



**T.C. ENERJİ VE TABİİ  
KAYNAKLAR BAKANLIĞI**

**TÜRKİYE ULUSAL ENERJİ PLANI**

**2022**





**T.C. ENERJİ VE TABİİ  
KAYNAKLAR BAKANLIĞI**

**TÜRKİYE ULUSAL ENERJİ PLANI**

**2022**





## **İÇİNDEKİLER**

<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>i</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>iii</b>
<b>YÖNETİCİ ÖZETİ</b> .....	<b>v</b>
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 1: TEMEL GÖSTERGELER</b> .....	<b>3</b>
1.1. Nüfus.....	3
1.2. Ekonomi .....	3
1.3. Yakıt Fiyatları.....	3
<b>BÖLÜM 2: SEKTÖREL AKTİVİTE</b> .....	<b>5</b>
2.1. Sanayi Sektörü.....	5
2.2. Mesken Sektörü .....	6
2.2.1. Meskenlerde Termal Amaçlı Faydalı Enerji .....	6
2.2.2. Siyah Eşya, Beyaz Eşya ve Aydınlatma Ünite Sayıları.....	7
2.3. Hizmetler Sektörü.....	8
2.4. Tarım Sektörü .....	9
2.5. Ulaştırma Sektörü.....	9
<b>BÖLÜM 3: POLİTİKA TERCİHLERİ</b> .....	<b>13</b>
3.1. Karbon Fiyatları .....	13
3.2. Yutak Alanlar ve Karbon Yakalama Teknolojileri .....	13
3.3. Ulaştırma Sektörü.....	13
3.4. Mesken, Hizmetler ve Tarım Sektörleri .....	14
3.5. Santral Ömürleri, Ortalama EAK Oranı/KF, Yatırım Maliyetleri .....	14
3.6. Yenilenebilir Enerji.....	14



3.7.	Kömür ve Nükleer .....	15
3.7.1.	Kömür Santralleri .....	15
3.7.2.	Nükleer Santraller .....	15
3.8.	Doğal Gaz .....	15
3.9.	Hidrojen ve Sentetik Metan Üretimi .....	16
3.10.	Diğer Esneklik Kaynakları .....	17
3.11.	Enerji Verimliliği .....	17
<b>BÖLÜM 4: ÖNLEMLİ SONUÇLAR .....</b>		<b>19</b>
4.1.	Birincil Enerji Tüketimi .....	19
4.2.	Nihai Enerji Tüketimi .....	20
4.3.	Elektrik Tüketimi .....	21
4.4.	Elektrik Kurulu Gücü .....	22
4.5.	Devreye Alınan Yeni Kapasite .....	23
4.6.	Elektrik Üretimi .....	24
4.7.	Esneklik .....	26
<b>BÖLÜM 5: 2035 – 2053 DÖNEMİ ÖNGÖRÜLERİ .....</b>		<b>29</b>
<b>EK-1: ÖZET TABLOLAR .....</b>		<b>33</b>
<b>EK-2: TÜRKİYE ENERJİ MODELİ .....</b>		<b>37</b>
1.	Proje Bilgileri .....	37
2.	Proje Süreci .....	37
3.	Türkiye Enerji Modeli .....	40
4.	Türkiye Enerji Modelinin Ana Yapısı .....	41



## **ŞEKİLLER LİSTESİ**

Şekil 1. Hizmet Alt Sektörleri ve Nihai Kullanım Alanları.....	8
Şekil 2. Bazı AB Ülkeleri Bazında Kişi Başı Ortalama km ve GSYH ilişkisi .....	11
Şekil 3. Lojistik Fonksiyon .....	11
Şekil 4. Projeksiyon Yılları Boyunca Enerji Yoğunluğu Gelişimi .....	18
Şekil 5. Kaynaklara Göre Birincil Enerji Tüketimi .....	19
Şekil 6. Kaynaklara Göre Birincil Enerji Tüketiminin Dağılımı.....	20
Şekil 7. Sektörlere Göre Nihai Enerji Tüketimi.....	20
Şekil 8. Sektörlere Göre Nihai Enerji Tüketiminin Dağılımı.....	21
Şekil 9. Sektörlere Göre Elektrik Tüketimi .....	22
Şekil 10. Kaynaklara Göre Kurulu Güç.....	23
Şekil 11. Beşer Yıllık Dönemlerde Devreye Alınan Yeni Kapasite .....	24
Şekil 12. Kaynaklar Bazında Elektrik Üretimi.....	25
Şekil 13. Kaynaklar Bazında Elektrik Üretiminin Dağılımı.....	26
Şekil 14. Batarya Kapasitesinin Gelişimi .....	27
Şekil 15. Elektrolizör Kapasitesinin Gelişimi.....	27
Şekil 16. Talep Tarafı Katılımının Gelişimi.....	27
Şekil 17. Türkiye Enerji Modelinin Ana Yapısı.....	42







## **YÖNETİCİ ÖZETİ**

Türkiye Ulusal Enerji Planı çalışması 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun Arz Güvenliği başlıklı 20 nci maddesi ve 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu Ek Madde 2 gereğince hazırlanmış olup çalışma ufku ülkemizin 2053 Net Sıfır Emisyon Hedefi esas alınarak 2035 yılına kadar olan dönemi kapsamaktadır.

Raporun hazırlık aşamasında nüfus, ekonomik gelişim, yakıt fiyatları gibi temel göstergeler dikkate alınarak sanayi, mesken, hizmetler, tarım ve ulaştırma sektörlerinde enerji talebini oluşturan sektörel aktiviteler tahmin edilmiştir.

Raporda, T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığının (SBB) ekonomik büyüme öngörülleri kapsamında uzun dönemde özellikle imalat sanayi alt sektörleri bazında Kalkınma Planları ile uyumlu şekilde sektörel dönüşümlerin yaşanacağı varsayılmıştır.

Ülkelerin net sıfır emisyon hedeflerine ulaşabilmesi için birçok alternatif bulunmakla birlikte her alternatif farklı zorluklar içermektedir. Bu süreç, tüm sektörlerde büyük bir dönüşümü ve önceki dönemden farklı bir sistem bakışını gerektirmektedir.

Bu çalışma kapsamında Bakanlığımız tarafından hazırlanan senaryoda 2020-2035 döneminde;

- Birincil enerji tüketimi 205,3 Mtep'e yükselmekte,
- Elektrik tüketimi 510,4 TWh'e ulaşmakta,
- Elektrik enerjisinin nihai enerji tüketimi içindeki payı %24,9 oranına erişmekte,
- Enerji yoğunluğu %35,3 oranında azalmakta,
- Elektrik kurulu gücü;
  - Toplamda 189,7 GW'a,



- Güneş enerjisinde 52,9 GW'a,
- Rüzgar enerjisinde 29,6 GW'a,
- Nükleer enerjide 7,2 GW'a çıkmakta,
- Devreye alınması öngörülen kapasite 96,9 GW olarak gerçekleşmekte,
- Elektrik üretiminde kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %34,2'ye, yenilenebilir enerji kaynaklarının %54,7'ye yükselmekte,
- Elektrik kurulu gücünde kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %43,5'e, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %64,7 düzeyine yükselmekte,
- Esneklik gereksiniminin karşılanabilmesi için;
  - Batarya kapasitesi 7,5 GW'a (2 saat dolum süresi),
  - Elektrolizör kapasitesi 5,0 GW'a,
  - Talep tarafı katılımı 1,7 GW'a ulaşmaktadır.

Bununla birlikte, elektrik sektörü özelinde önümüzdeki dönemde yatırım ihtiyaçları küresel ve bölgesel krizler, salgın hastalıklar, uluslararası siyasi krizler gibi beklenmeyen gelişmeler ve enerji arz güvenliği, elektrik şebekesinin gereksinimleri vb. unsurlar ile birlikte değerlendirilerek gerekli ilave tedbirler alınacaktır.



## GİRİŞ

Türkiye Ulusal Enerji Planı çalışması, 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu'nun Arz Güvenliği başlıklı 20 nci maddesi ve 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu Ek Madde 2'de yer alan,

*“Uzun dönemli Türkiye Ulusal Enerji Planı çalışması, ilki bu maddenin yürürlük tarihinden itibaren bir yıl içinde olmak üzere her beş yılda bir Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Hazine ve Maliye Bakanlığı ve Kurum görüşleri de alınmak suretiyle Bakanlık tarafından hazırlanarak yayımlanır.”*

hükmü gereğince hazırlanmıştır.

Bu çalışma; Temel Göstergeler, Sektörel Aktivite, Politika Tercihleri, Net-Sıfır Emisyon Kısıtı Dikkate Alınarak Elde Edilen Sonuçlar (Önlemler) ve 2035 - 2053 Dönemi Öngörülerini olmak üzere beş ana bölüme ayrılmıştır. Çalışmanın eklerinde, Özet Tablolara ve Türkiye Ulusal Enerji Planının hazırlanmasında kullanılan Türkiye Enerji Modelinin ayrıntılarına yer verilmiştir.





## **BÖLÜM 1: TEMEL GÖSTERGELER**

### **1.1. Nüfus**

Nüfus verileri için Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) 2018-2080 dönemi projeksiyon çalışmasındaki referans senaryo değerleri kullanılmıştır.

### **1.2. Ekonomi**

Ekonomik büyüme değerleri için T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığının (SBB) büyüme verileri kullanılmıştır.

Türkiye Enerji Modelinde kritik bir öneme sahip olan imalat sanayi alt sektörleri bazında ekonomik katkının gelişimi incelenmiş ve gelişmiş ülkelere kıyasla söz konusu sektörlerin dağılımında kayda değer bir değişim potansiyeli dikkate alınarak detaylı analizlerin yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu çerçevede alt sektör büyüme tahminleri için bazı sektörlerde Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'nün (OECD) OECD ülkeleri ve OECD-dışı ülkeler için yapmış olduğu alt sektörlerle ilişkin tahminleri kullanılmış; bazı sektörlerde ise "Çok Boyutlu Ölçekleme Analizi" kullanılarak Kıyaslama (Benchmark) analizi yapılmıştır. Sektörel dönüşümlerin lojistik eğri yapısında gerçekleşeceği varsayılmıştır.

### **1.3. Yakıt Fiyatları**

Uzun dönemli yakıt fiyat tahminleri için Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Dünya Enerji Görünümü (WEO) 2021 raporunda mevcut politikalar senaryosu için kullanılan fiyatlar baz alınmıştır. Söz konusu fiyatlar IEA tarafından hazırlanan WEO 2022 raporuyla da ayrıca kıyaslanmış; önemli bir fark olmadığı gözlemlenmiştir. 2021 yılı son çeyreğinde hızla artan ve 2022 yılının ilk yarısında rekor düzeylerde seyreden enerji fiyatlarının, kısa ve orta dönemde (2030 yılına kadar) fiyat öngörülerini



etkileyeceği değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, IEA varsayımları 2035 yılı sonrası için kullanılmış; 2025 yılına kadar olan daha yakın dönem için uluslararası vadeli işlemler piyasasında 2022 yılı Mayıs ayı itibarıyla işlem görmekte olan kontrat fiyatları baz alınmıştır. 2030 yılı için ise 2025 ve 2035 yılları için kabul edilen fiyatlar interpolate edilmiştir.



## **BÖLÜM 2: SEKTÖREL AKTİVİTE**

### **2.1. Sanayi Sektörü**

Sektörel aktivite, her bir sektördeki faaliyeti temsil eden ve enerji talebini oluşturan bir büyüklüktür. Türkiye Enerji Modelinde yoğun enerji tüketen ya da toplam üretilen ürün miktarı tek bir büyüklük ile temsil edilebilen sanayi alt sektörleri aşağıdaki kırımlar bazında yer almaktadır.

