

Net Sıfır 2053: Türkiye Elektrik Sektörü İçin Yol Haritası

ETÜK 2023
2 Kasım 2023, İzmir

GENEL VARSAYIMLAR

Türkiye nüfusu 2053 yılı itibarıyla 100 milyona ulaşırken, GSYİH yıllık ortalama %3,3 artmaktadır



Demografi

Nüfus 2050 yılına kadar artış göstermekte, 2050 sonrasında sabit kalmaktadır.

Kaynaklar: TÜİK(düşük) & Birleşmiş Milletler(orta değişken)

Dönem	Ortalama büyüme oranları[%]	Yıl sonu nüfus miktarı [milyon]
2020-30	0.83%	91.6
2030-40	0.58%	97.0
2040-50	0.30%	99.8
2050-60	0.02%	100.1

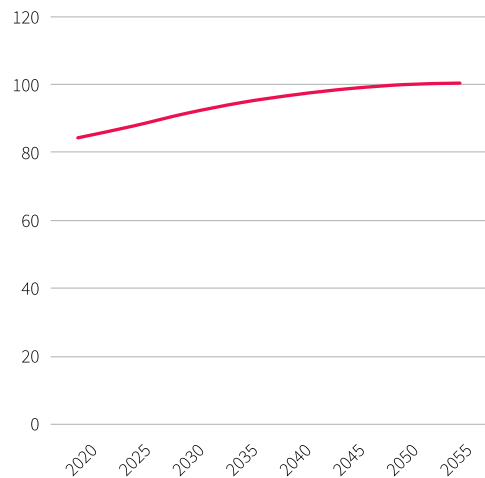
Gayri Safi Yurt İçi Hasıla (GSYİH)

Gelişmekte olan bir ülke konumundan yüksek gelirli bir ülke konumuna geçiş yapan Türkiye ekonomisi için güçlü büyüme beklentileri öngörülmektedir.

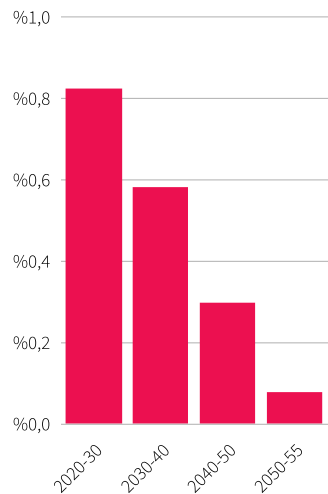
Öngörülere temel olan kaynaklar: Mevcut veriler (2020-2022), Dünya Bankası (2023-2024) ve IMF (2025 ve sonrası)

Dönem	Ortalama büyüme oranları[%]	Yıl sonu GSYİH [milyar ABD\$ 2015]	GSYİH/kişi [ABD\$ 2015/kişi]
2020-30	4.4%	1,561	17,042
2030-40	3.0%	2,096	21,595
2040-50	2.9%	2,787	27,878
2050-60	2.4%	3,525	35,176

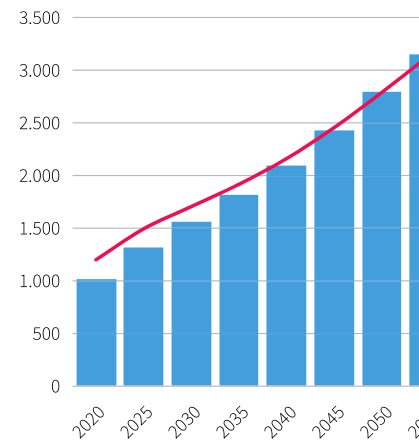
Milyon kişi



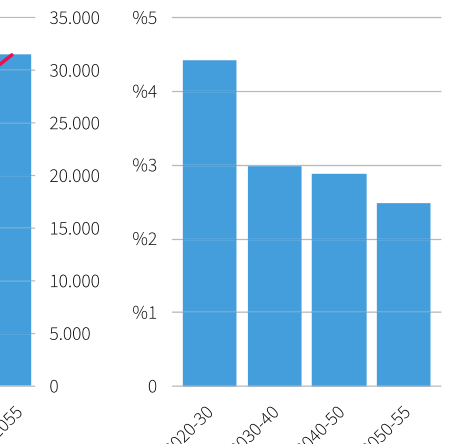
Dönemsel ortalama büyüme oranları (%)



GSYİH - Milyar ABD\$'15



ABD\$'15



■ GSYİH

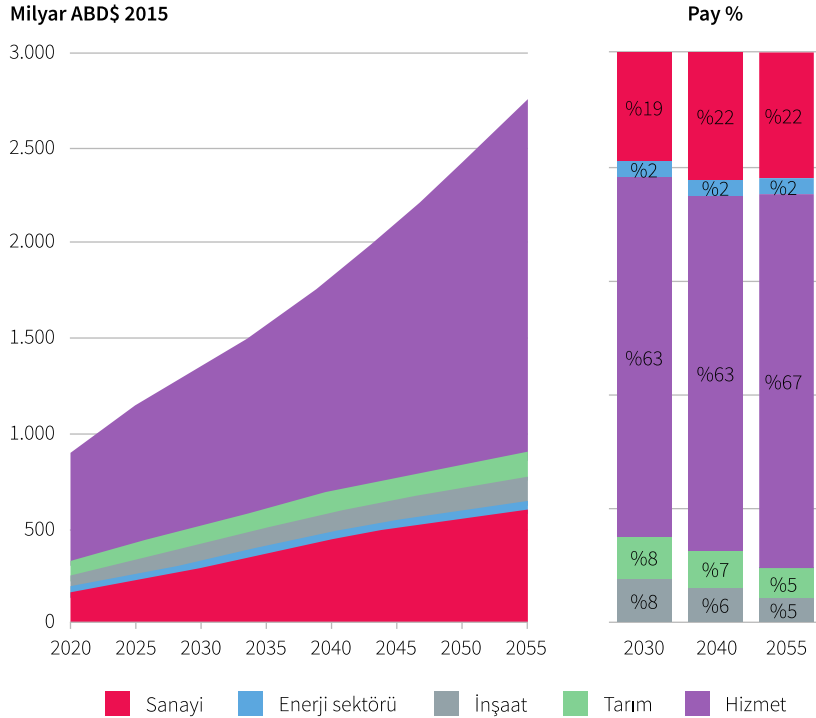
— GSYİH/Kişi

GENEL VARSAYIMLAR – Sektörel faaliyetler

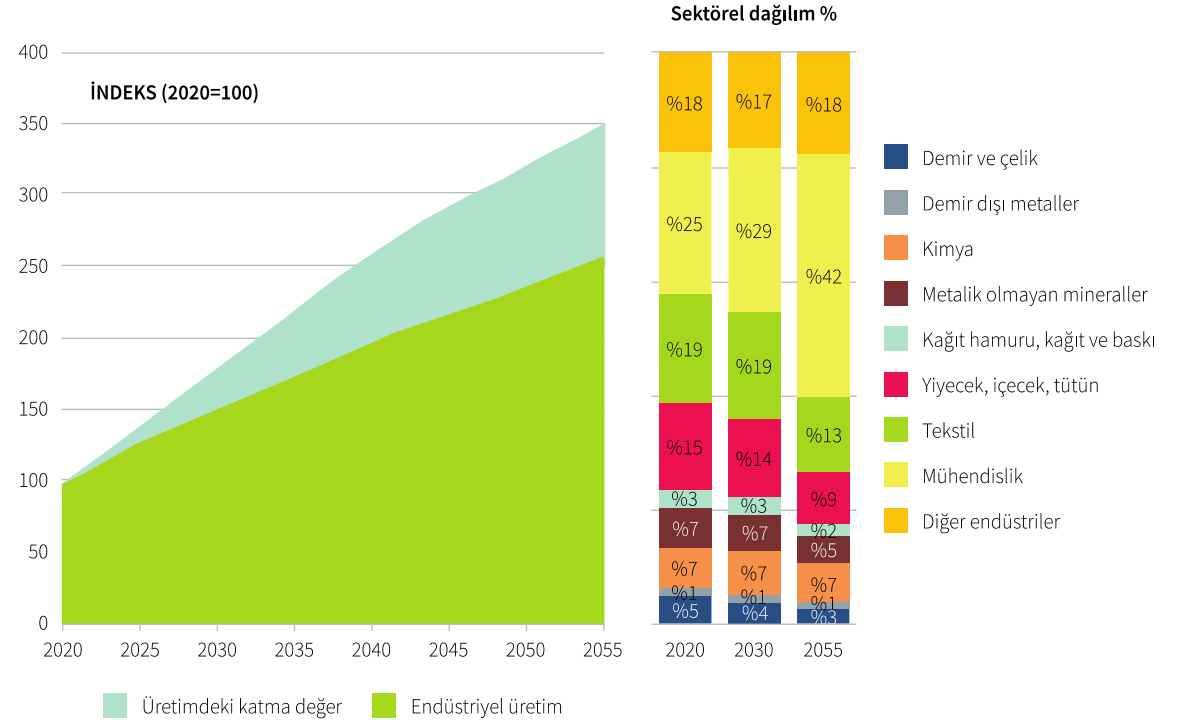
Sanayi üretimi, daha yüksek katma değerli ve daha az enerji/karbon yoğun sektörlerle doğru eğilim gösterecektir.



Son kullanıcı sektörlerde katma değer gelişimi



Sanayi sektörlerinde katma değer gelişimi



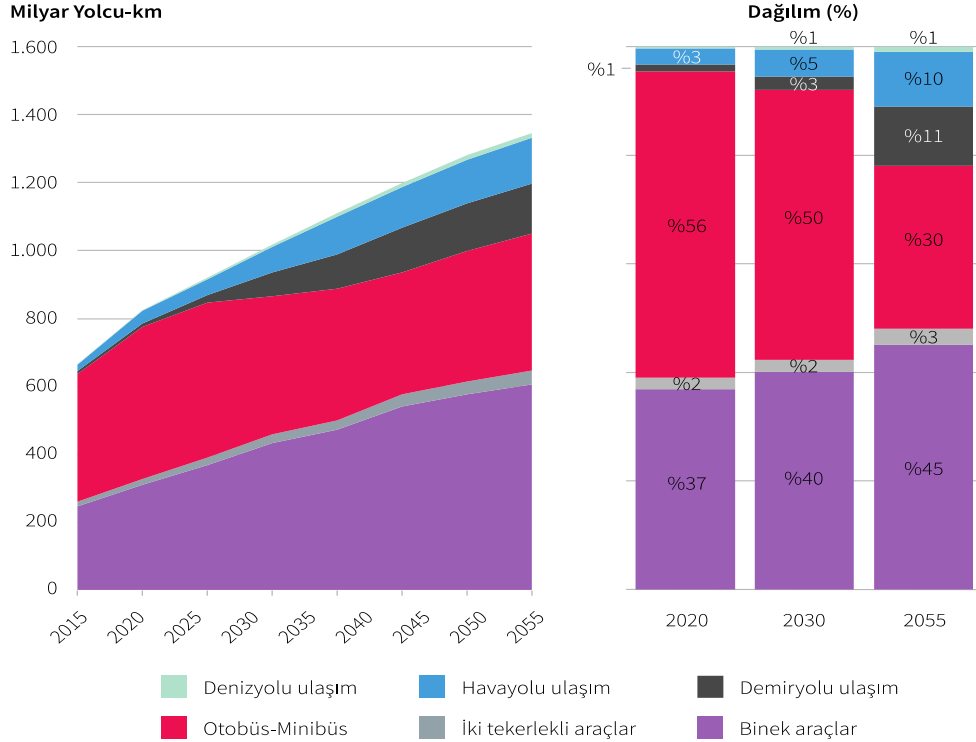
- **Mühendislik sektörü**, özellikle otomotiv, makine, elektrikli ev aletleri, yenilenebilir enerji ekipmanları, havacılık endüstrisi, elektronik, gelişmiş yeşil malzeme üretimi, **sanayi büyümesinde birincil itici güç olacaktır.**
- **Demir/çelik üretimi**, artan elektrifikasyonla birlikte **uzun ürünlerden yassı ürünlere kayacaktır.**
- **İNşaat sektörü nüfus artışına paralel olarak büyüyecek**, Demir-çelik dahil olmak üzere **İNşaat malzemeleri üretimi** ağırlıklı olarak iç pazara yönelik olacaktır.
- **Kimya/petrokimya üretimi**, ithal kaynaklara ikame ve alternatif yeşil ürünler yoluyla büyüyecektir.

