyi çekmek ve birçok ülkenin yaşayacağı fosil yakıt gelirindeki düşüşleri dengelemeye yardımcı olmak için gereklidir. Yeni temiz enerji teknolojilerini pazara sunmak için gereken büyük inovasyon çabaları, üretkenliği artırabilir ve tamamen yeni endüstriler yaratabilir, bu da mevcut endüstrilerde iş kayıplarının yaşandığı bölgelere yerleştirme fırsatları sağlayabilir. Hava kalitesindeki iyileşmeler sağlık açısından önemli faydalar sağlar. 2030 yılında net sıfır yolumuzda bugünkünden 2 milyon daha az erken hava kirliliği kaynaklı ölüm gerçekleşecektir. 2030'a kadar evrensel enerji erişimine ulaşılması, gelişmekte olan ekonomilerde refah ve üretkenliğe büyük bir destek sağlayacaktır.

Yeni enerji güvenliği endişeleri ortaya çıkıyor ve eskileri devam ediyor

Petrol ve doğal gaz üretimindeki daralmanın, bu yakıtları üreten tüm ülkeler ve şirketler için geniş kapsamlı etkileri olacaktır. Yolumuzda yeni petrol ve doğal gaz sahalarına ihtiyaç duyulmayacak ve petrol ve doğal gaz arzı giderek az sayıda düşük maliyetli üreticide yoğunlaşacaktır. Petrol için, çok azalmış küresel petrol arzında OPEC'in payı son yıllarda yaklaşık %37'den 2050'de %52'ye yükselir ki bu petrol piyasalarının tarihindeki herhangi bir noktadan daha yüksek bir seviyedir. Ancak üretici ekonomilerde petrol ve doğal gazdan elde edilen kişi başına düşen yıllık gelir, son yıllarda 1 800 ABD dolarından 2030'larda 450 ABD dolarına düşerek yaklaşık %75 oranında ve bu da zincirleme toplumsal etkilere yol açabilecektir. Yapısal reformlara ve yeni gelir kaynaklarına ihtiyaç duyulsa da bunların petrol ve doğal gaz gelirlerindeki düşüşü tam olarak telafi etmesi mümkün değildir. Geleneksel tedarik faaliyetleri azalırken, petrol ve doğal gaz endüstrisinin uzmanlığı, azaltımların muhtemelen en zor olacağı sektörlerde emisyonlarla mücadele etmek için ihtiyaç duyulan hidrojen, CCUS ve açık deniz rüzgarı gibi teknolojilerle uyumludur.

Enerji dönüşümü önemli miktarlarda kritik mineral gerektirmektedir ve bunların tedariki önemli bir büyüme alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Bakır, kobalt, mangan ve çeşitli nadir toprak metalleri gibi kritik minerallerin toplam pazar büyüklüğü, net sıfır yolunda 2020 ve 2030 yılları arasında neredeyse yedi kat artmaktadır. Bu minerallerden elde edilen gelirler, 2030'dan çok önce kömürden elde edilen gelirlerden daha büyüktür. Bu durum madencilik şirketleri için önemli yeni fırsatlar yaratmaktadır. Aynı zamanda, arzın artan talebe yetişememesi durumunda fiyat dalgalanmaları ve geçişler için ek maliyetler de dahil olmak üzere yeni enerji güvenliği endişeleri yaratmaktadır.

Tüm sektörlerin hızla elektrifikasyonu, elektriği dünya çapında enerji güvenliği için bugün olduğundan daha da merkezi hale getirmektedir. Rüzgar ve güneş enerjisini değişen talep modelleriyle dengelemek için gereken elektrik sistemi esnekliği, fosil yakıt kapasitesinin emekliye ayrılması geleneksel esneklik kaynaklarını azaltsa bile 2050 yılına kadar dört katına çıkacaktır. Bu geçiş, daha akıllı ve daha dijital elektrik şebekeleri tarafından desteklenen bataryalar, talebe yanıt ve düşük karbonlu esnek enerji santralleri gibi tüm esneklik kaynaklarında büyük artışlar gerektirmektedir. Elektrik sistemlerinin siber saldırılara ve ortaya çıkan diğer tehditlere karşı dayanıklılığının artırılması gerekmektedir.

PRIORITY

ACTION

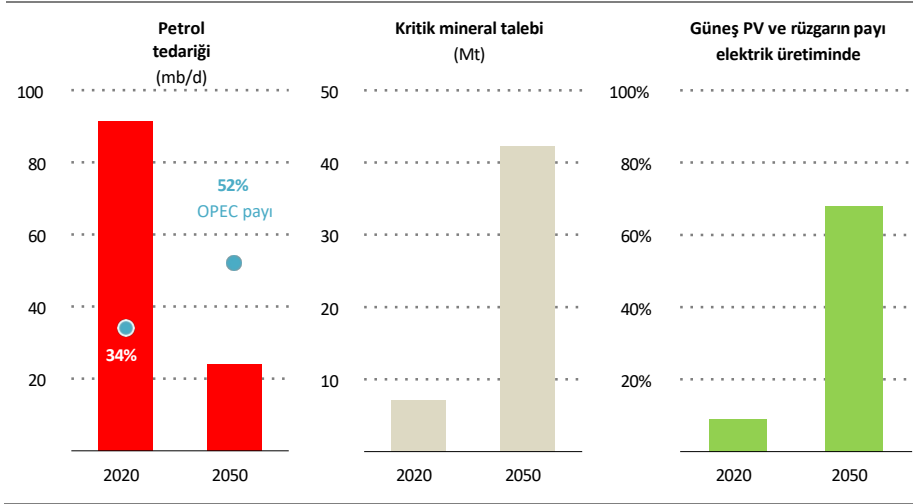
Ortaya çıkan enerji güvenliği risklerini şimdi ele alın

Enerji ve enerjiyle ilgili kritik malların uygun fiyatlarla kesintisiz ve güvenilir bir şekilde tedarik edilmesinin net sıfıra giden yolda önemi daha da artacaktır.

Yenilenebilir elektriğe olan bağımlılık arttıkça ve petrol ve gazın rolü azaldıkça enerji güvenliğinin odak noktası da değişecektir. Elektriğin artan öneminden kaynaklanan potansiyel kırılganlıklar arasında arzın değişkenliği ve siber güvenlik riskleri yer almaktadır. Hükümetlerin bataryalara, dijital çözümlere ve elektrik şebekelerine yapılacak yatırımlar için esnekliği ödüllendiren ve yeterli ve güvenilir elektrik arzını mümkün kılan pazarlar oluşturması gerekmektedir. Temel temiz enerji teknolojileri için gerekli olan kritik minerallere artan bağımlılık, hem zamanında hem de güvenilir elektrik tedarikini sağlamak için yeni uluslararası mekanizmalar gerektirmektedir.

kaynakların bulunabilirliği ve sürdürülebilir üretim. Aynı zamanda, geleneksel enerji Petrol üretimi daha da yoğunlaşacağı için güvenlik endişeleri ortadan kalkmayacaktır.

Net sıfır yolunda küresel enerji güvenliği göstergeleri



Not: mb/d= günlük milyon varil; Mt= milyon ton.

Uluslararası işbirliği 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmak için çok önemli

Net sıfır emisyonu gerçeğe dönüştürmek, tüm hükümetlerin birbiriyle, işletmelerle, yatırımcılarla ve vatandaşlarla birlikte çalışarak tek ve sarsılmaz bir şekilde odaklanmasına bağlıdır. Tüm paydaşların üzerlerine düşen rolü oynamaları gerekmektedir. Net sıfır yolunda hükümetler tarafından her düzeyde benimsenen geniş kapsamlı önlemler, tüketicilerin satın alma ve işletmelerin yatırımlarını çerçevelemeye, etkilemeye ve teşvik etmeye yardımcı olur. Bu, enerji şirketlerinin enerji hizmetleri üretmenin ve tedarik etmenin yeni yollarına nasıl yatırım yaptıklarını, işletmelerin ekipmana nasıl yatırım yaptıklarını ve tüketicilerin evlerini nasıl soğuttuklarını ve ısıttıklarını, cihazlarını nasıl çalıştırdıklarını ve seyahat ettiklerini içerir.

Tüm bu değişikliklerin temelinde hükümetler tarafından alınan politika kararları yatmaktadır. Maliyet etkin ulusal ve bölgesel net sıfır yol haritalarının oluşturulması, siloları yıkan ve enerjiyi her ülkenin finans, işgücü, vergilendirme, ulaşım ve sanayi politikalarına entegre eden hükümetin tüm arasında işbirliği gerektirmektedir. Enerji veya çevre bakanlıkları 2050 yılına kadar net sıfıra ulaşmak için gereken politika eylemlerini tek başlarına gerçekleştiremezler.

Enerji tüketimindeki değişiklikler fosil yakıt vergi gelirlerinde önemli bir düşüşe neden olmaktadır. Bugün birçok ülkede dizel, benzin ve diğer fosil yakıt tüketiminden alınan vergiler, bazı durumlarda %10'a varan oranlarda kamu gelirlerinin önemli bir kaynağıdır. Net sıfır patikasında, petrol ve gaz perakende satışlarından elde edilen vergi geliri 2020 ile 2030 yılları arasında yaklaşık %40 oranında düşecektir. Bu düşüşün yönetilmesi uzun vadeli mali planlama ve bütçe reformları gerektirecektir.

Net sıfır yolu, özellikle inovasyon ve yatırım konularında hükümetler arasında benzeri görülmemiş bir uluslararası işbirliğine dayanmaktadır. IEA, ulusal ve bölgesel net sıfır yol haritalarının hazırlanmasında hükümetleri desteklemeye, bunların uygulanmasında rehberlik ve yardım sağlamaya ve dünya çapında enerji dönüşümünü hızlandırmak için uluslararası işbirliğini teşvik etmeye hazırdır.

PRIORITY

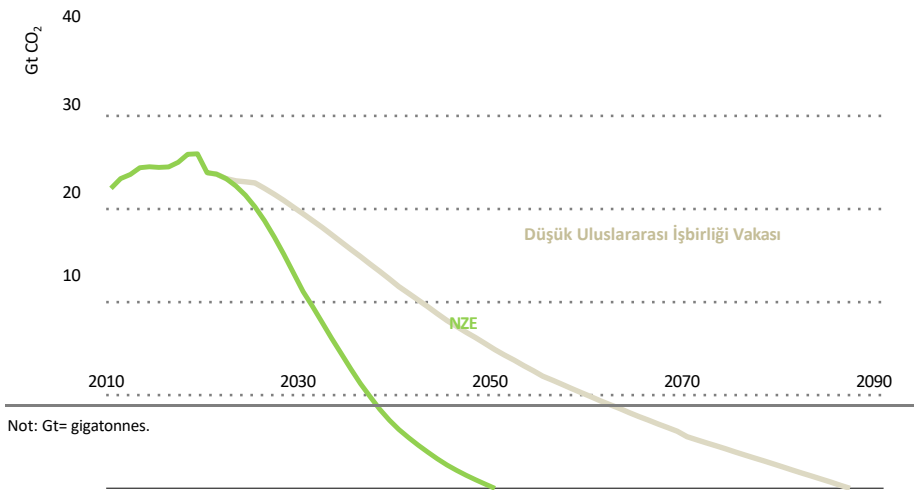
ACTION

Uluslararası işbirliğini yeni zirvelere taşıyın

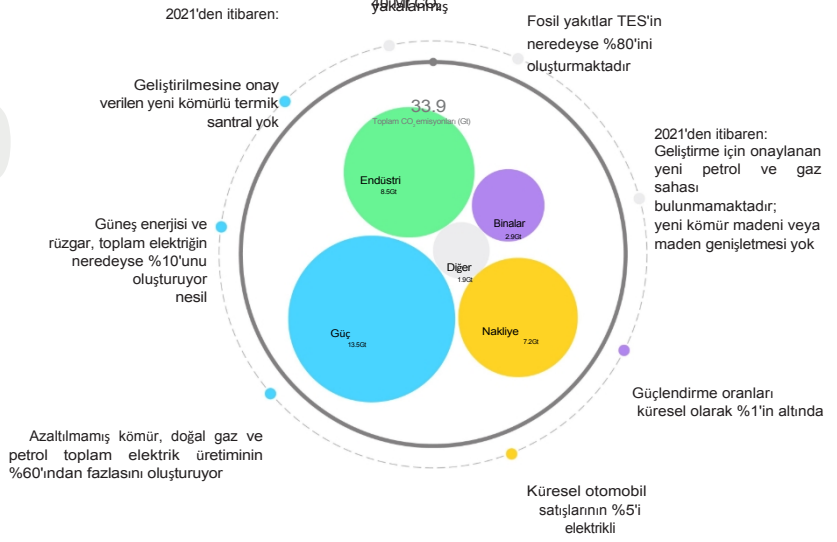
Bu sadece tüm hükümetlerin kendi ulusal emisyonlarını net sıfır seviyesine getirmeye çalışması meselesi değildir; eşgüdümlü eylemler yoluyla küresel zorlukların üstesinden gelinmesi anlamına gelmektedir.

Hükümetler, sınırları aşan tutarlı tedbirleri uygulamak için etkili ve karşılıklı fayda sağlayacak şekilde birlikte çalışmalıdır. Bu, yerel istihdam yaratma ve yerel ticari avantajlar ile temiz enerji teknolojisinin yaygınlaştırılmasına yönelik kolektif küresel ihtiyacın dikkatli bir şekilde yönetilmesini içerir. İnovasyonun hızlandırılması, uluslararası standartların geliştirilmesi ve temiz teknolojilerin yaygınlaştırılması için koordinasyonun ulusal pazarları birbirine bağlayacak şekilde yapılması gerekmektedir. İşbirliği, farklı ülkelerin kalkınma aşamalarındaki farklılıkları ve toplumun farklı kesimlerinin değişen durumlarını kabul etmelidir. Birçok zengin ülke için, uluslararası işbirliği olmaksızın net sıfır emisyonu ulaşmak daha zor ve maliyetli olacaktır. Birçok gelişmekte olan ülke için, uluslararası yardım olmadan net sıfıra giden yol açık değildir. Temel teknolojilerin ve altyapının yaygınlaştırılmasını sağlamak için teknik ve mali desteğe ihtiyaç vardır. Daha fazla uluslararası işbirliği olmadan, küresel CO₂ emisyonları 2050 yılına kadar net sıfıra düşmeyecektir.

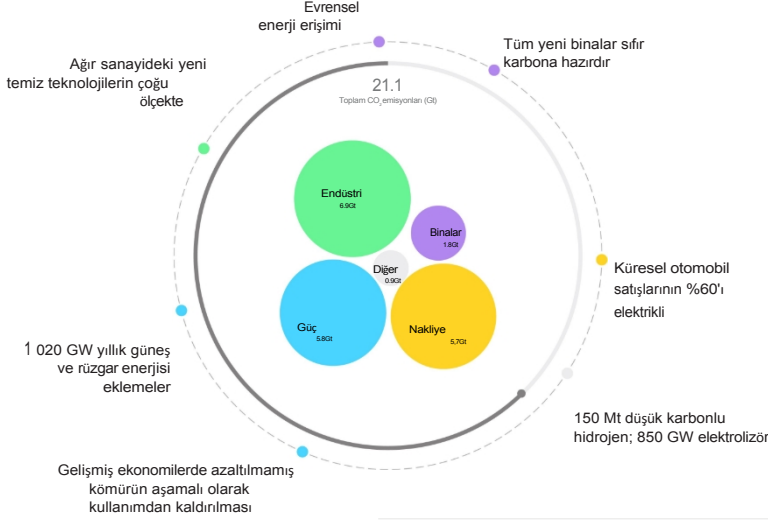
Net sıfır yolunda küresel enerjiyle ilgili CO₂ emisyonları ve Düşük Uluslararası İşbirliği Durumu



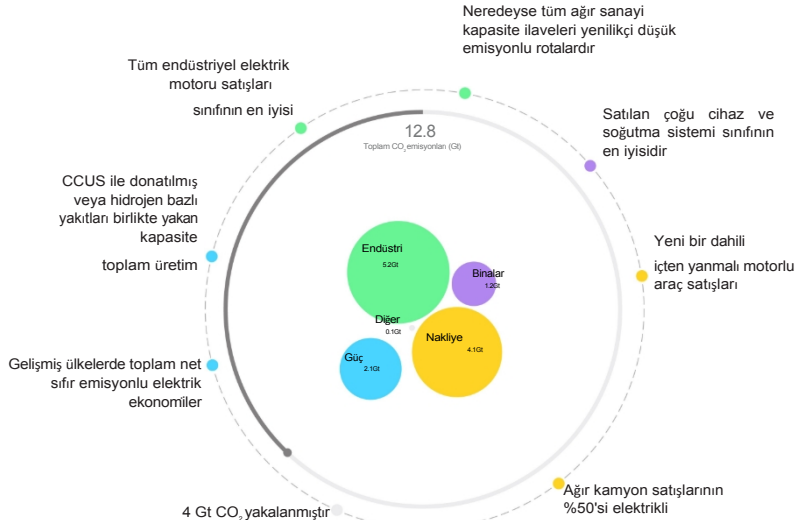
2020



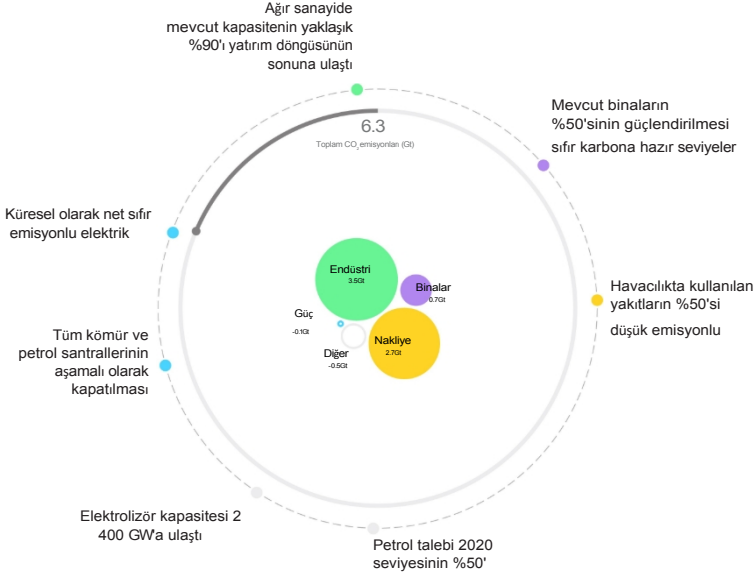
2030



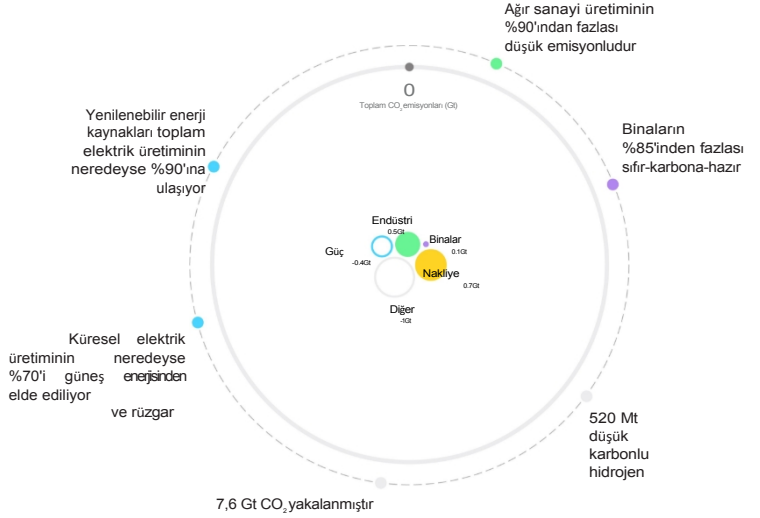
2035



2040



2050



Açıklanan net sıfır taahhütleri ve enerji sektörü

SUMMARY

- Geçtiğimiz yıl sera gazı emisyonlarını net sıfıra indirmeyi taahhüt eden hükümetlerin sayısında hızlı bir artış olmuştur. Bugüne kadar yapılan net sıfır taahhütleri küresel GSYH ve CO₂ emisyonlarının yaklaşık %70'ini kapsamaktadır. Ancak, ilan edilen net sıfır taahhütlerinin dörtte birinden daha azı ulusal mevzuatta yer almakta ve çok azı bu taahhütlerin tam olarak ve zamanında yerine getirilmesini sağlayacak özel tedbirler veya politikalarla desteklenmektedir.
- Belirtilen Politikalar Senaryosu (STEPS) sadece yürürlükte olan veya hükümetler tarafından açıklanan belirli politikaları dikkate almaktadır. Yıllık enerji ve endüstriyel proses CO₂ emisyonları 2020'de 34 Gt iken 2030'da 36 Gt'a yükselecek ve 2050'ye kadar bu seviyede kalacaktır. Emisyonlar bu yörüngede devam ederse, enerjiyle ilgili olmayan sera gazı emisyonlarında da benzer değişikliklerle birlikte, bu durum yaklaşık olarak aşağıdaki sıcaklık artışına yol açacaktır
2100 yılına kadar 2,7 °C (%50 olasılıkla). Yenilenebilir enerji kaynakları 2050 yılında küresel elektrik üretiminin neredeyse %55'ini sağlamaktadır (2020'de %29'dan), ancak temiz enerji geçişleri diğer sektörlerde gecikmektedir. Küresel kömür kullanımı 2020 ve 2050 yılları arasında %15 azalırken, yılında petrol kullanımı 2020 yılına göre %15, doğal gaz kullanımı ise neredeyse %50 daha yüksektir.
- Açıklanan Taahhütler Vakası (APC), halihazırda belirli politikalarla desteklensin ya da desteklenmesin, açıklanan tüm ulusal net sıfır taahhütlerinin tam olarak ve zamanında gerçekleştirildiğini varsaymaktadır. Küresel enerji ve endüstriyel proses CO₂ emisyonları 2030 yılında 30 Gt'a, 2050 yılında ise 22 Gt'a düşecektir. Bu yörüngenin enerji dışı sera gazı emisyonlarında benzer bir eylemle genişletilmesi, 2100 yılında yaklaşık 2,1 °C'lık bir sıcaklık artışına yol açacaktır (%50 olasılıkla). Küresel elektrik üretimi neredeyse iki katına çıkarak 2050 yılında 50.000 TWh'yi aşacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı 2050'de yaklaşık %70'e yükselir. Petrol talebi 2019'daki zirvesine geri dönmez ve 2020'den itibaren yaklaşık %10 düşerek 2050'de 80 mb/d'ye iner. Kömür kullanımı 2050'de %50 azalarak 2 600 Mtce'ye düşerken, doğal gaz kullanımı 2025'te %10 artarak 4 350 bcm'ye ulaşır ve 2050'ye kadar bu seviyede kalır.
- Verimlilik, elektrifikasyon ve elektrik üretiminde kömürün yerini düşük emisyonlu kaynakların alması, APC'de özellikle 2030'a kadar olan dönemde net sıfır hedeflerine ulaşılmasında merkezi bir rol oynamaktadır. Nükleer, hidrojen, biyoenerji ve CCUS'un göreceli katkıları, koşullarına bağlı olarak ülkeler arasında farklılık göstermektedir.
- APC ve STEPS arasındaki eğilimlerdeki farklılık, mevcut net sıfır taahhütlerinin yaratabileceği farkı gösterirken, aynı zamanda uzun vadeli net sıfır taahhütleriyle tutarlı somut politikalara ve kısa vadeli planlara olan ihtiyacın altını çizmektedir. Bununla birlikte APC, mevcut net sıfır taahhütlerinin, tamamı yerine getirile bile, 2050 yılına kadar küresel net sıfır emisyonu ulaşmak için gerekli olanın çok gerisinde kaldığını da açıkça vurgulamaktadır.

1.1 Giriş

Kasım 2021, 2015 yılında Paris Anlaşması'nın imzalanmasından bu yana en önemli BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) Taraflar Konferansı'na (COP 26) sahne olacak. COP 26 yaklaşırken, giderek artan sayıda ülke önümüzdeki on yıllarda net sıfır sera gazı (GHG) emisyonuna ulaşmak için uzun vadeli hedefler açıkladı. 31 Mart 2021 tarihinde Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), Paris Anlaşması'nın hedeflerine ulaşmak için ülkelerin ve şirketlerin artan taahhüt listesini değerlendirmek ve bu net sıfır hedeflerini gerçeğe dönüştürmeye başlamak için gerekli eylemlere odaklanmak amacıyla bir Net Sıfır Zirvesi düzenledi.

Bu hedeflere ulaşmak zorlu olacaktır. Covid-19 salgını dünya ekonomisinde büyük bir şok yaratarak 2020 yılında CO₂ emisyonlarında %5,8'lik benzeri görülmemiş bir düşüşe neden oldu. Ancak aylık verilerimiz, küresel enerji CO₂ emisyonlarının Aralık 2020'de yeniden tırmanmaya başladığını gösteriyor ve 2021'de yaklaşık 33 gigaton karbondioksit (Gt CO₂) seviyesine, yani 2019'daki seviyenin sadece %1,2 altına gerileyeceğini tahmin ediyoruz (IEA, 2021). Sürdürülebilir ekonomik toparlanma paketleri, 2019'u küresel emisyonlarda kesin zirve yapmak için eşsiz bir fırsat sundu, ancak şimdiye kadarki kanıtlar, en azından yakın vadede, yenilenen ekonomik büyümeye paralel olarak emisyonlarda bir toparlanmaya işaret ediyor (IEA, 2020a).

Son IEA analizleri, ülkelerin ve bölgelerin net sıfır emisyonlu enerji sistemlerine ulaşmaları için gereken teknolojileri ve politikaları incelemiştir. *Dünya Enerji Görünümü 2020*, pandemiye bağlı ekonomik toparlanma bağlamında dünyayı 2050 yılına kadar net sıfır emisyonla doğru bir yola sokmak için 2030'a kadar olan dönemde nelere ihtiyaç duyulacağını incelemiştir (IEA, 2020b). *Enerji Teknolojisi Perspektifleri 2020*'de Daha Hızlı İnovasyon Örneği, sadece hızlandırılmış enerji teknolojisi geliştirme ve dağıtım yoluyla 2050 yılına kadar küresel olarak net sıfır emisyonla ulaşılabileceğini araştırmıştır: temel eğilimlere göre, 2050 yılında net sıfır emisyonla ulaşmak için gereken emisyon tasarruflarının neredeyse yarısının henüz ticari olarak mevcut olmayan teknolojilere bağlı olduğunu göstermiştir (IEA, 2020c).

COP 26'nın Birleşik Krallık Başkanının talebi üzerine hazırlanan bu özel rapor, 2050 yılına kadar küresel olarak enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂ emisyonlarının net olarak sıfırlanmasına yönelik kapsamlı ve ayrıntılı bir yol haritası oluşturmak üzere her iki rapordan elde edilen bilgileri ve çıkarılan dersleri bir araya getirmektedir. Bu hedefe ulaşmanın maliyetlerini, istihdam ve ekonomi üzerindeki olası etkilerini ve dünya için daha geniş kapsamlı sonuçlarını değerlendirmektedir. Ayrıca, 2050'ye giden yolda ihtiyaç duyulan teknolojiler, altyapı, yatırım ve politikalar için kilit kilometre taşlarını vurgulamaktadır.

Bu rapor dört bölümden oluşmaktadır:

- **Bölüm 1**, mevcut politikalar ve taahhütler temelinde küresel CO₂ emisyonları ile enerji arzı ve kullanımına ilişkin görünümü incelemektedir. Küresel enerji kullanımı ve emisyonlara ilişkin projeksiyonlar, yalnızca yürürlükte olan veya ülkeler tarafından açıklanan kesin politikaları içeren **Belirtilmiş Politikalar** Senaryosuna (STEPS) dayalı olarak ortaya konmaktadır.

Belirlenmiş Katkılar. Ayrıca, bugüne kadar dünyanın dört bir yanındaki ülkeler tarafından açıklanan net sıfır hedeflerinin tamamının karşılandığını varsayan STEPS'in bir çeşidi olan **Açıklanmış Taahhütler Durumunu (APC)** da incelemektedir.

- **Bölüm 2**, dünyanın **2050** yılına kadar net sıfır **emisyonu** ulaşması için enerji talebinin ve enerji karışımının nasıl değişmesi gerektiğini açıklayan 2050'ye Kadar Net Sıfır **Emisyon Senaryosunu (NZE)** sunmaktadır. Ayrıca, ilgili yatırım ihtiyaçlarını değerlendirmekte ve teknoloji ve tüketici davranışını çevreleyen temel belirsizlikleri araştırmaktadır.
- **Bölüm 3**, NZE'nin fosil yakıt tedariki, düşük emisyonlu yakıtların (hidrojen, amonyak, biyoyakıtlar, sentetik yakıtlar ve biyometan gibi) tedariki ve elektrik, ulaştırma, sanayi ve bina sektörlerini kapsayan çeşitli sektörler üzerindeki etkilerini incelemektedir. NZE'de net sıfır emisyonu ulaşmak için gereken temel değişiklikleri ve yol boyunca ihtiyaç duyulan önemli kilometre taşlarını vurgulamaktadır.
- **Bölüm 4**'te NZE'nin ekonomi, enerji sektörü, vatandaşlar ve hükümetler üzerindeki etkileri incelenmektedir.

1.2 Emisyon azaltım hedefleri ve net sıfır taahhütleri

1.2.1 Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılar

Paris Anlaşması kapsamında, Tarafların ¹ BMİDÇS'ye Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılarını (NDC) sunmaları ve belirtilen hedeflere ulaşmak amacıyla politikalar uygulamaları gerekmektedir. Süreç dinamik; Tarafların NDC'lerini her beş yılda bir mümkün olan en yüksek azmi yansıtabilecek şekilde aşamalı olarak güncellemelerini gerektirir. NDC'lerin 191 ülke tarafından sunulan ilk turu, küresel enerji ve endüstriyel proses CO₂ emisyonlarının %90'ından fazlasını kapsamaktadır. ² İlk NDC'ler bazı hedefleri koşulsuz, bazılarını ise finansman, teknoloji ve diğer uygulama araçları için uluslararası desteğe bağlı olarak içeriyordu.

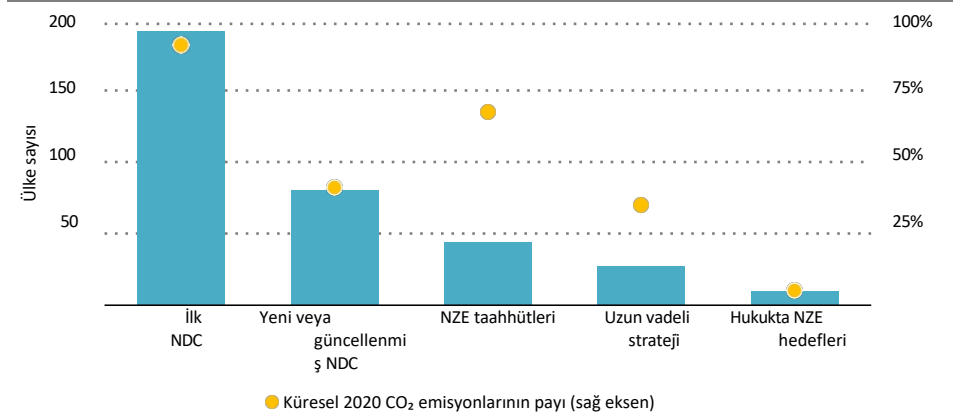
23 Nisan 2021 itibarıyla 80 ülke, küresel CO₂ emisyonlarının %40'ından biraz fazlasını kapsayan yeni veya güncellenmiş NDC'leri UNFCCC'ye sunmuştur (Şekil 1.1).³ Güncellenmiş NDC'lerin birçoğu, ilk NDC turuna göre daha katı hedefler veya daha fazla sayıda sektör veya daha geniş bir sera gazı kapsamı için hedefler içermektedir. Buna ek olarak, 27 ülke ve Avrupa Birliği, Paris Anlaşması'nda talep edildiği üzere, BMİDÇS'ye uzun vadeli düşük sera gazı emisyonlu kalkınma stratejilerini bildirmiştir. Bu stratejilerden bazıları net sıfır taahhüdü içermektedir.

¹ Taraflar, Birleşmiş Milletler üyesi tüm devletleri, Birleşmiş Milletler Genel Kurulu Gözlemci Devleti Filistin'i, BM üyesi olmayan Niue ve Cook Adaları ile Avrupa Birliği'ni içeren BMİDÇS'nin 197 üyesini ifade eder

² Aksi belirtilmedikçe, bu rapordaki CO₂ emisyonları enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂ emisyonlarını ifade etmektedir.

³ Bazı ülkeler 2021 veya 2022'de yeni veya güncellenmiş NDC'ler sunmayı planladıklarını belirtmişlerdir.

Şekil 1.1 ► NDC'leri, uzun vadeli stratejileri ve net sıfır taahhütleri olan ülkelerin sayısı ve 2020 küresel CO₂ emisyonlarındaki payları



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Paris Anlaşması'nı onaylayan ülkelerin yaklaşık %40'ı NDC'lerini güncellemiştir, ancak net sıfır taahhütleri küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %70'ini kapsamaktadır

1.2.2 Net sıfır emisyon taahhütleri

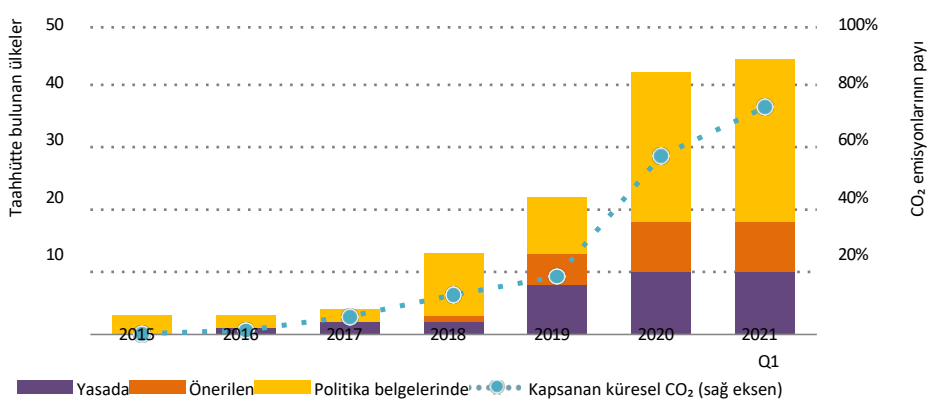
Sera gazı emisyonlarını net sıfıra indirmeyi taahhüt eden hükümetlerin sayısında hızlı bir artış olmuştur (Şekil 1.2). Paris Anlaşması'nda ülkeler, "yüzyılın ikinci yarısında sera gazlarının kaynakları tarafından yapılan insan kaynaklı emisyonlar ile yutakları tarafından yapılan uzaklaştırmalar arasında bir denge sağlamayı" kabul etmiştir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) *1,5 °C Küresel Isınma Özel Raporu*, iklim değişikliğinin en kötü etkilerinden kaçınmak için yüzyılın ortasında veya daha erken bir tarihte küresel olarak net sıfır CO₂ emisyonuna ulaşmanın önemini vurgulamıştır (IPCC, 2018).

Net-sıfır emisyon taahhütleri ulusal hükümetler, ulus-altı yetki alanları, koalisyonlar ⁽⁴⁾ ve çok sayıda kurumsal kuruluş tarafından açıklanmıştır (bkz. Spotlight). 23 Nisan 2021 , 44 ülke ve Avrupa Birliği net sıfır emisyon hedefine ulaşmayı taahhüt etmiştir: toplamda küresel CO₂ emisyonlarının ve GSYH'nin yaklaşık %70'ini oluşturmaktadırlar (Şekil 1.3). Bunlardan on ülke net sıfır hedefine ulaşmayı yasal bir zorunluluk haline getirmiş, sekizi bunu yasal bir zorunluluk haline getirmeyi teklif etmekte ve geri kalanı da resmi politika belgelerinde taahhütte bulunmuştur.

⁴ Örnekler arasında, imzacıların 2050 yılına kadar net sıfır emisyonuna ulaşmak için çalıştıklarını belirttikleri BM öncülüğündeki İklim Hırısı İttifakı ve 2017 yılında BM İklim Zirvesi'nde başlatılan ve imzacıların sıcaklık artışlarını 1,5 °C ile sınırlama doğrultusunda uzun vadeli düşük sera gazı emisyon stratejileri geliştirmeyi taahhüt ettikleri Karbon Nötrlüğü Koalisyonu yer almaktadır.

Şekil 1.2

Ulusal net sıfır taahhütlerinin sayısı ve kapsanan küresel CO₂ emisyonlarının payı



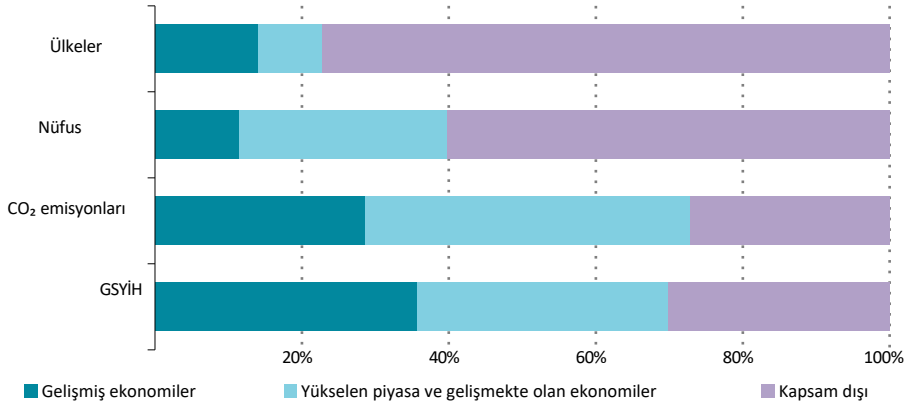
IEA. Tüm hakları saklıdır.

Hükümetler tarafından açıklanan net-sıfır emisyon taahhütlerinde önemli bir hızlanma olmuş ve bu taahhütler giderek daha fazla sayıda kanunla güvence altına alınmıştır

Notlar: Yasada = net sıfır taahhüdü parlamento tarafından onaylanmıştır ve yasal olarak bağlayıcıdır. Teklif edilen = net sıfır taahhüdü kanun olarak oylanmak üzere parlamentoya teklif edilmiştir. Politika belgesinde= net sıfır taahhüdü önerilmiştir ancak yasal olarak bağlayıcı statüye sahip değildir.

Şekil 1.3

Açıklanan ulusal net sıfır taahhütlerinin kapsamı



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Küresel CO₂ emisyonlarının ve GSYİH'nın yaklaşık %70'ini oluşturan ülkeler, yasalarda veya önerilen mevzuatta ya da resmi bir politika belgesinde net sıfır taahhüdü belirlemiştir

Not: GSYİH= satın alma gücü paritesine göre gayrisafi yurtiçi hasıla.

NDC'lerde yer alan bazı daha kısa vadeli taahhütlerin aksine, net sıfır taahhütlerinin çok azı ayrıntılı politikalar ve uygulamaya yönelik kesin yollarla desteklenmektedir. Net sıfır emisyon taahhütleri de zaman ölçeği ve kapsam açısından önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bazı temel farklılıklar şunlardır:

- **Sera gazı kapsamı.** Taahhütlerin çoğu tüm sera gazı emisyonlarını kapsar, ancak bazıları belirli emisyon türleri için muafiyetler veya farklı kuralları içerir. Örneğin, Yeni Zelanda'nın net sıfır taahhüdü, ayrı bir azaltma hedefi olan biyogenik metan hariç tüm sera gazlarını kapsamaktadır.
- **Sektörel sınırlar.** Bazı taahhütler belirli sektörlerden veya faaliyetlerden kaynaklanan emisyonları hariç tutmaktadır. Örneğin, Hollanda sadece elektrik sektöründe (toplam sera gazı emisyonlarının %95 oranında azaltma hedefinin bir parçası olarak) net sıfır sera gazı emisyonuna ulaşmayı hedeflemektedir ve Fransa, Portekiz ve İsveç dahil olmak üzere bazı ülkeler uluslararası havacılık ve deniz taşımacılığını hariç tutmaktadır.
- **Karbondiyoksit gideriminin (CDR) kullanımı.** Taahhütler, bir ülkenin egemenlik alanı içindeki CDR'yi hesaba katmak için farklı yaklaşımlar benimsemektedir. CDR seçenekleri arasında ormanlar ve toprak gibi doğal CO₂ yutaklarının yanı sıra doğrudan hava yakalama veya karbon yakalama ve depolama ile biyoenerji gibi teknolojik çözümler de yer almaktadır. Örneğin Uruguay, net sıfır emisyonuna ulaşmasına yardımcı olmak için doğal CO₂ yutaklarının kullanılacağını belirtirken, İsviçre 2050 yılında kalan emisyonlarının bir kısmını dengelemek için CDR teknolojilerini kullanmayı planlamaktadır.
- **Uluslararası azaltım transferlerinin kullanımı.** Bazı taahhütler, bir ülkenin sınırları dışında gerçekleşen sera gazı azaltımının, örneğin karbon kredilerinin transferi yoluyla net sıfır hedefine sayılmasına izin verirken, diğerleri izin vermemektedir. Örneğin, Norveç uluslararası transferlerin potansiyel kullanımına izin verirken, Fransa bunları açıkça . İsveç gibi bazı ülkeler bu tür transferlere izin vermekte ancak kullanımları için bir üst sınır belirlemektedir.
- **Zaman çerçevesi.** 2020'de küresel CO₂ emisyonlarının %35'ini kapsayan taahhütlerin çoğunluğu 2050'ye kadar net sıfır emisyonu hedeflemektedir, ancak Finlandiya bu hedefe 2035'te, Avusturya ve İzlanda 2040'ta ve İsveç 2045'te ulaşmayı amaçlamaktadır. Diğerlerinin yanı sıra, Çin Halk Cumhuriyeti (bundan sonra Çin olarak anılacaktır) ve Ukrayna 2050'den sonra bir hedef tarih belirlemiştir.

SPOTLIGHT

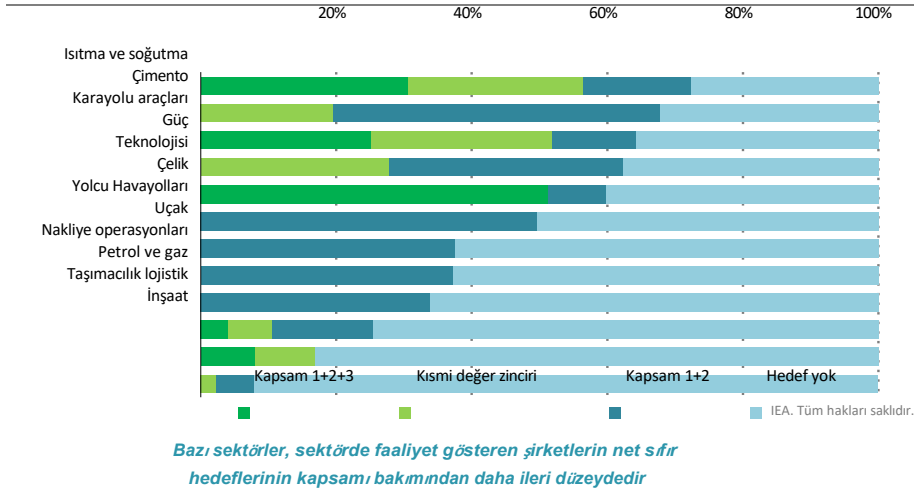
İşletmeler net sıfır emisyonla ulaşma ihtiyacına nasıl yanıt veriyor?

Son yıllarda şirketlerin net-sıfır emisyon duyuruları hızla artmaktadır: Şubat 2021 itibarıyla, doğrudan büyük miktarda enerji tüketen veya enerji tüketen ürünler üreten yaklaşık 110 şirket net-sıfır emisyon amaçlarını veya hedeflerini açıklamıştır.

Küresel ısıtma ve soğutma ekipmanları, karayolu taşıtları, elektrik ve çimento üretiminin yaklaşık %60-70'i net-sıfır emisyon hedeflerini ilan eden şirketler tarafından gerçekleştirilmektedir (Şekil 1.4). Teknoloji sektöründeki brüt gelirin yaklaşık %60'ı da net sıfır emisyon hedefi olan şirketler tarafından elde edilmektedir. Diğer sektörlerde, net sıfır

Taahhütler hava ve deniz taşımacılığı faaliyetlerinin %30-40'ını, nakliye lojistiğinin %15'ini ve inşaat sektörünün %10'unu kapsamaktadır. Tüm bu payların, daha fazla şirket taahhütte bulunduğu büyümeye devam etmesi muhtemeldir.

Şekil 1.4► 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşma taahhüdünde bulunan enerji ile ilgili büyük şirketlerin sektörel faaliyetleri



Notlar: Kapsam 1= sahip olunan veya kontrol edilen enerji ve diğer kaynaklardan kaynaklanan doğrudan emisyonlar. Kapsam 2= elektrik ve ısı üretiminden ve satın alınan ve kullanılan yakıtlardan kaynaklanan dolaylı emisyonlar. Kapsam 3 = sahip olunmayan veya doğrudan kontrol edilmeyen ancak faaliyetleriyle ilgili kaynaklardan kaynaklanan dolaylı emisyonlar (çalışanların seyahati, satın alınan malzeme ve yakıtların çıkarılması, taşınması ve üretimi ve yakıtların, ürünlerin ve hizmetlerin son kullanımı gibi). Kısmi değer zinciri, bir şirketin değer zincirinin belirli coğrafi konumlarındaki veya bölümlerindeki Kapsam 1 ve 2 emisyonlarını ve Kapsam 3 emisyonlarını içerir.

Kaynak: Her sektördeki en büyük 10-25 şirketin şirket raporlarına dayanan IEA analizi.

Şirket taahhütleri kolaylıkla karşılaştırılabilir olmayabilir. Çoğu şirket emisyonları hesaba katmakta ve GHG Protokolüne (WRI, WBCSD, 2004) dayalı net sıfır taahhütleri belirlemektedir, ancak bu taahhütlerin kapsamı ve zaman çerçevesi büyük farklılıklar göstermektedir. Bazıları, örneğin FedEx, ArcelorMittal ve Maersk gibi, ofislerde ve üretim tesislerinde sıfır emisyonlu elektrik kullanımına geçerek ve taşımacılıkta veya endüstriyel operasyonlarda petrol kullanımını ortadan kaldırarak sadece kendi emisyonlarını kapsamaktadır. Diğerleri ise, Avrupa'daki Renault gibi değer zincirlerinin belirli bölümlerinden kaynaklanan daha geniş emisyonları veya Daikin, Toyota, Shell, Eni ve Heidelberg gibi faaliyetleriyle ilgili tüm dolaylı emisyonları kapsamaktadır. Taahhütlerin yaklaşık %60'ı 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmayı hedeflemektedir, ancak bazı şirketler 2030 veya 2040 gibi daha erken bir son tarih belirlemiştir.

Net sıfır taahhütlerini açıklayan şirketlerin yaklaşık %40'ı henüz bu taahhütlere nasıl ulaşmayı hedeflediklerini belirtmemiştir. Ayrıntılı planları olanlar için ana seçenekler arasında doğrudan emisyon azaltımları, ağaçlandırmaya, biyoenerji gibi CO₂ giderme teknolojilerinin kullanımı

karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS) veya CO₂ depolama ile doğrudan hava yakalama ve emisyon satın alma (başka bir yerde meydana gelen emisyon azaltımları yoluyla üretilen krediler). Emisyon kredisi üretme planlarının kalıcı, ek ve doğrulanmış emisyon azaltımlarıyla sonuçlanması koşuluyla, emisyon azaltımlarının en zor olduğu değer zincirlerinin bazı kısımlarındaki emisyonları ortadan kaldırmak için denkleştirmelerin kullanılması uygun maliyetli bir mekanizma olabilir. Ancak, küresel olarak net sıfır emisyonla tutarlı emisyon kredisi arzının sınırlı olması muhtemeldir ve bu tür kredilerin kullanımı, yatırımı doğrudan emisyon azaltımı sağlayan seçeneklerden sapabilir.

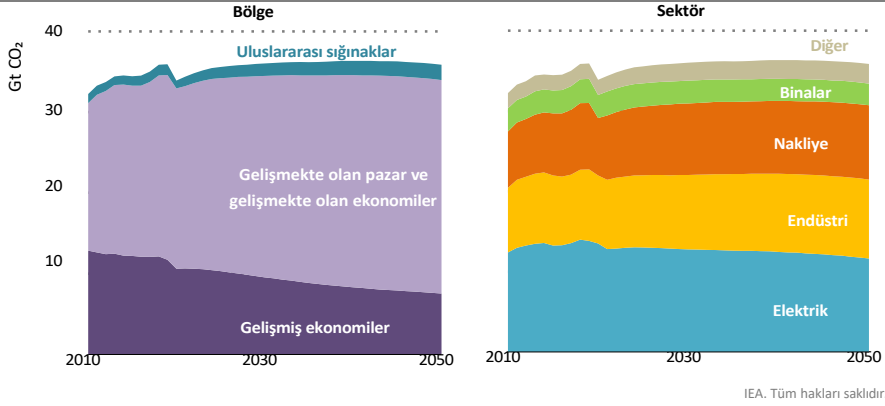
1.3 STEPS'te emisyonlar ve enerji için görünüm

IEA Belirtilen Politikalar Senaryosu (STEPS), enerji sektörü için mevcut ve belirtilen politikaların sonuçlarını göstermektedir. Ulusal enerji ve iklim planları ve bunları destekleyen politikalara ilişkin en son bilgilerden yararlanmaktadır. Ülkelerin Eylül 2020'ye kadar Paris Anlaşması kapsamında ortaya koydukları NDC'ler ve ilan edilen ekonomik teşvik ve toparlanma paketlerinin enerji bileşenleri de dahil olmak üzere, sağlam uygulama mevzuatı veya düzenleyici önlemlerle desteklenen tüm politikaları dikkate almaktadır. Şimdiye kadar çok az sayıda net sıfır emisyon taahhüdü ayrıntılı politikalar, uygulama planları veya ara hedeflerle desteklenmiştir: bu nedenle çoğu net sıfır taahhüdü STEPS'e dahil edilmemiştir.

1.3.1 CO₂ emisyonları

STEPS'teki küresel CO₂ emisyonları, son trendlerde sadece marjinal bir genel iyileşme getirmektedir. Yenilenebilir enerjiye geçiş, elektrik sektöründeki emisyonlarda erken bir zirveye yol açmaktadır, ancak tüm sektörlerdeki azaltımlar, 2050'de net sıfır emisyon için gerekli olanın çok gerisinde kalmaktadır. Yıllık CO₂ emisyonları 2020'de Covid-19 salgınının neden olduğu düşüşten sonra hızla toparlanmaktadır: 2020'de 34 Gt'den 2030'da 36 Gt'ye yükselmekte ve 2050'ye kadar bu seviyede kalmaktadır (Şekil 1.5). Emisyon eğilimleri 2050'den sonra aynı yörüngede devam ederse ve diğer sera gazı emisyon kaynaklarında orantılı değişiklikler olursa, küresel ortalama yüzey sıcaklığı artışı 2100 yılında yaklaşık 2,7 °C olacaktır (%50 olasılıkla).

Bir yanda gelişmiş ekonomilerdeki emisyon görünümü ile diğer yanda yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdeki emisyon görünümü arasında güçlü farklılıklar bulunmaktadır. Gelişmiş ekonomilerde, 2020'lerin başındaki küçük bir toparlanmaya rağmen, enerji talebini azaltmaya ve daha temiz yakıtlara geçmeye yönelik politikaların ve teknolojik ilerlemenin etkisi sayesinde CO₂ emisyonları 2020 ile 2050 yılları arasında yaklaşık üçte bir oranında azalacaktır. Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde, artan nüfus, hızlı ekonomik büyüme, kentleşme ve altyapının genişlemesi nedeniyle enerji talebi güçlü bir şekilde artmaya devam etmektedir: bu etkiler, enerji verimliliğindeki iyileştirmelerden ve temiz teknolojilerin yaygınlaştırılmasından daha ağır basarak, CO₂ emisyonlarının 2050'ye kadar marjinal bir şekilde azalmadan önce 1940'ların ortalarında neredeyse %20 artmasına neden olmaktadır.

Şekil 1.5►**STEPS'te bölge ve sektöre göre enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂ emisyonları**

Küresel CO₂ emisyonları 2020'den sonra hızla toparlanır ve ardından gelişmiş ekonomilerdeki düşüşlerin başka yerlerdeki artışlarla dengelenmesiyle plato çizer

Not: Diğer= tarım ve enerji sektöründe kendi kullanımı.

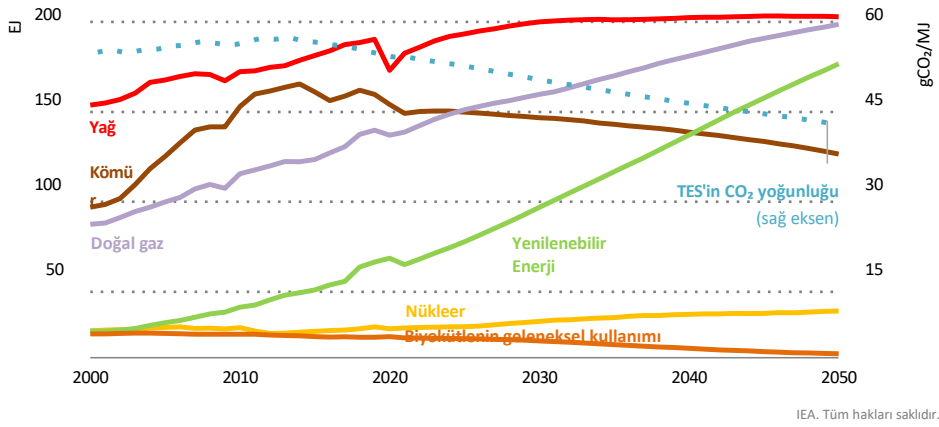
1.3.2 Toplam enerji arzı, toplam nihai tüketim ve elektrik üretimi

STEPS'te CO₂ emisyonlarında öngörülen eğilimler, kullanılan enerji miktarı ile yakıt ve teknoloji karışımındaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır. STEPS'te dünya genelinde toplam enerji arzı (TES)⁵ 2020 ve 2050 yılları arasında %30'un biraz üzerinde artmaktadır (Şekil 1.6). Enerji yoğunluğunda, yani GSYH birimi başına kullanımında öngörülen yıllık ortalama %2,2'lik azalma olmasaydı, 2050 yılında TES yaklaşık %85 daha yüksek olacaktır. Gelişmiş ekonomilerde, dönem boyunca ekonomik faaliyetlerde %75'lik bir artış olmasına rağmen, enerji kullanımı 2050 yılına kadar yaklaşık %5 oranında düşmektedir. Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde, enerji kullanımı 2050 yılına kadar %50 artarak 2020 ve 2050 yılları arasında ekonomik çıktının üç katına çıkmasını yansıtmaktadır. Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde GSYH ve enerji kullanımındaki artışa rağmen, 2050 yılında %95'inden fazlası Sahra altı Afrika'da olmak üzere 750 milyon insanın elektriğe erişimi olmayacak ve 1,5 milyar insan yemek pişirmek için geleneksel biyoenerji kullanımına güvenmeye devam edecektir.

Küresel yakıt karışımı 2020 ve 2050 yılları arasında önemli ölçüde değişmektedir. 2014'te zirve yapan kömür kullanımı yaklaşık %15 oranında düşmektedir. Pandemi nedeniyle 2020'de keskin bir düşüş gösteren petrol talebi hızla toparlanarak 2023'te 2019'daki günlük 98 milyon varil (mb/d) seviyesine geri dönüyor ve 2030'dan kısa bir süre sonra yaklaşık 104 mb/d'lik bir platoya ulaşıyor. Doğal gaz talebi 2020'de 3 900 milyar metreküpten (bcm) 2030'da 4 600 bcm'e ve 2050'de 5 700 'e yükselir. Nükleer enerji 2020 ve 2030 yılları arasında %15 oranında artarken, bu artış temel olarak Çin'deki genişlemeleri yansıtmaktadır.

⁵ Toplam birincil enerji arzı (veya toplam birincil enerji talebi), Uluslararası Enerji İstatistikleri Tavsiyeleri (IEA, 2020d) uyarınca toplam enerji arzı olarak yeniden adlandırılmıştır.

Şekil 1.6► STEPS'te toplam enerji arzı ve CO₂ emisyon yoğunluğu



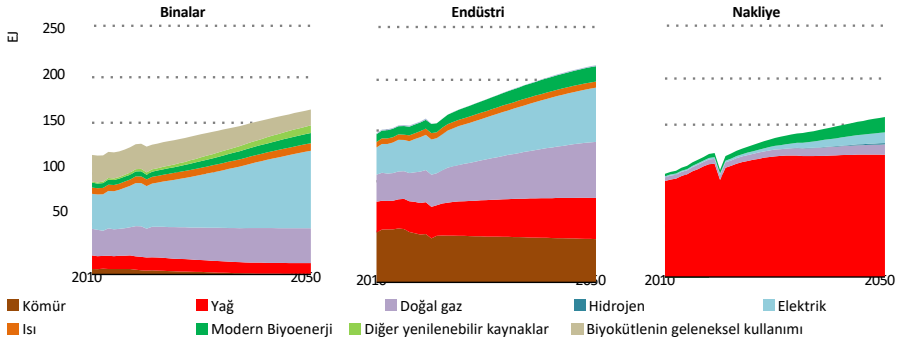
IEA. Tüm hakları saklıdır.

Kömür kullanımı azalıyor, petrol plato yapıyor ve yenilenebilir enerji kaynakları ve doğal gaz 2050'ye kadar önemli ölçüde artıyor

Not: EJ= exajoule; MJ= megajoule; TES= toplam enerji arzı.

Toplam nihai tüketim, STEPS'teki tüm sektörlerde, elektrik ve doğal gaz öncülüğünde artmaktadır (Şekil 1.7). Büyümenin tamamı yükselen piyasa ve geliştirmekte olan ekonomilerdedir. Enerji kullanımındaki en büyük değişiklik elektrik sektöründedir (Şekil 1.8). Küresel elektrik talebi 2020 ve 2050 yılları arasında %80 oranında artarak nihai enerji tüketimindeki genel büyüme oranının yaklaşık iki çıkacaktır. Küresel elektrik talebindeki büyümenin %85'inden fazlası yükselen piyasa ve geliştirmekte olan ekonomilerden gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarındaki güçlü büyümeye rağmen, kömür bu ekonomilerde 2050 yılına kadar elektrik üretiminde önemli bir rol oynamaya devam edecektir: gelişmiş ekonomilerde, elektrik üretimi için kömür kullanımı keskin bir şekilde düşmektedir.

Şekil 1.7► STEPS'te sektör ve yakıt bazında toplam nihai tüketim

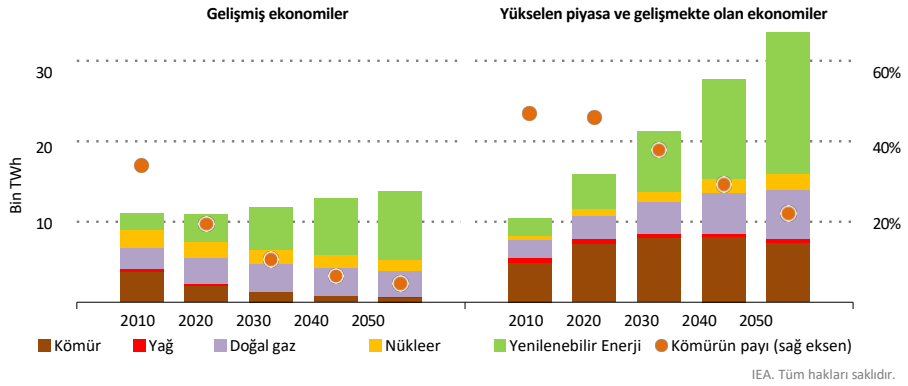


IEA. Tüm hakları saklıdır.

Nihai enerji tüketimi 2020 ile 2050 yılları arasında yılda ortalama %1 oranında artarken, artışın büyük kısmını elektrik ve doğal gaz karşılıyor

Şekil 1.8►

Yakıtlara göre elektrik üretimi ve STEPS'te kömürün payı



Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomiler, küresel elektrik talebindeki artışın çoğunu yönlendirmekte ve kömür önemini korumakla birlikte, esas olarak yenilenebilir enerji ve doğal gaz tarafından karşılanmaktadır

1.3.3 Mevcut varlıklardan kaynaklanan emisyonlar

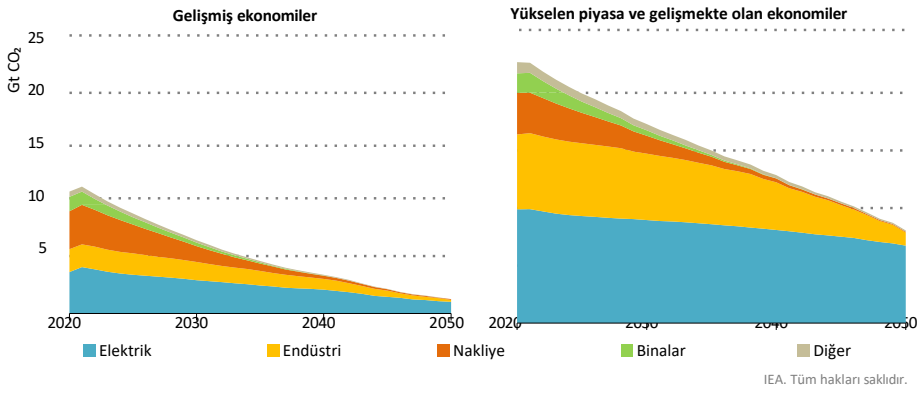
Enerji sektörü çok sayıda uzun ömürlü ve sermaye yoğun varlık içermektedir. Kentsel altyapı, boru hatları, rafineriler, kömürle çalışan enerji santralleri, ağır sanayi tesisleri, binalar ve büyük hidroelektrik santralleri 50 yılı aşan teknik ve ekonomik ömürlere sahip olabilir. Günümüz enerji altyapısının tipik kullanım ömrünün sonuna kadar geçmiştekine benzer bir şekilde işletilmesi durumunda, bunun 2020 ile 2050 yılları arasında 650 Gt CO₂'nin biraz altında kümülatif enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂ emisyonlarına yol açacağını tahmin ediyoruz. Bu, küresel ısınmanın %50 olasılıkla 1,5 °C ile sınırlandırılmasıyla tutarlı kalan toplam CO₂) bütçesinden yaklaşık %30 daha fazladır (bkz. Bölüm 2).

Elektrik sektörü, mevcut varlıklardan kaynaklanacak toplam emisyonların %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır; toplam emisyonların %40'ı tek başına kömürlü termik santrallerden kaynaklanacaktır. Çelik, çimento, kimya ve diğer sanayi sektörleri, mevcut varlıklardan kaynaklanan toplam emisyonların yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Bu alt sektörlerdeki üretim tesislerinin uzun ömürlü olması (bir yüksek fırın veya çimento fırını için tipik olarak 30-40 yıl) ve küresel sermaye stokunun nispeten genç yaşta olması, büyük katkılarını açıklamaktadır. Ulaştırma, mevcut varlıklardan kaynaklanan emisyonların %10'undan biraz fazlasını, binalar sektörü ise %5'inden biraz azını oluşturmaktadır. Ulaştırma ve bina sektörlerindeki araç ve ekipmanların ömrü genellikle elektrik ve sanayide olduğundan çok daha kısadır - örneğin binek otomobillerin genellikle yaklaşık 17 yıllık bir ömrü olduğu varsayılır - ancak yollar, elektrik şebekeleri ve gaz şebekeleri gibi ilgili altyapı ağlarının çok uzun ömürlüleri.

Mevcut varlıklardan kaynaklanan emisyon seviyelerinde bazı büyük bölgesel farklılıklar vardır (Şekil 1.9). Gelişmiş ekonomiler, özellikle elektrik sektöründe, yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilere göre çok daha eski sermaye stoklarına sahip olma eğilimindedir ve mevcut varlıklar ömürlерinin sonuna daha erken ulaşacaktır. Örneğin, kömür yakıtlı elektrik santrallerinin ortalama yaşı

Avrupa'da yaklaşık 35 yıl ve Amerika Birleşik Devletleri'nde 40 yıl olan bu süre, Çin'de 13 yıl, Asya'nın geri kalanında ise 16 (IEA, 2020e).

Sekil 1.9► Sektöre ve bölgeye göre mevcut altyapıdan kaynaklanan emisyonlar



Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomiler, 2050 yılına kadar mevcut altyapıdan kaynaklanan kümülatif emisyonların dörtte üçünü oluşturmaktadır

1.4 İlan Edilen Bağışlar Davası

Açıklanan Taahhütler Vakası (APC), tüm ulusal net sıfır emisyon taahhütlerinin tam olarak ve zamanında gerçekleştirildiğini varsaymaktadır. Bu nedenle STEPS'te yer alan politika taahhütlerinin ötesine geçmektedir. APC'nin amacı, ulusal net sıfır emisyon taahhütlerinin tam olarak uygulanmasının dünyayı net sıfır emisyonla ulaşma yolunda ne kadar ileriye götüreceğini görmek ve böyle bir yolun gerektireceği enerji sektörü dönüşümünün ölçeğini incelemektir.

Bu taahhütlerin APC'de uygulanma şeklinin enerji sistemi üzerinde önemli etkileri vardır. Tüm sera gazı emisyonları için net sıfır taahhüdü, enerji sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonlarının mutlaka net sıfıra ulaşması gerektiği anlamına gelmez. Örneğin, bir ülkenin net sıfır planları, enerji ile ilgili kalan emisyonların bir kısmının ormancılıktan veya arazi kullanımından kaynaklanan emisyonların absorbe edilmesiyle veya biyoenerji kullanımından veya havadan CO₂'nin CCUS ile doğrudan yakalanmasından (DAC) kaynaklanan negatif emisyonlarla dengelenmesini öngörebilir.⁶ Net sıfır taahhütlerinin nasıl uygulanacağını tam olarak bilmek mümkün değildir, ancak APC'nin tasarımı, özellikle enerji sistemi yolunun ayrıntılarına ilişkin olarak, bir dizi ulusal kuruluşun net sıfır taahhütlerini desteklemek için geliştirdiği yollar tarafından bilgilendirilmiştir (Kutu 1.1).¹ Henüz net sıfır taahhüdünde bulunmamış ülkelerdeki politikaların STEPS'teki ile aynı olduğu varsayılmıştır. Nüfus ve ekonomik büyüme de dahil olmak üzere politika dışı varsayımlar STEPS ile aynıdır.

⁶ Örneğin, Avrupa Birliği için son ekonomi çapında net sıfır azaltım yollarında, 2050 yılında enerji sektöründen yaklaşık 140-210 milyon ton CO₂ emisyonu kalmaktadır ve bunlar yönetilen arazi kullanımı yutaklarından gelen CDR ve CCUS ile biyoenerji ve DAC ile dengelenmektedir (Avrupa Komisyonu, 2018).

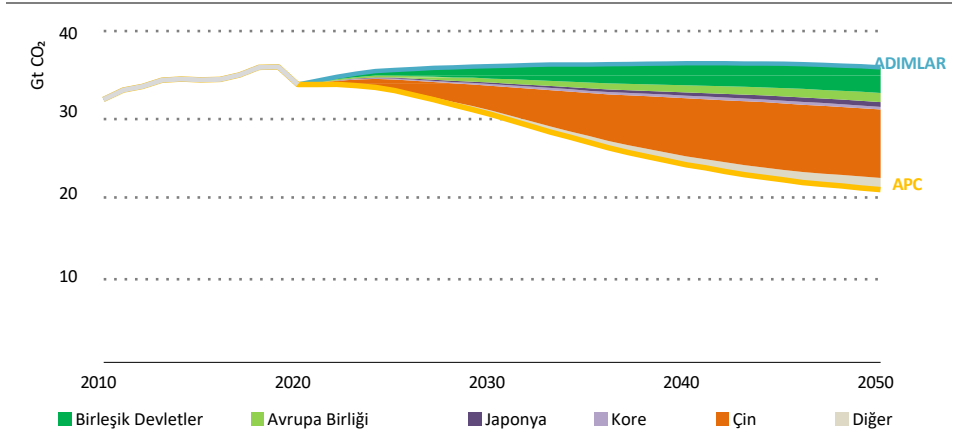
Kutu 1.1►**Ulusal net sıfır emisyon hedeflerine ulaşılması konusunda ulusal kurumlarla istişareler**

IEA, net sıfır yollarına ilişkin çalışmalarını bilgilendirmeye yardımcı olmak için, akademi dünyasındaki uzmanlarla ve hükümetler tarafından yapılan net sıfır taahhütlerini desteklemek için yollar geliştiren ulusal kuruluşlarla kapsamlı istişarelerde bulunmuştur. Bu gruplar arasında Çin, Avrupa Birliği, Japonya, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'nin yanı sıra IPCC de dahil olmak üzere çeşitli ülkeler için net sıfır emisyon yolları geliştiren gruplar bulunmaktadır. Bu yollar doğrudan APC için girdi olarak kullanılmamıştır, ancak tartışmalar, her bir yetki alanındaki ulusal tercihleri ve kısıtlamaları modellememize ve ekonomi çapında net sıfır hedefleriyle orantılı olan enerji ile ilgili CO₂ emisyon azaltımlarının genel seviyesini kıyaslamamıza yardımcı olmuştur.

1.4.1 CO₂ emisyonları

APC'de, 2023'e kadar emisyonlarda küçük bir toparlanma görülmektedir, ancak bu 2008-09'daki mali krizin hemen ardından yaşanan artıştan çok daha küçüktür. Emisyonlar hiçbir zaman bir önceki zirve olan 36 Gt CO₂ değerine ulaşmaz. Küresel CO₂ emisyonları 2030'da yaklaşık %10 azalarak 30 Gt'a, 2050'de ise 22 Gt'a düşer. Bu, 2020'deki seviyenin yaklaşık %35 altında ve STEPSdekinden 14 Gt CO₂ daha düşüktür (Şekil 1.10). Emisyonlar 2050'den sonra bu eğilimi sürdürürse ve enerjiyle ilgili olmayan sera gazı emisyonlarında benzer düzeyde değişiklik olursa, 2100 yılında küresel ortalama yüzey sıcaklığı artışı yaklaşık 2,1 °C olacaktır (%50 olasılıkla).

Şekil 1.10► Senaryoya göre küresel enerji kaynaklı ve endüstriyel proses CO₂ emisyonları ve bölgelere göre azaltımlar, 2010-2050

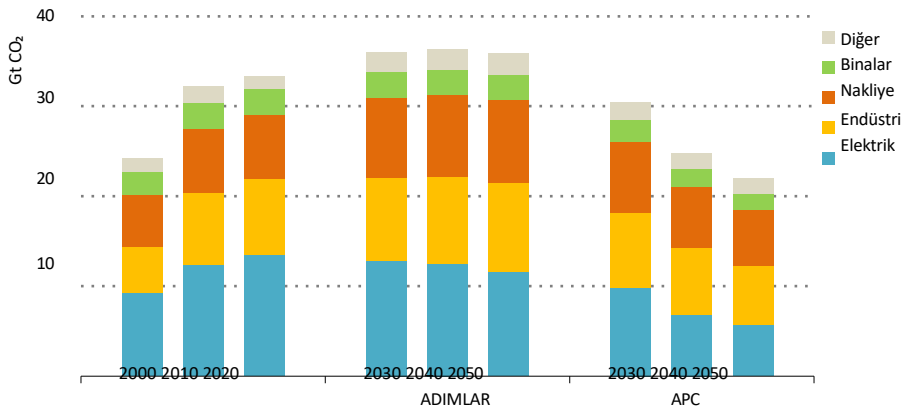


Mevcut net sıfır taahhütlerine ulaşılması, emisyonları küresel olarak 2050 yılında 22 Gt CO₂'ye düşürecektir; bu, mevcut politikalara kıyasla büyük bir azalma olmakla birlikte, net sıfır emisyonlardan hala uzaktır

Bu nedenle bugüne kadar yapılan net sıfır taahhütleri, CO₂ emisyonlarının mevcut gidişatında önemli bir fark yaratmaktadır. Bununla birlikte, mevcut net sıfır taahhütleri, 2050 yılına kadar küresel olarak net sıfır emisyonu ulaşmak için gerekli olanın oldukça gerisindedir. Bu durum, uzun vadeli net sıfır taahhütlerinin tam olarak yerine getirilmesi için somut politika ve planların önemini vurgulamaktadır. Aynı zamanda diğer ülkelerin de net sıfır taahhüdünde bulunmasının (ve bu taahhüdü yerine getirmesinin) değerinin altını çizmektedir: ne kadar çok ülke bunu yaparsa ve bu taahhütler ne kadar iddialı olursa, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmak için gerekli olanla aradaki fark o kadar .

CO₂) emisyonlarındaki en büyük düşüş, 2020 ve 2050 yılları arasında küresel yaklaşık %60 oranında azalmasıyla elektrik sektöründedir. Bu durum, başta ulaşım ve binalar olmak üzere enerji son kullanımlarının giderek daha fazla elektrikli hale gelmesiyle elektrik talebinin neredeyse iki katına çıkmasına rağmen gerçekleşmektedir (Şekil 1.11). Bu, STEPS'te emisyonlarda %15'in altında bir düşüşle karşılaştırılmaktadır.

Şekil 1.11 ► STEPS ve APC'de sektörlere göre küresel CO₂ emisyonları



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Açıklanan net sıfır taahhütleri 2050 yılında emisyonları %60 oranında azaltacaktır elektrik sektöründe, %40'ı binalarda, %25'i sanayide ve %10'dan biraz fazlası ulaşımında

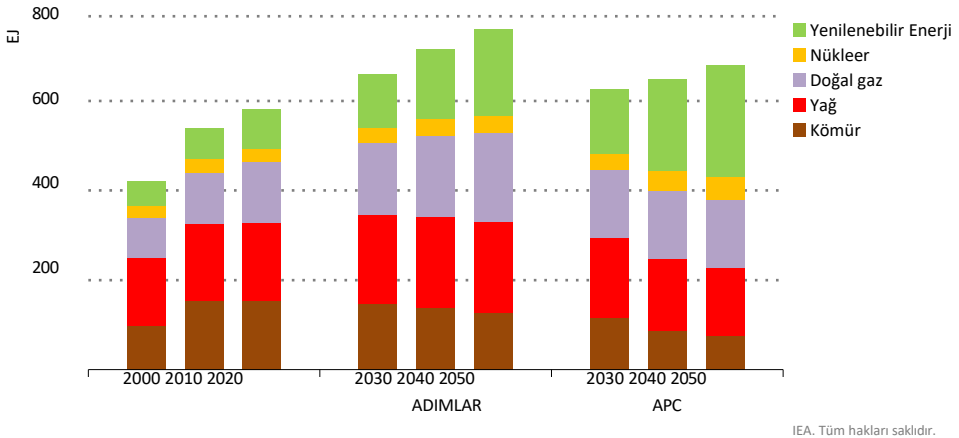
Ulaşım ve sanayi sektörleri, APC'de 2050 yılına kadar CO₂ emisyonlarında daha az belirgin bir düşüş görmektedir; net sıfır taahhüdü olmayan bölgelerdeki enerji talebindeki artışlar, diğer bölgelerdeki emisyon azaltma çabalarını kısmen dengelemektedir. Bina sektöründen kaynaklanan emisyonlar 2020 ve 2050 yılları arasında yaklaşık %40 azalırken, STEPS'te bu oran yaklaşık %5'tir: binalardaki fosil yakıt kullanımı çoğunlukla ısıtma sağlamak içindir ve taahhütte bulunan ülkeler küresel ısıtma talebinin nispeten yüksek bir oranını oluşturmaktadır.

Net sıfır taahhüdü olan bölgelerde bile, 2050 yılında, özellikle sanayi ve taşımacılıkla olmak üzere, bazı artırı emisyonlar olacaktır. Bu durum, ağır hizmet kamyonları, havacılık, nakliye ve ağır sanayiden kaynaklanan tüm emisyonları ortadan kaldırmak için ticari olarak mevcut seçeneklerin azlığını yansıtmaktadır.

1.4.2 Toplam enerji arzı

Küresel toplam enerji arzı, STEPS'te üçte bir oranında artarken, APC'de 2020 ve 2050 yılları arasında %15'ten artmaktadır (Şekil 1.12). Enerji yoğunluğu 2050'ye kadar yılda ortalama %2,6 düşerken, STEPS'te bu oran %2,2'dir. Ekonomik ve nüfus artışının en hızlı olduğu ve daha az net sıfır taahhüdünün bulunduğu yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde enerji talebinde önemli bir artış vardır ve bu artış, net sıfır taahhüdü olan ülkelerdeki enerji talebindeki azalmadan daha ağır basmaktadır.

Şekil 1.12 ▶ STEPS ve APC'de kaynağına göre toplam enerji arzı



Açıklanan net sıfır taahhütleri, APC'deki yenilenebilir enerji kaynaklarını 2020'de toplam enerji arzının %12'sinden 2050'de %35'ine çıkarıyor; bu da esas olarak kömür ve petrol pahasına gerçekleşiyor

APC'de enerji arzındaki küresel artışa, enerji karışımındaki paylarını 2020'de %12'den 2050'de %35'e çıkaran yenilenebilir enerji kaynakları öncülük etmektedir (STEPS'te 2050'de %25'e kıyasla). Elektrik sektöründeki güneş fotovoltaikleri (PV) ve rüzgar, yenilenebilir enerji arzındaki büyümenin yaklaşık %50'sine katkıda bulunurken, biyoenerji de yaklaşık %30'luk bir katkı sağlamaktadır. Biyoenerji kullanımı sanayide iki katına, elektrik üretiminde üç katına çıkmakta ve ulaşımda dört kat büyümektedir: CCUS ile birleştirildiğinde ısı tedarikinden kaynaklanan emisyonların azaltılmasında ve CO₂'nin atmosferden uzaklaştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Nükleer, enerji karışımındaki payını korumakta, mevcut santrallerin ömürlerinin uzatılması ve bazı ülkelerdeki yeni reaktörler sayesinde 2030 yılına kadar dörtte bir oranında artmaktadır (STEPS'teki %15'lik artışa kıyasla).

Küresel kömür kullanımı APC'de STEPS'e göre önemli ölçüde daha hızlı düşmektedir. Bu düşüş 2020'de 5 250 milyon ton kömür eşdeğerinden (Mtce) 2030'da 4 000 Mtce'ye ve 2050'de 2 600 Mtce'ye (STEPS'te 2050'de 4 300 Mtce'ye kıyasla) düşmektedir. Bu düşüşün büyük kısmı, net sıfır taahhüdünde bulunan ülkelerdeki kömürlü elektrik üretiminin, santraller yeniden kullanıldıkça, güçlendirildikçe veya emekliye ayrıldıkça azalmasından kaynaklanmaktadır. Gelişmiş ekonomilerde, hız kesmeyen kömürlü termik santraller

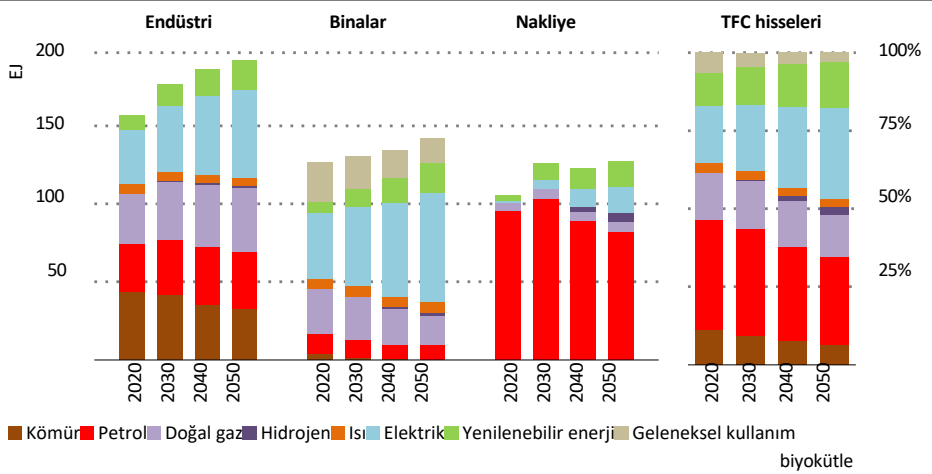
önümüzdeki 10-15 yıl içinde genel olarak aşamalı olarak ortadan kaldırılacaktır. Çin'in elektrik için kömür tüketimi, 2060 yılında karbon nötr olma yolunda 2020 ile 2050 yılları arasında %85 oranında azalmaktadır. Bu düşüşler, net sıfır taahhüdü olmayan ülkelerde kömür için devam eden büyümeyi dengelemekten daha fazlasıdır. Küresel olarak, STEPS'teki %5'lik düşüşe kıyasla, sanayide kömür kullanımı 2020 ve 2050 yılları arasında %25 oranında düşmektedir.

Petrol talebi 2020'lerin başında biraz toparlanır ancak 2019'daki tarihi zirvesine bir daha asla ulaşamaz. Özellikle taahhütte bulunan bölgelerde ulaşımın elektrikli hale getirilmesi ve biyoyakıtlar ile hidrojene geçiş için güçlü bir baskı sayesinde 2030'ların başında 90 milyon varil/gün'e ve 2050'de 80 milyon varil/gün'e gerileyerek STEPS'dekinden yaklaşık 25 milyon daha düşük bir seviyeye iner. Doğal gaz talebi 2020'de yaklaşık 3 900 bcm'den 2025'te yaklaşık 4 350 bcm'ye yükselir, ancak daha sonra 2050'ye kadar genel olarak sabit kalır (STEPS'te yaklaşık 5 700 bcm'ye yükselmeye devam eder).

1.4.3 Toplam nihai tüketim

Küresel enerji kullanımı, STEPS'e kıyasla önemli ölçüde daha yavaş olsa da, APC'deki tüm ana nihai kullanım sektörlerinde büyümeye devam etmektedir (Şekil 1.13). Toplam nihai tüketim (TFC) 2020-50 döneminde yaklaşık %20 artarken, STEPS'te bu oran küresel olarak %35'tir. Enerji verimliliğini artırmaya yönelik önlemler, net sıfır taahhüdü olan ülkelerde talep artışını azaltmada APC'de önemli bir rol oynamaktadır. Bu verimlilik kazanımları olmadan, elektrik talebindeki büyüme, yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde fosil yakıtların yerini almasını çok daha zor hale getirecektir. STEPS'e göre enerji talebindeki en büyük azalma, geleneksel içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla yaklaşık üç kat daha fazla enerji verimliliğine sahip elektrikli araçlara (EV'ler) geçişin hızlanması sayesinde ulaşım sektöründedir.

Şekil 1.13> APC'de toplam nihai tüketim



Açıklanan net sıfır taahhütleri, küresel olarak fosil yakıtlardan elektrik, yenilenebilir enerji ve hidrojene doğru bir kaymaya yol açmaktadır. Elektrik payı 2050'de %20'den %30'a yükseliyor

Nihai enerji kullanımındaki yakıt karışımı APC'de önemli ölçüde değişmektedir. 2050 yılına gelindiğinde elektrik, petrolün baskın olmaya devam ettiği ulaştırma hariç tüm sektörlerde kullanılan en büyük tek yakıttır. taşımacılıkta varlığını sürdürmesi, kısmen net sıfır taahhüdü olmayan ülkelerde kullanılmaya devam etmesinden, kısmen de başta kamyon taşımacılığı ve havacılık olmak üzere taşımacılık sektörünün önemli bölümlerini elektrikli hale getirmenin zorluğundan kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, elektrik ulaşımda ilerleme kaydetmektedir ve elektrikli araç alımındaki hızlı büyüme, 2030'dan sonra petrol kullanımını azaltmaktadır; elektrikli araçlar 2030'a kadar küresel binek araç satışlarının yaklaşık %35'ini ve 2050'de APC'de yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır (2050'de STEPS'te yaklaşık %25'e karşılık). Bina sektöründeki elektrifikasyon da APC'de STEPS'e göre çok daha hızlıdır.

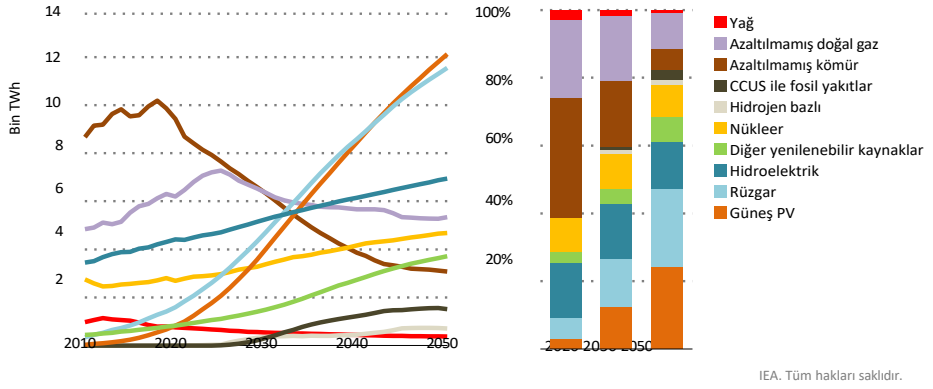
Yenilenebilir enerjilerin doğrudan kullanımı, 2050 yılına kadar küresel olarak tüm son kullanım sektörlerinde artmaktadır. Modern biyoenerji, ağırlıklı olarak biyometanın doğal gaz şebekelerine harmanlanması ve ulaşımda sıvı biyoyakıtlar yoluyla bu büyümenin büyük kısmını oluşturmaktadır. Bu, esas net sıfır taahhüdü olan bölgelerde gerçekleşmektedir. Hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar APC'de STEPS'e kıyasla daha büyük bir rol oynamaktadır. 2050'de yaklaşık 15 exajoule (EJ) değerine ulaşmalarına rağmen, 2050'de dünya çapındaki toplam nihai tüketimin sadece %3'ünü oluşturmaktadırlar. Ulaşım, 2050 yılında tüm hidrojen tüketiminin üçte ikisinden oluşturmaktadır. Buna paralel olarak, sanayi ve rafinaj sektörlerinde yerinde hidrojen üretimi kademeli olarak düşük karbonlu teknolojilere doğru kaymaktadır.

1.4.4 Elektrik üretimi

APC'de önümüzdeki otuz yıl boyunca küresel elektrik üretimi neredeyse iki katına çıkarak 2020'de yaklaşık 26 800 terawatt-saatten (TWh) 2050'de 50 000 TWh'nin üzerine çıkacaktır; bu rakam STEPS'tekinden yaklaşık 4 000 TWh daha yüksektir. Artışın tamamı düşük emisyonlu enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı 2020'de %29'dan 2050'de yaklaşık %70'e yükselirken, STEPS'te bu oran yaklaşık %55'tir, çünkü güneş PV ve rüzgar diğer tüm üretim kaynaklarının önüne geçmektedir (Şekil 1.14). 2050 yılına gelindiğinde, güneş PV ve rüzgar birlikte elektrik arzının neredeyse yarısını oluşturacaktır. Hidroelektrik de büyümeye devam ederek 2050 yılına kadar elektrik karışımında üçüncü en büyük enerji kaynağı olarak ortaya çıkacaktır. Nükleer enerji de istikrarlı bir şekilde artmakta ve Çin'deki artışların öncülüğünde yaklaşık %10'luk küresel pazar payını korumaktadır. Elektrikte doğal gaz kullanımı 2020'lerin ortalarına kadar hafifçe arttıktan sonra gerilemeye başlarken, kömürün elektrik üretimindeki payı 2020'de yaklaşık %35'ten 2050'de %10'un altına düşüyor. Bu noktada, kalan kömür yakıtlı üretimin %20'si CCUS ile donatılmış santrallerden gelmektedir.

Hidrojen ve amonyak, 2030 yılı civarında elektrik üretiminde yakıt girdisi olarak ortaya çıkmaya başlayacak ve büyük ölçüde gaz türbinlerinde doğal gaz ve kömürle çalışan elektrik santrallerinde ile birlikte kullanılacaktır. Bu, mevcut varlıkların ömrünü uzatır, elektrik sisteminin yeterliliğine katkıda bulunur ve birçok ülkede elektrik sektörlerini dönüştürmenin genel maliyetlerini azaltır. Toplam batarya kapasitesi de önemli ölçüde artarak 2050 yılında 1 600 gigawatt'a (GW) ulaşacak ve STEPS'dekinden %70 daha fazla olacaktır.

Şekil 1.14 ▶ APC'de kaynağına göre küresel elektrik üretimi



Not: Diğer yenilenebilir enerji kaynakları= jeotermal, solar termal ve denizcilik.

2050'de net sıfır CO₂ emisyonuna giden küresel bir yol

SUMMARY

- Net-Sıfır Emisyon 2050 Senaryosu (NZE), küresel enerji sektörünün 2050 yılına kadar net-sıfır CO₂ ulaşması için gerekenleri göstermektedir. Enerji sektörü dışından kaynaklanan sera gazı emisyonlarındaki ilgili azaltımların yanı sıra bu, küresel sıcaklık artışının sıcaklık aşımı olmaksızın (%50 olasılıkla) 1,5 °C ile sınırlandırılmasıyla tutarlıdır. Bunun başarılması, tüm hükümetlerin mevcut Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılardan ve net sıfır taahhütlerinden daha yüksek hedeflere ulaşmasını gerektirecektir.
- NZE'de, küresel enerji kaynaklı ve endüstriyel proses CO₂ emisyonları 2020 ve 2030 yılları arasında yaklaşık %40 oranında azalır ve 2050 yılında net sıfıra iner. Sürdürülebilir enerjiye evrensel erişim 2030 yılına kadar sağlanır. Fosil yakıt kullanımından kaynaklanan metan emisyonlarında 2030 yılına kadar %75 azalma sağlanmıştır. Bu değişiklikler, küresel ekonomi 2050'ye kadar iki katından fazla büyürken ve küresel nüfus 2 milyar artarken gerçekleşir.
- Toplam enerji arzı 2020 ve 2030 yılları arasında Yeni Zelanda'da %7 oranında düşer ve 2050 yılına kadar bu seviyede kalır. Güneş PV ve rüzgar 2030'dan önce küresel olarak önde gelen elektrik kaynakları haline gelir ve birlikte 2050'de küresel üretimin yaklaşık %70'ini sağlarlar. Geleneksel biyoenerji kullanımı 2030 yılına kadar aşamalı olarak sonlandırılır.
- Kömür talebi 2050 yılında %90 oranında azalarak 600 Mtce'nin altına düşerken, petrol %75 oranında azalarak 24 mb/d'ye, doğal gaz ise %55 oranında azalarak 1 750 bcm'ye gerilemiştir. 2050'de kalan fosil yakıtlar, karbonun üründe somutlaştığı (plastikler gibi) enerji dışı ürünlerin üretiminde, karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS) tesislerinde ve düşük emisyonlu teknoloji seçeneklerinin az olduğu sektörlerde kullanılmaktadır.
- Enerji verimliliği, rüzgar ve güneş enerjisi NZE'de 2030 yılına kadar emisyon tasarruflarının yaklaşık yarısını sağlamaktadır. Bunlar 2030'dan sonra da emisyon azaltımı sağlamaya devam etmektedir, ancak 2050'ye kadar olan dönemde, bugün piyasada tüm teknolojilerin mevcut olmadığı elektrifikasyon, hidrojen kullanımı ve CCUS yayılımı artmaktadır ve bunlar 2030 ile 2050 arasındaki emisyon tasarruflarının yarısından fazlasını sağlamaktadır. 2050 yılında NZE'de 1,9 Gt CO₂ giderimi ve 520 milyon ton düşük karbonlu hidrojen talebi bulunmaktadır. Vatandaşların ve işletmelerin davranış değişiklikleri, 2030 yılında 1,7 Gt CO₂ emisyonunu önler, enerji talebi artışını frenler ve temiz enerji geçişlerini kolaylaştırır.
- Son yıllarda küresel olarak ortalama 2,3 trilyon ABD doları olan yıllık enerji sektörü yatırımı, Yeni Zelanda'da 2030 yılına kadar 5 trilyon ABD dolarına yükselmektedir. Küresel GSYİH'nin bir payı olarak, Yeni Zelanda'da 2050 yılına kadar ortalama yıllık enerji yatırımı son yıllara göre yaklaşık %1 daha yüksektir.
- NZE, tüm yakıtlar ve tüm teknolojiler genelinde enerji sektörünü karbonsuzlaştırmak için tüm fırsatları değerlendirmektedir. Ancak 2050'ye giden yolda birçok belirsizlik bulunmaktadır. Davranış değişiklikleri NZE'de öngörülenden daha sınırlı olursa veya sürdürülebilir biyoenerji daha az mevcut olursa, enerji geçişi daha pahalı olacaktır. Fosil yakıtlar için CCUS'un geliştirilememesi, çimento üretiminden kaynaklanan proses emisyonları ve karbon giderme teknolojileri için CCUS'un geliştirilmesini geciktirebilir veya engelleyebilir ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmayı çok daha zor hale getirebilir.

2.1 Giriş

Dünyanın iklim hedefleriyle uyumlu küresel bir enerji dönüşümünü başarmak, kuşkusuz zorlu bir görevdir. Bölüm 1'de vurgulandığı üzere, hükümetlerin emisyonları net sıfıra indirmeye yönelik mevcut taahhütleri, günümüz küresel ekonomik faaliyetlerinin ve küresel CO₂ emisyonlarının yaklaşık %70'ini kapsamaktadır. Açıklanan Taahhütler Vakası, tüm bu taahhütlerin tam olarak yerine getirilmesi halinde, dünya çapında 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmak için gittiğimiz yer ile olmamız gereken yer arasındaki uçurumun daralacağını göstermektedir. Ancak aynı zamanda aradaki farkın büyük kalacağını da göstermektedir. Mevcut tüm net sıfır taahhütlerinin tam olarak yerine getirilmesi, 2050 yılında küresel olarak 22 gigaton (Gt) enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂ emisyonu bırakacaktır ve bu da 2100 yılında yaklaşık 2,1 °C'lık bir sıcaklık artışı ile uyumludur (%50 olasılıkla).