- Demir Çelik
- Demir Dışı Metal
- Kağıt ve Kağıt Ürünleri
- Çimento
- Cam ve Seramik

Söz konusu sektörlerin aktivite verileri ilgili sektörlerdeki ürün üretimleri ile gösterilmektedir. Her bir alt sektörün ürün üretim projeksiyonları, dışsal olarak istatistiki yöntemler ile tahmin edilmiştir. Bu amaçla, ilk aşamada OECD-STAN veri tabanından ülkelerin sanayi alt sektörleri bazında 2000-2018 dönemine ait sektörel brüt katma değer (GVA) verileri temin edilmiştir. Sonraki aşamada, ülkemizdeki demir çelik, demir dışı metal, kağıt ve kağıt ürünleri, çimento, cam ve seramik sektörlerinin toplam imalat sanayi katma değeri içindeki paylarının benzerlik gösterdiği ülkeleri belirleyebilmek için “Kümeleme Analizi” yapılmıştır. Benzerlik gösteren ülkelerin söz konusu sektörlerdeki ürün üretimleri ile sektörel GVA payları arasında “Granger Nedensellik Analizi” yapılarak nedenselliğin yönü belirlenmiştir. Analiz sonucunda, ürün üretimlerindeki değişimleri GVA paylarındaki değişimlerle açıklamanın anlamlı olduğu görülmüştür. 2000-2018 dönemi için demir çelik, demir dışı metal, kâğıt ve kağıt ürünleri, çimento, cam ve seramik sektörlerine ilişkin ürün üretimlerindeki değişimler ile bu sektörlerle ilişkin GVA miktarları arasındaki değişimler kullanılarak



regresyon analizi yapılmış ve regresyon modelleri kurulmuş olup söz konusu modeller ile sektörlerdeki ürün üretim miktarları tahmin edilmiştir.

Türkiye Enerji Modelinde, enerji yoğun olmayan ya da üretilen ürün birimlerindeki değişkenliğin yüksek olması sebebiyle aktivitesi sektörel katma değer cinsinden gösterilmek durumunda olan sanayi alt sektörleri aşağıdaki kısımlar bazında temsil edilmektedir.

- Kimya-Petrokimya (Gübre ve Petrokimya, İlaç ve Kozmetik)
- Gıda-İçecek-Tütün
- Tekstil
- Mühendislik
- Diğer Sanayi (Madencilik, Ağaç ve Ağaç Ürünleri, Kauçuk ve Plastik, Mobilya ve Diğer)

Söz konusu sektörler için daha önceki aşamalarda tahmin edilen sektörel katma değer büyüklüklerinin, diğer sanayi alt sektörlerindeki sektörel katma değer ve üretilen ürün miktarı arasındaki esneklik dahilinde aktivitelere etki edeceği varsayılmıştır.

## **2.2. Mesken Sektörü**

### **2.2.1. Meskenlerde Termal Amaçlı Faydalı Enerji**

Literatürde yer alan çalışmalara göre; alan ısıtma ve soğutma, su ısıtma, pişirme, mesken enerji tüketiminin yaklaşık %80-85'ini oluşturmakta olup alan ısıtma tek başına mesken enerji tüketiminin yaklaşık %50-60'ını oluşturmaktadır. Türkiye Enerji Modelinde mesken sektörünün aktivitesi olarak faydalı enerji (Nihai enerjinin ilgili kullanım amacı için dönüştürülmesinden sonra kalan kısmıdır. Örneğin; lambaya ulaşan elektrik enerjisinin ışığa dönüşen kısmı faydalı enerjidir) kullanılmaktadır.





Modele girdi sağlayacak olan faydalı enerjinin tahmini için aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

Baz yılda (2018) kullanım alanı bazında termal amaçlı faydalı enerjinin dağılımını yapmak için her bir kullanım alanındaki nihai enerji tüketimleri ile ilgili spesifik enerji tüketimleri (SEC değeri) kullanılmaktadır.

$$\text{Faydalı Enerji} = \text{Nihai Enerji Tüketimi} \div \text{SEC Değeri}$$

$$\text{SEC Değeri} = 1 / \text{Verimlilik}$$

Baz yıl için ortalama SEC değerleri, Avrupa Birliği (AB) Binaların Performansı Kurumunun (Buildings Performance Institute Europe (BPIE)) veri tabanından faydalanılarak hesaplanmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda m<sup>2</sup> başına faydalı enerji tüketimleri ile m<sup>2</sup> tahminleri kullanılarak kullanım alanı bazında faydalı enerji tahminlerinin yapıldığı görülmüştür. Toplam hane m<sup>2</sup> değerlerinin tahmini için, başlangıç olarak 2020 yılına ait toplam hane m<sup>2</sup> değerleri kullanılmış olup sonraki yıllar için hanehalkı sayısı değişim oranına göre artış sağlanmıştır. Alan ısıtma için, ısıtma gün dereceleri (HDD) ve soğutma gün dereceleri (CDD) bakımından ülkemize benzer olarak değerlendirilen Avrupa'daki Akdeniz ülkelerinin ortalama m<sup>2</sup> başına faydalı enerji tüketimleri dikkate alınarak lojistik eğriye göre tahmin yapılmıştır.

### **2.2.2. Siyah Eşya, Beyaz Eşya ve Aydınlatma Ünite Sayıları**

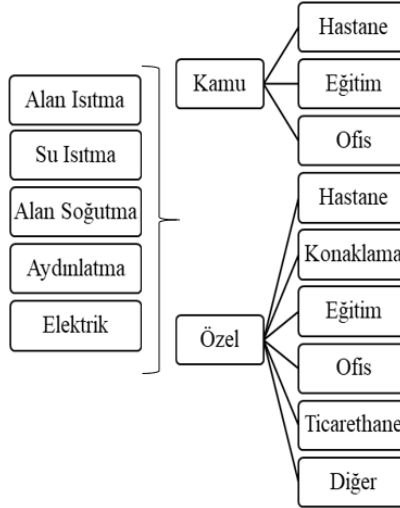
Baz yılda siyah eşya, beyaz eşya ve aydınlatma ünite sayılarının tahmini için literatürde yer alan veriler baz alınarak ev aletlerinin kullanım yoğunluğu ve güç tüketimleri ile ev aletlerinin toplam enerji tüketimleri kullanılmıştır. Hanehalkı başına siyah eşya, beyaz eşya ve aydınlatma ünite sayıları lojistik eğriye uygun şekilde tahmin edilmiştir. Hanehalkı sayısı tahminleri kullanılarak toplam siyah eşya, beyaz eşya ve aydınlatma ünite sayısı tahminlerine ulaşılmıştır.



### 2.3. Hizmetler Sektörü

Türkiye Enerji Modelinde hizmet sektörünün aktivitesi olarak faydalı enerji kullanılmaktadır. Modele girdi sağlayacak olan faydalı enerjinin tahmini için aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

Hizmet sektörünün aşağıda yer alan tablodaki nihai kullanımlarına göre 2018 baz yılı enerji tüketimleri, 9 alt hizmet sektörünün yüzölçümleri yüzdelere göre paylaştırılmıştır.



Şekil 1. Hizmet Alt Sektörleri ve Nihai Kullanım Alanları

Baz yılda yüzölçümü bazında faydalı enerjinin dağılımını bulmak için, her bir kullanım alanındaki nihai enerji tüketimleri ile ilgili SEC değeri kullanılmaktadır. SEC değerleri için HDD ve CDD bakımından ülkemize benzer olarak değerlendirilen Avrupa'daki Akdeniz ülkeleri seçilmiştir. Baz yıl için ortalama SEC değerleri, BPIE veri tabanından faydalanılarak hesaplanmıştır. 2005-2017 yılları arası 9 alt hizmet sektörüne ait yüzölçümü (m<sup>2</sup>) ile gayrisafi yurt içi hasıla (GSYH) arasında regresyon modeli kurularak her bir alt sektörün m<sup>2</sup> tahminleri yapılmıştır. Baz yılda hesaplanan birim m<sup>2</sup> başına faydalı enerji tüketimleri, tahmin dönemi boyunca sabit kabul edilerek yüzölçümü tahminlerine göre faydalı enerji öngörülmesi oluşturulmuştur.



## **2.4. Tarım Sektörü**

Türkiye Enerji Modelinde tarım sektörünün aktivitesi olarak faydalı enerji kullanılmaktadır. Modele girdi sağlayacak olan faydalı enerjinin tahmini için aşağıda yer alan çalışmalar yapılmıştır.

Türkiye'nin ekilebilir tarım alanları büyüklüğü değişimi ile tarım sektörüne ilişkin GSYH değişimi arasındaki ilişki incelenmiştir. Tarımsal ve hayvancılık bazlı üretilen ürünler ile enerji tüketimi arasında bir ilişki belirlenebilmesi için yıllara göre değişim serileri incelenmiş ve üretilen ürünlerin aynı birimde değerlendirilebilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Tarımsal enerji tüketimi, ekilebilir tarım alanı büyüklüğü, GSYH gibi parametreler doğrultusunda Türkiye'ye benzer ülkeler belirlenerek, tarım sektörüne ilişkin GVA - tarımsal enerji tüketimi ve toplam GSYH - tarımsal enerji tüketimi arasında regresyon analizleri yapılmıştır. Hizmet sektöründeki birim katma değer başına faydalı enerji ihtiyacının yıllar bazındaki değişimi tarım sektörü için de gösterge olarak kabul edilmiştir.

## **2.5. Ulaştırma Sektörü**

Türkiye Enerji Modelinde ulaştırma sektörü aktivitelerini, yolcu taşımacılığında yolcu-km ve yük taşımacılığında ton-km verileri oluşturmaktadır.

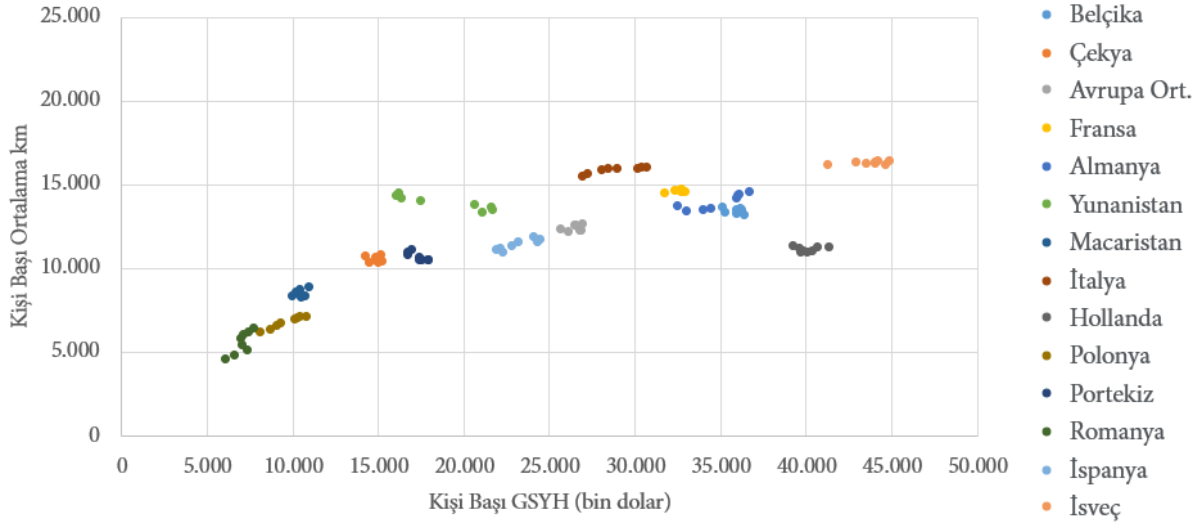
- **Yolcu Taşımacılığı (yolcu-km)**
  - **Özel Yolcu Taşımacılığı**
    - **Özel Araçlar (Otomobiller)**
    - **2 Tekerlekli**
    - **Metrolar**
  - **Kamu Yolcu Taşımacılığı**
    - **Otobüsler ve Minibüsler**
  - **Demiryolu Yolcu Taşımacılığı**
    - **Normal Trenler**



- Hızlı Trenler
- Denizyolu Yolcu Taşımacılığı
  - Gemiler
- Havayolu Yolcu Taşımacılığı
  - Uçaklar
- Yük Taşımacılığı (ton-km)
  - Karayolu Ağır Yük Taşımacılığı
    - Kamyonlar
  - Karayolu Hafif Yük Taşımacılığı
    - Kamyonetler
  - Demiryolu Yük Taşımacılığı
    - Trenler
  - Denizyolu Yük Taşımacılığı
    - Gemiler

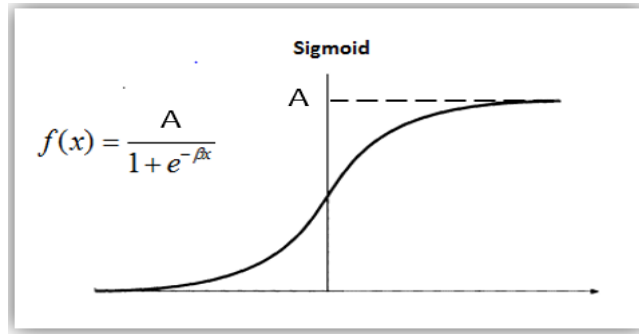
Ulaştırma sektörü kapsamında ilk olarak Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, TÜİK ve Avrupa İstatistik Ofisi (EUROSTAT) tarafından yayımlanan 1990-2020 dönemi yolcu-km ve ton-km verileri analiz edilmiştir. İlgili verilerden; yolcu-km’ler kapsamında tüm araç modlarına ilişkin doluluk oranları, ton-km’ler kapsamında tüm yük araç modlarına ilişkin kapasite faktörleri sektörel raporlardan ve literatürden derlenerek tahmin edilmiş ve baz yıl için yolcu-km ve ton-km değerleri oluşturulmuştur.