GENEL VARSAYIMLAR – Ulaşım faaliyetleri

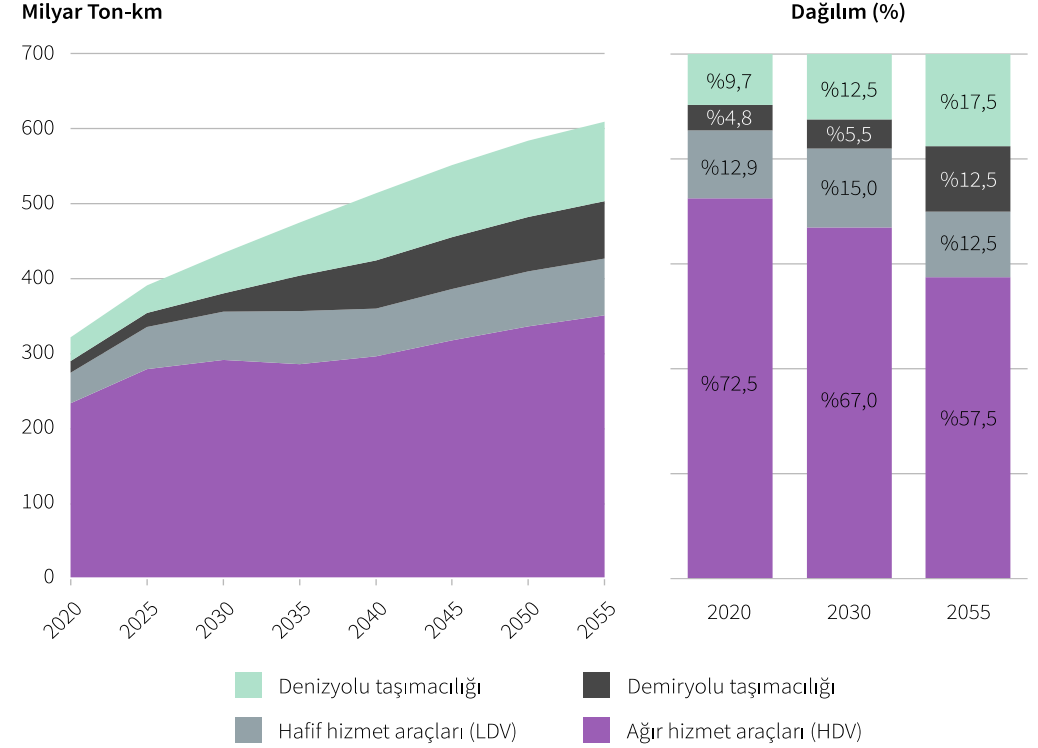
Ulaşım faaliyeti; nüfustaki artış, ekonomik büyüme ve kişi başına düşen gelire paralel olarak büyümesine rağmen karbon yoğunluğu azalacaktır.



Yolcu taşıma faaliyet projeksiyonu



Yük taşımacılığı faaliyet projeksiyonu



- Artan refahla birlikte **binek otomobillerin ve havayolu taşımacılığının payının artması** beklenmektedir.
- **Yolcu taşımacılığında otobüs kullanımından demiryolu taşımacılığına geçiş**, karbonsuzlaşmaya katkıda bulunacaktır.
- **Ekonomik büyümeye paralel olarak yük taşımacılığı da büyüyecektir. Ağır hizmet taşıtlarından deniz ve demiryolu taşımacılığına geçiş, enerji yoğunluğunu azaltacak ve karbonsuzlaşmayı kolaylaştıracaktır.**
- **Ulaşım modu, elektrifikasyonun artmasını ve elektrifikasyonun mümkün olmadığı yerlerde e-yakıtlar ve yeşil hidrojen kullanımını mümkün kılacak.**

Net-Sıfır İçin Temel Varsayımlar

- **Emisyon salımı yapan teknolojilere karşı caydırıcı uygulamalar:** elektrik, sanayi, binalar ve ulaşım sektörlerinde
- **Temiz teknolojilerin** daha fazla entegrasyonu için **piyasa dışı engellerin azaldığı bir sistem.**
- Hem şebeke ölçeğindeki hem de dağıtık yenilenebilir enerji kapasitelerinin kurulumu için **piyasa öngörülebilirliğinin yüksek, mevzuatların net ve idari işlemlerin kolaylaştığı olumlu bir yatırım ortamının oluşturulması**
- **Konutların yenilenmesine** yönelik kolaylaştırıcı uygulamalar
- **Altyapının ihtiyaçlar doğrultusunda genişlemesi:** şarj altyapısı, iletim ve dağıtım şebekeleri ve alternatif e-yakıt altyapıları
- **Gaz şebekesinin karbon nötr dönüşümü:** boru gazına karışım (yeşil hidrojen, sentetik gaz (CH₄) and biyogazlar)

Net Sıfır 2053 Senaryosu –Toplam Enerji Talebi

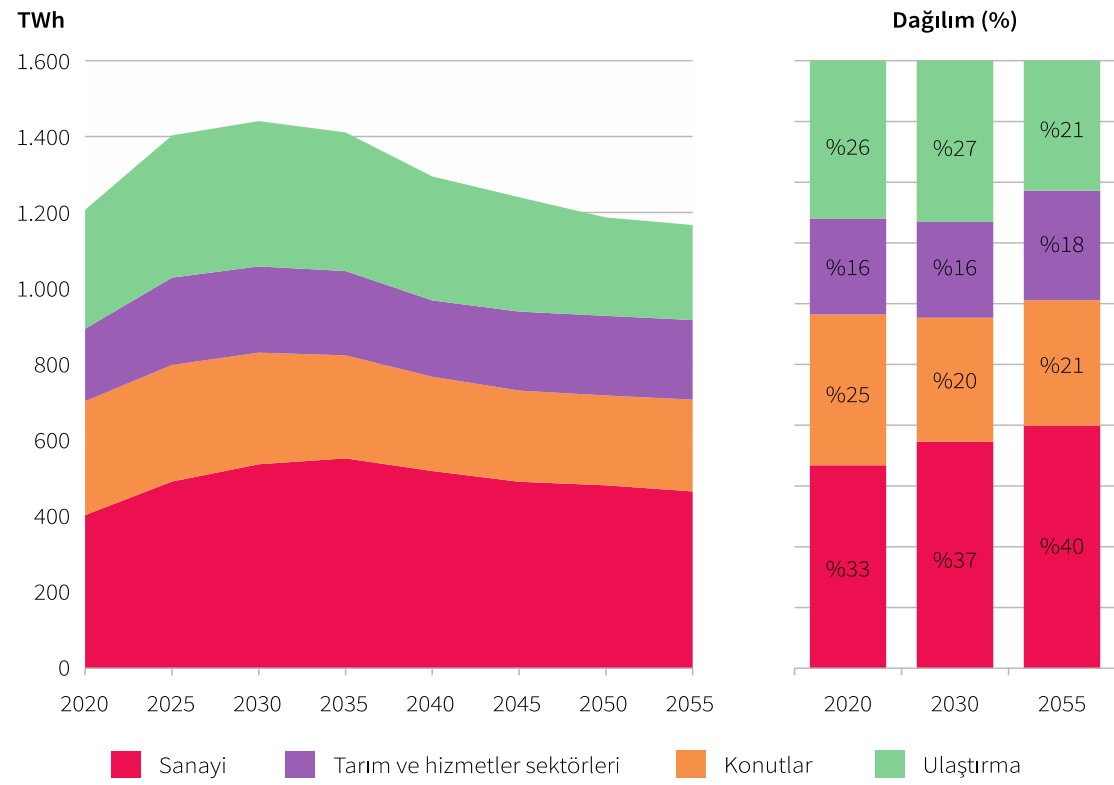
Ekonomik büyümeye rağmen tüm sektörlerde enerji verimliliği ve elektrifikasyonun artmasıyla toplam enerji tüketimi 2053'te 2020 yılındaki 1.200 TWh seviyesine düşüyor



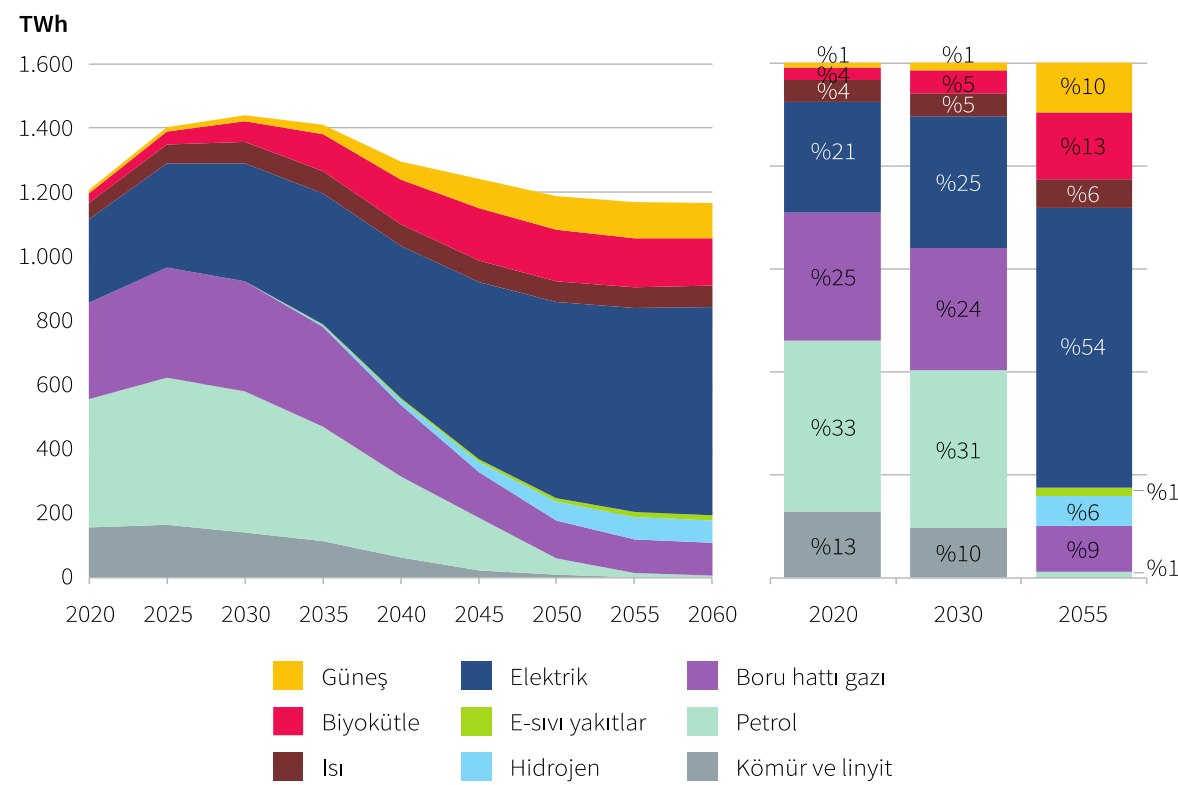
Toplam enerji talebi

- Toplam elektrik tüketiminin nihai enerji talebi içindeki payı, son kullanım sektörlerinin elektrifikasyonu sonucunda %54'e ulaşmaktadır.