Bu bölümde, 2050'ye kadar Net Sıfır Emisyon Senaryomuzda somutlaşan enerji sektörü dönüşümünü inceliyoruz. İlk olarak, öngörülen fosil yakıt ve CO₂ fiyatları da dahil olmak üzere projeksiyonların altında yatan temel varsayımlara ve piyasa dinamiklerine genel bir bakış sunmaktadır. Verimlilik önlemleri, davranış değişikliği, elektrifikasyon, yenilenebilir enerji, hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar, biyoenerji ve karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS) tarafından oynanan kilit roller de dahil üzere küresel CO₂ emisyonları, enerji kullanımı ve yatırımlarındaki eğilimleri tartışmaktadır. Ayrıca, davranış değişikliği, sürdürülebilir biyoenerjinin mevcudiyeti ve fosil yakıtlar için CCUS'un konuşlandırılması ile ilgili net sıfır emisyonu doğru küresel yolu çevreleyen bazı temel belirsizlikleri tartışmaktadır. Belirli enerji sektörlerinin dönüşümü Bölüm 3'te ayrıntılı olarak değerlendirilmekte ve tartışılmaktadır.

2.2 Senaryo tasarımı

Net-Sıfır Emisyon 2050 Senaryosu (NZE), dünyanın 2050 yılına kadar enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂ net olarak sıfıra indirmesi için ana sektörlerde çeşitli aktörler tarafından nelere ve ne zamana kadar ihtiyaç duyulduğunu göstermek üzere tasarlanmıştır.¹ Ayrıca enerji sektöründen kaynaklanan metan emisyonlarını en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Son yıllarda enerji sektörü küresel sera gazı (GHG) emisyonlarının yaklaşık dörtte üçünden sorumluydu. Yeni Zelanda'da 2050 yılına kadar enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂ emisyonlarının net sıfıra ulaşması enerji sektörü dışındaki alanlarda eyleme bağlı değildir, ancak iklim değişikliğinin sınırlandırılması böyle bir eylemi gerektirmektedir. Bu nedenle, Uluslararası Uygulamalı Sistem Analizi Enstitüsü (IIASA) ile işbirliği içinde çalışarak, Yeni Zelanda'da enerji sektörünün dönüşümüyle orantılı arazi kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyonlarındaki azalmaları da inceliyoruz. Diğer tüm sera gazı emisyon kaynaklarının azaltılmasına yönelik eylemlere paralel olarak, 2050 yılına kadar enerji sektöründen net sıfır CO₂ emisyonu elde edilmesi, uzun vadeli ortalama küresel sıcaklık artışını, sıcaklık aşımı olmaksızın 1,5 °C ile sınırlama şansının yaklaşık %50 olmasıyla tutarlıdır (IPCC, 2018).

¹ Aksi belirtilmedikçe, bu bölümdeki karbondioksit (CO₂) emisyonları enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂ emisyonlarını ifade eder. Net-sıfır CO₂ emisyonları, atmosfere sıfır CO₂ emisyonu veya karbon yakalama ve depolama ile doğrudan hava yakalama veya biyoenerji yoluyla CO₂ giderimi ile dengelenen herhangi bir artı CO₂ emisyonu anlamına gelir.

NZE, 2030 yılına kadar enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂ emisyonlarının, IPCC'nin 1.5 °C Küresel Isınma Özel Raporunda değerlendirilen sıcaklık aşımının olmadığı veya düşük ya da sınırlı olduğu 1.5 senaryolarındaki azaltımlarla uyumlu olmasını sağlamayı amaçlamaktadır.² Ayrıca NZE, 2030 yılına kadar evrensel enerji erişiminin sağlanması ve hava kirliliğinde büyük bir azalma sağlanması ile ilgili enerji ile ilgili Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri konusunda somut eylemler içermektedir. NZE'deki projeksiyonlar, yıllık Dünya Enerji Görünümü'ndeki projeksiyonları üretmek için kullanılan IEA'nın Dünya Enerji Modeli (WEM) ve Enerji Teknolojisi Perspektifleri (ETP) modelinin bileşenlerini birleştiren hibrit bir model tarafından oluşturulmuştur.

Kutu 2.1 ► Uluslararası Enerji Ajansı'nın NZE için modelleme yaklaşımı

NZE'yi geliştirmek için yeni, hibrit bir modelleme yaklaşımı benimsenmiş ve WEM ile ETP modelinin göreceli güçlü yönleri bir araya getirilmiştir. WEM, rekabetçi enerji piyasalarının nasıl işlediğini taklit etmek ve politikaların etkilerini sektör ve bölge bazında ayrıntılı bir şekilde incelemek için tasarlanmış büyük ölçekli bir simülasyon modelidir. ETP modeli, enerji dönüşümü, sanayi, ulaştırma ve bina sektörlerinde 800'den fazla münferit teknolojinin ayrıntılı teknoloji tanımlarını içeren büyük ölçekli bir kısmi optimizasyon modelidir.

Bu modelleme yaklaşımı ilk kez uygulanmaktadır. İki modelin birleşimi, enerji piyasaları, yatırımlar, teknolojiler ve Yeni Zelanda'da enerji sektörü dönüşümünü gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulacak politikaların düzeyi ve ayrıntıları hakkında benzersiz içgörü kümesi sağlar.

WEM ve ETP modelinden elde edilen sonuçlar, IIASA tarafından geliştirilen Sera Gazı - Hava Kirliliği Etkileşimleri ve Sinerjileri (GAINS) modeli ile birleştirilmiştir (Amann ., 2011). GAINS modeli hava kirlenici emisyonları ve hava kirliliğine bağlı sağlık etkilerini değerlendirmek için kullanılmaktadır. IEA model sonuçları ilk kez IIASA'nın Küresel Biyosfer Yönetim Modeli (GLOBIOM) ile arazi kullanımı ve biyoenerji talebinin net emisyon etkileri hakkında veri sağlanmıştır.

Yeni Zelanda'da yatırım ve harcamalardaki değişikliklerin küresel GSYH üzerindeki etkileri Uluslararası Para Fonu (IMF) tarafından Küresel Entegre Para ve Maliye (GIMF) modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. GIMF, IMF tarafından politika ve risk analizi için kullanılan çok ülkeli bir dinamik stokastik genel denge modelidir (Laxton vd., 2010; Anderson vd., 2013). IMF'nin Dünya Ekonomik Görünümü senaryo analizlerini üretmek için 2008'den beri kullanılmaktadır.

Küresel olarak 2050 yılına kadar net sıfır CO₂ emisyonuna ulaşmak için birçok olası yol ve bunlardan herhangi birini etkileyebilecek birçok belirsizlik vardır; bu nedenle NZE *bir* yoldur, net sıfır emisyonu giden yol değildir. Örneğin, pek çok şey yeni ve gelişmekte olan teknolojilerdeki inovasyon hızına bağlıdır.

² IPCC, sıcaklıkların 1,5 °C'yi 0,1 °C'den daha az aşması ancak 2100 yılında 1,5 °C'nin altına düşmesi durumunda senaryoları "sıcaklık aşımı yok veya sınırlı aşım" olarak ve sıcaklıkların 1,5 °C'yi 0,1-0,4 °C aşması ancak 2100 yılında 1,5 °C'nin altına düşmesi durumunda senaryoları "daha yüksek aşım" olarak sınıflandırmaktadır.

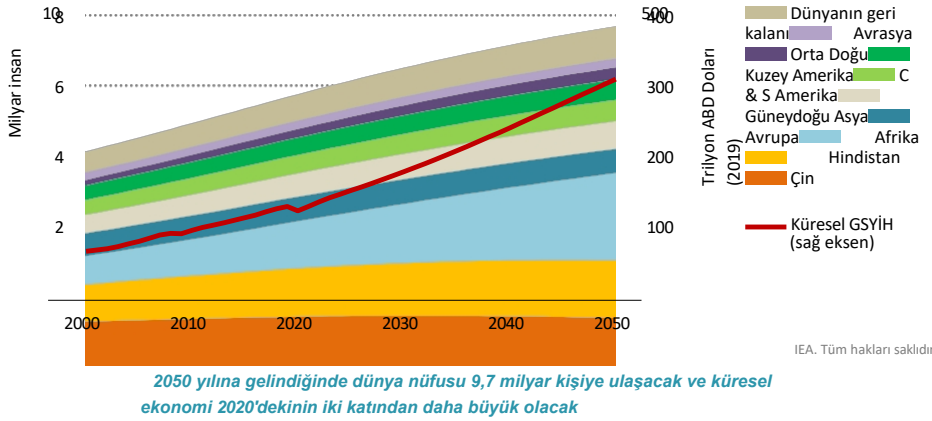
teknolojileri, vatandaşların davranışlarını ne ölçüde değiştirebilecekleri veya değiştirmeye istekli oldukları, sürdürülebilir biyoenerjinin mevcudiyeti ve uluslararası işbirliğinin kapsamı ve etkinliği. Bazı temel alternatifler ve belirsizlikler burada ve Bölüm 3'te incelenmektedir. 2050'ye kadar Net Sıfır Emisyon Senaryosu aşağıdaki ilkeler üzerine inşa edilmiştir.

- Mevcut tüm teknolojilerin ve emisyon azaltma seçeneklerinin benimsenmesi, maliyetler, teknoloji olgunluğu, politika tercihleri ve piyasa ve ülke koşullarına göre belirlenir.
- Tüm ülkeler dünya çapında net sıfır emisyonu ulaşılmak için işbirliği yapar. Bu, tüm ülkelerin net sıfır hedefine ulaşma çabalarına katılmasını, etkili ve karşılıklı fayda sağlayacak şekilde birlikte çalışmasını, ülkelerin ve bölgelerin farklı ekonomik kalkınma aşamalarını ve adil bir geçiş sağlamanın önemini kabul etmesini içerir.
- Enerji sektörü genelinde düzenli bir geçiş. Bu, yakıt ve elektrik arzının güvenliğinin her zaman sağlanmasını, mümkün olduğunca karaya oturmuş varlıkların en aza indirilmesini ve enerji piyasalarında dalgalanmanın önlenmesinin hedeflenmesini içerir.

2.2.1 Nüfus ve GSYİH

Yeni Zelanda'daki enerji sektörü dönüşümü, dünya nüfusu ve ekonomisindeki büyük artışların arka planında gerçekleşmektedir (Şekil 2.1). 2020 yılında dünyada yaklaşık 7,8 milyar insan vardı; Birleşmiş Milletler projeksiyonlarının medyan varyantı doğrultusunda bu sayının 2030 yılına kadar yaklaşık 750 milyon, 2050 yılına kadar ise yaklaşık 2 milyar kişi artacağı öngörülmektedir (UNDESA, 2019). Nüfus artışının neredeyse tamamı yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdedir: sadece Afrika'nın nüfusu 2020 ile 2050 yılları arasında 1,1 milyardan fazla artmaktadır.

Şekil 2.1 ► Bölgelere göre dünya nüfusu ve NZE'deki küresel GSYİH



Notlar: GSYİH= satın alma gücü paritesine göre gayri safi yurtiçi hasıla; C & S Amerika= Orta ve Güney Amerika. Kaynaklar: UNDESA'ya (2019) dayalı IEA analizi; Oxford Economics (2020); IMF (2020a, 2020b).

Dünya ekonomisinin Covid-19 salgınının etkisinden hızla kurtulduğu varsayılmaktadır. Büyüklüğü 2021'de kriz öncesi seviyelere dönmektedir. 2022'den itibaren GSYH büyüme trendi, IMF'nin değerlendirmelerine uygun olarak, salgın öncesi oran olan yıllık ortalama %3'e yakındır. Pandemiye verilen yanıt devlet borçlarında büyük bir artışa yol açsa da, yeniden başlayan büyüme ve birçok ülkedeki düşük faiz oranları bu durumu uzun vadede yönetilebilir kılmaktadır. 2030 yılına gelindiğinde dünya ekonomisi 2020 yılına göre yaklaşık %45, 2050 yılına gelindiğinde ise iki kattan daha fazla büyümüştür.

2.2.2 Enerji ve CO₂ fiyatları

Gelecekteki enerji fiyatlarına ilişkin tahminler kaçınılmaz olarak yüksek derecede belirsizliğe tabidir. IEA senaryolarında, arz ve talep arasındaki dengeyi korumak üzere tasarlanmışlardır. Yeni Zelanda'da petrol ve doğal gaz talebindeki hızlı düşüş, fosil yakıt aramalarına gerek olmadığı ve halihazırda geliştirilmesi onaylanmış olanlar dışında yeni petrol ve doğal gaz sahalarına ihtiyaç duyulmadığı anlamına gelmektedir. Yeni kömür madenlerine veya maden genişletmelerine de gerek yoktur. Fiyatlar giderek talebi karşılamak için gereken marjinal projenin işletme maliyetlerine göre belirleniyor ve bu da fosil yakıt fiyatlarının son yıllara göre önemli ölçüde düşmesine neden oluyor. Petrol fiyatı 2030'da 35 ABD Doları/varil civarına düşmekte ve ardından 2050'de 25 ABD Doları/varil seviyesine doğru yavaşça gerilemektedir.

Tablo 2.1 ► Yeni Zelanda'da fosil yakıt fiyatları

Reel olarak (2019 ABD Doları)	2010	2020	2030	2040	2050
IEA ham petrol (USD/varil)	91	37	35	28	24
Doğal gaz (USD/MBtu)					
Birleşik Devletler	5.1	2.1	1.9	2.0	2.0
Avrupa Birliği	8.7	2.0	3.8	3.8	3.5
Çin	7.8	5.7	5.2	4.8	4.6
Japonya	12.9	5.7	4.4	4.2	4.1
Buhar kömürü (USD/ton)					
Birleşik Devletler	60	45	24	24	22
Avrupa Birliği	108	56	51	48	43
Japonya	125	75	57	53	49
Kıyı Çin	135	81	60	54	50

Notlar: MBtu = milyon İngiliz termal birimi. IEA ham petrol fiyatları, IEA üyesi ülkeler arasında ağırlıklı ortalama ithalat fiyatıdır. Doğal gaz fiyatları brüt kalorifik değer bazında ifade edilen ağırlıklı ortalamalardır. ABD doğal gaz fiyatları iç piyasada geçerli olan toptan satış fiyatını yansıtmaktadır. Avrupa Birliği ve Çin doğal gaz fiyatları boru hattı ve sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) ithalatı dengesini yansıtırken, Japonya doğal gaz fiyatları yalnızca LNG ithalatını yansıtmaktadır. Kullanılan LNG fiyatları, yeniden gazlaştırma öncesi gümrük sınırındaki fiyatlardır. Buhar kömürü fiyatları kilogram başına 6 000 kilokaloriye ayarlanmış ağırlıklı ortalamalardır. ABD buhar kömürü fiyatları maden ağzı fiyatı artışı taşıma ve elleçleme maliyetini yansıtmaktadır. Kıyı Çin buhar kömürü fiyatları ithalat ve yurtiçi satış dengesini yansıtırken, Avrupa Birliği ve Japonya buhar kömürü fiyatları yalnızca yöneliktir.

NZE'yi yöneten düzenli geçişler ilkesine uygun olarak, petrol piyasaları ve fiyatları için yörünge aşırı dalgalanmadan kaçınılmaktadır. Ne olacağı büyük ölçüde kaynak zengini hükümetlerin ve onların ulusal petrol şirketlerinin benimsediği stratejilere bağlıdır. NZE'de, ellerinde daha düşük maliyetli kaynaklar olmasına rağmen, yeni sahalara yatırımı kısıtladıkları varsayılmaktadır. Bu da daha yüksek maliyetli üretimin durdurulması ve kapatılması ihtiyacını sınırlamaktadır. Büyük kaynak zengini ülkelerin pazar payı, mevcut sahalarının büyüklüğü ve yavaş düşüş oranları nedeniyle NZE'de yine de yükselmektedir.

Üretici ekonomiler alternatif yaklaşımlar izleyebilirler. Örneğin, hızla düşen petrol ve gaz talebiyle karşı karşıya kaldıklarında, piyasadan daha da büyük bir pay alabilmek için üretimi artırmayı tercih edebilirler. Bu durumda, düşen talep ve düşük maliyetli petrolün artan mevcudiyetinin birleşimi şüphesiz daha da düşük - ve muhtemelen çok daha değişken - fiyatlara yol açacaktır. Uygulamada, belirli üretici ülkelere açık olan seçenekler, düşük petrol fiyatlarına karşı dayanıklılıklarına ve doğal kaynaklarından üretilebilecek düşük emisyonlu yakıtlar için ihracat pazarlarının ne ölçüde geliştiğine bağlı olacaktır.

Arz tarafındaki geri bildirimlerin öngörülmesi ve hafifletilmesi, düzenli enerji geçişleri hakkındaki tartışmanın merkezi bir unsurudur. Fiyatlardaki bir düşüş genellikle talepte bir miktar toparlanma ile sonuçlanır ve bunun fosil yakıtların hız kesmeden kullanımında herhangi bir artışa yol açmasını önlemek için politikalar ve düzenlemeler gerekli olacaktır, bu da daha geniş emisyon azaltma çabalarını baltalayacaktır.

Enerji sektörü dönüştükçe, hidrojen bazlı yakıtlar ve biyoyakıtlar gibi daha fazla yakıtın küresel ticareti yapılmaktadır. Bu malların fiyatlarının, her bir bölgedeki yerli üretimin veya ithalatın marjinal maliyeti tarafından belirlendiği varsayılmaktadır.

NZE'de emisyonları azaltmak için tüm bölgelerde çok çeşitli enerji politikaları ve bunlara eşlik eden önlemler uygulamaya konmuştur. Bunlar arasında yenilenebilir yakıt zorunlulukları; verimlilik standartları; piyasa reformları; araştırma, geliştirme ve dağıtım; ve verimsiz fosil yakıt sübvansiyonlarının ortadan kaldırılması yer almaktadır. Bazı durumlarda doğrudan emisyon azaltma düzenlemelerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin ulaştırma sektöründe, içten yanmalı motorlu araçların satışını azaltmak ve havacılık ve denizcilikte sıvı biyoyakıtların ve sentetik yakıtların kullanımını artırmak için düzenlemelerin yanı sıra düşük petrol fiyatlarının tüketimde artışa yol açmamasını sağlamak için tedbirler uygulanmaktadır.

CO₂ fiyatları NZE'deki tüm bölgelerde uygulamaya konulmuştur (Tablo 2.2). Bu fiyatların yakın gelecekte tüm gelişmiş ekonomilerde elektrik üretimi, sanayi ve enerji üretimi sektörlerinde uygulanacağı ve 2030 yılına kadar ton başına ortalama 130 ABD Dolarına (tCO₂) ve 2050 yılına kadar 250 ABD Doları/tCO₂'ye yükseleceği varsayılmaktadır. Çin, Brezilya, Rusya ve Güney Afrika dahil olmak üzere diğer bazı büyük ekonomilerde bu sektörlerdeki CO₂ fiyatlarının 2050 yılında yaklaşık 200 ABD Doları/tCO₂'ye yükseleceği varsayılmaktadır. CO₂ fiyatları diğer tüm yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde uygulanmaktadır, ancak bu ekonomilerin enerji sistemlerini uyarlamak ve dönüştürmek için daha doğrudan politikalar izledikleri ve bu nedenle CO₂ fiyatlarının seviyesinin diğer yerlere göre daha düşük olduğu varsayılmaktadır.

Tablo 2.2► NZE'de elektrik, sanayi ve enerji üretimi için CO₂ fiyatları

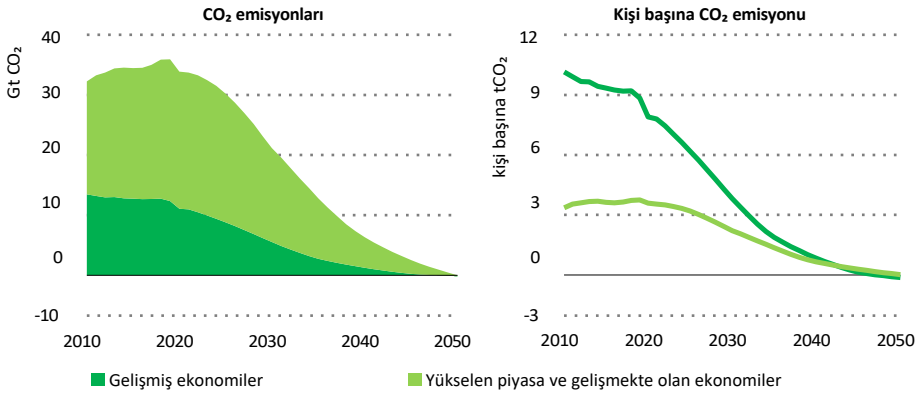
Ton CO ₂ başına ABD Doları (2019)	2025	2030	2040	2050
Gelişmiş ekonomiler	75	130	205	250
Seçilmiş gelişmekte olan piyasa ve gelişmekte olan ekonomiler*	45	90	160	200
Diğer gelişmekte olan piyasalar ve gelişmekte olan ekonomiler	3	15	35	55

* Çin, Rusya, Brezilya ve Güney Afrika'yı içermektedir.

2.3 CO₂ emisyonları

NZE'deki küresel enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂'emisyronları 2030'da yaklaşık 21 Gt CO₂'ye ve 2050'de net sıfıra düşer (Şekil 2.2).³ Gelişmiş ekonomilerdeki CO₂'emisyronları bir bütün olarak yaklaşık 2045'e kadar net sıfıra düşer ve bu ülkeler toplu olarak yaklaşık

2050 yılında atmosferden 0,2 Gt CO₂. Bazı yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdeki emisyonlar da 2050'den çok önce net sıfıra düşmektedir, ancak toplamda bu ülke grubunda 2050'de yaklaşık 0,2 Gt CO₂ emisyon kalmaktadır. Bunlar, küresel düzeyde net sıfır CO₂ emisyonu sağlamak için gelişmiş ekonomilerdeki CO₂ giderimi ile dengelenmektedir.

Şekil 2.2► NZE'de küresel net CO₂ emisyonları

IEA. Tüm hakları saklıdır.

*CO₂ emisyonları gelişmiş ekonomilerde 2045 civarında ve küresel olarak 2050'ye kadar net sıfıra düşer.
Kişi başına düşen emisyonlar küresel olarak 2040'ların başında benzerdir.*

Not: Uluslararası havacılık ve deniz taşımacılığından kaynaklanan CO₂ emisyonlarını içerir.

³ 2030'a kadar olan dönemde, NZE'deki CO₂ emisyonları, IPCC SR 1.5'teki P2 açıklayıcı yoluna büyük ölçüde benzer bir oranda düşmektedir (IPCC, 2018). P2 senaryosu, "sürdürülebilir ve sağlıklı tüketim kalıplarına, düşük karbonlu teknoloji yeniliklerine ve BECCS [karbon yakalama ve depolama özellikli biyoenerji] için sınırlı toplumsal kabul edilebilirliğe sahip iyi yönetilen arazi sistemlerine doğru ... kaymalar içeren bir senaryo" olarak tanımlanmaktadır. 2030' sonra NZE'deki emisyonlar, 2050'de 5,6 Gt CO₂ artırıktır enerji sektörü ve endüstriyel proses CO₂ emisyonu kalan P2 senaryosuna göre çok daha hızlı bir şekilde düşmektedir.

Yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik ve biyoenerji üretimi için çok büyük bir potansiyele sahip bazı yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomiler de karbondioksit giderimi (CDR) için önemli bir kaynaktır. Bu, bir kısmı ihraç edilen CCUS ile büyük miktarlarda biyoyakıt üretmek ve karbon yakalama ve depolama ile doğrudan hava yakalama (DACCS) gerçekleştirmek için yenilenebilir elektrik kaynaklarından yararlanmayı içerir.

Gelişmiş ekonomilerde kişi başına düşen CO₂ emisyonları 2020'de kişi başına yaklaşık 8 tCO₂ iken 2030'da yaklaşık 3,5 tCO₂'ye düşerek 2020'de yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerin ortalamasına yakın bir seviyeye inmiştir. Kişi başına düşen emisyonlar yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde de düşmektedir, ancak çok daha düşük bir başlangıç noktasından. 2040'ların başında, her iki bölgede de kişi başına emisyonlar kişi başına yaklaşık 0,5 tCO₂ ile büyük ölçüde benzerdir.

2020-2050 yılları arasındaki kümülatif küresel enerji kaynaklı ve endüstriyel proses CO₂ emisyonları NZE'de 460 Gt'un biraz üzerindedir. Tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımından (AFOLU) kaynaklanan CO(2) emisyonlarını 2050'ye kadar olan dönemde ele almak için paralel eylem varsayımı, AFOLU'dan yaklaşık 40 Gt CO₂ ile sonuçlanacaktır (bkz. bölüm 2.7.2). Bu, tüm kaynaklardan gelen toplam CO(2) emisyonlarının - yaklaşık 500 Gt CO₂- IPCC SR1.5'te yer alan CO(2) bütçeleri ile uyumlu olduğu anlamına gelmektedir; bu bütçe, ısınmayı 1,5 °C ile sınırlandırmanın %50 şansını sağlamakla tutarlı 2020'den itibaren toplam CO₂ bütçesinin 500 Gt CO₂ olduğunu belirtmektedir (IPCC, 2018_[1]).⁴ NZE, CO(2) emisyonlarını net sıfıra indirmenin yanı sıra, enerji sektöründen kaynaklanan CO₂'dışı emisyonları da azaltmayı amaçlamaktadır. Örneğin fosil yakıt üretimi ve kullanımından kaynaklanan metan emisyonları, 2020'de 115 milyon ton (Mt) metandan (3,5 Gt CO₂)-eşdeğeri [CO₂-eq]]⁵ 2030'da 30 Mt'a düşecektir. ve 2050 yılında 10 Mt.

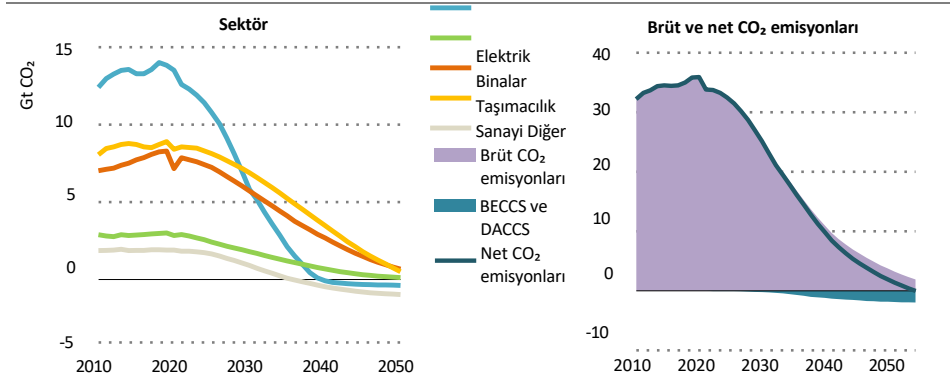
NZE'de küresel emisyonlardaki en hızlı ve en büyük azalmalar ilk olarak elektrik sektöründe görülmektedir (Şekil 2.3). Elektrik üretimi 2020'de en büyük emisyon kaynağıydı, ancak 2030'a kadar olan dönemde emisyonlar, esas olarak kömür yakıtlı elektrik santrallerinden kaynaklanan büyük düşüşler nedeniyle yaklaşık %60 oranında azaldı ve elektrik sektörü 2040 civarında küçük bir net negatif emisyon kaynağı haline geldi. Bina sektöründen kaynaklanan emisyonlar, fosil yakıtlı kazanların kullanımından uzaklaşılması ve mevcut bina stokunun enerji performansını iyileştirmek için yenilenmesi sayesinde 2020 ve 2030 yılları arasında %40 oranında düşmektedir. Sanayi ve ulaşımdan kaynaklanan emisyonların her ikisi de bu dönemde yaklaşık %20 oranında düşmekte ve düşük emisyonlu yakıtların ve diğer emisyon azaltma seçeneklerinin yaygınlaştırılmasıyla 2030'larda emisyon azaltma hızları artmaktadır. Bununla birlikte, ulaştırma ve sanayide, havacılık ve ağır sanayi gibi emisyonları tamamen ortadan kaldırmanın zor olduğu bazı alanlar vardır ve her iki sektör de 2050 yılında küçük bir düzeyde artık emisyonu sahiptir. Bu artık emisyonlar BECCS ve DACCS uygulamaları ile dengelenmektedir.

⁴ Bu bütçe IPCC SR1.5 IPCC, 2018) Tablo 2.2'ye dayanmaktadır. 2006-2015 dönemine göre 0,53 °C ek ısınma varsayımıyla 2018'den kalan CO₂ bütçesi 580 Gt CO₂ dir. 2018'den 2020'ye kadar yaklaşık 80 Gt CO₂ emisyonu salınmıştır.

⁵ CO₂ olmayan gazlar, IPCC 5. Değerlendirme Raporu (IPCC, 2014) tarafından bildirilen 100 yıllık küresel ısınma potansiyelleri temel alınarak CO₂ eşdeğerlerine dönüştürülmüştür. Bir ton metan 30 ton CO₂'ye eşdeğerdir.

Şekil 2.3▶

Sektörlere göre küresel net- CO_2 emisyonları ve Yeni Zelanda'daki brüt ve net CO_2



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Elektrikten kaynaklanan emisyonlar en hızlı şekilde düşerken, sanayi ve ulaşımdaki düşüşler 2030'larda hızlanmaktadır. BECCS ve DACCS aracılığıyla 2050 yılında yaklaşık 1,9 Gt CO_2 giderilmektedir.

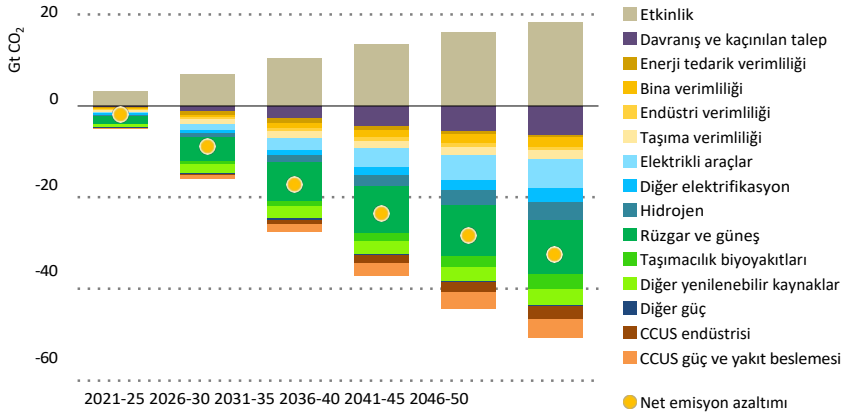
Notlar: Diğer= tarım, yakıt üretimi, dönüşüm ve ilgili proses emisyonları ve doğrudan hava . BECCS= karbon yakalama ve depolama ile biyoenerji; DACCS= karbon yakalama ve depolama ile doğrudan hava yakalama. BECCS ve DACCS, yakalanan ve kalıcı olarak depolanan CO_2 emisyonlarını içerir.

NZE, tüm yeni varlıkların ve altyapının mümkün olduğunca sürdürülebilir ve verimli olması için sistematik bir tercih içermektedir ve bu, 2050'deki toplam emisyon azaltımlarının %50'sini oluşturmaktadır. Mevcut altyapıdan kaynaklanan emisyonlarla mücadele, 2050'deki azaltımların %35'ini oluştururken, malzeme verimliliği⁶ kazanımları ve ulaşım sektöründeki mod değişiklikleri dahil olmak üzere davranış değişiklikleri ve önlenen talep, emisyon azaltımlarının geri kalan %15'ini sağlamaktadır (bkz. Bölüm 2.5.2¹). Enerji santralleri, endüstriyel tesisler, binalar, şebekeler, ekipman ve cihazlar gibi mevcut altyapıdan kaynaklanan emisyonları azaltmak için NZE'de çok çeşitli teknolojiler ve önlemler kullanılmaktadır. NZE, mümkün olan durumlarda, yani ilk yatırımın telafi edilemediği durumlarda atıl sermayeyi en aza indirecek şekilde tasarlanmıştır, ancak birçok durumda erken emeklilik veya daha düşük kullanım, atıl değere, yani gelirden bir azalmaya yol açar.

Daha enerji verimli teknolojilerin hızla yaygınlaştırılması, nihai kullanımların elektrifikasyonu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının hızlı büyümesi, NZE'deki tüm sektörlerde emisyonların azaltılmasında merkezi bir rol oynamaktadır (Şekil 2.4). 2050 yılına gelindiğinde, tüm elektrik üretiminin yaklaşık %90'ı, sanayi ve binalardaki elektrik dışı enerji kullanımının yaklaşık %25'i yenilenebilir kaynaklardan sağlanacaktır. Ayrıca, özellikle emisyonların azaltılmasının en zor olduğu sektörlerde, hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar, biyoenerji ve CCUS gibi gelişmekte olan yakıtlar ve teknolojiler için de önemli bir rol vardır.

⁶ Malzeme verimliliği, malzeme talebini azaltan veya daha düşük emisyonlu malzemelerin kullanımına veya daha düşük emisyonlu üretim yollarına geçiş yapan stratejileri içerir. Örnekler arasında hafifletme ve geri dönüşüm yer almaktadır.

Şekil 2.4►

NZE'de 2020'den itibaren yıllık ortalama CO₂ azaltımları

IEA, Tüm hakları saklıdır.

Notlar: Faaliyet= ekonomik ve nüfus artışından kaynaklanan enerji hizmeti talebindeki değişiklikler. Davranış= ısıtma sıcaklıklarının değiştirilmesi gibi kullanıcı kararlarından kaynaklanan enerji hizmeti talebindeki değişim. Kaçınılan talep = dijitalleşme gibi teknolojik gelişmelerden kaynaklanan enerji hizmeti talebindeki değişim.

2.4 Toplam enerji arzı ve nihai enerji tüketimi

2.4.1 Toplam enerji arzı⁷

Toplam enerji arzı 2030 yılında 550 exajoule'e (EJ) düşerek 2020 yılına göre %7 (Şekil 2.5). Bu durum, enerji yoğunluğundaki (bir birim GSYH üretmek için kullanılan enerji miktarı) düşüş nedeniyle küresel nüfus ve ekonomideki önemli artışlara rağmen gerçekleşmektedir. Enerji yoğunluğu 2020 ve 2030 yılları arasında her yıl ortalama %4 oranında düşmektedir. Bu, elektrifikasyon, tüm enerji ve malzeme verimliliği fırsatlarını takip etme çabası, enerji hizmetlerine olan talebi azaltan davranış değişiklikleri ve geleneksel biyoenerji kullanımından büyük ölçüde uzaklaşma kombinasyonu ile elde edilmektedir.⁸ Enerji yoğunluğundaki bu iyileşme seviyesi, son yıllarda elde edilenden çok daha fazladır: 2010-2020 yılları arasında, ortalama yıllık enerji yoğunluğu her yıl %2'den daha az düşmüştür.

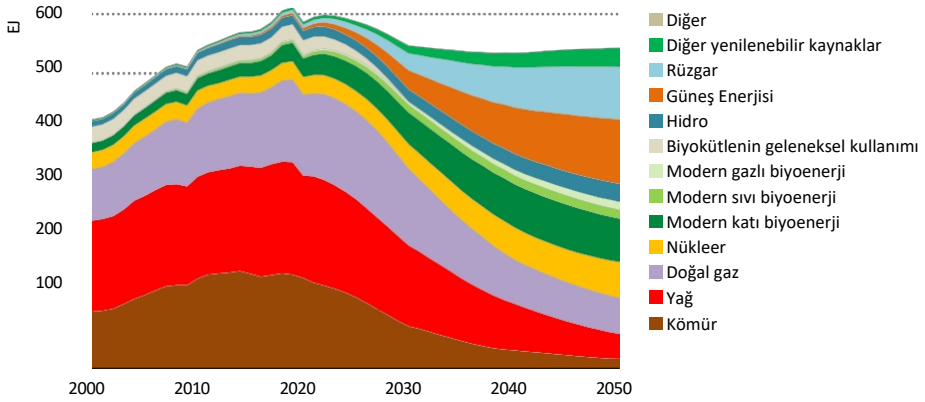
2030'dan sonra, nihai kullanım sektörlerinin elektrifikasyonuna devam edilmesi enerji yoğunluğunun daha da azaltılmasına yardımcı olur, ancak 2030'a kadar olan yıllarda enerji verimliliği iyileştirmelerinin en üst düzeye çıkarılmasına yapılan vurgu

⁷ Toplam birincil enerji arzı (TPES) veya toplam birincil enerji talebi (TPED) terimleri, Uluslararası Enerji İstatistikleri Tavsiyelerine (IEA, 2020a) uygun olarak toplam enerji arzı (TES) olarak yeniden adlandırılmıştır.

⁸ Modern pişirme biçimleri, verimsiz ocaklarda geleneksel biyokütle kullanımına çok daha az enerji gerektirir. Örneğin, sıvılaştırılmış petrol gazı sobasıyla yemek pişirmek, geleneksel biyokütle kullanımına göre yaklaşık beş kat daha az enerji kullanır.

2030 daha sonraki yıllarda mevcut fırsatları sınırlamaktadır. Aynı zamanda, gelişmiş biyoyakıtlar, hidrojen ve sentetik yakıtlar gibi yeni yakıtların artan üretimi, enerji kullanımını artırma eğilimindedir. Sonuç olarak, 2030 ve 2050 yılları arasında enerji yoğunluğundaki düşüş oranı yılda %2,7'ye kadar yavaşlamaktadır. Devam eden ekonomik ve nüfus artışıyla birlikte bu, toplam enerji arzının 2030 ve 2040 yılları arasında biraz düşeceği, ancak daha sonra 2050 yılına kadar genel olarak sabit kalacağı anlamına gelmektedir. NZE'de 2050 yılında toplam enerji arzı, yaklaşık 3 milyar kişi daha fazla olan küresel nüfusa ve üç kattan fazla büyüyen küresel ekonomiye rağmen 2010 yılındaki seviyeye yakındır.

Şekil 2.5► NZE'deki toplam enerji arzı



IEA. Tüm hakları saklıdır.

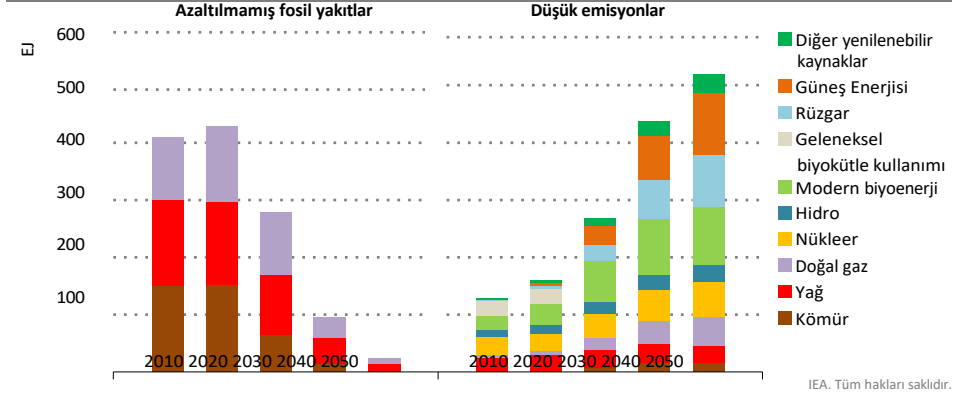
Yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerji, Yeni Zelanda'da fosil yakıt kullanımının çoğunun yerini almakta ve fosil yakıtların payı, 2020'de %80'den 2050'de %20'nin biraz üzerine düşmektedir

2050'de NZE'deki enerji karışımı bugünkünden çok daha çeşitlidir. 2020 yılında petrol toplam enerji arzının %30'unu, kömür %26'sını ve doğal gaz %23'ünü sağlıyordu. 2050'de yenilenebilir enerji kaynakları, enerji kullanımının üçte ikisini sağlayarak biyoenerji, rüzgar, güneş, hidroelektrik ve jeotermal arasında bölünmüştür (Şekil 2.6). Nükleer elde edilen enerji arzında da büyük bir artış söz konusudur ve 2020 ile 2050 yılları arasında neredeyse iki katına çıkmaktadır.

Yeni Zelanda'da fosil yakıtların kullanımında büyük düşüşler vardır. Toplam enerji arzının bir payı olarak, 2020'de %80'den 2050'de %20'nin biraz üzerine düşmektedir. Bununla birlikte, 2050'de kullanımları sıfıra düşmemektedir: enerji dışı malların üretiminde, CCUS'lu tesislerde ve ağır sanayi ve uzun mesafe taşımacılığı gibi emisyonların azaltılmasının özellikle zor olduğu sektörlerde hala önemli miktarlarda kullanılmaktadır. 2050'de kalan tüm emisyonlar başka yerlerdeki negatif emisyonlarla dengelenmektedir (Kutu 2.2). Kömür kullanımı 2020'de 5 250 milyon ton kömür eşdeğerinden (Mtce) 2030'da 2 500 Mtce'ye ve 2050'de 600 Mtce'nin altına düşmektedir - 2020'den 2050'ye kadar her yıl ortalama %7'lik bir düşüş. Petrol talebi 2020'de günlük 90 milyon varil (mb/d) altına düşmüştür ve talep 2019'daki zirvesine geri dönmemektedir: 2030'da 72 'ye ve 'de 24 mb/d'ye düşmüştür - 2020'den 2050'ye yıllık ortalama %4'ten fazla bir düşüş. Doğal gaz kullanımı 2020'de 3 900 milyar metreküp (bcm) düşmüş, ancak önceki seviyesini aşmıştır.

2019 2020'lerin ortasında zirve yaptıktan sonra elektrik sektöründe aşamalı olarak kullanımdan kaldırıldığı için azalmaya başlayacaktır. Doğal gaz kullanımı 2030'da 3 700 bcm'ye, 2050'de ise 1 750 bcm'ye gerileyerek 2020'den 2050'ye kadar yıllık ortalama %3'ün biraz altında bir düşüş gösterecektir.

Şekil 2.6> NZE'de azaltılmamış fosil yakıtlar ve düşük emisyonlu enerji kaynaklarının toplam enerji arzı



Bazı fosil yakıtlar 2050 yılında hala enerji dışı malların üretiminde, CCUS ile donatılmış tesislerde ve emisyonların azaltılmasının zor olduğu sektörlerde kullanılmaktadır

Not: Düşük emisyonlar, fosil yakıtların CCUS ile ve enerji dışı kullanımlarda kullanılmasını içerir.

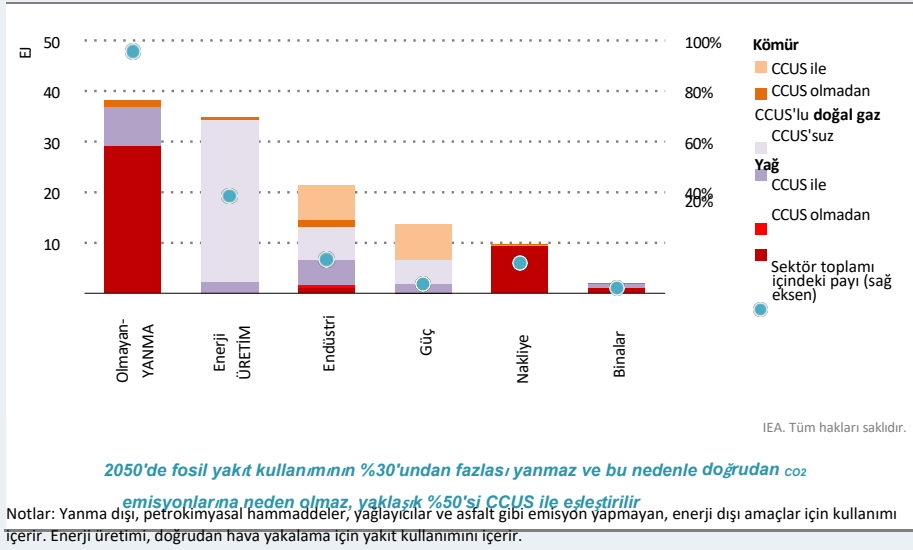
Kutu 2.2> NZE'de fosil yakıt kullanımı 2050 yılında neden sıfıra düşmüyor?

Toplamda, 2020'deki 460 EJ'ye kıyasla 2050'de Yeni Zelanda'yaklaşık 120 EJ fosil yakıt tüketilmektedir. Enerji sektörü net bazda hiç CO₂ salınamasına rağmen fosil yakıt kullanımının 2050 yılında sıfıra düşmemesinin altında üç ana neden yatmaktadır:

- **Enerji dışı amaçlar için kullanım.** 2050 yılında NZE'deki toplam fosil yakıt kullanımının %30'undan fazlası - petrol kullanımının %70'i dahil - yakıtların yanmadığı ve dolayısıyla doğrudan CO₂ emisyonlarına yol açmadığı uygulamalardır (Şekil 2.7). Örnekler arasında kimyasal hammadde olarak ve yağlayıcılarda, parafin mumlarında ve asfaltta kullanım yer almaktadır. Yeni Zelanda'da bu uygulamalarda fosil yakıt kullanımını sınırlandırmaya yönelik büyük çabalar vardır, örneğin geri dönüşüm için küresel plastik toplama oranları 2020'de %15'ten 2050'de %55'e yükselmektedir, ancak enerji dışı uygulamalarda fosil yakıt kullanımı 2050'ye kadar hala biraz artmaktadır.
- **CCUS ile kullanım.** 2050'de fosil yakıt kullanımının yaklaşık yarısı CCUS ile donatılmış tesislerde (2050'de fosil yakıtlardan yaklaşık 3,5 Gt CO₂ emisyonu yakalanır). Yaklaşık 925 milyar metreküp doğal gaz CCUS ile hidrojene dönüştürülür. Buna ek olarak, elektrik ve sanayi sektörlerinde CCUS ile yaklaşık 470 Mtce kömür ve 225 bcm doğal gaz, çoğunlukla genç tesislerin faaliyetlerini uzatmak ve karaya oturmuş varlıkları azaltmak için kullanılmaktadır.

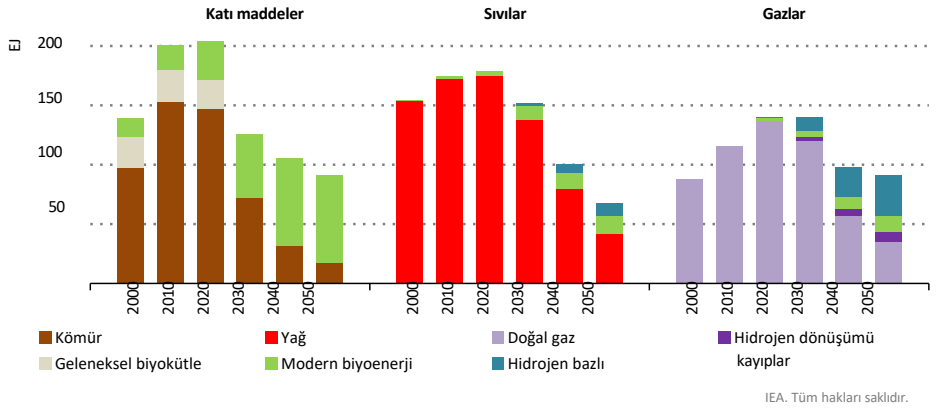
- **Teknoloji seçeneklerinin az olduğu sektörlerde kullanım.** 2050 yılında NZE'de fosil yakıt kullanımının kalan %20'si, emisyonların tamamen ortadan kaldırılmasının özellikle zor olduğu sektörlerdedir. Özellikle havacılığa yakıt sağlamaya devam ettiği için çoğunlukla petroldür. Az miktarda azaltılmamış kömür ve doğal gaz sanayide ve enerji üretiminde kullanılmaktadır. Fosil yakıtların hız kesmeden kullanımı yaklaşık 2050 yılında 1,7 Gt CO₂ emisyonu, BECCS ve DACCS tarafından tamamen dengelenmiştir.

Şekil 2.7 2050 yılında NZE'de fosil yakıt kullanımı ve sektörlere göre payı



Katı, sıvı ve gaz yakıtlar, biyoenerji ve hidrojenle büyük artışlar görülen Yeni Zelanda'da önemli bir rol oynamaya devam etmektedir (Şekil 2.8). Günümüzde kullanılan biyoenerjinin yaklaşık %40'ı yemek pişirmede geleneksel biyokütle kullanımı içindir: bu durum Yeni Zelanda'da hızla ortadan kalkmaktadır. Hem elektrik hem de sanayi sektörlerinde emisyonları azaltmak için kullanılabilecek modern katı biyokütle biçimleri, 2020'de 32 EJ'den 2030'da 55 EJ'ye ve 2050'de 75 EJ'ye yükselerek kömür talebindeki düşüşün büyük bir kısmını telafi etmektedir. Amonyak, sentetik yakıtlar ve sıvı biyoyakıtlar gibi düşük emisyonlu sıvı yakıtların kullanımı 2020'de 3,5 EJ'den (günde 1,6 milyon varil petrol eşdeğeri [mboe/d]) 2050'de 25 EJ'nin (12,5 mboe/d) biraz üzerine çıkmaktadır. Hidrojen, sentetik metan, biyogaz ve biyometan gibi düşük emisyonlu gazların arzı 2020'de 2 EJ'den 2030'da 17 EJ'ye ve 2050'de 50 EJ'ye yükselmektedir. Yeni Zelanda'da 2020 ve 2030 yılları arasında gaz halindeki hidrojen üretimindeki artış, Amerika Birleşik Devletleri'nde kaya gazı üretimindeki en hızlı on yıllık artıştan iki kat daha hızlıdır.

Şekil 2.8► NZE'deki katı, sıvı ve gaz yakıtlar



Biyoeenerji, hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlardan elde edilen düşük emisyonlu katı, sıvı ve gazlardaki artılar kömür, petrol ve doğal gazdaki düşüşlerin bir kısmını telafi etmektedir

Notlar: Hidrojen dönüşüm kayıpları = buhar metan reformu kullanarak düşük karbonlu ticari hidrojen üretirken doğal gaz tüketimi. Hidrojen bazlı; hidrojen, amonyak ve sentetik yakıtları içerir.

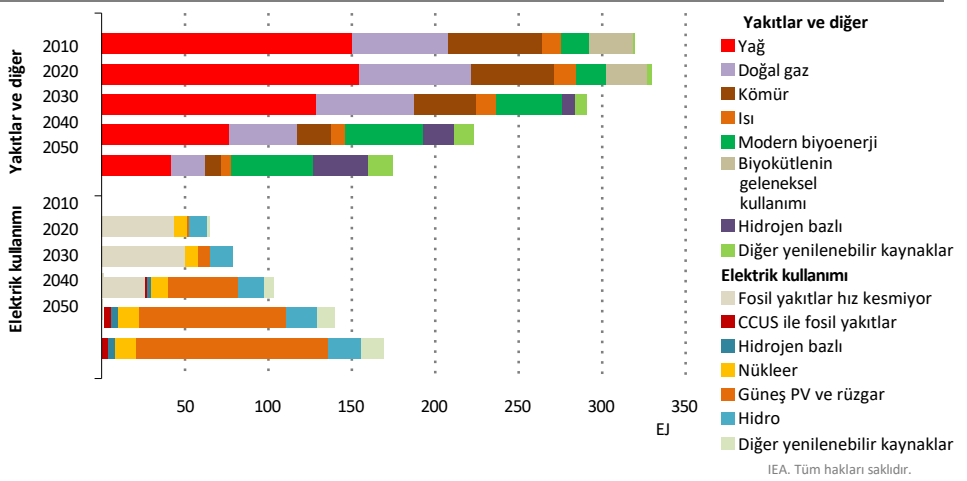
2.4.2 Toplam nihai tüketim

Dünya genelindeki toplam nihai tüketim 2020'deki %5lik düşüşün ardından marjinal bir toparlanma gösterse de hiçbir zaman Yeni Zelanda'daki 2019 seviyelerine (435 EJ) geri dönmemektedir. 2025 ve 2050 yılları arasında her yıl ortalama %1'in biraz altında düşerek 340 EJ'ye gerilemektedir. Enerji verimliliği önlemleri ve elektrifikasyon, katkıda bulunan iki ana faktördür; davranış değişiklikleri ve malzeme verimliliği de rol oynamaktadır. Bu iyileştirmeler olmasaydı, 2050 yılında nihai enerji tüketimi 640 EJ civarında olacaktı ki bu da NZE'deki seviyeden yaklaşık %90 daha yüksektir. Nihai elektrik tüketimi 2020'den 2030'a kadar %25 artmış ve 2050'de 2020'deki seviyenin iki katından fazla olmuştur. Nihai kullanım sektörlerinden ve hidrojen üretiminden kaynaklanan elektrik tüketimindeki artış, toplam yıllık elektrik talebi büyümesinin, NZE'de her yıl Hindistan büyüklüğünde bir elektrik piyasasının eklenmesine eşdeğer olduğu anlamına gelmektedir. Elektrikliğin küresel nihai enerji tüketimindeki payı 2020'de %20'den 2030'da %26'ya ve 2050'de yaklaşık %50'ye yükselmektedir (Şekil 2.9). Binalarda ve sanayide yenilenebilir enerji kaynaklarının doğrudan kullanımı ile biyoenerji ve hidrojen bazlı yakıtlar gibi düşük emisyonlu yakıtlar, 2050 yılında nihai enerji tüketiminin %28'ini oluşturmaktadır; fosil yakıtlar ise geri kalanını oluşturmaktadır ve bunların çoğu emisyon yaymayan süreçlerde veya CCUS ile donatılmış tesislerde kullanılmaktadır.

Sanayide, 2030'a kadar olan dönemde NZE'deki küresel emisyon azaltımlarının çoğu, enerji ve malzeme verimliliği iyileştirmeleri, ısının elektrifikasyonu ve güneş ısı, jeotermal ve biyoenerjiye yakıt geçişi yoluyla sağlanmaktadır. Bundan sonra, CCUS ve hidrojen, özellikle çelik, çimento ve kimyasallar gibi ağır sanayilerde CO₂ emisyonlarının azaltılmasında giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Sanayide elektrik tüketimi 2020 ve 2050 yılları arasında iki kattan fazla artarak 2050 yılında toplam sanayi enerji ihtiyacının %45'ini karşılayacaktır (Şekil 2.10).

Sanayide ticari hidrojene olan talep bugün 1 Mt'un altından 2050'de yaklaşık 40 Mt'a çıkacaktır. 2050'de endüstriyel enerji talebinin %10'u, CCUS ile donatılmış tesislerde kullanılan fosil yakıtlarla karşılanacaktır.

Şekil 2.9► Yeni Zelanda'da yakıta göre küresel toplam nihai tüketim



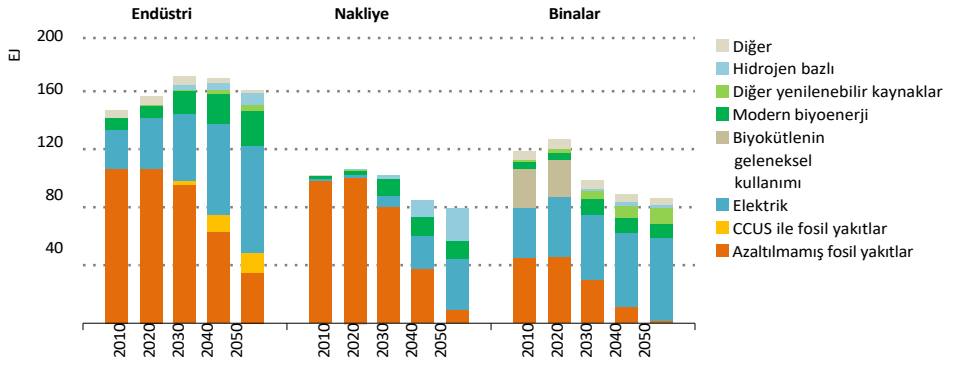
Nihai enerji kullanımında elektriğin payı 2020'de %20'den 2050'de %50'ye yükseliyor

Not: Hidrojen bazlı hidrojen, amonyak ve sentetik yakıtları içerir.

Ulaşımda, 2020 yılında yakıt kullanımının %90'ından sağlayan petrolden dünya çapında hızlı bir geçiş. Karayolu taşımacılığında elektrik, 2050'de enerji kullanımının %60'ından fazlasını sağlayarak sektöre hakim olurken, hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar, özellikle uzun mesafeli ağır hizmet kamyonlarının yakıt ikmalinde daha küçük bir rol oynamaktadır. Deniz taşımacılığında, enerji verimliliği iyileştirmeleri enerji ihtiyacını önemli ölçüde azaltırken (özellikle 2030'a kadar), gelişmiş biyoyakıtlar ve amonyak gibi hidrojen bazlı yakıtlar giderek petrolün yerini almaktadır. Havacılıkta sentetik sıvıların ve gelişmiş biyoyakıtların kullanımı hızla artmakta ve bunların toplam enerji talebi içindeki payı bugün neredeyse sıfırdan 2050'de neredeyse %80'e yükselmektedir. Genel olarak, elektrik 2040'ların başında küresel olarak ulaştırma sektöründe baskın yakıt haline gelir ve 2050'de sektördeki enerji tüketiminin yaklaşık %45'ini oluşturur (2020'deki %1,5'e kıyasla). Hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar tüketimin yaklaşık %30'unu (2020'de neredeyse sıfır), biyoenjeri ise %15'ini (2020'de yaklaşık %4) oluşturmaktadır.

Binalarda, ısıtma dahil son kullanımların elektrifikasyonu, elektrik talebinin 2020 ve 2050 yılları arasında yaklaşık %35 oranında artmasına yol açmaktadır: 2050 yılında 16.000 terawatt-saate (TWh) ulaşarak baskın yakıt haline gelmekte ve toplam bina sektörü enerji tüketiminin üçte ikisini oluşturmaktadır. 2050 yılına gelindiğinde, gelişmiş ekonomilerdeki konut binalarının üçte ikisi ve yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdeki konut binalarının yaklaşık %40'ı bir ısı pompası ile donatılmıştır. Güneş enerjili su ısıtıcıları ve biyokütle kazanları gibi yerinde yenilenebilir enerjiye dayalı enerji sistemleri, 2050 yılında bina sektöründe nihai enerji kullanımının dörtte birini daha sağlamaktadır (2020'de %6'dan). Düşük emisyonlu bölgesel ısıtma ve hidrojen, enerji kullanımının yalnızca %7'sini sağlamakla birlikte bazı bölgelerde önemli bir rol oynamaktadır.

Şekil 2.10 ▶ Yeni Zelanda'da sektör ve yakıt bazında küresel nihai enerji tüketimi



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Son kullanım sektörlerinde fosil yakıt kullanımdan elektrığe, yenilenebilir enerji kaynaklarına, hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlara, modern biyoenerjiye ve CCUS'a toptan bir geçiş söz konusudur

Not: Hidrojen bazlı hidrojen, amonyak ve sentetik yakıtları içerir.

Binalarda enerji tüketimi, büyük ölçüde verimliliği artırmaya ve yemek pişirmek için geleneksel katı biyokütle kullanımını aşamalı olarak kaldırmaya yönelik büyük bir çabanın sonucu olarak 2020 ve 2030 yılları arasında %25 oranında azalır: bunun yerini sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), biyogaz, elektrikli ocaklar ve geliştirilmiş biyoenerji sobaları alır. Elektrığe evrensel erişim 2030 yılına kadar sağlanır ve bu 2030 yılında küresel elektrik talebine %1'den daha az bir katkı sağlar. Binalar sektöründeki enerji tüketimi, verimlilik iyileştirmeleri ve elektrifikasyonun devam etmesi halinde 2030 ve 2050 yılları arasında yaklaşık %15 oranında azalmaktadır. 2050 yılına gelindiğinde, binalardaki enerji kullanımı 2020 yılına göre %35 daha düşüktür. Bina zarflarının iyileştirilmesi ve piyasaya sürülen tüm yeni cihazların mevcut en verimli modeller olmasının sağlanması da dahil olmak üzere enerji verimliliği önlemleri, Yeni Zelanda'da elektrik talebindeki artışın sınırlandırılmasında kilit rol oynamaktadır. Bu önlemler olmadan, binalardaki elektrik talebi 2050 yılında yaklaşık 10 000 TWh veya Yeni Zelanda'daki seviyeden yaklaşık %70 yüksek olacaktır.

SPOTLIGHT

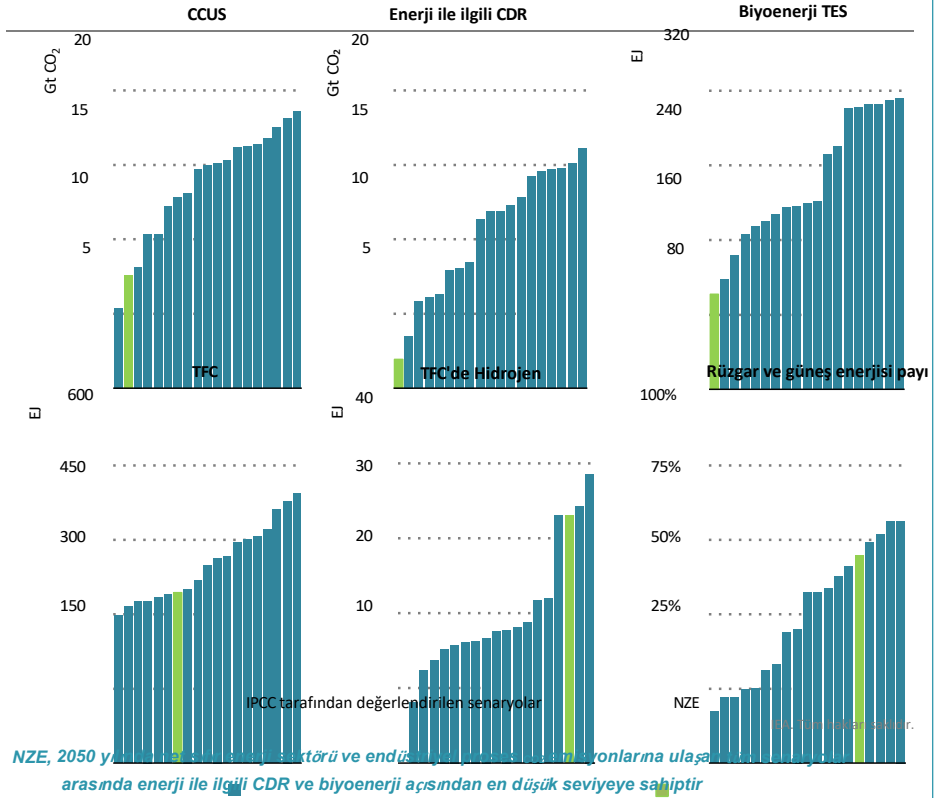
NZE, IPCC tarafından değerlendirilen benzer 1,5 °C senaryoları ile nasıl karşılaştırılabilir?

IPCC SR1.5, 2100 yılında ısınmayı 1,5 °C ile sınırlama şansı en az %50 olan 90 ayrı senaryo içermektedir (IPCC, 2018).⁹ Bu senaryolardan sadece 18'i 2050 yılında net sıfır CO₂ enerji sektörü ve endüstriyel proses emisyonlarına sahiptir. Başka bir deyişle, IPCC tarafından değerlendirilen 1,5 °C senaryolarının yalnızca beşte biri aynı düzeyde emisyon azaltımına sahiptir

⁹ Sıcaklık aşımı olmayan veya sınırlı olan 53 senaryo ve daha yüksek sıcaklık aşımı olan 37 senaryo içermektedir.

Enerji ve endüstriyel proses sektörleri için 2050 yılına kadar NZE olarak tutku.¹⁰ Bu 18 senaryo ile 2050 yılındaki NZE arasında bazı karşılaştırmalar (Şekil 2.11):

Şekil 2.11 ► 2050 yılında IPCC senaryoları ve NZE'nin seçilmiş göstergelerinin karşılaştırılması



Notlar: CCUS = karbon yakalama, kullanma ve depolama; CDR = karbonun doğrudan uzaklaştırılması; TES = toplam enerji arzı; TFC= toplam nihai tüketim. Enerji ile ilgili CDR, CCUS ile biyoenerji ve CCUS ile doğrudan hava yakalama yoluyla yakalanan ve kalıcı depolamaya konulan CO₂'yi içerir. Rüzgar ve güneş enerjisinin payı toplam elektrik üretiminin yüzdesi olarak verilmiştir. IPCC tarafından değerlendirilen 18 senaryonun sadece 17'si TFC'de hidrojen kullanımını rapor etmektedir.

- **CCUS kullanımı.** IPCC tarafından değerlendirilen senaryolarda 2050 yılında CCUS kullanılarak yakalanan CO₂ miktarı medyan olarak 15 Gt civarındadır ve bu rakam NZE'deki seviyenin iki katından fazladır.
- **CDR kullanımı.** IPCC senaryolarında BECCS ve DACCS'den yakalanan ve depolanan CO₂ emisyonları, NZE' 1,9 Gt CO₂ ile karşılaştırıldığında 2050' 3,5-16 Gt CO₂ arasında değişmektedir.

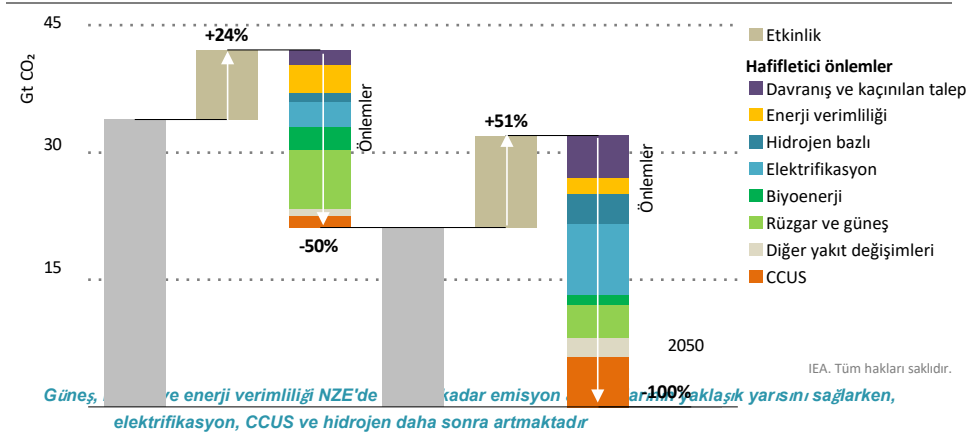
¹⁰ Düşük enerji talebi senaryosu 2050 yılında yaklaşık 4,5 Gt CO₂ enerji sektörü ve endüstriyel proses emisyonuna sahiptir ve bu karşılaştırmaya dahil edilmemiştir.

- **Biyoenerji.** IPCC senaryoları 2050 yılında ortalama 200 EJ birincil biyoenerji kullanmaktadır (bugün 63 EJ ile karşılaştırıldığında) ve bazı senaryolar 300 EJ'den fazla kullanmaktadır. NZE 2050 yılında 100 EJ birincil biyoenerji kullanmaktadır.
- **Enerji verimliliği.** IPCC senaryolarındaki toplam nihai tüketim 2050'de 300-550 EJ arasında değişmektedir (2020'deki yaklaşık 410 EJ ile karşılaştırıldığında). NZE 2050 yılında 340 EJ nihai enerji tüketimine sahiptir.
- **Hidrojen.** IPCC senaryoları, 2050 yılında toplam nihai tüketimde medyan 18 EJ hidrojene sahipken, NZE'de bu değer 33 EJ'dür¹¹.
- **Elektrik üretimi.** IPCC senaryolarında 2050 yılında rüzgar ve güneş enerjisinin toplam elektrik üretimindeki payları yaklaşık %15-80 arasında değişmekte olup medyan değer %50'dir. NZE'de rüzgar ve güneş 2050 yılında toplam üretimin %70'ini sağlamaktadır.

2.5 Dekarbonizasyonun temel direkleri

NZE'de önümüzdeki 30 yıl içinde CO₂ emisyonlarında hızlı bir azalma sağlamak için çok çeşitli politika yaklaşımları ve teknolojiler gerekmektedir (Şekil 2.12). Küresel enerji sisteminin karbonsuzlaştırılmasının temel direkleri enerji verimliliği, davranış değişiklikleri, elektrifikasyon, yenilenebilir enerji, hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar, biyoenerji ve CCUS'dir.

Şekil 2.12► NZE'de azaltım tedbirine göre emisyon azaltımları, 2020-2050



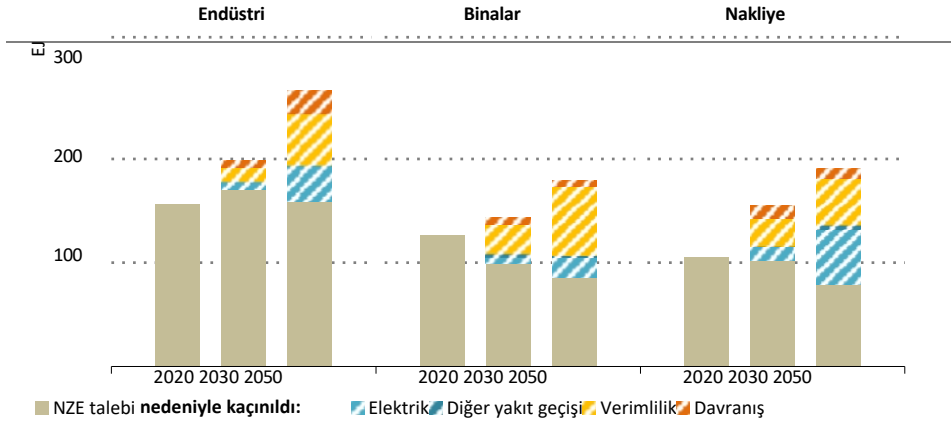
Notlar: Faaliyet= enerji hizmeti talebi ekonomik ve nüfus artışından kaynaklanan değişiklikler. Davranış= enerji hizmeti talebi, ısıtma sıcaklıklarının değiştirilmesi gibi kullanıcı kararlarına bağlı olarak değişir. Kaçınılan talep= dijitalleşme gibi teknolojik gelişmelerden kaynaklanan enerji hizmeti talebi değişiklikleri. Diğer yakıt değişimleri= kömür ve petrolden doğal gaz, nükleer, hidroelektrik, jeotermal, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi veya denizciliğe geçiş.

¹¹ Hidrojen için NZE değeri, nihai enerji tüketiminde tüketilen hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtların toplam enerji içeriğini içerir.

2.5.1 Enerji verimliliği

Enerji verimliliğindeki iyileştirmeler yoluyla enerji talebi artışının en aza indirilmesi, Yeni Zelanda'da kritik bir katkı sağlamaktadır. Sanayide, binalarda, cihazlarda ve ulaşımda birçok verimlilik önlemi çok hızlı bir şekilde uygulamaya konulabilir ve ölçeklendirilebilir. Sonuç olarak, enerji verimliliği önlemleri NZE'de önden yüklemelidir ve 2030'a kadar olan dönemde enerji talebini ve emisyonları azaltmada en büyük rolü oynarlar. Enerji verimliliği 2030'dan sonra daha da iyileşse de, diğer azaltım önlemlerinin artan bir rol oynaması nedeniyle genel emisyon azaltımlarına katkısı düşmektedir. Yeni Zelanda'da uygulanan enerji verimliliği, davranış değişiklikleri ve elektrifikasyon önlemleri olmasaydı, nihai enerji tüketimi 2050 yılında yaklaşık 300 EJ daha yüksek olacaktı ve bu da Yeni Zelanda'daki 2050 seviyesinin neredeyse %90 üzerinde olacaktı (Şekil 2.13). Verimlilik iyileştirmeleri, işletmelerin ve tüketicilerin elektrik arzındaki olası kesintilere karşı savunmasızlığını azaltmaya da yardımcı olur.

Şekil 2.13 ► NZE'de azaltım tedbiri ile önlenen toplam nihai tüketim ve talep



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Enerji verimliliği, nihai kullanım sektörlerinde enerji tüketiminin azaltılmasında kilit bir rol oynamaktadır

Notlar: Diğer yakıt geçişi hidrojenle ilgili yakıtlara, biyoenerjiye, solar termal, jeotermal veya bölgesel ısıya geçişi içerir.

Bina sektöründe birçok verimlilik önlemi, enerji kullanımını ve emisyonları azaltmanın yanı sıra mali tasarruf da sağlamaktadır. Yeni Zelanda'da, çoğunlukla büyük ölçekli güçlendirme programlarından kaynaklanan, binalarda enerji verimliliğinde ani ve hızlı gelişmeler vardır. Yeni Zelandada 2050 yılına kadar her yıl gelişmiş ekonomilerdeki mevcut konut binalarının yaklaşık %2,5'i sıfır karbona hazır bina standartlarına¹² uyacak şekilde güçlendirilmektedir (mevcut güçlendirme oranı %1'den azdır). Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde, bina yenileme

¹² Sıfır karbona hazır bir bina yüksek enerji verimliliğine sahiptir ve ya doğrudan yenilenebilir enerji kullanır ya da NZE'de 2050 yılına kadar tamamen karbonsuzlaştırılacak bir enerji kaynağından (elektrik veya bölgesel ısı gibi) yararlanır. Sıfır karbona hazır bir bina, binada veya ekipmanında başka bir değişiklik yapılmadan 2050 yılına kadar sıfır karbonlu bir bina haline gelecektir (bkz. Bölüm 3).

oranları daha yüksektir ve yıllık iyileştirme oranı 2050'ye kadar %2 civarındadır. 2050 yılına kadar, mevcut konut binalarının büyük çoğunluğu sıfır karbonlu binalar olacak şekilde iyileştirilir. İnşa edilen neredeyse tüm yeni binaların sıfır karbona hazır olmasını sağlamak için 2030 yılına kadar tüm bölgelerde enerjiyle ilgili bina yönetmelikleri uygulamaya konur. Düşük verimli cihazlar için minimum enerji performans standartları ve değiştirme programları 2020'lerde tüm ülkelerde uygulamaya konur veya güçlendirilir. 2030'ların ortasına kadar, dünya çapında satılan neredeyse tüm ev aletleri bugün mevcut olan en verimli modeller kadar verimlidir.

Ulaşım sektöründe, katı yakıt ekonomisi standartları ve 2035'ten itibaren içten yanmalı motorlarla (İYM) çalışan yeni binek araçların küresel olarak satılmamasının sağlanması, araç satışlarında çok daha verimli elektrikli araçlara (EA) doğru hızlı bir kaymaya neden olmaktadır.⁽¹³⁾ Verimlilik üzerindeki etki, araç stokunun bileşimi değiştiğinde 2030'larda görülmektedir: elektrikli arabalar 2030'da yoldaki tüm arabaların %20'sini ve 2040'ta %60'ını oluşturmaktadır (bugün %1'e kıyasla). Ağır karayolu araçlarının yakıt ekonomisindeki sürekli iyileşmeler, elektrik veya yakıt hücrelerine geçtikçe 2050'ye kadar gerçekleşirken, daha verimli uçaklar ve gemiler mevcut stokun yerini aldıkça denizcilik ve havacılıkta verimlilik artmaktadır.

Sanayi sektöründe, çoğu imalat stoğu zaten oldukça verimlidir, ancak enerji verimliliği iyileştirmeleri için hala fırsatlar vardır. Enerji yönetim sistemleri, elektrik motorları, değişken hızlı sürücüler, ısıtıcılar ve öğütücüler gibi sınıfının en iyisi endüstriyel ekipmanlar kurulmakta ve atık ısı geri kazanımı gibi süreç entegrasyon seçenekleri, 2030'a kadar olan dönemde NZE'de maksimum ekonomik potansiyellerine göre kullanılmaktadır. 2030'dan sonra verimlilik artış hızı yavaşlar çünkü Yeni Zelanda'da sanayide emisyonları azaltmak için gereken teknolojilerin çoğu, eşdeğer geleneksel teknolojilerden daha fazla enerji gerektirir. Örneğin CCUS kullanımı, yakalama ekipmanını çalıştırmak için enerji tüketimini artırır ve sahada elektrolitik hidrojen üretmek, ana üretim süreci için gerekenden daha fazla enerji gerektirir.

Tablo 2.3▶ Yeni Zelanda'da enerji verimliliği için temel küresel kilometre taşları

Sektör	2020	2030	2050
Toplam enerji arzı	<i>2010-20</i>	<i>2020-30</i>	<i>2030-50</i>
Yıllık enerji yoğunluğu iyileştirmesi (ABD Doları GSYİH başına MJ)	-1.6%	-4.2%	-2.7%
Endüstri			
Doğal gazdan doğrudan indirgenmiş demirin enerji yoğunluğu (ton başına GJ)	12	11	10
Birincil kimyasalların proses enerji yoğunluğu (ton başına GJ)	17	16	15
Nakliye			
ICE ağır kamyon filosunun ortalama yakıt tüketimi (endeks 2020=100)	100	81	63
Binalar			
Sıfır karbona hazır binaların toplam stok içindeki payı	<1%	25%	>85%
Yeni binalar: ısıtma ve soğutma enerji tüketimi (endeks 2020=100)	100	50	20
Aletler: birim enerji tüketimi (endeks 2020=100)	100	75	60

Notlar: ICE= içten yanmalı motor; sıfır karbona hazır binalar= bölüm 3.7'deki açıklamaya bakınız.

¹³ 2020 yılında, ortalama bir bataryalı elektrikli otomobil, aynı düzeyde faaliyet sağlamak için ortalama İYM otomobilin enerjisinin yaklaşık %30'una ihtiyaç duymaktadır.

2.5.2 Davranış değişikliği

NZE'de gösterilen enerji sektörünün bütünsel ölçekte dönüşümü, vatandaşların aktif ve istekli katılımı olmadan gerçekleştirilemez. Enerji ile ilgili mal ve hizmetlere olan talebi yönlendirenler nihayetinde insanlardır ve toplumsal normlar ve kişisel tercihler, enerji sisteminin sürdürülebilir bir yola yönlendirilmesinde çok önemli bir rol oynayacaktır. NZE'deki emisyon azaltımlarının %40'ından biraz azı, büyük politika desteği ve yatırım gerektiren ancak vatandaşların veya tüketicilerin doğrudan katılımının çok az olduğu düşük karbonlu teknolojilerin (örneğin elektrik üretimi veya çelik üretimi teknolojileri) benimsenmesinden kaynaklanmaktadır. Emisyon azaltımlarının %55'i, düşük karbonlu teknolojilerin yaygınlaştırılması ile vatandaşların ve tüketicilerin aktif katılımı veya angajmanının bir karışımını gerektirmektedir, örneğin güneş enerjili su ısıtıcısı kurmak veya elektrikli araç satın almak gibi. Emisyon azaltımlarının son %8'i, enerji talebini azaltan davranış değişiklikleri ve malzeme verimliliği kazanımlarından kaynaklanmaktadır, örneğin iş amacıyla daha az uçmak gibi (Şekil 2.14). Tüketici tutumları, kamu imajı konusunda endişe duyan işletmelerin yatırım kararlarını da etkileyebilir.

NZE'de davranış değişikliği, tüketicilerin enerji hizmeti talebini veya enerjiyle ilgili bir faaliyetin enerji yoğunluğunu etkileyen devam eden veya tekrarlanan davranışlarındaki değişiklikleri ifade eder.¹⁴ NZE'de enerji hizmeti talebindeki azalmalar teknolojiye dayalı davranışlardan da kaynaklanmaktadır, ancak bunlar davranış değişikliği olarak sayılmaz. Örneğin, artan dijitalleşme ve akıllı termostatlara veya mekana göre farklılaştırılmış termal kontroller gibi akıllı cihazların artan pazar payı, NZE'de zaman içinde insanların evlerde enerji tasarrufunda aktif bir rol oynama gerekliliğini azaltmaktadır.

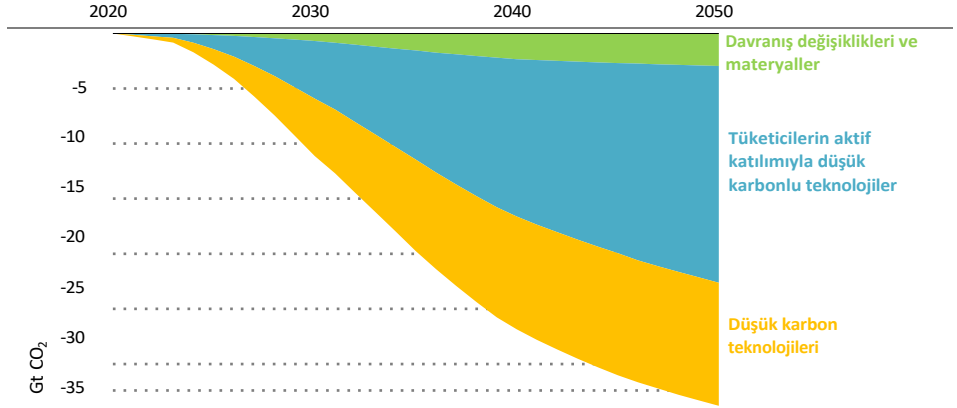
NZE'de üç ana davranış değişikliği türü bulunmaktadır. Bu değişiklikleri motive etmek için çok çeşitli hükümet müdahaleleri kullanılabilir (bkz. Bölüm 2.7.1).

- **Aşırı veya savurgan enerji kullanımının azaltılması.** Bu, binalarda ve yollarda enerji kullanımının azaltılmasını içerir; örneğin iç mekan sıcaklık ayarlarının düşürülmesi, evlerde enerji tasarrufu uygulamalarının benimsenmesi ve otoyollarda sürüş hızının saatte 100 kilometre ile sınırlandırılması.
- **Ulaşım modu değiştirme.** Bu, şehirlerde araba ile yapılacak yolculuklar için bisiklete binme, yürüme, araç paylaşımı veya otobüse binmenin yanı sıra bunun mümkün olduğu bölgelerde bölgesel hava yolculuğunun yüksek hızlı demiryolu ile değiştirilmesini de içerir. Bu tür davranış değişikliklerinin birçoğu alışılmış ya da alışılmış yaşam biçimlerinde bir kırılmayı temsil edecek ve bu nedenle bir dereceye kadar halkın kabulünü ve hatta coşkusunu gerektirecektir. Birçoğu ayrıca bisiklet yolları ve yüksek hızlı tren ağları gibi yeni altyapı, açık politika desteği ve yüksek kaliteli kentsel planlama gerektirecektir.
- **Malzeme verimliliği kazanımları.** Bu, malzemelere olan talebin azaltılmasını, örneğin daha yüksek geri dönüşüm oranlarını ve bina ve araçların tasarım ve yapımının iyileştirilmesini içerir. Kazanç kapsamı bir dereceye kadar toplumsal tercihleri yansıtmaktadır. Örneğin, bazı yerlerde

¹⁴ Bu, örneğin, gaz kazanı yerine elektrikli ısı pompası satın almanın hem seyrek bir olay olması hem de enerji hizmeti talebini mutlaka etkilememesi nedeniyle bir davranış değişikliği olarak değerlendirilmediği anlamına gelmektedir.

Son yıllarda tek kullanımlık plastiklerin kullanımından uzaklaşılmıştır ve bu eğilim NZE'de hızlanmaktadır. Malzeme verimliliğindeki kazanımlar, imalat ve bina yapımında teknik yenilikler, en iyi uygulamaları desteklemek ve bu yeniliklerin evrensel olarak benimsenmesini sağlamak için standartlar ve yönetmelikler ile toplum genelinde artan geri dönüşümün bir karışımına bağlıdır.

Şekil 2.14► NZE'deki emisyon azaltımlarında teknoloji ve davranış değişikliğinin rolü



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Emisyon azaltımlarının yaklaşık %8'i davranış değişiklikleri ve malzeme verimliliğinden

Notlar: Düşük karbonlu teknolojiler düşük karbonlu elektrik üretimini, son kullanımlardaki düşük karbonlu gazları ve biyoyakıtları içerir. Vatandaşların aktif katılımı ile düşük karbonlu teknolojiler yakıt değiştirme, elektrifikasyon ve son kullanımlarda verimlilik kazanımlarını içerir. Davranış değişiklikleri ve malzeme verimliliği, ulaşım modunun değiştirilmesini, aşırı veya savurgan enerji kullanımının engellenmesini ve malzeme verimliliği önlemlerini içerir.

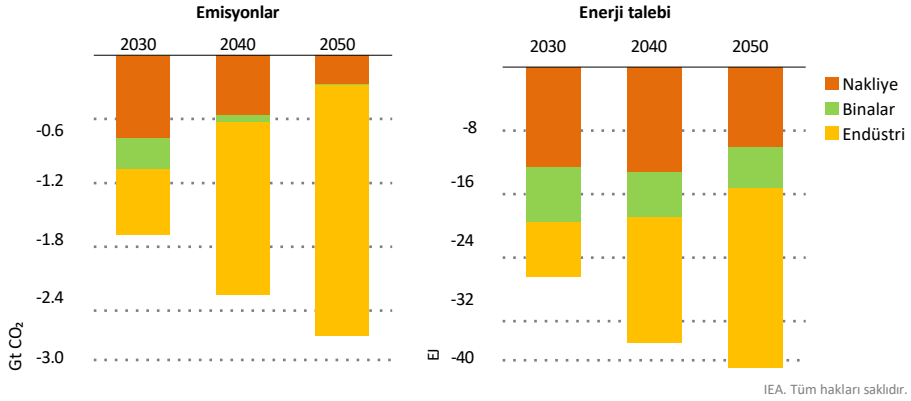
NZE'deki davranış değişikliklerinden kaynaklanan emisyon azaltımlarının dörtte üçü, altyapı geliştirme ile desteklenen hedefe yönelik hükümet politikaları yoluyla elde edilmektedir,

Örneğin, yüksek hızlı demiryolları tarafından desteklenen demiryolu seyahatine geçiş. Geri kalanı ise, çoğunlukla evlerde olmak üzere, enerji tasarrufu alışkanlıklarında gönüllü değişikliklerin benimsenmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durumda bile, kamuoyu bilinçlendirme kampanyaları tüketicilerin enerjiyi nasıl kullandıklarına ilişkin günlük tercihlerini şekillendirmeye yardımcı olabilir. (Hükümetlerin davranış değişikliklerine yardımcı olmak için neler yapabileceğine ilişkin ayrıntılar 4. Bölümde ele alınmaktadır).

Davranış değişiklikleri, NZE'de 2050'ye kadar olan dönemde enerji ile ilgili faaliyetleri ortalama %10-15 civarında azaltarak, 2050'de toplam küresel enerji talebini 37 EJ'den fazla azaltmaktadır (Şekil 2.15). 2030 yılında yaklaşık 1,7 Gt CO₂ emisyonu önlenmiş olup, bunun %45'i özellikle şehirlerde araç kullanımını aşamalı olarak kaldırmaya ve yakıt ekonomisini iyileştirmeye yönelik tedbirler yoluyla ulaşımdan kaynaklanmaktadır. Örneğin, otoyollardaki hız sınırlarının 100 km/saate düşürülmesi, 2030 yılında karayolu taşımacılığının kaynaklanan emisyonları %3 veya 140 Mt CO₂ azaltmaktadır. Büyük şehirlerde tek kişilik araç kullanımından araç paylaşımına veya bisiklete binmeye ve yürümeye doğru bir geçiş 185 Mt CO₂ daha tasarruf sağlar. Etrafında

2030'daki emisyon tasarruflarının %40'ı, malzeme verimliliğindeki gelişmeler ve artan geri dönüşüm nedeniyle sanayide gerçekleşirken, en büyük etkiler atıkların azaltılması ve binaların tasarım ve yapımının iyileştirilmesinden kaynaklanmaktadır. 2030'daki emisyon tasarruflarının geri kalanı, örneğin alan ısıtma ve soğutma sıcaklıklarının ayarlanması gibi binalardaki davranış değişikliklerinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 2.15 ► NZE'de davranış değişiklikleri ve malzeme verimliliğinden kaynaklanan CO₂ emisyonları ve enerji talebi azalmaları



2030 yılına kadar, davranış değişiklikleri ve malzeme verimliliği kazanımları emisyonları şu kadar azaltacaktır 1,7 Gt CO₂ ve 27 EJ enerji talebi; azaltımlar 2050'ye kadar daha da artar

2050 yılında, ulaşım ve binalarda düşük emisyonlu elektrik ve yakıtların artan önemi, emisyon azaltımlarının %90'ının sanayide, ağırlıklı olarak da emisyonlarla doğrudan mücadele etmenin en zor olduğu sektörlerde gerçekleşeceği anlamına gelmektedir. Malzeme verimliliği tek başına çimento ve çelik talebini %20 oranında azaltarak yaklaşık 1 700 Mt CO₂ tasarrufu sağlamaktadır. 2050'de ulaşımdaki emisyon azaltımlarının yaklaşık %80'i yolcu havacılık talebini azaltmaya yönelik tedbirlerden, geri kalanı ise karayolu taşımacılığından kaynaklanmaktadır.

NZE'deki davranış değişikliklerinin kapsamı, ölçeği ve benimsenme hızı, mevcut altyapının bu tür değişiklikleri destekleme kabiliyeti ve coğrafya, iklim, kentleşme, sosyal normlar ve kültürel değerlerdeki farklılıklar dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olarak bölgeler arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Örneğin, günümüzde özel araç kullanımının yüksek olduğu bölgelerde toplu taşıma, paylaşımlı araç kullanımı, yürüme ve bisiklete binmeye doğru diğer bölgelere göre daha kademeli bir geçiş yaşanmaktadır; hava yolculuğunun, yalnızca trenlerin benzer bir yolculuk süresi sunabildiği mevcut veya potansiyel güzergahlarda yüksek hızlı demiryoluna geçeceği varsayılmaktadır; ve binalarda ve araçlarda klimayı hafifletme potansiyeli mevsimsel etkileri ve nemi dikkate almaktadır. Daha zengin bölgeler genellikle kişi başına düşen enerji ile ilgili faaliyet düzeyleri daha yüksektir ve davranış değişiklikleri bu bölgelerde aşırı veya savurgan enerji tüketiminin azaltılmasında özellikle önemli bir rol oynamaktadır.

NZE'deki davranış değişikliklerinin çoğunun neredeyse herkesin günlük yaşamı üzerinde bir etkisi olacaktır, ancak hiçbirisi bugün dünyanın birçok yerinde halihazırda deneyimlenen enerji azaltıcı uygulamalardan radikal bir sapmayı temsil etmemektedir. Örneğin, Japonya'da bir farkındalık kampanyası, 2040 yılına kadar NZE'de birçok bölgede varsayılan azaltımlara paralel olarak soğutma talebini başarılı bir şekilde azaltmıştır; birçok büyük şehirde kentsel araç kullanımını sınırlandırmaya yönelik mevzuat yürürlüğe girmiştir; ve hız sınırının yaklaşık 100 km/sye (2030 yılına kadar NZE'de küresel olarak kabul edilen seviye) düşürülmesi, hava kirliliğini azaltmak ve güvenliği artırmak için Birleşik Krallık ve İspanya'da test edilmiştir.

Tablo 2.4► Yeni Zelanda'da davranış değişikliği için temel küresel kilometre taşı

Sektör	Yıl	Kilometre Taşı
Endüstri	2020	• Küresel ortalama plastik toplama oranı= %17.
	2030	• Küresel ortalama plastik toplama oranı= %27. • Hafifletme, ortalama bir binek otomobilin ağırlığını %10 oranında azaltır.
	2050	• Küresel ortalama plastik toplama oranı= %54'tür. • Gübre kullanım verimliliği %10 oranında artmıştır.
Nakliye	2030	• Eko-sürüş ve 100 km/saat otoyol hız sınırı getirildi. • Büyük şehirlerde İYM araçların kullanımı aşamalı olarak azaltıldı.
	2050	• Bölgesel uçuşlar, mümkün olan yerlerde yüksek hızlı demiryoluna kaydırılır. • İş ve uzun mesafeli tatil amaçlı hava seyahatleri 2019 seviyelerini aşmamaktadır.
Binalar	2030	• Alan ısıtma sıcaklıkları ortalama 19-20 °C'ye kadar düşmüştür. • Mekân soğutma sıcaklıkları ortalama 24-25°C'ye gerilemiştir. • Aşırı sıcak su sıcaklıkları düşürüldü.
	2050	• Birim taban alanı başına enerji yoğun malzeme kullanımı %30 oranında azalır. • Bina ömrü ortalama %20 uzatılmıştır.

Not: Eko-sürüş, önleyici durdurma ve içerir; ICE= içten yanmalı motor.

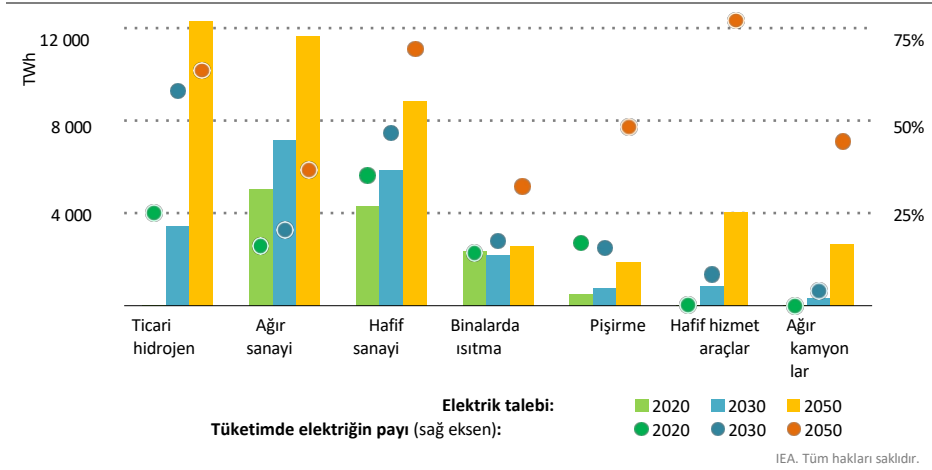
2.5.3 Elektrifikasyon

Fosil yakıtlar yerine düşük emisyonlu elektriğin doğrudan kullanımı, NZE'deki emisyon azaltımlarının en önemli itici güçlerinden biridir ve 2050 yılına kadar elde edilen toplam azaltımın yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır. Küresel elektrik talebi 2020 ve 2050 yılları arasında iki kattan fazla artarken, son kullanım sektörlerinde elektrik kullanımındaki en büyük mutlak artış, 2020 ve 2050 yılları arasında 11.000 TWh'den fazla bir artış kaydeden sanayide gerçekleşmektedir. Bunun büyük bir kısmı, düşük ve orta sıcaklıkta ısı için ve ikincil hurda bazlı çelik üretiminde artan elektrik kullanımından kaynaklanmaktadır (Şekil 2.16).