Yolcu-km ve ton-km tahmini için, AB Referans Senaryo 2020 ve Fit for 55 MIX senaryo sonuçları ülkeler bazında incelenmiştir. Ulaştırma sektörüne yönelik göstergeler kapsamında “Kümeleme Analizi” yapılmış olup hem benzer ülkeler hem de gelişmiş ülkeler bazında geçmiş veriler kullanılarak regresyon tahminleri oluşturulmuştur.



Şekil 2. Bazı AB Ülkeleri Bazında Kişi Başı Ortalama km ve GSYH İlişkisi

Yolcu-km ve ton-km tahminleri için GSYH, nüfus ve ülke yüzölçümü değişkenleri kullanılmıştır. Yapılan incelemeler ve regresyon analizi sonucunda, belirli bir ekonomik büyüme noktasında yolcu ve ton-km verilerinin doyum noktasına yaklaşacağını varsayan lojistik fonksiyon tercih edilmiştir.



Şekil 3. Lojistik Fonksiyon

Özel Yolcu Taşımacılığı, Kamu Yolcu Taşımacılığı, Demir Yolu Yolcu Taşımacılığı, Kara Yolu Yük Taşımacılığı, Demir Yolu Yük Taşımacılığı, Hava Yolu Yolcu Taşımacılığı ve Deniz Yolu Yük Taşımacılığına ilişkin aktivite oranları Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Master Planından ve AB Referans Senaryo 2020 - Fit for 55 MIX senaryo girdilerinden referans alınarak belirlenmiştir.





## **BÖLÜM 3: POLİTİKA TERCİHLERİ**

### **3.1. Karbon Fiyatları**

Türkiye Enerji Modelinde, emisyon azaltımını sağlamak amacıyla sektörel bazda ihtiyaç duyulan düzeyde karbon fiyatları belirlenmiştir.

### **3.2. Yutak Alanlar ve Karbon Yakalama Teknolojileri**

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ile yapılan istişareler sonucunda 2053 yılı için varsayılan yutak alan (AKAKDO) potansiyeli ve sektörlerin CO<sub>2</sub> emisyonları içindeki payları dikkate alınarak, net-sıfır emisyon hedefine ulaşabilmek amacıyla enerji sektörü ile elektrik ve ısı sektörü kaynaklı emisyonlar için üst sınır belirlenmiştir.

Literatür taraması sonucunda erişilen CCS maliyetleri, karbon yakalama teknolojisine sahip kömür ve doğal gaz santrallerinin ilk yatırım maliyet öngörülerini ve verimlilik değerleri kullanıldığında model tarafından karbon yakalama teknolojisine sahip yeni santral yatırım kararı alınmamıştır. Ancak sonraki yıllarda söz konusu santrallerin ilk yatırım maliyetinde kaydedilebilecek daha yüksek oranda düşüş ve verimlilik artışı ile kömür ve doğal gaz yakıtlı karbon yakalama teknolojisine sahip termik santrallerin üretim portföyüne dahil olabileceği değerlendirilmektedir.

### **3.3. Ulaştırma Sektörü**

Elektrikli araç sayısının gelişimine ilişkin Sanayi ve Teknoloji Bakanlığının 2035 yılına kadar olan dönem için paylaştığı senaryolar dikkate alınmıştır.

Karayollarında faaliyet gösteren araçların kullanmakta olduğu fosil yakıtlardaki baz yılda geçerli olan biyoyakıt karışım oranı çalışma ufku boyunca sabit



kabul edilmiştir. Havayollarında faaliyet gösteren araçlarda ise yeni nesil biyoyakıtların karışım içindeki payı literatürde yer alan çalışmalar doğrultusunda yükselmektedir.

### **3.4. Mesken, Hizmetler ve Tarım Sektörleri**

Emisyon azaltımının sağlanabilmesi amacıyla mesken, hizmetler ve tarım sektörlerinde ısıtma amaçlı kullanılan kazanlarda belirli bir tarihten itibaren belirli fosil yakıtların kullanımının olmayacağı öngörülmüştür.

### **3.5. Santral Ömürleri, Ortalama EAK Oranı/KF, Yatırım Maliyetleri**

Santral ilk yatırım maliyetleri için IEA'nın mevcut politikalar senaryosunda belirlemiş olduğu teknoloji bazlı maliyetler dikkate alınmıştır. Söz konusu maliyetler 2020, 2030 ve 2050 yılları için açıklanmakta olup Türkiye Enerji Modelinde ara yıllardaki değerler interpolate edilmiştir. IEA tarafından farklı ülkeler/bölgeler için maliyetler belirlenmekte olup Çin ve Avrupa Birliğinde geçerli olan maliyetlerin ortalaması modelde baz alınmıştır. Santral teknik ömürleri için IEA'nın Öngörülen Elektrik Üretim Maliyetleri 2020 yılı çalışması dikkate alınmıştır. Ekonomik ömür, santral ilk yatırım maliyetlerinin yıllıklandırılması için kullanılmakta olup teknik ömrün yaklaşık %60-75'ine karşılık gelmektedir. Yenilenebilir enerji santrallerinde ortalama kapasite faktörü (KF) ve diğer santrallerde emreamade kapasite oranı için ülkemizde geçmiş dönemde gerçekleştirmeler, uzun dönemdeki beklentiler ve literatürde yer alan değerler dikkate alınmıştır.

### **3.6. Yenilenebilir Enerji**

Ülkemizin elektrik sisteminde mevcut durumda sahip olduğu ve önümüzdeki dönemde sahip olabileceği esneklik imkanları ve yenilenebilir enerji potansiyeli





dikkate alınarak, rüzgar ve güneş gibi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimi içindeki paylarının yükseltilmesi planlanmıştır.

Bu doğrultuda 2035 yılında kurulu güç,

- Rüzgar enerjisinde 29,6 GW (24,6 GW kara, 5 GW deniz),
- Güneş enerjisinde 52,9 GW düzeyine yükselmektedir.

Diğer yenilenebilir enerji kaynakları için kurulu güç hidroelektrik santrallerde 35,1 GW, jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinde toplam 5,1 GW seviyesine yükselmektedir.

### **3.7. Kömür ve Nükleer**

#### **3.7.1. Kömür Santralleri**

Mevcut planlanan sahaların rezerv geliştirme sürecinde karşılaşılan sorunlar ve güçlükler dikkate alındığında, 2030 yılına kadar 1,7 GW yerli kömür santralının sisteme dahil olacağı öngörülmüştür. İthal kömür santralleri açısından, 2022 yılında 1,3 GW kurulu gücünde yeni bir ithal kömür santrali devreye girmiştir.

#### **3.7.2. Nükleer Santraller**

Türkiye Enerji Modelinde toplam sistem maliyetini minimize edecek şekilde yeni yatırım kararları alınmakta ve kaynakların kullanımı belirlenmektedir. Bu çerçevede, 2035 yılına kadar sistemdeki toplam nükleer enerji santrali kurulu gücü 7,2 GW'a ulaşmaktadır.

### **3.8. Doğal Gaz**

Mevcut durumda inşa halinde olan büyük güçte herhangi bir doğal gaz santrali bulunmamaktadır. 2030 yılına kadar süreçleri devam eden 2,4 GW kurulu gücün



devreye gireceği varsayılmıştır. Kesintili yenilenebilir enerji santrallerinin sistemde oluşturabileceği dengesizliğin yönetilebilmesine ve enerji arz güvenliğinin sürdürülebilirliğine katkı sağlamak amacıyla söz konusu yatırımlara ilave olarak 2035 yılına kadar yaklaşık 10 GW yeni doğal gaz kombine çevrim santrali yatırımının devreye alınabileceği varsayılmıştır.

Daha çok sanayide ısı ihtiyacının karşılanması için kullanılan ve elektrik ile ısının birlikte üretildiği küçük ölçekli gaz santrallerinin kapasitesi 2021-2025 döneminde 0,2 GW, 2026-2030 döneminde ise 0,4 GW civarında artış göstermektedir.

### **3.9. Hidrojen ve Sentetik Metan Üretimi**

Türkiye Enerji Modelinde emisyon azaltımını sağlamak amacıyla nihai sektörlerde kullanılan doğal gazın hidrojen ve sentetik metan gibi diğer temiz yakıtlarla karıştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu yakıtlar için farklı karışım varsayımları oluşturmak mümkündür. Bu doğrultuda söz konusu gaz karışımı içindeki hidrojenin 2035 yılı için payı %3,5 olarak belirlenmiştir. Hidrojen enerjisinin ilk aşamada yerinde tüketim ve sanayinin ihtiyacının karşılanmasına yönelik kullanılması öngörülmektedir.

Yukarıda tercih edilen politikalar doğrultusunda, 2035 yılı itibarıyla 5,0 GW'lık elektrolizör kapasitesine ulaşılmaktadır.

Bununla birlikte temiz kaynaklarda üretilen elektrik ile elde edilmiş hidrojen ve karbon yakalama teknolojileri aracılığıyla tutulmuş olan karbon, sentetik metan (CH<sub>4</sub>) üretmek için kullanılmaktadır. Ancak Türkiye Enerji Modelinde sentetik metanın 2035'ten sonraki yıllarda devreye alınabileceği değerlendirilmektedir.



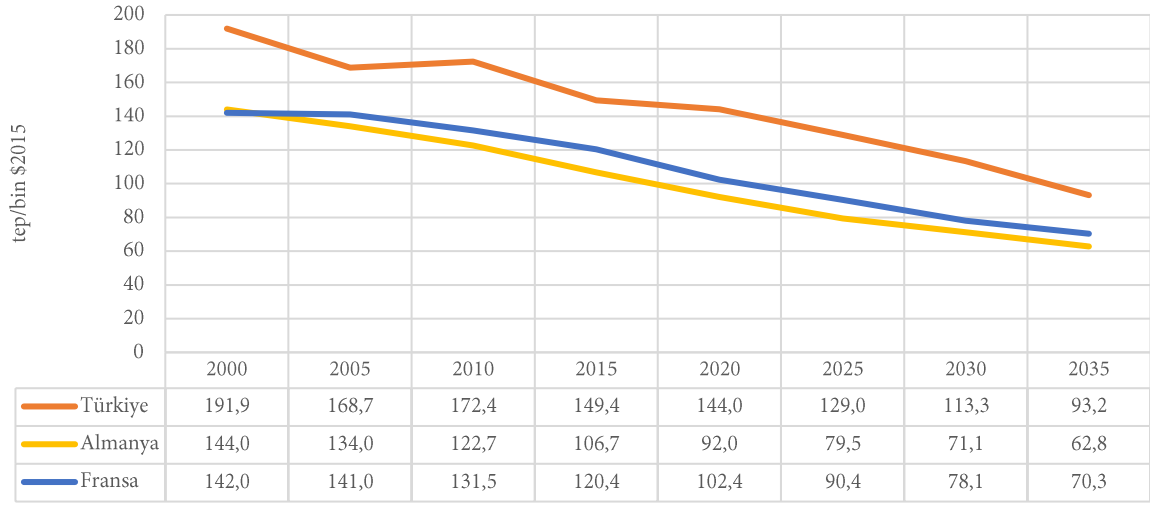
### **3.10. Diğer Esneklik Kaynakları**

Konvansiyonel elektrik üretim teknolojilerinin sisteme sağlamış olduğu esnekliğin yanı sıra elektrolizör kapasitesi, batarya depolama teknolojileri ve talep tarafı katılımı da sisteme katkı sağlama yeteneğine sahiptir. Hızla artan kesintili yenilenebilir enerji santralleri kurulu gücü, sistemde ihtiyaç duyulan esnekliği de artırmaktadır. Bu doğrultuda, sistemdeki batarya depolama kapasitesi (dolum süresi 2 saat varsayılmıştır) 2035 yılı itibarıyla 7,5 GW düzeyine yükselmektedir.