Sektör bazında nihai enerji tüketimi



Yakıt bazında nihai enerji tüketimi

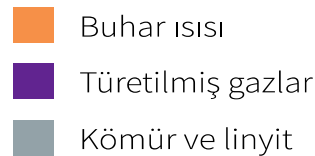
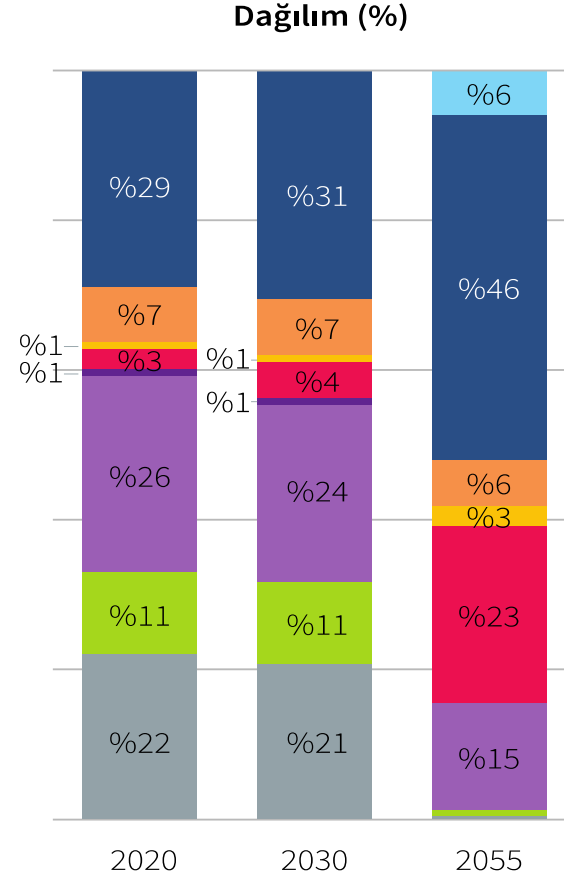
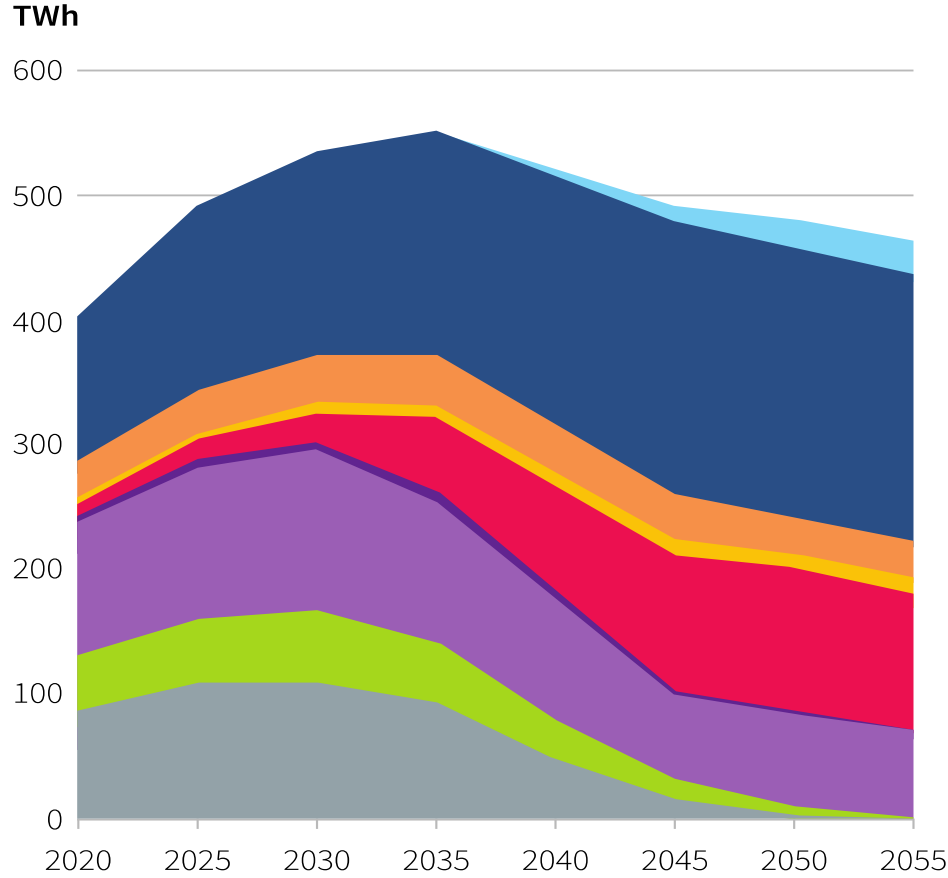


Net Sıfır 2053 Senaryosu - Enerji Talebi

Sanayide 2053 yılına kadar yakıt karışımındaki elektrik payı %50'ye yaklaşıyor



Sanayi - yakıt bazlı nihai enerji tüketimi

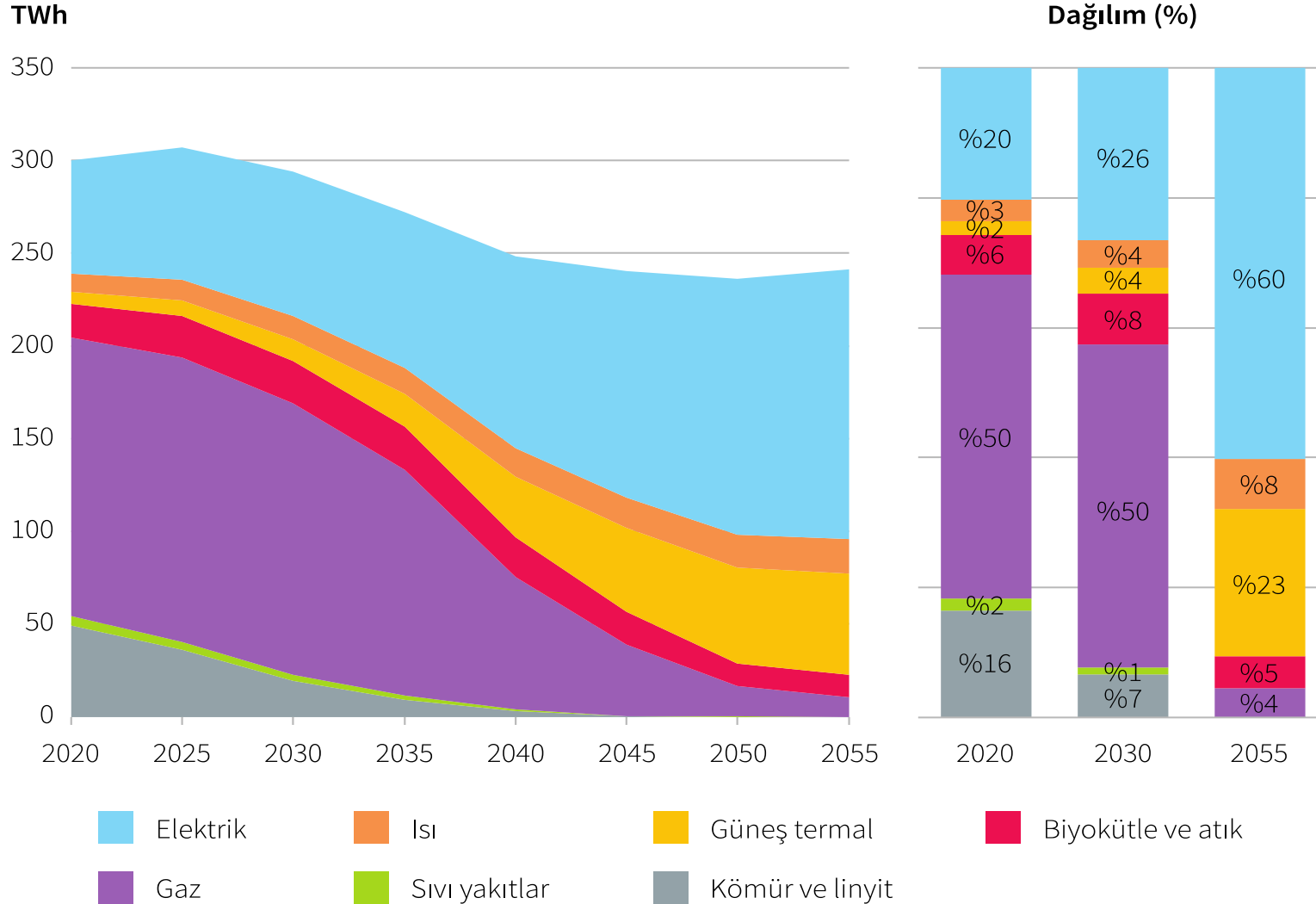


- Çoğunlukla ağır sanayide kullanılan fosil yakıtlar, boru hattı gazı, yeşil hidrojen ve daha az ölçüde elektrik ve biyokütle ile ikame edilmektedir.
- Fosil yakıtların kullanımı 2035'te azalmaya başlayacak ve 2053'te kalmayacak.
- Boru hattı gazı 2053'te neredeyse %100 yeşil hale gelmektedir. Yeşil hidrojen, biyogaz ve e-gaz (e-CH₄) karışımından oluşan boru gazı payı %15'tir.
- Nihai enerji tüketiminde biyokütle ve atıkların payı %23'e ulaşmaktadır.

Net Sıfır 2053 Senaryosu-Enerji Talebi

Nüfus artışına rağmen, artan elektrifikasyon seviyeleri ve enerji verimliliği sebebiyle konutlarda enerji tüketimi 2053'te 241 TWh'e düşmektedir.

Konutlarda yakıt bazlı nihai enerji tüketimi

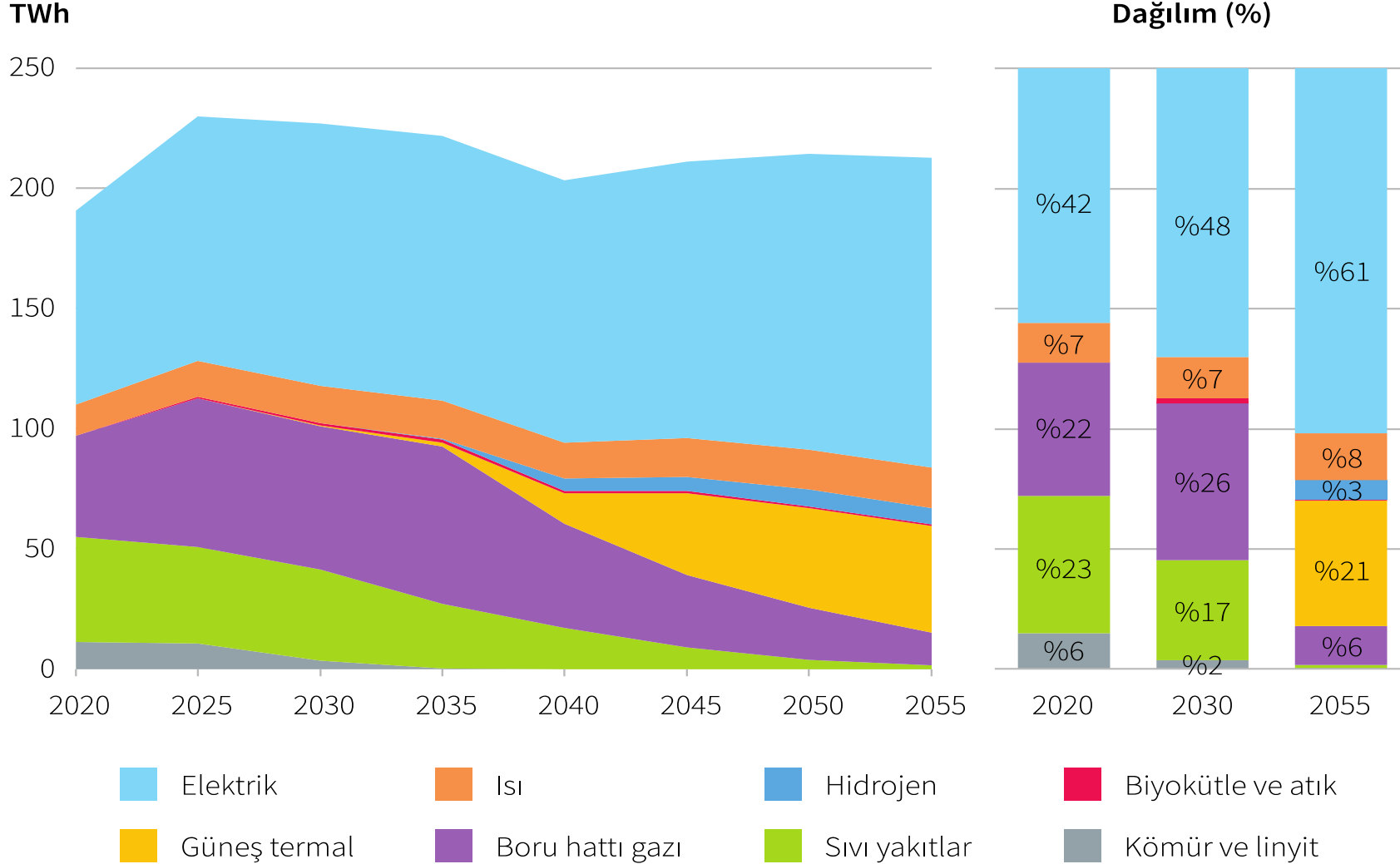


- Konutlarda enerji talebi gelişimi **şunlara bağlıdır:**
 - Isınma ihtiyacı için kullanılan elektrifikasyon (örneğin ısı pompası)
 - Bina yenileme
 - Enerji verimliliği standartları
 - Daha verimli binalara yönelik ekipmanlar
- **Konutlarda** elektriğin payı 2053'te **%60'a** ulaşmaktadır.
- Konutlarda ısı pompası kullanımı **2053'te %70** olmaktadır.

Net Sıfır 2053 Senaryosu - Enerji Talebi

Tarım ve hizmetler sektörlerinde elektrifikasyon oranı 2053'te %61'e ulaşacak.