Ulaşım, elektriğin payı 2020'de %2'den az iken 2050'de NZE'de yaklaşık %45'e yükselmektedir. Küresel olarak toplam binek otomobil satışlarının %60'ından fazlası 2030 itibarıyla elektrikli araçtır (2020'deki satışların %5'ine kıyasla) ve 2050 itibarıyla otomobil filosu dünya genelinde neredeyse tamamen elektrikli hale gelmiştir (geri kalanı hidrojenle çalışan otomobillerdir). Önümüzdeki on yıl içinde dünya genelinde elektrikli binek araç satışlarındaki artış, son on yılda İYM araç satışlarındaki artıştan yirmi kat daha fazladır. Kamyonlar için elektrifikasyon daha yavaştır çünkü daha yüksek

Özellikle uzun mesafeli kamyon taşımacılığı ve yeni yüksek güçlü şarj altyapısı için şu anda piyasada mevcut olanlardan daha yoğun bataryalar: elektrikli kamyonlar yine de 2030 yılına kadar küresel olarak toplam ağır kamyon satışlarının yaklaşık %25'ini ve 2050 yılında yaklaşık üçte ikisini oluşturacaktır. Denizcilik ve havacılığın elektrifikasyonu çok daha sınırlıdır ve ancak batarya enerji yoğunluğundaki büyük gelişmelerden sonra (bkz. Bölüm 3.6) hayata geçmektedir (Şekil 2.17). Yeni Zelanda'da ulaşım için batarya talebi 2050'de yaklaşık 14 TWh'ye ulaşarak 2020'dekinden 90 kat daha fazla olacaktır. Batarya talebindeki artış, kritik minerallere olan talebin de artmasına yol açmaktadır. Örneğin, bataryalarda kullanılmak üzere lityuma olan talep 2030 yılına kadar 30 kat artmakta ve 2050 yılında 2020 yılına göre 100 kattan artmaktadır (IEA, 2021).

Şekil 2.16 ► Küresel elektrik talebi ve NZE'deki seçilmiş uygulamalarda enerji tüketiminde elektriğin payı



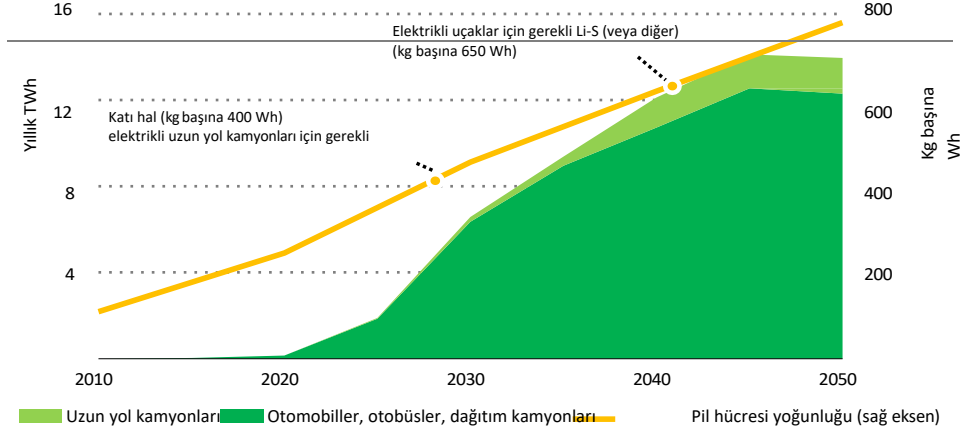
Küresel elektrik talebi 2050'ye kadar olan dönemde iki kattan fazla artarken, en büyük artış hidrojen üretiminde ve sanayide yaşanacak

Notlar: Ticari hidrojen = bir şirket tarafından başkalarına satmak üzere üretilen hidrojen. Hafif hizmet araçları = binek otomobiller ve minibusler. Ağır kamyonlar = orta yük kamyonları ve ağır yük kamyonları.

Binalarda elektrik talebi, Yeni Zelanda'da cihazların, soğutmanın, aydınlatmanın ve bina zarflarının verimliliğini artırmaya yönelik büyük bir itici güç tarafından ılımlı hale getirilmektedir. Ancak ısı pompalarının kullanımı yoluyla ısıtmanın yaygın bir şekilde elektrikleştirilmesi ile birlikte faaliyetlerdeki büyük artış, elektrik talebinin dönem boyunca istikrarlı bir şekilde artarak 2050 yılında binalardaki toplam enerji tüketiminin %66'sına ulaşacağı anlamına gelmektedir.

Son kullanım sektörlerinde doğrudan elektrik kullanımındaki büyümenin yanı sıra, hidrojen üretimi için elektrik kullanımında da büyük bir artış söz konusudur. Elektroliz kullanılarak üretilen ticari hidrojen, 2050 yılında NZE'de yaklaşık 12.000 TWh gerektirmektedir ki bu da Çin ve Amerika Birleşik Devletleri'nin mevcut toplam yıllık elektrik talebinden daha fazladır.

Şekil 2.17► Ulaşımda batarya talebi artışı ve NZE'de batarya enerji yoğunluğu



IEA. Tüm hakları saklıdır.

*Batarya talebini karşılamak için 2030 yılına kadar her yıl yaklaşık 20 batarya giga fabrikası açılıyor
NZE'de elektrikli otomobiller için; uzun yol kamyonlarını elektrikli hale getirmek için daha yüksek yoğunluklu bataryalara ihtiyaç vardır*

Notlar: Li-S= lityum-sülfür pil; kg başına Wh= kilogram başına Watt saat.

Elektrik talebindeki artışın son on yılda yılda %2'den 2050'ye kadar yılda %3'e çıkması ve değişken yenilenebilir elektrik üretiminin payının önemli ölçüde artması, Yeni Zelanda'daki yıllık elektrik sektörü yatırımının son yıllara göre ortalama üç kat daha fazla olması anlamına gelmektedir. Elektrik talebindeki artış aynı zamanda talep tarafı yönetimi, hidroelektrik ve biyoenerji dahil esnek düşük emisyonlu üretim kaynaklarının işletilmesi ve batarya depolama yoluyla elektrik arzının istikrarını ve esnekliğini sağlamak için kapsamlı çabalar gerektirmektedir.

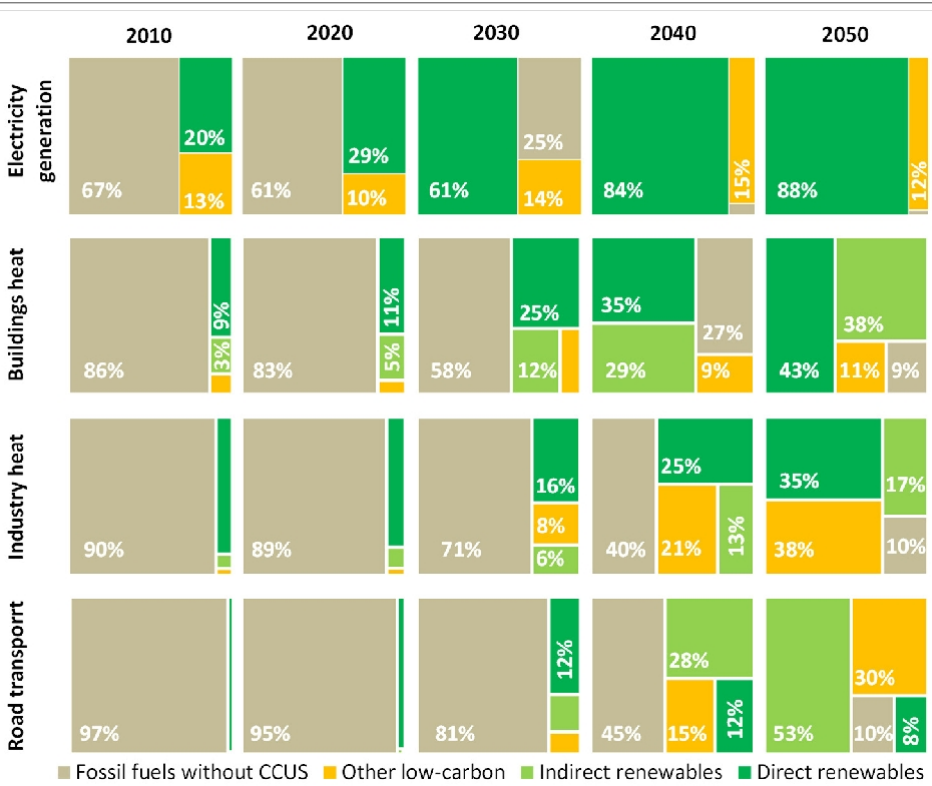
Tablo 2.5► NZE'de elektrifikasyon için kilit küresel kilometre taşları

Sektör	2020	2030	2050
Elektriğin toplam nihai tüketim içindeki payı	20%	26%	49%
Endüstri			
Elektrik ark ocağı kullanılarak yapılan çelik üretiminin payı	24%	37%	53%
Hafif sanayide elektrik payı	43%	53%	76%
Nakliye			
Stoktaki elektrikli araçların payı: otomobiller	1%	20%	86%
iki/üç tekerlekli	26%	54%	100%
otobüs	2%	23%	79%
minibüsler	0%	22%	84%
ağır kamyonlar	0%	8%	59%
Elektrikli araçlar için yıllık batarya talebi (TWh)	0.16	6.6	14
Binalar			
Kurulu ısı pompaları (milyon)	180	600	1 800
Isıtma için enerji talebinde ısı pompalarının payı	7%	20%	55%
Elektriğe erişimi olmayan milyonlarca insan	786	0	0

2.5.4 Yenilenebilir Enerji

Küresel düzeyde, yenilenebilir enerji teknolojileri elektrik arzından kaynaklanan emisyonları azaltmanın anahtarıdır. Hidroelektrik, onlarca yıldır önde gelen düşük emisyonlu bir kaynak olmuştur, ancak NZE'de yenilenebilir enerji üretimini 2030 yılına kadar üçe katlayan ve 2050 yılına kadar sekiz kattan fazla artıran esas olarak rüzgar ve güneş enerjisinin genişlemesidir. Küresel olarak toplam elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2020'de %29'dan 2030'da %60'ın üzerine ve 2050'de yaklaşık %90'a çıkmaktadır (Şekil 2.18). Bunu başarmak için 2020 ve 2050 yılları arasında yıllık rüzgar ve güneş enerjisi kapasitesi ilaveleri, son üç yılın ortalamasından beş kat daha yüksektir. Dağıtılabılır yenilenebilir enerji kaynakları, diğer düşük karbonlu üretim, enerji depolama ve sağlam elektrik şebekeleri ile birlikte elektrik güvenliğini korumak için kritik öneme sahiptir. NZE'de, 2050 yılında küresel olarak ana sevk edilebilir yenilenebilir enerji kaynakları hidroelektrik (üretimin %12'si), biyoenerji (%5), yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (%2) ve jeotermaldir (%1).

Şekil 2.18 ▶ NZE'de seçilen uygulamalarda toplam enerji kullanımında yakıt payları



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları elektrik emisyonlarının azaltılmasında merkezi bir rol oynamaktadır ve binalarda, sanayide ve ulaşımda hem doğrudan hem de dolaylı olarak emisyonların azaltılmasına önemli katkılar sağlamaktadır

Notlar: Dolaylı yenilenebilir kaynaklar= yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik ve bölgesel ısı kullanımı. Diğer düşük karbonlu = nükleer enerji, CCUS ile donatılmış tesisler ve düşük karbonlu hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar.

Yenilenebilir enerji kaynakları binalarda, sanayide ve ulaşımda emisyonların azaltılmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir kaynaklar, yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektrik veya bölgesel ısıtma tüketimi yoluyla dolaylı olarak ya da esas olarak ısı üretmek için doğrudan kullanılabilir.

Ulaşımda yenilenebilir enerji kaynakları, elektrikli araçlara güç sağlamak için elektrik üreterek emisyonların azaltılmasında önemli bir dolaylı rol oynamaktadır. Ayrıca sıvı biyoyakıt ve biyometan kullanımı yoluyla doğrudan emisyon azaltımına katkıda bulunurlar.

Binalarda, yenilenebilir enerji esas olarak su ve alan ısıtması için kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerjinin doğrudan kullanımı 2020'de küresel ısıtma talebinin yaklaşık %10'undan 2050'de %40'ına yükselirken, artışın yaklaşık dörtte üçü güneş enerjisi ve jeotermal şeklindedir. Derin iyileştirmeler ve enerjiyle ilgili bina yönetmelikleri mümkün olan her durumda yenilenebilir enerjilerle eşleştirilmektedir: metrekare başına güneş enerjisinden daha verimli oldukları ve su tanklarında ısı depolama genellikle elektrik depolamadan daha uygun maliyetli olduğu için, mevcut çatı alanına ve yeterli güneş ışığına sahip neredeyse tüm binalar 2050 yılına kadar güneş termal su ısıtıcıları ile donatılmıştır. Yerinde yenilenebilir elektrik üreten çatı üstü solar PV, şu anda dünya çapında yaklaşık 25 milyon çatıya kurulmuştur; bu sayı 2030 yılına kadar 100 milyona, 2050 yılına kadar ise 240 çıkacaktır. 2030'da binalardaki ısıtmanın %15'i dolaylı olarak elektrik şeklinde yenilenebilir kaynaklardan gelirken, bu oran 2050'de neredeyse %40'a çıkacaktır.

Sanayide biyoenerji, Yeni Zelanda'daki düşük ve orta sıcaklık ihtiyaçları için en önemli doğrudan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Solar termal ve jeotermal de enerji yoğun olmayan endüstrilerde ve ağır endüstrilerdeki yardımcı veya alt süreçlerde kullanılmak üzere düşük sıcaklıkta ısı üretir. Biyoenerji, güneş enerjisi ve jeotermal birlikte 2030'da sanayi ısı talebinin yaklaşık %15'ini sağlayarak 2010'daki paylarını yaklaşık iki katına çıkarır ve bu oran 2050'de %40'a yükselir. Yenilenebilir enerjinin elektrik yoluyla dolaylı kullanımı, yenilenebilir enerjinin 2050'de toplam sanayi enerji kullanımına yaptığı katkıya %15 ekler.

Tablo 2.6> Yenilenebilir enerji kaynakları için kilit dağıtım kilometre taşları

Sektör	2020	2030	2050
Elektrik sektörü			
Yenilenebilir enerjinin üretimdeki payı	29%	61%	88%
Yıllık kapasite ilaveleri (GW): Toplam güneş PV	134	630	630
Toplam rüzgar	114	390	350
- Bunlardan: Açık deniz rüzgarı	5	80	70
Dağıtılabilir yenilenebilir enerji kaynakları	31	120	90
Son kullanım sektörleri			
TFC'de yenilenebilir pay	5%	12%	19%
Çatı üstü güneş enerjisine sahip haneler (milyon)	25	100	240
Binalarda güneş enerjisi ve jeotermalin payı	2%	5%	12%
Güneş enerjisi ve jeotermalin sanayi nihai tüketimindeki payı	0%	1%	2%

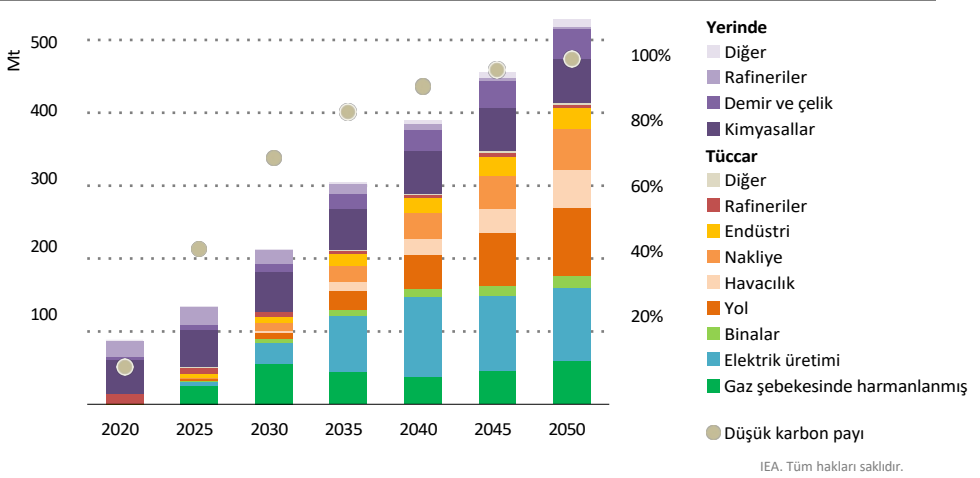
Not: TFC= toplam nihai tüketim.

2.5.5 Hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar

NZE'de hidrojen kullanımı için ilk odak noktası, mevcut fosil enerji kullanımlarının, hemen yeni iletim ve dağıtım altyapısı gerektirmeyen yollarla düşük karbonlu hidrojene dönüştürülmesidir. Bu, sanayide, rafinerilerde ve enerji santrallerinde hidrojen kullanımı ve hidrojenin son kullanıcılara dağıtılmak üzere doğal gazla karıştırılmasını içermektedir.

Küresel hidrojen kullanımı 2020'de 90 Mt'un altındayken 2030'da 200 Mt'un üzerine çıkmaktadır; düşük karbonlu hidrojen oranı 2020'de %10 iken 2030'da %70'e yükselmektedir (Şekil 2.19). Bu oran bölgeler arasında büyük farklılıklar gösterse de, 2030 yılında küresel olarak üretilen düşük karbonlu hidrojenin yaklaşık yarısı elektrolizden, geri kalanı ise CCUS ile kömür ve doğal gazdan elde edilmektedir. Hidrojen ayrıca gaz şebekelerinde doğal gazla karıştırılmaktadır: 2030'daki küresel ortalama karışım hacimsel olarak %15 hidrojen içermekte ve gaz tüketiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarını yaklaşık %6 azaltmaktadır.

Şekil 2.19 ▶ NZE'de küresel hidrojen ve hidrojen bazlı yakıt kullanımı



Hidrojen için ilk odak noktası, mevcut kullanımları düşük karbonlu dönüştürmektir; hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar daha sonra tüm son kullanımlara yayılacaktır

Not: Amonyak ve sentetik yakıtlarda bulunan hidrojen ve hidrojeni içerir.

Bu gelişmeler, elektrolizör üretim kapasitesinin hızlı bir şekilde artırılmasını ve yeni hidrojen taşıma altyapısının paralel olarak geliştirilmesini kolaylaştırmaktadır. Bu da elektrolizörler ve özellikle tuz mağaralarında hidrojen depolanması için maliyetlerin hızla düşmesine yol açmaktadır. Depolanan hidrojen, hem elektrik talebindeki mevsimsel dalgalanmaları hem de hidrojen talebi ile şebeke dışı yenilenebilir sistemler tarafından arzı arasında ortaya çıkabilecek dengesizlikleri dengelemeye yardımcı olmak için kullanılır. 2020'li yıllarda, 2030 yılına kadar yollarda 15 milyondan fazla hidrojen yakıt hücresi araç dahil olmak üzere, hidrojen için son kullanım ekipmanlarının kurulumunda da büyük bir artış söz konusudur.

2030'dan sonra, düşük karbonlu hidrojen kullanımı NZE'deki tüm sektörlerde hızla artmaktadır. Elektrik sektöründe, hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar, esas olarak mevcut gazla çalışan kapasitenin hidrojenle birlikte ateşlenecek şekilde yenilenmesi ve kömürle çalışan elektrik santrallerinin amonyakla birlikte ateşlenecek şekilde yenilenmesi yoluyla önemli bir düşük karbonlu elektrik sistemi esnekliği kaynağı sağlar. Bu yakıtlar 2050 yılında toplam elektrik üretiminin sadece yaklaşık %2'sini sağlasa da, bu çok büyük miktarlarda hidrojen anlamına gelir ve elektrik sektörünü hidrojen talebinin önemli bir itici gücü haline getirir. Taşımacılıkta hidrojen, 2050 yılında Yeni Zelanda'da kamyonlardaki yakıt kullanımının yaklaşık üçte birini sağlayacaktır: bu, politika yapıcıların 2030 yılına kadar gerekli altyapının geliştirilmesini sağlayacak kararlar almasına bağlıdır. Hidrojen bazlı yakıtlar, 2050 yılına kadar deniz taşımacılığında toplam yakıt tüketiminin %60'ından fazlasını sağlayacaktır.

2050 yılında üretilen 530 Mt hidrojenin yaklaşık %25'i endüstriyel tesislerde (rafineriler dahil) üretilmektedir ve geri kalanı ticari hidrojendir (bir şirket tarafından başkalarına satmak için üretilen hidrojen). 2050'de kullanılan düşük karbonlu hidrojenin neredeyse %30'u, amonyak ve sentetik sıvı ve gazları içeren hidrojen bazlı yakıtlar şeklindedir. Hidrojen üretiminin giderek artan bir kısmı, 2050 yılında toplam üretimin %60'ını elektrolizörlerden gelmektedir. Elektrolizörler şebeke elektriği, mükemmel yenilenebilir kaynaklara sahip bölgelerde özel yenilenebilir kaynaklar ve nükleer enerji gibi diğer düşük karbonlu kaynaklardan güç almaktadır. Elektrolizörlerin NZE'nin gerektirdiği hızda yaygınlaştırılması, yeterli elektrik üretim kapasitesinin mevcudiyetinin sağlanması gibi, günümüzde üretim eksikliği göz önüne alındığında önemli bir zorluktur. Küresel hidrojen ticareti, Orta Doğu, Orta ve Güney Amerika ve Avustralya'daki gaz ve yenilenebilir enerji zengini bölgelerden Asya ve Avrupa'daki talep merkezlerine ihraç edilen büyük hacimlerle NZE'de zaman içinde gelişmektedir.

Tablo 2.7► Hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar için kilit dağıtım kilometre taşları

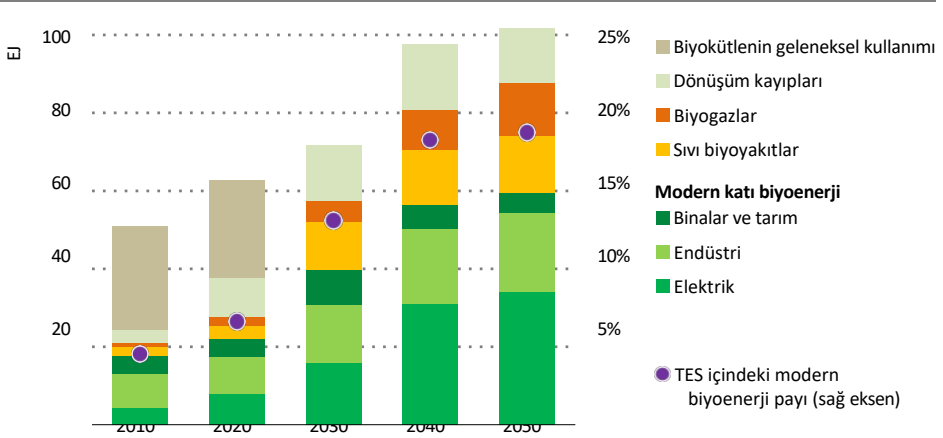
Sektör	2020	2030	2050
Toplam hidrojen bazlı yakıt üretimi (Mt)	87	212	528
Düşük karbonlu hidrojen üretimi	9	150	520
<i>CCUS ile fosil bazlı payı</i>	<i>95%</i>	<i>46%</i>	<i>38%</i>
<i>elektroliz bazlı üretimin payı</i>	<i>5%</i>	<i>54%</i>	<i>62%</i>
Ticari üretim	15	127	414
Yerinde üretim	73	85	114
Hidrojen bazlı yakıtların toplam tüketimi (Mt)	87	212	528
Elektrik	0	52	102
hidrojen	0	43	88
Bunlardan amonyak	0	8	13
Rafineriler	36	25	8
Binalar ve tarım	0	17	23
Nakliye	0	25	207
hidrojen	0	11	106
bunun içinde amonyak	0	8	44
sentetik yakıtlar	0	5	56
Endüstri	51	93	187

Not: Hidrojen bazlı yakıtlar, bunları üretmek için gereken milyon ton hidrojen cinsinden raporlanmıştır.

2.5.6 Biyoenerji

Biyoenerjiye yönelik küresel birincil talep 2020 yılında yaklaşık 65 EJ olup, bunun yaklaşık %90'ını katı biyokütle oluşturmaktadır. Katı biyokütlenin yaklaşık %40'ı sürdürülemez, verimsiz ve kirlenici olan geleneksel pişirme yöntemlerinde kullanılmış ve 2020 yılında 2,5 milyon erken ölümle ilişkilendirilmiştir. BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 7'ye ulaşmak için Yeni Zelanda'da bu şekilde katı biyokütle kullanımı 2030 yılına kadar sıfıra indirilmelidir. Modern biyoenerjinin tüm biçimlerdeki artışlar bunu fazlasıyla dengelemekte, üretim 2020'de 40 EJ'den az iken 2050'de yaklaşık 100 EJ'ye yükselmektedir (Şekil 2.20).¹⁵ 2050'de tüm biyoenerji sürdürülebilir kaynaklardan gelmektedir ve toplam biyoenerji kullanımı için Yeni Zelanda'daki rakamlar küresel sürdürülebilir biyoenerji potansiyeli tahminlerinin oldukça altındadır, böylece biyoçeşitlilik, tatlı su sistemleri ve gıda fiyatları ve bulunabilirliği üzerinde olumsuz etki riskinden kaçınılmaktadır (bkz. Bölüm 2.7.2).

Şekil 2.20 ► NZE'deki toplam biyoenerji arzı



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Modern biyoenerji kullanımı 2050 yılında 100 EJ'ye yükselerek toplam enerji ihtiyacının neredeyse %20'sini karşılayacaktır.

2050'deki küresel talep, değerlendirilen sürdürülebilir potansiyelin oldukça altında

Notlar: TES= Toplam enerji arzı. Dönüşüm kayıpları biyoyakıt ve biyogaz üretimi sırasında meydana gelir.

Modern katı biyoenerji kullanımı 2050 yılına kadar her yıl ortalama %3 oranında artmaktadır. Talebin 2050 yılında 35 EJ'ye ulaştığı elektrik sektöründe katı biyoenerji, güneş PV ve rüzgârdan edilen üretimi tamamlamak için esnek düşük emisyonlu üretim sağlar ve CCUS ile donatıldığında CO₂'yi atmosferden uzaklaştırır. 2050 yılında biyoenerji yakıtları kullanılarak yapılan elektrik üretimi 3 300 TWh'ye veya toplam %5'ine ulaşmaktadır. Biyoenerji ayrıca bölgesel ısı üretiminin yaklaşık %50'sini sağlamaktadır. Talebin 2050'de 20 EJ'ye ulaştığı sanayide, katı biyoenerji yüksek sıcaklıkta ısı sağlar ve kömürle birlikte yakılarak kömürün emisyon yoğunluğunu azaltabilir.

¹⁵ Modern biyoenerji, biyogazları, sıvı biyoyakıtları ve sürdürülebilir kaynaklardan hasat edilen katı biyokütleyi içerir. Geleneksel biyokütle kullanımını hariç tutar.

mevcut üretim varlıkları. Kağıt ve çimento üretiminde talep en yüksek seviyededir: 2050 yılında biyoenerji, kağıt sektöründeki enerji talebinin %60'ını ve çimento üretimindeki enerji talebinin %30'unu karşılamaktadır. Binalardaki modern katı biyoenerji talebi 2030'da yaklaşık 10 EJ'ye yükselir ve bunun çoğu, biyokütlelin sürdürülebilir olmayan geleneksel kullanımları ortadan kaldırtıkça geliştirilmiş ocaklarda kullanım içindir. Biyoenerji, gelişmiş ekonomilerde alan ve su ısıtması için de giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Kırsal alanlardaki ev ve köy biyogaz çürütücüleri, 2030 yılına kadar Yeni Zelanda'da yaklaşık 500 milyon hane için yenilenebilir enerji ve temiz pişirme kaynağı sağlar ve toplam biyogaz kullanımı 2050 yılında 5,5 'ye yükselir (2020'de 2 EJ'nin altında).¹⁶ Biyometan talebi, gaz şebekeleri için harmanlama zorunlulukları sayesinde 8,5 EJ'ye yükselir ve ortalama harmanlama oranları 2050 yılına kadar birçok bölgede %80'in üzerine çıkar. Toplam biyometan kullanımının yarısı, biyometanın proses ısı kaynağı olarak doğal gazın yerini aldığı sanayi sektöründedir. Binalar ve ulaşım sektörlerinin her biri 2050 yılında biyometan tüketiminin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır.

Biyoenerjinin en önemli avantajlarından biri mevcut altyapıyı kullanabilmesidir. Örneğin, biyometan mevcut doğal gaz boru hatlarını ve son kullanıcı ekipmanlarını kullanabilirken, birçok sıvı biyoyakıt mevcut petrol dağıtım ağlarını kullanabilir ve sadece küçük veya sınırlı değişikliklerle araçlarda kullanılabilir. BiyoLPG - yenilenebilir hammaddelerden elde edilen LPG - geleneksel LPG ile aynıdır ve bu nedenle aynı şekilde harmanlanabilir ve dağıtılabilir. Sürdürülebilir biyoenerji ayrıca kırsal topluluklar için değerli bir istihdam ve gelir kaynağı sağlar, genellikle yakıt toplamakla görevli kadınlar üzerindeki aşırı yükü azaltır, hava kirliliğinin azalması ve uygun atık yönetimi sayesinde sağlık açısından fayda sağlar ve verimsiz yanma ve atıkların ayrışmasından kaynaklanan metan emisyonlarını azaltır.

Yeni Zelanda'da sıvı biyoyakıt tüketimi 2020'de 1,6 'den 2030'da 6 'e yükselmekte ve ağırlıklı olarak karayolu taşımacılığında kullanılmaktadır. 2030'dan sonra sıvı biyoyakıtlar daha yavaş büyüyerek 2050'de yaklaşık 7 mboe/d'ye ulaşır ve elektrik giderek karayolu taşımacılığında baskın hale geldikçe kullanımları gemcilik ve havacılığa kayar. 2050'de sıvı biyoyakıt kullanımının neredeyse yarısı, biyo-gazyağının uçaklardaki toplam yakıt kullanımının yaklaşık %45'ini oluşturduğu havacılık içindir.

Karbon yakalama ve depolamalı biyoenerji (BECCS), emisyonların tamamen ortadan kaldırılmasının çok zor olduğu sektörlerden kaynaklanan emisyonların dengelenmesinde NZE'de kritik bir rol oynamaktadır. 2050 yılında, toplam biyoenerjinin yaklaşık %10'u CCUS ile donatılmış tesislerde kullanılmakta ve yaklaşık 1,3 Gt CO₂ BECCS kullanılarak yakalanmaktadır. Bu CO₂'nin yaklaşık %45'i biyoyakıt üretiminde, %40'ı elektrik sektöründe ve geri kalanı da başta çimento üretimi olmak üzere ağır sanayide tutulmaktadır.

¹⁶ Biyogaz, organik maddenin oksijensiz bir ortamda anaerobik çürütülmesi ile üretilen metan, CO₂ ve az miktarda diğer gazların bir karışımıdır. Biyometan, CO₂ ve diğer kirliticilerin biyogazdan uzaklaştırılmasıyla veya katı biyokütlelin gazlaştırılmasıyla üretilen neredeyse saf bir metan kaynağıdır (IEA, 2020b).

Tablo 2.8► Biyoenerji için kilit dağıtım kilometre taşları

	2020	2030	2050
Toplam enerji arzı (EJ)	63	72	102
Gelişmiş biyokütle hammaddesinin payı	27%	85%	97%
Modern gazlı biyoenerji (EJ)	2.1	5.4	13.7
Biyometan	0.3	2.3	8.3
Modern sıvı biyoenerji (mboe/d)	1.6	6.0	7.0
Gelişmiş biyoyakıtlar	0.1	2.7	6.2
Modern katı biyoenerji (EJ)	32	54	74
Geleneksel katı biyokütle kullanımı (EJ)	25	0	0
Yemek pişirmek için geleneksel biyokütle kullanan milyon kişi	2 340	0	0

Notlar: mboe/d = günlük milyon varil petrol eşdeğeri. Orman ekimlerinden elde edilen biyoenerji, ormanlar sürdürülebilir bir şekilde yönetildiğinde gelişmiş olarak kabul edilir (bkz. Bölüm 2.7.2).

2.5.7 Karbon yakalama, kullanma ve depolama

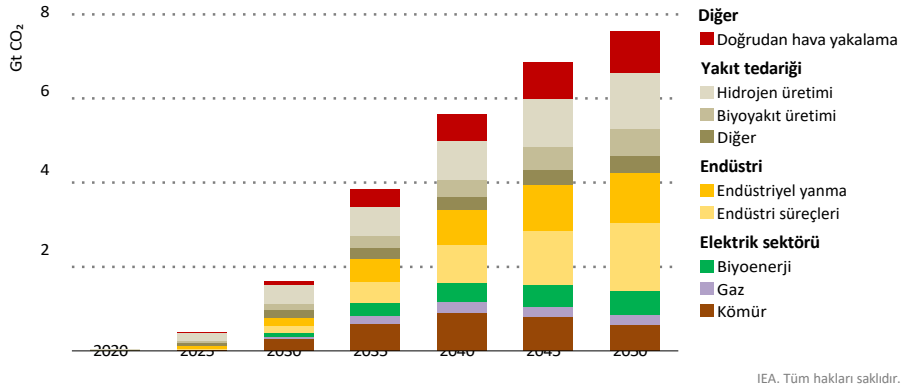
CCUS, net sıfır CO₂ emisyonuna geçişi şu yollarla kolaylaştırabilir: mevcut varlıklardan kaynaklanan emisyonlarla mücadele ederek; en zorlu sektörlerden bazılarının emisyonlarını ele almak için bir yol sağlayarak; düşük karbonlu hidrojen üretimini hızla büyütmek için uygun maliyetli bir yol sağlayarak ve BECCS ve DACCS yoluyla atmosferden CO₂ uzaklaştırılmasına izin vererek.

NZE'de politikalar, CCUS yatırımı için piyasalar oluşturmaya ve hidrojen ve biyoyakıt üretimi, endüstriyel merkezlerin işletilmesi ve mevcut kömür yakıtlı enerji santrallerinin yenilenmesi ile ilgilenenler tarafından ortak CO₂ taşıma ve depolama altyapısının kullanımını teşvik etmeye yönelik bir dizi önlemi desteklemektedir. NZE'deki yakalama hacimleri, şu anda geliştirilmekte olan projeleri yansıtabilecek şekilde, önümüzdeki beş yıl içinde yıllık yaklaşık 40 Mt CO₂ seviyesinden marjinal olarak artmaktadır, ancak politika eylemi meyvelerini verdikçe sonraki 25 içinde hızlı bir genişleme olacaktır. 2030 yılına kadar küresel olarak yılda 1,6 Gt CO₂ tutulurken, bu rakam 2050 yılında 7,6 Gt CO₂'ye yükselecektir (Şekil 2.21). 2050 yılında yakalanan toplam CO₂'nin yaklaşık %95'i kalıcı jeolojik depolamada saklanır ve %5'i sentetik yakıt sağlamak için kullanılır. Küresel jeolojik depolama kapasitesine ilişkin tahminler, NZE'de yakalanan ve depolanan kümülatif CO₂'yi depolamak için gerekli olanın oldukça üzerindedir. CO₂ yakalama ve doğrudan hava yakalama ile biyoenerji yoluyla 2050 yılında atmosferden toplam 2,4 Gt CO₂ yakalanır, bunun 1,9 Gt CO₂'si kalıcı olarak depolanır ve 0,5 Gt CO₂ özellikle havacılık için sentetik yakıt sağlamak için kullanılır.

Sanayiye enerji ile ilgili ve proses kaynaklı CO₂ emisyonları, 2050 yılında NZE'de yakalanan CO₂'nin neredeyse %40'ını oluşturmaktadır. CCUS özellikle çimento üretimi için önemlidir. Her ne kadar Yeni Zelanda'da çimentonun daha verimli bir şekilde üretilmesi için çaba sarf edilse de, CCUS çimento üretimi sırasında ortaya çıkan proses emisyonlarının sınırlandırılması çabalarının merkezinde yer almaya devam etmektedir. Elektrik sektörü, 2050 yılında yakalanan CO₂'nin neredeyse %20'sini oluşturmaktadır (bunun yaklaşık %45'i kömürle çalışan santrallerden, %40'ı biyoenerji santrallerinden ve %15'i gazla çalışan santrallerden kaynaklanmaktadır). CCUS donanımlı enerji santralleri 2050 yılında toplam elektrik üretiminin sadece %3'üne katkıda bulunurken, yakalanan CO₂ hacimleri nispeten büyüktür. Çok sayıda kömürlü termik santralin nispeten yakın zamanda inşa edildiği yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde

Depolama fırsatlarının olduğu yerlerde iyileştirmeler önemli bir rol oynamaktadır. Gelişmiş ekonomilerde, CCUS'lu gaz yakıtlı santraller daha büyük bir rol oynamakta, ucuz doğal gaz ve mevcut şebekelerin bulunduğu bölgelerde nispeten düşük maliyetle sevk edilebilir elektrik sağlamaktadır. 2030 yılında yaklaşık 50 GW kömürlü termik santral (o zamanki toplamın %4'ü) ve 30 GW doğal gazlı termik santral (toplamın %1'i) CCUS ile donatılmıştır ve bu 2050 yılında 220 GW kömür (toplamın neredeyse yarısı) ve 170 doğal gaz (toplamın %7'si) kapasitesine yükselmektedir. 2050 yılında yakalanan CO₂'nin %30'u hidrojen ve biyoyakıt üretimi ile petrol rafinasyonu da dahil olmak üzere yakıt dönüşümünden gelmektedir. Kalan %10'luk kısım ise, bugün birkaç pilot projeden 2030'da yılda 90 Mt CO₂ ve 2050'de yılda 1 Gt CO₂'nin biraz altına hızla ölçeklendirilen DAC'den gelmektedir.

Şekil 2.21 ► NZE'de kaynağına göre küresel CO₂ yakalama



2050 yılına kadar, çeşitli kaynaklardan yılda 7,6 Gt CO₂ yakalanır. Biyoenerji kullanımı ve DAC'den toplam 2,4 Gt CO₂ yakalanır ve bunun 1,9 Gt CO₂'si kalıcı olarak depolanır.

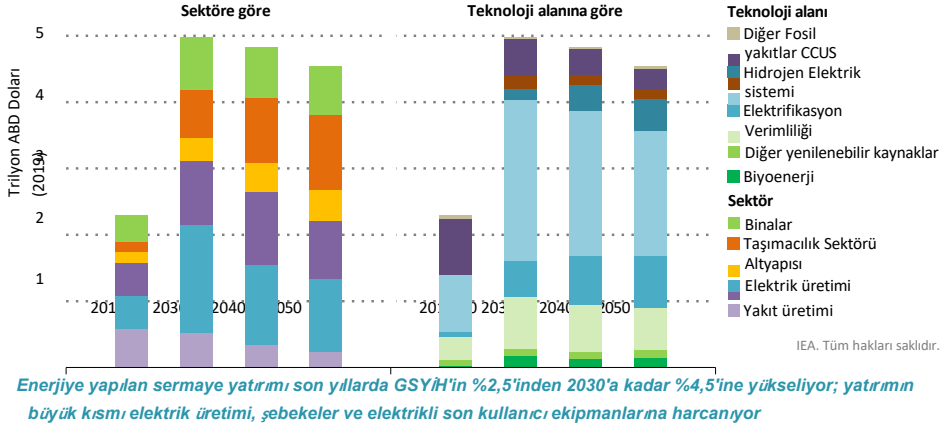
Tablo 2.9 ► CCUS için temel küresel kilometre taşları

	2020	2030	2050
Yakalanan toplam CO₂ (Mt CO₂)	40	1 670	7 600
Fosil yakıtlardan ve proseslerden yakalanan CO₂	39	1 325	5 245
Güç	3	340	860
Endüstri	3	360	2 620
Ticari hidrojen üretimi	3	455	1 355
Biyoyakıt dışı üretim	30	170	410
Biyoenerjiden yakalanan CO₂	1	255	1 380
Güç	0	90	570
Endüstri	0	15	180
Biyoyakıt üretimi	1	150	625
Doğrudan hava yakalama	0	90	985
Kaldırma	0	70	630

2.6 Yatırım

2050'de net sıfır CO₂ emisyonuna ulaşmak için gereken küresel enerji sistemindeki radikal dönüşüm, yatırımlarda büyük bir artışa ve sermayenin harcadığı alanlarda büyük bir değişime. NZE, son beş yılda küresel olarak ortalama 2 trilyon ABD dolarının biraz üzerinde olan yıllık enerji yatırımını 2030'a kadar neredeyse 5 trilyon ABD dolarına ve 2050'ye kadar 4,5 trilyon ABD dolarına çıkarmaktadır (Şekil 2.22).¹⁷ NZE'de enerjiye yapılan toplam yıllık sermaye yatırımı, son yıllarda küresel GSYİH'nin yaklaşık %2,5'inden 2030'da yaklaşık %4,5'ine yükselmekte ve 2050'ye kadar %2,5'e düşmektedir.

Şekil 2.22 Yeni Zelanda'da yıllık ortalama sermaye yatırımı



Notlar: Altyapı; elektrik şebekelerini, kamuya açık elektrikli araç şarjını, CO₂ boru hatlarını ve depolama tesislerini, doğrudan hava yakalama ve depolama tesislerini, hidrojen yakıt ikmal istasyonlarını ve hidrojen, fosil yakıt boru hatları ve terminaleri için ithalat ve ihracat terminalerini içerir. Son kullanım verimliliği yatırımları, geleneksel bir tasarıma göre ekipmanın enerji performansını iyileştirmenin artan maliyetidir. Elektrik sistemleri, elektrik üretimi, depolama ve dağıtımı ile kamuya açık elektrikli araç şarjını içerir. Elektrifikasyon yatırımları, araçlar için bataryalar, ısı pompaları ve elektrik bazlı malzeme üretim yolları için endüstriyel ekipman harcamalarını içerir.

Sermayenin harcadığı alanlardaki değişim, elektrik üretimine yapılan yıllık yatırımın son beş yılda 500 milyar doların biraz üzerindeyken 2030'da 1 600 milyar doların üzerine çıkmasına ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin maliyetinin düşmeye devam etmesiyle birlikte yol açmaktadır. Yıllık nükleer yatırımlar da artmaktadır: 2050 yılına kadar mevcut seviyelere kıyasla iki kattan fazla artacaktır. Ancak yakıt tedarikine yapılan yıllık yatırım, 2050 yılına kadar ortalama 575 milyar ABD dolarından

¹⁷ Bu raporda sunulan yatırım seviyeleri, IEA Dünya Enerji Yatırımı'nda (IEA, 2020c) bildirilenden daha geniş bir binalarda verimlilik iyileştirmeleri muhasebesi içermektedir ve bu nedenle orada sunulan rakamlardan farklıdır.

son yarım on yılda 2030'da 315 milyar ABD dolarına ve 2050'de 110 milyar ABD dolarına ulaşmıştır. Fosil yakıt arzının toplam enerji sektörü yatırımları içindeki payı son yıllardaki %25 seviyesinden 2050 yılına kadar sadece %7'ye düşmektedir: bu durum hidrojen, hidrojen bazlı yakıtlar ve biyoenerji düşük emisyonlu yakıt arzına yapılan harcamalardaki artışla kısmen dengelenmektedir. Bu yakıtlara yapılan yıllık yatırım 2050 yılında yaklaşık 140 milyar ABD dolarına yükselmektedir. Ulaşımaya yapılan yatırımlar NZE'de son yıllarda yılda 150 ABD dolarından 2050'de 1 100 milyar ABD dolarının üzerine çıkarak önemli ölçüde artmaktadır: bu durum, batarya maliyetindeki düşüşe rağmen elektrikli araçların geleneksel araçlara kıyasla ön maliyetinden kaynaklanmaktadır.

Teknoloji alanına göre, elektrifikasyon NZE'de baskın odak noktasıdır. Elektrik üretimine yapılan daha fazla yatırımın yanı sıra, elektrik şebekelerinin genişletilmesi ve modernizasyonuna yapılan yatırımlarda da büyük bir artış söz konusudur. Son yıllarda ortalama 260 milyar ABD doları olan yıllık yatırım 2030 yılında yaklaşık 800 ABD dolarına yükselecek ve 2050 yılına kadar bu seviyede kalacaktır. Artan elektrik talebi ve enerji karışımındaki değişken üretim oranı karşısında elektrik güvenliğini sağlamak için bu tür yatırımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, elektrikli araç bataryaları, ısı pompaları ve elektrik bazlı endüstriyel ekipmanlara yapılan harcamaları içeren son kullanım sektörlerinin elektrifikasyonuna yönelik yatırımlarda da büyük bir artış söz konusudur. Elektrifikasyon yatırımlarına ek olarak, üretim tesislerinin ölçeklendirilmesiyle 2030'a kadar hidrojene yapılan yatırımlarda ılımlı bir artış ve ulaşımda hidrojen kullanımı genişledikçe daha büyük artışlar söz konusudur: üretim tesisleri, yakıt ikmal istasyonları ve son kullanıcı ekipmanları dahil olmak üzere hidrojene yapılan yıllık yatırım 2030'da 165 milyar ABD dolarına, 2050'de ise 470 milyar ABD dolarının üzerine çıkmaktadır. Ayrıca CCUS'a (yıllık yatırım 2050'ye kadar 160 milyar ABD dolarını aşmaktadır) ve verimliliğe (çoğunlukla sanayi ve bina sektörlerinde derin bina iyileştirmeleri ve verimli cihazlar için 2050'ye kadar yaklaşık 640 milyar ABD doları yıllık yatırım) yapılan küresel yatırımlarda da artış görülmektedir.

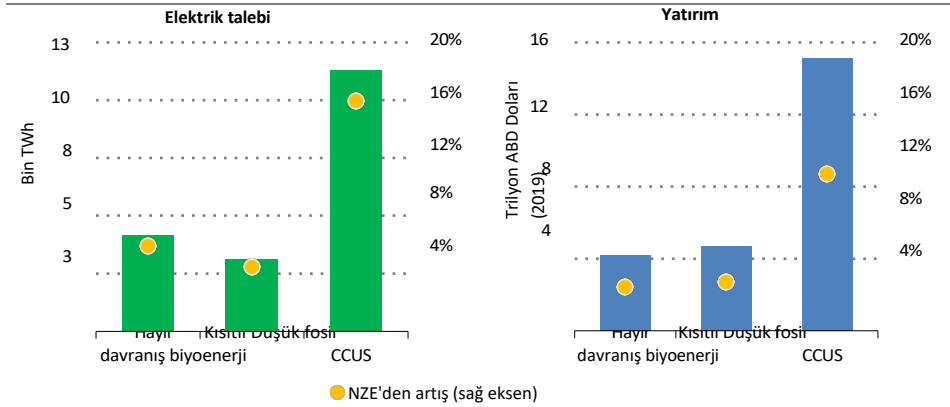
NZE'de ihtiyaç duyulan yatırımın finansmanı, mevcut sermayenin temiz enerji teknolojilerine yönlendirilmesini ve enerjiye yapılan genel yatırım seviyesinin önemli ölçüde artırılmasını içermektedir. Yatırımdaki bu artışın çoğu, teşvikler yaratan, uygun düzenleyici çerçeveler belirleyen ve enerji vergilerinde reform yapan kamu politikaları tarafından harekete geçirilen özel kaynaklardan gelmektedir. Bununla birlikte, yeni altyapı projelerinin geliştirilmesini hızlandırmak ve bugün demonstrasyon veya prototip aşamasında olan teknolojilerde inovasyonu hızlandırmak için doğrudan devlet finansmanına da ihtiyaç vardır. Birçok yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomideki projeler genellikle nispeten kamu finansmanına dayalıdır ve öngörülebilir bir bankaya yatırılabilir proje akışı sağlayan politikalar, imtiyazlı borç finansmanının ve kalkınma finansmanının kullanımının artırılması gibi, bu ekonomilerdeki özel yatırımların artırılmasında önemli bir role sahiptir. Yeni Zelanda'da uluslararası sermaye akışını kolaylaştırmak için ülkeler arası kapsamlı işbirliği çabaları mevcuttur.

NZE'de sermaye yatırımlarındaki büyük artış, kısmen daha düşük işletme giderleri ile telafi edilmektedir. İşletme maliyetleri günümüzde yukarı yönlü yakıt tedarik projelerinin ve fosil yakıt üretim projelerinin toplam maliyetinin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır: NZE'de artan bir rol oynayan temiz teknolojiler çok daha düşük işletme maliyetleri ile karakterize edilmektedir

2.7 Temel belirsizlikler

Net sıfır emisyonu giden yol birçok nedenden dolayı belirsizdir: temel ekonomik koşulların nasıl değişeceğinden, hangi politikaların en etkili olacağından, insanların ve işletmelerin piyasa ve politika sinyallerine nasıl yanıt vereceğinden veya teknolojilerin ve maliyetlerinin enerji sektörünün içinden veya dışından nasıl gelişeceğinden emin olamayız. Bu nedenle NZE, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmak için olası yollardan sadece biridir. Bu çerçevede, bu bölümde NZE'deki varsayımların davranış değişikliği, biyoenerji ve fosil yakıtlar için CCUS açısından yanlış çıkması halinde ne gibi sonuçlar doğuracağı ele alınmaktadır. Bu üç alan, haklarında yapılan varsayımların yüksek derecede belirsizlik içermesi ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşılmasındaki kritik katkıları nedeniyle seçilmiştir.

Şekil 2.23 ► Seçilen belirsizlik alanları için 2050'de ilave elektrik talebi ve 2021-2050 arasında ilave yatırım



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Davranış değişikliğinin olmaması, biyoenerji kullanımının kısıtlanması ve fosil yakıt CCUS'unun geliştirilememesi, net sıfır emisyonu ulaşmak için yapılacak yatırımları 4-15 trilyon ABD doları artıracaktır

Notlar: Davranış yok, NZE'de yer alan davranış değişikliklerinin hiçbirini varsaymaz. Kısıtlı biyoenerji, biyoenerji üretimi için arazi kullanımında hiçbir artış olmadığını varsayar. Düşük fosil CCUS, halihazırda onaylanmış veya yapım aşamasında olan projeler dışında fosil yakıt bazlı CCUS'de artış olmadığını varsayar.

Analizimiz, daha kötümser varsayımların 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmanın hem maliyetini hem de zorluğunu önemli ölçüde açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 2.23).

- Davranış değişiklikleri ulaşım, binalar ve sanayide enerji talebinin azaltılmasında önemlidir. NZE'de varsayılan davranış değişiklikleri gerçekleştirilemezse, emisyonlar 2050 yılında yaklaşık 2,6 Gt CO₂ daha yüksek olacaktır. İlave düşük karbonlu elektrik ve hidrojen kullanımı yoluyla bu emisyonların önlenmesi 4 trilyon ABD dolarına mal olacaktır.

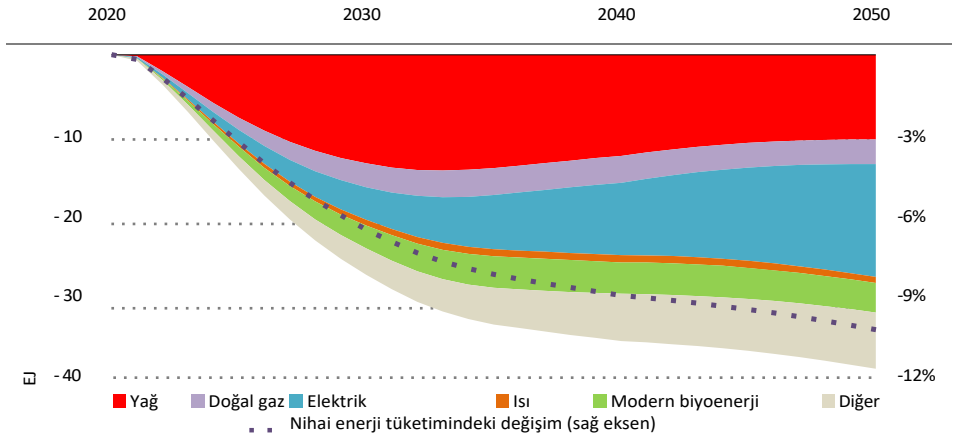
- Yeni Zelanda'da biyoenerji kullanımı 2020 ve 2050 yılları arasında %60 oranında artarken, biyoenerji üretimi için arazi kullanımı yaklaşık %25 oranında artmaktadır. Yeni Zelanda'da 2050 yılında biyoenerji kullanımı, küresel sürdürülebilir biyoenerji potansiyeline ilişkin mevcut en iyi tahminlerin oldukça altındadır, ancak bu seviyeye ilişkin yüksek derecede belirsizlik vardır. Biyoenerji için arazi kullanımı bugünkü seviyede kalırsa, 2050'de biyoenerji kullanımı yaklaşık %10 daha düşük olacaktır ve 2050'de net sıfır emisyonu ulaşmak için 4,5 trilyon ABD doları ekstra yatırım gerekecektir.
- Fosil yakıtlar için CCUS'un geliştirilememesi, karaya oturmuş varlık riskini önemli ölçüde artıracak ve aynı düzeyde emisyon azaltımına ulaşmak için rüzgar, güneş ve elektrolizör kapasitesine yaklaşık 15 trilyon ABD doları ek yatırım yapılmasını gerektirecektir. Bu aynı zamanda BECCS ve DACCS'deki ilerlemeyi de ciddi ölçüde geciktirebilir: eğer bunlar geniş ölçekte kullanılamazsa, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmak çok daha zor olacaktır.

2.7.1 Davranış değişikliği

Yeni Zelanda'da seçilmiş sektörlerdeki davranış değişikliklerinin etkisi

Enerji tüketicilerinin davranışlarındaki değişiklikler, NZE'deki CO₂ emisyonlarının ve enerji talebi artışının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Davranış değişiklikleri 2050 yılında küresel enerji talebini 37 EJ azaltmaktadır, bu da o tarihte enerji talebinde %10'luk bir azalma anlamına gelmektedir ve bunlar olmadan 2021 ve 2050 yılları arasındaki kümülatif emisyonlar yaklaşık %10 daha yüksek olacaktır (Şekil 2.24). Davranış değişikliği, ulaştırma sektöründe özellikle önemli bir rol oynamaktadır.

Şekil 2.24▶ NZE'de yakıta göre davranış değişiklikleri nedeniyle toplam nihai tüketimde azalma



Davranış değişikliklerinin ve malzeme verimliliğinin nihai enerji tüketimi üzerindeki etkisi zaman içinde artar

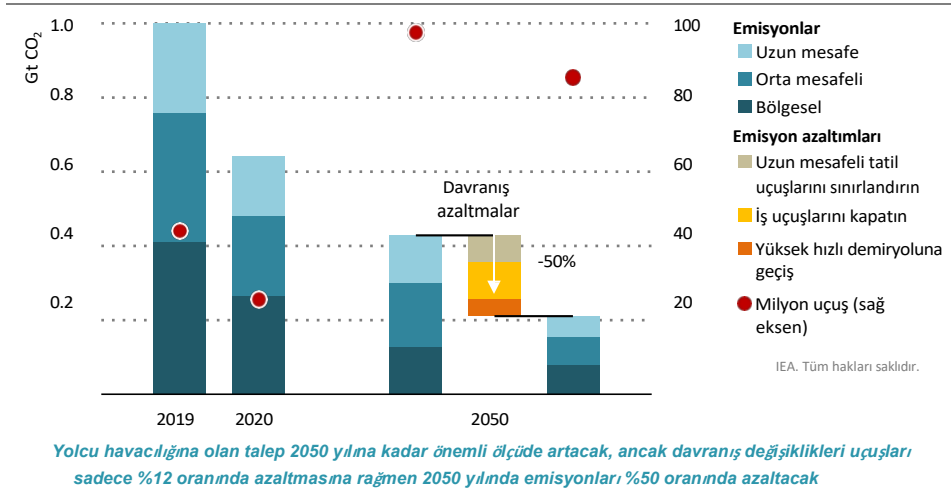
Not: Diğer; kömür, hidrojen, jeotermal, solar termal, sentetik petrol ve sentetik gazı içermektedir.

Yolcu havacılığı. NZE'de varsayılan davranış değişikliklerinin olmaması durumunda talep 2020 ve 2050 yılları arasında küresel olarak üç kattan fazla artacaktır. Bunun yaklaşık %60'ı

büyüme yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde gerçekleşecektir. Yeni Zelanda'da, üç değişiklik 2050 yılında havacılıktan kaynaklanan emisyonlarda %50'lik bir azalmaya yol açarken, uçuş sayısını sadece %12 oranında azaltmaktadır (Şekil 2.25).

- İş amaçlı hava seyahatlerinin 2019 seviyelerinde tutulması. İş seyahatleri 2020'de neredeyse sıfıra düşmüş olsa da, pandemi öncesinde hava seyahatlerinin dörtte birinden biraz fazlasını oluşturuyordu. Bu durum, 2050 yılında Yeni Zelanda'da yaklaşık 110 Mt CO₂ salınımını önlemektedir.
- Eğlence amaçlı uzun mesafeli uçuşların (altı saatten fazla) 2019 seviyelerinde tutulması. Ortalama bir uzun mesafeli uçuştan kaynaklanan emisyonlar, bölgesel bir uçuştan (bir saatten az) 35 kat daha fazladır. Bu, uçuşların %2'sinden daha azını etkilemekte ancak 2050 yılında 70 Mt CO₂ salınımını önlemektedir.
- Yüksek hızlı geçiş. Bölgesel uçuşların yüksek hızlı kaydırılması için fırsatlar bölgelere göre değişmektedir. Küresel olarak, mevcut demiryolu altyapısı göz önüne alındığında 2019'da bölgesel uçuşların yaklaşık %15'inin kaydırılabileceğini tahmin ediyoruz; gelecekteki yüksek hızlı demiryolu hatları, 2050 yılına yaklaşık %17'sinin kaydırılabilmesini sağlar (IEA, 2019).¹⁸ Bu, 2050 yılında emisyonları yaklaşık 45 Mt CO₂ azaltacaktır (yüksek hızlı trenler 2050 yılında NZE'de hiç emisyon üretmez).

Şekil 2.25► Havacılıktan kaynaklanan küresel CO₂ emisyonları ve NZE'deki davranış değişikliklerinin etkisi

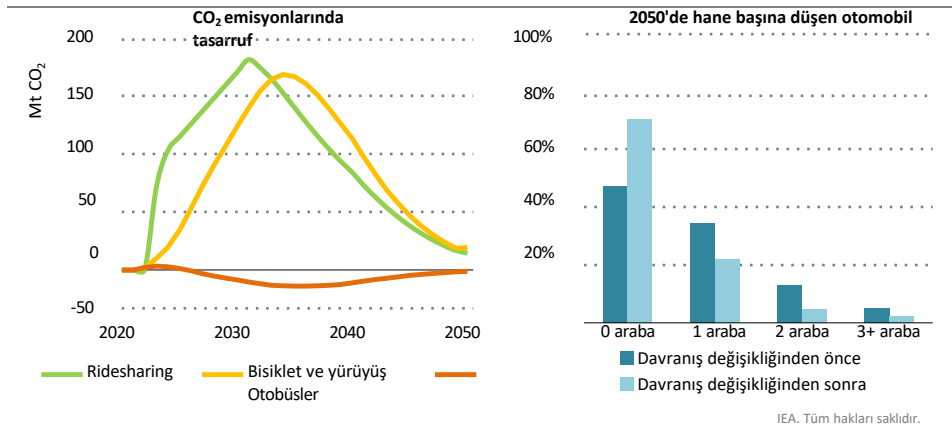


Notlar: Uzun mesafeli= 6 saatten fazla uçuş; orta mesafeli= 1-6 saat ; bölgesel= 1 saatten az uçuş. İş =iş amaçlı seyahatler; eğlence uçuşları = eğlence amaçlı seyahatler. Ortalama hızlar uçuş mesafesine göre değişmekte olup 680-750 km/saat arasında değişmektedir.

¹⁸ Bu varsayımlar şunlardır: yeni demiryolu güzergahları su kütlelerinden ve yüksek arazilerde tünel açmaktan kaçınıyor; seyahat süreleri havacılığa benzer; ve talep merkezleri yüksek hızlı demiryolunun ekonomik olarak uygulanabilir olmasını sağlamak için yeterince büyüktür.

Araba kullanımı. NZE'de şehirlerde otomobil kullanımını ve genel sahipliği seviyelerini azaltmayı amaçlayan çeşitli yeni önlemler varsayılmaktadır. Bu önlemler, kentsel alanlarda araç paylaşım pazarının hızla büyümesinin yanı sıra büyük şehirlerde çevreyi kirleten araçların aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmasına ve bunların yerine bisiklet, yürüyüş ve toplu taşıma araçlarının kullanılmasına yol açmaktadır. NZE'deki bu değişikliklerin zamanlaması, şehirlerin özel araç kullanımından uzaklaşmayı sağlamak için gerekli altyapıya ve kamu desteğine sahip olmasına bağlıdır. Söz konusu şehre bağlı olarak otomobil yolculuklarının %20-50'si otobüslere kaydırılmakta, geri kalanı ise bisiklet, yürüyüş ve toplu taşıma ile değiştirilmektedir. Bu değişiklikler, 2030'ların ortalarında şehirlerdeki otomobillerden kaynaklanan emisyonları toplamda 320 Mt CO₂ den fazla azaltmaktadır (Şekil 2.26). Otomobiller giderek daha fazla elektrikli hale geldikçe emisyonlar üzerindeki etkileri zamanla azalmaktadır, ancak 2050'de enerji kullanımını azaltmada hala önemli bir etkiye sahiptirler.

Şekil 2.26 ▶ Yeni Zelanda'da davranış değişikliğine bağlı olarak küresel CO₂ emisyonu tasarrufu ve hane başına araç sahipliği



Şehirlerde otomobil kullanımını caydırıcı politikalar, CO₂ emisyonlarında hızlı düşüşlere ve otomobil sahipliği seviyelerinde azalmaya yol açsa da, otomobiller elektrikli hale geldikçe bu etki zamanla azalmaktadır

Şehirlerde arabalardan kademeli olarak uzaklaşmanın da araba sahipliği seviyeleri üzerinde etkisi vardır. Anket verileri, araba paylaşım programlarının ve toplu taşıma hizmetlerinin araba sahipliğini %35'e kadar azalttığını ve en büyük değişikliklerin birden fazla arabası olan hanelerde gerçekleştiğini göstermektedir (Jochem ., 2020; Martin, Shaheen ve Lidiker, 2010). Davranış değişiklikleri olmadan, 2050 yılında hanelerin %35'inin bir arabası olacaktır; davranış değişiklikleri ile bu oran Yeni Zelanda'da yaklaşık %20'ye düşmektedir ve iki arabalı haneler toplamın %13'ünden %5'in altına düşmektedir.

Yeni Zelanda'daki şehirlerde değişen hareketlilik modellerinin malzeme talebi üzerinde etkileri vardır. Otomobil sahipliğinin azalması, 2050 yılında çelik talebinde küçük bir düşüşe yol açarak çelik üretiminde yaklaşık 40 Mt CO₂ tasarrufu sağlayacaktır. Artan bisiklet kullanımının, 2050'ye kadar olan dönemde dünya çapında tahmini 80.000 km yeni bisiklet yolu inşa edilerek desteklenmesi gerekecek ve bu da çimento ve bitüm talebini artıracaktır. Ancak bu etki küçüktür; bununla ilişkili ekstra emisyonlar, daha düşük araç kullanımı ile önlenen emisyonların %5'inden daha az olacaktır.

NZE'de davranış değişiklikleri nasıl gerçekleştirilir?

Yönetmelikler ve zorunluluklar, NZE'deki davranış değişiklikleriyle tasarruf edilen emisyonların yaklaşık %70'ini sağlayabilir. Örnekler şunları içerir:

- NZE'de zaman içinde mevcut seviyelerinden 100 km/s'ye düşürülen üst hız sınırları, 2050 yılında karayolu taşıtlarından kaynaklanan emisyonları %3 oranında azaltacaktır.
- Bina sektöründe enerji verimliliğini en üst düzeye çıkaran cihaz standartları.
- Ofislerdeki ısıtma sıcaklıklarını ve klima üniteleri için varsayılan soğutma sıcaklıklarını kapsayan ve aşırı termal talebi azaltan yönetmelikler.
- Başlangıçta piyasa temelli mekanizmalarla ele alınan değişiklikler, örneğin bölgesel uçuşların yüksek hızlı trenle değiştirilmesi,¹⁹ kamu duyarlılığı ve tüketici normlarındaki değişiklikleri yansıtmak için zaman içinde düzenleme yoluyla ele alınabilir.

Piyasa temelli araçlar, karar verme sürecini etkilemek için mali teşvikler ve caydırıcı unsurların bir karışımını kullanır. NZE'deki davranış değişiklikleri ile tasarruf edilen emisyonların yaklaşık üçte ikisini sağlayabilirler. Örnekler şunları içerir:

- Tıkanıklık fiyatlandırması ve araç türüne göre farklılaştırılmış hedefli müdahaleler,²⁰ örneğin çevreyi en çok kirlüten araçlara yönelik ücretler veya temiz araçlar için tercihli park etme.
- Yakıt vergileri ve mesafeye dayalı araç sigorta ve tescil ücretleri gibi seyahati azaltan ulaşım talebi önlemleri (Byars, Wei ve Handy, 2017).
- Üretimde somutlaştırılmış veya yaşam döngüsü emisyonlarının zorunlu olarak etiketlenmesi ve şirketlerin karbon emisyonlarını açıklama zorunluluğu gibi tüketicilerin değişimi yönlendirmesine yardımcı olan bilgilendirme önlemleri.

Bilgi ve farkındalık önlemleri, NZE'deki davranış değişiklikleriyle tasarruf edilen emisyonların yaklaşık %30'unu sağlayabilir. Örnekler şunları içerir:

- Yürüme, bisiklete binme ve toplu taşımaya geçişi kolaylaştıran kişiselleştirilmiş ve gerçek zamanlı seyahat planlama bilgileri.
- Geri dönüşümün yaygınlaşmasına ve alışkanlık haline gelmesine yardımcı olan ürün etiketleme ve kamuoyu bilinçlendirme kampanyaları.
- Benzer hanelerin tüketim kalıpları ile karşılaştırmalar, savurgan enerji kullanımını %20'ye kadar azaltabilir (Aydın, Brounen ve Kok, 2018).

NZE'deki tüm davranış değişikliklerini gerçekleştirmek her yerde aynı derecede kolay olmayacaktır ve politika müdahalelerinin davranış biliminden elde edilen bilgilerden ve mevcut davranış normlarını ve kültürel tercihleri dikkate alması gerekecektir. Bazı davranış değişiklikleri diğerlerine göre sosyal olarak daha kabul edilebilir olabilir. Birleşik Krallık'taki yurttaş meclisleri ve

¹⁹ Fransa'da iki buçuk saatin altında bir demiryolu alternatifinin bulunduğu iç hat uçuşlarını yasaklayan bir yasa önerilmiştir (Assemblée Nationale, 2021).

²⁰ Trafik sıkışıklığı ücretlendirmesi şu anda 11 büyük şehirde kullanılmaktadır ve trafik hacmini %27'ye azalttığı gösterilmiştir. Düşük emisyonlu bölgeler, araç türüne göre kentsel bölgelere girmek için araçlardan ücret almaktadır ve şu anda 15 ülkede mevcuttur (TFL, 2021; Tools of Change, 2014; European Commission, 2021).

Fransa, sık ve uzun mesafeli uçuş yapanlara vergilere ve kirlетici araçların şehir merkezlerinden men edilmesine büyük oranda destek verildiğini göstermektedir; buna karşılık, araç sahipliğini sınırlayan veya hız sınırlarını azaltan tedbirler daha az kabul görmüştür (Convention Citoyenne pour le Climat, 2021; Climate Assembly UK, 2020). Evlerde enerji kullanımını azaltan davranış değişiklikleri özellikle iyi desteklenebilir: yakın zamanda yapılan bir anket, çamaşırların kurutulmasına ve cihazların kapatılmasına %85 oranında destek verildiğini ve insanların yalnızca %20'sinin evlerdeki sıcaklık ayarlarının düşürülmesinin istenmeyen bir durum olduğunu düşündüğünü göstermiştir (Newgate Research ve Cambridge Zero, 2021).

Tablo 2.10> Yeni Zelanda'daki temel davranış değişiklikleri

Politika seçenekleri		İlgili politika-hedefler			
Düşük araçlı şehirler					
- Büyük şehirlerden İYM araçların aşamalı olarak kaldırılması. - Tüm şehir içi araba yolculuklarını paylaştırın.	- Düşük emisyonlu bölgeler. - Erişim kısıtlamaları. - Park kısıtlamaları. - Kayıt kapakları. - Park ücreti. - Trafik sıklığı ücretleri. - Bisiklet yollarına ve toplu taşımaya yatırım.	- Hava kirliliğinin azaltılması. - Halk sağlığı. - Azaltılmış trafik sıklığı. - Kentsel alan. - Güzelleştirme ve yaşanabilirlik.			
Yakıt tasarruflu sürüş					
- Otoyol hızlarını 100 km/saatin altına düşürün. - Eko-sürüş. - Araçlardaki klima sıcaklığını 3 °C artırın.	- Hız limitleri. - Gerçek zamanlı yakıt verimliliği göstergeleri. - Farkındalık kampanyaları.	- Yol güvenliği. - Azaltılmış gürültü kirliliği.			
Bölgesel uçuşları azaltın					
Yüksek hızlı demiryolunun uygulanabilir bir alternatif olduğu durumlarda 1 saatten kısa tüm uçuşları değiştirin.	- Yüksek hızlı tren yatırımı. - Yüksek hızlı tren seyahati için sübvansiyonlar. - Fiyat primleri.	- Daha düşük hava kirliliği. - Daha düşük gürültü kirliliği.			
Uluslararası uçuşları azaltın					
- İş amaçlı uçak seyahatlerini 2019 seviyelerinde tutun. - Tatil amaçlı uzun mesafeli uçuşları 2019 seviyelerinde tutun.	- Farkındalık kampanyaları. - Fiyat primleri. - Kurumsal hedefler. - Sık uçan yolcu vergileri.	- Daha düşük hava kirliliği. - Daha düşük gürültü kirliliği.			
Alan ısıtma					
Hedef ortalama ayar noktası sıcaklıkları 19-20 °C.	- Farkındalık kampanyaları. - Tüketim geri bildirimi. - Kurumsal hedefler.	- Halk sağlığı. - Enerji satın alınabilirliği.			
Uzay soğutması					
Hedef ortalama ayar noktası sıcaklıkları 24-25 °C.	- Farkındalık kampanyaları. - Tüketim geri bildirimi. - Kurumsal hedefler.	- Halk sağlığı. - Enerji satın alınabilirliği.			

● = zayıf eşleşme ● = nötr eşleşme ● = iyi eşleşme

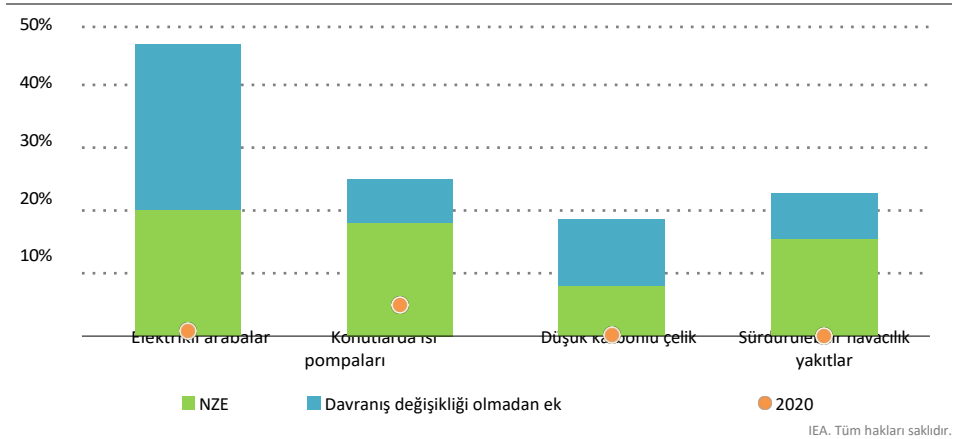
Notlar: Büyük şehirler= nüfusu 1 milyon üzerindeki şehirler. ICE= içten yanmalı motor. CO₂ emisyonları etkisi = 2020-2050 kümülatif azaltımlar. Eko-sürüş = erken vites yükseltmenin yanı sıra ani hızlanma, durma veya rölantiden kaçınma. Evde yapılabilecek işlerin sayısı bölgelere göre önemli ölçüde değişmektedir, küresel olarak işlerin ortalama %20'si evde yapılabilmektedir.

NZE'deki davranış değişiklikleri, şehirlerdeki hava kirliliği, yol güvenliği, gürültü kirliliği, trafik sıkışıklığı ve sağlık açısından daha geniş faydalar sağlayacaktır. Eş faydalar ortaya çıktığında politika müdahalelerine yönelik tutumlar hızla değişebilir. Örneğin, Stockholm'de trafik sıkışıklığı ücretlendirmesine verilen destek, uygulama başladığında %40'ın altında iken üç yıl sonra yaklaşık %70'e yükselmiştir; benzer bir eğilim Singapur, Londra ve diğer şehirlerde de görülmüş ve bu şehirlerin hepsinde ücretlendirme uygulamasının başlamasından sonra hava kirliliğinde düşüşler yaşanmıştır (Tools of Change, 2014; DEFRA, 2012).

Davranış değişikliği olmadan 2050 yılına kadar net sıfır emisyon hala mümkün mü?

NZE'de açıklanan davranış değişikliklerinin gerçekleşmemesi durumunda, 2030 yılında nihai enerji kullanımı 27 EJ ve emisyonlar 1,7 Gt CO₂ daha yüksek olacak ve bu değerler 37 EJ ve 2050 yılında 2,6 Gt CO₂ daha yüksek olacaktır. Bu durum, düşük karbon teknolojilerinde halihazırda ihtiyaç duyulan benzeri görülmemiş artışı daha da artıracaktır. Aynı düzeyde emisyon azaltımını sağlamak için elektrikli araçların küresel otomobil filosundaki payının 2030'da yaklaşık %20'den %45'e çıkması gerekecektir (Şekil 2.27). Evlerdeki emisyonlarda aynı azalmanın sağlanması için elektrikli ısı pompası satışlarının 2030 yılında 680 ulaşması gerekmektedir (Yeni Zelanda'daki 440 milyona kıyasla). Malzeme verimliliğinde kazanımlar olmadan, düşük karbonlu birincil çelik üretiminin payının 2030'da Yeni Zelanda'dakinin iki katından daha fazla olması gerekecektir. 2050 yılında, sürdürülebilir havacılık yakıtlarının kullanımının da 7 mboe/d'ye yükselmesi (NZE'deki 5 mboe/d ile karşılaştırıldığında). Çimento ve çelik üretiminden kaynaklanan emisyonlar 2050 yılında NZE'ye kıyasla 1,7 Gt CO₂ daha yüksek olacaktır ve bu nedenle sanayide CCUS'un daha fazla kullanılması, elektrikli ark ocaklarının yaygınlaştırılması ve düşük karbonlu hidrojenin daha fazla kullanılması gerekmektedir.

Şekil 2.27 ► 2030 yılında NZE'de davranış değişikliği olan ve olmayan düşük karbonlu teknolojilerin ve yakıtların payı



Davranış değişikliklerinin olmaması durumunda, 2030 yılında son kullanımlarda düşük emisyonlu teknolojilerin payının NZE ile aynı emisyonlara ulaşmak için çok daha büyük olması gerekecektir

Notlar: Elektrikli otomobiller = küresel olarak yollardaki elektrikli otomobillerin payı. Sürdürülebilir havacılık yakıtları = biyojet kerosen ve sentetik jet kerosen. Düşük karbonlu çelik, birincil çelik üretimini ifade eder.

2.7.2 Biyoenerji ve arazi kullanım değişikliği

Modern biyoenerji biyimleri, NZE'de net sıfır emisyonla ulaşılmasında kilit bir rol oynamaktadır. Biyoenerji, tım sektörlerde kullanılabilen çok yönlü bir yenilenebilir enerji kaynağıdır ve genellikle mevcut iletim ve dağıtım altyapısı ile son kullanıcı ekipmanlarından yararlanabilir. Ancak biyoenerji arzını genişletme konusunda kısıtlamalar vardır: atık akışlarından biyoenerji üretimi için sınırlı potansiyel ile biyoenerji üretimini genişletmek, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak ve başta gıda üretimi olmak üzere diğer arazi kullanımlarıyla çatışmalardan kaçınmak arasında olası ödünleşimler vardır.

NZE'deki biyoenerji kullanım seviyesi bu kısıtlamaları dikkate almaktadır: 2050 yılındaki biyoenerji talebi yaklaşık 100 EJ'dir. 2050'deki küresel sürdürülebilir biyoenerji potansiyelinin en az 100 EJ olduğu değerlendirilmiştir (Creutzig, 2015) ve son değerlendirmeler, ilgili BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerini entegre ederken 150-170 EJ arasında bir potansiyel tahmin etmektedir (Frank, 2021; IPCC, 2019; IPCC, 2014; Wu, 2019). Bununla birlikte, bu potansiyelin kesin seviyeleri konusunda yüksek derecede belirsizlik vardır. IIASA ile işbirliği içinde geliştirilen modellemeyi kullanarak, burada mevcut sürdürülebilir biyoenerji seviyelerinin daha düşük olması durumunda 2050 yılına kadar net sıfır CO₂ emisyonuna ulaşmanın sonuçlarını inceliyoruz. Ayrıca tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımından (AFOLU) kaynaklanan emisyonlarda büyük değişler elde etmek için neler yapılması gerektiğini de inceliyoruz.

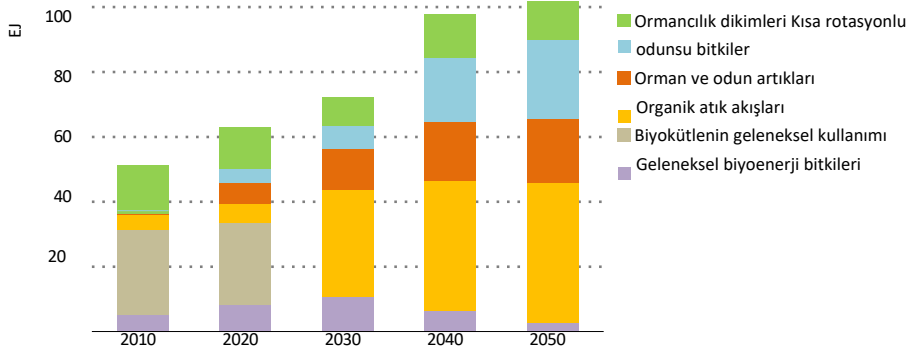
Sürdürülebilir bir biyoenerji arzının sağlanması

Günümüzde üretilen sıvı biyoyakıtların çoğu, genellikle geleneksel biyoyakıtlar olarak bilinen şeker kamışı, mısır veya yağ bitkileri gibi özel biyoenerji ürünlerinden elde edilmektedir. Bu biyoyakıtları üretmek için hammaddelerin ve ekilebilir arazilerin genişletilmiş kullanımı gıda üretimi ile çatışabilir. NZE'de sürdürülebilir, sertifikalı tarım ürünleri ve ahşap kullanımına doğru bir kayma söz konusudur. NZE'deki biyoyakıt üretim süreçlerinde, mümkün olan yerlerde CCUS ile birlikte gelişmiş dönüştürme teknolojileri kullanılmaktadır (bkz. Bölüm 3.3.2). Diğer süreçlerden kaynaklanan atık akışları, kısa rotasyonlu odunsu bitkiler ve ekilebilir arazi kullanımı gerektirmeyen hammaddeler de dahil olmak üzere gelişmiş biyoenerji hammaddelerine de vurgu yapılmaktadır. Gelişmiş biyoenerji, 2050 yılına kadar Yeni Zelanda'daki biyoenerji arzının büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır. Biyoyakıt üretimi için geleneksel enerji bitkilerinin kullanımı 2020'de yaklaşık 9 EJ'den 2030'da yaklaşık 11 EJ'ye çıkmakta, ancak daha sonra %70 oranında düşerek 2050'de 3 EJ'ye inmektedir (biyoyakıt üretim süreçlerinde tüketilen hammaddeler dahil).

Arazi gerektirmeyen ileri biyoenerji hammaddeleri arasında tarım ve sanayiden kaynaklanan organik atık akışları ile orman hasadı ve ahşap işlemeden kaynaklanan odunsu kalıntılar yer almaktadır. Yeni Zelanda'da kapsamlı atık toplama ve ayrıştırma yatırımları, öncelikle biyogaz ve gelişmiş biyoyakıt üretmek için kullanılan çeşitli organik atık akışlarından yaklaşık 45 EJ biyoenerji arzını ortaya çıkarmaktadır (Şekil 2.28). Ağaç işleme ve orman hasadından elde edilen odunsu kalıntılar, 2050 yılında Yeni Zelanda'da 20 EJ daha biyoenerji sağlar - toplam sürdürülebilir potansiyelin mevcut en iyi tahminlerinin yarısından azı. Biyoenerji ayrıca řu şekilde de üretilebilir

(2050'de 25 EJ biyoenerji arzı).²¹ Sürdürülebilir şekilde yönetilen orman yakacak odunu veya plantasyonları²² ve gıda üretimi veya biyoçeşitlilikle çatışmayan tarımsal ormancılık sistemleri aracılığıyla tarımsal üretimle entegre edilen ağaç dikimleri, 2050'de 10 EJ'den biraz fazla biyoenerji sağlar.

Şekil 2.28 ▶ Yeni Zelanda'da kaynağına göre küresel biyoenerji arzı



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Biyoeenerji kullanımı 2020 ve 2050 yılları arasında yaklaşık %60 oranında artmaktadır, geleneksel hammaddelerden ve geleneksel biyokütle kullanımından uzaklaşırken

Not: Organik atık akışları tarımsal kalıntıları, gıda işleme, endüstriyel ve belediye organik akışlarını içerir; arazi alanı gerektirmezler.

Kaynak: IIASA verilerine dayanan IEA analizi.

NZE'de biyoenerji üretimine ayrılan toplam arazi alanı 2020'de 330 milyon hektardan (Mha) 2050'de 410 Mha'ya çıkmaktadır. 2050 yılında, yaklaşık 270 Mha orman olup, küresel yönetilen ormanların toplam alanının yaklaşık dörtte birini ve toplam orman alanının yaklaşık %5'ini temsil etmektedir. 2050 yılında kısa rotasyonlu gelişmiş biyoenerji bitkileri için 130 Mha ve geleneksel biyoenerji bitkileri için 10 Mha arazi kullanılacaktır. NZE'de biyoenerji üretimi için ekili alan kullanımında bugünkü seviyeden genel bir artış yoktur ve NZE'deki ormanlık arazilerde hiçbir biyoenerji ürünü geliştirilmemiştir.²³ Marjinal arazilerde çok daha fazla biyoenerji ürünü üretimine izin vermenin yanı sıra, odunsu enerji ürünleri hektar başına geleneksel biyoenerji ürünlerinden iki kat daha fazla biyoenerji üretebilir.

²¹ Ekin arazisi, mera arazisi veya gıda için uygun olmayan marjinal arazilerde yetiştirilen odunsu kısa rotasyonlu baltalık ürünler.

²² Sürdürülebilir ormancılık yönetimi, ormanın karbon stokunun ve karbon emme kapasitesinin genişletilmesini veya değişmeden kalmasını sağlar.

²³ 2050 yılında biyoenerji bitkileri için kullanılan 140 Mha arazinin 70 Mha'sı marjinal araziler veya şu anda hayvan otlatmak için kullanılan araziler, 70 Mha'sı ise ekili arazilerdir. NZE'de 2050 yılına kadar odunsu ürünler için ekili alan kullanımında 60 Mha'lık bir artış vardır, ancak bu, geleneksel biyoyakıt hammaddeleri üretmek için ekili alan kullanımındaki azalma ile dengelenmektedir.

Yeni Zelanda'da biyoenerji için toplam arazi kullanımı, biyoçeşitlilik sıcak noktalarının korunması ve biyoçeşitlilik ve arazi kullanımına ilişkin BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 15'in karşılanması ihtiyacı da dahil olmak üzere sürdürülebilirlik kısıtlamalarını tam olarak dikkate alan potansiyel arazi mevcudiyetinin tahmini aralıklarının oldukça altındadır. Biyoenerji ürünlerinin sertifikalandırılması ve ormancılık plantasyonlarının ve odunsu enerji mahsullerinin genişletilmesi için hangi arazilerin dönüştürülebileceğinin sıkı bir şekilde kontrol edilmesi, yine de arazi kullanımı çatışması sorunlarından kaçınmak için kritik öneme sahiptir. Sertifikasyon aynı zamanda CO₂ denkleştirmelerinin (bkz. Bölüm 1) bütünlüğünü sağlamak için de kritik öneme sahiptir; bu denkleştirmelerin kullanımı dikkatli bir şekilde yönetilmeli ve alternatif azaltım seçenekleri olmayan sektörlerle sınırlandırılmalıdır. İlgili bir arazi kullanımı sorunu, enerji sektörü dışından kaynaklanan emisyonların nasıl ele alınacağıdır (Kutu 2.3).

Kutu 2.3► Arazi kullanımı, tarım ve ormancılıktan kaynaklanan emisyonların dengelenmesi

Küresel sıcaklık artışını sınırlandırmak için tüm sera gazı emisyon kaynaklarının sıfıra yakın bir seviyeye inmesi veya CDR ile dengelenmesi gerekmektedir. Enerji sektörü son yıllarda toplam sera gazı emisyonlarının yaklaşık dörtte üçünü oluşturmuştur. Enerji sektörü dışındaki en büyük sera gazı emisyon kaynağı, son yıllarda 10-12 Gt CO₂-eq net sera gazı emisyonu üreten tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımıdır (AFOLU).²⁴ AFOLU'dan kaynaklanan CO₂ emisyonları yaklaşık 5-6 Gt CO₂, azot oksit ve metan emisyonları ise yaklaşık 5-6 Gt CO₂-eq olmuştur (IPCC, 2019).

AFOLU kaynaklı emisyonları azaltma ve uzaklaştırmaları artırma seçenekleri arasında şunlar yer almaktadır: ormansızlaşmanın durdurulması; orman yönetimi uygulamalarının iyileştirilmesi; toprak karbon seviyelerini artıran tarım uygulamalarının başlatılması; ve ağaçlandırma. Son zamanlarda bir dizi şirket, faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonları dengelemek için bu tür doğa temelli çözümlere ilgi ifade etmiştir (bkz. Bölüm 1). Ağaçlandırma için, yaklaşık 170 Mha'nın (kabaca Hindistan'ın yarısı büyüklüğünde) ormana dönüştürülmesi, 2050 yılına kadar yılda yaklaşık 1 Gt CO₂ tutacaktır.

NZE'de 2050 yılına kadar enerji ile ilgili ve endüstriyel proses CO₂ emisyonlarının net sıfıra ulaşması, enerji sektörü dışından herhangi bir dengelemeye bağlı değildir. Ancak AFOLU'ya yönelik orantılı eylem, iklim değişikliğinin sınırlandırılmasına yardımcı olacaktır. NZE'deki enerji sektörü dönüşümü, geleneksel mahsullerden uzaklaşması ve marjinal arazilerde ve mera alanlarında kısa rotasyonlu gelişmiş biyoenerji mahsulü üretimindeki artış göz önüne alındığında, 2050 yılında AFOLU kaynaklı CO₂ emisyonlarını yaklaşık 150 Mt CO₂ azaltacaktır. AFOLU kaynaklı emisyonları daha da azaltmak için 2050 yılına kadar ormansızlaşmanın üçte iki oranında azaltılması, iyileştirilmiş orman yönetimi uygulamalarının başlatılması ve yaklaşık 250 Mha yeni orman dikilmesi gerekecektir. Bu değişikliklerin birleşik etkisi, AFOLU kaynaklı CO₂ emisyonlarını 2040 yılına kadar sıfıra indirecek ve 2050 yılına kadar yıllık 1,3 Gt CO₂ absorbe edecektir. Bu durumda, 2020 ve 2050 yılları arasındaki kümülatif AFOLU CO₂ emisyonları yaklaşık 40 Gt CO₂ olacaktır.

Hayvancılıktan kaynaklanan CO₂ dışı emisyonların yanı sıra diğer tarımsal emisyonların azaltılması, hayvancılık üretimi ile azot oksit ve metan emisyonları arasındaki bağlantı göz önüne alındığında daha zor olabilir. Çiftçilik uygulamalarında değişiklikler ve teknoloji iyileştirmeleri,

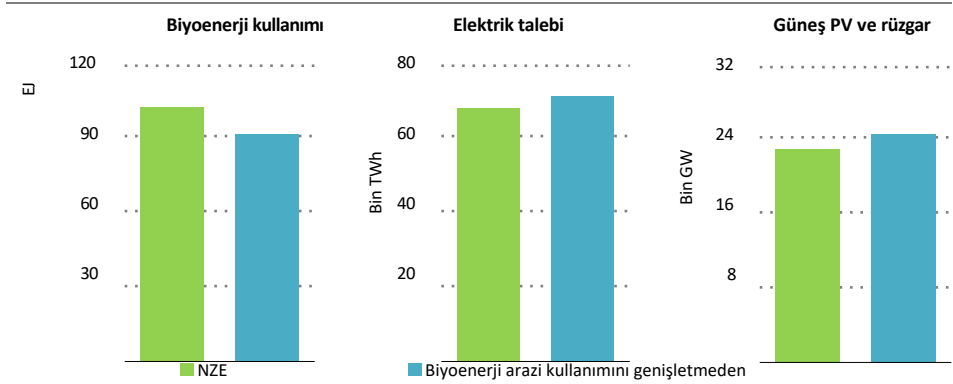
²⁴ AFOLU emisyonları insan kaynaklı faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlardır ve doğal toprak yutakları tarafından atmosferden uzaklaştırılan CO₂ içermez.

Hayvan yeminde yapılacak değişiklikler de dahil olmak üzere, bu emisyonların azaltılmasına yardımcı olabilir, ancak bu emisyonları tamamen dengelemek için ağaçlandırmanın kullanılması gerekebilir. Bir alternatif de hayvancılık ürünlerine olan talebi azaltarak bu emisyonları azaltmak olabilir. Örneğin, bugün en yüksek kişi başına tüketim seviyesine sahip hanelerde et tüketiminin küresel ortalama seviyeye düşürülmesinin, sera gazı emisyonlarını 2050 yılında 1 Gt CO₂-eq'den daha fazla azaltacağını tahmin ediyoruz. Hayvansal ürünlere olan talebin azalması, küresel olarak hayvancılık için ihtiyaç duyulan mera alanını yaklaşık 200 Mha ve hayvancılık için yem yetiştirmek için kullanılan ekim alanını 80 Mha daha azaltacaktır.

Biyoenerji için arazi kullanımını genişletmeden 2050 yılına kadar net sıfır emisyon mümkün mü?

Küresel sürdürülebilir biyoenerji potansiyeline ilişkin tahminler, özellikle de yeni arazi alanlarının sürdürülebilir bir şekilde biyoenerji üretimine ne ölçüde dönüştürülebileceği konusunda yüksek derecede belirsizliğe tabidir. Sonuç olarak, NZE biyoenerji kullanımına temkinli bir yaklaşım benimsemektedir. 2050 yılındaki tüketim (100 EJ), 150-170 EJ arasında bir potansiyel öneren ilgili SKH'leri entegre eden en son tahminlerin oldukça altındadır. Ancak sürdürülebilir biyoenerji sağlamak için mevcut arazinin daha da sınırlı olması mümkündür. Burada, özel biyoenerji bitkileri ve ormancılık plantasyonları için arazi kullanımının bugün kullanılan yaklaşık 330 Mha ile sınırlandırılmasının emisyonlar üzerindeki etkilerini araştırıyoruz.

Şekil 2.29 ► Elektrik talebi üzerindeki etki ve genişletilmiş biyoenerji arazi kullanımı olmadan 2050 yılına kadar net sıfır emisyona ulaşma kabiliyeti



IEA, Tüm hakları saklıdır.

Biyoenerji arazi kullanımını genişletmeden net sıfır emisyona ulaşmak için güneş PV ve rüzgardan 3 200 TWh daha elde edilmesi gerekecek ve bu da NZE'deki kapasiteyi yaklaşık %10 artıracaktır

Arazi kullanımının 330 Mha ile sınırlandırılması, 2050 yılında mevcut biyoenerji arzını 10 EJ'den fazla azaltacaktır. Bu, çoğunlukla Yeni Zelanda'da endüstriyel süreçler ve elektrik üretimi için yüksek sıcaklıkta ısı sağlamak amacıyla fosil yakıtların yerine kullanılan kısa rotasyonlu odunsu enerji bitkilerinin mevcudiyetinde bir azalma şeklinde olacaktır. Biyoenerji olmadan,

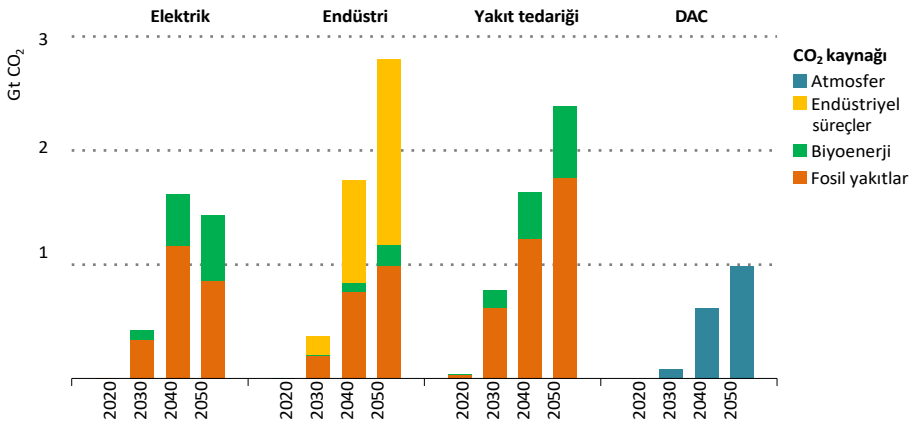
bunun yerine hidrojen ve sentetik metan kullanılması muhtemeldir ve bunların üretimi 2050 yılında yaklaşık 70 Mt hidrojen gerektirecektir (NZE'dekinden %15 daha fazla). Bunun elektroliz yoluyla üretilmesi halinde yaklaşık 750 GW elektrolizör kapasitesi gerekecek ve 2050 yılında elektrik talebini yaklaşık 3 200 TWh artıracaktır (Şekil 2.29).