Literatürdeki çalışmalarda talep tarafı katılımı ile elde edilebilecek teorik katkının puant talebe oranı dikkate alınmış olup talep tarafında yük düşümü ve yük artışı yönünde sisteme aktif olarak katkı sağlayan kapasite 1,7 GW düzeyine yükselmektedir.

### **3.11. Enerji Verimliliği**

Çalışmada farklı düzeylerde ileri teknoloji ekipmanlarının kullanımı dahil olmak üzere verimlilik etkisi dikkate alınmıştır. 2000-2020 döneminde ülkemizdeki enerji yoğunluğu %25 oranında azalmıştır. Almanya ve Fransa'da söz konusu değişim %28-36 bandında gerçekleşmiştir. AB Referans Senaryo 2050 çalışmasında Almanya ve Fransa için elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, 2000-2035 döneminde enerji yoğunluğu %50-56 oranında düşüş göstermektedir. Ülkemiz için aynı dönemde enerji yoğunluğundaki iyileşmenin %51 olarak gerçekleşmesi öngörülmektedir. Söz konusu iyileşme oranları Almanya ve Fransa'da kaydedilmesi öngörülen iyileşmeye benzer düzeydedir.



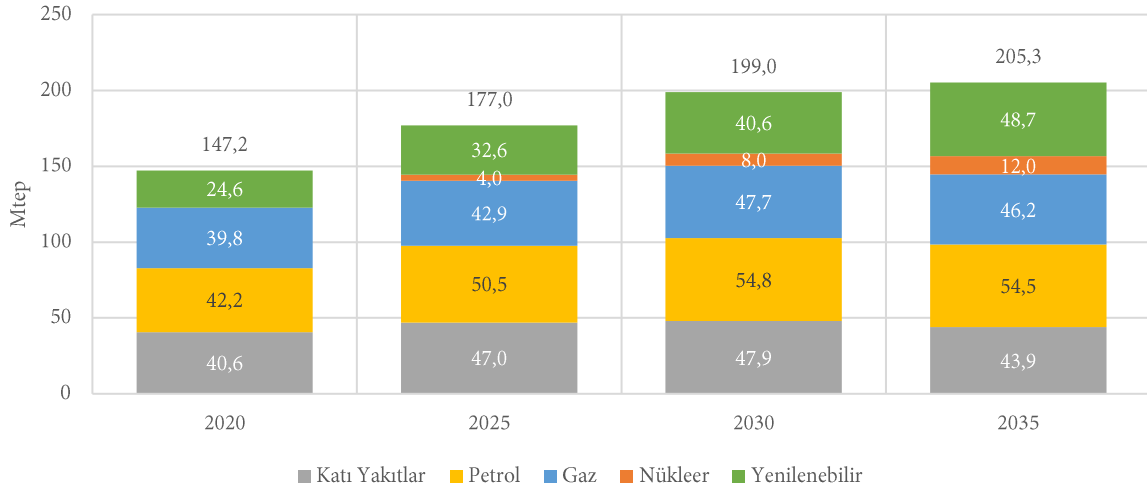
*Şekil 4. Projeksiyon Yılları Boyunca Enerji Yoğunluğu Gelişimi*



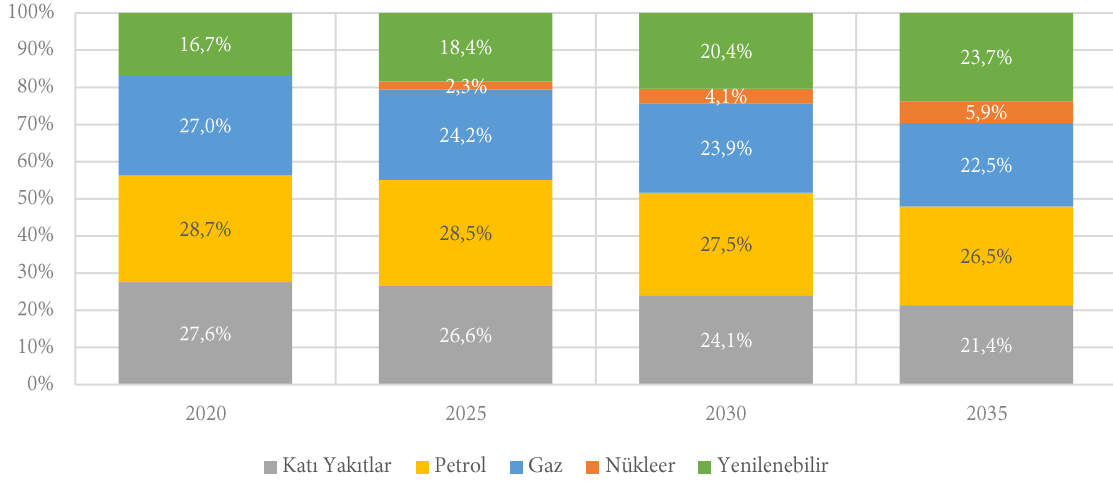
## BÖLÜM 4: ÖNLEMLİ SONUÇLAR

### 4.1. Birincil Enerji Tüketimi

Ülkemizin 2020 yılı birincil enerji tüketimi 147,2 Mtep olarak gerçekleşmiştir. 2035 yılına kadar birincil enerji tüketimi 205,3 Mtep'e yükselmektedir. 2000-2020 döneminde yıllık ortalama %3,1 oranında artış göstermiş olan birincil enerji tüketimi, 2020-2035 döneminde %2,2 düzeyinde artmaktadır. 2020 yılında 1,7 tep/kışı olan kışı başı birincil enerji tüketimi 2,1 tep/kışı düzeyine çıkmaktadır. 2020 yılında %16,7 olan birincil enerji tüketimi içindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2035 yılına kadar %23,7 bandına yükselmektedir. Nükleer enerji ise 2035 yılına kadar %5,9'luk paya ulaşmaktadır. 2020 yılında %83,3 olan fosil kaynakların payı 2035 yılına kadar %70,4 olarak gerçekleşmektedir. Kömürün payı %21,4'e inerken, petrol %26,5, doğal gaz %22,5'e gerilemektedir.



Şekil 5. Kaynaklara Göre Birincil Enerji Tüketimi

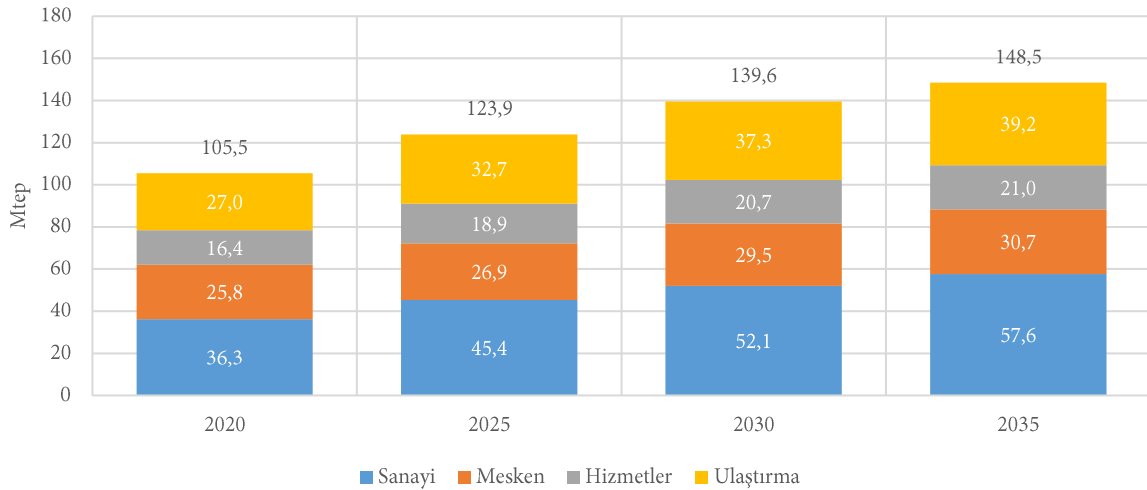


Şekil 6. Kaynaklara Göre Birincil Enerji Tüketiminin Dağılımı

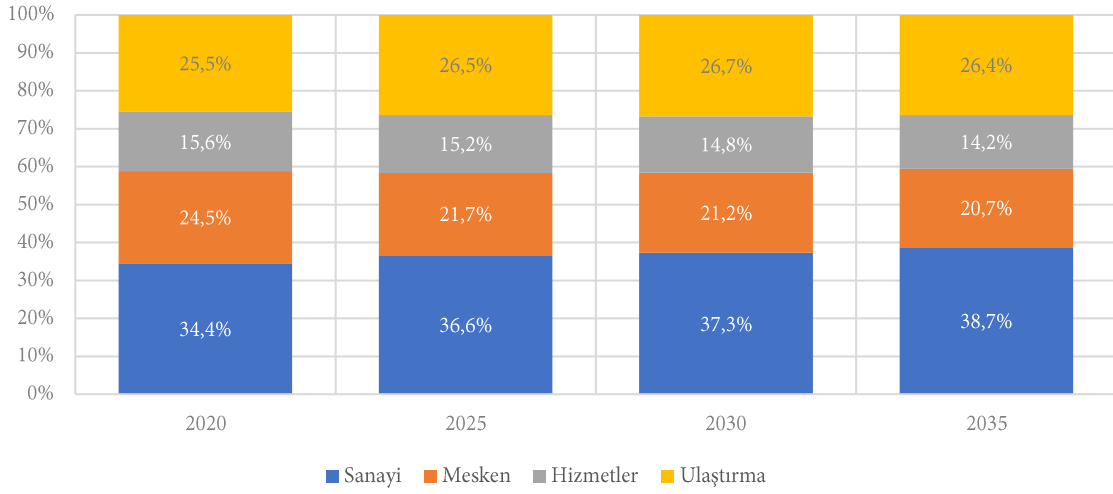
## 4.2. Nihai Enerji Tüketimi

2020 yılında 105,5 Mtep olan nihai enerji tüketimi 2035 yılına kadar 148,5 Mtep'e yükselmektedir.

2020 yılında %34,4 ile nihai enerji tüketimi içinde en yüksek paya sahip olan sanayi sektörünün payı 2035 yılına kadar %38,7'ye yükselmektedir. Mesken ve hizmetler sektörünün toplam içindeki %40,1'lik payı ise 2035 yılına kadar %34,9'a gerilemektedir.



Şekil 7. Sektörlere Göre Nihai Enerji Tüketimi



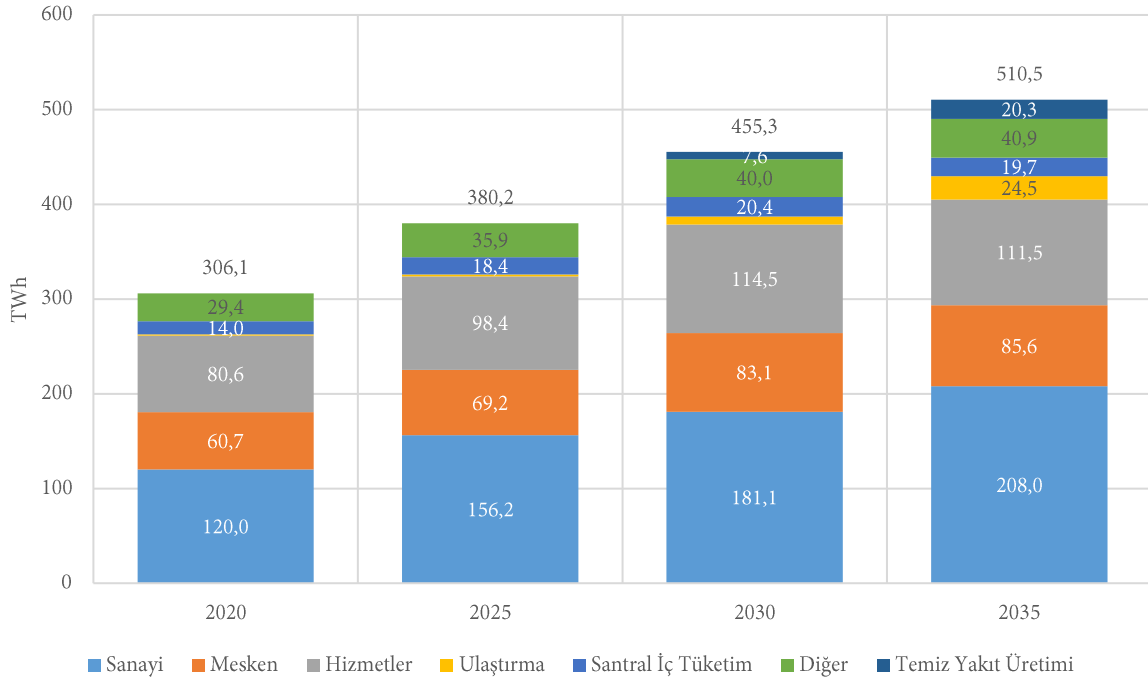
Şekil 8. Sektörlere Göre Nihai Enerji Tüketiminin Dağılımı

### 4.3. Elektrik Tüketimi

2000-2020 döneminde yılda ortalama %4,4 oranında artarak 128 TWh'ten 306,1 TWh'e yükselen elektrik tüketimi, 2035 yılına kadar yıllık ortalama %3,5 düzeyinde artarak 510,5 TWh seviyesine ulaşmaktadır.