Tarım ve Hizmetler (Üçüncül) Sektörlerinde yakıt bazlı nihai enerji tüketimi



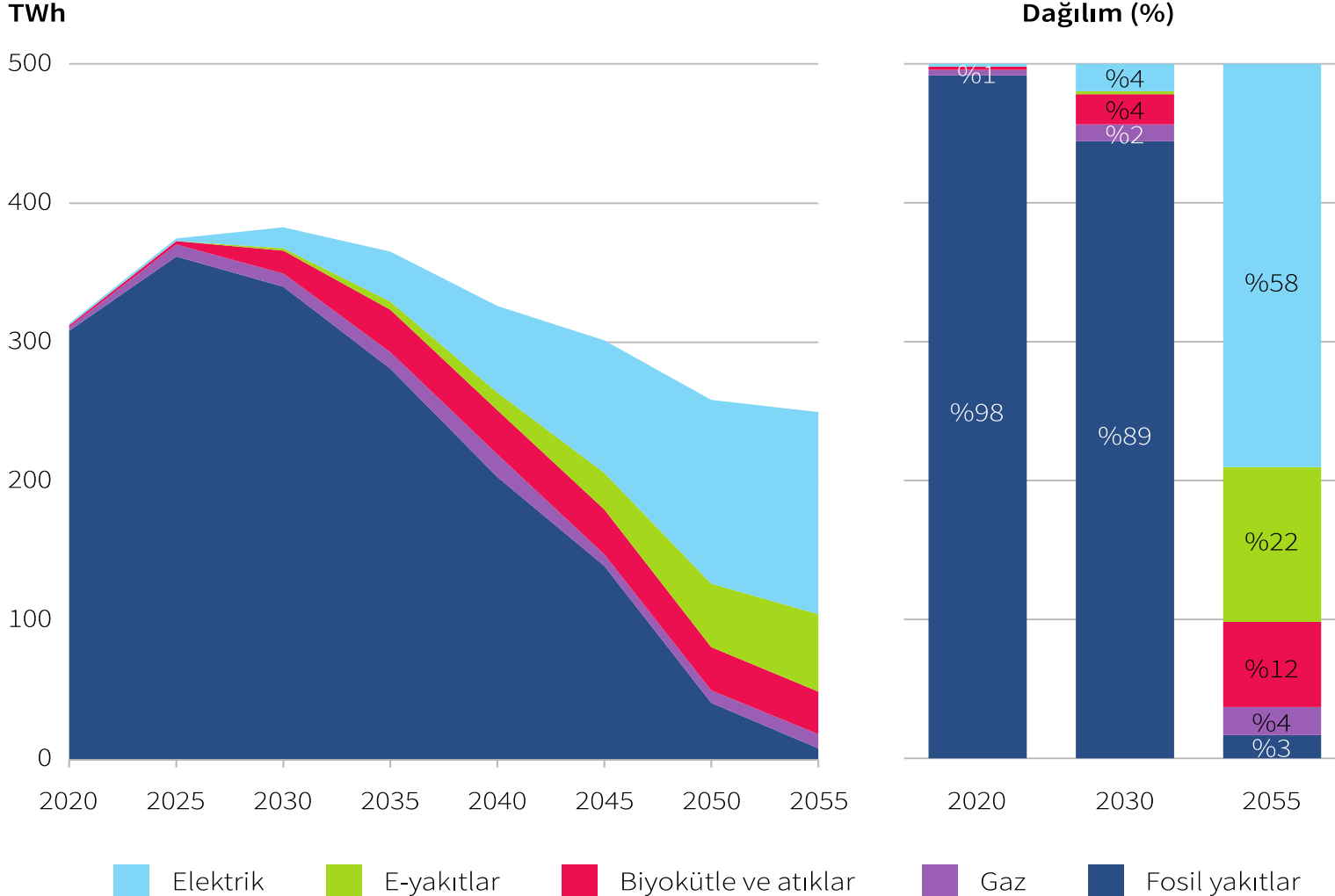
- **Hizmetler sektöründeki gelişmeler:**
 - Yüksek düzeyde **yenileme ve verimli bina standartları**
 - **Yüksek elektrifikasyon oranı:** 2053 yılına kadar alan ısıtmanın %74'ü ısı pompaları yoluyla sağlanmaktadır.
- **Artan ısı pompaları, elektrikli ocak ve su ısıtıcılarının kullanımı, elektrifikasyon oranını %61'e çıkarmaktadır.**

Net Sıfır 2053 Senaryosu - Enerji Talebi

Ulaştırma sektöründe karbonsuzlaşma; elektrikli araçlara geçiş ve temiz yakıtların (yeşil hidrojen, e-gaz ve e-sıvılar) kullanımıyla sağlanmaktadır



Ulaşım da yakıt bazlı nihai enerji tüketimi



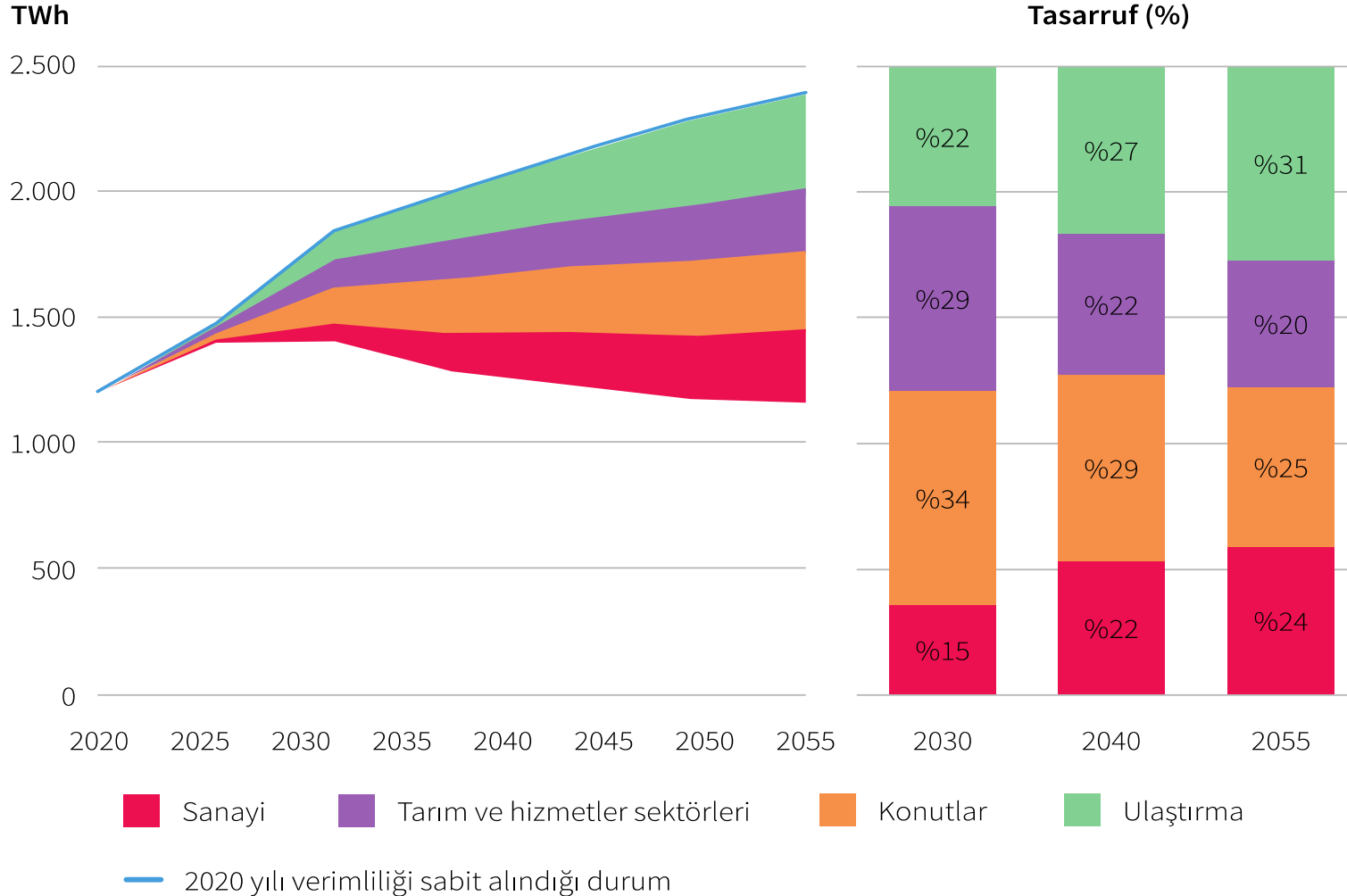
Karbonsuzlaşma için:

- Elektrikli araçlar
- Yeşil hidrojen ve e-yakıt kullanımı
- Hidrojen, toplu karayolu taşımacılığında (faaliyetin %10'u), ağır hizmet araçlarında (HDV) (%30) ve hafif hizmet araçlarında (LDV) (%17) kullanılmaktadır.
- Hidrojen bazlı e-sıvılar havayolu taşımacılığında (sentetik kerosen vb.) ve deniz taşımacılığında (amonyak vb.) kullanılmaktadır.
- Ulaşım da toplam e-yakıt tüketimi 2053 yılı itibarıyla 55 TWh'yi aşmaktadır.

Net Sıfır 2053 Senaryosu – Enerji tasarrufu

Nihai enerji tüketimi, artan enerji verimliliği ve elektrifikasyon sebebiyle sabit enerji (2020 yılı) yoğunluğuna kıyasla 2053'te %53 (~1.200 TWh) azalmıştır.

Sektörlere göre enerji tasarruf miktarları



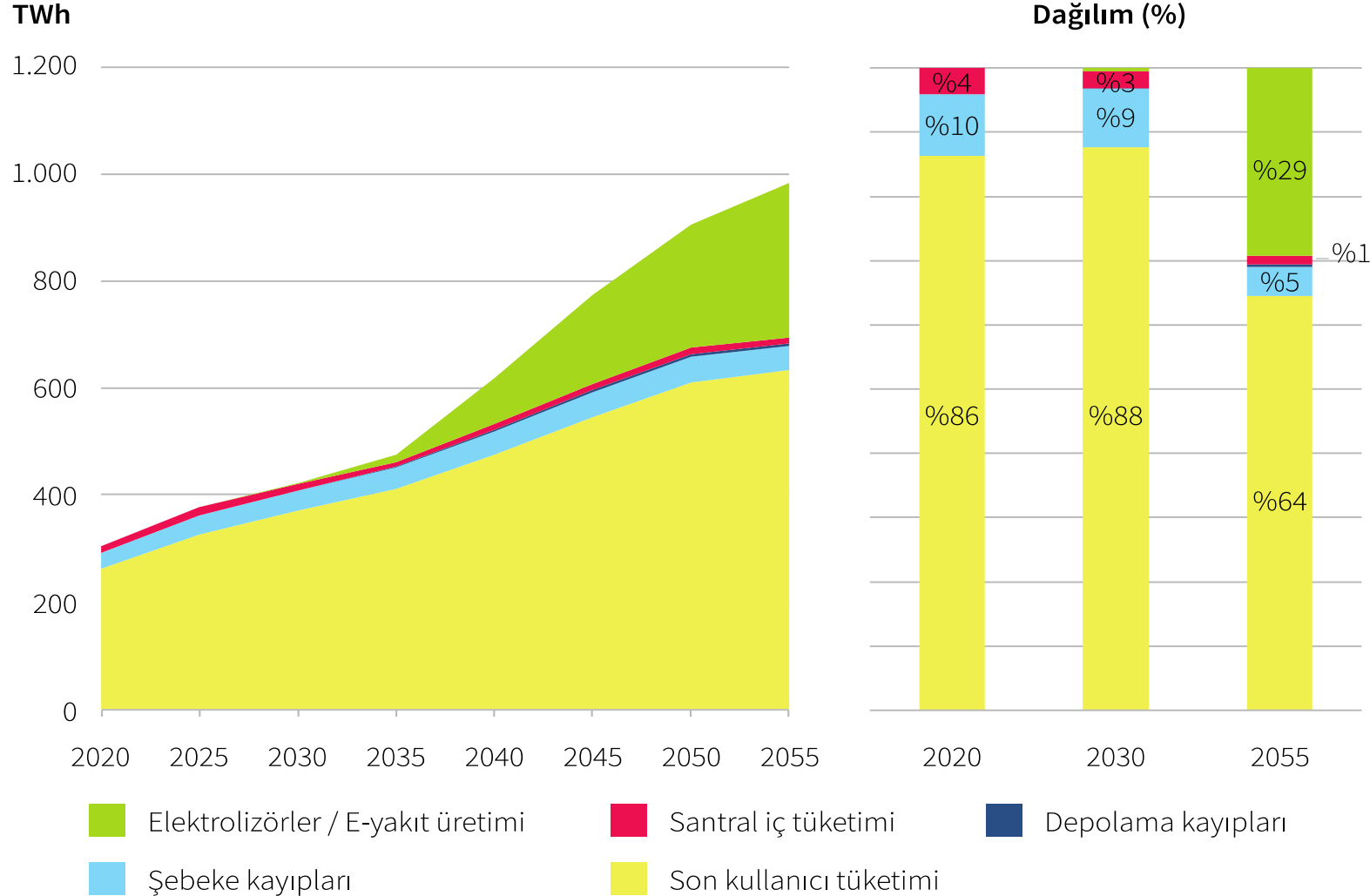
- Enerji verimliliğine ve elektrifikasyona yapılan yatırımlar, önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır.
- Konut (%34), tarım ve hizmetler (%29) sektörlerinin katkısı 2030 yılına kadar daha yüksektir (binaların yenilenmesi ve alan ısıtma verimliliği).
- Uzun vadede enerji tasarrufunun %31'i ulaşım sektörü tarafından sağlanmaktadır.