İhtiyaç duyulacak ilave elektrik, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak üretilir; bu da 2050 yılında ilave 1 700 GW rüzgar ve güneş PV kapasitesi ve yaklaşık 350 GW ilave batarya kapasitesi gerektirecektir. 2030'lar boyunca yıllık kapasite ilavelerinin NZE'dekinden 160 daha fazla olması gerekecektir. İlave rüzgar, güneş, batarya ve elektrolizör kapasitesi, elektrik şebekeleri ve bu yüksek dağıtım seviyesini desteklemek için gereken depolama ile birlikte 2050 yılına kadar 5 trilyon ABD dolarından fazlaya mal olacaktır. Bu rakam, NZE'de öngörüldüğü gibi biyoenerji kullanımının yaygınlaştırılması halinde gerekecek olandan 4,5 trilyon ABD Doları daha fazladır ve NZE için gereken toplam yatırımı %3 oranında artıracaktır. Bu nedenle, biyoenerji için arazi kullanımını genişletmeden 2050 yılında net sıfır emisyonu ulaşmak hala mümkün olsa da, bu enerji geçişini önemli ölçüde daha pahalı hale getirecektir.

2.7.3 Fosil yakıtlardan kaynaklanan emisyonlara uygulanan CCUS

NZE'de 2050 yılında toplam 7,6 Gt CO₂ yakalanmıştır; bunun neredeyse %50'si fosil yakıtların yanmasından, %20'si endüstriyel süreçlerden ve yaklaşık %30'u CO₂ yakalama ve DAC ile biyoenerji kullanımından kaynaklanmaktadır (Şekil 2.30). Fosil yakıtlarla birlikte CCUS kullanımı, NZE'de 2030 yılına kadar CCUS'deki toplam büyümenin neredeyse %70'ini sağlamaktadır. Yine de CCUS'un hızlı bir şekilde yaygınlaştırılmasına yönelik beklentiler ekonomik, politik ve teknik nedenlerden dolayı çok belirsizdir. Burada, fosil yakıtlı CCUS'un mevcut ve planlanan projelerin ötesine geçmemesi halinde 2050 yılında net sıfır emisyonu ulaşmanın sonuçlarına bakacağız.

Şekil 2.30 ► NZE'de sektör ve emisyon kaynağına göre CCUS



IEA, Tüm hakları saklıdır.

Fosil yakıt emisyonları 2030'da toplam CO₂ yakalamasının neredeyse %70'ini, 2050'de ise neredeyse %50'sini oluşturmaktadır

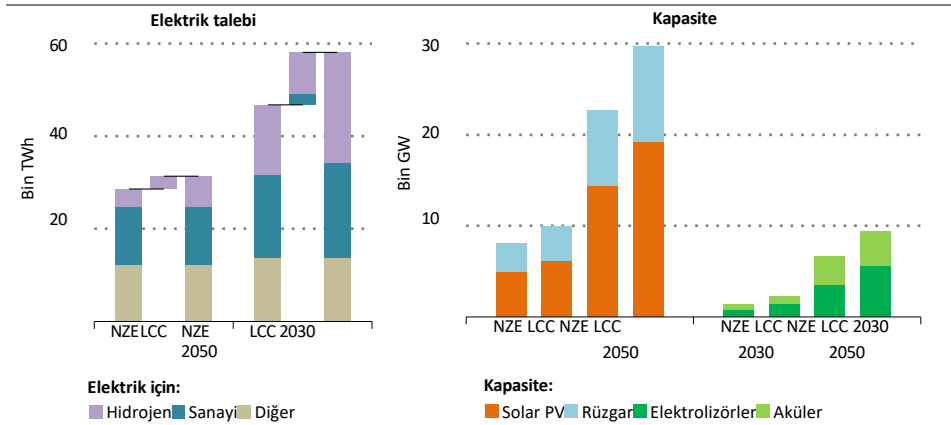
Not: DAC= doğrudan hava yakalama.

Fosil yakıt temelli CCUS olmadan 2050 yılına kadar net sıfır emisyon mümkün mü?

Fosil yakıt temelli CCUS uygulamaları, NZE'de 2030'a kadar eklenen CCUS projelerinin çoğunu oluşturmaktadır. Bu projeler, net sıfıra ulaşmak için gerekli olan diğer fosil yakıt dışı CCUS uygulamalarına yönelik risklerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Fosil yakıt temelli CCUS projelerinin karşılaştığı zorluklar göz önünde bulundurularak, halihazırda yapım aşamasında olan veya geliştirilmesi onaylananlar dışında hiçbir yeni fosil yakıt CCUS projesinin geliştirilmediği bir *Düşük CCUS Vakası (LCC)* oluşturduk. LCC'de, fosil yakıtlardan yakalanan CO₂ emisyonları 2050 yılında sadece 150 Mt, NZE'de 2050 yılında 3 600 Mt'dur.

Sanayide, yeni fosil yakıt CCUS projelerinin olmaması, 2050'de NZE'ye kıyasla LCC'de 1,2 Gt ilave CO₂ emisyonuna yol açmaktadır. Bu emisyonları ortadan kaldırmak için 2050'ye kadar net sıfıra ulaşmak amacıyla alternatif teknolojilerin kullanılması gerekecektir. Elektrikli çimento fırınları veya yüksek değerli kimyasalların üretimi için elektrikli buhar krakerleri gibi prototip geliştirme aşamasında olan bir dizi teknolojiye ihtiyaç duyulacaktır (bkz. Kutu 2.4). Bu teknolojilerin gösterilebileceği ve yaygınlaştırılabileceği varsayıldığında, bu durum 2050 yılında elektrik talebini yaklaşık 2 400 TWh ve sanayideki hidrojen talebini yaklaşık 45 Mt artıracaktır. Ayrıca, NZE'de CCUS ile donatılmış fosil yakıtlardan üretilen 145 Mt hidrojenin de değiştirilmesi gerekecektir. Bu 190 Mt hidrojenin elektroliz yoluyla sağlanması, 2050 yılında ilave 2 000 GW elektrolizör kapasitesi (NZE'dekinden neredeyse %60 daha fazla) ve ilave 9 000 TWh elektrik gerektirecektir (Şekil 2.31).

Şekil 2.31 ► 2050 yılına kadar fosil yakıt bazlı CCUS genişletilmeden net sıfır emisyona ulaşmanın etkileri



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Fosil yakıt temelli CCUS'un kullanılmaması elektrik talebini önemli ölçüde artıracak ve çok daha fazla güneş, rüzgar ve elektrolizör kapasitesi gerektirecektir

Not: LCC = Fosil yakıtlara uygulanan CCUS'nin bugün yapım aşamasında olan veya geliştirilmesi onaylanan projelerle sınırlandırıldığı Düşük CCUS Durumu.

Kutu 2.4► Yeni Zelanda'da teknoloji inovasyonu

İnovasyon, yeni temiz enerji teknolojileri geliştirmenin ve mevcut teknolojileri ilerletmenin anahtarıdır. İnovasyonun önemi 2050'ye yaklaştıkça artmaktadır çünkü mevcut teknolojiler bizi net sıfır emisyonla giden yolun tamamına ulaştıramayacaktır. NZE'de 2050 yılında ihtiyaç duyulan emisyon azaltımlarının neredeyse %50'si prototip veya demonstrasyon aşamasında olan, yani henüz piyasada bulunmayan teknolojilere bağlıdır (bkz. Bölüm 4).

Yeni bir fikir çizim tahtasından laboratuvara ve oradan da dünyaya yayıldıktan sonra, temiz enerji inovasyon hattında dört temel aşama vardır (IEA, 2020d). Ancak olgunluğa giden yol uzun olabilir ve başarı garantisi değildir.

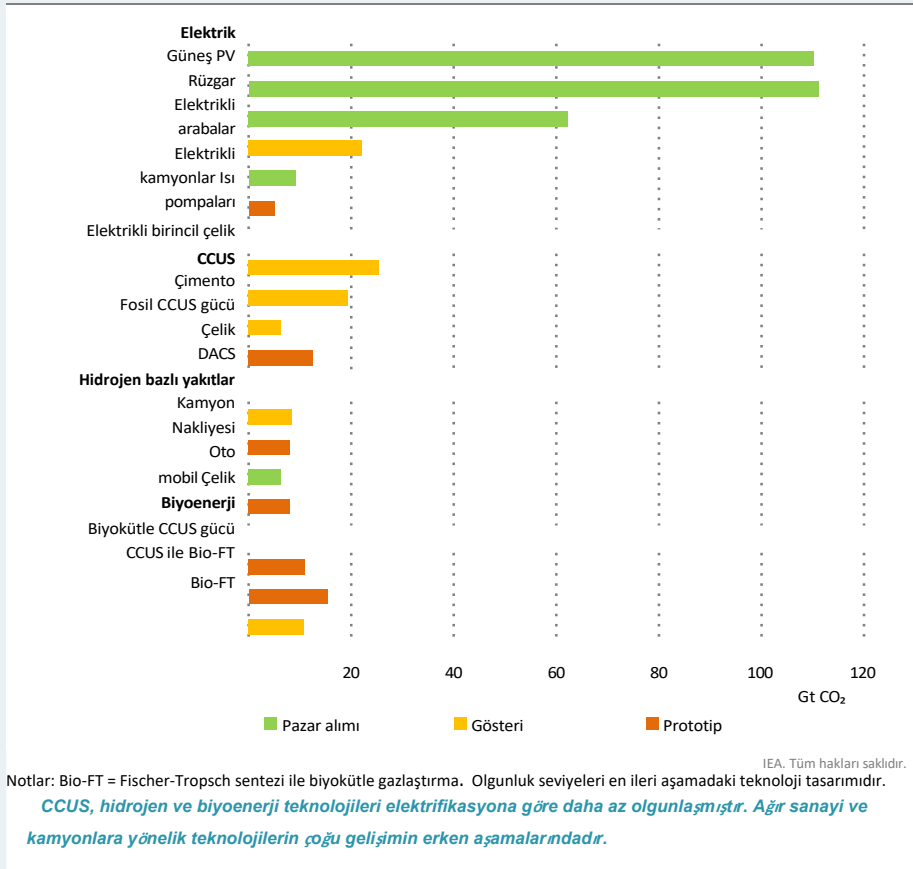
- **Prototip.** Bir konsept tasarıma ve ardından yeni bir cihazın prototipine dönüştürülür, örneğin kömür yerine saf hidrojenle çelik üreten bir fırın.
- **Demonstrasyon.** Yeni bir teknolojinin ilk örnekleri, örneğin çimento fabrikalarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarını yakalayan bir sistem gibi tam ölçekli bir ticari ünite boyutunda tanıtılır.
- **Pazar alımı.** Teknoloji bir dizi pazarda kullanılmaya başlanmıştır. Ancak ya yerleşik teknolojilerle arasında maliyet ve performans farkı vardır (örneğin hidrojen üretimi için elektrolizörler) ya da rekabetçidir ancak tam pazar potansiyeline ulaşmasının önünde mevcut altyapıya entegrasyon veya tüketici tercihleri gibi engeller vardır (örneğin ısı pompaları). Her iki durumda da maliyetlerin azaltılması ve mevcut engellerin aşılması için daha geniş bir yayılımın teşvik edilmesi ve maliyetlerin ve risklerin daha fazlasının kademeli olarak özel sektör tarafından üstlenilmesi için politikalara dikkat edilmesi gerekmektedir.
- **Olgunluk.** Teknoloji pazar istikrarına ulaşmıştır ve yeni alımlar veya kurulumlar sabittir, hatta bazı ortamlarda yeni teknolojiler mevcut varlık stokuyla (örneğin hidroelektrik türbinleri) rekabet etmeye başladıkça azalmaktadır.

Yeni teknolojilerin pazara sunulması ve elektrifikasyon, CCUS, hidrojen ve sürdürülebilir biyoenerji de dahil olmak üzere gelişmekte olan teknolojilerin iyileştirilmesi için NZE'de inovasyon kritik önem taşımaktadır. NZE'de inovasyona bağımlılık derecesi sektörler arasında ve ilgili değer zincirlerinin çeşitli adımları boyunca değişiklik göstermektedir (Şekil 2.32).

- **Elektrifikasyon.** NZE'de düşük emisyonlu elektrik kullanımından kaynaklanan 170 Gt CO₂ kümülatif emisyon azaltımının neredeyse %30'u, elektrik bazlı birincil çelik üretimi veya elektrikli kamyonlar gibi şu anda prototip veya gösteri aşamasında olan teknolojilerden gelmektedir.
- **Hidrojen.** Düşük karbonlu hidrojen değer zincirinin tüm adımları bugün piyasada mevcut değildir. Hidrojen bazlı çelik üretimi gibi talep teknolojilerinin çoğunluğu sadece gösteri veya prototip aşamasındadır. Bunlar, NZE'de hidrojenle ilgili kümülatif emisyon azaltımlarının %75'inden fazlasını sağlamaktadır.

- **CCUS.** NZE'de CCUS'tan kaynaklanan kümülatif emisyon azaltımlarının yaklaşık %55'i bugün demo veya prototip aşamasında olan teknolojilerden kaynaklanmaktadır. CO₂ yakalama, amonyak üretimi ve doğal gaz işleme gibi bazı endüstriyel ve yakıt dönüşüm süreçlerinde onlarca yıldır kullanılıyor olsa da, diğer olası uygulamaların çoğunda hala büyük ölçekte gösterilmektedir.
- **Biyoenerji.** NZE'de sürdürülebilir biyoenerji ile ilgili kümülatif emisyon azaltımlarının yaklaşık %45'i, bugün demo veya prototip aşamasında olan, özellikle biyoyakıt üretimi için kullanılan teknolojilerden gelmektedir.

Şekil 2.32 > NZE'de olgunluk kategorisine göre seçilmiş teknolojiler için kümülatif CO₂ emisyon azaltımları



Elektrik sektöründe, sanayi ve yakıt dönüşümü için ilave 11 300 TWh elektrik üretilmesi ve 2050 yılında NZE'de CCUS ile donatılmış fosil yakıtla çalışan tesislerden üretilen elektriğin neredeyse tamamının değiştirilmesi gerekecektir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanıldığında, 2050 yılında ilave 7 000 GW rüzgar ve güneş enerjisi kapasitesine ihtiyaç duyulacaktır. Bu, NZE'dekinden yaklaşık %30 daha fazladır ve 2030'larda yıllık güneş PV ve rüzgar kapasitesi ilavelerinin 1 300 GW'a (NZE'dekinden 300 GW daha fazla) ulaşması gerektiği anlamına gelmektedir. Bu ilave değişken yenilenebilir enerji seviyesini karşılamak ve NZE'deki fosil yakıtlı CCUS donanımlı santrallerde mevcut olan esnekliği sağlamak için, 2050 yılında yaklaşık 660 GW daha fazla batarya kapasitesine (2050 yılında NZE'dekinden %20 daha fazla) ve ilave 110 GW diğer sevk edilebilir kapasiteye ihtiyaç duyulacaktır.

LCC'deki mevcut kömür ve gaz yakıtlı üretim santrallerine CCUS ekleme oranının azaltılması, karaya oturmuş varlık riskini de artıracaktır. Mevcut kömür ve gaz yakıtlı kapasitenin 2030 yılında 90 milyar ABD dolarına, 2050 yılına kadar ise 400 milyar ABD dolarına kadarının karaya oturabileceğini tahmin ediyoruz. NZE'de 2050 yılına kadar fosil yakıt bazlı CCUS'a yapılan yatırım yaklaşık 650 milyar ABD dolarıdır ve bu yatırım LCC'de önlenecektir. Ancak, bu daha yüksek dağıtım seviyesini desteklemek amacıyla, ilave rüzgar, güneş enerjisi ve elektrolizör kapasitesi, ağır sanayide elektriğe dayalı rotalar ve genişletilmiş elektrik şebekeleri ve depolama için YDM'de ilave yatırım yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak, KDH'de 2050 yılında net sıfır emisyonu ulaşmak için yapılması gereken ilave kümülatif yatırım, NZE'ye kıyasla 15 trilyon ABD doları daha yüksektir.

Fosil yakıtlar için CCUS'un geliştirilememesi, diğer CCUS uygulamalarının geliştirilmesini de geciktirecek veya engelleyecektir. Fosil yakıt bazlı CCUS olmadan, endüstriyel kümelerin etrafında konuşlandırılan CO₂ taşıma ve depolama altyapısının kullanıcı sayısı ve hacimleri azalacaktır. Daha az sayıda aktör ve daha sınırlı sermaye havuzları, CCUS altyapı kümelerinin ilk kurulumuyla ilişkili diğer risklerin yanı sıra altyapının yüksek ön maliyetlerini üstlenmek için mevcut olacaktır. Buna ek olarak, fosil yakıt temelli CCUS'un geliştirilmesinden elde edilen öğrenme ve maliyet azaltma faydalarının yayılması daha az olacak, bu da daha yeni CCUS teknolojilerinin başarılı bir şekilde gösterilmesini ve ölçeklendirilmesini çok daha az olası hale getirecektir. Diğer CCUS teknolojilerinin geliştirilmesindeki bir gecikme, 2050 yılında net sıfır emisyonu ulaşma ihtimali üzerinde büyük bir etkiye sahip olacaktır. Örneğin CCUS, CO₂'yi atmosferden uzaklaştırmak ve çimento üretiminden kaynaklanan emisyonları neredeyse ortadan kaldırmak için ölçeklenebilir tek düşük emisyonlu seçenektir. Eğer bu teknolojilerdeki ilerleme gecikir ve ölçeklendirilemezse, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmak çok daha zor olacaktır.

2050'ye kadar net sıfır emisyonu giden sektörel yollar

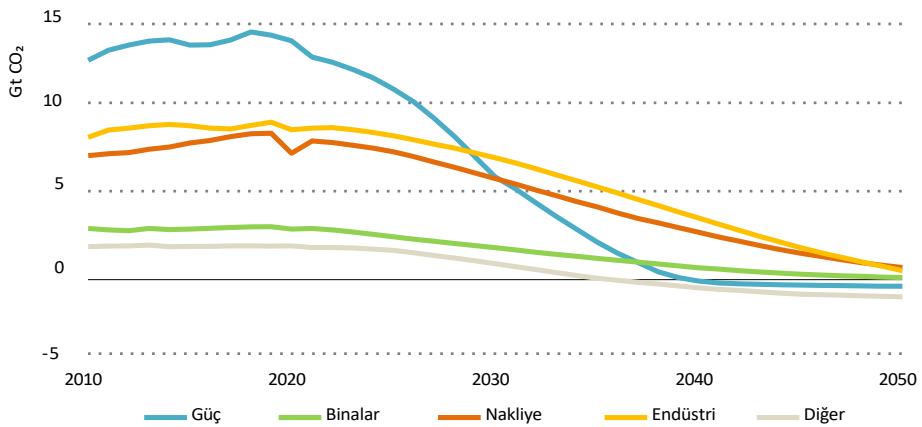
SUMMARY

- Net Sıfır Emisyon Senaryosunda (NZE) fosil yakıt kullanımı 2050 yılına kadar büyük ölçüde düşmektedir ve halihazırda geliştirilmesi onaylanmış olanların dışında yeni petrol ve doğal gaz sahalarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Yeni kömür madenlerine veya maden genişletmelerine gerek yoktur. Düşük emisyonlu yakıtlar - biyogazlar, hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar - hızlı bir büyüme göstermektedir. Bu yakıtlar, 2020'de %1 iken 2050'de küresel nihai enerjinin neredeyse %20'sini oluşturmaktadır. 2050'de 500 Mt'dan fazla düşük karbonlu hidrojen üretilir ve bunun yaklaşık %60'ı 2050'de küresel elektrik üretiminin %20'sini oluşturan elektroliz kullanılarak üretilir. Sıvı biyoyakıtlar 2050 yılında küresel havacılık yakıtının %45'ini sağlamaktadır.
- Yeni Zelanda'da elektrik talebi hızla artarak bugünden 2030'a %40 ve 2050'ye kadar iki buçuk kattan fazla artarken, üretimden kaynaklanan emisyonlar 2035'e kadar gelişmiş ekonomilerde ve 2040'a kadar küresel olarak toplamda net sıfıra düşmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, 2020'de üretimin %29'undan 2030'da %60'ına ve 2050'de yaklaşık %90'ına çıkarak dönüşümü yönlendirmektedir. 2030'dan 2050'ye kadar her yıl 600 GW güneş PV ve 340 GW rüzgar ekleniyor. En az verimli kömür santralleri 2030'a kadar, tüm kömür santralleri ise 2040'a kadar aşamalı olarak kapatılır. Elektrik şebekelerine yapılan yatırım 2030'a kadar üçe katlanır ve 2050'ye kadar yüksek kalır.
- Sanayide emisyonlar 2030'a kadar %20, 2050'ye kadar ise %90 oranında azalmaktadır. NZE'de 2050 yılında ağır sanayi emisyonlarındaki azalmanın yaklaşık %60'ı bugün pazara hazır olmayan teknolojilerden kaynaklanmaktadır: bunların çoğu hidrojen veya CCUS kullanılmaktadır. 2030'dan itibaren, tüm yeni sanayi kapasitesi ilaveleri sıfıra yakın emisyonu sahiptir. Dünya 2030'dan itibaren her ay 10 yeni ve mevcut ağır sanayi tesisini CCUS ile donatıyor, 3 yeni hidrojen bazlı sanayi tesisi ekliyor ve sanayi tesislerine 2 GW elektrolizör kapasitesi ekliyor.
- Taşımacılıkta emisyonlar 2030'a kadar %20, 2050'ye kadar ise %90 oranında azalacaktır. Başlangıçta ulaşım sistemlerinin operasyonel ve teknik verimliliğinin artırılmasına, modal değişimlere ve karayolu taşımacılığının elektrifikasyonuna odaklanılmaktadır. 2030 yılına gelindiğinde, elektrikli otomobiller otomobil satışlarının %60'ından fazlasını (2020'de %4,6) ve yakıt hücreli veya elektrikli araçlar ağır kamyon satışlarının %30'unu (2020'de %0,1'den az) oluşturmaktadır. 2035 yılına gelindiğinde, küresel olarak satılan neredeyse tüm otomobiller elektrikli, 2050 yılına gelindiğinde ise satılan neredeyse tüm ağır kamyonlar yakıt hücreli veya elektrikli olacaktır. Düşük emisyonlu yakıtlar ve davranış değişiklikleri uzun mesafe taşımacılığında emisyonların azaltılmasına yardımcı olmaktadır, ancak havacılık ve deniz taşımacılığı zorlu olmaya devam etmekte ve 2050 yılında 330 Mt CO₂ emisyonuna neden olmaktadır.
- Binalarda emisyonlar 2030'a kadar %40, 2050'ye kadar ise %95'ten fazla azalır. 2030 yılına kadar, dünya genelinde mevcut bina stokunun yaklaşık %20'si güçlendirilmiş ve tüm yeni binalar sıfır karbonlu bina standartlarına uygun hale getirilmiştir. Gelişmiş ekonomilerde 2025 yılına kadar ve dünya genelinde 2030'ların ortasına kadar satılan cihazların %80'inden fazlası mevcut en verimli modellerdir. Hidrojenle uyumlu olanlar hariç, 2025'ten itibaren yeni fosil yakıtlı kazan satılmayacak ve ısı pompası satışları artacaktır. 2050 yılına gelindiğinde elektrik, binalardaki enerji kullanımının %66'sını sağlamaktadır (2020'de %33). Isıtma için doğal gaz kullanımı 2050'ye kadar olan dönemde %98 oranında azalır.

3.1 Giriş

2050'ye kadar Net Sıfır Emisyon Senaryosu (NZE), hızı ve kapsamı bakımından benzeri olmayan bir küresel enerji sistemi dönüşümünü içermektedir. Bu bölüm, ana sektörlerin nasıl dönüştüğünün yanı sıra bunun içerdiği belirli zorlukları ve fırsatları ele almaktadır (Şekil 3.1). Fosil ve düşük emisyonlu yakıtların tedarikini, elektrik üretimini ve üç ana son kullanım sektörünü (sanayi, ulaşım ve binalar) kapsamaktadır. Her bir sektör için, NZE'nin başarılı bir şekilde uygulanmasının bağlı olduğu bazı kilit teknoloji ve altyapı kilometre taşlarını belirledik. Ayrıca, bu kilometre taşlarına ulaşmak için hangi kilit politika kararlarının ne zaman alınması gerektiğini tartışıyoruz. 2050'ye kadar net sıfır emisyonu ulaşmak için tek bir yol olmadığını ve temiz enerji geçişleriyle ilgili birçok belirsizlik olduğunu kabul ederek, bu bölümde dönüşüm ve son kullanım sektörlerinde belirli yakıtlara, teknolojilere veya emisyon azaltma seçeneklerine güvenmemeyi seçmenin sonuçlarını da araştırıyoruz.

Şekil 3.1► NZE'de sektörlere göre CO₂ emisyonları



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Emisyonlar en hızlı enerji sektöründe düşerken, ulaşım, binalar ve sanayide 2050 yılına kadar istikrarlı düşüşler görülecektir. Azalmalar, düşük emisyonlu yakıtların artan kullanılabilirliği ile desteklenmektedir

Not: Diğer = tarım, yakıt üretimi, dönüşüm ve ilgili proses emisyonları ve doğrudan hava yakalama.

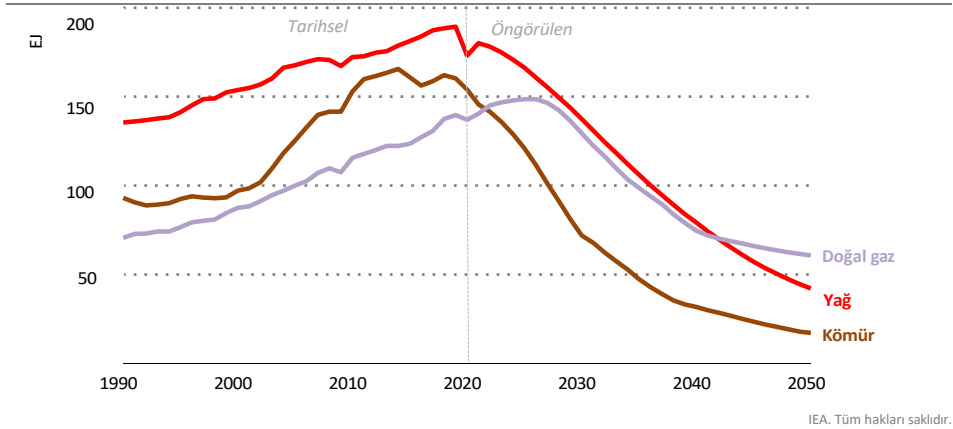
3.2 Fosil yakıt tedariki

3.2.1 Net Sıfır Emisyon Senaryosundaki enerji eğilimleri

Kömür kullanımı 2020'de 5 250 milyon ton kömür eşdeğerinden (Mtce) 2030'da 2 500 Mtce'ye ve 2050'de 600 Mtce'nin altına düşmektedir. Karbon yakalama, kullanma ve depolamanın (CCUS) giderek yaygınlaşmasıyla bile, 2050'de kömür kullanımı 2020'dekinden %90 daha düşük olacaktır

(Şekil 3.2). Petrol talebi hiçbir zaman 2019'daki zirvesine geri dönmez ve 2020'de günlük 88 milyon varilden (mb/d) 2030'da 72 'ye ve 2050'de 24 'ye düşer; bu da 2020 ile 2050 arasında neredeyse %75'lik bir düşüş anlamına gelmektedir. Doğal gaz, 2020'deki talep düşüşünden sonra hızla toparlanarak 2020'lerin ortalarına kadar yükselir ve 2030'da 3 700 bcm'ye ve 2050'de 1 750 bcm'ye düşmeden önce yaklaşık 4 300 milyar metreküplük (bcm) bir zirveye ulaşır. 2050 yılına kadar doğal gaz kullanımı 2020'ye göre %55 daha düşük.

Şekil 3.2▶ NZE'de kömür, petrol ve doğal gaz üretimi



2020 ve 2050 yılları arasında kömüre olan talep %90, petrole %75 ve doğal gaza %55 oranında düşüyor

Yağ

Yeni Zelanda'daki petrol talebinin gidişatı, yeni kaynaklar için arama yapılmasına gerek olmadığı ve halihazırda geliştirilmesi onaylanmış sahalar dışında yeni petrol sahalarına gerek olmadığı anlamına gelmektedir. Ancak, mevcut petrol üretim kaynaklarına yatırım yapılmaya devam edilmesi gerekmektedir. NZE'deki ortalama petrol talebi 2020 ve 2050 yılları arasında yılda %4'ten fazla düşmektedir. Petrol üretim sahalarına yapılan tüm sermaye yatırımları derhal durdurulursa, bu durum her yıl arzda %8'in üzerinde bir kayba yol açacaktır. Üretim sahalarına yatırım yapılmaya devam edilse ancak yeni sahalar geliştirilirse, yıllık ortalama arz kaybı %4,5 civarında olacaktır (Şekil 3.3). Aradaki fark, halihazırda geliştirilmesi onaylanmış sahalar tarafından karşılanmaktadır.

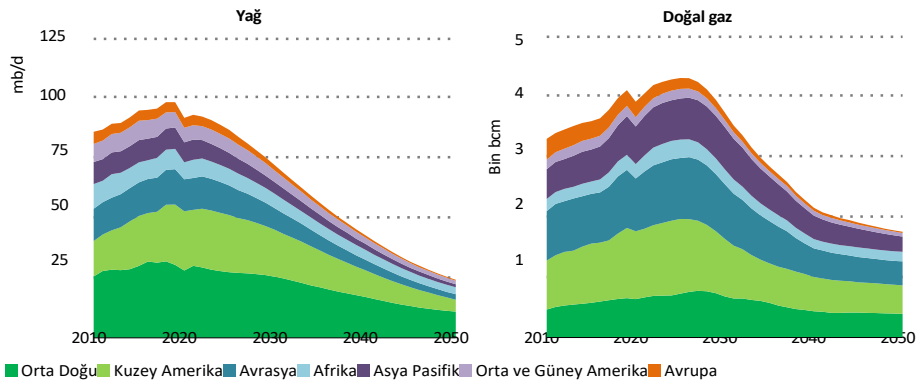
Bu dinamikler, 2030 yılında yaklaşık 35 ABD Doları/varil ve 2050 yılında 25 ABD Doları/varil seviyesine düşen NZE'deki petrol fiyatına da yansımaktadır. Bu fiyat yörüngesi büyük ölçüde halihazırda faaliyette olan sahaların işletme maliyetleri tarafından belirlenmektedir ve mevcut üretimin sadece çok küçük bir kısmının durdurulması gerekecektir. Bununla birlikte, tüm ülkelerde petrol üretiminden elde edilen gelir NZE'de son yıllara kıyasla çok daha düşüktür¹ ve NZE önemli miktarda karaya oturmuş

¹ Hükümetler ayrıca yerli üretimi sürdürmek için üretim maliyetlerinin petrol fiyatının altında olmasını sağlamak amacıyla ham petrol vergilerini azaltabilir veya kaldırabilir.

² NZE'deki petrol fiyatı prensipte Orta Doğu'dakiler de dahil olmak üzere en düşük maliyetli üreticiler için yeni sahalar geliştirme maliyetini karşılamaya yeterli olacaktır, ancak büyük kaynak sahiplerinin yeni sahalaraya yatırım yapmaya devam etmedikleri varsayılmaktadır, çünkü bunu yapmak fiyatlar üzerinde önemli ölçüde ek aşağı yönlü baskı yaratacaktır.

Rafinaj sektörü de Yeni Zelanda'da büyük zorluklarla karşı karşıyadır. Rafineri verimi önemli ölçüde düşmekte ve ürün talebinde önemli değişiklikler olmaktadır. Araç filosunun hızla elektrifikasyonu ile benzin ve dizel geleneksel rafine ürünlere olan talepte büyük bir düşüş yaşanırken, petrokimyasallar gibi yanmayan ürünlere olan talep artmaktadır. Son yıllarda petrol talebinin yaklaşık %55'i benzin ve dizele yönelikken, bu oran 2050 yılında %15'in altına düşmekte, etan, nafta ve sıvılaştırılmış petrol gazının (LPG) payı ise son yıllarda %20 iken 2050 yılında neredeyse %60'a yükselmektedir. Bu değişim, rafineriler için petrol talebindeki düşüşü vurgulamakta ve rafineri çalışmaları 2020 ile 2050 yılları arasında %85 oranında düşmektedir. Rafineriler değişen talep modelleriyle başa çıkmaya alışkındır, ancak NZE'deki değişikliklerin ölçeği kaçınılmaz olarak rafineri kapanmalarına yol açacaktır, özellikle de öncelikle petrokimya operasyonlarına veya biyoyakıt üretimine odaklanamayan rafineriler için.

Şekil 3.3► NZE'de petrol ve doğal gaz üretimi



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Hali hazırda geliştirilmesi onaylanmış olanların dışında yeni petrol ve doğal gaz sahalarına ihtiyaç yoktur. Arz giderek birkaç büyük üretici ülkede yoğunlaşmaktadır

Doğal gaz

Yeni Zelanda'da halihazırda geliştirilmekte olanların dışında yeni doğal gaz sahalarına ihtiyaç yoktur. Ayrıca şu anda yapım aşamasında veya planlama aşamasında olan sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) sıvılaştırma tesislerinin çoğuna da ihtiyaç duyulmamaktadır. 2020 ve 2050 yılları arasında, doğal gaz ticareti

² Kaybolan sermaye, iklim politikalarından kaynaklanan azalan talep veya düşen fiyatlar nedeniyle varlığın işletme ömrü boyunca geri kazanılamayan fosil yakıt altyapısına yapılan sermaye yatırımdır. Kaybolan değer, iklim politikalarından kaynaklanan azalan talep veya azalan fiyatlar nedeniyle belirli bir zamanda değerlendirilen bir varlık veya varlık sahibi tarafından üretilen gelecekteki gelirdeki azalmadır (IEA, 2020a).

LNG %60, boru hattı ile ticaret ise %65 oranında düşmektedir. 2030'larda küresel doğal gaz talebi yılda ortalama %5'ten fazla düşmektedir, bu da bazı sahaların zamanından önce veya geçici olarak kapatılabileceği anlamına gelmektedir. Doğal gaz talebindeki düşüşler 2040'tan sonra yavaşlar ve 2050'de küresel olarak doğal gaz kullanımının yarısından fazlası CCUS'lu tesislerde hidrojen üretmek için kullanılır. Elektroliz yoluyla da üretilen hidrojen ve NZE'deki biyometanın yüksek seviyesi, toplam gaz yakıtlardaki düşüşün doğal gazdaki düşüşten daha sessiz olduğu anlamına gelmektedir. Bunun gaz endüstrisinin geleceği açısından önemli sonuçları vardır (bkz. Bölüm 4).

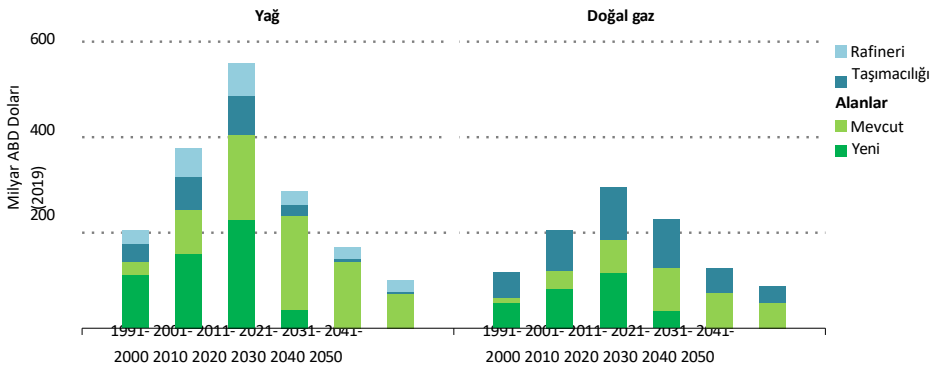
Kömür

Kömür talebi hızla düştüğü için Yeni Zelanda'da yeni kömür madenlerine veya mevcut madenlerin genişletilmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Koklaşabilir kömüre olan talep buhar kömürüne göre biraz daha yavaş düşmektedir, ancak mevcut üretim kaynakları 2050 yılına kadar olan talebi karşılamak için yeterlidir. Kömür talebindeki böyle bir düşüşün kömür madenciliği bölgelerindeki istihdam üzerinde önemli sonuçları olacaktır (bkz. Bölüm 4). Kömür üretim tesislerinin giderek daha fazla CCUS ile donatılması nedeniyle 2040'larda düşüş hızında bir yavaşlama görülmektedir: Yeni Zelanda'da 2050 yılında üretilen kömürün yaklaşık %80'i CCUS kullanmaktadır.

3.2.2 Petrol ve gaz yatırımları

Yeni Zelanda'da 2021'den 2030'a kadar her yıl ortalama 350 milyar ABD doları petrol ve doğal gaz yatırımı yapılacaktır (Şekil 3.4). Bu, 2020'deki seviyeye benzer, ancak önceki beş yıldaki ortalama seviyelerden yaklaşık %30 daha düşüktür. Geliştirme aşamasındaki sahalar üretime başladıktan sonra, NZE'deki upstream yatırımlarının tamamı mevcut sahalarındaki operasyonları desteklemek içindir; 2030'dan sonra, toplam yıllık upstream yatırımı her yıl yaklaşık 170 milyar ABD dolarıdır.

Şekil 3.4> Yeni Zelanda'da petrol ve doğal gaz arzına yapılan yatırım



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Geliştirme aşamasındaki sahalar üretime başladıktan sonra, tüm upstream petrol ve gaz yatırımları mevcut sahalarındaki üretimi sürdürmek için harcanır

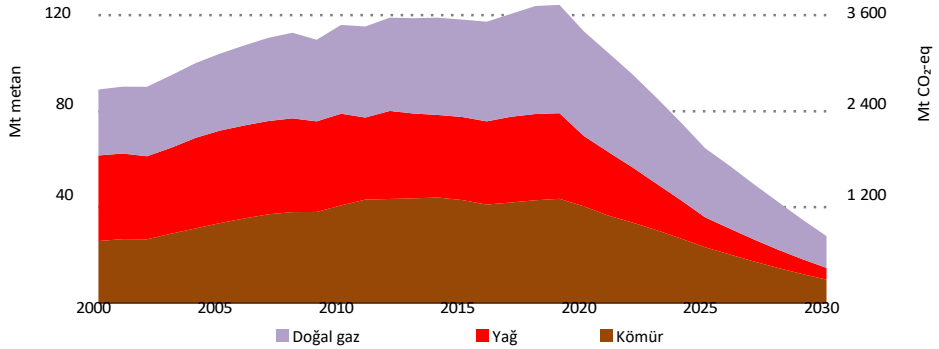
Not: 2021-2030 döneminde yeni sahalarla yapılan yatırımlar, halihazırda yapım aşamasında veya onaylanmış projeler içindir.

3.2.3 Fosil yakıt üretiminden kaynaklanan emisyonlar

Kömür, petrol ve doğal gaz tedarik zincirlerinden kaynaklanan emisyonlar NZE'de önemli ölçüde düşmektedir. Günümüzde petrol üretiminin küresel ortalama sera gazı (GHG) emisyon yoğunluğu varil başına 100 kilogram karbondioksit eşdeğerinin (kg CO₂-eq) biraz altındadır. Değişiklik yapılmadığı takdirde, CO₂ fiyatları fosil yakıtların tüm değer zincirlerine uygulandığından, küresel üretimin büyük bir kısmı ekonomik olmaktan çıkacaktır. Örneğin, 2030 yılı itibarıyla NZE'deki gelişmiş ekonomilerde CO₂ fiyatı ton CO₂(tCO₂) başına 100 ABD dolarıdır ve bu da bugünkü ortalama emisyon yoğunluğu seviyesinde her bir varil üretim maliyetine 10 ABD doları ekleyecektir.

Metan, kömür ve doğal gaz tedarik zincirlerinden kaynaklanan emisyonların yaklaşık %60'ını ve petrol tedarik zincirinden kaynaklanan emisyonların yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır. Yeni Zelanda'da, fosil yakıtlardan kaynaklanan toplam metan emisyonları 2020 ve 2030 yılları arasında yaklaşık %75 oranında düşerek sera gazı emisyonlarında 2,5 gigaton karbondioksit eşdeğeri (Gt CO₂-eq) azalmaya denk gelmektedir (Şekil 3.5). Bu düşüşün yaklaşık üçte biri fosil yakıt tüketimindeki genel azalmanın bir sonucudur, ancak daha büyük pay, 2030 yılına kadar teknik olarak önlenebilir tüm metan emisyonlarının ortadan kaldırılmasına yol açan emisyon azaltma önlemlerinin ve teknolojilerinin uygulanmasındaki büyük artıştan kaynaklanmaktadır (IEA, 2020a).

Şekil 3.5► Yeni Zelanda'da kömür, petrol ve doğal gazdan kaynaklanan metan emisyonları



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Fosil yakıtlardan kaynaklanan metan emisyonları, mevcut tüm azaltım önlemlerini ve teknolojilerini uygulamaya yönelik ortak bir küresel çabanın sonucu olarak 2020 ve 2030 yılları arasında %75 oranında azalır

Not: Mt= milyon ton.

NZE'deki mevcut petrol ve gaz operasyonlarının emisyon yoğunluğunu azaltmaya eylemler şunlara yol açmaktadır: tüm yakma işlemlerinin sona ; merkezi emisyon kaynakları ile CCUS kullanımı (genellikle doğal gazla çıkarılan doğal CO₂ kaynaklarını yakalamak dahil); ve yukarı akış operasyonlarının önemli ölçüde elektrifikasyonu (genellikle şebeke dışı yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak).

NZE kaçınılmaz olarak fosil yakıt endüstrileri ve bu endüstrilerde çalışanlar için önemli zorluklar getirmektedir, ancak aynı zamanda fırsatlar da sunmaktadır. Kömür madenciliği NZE'de önemli ölçüde azalmaktadır, ancak temiz enerji geçişleri için gereken minerallerin çıkarılması çok hızlı bir şekilde artmaktadır ve madencilik uzmanlığının bu bağlamda oldukça değerli olması muhtemeldir. Petrol ve gaz endüstrisi, CCUS, düşük karbonlu hidrojen, biyoyakıtlar ve açık deniz rüzgarı gibi bir dizi temiz enerji teknolojisinin ölçekli olarak geliştirilmesine yardımcı olmada kilit bir rol oynayabilir. Bu teknolojilerin ölçeğinin büyütülmesi ve maliyetlerinin düşürülmesi büyük ölçekli mühendislik ve proje yönetimi kabiliyetlerine, yani büyük petrol ve gaz şirketlerinin sahip olduğu niteliklere dayanacaktır. NZE'nin ima ettiği büyük değişikliklerden etkilenenlere nasıl yardım edileceği sorusu da dahil olmak üzere bu konular 4. Bölümde daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

3.3 Düşük emisyonlu yakıt tedariği

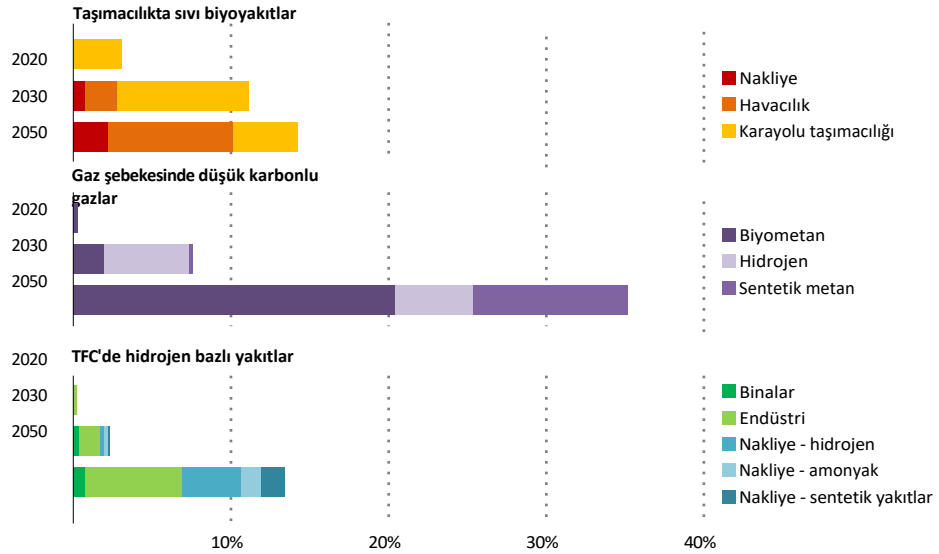
3.3.1 Net Sıfır Emisyon Senaryosundaki enerji eğilimleri

Net sıfır emisyonla ulaşmak, enerji ihtiyaçlarının elektrikle kolayca veya ekonomik olarak karşılanamadığı yerlerde düşük emisyonlu yakıtlar³ gerektirecektir (Şekil 3.6). Bu durum, bazı uzun mesafe taşımacılığı (kamyonlar, havacılık ve denizcilik) ve ağır sanayide ısı ve hammadde tedariği için geçerli olacaktır. Bazı düşük emisyonlu yakıtlar etkin bir şekilde kullanıma hazırdır, yani mevcut fosil yakıt dağıtım altyapısı ve son kullanım teknolojileri ile uyumludur ve ekipman veya araçlarda çok az değişiklik yapılmasını gerektirir.

Düşük emisyonlu yakıtlar günümüzde küresel nihai enerji talebinin sadece %1'ini oluştururken, bu oran 2050 yılında NZE'de %20'ye çıkmaktadır. Sıvı biyoyakıtlar, 2020'de %4 olan küresel ulaşım enerjisi talebinin 2050'de %14'ünü karşılamaktadır; hidrojen bazlı yakıtlar ise 2050'ye kadar ulaşım enerjisi ihtiyacının %28'ini daha karşılamaktadır. Düşük karbonlu gazlar (biyometan, sentetik metan ve hidrojen), bugün neredeyse sıfır olan şebekeler aracılığıyla tedarik edilen küresel gaz talebinin 2050'de %35'ini karşılamaktadır. Düşük karbonlu hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtların dünya çapında toplam nihai enerji kullanımındaki toplam payı 2050 yılında %13'e ulaşmaktadır. Hidrojen ve amonyak aynı zamanda güç sistemi esnekliği için önemli düşük emisyon kaynakları sağlar ve 2050 yılında toplam elektrik üretiminin %2'sine katkıda bulunur; bu da elektrik sektörünü hidrojen talebinin önemli bir itici gücü haline getirmeye yeterlidir.

³ Düşük emisyonlu yakıtlar sıvı biyoyakıtlar, biyogaz ve biyometan ile hidrojen bazlı yakıtları (hidrojen, amonyak ve sentetik hidrokarbon yakıtlar) ifade eder ve bunlar kullanıldıklarında doğrudan fosil yakıtlardan CO₂ salınımı yapmazlar ve üretildiklerinde de çok az salınım yaparlar. Örneğin, CCUS ve yüksek yakalama oranları (%90 veya daha yüksek) ile doğal gazdan üretilen hidrojen düşük emisyonlu bir yakıt olarak kabul edilir, ancak CCUS olmadan üretilirse kabul edilmez.

Şekil 3.6▶ Yeni Zelanda'da sektörlere göre düşük emisyonlu yakıtların küresel arzı



Sıvı biyoyakıtlar, biyometan, hidrojen bazlı yakıtlar gibi düşük emisyonlu yakıtlar, doğrudan elektrifikasyonun zor olduğu sektörlerin karbonsuzlaştırılmasına yardımcı olur

Notlar: TFC = toplam nihai tüketim. Gaz şebekesindeki düşük karbonlu gazlar, biyometan, hidrojen ve sentetik metanın binalarda, sanayide, ulaşımda ve elektrik üretiminde kullanılmak üzere bir gaz şebekesinde doğal gazla harmanlanmasını ifade eder. Sentetik yakıtlar, hidrojen ve CO₂'den üretilen sentetik hidrokarbon yakıtları ifade eder. Hidrojenin nihai enerji tüketimi, hidrojen, amonyak ve sentetik hidrokarbon yakıtların nihai enerji tüketimine ek olarak, sanayi sektöründe yerinde hidrojen üretimini de içerir.

3.3.2 Biyoyakıtlar⁴

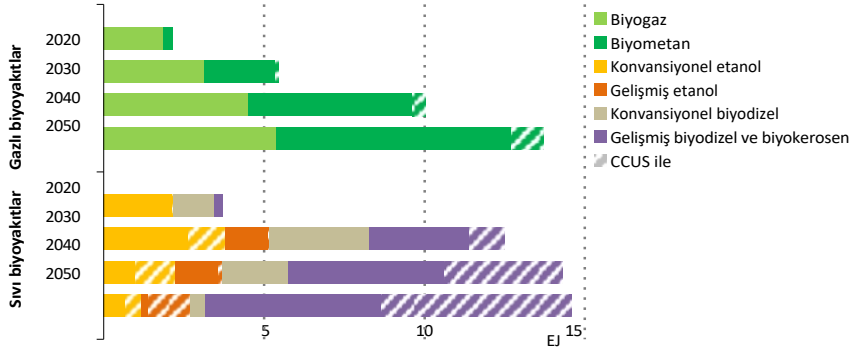
Modern biyoenerjinin (yemek pişirmek için geleneksel kullanımlar hariç biyokütle) küresel birincil arzının yaklaşık %10'u karayolu taşımacılığı için sıvı biyoyakıt olarak ve %6'sı 2020 yılında enerji ve ısı sağlamak için biyogaz (biyogaz ve biyometan) olarak tüketilmiş, geri kalanı ise doğrudan elektrik üretimi ve konut sektöründe ısıtma için kullanılmıştır. Arz, 2050 yılına kadar sıvı biyoyakıtların neredeyse dört kat, biyogazların ise altı kat artmasıyla Yeni Zelanda'da keskin bir şekilde hızlanmaktadır.

Ulaşım için kullanılan sıvı biyoyakıtların yaklaşık %7'si hariç tamamı şu anda şeker kamışı, mısır ve soya fasulyesi gibi geleneksel ürünlerden üretilmektedir. Bu tür ürünler, gıda üretimi için kullanılabilecek ekilebilir arazilerle doğrudan rekabet etmekte, bu da üretimin artırılması için kapsamı sınırlamaktadır. Bu nedenle, Yeni Zelanda'da biyoyakıtlardaki büyümenin çoğu, marjinal arazilerde ve gıda için uygun olmayan ekili arazilerde yetiştirilen atıklar ve artıklar ve odunsu enerji bitkileri gibi gelişmiş hammaddelerden gelmektedir.

⁴ Biyoenerjiden üretilen sıvılar ve gazlar.

üretimi (bkz. Bölüm 2.7.2). Odunsu hammadde kullanan gelişmiş sıvı biyoyakıt üretim teknolojisi, Yeni Zelanda'da önümüzdeki on yıl içinde hızla genişlemekte ve sıvı biyoyakıtlara katkısı 2020'de %1'den az iken 2030'da neredeyse %45'e ve 2050'de %90'a çıkmaktadır (Şekil 3.7). Fischer-Tropsch prosesi (bio-FT) ve selülozik etanol kullanılarak biyokütlenin gazlaştırılmasıyla desteklenen üretim, 2030 yılına gelindiğinde, çoğunlukla dizel ve jet gazyağı yerine kullanılmak üzere günde 2,7 milyon varil petrol eşdeğerine (mboe/d) ulaşmaktadır. Gelişmiş sıvı biyoyakıt üretimi 2050 yılında %130 daha artarak 6 mboe/gün'ün üzerine çıkacaktır ve bunun büyük bir kısmını biyokerosen oluşturacaktır.

Şekil 3.7 ▶ Yeni Zelanda'da tür ve teknolojiye göre küresel biyoyakıt üretimi



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Sürdürülebilir biyokütle tedarik zincirlerinin geliştirilmesiyle 2020-2050 yılları arasında sıvı biyoyakıt üretimi dört kat, biyogaz üretimi ise altı kat artar

Notlar: EJ = exajoules; CCUS= karbon yakalama, kullanma ve depolama. Geleneksel etanol, gıda enerji bitkileri kullanılarak yapılan üretimi ifade eder. Gelişmiş etanol, marjinal ve tarıma elverişli olmayan arazilerde yetiştirilen atıklar ve kalıntılar ile gıda dışı enerji bitkileri kullanılarak yapılan üretimi ifade eder. Geleneksel biyodizel, gıda enerji bitkileri kullanılarak yağ asidi ve metil esterleri (FAME) rotasını içerir. Gelişmiş biyodizel, marjinal ve tarıma elverişli olmayan arazilerde yetiştirilen atıklar, kalıntılar ve gıda dışı enerji bitkilerini kullanan biyokütle bazlı Fischer- Tropsch ve HEFA rotalarını içerir. Biyometan, biyogaz yükseltme ve biyokütle gazlaştırma temelli rotaları içerir.

Bu hammaddeler kullanılarak yapılan üretim günümüzde çoğunlukla geliştirme aşamasındadır. Başta selülozik etanol olmak üzere mevcut üretim kapasitesi günde yaklaşık 2,5 bin varil petrol eşdeğeridir (kboe/d). NZE, şu anda Japonya, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'nde boru hattında bulunan projelerin önümüzdeki birkaç yıl içinde bu teknolojileri pazara sunacağını varsamaktadır. Önümüzdeki on yıl içinde tüm gelişmiş sıvı biyoyakıtlar (atık yağlar dahil) için gereken ölçek büyütme, her on haftada bir 55 'lük bir biyorafineri inşa etmeye eşdeğerdir (dünyanın en büyük biyorafinerisi 28 kboe/gün kapasiteye sahiptir).

Bu biyoyakıtların arzı 2030'dan sonra NZE'de hızla, elektrifikasyonun giderek daha fazla önem kazandığı binek araçlar ve hafif kamyonlardan ağır karayolu taşımacılığı, deniz taşımacılığı ve havacılığa doğru kaymaktadır. Amonyak deniz taşımacılığına giriyor. Gelişmiş sıvı biyoyakıtlar, küresel havacılık yakıtı pazarındaki paylarını 2030'da %15'ten 2050'de %45'e çıkarmaktadır.

Hidrojene esterler ve yağ asitleri (HEFA) ve biyo-FT gibi gelişmiş biyoyakıtlar, ürün yelpazelerini (bir noktaya kadar) yenilenebilir dizelden biyokerosene ayarlayabilmektedir ve mevcut etanol tesisleri, özellikle de CCUS ile güçlendirilebilen veya selülozik hammadde ile entegre edilebilenler de katkı sağlamaktadır.

Biyogaz arzı sıvı biyoyakıtlardan bile daha fazla artmaktadır. Gaz şebekelerine enjeksiyon, 2020'de toplam gaz hacminin %1'inden 2050'de neredeyse %20'sine çıkarak şebeke bazlı gazın emisyon yoğunluğunu azaltmaktadır. Biyometan çoğunlukla gübre gibi tarımsal kalıntılar ve biyogenik kentsel katı atık gibi hammaddelerin anaerobik çürütülmesinden elde edilen biyogazın iyileştirilmesiyle üretilir ve böylece aksi takdirde salınacak metan emisyonlarından kaçınılır. Bu hammaddelerin dağıtım yapısı nedeniyle, her yıl binlerce enjeksiyon sahasının ve ilgili dağıtım hatlarının inşa edilmesi gerekmektedir. Biyogaz ve biyometan aynı zamanda temiz pişirme yakıtı olarak ve Yeni Zelanda'da elektrik üretiminde de kullanılmaktadır.

Biyoyakıt üretimi, bazı biyoyakıt üretim yollarında (etanol, biyo-FT, biyogaz yükseltme) nispeten düşük bir maliyetle CCUS ile birleştirilebilir, çünkü ilgili süreçler çok saf CO₂ akışları açığa çıkarır. NZE'de, CCUS ile biyoyakıt kullanımı, 2050 yılında yıllık 0,6 Gt CO₂ karbondioksit giderimi (CDR) ile sonuçlanmakta ve bu da ulaşım ve sanayiye kalan emisyonları dengelemektedir.

3.3.3 Hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar

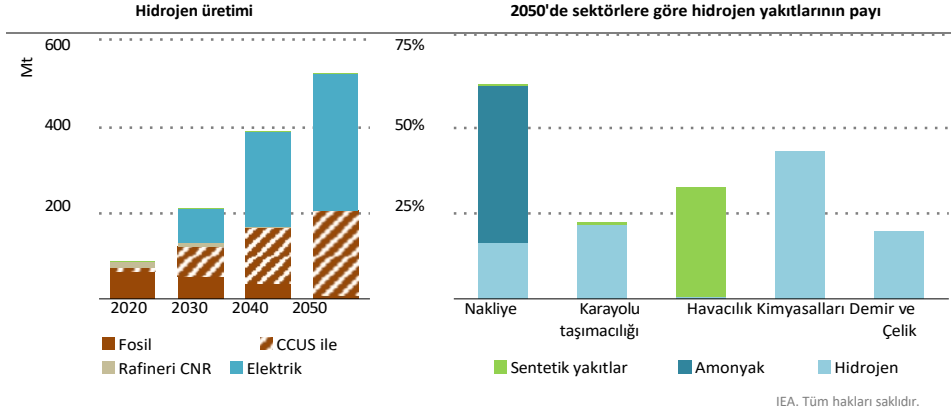
Günümüzde enerji sektöründe hidrojen kullanımı büyük ölçüde petrol rafinasyonu ve kimya endüstrisinde amonyak ve metanol üretimi ile sınırlıdır. Küresel hidrojen talebi 2020 yılında yaklaşık 90 milyon ton (Mt) olup, çoğunlukla fosil yakıtlardan (çoğunlukla doğal gaz) üretilmekte ve 900 Mt CO₂'ye yakın emisyonu neden olmaktadır. NZE'de hem ihtiyaç duyulan miktar hem de hidrojenin üretim yolu kökten değişmektedir. Talep 2050 yılında neredeyse altı kat artarak 530 Mt'a ulaşacak ve bunun yarısı ağır sanayide (özellikle çelik ve kimyasal üretimi) ve ulaşım sektöründe kullanılacak; %30'u diğer hidrojen bazlı yakıtlara dönüştürülecek, özellikle gemcilik ve elektrik üretimi için amonyak, havacılık için sentetik kerosen ve gaz şebekelerine karıştırılan sentetik metan; %17'si ise güneş enerjisi ve rüzgârdan artan elektrik üretimini dengelemek ve mevsimsel depolama sağlamak için gazla çalışan enerji santrallerinde kullanılacaktır. Genel olarak, hidrojen bazlı yakıtlar⁵ 2050 yılında küresel nihai enerji talebinin %13'ünü oluşturmaktadır (Şekil 3.8).

Amonyak günümüzde kimya endüstrisinde hammadde olarak kullanılmaktadır, ancak NZE'de hidrojene göre daha düşük taşıma maliyeti ve daha yüksek enerji yoğunluğundan yararlanarak çeşitli enerji uygulamalarında yakıt olarak da kullanılmaktadır. Amonyak, NZE'de 2050 yılında nakliye için küresel enerji talebinin yaklaşık %45'ini oluşturmaktadır. Amonyakla birlikte yakma, mevcut kömür yakıtlı enerji santrallerinde CO₂ emisyonlarını azaltmak için de potansiyel bir erken seçenektir. Amonyakın zehirli olması, kullanımının muhtemelen profesyonel eğitilmiş operatörlerle sınırlı olacağı anlamına gelir ve bu da potansiyelini kısıtlayabilir.

⁵ Hidrojen bazlı yakıtlar hidrojen, amonyak ve hidrojen ve CO₂ üretilen sentetik hidrokarbon yakıtlar olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 3.8►

Yakıta göre küresel hidrojen üretimi ve NZE'de sektöre göre hidrojen talebi



Gemicilik, karayolu taşımacılığı ve ağır sanayide artan talebi karşılamak için su elektrolizi ve CCUS'lu doğal gaz ile hidrojen üretimi 2050 yılına kadar altı kat artacak

Not: Rafineri CNR= rafinerilerde katalitik nafta reformasyonundan elde edilen hidrojen yan ürünü.

Sentetik kerosen, 2050 yılında NZE'de küresel havacılık yakıtı talebinin yaklaşık üçte birini karşılamaktadır. Biyoenerji ile çalışan enerji veya biyoyakıt üretim tesislerinde üretilmesi, atmosferden CO₂ yakalanmasını gerektirir. Bu kaynaklardan elde edilen CO₂, yakıt kullanıldığında net emisyonu yol açmadığı için karbon nötr olarak kabul edilebilir. Hidrojen ve CO₂'den gelişmiş sıvı biyoyakıtların ve sentetik sıvı yakıtların birlikte üretilmesi ve iki sürecin entegrasyonunun toplam sıvı yakıt üretim maliyetlerini düşürmesi için bir kapsam bulunmaktadır. Sentetik sıvı yakıtların yanı sıra, 2050 yılında hidrojen ve CO₂'den binalar, sanayi ve ulaşım sektörlerinde şebekeden sağlanan gaz talebinin %10'unu karşılamaya yetecek kadar sentetik metan üretilir.

2050 yılına gelindiğinde, NZE'deki hidrojen üretimi neredeyse tamamen düşük karbonlu teknolojilere dayanmaktadır: su elektrolizi küresel üretimin %60'ından fazlasını, CCUS ile birlikte doğal gaz ise neredeyse %40'ını oluşturmaktadır. Küresel elektrolizör kapasitesi bugün yaklaşık 0,3 GW iken 2030'da 850 gigawatt'a (GW) ve 2050'de 3 600 GW'a ulaşacaktır. Elektroliz, büyük ölçüde yenilenebilir kaynaklardan (%95), aynı zamanda nükleer enerjiden (%3) ve CCUS'lu fosil yakıtlardan (%2) olmak üzere, 2050 yılında 15.000 terawatt-saate (TWh) yakın veya küresel elektrik arzının %20'sini absorbe eder. CCUS ile hidrojen üretimi için doğal gaz kullanımı 2050 yılında 925 bcm veya küresel doğal gaz talebinin yaklaşık %50'sidir ve 1,8 Gt CO₂ tutulur.

Teknolojilerin ve ilgili üretim kapasitesinin yaygınlaştırılması, maliyetlerin düşürülmesi açısından kritik önem taşıyacaktır. Su elektrolizörleri bugün piyasada mevcuttur ve CCUS ile doğal gazdan hidrojen üretimi ticari ölçekte gösterilmiştir (dünya çapında faaliyette olan yedi tesis vardır). Bu ikisi arasındaki seçim şunlara bağlıdır

Başta doğal gaz ve elektrik maliyeti olmak üzere ekonomik faktörlere ve CO₂ depolamanın mevcut olup olmamasına bağlıdır. CCUS ile doğal gaz için, NZE'deki üretim maliyetleri 2050 yılında hidrojenin kilogramı (kg) başına 1-2 ABD doları civarındadır ve gaz maliyetleri tipik olarak toplam üretim maliyetlerinin %15-55'ini oluşturmaktadır. Su elektrolizi için, öğrenme etkileri ve ölçek ekonomileri, 2020'ye kıyasla 2030'a kadar NZE'de CAPEX maliyetinde %60'lık bir düşüşle sonuçlanmaktadır. Elektrik, elektrik kaynağına ve bölgeye bağlı olarak toplam üretim maliyetlerinin %50-85'ini oluşturduğundan, üretim maliyetindeki düşüşler düşük karbonlu elektrik maliyetinin düşürülmesine bağlıdır. Yenilenebilir kaynaklardan hidrojen üretmenin ortalama maliyeti NZE'de bugün 3,5-7,5 ABD Doları/kg'dan 2030'da yaklaşık 1,5-3,5 ABD Doları/kg'a ve 2050'de 1-2,5 ABD Doları/kg'a düşmektedir - esasen CCUS ile doğal gazla üretim maliyetiyle hemen hemen aynıdır.

Hidrojeni amonyak veya sentetik hidrokarbon yakıtlar gibi diğer enerji taşıyıcılarına dönüştürmek daha da yüksek maliyetler içerir. Ancak daha kolay taşınabilen ve depolanabilen ve genellikle mevcut altyapı veya son kullanım teknolojileriyle uyumlu olan yakıtlarla sonuçlanır (nakliye için amonyak veya havacılık için sentetik kerosen durumunda olduğu gibi). Amonyak için, ek sentez adımı üretim maliyetlerini hidrojene kıyasla yaklaşık %15 artırmaktadır (esas olarak ek dönüşüm kayıpları ve ekipman nedeniyle).

Sentetik hidrokarbon yakıtların nispeten yüksek maliyeti, alternatif düşük karbonlu seçeneklerin sınırlı olduğu NZE'de kullanımlarının neden büyük ölçüde havacılıkla sınırlı olduğunu açıklamaktadır. Sentetik gazyağı maliyetleri 2020 yılında 300-700 ABD Doları/varil idi: yenilenebilir enerji kaynaklarından ve CO₂ hammaddelerinden elde edilen elektrik maliyetleri düştükçe bu maliyetler 2050 yılına kadar 130-300 ABD Doları/varile düşse de, sentetik gazyağı maliyeti, 2050 yılında NZE'de öngörülen 25 ABD Doları/varil geleneksel gazyağı maliyetinden çok daha yüksek olmaya devam etmektedir. Bu yakıtları üretmek için gereken, CCUS veya doğrudan hava yakalama (DAC) ile donatılmış biyoenerjiden yakalanan CO₂ arzi, 2050 yılında sentetik hidrokarbon yakıtların maliyetinin 15-70 ABD Doları/varilini oluşturan önemli bir maliyet faktörüdür. Bu maliyet açıklarının kapatılması, fosil gazyağı için cezalar veya sentetik gazyağı için destek önlemleri 250-400 ABD Doları/tonluk bir CO₂ fiyatı için karşılık gelmektedir.

NZE'de düşük karbonlu hidrojene yönelik artan küresel talep, ülkelerin başka türlü yararlanamayacakları yenilenebilir elektrik kaynaklarını ihraç etmeleri için bir araç sağlamaktadır. Örneğin, Şili ve Avustralya ulusal hidrojen stratejilerinde büyük ihracatçılar olma hedeflerini açıklamışlardır. NZE'de doğal gazla olan talebin azalmasıyla birlikte, gaz üreticisi ülkeler CCUS ile doğal üretilen hidrojeni ihraç ederek bu pazara katılabilirler. Ancak hidrojenin uzun mesafeli nakliyesi, düşük enerji yoğunluğu nedeniyle zor ve maliyetlidir ve hidrojenin fiyatına yaklaşık 1-3 ABD Doları/kg ekleyebilir. Bu da, her ülkenin kendi koşullarına bağlı olarak, düşük karbonlu elektrikten veya CCUS'lu doğal gazdan yurt içi üretim maliyetleri nispeten yüksek olsa bile, yurt içinde hidrojen üretmenin ithal etmekten daha ucuz olabileceği anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, uluslararası ticaret NZE'de giderek daha önemli hale gelmektedir: 2050 yılında küresel amonyakın yaklaşık yarısı ve sentetik sıvı yakıtların üçte biri ticarete konu olacaktır.

3.3.4 Kilit kilometre taşları ve karar noktaları

Tablo 3.1► Düşük emisyonlu yakıtların dönüştürülmesinde kilit kilometre taşları

Sektör	2020	2030	2050
Biyoenerji			
Modern biyoyakıtların modern biyoenerji içindeki payı (dönüşüm kayıpları hariç)	20	45%	48%
Gelişmiş sıvı biyoyakıtlar (mboe/d)	0.1	2.7	6.2
Biyometanın toplam gaz şebekeleri içindeki payı	<1%	2%	20%
Biyoyakıt üretiminden yakalanan ve depolanan CO ₂ (Mt CO ₂)	1	150	625
Hidrojen			
Üretim (Mt H ₂)	87	212	528
Bunların: düşük karbonlu (Mt H ₂)	9	150	520
Elektrolizör kapasitesi (GW)	<1	850	3 585
Hidrojenle ilgili üretim için elektrik talebi (TWh)	1	3 850	14 500
Hidrojen üretiminden yakalanan CO ₂ (Mt CO ₂)	135	680	1 800
Hidrojen ve amonyak ticareti için limanlardaki ihracat terminalerinin sayısı	0	60	150

Not: mboe/d= günde milyon varil petrol eşdeğeri; Mt= milyon ton; H₂= hidrojen.

Biyo yakıtlar

Net yaşam döngüsü sera gazı emisyonlarını ve diğer sürdürülebilirlik göstergelerini dikkate alan çeşitli sürdürülebilirlik çerçeveleri farklı bölgelerde mevcuttur; örneğin Avrupa Birliği'nde Yenilenebilir Enerji Direktifi II, Brezilya'da RenovaBio ve Kaliforniya'da Düşük C Yakıt Standartları. Ancak bu çerçevelerin kapsamı, metodolojisi ve sürdürülebilirlik ölçütleri farklılık göstermektedir. Önümüzdeki birkaç yıl içinde sürdürülebilirlik çerçevesi ve göstergeleri üzerinde küresel bir uzlaşa sağlanması yatırımların teşvik edilmesine yardımcı olacaktır; bu bir öncelik olmalıdır. Böyle bir çerçeve tüm biyoenerji türlerini (sıvı, gaz ve katı) ve diğer düşük emisyonlu yakıtları kapsamalı ve çevresel performansın sürekli iyileştirilmesi için çaba göstermelidir. İdeal olarak sertifikasyon programları paralel olarak geliştirilmelidir.

Hükümetlerin, enerji bitkileri için uygun atık, kalıntı ve marjinal arazilerin miktar ve türlerini belirlemek için ulusal sürdürülebilir biyokütle hammadde potansiyelini mümkün olan en kısa sürede değerlendirmeleri bir diğer erken önceliktir. Değerlendirmeler, tüm sıvı ve gaz biyoyakıtlar için ulusal yol haritalarının ve düşük emisyonlu yakıtlar için stratejilerin temelini oluşturmalıdır. Bu bağlamda, ormancılık, tarım, hayvan ve gıda endüstrilerinden ve gelişmiş kentsel katı atık ayrıştırma sistemlerinden kaynaklanan atık ve artıkların sürdürülebilir bir şekilde toplanmasının nasıl destekleneceği konusunda erken kararlar alınması gerekecektir: Yeni Zelanda'da destek tedbirleri 2025 yılına kadar yürürlüğe girecektir. Tedbirler, biyoyakıtların hammadde olarak kullanılmasını teşvik eden düşük emisyonlu yakıt standartlarını da içerebilir. Uluslararası bilgi paylaşımı, bu tür önlemlerin tasarlanmasına yardımcı olacak ve mevcut toplama sistemlerine sahip bölgelerden en iyi uygulamaların etkin bir şekilde yayılmasına yardımcı olacaktır; örneğin İskandinav ülkelerindeki ormancılık artıkları ve Avrupa, Çin ve Güneydoğu Asya ülkelerindeki kullanılmış yemeklik yağ toplama.

Hükümetlerin ayrıca 2030 yılına kadar yemek pişirme ve ısınma amaçlı geleneksel biyokütle kullanımından uzaklaşmak için biyogaz kurulumlarını ve dağıtımını en iyi nasıl destekleyeceklerine karar vermeleri gerekecektir. Bu tür uygulamalar bazı gelişmekte olan ülkelerde hala yaygındır. Bu tür uygulamalar en iyi şekilde, elektrik ve LPG'ye erişimin iyileştirilmesinin yanı sıra temiz pişirmeyi teşvik etmeye yönelik daha geniş programların bir parçası olarak ele alınabilir.

Sürdürülebilir biyoyakıtlar için piyasaların en iyi nasıl oluşturulacağı ve biyoyakıtlar ile fosil yakıtlar arasındaki maliyet farkının nasıl kapatılacağı konusunda 2025 yılına kadar kararlar alınması gerekecektir. Düşük karbonlu yakıt standartları, biyoyakıt zorunlulukları ve CO₂ giderme kredileri gibi mekanizmalar kullanılarak, son kullanım sektörlerinde (özellikle ağır hizmet kamyonları, nakliye ve havacılık) gelişmiş sıvı biyoyakıt teknolojilerinin hızlı bir şekilde geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını teşvik edecek tedbirlere ihtiyaç duyulacaktır. Önümüzdeki dört yıl içinde gelişmiş biyoyakıt üretiminin ölçeklendirilmesini artırabilecek tedbirler arasında şunlar yer almaktadır: mevcut petrol rafinerilerinde biyo-yagın birlikte işlenmesi veya petrol rafinerilerinin tamamen biyorafinerilere dönüştürülmesi için teşvikler; etanol tesislerinin CCUS ile güçlendirilmesi ve selülozik etanol üretiminin mevcut etanol tesislerine entegre edilmesi.

Gaz şebekelerine fazla biyometan enjeksiyonu sağlamak ve etanol ve biyo-FT biyoyakıt tesislerinden yakalanan CO₂'yi taşımak ve depolamak için yeni altyapıya ihtiyaç duyulacaktır. Hükümetler, 2030 yılına kadar biyogaz iyileştirme tesislerinin ve biyometan enjeksiyon sahalarının birlikte geliştirilmesine öncelik vermeli ve tedarik zincirinden kaynaklanan kaçak biyometan emisyonlarının en aza indirilmesine özel önem verilmesini sağlamalıdır. Biyokütle mevcudiyetinin izin verdiği durumlarda, hükümetler Birleşik Krallık'taki Humber bölgesi gibi entegre CCUS projelerinin planlandığı mevcut sanayi merkezlerinin yakınında CCUS ile biyoyakıt tesislerinin konuşlandırılmasını teşvik etmekte fayda görebilirler.

Hidrojen bazlı yakıtlar

Hükümetlerin, ulusal hidrojen stratejileri veya yol haritalarının bir parçası olarak düşük karbonlu bir hidrojen endüstrisi geliştirmenin fırsatlarını ve zorluklarını değerlendirmesi acil bir öncelik olmalıdır. Su elektrolizi yoluyla düşük karbonlu elektrikten veya CCUS ile gazdan ya da her ikisinin bir kombinasyonundan yurt içinde hidrojen üretilip üretilmeyeceğine veya ithal hidrojen bazlı yakıtlara güvenilip güvenilmeyeceğine karar verilmesi gerekecektir. Hidrojen tedarik zinciri boyunca teknoloji liderliği oluşturmak, istihdam yaratmaya ve ekonomik büyümeyi teşvik etmeye yardımcı olabilir.

Önümüzdeki on yıl boyunca düşük karbonlu hidrojen üretiminin maliyetlerinin en iyi şekilde nasıl düşürüleceğine dair kararlar alınması gerekecektir. Sanayide ve petrol rafinasyonunda mevcut hidrojen üretiminin azaltılmamış fosil yakıtlardan düşük karbonlu hidrojene dönüştürülmesi, halihazırda büyük talebin mevcut olduğu uygulamalarda düşük karbonlu hidrojen üretimini artırmanın olası bir yoludur. Fark sözleşmeleri gibi finansal destek araçları, fosil yakıtlardan mevcut azaltılmamış üretime kıyasla düşük karbonlu hidrojen üretiminin mevcut maliyet farkını azaltmaya yardımcı olabilir.

Hidrojenin en iyi nasıl ölçeklendirileceği konusunda da kararlar alınması gerekecektir. Endüstriyel limanlar iyi bir başlangıç noktası olabilir, çünkü açık deniz rüzgarı veya CO₂ depolama şeklinde düşük karbonlu hidrojen tedarikine erişim sağlayabilirler. Ayrıca limanla ilgili yeni yatırımları teşvik etmek için de bir kapsam sunmaktadırlar.

Nakliye ve dağıtım kamyonları gibi hidrojen kullanım alanları, uluslararası bir hidrojen ticaret ağının ilk düğüm noktaları haline gelebilir. Hidrojen ticaretinin kurulması, farklı hidrojen üretim yollarının karbon ayak izini belirlemeye yönelik metodolojilerin geliştirilmesini ve düşük karbonlu hidrojen (ve hidrojen bazlı yakıtlar) için menşe garantilerinin ve sertifikasyon programlarının benimsenmesini gerektirecektir.

Hidrojenin mevcut gaz şebekelerine karıştırılması, düşük karbonlu hidrojen üretimini artırmak ve maliyet düşüşlerini tetiklemek için bir başka erken yol sunmaktadır. Güvenlik standartlarının uluslararası uyumlaştırılması ve gaz şebekelerinde izin verilen hidrojen konsantrasyonlarına ilişkin ulusal düzenlemeler, harmanlama kotalarının veya düşük emisyonlu yakıt standartlarının benimsenmesi gibi bu konuda yardımcı olacaktır.

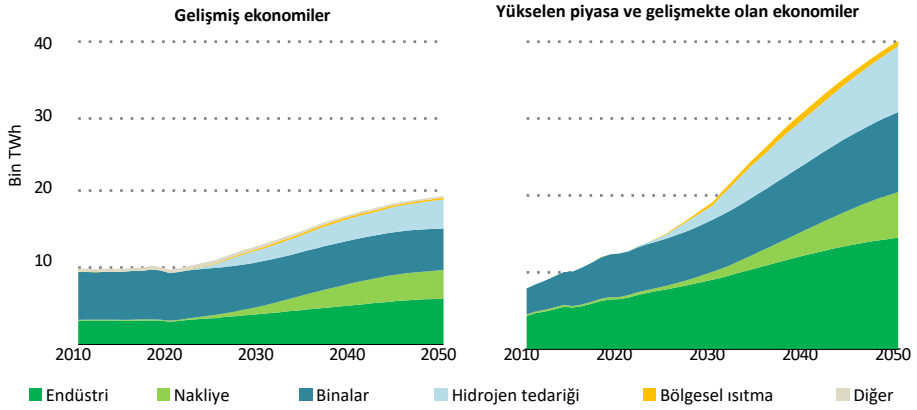
Teknik olarak mümkün olan yerlerde, azalan doğal gaz talebiyle birlikte mevcut gaz boru hatlarının yeniden kullanılması ve hidrojeni taşımak için büyük hidrojen talep merkezlerinin birbirine bağlanması, yeni hidrojen altyapısının gelişimini başlatmak için düşük maliyetli ve düşük pişmanlık fırsatlarıyla sonuçlanabilir. Hidrojen altyapısının NZE'de ihtiyaç duyulan hızda geliştirilmesi, hidrojen üretim teknolojilerinden düşük emisyonlu elektrik üretimine ve CO₂ taşıma ve depolamaya kadar uzanan üretim, taşıma ve talep değer zinciri boyunca önemli yatırım riskleri içerecektir. Hükümetler ve yerel yönetimler, çeşitli paydaşlar arasında planlama süreçlerini koordine ederek önemli bir rol oynayabilir; doğrudan kamu yatırımları veya kamu-özel ortaklıkları, hidrojen için gerekli ortak altyapının geliştirilmesine yardımcı olabilir; ve uluslararası işbirliği ve sınır ötesi girişimler, yatırım yüklerinin ve risklerin paylaşılmasına yardımcı olabilir ve böylece AB'nin Ortak Avrupa Çıkarına Yönelik Önemli Projelerinde olduğu gibi büyük ölçekli dağıtımları kolaylaştırabilir.

3.4 Elektrik sektörü

3.4.1 Net Sıfır Emisyon Senaryosunda enerji ve emisyon eğilimleri

NZE, hem ekonomik faaliyetlerdeki artış, son kullanım alanlarının hızla elektrifikasyonu ve elektroliz yoluyla hidrojen üretiminin yaygınlaşmasının sonucu olarak elektrik ihtiyacında önemli bir artışı hem de elektriğin üretilme biçiminde radikal bir dönüşümü içermektedir. Küresel elektrik talebi 2020 yılında 23 230 TWh olarak gerçekleşmiş ve önceki on yıla kıyasla yılda ortalama %2,3 oranında artmıştır. NZE'de bu rakam 2050 yılında 60.000 TWh'ye ulaşarak yılda ortalama %3,2'lik bir artış göstermiştir.

Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomiler, 2050 yılına kadar elektrik talebinde öngörülen küresel artışın %75'ini oluşturmaktadır (Şekil 3.9). Artan nüfus, yükselen gelirler ve yaşam standartlarının yanı sıra karbonsuzlaştırma ile bağlantılı yeni talep kaynaklarının da etkisiyle, bu ülkelerin talebi 2030 yılına kadar yarı yarıya, 2050 yılına kadar ise üç katına çıkacaktır. Gelişmiş ekonomilerde, elektrik talebi on yıllık bir durgunluktan sonra büyümeye geri dönerek, çoğunlukla son kullanım elektrifikasyonu ve hidrojen üretiminin etkisiyle 2020 ve 2050 yılları arasında neredeyse iki katına çıkacaktır.

Şekil 3.9►**Yeni Zelanda'da sektörlere ve bölgesel gruplandırmaya göre elektrik talebi**

IEA. Tüm hakları saklıdır.

Son kullanım alanlarının elektrifikasyonu ve hidrojen üretimi dünya çapında elektrik talebini artırırken, yükselen pazar ve gelişmekte olan ekonomilerde hizmetlerin genişletilmesi için daha fazla destek sağlanacak

Elektrik sektörünün dönüşümü, 2050 yılında net sıfır emisyonu ulaşmanın merkezinde yer almaktadır. Elektrik üretimi, günümüzde enerjiyle ilgili CO₂ emisyonlarının en büyük kaynağıdır ve enerjiyle ilgili toplam emisyonların %36'sını oluşturmaktadır. Dünya genelinde elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları 2020 yılında 12,3 Gt olarak gerçekleşmiş olup, bunun 9,1 'si kömür yakıtlı üretimden, 2,7 Gt'si gaz yakıtlı tesislerden ve 0,6 Gt'si petrol yakıtlı tesislerden kaynaklanmıştır. NZE'de, elektrik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonları 2030'larda gelişmiş ekonomilerde toplamda sıfıra düşmektedir. Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde ise 2040 yılı civarında sıfıra düşmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, NZE'de elektriğin karbondan arındırılmasına en büyük katkısı sağlamaktadır: yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen küresel üretim 2030 yılına kadar neredeyse üç katına çıkmakta ve 2050 yılına kadar sekiz kat büyümektedir (Şekil 3.10). Bu da yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam üretimdeki payını 2020'de %29'dan 2030'da %60'ın üzerine, 2050'de ise yaklaşık %90'a çıkarmaktadır. Güneş PV ve rüzgar, 2030'dan önce küresel olarak önde gelen elektrik kaynakları haline gelerek önde gidiyor: her biri 2050'ye kadar 23.000 TWh'den fazla üretiyor, bu da 2020'de dünyada üretilen tüm elektriğin yaklaşık %90'ına denk geliyor. Güç sistemi esnekliğini artırmak ve elektrik güvenliğini sağlamak için batarya depolama sistemlerinin güneş ve rüzgar enerjisi ile eşleştirilmesi 2020'lerin sonunda yaygınlaşacak, kısa süreli esneklik için talep tarafı katılımı ve günler hatta mevsimler boyunca esneklik için hidroelektrik veya hidrojen ile tamamlanacaktır. Hidroelektrik bugün en büyük düşük karbonlu elektrik kaynağıdır ve NZE'de istikrarlı bir şekilde büyüyerek 2050 yılına kadar iki katına çıkacaktır. Biyoenerji kullanılarak yapılan üretim - özel tesislerde ve gaz şebekeleri aracılığıyla sağlanan biyometan olarak - 2030 yılına kadar iki katına çıkar ve 2050 yılına kadar yaklaşık beş kat artar.

Yakalama ekipmanı eklemek için mevcut alan ve CO₂ depolama seçenekleri veya kullanım talebi olan yerlerde. Fırsatlar, kömürle çalışan enerji santralleri için Çin'de ve gazla çalışan kapasite için Amerika Birleşik Devletleri'nde yoğunlaşmaktadır. NZE'de 2030'dan 2050'ye kadar toplam üretimin sadece %2'sini sağlarken, yenilenmiş santraller bu dönemde toplam 15 Gt CO₂ emisyonu yakalamaktadır.

Karbon yakalama teknolojileri ticarileşmenin erken bir aşamasındadır. Son beş yılda iki ticari enerji santrali CCUS ile donatıldı ve şu anda dünya çapında geliştirilmekte olan 18 CCUS enerji projesi var. Bu projelerin zamanında tamamlanması ve yaparak öğrenme yoluyla maliyetlerin düşürülmesi, daha fazla genişleme için kritik öneme sahip olacaktır. Bir alternatif de mevcut kömür ve gaz yakıtlı enerji santrallerinin yüksek oranda hidrojen bazlı yakıtları birlikte yakacak şekilde güçlendirilmesidir. NZE'de hidrojen bazlı yakıtlar bu şekilde 2030 yılında 900 TWh ve 2050 yılında 1 700 TWh elektrik üretebilir (her iki yılda da küresel üretimin yaklaşık %2,5'i). Sadece amonyakla yakmaya geçmeyi amaçlayan, %20 amonyakla birlikte yakmaya yönelik büyük ölçekli (1 GW) bir demonstrasyon projesi 2021'de devam etmektedir. Üreticiler, gelecekteki gaz türbini tasarımlarının yüksek oranda hidrojeni birlikte yakma kapasitesine sahip olacağını sinyallerini vermiştir. Hidrojen bazlı yakıtları birlikte ateşlemek için gereken yatırım mütevazı görünse de, nispeten yüksek yakıt maliyetleri, toplu güçten ziyade güç sistemi istikrarını ve esnekliğini desteklemek için hedeflenen uygulamalara işaret etmektedir.

Elektrik üretiminde azaltılmamış fosil yakıtların küresel kullanımı NZE'de keskin bir şekilde azaltılmaktadır. Azaltılmamış kömür yakıtlı üretim, gelişmiş ekonomilerde azaltılmamış kömürün aşamalı olarak kaldırılması da dahil olmak üzere 2030 yılına %70 oranında azaltılır ve 2040 yılına kadar diğer tüm bölgelerde aşamalı olarak kaldırılır. Büyük ölçekli petrol yakıtlı üretim 2030'larda aşamalı olarak durdurulur. Karbon yakalamasız doğal gaz kullanan üretim, kömürün yerini alarak yakın vadede artar, ancak 2030'dan itibaren düşmeye başlar ve 2040'a kadar 2020'ye kıyasla %90 daha düşüktür.

Elektrik sektörü, düşük maliyetler, yaygın politika desteği ve bir dizi yenilenebilir enerji teknolojisinin olgunluğu nedeniyle net sıfır emisyonu ulaşan ilk sektördür. Güneş PV bunların başında gelmektedir: çoğu pazarda en ucuz yeni elektrik kaynağıdır ve 130'dan fazla ülkede politika desteğine sahiptir. Karada rüzgâr da yaygın olarak desteklenen ve hızlı bir şekilde ölçeklendirilebilen, koşulların iyi olduğu yerlerde güneş PV'nin düşük maliyetlerine rakip olan, pazara hazır, düşük maliyetli bir teknolojidir, ancak bazı pazarlarda kamu muhalefeti ve kapsamlı izin ve lisanslama süreçleriyle karşı karşıyadır. Açık deniz rüzgâr teknolojisi son yıllarda hızla olgunlaşmaktadır; yakın vadede yaygınlaşması hızlanmaya hazırdır. Mevcut odak noktası sabit dipli tesislerdir, ancak yüzen açık deniz rüzgârı 2030'dan itibaren Yeni Zelanda'da önemli bir katkı sağlamaya başlayacak ve dünya çapında var olan muazzam potansiyelin ortaya çıkarılmasına yardımcı olacaktır. Hidroelektrik, biyoenerji ve jeotermal teknolojileri iyi kurulmuş, olgun ve esnek yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Sevk edilebilir üretim seçenekleri olarak, elektrik güvenliği için kritik öneme sahip olacaklar ve maliyetlerinde keskin düşüşler görülen, yüksek değerli şebeke hizmetleri sağlama yeteneklerini kanıtlayan ve çoğu yerde birkaç ay içinde inşa edilebilen bataryalarla tamamlanacaklardır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi ve deniz enerjisi daha az olgunlaşmış teknolojilerdir, ancak yenilikler uzun vadede önemli katkılar yapmalarını sağlayabilir.

3.4.2 Kilit kilometre taşları ve karar noktaları

Tablo 3.2► Küresel elektrik üretiminin dönüşümünde kilit kilometre taşları

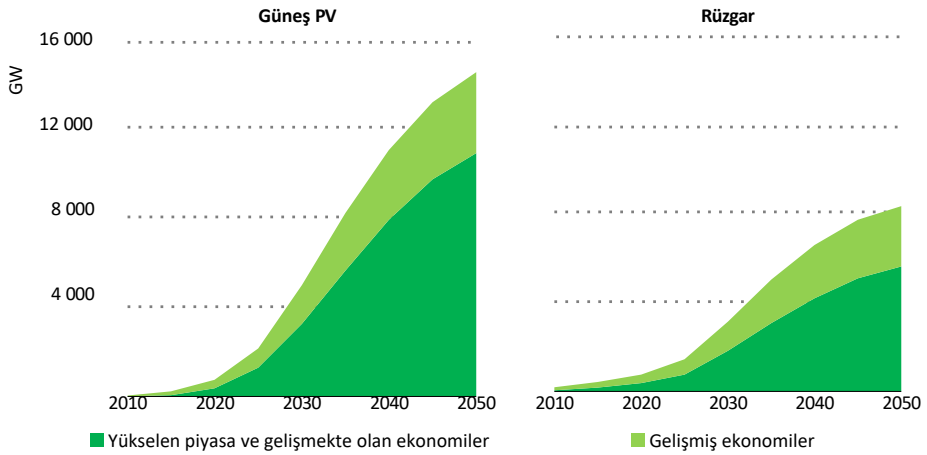
Kategori				
Elektrik sektörünün karbonsuzlaştırılması	- Toplamda gelişmiş ekonomiler: 2035. - Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomiler: 2040.			
Hidrojen bazlı yakıtlar	Kömürle çalışan enerji santrallerini 2025 yılına kadar amonyakla ve gaz türbinlerini hidrojenle birlikte ateşleyecek şekilde güçlendirmeye başlayın.			
Hız kesmeyen fosil yakıt	- Tüm kritik altı kömürlü termik santrallerin 2030 yılına kadar aşamalı olarak kapatılması (870 GW mevcut ve 14 GW inşa halinde). - Tüm kömürlü termik santrallerin 2040 yılına kadar aşamalı olarak kapatılması. 2030'larda büyük petrol yakıtlı enerji santrallerinin aşamalı olarak kapatılması. - Azaltılmamış doğal gaz yakıtlı üretim 2030 yılında zirve yapar ve 2040 yılına kadar %90 oranında azalır.			
Kategori	2020	2030	2050	
Toplam elektrik üretimi (TWh)	26 800	37 300	71 200	
Yenilenebilir Enerji				
Kurulu kapasite (GW)	2 990	10 300	26 600	
Toplam üretimdeki pay	29%	61%	88%	
Güneş PV ve rüzgarın toplam üretimdeki payı	9%	40%	68%	
Karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS) üretimi (TWh)				
CCUS ile donatılmış kömür ve gaz santralleri	4	460	1 330	
CCUS ile biyoenerji tesisleri	0	130	840	
Hidrojen ve amonyak				
Küresel kömür yakıtlı üretimde ortalama harmanlama (CCUS olmadan)	0%	3%	100%	
Küresel gaz yakıtlı üretimde ortalama harmanlama (CCUS olmadan)	0%	9%	85%	
Azaltılmamış fosil yakıtlar				
Azaltılmamış kömürün toplam elektrik üretimindeki payı	35%	8%	0.0%	
Azaltılmamış doğal gazın toplam elektrik üretimindeki payı	23%	17%	0.4%	
Nükleer enerji	2016-20	2021-30	2031-50	
Yıllık ortalama kapasite ilaveleri (GW)	7	17	24	
Altyapı				
Milyar ABD Doları cinsinden elektrik şebekeleri yatırımı (2019)	260	820	800	
Trafo merkezleri kapasitesi (GVA)	55 900	113 000	290 400	
Batarya depolama (GW)	18	590	3 100	
Kamuya açık elektrikli araç şarjı (GW)	46	1 780	12 400	

Not: GW= gigawatt; GVA= gigavolt amper.

Elektrik sektörünün NZE'de öngörülen şekilde dönüştürülmesi, tüm düşük emisyonlu yakıtlar ve teknolojiler için büyük kapasite ilavelerini içermektedir. Küresel yenilenebilir enerji kapasitesi 2030 yılına kadar üç kattan fazla, 2050 yılına kadar ise dokuz kat artmaktadır. Bu, 2030'dan 2050'ye kadar yılda ortalama 600 GW'tan fazla güneş PV kapasitesi ve yenilemeler dahil yılda 340 GW rüzgar kapasitesi eklenmesi anlamına gelirken (Şekil 3.11), açık deniz rüzgarı giderek daha önemli hale gelmektedir

Zaman içinde (2020'deki %7'ye kıyasla 2021'den 2050'ye kadar toplam rüzgar ilavelerinin %20'sinden fazlası). Elektrik sektöründeki yıllık batarya kapasitesi dağıtımının, 2019'da 3 GW'tan 2030'da 120 GW'a ve 2040'ta 240 GW'ın üzerine paralel olarak ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Mevcut kömür ve gazla çalışan elektrik santrallerinin güçlendirilmesi de devam etmelidir.