Tahmin dönemi boyunca yıllık bazda sanayi sektöründe %3,7, meskenlerde %2,3, hizmetler sektöründe %2,2 yıllık ortalama elektrik tüketim artışı olacağı öngörülmektedir.

2020 yılında nihai enerji tüketimi içinde %21,8'lik orana sahip elektrik enerjisinin payı 2035 yılında %24,9'a ulaşmaktadır.

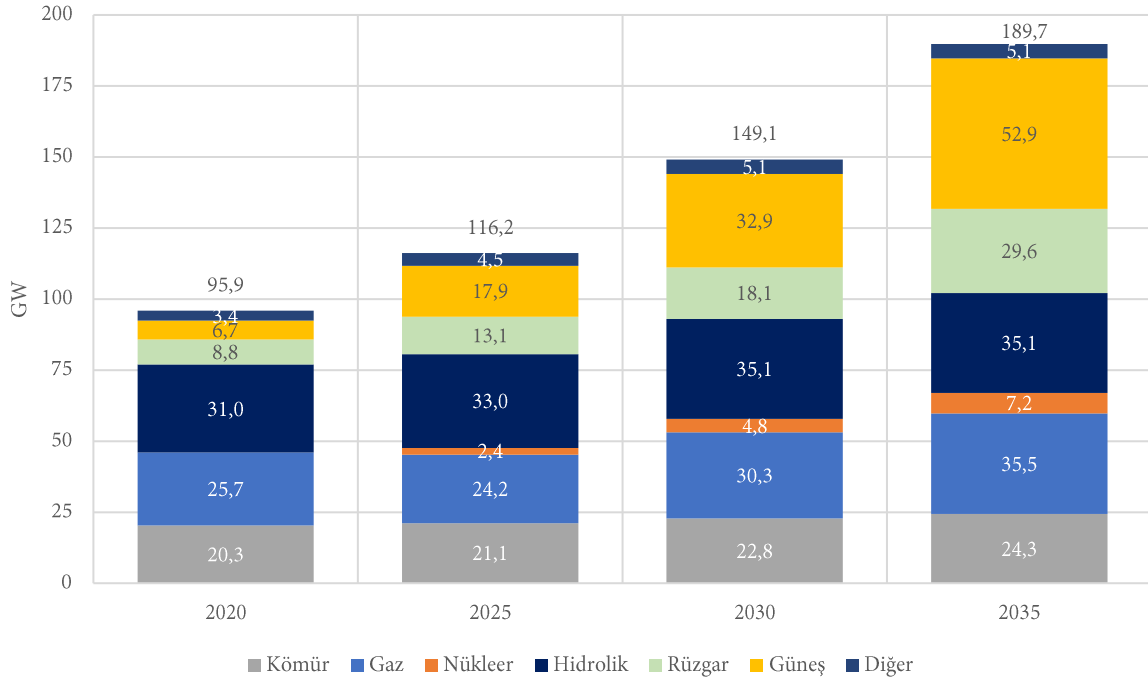


Şekil 9. Sektörlere Göre Elektrik Tüketimi

#### 4.4. Elektrik Kurulu Gücü

2020 yılında 95,9 GW olan elektrik kurulu gücü 2035 yılında 189,7 GW'a yükselmektedir. 2020 yılında kurulu güç içinde %52,0 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2035 yılına kadar %64,7'ye ulaşmaktadır. Hidroelektrik santraller, orta-uzun dönemde 35,1 GW kurulu güç değerine ulaşmaktadır. Rüzgar enerjisi kurulu gücü 29,6 GW'a ulaşmakta olup güneş enerjisi kurulu gücü 52,9 GW'a yükselmektedir. Mevcut durumda inşaatı devam eden Akkuyu NGS'ye ilave olarak yeni nükleer enerji santrallerine ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer başlığı altında gösterilmekte olan jeotermal ve biyokütle enerji santrallerinin kurulu gücü toplam 5,1 GW'a ulaşmaktadır.





Şekil 10. Kaynaklara Göre Kurulu Güç

#### 4.5. Devreye Alınan Yeni Kapasite

2021-2035 döneminde devreye alınması gereken yeni kapasite miktarı 96,9 GW düzeyindedir.

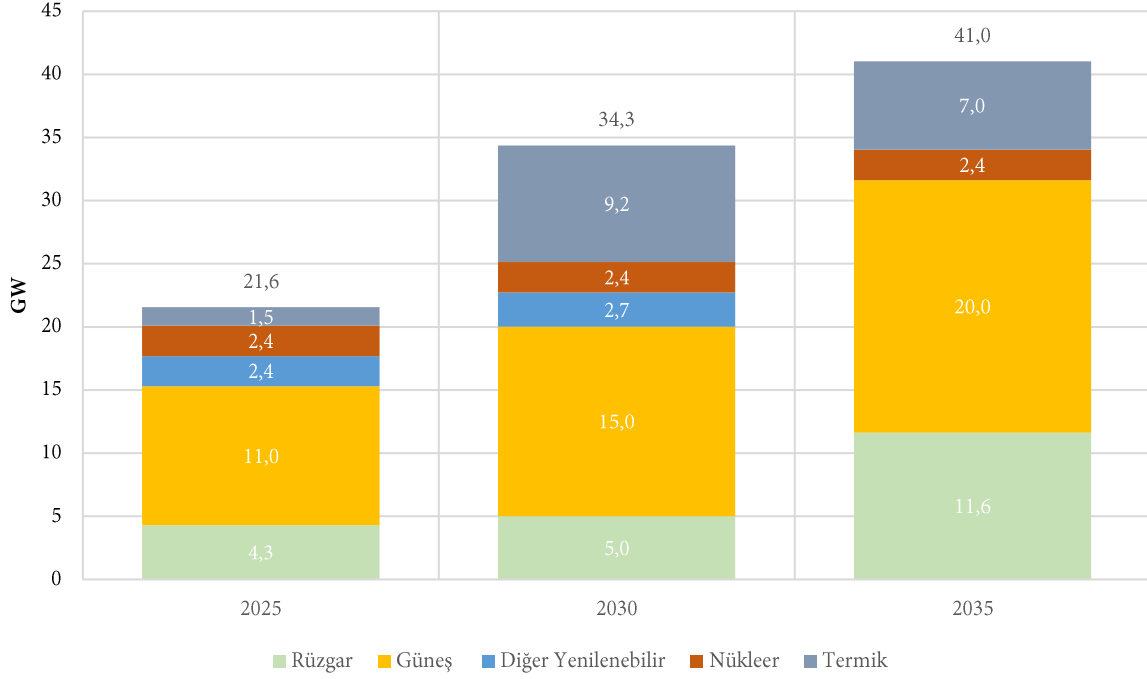
Beşer yıllık dönemler açısından 2021-2025 döneminde 21,6 GW, 2026-2030 döneminde 34,3 GW, 2031-2035 döneminde ise 41,0 GW gücünde yeni kapasitenin devreye alınması gerekmektedir.

Söz konusu kurulu güç artışının, büyük çoğunluğu güneş ve rüzgar enerjisi olmak üzere, %74,3'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Güneş ve rüzgar enerjisi için yıllık yeni kapasite gereksinimi sırasıyla ortalama 3,1 ve 1,4 GW'tır.

Ömürlerinin dolması nedeniyle devreden çıkacak santrallerin kurulu güçten eksilmesi ile devreye alınacak yeni kapasitenin kurulu güce yansması daha düşük düzeyde olmaktadır.



Kısa ve orta dönemde gerekli durumlarda Bakanlık tarafından yapılacak değerlendirme çerçevesinde model tarafından verilen sonuçlardan farklı ilave tedbirler alınabilecektir.



Şekil 11. Beşer Yıllık Dönemlerde Devreye Alınan Yeni Kapasite

## 4.6. Elektrik Üretimi

2020 yılında elektrik üretiminde %11,7 orana sahip kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2035 yılına kadar kademeli olarak %34,3'e yükselmektedir. Benzer şekilde, 2020 yılında elektrik üretiminde %42,4 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2035 yılına kadar %54,8'e çıkmaktadır.

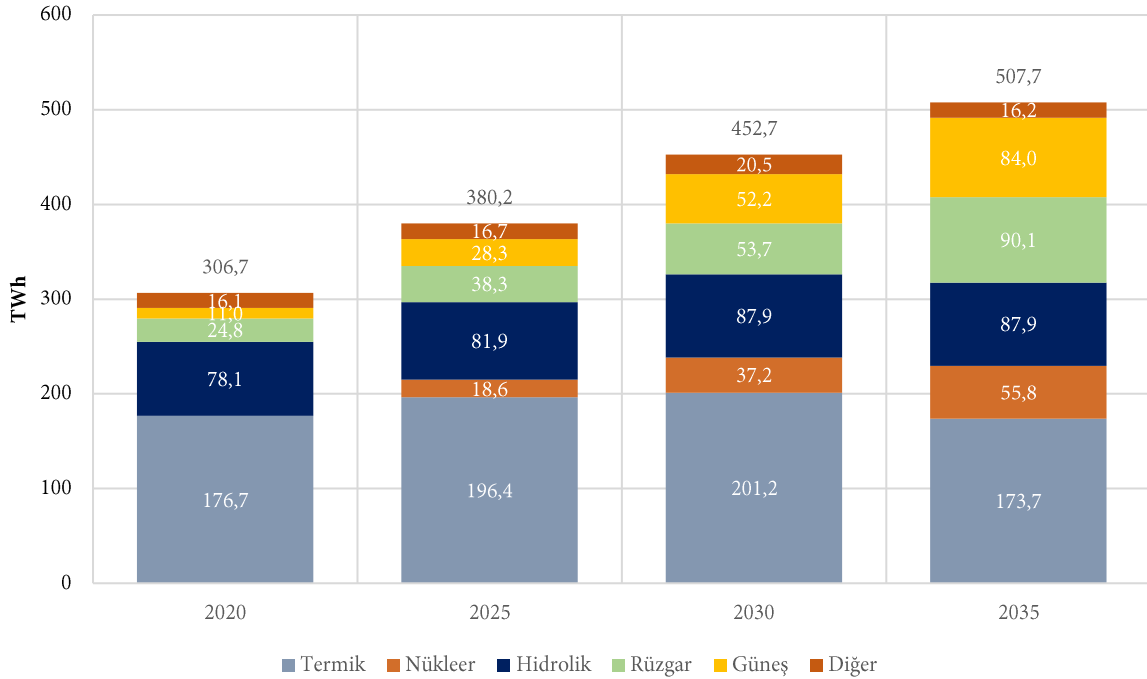
Mevcut durumda kurulu güç içinde en fazla paya sahip olan hidroelektrik santrallerin payı, maksimum kurulu güç potansiyeline yaklaşmış olmalarının ve toplam elektrik üretimindeki artışın etkisiyle 2035 yılında %17,3 olmaktadır.