Net Sıfır 2053 Senaryosu - Elektrik Talebi

Son kullanıcı sektörlerde elektrifikasyonun benimsenmesi ve e-yakıt üretimi elektrik talebini artırmaktadır.



Toplam elektrik tüketimi



- **E-yakıtlara olan talep** 2030'dan sonra şebekede gaz karışımı nedeniyle artarak 2053 yılına kadar toplam elektrik talebinin **(982 TWh) %29'una (287 TWh)** ulaşmaktadır.
- **Şebeke kayıpları, uzun vadede düşme eğilimindedir:**
 - Şebeke iyileştirmeleri
 - E-yakıtlar (PtX) üretimi için yüksek gerilimden bağlantı
- Konvansiyonel santrallerin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ikamesi **iç tüketimi** asgariye indirmektedir.

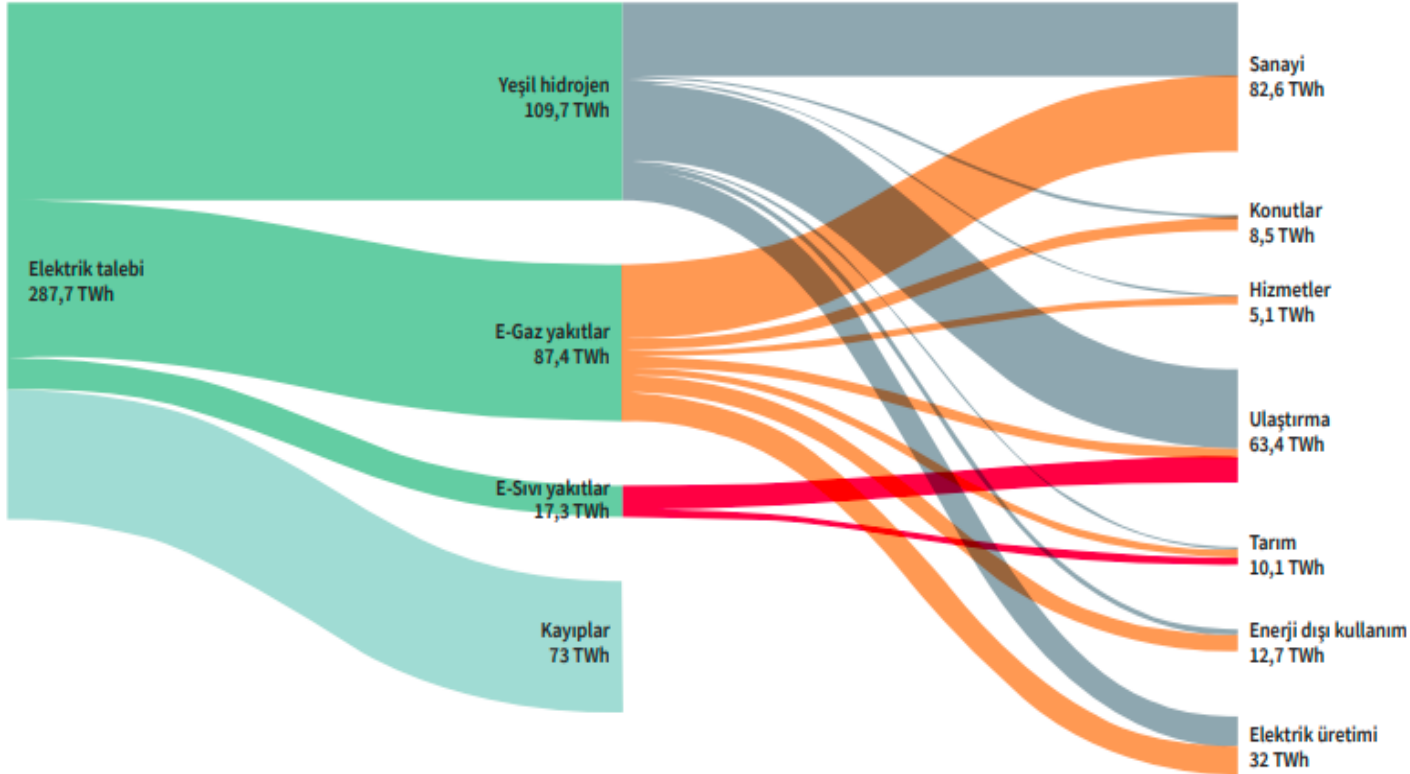
Net Sıfır 2053 Senaryosu – E-Yakıt Talebi

2053'te e-yakıt talebinin yaklaşık %80'i ulaşım ve sanayi sektörlerinden kaynaklanmaktadır

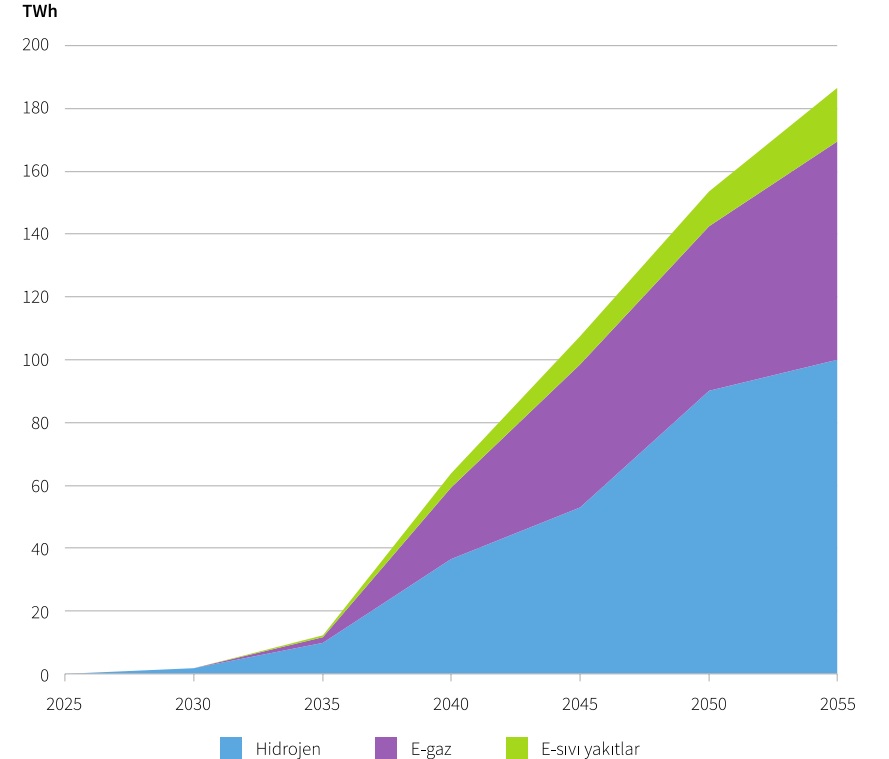
E-yakıt üretimi ve tüketimi

- E-yakıtlar ağırlıklı olarak **sanayi ve ulaşım sektörlerinde** tüketilmektedir.
- E-gaz tüketimi ısıtmada kullanılırken, **hidrojen doğrudan bazı kimyasal/termik proseslerde** (örn. demir çelik endüstrisinde) tüketilmektedir.
- Ulaşım sektöründe hidrojen doğrudan karayolu taşıtlarında, e-sıvılar havayolu taşımacılığında** (örn. sentetik kerosen vb.) ve **denizyolu taşımacılığında** (örn. amonyak vb.) tüketilmektedir.

Türüne göre e-yakıt üretimi ve sektörel bazda tüketimi



Türüne göre e-yakıt tüketimi

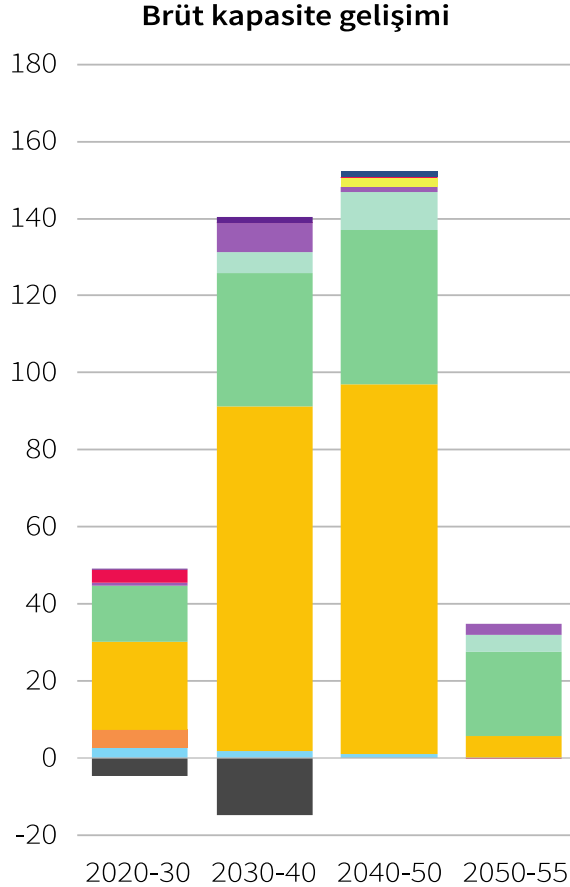
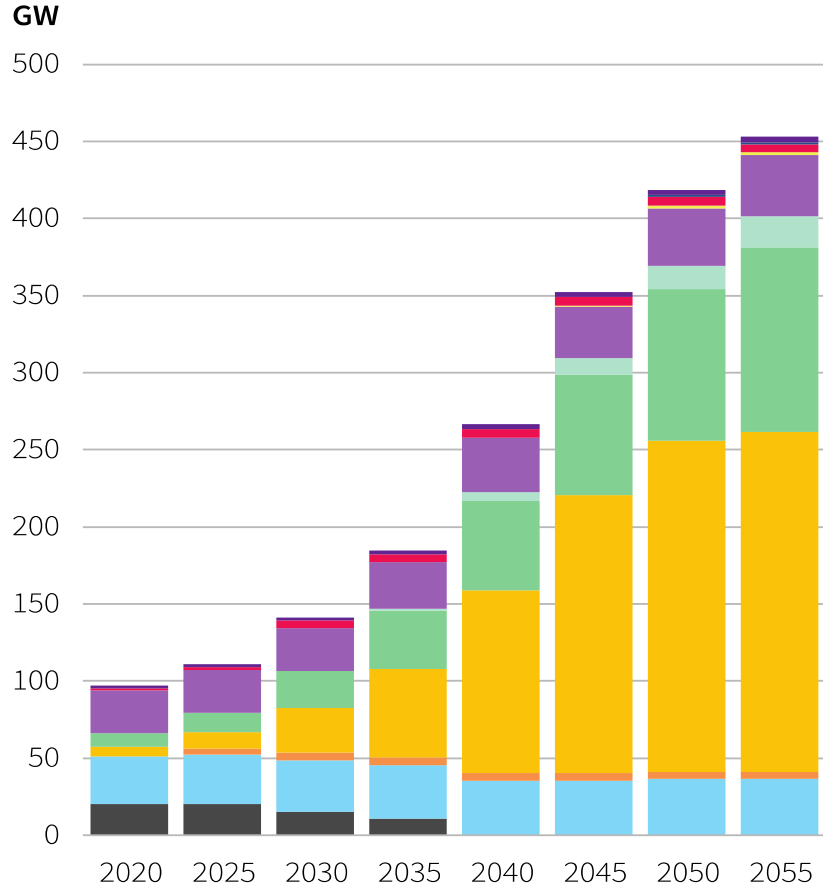


Net Sıfır 2053 Senaryosu (Arz gelişimi)

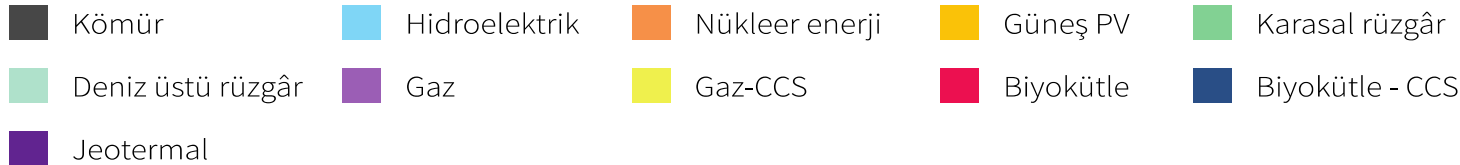
2053'te güneş ve rüzgar enerjisi kurulu gücü sırasıyla 220 GW ve 140 GW'a ulaşmaktadır.