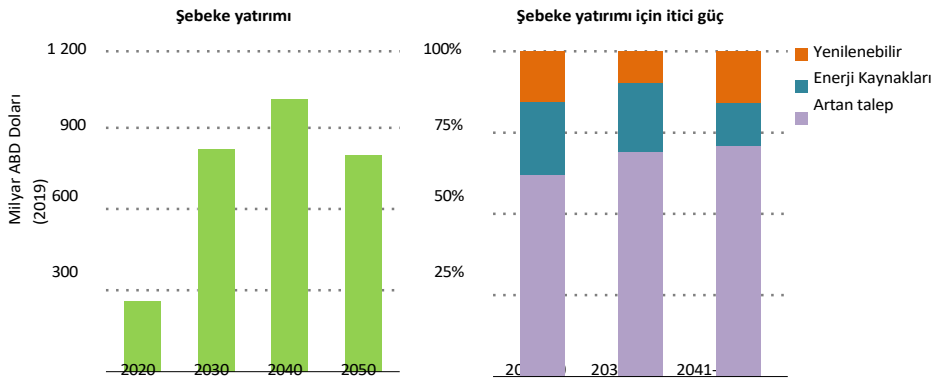
Şekil 3.11 ► Yeni Zelanda'da güneş enerjisi ve rüzgar kurulu gücü



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Elektriği karbonsuzlaştırmak için güneş enerjisi ve rüzgârın hızla ölçek büyütmesi gerekiyor. 2050 yılına kadar toplam güneş enerjisi kapasitesi 20 kat, rüzgâr kapasitesi ise 11 kat artacak

Şekil 3.12 ► NZE'deki elektrik şebekelerine yapılan küresel yatırım



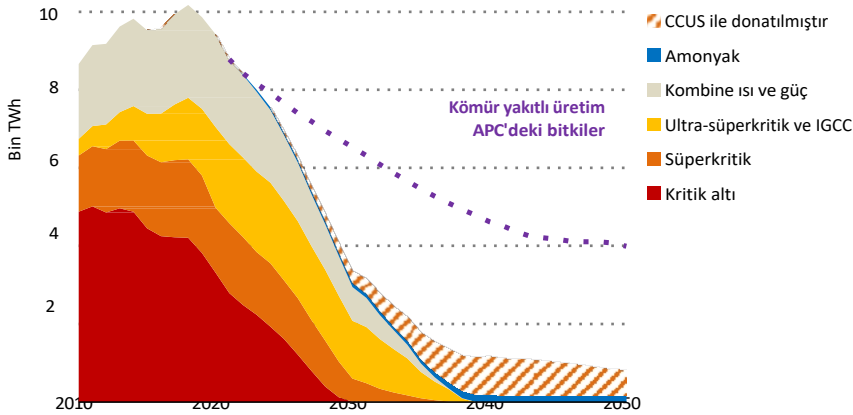
IEA. Tüm hakları saklıdır.

Elektrik şebekesi yatırımı 2030'a kadar üç katına çıkar ve 2050'ye kadar yeni talebi karşılayarak, eskiyen altyapıyı değiştirerek ve daha fazla yenilenebilir enerjiyi entegre ederek yüksek kalır

Elektrik şebekelerine yapılacak yatırımlar bu dönüşümün gerçekleştirilmesinde hayati önem taşıyacaktır. İnşa edilmesi 130 yıldan fazla süren küresel elektrik şebekelerinin 2040 yılına kadar toplam uzunluğunun iki katından fazla artması ve 2050 yılına kadar %25 daha artması gerekmektedir. Toplam şebeke yatırımının 2030'a kadar 820 milyar ABD dolarına, 2040'ta ise 1 trilyon ABD dolarına yükselmesi ve elektrik tamamen karbondan arındırıldıktan ve yenilenebilir enerji kaynaklarının büyümesi talep artışını karşılayacak şekilde yavaşladıktan sonra düşmesi gerekmektedir (Şekil 3.12). Eskiyen altyapının değiştirilmesi, 2050 yılına kadar NZE'de şebeke yatırımının önemli bir parçasıdır.

Hükümetler, NZE'de öngörülen 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu giden yolu takip etmek istiyorlarsa, elektrik sektöründe özellikle mevcut enerji santrallerinin en iyi şekilde nasıl kullanılacağı konusunda birkaç önemli kararlar karşı karşıyadır. Kömür veya gazla çalışan kapasitenin karbon yakalama veya hidrojen bazlı yakıtlarla birlikte ateşleme (veya tam dönüşüm) ile yenilenmesi için, 2030'dan önce türünün ilk örneği olan projelerin desteklenmesi için kararlar alınması gerekmektedir. Diğer fosil yakıtlı enerji santralleri için aşamalı olarak kapatma kararları alınmalıdır. Kömür yakıtlı enerji santralleri, 2030 yılına kadar en az verimli tasarımlardan başlayarak, iyileştirilmedikleri takdirde 2040 yılına kadar tamamen devre dışı bırakılmalıdır (Şekil 3.13). Bu, küresel olarak 870 GW'lık mevcut kritik altı kömür kapasitesinin (tüm enerji %11'i) kapatılmasını ve ikamelerin kolaylaştırılması için uluslararası işbirliğini gerektirecektir. 2040 yılına kadar, tüm büyük ölçekli petrol yakıtlı enerji santralleri aşamalı olarak kapatılmalıdır. Doğal gaz yakıtlı üretim 2050 yılına kadar elektrik arzının önemli bir parçası olmaya devam edecektir, ancak CCUS'un yakın zamanda ve büyük ölçekte kullanılmasını sağlamak için güçlü hükümet desteğine ihtiyaç duyulacaktır.

Şekil 3.13 ► Yeni Zelanda'da teknolojiye göre kömür yakıtlı elektrik üretimi



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Kömür yakıtlı enerji, 2020 yılında küresel enerji CO₂ emisyonlarının %27'sini oluşturmaktadır ve NZE'de tüm kritik altı santraller 2030 yılına kadar ve CCUS'si olmayan tüm santraller 2040 yılına kadar aşamalı olarak

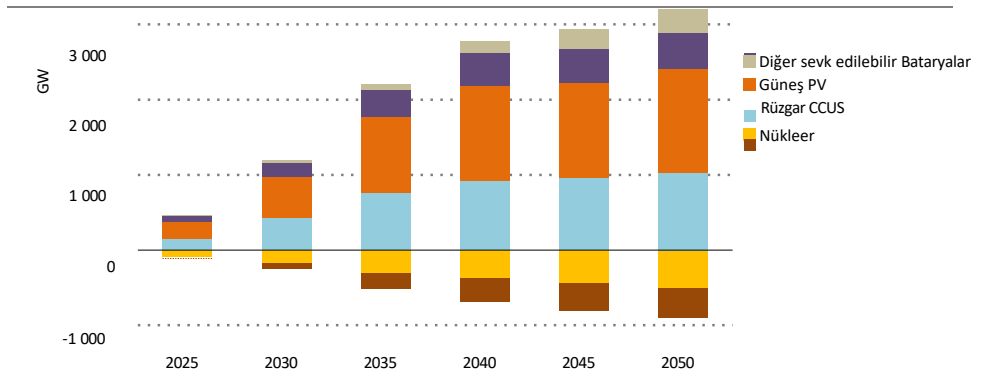
kapatılacaktır

Notlar: APC= Announced Pledges Case; IGCC= integrated gasification combined-cycle. Amonyak, birlikte yakma ve kömür santrallerinin tam dönüşümünü içerir.

Net sıfır emisyonu giden yol, güç sistemi esnekliği sağlayan çeşitli teknolojilerin tanıtım aşamalarından geçmesine ve pazara sunulmasına yardımcı olmak için hükümetin erken harekete geçmesiyle kolaylaştırılabilir. Bataryaları tamamlayacak enerji depolama teknolojileri setinin genişletilmesi ve daha uzun süreli mevsimsel depolama için ortaya çıkan ihtiyaçların ele alınması özellikle değerli olacaktır. Yüksek güneş ve rüzgar payına sahip elektrik şebekelerinin istikrarını destekleyecek teknik çözümler de araştırma ve geliştirme (AR-GE) desteğinden faydalanacaktır.

Nükleer enerjiyle ilgili alınması gereken üç önemli karar vardır: ömür uzatımı, yeni inşaatların hızı ve nükleer enerji teknolojisindeki ilerlemeler. Gelişmiş ekonomilerde, ömürlerini uzatmak ve gerekli yatırımları yapmak için harekete geçmemesi halinde önümüzdeki on yıl içinde emekliye ayrılacak olan çok sayıda nükleer enerji santrali ve yeni inşaatlar hakkında kararlar alınması gerekmektedir. Daha fazla ömür uzatımı ve halihazırda yapım aşamasında olanların ötesinde yeni projeler olmadan, gelişmiş ekonomilerdeki nükleer enerji üretimi önümüzdeki yirmi yıl içinde üçte iki oranında azalacaktır (IEA, 2019). Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde, yeni nükleer enerji inşaatının hızı konusunda verilmesi gereken kararlar vardır. 2011'den 2020'ye kadar her yıl ortalama 6 GW yeni nükleer kapasite devreye girmiştir. NZE'de 2030 yılına kadar yeni inşaat oranı yılda 24 GW'a çıkacaktır. Üçüncü karar grubu, özellikle küçük modüler reaktörler ve yüksek sıcaklıklı gaz reaktörleri ile ilgili olanlar olmak üzere, her ikisi de nükleer enerji pazarlarını elektriğin ötesine genişletebilecek olan gelişmiş nükleer teknolojilere hükümet desteğinin kapsamı ile ilgilidir.

Şekil 3.14► Düşük Nükleer ve CCUS Durumunda ihtiyaç duyulan ilave küresel alternatif kapasite



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Nükleer enerji ve karbon yakalama rollerinin keskin bir şekilde azaltılması, güneş enerjisi ve rüzgarda daha da hızlı bir büyüme gerektirecek ve net sıfır hedefine ulaşmayı daha maliyetli ve daha az olası hale getirecektir

Not: Düşük Nükleer ve CCUS Vakası, gelişmiş ekonomilerde ek ömür uzatımı veya yeni nükleer proje olmaması ve yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde mevcut inşaat hızının artmaması nedeniyle küresel nükleer enerji üretiminin 2050 yılında NZE'ye göre yaklaşık %60 daha düşük olacağını ve CCUS ile donatılmış kömür ve gaz yakıtlı kapasite miktarının NZE'ye göre %99 daha düşük olacağını varsaymaktadır.

Nükleer enerji ve CCUS ile ilgili kararların zamanında alınmaması, net sıfır emisyon yolunun maliyetlerini artıracak ve rüzgar ve güneş enerjisine NZE'dekinden daha hızlı bir şekilde ölçek büyütme için ek bir yük getirerek hedefe ulaşamama riskini artıracaktır (Şekil 3.14). *Düşük Nükleer ve CCUS Durumunda*, gelişmiş ekonomilerde ilave nükleer ömür uzatımı veya yeni proje olmaması ve yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde mevcut inşaat hızının artırılmaması sonucunda küresel nükleer enerji üretiminin 2050 yılında NZE'ye göre %60 daha düşük olacağını ve sadece duyurulan CCUS projelerinin tamamlanacağını varsayıyoruz (NZE'de eklenen CCUS kapasitesinin %1'ini temsil etmektedir).

Analizimiz, bu düşük karbonlu üretim kaynaklarının yerini alma yükünün esas olarak güneş PV ve rüzgar enerjisine düşeceğini ve NZE'dekinden 2 400 GW daha fazla kapasiteye ihtiyaç duyulacağını göstermektedir - bu miktar, 2020'de faaliyette olan toplam küresel kapasitelerini çok aşmaktadır (Şekil 3.14). Ayrıca, NZE'de konuşlandırılan 3 100 GW'ın üzerinde ve ötesinde yaklaşık 480 GW batarya kapasitesine ve tüm mevsimlerde talebi karşılamak ve sistem yeterliliğini sağlamak için 300 GW'tan fazla diğer sevk edilebilir kapasiteye ihtiyaç olacaktır. Bu da enerji santrallerine ve ilgili şebeke varlıklarına 2 trilyon ABD doları ek yatırım yapılmasını gerektirecektir (nükleer ve CCUS'a yapılan daha düşük yatırımlar hariç). Kaçınılan yakıt maliyetleri dikkate alındığında, 2021 ve 2050 yılları arasında elektriğin tüketicilere tahmini toplam ek maliyeti 260 milyar ABD dolarıdır.

3.5 Endüstri

3.5.1 Net Sıfır Emisyon Senaryosunda enerji ve emisyon eğilimleri

Enerji sektörü CO₂ emisyonlarının ikinci en büyük küresel kaynağı olan sanayi, net sıfır hedefine ulaşılmasında hayati bir katkıya sahiptir. Endüstriyel CO₂ ⁶ (enerji kullanımı ve üretim süreçleri dahil) 2020 yılında yaklaşık 8,4 Gt olmuştur. Malzeme üretimi ve imalat için karmaşık küresel tedarik zincirleri, gelişmiş ekonomilerin genellikle ürettiklerinden çok daha fazla mamul mal tükettikleri anlamına gelse de, gelişmiş ekonomiler yaklaşık %20, yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomiler ise yaklaşık %80'lik bir paya sahiptir.

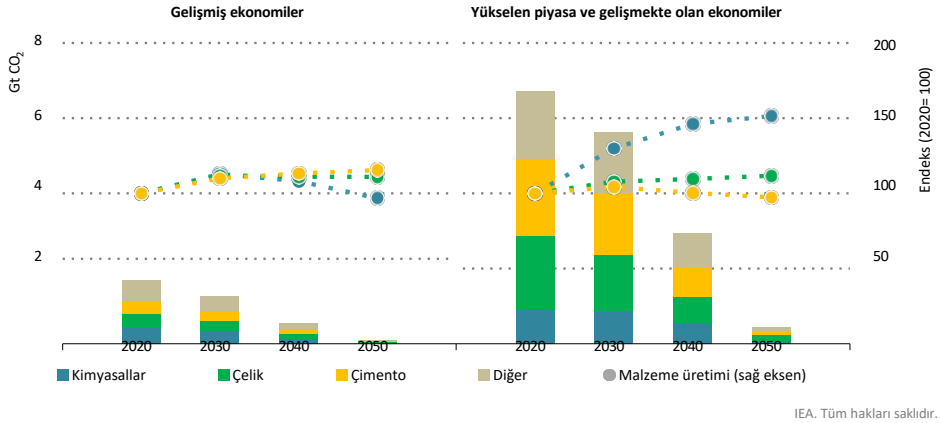
Üç ağır sanayi - kimyasallar, çelik ve çimento - tüm endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %60'ını ve sanayi sektöründen kaynaklanan CO₂ emisyonlarının yaklaşık %70'ini oluşturmaktadır. Üretim, bu malların toplam üretiminin %70-90'ını oluşturan yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde yoğunlaşmıştır (Şekil 3.15). Çin tek başına 2020 yılında hem çelik hem de çimento üretiminin neredeyse %60'ından sorumludur. Bu dökme malzemeler, modern yaşam tarzımız için temel girdilerdir ve maliyet açısından rekabetçi ikameleri çok azdır; buradaki zorluk, bu malzemeleri CO₂ salımı yapmadan üretmeye devam etmektir.

Yeni Zelanda'da küresel malzeme talebine ilişkin görünüm, platolar ve küçük artışlar şeklindedir. Bu durum, son yirmi yılda küresel çelik talebinde görülen büyüme ile tam bir tezat oluşturmaktadır.

⁶ Bu bölümdeki tüm CO₂ emisyonları, aksi belirtilmedikçe sanayi sektöründen kaynaklanan doğrudan CO₂ emisyonlarını ifade etmektedir.

Küresel ekonomik ve nüfus artışına yanıt olarak talep 2,1 kat, çimento 2,4 kat ve plastikler (kimya sektöründen önemli bir malzeme çıktısı grubu) 1,9 kat artmıştır. Ekonomiler gelişirken, kişi başına düşen malzeme talebi, mal ve altyapı stokları oluşturmak için hızla artma eğilimindedir. Ekonomiler olgunlaştıkça, gelecekteki talep esas olarak, seviyeleri doyuma eğiliminde olan bu stokları yenileme ve değiştirme ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Yeni Zelanda'da, dünyanın birçok ülkesinde talebin durağanlaşması ve hatta azalması, küresel talep büyümesinin yavaşlamasına yol açmaktadır. Hindistan gibi bazı ülkelerde çelik ve çimento üretiminde daha yüksek büyüme görülürken, Çin'de üretim milenyumun başından sonraki endüstriyel patlama döneminin ardından önemli ölçüde .

Şekil 3.15 ► NZE'de alt sektörler göre sanayiden kaynaklanan küresel CO₂ emisyonları



IEA. Tüm hakları saklıdır.

*2050'de sanayide kalan emisyonların büyük bir kısmı
yükselen pazar ve gelişmekte olan ekonomilerdeki ağır sanayilerden*

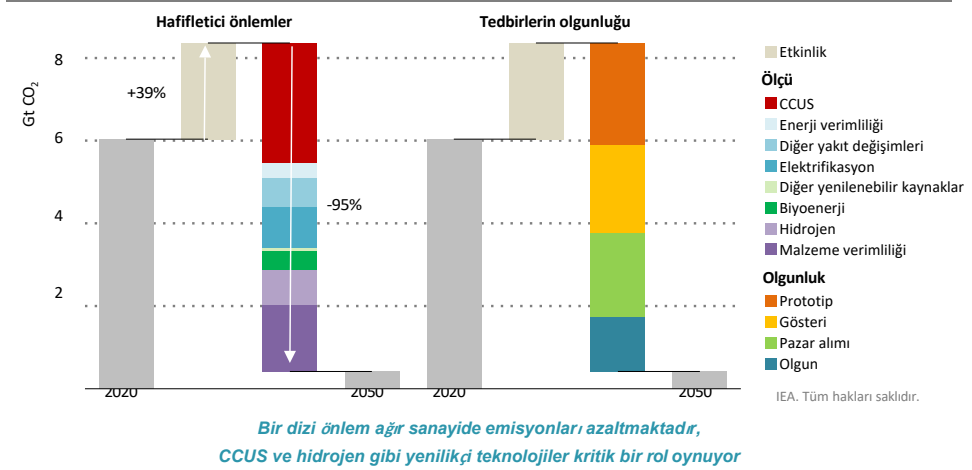
Not: Diğer; alüminyum, kağıt, diğer metalik olmayan mineraller ve diğer demir dışı ile bir dizi hafif sanayi üretimini içermektedir.

Yenilenebilir elektrik üretimi ve ulaşım altyapısı başta olmak üzere, Yeni Zelanda'da enerji ile ilgili altyapının gerekli desteklemek için malzeme talebinin belirli bölümleri hızla artmaktadır. Günümüze kıyasla 2050 yılına kadar bu iki segment için gerekli olan ilave altyapı, 2050 yılındaki çelik talebinin yaklaşık %10'una katkıda bulunmaktadır. Ancak, ulaşım ve bina yenilemedeki modal değişimlerin yanı sıra tasarım, üretim yöntemleri, inşaat uygulamaları ve tüketici davranışlarındaki diğer değişiklikler de dahil olmak üzere sektörler arası ortak stratejiler, bu artışı fazlasıyla dengelemektedir. Genel olarak, 2050 yılında çelik için küresel talep bugünkünden %12 daha yüksek, birincil kimyasallar %30 daha yüksek ve çimento talebi genel olarak sabittir.

NZE'de ağır sanayiden kaynaklanan CO₂ emisyonları 2030 yılına kadar %20, 2050 yılına kadar ise %93 oranında azalacaktır. Ekipmanların operasyonel verimliliğinin optimize edilmesi, yeni kapasite ilaveleri için mevcut en iyi teknolojilerin benimsenmesi ve malzeme verimliliğini artırmaya yönelik önlemler önemli bir rol oynamaktadır.

bunun bir parçasıdır. Ancak, bu önlemlerle emisyonların ne kadar azaltılabileceğinin sınırları vardır. NZE'de 2050 yılındaki emisyon azaltımlarının neredeyse %60'ı bugün geliştirilmekte olan teknolojiler (büyük prototip veya gösteri ölçeği) kullanılarak elde edilmektedir (Şekil 3.16).

Şekil 3.16 ➤ Ağır sanayide küresel CO₂ emisyonları ve NZE'de azaltım önemi ve teknoloji olgunluk kategorisine göre azaltımlar



*Bir dizi önlem ağır sanayide emisyonları azaltmaktadır,
CCUS ve hidrojen gibi yenilikçi teknolojiler kritik bir rol oynuyor*

Hidrojen ve CCUS teknolojileri birlikte NZE'de 2050 yılında ağır sanayideki emisyon azaltımlarının yaklaşık %50'sine katkıda bulunmaktadır. Bu teknolojiler, birçok durumda mevcut teknolojilerle elektrikle kolayca sağlanamayan yüksek sıcaklıktaki ısıнын büyük miktarlarda sağlanmasını mümkün kılmakta ve bazı endüstriyel üretimin doğasında bulunan kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan proses emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Biyoenerji aynı zamanda çok çeşitli endüstriyel uygulamalara da katkı sağlamaktadır.

Yüksek sıcaklıkta ısı ve proses emisyonlarına duyulan ihtiyacın yanı sıra iki faktör, enerji sisteminin diğer alanlarına kıyasla ağır sanayide emisyon azaltımlarının daha yavaş olmasını açıklamaktadır. Birincisi, birçok endüstriyel malzeme ve ürünün küresel ticaretinin kolay olması, piyasaların rekabetçi ve marjların düşük olduğu anlamına gelmektedir. Bu durum, daha pahalı üretim yollarının benimsenmesinden kaynaklanan ek maliyetleri absorbe etmek için çok az alan bırakmaktadır. Bu teknolojiler için eşit bir oyun alanı sağlamak üzere sağlam küresel işbirliği ve teknoloji transferi çerçeveleri veya yerel çözümler geliştirmek zaman alacaktır. İkinci olarak, ağır sanayiler sermaye yoğun ve uzun ömürlü ekipmanlar kullanmaktadır, bu da yenilikçi düşük emisyonlu teknolojilerin yayılmasını yavaşlatmaktadır. Yenilikçi süreçlerin geniş ölçekte yaygınlaştırılmasından önce 2030'a kadar olan dönemdeki kapasite ilaveleri, 2050'de %80'inden fazlası yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde olan endüstriyel emisyonların devamlılığını büyük ölçüde açıklamaktadır. Düşük karbon teknolojilerine stratejik olarak zamanlanmış yatırım, erken emeklilikleri en aza indirmeye yardımcı olabilir (Kutu 3.1).

Kutu 3.1►

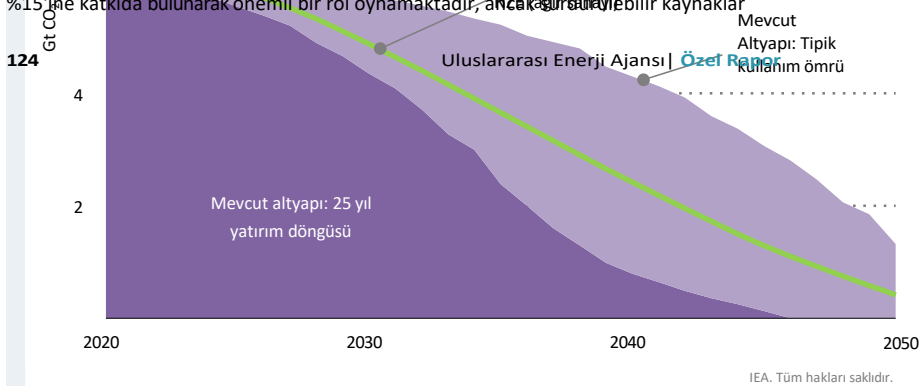
Ağır sanayide yatırım döngüleri

Ağır sanayi için 2050 yılı sadece bir yatırım döngüsü uzakta. Yüksek fırınlar ve çimento fırınları gibi emisyon yoğun varlıkların ortalama ömürleri yaklaşık 40 yıldır. Ancak yaklaşık 25 yıl çalıştıktan sonra, tesisler genellikle ömürlerini uzatmak için büyük bir yenileme sürecinden geçmektedir.

Buradaki zorluk, bugün büyük prototip ve demonstrasyon aşamasında olan yenilikçi sıfıra yakın emisyonlu endüstriyel teknolojilerin, mevcut varlıkların yaklaşık %30'unun 25 yaşına ulaşacağı ve dolayısıyla bir yatırım kararıyla karşı karşıya kalacağı önümüzdeki on yıl içinde pazarlara ulaşmasını sağlamaktır. Bu yenilikçi teknolojiler hazır değilse veya hazır olsa bile kullanılmıyorsa, bu durum emisyon azaltımlarının hızı üzerinde büyük bir olumsuz etki yaratacak veya karaya oturmuş varlıkların artması riskini doğuracaktır (Şekil 3.17). Tersine, eğer hazır olurlarsa ve mevcut tesisler 25 yıllık yatırım karar noktasında bu teknolojilerle güçlendirilir veya değiştirilirse, bu durum mevcut ağır sanayi varlıklarından 2050 yılına kadar öngörülen kümülatif emisyonları yaklaşık %40 oranında azaltabilir. Şu andan 2030'a kadar olan kritik fırsat penceresi kaçırılmamalıdır.

Şekil 3.17► NZE'deki mevcut ağır sanayi varlıklarından kaynaklanan CO₂ emisyonları

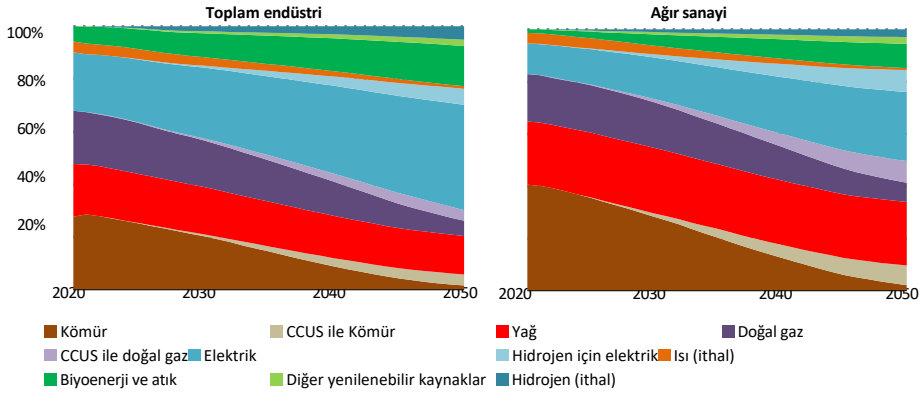
Yeni Zelanda'da sanayideki enerji karışımı kökten değişmektedir. Fosil yakıtların toplam enerji kullanımındaki payı bugün yaklaşık %70 iken 2050 yılında %30'a düşmektedir. O zaman hala kullanılmakta olan fosil yakıtların büyük çoğunluğu, esas olarak kimyasal hammadde olarak (%50) veya CCUS ile donatılmış tesislerde (yaklaşık %30) ağır sanayilerde kullanılmaktadır. Elektrik, endüstriyel enerji talebi artışında baskın yakıttır ve toplam endüstriyel enerji tüketimindeki payı 2020'de %20'den 2050'de %45'e yükselmektedir. Bu elektriğin yaklaşık %15'i hidrojen üretmek için kullanılmaktadır. Biyoenerji, 2050 yılında toplam enerji kullanımının %15'ine katkıda bulunarak önemli bir rol oynamaktadır, ancak sınırlı yenilenebilir kaynaklar.



Önümüzdeki 25 yıllık yatırım döngüsünün sonunda müdahale edilmesi
60 Gt CO₂, mevcut ağır sanayi varlıklarından öngörülen emisyonların yaklaşık %40'ı

sınırlıdır ve aynı zamanda enerji ve ulaştırma sektörlerinde yüksek talep görmektedir. Isı sağlamak için yenilenebilir güneş ve jeotermal teknolojileri küçük ama hızlı büyüyen bir katkı sağlamaktadır (Şekil 3.18).

Şekil 3.18► Yeni Zelanda'da yakıt bazında küresel nihai sanayi enerji talebi



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Sanayide fosil yakıt kullanımının 2050 yılına kadar yarıya indirilmesi ve bunun yerini öncelikle elektrik ve biyoenjerinin alması

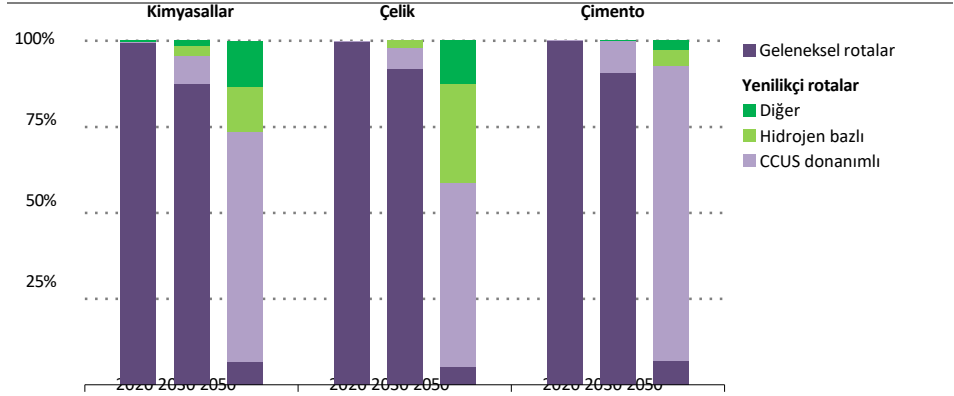
Notlar: Endüstriyel enerji tüketimi kimyasal hammaddeyi ve yüksek fırınlarda ve kok fırınlarında tüketilen enerjiyi içerir. Hidrojen ithal edilen hidrojeni ifade eder ve kendine özgü hidrojen üretimini içermez. Hidrojen için elektrik, elektroliz yoluyla tutsak hidrojen üretiminde kullanılan elektriği ifade eder.

Kimyasal madde üretimi

NZE'de, kimyasallar alt sektöründen kaynaklanan emisyonlar 2020'de 1,3 Gt'den 2030'da 1,2 Gt'ye ve 2050'de yaklaşık 65 Mt'ye düşmektedir. Fosil yakıtların toplam enerji kullanımındaki payı 2020'de %83'ten (çoğunlukla petrol ve doğal gaz), 2030'da %76'ya ve 2050'de %61'e düşmektedir. Petrol, daha az miktarda gaz ve kömür ile birlikte 2050 yılına kadar Yeni Zelanda'da birincil kimyasal üretiminde kullanılan en büyük yakıt olmaya devam edecektir.

Şu anda piyasada mevcut olan teknolojiler, 2030 yılına kadar NZE'de bugüne kıyasla kimya endüstrisinde küresel olarak elde edilen emisyon tasarruflarının neredeyse %80'ini oluşturmaktadır. Bunlar arasında plastiklerin geri dönüşümü ve yeniden kullanımı ile birincil kimyasallara olan talebi azaltan azotlu gübrelerin daha verimli kullanımı ve enerji verimliliğini artırmaya yönelik önlemler yer almaktadır. 2030'un ötesinde, emisyon azaltımlarının büyük kısmı, belirli CCUS uygulamaları ve doğrudan değişken yenilenebilir elektrikten üretilen elektrolitik hidrojen dahil olmak üzere, kimyasal süreçlere entegrasyonu günümüzde geliştirilmekte olan teknolojilerin kullanımından kaynaklanmaktadır (Şekil 3.19). CCUS donanımlı konvansiyonel yollar ve piroliz teknolojileri, düşük maliyetli doğal gaza erişimi olan bölgelerde en rekabetçi iken, elektroliz, CCUS'un dağıtımının altyapı veya kamu kabulü eksikliği nedeniyle engellendiği bölgelerde tercih edilen seçenektir.

Şekil 3.19 Yeni Zelanda'da üretim rotasına göre dökme malzemelerin küresel endüstriyel üretimi



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Sfıra yakın emisyon rotaları 2050 yılına kadar çimento, birincil çelik ve kımyasal üretimine hakim olacak, CCUS ve hidrojen bazlı teknolojiler kilit rol oynayacak

Notlar: CCUS= karbon yakalama, kullanma ve depolama. Kımyasallar, birincil kımyasalların (etilen, propilen, benzen, toluen, karışık ksilenler, amonyak ve metanol) üretimini ifade eder. Çelik, birincil çelik üretimini ifade eder. Diğer, biyoenerji kullanan ve üretimi doğrudan elektrikleştiren yenilikçi süreçleri içerir. Hidrojen bazlı, elektrolitik hidrojeni ifade eder. CCUS ile fosil yakıt bazlı hidrojen, CCUS donanımlı kategoriye dahildir.

Demir ve çelik üretimi

NZE'de, demir-çelik alt sektöründen kaynaklanan küresel CO₂ emisyonları 2020'de 2,4 Gt'tan 2030'da 1,8 Gt'a ve 2050'de 0,2 Gt'a düşmektedir, çünkü fosil yakıtların hız kesmeden kullanımı keskin bir şekilde azalmaktadır. Genel yakıt karışımındaki payları bugün %85'ten 2050'de %30'un biraz üzerine düşecektir. Çelik endüstrisi, çoğunlukla CCUS ile bağlantılı olsa da, kımyasal indirgeme maddesi olarak önemli nedeniyle 2050 yılında önemli miktarda kömür kullanan son sektörlerden biri olmaya devam etmektedir.

NZE, demir-çelik alt sektöründe büyük ölçüde kömürden elektrığe geçiş temelinde radikal bir teknolojik dönüşüm öngörmektedir. Elektrik ve diğer fosil olmayan yakıtlar, 2020 yılında sektördeki nihai enerji talebinin sadece %15'ini oluştururken, 2050 yılına gelindiğinde bu oran yaklaşık %70'e ulaşacaktır. Bu değişim, hurda bazlı elektrik ark ocakları (EAF), hidrojen bazlı doğrudan indirgenmiş demir (DRI) tesisleri, demir cevheri elektrolizi ve yardımcı ekipmanların elektrifikasyonu gibi teknolojiler tarafından yönlendirilmektedir. NZE'de kömürün toplam enerji kullanımındaki payı 2020'de %75'ten 2050'de %22'düşmektedir ve bunun %90'ı CCUS ile birlikte kullanılmaktadır.

Şu anda piyasada bulunan teknolojiler, 2030 yılına kadar çelik üretiminde emisyon tasarrufunun yaklaşık %85'ini sağlayacaktır. Bunlar arasında malzeme ve enerji verimliliği önlemleri ve hurdaya dayalı üretimde büyük bir artış - birincil çelik üretiminin yalnızca yaklaşık onda biri kadar enerji gerektirir - daha fazla ürün kullanım ömrünün sonuna ulaştıkça artan hurda mevcudiyetinden kaynaklanmaktadır. Ticari yüksek fırınlarla ve DRI'a kısmi hidrojen enjeksiyonu

fırınları, bugün uygulamayı test eden pilot projelere dayanarak 2020'lerin ortalarında hız kazanıyor. 2030'dan sonra, emisyon azaltımlarının büyük kısmı, hidrojen bazlı DRI ve demir cevheri elektrolizi de dahil olmak üzere geliştirilmekte teknolojilerin kullanımından kaynaklanmaktadır. Yenilikçi ergitme azaltımı, doğal gaz bazlı DRI üretimi (özellikle doğal gaz fiyatlarının düşük olduğu bölgelerde) ve nispeten genç tesislerin bulunduğu bölgelerde yenilikçi yüksek fırın güçlendirme düzenlemeleri de dahil olmak üzere, CCUS donanımı çeşitli proses teknolojileri paralel olarak kullanılmaktadır.

Çimento üretimi

Günümüzde bir ton çimento üretimi ortalama 0,6 ton CO₂ üretmekte olup, bunun üçte ikisi kullanılan hammaddelerden salınan karbondan kaynaklanan proses emisyonlarıdır. Fosil yakıtlar - çoğunlukla kömür ve bir miktar petrokok - termal enerji ihtiyacının %90'ını oluşturmaktadır.

Klinkerin (aktif ve en yoğun emisyonu neden olan bileşen) bir kısmının yerine alternatif malzemelerin çimentoya karıştırılmasının artması, çimento talebinin azalması ve enerji verimliliği önlemleri, 2020 yılına kıyasla 2030 yılında emisyon tasarrufunun yaklaşık %40'ını sağlamaktadır. Karışımli çimentoların kullanılmasıyla, küresel klinker/çimento oranı 2020'de 0,71'den 2030'da 0,65'e düşmektedir. Oran 2030'dan sonra düşmeye devam eder, ancak daha yavaş bir şekilde

2050 yılında 0,57 (harmanlanmış çimentolar 0,5 gibi düşük bir klinker-çimento oranına ulaşabilir, ancak pazar uygulama potansiyeli bölgesel bağlamlara bağlıdır). Kireçtaşı ve kalsine kil, 2050 yılına kadar harmanlanmış çimentolarda kullanılan ana alternatif malzemelerdir. 0,5 teknik olarak ulaşılacak en düşük klinker-çimento oranı olduğundan, daha derin emisyon azaltımları elde etmek için başka önlemlere ihtiyaç vardır.

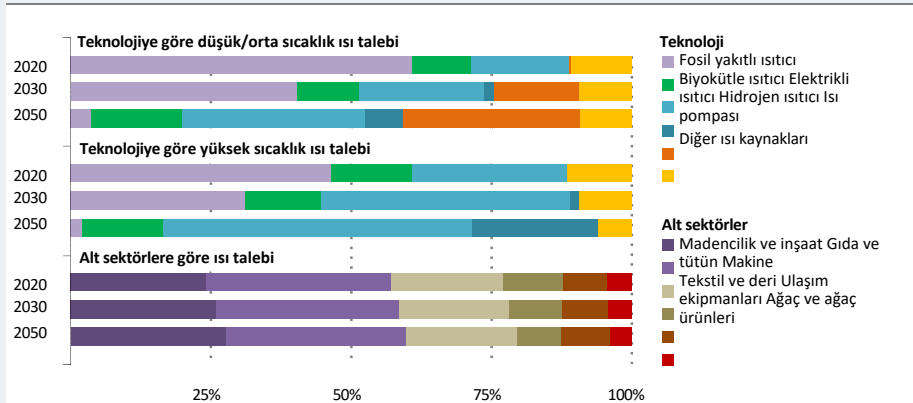
NZE'de 2030'dan sonra, emisyon azaltımlarının büyük kısmı bugün geliştirilmekte olan teknolojilerin kullanımından kaynaklanmaktadır. CCUS en önemlisidir ve 2050'de bugüne göre azaltımların %55'ini oluşturmaktadır. Birçok durumda, NZE'de fosil yakıt yanma emisyonlarına CCUS uygulamak, sıfır emisyonlu enerji kaynaklarına geçmekten daha uygun maliyetlidir. Doğal gazın termal enerjinin yaklaşık %40'ını (bugün %15'ten), biyokütle ve yenilenebilir atıkların %35'ini (bugün %5'ten az), hidrojen ve doğrudan elektrifikasyonun yaklaşık %15'ini ve petrol ürünleri ve yenilenemeyen atıkların geri kalanını 2050 yılına kadar kömür kullanımı çimento üretiminden çıkarılmıştır. Sürdürülebilir biyokütle kaynaklarının mevcudiyeti üzerindeki kısıtlamalar, daha yüksek bir pay talep etmesini engellemektedir. Çimento fırınlarının doğrudan elektrifikasyonu bugün küçük prototip aşamasındadır ve bu nedenle ancak 2040'tan sonra küçük ölçekte kullanılmaya başlanacaktır. 2040'lardan itibaren hidrojen, çimento fırınlarındaki termal enerji ihtiyacının yaklaşık %10'unu karşılayacaktır, ancak küçük miktarlarda harmanlama daha erken başlayacaktır. Proses emisyonlarının oluşumunu sınırlayan veya önleyen ve hatta kürleme işlemi sırasında CO₂ yakalamayı mümkün kılan alternatif bağlayıcı malzemelere dayalı yenilikçi çimento türleri, CCUS gibi diğer seçeneklere göre ya hala çok daha erken geliştirme aşamasındadır ya da sınırlı uygulanabilirliğe sahiptir.

Kutu 3.2► Peki ya diğer sanayi alt sektörleri?

Çelik, çimento ve kimyasallar sanayi sektörünün tek çıktıları değildir. Alüminyum, kağıt, diğer metalik olmayan mineraller ve demir dışı metaller gibi diğer enerji yoğun alt sektörlerin yanı sıra taşıt, makine, gıda, kereste, tekstil ve diğer tüketim mallarını üreten hafif sanayileri ve inşaat ve madencilik faaliyetlerinde tüketilen enerjiyi de içerir.

NZE'de hafif sanayilerden kaynaklanan emisyonlar 2030 yılına kadar yaklaşık %30, 2050 yılına kadar ise yaklaşık %95 oranında azalmaktadır. Ağır sanayilerin aksine, bu alt sektörlerde derin emisyon azaltımları için gereken teknolojilerin çoğu piyasada mevcuttur ve kullanıma hazırdır. Bunun nedeni kısmen, toplam ısı talebinin %90'ından fazlasının daha kolay ve verimli bir şekilde elektrikleştirilebilen düşük/orta sıcaklıkta olmasıdır.

Şekil 3.20► NZE'deki hafif sanayilerde sıcaklık seviyesine göre ısıtma teknolojisinin payı



Notlar: Hafif sanayi, belirtilmemiş endüstriyel enerji tüketimini hariç tutmaktadır. Düşük/orta sıcaklıktaki ısı 0-400 °C'ye, yüksek sıcaklıktaki ısı ise >400 °C'ye karşılık gelmektedir. Diğer ısı kaynakları arasında güneş enerjisi ve jeotermal ısıtıcıların yanı sıra enerji yakıt dönüşüm sektöründen elde edilen ısı yer almaktadır.

Yüksek sıcaklık ısı talebinde elektrikli ısıtıcıların payı, bugün %20'den az iken 2030'da yaklaşık %40'a ve 2050'de yaklaşık %65'e yükselecektir

Elektrik, 2030 yılına kadar ısı talebinin yaklaşık %40'ını, 2050 yılına kadar ise yaklaşık %65'ini oluşturmaktadır. Düşük (<100 °C) ve bazı orta (100-400 °C) sıcaklıktaki ısılar için elektrifikasyon, ısı pompaları için önemli bir rol içermektedir (2050'de toplam ısı talebinin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır). NZE'de önümüzdeki 30 yıl boyunca her ay yaklaşık 500 MW ısı pompası kurulması gerekmektedir. Elektrifikasyonun yanı sıra, 2050 yılında toplam enerji talebinin sırasıyla yaklaşık %20'sini ve yaklaşık %15'ini oluşturan yüksek sıcaklıklı ısı (>400 °C) için hidrojen ve biyoenerji için daha küçük roller vardır (Şekil 3.20). Elektrolizör kapasitesinin yayılma oranı ağır sanayilere göre çok daha düşüktür, ancak ünite boyutları da

çok daha küçüktür. Isı talebinin yaklaşık %5'i, güneş enerjisi ve jeotermal ısıtma teknolojileri de dahil olmak üzere yenilenebilir kaynakların doğrudan kullanımıyla karşılanmaktadır.

Enerji verimliliği, özellikle elektrik motorlarında (konveyörler, pompalar ve diğer tahrik sistemleri) artan verimlilik yoluyla bu imalat endüstrilerinde de kritik bir rol oynamaktadır. 2030 yılına kadar diğer sektörlerdeki motor satışlarının %90'ı Sınıf 3 veya üzeri olacaktır.

3.5.2 Kilit kilometre taşları ve karar noktaları

Tablo 3.3► Küresel ağır sanayi alt sektörlerinin dönüşümünde önemli kilometre taşları

Kategori	2020	2030	2050
Ağır sanayi	- 2035: neredeyse tüm kapasite ilaveleri yenilikçi düşük emisyonlu güzergahlardır.		
Endüstriyel motorlar	- 2035: tüm elektrikli motor satışları sınıfının en iyisi.		
Kategori	2020	2030	2050
Toplam endüstri			
Elektriğin toplam nihai tüketim içindeki payı	21%	28%	46%
Hidrojen talebi (Mt _{H2})	51	93	187
Yakalanan CO ₂ (Mt CO ₂)	3	375	2 800
Kimyasallar			
Geri dönüşüm payı: plastik toplamada yeniden kullanım	17%	27%	54%
ikincil üretimde yeniden kullanım	8%	14%	35%
Hidrojen talebi (Mt _{H2})	46	63	83
yerinde elektrolizör kapasitesi ile (GW)	0	38	210
Yenilikçi yollarla yapılan üretimin payı	1%	13%	93%
Yakalanan CO ₂ (Mt CO ₂)	2	70	540
Çelik			
Geri dönüşüm, yeniden kullanım: girdi payı olarak hurda	32%	38%	46%
Hidrojen talebi (Mt _{H2})	5	19	54
yerinde elektrolizör kapasitesi ile (GW)	0	36	295
Birincil çelik üretimindeki payı: hidrojen bazlı DRI-EAF	0%	2%	29%
demir cevheri elektrolizi-EAF	0%	0%	13%
CCUS donanımlı süreçler	0%	6%	53%
Yakalanan CO ₂	1	70	670
Çimento			
Klinker/çimento oranı	0.71	0.65	0.57
Hidrojen talebi (Mt _{H2})	0	2	12
Yenilikçi yollarla yapılan üretimin payı	0%	9%	93%
Yakalanan CO ₂ (Mt CO ₂)	0	215	1 355

Not: DRI= doğrudan indirgenmiş demir; EAF= elektrik ark ocağı.

2030'dan NZE'de sanayide eklenecek tüm yeni kapasiteler sıfıra yakın emisyon teknolojilerine sahip olacaktır. Eklenecek ve değiştirilecek ağır sanayi kapasitesinin çoğu

önümüzdeki yıllarda yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdedir; gelişmiş ekonomilerden finansal destek bekleyebilirler. NZE, 2030'dan 2050'ye kadar her ay CCUS ile donatılmış ilave 10 sanayi tesisi, üç ilave tamamen hidrojen bazlı sanayi tesisi ve sanayi tesislerinde 2 GW ilave elektrolizör kapasitesi anlamına gelmektedir. Zor olsa da bu başarılabilir. Karşılaştırma yapmak gerekirse, 2000-2015 yılları arasında sadece Çin'de ayda ortalama 12 ağır sanayi tesisi sıfırdan inşa edilmiştir. 2050 yılına gelindiğinde, ağır sanayideki üretimin neredeyse tamamı sıfıra yakın emisyon teknolojileriyle gerçekleştirilecektir.

Ağır sanayide NZE'de öngörülen ölçekte ve hızda temiz enerji geçişlerinin sağlanması için hükümetlerin kararlı bir şekilde harekete geçmesi zorunludur. Önümüzdeki iki yıl içinde, gelişmiş ekonomilerdeki hükümetlerin kritik sifıra yakın emisyonlu endüstriyel teknolojiler için Ar-Ge finansmanı ve bu teknolojilerin ölçekli olarak sergilenmesiyle ilgili yatırım risklerinin azaltılması konusunda kararlar alması gerekecektir. Bu, her bir teknoloji için farklı bölgelerde en az iki veya üç ticari tanıtım projesine ve 2020'lerin ortalarına kadar piyasaya sürülmesine yol açmalıdır. Uluslararası koordinasyon ve işbirliği, kaynakların daha iyi kullanılmasını kolaylaştıracak ve finansman boşluklarının önlenmesine yardımcı olacaktır.

Hükümetlerin ayrıca sıfıra yakın emisyon teknolojilerinin büyük ölçekli dağıtımına ilişkin erken kararlar alması gerekmektedir. Gelişmiş ekonomilerde 2024, yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde ise 2026 yılına kadar hükümetlerin, çelik ve kimya tesisleri için bir sonraki kapasite ilaveleri ve değişim serilerine sıfıra yakın emisyon teknolojilerini dahil etmeye yönelik bir stratejiye sahip olmaları gerekmektedir. Bu strateji, CCUS, hidrojen veya her ikisinin bir kombinasyonunun izlenip izlenmeyeceğine ilişkin kararları içermelidir. Bu stratejilerin başarılı olabilmesi için, hidrojen üretimi için temiz elektrik üretimi ile birlikte CCUS ve/veya hidrojen için gerekli altyapının geliştirilmesi ve finanse edilmesine yönelik somut planlar içermesi gerekmektedir. Uzun teslim süreleri göz önüne alındığında, gerekli altyapının inşasına mümkün olan en kısa sürede başlanmalıdır.

Benzer bir zaman dilimi içinde, çimento üreten ülkelerin hükümetleri, gerekli yasal ve düzenleyici çerçeveler de dahil olmak üzere, bu alt sektör için gerekli CCUS altyapısını nasıl geliştireceklerine karar vermelidir. İthalatçı ülkeler, tedariği sağlamak ve diğer ülkelere orantısız bir yük bindirmekten kaçınmak için başka yerlerde CCUS donanımlı tesislerin geliştirilmesini destekleme ihtiyacını içerebilecek düşük emisyonlu çimentonun münhasır kullanımına aşamalı olarak geçmek için planlar yapmalıdır.

Stratejiler belirli politikalarla desteklenmelidir. 2025 yılına kadar tüm ülkeler, kapasite ilavelerinde bir sonraki yatırım dalgasının sıfıra yakın emisyon teknolojilerini içereceğine dair kesinlik sağlamak için uzun vadeli bir CO₂ emisyon azaltma politikası çerçevesine sahip olmalıdır. Başarılı stratejilerin, fark için karbon sözleşmeleri, kamu alımları ve özel sektör alımlarını teşvik edecek teşvikler gibi başlangıç tedbirleri gerektirmesi muhtemeldir. Yeni teknolojiler kullanılmaya başlandıkça ve maliyetler düştükçe, yaklaşık 2030 yılına kadar bu ilk önlemlerin CO₂ vergileri, emisyon ticaret sistemleri ve emisyon performans standartları gibi diğer önlemlerle değiştirilmesi için güçlü bir gerekçe olması muhtemeldir. Sıfıra yakın emisyon kapasite ilaveleri için finansman desteği de düşük faizli ve imtiyazlı krediler ve karma finansman gibi önlemlerin yanı sıra aşağıdakilerin katkıları yoluyla önemli bir rol oynayabilir

Gelişmiş ekonomilerden yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdeki projeleri destekleyen fonlara. Stratejiler ayrıca, örneğin tasarım yönetmeliklerini gözden geçirerek, daha uzun ürün ve bina ömürlerini teşvik etmek için teşvikler benimseyerek ve geri dönüşüm için malzeme toplama ve ayırma sistemlerini geliştirerek malzeme verimliliği yoluyla endüstriyel emisyonları azaltmaya yönelik önlemleri de içermelidir.

Eşit bir oyun alanı oluşturmak amacıyla, 2020'lerin ortalarına kadar küresel olarak ticareti yapılan ürünler için sifıra yakın emisyonla geçiş konusunda uluslararası bir anlaşma yapılması için güçlü bir gerekçe bulunmaktadır. Alternatif olarak, ülkelerin yerel sifıra yakın emisyon üretimini emisyon yaratan ürünlerin rekabetinden korumak için önlemlere başvurmaları gerekebilir. Bu tür herhangi bir politikanın, Dünya Ticaret Örgütü gibi uluslararası ticareti yöneten düzenleyici çerçevelere saygı gösterecek şekilde tasarlanması gerekecektir.

Hızlandırılmış inovasyon zaman çizelgeleri ve güçlü politikalar yürürlükte olsa bile, sifıra yakın emisyon teknolojileri mevcut olmadan önce önümüzdeki on yıl içinde talebi karşılamak için bazı yüksek emisyonlu kapasite ilavelerine ihtiyaç duyulacaktır. Hükümetlerin, önümüzdeki birkaç yıl içinde eklenecek kapasitenin önümüzdeki yıllarda sifıra yakın emisyon teknolojilerini entegre edebilecek teknik kapasiteye ve alan gereksinimine sahip olması için, yeni kapasitelerin güçlendirmeye hazır tasarımlar içermesini zorunlu tutması mantıklı olacaktır. 2030'un ötesinde, NZE'ye yapılan yatırımlar yenilikçi sifıra yakın emisyonlu süreç rotalarıyla sınırlıdır.

Hükümetler, hafif imalat sanayilerinde halihazırda mevcut olan sifıra yakın emisyon teknolojilerinin kullanılmasını teşvik edecek tedbirlere duyulan ihtiyacı göz ardı etmemelidir. Bir karbon fiyatının benimsenmesi ve daha sonra büyük imalatçılar için karbon vergileri veya emisyon ticareti sistemleri yoluyla fiyatın zaman içinde yeterince artırılması, bu hedefe ulaşmanın en basit yolu olabilir. Ticareti yapılabilir düşük karbonlu yakıt ve emisyon standartları gibi diğer düzenleyici tedbirler de aynı sonucu verebilir, ancak daha fazla idari karmaşıklık içerebilir. Yeni motorlar ve kazanlar için asgari enerji performans standartları gibi NZE'deki enerji verimliliği tasarruflarına ulaşmak için teknoloji zorunluluklarına ihtiyaç duyulması muhtemeldir. Küçük ve orta ölçekli işletmeler için özel programlar ve teşvikler de yararlı bir rol oynayabilir.

3.6 Nakliye

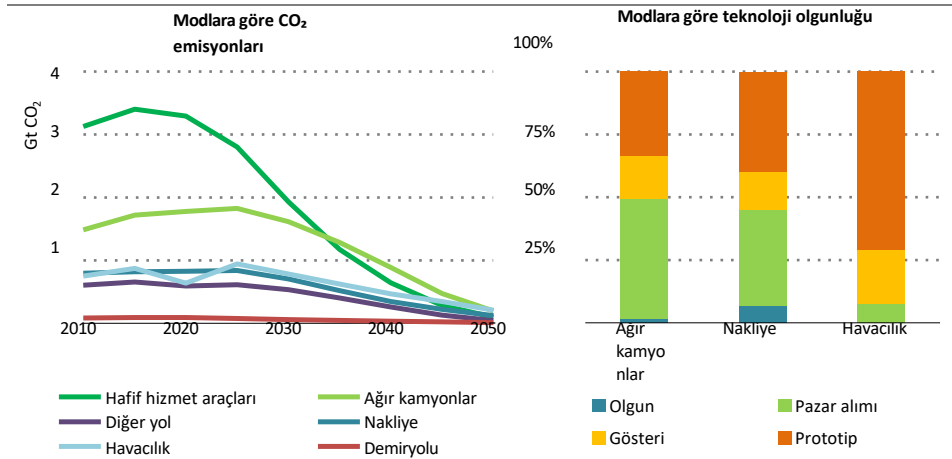
3.6.1 Net Sıfır Emisyon Senaryosunda enerji ve emisyon eğilimleri

Küresel ulaştırma sektörü 2020 yılında 7 Gt'un üzerinde CO₂'ve Covid-19 pandemisinden önce 2019 yılında yaklaşık 8,5 Gt CO₂ salmıştır.⁷ Yeni Zelanda'da ulaştırma sektörü CO₂ salımları 2030 yılında 5,5 'un biraz üzerindedir. 2050 yılına gelindiğinde ise 0,7 civarındadır - 2020 seviyelerine göre %90'lık bir düşüş. CO₂ emisyonları, 2050 yılına kadar neredeyse iki katına çıkan yolcu seyahatleri ve mevcut seviyelerden iki buçuk kat artan yük faaliyetleri ve küresel binek araç filosunun 2020'de 1,2 milyar araçtan 2050'de 2 milyara yaklaşan bir artışla hızla yükselmesine rağmen azalmaktadır.

⁷ Aksi belirtilmedikçe, burada rapor edilen CO₂ emisyonları, araçların çalışması sırasında yakılan fosil yakıttan kaynaklanan doğrudan emisyonlardır.

Ulaştırma modları aynı oranda karbonsuzlaşmamaktadır çünkü teknoloji olgunluğu aralarında belirgin farklılıklar göstermektedir (Şekil 3.21). İki/üç tekerlekli araçlardan kaynaklanan CO₂ emisyonları 2040 yılına kadar neredeyse durmakta, bunu 2040'ların sonunda otomobiller, kamyonetler ve demiryolu takip etmektedir. Ağır kamyonlar, nakliye ve havacılıktan kaynaklanan emisyonlar 2020 ve 2050 yılları arasında yıllık ortalama %6 oranında azalmaktadır, ancak yine de 2050 yılında toplam olarak 0,5 Gt CO₂'den fazladır. Bu durum, öngörülen faaliyet büyümesini ve uzun mesafe taşımacılığında CO₂ emisyonlarını azaltmak için gereken teknolojilerin çoğunun şu anda geliştirilme aşamasında olduğunu ve önümüzdeki on yıl içinde pazara önemli bir giriş yapmayacağını yansıtmaktadır.

Şekil 3.21 ► Modlara göre küresel CO₂ ulaştırma emisyonları ve NZE'deki teknoloji olgunluğuna göre 2050'ye kadar emisyon azaltımının payı



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Binek otomobiller piyasadaki düşük emisyonlu teknolojilerden faydalanabilir, ancak ağır kamyonlar, nakliye ve havacılık sektörlerinde emisyonlarını azaltmak için büyük ilerlemelere ihtiyaç vardır

Notlar: Diğer karayolu = iki/üç tekerlekli araçlar ve otobüsler. Deniz taşımacılığı ve havacılık hem yurtiçi hem de uluslararası operasyonları içermektedir. Vade kategorilerine ilişkin ayrıntılar için Kutu 2.4'e bakınız.

Yeni Zelanda'da ulaştırma sektörünün karbonsuzlaştırılması, enerji verimliliğindeki gelişmelerin yanı sıra yolcu taşımacılığı modları arasında mod değişimlerini ve daha verimli operasyonları teşvik eden politikalara (bkz. Bölüm 2.5.7 ve 4.4.3⁽⁸⁾) dayanmaktadır. Ayrıca iki önemli teknoloji geçişine de bağlıdır: elektrikli mobiliteye geçiş (elektrikli araçlar [EVs] ve yakıt hücresel elektrikli araçlar [FCEVs]⁽⁹⁾) ve daha yüksek yakıt harmanlama oranlarına ve doğrudan

⁸ Verimli operasyonlara örnek olarak şunlar verilebilir: yolcu taşımacılığında çeşitli modların kesintisiz entegrasyonu (modlar arası) ve "Hizmet Olarak Mobilité"; karayolu taşımacılığında lojistik önlemler, örneğin geri taşıma, gece teslimatları, gerçek zamanlı rotalama; denizcilikte yavaş buharlama; ve hava trafik yönetimi, örneğin havacılıkta iniş ve kalkış planlaması.

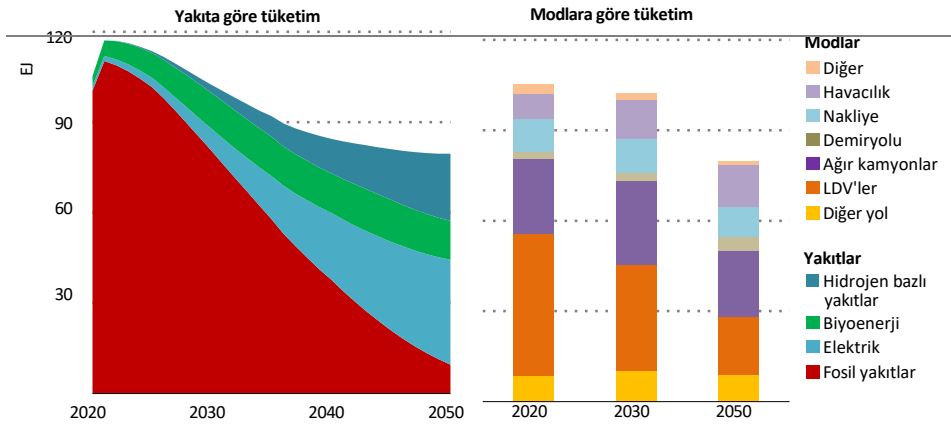
⁹ EA'lar bataryalı elektrikli araçları, fişli hibrit elektrikli-benzinli araçları ve fişli hibrit elektrikli-dizel araçları içerir. FCEV'ler bir batarya ve elektrik motoru içerir ve egzoz borusu emisyonları olmadan çalışabilir.

düşük karbonlu yakıtlar (biyoyakıtlar ve hidrojen bazlı yakıtlar). Bu değişimlerin, tedarik altyapısına yatırımı teşvik etmek ve tüketici alımını özendirmek için müdahaleler gerektirmesi muhtemeldir.

Taşımacılık geleneksel olarak büyük ölçüde petrol ürünlerine bağımlı olmuştur ve biyoyakıtlar ve elektriğin ilerlemesine rağmen 2020 yılında taşımacılık sektörü enerji ihtiyacının %90'ından fazlasını oluşturmuştur (Şekil 3.22). NZE'de petrolün payı 2030'da %75'in altına, 2050'de ise %10'un biraz üzerine düşmektedir. 2040'ların başında elektrik, NZE'de dünya çapında ulaştırma sektöründe baskın yakıt haline gelir: 2050'de toplam nihai tüketimin yaklaşık %45'ini oluşturur, bunu hidrojen bazlı yakıtlar (%28) ve biyoenerji (%16) takip eder. Biyoyakıtlar, karayolu taşımacılığında 2030 yılına kadar petrol ürünlerinde neredeyse %15'lik bir harmanlama payına ulaşır ve bu da petrol ihtiyacını yaklaşık

Günde 4,5 milyon varil petrol eşdeğeri (mboe/d). 2030'un ötesinde biyoyakıtlar, elektrik ve hidrojen kullanımının daha sınırlı olduğu havacılık ve denizcilikte giderek daha fazla kullanılmaktadır. Hidrojen taşıyıcıları (amonyak gibi) ve düşük emisyonlu sentetik yakıtlar da bu modlardaki enerji talebinin artan paylarını karşılamaktadır.

Şekil 3.22▶ Yeni Zelanda'da yakıt türü ve moduna göre küresel taşımacılık nihai tüketimi



IEA, Tüm hakları saklıdır.

Elektrik ve hidrojen bazlı yakıtlar 2050 yılına kadar ulaşım enerjisi talebinin %70'inden fazlasını oluşturacak

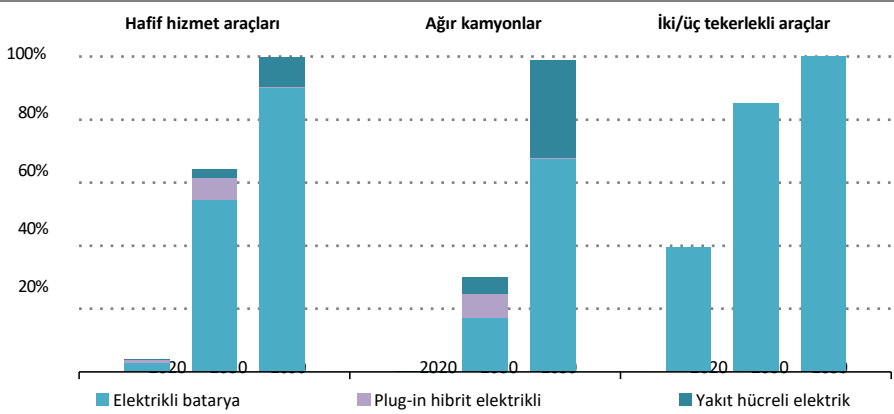
Not: LDV= Hafif hizmet araçları; Diğer karayolu araçları= iki/üç tekerlekli araçlar ve otobüsler.

Karayolu araçları

Elektrifikasyon, Yeni Zelanda'da karayolu taşıtlarının karbondan arındırılmasında merkezi bir rol oynamaktadır. Batarya maliyetlerinin on yıl içinde neredeyse %90 oranında düşmesi, elektrikli binek araç satışlarını son beş yılda ortalama %40 oranında artırmıştır. Batarya teknolojisi halihazırda ticari açıdan nispeten rekabetçidir. FCEV'ler 2020'lerde NZE'de ilerleme kaydetmeye başlar. Ağır kamyonların elektrifikasyonu, bataryaların ağırlığı, yüksek enerji ve güç tüketimi nedeniyle daha yavaş ilerlemektedir.

şarj için gereken gereksinimler ve sürüş menzillerindeki sınırlamalar. Ancak yakıt hücreli ağır kamyonlar, özellikle 2030'dan sonra önemli ilerleme kaydetmektedir (Şekil 3.23). Dünya yollarındaki bataryalı elektrikli, plug-in hibrit ve yakıt hücreli elektrikli hafif hizmet araçlarının (otomobil ve kamyonet) sayısı 2020'de 11 milyon iken 2030'da 350 , 2050'de ise neredeyse 2 milyara ulaşacaktır. Elektrikli iki/üç tekerlekli araçların sayısı da hızla artarak bugün 300 biraz altında iken 2030'da 600 milyona, 2050'de ise 1,2 milyara ulaşacaktır. Elektrikli otobüs filosu 2020'de 0,5 milyondan 2030'da 8 milyona ve 2050'de 50 milyona çıkacaktır.

Şekil 3.23 ► NZE'de araç türüne göre bataryalı elektrikli, plug-in hibrit ve yakıt hücreli elektrikli araçların toplam satışlar içindeki küresel payı



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Bataryalı elektrikli, plug-in hibrit ve yakıt hücreli elektrikli araç satışları küresel çapta artıyor

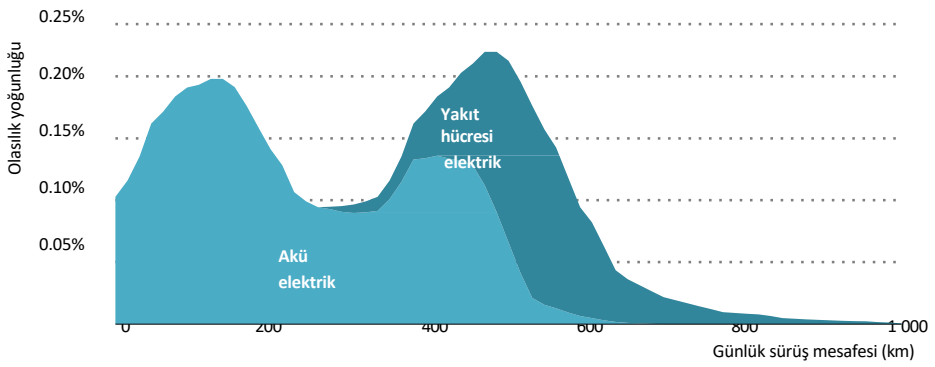
Not: Hafif hizmet araçları= binek otomobiller ve minibüsler; Ağır kamyonlar= orta ve ağır yük kamyonları.

Hafif hizmet araçları orta vadede gelişmiş ekonomilerde daha hızlı elektrikli hale gelmekte ve 2030 yılına kadar satışların yaklaşık %75'ini oluşturmaktadır. Yükselen ve gelişmekte olan ekonomilerde ise satışların yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Gelişmiş ekonomilerde 2030'ların başında, yükselen ve gelişmekte olan ekonomilerde ise 2030'ların ortasında hafif hizmet araç satışlarının neredeyse tamamı bataryalı elektrikli, plug-in hibrit veya yakıt hücreli elektrikli olacaktır.

Uzun mesafelerde çalışan ağır kamyonlar için, şu anda biyoyakıtlar dizelin başlıca uygulanabilir ticari alternatifidir ve 2020'lerde ağır hizmet kamyonlarından kaynaklanan emisyonların azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. 2030'un ötesinde, destekleyici altyapı inşa edildikçe ve maliyetler düştükçe (daha düşük batarya maliyetleri, enerji yoğunluğu iyileştirmeleri ve hidrojen üretim ve dağıtım maliyetlerinin düşmesi) Yeni Zelanda'da elektrikli ve hidrojenle çalışan ağır kamyonların sayısı artacaktır (IEA, 2020b). Bu durum, biyoyakıtlar 2050 yılında ağır hizmet kamyonlarının yakıt ihtiyacının yaklaşık %10'unu karşılamaya devam etse de (bkz. Bölüm 2), sınırlı kaynakların giderek havacılık ve denizcilik ortadan kaldırılması zor segmentlere yönelmesi nedeniyle sürdürülebilir biyoenerjinin mevcudiyetindeki azalmayla aynı zamana denk gelmektedir. Gelişmiş ekonomiler daha yüksek bir batarya pazar payına sahiptir

2030'da elektrikli ve yakıt hücreli ağır hizmet kamyonu satışları, yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdeki seviyenin iki katından fazladır, ancak bu fark 2050'ye doğru kapanmaktadır.

Şekil 3.24► Günlük sürüş mesafesine göre ağır kamyon dağılımı, 2050



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Sürüş mesafesi, kamyonlar için güç aktarma organı seçimini etkileyen en önemli faktördür

NZE'nin hedeflerinin gerçekleştirilmesi, batarya üretiminin hızla artırılmasına (2030 yılı için açıklanan mevcut üretim kapasitesi, o yıl için gerekli talebin yalnızca %50'sini karşılayacaktır) ve 2025 ile 2030 yılları arasında yeni nesil batarya teknolojinin (katı hal bataryaları) hızla piyasaya sürülmesine bağlıdır. Kamyonlara elektrik sağlamak için iletken veya endüktif güç aktarımı kullanan elektrikli yol sistemleri, uzun mesafeli operasyonlarda bataryalı elektrikli ve yakıt hücreli elektrikli kamyonlar için bir alternatif sunmaktadır, ancak bu sistemlerin de hızlı bir şekilde geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Havacılık¹⁰

NZE, gelir-yolcu kilometresi olarak ölçülen hava yolculuğunun 2020'ye göre 2050'ye kadar yılda sadece yaklaşık %3 artacağını varsaymaktadır. Bu oran 2010-19 döneminde yaklaşık %6'dır. NZE, havacılıktaki büyümenin, yüksek hızlı demiryoluna geçişi teşvik eden ve örneğin ticari yolcu uçuşlarına uygulanan vergiler yoluyla uzun mesafeli iş genişlemesini dizginleyen kapsamlı hükümet politikaları tarafından kısıtlandığını varsaymaktadır (bkz. bölüm 2.5.2).

Havacılıktan kaynaklanan küresel CO₂ emisyonları NZE'de 2020'de yaklaşık 640 Mt'den (2019'da yaklaşık 1 Gt'den) yaklaşık 2025'te 950 'lik bir zirveye çıkmaktadır. Düşük emisyonlu yakıtların kullanımı arttıkça emisyonlar 2050 yılında 210 Mt'a düşecektir. Emisyonların azaltılması zordur çünkü havacılık

¹⁰ Burada ele alınan havacılık hem yurtiçi hem de uluslararası uçuşları içermektedir. Burada ticari yolcu havacılığına odaklanılmakla birlikte, yakıt kullanımı ve emisyonların toplamda %10'undan fazlasını oluşturan özel yük ve genel (askeri ve özel) havacılık da enerji ve emisyon dahil edilmiştir.

yüksek enerji yoğunluğuna sahip yakıt gerektirir. Havacılıktaki emisyonlar, 2050 yılında fosil yakıtlar ve endüstriyel süreçlerden kaynaklanan azaltılmamış CO₂ %10'undan biraz fazlasını oluşturmaktadır.

NZE'de, jet gazyağının küresel kullanımı 2020'de 9 EJ'den (ve Covid-19 krizinden önce 2019'da yaklaşık 14,5 EJ'den) 2050'de yaklaşık 3 EJ'ye düşmekte ve toplam enerji kullanımındaki payı neredeyse %100'den %20'nin biraz üzerine inmektedir. Sürdürülebilir havacılık yakıtı (SAF) kullanımı 2020'lerin sonunda önemli ölçüde artmaya başlar. 2030 yılında, havacılıkta toplam yakıt tüketiminin yaklaşık %15'i SAF olup, bunun büyük bir kısmı biyojet gazyağıdır (bir tür sıvı biyoyakıt). Bunun, orta mesafeli bir uçuşun (1200 km) bilet fiyatını yolcu başına yaklaşık 3 ABD doları artıracağı tahmin edilmektedir. 2050 yılına gelindiğinde biyojet gazyağı havacılıktaki toplam yakıt tüketiminin %45'ini, sentetik hidrojen bazlı yakıtlar ise yaklaşık %30'unu karşılayacaktır. Bu durumun 2050 yılında orta mesafeli bir uçuş için bilet fiyatını yolcu başına yaklaşık 10 ABD doları artıracağı tahmin edilmektedir. NZE ayrıca 2035'ten itibaren ticari bataryalı elektrikli ve hidrojenli uçakların benimseneceğini öngörmektedir, ancak bunlar 2050'de yakıt tüketiminin %2'sinden azını oluşturmaktadır.

Uçak gövdeleri ve motorlara yönelik yakıt verimliliği teknolojileriyle birlikte operasyonel iyileştirmeler de NZE'deki yakıt talebi artışının hızını keserek CO₂ emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bu iyileştirmeler artarak devam etmektedir, ancak açık rotorlar, karma kanat gövdeli uçak gövdeleri ve hibridizasyon gibi devrim niteliğindeki teknolojiler daha fazla kazanım sağlayabilir ve sektörün Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü'nün (ICAO) iddialı 2050 verimlilik hedeflerine ulaşmasını (IEA, 2020b).

Deniz taşımacılığı¹¹

Deniz taşımacılığı, 2020 yılında dünya çapında yaklaşık 830 Mt CO₂ emisyonundan (2019'da 880 Mt CO₂) sorumluydu ve bu da toplam enerji sektörü yaklaşık %2,5'ine denk geliyordu. Piyasadaki mevcut düşük karbonlu seçeneklerin eksikliği ve gemilerin uzun kullanım ömrü (tipik olarak 25-35 yıl) nedeniyle, deniz taşımacılığı NZE'de 2050 yılına kadar sıfır emisyonu ulaşamayan birkaç ulaşım modundan biridir. Bununla birlikte, gemicilikten kaynaklanan emisyonlar yılda %6 azalarak 2050 yılında 120 Mt CO₂'ye düşmektedir.

Kısa vadede, operasyonel verimliliği optimize etmeye ve enerji verimliliğini artırmaya yönelik önlemler yoluyla denizcilikte yakıt tüketimini azaltmak için önemli bir potansiyel bulunmaktadır. Bu tür yaklaşımlar arasında yavaş seyir ve rüzgar destekli teknolojilerin kullanımı yer almaktadır (IEA, 2020b). Orta ve uzun vadede, biyoyakıtlar, hidrojen ve amonyak gibi düşük karbonlu yakıtlara geçilerek NZE'de önemli emisyon azaltımları sağlanabilir. Amonyak, ölçek büyütme için özellikle iyi bir aday ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip yakıtı ihtiyaç duyan uzun menzilli okyanus ötesi yolculuklar için kritik bir yakıt olarak görünmektedir.

Amonyak ve hidrojen, NZE'de önümüzdeki otuz yıl içinde gemicilik için benimsenen ana düşük karbonlu yakıtlardır ve gemicilikteki toplam enerji tüketimindeki toplam payları 2050'de yaklaşık %60'a ulaşacaktır. Dünyanın en büyük 20 limanı küresel kargonun yarısından fazlasını karşılamaktadır (UNCTAD, 2018); bu limanlar hidrojen ve amonyak üretmek için endüstriyel merkezler haline gelebilir.

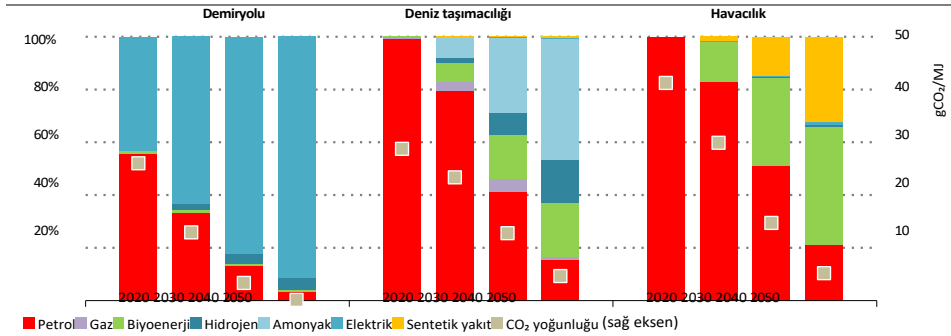
¹¹ Burada deniz taşımacılığı hem yurtiçi hem de uluslararası operasyonları kapsamaktadır.

amonyak hem kimya ve rafineri endüstrilerinde hem de gemilere yakıt ikmali için kullanılmaktadır. Amonyakla çalışan gemiler için içten yanmalı motorlar şu anda en büyük iki deniz motoru üreticisi tarafından geliştirilmektedir ve 2024 yılına kadar piyasaya sunulması beklenmektedir. Sürdürülebilir biyoyakıtlar 2050 yılında toplam denizcilik enerji ihtiyacının neredeyse %20'sini karşılayacaktır. Bataryaların sıvı yakıtlara kıyasla nispeten düşük enerji yoğunluğu, bataryaları yalnızca 200 km'ye olan nakliye rotaları için uygun hale getirdiğinden, elektrik çok küçük bir rol oynamaktadır. Katı hal bataryaları piyasaya çıktıkça NZE'deki batarya enerji yoğunluğunda %85'lik bir artış olsa bile, sadece kısa mesafeli nakliye rotaları elektrikli hale getirilebilir.

Demiryolu

Demiryolu taşımacılığı, insanları taşımanın en enerji verimli ve en az karbon yoğun yoludur ve malları taşımak için deniz taşımacılığından sonra ikinci sıradadır. Yeni Zelanda'da 2050 yılına kadar yolcu demiryolunun toplam taşımacılık faaliyeti içindeki payı neredeyse iki katına çıkarak %20'ye ulaşacak ve özellikle şehir içi ve yüksek hızlı demiryollarında (YHT) hızlı bir büyüme yaşanacaktır. Demiryolu sektöründen kaynaklanan küresel CO₂ emisyonları, 2020'de 95 Mt CO₂ (2019'da 100 Mt CO₂) iken, özellikle hızlı elektrifikasyonun etkisiyle Yeni Zelanda'da 2050'ye kadar neredeyse sıfıra düşer.

Şekil 3.25► NZE'de karayolu dışı sektörlerde yakıt ve CO₂ yoğunluğuna göre küresel enerji tüketimi



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Demiryolları karbonsuzlaştırma için büyük ölçüde elektrife güvenirken, denizcilik ve havacılık ağırlıklı olarak düşük emisyonlu yakıtlara geçerek emisyonları azaltıyor

Not: Sentetik yakıt= düşük emisyonlu sentetik hidrojen bazlı yakıtlar.

NZE'de, yüksek iş hacmine sahip koridorlardaki tüm yeni hatlar bundan sonra elektrikli hale getirilirken, Avrupa'da yakın zamanda sergilenen hidrojen ve bataryalı elektrikli trenler, iş hacminin elektrifikasyonu ekonomik olarak hale getirmek için çok düşük olduğu demiryolu hatlarında benimsenmektedir. 2020'de demiryolu sektöründeki toplam enerji tüketiminin %55'ini oluşturan petrol kullanımı 2050'de neredeyse sıfıra düşmektedir: petrolün yerini demiryolu enerji ihtiyacının %90'ından fazlasını sağlayan elektrik ve %5'ini sağlayan hidrojen almaktadır.

3.6.2 Kilit kilometre taşları ve karar noktaları

Tablo 3.4► Küresel ulaştırma sektörünün dönüşümünde kilit kilometre taşları

Kategori				
Karayolu taşımacılığı - 2035: küresel çapta yeni içten yanmalı motorlu binek araç satışı yok				
Havacılık ve denizcilik • Sıkı karbon emisyon yoğunluğu azaltma hedeflerinin mümkün olan en kısa sürede uygulanması.				
Kategori	2020	2030	2050	
Karayolu taşımacılığı				
PHEV, BEV ve FCEV'in satışlardaki payı: otomobiller	5%	64%	100%	
iki/üç tekerlekli	40%	85%	100%	
otobüs	3%	60%	100%	
minibüsler	0%	72%	100%	
ağır kamyonlar	0%	30%	99%	
Petrol ürünlerinde biyoyakıt harmanlama	5%	13%	41%	
Demiryolu				
Elektrik ve hidrojenin toplam enerji tüketimindeki payı	43%	65%	96%	
Modal kaymaya bağlı faaliyet artışı (endeks 2020=100)	100	100	130	
Havacılık				
Toplam havacılık enerji tüketiminde sentetik hidrojen bazlı yakıtların payı	0%	2%	33%	
Toplam havacılık enerji tüketiminde biyoyakıtların payı	0%	16%	45%	
Davranış önlemlerinden kaçınılan talep (endeks 2020=100)	0	20	38	
Nakliye				
Toplam denizcilik enerji tüketimindeki pay: Amonyak	0%	8%	46%	
Hidrojen	0%	2%	17%	
Biyoenerji	0%	7%	21%	
Altyapı				
Kamuya açık elektrikli araç şarjı (milyon adet)	1.3	40	200	
Hidrojen yakıt ikmal üniteleri	540	18 000	90 000	
Elektrikli demiryolu hatlarının payı	34%	47%	65%	

Not: PHEV= plug-in hibrid elektrikli araçlar; BEV= bataryalı elektrikli araçlar; FCEV= yakıt hücreli elektrikli araçlar.

Elektrifikasyon, karayolu ve demiryolu modlarından kaynaklanan CO₂ emisyonlarını azaltmak için ana seçenektir, teknolojiler halihazırda piyasadadır ve elektrikli araçlar için şarj altyapısının yaygınlaştırılmasıyla birlikte derhal hızlandırılmalıdır. Aşılması zor sektörlerde (ağır kamyonlar, nakliye ve havacılık) derin emisyon azaltımları, hidrojen yakıt ikmal istasyonları da dahil olmak üzere ilgili altyapının geliştirilmesine yönelik planlarla birlikte, bugün büyük ölçüde prototip ve gösteri aşamalarında olan gerekli teknolojilerin önümüzdeki on yıl içinde büyük ölçüde artırılmasını gerektirmektedir.

NZE doğrultusunda azaltma yolunda ilerlemek için gereken ulaşım dönüşümü, önümüzdeki on yıl içinde bir dizi hükümet kararını gerektirmektedir. Önümüzdeki birkaç yıl içinde tüm hükümetlerin fosil yakıt sübvansiyonlarını ortadan kaldırması ve tüm ulaştırma sektöründe düşük karbonlu teknolojilere ve yakıtlara geçişi teşvik etmesi gerekmektedir. 2025 yılından önce, hükümetlerin stratejik öncelikleri ve ihtiyaçları doğrultusunda ulaştırmanın karbonsuzlaştırılmasına katkıda bulunabilecek tüm teknolojiler için net Ar-Ge öncelikleri tanımlamaları gerekmektedir. İdeal olarak bu, uluslararası diyalog ve işbirliği ile sağlanmalıdır. Ar-Ge, özellikle acil bir öncelik olması gereken batarya teknolojisi için kritik önem taşımaktadır.

NZE'nin gerektirdiği emisyon azaltımlarına ulaşmak için, hükümetlerin yeni içten yanmalı motorlu araçların satışının sona ereceği sinyali vermek için de hızlı hareket etmeleri gerekmektedir. Erken taahhütler, özel sektörün yeni güç aktarma organlarına, ilgili tedarik zincirlerine ve yakıt ikmali altyapısına gerekli yatırımı yapmasına yardımcı olacaktır (bkz. Bölüm 4.3.4). Bu, uzun vadeli planlama gerektiren batarya metallerinin tedariki için özellikle önemlidir (IEA, 2021a).

2025 yılına kadar, özel şarj cihazlarına erişimi olmayan hanelerin elektrikli araçları tercih etmesine olanak sağlamak için kentsel alanlarda elektrikli araçların kamusal şarj altyapısının geniş ölçekli dağıtımının yeterince gelişmiş olması gerekmektedir. Hükümetler, cihazlarını kuran şirketler için sürdürülebilir iş modelleri sağlamalı, planlama ve inşaatın önündeki engelleri kaldırmalı ve akıllı şarjı mümkün kılmak ve teşvik etmek ve elektrikli araçların elektrik şebekesi istikrarını desteklemesini ve değişken yenilenebilir enerjilerin benimsenmesini teşvik etmesini sağlamak için düzenleyici, mali ve teknolojik önlemleri uygulamaya koymalıdır (IEA, 2021b).

Ağır kamyonlar için akülü elektrikli kamyonlar yeni yeni piyasaya çıkmaya başlamıştır ve yakıt hücreli elektrikli teknolojilerin önümüzdeki birkaç yıl içinde piyasaya çıkması beklenmektedir. Kamyon üreticileriyle işbirliği çalışan hükümetler, akülü elektrikli ve yakıt hücreli elektrikli kamyonların hızla ticari olarak benimsenmesine öncelik vermek için yakın vadede adımlar atmalıdır. 2030 yılına kadar, Ar-Ge'yi en önemli zorluklara odaklamak ve stratejik altyapı konuşturması için yeterli zaman tanımak ve böylece 2030'larda büyük ölçekli benimsemenin önünü açmak için bu teknolojiler rekabetçi beklentileri değerlendirmelidirler.

Filoların yavaş devir hızı göz önüne alındığında, hükümetlerin denizcilik ve havacılıkta düşük karbonlu yakıtlara yönelik stratejilerini en geç 2025 yılına kadar belirlemeleri ve ardından bunları hızla uygulamaya koymaları gerekmektedir. Uluslararası işbirliği ve ortak çalışma başarı için çok önemli olacaktır. Öncelikli eylem, ilk yatırımın etkisini en üst düzeye çıkarmak için en yoğun kullanılan liman ve havalimanlarını hedeflemelidir. Sanayi bölgelerine yakın limanlar düşük karbonlu yakıt merkezleri olmak için ideal konumdadır.

Kutu 3.3► Tamamen elektrikli bir yaklaşımın karayolu taşımacılığı sektöründeki emisyon azaltımlarına etkileri ne olacaktır?

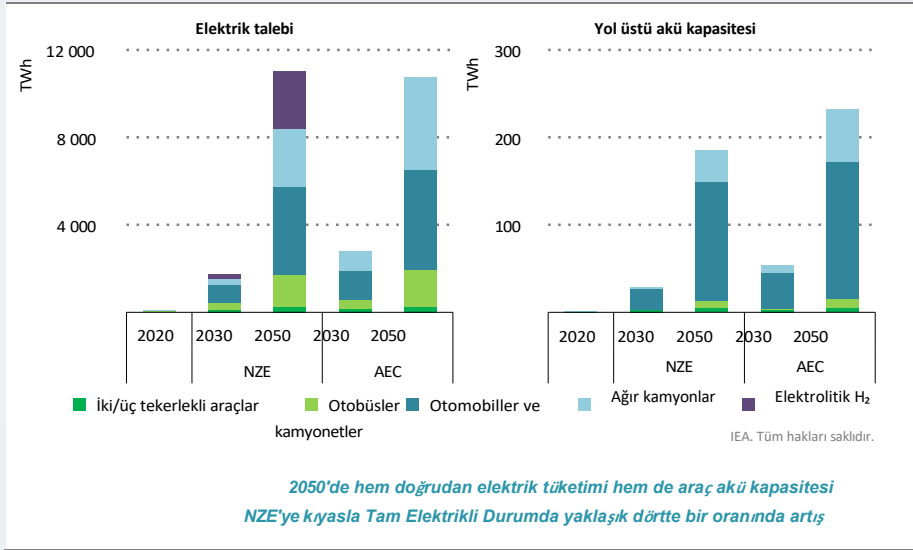
Karayolu taşımacılığında çeşitli yakıtların kullanılması NZE'nin temel bir bileşenidir. Ancak hükümetler, özellikle FCEV'ler ve gelişmiş biyoyakıtlar gibi diğer teknolojilerin öngörüldüğü şekilde gelişmemesi halinde, taşımacılıktan kaynaklanan CO₂ emisyonlarını ortadan kaldırmak için tamamen elektrikli bir rotayı değerlendirmek isteyebilir. Bu nedenle, tüm karayolu taşıt modlarının elektrikli hale getirilmesinin etkilerini inceleyen bir *Tamamen Elektrikli Vaka* geliştirdik. NZE'de, karayolu taşımacılığının karbonsuzlaştırılması öncelikle fişli hibrit elektrikli araçlar (PHEV'ler), bataryalı elektrikli araçlar (BEV'ler), yakıt hücreli elektrikli araçlar (FCEV'ler) ve gelişmiş biyoyakıtların benimsenmesi yoluyla gerçekleşmektedir. Tamamen Elektrikli Vaka, NZE ile aynı oranda karayolu taşımacılığının karbonsuzlaştırılacağını, ancak bunun sadece akülü elektrikli araçlarla sağlanacağını varsaymaktadır.

Tamamen Elektrikli Vaka, batarya teknolojilerinde NZE'ye kıyasla daha da fazla ilerleme kaydedilmesine ve 2030'lara kadar kilogram başına en az 400 Watt saat (Wh/kg) enerji yoğunluğuna ulaşılmasına bağlıdır ve bu da BEV kamyonlarını uzun mesafeli operasyonlarda FCEV kamyonlarına tercih edilebilir hale getirecektir. Bu, 2030 yılında yollarda Yeni Zelanda'dakinden %30 daha fazla BEV (ilave 350 milyon) anlamına gelecektir. Araçları desteklemek için altmış beş milyondan fazla kamusal şarj cihazına ihtiyaç duyulacak ve bu da NZE'den %35 daha fazla, yaklaşık 300 milyar ABD doları tutarında kümülatif yatırım gerektirecektir. Bu da batarya üretiminin daha hızlı genişlemesini gerektirecektir. 2030'da BEV'ler için yıllık küresel batarya kapasitesi ilaveleri neredeyse 9 TWh olacaktır ve bu da NZE'dekinden 80 giga-fabrika (yıllık 35 GWh üretim varsayımı) veya şu andan 2030'a kadar ayda ortalama ikiden fazla üretim gerektirecektir.

Karayolu taşımacılığı için artan elektrik kullanımı, elektrik sektörü için de ek zorluklar yaratacaktır. Elektrolitik hidrojen talebi dikkate alındığında, karayolu taşımacılığı için toplam elektrik talebi (2050 yılında 11 000 TWh veya toplam elektrik tüketiminin %15'i) her iki durumda da aşağı yukarı aynı olacaktır. Bununla birlikte, NZE'deki elektrolitik hidrojen, yenilenebilir enerjiye dayalı kapasite fazlası olan bölgelerde ve zamanlarda ve özel (şebeke dışı) yenilenebilir esnek bir şekilde üretilir. Otomobillerin akıllı şarjını mümkün kılan esneklik göz önünde bulundurulduğunda, Tam Elektrikli Vaka'daki tepe güç talebi, esas olarak otobüslerin ve kamyonların ilave akşam/gece şarjı nedeniyle NZE'dekinden yaklaşık üçte bir (2 000 GW) daha yüksektir. Enerji depolama cihazlarıyla birleştirilmediği takdirde, ağır hizmet araçları için ultra hızlı şarj cihazları talepte ek artışlara neden olarak elektrik şebekelerine daha fazla yük bindirebilir.

Karayolu taşımacılığının tamamen elektrikli hale getirilmesi mümkün olmakla birlikte, ilave zorluklar ve istenmeyen yan etkiler içerebilir. Örneğin, elektrik şebekeleri üzerindeki baskıyı artırabilir, önemli miktarda ek yatırım gerektirebilir ve ulaşım sisteminin elektrik kesintilerine karşı kırılganlığını artırabilir. Yakıt çeşitlendirmesi, dayanıklılık ve enerji güvenliği açısından fayda sağlayabilir.

Şekil 3.26 NZE ve Tamamen Elektrikli Durumda karayolu taşımacılığı için küresel elektrik talebi ve batarya kapasitesi



3.7 Binalar

3.7.1 Net Sıfır Emisyon Senaryosunda enerji ve emisyon eğilimleri

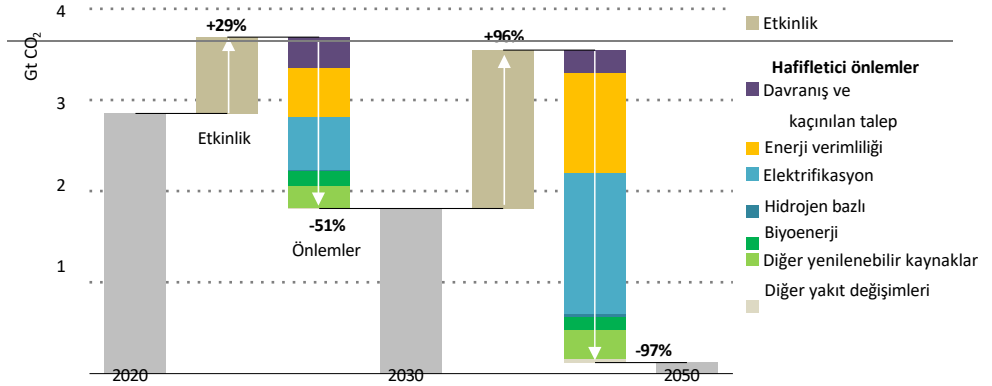
Dünya genelinde bina sektöründeki taban alanının 2020 ile 2050 yılları arasında %75 oranında artması beklenmektedir ve bu artışın %80'i yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdedir. Küresel olarak, 2050 yılına kadar her hafta Paris şehrinin yüzölçümüne eşdeğer taban alanı eklenecektir. Dahası, birçok gelişmiş ekonomideki binalar uzun ömürlüdür ve mevcut bina stokunun yaklaşık yarısı 2050 yılında hala ayakta olacaktır. Cihazlara ve soğutma ekipmanlarına talep, özellikle 2030 yılına kadar 650 milyon klimanın ve 2050 yılına kadar Yeni Zelanda'da 2 milyar klimanın daha ekleneceği yükselen pazar ve gelişmekte olan ekonomilerde artmaya devam etmektedir. Bu talep artışına rağmen, bina sektöründen kaynaklanan toplam CO₂ emisyonları Yeni Zelanda'da 2020 yılında yaklaşık 3 Gt'dan 2050 yılında yaklaşık 120 Mt'a düşerek %95'ten fazla azalmıştır¹².

Enerji verimliliği ve elektrifikasyon, NZE'de bina sektörünün karbonsuzlaştırılmasının iki ana itici gücüdür (Şekil 3.27). Bu dönüşüm öncelikle aşağıdaki teknolojilere dayanmaktadır

¹² Bu bölümdeki tüm CO₂ emisyonları, aksi belirtilmedikçe doğrudan CO₂ emisyonlarını ifade etmektedir. NZE ayrıca binalarda kullanılan inşaat malzemeleriyle bağlantılı emisyonları da azaltmayı hedeflemektedir. Bu somutlaştırılmış emisyonlar, 2030 yılına kadar yeni taban alanının metrekaresi başına %40 oranında azaltılacak ve malzeme verimliliği stratejileri ile tasarım, inşaat, kullanım ve kullanım ömrü sonu aşamalarındaki önlemler yoluyla çimento ve çelik kullanımı 2050 yılına kadar bugüne göre %50 oranında azaltılacaktır.