Doğal gaz santralleri, diğer kaynaklardan gerçekleşen elektrik üretimindeki olası değişkenlikleri dengelediği için, dönemsel olarak sonuçlarda gösterilen

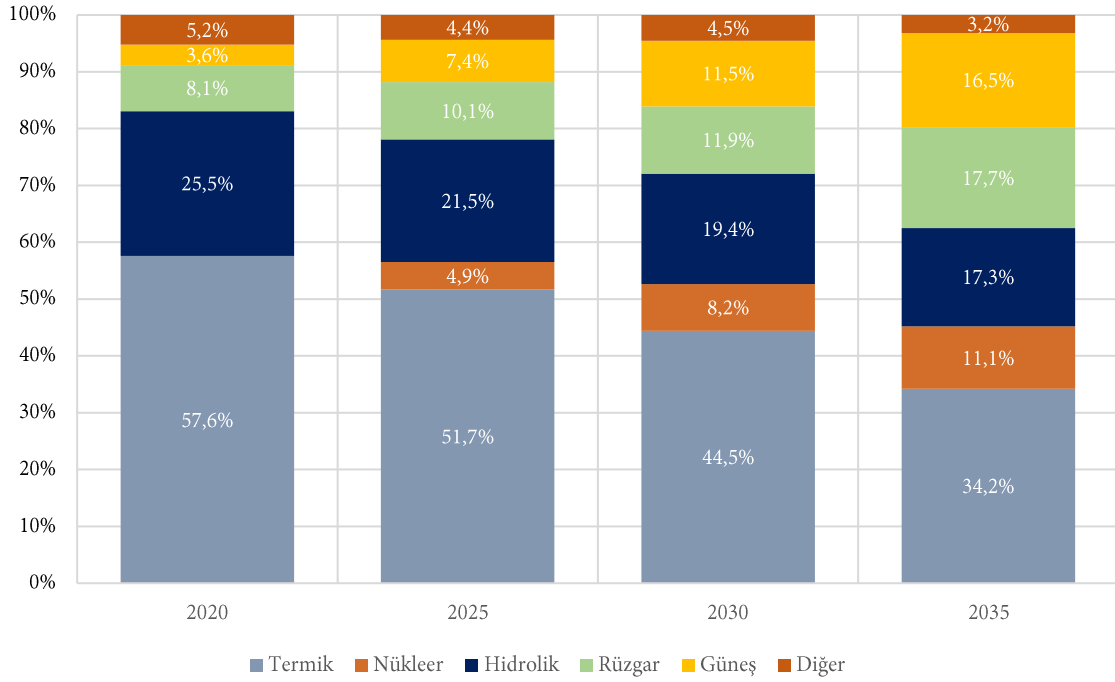


değerlerden daha yüksek ya da düşük katkı sağlayabilir. 2020 yılında üretimde %34,5 paya sahip olan kömür santrallerinden sağlanan elektrik üretimi 2035 yılına kadar azalarak devam etmektedir. Kömür santrallerinden elektrik üretimindeki rolü üstünde, elektrik ve ısı üretim sektörü için geçerli olacak karbon fiyatları belirleyici rol oynayacaktır. Bununla birlikte, elektrik arz güvenliğini teminen baz/esnek yük santrallerine uygulanan kapasite destekleme mekanizmasının Plan Döneminde devam etmesi öngörülmektedir.

İlave olarak, model tarafından bu aşamada, 2035 yılına kadar olan dönemde karbon yakalama teknolojisine sahip yeni bir kömür ya da doğal gaz santrali için yatırım kararı alınmamaktadır. Bununla birlikte, teknolojik gelişmelere bağlı olarak fiyatlardaki düşüşün hızlanması ile söz konusu teknolojilerin de kullanıma alınması durumunda kömürün elektrik üretimine bu çalışmada yer alan sonuçlardan daha yüksek bir katkı sağlaması mümkündür.



Şekil 12. Kaynaklar Bazında Elektrik Üretimi



Şekil 13. Kaynaklar Bazında Elektrik Üretiminin Dağılımı

## 4.7. Esneklik

Kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile sistemdeki esneklik gereksinimi artmaktadır.

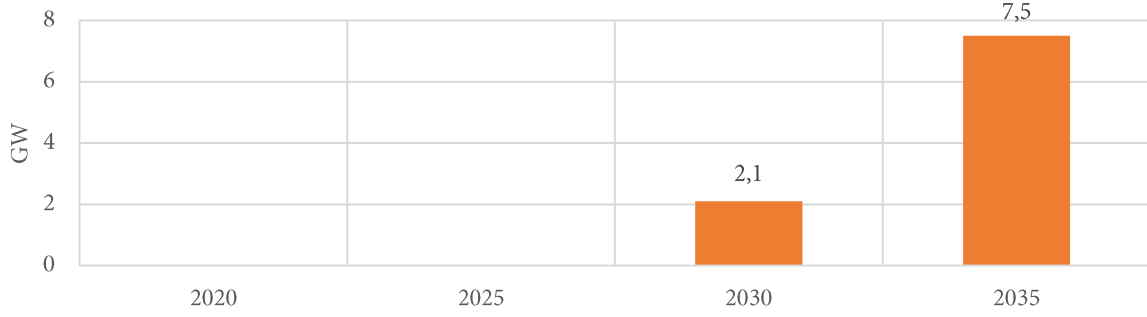
Esneklik gereksiminin; komşu ülkeler arasında enterkonneksiyon kapasitesinin artırılması, talep tarafı katılımı, batarya depolama, pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, elektrolizörler ile hidrojen üretimi gibi yöntemlerle, elektrikli araçların sisteme sağlayabileceği esneklik yoluyla ve esnekliği yüksek santraller ile karşılanması mümkündür.

Modelde, batarya kapasitesi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye giriş hızına göre artış göstermekte ve 2035 yılında 7,5 GW'lık kapasiteye ulaşmaktadır.

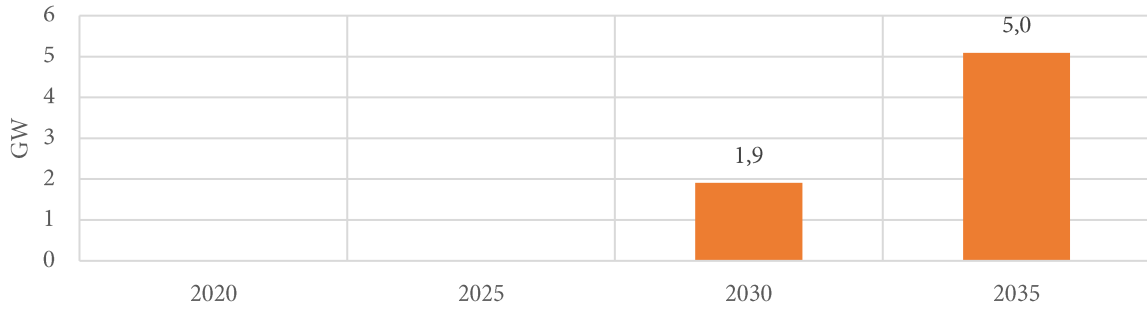
Elektrolizör kapasitesi, emisyon azaltımı hedefi kapsamında doğal gaz ile karıştırılması gereken hidrojen ve sentetik metanın miktarına bağlı olarak gelişmektedir.



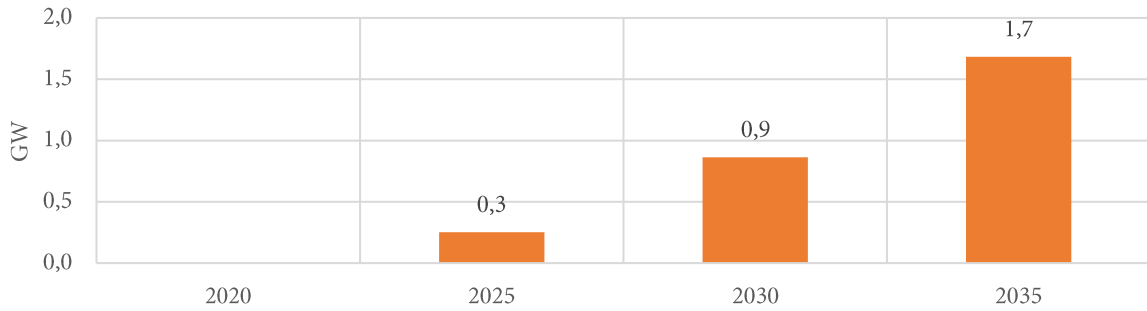
Talep tarafı katılımı açısından ise, talep tarafının yük düşüşü ve yük artışı yönünde sisteme sağladığı katkının, puant talebin gelişimine bağlı olarak artması gerekmektedir.



Şekil 14. Batarya Kapasitesinin Gelişimi



Şekil 15. Elektrolizör Kapasitesinin Gelişimi



Şekil 16. Talep Tarafı Katılımının Gelişimi

Önümüzdeki dönemde devreye alınabilecek rüzgar ve güneş enerjisi kapasite miktarlarından bağımsız olarak, rüzgar ve güneş enerjisi santralleri kapasite faktörlerinin düşük olduğu saat dilimlerinde daralabilecek arz-talep marjının



yönetilebilmesi önem arz edecektir. Bu çerçevede, batarya depolama, yeni baz/esnek kapasite gibi elektrik sistemine ilave esneklik sağlayabilecek unsurlar enerji arz güvenliği, elektrik şebekesinin gereksinimleri, maliyet, elektrik talebinin gelişim hızı, üretim portföyünün durumu vb. açısından değerlendirilerek ihtiyaç duyulabilecek ilave tedbirler alınacaktır.



## **BÖLÜM 5: 2035 – 2053 DÖNEMİ ÖNGÖRÜLERİ**

- Çalışmada TÜİK'in 2018-2080 dönemi projeksiyon verileri kullanılmıştır.
- Yıllık ortalama büyüme değerleri için SBB referans senaryo büyüme verileri kullanılmıştır.
- Planlama çalışmasında elektrikli araç gelişimi önem arz etmektedir. 2053 net sıfır emisyon hedefine ulaşılabilmesi için elektrikli araç sayısının aşamalı olarak artması gerekmektedir. Elektrikli araç sayısının gelişimine ilişkin 2035 yılına kadar olan gelişimde Sanayi ve Teknoloji Bakanlığında temin edilen senaryolar dikkate alınmış olup, aynı trend korunarak 2053 yılı öngörülerini oluşturulmuştur.
- Elektrik ve ısı üretimi sektörü için belirlenen emisyon üst sınırı hedefi ve bu doğrultuda seçilen karbon fiyatları çerçevesinde, Türkiye Enerji Modelinde toplam sistem maliyetini minimize edecek şekilde yeni yatırım kararları alınmakta ve kaynakların kullanımı belirlenmektedir.
- 2020 yılı birincil enerji tüketimi 147,2 Mtep olarak gerçekleşmiştir. 2000-2020 döneminde yıllık ortalama %3,1 oranında artış göstermiş olan birincil enerji tüketimi, 2020-2053 döneminde yıllık ortalama %1,5 düzeyinde artmaktadır.
- 2020 yılında 1,7 tep/kişi olan kişi başı birincil enerji tüketimi 2,4 tep/kişi düzeyine çıkmaktadır.
- 2020 yılında %16,7 olan birincil enerji tüketimi içindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2053 yılına kadar %50'ye yükselmektedir. Nükleer enerji ise %29,3'lük paya ulaşmaktadır.
- 2020 yılında %83,3 olan fosil kaynakların payı ise 2053 yılında %20,8 olarak gerçekleşmektedir. Kömürün payı %3,6'ya gerilerken, petrol %5,6, doğal gaz %11,7'ye gerilemektedir.
- 2020 yılında 105,5 Mtep olan nihai enerji tüketimi 2053 yılına kadar yıllık ortalama %1,3 oranında artış göstermektedir.