Kurulu Güç Projeksiyonu



- **Güneş ve rüzgar enerjisi kapasite artışları 2030'dan sonra hızlanmaktadır.**
- **Akkuyu Nükleer Santrali 2030 yılına kadar tamamen devreye girmektedir.**
- **12 GW'lık ilave gaz kapasitesi sisteme esneklik sağlarken, kömürün aşamalı olarak sistemden çıkışı sebebiyle rezerv kapasite olarak çalışmaktadır.**
- **Gaz santrali kapasitesi (endüstriyel kojenerasyon hariç) 40 GW'a ulaşmakta, 2,2 GW'ı Karbon Yakalama ve Depolama (CCS) sistemi kullanmaktadır.**

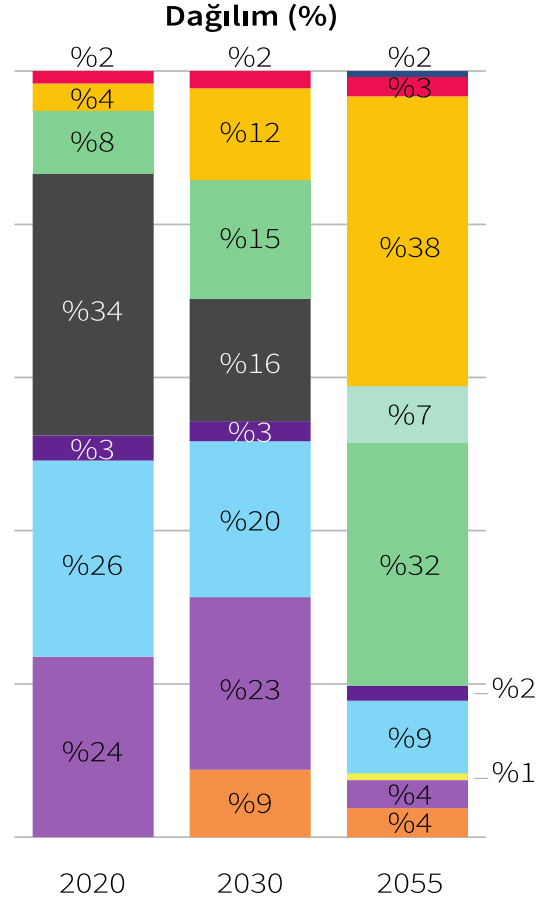
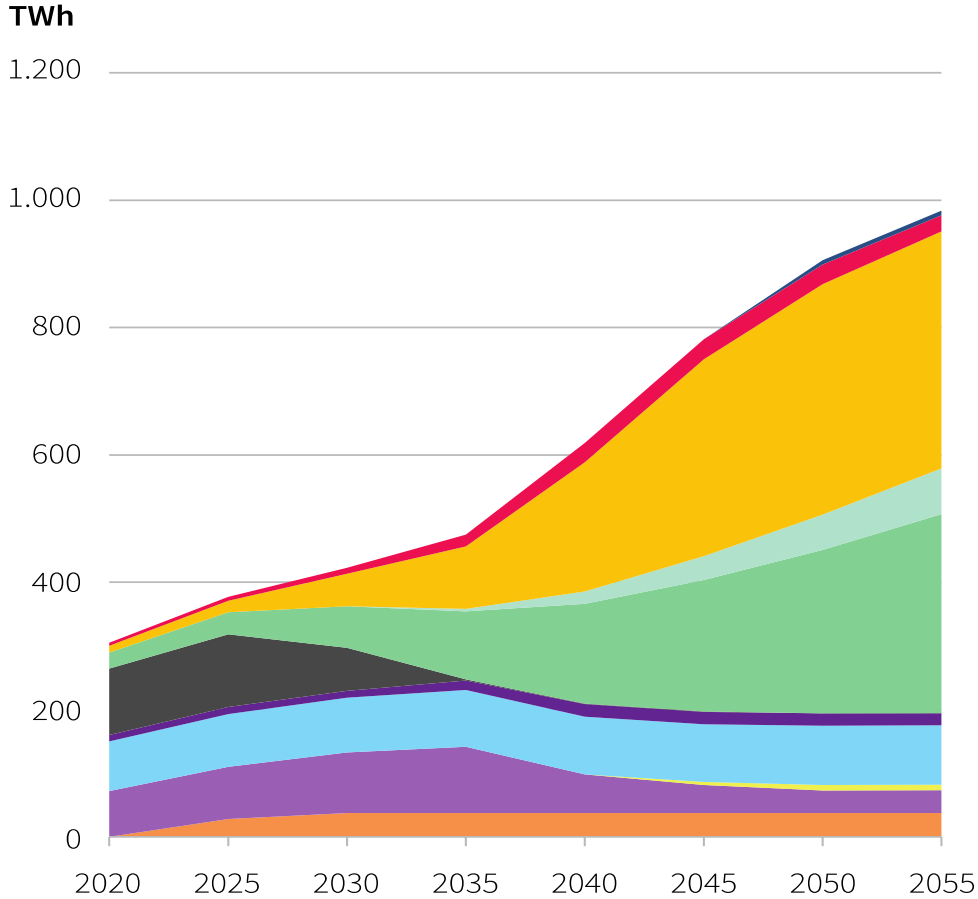


Net Sıfır 2053 Senaryosu (Arz gelişimi)

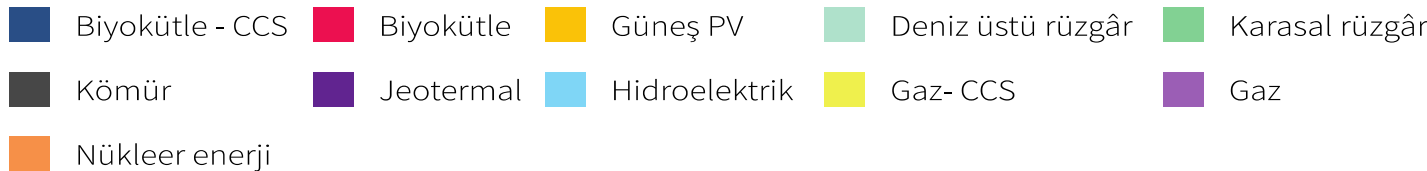
2053 yılı itibarıyla elektriğin yaklaşık %90'ı yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilecek.



Elektrik Üretim Projeksiyonu



- Brüt elektrik üretimi 2053 yılında 1.000 TWh'ye yaklaşmaktadır.
- 2053'te elektrik üretiminin yaklaşık %38'i güneş enerjisinden ve %39'u (deniz üstü dahil) rüzgar enerjisinden sağlanmaktadır.
- 2035 yılında kömür kaynaklı elektrik üretimi kalmamaktadır.
- Kombine çevrim gaz santralleri (CCGT) rezerv kapasite olarak sistemde kalıyor (uzun vadede e-yakıt karışımı). 2053'te üretim karışımındaki payı %5 civarında olmaktadır.

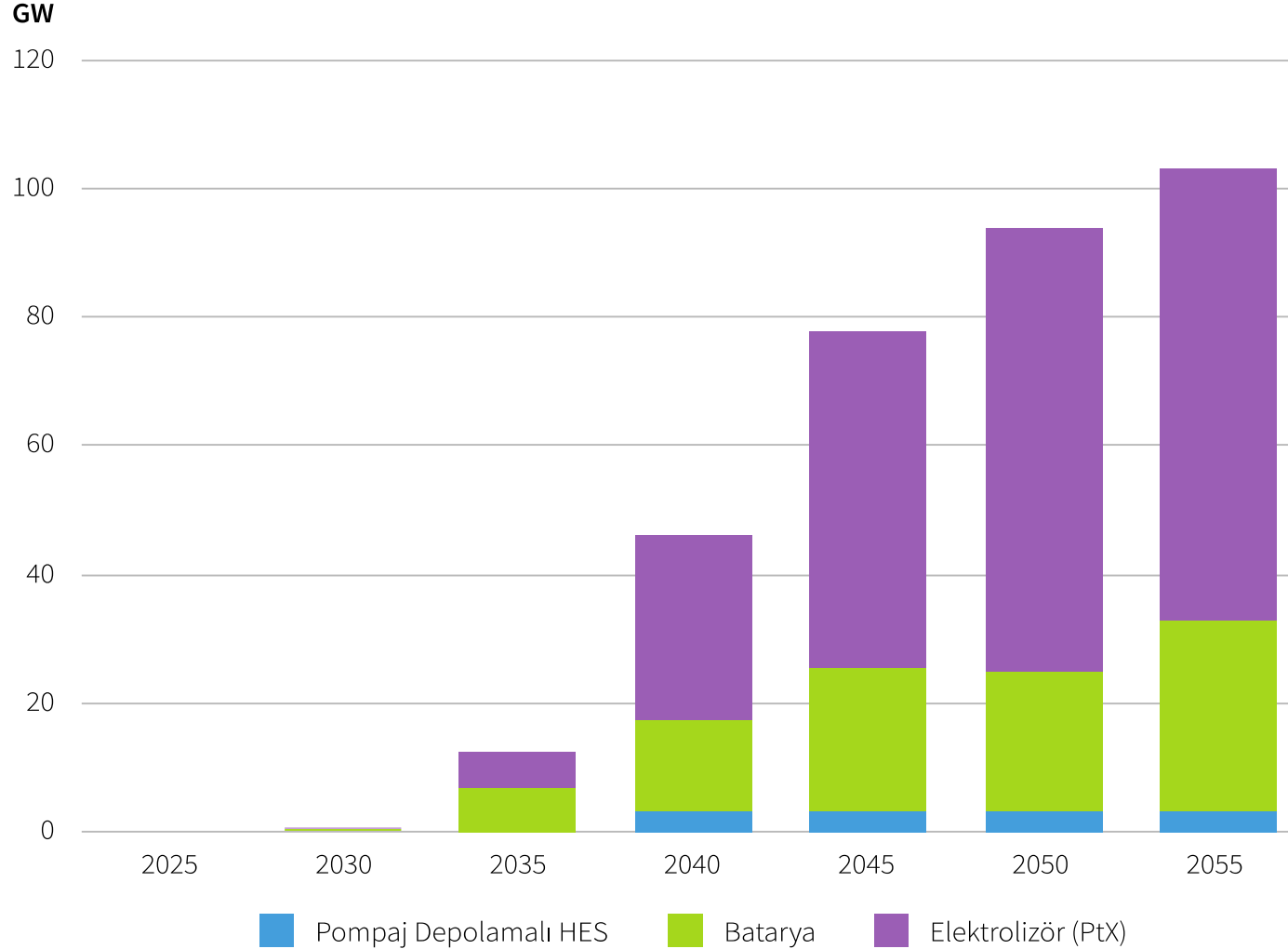


Net Sıfır 2053 Senaryosu – Depolama

2053'te depolama teknolojilerinin toplam kurulu gücü 33 GW'a, elektrolizör kapasitesi ise 70 GW'a ulaşacaktır.