Yeni ve mevcut binalar için geliştirilmiş zarflar, ısı pompaları, enerji tasarruflu cihazlar ve biyoklimatik ve malzeme tasarruflu bina tasarımı dahil olmak üzere piyasada halihazırda mevcuttur. Dijitalleşme ve akıllı kontroller, bina sektöründen kaynaklanan emisyonları 2050 yılına kadar 350 Mt CO₂ azaltacak verimlilik kazanımlarını mümkün kılmaktadır. NZE'de davranış değişiklikleri de önemlidir ve 2030 yılında yaklaşık 250 Mt CO₂lik bir azalma, alan ısıtması için sıcaklık ayarlarındaki değişiklikleri veya aşırı sıcak su sıcaklıklarının azaltılmasını yansıtmaktadır. Soğuk sıcaklıkta çamaşır yıkama ve hatta kurutmanın daha fazla kullanılması gibi ek davranış değişiklikleri, elektrik arzının karbonsuzlaştırılmasını kolaylaştırır. Bu azaltımların hızlı ve maliyetsiz bir şekilde gerçekleştirilmesi için kapsam mevcuttur.

Şekil 3.27► NZE'deki binalarda azaltım tedbirine göre küresel doğrudan CO₂ emisyonu azaltımları



IEA. Tüm hakları saklıdır.

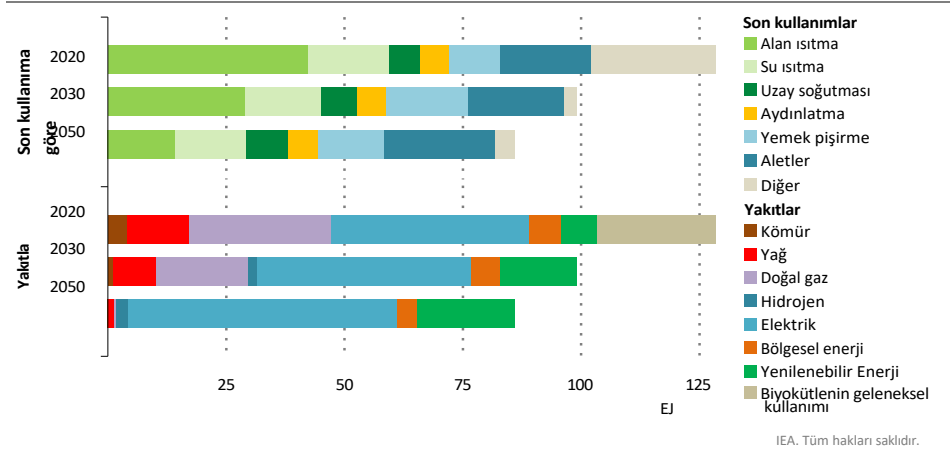
Elektrifikasyon ve enerji verimliliği, 2050 yılına kadar binalarla ilgili emisyon azaltımlarının yaklaşık %70'ini oluştururken, bunu güneş enerjisi, biyoenerji ve davranış takip etmektedir

Notlar: Faaliyet = artan nüfus, artan taban alanı ve kişi başına düşen gelirle ilgili enerji hizmeti talebindeki değişim. Davranış = ısıtma sıcaklıklarının değiştirilmesi gibi kullanıcı kararlarından kaynaklanan enerji hizmeti talebindeki değişim. Kaçınılan talep = dijitalleşme gibi teknolojik gelişmelerden kaynaklanan enerji hizmeti talebindeki değişim.

Sıfır karbona hazır teknolojilere hızlı geçişler, fosil yakıtların bina sektöründeki enerji talebindeki payının 2030'a kadar %30'a, 2050'ye kadar ise Yeni Zelanda'da %2'ye düştüğünü göstermektedir. Enerji karışımında elektriğin payı 2020'de %33 iken 2030'da neredeyse %50'ye, 2050'de ise %66'ya ulaşmaktadır (Şekil 3.28). Günümüzde fosil yakıtların hakim olduğu tüm son kullanım alanları, Yeni Zelanda'da giderek daha fazla elektrikli hale gelmekte ve elektriğin alan ısıtma, su ısıtma ve pişirme alanlarındaki payı bugün %20'nin altında iken 2050'de %40'ın üzerine çıkmaktadır. Bölgesel enerji ağları ve hidrojen bazlı yakıtlar da dahil olmak üzere düşük karbonlu gazlar, yüksek ısıtma ihtiyaçları, yoğun kentsel nüfus ve mevcut gaz veya bölgesel ısı ağları olan bölgelerde 2050 yılında önemini korumaktadır. Biyoenerji, 2050 yılına kadar Yeni Zelanda'daki toplam ısı talebinin yaklaşık dörtte birini karşılamaktadır, biyoenerji kullanımının %50'sinden fazlası yemek pişirmek içindir ve neredeyse tamamı 2,7 milyar insanın yaşadığı yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdedir.

NZE'de 2030 yılına kadar insanlar temiz yemek pişirmeye erişebilir. Mekân ısıtma talebi, enerji verimliliğindeki iyileşme ve sıcaklık ayar noktalarının ayarlanması gibi davranış değişiklikleri sayesinde 2020 ile 2050 yılları arasında üçte iki oranında azalır.

Şekil 3.28 ► NZE'deki binalarda yakıt ve son kullanım uygulamasına göre küresel nihai enerji tüketimi



Bina sektöründe fosil yakıt kullanımı 2050'ye kadar %96 oranında azalacak ve özellikle enerji verimliliği kazanımları sayesinde alan ısıtma enerjisi ihtiyacı üçte iki oranında azalacaktır

Not: Diğer, tuzdan arındırma ve belirli bir kullanıma tahsis edilmemiş geleneksel katı biyokütle kullanımını içerir.

Sıfır karbona hazır binalar

Bina sektörü için NZE yolu, enerji verimliliğinde ve stokun esnekliğinde adım adım bir iyileşme ve fosil yakıtlardan tamamen uzaklaşmayı gerektirmektedir. Bunu başarmak için, 2050 yılına kadar binaların %85'inden fazlasının sıfır karbona hazır bina enerji yönetmeliklerine uygun olması gerekmektedir (Kutu 3.4). Bu, 2030 yılına kadar tüm bölgelerde tüm yeni binalar için zorunlu sıfır karbona hazır bina enerji yönetmeliklerinin uygulamaya konulması ve 2050 yılına kadar mevcut binaların çoğunda sıfır karbona hazır bina enerji yönetmeliklerini karşılamalarını sağlamak için iyileştirmeler yapılması gerektiği anlamına gelmektedir.

Gelişmiş ekonomilerde bugün yılda %1'in altında olan güçlendirme oranları 2030 yılına kadar yılda yaklaşık %2,5'e çıkmaktadır: bu da her yıl yaklaşık 10 milyon konutun güçlendirilmesi anlamına gelmektedir. Yükselen pazarlarda ve gelişmekte olan ekonomilerde, bina ömürleri tipik olarak gelişmiş ekonomilerden daha düşüktür, bu da Yeni Zelanda'da 2030 yılına kadar güçlendirme oranlarının yılda yaklaşık %2 ile daha düşük olacağı anlamına gelmektedir. Bu da 2030 yılına kadar yılda ortalama 20 milyon konutun güçlendirilmesini gerektirmektedir. En düşük maliyetle tasarruf elde etmek ve kesintileri en aza indirmek için iyileştirmelerin kapsamlı ve tek seferlik olması gerekir.

Kutu 3.4► Sıfır karbona hazır binalara doğru

Sektörde enerji kullanımının karbonsuzlaştırılmasının sağlanması, 2050 yılına kadar neredeyse tüm mevcut binaların tek bir kapsamlı iyileştirmeden geçmesini ve yeni inşaatların katı verimlilik standartlarını karşılamasını gerektirmektedir. Yeni ve mevcut binaları kapsayan bina enerji yönetmelikleri, bu tür değişiklikleri yönlendirecek temel politika aracıdır. Bina enerji yönetmelikleri şu anda sadece 75 ülkede mevcuttur veya geliştirilme aşamasındadır ve bu ülkelerin yaklaşık 40'ü yönetmelikler hem konut hem de hizmet alt sektörleri için zorunludur. NZE'de, sıfır karbona hazır kapsamlı bina yönetmeliklerinin en geç 2030 yılına kadar tüm ülkelerde uygulanması hedeflenmektedir.

Sıfır karbona hazır bina nedir?

Sıfır karbona hazır bir bina yüksek enerji verimliliğine sahiptir ve ya doğrudan yenilenebilir enerji kullanır ya da elektrik veya bölgesel ısı gibi 2050 yılına kadar tamamen karbonsuzlaştırılacak bir enerji kaynağı kullanır. Bu, sıfır karbona hazır bir binanın, binada veya ekipmanında başka herhangi bir değişiklik yapılmadan 2050 yılına kadar sıfır karbonlu bir bina haline geleceği anlamına gelir.

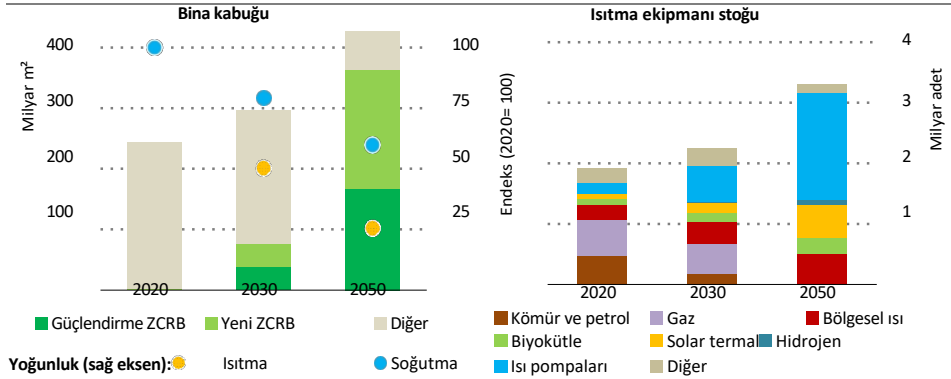
Sıfır karbona hazır binalar, kullanıcı ihtiyaçlarına uyum ve diğer sektörlerin karbonsuzlaştırılmasını kolaylaştırmak için enerji, malzeme ve alanın verimli ve akıllı kullanımını en üst düzeye çıkarmalıdır. Temel hususlar şunları içerir:

- **Kapsam.** Sıfır karbona hazır bina enerji yönetmelikleri, bina operasyonlarının (kapsam 1 ve 2) yanı sıra bina inşaat malzemeleri ve bileşenlerinin üretiminden kaynaklanan emisyonları da (kapsam 3 veya somutlaştırılmış karbon emisyonları) kapsamalıdır.
- **Enerji kullanımı.** Sıfır karbona hazır enerji kodları, pasif tasarım özelliklerinin, bina kabuğu iyileştirmelerinin ve yüksek enerji performanslı ekipmanların enerji talebini düşürmede oynadığı önemli rolü kabul etmeli, hem binaların işletme maliyetini hem de enerji arzını karbonsuzlaştırma maliyetlerini azaltmalıdır.
- **Enerji tedariki.** Mümkün olduğunda, yeni ve mevcut sıfır karbona hazır binalar, şebeke ölçeğinde enerji tedarikine olan ihtiyacı azaltmak için solar termal, solar PV, PV termal ve jeotermal gibi yerel olarak mevcut yenilenebilir kaynakları entegre etmelidir. Yerel enerji üretimini desteklemek için termal veya batarya enerji depolaması gerekebilir.
- **Güç sistemleri ile entegrasyon.** Sıfır karbona hazır bina enerji kodları, binaların enerji sistemi için esnek bir kaynak haline gelmesini, bina elektrik talebini ve elektrikli araçlar da dahil olmak üzere enerji depolama cihazlarının çalışmasını yönetmek için bağlantı ve otomasyonu kullanmasını gerektirir.
- **Binalar ve inşaat değer zinciri.** Sıfır karbona hazır bina enerji yönetmelikleri, binalarda malzeme kullanımından kaynaklanan net sıfır emisyonu da hedeflemelidir. Malzeme verimliliği stratejileri, bina sektöründeki çimento ve çelik talebini temel eğilimlere göre üçte birden fazla azaltılabilir ve biyo-kaynaklı ve yenilikçi inşaat malzemelerinin daha güçlü bir şekilde benimsenmesiyle somutlaştırılmış emisyonlar daha da azaltılabilir.

Isıtma ve soğutma

Sıfır karbona hazır güçlendirme ve yeni binalardaki bina kabuğu iyileştirmeleri, NZE'deki ısıtma ve soğutma enerjisi yoğunluğu azaltımlarının çoğunu oluşturmaktadır, ancak ısıtma ve soğutma teknolojisi de önemli bir katkı sağlamaktadır. Doğal gazla ısıtılan evler bugün toplamın yaklaşık %30'undan 2050'de %0,5'in düşerken, ısıtma için elektrik kullanan evler bugün toplamın yaklaşık %20'sinden 2030'da %35'ine ve 2050'de yaklaşık %55'ine yükselmektedir (Şekil 3.29). Yüksek verimli elektrikli ısı pompaları, Yeni Zelanda'da alan ısıtması için birincil teknoloji tercihi haline gelirken, dünya çapında aylık ısı pompası kurulumları bugün 1,5 milyondan 2030'a kadar yaklaşık 5 milyona ve 2050'ye kadar 10 milyona yükselecektir. Hibrit ısı pompaları da en soğuk iklimlerin bazılarında kullanılmakta, ancak 2050 yılında ısıtma talebinin %5'inden fazlasını karşılamamaktadır.

Şekil 3.29 ► Türe göre küresel bina ve ısıtma ekipmanı stoku ve NZE'deki faydalı alan ısıtma ve soğutma talebi yoğunluğu değişiklikleri



IEA. Tüm hakları saklıdır.

2050'ye kadar binaların %85'inden fazlası sıfır karbona hazır hale gelecek, ortalama faydalı ısıtma yoğunluğu %75 oranında azalacak ve ısı pompaları ısıtma ihtiyacının yarısından fazlasını karşılayacaktır

Notlar: ZCRB, sıfır karbona hazır bina enerji kodlarını karşılayan binaları ifade eder. Bina kabuğu için diğer, sıfır karbona hazır bina enerji kodlarını karşılamayan kabukları ifade eder. Isıtma ekipmanı stoğu için diğer, dirençli ısıtıcıları ve hibrit ve gazlı ısı pompalarını içerir.

Bununla birlikte, tüm binalar ısı pompalarıyla en iyi şekilde karbondan ve biyoenerji kazanları, güneş enerjisi, bölgesel ısı, gaz şebekelerindeki düşük karbonlu gazlar ve hidrojen yakıt hücrelerinin tümü, küresel bina stokunun 2050 yılına kadar sıfır karbona hazır hale getirilmesinde rol oynamaktadır. Biyoenerji, 2030 yılına kadar mekân ısıtma ihtiyacının %10'unu, 2050 yılına kadar ise %20'den fazlasını karşılayacaktır. Güneş enerjisi, özellikle ısı talebinin düşük olduğu yerlerde su ısıtması için tercih edilen yenilenebilir teknolojidir; NZE'de bugün %7 olan talebin 2050 yılına kadar %35'ini karşılayacaktır. Bölgesel ısı şebekeleri, ısı pompası kurulumunun pratik olmadığı birçok kompakt şehir merkezi için cazip bir seçenek olmaya devam etmektedir; Yeni Zelanda'da, bugün %10'un biraz üzerinde olan alan ısıtması için nihai enerji talebinin 2050'de %20'sinden fazlasını sağlamaktadır.

NZE'de 2025'ten itibaren küresel olarak yeni kömür ve petrol kazanı satılmamaktadır. Gaz kazanlarının satışı 2030 yılına kadar mevcut seviyelerden %40'tan fazla, 2050 yılına kadar ise %90 oranında düşer. 2025 yılına kadar NZE'de satılan tüm gaz kazanları %100 hidrojen yakma kapasitesine sahiptir ve bu nedenle sıfır karbona hazırdır. Binalara dağıtılan gazda düşük karbonlu gazların (hidrojen, biyometan, sentetik metan) payı 2030 yılına kadar neredeyse sıfırdan %10'a, 2050 yılına kadar ise %75'in üzerine çıkmaktadır.

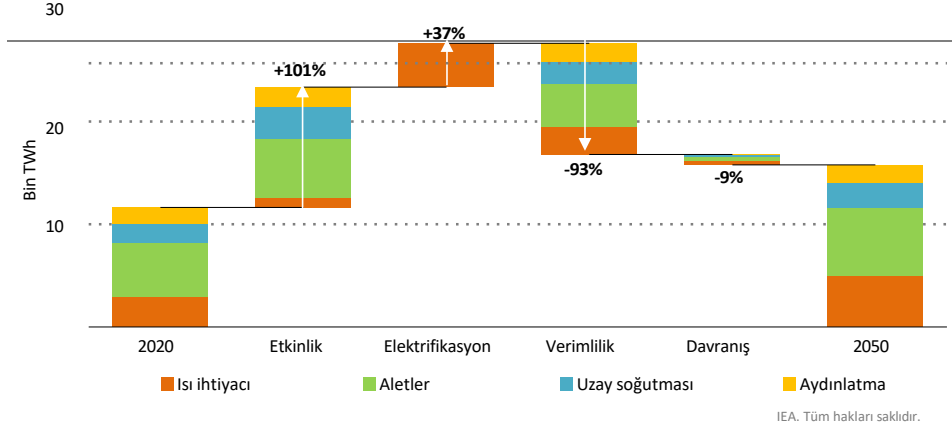
Sıfır karbona hazır bina enerji yönetmeliklerinin standartlarını karşılayan binalar, sadece alan ısıtma ihtiyacını değil, aynı zamanda 2000 yılından bu yana binalarda en hızlı büyüyen son kullanım olan alan soğutma ihtiyacını da azaltmaktadır. Alan soğutma, 2020 yılında dünya çapında toplam bina enerji tüketiminin yalnızca %5'ini temsil ediyordu, ancak artan gelirler ve daha sıcak bir iklim ile soğutma talebinin önümüzdeki yıllarda güçlü bir şekilde artması bekleniyor. Yeni Zelanda'da 2020 yılında %35 olan hanelerin %60'ında 2050 yılında klima bulunacaktır. Biyoiklimsel tasarımlar ve yalıtım dahil olmak üzere yüksek performanslı bina kabukları, mekan soğutma talebini %30-50 oranında azaltabilir ve aşırı sıcak olaylar sırasında daha fazla dayanıklılık sağlayabilir. NZE'de, mekan soğutması için elektrik talebi her yıl %1 artarak 2050 yılında 2 500 TWh'ye ulaşacaktır. Konut bina kabuğu iyileştirmelerinden ve daha yüksek verimli ekipmanlardan elde edilen 2 000 TWh tasarruf olmadan, alan soğutma talebi neredeyse iki kat daha yüksek olacaktır.

Aletler ve aydınlatma

Politika önlemleri ve teknik ilerlemeler sayesinde Yeni Zelanda'da önümüzdeki otuz yıl içinde elektrikli aletler ve aydınlatma çok daha verimli hale gelecektir. NZE'de 2025 yılına kadar, gelişmiş ekonomilerde satılan tüm cihazların ve klimaların %80'inden fazlası bugün bu pazarlarda mevcut olan en iyi teknolojilere sahiptir ve bu pay 2030'ların ortalarında %100'e çıkmaktadır. NZE, 2050 yılına kadar cihazların ve klimaların yarısından fazlasını oluşturan yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde, önümüzdeki on yıl içinde bu piyasalarda 2030 yılında satılan ekipmanların %80'inin bugün gelişmiş ekonomilerde mevcut en iyi teknolojiler kadar verimli olmasını ve 2050 yılına kadar %100'e yakın bir orana çıkmasını sağlayacak bir politika eylem dalgası varsaymaktadır (Şekil 3.30). Işık yayan diyot (LED) lambaların toplam ampul satışları içindeki payı 2025 yılına kadar tüm bölgelerde %100'e ulaşmaktadır. Minimum enerji performansı standartları, tüm bölgelerde talep tarafı müdahalesini kolaylaştırmak için cihazların akıllı kontrolüne yönelik gerekliliklerle tamamlanmaktadır.

Binalarda enerji kullanımı giderek daha fazla elektrikli, elektronik ve bağlantılı ekipman ve cihazlara odaklanacaktır. NZE'de binalarda enerji tüketiminde elektriğin payı 2020'de %33'ten 2050'de yaklaşık üçte ikiye yükselirken, birçok binada yerel güneş PV panelleri, batarya depolama ve elektrikli araç şarj cihazları kullanılarak merkezi olmayan elektrik üretimi yapılmaktadır. Güneş PV panellerine sahip konut sayısı aynı dönemde 25 milyondan 240 çıkmaktadır. NZE'de akıllı kontrol sistemleri, esnek elektrik kullanımlarını yerel yenilenebilir kaynaklardan elde edilen üretime karşılık gelecek veya güç sistemine esneklik hizmetleri sağlayacak şekilde zaman içinde değiştirirken, optimize edilmiş ev bataryası ve elektrikli araç şarjı, hanelerin şebeke ile etkileşime girmesine olanak tanır. Bu gelişmeler, yenilenebilir enerjilerin sisteme entegrasyonunu daha kolay ve daha ucuz hale getirerek elektrik arz güvenliğinin iyileştirilmesine ve enerji dönüşümünün maliyetinin düşürülmesine yardımcı olmaktadır.

Şekil 3.30 ► Bina sektöründe son kullanıma göre elektrik talebindeki küresel değişim



Enerji verimliliği, cihazlara ve iklimlendirmeye yönelik elektrik talebi artışını azaltmak için kritik öneme sahiptir ve tasarruflar, elektrikli ısının etkisini fazlasıyla telafi etmektedir

3.7.2 Kilit kilometre taşları ve karar noktaları

Tablo 3.5► Küresel bina sektörünün dönüşümünde önemli kilometre taşları

Kategori			
Yeni binalar	- 2030'dan itibaren: tüm yeni binalar sıfır karbona hazır olacak.		
Mevcut binalar	- 2030'dan itibaren: Her yıl binaların %2,5'i sıfır karbona hazır olacak şekilde güçlendirilir.		
Kategori	2020	2030	2050
Binalar			
Sıfır karbona hazır seviyeye yükseltilecek mevcut binaların payı	<1%	20%	>85%
Sıfır karbona hazır yeni bina inşaatlarının payı	5%	100%	100%
Isıtma ve soğutma			
Isı pompası stoku (milyon adet)	180	600	1 800
Termal güneş enerjisi kullanan milyon konut	250	400	1 200
Davranışlardan kaynaklanan önlenmiş konut enerji talebi	n.a.	12%	14%
Aletler ve aydınlatma			
Aletler: birim enerji tüketimi (endeks 2020=100)	100	75	60
Aydınlatma: LED'in satışlardaki payı	50%	100%	100%
Enerji erişimi			
Elektriğe erişimi olan nüfus (milyar kişi)	7.0	8.5	9.7
Temiz pişirmeye erişimi olan nüfus (milyar kişi)	5.1	8.5	9.7
Binalarda enerji altyapısı			
Dağıtılmış güneş PV üretimi (TWh)	320	2 200	7 500
Elektrikli araç özel şarj cihazları (milyon adet)	270	1 400	3 500

Binalar için enerji yönetmelikleri ve standartları, fosil yakıtların kullanımdan kaldırılması, düşük karbonlu gazların kullanımı, iyileştirmelerin hızlandırılması ve bina sektörü enerji dönüşümlerine yatırımı teşvik etmek için mali teşvikler için yakın vadeli hükümet kararları gerekmektedir. Kararlar, sadece binaları değil, aynı zamanda onlara tedarik sağlayan enerji ve altyapı ağlarını, inşaat sektörünün rolü ve kentsel planlama gibi daha geniş hususları da dikkate alarak tüm değer zincirini karbonsuzlaştırmaya odaklanırsa en etkili olacaktır. Bu tür kararların, özellikle yakıt yoksulluğunun azaltılmasında daha geniş faydalar sağlaması muhtemeldir.

Sıfır karbona hazır binaların hem yeni inşaatlar hem de tadilatlar için 2030'dan önce dünya genelinde yeni norm haline gelmesini sağlamak için hükümetlerin yakın vadede harekete geçmesi gerekmektedir. Bu da hükümetlerin 2025 yılından önce harekete geçerek sıfır karbona hazır uyumlu bina enerji yönetmeliklerinin en geç 2030 yılına kadar uygulanmasını sağlamalarını gerektirmektedir. Bu hedef tüm bölgeler için geçerli olmakla birlikte, sıfır karbona hazır binalara ulaşmanın yolları bölgeler ve iklim bölgeleri arasında önemli farklılıklar göstermektedir ve aynı durum ısıtma ve soğutma teknolojisi stratejileri için de geçerlidir. Hükümetler, önümüzdeki on yıl içinde kamu binalarını sıfır karbona hazır hale getirerek yolu açmayı düşünmelidir.

Hükümetlerin, finansal engelleri aşarak, bölünmüş teşvik engellerini ele alarak ve bina kullanımındaki kesintileri en aza indirerek, sıfır karbona hazır yeni binaları ve iyileştirmeleri mal sahipleri ve bina sakinleri için uygun fiyatlı ve cazip hale getirmenin yollarını bulması gerekecektir. Bina enerji performans sertifikaları, yeşil kira sözleşmeleri, yeşil tahvil finansmanı ve tasarruf ettikçe öde modellerinin hepsi bir rol oynayabilir.

Sıfır karbona hazır bina iyileştirmelerinin 2020'lerin başında ekonomik toparlanma stratejilerinin temel bir ayağı haline getirilmesi, sıfır emisyonlu bina sektörüne doğru ilerlemeyi hızlandırmak için pişmanlık duyulmayacak bir eylemdir. Binalarda enerji kullanımını daha verimli hale getirme fırsatından vazgeçmek, bina sektöründe enerji kullanımının elektrifikasyonu ile bağlantılı elektrik talebini artıracak ve enerji sisteminin karbondan arındırılmasını önemli ölçüde daha zor ve daha maliyetli hale getirecektir (Kutu 3.5).

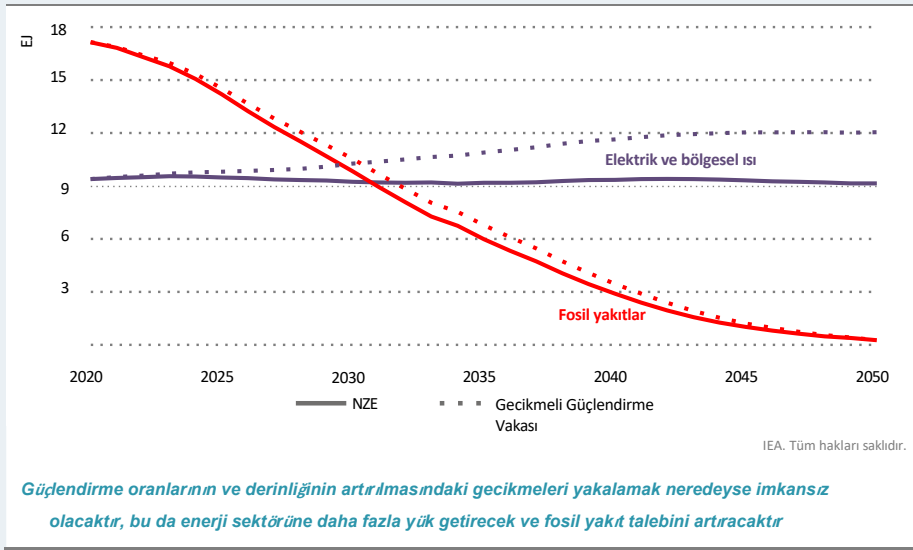
Kutu 3.5► Küresel güçlendirme oranlarının %2,5'e yükselmemesinin etkisi ne olur?

Yeni Zelanda'daki mevcut binalarda ısıtmanın karbondan arındırılması, mevcut bina stokunun büyük bir kısmının derinlemesine iyileştirilmesine dayanmaktadır. Neredeyse tüm binaların 2050 yılına kadar sıfır karbona hazır bina enerji kodlarını karşılaması, bugün %1'den az olan güçlendirme oranlarının 2030 yılına kadar her yıl %2,5'e çıkarılmasını gerektirecektir. Güçlendirmeler bina sakinleri için yıkıcı olabilir, yüksek ön yatırım gerektirebilir ve izin verme zorluklarıyla karşılaşılabılır. Bu sorunlar, önümüzdeki yıllarda gerekli hız ve derinlikte güçlendirme yapılmasını, bina sektörünün karşı karşıya olduğu en büyük zorluk haline getirmektedir.

2030'a kadar yıllık güçlendirme oranının %2,5'e ulaşmasında yaşanacak herhangi bir gecikme, 2050'ye kadar binaların büyük çoğunluğunun güçlendirilmesini neredeyse imkansız hale getirecek kadar dik bir artış gerektirecektir. Modelleme, güçlendirmenin hızlandırılmasında on yıllık bir gecikmenin, konutlarda mekân ısıtma enerji talebini %25 ve mekân ısıtma enerji talebini

soğutma talebini %20'den fazla artırarak, 2050 yılında NZE'ye göre elektrik talebinde %20'lik bir artışa yol açacaktır (Şekil 3.31). Bu durum, daha fazla düşük karbonlu üretim kapasitesi kurması gereken enerji sektörüne daha fazla yük getirecektir. Politikalar ve yakıt değişimi, Gecikmeli Güçlendirme Durumunda fosil yakıt talebini azaltmaya devam edecektir, ancak 2050 yılına kadar ilave 15 EJ fosil yakıt yakılacak ve 1 Gt CO₂ salınacaktır.

Şekil 3.31 ► NZE ve Gecikmeli Güçlendirme Durumunda küresel konut alanı ısıtma ve soğutma enerji talebi



Hükümetlerin, NZE'de 2025'ten itibaren artık satılamayacak olan alan ve su ısıtması için kömür ve petrol kazanları ve fırınları için politikalar oluşturması gerekmektedir. Ayrıca, yeni gaz kazanlarının karbondan arındırılmış gaz şebekelerinde düşük karbonlu gazlarla (hidrojene hazır) çalışabilmesini sağlamak için harekete geçmeleri gerekmektedir. Bu durum, ısı pompaları, verimli odun sobaları (sürdürülebilir odun kaynakları kullanarak), bölgesel enerji, solar PV, solar termal ve diğer yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı da dahil olmak üzere, kullanımdan kaldırılan kazan türlerine yönelik cazip alternatiflerin mevcudiyetine büyük önem vermektedir. Hangi alternatiflerin en iyisi olduğu bir dereceye kadar yerel koşullara bağlı olacaktır, ancak elektrifikasyon çoğu durumda en enerji verimli ve uygun maliyetli düşük karbonlu seçenek olacaktır ve yoğunlukların izin verdiği yerlerde bölgesel enerji ağlarının karbondan arındırılması ve genişletilmesi muhtemelen mantıklı olacaktır. Mevcut veya iyileştirilmiş gaz şebekelerinde biyometan veya hidrojen, daha verimli alternatiflerin mümkün olmadığı alanlarda en iyi seçenek olabilir.

Hükümetler ayrıca minimum enerji performans standartları (MEPS) konusunda da kararlar almak durumundadır. NZE, tüm ülkelerin en geç 2025 yılına kadar tüm ana cihaz kategorileri için gelişmiş ekonomilerde geçerli olan en katı seviyelerde MEPS uygulamasını başlatmasını öngörmektedir. Diğerlerinin yanı sıra bu, akkor, halojen ve kompakt floresan lambaların satışının o tarihe kadar sona erdirilmesi anlamına gelecektir.

zaman. MEPS'in doğru seviyede belirlenmesi dikkatli bir planlama gerektirecektir; standartların ve hedeflerin uyumlaştırılması için uluslararası işbirliği maliyetlerin düşük tutulmasında yardımcı bir rol oynayabilir.

NZE'nin sistemik yapısı, binalara yönelik strateji ve politikaların, güç sistemleri, kentsel planlama ve mobilite için benimsenenlerle uyumlu olması halinde en iyi şekilde çalışacağı anlamına gelmektedir. Bu, binaları şebekelere aktif hizmet sağlayıcıları haline getirmek için binaya entegre PV teknolojilerinin, batarya depolamanın ve akıllı kontrollerin başarılı bir şekilde ölçeklendirilmesini sağlamaya yardımcı olacaktır. Ayrıca akıllı elektrikli araç şarj altyapısının yaygınlaştırılmasına da yardımcı olacaktır. Yoğun ve karma kullanımlı kentsel planlamayı teşvik eden politikalar, yerel hizmetlere ve toplu taşımaya kolay erişim ile birleştiğinde kişisel araçlara olan bağımlılığı azaltabilir (bkz. Bölüm 2). Bina stratejileri ile yeni inşaatların somutlaştırılmış karbon emisyonlarını azaltmaya yönelik tedbirler arasında da bağlantılar bulunmaktadır. 2050 yılına kadar NZE'de bu oran %95'e düşecektir.

Net sıfır emisyonla ulaşmanın daha geniş etkileri

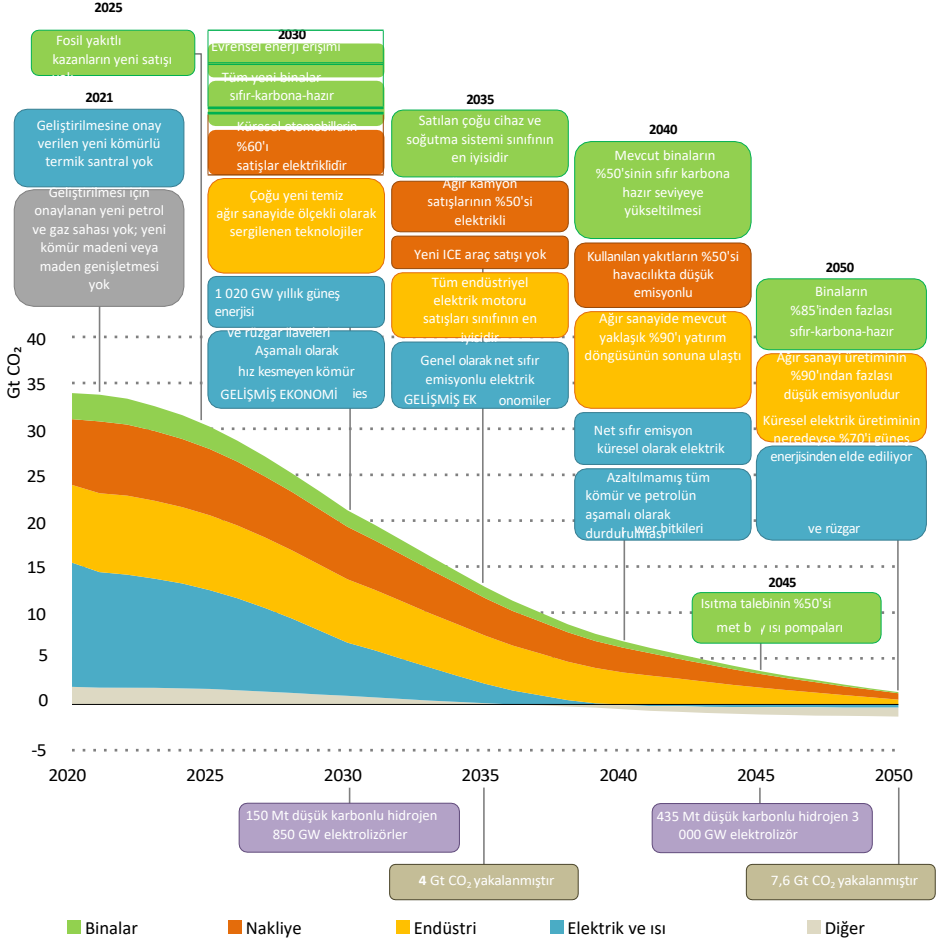
SUMMARY

- Ekonomi:** 2050'ye kadar Net Sıfır Emisyon Senaryomuzda (NZE), küresel CO₂ emisyonları 2050'ye kadar net sıfıra ulaşır ve elektrik, düşük emisyonlu yakıtlar, altyapı ve son kullanım sektörlerinde yatırımlar artar. Temiz enerji istihdamı 2030 yılına kadar 14 milyon artarken, petrol, gaz ve kömür istihdamı yaklaşık 5 azalmaktadır. Farklı bölgeler için farklı sonuçlar söz konusudur; iş kazançları her zaman iş kayıpları ile aynı yerde veya aynı beceri setine uygun olarak gerçekleşmemektedir. İstihdam ve yatırımdaki artış ekonomik çıktıyı canlandırarak 2030 yılına kadar küresel GSYH'de net bir artışa neden olacaktır. Ancak üretici ekonomilerdeki petrol ve gaz gelirleri 2050 yılında son yıllara kıyasla %80, ithalatçı ülkelerdeki perakende petrol ve gaz satışlarından elde edilen vergi gelirleri ise %90 daha düşük olacaktır.
- Enerji endüstrisi:** Fosil yakıt üretiminde büyük bir daralma söz konusudur, ancak bu yakıtları üreten şirketler, yeni düşük emisyonlu yakıtlar ve teknolojiler geliştirmede kilit rol oynayabilecek beceri ve kaynaklara sahiptir. Elektrik endüstrisi, 2050'ye kadar iki buçuk kattan fazla artan talebi karşılamak için ölçeklenmekte ve yenilenebilir enerjilere, esneklik kaynaklarına ve şebekelere odaklanarak daha sermaye yoğun hale gelmektedir. Büyük enerji tüketen şirketler, araç üreticileri ve tedarikçileri, verimliliği artırırken ve alternatif yakıt kaynaklarına geçerken tasarımları ayarlar ve fabrikaları yeniden düzenler.
- Elektriğe ve temiz yemek pişirmeye erişimi olmayan **vatandaşlar** için NZE, 2030 yılına kadar evrensel erişim sağlamaktadır. Bu, önümüzdeki on yıl boyunca yılda yaklaşık 40 milyar ABD dolarına mal olacak ve CO₂ emisyonlarına %0,2-den daha az bir katkı sağlayacaktır. Dünyanın dört bir yanındaki vatandaşlar için NZE köklü değişiklikler getirmektedir ve başarılı olması için vatandaşların aktif desteği şarttır. NZE'deki davranış değişikliklerinin yaklaşık dörtte üçü hükümet politikaları tarafından doğrudan etkilenebilir veya zorunlu kılınabilir. Enerjinin maliyeti de vatandaşlar için önemli bir konudur ve 2050 yılına kadar olan dönemde enerjiye harcanan harcanabilir hane halkı gelirinin oranı, modern enerji hizmetlerine olan talepteki büyük artışa rağmen yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde sabit kalmaktadır.
- Hükümet** eylemi, 2050 yılına kadar küresel olarak net sıfır emisyonla ulaşmanın merkezinde yer almaktadır; diğer tüm aktörler tarafından alınan kararların temelini oluşturmaktadır. Özellikle dört nokta vurgulanmaya değerdir. Birincisi, NZE, enerji bakanlarının görev alanının çok ötesine geçen eylemlere bağlıdır ve hükümetler arası koordineli bir yaklaşım gerektirir. İkinci olarak, Yeni Zelanda'da petrol ve gaz talebindeki düşüş bazı geleneksel enerji güvenliği risklerini azaltılabilir, ancak bunlar ortadan kalkmazken, elektrik sistemlerine ve kritik minerallere artan bağımlılıktan kaynaklanan potansiyel yeni kırılganlıklar ortaya çıkmaktadır. Üçüncü olarak, hızlandırılmış inovasyona ihtiyaç vardır. NZE'de 2030'a kadar yapılacak emisyon azaltımları çoğunlukla bugün piyasada bulunan teknolojilerle gerçekleştirilebilir, ancak 2050'deki azaltımların neredeyse yarısı şu anda geliştirilmekte olan teknolojilere bağlıdır. Dördüncü olarak, benzeri görülmemiş düzeyde bir uluslararası işbirliğine ihtiyaç vardır. Bu, inovasyonu hızlandırmaya, uluslararası standartlar geliştirmeye ve ulusal pazarları birbirine bağlamak için yeni altyapıyı kolaylaştırmaya yardımcı olur. NZE'de varsayılan işbirliği olmadan, net sıfır emisyonla geçiş onlarca yıl gecikecektir.

4.1 Giriş

2050'ye kadar net sıfır emisyonu ulaşmak, özellikle artan ekonomik ve nüfus artışı muazzam bir görevdir. Küresel net sıfır emisyonu geçişin gecikmeksizin eşgüdümlü bir şekilde ilerlemesini sağlamak için tüm hükümetlerin sektörler ve vatandaşlarla birlikte çalışarak tereddütsüz bir şekilde odaklanmasını gerektirmektedir. Bu bölümde, NZE'de 2050 yılına kadar küresel olarak net sıfır emisyon sağlayacak değişikliklerin ekonomi, enerji sektörü, vatandaşlar ve hükümetler için ne anlama geleceğini inceliyoruz.

Şekil 4.1 ▶ NZE'de politikalar, altyapı ve teknoloji yayılımı için seçilmiş küresel kilometre taşları



2050'ye kadar küresel net sıfır emisyonu giden yolda birçok kilometre taşı bulunmaktadır. Eğer herhangi bir sektör gecikirse, aradaki farkı başka bir yerde kapatmak imkansız hale gelebilir.

Yeni Zelanda'daki geniş kapsamlı önlemler ve düzenlemeler, bireylerin yaptıkları satın alımları, evlerini ısıtma ve soğutma biçimlerini ve ulaşım araçlarını etkilemeye veya değiştirmeye yardımcı olmaktadır. Özellikle şu anda enerji üretiminde yer alan veya büyük ölçekli enerji kullanıcıları olan birçok endüstri de değişimle karşı karşıyadır. Bireyler ve sektörler için bazı değişimler popüler olmayabilir, bu da enerji dönüşümünün şeffaf, adil ve uygun maliyetli olmasını sağlamanın ve vatandaşları reform ihtiyacı konusunda ikna etmenin çok önemli olduğunun altını çizmektedir. Bu değişiklikler önemli faydalar sağlamaktadır. Bugün elektriğe erişimi olmayan yaklaşık 790 milyon insan ve temiz pişirme seçeneklerine erişimi olmayan 2,6 milyar insan . NZE, emisyon azaltımlarının elektriğe ve temiz yemek pişirmeye evrensel erişim sağlama ve hava kalitesini iyileştirme çabalarıyla nasıl el ele gidebileceğini göstermektedir. Temiz enerji teknolojilerinin birçok yeni iş fırsatı ve istihdam sağlaması ve yeni endüstriyel kapasiteleri teşvik eden yenilikler sayesinde önemli fırsatlar da sunmaktadır.

Tüm bu değişikliklerin temelinde hükümetler tarafından alınacak kararlar yatmaktadır. Bunun için hükümetin tüm kademelerinin ve tüm ülkelerin gönülden katılımı gerekecektir. 2050'ye kadar küresel net sıfır emisyonu ulaşmak için gereken değişikliklerin büyüklüğü, ne tek başına hükümetlerin enerji veya çevre departmanlarının ne de tek tek ülkelerin gücü dahilindedir. Tek tek ülkelerin gelişim aşamalarındaki farklılıkların tanınması ve bunlara hassasiyet gösterilmesi ve özellikle net sıfır geçişten olumsuz etkilenebilecek olanlar olmak üzere belirli toplulukların ve toplum üyelerinin karşılaştığı zorlukların takdir edilmesiyle birlikte, benzeri görülmemiş düzeyde bir küresel işbirliği gerektirecektir. NZE'de hükümetler, net uzun vadeli hedefler belirleyerek işe başlar ve bunların, yeni altyapı ve teknolojilerin yaygınlaştırılmasını desteklemek için yolu açıkça ortaya koyan ve her ülkenin kendine özgü başlangıç koşullarını tanıyan açık, yakın vadeli hedefler ve politika önlemleri tarafından başlangıçtan itibaren tam olarak desteklenmesini sağlar (Şekil 4.1).

4.2 Ekonomi

4.2.1 Yatırım ve finansman

2050'ye kadar net sıfır emisyonu geçiş, elektrik, altyapı ve son kullanım sektörlerine yapılan yatırımlarda önemli bir artış gerektirmektedir. Önümüzdeki on yıl içinde en büyük artış elektrik üretiminde olacaktır: yıllık yatırım son beş yılda yaklaşık 0,5 trilyon ABD dolarından 2030 yılında 1,6 trilyon ABD dolarına yükselecektir (Şekil 4.2). 2030 yılına gelindiğinde, elektrik sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yıllık yatırım 1,3 trilyon ABD doları civarında olup, fosil yakıt tedariki için şimdiye kadar harcanan en yüksek seviyeden (2014 yılında 1,2 trilyon ABD doları) biraz daha fazladır. Temiz enerji altyapısına yapılan yıllık yatırım, son beş yılda yaklaşık 290 milyar ABD dolarından 2030 yılında yaklaşık 880 ABD dolarına . Bu yatırımlar elektrik şebekeleri, kamuya açık elektrikli araç (EV) şarj istasyonları, hidrojen yakıt ikmal istasyonları ve ithalat ve ihracat terminaleri, doğrudan hava yakalama ve CO₂ boru hatları ve depolama tesisleri içindir. Son kullanım sektörlerinde düşük karbon teknolojilerine yapılan yıllık yatırım, son yıllarda 530 milyar ABD dolarından 1,7 trilyon ABD dolarına yükselmiştir

¹ Bu, binaların derinlemesine güçlendirilmesi, endüstriyel süreçlerin dönüştürülmesi ve yeni düşük emisyonlu araçların ve daha verimli cihazların satın alınması için yapılan harcamaları içermektedir.

2030'dan sonra, yıllık elektrik üretim yatırımı 2050'ye kadar üçte bir oranında düşmektedir. Düşük emisyonlu elektrik sektörü için pek çok altyapı NZE'nin ilk on yılında kurulmuştur ve yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyeti 2030'dan sonra düşmeye devam etmektedir. Son kullanım sektörlerinde, elektrikli araçlara, karbon yakalama, kullanma ve depolamaya (CCUS), sanayi ve ulaşımda hidrojen kullanımına ve daha verimli bina ve cihazlara yapılan yatırımlarda artış devam etmektedir.

Fosil yakıt arzına yapılan küresel yatırım, son beş yılda ortalama 575 milyar ABD dolarından 2050'de NZE'de 110 milyar ABD dolarına düşmektedir ve yukarı yönlü fosil yakıt yatırımı, mevcut petrol ve doğal gaz sahalarındaki üretimi sürdürmekle sınırlıdır. Bu yatırım, fosil yakıtların 2050 yılında NZE'de hala CCUS ile eşleştirildikleri süreçlerde, emisyon yaymayan süreçlerde (petrokimya üretimi gibi) ve emisyon azaltımının en zor olduğu sektörlerde (emisyonların karbondioksit giderimi ile dengelendiği) kullanıldığı gerçeğini yansıtmaktadır. Düşük emisyonlu yakıtlara yapılan yatırım 2020 ve 2050 yılları arasında otuz kattan fazla artarak 2050 yılında yaklaşık 135 milyar ABD dolarına ulaşmaktadır. Bu, hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtların üretimi ile biyoyakıt üretimi arasında kabaca eşit olarak bölünmektedir.

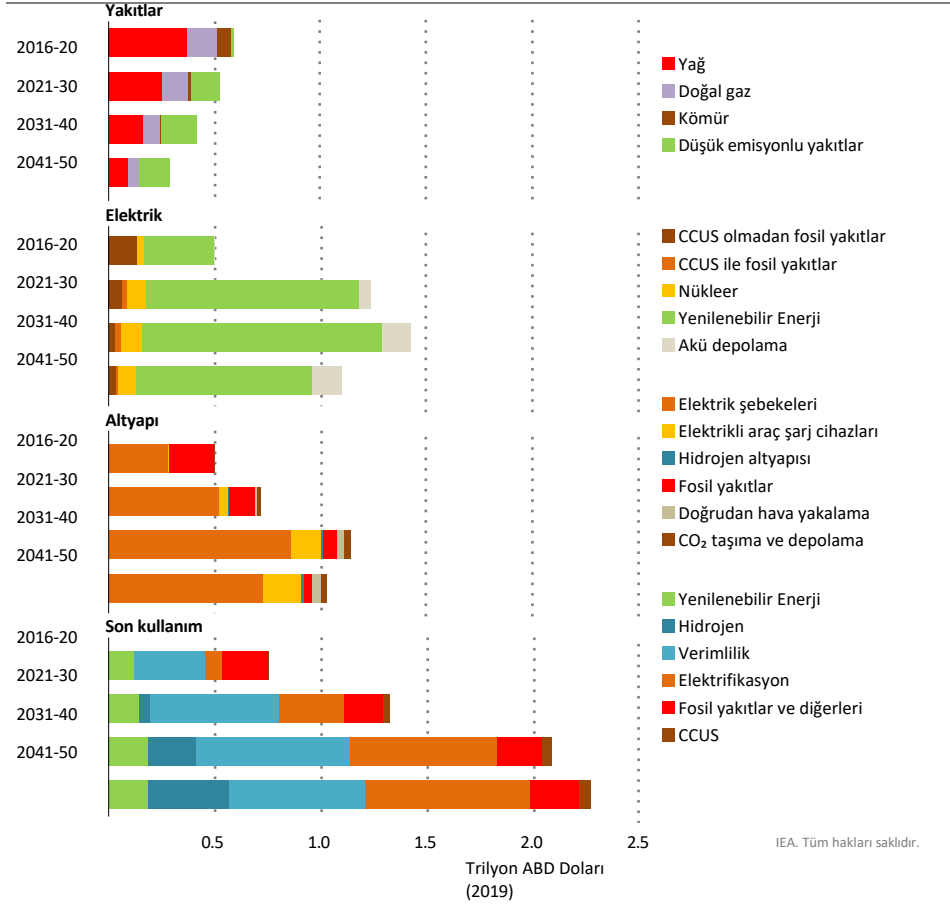
Yeni Zelanda'da 2021-50 döneminde, gayri safi yurtiçi hasılanın (GSYH) payı olarak yıllık ortalama toplam enerji sektörü yatırımı, son beş yıla göre yaklaşık %1 daha yüksektir. Özel sektör, daha yüksek yatırım ihtiyaçlarını finanse etmek için merkezi bir öneme sahiptir. Bu da geliştiriciler, yatırımcılar, kamu finans kurumları ve hükümetler arasında daha fazla işbirliği gerektirmektedir. İşbirliği, önümüzdeki beş ila on yıl içinde büyük altyapı projelerinin geliştirilmesi ve bazı hidrojen ve CCUS uygulamaları gibi bugün demo veya prototip aşamasındaki teknolojiler için özellikle önemli olacaktır. Şirketler ve yatırımcılar temiz enerji teknolojilerine yatırım yapmak için güçlü bir ilgi beyan etmişlerdir, ancak bu ilginin NZE'de ihtiyaç duyulan seviyelerde gerçek yatırıma dönüşmesi kamu politikalarına da bağlıdır.

Yatırımın önündeki bazı engellerin aşılması gerekmektedir. Birçok yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomi, enerji projelerini ve yeni sanayi tesislerini finanse etmek için kamu kaynaklarına bağımlıdır. Bazı durumlarda, düzenleyici ve politika çerçevelerindeki iyileştirmeler, hem yeni hem de mevcut temiz enerji teknolojilerinin gelişimini desteklemek için uzun vadeli sermayenin uluslararası akışını kolaylaştıracaktır. Yeni Zelanda'da ulaşım ve bina yatırımlarındaki hızlı büyüme, politika yapıcılar için farklı türde bir zorluk teşkil etmektedir. Birçok durumda, verimli bir cihaz veya düşük emisyonlu bir araç için yapılan sermaye harcamalarındaki artış, ürünün kullanım ömrü boyunca yakıt ve elektrik için yapılan daha düşük harcamalarla fazlasıyla dengelenecektir, ancak bazı düşük gelirli haneler ile küçük ve orta ölçekli işletmeler gerekli ön sermayeyi karşılayamayabilir.

¹ Bu raporda sunulan yatırım seviyeleri, binalardaki verimlilik iyileştirmelerinin daha geniş bir muhasebesini içermektedir ve IEA Dünya Enerji Yatırımları raporunda (IEA, 2020a) bildirilenlerden farklıdır. Son kullanım verimliliği yatırımları, geleneksel bir tasarıma göre ekipmanın enerji performansını iyileştirmenin artan .

Şekil 4.2▶

Yeni Zelanda'da sektör ve teknolojiye göre küresel ortalama yıllık enerji yatırım ihtiyaçları



Elektrik üretimi, altyapı ve nihai kullanım sektörlerinde yatırımlar hızla artmaktadır.

Fosil yakıt yatırımları, düşük emisyonlu yakıtlardaki artışla kısmen dengelenerek keskin şekilde düşer.

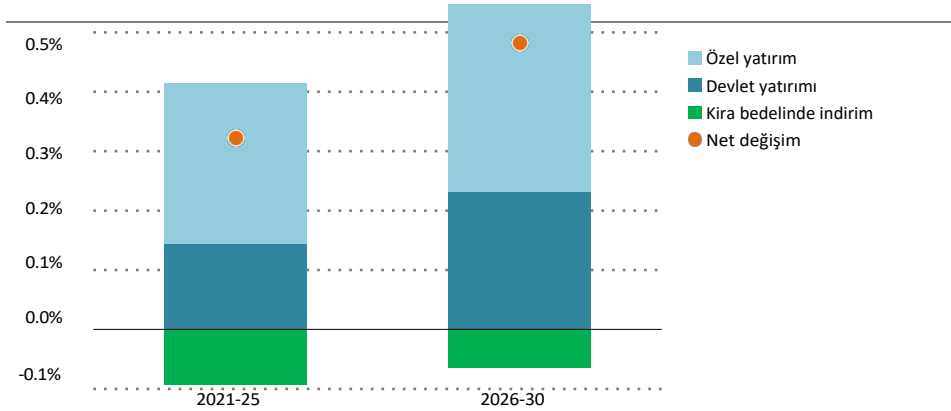
Notlar: CCUS= karbon yakalama, kullanma ve depolama; EV= elektrikli araç. Altyapı, elektrik şebekelerini, kamuya açık elektrikli araç şarjını, CO₂ boru hatlarını ve depolama tesislerini, doğrudan hava yakalama ve depolama tesislerini, hidrojen yakıt ikmal istasyonlarını ve hidrojen ve fosil yakıt boru hatları ve terminalleri için ithalat ve ihracat terminallerini içerir. Son kullanım verimliliği yatırımları, geleneksel bir tasarıma göre ekipmanın enerji performansını iyileştirmenin artan maliyetidir.

4.2.2 Ekonomik faaliyet

2050'ye kadar net sıfır emisyon için gereken enerji dönüşümü, tüm ekonomik faaliyetleri doğrudan veya dolaylı olarak etkileyecektir. Uluslararası Para Fonu ile koordinasyon içinde, enerji sektöründeki değişikliklerin orta vadeli küresel makroekonomik etkilerini .

NZE'de meydana gelen sektör. Bu analiz, Yeni Zelanda'da temiz enerji teknolojilerine yönelik özel sektör ve devlet harcamalarındaki artışın çok sayıda istihdam yarattığını ve mühendislik, imalat ve inşaat sektörlerinde ekonomik çıktıyı canlandırdığını göstermektedir. Bu da 2020'lerin ikinci yarısında yıllık GSYİH büyümesinin, Belirtilen Politikalar Senaryosundaki (STEPS)² seviyelerden yaklaşık %0,5 daha yüksek olmasıyla sonuçlanmaktadır (Şekil 4.3).⁽³⁾

Şekil 4.3 STEPS'e göre NZE'de küresel GSYİH'nin yıllık büyüme oranındaki değişim



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Yeni Zelanda'da kamu ve özel sektör yatırımlarındaki artış küresel GSYİH üzerinde olumlu bir etkiye sahiptir, ancak bölgeler arasında büyük farklılıklar vardır

Notlar: GSYİH= gayri safi yurtiçi hasıla. Rantlardaki azalma temel olarak fosil yakıt gelirlerindeki düşüşten kaynaklanmaktadır.

Kaynak: IMF'ye dayalı IEA analizi.

Makroekonomik etkiler açısından bölgeler arasında büyük farklılıklar vardır. Fosil yakıt kullanımı ve fiyatlarındaki düşüş, petrol ve gaz satışlarından elde edilen gelirlerin genellikle eğitim, sağlık ve diğer kamu hizmetleri için yapılan kamu harcamalarının büyük bir kısmını karşıladığı üretici ekonomilerde⁴ GSYH'de düşüşe neden olmaktadır. Petrol ve gaz talebindeki düşüş ve bunun sonucunda uluslararası petrol ve gaz fiyatlarındaki düşüş, üretici ekonomilerdeki net gelirin tarihi düşük seviyelere inmesine neden olmaktadır (Şekil 4.4). En düşük maliyetli petrol kaynaklarına sahip bazı ülkeler (Avrupa Birliği üyeleri dahil)

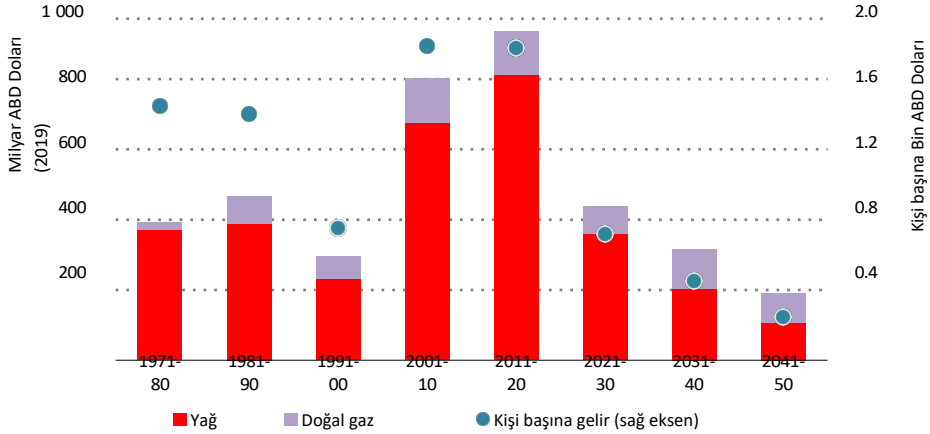
² IEA Belirtilen Politikalar Senaryosu, dünyanın dört bir yanındaki hükümetlerin halihazırda uygulamaya koyduğu politika ve önlemlere ve Paris Anlaşması kapsamında ortaya konan Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkıları gibi resmi hedef ve planlarda ifade edildiği şekliyle ilan edilen politikalara dayanan küresel enerji sistemi projeksiyonudur (bkz. Bölüm 1).

³ NZE'de yer alan kamu ve özel yatırımlardaki artış petrolle ilgili gelirlerdeki azalmanın tahmini genel denge makroekonomik etkisi, Uluslararası Para Fonu tarafından Küresel Entegre Para ve Maliye Modeli (GIMF) kullanılarak sağlanmıştır.

⁴ Üretici ekonomiler, Orta Doğu, Rusya ve Hazar bölgesindeki ülkeler de dahil olmak üzere, ulusal bütçelerinin önemli bir kısmını finanse etmek için hidrokarbon gelirlerine bel bağlayan büyük petrol ve gaz ihracatçılarıdır.

Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü [OPEC]) bu koşullarda pazar payı kazanabilir, ancak onlar bile gelirlerinde büyük düşüşler yaşayacaktır. Verimsiz fosil yakıt sübvansiyonlarının yeniden düzenlenmesi sürecini hızlandırmak ve hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar gibi düşük emisyonlu yakıtlar üretmek için hidrokarbon kaynaklarını kullanma hamlelerini hızlandırmak da dahil olmak üzere toplumsal zorlukları ele almak için yapısal reformlara ihtiyaç (bkz. Bölüm 4.3.1).

Şekil 4.4► Yeni Zelanda'daki üretici ekonomilerde petrol ve gaz satışlarından elde edilen gelir



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Üretici ekonomilerde yapısal reformlara ve yeni gelir kaynaklarına ihtiyaç vardır, ancak bunların petrol ve doğal gaz gelirlerindeki büyük düşüşü tam olarak telafi etmesi olası değildir

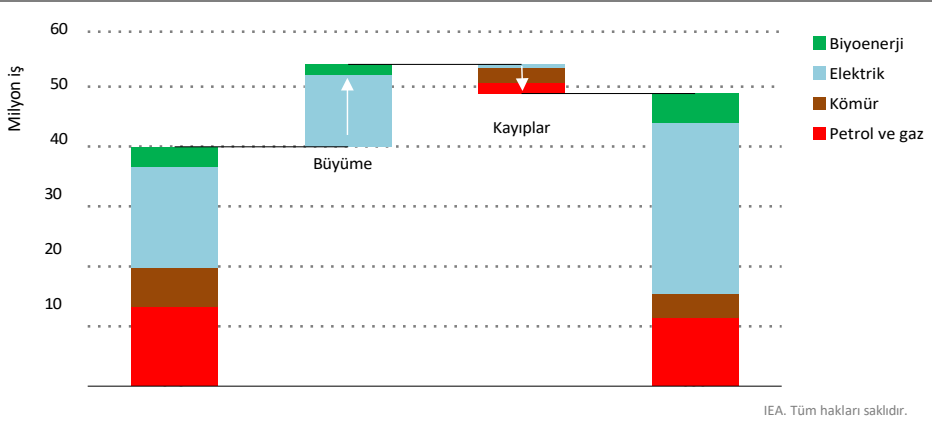
NZE'nin makroekonomik etkileri çok belirsizdir. Bunlar, hükümet harcamalarının nasıl finanse edildiği, sağlık alanındaki iyileştirmelerden elde edilen faydalar, tüketici faturalarındaki değişiklikler, tüketici davranışlarındaki değişikliklerin geniş etkisi ve hızlandırılmış enerji inovasyonundan kaynaklanan verimlilik yayılma potansiyeli gibi bir dizi faktöre bağlıdır. Bununla birlikte, etkilerin iklim değişikliği zararlarının maliyetine ilişkin değerlendirmelerden daha düşük olması muhtemeldir (OECD, 2015). Eşgüdümlü ve düzenli bir geçişin büyük küresel sistemik finansal etkiler olmadan gerçekleştirilebilmesi de muhtemeldir, ancak bunun için hükümetlerin, finansal düzenleyicilerin ve kurumsal sektörün yakın ilgisi gerekecektir.

4.2.3 İstihdam

Enerji sektöründeki istihdam, enerji yatırım ve harcamalarındaki değişikliklere yanıt olarak Yeni Zelanda'da önemli ölçüde değişmektedir. Bugün dünya genelinde yaklaşık 40 milyon kişinin doğrudan petrol, gaz, kömür, yenilenebilir enerji, biyoenerji ve enerji ağı sektörlerinde çalıştığını tahmin ediyoruz (IEA, 2020b). Yeni Zelanda'da temiz enerji istihdamı 14 milyon artmaktadır

2030'a kadar, petrol, gaz ve kömür yakıt tedariki ve enerji santrallerindeki istihdam yaklaşık 5 milyon azalırken, yaklaşık 9 milyon net istihdam artışına yol açacaktır (Şekil 4.5).

Şekil 4.5► Yeni Zelanda'da küresel enerji sektörü istihdamı, 2019-2030



Temiz enerji sektörlerinde yaratılan işlerin fosil yakıtlardaki kayıpları geride bırakmasıyla enerji sektöründeki toplam istihdam 2030 yılına kadar yaklaşık 9 milyon artar

Yaratılan işlerin, işlerin kaybedildiği aynı bölgede olması gerekemeyebilir, ayrıca temiz enerji işleri için gereken beceri setleri doğrudan transfer edilebilir olmayabilir. İş kayıpları en çok fosil enerji üretimine veya dönüşüm faaliyetlerine büyük ölçüde bağımlı olan topluluklarda belirgin olacaktır. Kaybedilen doğrudan enerji işlerinin sayısının az olduğu yerlerde bile, yerel ekonomi üzerindeki etki önemli olabilir. Bu geçişlerin adil ve insan merkezli bir şekilde yönetilmesi için devlet desteğine ihtiyaç duyulacağı neredeyse kesindir. Hazırlık aşamasında, mevcut enerji sektörü istihdamının daha iyi anlaşılması gerekmektedir. Hükümetlerin, *ABD Enerji ve İstihdam Raporu'nda* (NASEO ve Futures Initiative, 2021) kullanılanlar gibi, enerji sektörü istihdamı için daha ayrıntılı anket yaklaşımlarını benimsemeleri faydalı bir eylem olacaktır.

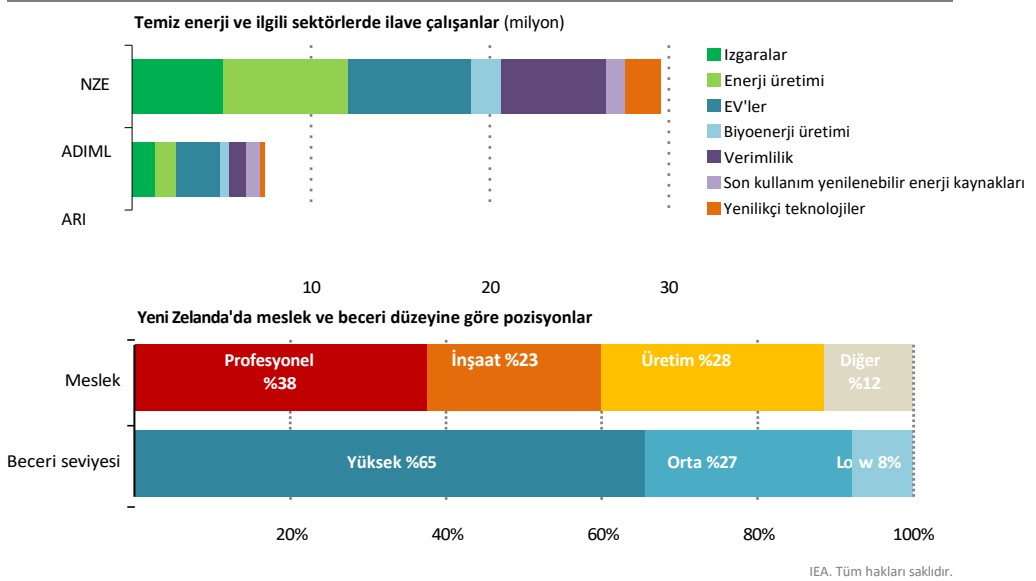
NZE'de yaratılan 14 milyon yeni temiz enerji işine ek olarak, daha verimli cihazlara, elektrikli ve yakıt hücreli araçlara, bina iyileştirmelerine ve enerji tasarruflu inşaatlara yapılan harcamalardaki değişikliklerle başka yeni işler de yaratılmaktadır. Bu değişiklikler 16 milyon işçiye daha ihtiyaç duyacaktır, yani 2030 yılına kadar Yeni Zelanda'da temiz enerji, verimlilik ve düşük emisyon teknolojilerinde çalışan 30 milyon kişi daha olacaktır (Şekil 4.6)⁽⁵⁾ Elektrik üretimi, elektrik şebekeleri, elektrikli araç üretimi ve enerji verimliliğine yapılan yatırımlar yeni istihdam olanakları yaratacak alanlar arasındadır. Örneğin, güneş ve rüzgâr enerjisi sektörlerindeki işler, Yeni Zelanda'da mevcut düzeylere göre dört kattan fazla artmaktadır. Yeni Zelanda'da 2030 yılına kadar bu sektörlerde çalışanların yaklaşık üçte ikisi yüksek vasıflı olacaktır ve

⁵Bu, yeni işleri ve mevcut istihdamın bir üretim türünden diğerine taşınmasıyla doldurulan işleri içerir.

çoğunluğu önemli ölçüde eğitim gerektirmektedir. Buna ek olarak, toplam enerji yatırımının iki katından fazla artmasıyla, toptan ticaret, mali ve hukuki hizmetler gibi ilgili alanlarda yeni istihdam fırsatları ortaya çıkacaktır.

Pek çok durumda, örneğin üretim elektrikli araçlara göre yeniden yapılandırılırken araç üretiminde olduğu gibi, çalışanların aynı şirket içinde yeni ürün gruplarına kaydırılması mümkün olabilir. Ancak, batarya gibi yeni bileşenlerle değiştirilen içten yanmalı motorlar gibi ürün ve hizmetler sağlayan uzmanlaşmış tedarik zinciri şirketleri için daha büyük riskler söz konusu olacaktır.

Şekil 4.6> Temiz enerji ve ilgili sektörlerdeki yeni çalışanlar ve 2030'da NZE ve STEPS'teki beceri düzeyi ve mesleklere göre paylar



Temiz enerji, verimlilik ve düşük emisyon teknolojilerine yönelik artan talebi karşılamak için 2030 yılına kadar yaklaşık 30 milyon yeni çalışana ihtiyaç duyulmaktadır; bunların yarısından fazlası yüksek vasfı pozisyonlardır

Not: EV'ler= elektrikli araçlar.

NZE'de yaratılan yeni işler, bugün olduğundan daha fazla coğrafi esnekliğe ve daha geniş bir dağılıma sahip olma eğilimindedir. Yaklaşık %40'ı, bina verimliliği iyileştirmeleri veya rüzgar türbini kurulumu gibi işin yapıldığı yere yakın yerlerde bulunan işler, geri kalanı ise üretim tesislerine bağlı işlerdir. Bugün bataryalar ve güneş fotovoltaik panelleri gibi bir dizi temiz enerji teknolojisinin üretim kapasitesi, başta Çin olmak üzere belirli bölgelerde yoğunlaşmıştır. Yeni Zelanda'da temiz enerji teknolojilerine yönelik talebin hızla artması, herhangi bir bölgede yer alabilecek yeni üretim kapasitesinin devreye girmesini gerektirmektedir. İlk harekete geçen ülkeler ve şirketler, gelişen talebi yakalamada stratejik avantajlara sahip olabilirler.

4.3 Enerji endüstrisi

4.3.1 Petrol ve gaz

NZE'de öngörülen enerji dönüşümü, petrol ve doğal gaz üretiminde büyük bir daralmayı içermekte ve bu yakıtları üreten tüm şirketler için geniş kapsamlı sonuçlar doğurmaktadır. Petrol talebi 2020'de günde yaklaşık 90 milyon varilden (mb/d) 2050'de 24 mb/d'ye , doğal gaz talebi 3 900 milyar metreküpten (bcm) yaklaşık 1 700 bcm'ye düşmektedir. Halihazırda geliştirilmesi onaylanmış olanlar dışında yeni petrol ve doğal gaz sahalarına ihtiyaç duyulmadığından, NZE'de hiçbir fosil yakıt araştırmasına gerek yoktur. Bu durum şirket kazançları için açık bir tehdit oluşturmaktadır, ancak fırsatlar da mevcuttur. Petrol ve doğal gaz endüstrisinin kaynakları ve becerileri, azaltımların en zor olacağı sektörlerde emisyonlarla mücadele etmek ve NZE'de talebin hızla arttığı düşük emisyonlu sıvı ve gazların bazılarını üretmek için gereken bazı yeni teknolojilerle iyi bir uyum içindedir (bkz. Bölüm 2). Petrol ve gaz endüstrisi, hükümetler ve diğer paydaşlarla ortaklık kurarak bu yakıtların ve teknolojilerin geniş ölçekte ve yeni iş modellerinin oluşturulmasında öncü bir rol oynayabilir.

Petrol ve gaz endüstrisi oldukça çeşitlidir ve çeşitli şirketler net sıfır geçişte çok farklı stratejiler izleyebilir. Ancak temel petrol ve gaz faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların en aza indirilmesi tüm petrol ve gaz şirketleri için birinci dereceden öncelik olmalıdır. Bu, operasyonlar sırasında ortaya çıkan metan emisyonlarıyla mücadele etmeyi (NZE'de 2020 ve 2030 yılları arasında %75 oranında azalır) ve alevlenmeyi ortadan kaldırmayı içerir. Şirketler ayrıca, şebekeden elektrik satın alarak veya şebeke dışı yenilenebilir enerji kaynaklarını yukarı akış tesislerine veya ulaşım altyapısına entegre ederek, mümkün olan her yerde yenilenebilir elektrik kullanarak operasyonlarını elektrikleştirmelidir. Emisyonları azaltmak için güçlü ve etkili eylemler sergileyebilen üreticiler, petrol ve gaz kaynaklarının daha yüksek emisyonlu seçeneklere tercih edilmesi gerektiğini inandırıcı bir şekilde savunabilirler.

Bazı petrol ve gaz şirketleri, yenilenebilir elektrik, elektrik dağıtımı, elektrikli araç şarjı ve bataryalar dahil olmak üzere düşük emisyonlu teknolojilere ve yakıtlara odaklanan "enerji şirketleri" olmayı seçebilir. CCUS, hidrojen, biyoenerji ve açık deniz rüzgârı gibi net sıfır emisyona ulaşılmasında kritik öneme sahip bazı teknolojiler, petrol ve gaz şirketlerinin mevcut becerileri, yetkinlikleri ve kaynaklarının bazılarına özellikle uygun görünmektedir.

- **Karbon yakalama, kullanma ve depolama.** Petrol ve gaz endüstrisi halihazırda CCUS geliştirme ve uygulama konusunda küresel lider konumundadır. Bugün büyük ölçekli tesislerde yakalanan 40 milyon ton (Mt) CO₂'nin yaklaşık dörtte üçü, genellikle yakalanması nispeten kolay ve uygun maliyetli konsantre CO₂ akışları üreten petrol ve gaz operasyonlarından yakalanmaktadır (IEA, 2020c). Petrol ve gaz endüstrisi ayrıca büyük hacimlerde CO₂ ile başa çıkabilecek ve CCUS'un yaygınlaştırılmasına yardımcı olabilecek büyük ölçekli mühendislik, boru hattı, yüzey altı ve proje yönetimi becerilerine ve yeteneklerine sahiptir.

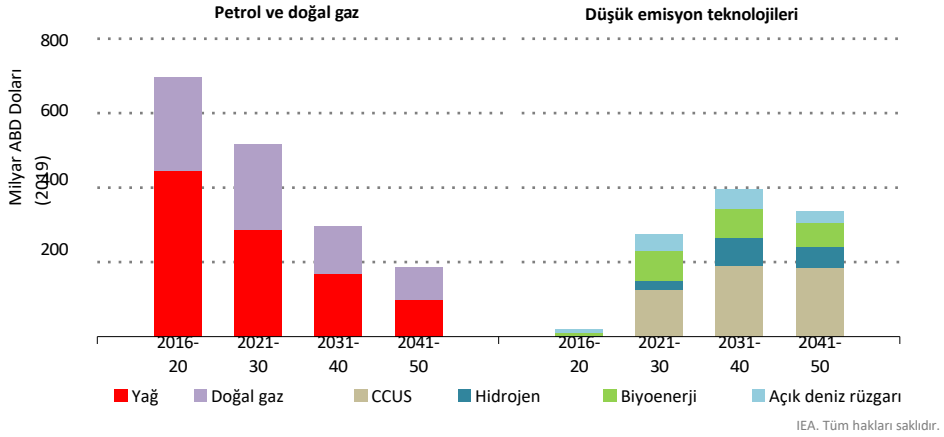
- **Düşük emisyonlu hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtlar.** Petrol ve gaz şirketleri düşük emisyonlu hidrojenin geliştirilmesine ve yaygınlaştırılmasına çeşitli şekillerde katkıda bulunabilir (IEA, 2019a). 2050 yılında NZE'deki hidrojen üretiminin yaklaşık %40'ı, CCUS ile donatılmış tesislerde doğal gazdan elde edilmektedir ve bu da şirketlerin ve ülkelerin doğal gaz kaynaklarını net sıfır emisyonla tutarlı bir şekilde kullanmaları için önemli bir fırsat sunmaktadır. 2050'deki toplam 530 Mt hidrojen üretiminin yaklaşık %30'u amonyak ve sentetik yakıtlara dönüştürülmektedir (yaklaşık 7,5 mboe/d'ye eşdeğer). İlgili dönüşüm süreçleri, petrol ve gaz işleme ve rafine etmede kullanılan beceri ve ekipmanlarla birçok potansiyel sinerjiye sahiptir. Petrol ve gaz şirketleri ayrıca sıvı ve gazların boru hattı ve gemilerle taşınması konusunda da uzun bir deneyime sahiptir.
- **Gelişmiş biyoyakıtlar ve biyometan.** Gelişmiş biyoyakıtların üretimi Yeni Zelanda'da önemli ölçüde artmaktadır, ancak bu kritik ölçüde teknolojik yeniliklerin devam etmesine bağlıdır. Birçok petrol ve gaz şirketi bu alanlarda aktif Ar-Ge programlarına sahiptir ve lider üreticiler haline gelebilirler. Doğal gazla düşük emisyonlu bir alternatif olan biyometan, büyük merkezi tesislerde üretilebilir ve bu da mevcut gaz üreticilerinin bilgi birikimi ve teknik uzmanlığı ile iyi bir uyum sağlayabilir (IEA, 2020d).
- **Açık deniz rüzgârı.** Standart bir açık deniz rüzgâr projesinin ömür boyu maliyetinin yaklaşık %40'ı açık deniz petrol ve gaz sektörüyle önemli sinerjiler içermektedir (IEA, 2019b). Petrol ve gaz endüstrisi, açık deniz konumlarında çalışma konusunda önemli bir deneyime sahiptir ve bu deneyim, özellikle kurulum ve işletme sırasında gemiler kullanılırken, açık deniz rüzgâr santralleri için temellerin ve deniz altı yapılarının inşasında değerli olabilir. Petrol ve gaz şirketlerinin güvenlik standartlarını koruma deneyimi, faaliyete geçtikten sonra açık deniz rüzgâr santrallerinin bakımı ve denetimi sırasında da yardımcı olabilir.

Petrol ve gaz şirketleri, bu teknolojilerin geliştirilme ve yaygınlaştırılma hızını artırmak ve diğer şirketlere göre ticari bir avantaj elde etmek için iyi bir konuma sahiptir. Yeni Zelanda'da, petrol ve gaz şirketlerinin beceri ve uzmanlıklarına uygun düşük emisyonlu teknolojilere yapılan yatırım, 2030 yılına kadar geleneksel petrol ve gaz operasyonlarına yapılan yatırımı aşacaktır. Bu teknolojilere ve geleneksel petrol ve gaz operasyonlarına yapılan toplam sermaye harcaması 2021-50 yılları arasında yılda ortalama 650 milyar ABD dolarıdır ve 2016-2020 yılları arasında petrol ve gaz projelerine yapılan yıllık yatırımdan sadece daha azdır (Şekil 4.7).

Tüm petrol ve gaz şirketleri diğer enerji türlerine yönelme stratejisini izlemeyi tercih etmeyecektir. Örneğin, ulusal petrol şirketlerinin devlet sahipleri tarafından ana faaliyet alanları dışında düşük emisyonlu enerji kaynaklarını çeşitlendirmek ve geliştirmekle görevlendirileceği kesin değildir; diğer şirketler sadece mümkün olduğunca temiz ve verimli bir şekilde petrol ve doğal gaz tedarik etmeye ve hissedarlara gelir getirmeye odaklanmaya karar verebilir. Ancak açık olan şey, hiçbir petrol ve doğal gaz şirketinin NZE'den etkilenmeyeceği ve sektörün tüm bölümlerinin nasıl yanıt vereceğine karar vermesi gerektiğidir (IEA, 2020e).

Şekil 4.7

Yeni Zelanda'da petrol ve gaz endüstrisi için sinerjileri olan petrol ve gaz ve düşük emisyonlu teknolojilere yıllık ortalama yatırım



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Petrol ve gaz şirketlerinin beceri ve uzmanlıklarına uygun düşük emisyonlu teknolojilere yapılan yatırım, 2030 yılına kadar geleneksel operasyonlara yapılan yatırımı aşacaktır

Not: CCUS= karbon yakalama, kullanma ve depolama.

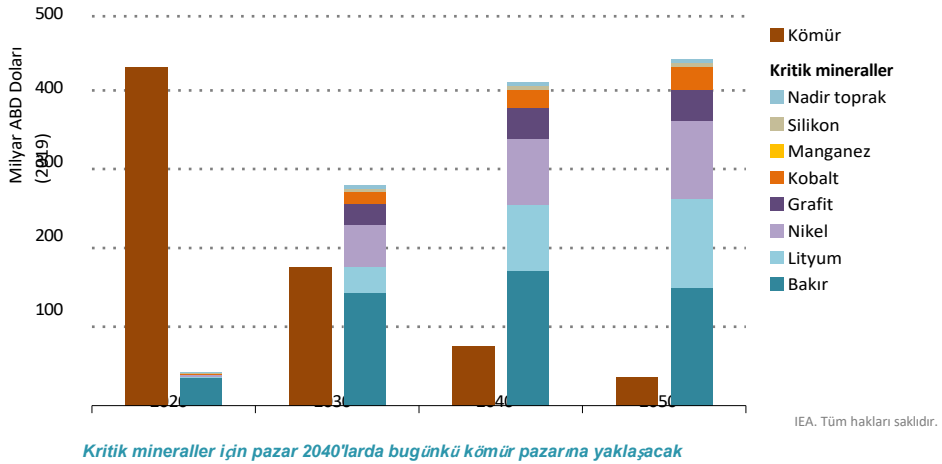
4.3.2 Kömür

NZE'de öngörülen kömür kullanımındaki hızlı düşüş, madencilik şirketlerinin ve mevcut büyük üretim kapasitelerine sahip ülkelerin geleceği üzerinde önemli etkilere sahip olacaktır. 2050 yılında NZE'de kullanılan kömürün yaklaşık 470 milyon ton kömür eşdeğeri (Mtce) CCUS donanımlı tesislerde bulunmaktadır (2050'deki küresel kömür talebinin %80'i), bu da talepte daha da keskin bir düşüşü önlemektedir. Ancak Yeni 'da yeni kömür madenlerine veya maden genişletmelerine ihtiyaç yoktur. Yeniden eğitim ve bölgesel canlandırma programları, yerel düzeyde iş kayıplarının sosyal etkisini azaltmak ve işçilerin ve toplulukların alternatif geçim kaynakları bulmalarını sağlamak için gerekli olacaktır. Kritik mineraller için ihtiyaç duyulan yeni işleme tesisleri de dahil olmak üzere yeni temiz enerji tesislerinin maden kapanmalarından en çok etkilenen bölgelere yerleştirilmesi için de fırsatlar olabilir.

Ancak madencilik şirketleri için, Yeni Doğu Anadolu Bölgesi'nde kömür talebindeki daralma, bakır, lityum ve nikel gibi birçok temiz enerji teknolojisi için hayati önem taşıyanlar da dahil olmak üzere diğer ham madenlerin çıkarılmasını artırma ihtiyacı ile dengelenebilir (IEA, 2021a). Bu kritik minerallere yönelik küresel talep NZE'de hızla artmaktadır (Şekil 4.8). Örneğin, bataryalarda kullanılmak üzere lityuma olan talep 2030 yılına kadar 30 kat artarken, özellikle elektrikli araç motorları ve rüzgar türbinleri yapımında kullanılan nadir toprak elementlerine olan talep 2030 yılına kadar 10 kat artmaktadır. Kritik mineral kaynakları her zaman mevcut kömür madenleriyle aynı yerlerde veya ülkelerde bulunmayabilir, ancak madencilik şirketlerinin beceri ve deneyimleri, bu minerallerin arzının makul fiyatlarla talebi karşılayabilmesini sağlamak için çok önemli olacaktır. 2040'lara gelindiğinde, bu mineraller için küresel pazarın büyüklüğü bugün kömür için olana yaklaşacaktır.

Şekil 4.8►

Yeni Zelanda'da kömür ve seçilmiş kritik madenlerin küresel değeri



Notlar: Kömür ve temiz enerji teknolojilerinde kullanılan seçilmiş kritik mineraller için toplam geliri içerir. Kritik minerallerin fiyatları, maliyet artışlarına ilişkin muhafazakar varsayımlara dayanmaktadır (mevcut seviyelerden 2050'ye kadar yaklaşık %10-%20 artış).

4.3.3 Elektrik

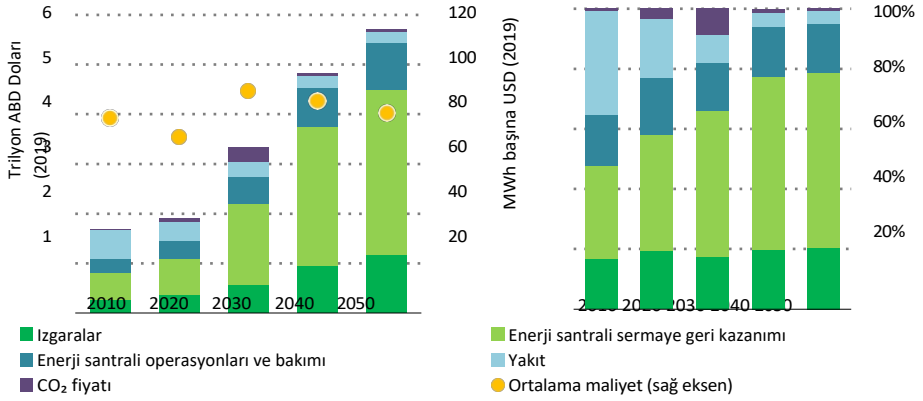
Net sıfır emisyonu ulaşmak, büyüyen küresel ekonominin ihtiyaçlarını karşılamak için elektrik sektörünün büyük ölçüde genişlemesini, daha önce fosil yakıt kullanan son kullanım alanlarının elektrifikasyonunu ve elektrolizden hidrojen üretimini gerektirmektedir. Elektrik talebi iki buçuk kattan fazla artarken, sektörün hızlı dönüşümü, toplam elektrik tedarik maliyetlerinin 2020'den 2050'ye kadar NZE'de üç katına çıkması ve elektrik üretim birimi başına ortalama maliyetlerin mütevazı bir şekilde yükselmesi anlamına gelmektedir (Şekil 4.9).

Elektrik tedarik endüstrisi de çok daha sermaye yoğun hale gelerek son zamanlardaki bir eğilimi hızlandırmaktadır. Sermayenin toplam maliyetler içindeki payı 2020'de %60'ın altındayken (2010'a göre zaten on puan daha yüksek) 2050'de yaklaşık %80'e çıkacaktır. Bu durum büyük ölçüde yenilenebilir enerjideki büyük artıştan ve buna bağlı olarak daha fazla şebeke kapasitesine ve batarya depolama dahil olmak üzere esneklik kaynaklarına duyulan ihtiyaçtan kaynaklanmaktadır. 2020'lerin sonlarında ve 2030'larda, mevcut güneş ve rüzgar enerjisi kapasitesinin işletme ömürlerinin sonuna geldikçe yenilenmesi ve değiştirilmesi de sermaye ihtiyaçlarını artırmaktadır.⁶ Yeni nükleer enerji kapasitesi ilaveleri, NZE'deki sermaye harcamalarını daha da artırmaktadır. Elektrik endüstrisinin artan sermaye yoğunluğu, yeni yatırımlar için riski sınırlamanın ve şebeke operatörlerinin artan yatırım ihtiyaçlarını finanse etmeleri için tüm yıllarda yeterli gelir sağlamanın önemini artırmaktadır - Covid-19 krizinden kaynaklanan elektrik talebindeki düşüş nedeniyle 2020'de bazı şebeke şirketlerinin yaşadığı mali zorlukların altını çizdiği bir nokta (IEA, 2020f).

⁶ Tipik olarak 25-30 yıl çalıştıktan sonra değiştirilmeleri gerekirken, birçok geleneksel hidroelektrik, nükleer ve kömür santrali, periyodik ek yatırımlarla da olsa çok daha uzun süre çalışmaktadır.

Şekil 4.9►

NZE'de bileşenlere göre küresel elektrik tedarik maliyetleri



Elektrik sistemi maliyetleri 2050'ye kadar üç katına çıkarak ortalama tedarik maliyetlerini mütevazı bir şekilde artırıyor; yenilenebilir enerji kaynaklarının muazzam büyümesi sektörü daha sermaye yoğun hale getiriyor

Notlar: Elektrik tedarik maliyetleri, elektriğin üretilmesi ve tüketicilere iletilmesi için gereken tüm doğrudan maliyetleri içerir. Batarya depolama sistemleri enerji santrali sermaye geri kazanımına dahildir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının artması, elektrik piyasalarının tasarımı açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Güneş, rüzgar, diğer değişken yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerjinin payları yüksek seviyelere ulaştığında, marjinal maliyeti olmayan mevcut elektrik arzı genellikle elektrik talebinin üzerinde olur ve bu da elektriğin toptan satış fiyatının sıfır veya hatta negatif olmasına neden olur. 2050 yılına gelindiğinde, elektrik piyasası tasarımında değişiklik yapılmaksızın, Yeni Zelanda'daki rüzgar ve güneş enerjisi üretiminin yaklaşık %7'si entegre edilebilecek (ve dolayısıyla kısılabilecek) miktarın üzerinde ve ötesinde olacak ve talep tarafı katılımın aktif kullanımına rağmen, yıl içinde sıfır fiyatlı saatlerin payı büyük piyasalarda bugün sıfıra yakinken yaklaşık %30'a yükselecektir. Eğer yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı NZE'de öngörüldüğü şekilde artarsa, bu nedenle elektrik piyasalarının tasarımında önemli değişiklikler yapılması ve böylece batarya depolama ve sevk edilebilir enerji santralleri gibi esneklik kaynaklarına yatırım da dahil olmak üzere yatırım için sinyaller sağlanması son derece arzu edilir olacaktır.

Elektrik kullanımındaki artış kaçınılmaz olarak ilgili maliyetleri de artırmaktadır. Dünya çapında enerji santrallerinin işletilmesi ve bakımı, 2050'de NZE'de 1 trilyon ABD dolarına yakın bir maliyete neden olacaktır ki bu da 2020'deki seviyenin iki buçuk katıdır. 2020'de fosil yakıtlı enerji santrallerinin bakım maliyeti 150 milyar ABD dolarıydı ve yenilenebilir enerji kaynakları, çoğunlukla hidroelektrik için olmak üzere, neredeyse bir o kadar maliyet gerektiriyordu. 2050 yılına gelindiğinde, yenilenebilir enerji işletme ve bakım maliyeti 780 milyar ABD dolarına ulaşırken, bu maliyetin büyük bir kısmı rüzgar ve güneş fotovoltaikleri (PV) için gerekli olacaktır: sadece açık deniz rüzgarı 90 milyar ABD dolarını oluşturmaktadır.

Elektrik sektöründe fosil yakıt kullanımının keskin bir şekilde azalması ve yakıt fiyatlarının düşmesi, yakıt ve CO₂ fiyatlarıyla ilgili maliyetlerin önemli ölçüde azaldığı anlamına gelmektedir. Bu durum, birçok piyasada neredeyse rekor düzeyde düşük seyreden doğal gaz fiyatlarının yol açtığı son dönemdeki eğilimi devam ettirmektedir. Zaman içinde artan CO₂ fiyatlarına rağmen, elektriğin hızlı bir şekilde karbonsuzlaştırılması, yakıt ve CO₂'nin toplam maliyetler içinde azalan bir paya sahip olduğu ve 2020'de yaklaşık dörtte bir iken 2050'de %5'e düştüğü anlamına gelmektedir. Yakıt maliyetlerinin dengesi, başta nükleer enerji ve biyoenerji (CCUS dahil) olmak üzere düşük emisyonlu kaynaklara doğru kaymaktadır, ancak bir kısmı hala CCUS ile donatılmış elektrik santrallerinde kullanılan doğal gaz ve kömürle ilgili olmaya devam etmektedir.

Bu bağlamda karşılaşılan zorluklardan biri, faaliyette olan kömürlü termik santraller konusunda ne yapılacağıdır. 2020 yılında, dünya çapında 2 100 gigawatt'ın (GW) üzerinde enerji santrali elektrik ve ısı üretmek için kömür kullandı ve enerjiyle ilgili tüm CO₂ emisyonlarının yaklaşık %30'unu yaydılar. Seçenekler arasında kömürlü termik santrallerin CCUS teknolojileriyle güçlendirilmesi, biyokütle veya amonyakla birlikte yakılması; kömürlü termik santrallerin esneklik sağlamaya odaklanacak şekilde yeniden tasarlanması ve mümkün olan yerlerde aşamalı olarak kapatılması yer almaktadır. NZE'de, gelişmiş ekonomilerde 2030 yılına kadar, yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde ise 2040 yılına kadar tüm kömürlü termik santrallerin aşamalı olarak kapatılması öngörülmektedir. Sonuç olarak, kömürlü termik santrallerden kaynaklanan emisyonlar 2020 yılında 9,8 gigatondan (Gt)

2030 yılında 3,0 Gt ve 2040 yılında sadece 0,1 Gt (CCUS santralleri ile kömürden kalan emisyonlar)⁷

Bir diğer zorluk, kömürden başlayarak, öngörülen kapasite emekliliklerinin ve ilgili saha rehabilitasyonunun ölçeği ile ilgilidir. Kömürlü termik santrallerin 2020-50 yılları arasında emekliye ayrılma hızı, geçtiğimiz on yılın neredeyse üç katıdır. Her bir sahanın işletmeden çıkarılması genellikle on yıl sürebilir ve önemli bir maliyet gerektirebilir ve bir madenin kapatılmasını da içerebilir. Bazı durumlarda, aynı sahada yenilenebilir enerji projesi inşa etmek, şebeke bağlantısından yararlanmak ve rehabilitasyon maliyetini sınırlamak finansal açıdan cazip olabilir. Binlerce doğal gaz ve petrol yakıtlı enerji santrali de 2050 yılına kadar emekliye ayrılacaktır, ancak bu sahalar genellikle şebeke üzerinde stratejik olarak konumlandırılmıştır ve birçoğunun doğrudan batarya depolama sistemleriyle değiştirilmesi muhtemeldir.

Gelişmiş ekonomilerdeki geniş yaşanan nükleer reaktör filosu, birçok reaktörün ömrünün uzatılmasına rağmen, bunların hizmetten çıkarılmasının artması anlamına gelmektedir. NZE'de, önümüzdeki 30 yıl içinde dünya genelinde yıllık ortalama nükleer emeklilik oranı son on yıla kıyasla %60 daha yüksektir. Her bir nükleer devreden çıkarma projesi onlarca yıl sürebilir ve maliyetleri birkaç yüz milyon dolardan büyük reaktörler için 1 milyar doların üzerine kadar çıkabilir (NEA, 2016).

4.3.4 Enerji tüketen endüstriler

NZE'deki değişiklikler, araç üreten sektörler ile bunların malzeme ve bileşen tedarikçileri üzerinde muazzam bir etkiye sahip olacaktır. 2020 yılında dünya çapında satılan tüm otomobillerin yaklaşık %95'i ve kamyonların neredeyse tamamı içten yanmalı motora sahip geleneksel araçlardır. NZE'de, 2030'da küresel otomobil satışlarının yaklaşık %60'ı elektrikli araçlardan ve %85'i

⁷ %90'lık bir CO₂ yakalama oranı varsayılmıştır, ancak daha yüksek oranlar teknik olarak daha düşük verimlilik ve ek maliyetlerle mümkündür (IEA, 2020g).

2040'ta satılan ağır hizmet kamyonları elektrikli veya yakıt hücreli araçlardır. NZE'de, araç bileşen tedarikçileri ve araç üreticileri fabrikaları yeniden düzenlemekte, bataryaları ve yakıt hücrelerini dahil etmek için tasarımları değiştirmekte ve araçların yaşam döngüsü emisyon yoğunluklarını en aza indirmek için tedarik zincirlerini ayarlamaktadır. Bu durum, verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek için mevcut parçaların ve üretim süreçlerinin yeniden tasarlanması için fırsatlar sunmaktadır.

Yeni Zelanda'da elektrikli araç satışlarındaki hızlı artış, bataryalar için yeni tedarik zincirlerinin yanı sıra şarj ve düşük emisyonlu yakıt ikmal altyapısının acilen ölçeklendirilmesini gerektirmektedir. NZE'de 2020 yılında 0,2 'den az olan batarya üretim kapasitesi 2030 yılına kadar 6,5 terawatt-saat'in (TWh) üzerine çıkacaktır. Batarya üretim kapasitesinin artırılmasındaki herhangi bir gecikme, elektrikli araçların yaygınlaştırılması üzerinde zararlı bir etkiye sahip olacak ve NZE'de benzer üretim süreçleri ve bilgi birikiminden yararlanan (yakıt hücreli araçlar ve elektrolizörler gibi) diğer temiz enerji teknolojileri için maliyet düşüşlerini yavaşlatacaktır.

Havacılık ve denizcilikte, düşük emisyonlu sıvı yakıtlar azaltılmasında merkezi öneme sahiptir. Bunlardan bazılarının geçişin gemi tasarımı üzerinde çok az etkisi olacaktır: gemicilikte hidrojen bazlı yakıtların veya biyoyakıtların kullanımı sadece motor ve yakıt sisteminde değişiklik gerektirecektir ve biyo-gazyağı veya sentetik gazyağı mevcut uçaklarla çalışabilir. Bununla birlikte, Yeni Zelanda'da yeni yakıt ikmal ve yakıt ikmal altyapısına ihtiyaç duyulmaktadır ve bu düşük emisyonlu yakıtların kullanımı ayrıca yeni güvenlik ve standardizasyon standartları, izin, inşaat ve tasarım protokollerinin yanı sıra bunların üretimi ve kullanımına ilişkin uluslararası düzenleme, izleme, raporlama ve doğrulama gerektirmektedir.

Ağır sanayi sektörlerinde - çelik, çimento ve kimyasallar - derin emisyon azaltma teknolojilerinin çoğu bugün piyasada mevcut değildir. NZE'de malzeme üreticileri, devletin risk paylaşım mekanizmalarının da yardımıyla kısa süre içinde sıfıra yakın emisyon süreçlerini ortaya koyar ve mevcut üretim varlıklarını uyarlamaya başlar. Çok uluslu şirketler için bu, süreçleri tesisler arasında yaygınlaştırmak için teknoloji transferi stratejileri geliştirmeyi içerir. Uluslararası işbirliği, herkes için eşit bir oyun alanı sağlanmasına yardımcı olacaktır. Ülkeler içinde çabalar, yeni altyapı (CO₂ taşıma ve depolama gibi) ve düşük emisyonlu enerji tedariki için ölçek ekonomilerini teşvik ederek birden fazla sanayi sektöründe emisyon azaltımını hızlandırmak amacıyla sanayi merkezlerine odaklanmaktadır.

Malzeme üreticileri, sıfıra yakın emisyonlu malzemelerin geleneksel malzemelerden ayırt sağlayacak uluslararası bir sertifikasyon sistemi oluşturmak için NZE'deki hükümetlerle birlikte çalışır. Bu, araç üreticileri ve inşaat şirketleri gibi malzeme alıcılarının, sıfıra yakın emisyonlu malzemeleri bir fiyat primi karşılığında satın almak için ticari anlaşmalar yapmalarını sağlayacaktır. Çoğu durumda, malzemelerin genellikle üretim maliyetlerinin küçük bir kısmını oluşturduğu göz önüne alındığında, bu prim ürün fiyatının nihai fiyatı üzerinde yalnızca mütevazı bir etkiye neden olacaktır (Material Economics, 2019).

4.4 Vatandaşlar

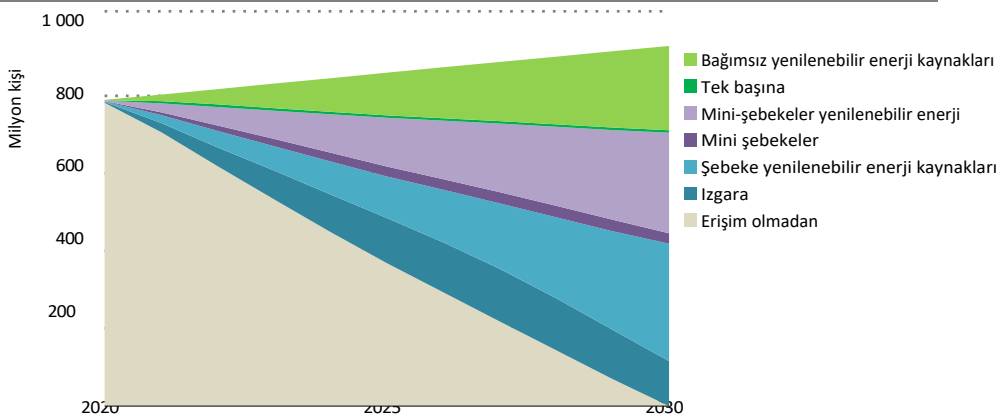
4.4.1 Enerji ile ilgili Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri

Kapsayıcı ve insan merkezli bir geçiş, dünyanın yüzyılın ortalarında net sıfır emisyonu doğru hızlı, kolektif ve tutarlı bir şekilde ilerlemesinin anahtarıdır. NZE, 2030 yılına kadar temiz modern enerjiye evrensel erişim (SKH 7.1) ve hava kirliliğinin neden olduğu erken ölümlerin azaltılması (SKH 3.9) gibi Birleşmiş Milletler'in enerjiyle ilgili Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine (SKH'ler) ulaşmaktadır. NZE'de 2030 yılına kadar düşük emisyonlu elektrikli ve temiz pişirme çözümlerine tam erişim sağlamak için kullanılan teknolojiler, seçenekler ve önlemler, evlerde enerji kullanımından kaynaklanan sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılmasına da yardımcı olmaktadır.

Enerji erişimi

2020 yılında dünya genelinde yaklaşık 790 milyon insanın elektrikli erişimi yoktu ve bunların çoğu Sahra altı Afrika ve gelişmekte olan Asya'da yaşıyordu. Yaklaşık 2,6 milyar insanın temiz pişirme seçeneklerine erişimi yoktu: Bunların %35'i Sahra-altı Afrika'da, %25'i Hindistan'da ve %15'i Çin'deydi. Enerjiye erişim eksikliği sadece ekonomik kalkınmayı engellemekle kalmamakta, aynı zamanda sağlığa da ciddi zararlar vermekte ve toplumsal cinsiyet eşitliği ve eğitim konularında ilerleme kaydedilmesinin önünde bir engel teşkil etmektedir.⁸

Şekil 4.10 ▶ Yeni Zelanda'daki yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde bağlantı türüne göre elektrikli erişen kişiler



IEA, Tüm hakları saklıdır.

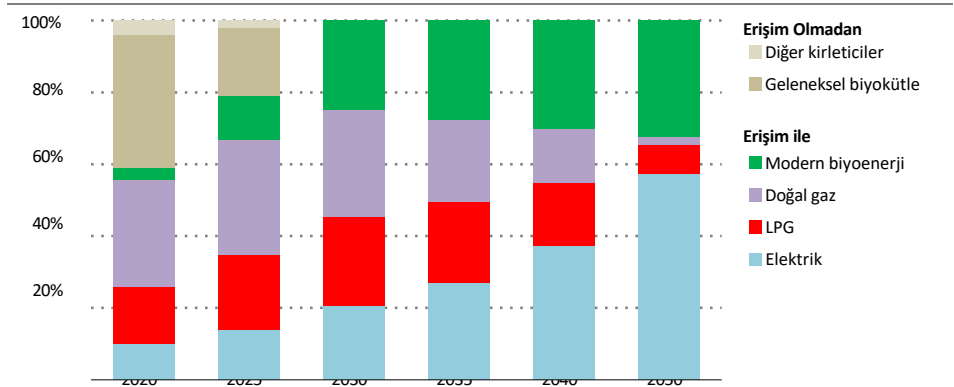
2030 yılına kadar elektrikli erişen insanların %80'inden fazlası yenilenebilir enerjiden, yarısından biraz fazlası ise şebekeden bağımsız sistemlerden faydalanmaktadır

⁸ Yemek pişirmek için geleneksel biyokütle kullanımına güvenen haneler, her gün yaklaşık 1,4 yakacak odun toplamaya ve birkaç saatlerini de verimsiz ocaklarda yemek pişirmeye ayırmaktadır ve bu yük büyük ölçüde kadınlar tarafından taşınmaktadır (IEA, 2017).

2030 yılına kadar elektriğe erişimi olmayanların yaklaşık %45'i ana şebekeye bağlanarak elektriğe kavuşurken, geri kalanlara mini-şebekeler (%30) ve bağımsız çözümler (%25) ile hizmet verilmektedir (Şekil 4.10). Neredeyse tüm şebeke dışı veya mini şebeke çözümleri %100 yenilenebilir. Düşük güvenilirliği telafi etmek için bazı şebekeye bağlı sistemlerde de kullanılan dizel jeneratörlere dayanan merkezi olmayan sistemler, daha sonra aşamalı olarak kaldırılmakta ve yerini güneş depolama sistemlerine bırakmaktadır. Tam erişimin sağlanması küresel emisyonlarda önemli bir artışa yol açmaz: 2030 yılında CO₂ emisyonlarına %0,2'den daha az bir katkı sağlar. Elektriğe tam erişimin sağlanması aynı zamanda verimlilik kazanımlarını da beraberinde getirir ve 2030'dan sonra yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde binalardaki emisyon azaltımları için kritik hale gelen cihazların elektrifikasyonunu hızlandırır.

Temiz pişirme için, Yeni Zelanda'da 2030 yılına kadar erişim sağlayanların %55'i bunu modern biyokütle, biyogaz veya etanol yakıtlı geliştirilmiş biyokütle ocakları (ICS), %25'i sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) kullanımı ve %20'si elektrikli pişirme çözümleri yoluyla yapmaktadır (Şekil 4.11). LPG kentsel alanlarda benimsenen ana yakıttır ve ICS kırsal alanlarda ana seçenektir. LPG kullanımı, 2030 yılında CO₂ emisyonlarında hafif bir artışa neden olurken, geleneksel biyokütle kullanımından kaynaklanan metan, azot oksit ve siyah karbon emisyonlarının azalması nedeniyle genel sera gazı emisyonlarında net bir azalma sağlamaktadır. Buna ek olarak, 2030'dan sonra LPG, kentsel katı atıklardan (MSW) ve diğer yenilenebilir hammaddelerden sürdürülebilir şekilde üretilen biyo kaynaklı bütan ve propan (biyoLPG) kullanılarak giderek karbondan arındırılmaktadır. Afrika'da 2050 yılında MSW'den biyoLPG üretiminin teknik potansiyeli 750 milyondan fazla insanın yemek pişirme ihtiyacını karşılamaya yetebilir (GLPGP, 2020; Liquid Gas Europe, 2021).

Şekil 4.11 ► Yeni Zelanda'daki yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde nüfus payına göre birincil pişirme yakıtı



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Geleneksel biyokütle yerini 2030 yılına kadar ağırlıklı olarak biyoenerji ve LPG şeklinde olmak üzere tamamen modern enerjinin alması; 2050 yılına kadar elektrik, biyoenerji ve biyoLPG'nin pişirme ihtiyacının çoğunu karşılaması

Notlar: Modern biyoenerji geliştirilmiş ocakları, biyogazı ve etanolü içerir. Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) fosil ve yenilenebilir yakıtları içerir.

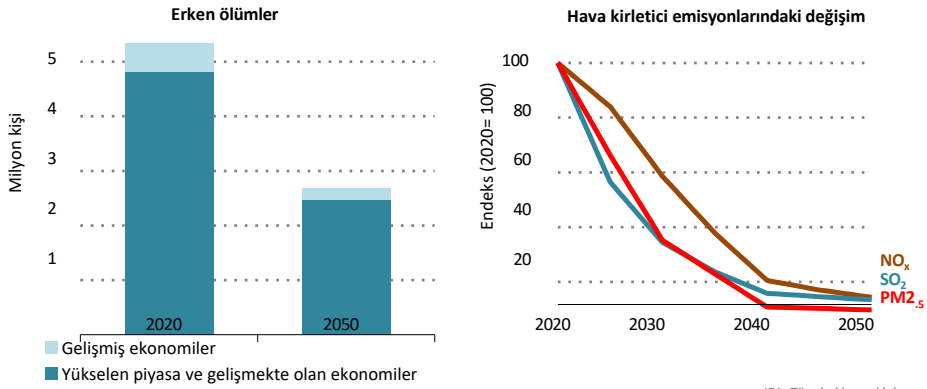
Temiz enerjiye evrensel erişimin 2030 yılına kadar sağlanması, hükümetlerin ve bağışçıların erişimi genişletmeyi iyileştirme plan ve programlarının merkezine koymalarını gerektirmektedir. Bunun birden fazla faydası olacaktır: enerji erişimine büyük yatırımlar yapmak, ekonomiyi derhal canlandıracak, yerel istihdam yaratacak ve sağlık hizmetleri ile gıda zincirlerini modernize ederek sosyal refahta kalıcı iyileşmeler sağlayacaktır. Yeni Zelanda'da, bugünden 2030'a kadar düşük gelirli ülkelerdeki insanların elektriğe erişimini iyileştirmek için her yıl yaklaşık 35 milyar ABD doları ve temiz pişirme çözümleri için her yıl yaklaşık 7 milyar ABD doları harcanmaktadır.

Hava kirliliği ve sağlık

Bugün dünya genelinde insanların %90'ından fazlası kirli havaya maruz kalmaktadır. Bu kirlilik 2020 yılında yaklaşık 5,4 milyon erken ölüme yol açarak ekonomik üretkenliği baltalamış ve sağlık sistemleri üzerinde ekstra baskı oluşturmuştur. Bu ölümlerin çoğu yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde gerçekleşmiştir. Yarısından biraz fazlası dış ortamdaki hava kirliliğine maruz kalmaktan kaynaklanırken; geri kalanı, çoğunlukla yemek pişirme ve ısınma için geleneksel biyokütle kullanımından kaynaklanan iç mekanlardaki kirli havayı solumaktan kaynaklanmıştır.

Üç ana hava kirleticisinin (sülfür dioksit SO_2), nitrojen oksitler (NO_x) ve ince partikül madde ($PM_{2.5}$) enerji ile ilgili emisyonları Yeni Zelanda'da hızla düşmektedir. SO_2 emisyonları, esas olarak kömürle çalışan enerji santrallerinin ve sanayi tesislerinin büyük ölçekli aşamalı olarak kapatılmasının bir sonucu olarak 2020 ile 2050 yılları arasında %85 oranında düşmektedir. NO_x emisyonları da ulaşım sektöründe elektrik, hidrojen ve amonyak kullanımının artmasının bir sonucu olarak yaklaşık %85 oranında düşmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde temiz pişirme yakıtlarının kullanımının artması, sanayi ve ulaşım da hava kirliliği kontrol önlemleri ile birlikte $PM_{2.5}$ emisyonlarında %90'lık bir düşüşe neden olmaktadır (Şekil 4.12). NZE'de hava kirliliğindeki azalma, 2050 yılında erken ölümlerin 2020 yılına kıyasla yaklaşık yarı yarıya azalmasına yol açarak, yaklaşık %85'i yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde olmak üzere yılda yaklaşık 2 milyon insanın hayatını kurtarmaktadır.

Şekil 4.12 ▶ Yeni Zelanda'da küresel erken ölümler ve hava kirleticisi emisyonları



Başlıca hava kirleticilerindeki azalma yılda 2 milyon daha az erken ölüm anlamına gelmektedir

Kaynaklar: IIASA'ya dayalı IEA analizi.

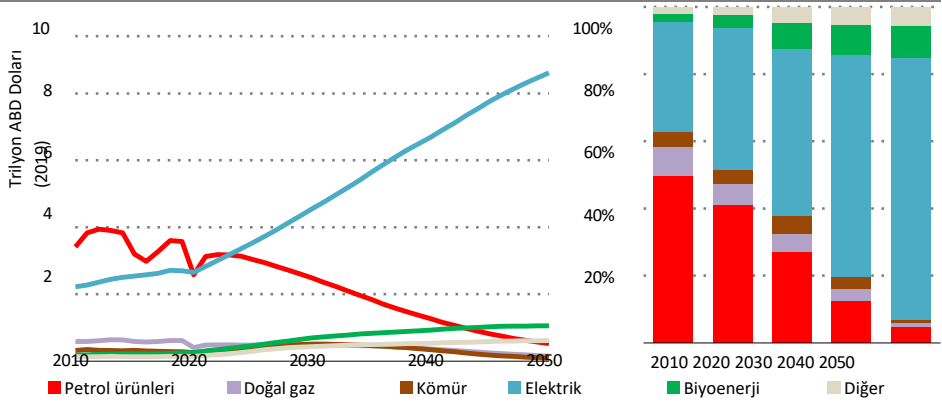
4.4.2 Ekonomiklik

Toplam enerji harcaması

Enerji satın alınabilirliği hükümetler, işletmeler ve hane halkları için önemli bir endişe kaynağıdır. Küresel doğrudan enerji harcamaları, yani tüm son kullanıcılar tarafından ödenen ve 2020 yılında 6,3 trilyon ABD doları olan yakıt faturaları, 2030 yılına kadar %45 ve 2050 yılına kadar %75 oranında artmaktadır ve bu artış büyük ölçüde bu dönemdeki nüfus ve GSYİH artışını yansıtmaktadır. Küresel GSYH'nin bir payı olarak rakamlar oldukça farklı görünmektedir: enerjiye yapılan toplam doğrudan harcama 2030'a kadar yaklaşık %8'de sabit kalmakta (son beş yılın ortalamasına benzer şekilde), ancak 2050'de %6'ya düşmektedir. Bu düşüş, yeni, daha verimli enerji tüketen ekipman satın almanın yüksek maliyetinin önemli bir kısmını dengelemektedir.

NZE'de enerji harcamalarındaki artışın bir kısmı artan CO₂ fiyatları ve fosil yakıtlar ve elektrik için tüketim sübvansiyonlarının kaldırılmasıyla ilgilidir. Son kullanıcılar tarafından ödenen CO₂ fiyatlandırması (vergiler ve ticaret planları), NZE'de 2030 ve 2035 yılları arasında her yıl 700 milyar ABD dolarına yakın küresel gelir yaratmakta, ardından azalan genel emisyonlar nedeniyle istikrarlı bir şekilde azalmaktadır: bu gelirler ekonomilere geri dönüştürülebilir veya özellikle düşük gelirli haneler için tüketici refahını iyileştirmek için başka şekillerde kullanılabilir. NZE ayrıca fosil yakıtlara yönelik tüketim sübvansiyonlarının aşamalı olarak kaldırılmasını öngörmektedir; bu sübvansiyonların çoğu, sübvansiyon edilen yakıtı daha fazla kullanan nüfusun daha varlıklı kesimlerine orantısız bir şekilde fayda sağlamaktadır. Sübvansiyonların aşamalı olarak kaldırılması tüketiciler için daha etkin fiyat sinyalleri sağlayacak ve daha fazla enerji tasarrufu ve enerji verimliliğini artırmaya yönelik önlemleri teşvik edecektir. Sübvansiyonların aşamalı olarak kaldırılmasının düşük gelirli haneler üzerindeki etkisi, doğrudan ödeme planları veya diğer yollarla ekonomiye daha düşük toplam maliyetlerle dengelenebilir.

Şekil 4.13 ► Yeni Zelanda'da yakıta göre küresel enerji harcamaları



Toplam enerji harcamaları 2050'ye kadar %75 oranında artar, bu artış ağırlıklı olarak elektrik için yapılır

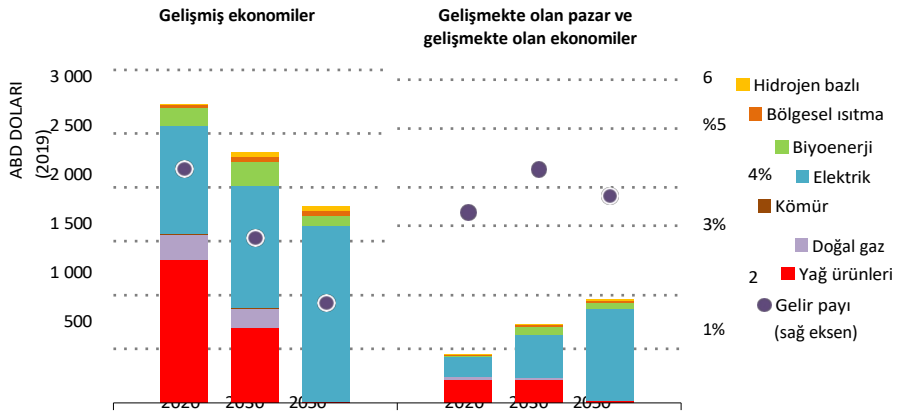
Not: Diğer= hidrojen bazlı ve sentetik yakıtlar ve bölgesel ısıtma.

Yeni Zelanda'da küresel enerji sisteminin dönüşümü, enerji harcamalarının bileşiminde büyük bir değişime yol açmaktadır. Elektrik için yapılan harcamalar 2020 yılında 2,7 trilyon ABD doları (toplam enerji harcamalarının %45'i) ile ilk kez petrol ürünleri için yapılan harcamaları aşmış ve 2050 yılında 8,5 trilyon ABD dolarının üzerine çıkmıştır (toplam enerji harcamalarının %80'i) (Şekil 4.13). Perakende elektrik fiyatları ortalama %50 artarak toplam katkıda bulunmaktadır. On yıllardır genel enerji harcamalarına hakim olan petrole yapılan harcamalar 2020'lerde uzun vadeli düşüşe geçerek harcamalardaki payı 2020'de %40'tan 2050'de sadece %5'e düşmektedir. Doğal gaz ve kömüre yapılan harcamalar da uzun vadede azalmakta ve düşük emisyonlu yakıtlara yapılan harcamalardaki artışla dengelenmektedir. Biyoenerjiye yapılan harcamalar 2040 yılına kadar yılda yaklaşık 900 milyar ABD dolarına ulaşırken, hidrojen bazlı ürünler de dahil olmak üzere diğer düşük emisyonlu yakıtlar bir yer edinir ve 2050 yılına kadar yılda yaklaşık 600 milyar ABD doları değerinde bir pazar oluşturur.

Hanehalkının enerji harcamaları

Isıtma, soğutma, elektrik ve binek araç yakıtı dahil olmak üzere hane halkları tarafından enerjiye yapılan doğrudan harcamalar, ülkeler arasında büyük farklılıklar olsa da, Yeni Zelanda'da harcanabilir gelirin bir payı olarak düşmektedir (Şekil 4.14).

Şekil 4.14 ▶ Yeni Zelanda'da hanelerin yıllık ortalama enerji faturası



IEA, Tüm hakları saklıdır.

Harcanabilir hane halkı gelirinin enerji için harcanan kısmı yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde sabit kalırken, gelişmiş ekonomilerde önemli ölçüde düşmektedir

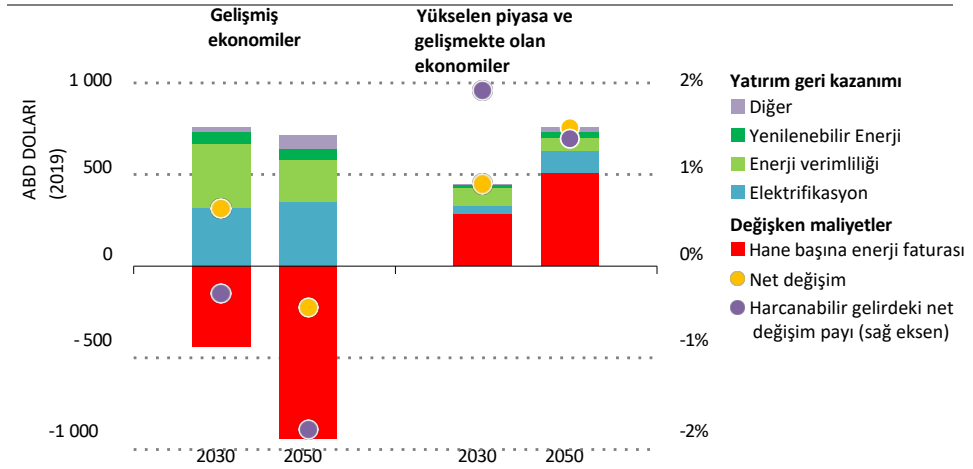
Not: Hidrojen bazlı hidrojen, amonyak ve sentetik yakıtları içerir.

Gelişmiş ekonomilerde, enerji verimliliği ve uygun maliyetli elektrifikasyona yönelik güçlü bir baskı sayesinde ortalama yıllık fatura 2020'de yaklaşık 2 800 ABD dolarından 2030'da 2 300 ABD dolarına düşmektedir. Petrol ürünleri 2020 yılında hane halkı enerji faturalarının yarısına yakını oluştururken, elektrikli araçlara hızlı geçiş ve petrol fiyatları üzerindeki aşağı yönlü baskı nedeniyle bu oran 2030 yılında %30'a, 2050 yılında ise neredeyse sıfıra düşmektedir. Bugün toplamın neredeyse %10'unu oluşturan doğal gaz faturaları da

ısıtma ve yemek pişirmenin elektrifikasyonu ile 2050 yılında neredeyse sıfıra düşecektir. Elektrik, 2020 yılında hane halkı yakıt faturalarının yaklaşık %35'inden 2050 yılında %90'ına yükselerek hane halkının elektrik fiyatlarına ve tüketimine duyarlılığını artırmaktadır. Artan gelirler, harcanabilir gelirin bir payı olarak hane halkı enerji harcamalarının 2020'de %4'ten 2050'de %2'ye düşmesi anlamına gelmektedir.

Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde, genişleyen nüfus, ekonomik büyüme, artan gelirler ve elektriğe ve temiz pişirme seçeneklerine evrensel erişimle bağlantılı olarak modern enerji hizmetlerine yönelik talepte büyük bir artış söz konusudur. Gelişmiş ekonomilerde olduğu gibi, 2050 yılında da enerji faturalarının büyük çoğunluğunu elektrik oluşturmaktadır. Daha verimli cihaz ve ekipmanların kullanımı talepteki artışın bir kısmını sınırlasa da Yeni Zelanda'da hane halkı faturaları 2030'a kadar %60'ın üzerinde, 2050'ye kadar ise iki katından artacaktır. Bununla birlikte, harcanabilir gelirin bir olarak, yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdeki faturalar %4 civarında kalmaktadır ve artan enerji kullanımının büyük sosyal ve ekonomik faydaları vardır.

Şekil 4.15► 2020'ye göre Yeni Zelanda'da enerji artı enerjiyle ilgili yatırımlar için hanehalkı harcamalarındaki değişim



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde enerji için yapılan toplam hane halkı harcamaları mütevazı bir şekilde artmakta ve ek gelirin %90'ından fazlası diğer kullanımlar için kullanılabilir hale gelmektedir

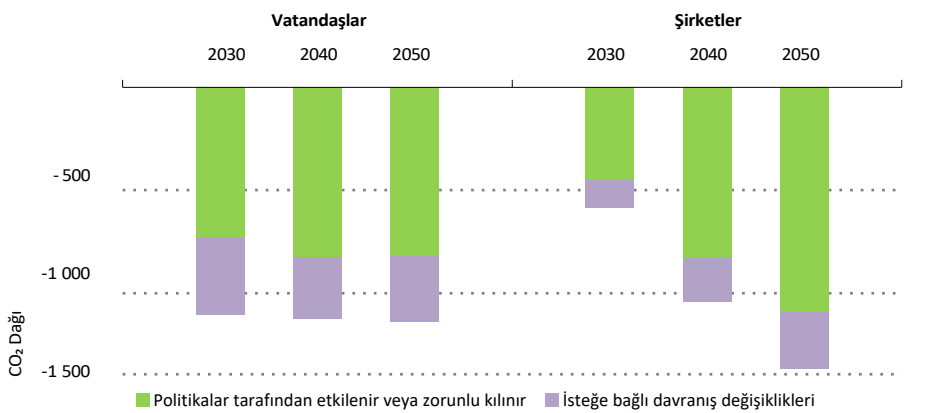
Verimli cihazlar ve elektrikli araçlar gibi elektrik tüketen ekipmanlara yapılan ek yatırımlar dikkate alındığında, enerji harcamaları ve ilgili yatırımlar, 2050 yılında küresel olarak hane başına günlük 1,30 doları daha yüksektir. Bu mütevazı artış, enerji harcamalarının 2050'de harcanabilir gelirin bugünkünden daha küçük bir kısmını oluşturacağı anlamına gelmektedir, ancak etkiler ülkelere göre değişmektedir. Gelişmiş ekonomilerde, elektrifikasyon, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerjiye yapılan ek yatırımların maliyeti 2030 yılına kadar hane başına yaklaşık 750 ABD doları, 2050 yılında ise 720 ABD dolarıdır ve bu maliyet enerji faturalarındaki azalmalarla tamamen dengelenmektedir (Şekil 4.15). Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde ise

büyüyen enerji hizmetleri sepeti, daha fazla enerji kullanımı anlamına gelir ve enerjiyle ilgili toplam hane halkı harcamaları artar. İlave yatırımlar enerji faturalarındaki değişimi ılımlı hale getirmekte ve sonuçta enerji ile ilgili toplam harcamalar 2030 yılında hanehalkı harcanabilir gelirinin yüzde 2 puanını, 2050 yılında ise yüzde 1 puanını bugünkünden daha fazla almaktadır.

4.4.3 Davranış değişiklikleri

Davranış değişiklikleri, özellikle 2050 yılında emisyonların azaltılmasına yönelik teknik seçeneklerin sınırlı olduğu sektörlerde, Yeni Zelandada enerji talebinin ve emisyonların azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Davranışlarını değiştirenler vatandaşlar ve şirketler olsa da, değişiklikler çoğunlukla hükümetler tarafından yapılan politikalar ve yatırımlarla mümkün kılınmakta ve bazı durumlarda yasalar veya yönetmelikler tarafından zorunlu tutulmaktadır. Covid-19 salgını, maske takma, evde çalışma ve okula gitme gibi davranış değişikliklerinin potansiyel etkinliği konusunda genel farkındalığı artırmıştır. Kriz, insanların değişikliklerin haklı olduğunu anlamaları halinde önemli hız ve ölçekte davranış değişiklikleri yapabileceklerini ve hükümetlerin hangi değişikliklerin gerekli olduğunu ve neden gerekli olduğunu ikna edici bir şekilde açıklamaları ve net rehberlik sağlamaları gerektiğini göstermiştir.

Şekil 4.16 ► NZE'deki vatandaşlar ve şirketler tarafından politika odaklı ve isteğe bağlı davranış değişikliklerinden kaynaklanan emisyon azaltımları



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Davranış değişiklikleriyle tasarruf edilen emisyonların dörtte üçü hükümet politikaları tarafından doğrudan etkilenebilir veya zorunlu kılınabilir

Yeni Zelanda'da 2020 ve 2050 yılları arasında davranış değişiklikleriyle tasarruf edilen emisyonların yaklaşık dörtte üçü doğrudan hükümet politikasından etkilenebilir veya bu politika tarafından zorunlu kılınabilir (Şekil 4.16). Bunlar arasında, çevreyi kirleten araçların büyük şehirlerden aşamalı olarak kaldırılması ve otoyollardaki hız sınırlarının azaltılması gibi hafifletici tedbirler yer almaktadır. Diğer dörtte birlik kısım ise, evlerde savurgan enerji kullanımının azaltılması gibi daha isteğe bağlı davranış değişikliklerini içermektedir.

Ancak bu tür değişiklikler bile farkındalık kampanyaları ve diğer yollarla teşvik edilebilir. Hükümet politikası tarafından doğrudan etkilenen veya zorunlu kılınan emisyon tasarruflarının yaklaşık %10'u altyapıya yeni veya yeniden yönlendirilmiş yatırım gerektirecektir. Örneğin, Yeni Zelanda'da bölgesel uçuşlardan yüksek hızlı demiryoluna geçiş, 2050 yılına kadar dünya çapında yaklaşık 170.000 kilometre yeni hat inşa edilmesini gerektirecektir (2020 seviyelerinin üç katına çıkması).

Vatandaşlar ve şirketler tarafından yapılan davranış değişiklikleri, NZE'deki emisyonların azaltılmasında kabaca eşit bir rol oynamaktadır. Karayolu taşımacılığı ve evlerde enerji tasarrufuna yönelik değişikliklerin çoğu bireylere bağlıyken, özel sektör ticari binalardaki enerji talebini azaltmada ve üretimde malzeme verimliliğini sağlamada birincil role sahiptir. Şirketler, örneğin işe gidip gelen çalışanların toplu taşıma araçlarını kullanmasını teşvik ederek veya evden çalışmayı özendirerek davranış değişikliklerini dolaylı olarak da etkileyebilir. Bununla birlikte, bireylerin ve şirketlerin rolleri arasında yapılan basit bir ayırım, alta yatan karmaşık bir dinamiği maskeleymektedir: kurumsal stratejileri şekillendirenler nihayetinde enerji ile ilgili mal ve hizmetlerin tüketicileri olarak vatandaşlardır, ancak aynı zamanda şirketler pazarlama ve reklam yoluyla tüketici talebini etkilemek ve oluşturmak için çok şey yapmaktadır. NZE'de tüketiciler ve şirketler davranış değişikliklerini benimseme konusunda birlikte hareket etmekte, hükümetler de bu değişikliklerin yönünü belirlemekte ve etkili ve sürekli politika desteği yoluyla bunları kolaylaştırmaktadır.

Yeni Zelanda'daki davranış değişiklikleri farklı bölgelerde farklı boyutlarda gerçekleşmekte ve bir dizi coğrafi ve altyapı kısıtlamasının yanı sıra mevcut davranış normlarını ve kültürel tercihleri yansıtmaktadır. Düşük araba sahipliği oranlarına veya binalarda enerji hizmeti talebine sahip ülkelerde, NZE'deki gelişmiş ekonomilerdeki davranış değişikliklerinin çoğu ilgili veya uygun olmayacaktır. Sonuç olarak, 2020 ve 2050 yılları arasında bina ve karayolu taşımacılığındaki faaliyet artışının yaklaşık %95'inin bu ülkelerde gerçekleşmesine rağmen, davranış değişikliklerinden kaynaklanan emisyon tasarruflarının yaklaşık yarısı yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdedir. Bununla birlikte, yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde, ekonomik refah ve enerji hizmetlerindeki büyümeyi emisyonlardaki artışlardan ayırmak için malzeme verimliliği ve kentsel tasarım açısından önemli fırsatlar bulunmaktadır. Örneğin, 2050 yılında çimento ve çelik üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonlarındaki azalmanın yaklaşık %85'i yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdeki malzeme verimliliğindeki kazanımlardan kaynaklanmaktadır.

Şehirler, Yeni Zelanda'daki davranış değişiklikleri için önemlidir. Kentsel tasarım, yaşam tarzı tercihlerini şekillendirerek ve günlük davranışları etkileyerek ortalama bir şehir sakininin karbon ayak izini %60'a kadar azaltabilir. Örneğin, kümelenmiş olanaklara sahip kompakt şehirler ortalama yolculuk sürelerini kısaltabilir; dijitalleşme, hizmet talebindeki büyümenin çoğunu karşılamak için paylaşılan özel mobilitenin fiili seçenek haline gelmesine yardımcı olabilir; ve kentsel yeşil altyapı soğutma talebini azaltabilir (Feyisa, Dons & Meilby, 2014).

4.5 Hükümetler

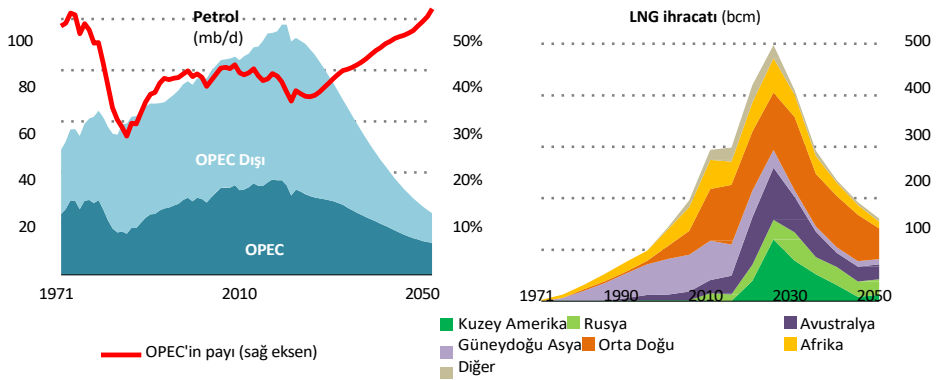
4.5.1 Enerji güvenliği

Enerji güvenliği, hükümetler ve hizmet ettikleri kişiler için önemli bir husustur ve net sıfır emisyonu giden yol bunu dikkate almalıdır. Enerji güvenliği ile ilgili endişeler geleneksel olarak petrol ve doğal gaz arzı ile ilişkilendirilmiştir. Petrol ve gaz talebindeki düşüş ve NZE'de kullanılan enerji kaynaklarının çeşitliliğinin artması bazı riskleri azaltabilir, ancak bu riskler ortadan kalkmaz. Ayrıca güvenilir, esnek ve güvenli elektrik sistemlerinin sürdürülmesi ihtiyacı ve temiz enerji teknolojileri için ham mineral talebindeki artışla ilişkili yeni potansiyel kırılganlıklar da bulunmaktadır. Enerji verimliliğinin artırılması, enerji güvenliğinin artırılması için temel önlem olmaya devam etmektedir - düşük emisyonlu elektrik üretimindeki hızlı büyümeyle bile, en güvenli enerji kaynakları ihtiyaç duyulmayanlardır.

Petrol ve gaz güvenliği

Yeni Zelanda'da geliştirilmesi onaylanmış olanlar dışında yeni petrol ve doğal gaz sahalarına ihtiyaç duyulmamakta ve arz giderek az sayıda düşük maliyetli üreticide yoğunlaşmaktadır. Petrol için, OPEC'in küresel petrol arzındaki payı son yıllarda yaklaşık %37'den 2050'de %52'ye çıkarak petrol piyasalarının tarihindeki herhangi bir noktadan daha yüksek bir seviyeye ulaşacaktır (Şekil 4.17). Doğal gaz için, bölgeler arası sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) ticareti 2020'de 420 bcm'den önümüzdeki beş yıl içinde artmakta, ancak 2050'de yaklaşık 160 bcm'ye düşmektedir. 2050'deki ihracatın neredeyse tamamı en düşük maliyetli ve en düşük emisyonlu üreticilerden gelmektedir. Bu, küresel enerji sisteminin düzgün işlemesi için yeterli petrol ve doğal gaz arzının sağlanmasının öneminin 2050 yılında niceliksel olarak bugüne kıyasla daha düşük olacağı anlamına gelmektedir, ancak arzda bir eksiklik veya ani fiyat artışı riskinin mutlaka azalacağı gelmemektedir ve bir eksiklik veya ani fiyat artışının bir dizi sektör için hala büyük yansımaları olacaktır.

Şekil 4.17 ► NZE'de bölgelere göre küresel petrol arzı ve LNG ihracatı



OPEC'e ve düşen petrol ve gaz gelirlerinden diğer üretici ekonomilere artan bağımlılık, tüketici ülkelerde arz güvenliği açısından risk oluşturabilir

Emisyon azaltma politikalarının zamanlaması ve hedefleri net olsa bile, NZE'deki değişikliklerin hem üreticiler hem de tüketiciler üzerinde etkileri olacağı açıktır. Birçok üretici ekonomi petrol ve gaz gelirlerinin şimdiye kadarki en düşük seviyelere gerilediğini görecektir (bkz. Bölüm 4.2.2). Bu üreticiler pazar paylarını artırsalar, ekonomilerini ve vergi geliri kaynaklarını çeşitlendirseler bile, temel harcamalarını mevcut seviyelerde finanse etmekte zorlanmaları muhtemeldir. Bunun sosyal istikrar üzerinde zincirleme etkileri olabilir ve bu da potansiyel olarak petrol ve gazın tüketici ülkelere sorunsuz bir şekilde ulaştırılmasını tehdit edebilir. Üretici ekonomilerin pazar payı kazanmaya yönelik hamleleri ya da mali dengeleri üzerinde oluşacak aşırı baskıları yönetirken upstream operasyonlarını sürdürmemeleri, çalkantılı ve değişken piyasalara yol açarak politika yapıcılarının işini büyük ölçüde zorlaştırabilir.

Elektrik güvenliği

Yeni Zelanda'daki tüm sektörlerin hızla elektrifikasyonu ve buna bağlı olarak elektriğin toplam nihai tüketimdeki payının 2020'de %20'den 2050'de yaklaşık %50'ye çıkması, elektriği dünya genelinde enerji güvenliğinin merkezine hali hazırda olduğundan daha fazla yerleştirmektedir (IEA, 2020h). Elektriğe daha fazla bağımlı olmanın genel enerji güvenliği üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri vardır. Enerji ithal eden ülkeler için bir avantaj, kendi kendilerine daha yeterli hale gelmeleridir, çünkü Yeni Zelanda'da elektrik arzının çok daha yüksek bir kısmı diğer yakıtlara kıyasla yerli kaynaklara dayanmaktadır. Ancak elektriğin artan önemi, herhangi bir elektrik sistemi kesintisinin daha büyük etkileri olacağı anlamına gelmektedir. Elektrik altyapısı, boru hatları ve yeraltı depolama tesislerine kıyasla aşırı hava olayları gibi fiziksel şoklara karşı genellikle daha savunmasızdır ve iklim değişikliğinin, örneğin hidroelektrik ve termik santrallerde soğutma için suyun kullanılabilirliğini azaltabilecek daha sık kuraklıklar yoluyla elektrik sistemleri üzerinde artan baskı oluşturmaya muhtemeldir. Bu riskleri azaltmak ve elektrik güvenliğini sürdürmek için, dijital teknolojilere ve fiziksel sistem güçlendirmeye dayalı çözümlerle daha sağlam acil durum planlaması da dahil olmak üzere, elektrik sistemlerinin dayanıklılığının artırılması gerekmektedir (IEA, 2021b).

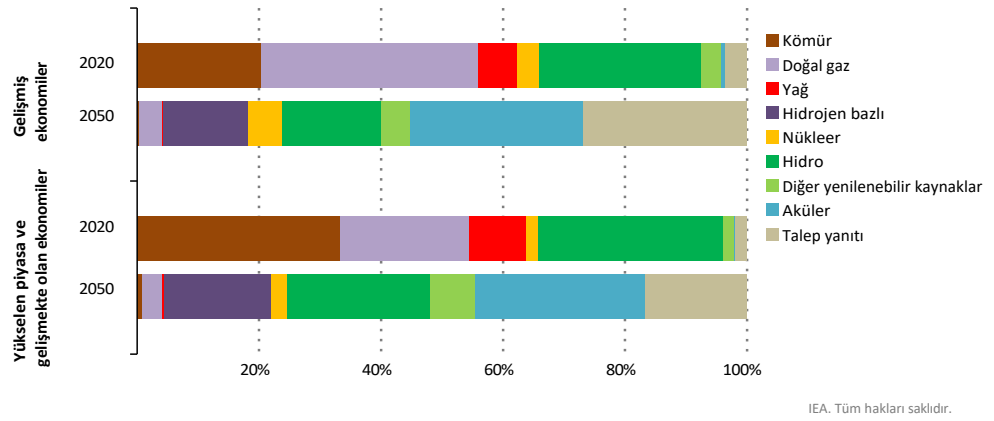
Siber güvenlik, giderek artan sayıda enerji santralinde, elektrik şebekesi varlıklarında ve depolama tesislerinde sistemler daha dijitalleştirilmiş izleme ve kontroller içerdiğinden, elektrik güvenliği için daha da büyük bir risk oluşturabilir. Politika yapıcıların, elektriğin siber dayanıklılığının artırılmasını sağlamada oynayacakları merkezi bir rol vardır ve bunu takip edebilecekleri birkaç yol vardır (IEA, 2021c).

Elektrik güvenliğinin sürdürülmesi ayrıca her zaman esneklik, yeterlilik ve güvenilirlik sağlamak için bir dizi önlem gerektirir. Üretim karışımında değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının payı arttıkça, gelişmiş elektrik sistemi esnekliği özellikle önem kazanmaktadır. Sonuç olarak, elektrik arzındaki iki buçuk kattan fazla artışa paralel olarak Yeni Zelanda'da elektrik sistemi esnekliği küresel olarak dört katına çıkmaktadır.⁹ Elektrik santralleri, enerji depolama ve elektrik enerjisiyle desteklenen talep tarafı katılımı dahil olmak üzere esneklik kaynaklarından oluşan bir portföy

⁹ Elektrik sistemi esnekliği burada saatten saate rampa ihtiyaçlarına dayalı olarak ölçülmektedir ki bu esnekliğin sadece bir yönüdür ve frekansı ve diğer yan hizmetleri korumak için çok daha kısa zaman ölçeklerindeki eylemleri de içerir.

şebekeleri - yılın her zamanında, değişen hava koşulları ve talep seviyeleri altında arz ve talebi eşleştirmek için kullanılır. NZE'de esnekliğin sağlanması için kömür ve gazla çalışan enerji santrallerinin kullanımından yenilenebilir enerji, hidrojen, batarya depolama ve talep tarafı tepkisinin kullanımına doğru önemli bir geçiş söz konusudur (Şekil 4.18).

Şekil 4.18 ▶ NZE'de kaynağına göre elektrik sistemi esnekliği



Saatten saate esneklik ihtiyacının dört katını karşılamak için, bataryalar ve talep tarafı katılım birincil esneklik kaynakları haline gelmek için adım atıyor

Elektrik talebi de, örneğin tüketimin yenilenebilir enerjinin bol olduğu zamanlara kaydırılması gibi talep yanıtı önlemlerinin kullanılması sonucunda çok daha esnek hale gelmektedir. Sanayi faaliyetlerinin ılımlı hale getirilmesi gibi geleneksel talep tarafı kaynakları önemini korumaktadır, ancak elektrikli araçların akıllı şarjı gibi yeni talep tarafı alanları, bunları tamamlamanın değerli yeni yollarını ortaya çıkarmaktadır.¹⁰ Yeni Zelanda'da elektrikli araç filosu genişledikçe, elektrikli araçlar toplam elektrik sistemi esnekliğinin önemli bir bölümünü sağlamaktadır. Teknoloji halihazırda mevcut olmasına rağmen, akıllı şarjın yaygınlaştırılması kurumsal ve düzenleyici engeller nedeniyle bugüne kadar yavaş olmuştur; bu engeller NZE'de aşılmıştır. Şarj ve diğer esneklik kaynaklarının dijitalleştirilmesinin siber güvenlikten ödün vermemesini ve potansiyel sosyal kabul sorunlarının ele alınmasını sağlamak için önlemler de uygulanmaktadır.

Enerji depolama da NZE'de esnekliğin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Batarya depolama sistemlerinin konuşlandırılması halihazırda hızlanmaya ve kısa süreli esneklik ihtiyaçlarının yönetimine katkıda bulunmaya başlamıştır, ancak NZE'de öngörülen 2050 yılında 3 100 GW'a kadar (ortalama dört saat süreli) büyük ölçekli depolama, mevcut düzenleyici ve piyasa tasarımı engellerinin aşılmasına bağlıdır. Pompajlı hidroelektrik, birkaç saat ve gün içinde esneklik sağlamanın cazip bir yolunu sunarken, hidrojen

¹⁰ Akıllı şarj cihazları gerçek zamanlı verileri merkezi bir platformla paylaşarak sistem operatörlerinin aracın belirli bir zaman aralığında ne kadar enerjiye ihtiyaç duyduğuna, ne kadar enerjinin mevcut olduğuna, toptan elektrik fiyatına, şebeke tıkanıklığına ve diğer parametrelere dayalı olarak şarj profillerini optimize etmesine olanak tanır.

uzun vadeli mevsimsel depolamada önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir, çünkü batarya depolama projelerinden birkaç kat fazla kapasiteye sahip dönüştürülmüş gaz depolama tesislerinde depolanabilir.

Sevk edilebilir güç, elektrik sistemlerinin güvenli geçişi için gereklidir ve Yeni Zelanda'da bu, giderek artan bir şekilde düşük emisyonlu kaynaklardan gelmektedir. Hidroelektrik bugün birçok elektrik sisteminde esnekliğin önemli bir kısmını sağlamaktadır ve bu durum pompajlı hidro tesislerin genişletilmesine özellikle vurgu yapılarak gelecekte de devam edecektir. Nükleer enerji ve jeotermal santraller, temel yük üretimi için tasarlanmış olsalar da, NZE'de bir dereceye kadar esneklik sağlarlar, ancak bu kaynakların ne kadar genişletilebileceği konusunda kısıtlamalar vardır. Bu durum, karbon yakalama özelliğine sahip veya düşük emisyonlu yakıtlar kullanan termik santrallere önemli bir rol bırakmaktadır. Örneğin, mevcut kömür santrallerinde sürdürülebilir biyokütle veya düşük emisyonlu amonyak kullanımı, bu tesislerin esnekliğe ve kapasite yeterliliğine katkıda bulunmaya devam etmesini sağlarken aynı zamanda CO₂ emisyonlarını azaltmanın bir yolunu sunmaktadır. Güç sistemi istikrarını korumak için ek önlemler de gerekli olacaktır (Kutu 4.1).

Kutu 4.1 ► Değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının yüksek payıyla güç sistemi istikrarı

İstikrar, elektrik güvenliğinin kilit bir özelliğidir ve sistemlerin dengede kalmasını ve ani jeneratör veya şebeke kesintileri gibi bozulmalara dayanmasını sağlar. Tarihsel olarak, nükleer, hidro ve fosil yakıtlar gibi geleneksel jeneratörler, depolanan kinetik enerjinin bir sistem bozukluğu durumunda anında güce dönüştürülmesini sağlayan dönen makinelerle atalet sağlayarak ve tüm jeneratörlerin senkronize kalmasına yardımcı olan bir voltaj sinyali üreterek elektrik sistemi istikrarının merkezinde yer almıştır.

Buna , güneş , rüzgar ve bataryalar gibi yeni teknolojiler sisteme dönüştürücüler aracılığıyla bağlanır. Genellikle sistem ataletine katkıda bulunmazlar ve geleneksel jeneratörlerle senkronize olarak "şebekeyi takip eden" birimler olarak yapılandırılırlar. Dönüştürücüye dayalı kaynakların ve özellikle de değişken yenilenebilir kaynakların elektrik sistemlerindeki payı çok daha fazla arttıkça, sistem istikrarının korunması yeni yaklaşımlar gerektirecektir.

Yüksek oranda değişken yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip sistemlerde istikrar konusunda giderek artan bir bilgi birikimi ve çalışmalar mevcuttur. Örneğin, IEA ve Fransa'daki iletim sistemi operatörü RTE tarafından yakın zamanda yapılan ortak bir çalışma, Fransa'da yüksek oranda değişken yenilenebilir enerjinin entegre edilmesinin teknik olarak mümkün olduğu koşulları analiz etmektedir (IEA, 2021d). Bu çalışmanın bulgularına dayanarak:

- Net sıfır güç sistemi için istikrarı sağlamaya yönelik seçeneklerden biri, VRE yüksek olduğu saatlerde düşük karbonlu teknolojilerden minimum miktarda geleneksel üretim sağlamaktır. İstikrarı korumaya yönelik bu yaklaşım, yüksek paylarda güneş ve rüzgâr kesintisi pahasına gerçekleşmektedir.
- Güncellenmiş şebeke kodları, değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının ve bataryaların hızlı frekans tepkisi hizmetleri sağlamasını istemek için kullanılabilir, bu da istikrar için gereken geleneksel üretim miktarını azaltmaya yardımcı olabilir.

- Senkron kondansatörler elektrik üretmeden atalet sağlayabilmektedir. Bu teknoloji Danimarka'da ve Güney Avustralya'da GW ölçeğinde kanıtlanmıştır, ancak deneyimin daha büyük ölçekte genişletilmesi gerekmektedir.
- Şebeke oluşturan dönüştürücüler, değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının ve bataryaların bir voltaj sinyali üretmesine izin verebilir, ancak bu yaklaşımla ilgili deneyimin mikro şebekelerin ve küçük adaların ötesine geçerek birbirine bağlı büyük sistemlere geçmesi gerekmektedir.

Demonstrasyon projeleri, paydaş istişareleri ve uluslararası işbirliği, bu dört yaklaşımın her birinin değerini ve elektrik güvenliğini korurken net sıfır emisyonu en uygun maliyetle ulaşacak bir seçenek portföyünün kapsamını tam olarak anlamak için kritik öneme sahip olacaktır.

Elektrik şebekeleri, geniş alanlarda arz ve talebi dengeleyerek tüm esneklik kaynaklarının kullanımını destekler ve mümkün kılar. Tıkanıklığı en aza indirmek ve arz ile talebin dengelendiği alanların boyutunu genişletmek için şebekelere zamanında yatırım yapmak, güneş enerjisi ve rüzgar projelerinden en iyi şekilde yararlanmak ve uygun fiyatlı ve güvenilir elektrik tedariki sağlamak için kritik öneme sahip olacaktır. Uzun mesafeli iletimin genişletilmesi de NZE'ye önemli bir katkı sağlamaktadır, çünkü talep merkezlerinin yakınında uygun arazi bulunmaması ve diğer faktörler yeni üretim kaynaklarının genellikle uzak bölgelerde yer alması anlamına gelmektedir. Mevcut esneklik kaynaklarının kullanımını en üst düzeye çıkarmak için yeni iletim sistemlerinin değişken, çift yönlü çalışma göz önünde bulundurularak inşa edilmesi ve düzenleyici ve piyasa düzenlemelerinin sistemler arasındaki esnek bağlantıları desteklemesi önemlidir. Ara bağlantıların kilit değeri, tamamlayıcı elektrik talebi ve rüzgar modellerinden gelmektedir: güneş PV çıktısı, geniş alanlarda rüzgardan daha yüksek oranda ilişkilidir.

NZE, birçok temiz enerji teknolojisi için gerekli olan bakır, lityum, nikel, kobalt ve nadir toprak elementleri gibi kritik minerallere olan talepte büyük bir artış görmektedir. Bu minerallerin yeterli miktarda tedarik edilmesini engelleyebilecek ve fiyat dalgalanmalarına yol açabilecek çeşitli potansiyel kırılganlıklar bulunmaktadır (IEA, 2021a). Günümüzde birçok mineralin üretim ve işleme faaliyetleri az sayıda ülkede yoğunlaşmış durumda ve bu da tedarikleri siyasi istikrarsızlık, jeopolitik riskler ve olası ihracat kısıtlamalarına karşı savunmasız hale getiriyor. Birçok durumda, arazi kullanımındaki değişiklikler, kıt su kaynakları için rekabet, yolsuzluk ve devlet kaynaklarının kötüye kullanımı, işçilerin ölümleri ve yaralanmaları ve çocuk kullanımı da dahil olmak üzere insan hakları ihlalleri ile ilgili endişeler de vardır. Yeni kritik maden projelerinin teslim süreleri uzun olabilir, bu nedenle Yeni Zelanda'daki hızlı talep artışı arz ve talep arasında zamanlama açısından bir uyumsuzluğa yol açabilir. Uluslararası ticaret ve yatırım rejimi güvenilir maden arzının sürdürülmesi için kilit öneme sahiptir, ancak titiz çevresel ve sosyal düzenlemelerin uygulanmasını sağlamak için politika desteği ve uluslararası koordinasyon gerekecektir.

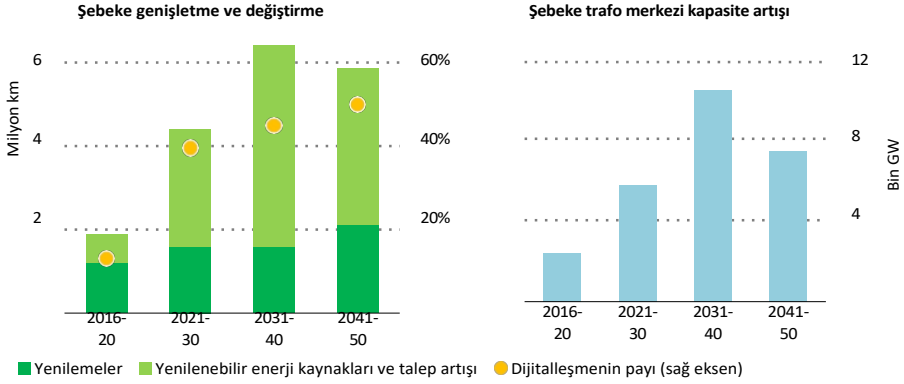
4.5.2 Altyapı

Net sıfır emisyonu ulaşmak için büyük miktarlarda yeni altyapı ve mevcut varlıklarda çok sayıda değişiklik yapılması gerekecektir. Tüm ülkeler ve bölgeler fosil yakıtların kullanımını ve geleneksel olarak üretilen elektriğin dağıtımını destekleyen sistemlerden büyük ölçüde yenilenebilir elektrik ve düşük emisyonlu yakıtlara dayalı sistemlere geçtikçe, enerji altyapısı da Yeni Zelanda'da dönüşüme uğramaktadır. Birçok yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomide, önümüzdeki on yıllarda her halükarda büyük miktarlarda altyapı sağlanması gerekecek ve net sıfır emisyon ekonomisine geçişi desteklemek için bir fırsat penceresi yaratacaktır. Tüm ülkelerde hükümetler altyapının planlanması, finansmanı ve düzenlenmesinde merkezi bir rol oynayacaktır. Ana altyapı bileşenlerinden bazıları - elektrik şebekeleri ve elektrikli araç şarjı, düşük emisyonlu yakıtlar ve CO₂ için boru hatları sistemleri ve ulaşım altyapısı - aşağıda ele alınmaktadır.

Yeni Zelanda'da elektrik talebindeki hızlı artış ve yenilenebilir enerjiye geçiş, elektrik şebekelerinin genişletilmesini ve modernize edilmesini gerektirmektedir (Şekil 4.19). Bu, son zamanlarda azalan yatırım eğiliminde keskin bir tersine dönüş gerektirecektir: bunun başarılabilmesi, net sıfır emisyon için enerji geçişini neredeyse kesinlikle imkansız hale getirecektir. Tarife tasarımı ve izin prosedürlerinin de elektrik tedariki ve kullanımındaki temel değişiklikleri yansıtacak şekilde revize edilmesi gerekmektedir. Dikkate alınması gereken başlıca hususlardan bazıları şunlardır

- **Uzun mesafeli iletim.** NZE'deki yenilenebilir enerji kaynaklarındaki büyümenin çoğu merkezi kaynaklardan gelmektedir. Ancak en iyi güneş ve rüzgar kaynakları genellikle yeni iletim bağlantıları gerektiren uzak bölgelerdedir. Ultra yüksek voltajlı doğru akım sistemlerinin uzun mesafelerde iletimi desteklemede önemli bir rol oynaması muhtemeldir.
- **Yerel dağıtım.** Hanelerdeki enerji verimliliği kazanımları ve çatı üstü güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşması, ihtiyaç fazlası elektriğin daha sık kullanılabilir olacağı anlamına gelirken, elektrikli ısı pompaları ve konutlardaki elektrikli araç şarj noktaları elektriğin daha yaygın bir şekilde kullanılabilir olmasını gerektirecektir. Bu gelişmeler birlikte dağıtım şebekesi kapasitesinde önemli artışlara ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir.
- **Şebeke trafo merkezleri.** Güneş PV ve rüzgarın muazzam genişlemesi yeni şebeke trafo merkezleri gerektirmektedir: 2030 yılına kadar Yeni Zelanda'da 57.000 GW'tan fazla kapasite artarak küresel olarak mevcut kapasitenin iki katına çıkacaktır.
- **Elektrikli araç şarjı.** Yeni Zelanda'da, elektrikli araçların yaygınlaşmasını ve otoyollarda uzun mesafeli sürüşü desteklemek için iş yerleri, otoyol servis istasyonları ve konut kompleksleri de dahil olmak üzere büyük yeni kamusal şarj ağları inşa edilmiştir.
- **Şebekelerin dijitalleştirilmesi.** Bağlı cihazların kullanımındaki büyük artışla birlikte, şebeke varlıklarının dijitalleşmesi daha esnek şebeke operasyonlarını, değişken yenilenebilir kaynakların daha iyi yönetimini ve daha verimli talep yanıtını desteklemektedir.

Şekil 4.19 ► NZE'de yıllık ortalama elektrik şebekesi genişleme, yenileme ve trafo merkezi kapasite artışı



IEA. Tüm hakları saklıdır.

Şebeke ve trafo merkezlerindeki genişleme, büyük ölçüde yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması ve son kullanım alanlarının elektrifikasyonu ile altyapının dijital payının artmasından kaynaklanmaktadır

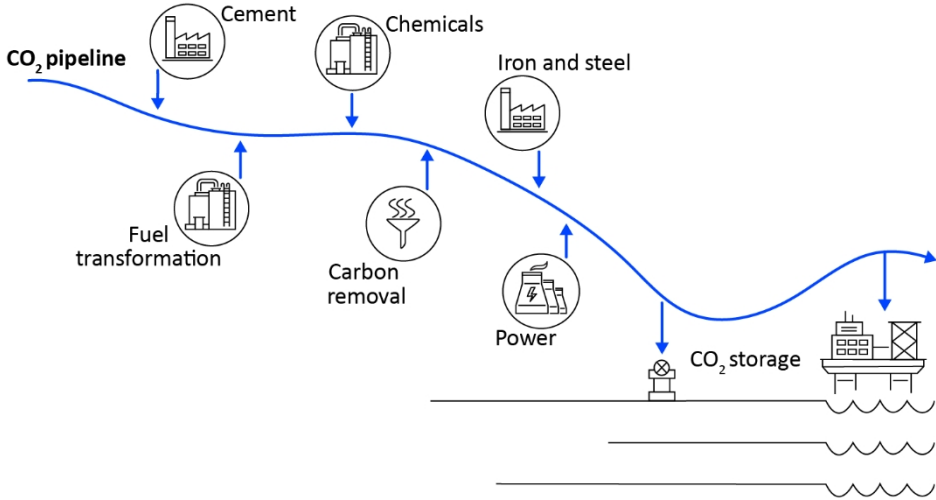
Not: Buradaki trafo merkezi kapasitesi aktif elektriğin görünür elektriğe eşit olduğunu varsayar.

Boru hatları, Yeni Zelanda'da enerji iletimi ve dağıtımında kilit bir rol oynamaya devam etmektedir:

- Fosil yakıtların hızla azalması göz önüne alındığında, Yeni Zelanda'da yeni petrol ve gaz boru hatlarına önemli yatırımlar yapılması gerekmemektedir. Ancak düşük emisyonlu sıvı ve gazların üretimini tüketim merkezlerine bağlamak ve mevcut boru hatlarını ve ilgili dağıtım altyapısını bu düşük emisyonlu yakıtların kullanımı için dönüştürmek için yatırıma ihtiyaç vardır. Biyometan ve sentetik hidrojen bazlı yakıtlar gibi bazı düşük emisyonlu yakıtlar herhangi bir değişiklik yapılmadan mevcut altyapıdan, ancak saf hidrojen mevcut boru hatlarının yenilenmesini gerektirir. Örneğin, mükemmel yenilenebilir kaynaklara sahip uzak bölgelerde üretilen hidrojeni talep merkezlerine taşımak için Yeni Zelanda'da yeni özel hidrojen altyapısına da ihtiyaç vardır.
- NZE'de CCUS'un genişletilmesi, CO₂ taşıma ve depolama kapasitesine yatırım yapılmasını gerektirmektedir. 2050 yılına kadar dünya çapında 7,6 Gt CO₂ yakalanması, CO₂'nin yakalandığı tesisleri depolama alanlarına bağlayan büyük miktarda boru hattı ve nakliye altyapısı gerektirmektedir. Limanlar da dahil olmak üzere endüstriyel kümeler, CO₂ boru hattı ve hidrojen altyapısı inşa etmek için en iyi yakın vadeli fırsatları sunabilir, çünkü bu kümelerdeki yeni altyapıyı kullanan çeşitli endüstriler ön yatırım ihtiyaçlarını paylaşabileceklerdir (Şekil 4.20).

Şekil 4.20 ► Bir sanayi kümesinde paylaşılan CO₂ boru hattının açıklayıcı örneği

IEA. Tüm hakları saklıdır.



CCUS ve hidrojen gibi teknolojilerin ve bunları mümkün kılan altyapının yaygınlaştırılması, sanayi kümelerinde sektörler arası bir yaklaşımdan büyük fayda sağlayacaktır

Ulaşım altyapısının dönüştürülmesi hem bir zorluk hem de bir fırsat teşkil etmektedir. Zorluk, altyapı geliştirme aşamasında ekonomik büyümenin enerji ve karbon yoğunluğundaki potansiyel artıştan kaynaklanmaktadır.¹¹ Çelik ve çimento neredeyse tüm altyapı projelerinin iki ana bileşenidir, ancak aynı zamanda karbonsuzlaştırılması en zor sektörler arasındadır. Fırsat, bazı ülkelerde altyapıyı sıfırdan net sıfır hedefiyle uyumlu bir şekilde geliştirmek için var olan kapsamdan kaynaklanmaktadır. Günümüzde hızlı kentleşme sürecinden geçen ülkeler, yeni altyapı gelişimini elektrikli araç şarjı ve düşük emisyonlu yakıt sistemleri ile birlikte daha yüksek kentsel yoğunluk ve yüksek kapasiteli toplu taşımaya yönelik olarak tasarlayabilir ve yönlendirebilir.

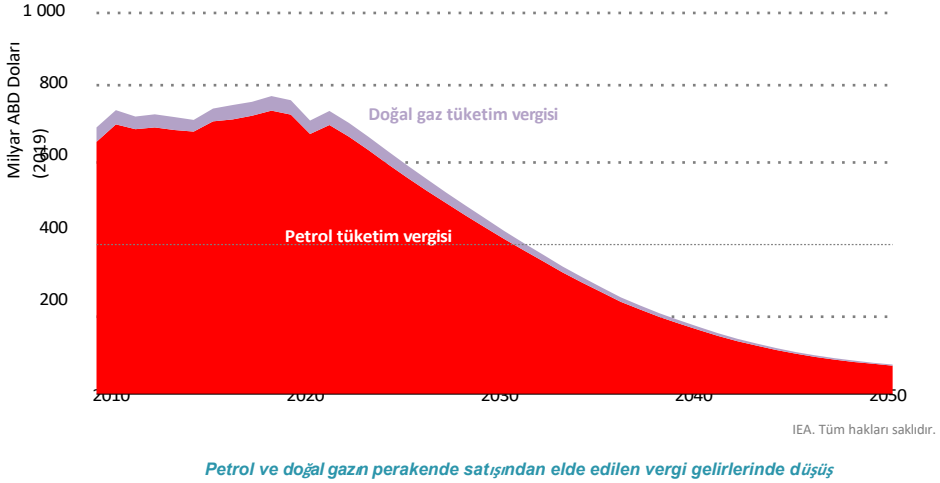
Demiryolu, ulaşım altyapısı geliştirilirken önemli bir rol oynamaktadır. NZE, hem uzun mesafeli araç kullanımının hem de kısa mesafeli havacılığın yerini alacak yüksek hızlı trenlere tüm bölgelerde büyük ölçekli yatırım yapılmasını öngörmektedir. Ayrıca, tam zamanında lojistik operasyonlar için hız ve esnekliği artırmak ve böylece özellikle konteyner trafiği için yükün karayolundan demiryoluna kaymasını desteklemek amacıyla tüm bölgelerde hat, kontrol sistemleri, demiryolu araçlarının modernizasyonu ve kombine yük tesislerine büyük ölçekli yatırımlar yapılmasını öngörmektedir.

¹¹ NZE için yapılan modelleme, ek ulaşım altyapısı (yollar, arabalar ve kamyonlar) ve enerji santralleri ve rüzgar türbinleri gibi enerji altyapısı inşa etmek için gerekli olan çelik ve çimento artışını içermektedir.

4.5.3 Perakende enerji satışlarından elde edilen vergi gelirleri

Net sıfır emisyonu ulaşmak için gereken fosil yakıt tüketimindeki düşüş, petrol bazlı ulaşım yakıtları ve doğal gaz yakıtlarının genellikle yüksek tüketim vergisi veya diğer özel vergilere tabi olduğu göz önüne alındığında, birçok ülkede büyük miktarda vergi geliri kaybına neden olacaktır. Son yıllarda, enerji ile ilgili vergiler, gelişmiş ekonomilerde toplam devlet vergi gelirlerinin ortalama %4'ünü, yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde ise %3,5'ini oluştururken, bazı ülkelerde %10'a kadar çıkmıştır (OECD, 2020).

Şekil 4.21 ▶ Yeni Zelanda'da petrol ve gazın perakende satışından alınan vergilerden elde edilen küresel gelirler



Yeni Zelanda'da petrol ve doğal gaz perakende satışlarından elde edilen vergi geliri 2020 ile 2050 yılları arasında %90'a yakın bir oranda düşmektedir (Şekil 4.21). Hükümetlerin bunu telafi etmek için muhtemelen diğer vergi gelirleri ve kamu harcamaları reformlarının bir kombinasyonuna güvenmesi gerekecektir. Enerji sektörüne odaklanan bazı vergilendirme önlemleri faydalı olabilir. Ancak, yoksul haneler harcanabilir gelirlerinin daha yüksek bir yüzdesini elektrik ve ısınma için harcadıklarından, bu tür vergilerin düşük gelirli haneler üzerindeki etkilerini en aza indirecek şekilde dikkatlice tasarlanması gerekecektir. Enerji ile ilgili vergiler için seçenekler şunlardır:

- **CO₂ fiyatları.** Bunlar, ülkeler ve sektörler için farklı seviyelerde olsa da, NZE'deki tüm bölgelerde uygulamaya konmuştur ve ek gelir akışları sağlamaktadır. Petrol ve doğal gaz tüketim vergilerindeki azalma, son kullanıcılar ve diğer sektörler tarafından ödenen bu yakıtlarla ilgili CO₂ fiyatlarından elde edilen daha yüksek gelirlerle önümüzdeki 15 yıl içinde fazlasıyla telafi edilmektedir, ancak küresel enerji sistemi net sıfır emisyonu doğru ilerledikçe bunlar da düşmektedir.
- **Yol ücretleri ve trafik sıkışıklığı ücretleri.** Bunların araç kullanımını caydırma ve karbon yoğunluğu daha az olan diğer ulaşım türlerine geçişi teşvik etme gibi ek faydaları olacaktır.

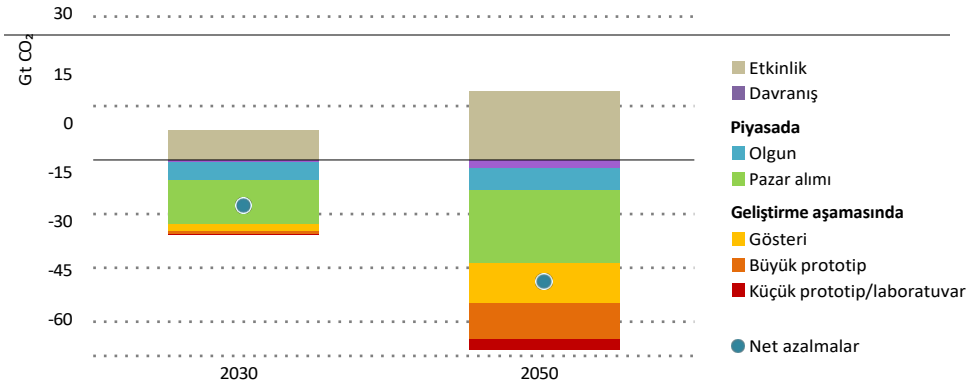
- **Elektrik üzerindeki vergilerin artırılması.** Özellikle fiyatlardaki büyük artışların tüketim üzerinde genellikle çok az etkisi olduğundan, tüm elektrik satışları üzerindeki daha yüksek vergiler önemli gelirler sağlayabilir. Ancak bu durum, hem elektrikli araçların hem de ısı pompalarının maliyet etkinliğini azaltacağı için ters etki yaratabilir, bu da benimsenmelerini yavaşlatabilir, ancak bu risk CO₂ fiyatlarının uygulamaya konulmasıyla azaltılabilir.

Doğal gaz şu anda çoğu ülkede ulaşım yakıtlarından daha az vergilendirilmektedir. Çoğunlukla ısınma amaçlı olmak üzere binalarda kullanılan doğal gaz için CO₂ fiyatlarının getirilmesi ve yükseltilmesi, enerji verimliliği iyileştirmelerini hızlandıracak ve devlet gelirlerini artıracaktır, ancak düşük gelirli haneleri orantısız bir şekilde etkilemekten kaçınmak için dikkatli olunması gerekmektedir. Sanayide kullanılan doğal gazın vergilendirilmesi, daha az karbon yoğun yakıtların ve hidrojen gibi teknolojilerin rekabet gücünü artıracaktır, ancak eşgüdümlü küresel eylem veya sınır karbon vergisi ayarlamaları olmadığında, enerji yoğun sektörlerin uluslararası rekabet gücünü zayıflatma ve karbon kaçağı riski taşıyacaktır.

4.5.4 İnovasyon

Temiz enerji inovasyonunda büyük bir hızlanma olmadan, 2050 yılına kadar net sıfır emisyonu ulaşmak mümkün olmayacaktır. Bugün piyasada mevcut olan teknolojiler, NZE'de 2030 yılına kadar gerekli olan emisyon azaltımlarının neredeyse tamamını sağlayarak dünyayı 2050 yılına kadar net sıfır emisyon rayına oturtacaktır. Ancak, net sıfır emisyonu ulaşmak için 2030'dan sonra bugün hala geliştirilme aşamasında olan teknolojilerin yaygın olarak kullanılması gerekecektir. 2050 yılında NZE'deki CO₂ emisyonu azaltımlarının neredeyse %50'si şu anda gösterim veya prototip aşamasındaki teknolojilerden gelmektedir (Şekil 4.22). Bu pay, ağır sanayi ve uzun mesafe taşımacılığı gibi sektörlerde daha da yüksektir. Net sıfır emisyon için gerekli teknolojilerin mümkün olan en kısa sürede piyasalara ulaşması için bu on yılda büyük inovasyon çabaları hayati önem taşımaktadır.

Şekil 4.22 ► NZE'de teknoloji olgunluk kategorisine göre küresel CO₂ emisyonu değişiklikleri

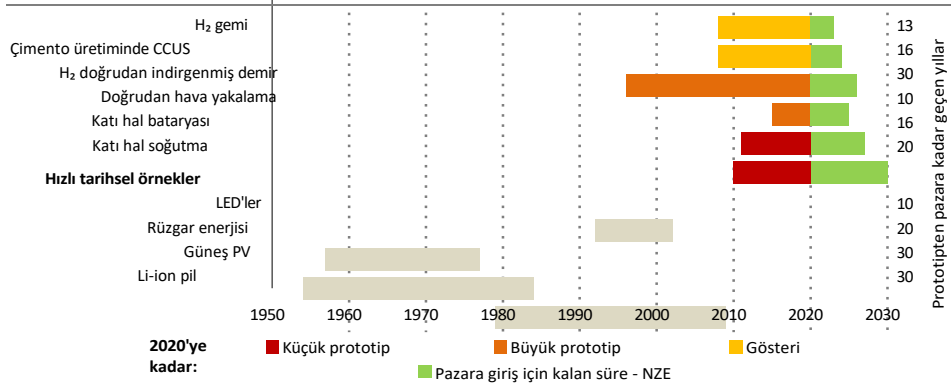


IEA. Tüm hakları saklıdır.

2030'daki emisyon azaltımları çoğunlukla piyasadaki teknolojilere dayanırken, bugün geliştirilmekte olanlar 2050'deki emisyon azaltımlarının neredeyse yarısını oluşturmaktadır

Erken aşama temiz enerji teknolojileri için inovasyon döngüleri, NZE'de tarihsel olarak tipik olarak elde edilenden çok daha hızlıdır ve bugün ölçekte gösterilmemiş olan çoğu temiz enerji teknolojisi en geç 2030 yılına kadar pazarlara ulaşmaktadır. Bu, ilk prototipten pazara girişe kadar geçen sürenin geçmişteki en hızlı enerji teknolojisi gelişmelerinden ortalama %20 daha hızlı olduğu ve güneş PV için geçerli olandan yaklaşık %40 daha hızlı olduğu anlamına gelmektedir (Şekil 4.23). Çimento üretiminde CCUS veya düşük emisyonlu amonyak yakıtlı gemiler gibi gösterim aşamasındaki teknolojiler önümüzdeki üç ila dört yıl içinde piyasaya sürülmektedir. Hidrojen bazlı çelik üretimi, doğrudan hava yakalama (DAC) ve büyük prototip aşamasındaki diğer teknolojiler yaklaşık altı yıl içinde pazara ulaşırken, katı hal soğutucusuz soğutma veya katı hal bataryaları gibi küçük prototip aşamasındaki çoğu teknoloji bunu önümüzdeki dokuz yıl içinde gerçekleştirmektedir.

Şekil 4.23 ▶ NZE ve tarihsel örneklerde seçilen teknolojiler için ilk prototipten pazara girişe kadar geçen süre



Teknoloji geliştirme döngüleri, geçmişte görülen en hızlı gelişmelere kıyasla yaklaşık %20 oranında kısalmıştır

Not: H₂ = hidrojen; CCUS = karbon yakalama, kullanma ve depolama; LED = ışık yayan diyot; Li-ion = lityum-iyon.

Kaynaklar: Carbon Engineering, 2021; Greco, 2019; Tenova, 2018; Gross, 2018; European Cement Research Academy, 2012; Kamaya, 2011; Zemships, 2008'e dayanan IEA analizi.

Bu büyüklükte bir hızlandırma açıkça iddialıdır. Henüz piyasada bulunmayan teknolojilerin çok sayıda konfigürasyonda ve çeşitli bölgesel bağlamlarda çok hızlı bir şekilde ölçeklendirilerek gösterilmesini gerektirmektedir. Çoğu durumda, bu gösterimler NZE'de paralel olarak yürütülür. Bu, teknoloji geliştirmedeki tipik uygulamayla tam bir tezat oluşturmaktadır: öğrenme, yaygın dağıtım başlamadan önce güven oluşturmak için genellikle farklı bağlamlarda birbirini izleyen tanıtım projelerine aktarılır.

İhtiyaç duyulan hızlanma aynı zamanda demonstrasyon projelerine yapılan yatırımlarda da büyük bir artış gerektirmektedir. NZE'de 90 milyar ABD doları, bir portföyü tamamlamak için mümkün olan en kısa sürede harekete geçirilmiştir

Bu rakam, 2030 yılına kadar hükümetler tarafından bütçelenen yaklaşık 25 milyar ABD dolarından çok daha fazladır. Bu projelerin çoğu, özellikle uzun mesafe taşımacılığı ve ağır sanayi uygulamaları için son kullanımların elektrifikasyonu, CCUS, hidrojen ve sürdürülebilir biyoenjeri ile ilgilidir.

Artan kamu finansmanı, türünün ilk örneği olan bu tür projelerin risklerini yönetmeye ve NZE'de araştırma ve geliştirmeye (Ar-Ge) yapılan özel yatırımları kaldıraçlamaya yardımcı olur. Bu, son dönemdeki eğilimlerin tersine dönmesini temsil etmektedir: gösteri projeleri de dahil olmak üzere dünya çapında enerji Ar-Ge'sine yapılan kamu harcamaları, GSYİH'nin bir payı olarak 1980'de neredeyse %0,1'lik bir zirveden 2019'da sadece %0,03'e düşmüştür. Kamu finansmanı da net sıfır emisyonla ulaşmak için gereken yeniliklerle daha uyumlu hale gelmektedir. NZE'de elektrifikasyon, CCUS, hidrojen ve sürdürülebilir biyoenjeri, 2050'ye kadar kümülatif emisyon azaltımlarının neredeyse yarısını oluşturmaktadır. Sadece üç teknoloji, 2030 ve 2050 yılları arasında NZE'deki kümülatif emisyon azaltımlarının yaklaşık %15'inin sağlanmasında kritik öneme sahiptir: gelişmiş yüksek enerji yoğunluklu bataryalar, hidrojen elektrolizörleri ve DAC.

Hükümetler NZE'de inovasyonu teşvik ediyor

Yeni enerji teknolojilerinin piyasaya sürülmesi genellikle birkaç on yıl sürebilir, ancak 2050 yılına kadar küresel olarak net sıfır emisyonla ulaşma zorunluluğu, ilerlemenin çok daha hızlı olması gerektiği anlamına gelmektedir. Deneyimler, yeni teknolojilerin piyasaya sürülmesi ve yaygınlaştırılması için gereken sürenin kısaltılmasında hükümetin rolünün çok önemli olduğunu göstermiştir (IEA, 2020i). Hükümetin rolü, insanları eğitmeyi, Ar-Ge'yi finanse etmeyi, bilgi alışverişi için ağlar sağlamayı, fikri mülkiyeti korumayı, dağıtımı artırmak için kamu alımlarını kullanmayı, şirketlerin yenilik yapmasına yardımcı olmayı, altyapıyı etkinleştirmek için yatırım yapmayı ve piyasalar ve finans için düzenleyici çerçeveler oluşturmayı içerir.

İlk hamleyi yapan ülkelerden bilgi transferi de ihtiyaç duyulan hızlanmaya yardımcı olabilir ve yeni teknolojilerin tipik olarak mevcut teknolojilerle rekabet edemediği benimsemenin ilk aşamalarında özellikle önemlidir. Örneğin, solar PV örneğinde, ulusal laboratuvarlar Amerika Birleşik Devletleri'ndeki erken geliştirme aşamasında kilit bir rol oynamış, Japonya'da doğrudan hükümet tarafından desteklenen projeler ilk dağıtım için pazar nişleri yaratmış ve Almanya, İtalya, İspanya, Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Avustralya ve Hindistan'daki hükümet satın alma ve teşvik politikaları küresel bir pazarı teşvik etmiştir. Lityum-iyon (Li-ion) bataryalar başlangıçta çoğunlukla Japonya'da gerçekleştirilen kamu ve özel araştırmalarla geliştirilmiş, enerjiyle ilgili ilk ticari operasyonları ABD'de mümkün olmuş ve günümüzde seri üretim ağırlıklı olarak Çin'de gerçekleştirilmektedir.

En büyük temiz enerji teknolojisi zorluklarının çoğu, ilerlemeyi hızlandırmak için daha hedefli bir yaklaşımdan faydalanabilir (Diaz Anadon, 2012; Mazzucato, 2018). NZE'de, uyumlu hükümet eylemi özel sektör yatırımlarını güçlendirir ve şu anda farklı gelişim aşamalarında olan temiz enerji teknolojilerinde ilerlemelere yol açar.

- 2030'a kadar hükümet eylemlerinin odak noktası, sıfır veya düşük emisyonlu yeni teknolojilerin pazara sunulmasıdır. Örneğin, Yeni Zelanda'da geleneksel bir çelik fabrikası ölçeğinde düşük emisyonlu hidrojen kullanılarak çelik üretilmeye başlanmış, büyük gemiler

Düşük emisyonlu amonyakla çalışan yakıtlar ve elektrikli kamyonlar katı hal bataryalarıyla çalışmaya başlıyor. Buna paralel olarak, piyasada halihazırda mevcut olan ancak henüz kitlesel pazar ölçeğine ulaşmamış düşük emisyonlu teknolojilerin yaygınlaştırılmasında hızlı bir ivme yaşanmakta, yaparak öğrenme ve ölçek ekonomileri sayesinde bu tür teknolojilerin üretim, inşaat ve işletme maliyetleri düşmektedir.

- 2030'dan 2040'a kadar, yeni ortaya çıkan düşük emisyon teknolojilerini büyütme ve temiz enerji altyapısını genişletmek için teknoloji ilerlemeleri birleştirilmiştir. Bugün laboratuvarı veya küçük prototip aşamasında olan temiz enerji teknolojileri ticari hale gelir. Örneğin, yüksek değerli kimyasalların üretimi için çimento fırınlarında ve buhar krakerlerinde yakıtların yerini elektrik alır.
- 2040'tan 2050'ye kadar, bugün gelişimin çok erken aşamasındaki teknolojiler gelecek vaat eden niş pazarlarda benimsenmektedir. 2050 yılına gelindiğinde, bugün demonstrasyon veya büyük prototip aşamasında olan temiz enerji teknolojileri, satın alımlar ve yeni kurulumlar için ana akım haline gelir ve tüm bölgelerde mevcut geleneksel teknolojilerle rekabet eder. Örneğin, ultra yüksek enerji yoğunluğu bataryalar kısa uçuşlar için uçaklarda kullanılmaktadır.

4.5.5 Uluslararası işbirliği

2050'ye kadar net sıfır emisyonu giden yol, hükümetler arasında benzeri görülmemiş düzeyde bir uluslararası işbirliğini gerektirecektir. Bu sadece tüm ülkelerin net sıfır hedefine ulaşma çabalarına katılması meselesi değil, aynı zamanda tüm ülkelerin etkili ve karşılıklı fayda sağlayacak şekilde birlikte çalışması meselesidir. Net sıfır emisyonu ulaşmak tüm ülkeler için son derece zorlayıcı olacaktır, ancak düşük gelirli ülkelerde zorluklar en çetin ve çözümlerin sunulması en az kolaydır ve bu ülkelerin çoğunda temel azaltım teknolojilerinin ve altyapısının erken aşamada devreye sokulmasını sağlamak için teknik ve mali destek şart olacaktır. Uluslararası işbirliği olmadan, emisyonlar 2050 yılına kadar net sıfıra düşmeyecektir.

Uluslararası işbirliğinin özellikle önemli olan dört yönü vardır (Victor, Geels ve Sharpe, 2019).

- **Uluslararası talep sinyalleri ve ölçek ekonomileri.** Uluslararası işbirliği, geçmişte birçok kilit enerji teknolojisinde görülen maliyet düşüşleri için kritik öneme sahiptir. Bilgi transferini hızlandırabilir ve ölçek ekonomilerini teşvik edebilir. Ayrıca bir bölgede temiz enerji teknolojileri ve yakıtlar için yeni talep yaratılması ile diğer bölgelerde arzın geliştirilmesi arasında uyum sağlanmasına yardımcı olabilir. Bu faydaların, yerel istihdam ve endüstriyel kapasite yaratmanın ve tedarik zincirinin dayanıklılığını sağlamanın önemi karşısında tartışılması gerekir.
- **Ticaretin ve rekabetçiliğin yönetilmesi.** Çok sayıda ülkede faaliyet gösteren endüstriler, birlikte çalışabilirliği sağlamak için standardizasyona ihtiyaç duymaktadır. Ağır sanayi gibi sektörlerde inovasyon ve temiz enerji teknolojilerinin yaygınlaştırılması konusundaki ilerleme, geçmişte koordine edilmemiş ulusal politikalar ve uluslararası kabul görmüş standartların eksikliği nedeniyle engellenmiştir.

standartlar. Bu tür standartların geliştirilmesi, enerji teknolojilerinin geliştirilmesini ve yaygınlaştırılmasını hızlandırabilir.

- **İnovasyon, tanıtım ve yaygınlaştırma.** Temiz enerji Ar-Ge ve patentleme çalışmaları şu anda birkaç yerde yoğunlaşmıştır: Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa, Japonya, Kore ve Çin 2014-18 yılları arasında temiz enerji patentlerinin %90'ından fazlasını oluşturmuştur. Net sıfır emisyonla doğru ilerleme, temiz enerji teknolojilerinin ilk geliştirilmesinde yer almayan ülkelerdeki deneyim ve bilgi birikimini genişletmek için hızlı hareket ederek ve yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde türünün ilk örneği olan demonstrasyon projelerini finanse ederek artırılabilir. Özellikle teknolojilerin büyük ve karmaşık olduğu sektörlerde demonstrasyon projelerini finanse etmeye yönelik uluslararası programlar inovasyon sürecini hızlandıracaktır (IEA, 2020i).
- **Karbondiyoksit giderme (CDR) programları.** CCUS ile donatılmış biyoenerji ve DAC gibi CDR teknolojileri, küresel düzeyde emisyon azaltımı sağlamak için gereklidir. Nerede olursa olsun uygun arazi, yenilenebilir enerji potansiyeli ve depolama kaynaklarından en iyi şekilde yararlanmak amacıyla bu programların finanse edilmesi ve sertifikalandırılması için uluslararası işbirliğine ihtiyaç vardır. Uluslararası emisyon ticareti mekanizmaları, bazı sektörlerde veya negatif alanlarda emisyonların dengelenmesinde bir rol oynayabilir, ancak bu tür mekanizmalar piyasanın işleyişini ve bütünlüğünü sağlamak için yüksek derecede koordinasyon gerektirecektir.

NZE, bu engelleri aşmak için uluslararası işbirliği politikaları, tedbirleri ve çabalarının uygulamaya konulduğunu varsaymaktadır. Bunun yapılmamasının olası sonuçlarını araştırmak için bir *Düşük Uluslararası İşbirliği Durumu* tasarladık (Kutu 4.2). Bu durum, iklim değişikliğini yönelik ulusal çabaların Yeni Zelanda'daki çaba düzeyine paralel olarak artması, ancak işbirliği çerçevelerinin aynı hızda geliştirilmemesi halinde ne olacağını incelemektedir. Uluslararası işbirliği eksikliğinin inovasyon, teknoloji gösterimi, piyasa koordinasyonu ve nihayetinde emisyon yolu üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Kutu 4.2► Düşük Uluslararası İşbirliği Durumunun Çerçeveselendirilmesi

Düşük Uluslararası İşbirliği Durumunu geliştirmek için teknolojiler ve azaltma seçenekleri, mevcut olgunluk derecelerine ve uluslararası işbirliğinin dağıtımları için önemine göre değerlendirilmiş ve gruplandırılmıştır. Sağlam bir şekilde yerleşmiş ve uluslararası işbirliğine düşük düzeyde maruz kalan pazarlardaki olgun teknolojilerin, NZE'de olduğu gibi aynı dağıtım yollarına sahip olduğu varsayılmıştır. Ölçeğe ulaşmak ve kaçınmak için işbirliğinin gerekli olduğu, uluslararası ticarete ve rekabet gücüne büyük ölçüde maruz kalan, büyük ve çok sermaye yoğun tanıtım programlarına bağlı olan veya birlikte çalışabilirliği sağlamak için pazar çekimi ve standardizasyon oluşturmak için destek gerektiren teknolojilerin ve azaltma seçeneklerinin daha yavaş konuşlandırılacağı varsayılmaktadır (Malhotra ve Schmidt, 2020). NZE ile karşılaştırıldığında, bu teknolojilerin gelişmiş ekonomilerde ilk yayılımı 5-10 yıl, yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerde ise 10-15 yıl gecikmektedir.

CO₂ emisyonları

Gt CO₂

NZE

Düşük Uluslararası İşbirliği Vakası

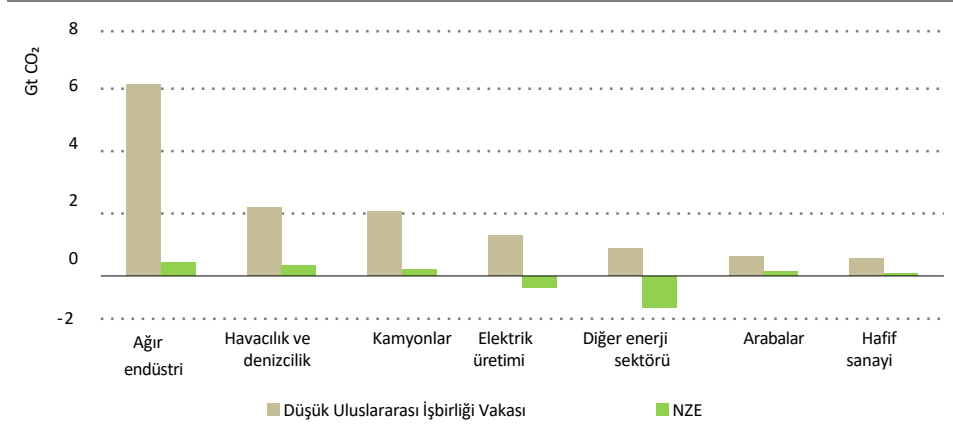
2010 2030 2050 2070 2090

IEA, Tüm hakları saklıdır.