- 2000-2020 döneminde yılda ortalama %4,4 oranında artarak 128,3 TWh'ten 306,7 TWh'e yükselen elektrik tüketimi, 2053 yılına kadar yıllık ortalama %4,5 düzeyinde artış göstermektedir.
- 2020-2035 döneminde %3,5 artması öngörülen elektrik enerjisi tüketiminde 2035 yılı sonrası artış oranının, 2053 yılı için belirlenen net-sıfır emisyon hedefine ulaşılabilmesi adına elektrik enerjisinin nihai enerji tüketimi içindeki payının artmasıyla daha hızlı bir şekilde yükselmesi gerektiği görülmektedir. Bu şekilde 2035-2053 döneminde elektrik enerjisi tüketiminde yıllık ortalama artış oranı %5,2 düzeyine yükselmektedir.
- 2020 yılında nihai enerji tüketimi içinde %21,8'lik orana sahip elektrik enerjisinin payı 2053 yılında %55,6'ya ulaşmaktadır.
- 2020 yılında %42,4 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2053 yılına kadar %69,1'e çıkmaktadır. 2020 yılında elektrik üretiminde %11,7 orana sahip kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının payı 2053 yılına kadar kademeli olarak %61,4'e yükselmektedir. Bu değer, IEA ve Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) gibi kuruluşların öngörülleri ve AB'nin 2050 yılı Referans Senaryo çalışmasındaki yenilenebilir enerji kaynaklarının payıyla uyum göstermektedir.
- Mevcut durumda kurulu güç içinde en fazla paya sahip olan hidroelektrik santrallerin payı, maksimum kurulu güç potansiyeline yaklaşmış olmalarının ve toplam elektrik üretimindeki artışın etkisiyle uzun dönemde %10'un altına gerilemektedir.
- 2020 yılında üretime %23,1 oranında katkı sağlayan doğal gaz santrallerinin payı uzun dönemde gerilemektedir. Doğal gaz santralleri, diğer kaynaklardan gerçekleşen elektrik üretimindeki olası değişkenlikleri dengelediği için dönemsel olarak daha yüksek ya da düşük katkı sağlayabilir.
- 2020 yılında üretimde %34,5 paya sahip olan kömür santrallerinden sağlanan elektrik üretimi 2053 yılına kadar azalarak devam etmektedir. Ancak bu durum, sistemdeki kömür santrallerinin ömürleri dolmadan devreden çıkacağı anlamını taşımamaktadır. Sistemdeki tüm santraller, teknik ömürleri doluncaya kadar





elektrik üretimine katkıları azalsa da devrede kalmakta ve sisteme rezerv kapasite ile esneklik katkısı sunmaktadır. Kömür santrallerinden elektrik üretiminde, elektrik ve ısı üretim sektörü için geçerli olacak karbon fiyatları belirleyici rol oynayacaktır.

- Karbon yakalama teknolojisine sahip kömür ve doğal gaz santrallerinin ilk yatırım maliyet öngörülmesi sırasıyla 4113 \$/kW ve 2450 \$/kW olarak kabul edilmiş olup bu değerlerin 2053 yılına kadar yıllık ortalama %0,85 oranında azalacağı değerlendirilmektedir. Söz konusu santraller için verimlilik değeri kömürde %36,5, doğal gazda %51 olarak kabul edilmiştir. İlave olarak, model tarafından bu aşamada, 2053 yılına kadar olan dönemde karbon yakalama teknolojisine sahip yeni bir kömür ya da doğal gaz santrali için yatırım kararı alınmamaktadır. Bununla birlikte, teknoloji fiyatlarındaki düşüşün hızlanması ile söz konusu teknolojilerin de kullanıma alınması durumunda kömürün elektrik üretimine bu çalışmada yer alan sonuçlardan daha yüksek bir katkı sağlaması mümkündür. Bu durumda, ihtiyaç duyulacak nükleer enerji santrali kurulu gücü de düşüş gösterebilecektir.
- Sistemde oluşacak esneklik ihtiyacına bağlı olarak batarya, elektrolizör ve talep tarafı katılımı gibi araçların sisteme artarak katkı vereceği değerlendirilmektedir.
- Kesintili kaynakların toplam üretim içindeki hedeflenen ve gerçekleşen payına bağlı olarak, 2053 net-sıfır emisyon hedefi doğrultusunda ihtiyaç duyulan nükleer enerji santrali kapasitesi değişkenlik gösterecek olup kurulu güçteki payının %8,4'e ulaşması öngörülmektedir. Nükleer enerji santrali kurulu güç gelişiminin makul bir yatırım planı dahilinde gerçekleştirilebilmesi için beşer yıllık dönemlerde devreye alınabilecek kapasite üst sınırı kademeli olarak artırılmıştır.
- 2053 yılı için belirlenen net-sıfır emisyon hedefine ulaşabilmek adına nihai sektörlerde kullanılan doğal gazın hidrojen ve sentetik metan gibi diğer temiz yakıtlarla karıştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda, söz konusu gaz karışımı içindeki hidrojenin enerji eşdeğeri açısından payı, 2030-2035 yılı kapsamında Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) çalışmalarıyla uyumlu olacak şekilde belirlenmiş olup sonraki dönemler için de



literatürde yer alan çalışmalarda geçmekte olan genel kabul görmüş oranlar dikkate alınmış ve doğal gazla karışım oranı kademeli olarak hidrojenle %12'ye sentetik metanla %30'a çıkarılmıştır.

- Hidrojen ve sentetik metan üretimi için ihtiyaç duyulacak elektrik enerjisi ulaştırma sektöründe olduğu gibi 2035 yılından itibaren hızla artış göstermekte ve bu amaçla kullanılacak elektrik enerjisi miktarının toplam elektrik tüketimindeki payı %17,6'ya ulaşmaktadır.
- Değişken yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile sistemdeki esneklik gereksinimi artmaktadır. Esneklik gereksiniminin; komşu ülkeler arasında enterkonneksiyon kapasitesinin artırılması, talep tarafı katılımı, batarya depolama, pompaj depolamalı hidroelektrik santraller, elektrolizörler ile hidrojen üretimi gibi yöntemlerle, elektrikli araçların sisteme sağlayabileceği esneklik yoluyla ve esnekliği yüksek santraller ile karşılanması mümkündür. Elektrolizör kapasitesi, net-sıfır emisyon hedefi kapsamında doğal gaz ile karıştırılması gereken hidrojen ve sentetik metanın miktarına bağlı olarak gelişmektedir. Talep tarafı katılımı açısından ise, talep tarafının yük düşüşü ve yük artışı yönünde sisteme sağladığı katkının, puant talebin gelişimine bağlı olarak artması gerekmektedir.
- Kısa ve orta dönemde küresel ve bölgesel ekonomik krizler, salgın hastalıklar, uluslararası siyasi krizler vb. beklenmeyen gelişmeler durumunda model tarafından verilen sonuçlardan farklı ilave tedbirler alınabilecektir.



## EK-1: ÖZET TABLOLAR

Birincil Enerji Tüketiminde Kaynaklar (Mtep)

	2025	2030	2035
Katı Yakıtlar	47,0	47,9	43,9
Petrol	50,5	54,8	54,5
Gaz	42,9	47,7	46,2
Nükleer	4,0	8,0	12,0
Yenilenebilir	32,6	40,6	48,7
Toplam	177,0	199,0	205,3

Birincil Enerji Tüketiminde Kaynakların Payı

	2025	2030	2035
Katı Yakıtlar	26,6%	24,1%	21,4%
Petrol	28,5%	27,5%	26,5%
Gaz	24,2%	23,9%	22,5%
Nükleer	2,3%	4,1%	5,9%
Yenilenebilir	18,4%	20,4%	23,7%
Toplam	100,0%	100,0%	100,0%

Nihai Enerji Tüketiminde Kaynaklar (Mtep)

	2025	2030	2035
Katı Yakıtlar	15,7	16,5	15,4
Sıvı Yakıtlar	41,9	45,5	45,3
Gaz	29,4	33,7	36,7
Yenilenebilir	5,7	7,0	10,4
Isı	3,4	3,9	4,1
Elektrik	27,7	33,0	36,6
Toplam	123,8	139,6	148,5

Nihai Enerji Tüketiminde Kaynakların Payı

	2025	2030	2035
Katı Yakıtlar	12,6%	11,8%	10,3%
Sıvı Yakıtlar	33,8%	32,6%	30,5%
Gaz	23,8%	24,2%	24,7%
Yenilenebilir	4,6%	5,0%	7,0%
Isı	2,8%	2,8%	2,8%
Elektrik	22,4%	23,6%	24,7%
Toplam	100,0%	100,0%	100,0%



**Nihai Enerji Tüketiminde Sektörler (Mtep)**

	2025	2030	2035
Sanayi	45,4	52,1	57,6
Mesken	26,9	29,5	30,7
Hizmetler	18,9	20,7	21,0
Ulaştırma	32,7	37,3	39,2
Sektörler Toplam	123,9	139,6	148,5

**Nihai Enerji Tüketiminde Sektörlerin Payı**

	2025	2030	2035
Sanayi	36,6%	37,3%	38,7%
Mesken	21,7%	21,2%	20,7%
Hizmetler	15,2%	14,8%	14,2%
Ulaştırma	26,5%	26,7%	26,4%
Sektörler Toplam	100,0%	100,0%	100,0%

**Elektrik Tüketiminde Sektörler (TWh)**

	2025	2030	2035
Sanayi	156,2	181,1	208,0
Mesken	69,2	83,1	85,6
Hizmetler	98,4	114,5	111,5
Ulaştırma	2,2	8,5	24,5
Sektörler Toplam	326,0	387,3	429,6
Santral İç Tüketim	18,4	20,4	19,7
Diğer	35,9	40,0	40,9
Temiz Yakıt Üretimi	-	7,6	20,3
Toplam	380,2	455,3	510,5

**Elektrik Tüketiminde Sektörlerin Payı**

	2025	2030	2035
Sanayi	47,9%	46,8%	48,4%
Mesken	21,2%	21,5%	19,9%
Hizmetler	30,2%	29,6%	26,0%
Ulaştırma	0,7%	2,2%	5,7%
Sektörler Toplam	100,0%	100,0%	100,0%



Elektrik Üretiminde Kaynaklar (TWh)

	2025	2030	2035
Termik	196,4	201,2	173,7
Nükleer	18,6	37,2	55,8
Hidrolik	81,9	87,9	87,9
Rüzgar	38,3	53,7	90,1
Güneş	28,3	52,2	84,0
Diğer	16,7	20,5	16,2
Toplam	380,2	452,7	507,7

Elektrik Üretiminde Kaynakların Payı

	2025	2030	2035
Termik	51,7%	44,5%	34,2%
Nükleer	4,9%	8,2%	11,1%
Hidrolik	21,5%	19,4%	17,3%
Rüzgar	10,1%	11,9%	17,7%
Güneş	7,4%	11,5%	16,5%
Diğer	4,4%	4,5%	3,2%
Toplam	100,0%	100,0%	100,0%

Elektrik Kurulu Gücü (GW)

	2025	2030	2035
Kömür	21,1	22,8	24,3
Gaz	24,2	30,3	35,5
Nükleer	2,4	4,8	7,2
Hidrolik	33,0	35,1	35,1
Rüzgar	13,1	18,1	29,6
Güneş	17,9	32,9	52,9
Diğer	4,5	5,1	5,1
Toplam	116,2	149,1	189,7

Devreye Alınan Yeni Kapasite (GW)

	2025	2030	2035
Rüzgar	4,3	5,0	11,6
Güneş	11,0	15,0	20,0
Diğer Yenilenebilir	2,4	2,7	0,0
Nükleer	2,4	2,4	2,4
Termik	1,5	9,2	7,0
Toplam	21,6	34,3	41,0



Diğer Göstergeler

	2025	2030	2035
Birincil Enerji Yoğunluğu (tep/bin \$2015)	128,9	113,3	93,2
Nihai Enerji Yoğunluğu (tep/bin \$2015)	90,2	79,5	67,4



## **EK-2: TÜRKİYE ENERJİ MODELİ**

### **1. Proje Bilgileri**

2013 yılı Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı (IPA) programı kapsamında AB tarafından finanse edilen ve Bakanlığımızın ana faydalanıcısı olduğu “Uzun Dönemli Enerji Senaryoları ve Kapasite Geliştirme Projesi” 2018 yılı Ekim ayında başlamıştır.

Projenin amacı, Bakanlığımızın uzun dönemli birincil enerji arz ve talep tahminlerinin oluşturulması konusunda kapasitenin temel teorik ve pratik eğitimler vasıtasıyla geliştirilmesi ve danışman firma ile birlikte Türkiye Enerji Modelinin geliştirilerek kullanımının sağlanmasıdır.

Modelin Bakanlığımızda kullanımı hususunda devamlılığı sağlayabilmek adına yapılan tüm eğitimlerde video ve ses kaydı alınmış, geliştirilen ürün kodları birlikte Bakanlığımıza teslim edilmiştir.