Elektrik Depolama ve Elektrolizör Kapasiteleri



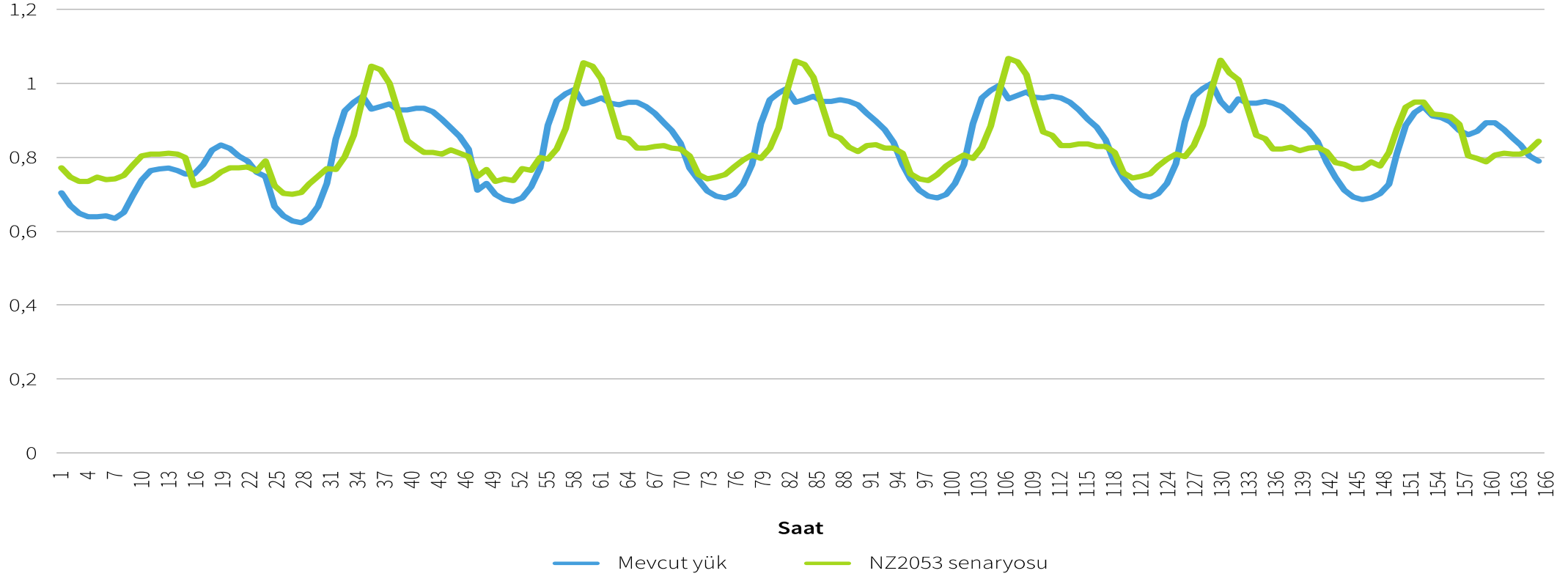
- **Depolama kapasitesinin** kullandığı durumlar;
 - Günlük/saatlik dengeleme
 - Mevsimsel/Sezonluk
- 2053 yılı itibarıyla yaklaşık **30 GW/120 GWh batarya enerji depolama sisteme girmektedir.**
- 2030 yılı itibari ile e-yakıt talebini karşılamak üzere elektrolizörler kurulmaya başlıyor. **Toplam elektrolizör kapasitesi 2053'te 70 GW'a ulaşmaktadır.**
- Elektrolizörler, batarya depolama gereksinimlerini sınırlayarak, üretim puantları sırasında çalışmaktadır.

Net Sıfır 2053 Senaryosu – Talep Tarafı Katılımı

Talep tarafı katılımı çoğunlukla ulaşım sektöründen sağlanmaktadır (örn. elektrikli araçların akıllı şarjı)



Elektrik – Talep Tarafı Katılımı



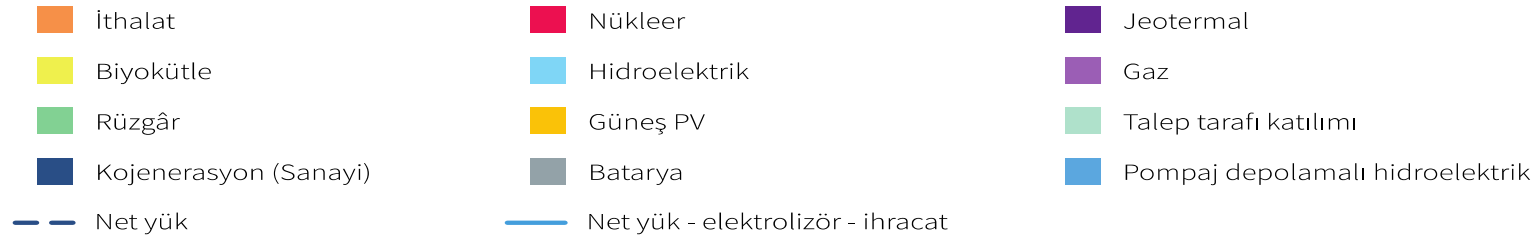
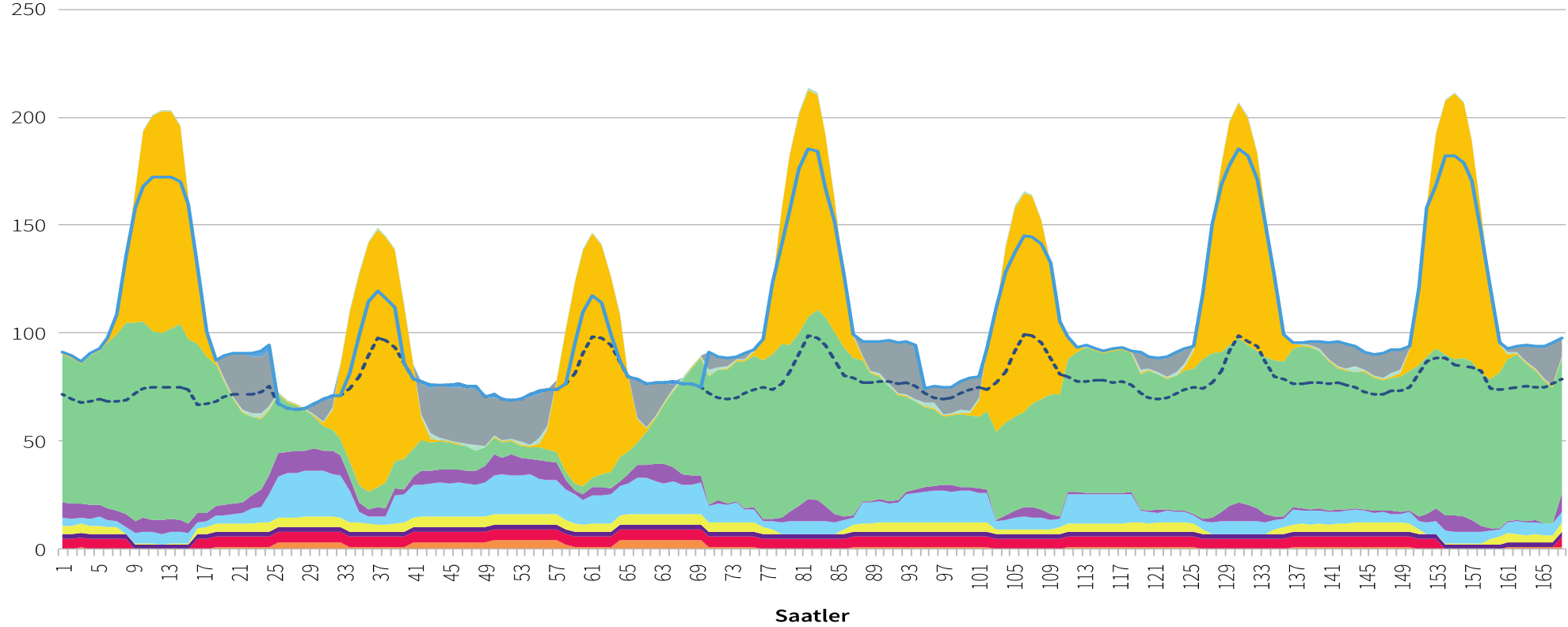
- Elektrikli araçların akıllı şarjı ve talep tarafı katılımı, 2053'te talep profilini değiştirmektedir.
- Günlük zirveler, güneş enerjisi üretimini takip edecek şekilde öğle saatlerinde meydana gelmektedir.

Net Sıfır 2053 Senaryosu – Elektrik Sistemi

2053'te Türkiye elektrik sistemi, yüksek oranda değişken yenilenebilir enerji kaynaklarını içeriyor olmasına rağmen kararlı ve güvenilir şekilde sorunsuz çalışmaktadır

Yük (GW)

Tipik kış-sonbahar haftası elektrik üretim tüketim saatlik simülasyonu



Net Sıfır 2053 Senaryosu - Yatırımlar

Elektrik sektörü için 2020-2055 yılları arasında 526 milyar ABD doları değerinde yatırım gerekmektedir. Yatırımlar sonucunda enerji ithalatı bugünkü %69 seviyesinden 2053'te %9'a düşmektedir.



Elektrik Sektöründeki Yatırım Maliyetleri

Milyar ABD\$



- **Ortalama yıllık yatırım tutarı 15 milyar ABD doları'dır.**
- Yatırım harcamaları, ağırlıklı olarak **yenilenebilir enerji kaynaklarını içermektedir (çoğunlukla güneş ve rüzgar enerjisi).**
- Enerji depolama (batarya, pompaj depolamalı hidroelektrik), şebeke ile yenilenebilir enerji yatırımları özellikle **2036-2040 döneminde** artmaktadır.
- **Yatırım maliyetleri 2045 yılına kadar yüksek seviyelerdeyken, 2050'de düşüşe geçmektedir.**

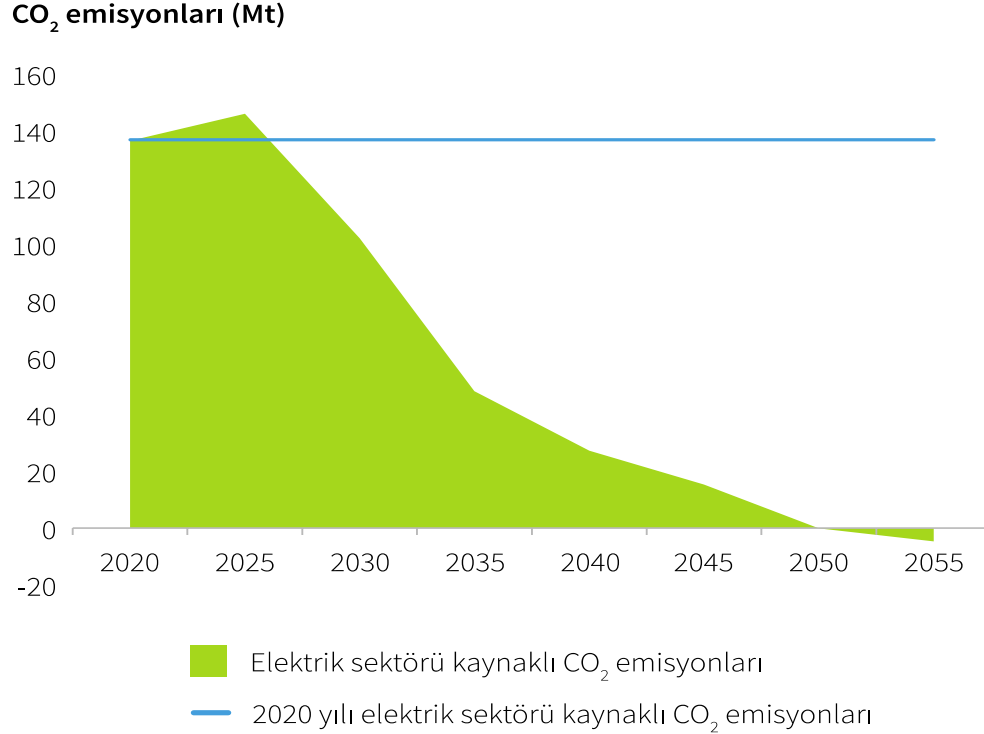
Net Sıfır 2053 Senaryosu - Emisyonlar

CO₂ emisyonları 2025'te zirveye ulaşmakta, kömür ve linyit santrallerinin aşamalı olarak üretimlerini durdurması ile 2035'te yaklaşık %65 oranında azalmaktadır

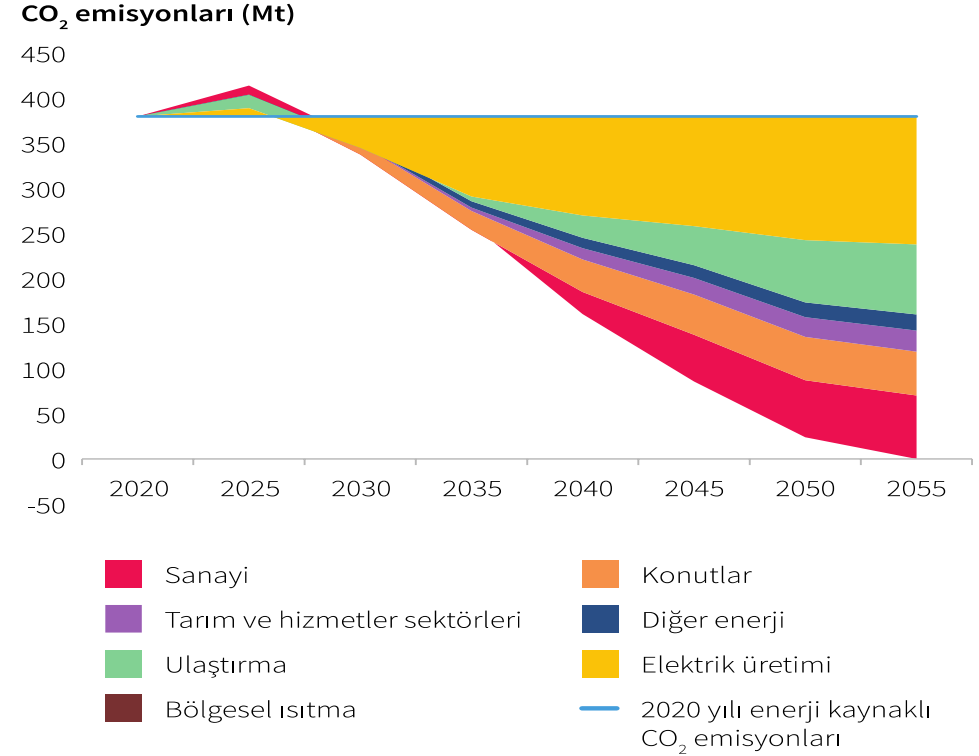


CO₂ Emisyonları Projeksiyonu

Elektrik sektörü



Sektörel bazda toplam CO₂ emisyon düşüşleri



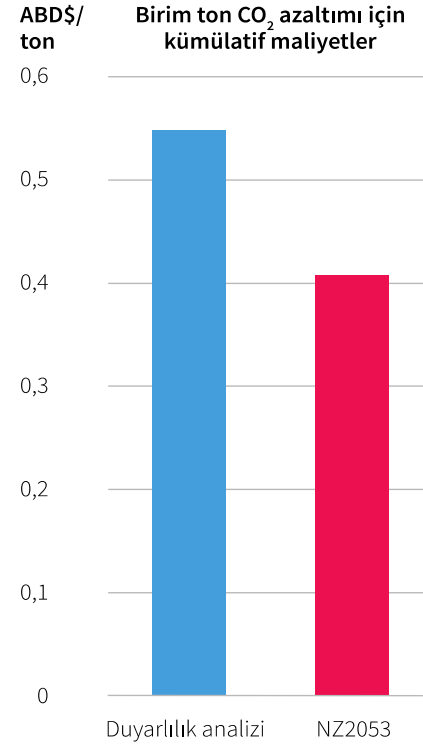
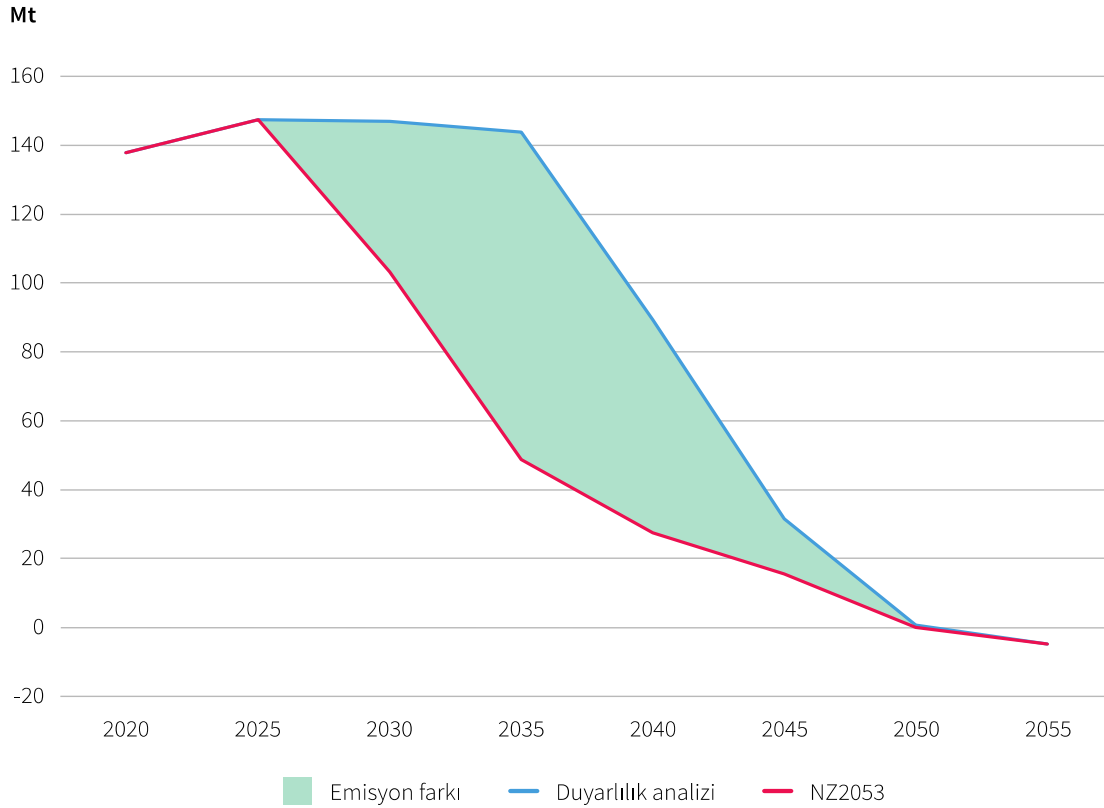
- Yenilenebilir enerji santralleri fosil yakıtlara ikame sağladıkça, **CO₂ emisyonları azalmaya devam etmektedir.**
- **Elektrik sektöründen** kaynaklanan CO₂ emisyonları, **BECCS (Biyokütle - CCS) kullanımıyla 2050'de negatif seviyelere ulaşmaktadır.**
- **2050 ile 2053 yılları arasında elektrik sektörünün negatif emisyonları, ulaşım ve sanayi sektörlerinden kaynaklanan artık emisyonları telafi ederek tüm enerji sistemi net sıfıra ulaşmaktadır.**

Geciktirilmiş Enerji Dönüşümü ve İklim Eylemi - Emisyonlar

Duyarlılık analizi, elektrik sektörü kümülatif emisyonlarının 2053 yılına kadar %46 daha yüksek ve 2031 ile 2050 arasında yakıt ithalat maliyetlerinin %20 daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Kümülatif CO2 emisyonları ve karbon azaltım maliyetleri



- Emisyon azaltma maliyeti çok daha yüksektir
- Fosil yakıt fiyat dalgalanmalarına maruz kalma riskleri önemli ölçüde yüksektir.
- 2040 ve 2050 arasındaki dönemde başta güneş ve rüzgâr olmak üzere **200 GW'ın üzerinde yeni kapasite kurulumunun tamamlanabilmesi, finansman, iş gücü ve ekipman tedariki açısından neredeyse imkansızdır.**

- **Türkiye 2053'te net sıfır karbon emisyonuna** yenilenebilir enerji yoğun bir sistemle ulaşabilir.
- Devam eden ekonomik büyümeye rağmen, **elektrifikasyon ve enerji verimliliği iyileştirmelerinin etkileri sayesinde 2053'teki enerji talebi 2020 seviyelerine gerilemektedir.**
- **Yenilenebilir enerji kaynakları, 2053 yılında elektrik üretiminin %90'ını karşılamaktadır (%38 güneş ve %39 rüzgar enerjisi).**
- **Son kullanıcı sektörlerinde elektrifikasyon 2053 yılında %54 seviyesine ulaşmaktadır.**
- **Elektrifikasyonun doğrudan uygulanamadığı durumlarda, karbonsuzlaşma yeşil hidrojen ve diğer e-yakıtlar (PtX) kullanılarak gerçekleştirilebilir. Toplam enerji talebinde e-yakıt oranı, 2053'te yaklaşık %15'e karşılık gelmektedir.**
- **Esneklik seçenekleri (depolamada 33 GW, elektrolizörlerde 70 GW) ve yenilenebilir enerji (hidroelektrik, biyokütle ve jeotermal) kaynakları sistem güvenliği ve kararlılığına katkı sağlamaktadır.**
- **Elektrik sektörü kaynaklı emisyonlar 2053 yılında negatif değerlere ulaşmaktadır.**
- **2020 – 2055 yılları arasında şebeke geliştirme dahil elektrik sektöründeki toplam yatırımlar yaklaşık 526 milyar ABD Doları olacaktır (yılda ortalama 15 milyar ABD Doları). Yatırımlar sonucunda enerji ithalatı bugünkü %69 seviyesinden 2053'te %9'a düşmektedir.**
- Enerji dönüşümünde ve iklim eylemlerinde gecikme, **elektrik sektörü kümülatif emisyonlarını %46 ve 2031-2053 yılları arasında yakıt ithalat harcamalarını %20 artırmaktadır.**

Teşekkürler!

Hasan Aksoy (hasan.aksoy@shura.org.tr)



Türkiye'de enerji dönüşümü ve özel sektör rolü. Dönüşüm enerjisi kapasite artırıyor



Türkiye'nin Elektrik Sektöründe yenilenebilir kaynaklara özel Pay İstemi (Sevkiye Kütümü ve Enerji) Öncelikli



"TÜRKİYE'DE YÜKÜK KAPASİTELİ YENİLENEBİLİR GEÇİCİ KİTAPÇIK FİNANSMANIN SÜREKLİLİK BİLİMLERİNE SAĞLANMASI" PANELLİ ÖZET RAPORU
12 Eylül 2016, İstanbul



Türkiye'de kullanılan elektrik 1000 ton fosfor kullanılabilir kaynaklardan sağlanabilir. Fosfor ve diğer enerji yollarından sistem olarak verilebilir



Rüzgâr ve güneş Türkiye'de enerji dönüşümüne hızla kullanılabilir. KİTAPÇIK ÖZETİ



Türkiye'de kullanılan elektrik 1000 ton fosfor kullanılabilir kaynaklardan sağlanabilir. Enerji dönüşümü destekleyen alanlar için yenilenebilir enerji için fosfor kullanımı artırılmalıdır



Türkiye'de kullanılan elektrik 1000 ton fosfor kullanılabilir kaynaklardan sağlanıyor. Sistem yenilenebilir enerjiler için fosfor kullanımı artırılmalıdır



Türkiye enerji sektöründe uygulamada ve piyasada enerji fosfor kullanımı



İstanbul'da çabı (sü) güneş enerji potansiyeli. Türkiye'de çabı (sü) güneş enerji potansiyeli hakkında araştırma için finansman modelleri ve politikalar



Türkiye'de enerji dönüşümünün önemi. Enerji dönüşümü Türkiye'de enerji dönüşümü için



Türkiye enerji dönüşümünde inovasyon ve patent eğilimleri



Enerji ve Ulaştırma Sektöründe Enerji Dönüşümüne Etkileri. Enerji, Fosfor ve Yenilenebilir Enerji



Türkiye'de Enerji Dönüşümünün Finansmanı



2030 yılına değin Türkiye'nin optimum elektrik üretimi kapasitesi



Türkiye Elektrik Sistemi için En İyi Enerji Kaynağı. Enerji verimliliği ve Yenilenebilir Enerji



Enerji Verimliliği Çözümü Sistem Enerjisi



Enerji Verimliliği Çözümü Enerji



Enerji Verimliliği Çözümü Piyasa Temelli Enerji Dönüşümü Araçları



Enerji Verimliliği Çözümü Enerji Dönüşümü



Enerji Verimliliği Çözümü Enerji Dönüşümü



Türkiye enerji dönüşümünü hızlandırmak için 2020 yılı sonuna değin enerji politikası mekanizması geliştirilmelidir. Şebeke ile ilgili rüzgâr ve güneş enerji kapasite artırılmalıdır



@shuraedm



@company/shura



Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Tedariki ve Bulunabilirliği



Priority Areas for a National Hydrogen Strategy for Turkey



Sürekli olarak enerji dönüşümü ile sürdürülebilir büyüme



Türkiye enerji dönüşümünü hızlandırmak için 2020 yılı sonuna değin enerji politikası mekanizması geliştirilmelidir. Şebeke ile ilgili rüzgâr ve güneş enerji kapasite artırılmalıdır



Türkiye'de elektrik üretimi, tüketimi ve karayolu taşımacılığında fosforün rolü kullanılması için araştırma