Zayıf uluslararası işbirliği, şu anda gösterim aşamasında olan azaltım seçeneklerinin uygulanmasını yavaşlatmaktadır (Şekil 4.24). Buna ağır sanayi, kamyonlar, havacılık, nakliye ve CDR'deki emisyon azaltımları dahildir. Sonuç olarak enerji dönüşümü dengesiz bir şekilde ilerlemektedir. Düşük Uluslararası İşbirliği Durumunda önümüzdeki 20 yıl boyunca, emisyonlar elektrik üretimi, otomobiller, hafif sanayi ve binalarda NZE'ye göre daha hızlı ancak yine de daha yavaş bir şekilde azalmaktadır. Ancak, diğer alanlarda emisyon azalmaları çok daha yavaştır. 2030'ların ortalarından sonra, dünya çapında emisyon azaltım hızı NZE'ye göre belirgin bir şekilde yavaşlamakta ve net sıfıra geçiş on yıllarca gecikmektedir. 2050'de kalan 15 Gt CO₂ emisyonunun %40' biraz fazlası, azaltım teknolojilerinin tanıtım ve yayılma hızının daha yavaş olduğu ağır sanayidedir (Şekil 4.25). 2050'de kalan emisyonların üçte biri de havacılık, nakliye ve kamyonlardan kaynaklanmaktadır. Burada gelişmiş biyoyakıtların, hidrojen bazlı yakıtların ve yüksek enerji yoğunluklu bataryaların daha yavaş ölçeklendirilmesi ve yaygınlaştırılması ilerlemeyi engellemektedir. Yükselen pazarlarda ve gelişmekte olan ekonomilerde yeni projelerin hayata geçirilmesini destekleyecek işbirliğinin olmaması, buralardaki emisyon azaltımlarının NZE'dekinden çok daha yavaş olacağı anlamına gelmektedir.

Bu sonuçlar, hükümetler için uluslararası işbirliğini güçlendirmenin önemini vurgulamaktadır. Özellikle türünün ilk örneği olan projelerin maliyetlerinin genellikle daha yüksek olduğu yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomilerdeki karmaşık teknolojiler için inovasyonun ve kilit teknolojilerin tanıtımının hızlandırılması ve herkes için adil bir geçiş sağlanması amacıyla uluslararası ticaret ve rekabetçilikle ilgili endişelerin giderilmesi güçlü bir itici güç gerekmektedir.

Şekil 4.25► Düşük Uluslararası İşbirliği Durumunda ve NZE'de 2050 yılında seçilmiş sektörlerde CO₂ emisyonları



Düşük Uluslararası İşbirliği Durumunda 2050 yılında CO₂ emisyonları sanayi ve ulaştırma sektörlerinde yoğunlaşmaktadır

Not: Diğer enerji sektörü= yakıt üretimi ve doğrudan hava yakalama.

EKLER

Senaryo projeksiyonları için tablolar

Tablolara ilişkin genel not

Bu ek, aşağıdaki veri setleri için 2050 yılına kadar Net-Sıfır Emisyon senaryosuna yönelik küresel geçmiş ve öngörülen verileri içermektedir: enerji arzı, enerji talebi, brüt elektrik üretimi ve elektrik kapasitesi, fosil yakıt yanması ve endüstriyel süreçlerden kaynaklanan karbondioksit (CO₂) emisyonları ve seçilmiş ekonomik ve faaliyet göstergeleri.

Yakıtlar ve sektörler için tanımlar Ek C'de yer almaktadır. Tablolarda kullanılan yaygın kısaltmalar şunlardır: EJ = exajoules; CAAGR = bileşik ortalama yıllık büyüme oranı; CCUS = karbon yakalama, kullanma ve depolama. CCUS olmayan tesislerdeki fosil yakıt tüketimi "hız kesmeden" olarak sınıflandırılmıştır.

Hem bu raporun metninde hem de tablolarda yuvarlama, toplam ve ayrı bileşenlerinin toplamı arasında küçük farklılıklara yol açabilir. Büyüme oranları yıllık bileşik ortalama bazında hesaplanmıştır ve baz yıl sıfır olduğunda veya değer %200'ü aştığında "n.a." olarak işaretlenmiştir. Sıfır değerler "-" olarak işaretlenir.

Tabloları Excel formatında indirmek için şu adrese gidin: [iea.li/nzedata](https://www.iea.org/nzedata).

Veri kaynakları

Senaryo projeksiyonları için resmi baz yıl 2019'dur, çünkü bu yıl enerji talebi ve üretiminin tam bir resminin mevcut olduğu son yıldır. Bununla birlikte, mevcut olduğunda daha güncel verileri kullandık ve bu ekte enerji üretimi ve talebine ilişkin 2020 tahminlerimize yer veriyoruz. 2020'ye ilişkin tahminler, IEA'nın Enerji Veri Merkezi'ne gönderilen en son aylık veriler, ulusal idarelerden gelen diğer istatistiksel açıklamalar ve IEA Piyasa Raporu Serisinden kömür, petrol, doğal gaz, yenilenebilir enerji ve elektrik enerjisini kapsayan en son piyasa verileri de dahil olmak üzere bir dizi kaynaktan elde edilen IEA'nın Küresel Enerji İncelemesi raporlarının güncellemelerine dayanmaktadır.

Brüt elektrik kapasitesine ilişkin tarihsel veriler S&P Global Market Intelligence Dünya Elektrik Santralleri Veritabanı (Mart 2020 versiyonu) ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı PRIS veritabanından alınmıştır.

Tanımlayıcı not: A.1. Enerji tedarik ve dönüşüm tablosu

Toplam enerji arzı (TES), elektrik ve ısı üretimi artı elektrik ve hariç "diğer enerji sektörü" artı elektrik ve ısı hariç toplam nihai tüketime (TFC) eşdeğerdir. TES, ısı pompalarından gelen ortam ısısını veya elektrik ticaretini içermez. TES'teki güneş enerjisi; güneş PV üretimini, yoğunlaştırılmış güneş enerjisini ve güneş termalının nihai tüketimini içerir. TES'teki diğer yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik ve ısı üretimi için jeotermal ve deniz (gelgit ve dalga) enerjisini içerir. Diğer enerji sektöründeki hidrojen üretimi ve biyoyakıt üretimi, ticari hidrojen üretmek için gereken enerji girdisini (esas olarak doğal gaz ve elektrik) ve enerji sektöründe kullanılan biyoyakıtları (esas olarak birincil katı biyokütle) üretmek için dönüşüm kayıplarını açıklamaktadır. Ayrı olarak belirtilmemekle birlikte, yenilenebilir olmayan atık ve diğer kaynaklar TES'e dahil edilmiştir.

Tanımlayıcı not: A.2. Enerji talep tablosu

Toplam nihai tüketimi (TFC) oluşturan sektörler arasında sanayi (enerji kullanımı ve hammadde), ulaştırma, binalar (konut, hizmetler ve belirtilmemiş diğer) ve diğer (tarım ve diğer enerji dışı kullanım) yer almaktadır. Uluslararası denizcilik ve havacılık yakıtlarından kaynaklanan enerji talebi ulaştırma toplamlarına dahil edilmiştir.

Tanımlayıcı not: A.3. Elektrik tabloları

Terawatt-saat (TWh) cinsinden ifade edilen elektrik üretimi ve gigawatt (GW) cinsinden ifade edilen kurulu elektrik kapasitesi verilerinin her ikisi de brüt bazda (yani jeneratörün kendi kullanımı dahil) verilmektedir. Öngörülen brüt elektrik kapasitesi, mevcut kapasite ve ilavelerin toplamından emekliliklerin çıkarılmasıyla elde edilir. Ayrı olarak belirtilmemekle birlikte, diğer kaynaklar toplam elektrik üretimine dahildir.

Tanımlayıcı not: A.4. CO₂ emisyonları tablosu

Toplam CO₂, fosil yakıtların ve yenilenebilen atıkların yanmasından, endüstriyel ve yakıt dönüşüm süreçlerinden (süreç emisyonları) ve CO₂ giderimlerinden kaynaklanan karbondioksit emisyonlarını içerir. Üç tür CO₂ giderimi sunulmaktadır:

- Biyoenerji ve yenilenebilir atıkların yanmasından (tipik olarak elektrik üretimi) kaynaklanan emisyonların yakalanması ve depolanması.
- Biyoyakıt üretiminden kaynaklanan yakalanan ve depolanan proses emisyonları.
- Doğrudan hava karbon yakalama ve depolama (DACCS) olarak bildirilen, atmosferden yakalanan ve depolanan karbondioksit.

İlk iki girdi genellikle karbon yakalama ve depolamalı biyoenerji (BECCS) olarak raporlanır. Biyoyakıt üretiminden ve doğrudan hava yakalanan CO₍₂₎'nin bir kısmının sentetik yakıt üretmek için kullanıldığını ve bunun CO₂ giderimi olarak dahil edilmediğini unutmayın.

Yakalanan toplam CO₂, CCUS tesislerinden (elektrik üretimi veya sanayi gibi) yakalanan karbondioksiti ve doğrudan hava yakalama yoluyla yakalanan atmosferik CO₍₂₎'yi içerir, ancak üretilen için yakalanan ve kullanılan CO₂ hariçtir.

Tanımlayıcı not: A.5. Ekonomik ve faaliyet göstergeleri

Kilowatt-saat başına kilogram karbondioksit (kg CO₂/kWh) olarak ifade edilen emisyon yoğunluğu, sadece elektrik santralleri ve birleşik ısı ve güç (CHP) santrallerinin elektrik bileşeni temel alınarak hesaplanmaktadır.

1

Kullanılan diğer kısaltmalar şunlardır: PPP= satın alma gücü paritesi; GJ= gigajul; Mt= milyon ton; pkm = yolcu-kilometre; tkm = ton-kilometre; m²= metrekare.

¹ CHP tesislerinden sadece elektrikle ilgili emisyonları üretmek için, bir CHP tesisinin ısı üretiminin %90 verimli olduğunu ve yakıt girdisinin geri kalanının elektrik üretimine tahsis edildiğini varsayıyoruz.

Tablo A.1: Enerji arzı ve dönüşümü

	Enerji arzı (EJ)					Paylar (%)			CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
Toplam enerji arzı	612	587	547	535	543	100	100	100	-0.7	-0.3
Yenilenebilir Enerji	67	69	167	295	362	12	30	67	9.3	5.7
Güneş Enerjisi	4	5	32	78	109	1	6	20	21	11
Rüzgar	5	6	29	67	89	1	5	16	17	9.6
Hidro	15	16	21	27	30	3	4	6	2.9	2.2
Modern katı biyoenjeri	31	32	54	73	73	5	10	14	5.3	2.8
Modern sıvı biyoenjeri	4	3	12	14	15	1	2	3	14	4.9
Modern gazlı biyoenjeri	2	2	5	10	14	0	1	3	10	6.4
Diğer yenilenebilir kaynaklar	4	5	13	24	32	1	2	6	11	6.7
Biyo kütlelin geleneksel kullanımı	25	25	-	-	-	4	-	-	n.a.	n.a.
Nükleer	30	29	41	54	61	5	8	11	3.5	2.4
Azaltılmamış doğal gaz	139	136	116	44	17	23	21	3	-1.6	-6.6
CCUS ile doğal gaz	0	1	13	31	43	0	2	8	37	16
Yağ	190	173	137	79	42	29	25	8	-2.3	-4.6
bunun enerji dışı kullanımı	28	27	32	31	29	5	6	5	1.4	0.2
Azaltılmamış kömür	160	154	68	16	3	26	12	1	-7.9	-12
CCUS ile Kömür	0	0	4	16	14	0	1	3	60	22
Elektrik ve ısı sektörleri	233	230	240	308	371	100	100	100	0.4	1.6
Yenilenebilir Enerji	36	38	107	220	284	17	44	77	11	6.9
Güneş PV	2	3	25	61	84	1	10	23	24	12
Rüzgar	5	6	29	67	89	2	12	24	17	9.6
Hidro	15	16	21	27	30	7	9	8	2.9	2.2
Biyoenjeri	9	10	18	35	39	4	8	10	6.3	4.6
Diğer yenilenebilir kaynaklar	4	4	14	30	42	2	6	11	14	8.5
Hidrojen	-	-	5	11	11	-	2	3	n.a.	n.a.
Amonyak	-	-	1	2	2	-	0	0	n.a.	n.a.
Nükleer	30	29	41	54	61	13	17	16	3.5	2.4
Azaltılmamış doğal gaz	56	55	49	4	2	24	21	0	-1.1	-11
CCUS ile doğal gaz	-	-	1	5	5	-	1	1	n.a.	n.a.
Yağ	9	8	2	0	0	4	1	0	-12	-14
Azaltılmamış kömür	102	100	30	0	0	43	12	0	-11	-34
CCUS ile Kömür	0	0	3	10	7	0	1	2	55	19
Diğer enerji sektörü	57	57	61	76	91	100	100	100	0.7	1.5
Hidrojen üretimi	-	0	21	49	70	0	35	77	66	23
Biyoyakıt üretimi	5	6	12	15	12	10	20	13	8	2.7

Tablo A.2: Enerji talebi

	Enerji talebi (EJ)					Paylar (%)			CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
Toplam nihai tüketim	435	412	394	363	344	100	100	100	-0.4	-0.6
Elektrik	82	81	103	140	169	20	26	49	2.4	2.5
Sıvı yakıtlar	175	158	143	96	66	38	36	19	-1.0	-2.9
Biyoyakıtlar	4	3	12	14	15	1	3	4	14	4.9
Amonyak	-	-	1	3	5	-	0	1	n.a.	n.a.
Sentetik yağ	-	-	0	2	5	-	0	1	n.a.	n.a.
Yağ	171	154	129	77	42	37	33	12	-1.8	-4.2
Gaz yakıtlar	70	68	68	60	53	16	17	15	0.1	-0.8
Biyometan	0	0	2	5	8	0	1	2	25	13
Hidrojen	0	0	6	12	20	0	2	6	54	20
Sentetik metan	-	-	0	1	4	-	0	1	n.a.	n.a.
Doğal gaz	70	67	58	40	20	16	15	6	-1.4	-4.0
Katı yakıtlar	92	89	61	46	35	22	16	10	-3.6	-3.0
Biyokütle	39	39	24	25	25	9	6	7	-4.8	-1.4
Kömür	53	50	38	21	10	12	10	3	-2.8	-5.3
Isı	13	13	12	9	6	3	3	2	-1.2	-2.7
Diğer	3	3	7	11	15	1	2	4	8.2	5.2
Endüstri	162	157	170	169	160	100	100	100	0.8	0.1
Elektrik	35	35	47	62	74	22	28	46	3.0	2.5
Sıvı yakıtlar	31	31	31	27	23	20	18	15	-0.2	-0.9
Yağ	31	31	31	27	23	20	18	15	-0.2	-0.9
Gaz yakıtlar	32	32	35	34	28	20	21	18	1.0	-0.4
Biyometan	0	0	1	2	4	0	0	3	22	15
Hidrojen	-	0	3	4	5	0	2	3	44	15
Azaltılmamış doğal gaz	32	32	30	22	9	20	18	6	-0.5	-4.0
CCUS ile doğal gaz	0	0	1	5	7	0	1	4	38	18
Katı yakıtlar	58	52	51	40	30	34	30	18	-0.3	-1.9
Biyokütle	10	9	15	19	20	6	9	13	5.2	2.8
Azaltılmamış kömür	48	44	35	15	3	28	20	2	-2.3	-9.0
CCUS ile Kömür	0	0	1	5	7	0	1	4	91	31
Isı	6	6	6	3	2	4	3	1	-1.2	-4.5
Diğer	0	0	1	3	4	0	1	2	33	14
Demir ve çelik	36	33	37	36	32	21	22	20	1.1	-0.2
Kimyasallar	22	20	26	26	25	13	15	15	2.7	0.7
Çimento	12	16	11	11	10	10	7	7	-3.3	-1.3

Tablo A.2: Enerji talebi

	Enerji talebi (EJ)					Paylar (%)			CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
Nakliye	122	105	102	85	80	100	100	100	-0.3	-0.9
Elektrik	1	1	7	22	35	1	7	44	17	11
Sıvı yakıtlar	115	99	89	53	30	94	87	38	-1.0	-3.9
Biyoyakıtlar	4	3	11	12	11	3	11	14	14	4.3
Yağ	111	96	76	35	9	91	74	12	-2.2	-7.4
Gaz yakıtlar	5	5	6	10	15	5	6	18	2.1	3.7
Biyometan	0	0	1	1	2	0	0	2	23	11
Hidrojen	0	0	1	6	13	0	1	16	92	34
Doğal gaz	5	5	4	2	0	5	4	0	-1.5	-11
Yol	90	81	73	57	50	77	72	63	-0.9	-1.6
Binek araçlar	47	41	30	19	17	39	29	21	-3.1	-2.9
Kamyonlar	27	25	28	24	22	24	27	28	1.1	-0.4
Havacılık	14	8	13	13	14	8	13	18	4.6	1.7
Nakliye	12	11	11	10	10	10	11	12	0.4	-0.3
Binalar	129	127	99	89	86	100	100	100	-2.4	-1.3
Elektrik	43	42	45	51	57	33	46	66	0.7	1.0
Sıvı yakıtlar	13	13	9	4	2	10	10	2	-3.2	-6.0
Biyoyakıtlar	0	0	0	1	1	0	0	1	26	12
Yağ	13	13	9	4	1	10	9	1	-3.4	-7.7
Gaz yakıtlar	30	28	23	13	6	22	23	7	-2.1	-4.9
Biyometan	0	0	1	2	2	0	1	2	29	11
Hidrojen	-	0	2	2	2	0	2	2	103	27
Doğal gaz	30	28	19	7	1	22	20	1	-3.8	-12
Katı yakıtlar	34	34	10	7	6	27	10	7	-11	-5.5
Modern biyokütle	5	5	9	7	6	4	9	7	6.9	0.9
Biyokütlenin geleneksel kullanımı	25	25	-	-	-	20	-	-	n.a.	n.a.
Kömür	4	4	1	0	0	3	1	0	-12	-21
Isı	7	7	6	5	4	5	6	5	-1.2	-1.6
Diğer	2	3	5	8	11	2	5	12	7.1	4.8
Konut	91	90	67	59	58	71	67	67	-3.0	-1.5
Hizmetler	38	36	32	30	28	29	33	33	-1.2	-0.9
Diğer	22	23	22	20	18	100	100	100	-0.5	-0.9

Tablo A.3: Elektrik

	Elektrik Üretimi (TWh)					Paylar (%)			CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
Toplam üretim	26 922	26 778	37 316	56 553	71 164	100	100	100	3.4	3.3
Yenilenebilir Enerji	7 153	7 660	22 817	47 521	62 333	29	61	88	12	7.2
Güneş PV	665	821	6 970	17 031	23 469	3	19	33	24	12
Rüzgar	1 423	1 592	8 008	18 787	24 785	6	21	35	18	9.6
Hidro	4 294	4 418	5 870	7 445	8 461	17	16	12	2.9	2.2
Biyoenjerji	665	718	1 407	2 676	3 279	3	4	5	7.0	5.2
<i>bunlardan BECCS</i>	-	-	129	673	842	-	0	1	n.a.	n.a.
CSP	14	14	204	880	1 386	0	1	2	31	17
Jeotermal	92	94	330	625	821	0	1	1	13	7.5
Denizcilik	1	2	27	77	132	0	0	0	28	14
Nükleer	2 792	2 698	3 777	4 855	5 497	10	10	8	3.4	2.4
Hidrojen bazlı	-	-	875	1 857	1 713	-	2	2	n.a.	n.a.
CCUS ile fosil yakıtlar	1	4	459	1 659	1 332	0	1	2	61	21
CCUS ile Kömür	1	4	289	966	663	0	1	1	54	19
CCUS ile doğal gaz	-	-	170	694	669	-	0	1	n.a.	n.a.
Azaltılmamış fosil yakıtlar	16 941	16 382	9 358	632	259	61	25	0	-5.4	-13
Kömür	9 832	9 426	2 947	0	0	35	8	0	-11	-40
Doğal gaz	6 314	6 200	6 222	626	253	23	17	0	0.0	-10
Yağ	795	756	189	6	6	3	1	0	-13	-15

	Elektrik Kapasitesi (GW)					Paylar (%)			CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050	2020-2030	2020-2050
Toplam kapasite	7 484	7 795	14 933	26 384	33 415	100	100	100	6.7	5.0
Yenilenebilir Enerji	2 707	2 994	10 293	20 732	26 568	38	69	80	13	7.5
Güneş PV	603	737	4 956	10 980	14 458	9	33	43	21	10
Rüzgar	623	737	3 101	6 525	8 265	9	21	25	15	8.4
Hidro	1 306	1 327	1 804	2 282	2 599	17	12	8	3.1	2.3
Biyoenjerji	153	171	297	534	640	2	2	2	5.7	4.5
<i>bunlardan BECCS</i>	-	-	28	125	152	-	0	0	n.a.	n.a.
CSP	6	6	73	281	426	0	0	1	28	15
Jeotermal	15	15	52	98	126	0	0	0	13	7.4
Denizcilik	1	1	11	32	55	0	0	0	34	16
Nükleer	415	415	515	730	812	5	3	2	2.2	2.3
Hidrojen bazlı	-	-	139	1 455	1 867	-	1	6	n.a.	n.a.
CCUS ile fosil yakıtlar	0	1	81	312	394	0	1	1	66	25
CCUS ile Kömür	0	1	53	182	222	0	0	1	59	22
CCUS ile doğal gaz	-	-	28	130	171	-	0	1	n.a.	n.a.
Azaltılmamış fosil yakıtlar	4 351	4 368	3 320	1 151	677	56	22	2	-2.7	-6.0
Kömür	2 124	2 117	1 192	432	158	27	8	0	-5.6	-8.3
Doğal gaz	1 788	1 829	1 950	679	495	23	13	1	0.6	-4.3
Yağ	440	422	178	39	25	5	1	0	-8.3	-9.0
Akü depolama	11	18	585	2 005	3 097	0	4	9	42	19

Tablo A.4: CO₂ emisyonları

	CO ₂ emisyonları (Mt CO ₂)					CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020-2030	2020-2050
Toplam CO₂*	35 926	33 903	21 147	6 316	0	-4.6	n.a.
Yanma faaliyetleri (+)	33 499	31 582	19 254	6 030	940	-4.8	-11
Kömür	14 660	14 110	5 915	1 299	195	-8.3	-13
Yağ	11 505	10 264	7 426	3 329	928	-3.2	-7.7
Doğal gaz	7 259	7 138	5 960	1 929	566	-1.8	-8.1
Biyoenjeri ve atık	75	71	- 48	- 528	- 748	n.a.	n.a.
Sanayi taşımaları (-)	1	1	214	914	1 186	75	28
Biyoyakıt üretimi	1	1	142	385	553	68	24
Doğrudan hava yakalama	-	-	71	528	633	n.a.	n.a.
Elektrik ve ısı sektörleri	13 821	13 504	5 816	- 81	- 369	-8.1	n.a.
Kömür	10 035	9 786	2 950	102	69	-11	-15
Yağ	655	628	173	6	6	-12	-14
Doğal gaz	3 131	3 089	2 781	268	128	-1.0	-10
Biyoenjeri ve atık	-	-	- 87	- 457	- 572	n.a.	n.a.
Diğer enerji sektörü*	1 457	1 472	679	- 85	- 368	-7.4	n.a.
Nihai tüketim*	20 647	18 928	14 723	7 011	1 370	-2.5	-8.4
Kömür	4 486	4 171	2 935	1 186	117	-3.5	-11
Yağ	10 272	9 077	6 973	3 242	880	-2.6	-7.5
Doğal gaz	3 451	3 332	2 668	1 453	303	-2.2	-7.7
Biyoenjeri ve atık	75	71	40	- 70	- 176	-5.6	n.a.
Endüstri*	8 903	8 478	6 892	3 485	519	-2.0	-8.9
Demir ve çelik	2 507	2 349	1 778	859	220	-2.7	-7.6
Kimyasallar	1 344	1 296	1 199	654	66	-0.8	-9.5
Çimento	2 461	2 334	1 899	906	133	-2.0	-9.1
Nakliye	8 290	7 153	5 719	2 686	689	-2.2	-7.5
Yol	6 116	5 483	4 077	1 793	340	-2.9	-8.9
Binek araçlar	3 121	2 746	1 626	547	85	-5.1	-11
Kamyonlar	1 835	1 721	1 614	890	198	-0.6	-6.9
Havacılık	1 019	621	783	469	210	2.4	-3.5
Nakliye	883	800	705	348	122	-1.3	-6.1
Binalar	3 007	2 860	1 809	685	122	-4.5	-10
Konut	2 030	1 968	1 377	541	108	-3.5	-9.2
Hizmetler	977	892	432	144	14	-7.0	-13
Toplam CO₂ uzaklaştırmaları	1	1	317	1 457	1 936	79	29
Yakalanan toplam CO₂	40	40	1 665	5 619	7 602	45	19

*Endüstriyel proses emisyonları dahildir.

Tablo A.5: Ekonomik ve Faaliyet Göstergeleri

	Gösterge					CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020-2030	2020-2050
Nüfus (milyon)	7 672	7 753	8 505	9 155	9 692	0.9	0.7
GSYİH (2019 milyar ABD doları, SAGP)	134 710	128 276	184 037	246 960	316 411	3.7	3.1
Kişi başına GSYİH (2019 ABD Doları, SAGP)	17 558	16 545	21 638	26 975	32 648	2.7	2.3
TES/GSYİH (1 000 ABD Doları başına GJ, SAGP)	4.543	4.578	2.973	2.164	1.716	-4.2	-3.2
TFC/GSYİH (1 000 ABD Doları başına GJ, PPP)	3.231	3.208	2.139	1.468	1.086	-4.0	-3.5
Kişi başına TES (GJ)	79.77	75.74	64.33	58.38	56.03	-1.6	-1.0
Elektrik üretiminin CO ₂ yoğunluğu (kWh başına kg CO ₂)	0.468	0.438	0.138	-0.001	-0.005	-11	n.a.

	Etkinlik					CAAGR (%)	
	2019	2020	2030	2040	2050	2020-2030	2020-2050
Endüstriyel üretim							
Birincil kimyasallar (Mt)	538	529	641	686	688	1.9	0.9
Çelik (Mt)	1 869	1 781	1 937	1 958	1 987	0.8	0.4
Çimento (Mt)	4 215	4 054	4 258	4 129	4 032	0.5	-0.0
Nakliye							
Binek araçlar (milyar vkm)	15 300	14 261	15 775	19 159	24 517	1.0	1.8
Kamyonlar (milyar tkm)	26 646	25 761	38 072	49 756	59 990	4.0	2.9
Havacılık (milyar pkm)	8 506	5 474	10 271	11 573	14 566	6.5	3.3
Nakliye (milyar tkm)	107 225	109 153	155 621	209 905	291 032	3.6	3.3
Binalar							
Hizmetler taban alanı (milyon m ²)	49 670	49 825	58 867	68 576	78 157	1.7	1.5
Konut taban alanı (milyon m ²)	190 062	192 558	235 745	290 696	345 183	2.0	2.0
Milyon hane	2 095	2 116	2 435	2 765	3 051	1.4	1.2

Teknoloji maliyetleri

Elektrik üretimi

Tablo B.1► Yeni Zelanda'da seçilen bölgelere göre elektrik üretim teknolojisi maliyetleri

Finansman oranı (%)		Sermaye maliyetleri (\$/kW)			Kapasite faktörü (%)			Yakıt, CO ₂ ve İşletme ve Bakım (\$/MWh)			LCOE (\$/MWh)			
Tümü		2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050	
Birleşik Devletler														
Nükleer	8.0	5 000	4 800	4 500	90	80	75	30	30	30	105	110	110	
Kömür	8.0	2 100	2 100	2 100	20	n.a.	n.a.	90	170	235	220	n.a.	n.a.	
Gaz CCGT	8.0	1 000	1 000	1 000	55	25	n.a.	50	80	105	70	125	n.a.	
Güneş Enerjisi	3.7	1 140	620	420	21	22	23	10	10	10	50	30	20	
Karada rüzgar	3.7	1 540	1 420	1 320	42	43	44	10	10	10	35	35	30	
Açık deniz rüzgarı	4.5	4 040	2 080	1 480	42	46	48	35	20	15	115	60	40	
Avrupa Birliği														
Nükleer	8.0	6 600	5 100	4 500	75	75	70	35	35	35	150	120	115	
Kömür	8.0	2 000	2 000	2 000	20	n.a.	n.a.	120	205	275	250	n.a.	n.a.	
Gaz CCGT	8.0	1 000	1 000	1 000	40	20	n.a.	65	95	120	100	150	n.a.	
Güneş PV	3.2	790	460	340	13	14	14	10	10	10	55	35	25	
Karada rüzgar	3.2	1 540	1 420	1 300	29	30	31	15	15	15	55	45	40	
Açık deniz rüzgarı	4.0	3 600	2 020	1 420	51	56	59	15	10	5	75	40	25	
Çin														
Nükleer	7.0	2 800	2 800	2 500	80	80	80	25	25	25	65	65	60	
Kömür	7.0	800	800	800	60	n.a.	n.a.	75	135	195	90	n.a.	n.a.	
Gaz CCGT	7.0	560	560	560	45	35	n.a.	75	100	120	90	115	n.a.	
Güneş Enerjisi	3.5	750	400	280	17	18	19	10	5	5	40	25	15	
Karada rüzgar	3.5	1 220	1 120	1 040	26	27	27	15	10	10	45	40	40	
Açık deniz rüzgarı	4.3	2 840	1 560	1 000	34	41	43	25	15	10	95	45	30	
Hindistan														
Nükleer	7.0	2 800	2 800	2 800	70	70	70	30	30	30	75	75	75	
Kömür	7.0	1 200	1 200	1 200	50	n.a.	n.a.	35	50	75	65	n.a.	n.a.	
Gaz CCGT	7.0	700	700	700	55	50	n.a.	45	45	50	55	60	n.a.	
Güneş PV	5.8	580	310	220	20	21	21	5	5	5	35	20	15	
Karada rüzgar	5.8	1 040	980	940	26	28	29	10	10	10	50	45	40	
Açık deniz rüzgarı	6.6	2 980	1 680	1 180	32	37	38	25	15	10	130	70	45	

Notlar: O&M = işletme ve bakım; LCOE = seviyelendirilmiş elektrik maliyeti; kW = kilowatt; MWh = megawatt-saat; CCGT= kombine çevrim gaz türbini; n.a.= uygulanamaz. Maliyet bileşenleri ve LCOE rakamları yuvarlanmıştır.

Kaynaklar: IEA analizi; IRENA Yenilenebilir Maliyetlendirme Birliği; IRENA (2020).

- LCOE'ye katkıda bulunan başlıca unsurlar şunlardır: gecelik sermaye maliyetleri; maksimum nominal kapasiteye göre yıl boyunca ortalama çıktıyı tanımlayan kapasite faktörü (tipik değerler verilmiştir); yakıt girdilerinin maliyeti; artı işletme ve bakım. Ekonomik ömür varsayımları güneş PV, kara ve açık deniz rüzgarı için 25 yıldır.
- Ağırlıklı ortalama sermaye maliyetleri (AOSM), *Dünya Enerji Görünümü 2020*'deki (IEA, 2020) şebeke ölçeğindeki güneş enerjisi ve *Offshore Wind Outlook 2019*'daki (IEA, 2019) açık deniz rüzgarı için yapılan analizleri yansıtmaktadır. Açık deniz rüzgarının şebeke ölçeğindeki güneş enerjisi ile aynı AOSM'ye sahip olduğu varsayılmıştır. Nükleer enerji, kömür ve gaz yakıtlı enerji santralleri için standart bir AOSM varsayılmıştır (ekonomik kalkınma aşamasına bağlı olarak %7-8).
- Yakıt, CO₂ ve işletme ve Bakım maliyetleri, projeksiyonlarda belirtilen tarihi takip on yılın ortalamasını yansıtmaktadır.
- Nükleer enerji için sermaye maliyetleri, yeni reaktör tasarımları için "türünün n'incisi" maliyetleri temsil etmekte olup, türünün ilk örneği olan projelerden önemli maliyet düşüşleri sağlanmıştır.

Piller ve hidrojen

Tablo B.2► NZE'de bataryalar ve hidrojen üretim teknolojileri için sermaye maliyetleri

	2020	2030	2050
Ulaşım uygulamaları için batarya paketleri (USD/kWh)	130 - 155	75 - 90	55 - 80
Düşük sıcaklık elektrolizörleri (USD/kWe)	835 - 1 300	255 - 515	200 - 390
CCUS ile doğal gaz (USD/kW H ₂)	1 155 - 2 010	990 - 1 725	935 - 1 625

Notlar: kWh = kilovat-saat; kWe = kilovat elektrik; CCUS = karbon yakalama, kullanma ve depolama; H₂= hidrojen. Elektrolizörler ve CCUS ile doğal gazdan hidrojen üretimi için sermaye maliyetleri gecelik .

Kaynak: IEA analizi.

Tanımlar

Bu ek, birimler ve genel dönüşüm faktörleri; yakıtların, proseslerin ve sektörlerin tanımları; bölgesel ve ülke gruplandırmaları; kısaltmalar ve akronimler dahil olmak üzere bu rapor boyunca kullanılan terminoloji hakkında genel bilgi sağlamaktadır.

Birimler

Alan	km ²	kilometre kare
	Mha	milyon hektar
Aküler	Wh/kg	Kilogram başına Watt saat
Kömür	Mtce	milyon ton kömür eşdeğeri (0,7 Mtep'e eşittir)
Mesafe	km	kilometre
Emisyonlar	ppm	milyonda parça (hacimce)
	tCO ₂	ton karbondioksit
	Gt CO ₂ -eq	gigaton karbondioksit eşdeğeri (farklı sera gazları için 100 yıllık küresel ısınma potansiyelleri kullanılarak)
	kg CO ₂ -eq	kilogram karbondioksit eşdeğeri
	g CO ₂ /km	kilometre başına gram karbondioksit
	kg CO ₂ /kWh	kilovat-saat başına kilogram karbondioksit
Enerji	EJ	exajoule
	PJ	petajoule
	TJ	terajoule
	GJ	gigajoule
	MJ	megajoule
	boe	varil petrol eşdeğeri
	ayak parmağı	ton eşdeğer petrol
	ktoe	bin ton petrol eşdeğeri
	Mtoe	milyon ton petrol eşdeğeri
	MBtu	milyon İngiliz ısı birimi
	kWh	kilovat-saat
	MWh	megawatt-saat
	GWh	gigawatt-saat
	TWh	terawatt-saat
Gaz	bcm	milyar metreküp
	tcm	trilyon metreküp
Kütle	kg	kilogram (1 000 kg = 1 ton)
	kt	kiloton (1 ton x 10 ³)
	Mt	milyon ton (1 ton x 10 ⁶)
	Gt	gigaton (1 ton x 10 ⁹)

Parasal	Milyon ABD Doları	1 ABD doları x 10 ⁶
	Milyar ABD Doları	1 ABD doları x 10 ⁹
	Trilyon ABD Doları	1 ABD doları x 10 ¹²
	Trilyon ABD Doları/tCO ₂	Ton karbondioksit başına ABD doları
Yağ	kb/d	günlük bin varil
	mb/d	günlük milyon varil
	mboe/d	günlük milyon varil petrol eşdeğeri
Güç	W	watt (saniye başına 1 joule)
	kW	kilowatt (1 watt x 10 ³)
	MW	megawatt (1 watt x 10 ⁶)
	GW	gigawatt (1 watt x 10 ⁹)
	TW	terawatt (1 watt x 10 ¹²)

Enerji için genel dönüşüm faktörleri

Dönüştürülecek çarpan:						
		EJ	Gcal	Mtoe	MBtu	GWh
Dönüştür:	EJ	1	238.8 x 10 ⁶	23.88	9.47.8 x 10 ³	2.778 x 10 ⁵
	Gcal	4.1868 x 10 ⁻⁹	1	(10) ⁻⁷	3.968	1.163 x 10 ⁻³
	Mtoe	4.1868 x 10 ⁻²	10 ⁷	1	3.968 x 10 ⁷	11 630
	MBtu	1.0551 x 10 ⁻⁹	0.252	2.52 x 10 ⁻⁸	1	2.931 x 10 ⁻⁴
	GWh	3.6 x 10 ⁻⁶	860	8.6 x 10 ⁻⁵	3 412	1

Not: Boe'nin genel kabul görmüş bir tanımı yoktur; tipik olarak kullanılan dönüştürme faktörleri 7,15 ile Tepe başına 7,40 boe.

Para birimi dönüşümleri

Döviz kurları (2019 yıllık ortalama)	1 ABD doları (USD) eşittir:
İngiliz Sterlini	0.78
Çin Yuanı Renminbi Avro	6.91
Hint Rupisi Endonezya	0.89
Rupiahı Japon Yeni	70.42
Rus Rublesi	14 147.67
Güney Afrika Randı	109.01
	64.74
	14.45

Kaynak: OECD Ulusal Hesaplar İstatistikleri: satın alma gücü pariteleri ve döviz kurları veri seti, Temmuz 2020.

Tanımlar

Gelişmiş biyoenerji: Fosil yakıt alternatiflerine kıyasla önemli yaşam döngüsü sera gazı emisyonu tasarrufu sağlayabilen ve tarım arazileri için gıda ve yem bitkileri ile doğrudan rekabet etmeyen veya olumsuz sürdürülebilirlik etkilerine neden olmayan, gıda dışı bitkisel hammaddelerden üretilen sürdürülebilir yakıtlar. Bu tanım, ABD mevzuatında "gelişmiş biyoyakıtlar" için kullanılan, yaşam döngüsü sera gazı azaltımının en az %50 olmasına dayanan ve bu nedenle şeker kamışı etanolünü de içeren tanımdan farklıdır.

Tarım: Çiftliklerde, ormancılıkta ve balıkçılıkta kullanılan tüm enerjiyi içerir.

Tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımı (AFOLU) emisyonları: Tarım, ormancılık ve diğer arazi kullanımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarını içerir.

Amonyak (NH₃): Azot ve hidrojenlerden oluşan bir bileşiktir. Doğrudan yanma işleminde yakıt olarak, yakıt hücrelerinde veya hidrojen taşıyıcı olarak kullanılabilir. Düşük karbonlu bir yakıt olabilmesi için amonyakın düşük karbonlu hidrojenle üretilmesi, Haber prosesi ile azotun ayrıştırılması ve elektrik ihtiyacının düşük karbonlu elektrik ile karşılanması gerekmektedir.

Havacılık: Bu ulaşım modu hem yurtiçi hem de uluslararası uçuşları ve bunların havacılık yakıtlarının kullanımını içerir. Yurtiçi havacılık, aynı ülkede kalkan ve inen uçuşları kapsar; askeri amaçlı uçuşlar da dahildir. Uluslararası havacılık, kalkış yerinden başka bir ülkeye inen uçuşları içerir.

Yedek üretim kapasitesi: Ana elektrik şebekesine bağlı hane ve işletmeler, kesinti durumunda elektrik sağlayabilecek yedek elektrik üretim kapasitesine de sahip olabilir. Yedek jeneratörler tipik olarak dizel veya benzinle çalışır ve kapasiteleri birkaç kilovat kadar düşük olabilir. Bu kapasite, ana elektrik şebekesine bağlı olmayan mini-şebeke ve şebeke dışı sistemlerden farklıdır.

Biyodizel: Bitkisel yağların ve hayvansal yağların transesterifikasyonundan (yağlardaki trigliseritleri dönüştüren kimyasal bir işlem) elde edilen dizel eşdeğeri, işlenmiş yakıt.

Biyoenerji: Biyokütle hammaddelerinden ve biyogazdan elde edilen katı, sıvı ve gaz ürünlerdeki enerji içeriği. Katı biyokütle, sıvı biyoyakıtlar ve biyogazları içerir.

Biyogaz: Organik maddenin oksijensiz bir ortamda anaerobik çürütülmesi ile üretilen metan, karbondioksit ve az miktarda diğer gazların karışımı.

Biyogazlar: Biyogaz ve biyometanı içerir.

Biyometan: Biyometan, biyogazın iyileştirilmesi (biyogazda bulunan CO₂ ve diğer kirleticileri ortadan kaldıran bir işlem) veya katı biyokütlenin gazlaştırılması ve ardından metanlaştırılması yoluyla üretilen neredeyse saf bir metan kaynağıdır. Yenilenebilir doğal gaz olarak da bilinir.

Binalar: Binalar sektörü konutlarda, ticari ve kurumsal binalarda ve belirtilmemiş diğer binalarda kullanılan enerjiyi içerir. Bina enerji kullanımı alan ısıtma ve soğutma, su ısıtma, aydınlatma, cihazlar ve pişirme ekipmanlarını içerir.

Bunkerler: Hem uluslararası denizcilik bunkerlerini hem de uluslararası havacılık bunkerlerini içerir.

Kapasite kredisi: Bağlı olduğu şebekede talebin en yüksek olduğu zamanlarda güvenilir bir şekilde elektrik üretmesi beklenebilecek kapasitenin oranı.

Karbon yakalama, kullanma ve depolama (CCUS): Yakıt yanmasından, endüstriyel süreçlerden veya doğrudan atmosferden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının yakalanması sürecidir. Yakalanan CO₂ emisyonları yeraltı jeolojik oluşumlarında, karada veya denizde depolanabilir veya ürün oluşturmak için bir girdi veya hammadde olarak kullanılabilir.

Temiz enerji: Yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, düşük karbonlu yakıtlar, nükleer enerji, batarya depolama ve karbon yakalama, kullanma ve depolamayı içerir.

Temiz pişirme tesisleri: Katı biyokütle (üç taşlı ateş gibi) kullanan geleneksel tesislere göre daha güvenli, daha verimli ve çevresel açıdan daha sürdürülebilir olduğu düşünülen pişirme tesisleri. Bu, öncelikle geliştirilmiş katı biyokütle ocakları, biyogaz sistemleri, sıvılaştırılmış petrol gazı ocakları, etanol ve güneş sobaları anlamına gelmektedir.

Kömür: Hem birincil kömürü (linyit, koklaşabilir ve buhar kömürü dahil) hem de türetilmiş yakıtları (patent yakıtı, kahverengi kömür briketleri, kok fırını kok kömürü, gaz kok kömürü, gaz fabrikası gazı, kok fırını gazı, yüksek fırın gazı ve oksijen çelik fırını gazı dahil) içerir. Turba da dahildir.

Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP): Elektrik üretmek amacıyla yüksek sıcaklıkta ısı üretmek için güneş ışığını toplayan ve yoğunlaştıran güneş termal enerji/elektrik üretim sistemleri.

Konvansiyonel sıvı biyoyakıtlar: Gıda mahsulü hammaddelerinden üretilen yakıtlar. Bu sıvı biyoyakıtlar genellikle birinci nesil olarak adlandırılır ve şeker kamışı etanolü, nişasta bazlı etanol, yağ asidi metil esteri (FAME) ve düz bitkisel yağı (SVO) içerir.

Ayrıştırma analizi: Toplam göstergede bir değişikliğe yol açan önceden tanımlanmış bir dizi faktörün göreceli katkısını ölçmek için bir toplam göstergelyi ayrıştıran istatistiksel yaklaşım. Bu raporda Logaritmik Ortalama Bölünme Endeksi (LMDI) türünde bir eklemeli endeks ayrıştırması kullanılmaktadır.

Talep tarafı entegrasyonu (DSI): İki tür önlemden oluşur: enerji verimliliği ve elektrifikasyon gibi yük şeklini etkileyen eylemler ve talep tarafı tepkisi gibi yükü yöneten eylemler.

Talep tarafı müdahalesi (DSR): Toplam elektrik talebini etkilemeden yük eğrisini zaman içinde kaydırmak veya talebi kısa süreliğine kesmek veya talep yoğunluğunu belirli bir süre için ayarlamak yük atma gibi yük profilini etkileyebilecek eylemleri tanımlar.

Sevk edilebilir üretim: Arzı taleple eşleştirmek için güç çıkışı kolayca kontrol edilebilen - maksimum nominal kapasiteye çıkarılabilen veya sıfıra indirilebilen - teknolojileri ifade eder.

Elektrik talebi: Toplam brüt elektrik üretimi eksi kendi kullanım üretimi, artı net ticaret (ithalat eksi ihracat), eksi iletim ve dağıtım kayıpları olarak tanımlanmıştır.

Elektrik üretimi: Kendi kullanımı için gerekli üretim de dahil olmak üzere, sadece elektrik veya kombine ısı ve güç santralleri tarafından üretilen toplam elektrik miktarı olarak tanımlanır. Bu aynı zamanda brüt üretim olarak da adlandırılır.

Enerji sektörü CO₂ emisyonları: Yakıt yanmasından kaynaklanan karbondioksit emisyonları (yenilenemeyen atıklar hariç). Buna yakıtlardan kaynaklanan kaçak emisyonlar, taşımadan kaynaklanan CO₂, depolama emisyonları veya endüstriyel proses emisyonları dahil değildir.

Enerji sektörü sera gazı emisyonları: Yakıt yanmasından kaynaklanan CO₂ emisyonları artı kaçak ve havalandırılmış metan ve enerji ve sanayi sektörlerinden kaynaklanan azot oksit (N₂O) emisyonları.

Enerji hizmetleri: Yararlı enerjiye bakınız.

Etanol: Yalnızca biyo-etanolü ifade eder. Etanol, karbonhidrat oranı yüksek herhangi bir biyokütleinin fermente edilmesiyle üretilir. Günümüzde etanol nişasta ve şekerlerden yapılmaktadır, ancak ikinci nesil teknolojiler, çoğu bitki maddesinin büyük kısmını oluşturan lifli malzeme olan selüloz ve hemiselülozdan yapılmasına izin verecektir.

Fischer-Tropsch sentezi: Sentetik yakıtların üretimi için katalitik üretim süreci. Doğal gaz, kömür ve biyokütle hammaddeleri kullanılabilir.

Gazlar: Doğal gaz, biyogazlar, sentetik metan ve hidrojeni içerir.

Jeotermal: Jeotermal enerji, dünyanın alt yüzeyinden elde edilen ısıdır. Su ve/veya buhar jeotermal enerjiyi yüzeye taşır. Jeotermal enerji, özelliklerine bağlı olarak ısıtma ve soğutma amacıyla kullanılabilir veya sıcaklık yeterliyse temiz elektrik üretmek için kullanılabilir.

Isı (son kullanım): Fosil veya yenilenebilir yakıtların yanmasından, doğrudan jeotermal veya güneş ısı sistemlerinden, ekzotermik kimyasal işlemlerden ve elektrikten (direnci ısıtma veya ortam havasından ve sıvılardan elde edilebilen ısı pompaları yoluyla) elde edilebilir. Bu kategori, alan ve su ısıtması, binalarda yemek pişirme, tuzdan arındırma ve sanayide proses uygulamaları dahil olmak üzere çok çeşitli son kullanımları ifade eder. Soğutma uygulamalarını içermez.

Isı (tedarik): Yakıtların yanmasından, nükleer reaktörlerden, jeotermal kaynaklardan ve güneş ışığının yakalanmasından elde edilir. Isıtma veya soğutma için kullanılabilir veya taşıma veya elektrik üretimi için mekanik enerjiye dönüştürülebilir. Satılan ticari ısı, elektrik ve ısı sektörleri altında tahsis edilen yakıt girdileri ile toplam nihai tüketim altında raporlanır.

Hidrojen: Hidrojen, enerji sisteminde hidrokarbon yakıtları rafine etmek için ve kendi başına bir enerji taşıyıcısı olarak kullanılır. Ayrıca kimyasal üretiminde kullanılmak üzere diğer enerji ürünlerinden de üretilmektedir. Bir enerji taşıyıcısı olarak hidrokarbon yakıtlardan veya suyun elektrikle elektrolizinden üretilir ve çok çeşitli uygulamalarda elektrik ve ısı için yakılabilir veya yakıt hücrelerinde kullanılabilir. Hidrojenin düşük karbonlu olması için ya fosil bazlı hidrojen üretimiyle ilişkili emisyonların önlenmesi (örneğin karbon yakalama, kullanma ve depolama yoluyla) ya da sudan üretilen hidrojenin elektrik girdisinin düşük karbonlu elektrik olması gerekir. Bu raporda, hidrojenin nihai tüketimi

saf hidrojen talebini içerir ve aynı kuruluş tarafından yerinde üretilen ve tüketilen hidrojeni hariç tutar. Amonyak veya sentetik hidrokarbonlar gibi hidrojen bazlı yakıtlara olan talep ayrı olarak değerlendirilir.

Hidrojen bazı yakıtlar: Amonyak ve sentetik hidrokarbonları (gazlar ve sıvılar) içerir. Hidrojen bazı, şekillerde hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtları ifade etmek için kullanılır.

Hidroelektrik: %100 verimlilik varsayımıyla hidroelektrik santrallerinde üretilen elektriğin enerji içeriği. Pompaj depolamalı ve deniz (gelgit ve dalga) santrallerinden elde edilen çıktıyı hariç tutar.

Endüstri: Sektör, imalat ve inşaat endüstrilerinde kullanılan yakıtı kapsamaktadır. Ana sanayi dalları arasında demir ve çelik, kimyasallar ve petrokimyasallar, çimento ve kağıt hamuru ve kağıt bulunmaktadır. Malların taşınması için kullanılan yakıtların tüketimi ulaştırma sektörünün bir parçası olarak raporlanırken, arazi araçlarının tüketimi sanayi altında raporlanmaktadır.

Uluslararası havacılık yakıtları: Uluslararası havacılık için uçaklara yapılan havacılık yakıtları teslimatlarını içerir. Havayolu şirketlerinin karayolu taşıtları için kullandıkları yakıtlar hariç tutulmuştur. Yurtiçi/uluslararası ayrımı, havayolu şirketinin uçuşuna göre değil, kalkış ve iniş yerlerine göre belirlenir. Birçok ülke için bu yanlış bir şekilde yurt içinde sahip olunan taşıyıcıların uluslararası kalkışları için kullandıkları yakıtları hariç tutmaktadır.

Uluslararası denizcilik yakıtları: Uluslararası seyrüsefer tüm bayraklara ait gemilere teslim edilen yakıtları kapsar. Uluslararası seyrüsefer denizde, iç göllerde ve su yollarında ve kıyı sularında gerçekleşebilir. Yurtiçi seyrüsefer yapan gemiler tarafından yapılan tüketim hariç tutulmuştur. Yurtiçi/uluslararası ayrımı, geminin bayrağı veya uçuşuna göre değil, kalkış limanı ve varış limanı temelinde belirlenir. Balıkçı gemileri ve askeri güçler tarafından yapılan tüketim hariç tutulmuş ve konut, hizmetler ve tarıma dahil edilmmiştir.

Yatırım: Tüm yatırım verileri ve projeksiyonları, bir projenin yaşam döngüsü boyunca yapılan harcamaları yansıtmaktadır, yani harcanan sermaye, gerçekleştiği yıla atanmıştır. Petrol, gaz ve kömür için yapılan yatırımlar üretim, dönüşüm ve nakliyyeyi; enerji sektörü için yapılanlar ise şebeke içi, mini şebeke ve şebeke dışı üretim için tüm yakıtlar ve teknolojiler için yenileme, yükseltme, yeni inşaat ve değişimlerin yanı sıra iletim ve dağıtım ile batarya depolama yatırımlarını içermektedir. Yatırım verileri aksi belirtilmedikçe reel olarak 2019 yılı ABD doları cinsinden sunulmuştur.

Hafif hizmet araçları (LDV): binek otomobilleri ve hafif ticari araçları (brüt araç ağırlığı <3,5 ton) içerir.

Sıvı biyoyakıtlar: Biyokütle veya atık hammaddelerinden elde edilen ve etanol ve biyodizeli içeren sıvı yakıtlar. Biyoenerji hammaddelerine ve bunları üretmek için kullanılan teknolojilere ve ilgili olgunluklarına göre geleneksel ve gelişmiş sıvı biyoyakıtlar olarak sınıflandırılabilirler. Aksi belirtilmedikçe, sıvı biyoyakıtlar enerji eşdeğeri benzin ve dizel hacimleriyle ifade edilir.

Sıvılar: Petrol, sıvı biyoyakıtlar (enerji eşdeğeri benzin ve dizel hacimleri olarak ifade edilir), sentetik petrol ve amonyağı içerir.

Düşük karbonlu elektrik: Yenilenebilir enerji teknolojileri, hidrojen bazlı üretim, nükleer enerji ve karbon yakalama, kullanma ve depolama ile donatılmış fosil yakıtlı enerji santrallerini içerir.

Düşük emisyonlu yakıtlar: Sıvı biyoyakıtlar, biyogaz ve biyometan, hidrojen ve fosil yakıtlardan doğrudan kullanıldığında hiç CO₂ salmayan ve üretilirken de çok az salan hidrojen bazlı yakıtları içerir.

Denizcilik: Gelgit hareketi, dalga hareketi veya okyanus akıntısından elde edilen ve elektrik üretimi için kullanılan mekanik enerjiyi temsil eder.

Ticari hidrojen: Bir şirket tarafından diğerlerine satılmak üzere üretilen hidrojen; toplam nihai tüketimde rapor edilen hidrojene eşdeğerdir.

Mini-şebekeler: Birkaç haneyi veya diğer tüketicileri birbirine bağlayan küçük şebeke sistemleri.

Modern biyoenerji: Sürdürülebilir kaynaklardan elde edilen modern katı biyokütle, sıvı biyoyakıtlar ve biyogazları içerir. Geleneksel biyokütle kullanımını hariç tutar.

Modern enerji erişimi: Hanelerin asgari düzeyde elektrige erişimini; hanelerin daha güvenli ve sürdürülebilir pişirme ve ısıtma yakıtlarına ve sobalara ; üretken ekonomik faaliyetlere olanak sağlayan erişimi ve kamu hizmetlerine erişimi içerir.

Modern yenilenebilir enerji kaynakları: Geleneksel katı biyokütle kullanımı hariç tüm yenilenebilir enerji kullanımlarını içerir.

Modern katı biyokütle: Katı biyokütlenin geliştirilmiş ocaklarda ve pelet gibi işlenmiş biyokütle kullanan modern teknolojilerde kullanımını ifade eder.

Doğal gaz: İster sıvılaştırılmış ister gaz halinde olsun, yataklarda oluşan ve esas olarak metandan oluşan gazları içerir. Hem sadece gaz halinde hidrokarbon üreten sahalardan kaynaklanan "ilişkili olmayan" gazı hem de ham petrole birlikte üretilen "ilişkili" gazı ve kömür madenlerinden geri kazanılan metanı (kömür ocağı gazı) içerir. Doğal gaz sıvıları (NGL'ler), üretilmiş gaz (belediye veya endüstriyel atıklardan veya kanalizasyondan üretilen) ve havalandırılan veya alevlenen miktarlar dahil edilmemiştir. Metreküp cinsinden gaz verileri brüt kalorifik değer bazında ifade edilir ve 15 °C'de ve 760 mm Hg'de ("Standart Koşullar") ölçülür. Ton petrol eşdeğeri olarak ifade edilen gaz verileri, esas olarak diğer yakıtlarla karşılaştırma amacıyla, net kalorifik değer bazındadır. Net ve brüt kalorifik değer arasındaki fark, yakıtın yanması sırasında oluşan su buharının gizli buharlaşma ısısidir (gaz için net kalorifik değer brüt kalorifik değerden %10 daha düşüktür).

Doğal gaz sıvıları (NGL'ler): Doğal gazın üretiminde, saflaştırılmasında ve stabilizasyonunda üretilen sıvı veya sıvılaştırılmış hidrokarbonlardır. Bunlar doğal gazın ayırıcılarda, saha tesislerinde veya gaz işleme tesislerinde sıvı olarak geri kazanılan kısımlarıdır. NGL'ler etan (doğal gaz akışından çıkarıldığında), propan, bütan, pentan, doğal benzin ve kondensatları içerir ancak bunlarla sınırlı değildir.

Şebeke gazları: Bir gaz şebekesinde harmanlanan doğal gaz, biyometan, sentetik metan ve hidrojeni içerir.

Enerji dışı kullanım: Kimyasal hammaddeler ve enerji dışı ürünler için kullanılan yakıtlar. Enerji dışı ürünlere örnek olarak yağlayıcılar, parafin mumları, asfalt, bitüm, kömür katranları ve kereste koruyucu olarak kullanılan yağlar verilebilir.

Nükleer: Ortalama dönüşüm verimliliğinin %33 olduğu varsayıldığında, bir nükleer santral tarafından üretilen elektriğin birincil enerji eşdeğerini ifade eder.

Şebekeden bağımsız sistemler: Bireysel haneler veya tüketici grupları için bağımsız sistemler.

Açık deniz rüzgarı: Açık denizde, genellikle okyanusta kurulan rüzgar türbinleri tarafından üretilen elektriği ifade eder.

Petrol: Petrol üretimi hem konvansiyonel hem de konvansiyonel olmayan petrolü içermektedir. Petrol ürünleri arasında rafineri gazı, etan, sıvı petrol gazı, uçak benzini, motor benzini, jet yakıtları, gazyağı, gaz/dizel yağı, ağır fuel oil, nafta, white spirit, madeni yağlar, bitüm, parafin, mumlar ve petrol koku bulunmaktadır.

Diğer enerji sektörü: Dönüşüm endüstrileri tarafından enerji kullanımını ve birincil enerjinin nihai tüketici sektörlerde kullanılabilir bir forma dönüştürülmesindeki enerji kayıplarını kapsar. Gaz işleri, petrol rafinerileri, kömür ve gaz dönüşümü ve sıvılaştırılması, biyoyakıt üretimi ve hidrojen ve hidrojen bazlı yakıtların üretiminden kaynaklanan kayıpları içerir. Ayrıca kömür madenlerinde, petrol ve gaz çıkarımında, doğrudan hava yakalamada, biyoyakıt üretiminde ve elektrik ve ısı üretiminde enerjinin kendi kullanımını da içerir. Transferler ve istatistiksel farklılıklar da bu kategoriye dahildir.

Enerji üretimi: Elektrik santralleri, ısı santralleri ve birleşik ısı ve güç (CHP) tesislerindeki yakıt kullanımını ifade eder. Hem ana faaliyet üreticisi tesisler hem de kendi kullanımları için yakıt üreten küçük tesisler (otoproduktörler) dahildir.

Üretken kullanımlar: Ekonomik bir amaca yönelik olarak kullanılan enerji: tarım, sanayi, hizmetler ve enerji dışı kullanım. Taşımacılık sektöründen gelen bazı enerji talepleri, örneğin navlun, üretken olarak da değerlendirilebilir, ancak ayrı olarak ele alınır.

Yenilenebilir kaynaklar: Elektrik ve ısı üretimi için biyoenerji, jeotermal, hidroelektrik, güneş fotovoltaikleri (PV), yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (CSP), rüzgar ve deniz (gelgit ve dalga) enerjisini içerir.

Konut: Alan ısıtma ve soğutma, su , aydınlatma, aletler, elektronik cihazlar ve pişirme ekipmanları dahil olmak üzere haneler tarafından kullanılan enerji.

Hizmetler: Oteller, ofisler, catering, mağazalar gibi ticari tesislerde ve okullar, hastaneler, ofisler gibi kurumsal binalarda kullanılan enerji. Hizmetlerde enerji kullanımı alan ısıtma ve soğutma, su ısıtma, aydınlatma, ekipman, cihazlar ve pişirme ekipmanlarını içerir.

Şeyl gazı: Şeyl olarak sınıflandırılan yaygın bir kayaç içinde bulunan doğal gaz. Şeyl oluşumları düşük geçirgenlik ile karakterize edilir ve geleneksel bir rezervuara kıyasla gazın kayadan akma kabiliyeti daha sınırlıdır. Şeyl gazı genellikle hidrolik çatlatma kullanılarak üretilir.

Nakliye/navigasyon: Bu taşımacılık alt sektörü hem yurtiçi hem de uluslararası deniz taşımacılığını ve bunların deniz yakıtlarının kullanımını kapsamaktadır. Yurtiçi seyrüsefer, iç su yollarında ve ulusal deniz seferlerinde (herhangi bir ara yabancı liman olmadan aynı ülkede başlar ve biter) malların veya kişilerin kapsar. Uluslararası seyrüsefer, mal veya yolcu taşıyan uluslararası seferler sırasında tüketilmek üzere herhangi bir uryuktan ticari gemilere (yolcu gemileri dahil) teslim edilen yakıt miktarlarını içerir.

Güneş fotovoltaik (PV): Güneş fotovoltaik hücrelerinden üretilen elektrik.

Katı biyokütle: Odun kömürü, yakacak odun, tezek, tarımsal kalıntılar, odun atıkları ve diğer katı atıkları içerir.

Buhar kömürü: Esas olarak enerji santrallerinde ve daha az ölçüde sanayide ısı üretimi veya buhar yükseltme için kullanılan kömür türü. Tipik olarak buhar kömürü çelik üretimi için yeterli kalitede değildir. Bu kalitedeki kömür yaygın olarak termal kömür olarak da bilinir.

Sentetik metan: Düşük karbonlu sentetik metan, biyogenik veya atmosferik bir kaynaktan düşük karbonlu hidrojen ve karbondioksitin yoluyla üretilir.

Sentetik petrol: Fischer Tropsch dönüşümü veya hidrojen (H₂) ve karbon monoksit (CO) karışımı olan sentez gazından metanol sentezi yoluyla üretilen düşük karbonlu sentetik petrol.

Toplam enerji arzı (TES): Sadece yurtiçi talebi temsil eder ve elektrik ve ısı üretimi, diğer enerji sektörü ve toplam nihai tüketim olarak ayrılır.

Toplam nihai tüketim (TFC): Çeşitli son kullanım sektörleri tarafından gerçekleştirilen tüketimin toplamıdır. TFC şu sektörlerdeki enerji talebine ayrılır: sanayi (imalat ve madencilik dahil), ulaştırma, binalar (konut ve hizmetler dahil) ve diğer (tarım ve enerji dışı kullanım dahil). Ulaştırma sektörüne dahil edildiği dünya düzeyi dışında, uluslararası denizcilik ve havacılık yakıtları hariç tutulmuştur.

Toplam nihai enerji tüketimi (TFEC): Öncelikle BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin 7.2 numaralı hedefine yönelik ilerlemeyi izlemek için tanımlanmış bir göstegendir. Son kullanım sektörlerine göre toplam nihai tüketimi (TFC) içerir ancak enerji dışı kullanımı hariç tutar. Dünya düzeyi hariç olmak üzere uluslararası denizcilik ve havacılık yakıtlarını hariç tutar. Tipik olarak bu, TFEC'nin payda olduğu toplam nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerji payının hesaplanması bağlamında kullanılır (Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Gösterge 7.2.1).

Toplam birincil enerji talebi (TPED): Bkz. toplam enerji arzı

Geleneksel katı biyokütle kullanımı: Katı biyokütlelerin üç taşlı ateş gibi temel teknolojilerle, genellikle bacasız veya kötü çalışan bacalarla kullanılmasını ifade eder.

Taşımacılık: Faaliyetin gerçekleştiği ekonomik sektöre bakılmaksızın ulusal topraklar içinde malların veya insanların taşınmasında kullanılan yakıtlar ve elektrik. Bu, kamu yollarını kullanan araçlara veya demiryolu araçlarında kullanılmak üzere teslim edilen yakıt ve elektriği; yurtiçi seyrüsefer için gemilere teslim edilen yakıtı; yurtiçi havacılık için uçaklara teslim edilen yakıtı ve yakıtların boru hatları yoluyla tesliminde tüketilen enerjiyi içerir. Uluslararası denizcilik ve havacılık yakıt ikmal tesislerine teslim edilen yakıt sadece dünya düzeyinde sunulmakta ve yerel düzeyde ulaştırma sektörünün dışında tutulmaktadır.

Kamyonlar: Orta kamyonları (brüt araç ağırlığı 3,5-15 ton) ve ağır kamyonları (>15 ton) içerir.

Faydalı enerji: Son kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamak için kullanabilecekleri enerjiyi ifade eder. Bu aynı zamanda enerji hizmetleri talebi olarak da adlandırılır. Kullanım noktasındaki dönüşüm kayıplarının bir sonucu olarak, faydalı enerji miktarı çoğu teknoloji için karşılık gelen nihai enerji talebinden daha düşüktür. Elektrik kullanan ekipmanlar genellikle diğer yakıtları kullanan ekipmanlardan daha yüksek dönüşüm verimliliğine sahiptir, bu da tüketilen bir birim enerji için elektriğin daha fazla enerji hizmeti sağlayabileceği anlamına gelir.

Rüzgar: rüzgar türbinleri tarafından rüzgarın kinetik enerjisinden üretilen elektrik.

Odunsu enerji bitkileri: Biyoenjeri üretimi için baltalık söğüt ve miscanthus gibi odunsu biyokütlenin kısa rotasyonlu ekimleri.

Değişken yenilenebilir enerji (VRE): Herhangi bir zamanda maksimum çıktısı değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcudiyetine bağlı olan teknolojileri ifade eder. VRE, rüzgar enerjisi, güneş PV, nehir tipi hidroelektrik, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi (termal depolamanın dahil olmadığı) ve deniz (gelgit ve dalga) gibi geniş bir teknoloji yelpazesini içerir.

Sıfır-karbona hazır binalar: Sıfır karbona hazır bir bina yüksek enerji verimliliğine sahiptir ve ya doğrudan yenilenebilir enerji ya da elektrik veya bölgesel ısı gibi tamamen karbonsuzlaştırılabilen bir enerji kaynağı kullanır.

Sıfır emisyonlu araçlar (ZEV'ler): Egzoz borusu CO₂ emisyonu olmadan çalışabilen araçlar (bataryalı elektrikli araçlar ve yakıt hücreli araçlar).

Bölgesel ve ülke gruplandırmaları

Gelişmiş ekonomiler: OECD bölgesel gruplaması ve Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs^{1,2}, Malta ve Romanya.

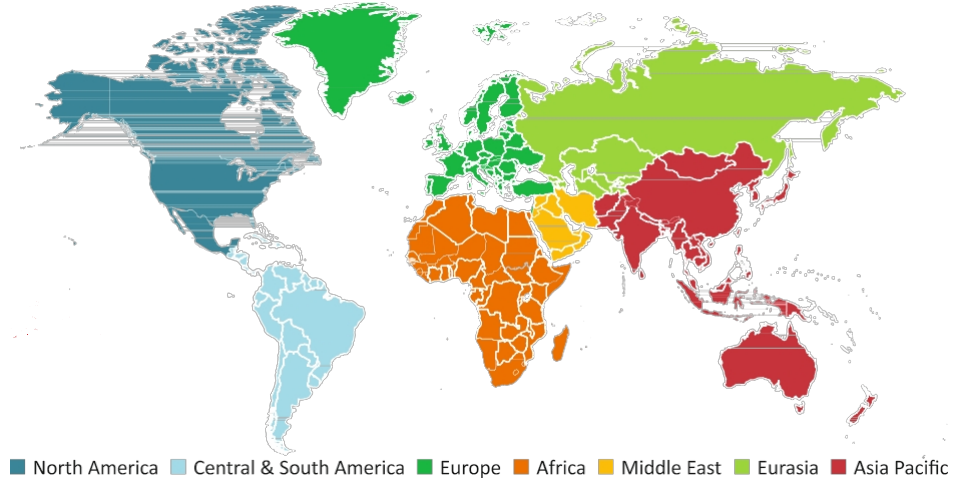
Afrika: Kuzey Afrika ve Sahraaltı Afrika bölgesel grupları.

Asya Pasifik: Güneydoğu Asya bölgesel gruplaması ve Avustralya, Bangladeş, Çin, Hindistan, Japonya, Kore, Kore Demokratik Halk Cumhuriyeti, Moğolistan, Nepal, Yeni Zelanda, Pakistan, Sri Lanka, Çin Taipei ve diğer Asya Pasifik ülkeleri ve bölgeleri³

Hazar: Ermenistan, Azerbaycan, Gürcistan, Kazakistan, Kırgızistan, Tacikistan, Türkmenistan ve Özbekistan.

Orta ve Güney Amerika: Arjantin, Bolivya Çokuluslu Devleti (Bolivya), Brezilya, Şili, Kolombiya, Kosta Rika, Küba, Curaçao, Dominik Cumhuriyeti, Ekvador, El Salvador, Guatemala, Haiti, Honduras, Jamaika, Nikaragua, Panama, Paraguay, Peru, Surinam, Trinidad ve Tobago, Uruguay, Bolivarcı Venezuela Cumhuriyeti (Venezuela) ve diğer Orta ve Güney Amerika ülkeleri ve bölgeleri⁴

Çin: Çin (Halk Cumhuriyeti) ve Hong Kong, Çin'i kapsar.



Not: Bu harita, herhangi bir bölgenin statüsüne veya egemenliğine, uluslararası sınırların ve hudutların belirlenmesine ve herhangi bir bölgenin, şehrin veya alanın adına halel getirmez.

Gelişmekte olan Asya: Avustralya, Japonya, Kore ve Yeni Zelanda hariç Asya Pasifik bölgesel gruplaması.

Yükselen piyasa ve gelişmekte olan ekonomiler: Gelişmiş ekonomiler bölgesel gruplamasına dahil olmayan diğer tüm ülkeler.

Avrasya: Hazar bölgesel gruplaması ve Rusya Federasyonu (Rusya).

Avrupa: Avrupa Birliği bölgesel gruplandırması ve Arnavutluk, Belarus, Bosna Hersek, Kuzey Makedonya, Cebelitarık, İzlanda, İsrail⁽⁵⁾, Kosova, Karadağ, Norveç, Sırbistan, İsviçre, Moldova Cumhuriyeti, Türkiye, Ukrayna ve Birleşik Krallık.

Avrupa Birliği: Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Hırvatistan, Kıbrıs^{1,2}, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Malta, Hollanda, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovak Cumhuriyeti, Slovenya, İspanya ve İsveç.

IEA (Uluslararası Enerji Ajansı): Şili, Kolombiya, İzlanda, İsrail, Letonya, Litvanya ve Slovenya hariç OECD bölgesel gruplaması.

Latin Amerika: Orta ve Güney Amerika bölgesel gruplandırması ve Meksika.

Orta Doğu: Bahreyn, İran İslam Cumhuriyeti (İran), Irak, Ürdün, Kuveyt, Lübnan, Umman, Katar, Suudi Arabistan, Suriye Arap Cumhuriyeti (Suriye), Birleşik Arap Emirlikleri ve Yemen.

OECD dışı: OECD bölgesel gruplandırmasına dahil olmayan diğer tüm ülkeler.

OPEC dışı: OPEC bölgesel gruplandırmasına dahil olmayan diğer tüm ülkeler.

Kuzey Afrika: Cezayir, Mısır, Libya, Fas ve Tunus.

Kuzey Amerika: Kanada, Meksika ve Amerika Birleşik Devletleri.

OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı): Avustralya, Avusturya, Belçika, Kanada, Şili, Kolombiya, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İzlanda, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya, Kore, Letonya, Litvanya, Lüksemburg, Meksika, Hollanda, Yeni Zelanda, Norveç, Polonya, Portekiz, Slovak Cumhuriyeti, Slovenya, İspanya, İsveç, İsviçre, Türkiye, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri.

OPEC (Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü): Cezayir, Angola, Kongo Cumhuriyeti (Kongo), Ekvator Ginesi, Gabon, İran İslam Cumhuriyeti (İran), Irak, Kuveyt, Libya, Nijerya, Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri ve Bolivarlı Venezuela Cumhuriyeti (Venezuela).

Güneydoğu Asya: Brunei Darussalam, Kamboçya, Endonezya, Lao Demokratik Halk Cumhuriyeti (Lao PDR), Malezya, Myanmar, Filipinler, Singapur, Tayland ve Viet Nam. Bu ülkelerin hepsi Güneydoğu Asya Uluslar Birliği (ASEAN) üyesidir.

Sahra Altı Afrika: Angola, Benin, Botsvana, Kamerun, Kongo Cumhuriyeti (Kongo), Fildişi Sahili, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Eritre, Etiyopya, Gabon, Gana, Kenya, Mauritius, Mozambik, Namibya, Nijer, Nijerya, Senegal, Güney Afrika, Güney Sudan, Sudan, Tanzanya Birleşik Cumhuriyeti (Tanzanya), Togo, Zambiya, Zimbabve ve diğer Afrika ülkeleri ve bölgeleri.⁶

Ülke notları

¹ Türkiye'nin notu: Bu belgede "Kıbrıs" ile ilgili olarak yer bilgiler adanın güney kesimine ilişkindir. Adada hem Kıbrıslı Türkleri hem de Kıbrıslı Rumları temsil eden tek bir otorite bulunmamaktadır. Türkiye, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ni (KKTC) tanımaktadır. Birleşmiş Milletler çerçevesinde kalıcı ve adil bir çözüm bulununcaya kadar Türkiye "Kıbrıs meselesi"ne ilişkin tutumunu muhafaza edecektir.

² OECD ve Avrupa Birliği'nin tüm Avrupa Birliği Üye Devletleri tarafından not edilmiştir: Kıbrıs Cumhuriyeti, Türkiye hariç Birleşmiş Milletler'in tüm üyeleri tarafından tanınmaktadır. Bu belgedeki bilgiler Kıbrıs Cumhuriyeti Hükümeti'nin etkin kontrolü altındaki alanla ilgilidir.

³ Bireysel veriler mevcut değildir ve aşağıdaki ülkeler için toplu olarak tahmin edilmiştir: Afganistan, Butan, Cook Adaları, Fiji, Fransız Polinezyası, Kiribati, Makao (Çin), Maldivler, Yeni Kaledonya, Palau, Papua Yeni Gine, Samoa, Solomon Adaları, Doğu Timor ve Tonga ve Vanuatu.

⁴ Bireysel veriler mevcut değildir ve toplu olarak tahmin edilmektedir: Anguilla, Antigua ve Barbuda, Aruba, Bahamalar, Barbados, Belize, Bermuda, Bonaire, İngiliz Virgin Adaları, Cayman Adaları, Dominika, Falkland Adaları (Malvinas), Fransız Guyanası, Grenada, Guadeloupe, Guyana, Martinik, Montserrat, Saba, Saint Eustatius, Saint Kitts ve Nevis, Saint Lucia, Saint Pierre ve Miquelon, Saint Vincent ve Grenadinler, Saint Maarten, Turks ve Caicos Adaları.

⁵ İsrail'e ilişkin istatistik veriler ilgili İsrail makamları tarafından ve onların sorumluluğu altında sağlanmaktadır. Bu verilerin OECD ve/veya IEA tarafından kullanılması, Golan Tepeleri, Doğu Kudüs ve Batı Şeria'daki İsrail yerleşimlerinin uluslararası hukuk açısından statüsüne halel getirmez.

⁶ Bireysel veriler mevcut değildir ve toplu olarak tahmin edilmektedir: Burkina Faso, Burundi, Cabo Verde, Orta Afrika Cumhuriyeti, Çad, Komorlar, Cibuti, Eswatini Krallığı, Gambiya, Gine, Gine-Bissau, Lesotho, Liberya, Madagaskar, Malavi, Mali, Moritanya, Réunion, Ruanda, Sao Tome ve Principe, Seyşeller, Sierra Leone, Somali ve Uganda.

Kısaltmalar ve Akronimler

AFOLU	tarım ormancılık ve diğer arazi kullanımı
APC	İlan Edilen Bağışlar Davası
ASEAN	Güneydoğu Asya Ülkeleri Birliği
BECCS	CCUS ile donatılmış biyoenerji
BEV	bataryalı elektrikli araçlar
CCUS	karbon yakalama, kullanma ve depolama
CDR	karbondioksit giderimi
CFL	kompakt floresan lamba
CH ₄	metan
CHP	birleşik ısı ve güç; kojenerasyon terimi bazen kullanılır
CNG	sıkıştırılmış doğal gaz
CO	karbon monoksit
CO ₂	karbondioksit
CO ₂ -eq	karbondioksit eşdeğeri
COP	Taraflar Konferansı (UNFCCC)
CSP	yoğunlaştırılmış güneş enerjisi
DAC	doğrudan hava yakalama
DACCs	karbon yakalama ve depolama ile doğrudan hava yakalama
DER	dağıtılmış enerji kaynakları
DSİ	talep tarafı entegrasyonu
DSO	dağıtım sistemi operatörü
DSR	talep tarafı müdahalesi
EAF	elektrik ark ocakları
EHOB	ekstra-ağır petrol ve bitüm
ETP	Enerji Teknolojisi Perspektifleri
AB	Avrupa Birliği
EV	elektrikli araç
FCEV	yakıt hücresel elektrikli araç
GSYİH	gayri safi yurtiçi hasıla
SERA GAZI	sera gazları
GTL	gazdan sıvıya
HEFA	hidrojene esterler ve yağ asitleri
BUZ	içten yanmalı motor
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IIASA	Uluslararası Uygulamalı Sistem Analizi Enstitüsü
IMF	Uluslararası Para Fonu
IOC	uluslararası petrol şirketi
IPCC	Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
LCC	Düşük CCUS Kasalı
LDV'l	hafif hizmet araçları
er	
LCV	hafif ticari araç
LED	ışık yayan diyot

LNG	sıvılaştırılmış doğal gaz
LPG	sıvılaştırılmış petrol gazı
MEPS	minimum enerji performans standartları Ulusal Olarak
NDCs	Belirlenmiş Katkılar
NEA	Nükleer Enerji Ajansı (OECD bünyesinde bir ajans) doğal gaz sıvıları
NGLs	doğal gazlı araç ulusal
NGV	petrol şirketi azot oksitler
NOC	azot oksit
NO_x	Net Sıfır Emisyon Senaryosu
N₂O	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatı Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü
NZE	plug-in hibrit elektrikli araçlar binek
OECD	hafif hizmet araçları partikül madde
OPEC	ince partikül madde satın alma
PHEV	gücü paritesi fotovoltaik
PLDV	araştırma ve geliştirme
PM	araştırma, geliştirme ve gösterim sürdürülebilir havacılık
PM_{2.5}	yakiti
PPP PV	Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (Birleşmiş Milletler) sülfür
AR-GE	dioksit
RD&D	Sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C üzerinde küresel ısınmanın etkilerine ilişkin IPCC
SAF	Özel Raporu
SDG	Belirtilen Politikalar Senaryo iletim ve
SO₂	dağıtım toplam enerji arzı
SR1.5	toplam nihai tüketim
	toplam nihai enerji tüketimi toplam
ADIMLAR	birincil enerji talebi birim enerji
T&D	tüketimi Birleşmiş Milletler
TES	Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı Birleşmiş Milletler
TFC	Çevre Programı
TFEC	Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Birleşik Krallık
TPED	Birleşik Devletler
UEC	değişken yenilenebilir enerji
UN	<i>Dünya Enerji Görünümü Dünya</i>
UNDP	Sağlık Örgütü Sıfır emisyonlu
UNEP	araç
UNFCCC	
BİRLEŞİK	
KRALLIK	
US	
VRE	
WEO	
WHO	
ZEV	

Bölüm 1: Açıklanan net sıfır taahhütleri ve enerji sektörü

climatewatchdata (2021), <https://www.climatewatchdata.org/ndc-overview>.

Avrupa Komisyonu (2018), 2018 - Sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik uzun vadeli bir AB stratejisi için vizyon, https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en.

IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) (2021), *Global Energy Review 2021*, <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>.

– (2020a), *Sürdürülebilir İyileşme*, <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery/a-sustainable-recovery-plan-for-the-energy-sector>.

– (2020b), *Dünya Enerji Görünümü 2020*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.

– (2020c), *Energy Technology Perspectives 2020*, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>.

– (2020c), *Dünya Enerji Dengeleri 2020 baskısı: veritabanı dokümantasyonu*, http://wds.iea.org/wds/pdf/WORLDBAL_Documentation.pdf.

– (2020e), *Temiz Enerji İnovasyonu Özel Raporu*, <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>.

IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) (2018), *1,5°C Küresel Isınma. Sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C üzerinde küresel ısınmanın etkilerine ilişkin IPCC Özel Raporu*, IPCC, <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

WRI ve WBCSD (Dünya Kaynakları Enstitüsü ve Sürdürülebilir Kalkınma için Dünya İş Konseyi) (2004), *The Greenhouse Gas Protocol: Bir Kurumsal Muhasebe ve Raporlama Standardı*, WRI ve WBCSD, Washington, DC, <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>.

Bölüm 2: 2050 yılında net sıfır CO₂ emisyonuna giden küresel bir yol

Amann, M. ve diğerleri (2011), "Avrupa'da hava kalitesi ve sera gazlarının maliyet etkin kontrolü: Modelleme ve politika uygulamaları", *Çevresel Modelleme*, Cilt 26, s. 1489-1501.

Anderson ve diğerleri (2013), *GIMF'i tanımak: Küresel Entegre Parasal ve Mali Modelin Simülasyon Özellikleri*, Uluslararası Para Fonu, Washington, DC, <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2013/wp1355.pdf>.

Assemblée Nationale (2021), (İç hat uçuşlarının trenle değiştirilmesini amaçlayan kanun teklifi), *PROPOSITION DE LOI visant à remplacer les vols intérieurs par le train*, https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/textes/l15b2005_proposition-loi.

Aydin, E., D. Brounen ve N. Kok (2018), "Information provision and energy consumption: Evidence from a field experiment", *Energy Economics*, Vol. 71, pp. 403-411., <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.008>.

Byars, M., Y. Wei ve S. Handy (2017), *Araçla Seyahat Millerinin Azaltılması için Eyalet Düzeyinde Stratejiler*, <https://bit.ly/2LvA6nn>.

Birleşik Krallık İklim Meclisi (2020), *Net sıfıra giden yol*, <https://www.climateassembly.uk/report/read/final-report.pdf>.

Convention Citoyenne pour le Climat (2021), (Yurttaşlar İklim Sözleşmesi Önerileri), *Les Propositions de la Convention Citoyenne pour le Climat*, <https://propositions.conventioncitoyennepourleclimat.fr/>.

DEFRA (Birleşik Krallık Çevre, Gıda ve Köy İşleri Bakanlığı) (2012), London congestion charge detailed assessment, https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat09/0505171128_London_Congestion_Charge_Detailed_Assessment.doc.

Avrupa Komisyonu (2021), *Avrupa'da Kentsel Erişim Yönetmelikleri*, <https://urbanaccessregulations.eu/countries-mainmenu-147>.

Frank, S. (2021), "Land-based climate change mitigation potentials within the agenda for sustainable development", *Environmental Research Letters*, Vol. 16/2, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc58a>.

IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) (2021), *Temiz Enerji Geçişlerinde Kritik Minerallerin Rolü*, IEA, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.

– (2020a), *Dünya Enerji Dengeleri 2020 baskısı: veritabanı dokümantasyonu*, http://wds.iea.org/wds/pdf/WORLDBAL_Documentation.pdf.

– (2020b), *Biyogaz ve Biyometan için Görünüm: Organik büyüme beklentileri*, <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-büyüme>.

– (2020c), *World Energy Investment, 2020*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>.

– (2020d), *Enerji Teknolojisi Perspektifleri 2020: Temiz Enerji İnovasyonu Özel Raporu*, <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>.

– (2019), *Demiryolunun Geleceği*, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>.

IMF (Uluslararası Para Fonu) (2020a), *Haziran 2020: Benzeri Olmayan Bir Kriz, Belirsiz Bir İyileşme*, <https://www.imf.org/-/media/Files/Publications/WEO/2020/Update/June/English/WEOENG202006.ashx>

– (2020b), *Dünya Ekonomik Görünüm Veritabanı*, Nisan 2020 Baskısı, Washington DC.

IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) (2019), İklim Değişikliği ve Arazi: Karasal Ekosistemlerde İklim Değişikliği, Çölleşme, Arazi Bozulması, Sürdürülebilir Arazi Yönetimi, Gıda Güvenliği ve Sera Gazı Akıları Üzerine IPCC Özel Raporu, <https://www.ipcc.ch/srccl/>.

– (2018), 1.5°C Küresel Isınma. İklim değişikliği tehdidine karşı küresel tepkinin güçlendirilmesi, sürdürülebilir kalkınma ve yoksulluğun ortadan kaldırılması çabaları bağlamında, sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C üzerinde küresel ısınmanın etkileri ve ilgili küresel sera gazı emisyon yolları hakkında IPCC Özel Raporu, <https://www.ipcc.ch/sr15/>.

– (2014), İklim Değişikliği 2014: Sentez Raporu, Çalışma Grupları I, II ve III'ün Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Beşinci Değerlendirme Raporuna Katkısı, <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.

Jochem ve diğerleri (2020), "Does free-floating carharing reduce private vehicle ownership? The case of SHARE NOW in European cities", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol. 141, pp. 373-295, <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.09.016>.

Laxton, D. ve diğerleri (2010), *The Global Integrated Monetary and Fiscal Model (GIMF) - Theoretical Structure*, International Monetary Fund, Washington, DC, https://www.imf.org/~media/Websites/IMF/imported-full-text-pdf/external/pubs/ft/wp/2010/_wp1034.ashx.

Martin, Shaheen ve Lidiker (2010), "Carsharings impact on household vehicle holdings: Results for a North American shared-use vehicle survey", Ulaşım Araştırma Kurulu 89. Yıllık Toplantısında sunulmuştur, Washington DC, <https://doi.org/10.3141/2143-19>.

Newgate Research ve Cambridge Zero (2021), *Net Sıfır Kamu Diyalogu*, https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/969401/net-zero-public-dialogue.pdf.

Oxford Economics (2020), *Oxford Economics Global Economic Model*, (veritabanı), <https://www.oxfordeconomics.com/global-economic-model>, Ağustos 2020 güncellemesi, Oxford.

TFL (Transport for London) (2021), *Congestion charge factsheet*, <https://content.tfl.gov.uk/congestion-charge-factsheet.pdf.pdf>.

Tools of Change (2014), *Stockholm's Congestion Pricing*, <https://www.toolsofchange.com/userfiles/Stockholm%20Congestion%20Pricing%20-%20FINAL%202014.pdf>.

UNDESA (Birleşmiş Milletler Ekonomik ve Sosyal İşler Dairesi) (2019), *2019 Revision of World Population Prospects*, <https://population.un.org/wpp/>.

Wu, W. H. (2019), "Global advanced bioenergy potential under environmental protection policies and societal transformation measures", *GCB Bioenergy*, Vol. 11, pp. 1041-1055, <https://doi.org/10.1111/gcbb.12614>.

Bölüm 3: 2050 yılına kadar net sıfır emisiyona giden sektörel yollar

IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) (2021a), *Temiz Enerji Geçişlerinde Kritik Minerallerin Rolü*, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-gecिसler>.

– (2021b), *Global EV Outlook 2020*, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>.

– (2020a), *Enerji Geçişlerinde Petrol ve Gaz Endüstrisi*, <https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions>.

– (2020b), *Energy Technology Perspectives 2020*, IEA, <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>.

– (2019), *Temiz Enerji Sisteminde Nükleer Enerji*, <https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>.

UNCTAD (Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı) (2018), *Review of Maritime Transport 2018*, UNCTAD, https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2018_en.pdf.

Bölüm 4: Net sıfır emisiyona ulaşmanın daha geniş etkileri

Karbon Mühendisliği (2021), <https://carbonengineering.com/our-story/>.

Diaz Anadon, L. (2012), "2000 ve 2010 yılları arasında enerji alanında misyon odaklı Ar-Ge kurumları: Çin, Birleşik Krallık ve Amerika Birleşik Devletleri'nin karşılaştırmalı bir analizi", *Research Policy*, Vol. 41, pp. 1742-1756, <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.015>.

Avrupa Çimento Araştırma Akademisi (2012), *ECRA CCS Projesi: Aşama III Raporu*, https://ecraonline.org/fileadmin/redaktion/files/pdf/ECRA_Technical_Report_CCS_Phase_III.pdf.

Feyisa, Dons & Meilby (2014), "Efficiency of parks in mitigating urban heat island effect: an example from Addis Ababa", *Landscape and Urban Planning*, Vol. 123, pp. 87-95, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.12.008>.

GLPGP (Küresel LPG Ortaklığı) (2020), *BiyoLPG Üretim ve Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi içinde ve Yemek pişirme Enerji Sektöründe Afrika*, <https://mecs.org.uk/wp-content/uploads/2020/09/GLPGP-Potential-for-BioLPG-Production-and-Use-as-Clean-Cooking-Energy-in-Africa-2020.pdf>.

Greco, A. ve diğerleri (2019), "2019'dan önce oda sıcaklığında katı hal kalorik soğutma işlemlerinin son durumuna ilişkin bir inceleme", *International Journal of Refrigeration*, s. 66-88, <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.06.034>.

Gross, R. (2018), "Enerji sektöründe inovasyon ve ticarileşme ne kadar sürer? Enerji arzı ve son kullanım teknolojilerinde icattan yaygın ticarileşmeye kadar geçen süreye ilişkin tarihsel vaka çalışmaları", *Energy Policy*, Vol. 123, pp. 682-299, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.061>.

IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) (2021a), *Temiz Enerji Geçişlerinde Kritik Minerallerin Rolü*, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-gecisesler>.

– (2021b), *Climate Resilience*, <https://www.iea.org/reports/climate-resilience>.

– (2021c), *Enhancing Cyber Resilience in Electricity Systems*, <https://www.iea.org/reports/enhancing-cyber-resilience-in-electricity-systems>.

– (2021d), *2050'ye doğru Fransa'da yüksek yenilenebilir enerji payına sahip bir güç sisteminin teknik fizibilitesi için koşullar ve gereklilikler*, <https://www.iea.org/reports/conditions-and-requirements-for-the-technical-feasibility-of-a-power-system-with-a-high-share-of-renewables-in-france-towards-2050>.

– (2020a), *World Energy Investment, 2020*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-investment-2020>.

– (2020b), *Sürdürülebilir İyileşme: Dünya Enerji Görünümü Özel Raporu*, <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery>.

– (2020c), *Enerji Teknolojisi Perspektifleri: Karbon Yakalama Kullanımı ve Depolama Özel Raporu*, <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions>.

– (2020d), *Biyogaz ve Biyometan için Görünüm: Organik büyüme beklentileri*, <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-buyume>.

– (2020e), *Enerji Geçişlerinde Petrol ve Gaz Endüstrisi*, <https://www.iea.org/reports/the-oil-and-gas-industry-in-energy-transitions>.

– (2020f), *World Energy Outlook 2020*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.

– (2020g), *Düşük Karbonlu Güç Sistemlerinde CCUS'un Rolü*, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-ccus-in-low-carbon-power-systems>.

– (2020h), *Power Systems in Transition*, <https://www.iea.org/reports/power-systems-in-transition/electricity-security-matters-more-than-ever>.

– (2020i), *Enerji Teknolojisi Perspektifleri 2020: Temiz Enerji İnovasyonu Özel Raporu*, <https://www.iea.org/reports/clean-energy-innovation>.

– (2019a), *Hidrojenin Geleceği*, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>.

– (2019b), *Offshore Wind Outlook 2019*, <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>.

– (2017), *Enerjiye Erişim Görünümü 2017: Yoksulluktan Refaha: Dünya Enerji Görünümü Özel Raporu*, <https://www.iea.org/reports/energy-access-outlook-2017>

Kamaya, N. (2011), "A lithium superionic conductor", *Nature Materials*, pp. 682-686, <https://doi.org/10.1038/nmat3066>.

Liquid Gas Europe (2021), *BioLPG: A Renewable Pathway Towards 2050*, <https://www.liquidgaseurope.eu/news/biolpg-a-renewable-pathway-towards-2050>.

Malhotra, A. ve T. Schmidt (2020), "Accelerating Low-Carbon Innovation", *Joule*, s. 2259- 2267, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.09.004>.

Material Economics (2019), *Endüstriyel Dönüşüm 2050: AB Ağır Sanayisinden Net Sıfır Emisyona Giden Yollar*, Sürdürülebilirlik Liderliği için Cambridge Üniversitesi, Cambridge, Birleşik Krallık.

Mazzucato, M. (2018), "Miyon Odaklı İnovasyon Politikaları: Challenges and Opportunities", *Industrial and Corporate Change*, Vol. 27/5, pp. 803-815, <https://doi.org/10.1093/icc/dty034>.

NASEO ve Energy Futures Initiative (2021), *Amerika Birleşik Devletleri Enerji ve İstihdam Raporu*, <https://www.usenergyjobs.org/>.

NEA (Nükleer Enerji Ajansı) (2016), *Nükleer Santrallerin İşletmeden Çıkarılması için Maliyet Kıyaslaması*, <https://doi.org/10.1787/acae0e3b-en>.

OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) (2020), *Çevreyle ilgili vergi geliri*, OECD İstatistikleri, <https://stats.oecd.org/>.

– (2015), *İklim Değişikliğinin Ekonomik Sonuçları*, <https://www.oecd.org/env/the-economic-consequences-of-climate-change-9789264235410-en.htm>.

Tenova (2018), HYL News, https://www.tenova.com/fileadmin/user_upload/HYL_News_-_December_2018.pdf.

Victor, D., Geels, F. ve S. Sharpe (2019), *Accelerating the Low Carbon Transition: The case for stronger, more targeted and co-ordinated international action*, Enerji Geçişleri Komisyonu, Londra.

Zemships (2008), *Yüz Yolcu ve Sıfır Emisyon: Yakıt hücreleriyle çalışan ilk yolcu gemisi*, <https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.s>.

Ek B: Teknoloji maliyetleri

IEA (Uluslararası Enerji Ajansı) (2020), *Dünya Enerji Görünüm 2020*, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.

– (2019), *Offshore Wind Outlook 2019*, IEA, Paris, <https://www.iea.org/reports/offshore-wind-outlook-2019>.

IRENA (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı) (2020), *Renewable Costing Alliance*, IRENA, Abu Dhabi, <https://www.irena.org/statistics>, erişim tarihi 15 Temmuz 2020.

Bu yayın IEA Sekreteryasının görüşlerini yansıtmakta olup, IEA üyesi ülkelerin görüşlerini yansıtmak zorunda değildir. IEA, yayının içeriği (eksiksizliği veya doğruluğu dahil) ile ilgili olarak açık veya zımni hiçbir beyan veya garanti vermez ve yayının herhangi bir şekilde kullanılmasından veya yayına güvenilmesinden sorumlu tutulamaz. Aksi belirtilmedikçe, şekil ve tablolarda sunulan tüm materyaller IEA veri ve analizlerinden elde edilmiştir.

Bu yayın ve burada yer alan herhangi bir harita, herhangi bir bölgenin statüsüne veya egemenliğine, uluslararası sınırların ve hudutların sınırlandırılmasına ve herhangi bir bölgenin, şehrin veya alanın adına hâlel getirmez.

Gözden geçirilmiş versiyon, Ekim 2021 (4^{üncü} revizyon). Bilgi bildirimi şu adreste bulunabilir www.iea.org/corrections

IEA. Tüm hakları saklıdır. IEA

Yayınları

Uluslararası Enerji Ajansı Web Sitesi:

www.iea.org

İletişim bilgileri: www.iea.org/about/contact

Fransa'da IEA tarafından dizildi - Mayıs 2021

Kapak tasarımı: IEA

Fotoğraf kredileri: © Shutterstock