### **2. Proje Süreci**

Projenin ihtiyaçlarına yönelik olarak 300 saatin üzerinde eğitim programı gerçekleştirilmiştir. Birinci faz eğitimler Aralık 2018-Şubat 2020 döneminde, ikinci faz eğitimler Haziran 2020-Aralık 2020 döneminde, üçüncü faz eğitimler 2021 yılı Mayıs ayında tamamlanmıştır.

- 2018 yılı Aralık ayı ve 2019 yılı Ocak ayında birer hafta süren eğitimler ile Bakanlığımız kuruluşları ve ilgili diğer Bakanlıklardan yaklaşık 60 kişinin katılımı ile enerji sektörüne ilişkin temel eğitimler düzenlenmiştir. Eğitim konuları şu şekildedir:
  - Temel Makroekonomik Analiz ile Enerji Arz-Talep İlişkisi
  - Ekonomik Büyüme ve Enerji Tüketimi İlişkisi
  - Enerji Modellemesine İlişkin Tanımlamalar ve Temel Kavramlar



- Enerji Denge Tablolarının Analizi
- AB Ülkelerinde Enerji Planlama Uygulamaları
- Yaygın Olarak Kullanılan Enerji Sektörü Modelleme Araçları ve Yaklaşımları
- Veri Gereksinimleri
- Matematiksel Programlamada Temel Kavramlar
- 2019 yılı Mart ayında Türkiye Enerji Modelinin kurgulandığı matematiksel yazılım olan GAMS programı ve elektrik/ısı üretim sektörüne ilişkin eğitim alınmıştır. Eğitim konuları şu şekildedir:
  - Türkiye Enerji Modelinin Temel Özellikleri
  - GAMS Programında Kodlama ve Uygulama
  - Elektrik/Isı Üretim Sektörlerine İlişkin Kısıtların ve Kodların Tanıtımı, GAMS Üzerinde Uygulama
- 2019 yılı Haziran ayında Türkiye Enerji Modelinin enerji arz kısmına yönelik eğitim alınmıştır. Eğitim konuları şu şekildedir:
  - Türkiye Enerji Modelinin Kurulumu
  - Türkiye Enerji Modeli Arz Modülü: Elektrik, Isı/Buhar Üretimi
  - Enerji Fiyatlaması
  - Biyokütle Modülü
  - Türkiye Enerji Modeli Arz Modülüne İlişkin Uygulamalar – Senaryo Çalışmaları
- 2019 yılı Temmuz ayında Türkiye Enerji Modelinin enerji talep kısmına yönelik eğitim alınmıştır. Eğitim konuları şu şekildedir:
  - Enerji Talebine Giriş
  - Aktivitenin Enerji Talebi ile İlişkisi
  - Ayrık Seçim Teorisi (Discrete Choice Theory)
  - Türkiye Enerji Modeli Talep Modülünde Sanayi, Mesken, Hizmetler ve Tarım Sektörleri
  - Türkiye Enerji Modeli Talep Modülüne İlişkin Uygulamalar – Senaryo Çalışmaları





- 2019 yılı Aralık ayında Türkiye Enerji Modeline ilişkin tespit edilen eksiklikler ve değiştirilmesi gereken hususlar çerçevesinde değişiklikler yapılmış ve eğitim alınmıştır. Eğitim konuları şu şekildedir:
  - Enerji Talebi ile ilgili Uygulamalar
  - Elektrik Arz Modülünün Yeni Versiyonu
  - Referans Senaryo Oluşturulması için Öneriler
  - Uzun Dönemli Makroekonomik Tahminler
- 2020 yılı Şubat ayında Türkiye Enerji Modelinde senaryo oluşturulması ve ileri düzeyde kullanıma yönelik eğitim alınmıştır. Eğitim konuları şu şekildedir:
  - Yenilenebilir Enerji Senaryosu
  - Enerji Verimliliği Senaryosu
  - CO<sub>2</sub> Senaryosu
  - Birleştirilmiş Senaryo
  - Aktivite İhtiyacının Hesaplanması
- 2020 yılı Haziran ayında Türkiye Enerji Modelinin kalibrasyonuna yönelik eğitim alınmıştır. Eğitim konuları şu şekildedir:
  - Enerji Talep Modülünün Kalibrasyonu
  - Enerji Arz Modülünün Kalibrasyonu
  - Biyokütle Modülünün Kalibrasyonu
  - Modelde Baz Yıl Değişikliğinin Yapılması ve Pratik Uygulamalar
- 2020 yılı Eylül ayında Türkiye Enerji Modelinde Bakanlığımızın ihtiyaçlarına yönelik ilave geliştirmeler yapılmış ve eğitim alınmıştır. Eğitim konuları şu şekildedir:
  - CO<sub>2</sub> ve Verimlilik Standartlarının Tanımlanması
  - Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması
  - Bir Yılı Temsil Eden Farklı Gün Tipi Tanımlamaları
  - Hidroelektrik Kaynaklarda Mevsimselliğin Dahil Edilmesi
- 2020 yılı Aralık ayında Türkiye Enerji Modelinde ileri düzey kullanım ve kullanım sırasında ortaya çıkan problemlerin çözülmesine yönelik



danışman tarafından ilave geliştirmeler yapılmış ve eğitim alınmıştır.

Eğitim konuları şu şekildedir:

- Türkiye Enerji Modelinde Hataların Tespiti ve Düzeltilmesi
- Türkiye Enerji Modelinin Yıllık Bazda Çalıştırılması
- Aktivitenin Belirlenmesine Yönelik Tavsiyeler
- 2021 yılı Mayıs ayında danışman tarafından Bakanlığımızca belirlenen bir senaryo üzerinden ileri seviye karbonsuzlaştırma uygulamalarına yönelik gösterge niteliğinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. İlave olarak, hidrojen ve amonyak gibi yeni teknolojilerin model içinde temsil edilmesine yönelik iyileştirmeler yapılmıştır. Modelin güncel son versiyonuna ilişkin teslimatı 2021 yılı Mayıs ayında yapılarak proje kapanışı gerçekleştirilmiştir.

### **3. Türkiye Enerji Modeli**

Türkiye Enerji Modeli, büyük ölçekli modellerin çözümü için yaygın olarak kullanılan bir matematiksel yazılım olan Genel Cebirsel Modelleme Sistemi (GAMS) kullanılarak kurgulanan matematiksel bir sistemdir. Ülkemiz için özel olarak geliştirilmiş olup bütün kaynak kodlar teslim edilmiştir. Tüm girdi ve çıktı raporları Excel dosyaları aracılığıyla oluşturulan bu model, tüm enerji ürünleri için enerji talep ve arzı arasındaki dengeyi eş zamanlı olarak simüle etmekte ve en düşük maliyetli çözümü bulmaktadır.

Türkiye Enerji Modeli, AB Komisyonu adına “AB Referans Senaryo 2016” ve “AB Referans Senaryo 2020” çalışmalarının yapıldığı PRIMES modelinin matematik formuna sahip bir piyasa denge modelidir. Arz ve talep dengesi tekrarlanan çözümlerle sağlanmaktadır. Ayrıca model, sektörel bazda detaylı analizlere olanak sağlamaktadır.

Model; sektöre göre enerji talebi, enerji verimliliği ve ısı geri kazanımı açısından çeşitli enerji tasarrufu olanakları, enerji ve elektrik kullanımı, teknoloji kapasiteleri,



güç ve buhar üretimi, kojenerasyon, enerji tedarik teknolojisi ve son kullanıcı perspektifinden enerji kaynak çeşitliliği, yakıt fiyatları ve sistem maliyetleri, sektöre göre yatırımlar, enerji kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonları ve ayrıca temel enerji ve iklim göstergeleri olmak üzere enerji sektörünü ayrıntılı bir şekilde içermektedir. Fosil yakıt fiyatları, fiyat esneklikleri, teknoloji veya politika kısıtları dahil olmak üzere tüm dışsal varsayımlar şeffaf bir şekilde sunulmakta ve duyarlılık analizleriyle test edilebilmektedir.

#### **4. Türkiye Enerji Modelinin Ana Yapısı**

Türkiye Enerji Modeli, bir piyasa dengesine ulaşmak için sırayla çalışan dört modülden oluşmaktadır. Model, kullanıcıya iterasyon sayısını belirleme esnekliği sunmaktadır. Modüllerin çalışma prensipleri aşağıdaki gibidir:

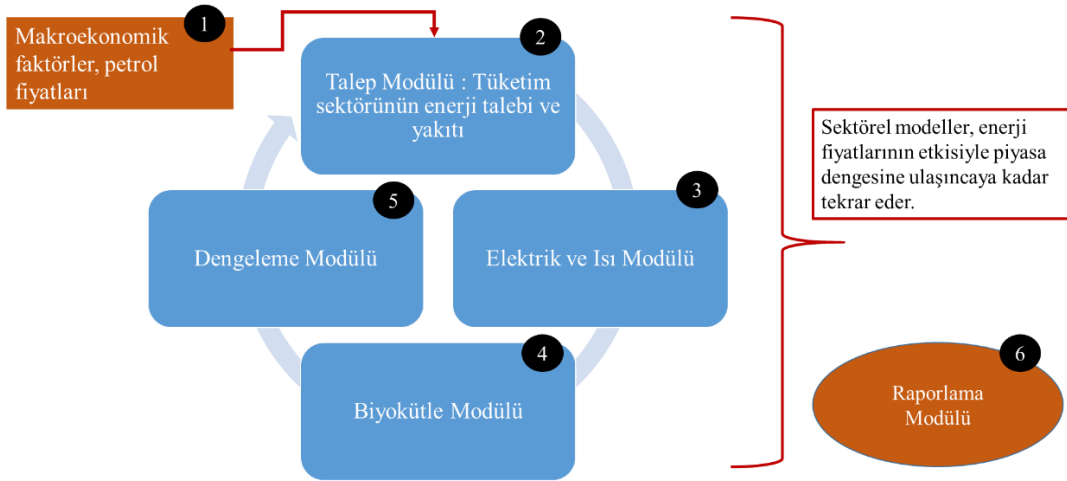
- **Talep Modülü:** Sanayi, mesken, ulaştırma, tarım ve hizmetler sektörlerinin faaliyetlerini karşılamak için gereken enerji talebini ortaya çıkarmaktadır. Makroekonomik etmenlere dayanarak dışsal olarak oluşturulan aktivite tahminleri, talep modülüne girdi oluşturmaktadır.
- **Elektrik ve Isı Modülü:** Talep Modülünün çalışması sonucunda oluşan elektrik ve ısı/buhar talep gereksinimlerinin nasıl karşılanacağına karar vermektedir. Elektrik, ısı/buhar ve temiz yakıt üretiminin hesaplanması için gerekli tüm matematiksel formülasyonları içermektedir. Modül, emtia fiyatlandırması için ayrı bir alt modül içermektedir. Fiyatlandırma alt modülü, nihai talep sektörlerine göre elektrik ve ısı/buhar tarifelerinin yanı sıra sentetik olarak üretilen yakıt tarifelerini de hesaplamaktadır. Güncellenen fiyatlar, bir sonraki model iterasyonunda Talep Modülüne girdi sağlamaktadır.
- **Biyokütle Modülü:** Talep ile Elektrik ve Isı Modülleri tarafından girdi sağlanmaktadır ve biyoenerji ürünleri talebinin (katı biyokütle, biyoyakıtlar, biyogaz, vb.) nasıl karşılanacağına karar vermektedir. Bu modül ayrıca biyoenerji fiyatlandırması için özel bir modelleme sürecini



içermektedir. Model iterasyonunda hem Talep hem de Elektrik ve Isı Modüllerine girdi sağlayacak biyoenerji ürünleri için güncellenmiş tarifeler hesaplanmaktadır.

- Dengeleme Modülü: Türkiye Enerji Modeli Talep, Elektrik ve Isı ile Biyokütle Modüllerinin sonuçlarını alarak yıllık enerji dengelerini üretmektedir.

Türkiye Enerji Modeli ayrıca model sonuçlarını rapor ve veri tabanı biçiminde özetleyen bir yapı içermektedir. Türkiye Enerji Modelinin ana yapısı aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 17. Türkiye Enerji Modelinin Ana Yapısı





**T.C. ENERJİ VE TABİİ  
KAYNAKLAR BAKANLIĞI**

[www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr)