

TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİYLE SANAYİNİN REKABET GÜCÜNÜN ARTIRILMASI VE FOSİL YAKIT FİYATI DALGALANMALARINDAN KORUNMA

ELEKTRİK SEKTÖRÜNÜ KARBONSUZLAŞTIRMANIN YAN FAYDALARI

İPM | IPC
İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ
SABANCI ÜNİVERSİTESİ
ISTANBUL POLICY CENTER
SABANCI UNIVERSITY

IASS POTSDAM

TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİYLE SANAYİNİN REKABET GÜCÜNÜN ARTIRILMASI VE FOSİL YAKIT FİYATI DALGALANMALARINDAN KORUNMA

ELEKTRİK SEKTÖRÜNÜ KARBONSUZLAŞTIRMANIN YAN FAYDALARI

SAEED TEİMOURZADEH
OSMAN BÜLENT TÖR
EBRU VOYVODA
GÖKTÜRK POYRAZOĞLU

Haziran 2022

Bu çalışma, “İklim değişikliği azaltımı yan faydalarının kamu politikaları kurumlarında kapasite geliştirme aracılığıyla yaygınlaştırılması” (COBENEFITS) projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu proje Uluslararası İklim Girişimi (IKI)’nin bir parçasıdır. Federal Çevre, Doğa Koruma ve Nükleer Güvenlik Bakanlığı (BMU) Almanya Federal Meclisi’nin kararı doğrultusunda bu girişimi desteklemektedir. COBENEFITS Projesi, Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS, Proje Lideri) tarafından, Renewables Academy (RENAC), Independent Institute for Environmental Issues (UfU), International Energy Transition GmbH (IET) ve Türkiye’de Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi ile işbirliği içerisinde koordine edilmektedir.

Supported by:

based on a decision of the German Bundestag

Editörler: David Jacobs, Dursun Baş, Ümit Şahin, Franziska Sperfeld, Laura Nagel, ve Sebastian Helgenberger – IET, IPM, UfU, ve IASS

Teknik uygulama: Saeed Teimourzadeh, Osman Bülent Tör, Ebru Voyvoda, Göktürk Poyrazoğlu – EPRA, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Özyeğin Üniversitesi

Çeviri: Ayşe Bereket

Yayın Kimliği Tasarımı: MYRA

Atıf önerisi: IASS/İPM/ UfU/IET. 2022. Türkiye’de yenilenebilir enerji sanayi rekabet gücünün artırılması ve fosil yakıt fiyatı dalgalanmalarından korunma. COBENEFITS Yönetici Özeti. Postdam/ İstanbul. IASS/IPM. www.cobenefits.info

Teşekkür: Enerji ve Tabii Kaynaklar, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği, Hazine ve Maliye, Dışişleri, Ticaret ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlıkları COBENEFITS Konseyi üyelerine katkıları ve stratejik rehberlikleri için teşekkür ederiz. COBENEFITS Konseyi toplantıları sırasındaki katkıları, proje ekibinin COBENEFITS Türkiye Değerlendirmesi konularını belirlemesinde ve bu konuların ilgili bakanlıkların mevcut politika müzakereleri ve çerçeveleriyle doğrudan bağlantılı olması konusunda yol göstermiştir.

İstanbul Politikalar Merkezi Hakkında

İstanbul Politikalar Merkezi (İPM) demokratikleşmeden iklim değişikliğine, transatlantik ilişkilerden çatışma analizi ve çözümüne kadar, önemli siyasal ve sosyal konularda uzmanlığa sahip, çalışmalarını küresel düzeyde sürdüren bir politika araştırma kuruluşudur. İPM araştırma çalışmalarını üç ana başlık altında yürütmektedir: İstanbul Politikalar Merkezi-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi, Demokratikleşme ve Kurumsal Reform, Çatışma Çözümü ve Arabuluculuk. İPM, 10 yılı aşkın süredir, karar alıcılara, kanaat önderlerine ve paydaşlara uzmanlık alanına giren konularda tarafsız analiz ve yenilikçi politika önerilerinde bulunmaktadır.

www.ipc.sabanciuniv.edu

COBENEFITS

Yenilenebilir enerjinin sunduğu sosyal ve ekonomik fırsatların iklim değişikliği azaltım stratejileri ile ilişkilendirilmesi

COBENEFITS dünya çapında Almanya, Hindistan, Güney Afrika, Vietnam ve Türkiye gibi ülkelerin ulusal otoriteleri ve bilgi ortakları ile işbirliği yapmakta ve bu ülkelerin erken iklim eylemine ilişkin yan faydaları harekete geçirmeleri için destek olmaktadır. Proje, Paris Anlaşması ve 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerine yönelik iddialı ulusal katkı beyanlarının geliştirilmesi yönündeki çabaları desteklemektedir. COBENEFITS, politika yapıcılar, bilgi ortakları ve diğer etkili aktörler arasındaki uluslararası karşılıklı öğrenme ve kapasite geliştirme süreçlerini geniş bir yelpazedeki birbiriyle bağlantılı yöntemlerle kolaylaştırmaktadır: ülkeye özgü yan fayda araştırmaları, çevrimiçi ve yüz yüze eğitimler ve politik ortamı elverişli hale getirerek yan faydaların önündeki engelleri ortadan kaldırmaya ilişkin politika diyaloğu süreçleri.

COBENEFITS Türkiye Proje Koordinatörü

Dursun Baş, Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi
dursun.bas@sabanciuniv.edu

Pınar Ertör, Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi
pinar.ertor@sabanciuniv.edu

COBENEFITS Proje Direktörü

Sebastian Helgenberger, Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS)

sebastian.helgenberger@iass-potsdam.de

ISBN: 978-625-6956-04-9

www.cobenefits.info

Twitter: @IKI_COBENEFITS

CC BY SA

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR 8

YÖNETİCİ ÖZETİ 9

1. MEVCUT DURUM: YÜKSEK ELEKTRİK FİYATLARI VE DIŞA BAĞIMLILIK 14

1.1 Türkiye enerji sektöründe en son trendler ve gelişmeler 15

1.2 Sanayi sektörü elektrik fiyatları 16

2. YÖNTEM VE SENARYOLAR: YENİLENEBİLİR ENERJİNİN SANAYİ SEKTÖRÜ ELEKTRİK FİYATLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ÖLÇÜMÜ 19

2.1 2030 yılı elektrik sektörü için kullanılan referans senaryolar 19

2.2 Yaklaşım ve yöntem 22

2.2.1 Sanayi sektörü elektrik fiyatlarının ve tasarruflarının hesaplanması 22

2.2.2 Yenilenebilir enerji kapasite artışının Türkiye ekonomisi üzerindeki makroekonomik etkilerinin değerlendirilmesi 24

2.3 Araştırma kısıtları ve öneriler 24

3. SANAYİ SEKTÖRÜ ELEKTRİK FİYATLARININ DÜŞÜRÜLMESİ VE MAKROEKONOMİK FAYDALARIN ÜRETİLMESİ 25

3.1 Yenilenebilir enerji kullanımı sayesinde sanayi sektörünün gerçekleştirdiği tarihsel tasarruflar 26

3.1.1 Toptan elektrik piyasa fiyatındaki düşüş 26

3.1.2 Perakende elektrik piyasası fiyatındaki düşüş 26

3.1.3 Sanayi sektörü için toplam elektrik maliyeti tasarrufu 27

3.2 Yenilenebilir enerji kullanımının artmasıyla birlikte sanayi sektörünün gelecekteki tasarruf potansiyeli 28

3.2.1 Toptan elektrik piyasası fiyatında beklenen düşüş 28

3.2.2 Perakende elektrik piyasası fiyatında beklenen düşüş 29

3.2.3 Sanayi sektörü için toplam elektrik maliyeti tasarrufları 30

3.3 Yakıt fiyatı değişkenliğinin yarattığı risklerden korunma: Fosil yakıt payının azaltılması 32

3.4 Karbon fiyatları değişkenliğinin yarattığı risklerden korunma: Elektrik sektörünün karbon yoğunluğunun azaltılması 33

3.5 Makroekonomik faydalar: İstihdam yaratılması ve ihracat 34

Yerel örnek çalışması: Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB) 36

4. SANAYİ SEKTÖRÜNÜN DAHA DÜŞÜK ELEKTRİK MALİYETLERİNDEN YARARLANMASINA İMKÂN TANIYAN BİR ORTAMIN OLUŞTURULMASI 38

Yüksek Etkili Eylem 1: AB Sınırda Karbon Uyarlanması Mekanizması öngörülerek Türkiye sanayi sektörünün korunması 39

Yüksek Etkili Eylem 2: Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye enerji sistemlerine entegrasyonunu kolaylaştırmak için esneklik önlemlerinin teşvik edilmesi 41

Yüksek Etkili Eylem 3: Yenilenebilir enerji öz tüketim modeline ilişkin düzenlemelerin iyileştirilmesi 42

Ek Etkili Eylem 1: Yeşil tarifelerin/Menşe Garantileri Sistemi'nin teşvik edilmesi 44

Ek Etkili Eylem 2: Yenilenebilir enerjiden azami düzeyde fayda elde edilmesini sağlayacak şebeke odaklı mekanizmanın oluşturulması 44

5. KAYNAKLAR 46

6. EKLER 49

6.1 Ek 1: Yöntem, model girdileri ve varsayımlar 51

6.1.1 Piyasa simülasyonu için başlıca varsayımlar: Baz senaryoda enerji üretim kapasitesi 51

6.1.2 Tarihsel tasarrufların hesaplanmasında kullanılan piyasa simülasyon aracı 53

6.1.3 Gelecekteki tasarrufların hesaplanmasında kullanılan piyasa simülasyon aracı (2030'a kadar) 58

6.1.4 Sanayi sektörü perakende elektrik fiyatlarının hesaplanması 61

6.1.5 Sanayi sektörünün toplam tasarruf miktarının ile makroekonomik etkilerin hesaplanmasında kullanılan uygulamalı genel denge (UGD) modeli tanımları 64

6.2 Ek 2: Başlıca Bulguların Ayrıntıları 68

6.2.1 2015-2020 döneminde toptan elektrik fiyatındaki düşüş 68

6.2.2 2015-2020 döneminde perakende elektrik piyasası fiyatındaki düşüş 71

6.2.3 2015-2020 döneminde sanayi sektörünün toplam elektrik maliyeti tasarrufları 71

6.2.4 2020-2030 döneminde toptan elektrik piyasası fiyatındaki beklenen düşüş 72

6.2.5 2020-2030 dönemi perakende elektrik piyasası fiyatındaki beklenen düşüş 74

6.2.6 2020-2030 döneminde sanayi sektörü tarafından gerçekleştirilen toplam elektrik maliyeti tasarrufları 75

6.2.7 Makro-ekonomik faydalar: İstihdam yaratma (işgücü talebi) ve ihracat 82

6.3 Ek 3: Yerel örnek çalışması: Demirtaş Sanayi Bölgesi (DOSAB) 83

6.4 Ek 4: Türkiye elektrik piyasası 85

6.5 Ek 5: Araştırma kısıtları ve öneriler 86

6.6 Ek 6: Enerji Genel Denge Modeli 88

6.7 Ek 7: Yenilenebilir kaynakların fiyat etkisi: Literatür taraması 89

6.7.1 Rüzgâr ve güneş enerjisi etkilerinin analizi 89

6.7.2 Fiyat oynaklığı (volatilite) 90

6.7.3 GÖP fiyatlarındaki oynaklık 90

6.7.4 Avrupa Elektrik Piyasalarındaki Oynaklık 92

TABLOLAR

Tablo 1. Senaryo konfigürasyonu ve karbon ve yakıt fiyatı duyarlılıkları (Durum A-D) 21

Tablo 2. 2015-2020 elektrik maliyeti tasarrufu, Gerçekleşen Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü Senaryosu ve Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırması (milyon ABD doları) 28

Tablo 3. 2020, 2025 ve 2030 yılları elektrik maliyeti tasarrufu ve kümülatif fayda (Durum A) 31

Tablo 4. Varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryoya kıyasla elde edilecek toplam tasarruf miktarları, 2015-2019 (ABD doları) 37

Tablo 5. Baz Senaryo ve Varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırması sonucu ortaya çıkan toplam tasarruf miktarları, 2020-2030 (ABD doları) 37

Tablo 6. 2030 yılı için doğrudan faydalar: Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla Durum A ve Durum D için hesaplanan tasarruflar 40

ŞEKİLLER

Şekil 1. Kaynaklara göre elektrik sektörü kurulu gücü, 2001-2020 15

Şekil 2. Yıllık ortalama gün öncesi piyasa takas fiyatı 17

Şekil 3. Sanayi sektörü tarihsel perakende elektrik tarifesi ve bileşenleri (2015-2021) 18

Şekil 4. Referans senaryolara göre 2030 yılı elektrik kurulu gücü (GW) 20

Şekil 5. Tarihsel ve gelecekteki tasarrufları hesaplama yöntemi 23

Şekil 6. 2015 ve 2020 yılları toptan piyasa takas fiyatları karşılaştırması (yenilenebilir kaynaklarla gerçekleşen elektrik üretimi ile Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altındaki üretimin karşılaştırması) 26

Şekil 7. 2015 ve 2020 yılları ortalama toptan piyasa takas fiyatları karşılaştırması (yenilenebilir kaynaklarla gerçekleşen üretim) 26

Şekil 8. 2015 ve 2020 yılları ortalama enerji bedeli ve sistem bedelindeki değişiklikler (Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo ile Gerçekleşen Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü Senaryosu karşılaştırması) 27

Şekil 9. 2015-2020 ortalama sanayi perakende elektrik tarifesi 27

Şekil 10. 2030 yılı yıllık ortalama toptan piyasa takas fiyatı karşılaştırması 29

Şekil 11. 2025 yılı ortalama yıllık perakende elektrik fiyatı (Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo ile Mevcut Politika Senaryosu karşılaştırması) 29

Şekil 12. 2030 yılı ortalama yıllık perakende elektrik fiyatı (Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo, Mevcut Politika Senaryosu ve Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu karşılaştırması) 30

Şekil 13. Elektrik maliyeti tasarrufu, Yenilenebilir Enerjili Senaryolar ile Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırması (milyon ABD doları) 31

Şekil 14. Daha yüksek doğal gaz fiyatlarının sanayi sektörü perakende elektrik tarifesine etkileri 32

Şekil 15. Sanayi elektrik fiyatlarında artış: karbon fiyatının yüksek olduğu ve karbon fiyatının olmadığı durumların karşılaştırması 33

Şekil 16. Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla görece yayılma etkisi (2030 yılında Mevcut Politika Senaryosu ile Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu karşılaştırması): a) işgücü talebi, b) Toplam ihracat – Durum A 35

Şekil 17. Yenilenebilir Enerjisiz Varsayımsal Senaryo'ya kıyasla yayılma etkileri (Durum A ve Durum D karşılaştırması): a) İşgücü talebi, b) Toplam ihracat 35

KISALTMALAR

CBAM	Sınırda Karbon Uyarlaması Mekanizması
DOSAB	Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
ETS	Emisyon Ticaret Sistemi
IASS	Institute for Advanced Sustainability Studies, Potsdam
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
İPM	İstanbul Politikalar Merkezi, Sabancı Üniversitesi
GÖP	Gün Öncesi Piyasası
GSYİH	Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
GW	Gigawatt
kWh	Kilowatt-hour
LCOE	Seviyelendirilmiş Elektrik Maliyeti
MWh	Megawatt saat
PTF	Piyasa Takas Fiyatı
SHURA	SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi
SRMC	Kısa Vadeli Marjinal Maliyet
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TWh	Terawatt saat
UGD	Uygulamalı Genel Denge
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması
YEK-G	Yenilenebilir Enerji Kaynak Garantisi

YÖNETİCİ ÖZETİ

TÜRKİYE'NİN PARİS ANLAŞMASI'NI ONAYLANMASININ ARDINDAN ELEKTRİK SEKTÖRÜNÜN KARBONSUZLAŞTIRILMASINA DAİR BEKLENTİLER

Türkiye Büyük Millet Meclisi'nin 6 Ekim 2021 tarihinde Paris Anlaşması'nı onaylamasının ardından Türkiye hükümeti Paris Anlaşması doğrultusunda 2053 yılı için net-sıfır hedefini açıkladı. Türkiye'nin, emisyonların büyük kısmından sorumlu olan elektrik ve sanayi sektörlerinin dönüşümünü desteklemesi için, bu taahhüdünü güncelleyeceği Ulusal Katkı Beyanı'na (NDC) cesur hedefler koyarak yansıtması gerekmektedir.

2053 yılı için net sıfır hedefi konulması, iklim nötr bir ekonominin ve toplumun sağladığı fırsatları kabul etmenin yanı sıra fosil yakıt bağımlılığının devam etmesinin doğuracağı riskleri de öngörmektedir. Türkiye fosil yakıt ithalatına büyük ölçüde bağımlıdır. 2019 yılında Türkiye kullandığı doğal gazın yüzde 98'inden fazlasını ve taş kömürün yüzde 97'sinden fazlası ithal edilmiştir. Türkiye'nin yakıt ithalatına olan bağımlılığı, gelecekteki enerji güvenliği için tehdit oluştururken ülkenin cari açığını da büyütmektedir. Türkiye'nin enerji ithalatı toplam ithalatının yüzde 25'ini oluşturmaktadır ve Türkiye her yıl yaklaşık 45-50 milyar Amerikan doları kadar enerji ithalatı yapmaktadır.

Türkiye'de son zamanlarda elektrik fiyatlarında yaşanan rekor düzeydeki artış, sanayi sektörü için yüksek elektrik faturaları ve ciddi elektrik kesintileri olarak yansımış ve fosil yakıt bağımlılığının ülke ekonomisi açısından yarattığı riskleri bir kez daha ortaya koymuştur.

Elektrik sektörünün ortalama maliyetleri, fosil yakıt ithalat fiyatlarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Döviz kuru hareketleri de piyasa trendleri ve piyasalardaki dalgalanmaları etkileyerek sanayi sektörünün elektrik tüketim maliyetlerini daha da artırmaktadır. Türkiye'de elektrik ve doğal gaz fiyatları 2021'de büyük oranda artmıştır ve sanayi sektörünün enerji maliyetlerinin yükselmesine neden olmuştur. Bu durumun, tüketim mallarının fiyatlarını ve enflasyon oranlarını yükseltmesi beklenmektedir.

Enerji piyasasındaki mevcut dalgalanmalar göz önüne alındığında, elektrik fiyatlarında yaşanacak gelişmelerin Türkiye sanayi sektörünün rekabet gücü üzerinde önemli etkileri olacaktır. Bu araştırma çalışması, yenilenebilir enerjinin daha iddialı bir şekilde artırılmasıyla **hem elektrik fiyatlarının nasıl düşürülebileceği** hem de doğal gaz fiyatlarındaki artış ve tedarik krizleriyle ilişkili **fiyat dalgalanması risklerinin nasıl azaltılabileceğini** göstermektedir.[1]

Yenilenebilir enerji teknolojileri, dünyanın birçok piyasasında en düşük maliyetli enerji üretim teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır. Son on yılda, güneş enerjisi sermaye maliyetleri yüzde 85, rüzgâr enerjisi sermaye maliyetleri ise yüzde 56 oranında düşmüştür. Türkiye elektrik sistemine daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı eklenerek elektrik fiyatları düşürülebilir ve böylece ekonomik rekabet gücü arttırılabilir. Bu, özellikle sanayi sektörü için önem teşkil etmektedir zira enerji maliyetleri sektörün genellikle en önemli genel üretim maliyeti kalemlerinden biridir. Aynı zamanda, daha büyük bir yenilenebilir enerji kurulu gücü kömür, petrol ve doğal gaz fiyatlarındaki dalgalanmalara bağlı meydana gelen fiyat şoklarını da önleyebilir.

1 Bu raporda, sanayi sektörü tasarrufları 2018 baz yılı reel değerleri olarak ifade edilmiştir. Bu, Türkiye'de son yıllarda görülen yüksek enflasyon yüzünden önemlidir. Türk lirası ve ABD doları arasındaki kur karşılaştırmalarında da 2018 yılı kur oranları kullanılmıştır.

Son beş yılda (2015-2019), perakende elektrik piyasası fiyatları yenilenebilir kaynakların artışına bağlı olarak yüzde 22 düşmüştür.

2020-2025 döneminde Türkiye sanayi sektörü elektrik maliyetinden toplam kümülatif **21,47 milyar Türk lirası** (4,45 milyar ABD doları) düzeyinde tasarruf sağlayabilir. 2020-2030 döneminde, Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında, Baz Senaryo'ya kıyasla, Türkiye sanayi sektörü elektrik maliyetinden toplam kümülatif **49,5 milyar Türk lirası** (10,27 milyar ABD doları) düzeyinde tasarruf sağlayabilir.

Aynı dönemde, sanayi sektörü yenilenebilir enerji artışına bağlı olarak elektrik maliyetinin azalmasıyla **6,3 milyar Türk lirası** (1,3 milyar ABD doları) tasarruf sağlamıştır.

Yenilenebilir enerji teknolojilerinin büyük kısmının yakıt maliyeti yoktur - marjinal maliyetleri sıfır olduğu için ilk önce tevzi edilirler – ve bu sayede diğer daha pahalı teknolojileri piyasa dışına iterler. Bu, toptan elektrik piyasa fiyatını ve dolayısıyla perakende elektrik fiyatını da düşürür. Bu "fayda sırası" (merit order), son on yılda dünyanın birçok ülkesinde gözlemlenmiştir. Bu çalışma, Türkiye'de fayda sırası etkisini ölçen ilk çalışmalardan biridir.

Bu çalışma, Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının artırılmasının sanayi elektrik fiyatlarını nasıl etkileyebileceğini incelemekte ve ölçmektedir. Bu etkiler, hem toptan hem de perakende elektrik fiyatları için ölçülmüştür. Bununla birlikte, olumlu sosyoekonomik etkiler de istihdam yaratma, Gayri Safi Yurtiçi Hasıla (GSYİH) büyümesi ve enflasyonun düşmesi açısından ölçülmüştür.

BAŞLICA POLİTİKA FIRSATLARI:

- **Politika fırsatı 1:** Yenilenebilir kaynakların payının daha yüksek olması **ortalama toptan elektrik fiyatlarını** önemli ölçüde düşürebilir. Maliyetlerin düşmesi özellikle sanayi sektörüne fayda sağlayabilir ve sektörün rekabet gücünü artırabilir. Yenilenebilir kaynakların payının yüksek olduğu bir senaryoda (Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu), mevcut planlara (Baz Senaryo) kıyasla, 2030 yılına kadar toptan elektrik fiyatları ortalama yüzde 2,4 oranında düşürülebilir. Bu, yalnızca 2030 yılında toplam 1,96 milyar Türk lirası (477 milyon ABD doları) tasarruf sağlayacaktır. Yenilenebilir kaynakların mevcut olmadığı bir piyasa ile karşılaştırıldığında, yenilenebilir enerji payının yüksek olduğu bir senaryo toptan piyasa satış fiyatlarını yüzde 12,6 oranında düşürerek sadece 2030 yılında 13,49 milyar Türk lirası (2,8 milyar ABD doları) kadar bir tasarruf sağlayabilir.
- **Politika fırsatı 2:** Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu'nda, mevcut planlarla kıyasla, rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün daha hızlı şekilde artırılmasıyla sanayi sektörü için **ortalama perakende elektrik fiyatı** 2030 yılında yüzde 1,5 oranında düşürülebilir. Bu 2030 yılı sanayi sektörü elektrik maliyetinin toplam 1,32 milyar Türk lirası (274 milyon ABD doları) kadar azalmasını sağlayacaktır. Yenilenebilir enerjisiz bir elektrik piyasasıyla kıyaslandığında ise, Gelişmiş Yenilebilir Enerji Senaryosu'nun ortalama perakende

elektrik fiyatlarını yüzde 9 oranında düşüreceği öngörülmektedir. Bu, 2030 yılında sanayi sektörü elektrik maliyetinin 6,92 milyar Türk lirası (1,4 milyar ABD doları) kadar azalmasını sağlayabilir. Demir çelik sektörü gibi enerji yoğun sektörlerde ise 2030 yılında 2,15 milyar Türk lirası (446 milyon ABD doları) tasarruf sağlanabilir.

- **Politika fırsatı 3:** Yenilenebilir enerji tedariki, **yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalarla ilişkili riskleri** azaltabilir. Yakıt fiyatlarının (doğal gaz fiyatı) 2030 yılına kadar yüzde 31 oranında artacağı varsayıldığında, sanayi için ortalama perakende elektrik fiyatları Baz Senaryo'da yüzde 5 ve yenilenebilir enerjisiz bir piyasada ise yüzde 16'ya kadar artabilir. Yenilenebilir kaynakların payının yüksek olduğu bir senaryoda ise, yakıt fiyatındaki aynı artış ortalama perakende elektrik fiyatlarında sadece yüzde 3 oranında bir artışa yol açacaktır ve sanayi sektörünü fiyat şoklarından koruyacaktır.

TEMEL BULGULAR

Geçmişte gerçekleşen tasarruflar: Son beş yılda, **ortalama toptan elektrik fiyatları** yenilenebilir enerji kaynaklarının (sıfır marjinal maliyetli) artmasına bağlı olarak yüzde 22 düşmüştür. Bu, yenilenebilir enerjisiz bir elektrik sistemiyle kıyaslandığında, yıllık 17,6 milyar Türk lirası (3,7 milyar ABD doları) tasarruf sağlandığı anlamına gelmektedir. Ortalama perakende elektrik fiyatı incelendiğinde ise, yüzde 15,2 oranında düştüğü ve bunun sonucunda toplam 9,47 milyar TL (1,96 milyar ABD doları) kadar bir tasarruf elde edildiği görülmüştür.

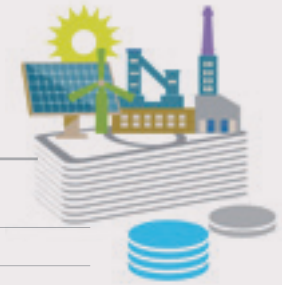
Gelecekteki tasarruf potansiyeli: Yenilenebilir enerji önümüzdeki 10 yılda (2021–2030) sanayi sektörü için daha da büyük tasarruf sağlama potansiyeline sahiptir. Mevcut kurulu güç artırma planlarından (Baz Senaryo) Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu'na geçilerek, **ortalama perakende elektrik fiyatı** yüzde 1,5 düşerek yalnızca 2030 yılında toplam 1,32 milyar Türk lirası (274 milyon ABD doları) tasarruf sağlayacaktır. Yakıt fiyatlarının arttığı bir senaryoda (D Durumu) ise, bir karbon fiyatlandırma planının uygulamaya geçirilmesiyle birlikte sadece 2030 yılı için 8 milyar Türk lirası (1,95 milyar ABD Doları) tasarruf sağlanabilmektedir.

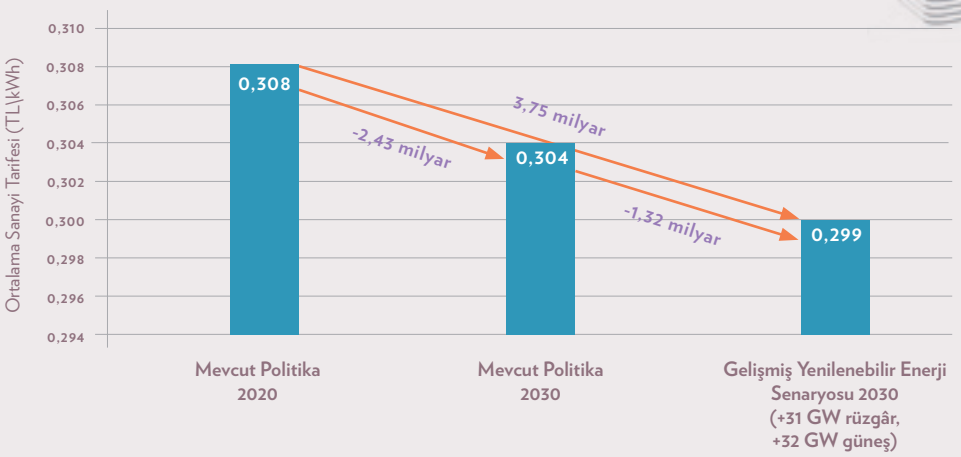
Yakıt fiyatı değişkenliği risklerinden korunma: Yenilenebilir enerji tedariki, **yakıt fiyatlarındaki dalgalanmalarla** ilişkili ekonomik ve toplumsal riskleri azaltabilir. 2030 itibarıyla yakıt (doğal gaz) fiyatlarının yüzde 31 artacağı varsayıldığında, sanayi sektörü perakende elektrik fiyatları mevcut planlar kapsamında yüzde 5 ve yenilenebilir enerjisiz bir piyasada ise yüzde 16'ya kadar artabilecektir. Yenilenebilir kaynakların payının yüksek olduğu bir senaryoda ise, yakıt fiyatındaki bu artış ortalama perakende elektrik fiyatlarında sadece yüzde 3'lük bir artışa yol açacaktır ve sanayi tüketici grubunu fiyat şoklarından koruyacaktır.

Makroekonomik faydalar: Elektrik fiyatlarının düşürülmesi ve sanayi sektörünün ekonomik rekabet gücünün artırılmasıyla birlikte, **ihracatın** 5,6 milyon Türk lirası (1,16 milyon ABD doları) artarak GSYİH'de yüzde 0,13'lük bir büyümeye yol açması beklenmektedir. Türkiye sanayi sektörünün uluslararası alanda rekabet gücü artırılarak, sektörün daha hızlı büyümesi ve **19.000 kadar yeni iş** yaratması sağlanabilir.

İklim faydaları: Mevcut baz senaryo planlarına (17 GW rüzgâr, 20 GW güneş kurulu gücü) kıyasla, Türkiye elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payının artırıldığı Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu'yla (31 GW rüzgâr, 20 GW güneş enerjisi) **CO_2 yoğunluğu** yüzde 5 azaltılabilir. Yenilenebilir enerjisiz bir elektrik piyasası ile karşılaştırıldığında ise, Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu'yla CO_2 yoğunluğu yüzde 9

Mevcut politikadan iddialı bir karbonsuzlaştırma patikasına geçilerek, on yıl içinde sanayi sektörü perakende elektrik fiyatları %2,9 azaltılabilir ve 2030 yılında 3,75 milyar TL tasarruf gerçekleştirilebilir.

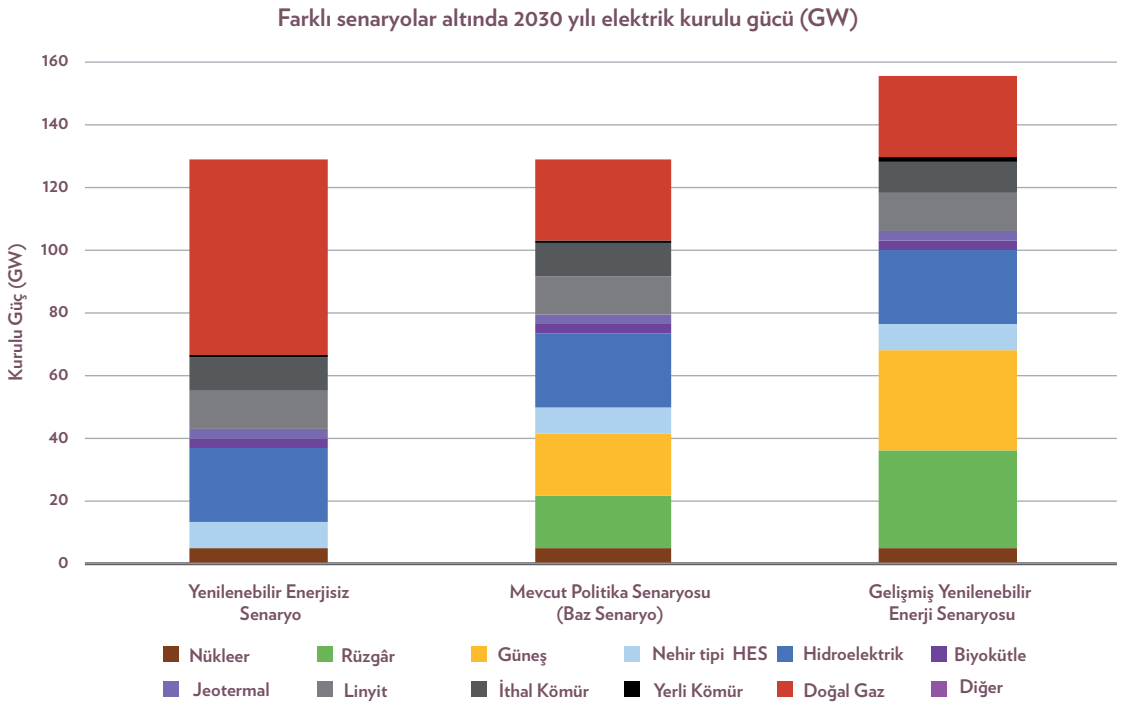




azaltılarak 2030 yılı CO_2 emisyonunda toplam 12 milyon metrik ton bir azaltım gerçekleştirilmektedir. Avrupa Birliği'nin Sınırda Karbon Uyarlaması Mekanizması (CBAM) planları göz önüne alındığında, bu durumun Türkiye sanayi sektörünün ihracat fırsatlarını artırması muhtemeldir.

Bu çalışma, hem 2015 ile 2020 yılları arasında gerçekleştirilmiş reel tasarrufları hem de çeşitli senaryolar altında 2030 yılına kadar gerçekleştirilebilecek potansiyel tasarrufları incelemektedir. Mevcut Politika Senaryosu'nda (Baz Senaryo), 2030 yılına kadar 17 GW'lık rüzgâr ve 20 GW'lık güneş enerjisi kapasitesi ekleneceği varsayılmaktadır. Bu senaryo, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ve Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) gibi Türkiye'deki çeşitli kamu paydaşlarının projeksiyon ve varsayımlarına dayanmaktadır. Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu'nda, 2030 yılına kadar 31 GW'lık rüzgâr ve 32 GW'lık güneş kapasitesi ekleneceği varsayılmaktadır. Bu senaryo, SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi'nin "*Türkiye Enerji Sisteminde Yenilenebilir Kaynaklarının Artan Payı: İletimde Genişleme ve Esneklik Seçenekleri*" raporu kapsamında geliştirilen bir senaryoya dayanmaktadır. Üçüncü ve son senaryoda ise, Türkiye elektrik sektöründe hiçbir yenilenebilir enerji kaynağının devrede olmayacağı varsayılmıştır. Bu senaryoda, tüm yenilenebilir enerji santrallerinin verimli doğal gaz enerji santrallerine dönüştürüleceği varsayılmaktadır. Bu varsayımsal senaryoyla ile yapılacak karşılaştırmalar, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesini artırarak gerçekleştirilebileceği toplam tasarruf miktarlarını ortaya koyacaktır.

Toptan elektrik piyasası, bir piyasa simülasyon motoru aracılığıyla simüle edilmiştir. Toptan ve perakende elektrik fiyatları istatistiksel analizlerle hesaplanmıştır. Türkiye ekonomisi üzerindeki makroekonomik etkiler ise 2030'a kadarki dönemi kapsayan dinamik genel denge modeline dayanmaktadır.



1. MEVCUT DURUM: YÜKSEK ELEKTRİK FİYATLARI VE DIŞA BAĞIMLILIK

BAŞLICA NOKTALAR

Fosil yakıtlarda dışa bağımlılık

- Türkiye fosil yakıtlar için büyük ölçüde dışa bağımlıdır. Türkiye kullandığı doğal gazın yüzde 98'den fazlasını ve taş kömürün yüzde 97'den fazlasını ithal edilmektedir. Türkiye'nin yakıt için bu denli dışa bağımlı olması, gelecekteki enerji güvenliği için bir tehdit oluştururken cari açığı da artırmaktadır. Türkiye, toplam ithalatının dörtte birini teşkil eden enerji ithalatına yılda yaklaşık 45-50 milyar dolar harcamaktadır.

Fosil yakıt ithalatına bağlı olarak fiyatlardaki artış trendi

- 2021 yılında Türkiye'de elektrik ve doğal gaz fiyatları önemli ölçüde artmıştır ve sanayi sektörünün enerji maliyetlerinin büyük oranda artmasına yol açmıştır.[2] Bu durum, tüketim malları fiyatlarında ve enflasyon oranında artışa yol açacaktır.
- Ortalama elektrik maliyetleri ithal fosil yakıt fiyatlarından önemli ölçüde etkilenmektedir. Döviz kuru hareketleri de piyasa trendleri ve dalgalanmaları etkileyerek, sanayi tüketici grubunun maliyetlerini daha da artırmaktadır.
- 2020 yılında faturalanan toplam elektrik tüketiminin yaklaşık yarısı sanayi sektörüne aittir. (Toplam 233.436.615 MWh'in yüzde 43'ü).

Eklenen yenilenebilir enerji kapasitesine bağlı olarak fiyatlardaki düşüş trendi

- Güneş ve rüzgâr enerjilerine dayalı yerli elektrik üretimi son beş yılda önemli ölçüde artarak, 2020 yılında toplam elektrik üretiminin yüzde 11,8'ini teşkil etmiştir. Tüm yenilenebilir kaynakların elektrik üretimindeki toplam payı yüzde 42,4'tür. Yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretiminde en yüksek pay, hidroelektrikten (31 GW) sonra, güneş enerjisi (6.7 GW) ve rüzgâr enerjisine (8.8 GW) aittir (EPDK, 2021)
- Gün öncesi toptan elektrik piyasasındaki fiyatlarda bir düşüş trendi gözlenmektedir (2015'teki 51,05 ABD/MWh'ten 2020'de 40.11 ABD/MWh'e).
- Sanayi sektörü için ortalama perakende elektrik fiyatı 2015 yılında 9,19 ABD cent\kWh iken, 2020 yılında 8,19 ABD cent\kWh'e düşmüştür.

2 Ocak-Kasım 2021 döneminde, doğal gaz fiyatları sanayi sektörü için yüzde 147,5 ve enerji santralleri için yüzde 182,9 artmıştır. Bkz. Türkiye Kalkınma Bankası, 2021 Yılı Türkiye Enerji Sektörü Görünümü.

1.1 TÜRKİYE ENERJİ SEKTÖRÜNDE EN SON TRENDLER VE GELİŞMELER

Fosil yakıt için dışa bağımlılık ve fiyat dalgalanmaları

Türkiye'de son zamanlarda elektrik fiyatlarındaki rekor düzeydeki artışlar, sanayi sektörü için yüksek enerji faturaları ve ciddi elektrik kesintileri olarak tezahür eden fosil yakıt bağımlılığın ekonomi açısından oluşturduğu riskleri bir kez daha ortaya koymuştur. Enerji piyasasında halihazırdaki dalgalanmalar göz önüne alındığında, gelecekteki gelişmelerin ve elektrik fiyatlarındaki olası artışların sanayi sektörünün rekabet gücü üzerinde önemli etkileri olacağı görülmektedir. Bu durum aynı zamanda Türkiye'de GSYİH ve enflasyonu da olumsuz yönde etkileyebilir.

Yeni yenilenebilir enerji kapasitesi

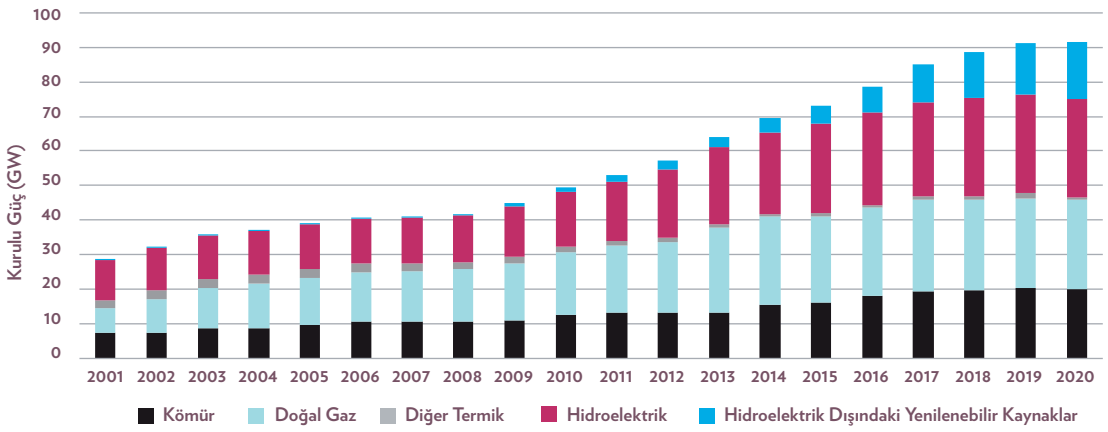
Küresel enerji dönüşümü yatırımları 2021'de hızla artarak 750 milyar ABD dolara ulaşmıştır. Enerji sektöründe, yenilenebilir kaynaklara yapılan toplam yatırım miktarı, 2021'de 366 milyar ABD doları ile rekor düzeye çıkmıştır (BNEF, 2021). Bugün, yenilenebilir enerji kurulu gücünün artırılması karbon emisyonları azaltımı ve iklim değişikliğiyle mücadele için alınabilecek başlıca önlem olmuştur. Yenilenebilir enerji teknolojileri, dünyadaki birçok piyasada en düşük maliyetli enerji üretim teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır. Son on yılda, sermaye maliyetleri güneş enerjisinde yüzde 85 ve rüzgâr da ise yüzde 56 düşmüştür.

Türkiye'de 2020 yılında güneş ve rüzgâr enerjisi kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki payı

PARİS ANLAŞMASI HEDEFLERİNİN TUTTURULMASI VE 2053'TE NET SIFIR EMİSYON HEDEFİ

6 Ekim 2021'de TBMM Paris Anlaşması'nı onaylamıştır. Takip eden süreçte Türkiye Hükümeti, Paris Anlaşması doğrultusunda, 2053 için net-sıfır hedefini açıklamıştır. Türkiye'nin sera gazı emisyonlarının büyük kısmından sorumlu olan elektrik ve sanayi sektörlerinin dönüşümünü desteklemesi için, bu taahhüdünü güncelleyeceği Ulusal Katkı Beyanı'na (NDC) cesur hedefler koyarak yansıtması gerekmektedir. 2053'te net sıfır emisyon hedefi, iklim nötr bir ekonominin ve toplumun sağladığı fırsatları tanımanın yanında fosil yakıt bağımlılığın devam etmesiyle doğacak riskleri de öngörmektedir.

Şekil 1. Kaynaklara göre Türkiye elektrik sektörü kurulu gücü, 2001-2020



yüzde 11,8'dir. Tüm yenilenebilir kaynakların (hidroelektrik ve hidroelektrik dışındakiler) elektrik üretimindeki toplam payı yüzde 42,4'tür. Yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretiminde en yüksek pay hidroelektrikten (31 GW) sonra, güneş enerjisine (6,7 GW) ve rüzgâr enerjisine (8,8 GW) aittir. 2020 yılında tüm enerji santrallerinin (lisanslı ve lisanssız) toplam kurulu gücü 100 GW civarında olup, yıllık elektrik tüketimi 305 TWh'ye ulaşmıştır (EPDK, 2021).

Yeni kurulu gücün yüzde 50'sinden fazlası, 2017'den bu yana hidroelektrik dışındaki yenilenebilir kaynak kurulu gücündeki (rüzgâr ve güneş) artıştan kaynaklanmaktadır. Bu artış esas olarak, Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırımları teşvik mekanizmaları kuran Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması'nın (YEKDEM) belirlediği ABD doları bazında sabit fiyat ve alım garantisinin (feed-in) hidrolektrik dışındaki yenilenebilir enerji kaynaklarını cazip kılması sayesinde gerçekleşmiştir. YEKDEM'in kurulmasından bu yana hidroelektrik dışındaki yenilenebilir kaynakların yeni kurulu güç içindeki toplam payı yüzde 35,9'dur.

Eklenen yenilenebilir enerji kapasitesinin sanayi elektrik fiyatları üzerindeki etkisi

Türkiye elektrik sistemine daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı eklenerek elektrik fiyatları düşürülebilir ve böylece ekonomik rekabet gücü arttırılabilir. Bu, özellikle sanayi sektörü için önem teşkil etmektedir zira enerji maliyetleri bu sektörün genellikle en önemli genel üretim maliyeti kalemlerinden biridir.

Daha büyük bir yenilenebilir enerji kurulu gücü aynı zamanda kömür, petrol ve doğal gaz fiyatlarındaki dalgalanmalardan kaynaklanan fiyat şokları da önleyebilir. Çoğu yenilenebilir enerji teknolojisinin hiçbir yakıt maliyeti olmadığı için - sıfır marjinal maliyetleri sayesinde ilk önce tevzi edilirler- diğer, daha pahalı teknolojileri piyasanın dışına iterler. Bu durum toptan elektrik piyasa fiyatını ve dolayısıyla perakende elektrik fiyatını da düşürmüştür. Bu "fayda sırası etkisi" (merit-order effect), son on yılda dünyanın birçok ülkesinde görülmüştür.

Bu çalışma, Türkiye'de "fayda sırası etkisi"ni ölçen ilk çalışmalardan biridir.

Çalışma, yenilenebilir kaynakların Türkiye elektrik piyasası ve dolayısıyla fiyatlar üzerindeki etkisini ayrıntılarıyla incelemektedir. Çalışmada, daha iddialı bir yenilenebilir enerji kapasitesi artışının nasıl elektrik fiyatlarını düşürebileceği ve doğal gaz fiyatlarındaki artışa bağlı fiyat oynaklığı risklerini azaltabileceği gösterilmektedir. Bununla birlikte, olumlu sosyoekonomik etkiler de istihdam yaratma, GSYİH büyümesi ve enflasyonun düşmesi açısından ölçülmüştür.

1.2 SANAYİ SEKTÖRÜ ELEKTRİK FİYATLARI

Elektrik piyasasının daha uzun vadeli görünümü, Türkiye elektrik piyasalarındaki fiyatların yanı sıra arz/talep koşullarını etkileyen çeşitli faktörler hakkında da bilgi sağlamaktadır. Türkiye kullandığı doğal gazın yüzde 98'inden fazlasını ve taş kömürün yüzde 97'sinden fazlasını ithal ettiği için (2019 verileri), sanayi sektörünün hacmi ve ortalama maliyeti de bu birincil enerji kaynaklarının ithalat fiyatlarından önemli ölçüde etkilenmektedir.

Bununla birlikte, sanayi elektrik fiyatlarındaki artış nihai tüketici fiyatlarına ve enflasyon oranına da yansımaktadır.

Özellikle 2015 sonrasındaki döviz kuru hareketleri ve uluslararası piyasalardaki taş kömürü ve doğal gaz fiyatları, Türkiye'nin gün öncesi piyasasındaki (GÖP) trend ve dalgalanmaları etkileyen önemli etkenlerdir.

TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASALARI

Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ), elektrik ve gaz emtiaları da dahil olmak üzere enerji piyasalarının geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumludur. EPİAŞ, spot elektrik piyasalarını, vadeli elektrik piyasasını, Yenilenebilir Enerji Kaynak Garanti Sistemi'ni (YEK-G) ve Organize YEK-G Piyasası'nı işletmektedir.

Spot elektrik piyasaları, EPİAŞ'ın 2015 yılından beri işlettiği gün öncesi spot elektrik piyasası (GÖP)[3] ve gün içi spot elektrik piyasasından (GİP) oluşmaktadır. Ancak elektrik talebinin tamamı spot elektrik piyasalarında işlem görmemektedir. GÖP'ün toplam elektrik ticaretindeki payı 2016 yılında yüzde 41,5 iken artarak 2020 yılında yüzde 62,3'luk rekor düzeye çıkmıştır.

EPİAŞ, GÖP saatlik piyasa takas fiyatlarını (PTF–toptan piyasa fiyatı) piyasa katılımcılarının tekliflerini baz alarak açıklamaktadır.

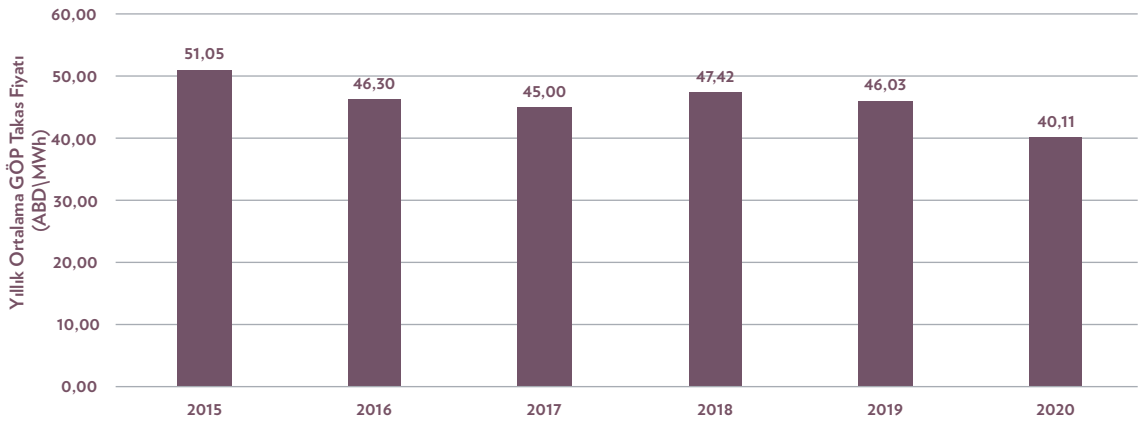
2015-2020 dönemi yıllık ortalama **GÖP takas fiyatı (PTF - toptan piyasa fiyatı)** Şekil 2'de verilmiştir. Ortalama GÖP takas fiyatı 45.99 ABD doları/MWh'dir.

Sanayi tüketici grubu için düzenlemeye tabi elektrik tarifeleri

Elektrik Piyasası Kanunu, düzenlemeye tabi tarifelerin kurallarını tanımlamaktadır. Sanayi sektörü için perakende elektrik tarifesi, enerji bedeli ve sistem bedeli olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Sanayi kuruluşlarının tarihsel perakende elektrik tarifeleri (vergi ve harçlar hariç) ve bileşenleri Şekil 3'te verilmiştir.

Sanayi sektörü için ortalama perakende elektrik fiyatı 2015'teki 9,19 ABD cent\kWh'den 2020'de 8,19 ABD cent\kWh'ye düşmüştür ve 2015-2020 ortalaması 8,23 ABD cent\kWh'dir.

Şekil 2. Yıllık ortalama gün öncesi piyasa takas fiyatı



3 GÖP, elektriğin teslimat gününden bir gün öncesinde, elektrik ticareti ve dengeleme faaliyetleri için kullanılan organize bir piyasadır.

SANAYİ SEKTÖRÜ PERAKENDE ELEKTRİK FİYATI BİLEŞENLERİ

Elektrik Piyasası Kanunu'na göre, elektrik kullanıcıları beş farklı tüketici kategorisine ayrılmıştır: Mesken, ticarethane, sanayi, tarımsal sulama ve aydınlatma. Sanayi, 2020 yılında yüzde 43 ile toplam tüketimin içinde en büyük paya sahiptir.[4]

AB ülkelerinin aksine, Türkiye'de sanayi tüketici grubu elektrik fiyatları mesken elektrik fiyatlarından daha yüksektir. Türkiye, sanayi elektrik tarifesinin mesken tarifesine oranla en pahalı olduğu OECD ülkesidir. [5]

Sanayi perakende elektrik tarifesi iki bileşenden oluşmaktadır: Enerji bedeli (energy costs) ve sistem (utility costs) bedeli.

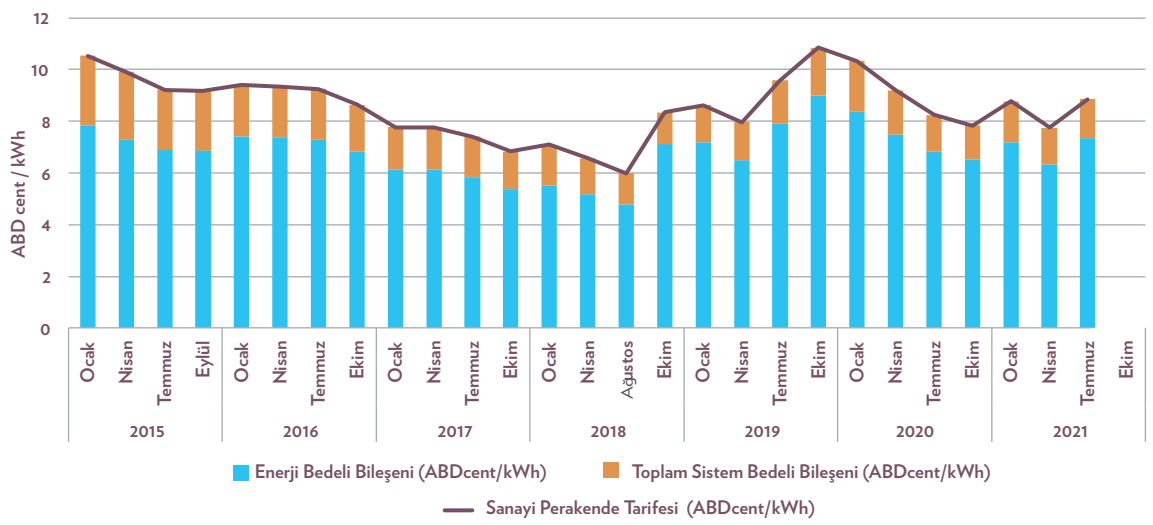
Sanayi perakende elektrik fiyatı = enerji bedeli bileşeni + sistem bedeli bileşeni

- **Enerji bedeli bileşeni** = PTF + YEKDEM desteği
- **Sistem bedeli bileşeni**: Şebeke bedelleri (vergiler hariç[6])

YEKDEM, elektrik tarifelerini doğrudan etkilemektedir zira tarifenin enerji bedeli bileşeni içine, elektrik piyasa fiyatına yanında ayrı bir maliyet olarak eklenir.

Sanayi tarifesinin sistem bedeli bileşeni iletim, dağıtım, perakende satış hizmet ile kayıp ve kaçak bedellerinden oluşmaktadır.

Şekil 3. Sanayi sektörü tarihsel perakende elektrik tarifesi ve bileşenleri (2015-2021)



4 Enerji tüketimi yüksek olan sanayi tesisleri hariç, tüm küçük ve orta ölçekli tüketiciler elektriği dağıtım sisteminden temin etmektedir.

5 Bkz. https://webim.teias.gov.tr/ adresinde "116-2020 TAHMİNİ OECD ÜLKELERİNDE ÜRETİM-İTHALAT-İHRACAT-BRÜT ARZ" Excel belgesi.

6 2020 yılında, toplam vergiler sanayi grubu elektrik faturalarının yaklaşık yüzde 17'sini teşkil ediyordu (EPDK, 2021)

2. YÖNTEM VE SENARYOLAR: YENİLENEBİLİR ENERJİNİN SANAYİ SEKTÖRÜ ELEKTRİK FİYATLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ÖLÇÜMÜ

Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan enerji sektörü baz senaryoları ve 1) yenilenebilir enerji kaynaklarının sanayi sektörü elektrik fiyatları üzerindeki etkisinin ölçümünde ve 2) Türkiye'de sanayi sektörü için müteakip tasarrufların ölçümünde tercih edilen yaklaşım ve yöntem açıklanmaktadır. Ayrıca bu çalışmanın kısıtlarına değinilerek ileride yapılacak araştırmalar için bazı öneriler de sunulmuştur.

2.1 2030 YILI ELEKTRİK SEKTÖRÜ İÇİN KULLANILAN REFERANS SENARYOLAR

Gelecekteki maliyet tasarrufu analizi, mevcut politika ortamlarıyla bağlantı kurmak ve Türkiye'deki çeşitli potansiyel enerji dönüşüm patikalarının sosyoekonomik etkilerinin karşılaştırmasından ders çıkarmak için politika odaklı bir senaryo yaklaşımına dayanmaktadır.

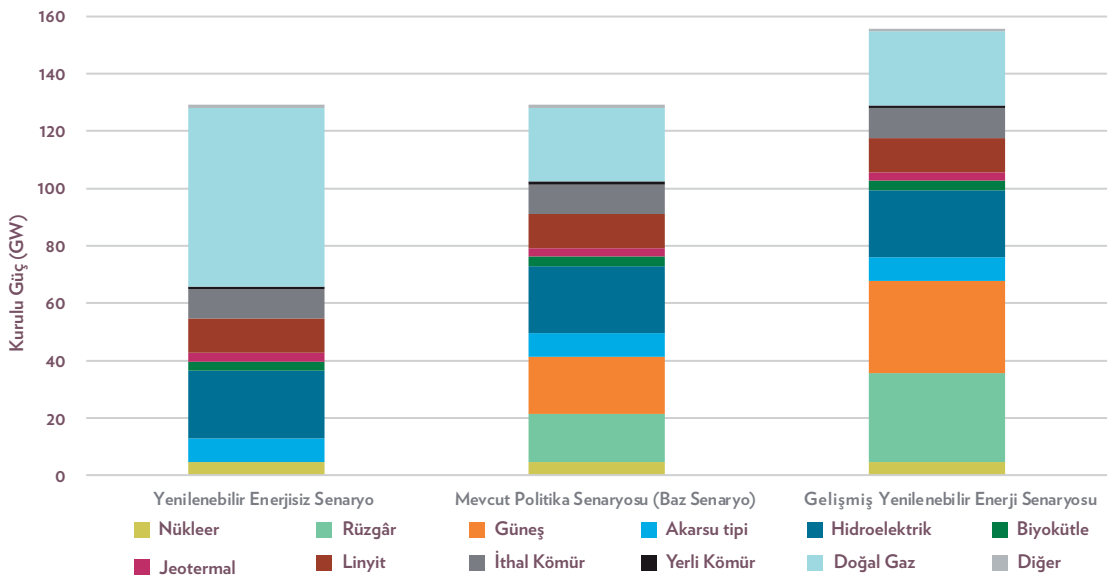
ÇALIŞMANIN KAPSAMI

Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye elektrik üretimine daha yüksek oranlarda dahil edilmesinin sanayi sektörü elektrik fiyatlarını nasıl etkileyebileceğini incelemekte ve ölçmektedir. Çalışmada hem toptan hem de perakende elektrik fiyatları üzerindeki etkiler ölçülmüştür.

Çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları olarak rüzgâr ve güneş enerjisi ele alınmıştır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin çoğunun herhangi bir yakıt maliyeti yoktur– marjinal maliyetleri sıfırdır ve bu nedenle ilk önce tevzi edilirler – diğer, daha pahalı teknolojileri pazarın dışına iterler. Bu, toptan elektrik piyasa fiyatını ve dolayısıyla perakende elektrik fiyatını da düşürmektedir. Kısa dönem marjinal üretim maliyetine dayalı fayda sırası (merit order) olarak adlandırılan bu etki son on yılda dünyanın birçok ülkesinde gözlemlenmiştir.

Bu çalışma, Türkiye'de kısa dönem marjinal üretim maliyetine dayalı fayda sırasını ölçen ilk çalışmalardan biridir. Çalışma, yenilenebilir enerjinin Türkiye elektrik piyasası ve dolayısıyla fiyatlar üzerindeki etkisini ayrıntılarıyla incelemektedir. Çalışmada, daha iddialı bir yenilenebilir enerji kapasitesi artışının nasıl elektrik fiyatlarını düşürebileceği ve doğal gaz fiyatlarındaki artışa bağlı fiyat oynaklığı risklerini azaltabileceği gösterilmektedir. Bununla birlikte, olumlu sosyoekonomik etkiler de istihdam yaratma, GSYİH büyümesi ve enflasyonun düşmesi açısından ölçülmüştür.

Şekil 4. Referans senaryolara göre 2030 yılı elektrik kurulu gücü (GW)



Yenilenebilir enerjinin 2030 yılında Türkiye'nin elektrik üretiminde daha yüksek paylara sahip olmasıyla ortaya çıkabilecek muhtemel maliyet tasarruflarını tespit etmek için toplam üç senaryo tanımlanmıştır (bkz. Şekil 4):

- **Mevcut Politika Senaryosu'nda (Baz Senaryo)**, 2030 yılına kadar toplam 17 GW rüzgâr enerjisi ve 20 GW güneş enerjisi kapasite artışı gerçekleştirileceği varsayılmaktadır. Bu senaryo, Enerji ve Doğal Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ve Türkiye Elektrik İletim A.Ş (TEİAŞ) gibi çeşitli kamu paydaşlarının projeksiyonları ve varsayımlarını temel almaktadır.

- **Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu'nda**, 2030 yılına kadar 31 GW rüzgâr ve 32 GW güneş kurulu gücü artışı gerçekleştirileceği varsayılmaktadır. Bu senaryo, SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi'nin "*Türkiye Enerji Sisteminde Yenilenebilir Kaynaklarının Artan Payı: İletimde Genişleme ve Esneklik Seçenekleri*" raporu kapsamında geliştirilen bir senaryoya dayanmaktadır.

- Üçüncü ve son senaryoda ise, Türkiye elektrik sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının devreye alınmadığı varsayılmaktadır **(Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo)**. Bu varsayımsal senaryoda tüm yenilenebilir enerji kurulu gücünün verimli doğal gaz santralleriyle ikame edileceği varsayılmaktadır.[7] Bu senaryo ile yapılan karşılaştırmalar, Türkiye'de yenilenebilir enerji kapasitesi artırılarak elde edilebilecek toplam tasarruf miktarlarını gösterecektir.

7 Raporun yazımı sırasında, yüksek verimli doğal gaz santrallerinin ikame için kullanılabilecek en uygun maliyetli teknoloji olması nedeniyle bu varsayımsal "Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo"da yenilenebilir enerji kurulu gücünün tamamının verimli doğal gaz santralleri ile ikame edileceği varsayılmıştır.

Senaryo konfigürasyonu ve karbon ve yakıt fiyatı duyarlılıkları

Bu çalışma aynı zamanda doğal gaz ve karbon fiyatlarındaki değişimlerin etkilerini de modellemektedir. Durum A, doğal gaz fiyatları için Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Yeni Politikalar referans senaryosunun dikkate alındığı[8] ve karbon fiyatlandırmasının olmadığı, yakıt fiyatı istikrarının sağlandığı bir durumudur. Durum B ve C'de, sırasıyla artan doğal gaz fiyatlarını ve yüksek karbon fiyatı faktörlerini değerlendirilmektedir. Durum D ise, artan doğal gaz fiyatlarının ve yüksek karbon fiyatlarının birleşik etkilerini ele almaktadır.

Tablo 1. Senaryo konfigürasyonu ve karbon ve yakıt fiyatı duyarlılıkları (Durum A-D)

	Senaryolar											
	2030 Durum A – İstikrarlı Yakıt Fiyatları			2030 Durum B – Artan Yakıt Fiyatları			2030 Durum C – İstikrarlı Yakıt Fiyatları ile Yüksek Karbon Fiyatı			2030 Durum D – Artan Yakıt Fiyatları ve ile Yüksek Karbon Fiyatı		
Parametreler	Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo	Baz Senaryo	Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu	Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo	Baz Senaryo	Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu	Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo	Baz Senaryo	Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu	Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo	Baz Senaryo	Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu
Yakıt Fiyatı	Referans Fiyat	Referans Fiyat	Referans Fiyat	%31	%31	%31	Referans Fiyat	Referans Fiyat	Referans Fiyat	%31	%31	%31
Karbon Fiyatı (ABD doları/ tCO_2)	-	-	-	-	-	-	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6	70,6
Rüzgâr ve Güneş Kurulu Gücü (GW)	0	17 ve 20	31,1 ve 31,2	0	17 ve 20	31,1 ve 31,2	0	17 ve 20	31,1 ve 31,22	0	17 ve 20	31,1 ve 31,22
Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü %	%0	%28	%48	%0	%28	%48	%0	%28	%48	%0	%28	%48
Yenilenebilir Enerji SEM	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük
Toplam Talep (TWh)	460 + Aynı NTK	460 + Aynı NTK	460 (600 MW Batarya + 1000 MW pompaj depolama)	460 + Aynı NTK	460 + Aynı NTK	460 (600 MW Batarya + 1000 MW pompaj depolama)	460 + Aynı NTK	460 + Aynı NTK	460 (600 MW Batarya + 1000 MW pompaj depolama)	460 + Aynı NTK	460 + Aynı NTK	460 (600 MW Batarya + 1000 MW pompaj depolama)
Konvansiyonel Termik santral Kurulu Gücü	TEİAŞ tahminleri ve Akkuyu Nükleer Santrali'nin 4 ünitesi											

SEM: Seviyelendirilmiş enerji maliyeti
NTK = Net transfer kapasitesi

8 https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2020/01/HRE4_D6.1-Future-fuel-price-review.pdf

2.2 YAKLAŞIM VE YÖNTEM

Yenilenebilir enerji kapasitesi artışının Türkiye'deki elektrik fiyatları üzerindeki etkilerini ölçmek için bir dizi yöntem ve model kombinasyonu kullanılmıştır.

Toptan satış piyasası gelişiminin ölçümü, piyasa simulasyon motoru çıktılarına ve perakende fiyat hesaplaması için gerçekleştirilen istatistiksel analize dayanmaktadır (bkz. *Ek 1, 6.1.1-6.1.4*).

Türkiye ekonomisi üzerindeki makroekonomik etkiler ise 2030'a kadarki dönemi kapsayan bir dinamik uygulamalı genel denge modeline dayanmaktadır (bkz. *Ek 1, 6.1.5*).

2.2.1 Sanayi sektörü elektrik fiyatlarının ve tasarruflarının hesaplanması

Sanayi sektörü maliyet tasarrufları[9] tahmini için bir **fiyat hesaplama aracı** geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu araç, Türkiye gün öncesi elektrik piyasasını simüle eden bir **piyasa simülasyon motorundan** oluşmaktadır (bkz. Şekil 5).

Kısa dönem marjinal maliyete dayalı fayda sırası (merit order), piyasa simülasyon motorunun ana girdisidir ve farklı teknolojilerin devrede olma sırasını belirlemektedir. Türkiye elektrik piyasasını temsil edecek bir başlangıç fayda sırası varsayımı yapılmış ve Türkiye elektrik piyasasını doğru bir şekilde temsil eden uygun bir fayda sırası seti türetmek için ise bir yinelemeli süreç gerçekleştirilmiştir (bkz. Şekil 5).

Farklı teknolojiler için öngörülen toplam üretim cinsinden sonuçlar, gerçekleşen enerji üretimi ve piyasa fiyatları ile karşılaştırılmaktadır. Kısa dönem marjinal maliyetlere dayalı fayda sırası parametreleri ise, gerek görüldüğünde, model sonuçları EPİAŞ'ın gerçekleşen verileriyle uyumlu olana kadar düzeltilmektedir. Doğru fayda sırası elde edildikten sonra, tarihsel ve gelecekteki tasarrufların hesaplanması için ilgili enerji kapasiteleri piyasa simülasyon motoruna eklenmektedir.

Bir diğer adımda, kısa dönem marjinal maliyetlere dayalı fayda sırası etkisini ve toptan elektrik fiyatları üzerindeki etkiyi ölçmek için yenilenebilir kaynaklara dayalı üretim fayda sırasından çıkarılmaktadır ve konvansiyonel kaynaklarla ikame edilmektedir. Toptan satış fiyatları hem tarihsel hem de gelecek senaryoları için hesaplanmaktadır (daha ayrıntılı bilgi için bkz. Ek 1, *"6.1.1 Tarihsel tasarrufları ölçmek için piyasa simülasyon aracı"* ve *"6.1.2 Gelecekteki tasarrufları ölçmek için piyasa simülasyon aracı"*.

Toptan piyasa fiyatları hesaplandıktan sonra sanayi sektörü perakende elektrik fiyatı hesaplanmaktadır. Türkiye'de sanayi sektörü perakende elektrik fiyatı tarifesi, **enerji bedeli** ve **sistem bedeli bileşenleri** olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır. Piyasa takas fiyatının yanı sıra, yenilenebilir enerji desteği (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması -YEKDEM) ve nükleer santrallere sağlanan destek ile ilgili maliyetler de 2030 yılına kadar dikkate alınmıştır. Kullanılan yöntemin ayrıntıları Ek 1'de verilmiştir.

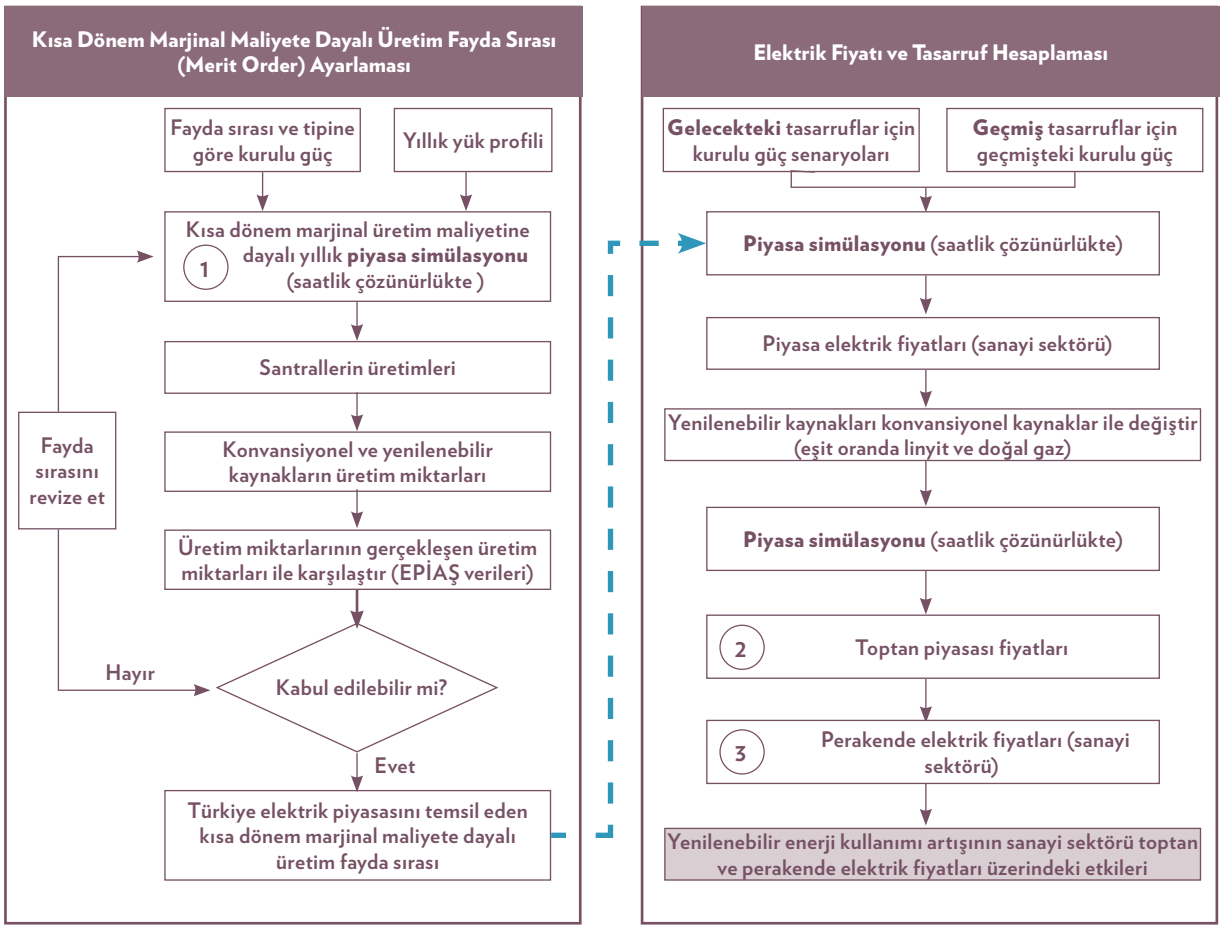
SANAYİ PERAKENDE ELEKTRİK FİYATI HESAPLAMASI

Sanayi perakende fiyatı = enerji bedeli bileşeni + sistem bedeli bileşeni

- **Enerji bedeli bileşeni 2015-2020** = Piyasa takas fiyatı (PTF) + YEKDEM desteği
- **Enerji bedeli bileşeni 2020-2030** = Piyasa takas fiyatı (PTF) + YEKDEM desteği + Nükleer desteği
- **Sistem bedeli bileşeni** = Şebeke bedelleri (vergiler hariç)

9 Bu rapordaki sanayi sektörü tasarrufları 2018 baz yılı reel değeri üzerinden olarak verilmiştir. Türkiye'de son yıllarda görülen yüksek enflasyon oranı bunu önemli kılmaktadır. Türk lirası ve ABD doları arasındaki karşılaştırmalar da 2018 kambiyo oranlarına dayanmaktadır (1 EUR = 5,67 TL olarak kabul edilmiştir)

Şekil 5. Tarihsel ve gelecekteki tasarrufları hesaplama yöntemi



Tarihsel ve gelecekteki tasarrufların hesaplanması

Yenilenebilir kaynak paylarının artmasının doğrudan etkilerini (sanayi tüketici grubu tasarrufları açısından) hesaplamak için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Denge Tabloları (2015-2019) kullanılmıştır.[10] Tarihsel maliyet tasarrufları hesaplaması, sanayi perakende tarifesinin varsayımsal "Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo" fiyatından düşülmesiyle hesaplanmaktadır (bkz. *Ek 1, 6.1.5*).

2020–2030 döneminde sanayi sektörünün gerçekleştireceği doğrudan maliyet tasarruflarını hesaplamak için toplam elektrik talebi tahminleriyle tutarlı bir ekonomik büyüme patikası kullanılmaktadır. Ardından, bu büyüme patikası beklenen

10 Denge Tabloları. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. https://enerji.gov.tr/Preview/tr/63d0007a-f593-458b-9610-353eb2545897

sektörel büyüme dinamiklerine yansıtılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik piyasasındaki payını artırmanın gelecekteki endüstriyel maliyet tasarrufu etkilerini hesaplamak için bir dinamik uygulamalı genel denge modeli kullanılmaktadır (bkz. *Ek 1, 6.1.5*).

2.2.2 Yenilenebilir enerji kapasite artışının Türkiye ekonomisi üzerindeki makroekonomik etkilerinin değerlendirilmesi

Yenilenebilir enerji kapasite artışının Türkiye ekonomisi üzerindeki daha geniş makro-ekonomik etkilerini (yayılma etkileri-spillover effects) ölçmek için çalışmada bir dinamik uygulamalı genel denge modeli de kullanılmaktadır. Bu model, genel ekonomik faaliyeti 23 sektöre ayırmaktadır ve toplulaştırılarak **GSYİH, genel ticaret dengesi** ve enflasyon oranı üzerindeki etkinin değerlendirilmesinde kullanılacak sektörel düzeydeki **istihdam yaratma**, iç ve dış talep ve (nispi) fiyatların **hesaplanmasını** sağlamaktadır. Model, Türkiye ekonomisinin 2018 yılı makroekonomik/sektörel dengesine göre kalibre edilmiştir. Genel denge modelinin ve kullanılan yöntemin daha ayrıntılı bir açıklaması için bkz. *Ek 1, 6.1.5. Sanayi Sektörünün Toplam Tasarruf Miktarının ve Makroekonomik Etkilerinin Hesaplanmasında Kullanılan Uygulamalı Genel Denge (UGD) Modeli Tanımları.*

2.3 ARAŞTIRMA KISITLARI VE ÖNERİLER

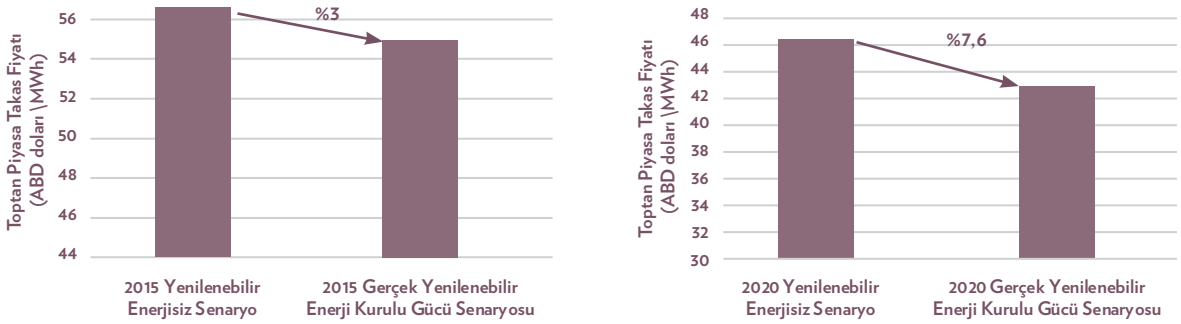
Bu çalışma, Türkiye elektrik piyasasının genel görünümün verildiği EPİAŞ internet sitesinde yer alan şeffaf verilere dayanmaktadır ancak ticari açıdan çok hassas veriler erişime açık değildir. Veri eksikliğinin etkileri, özellikle de enerji santralleri için yapılan ikili sözleşmeler ve santrallerin bakım süreleri hakkındaki veriler, kısa dönem marjinal üretim maliyetine dayalı fayda sırası Bölüm 2.2.1'de açıklandığı gibi düzeltilerek telafi edilmektedir. Yöntemsel varsayımlara, kısıtlara ve ileride yapılacak araştırma önerilerine **Ek 5**'te ayrıntılarıyla değinilmektedir.

3. SANAYİ SEKTÖRÜ ELEKTRİK FİYATLARININ DÜŞÜRÜLMESİ VE MAKROEKONOMİK FAYDALARIN ÜRETİLMESİ

TEMEL BULGULAR:

- **Tarihsel tasarruflar:** Son beş yılda (2015-2020), ortalama toptan elektrik fiyatları yenilenebilir enerji kaynaklarının (sıfır marjinal maliyetli) artmasına bağlı olarak yüzde 22 düşmüştür. Bu, yenilenebilir enerjisiz bir elektrik sistemiyle kıyaslandığında, yıllık 17,6 milyar Türk lirası (3,7 milyar ABD doları) tasarruf sağlandığı anlamına gelmektedir. Ortalama perakende elektrik fiyatı incelendiğinde ise, yüzde 15,2 oranında düştüğü ve bunun sonucunda toplam 9,47 milyar TL (1,96 milyar ABD doları) kadar bir tasarruf elde edildiği görülmüştür.
- **Gelecekteki tasarruf potansiyeli:** Önümüzdeki 10 yılda (2021–2030), sanayi sektörü daha da büyük tasarruflar gerçekleştirecektir. Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında, mevcut kurulu güç artırma planlarına (Baz Senaryo) kıyasla, perakende elektrik fiyatı yüzde 1,5 düşerek yalnızca 2030 yılında toplam 1,32 milyar Türk lirası (274 milyon ABD doları) tasarruf sağlanacaktır.
- **Yakıt fiyatı değişkenliği risklerinden korunma:** Yenilenebilir enerji tedariki, yakıt fiyatlarındaki oynaklıkla ilişkili ekonomik ve toplumsal riskleri azaltabilir. 2030 itibarıyla yakıt (doğal gaz) fiyatlarının yüzde 31 artacağı varsayıldığında, sanayi sektörü perakende elektrik fiyatları mevcut planlar kapsamında yüzde 5 ve yenilenebilir enerjisiz bir piyasada ise yüzde 16'ya kadar artabilecektir. Yenilenebilir kaynak paylarının yüksek olduğu bir senaryoda ise, yakıt fiyatındaki bu artış ortalama perakende elektrik fiyatlarında sadece yüzde 3'lük bir artışa yol açacaktır ve sanayi tüketici grubunu fiyat şoklarından koruyacaktır.
- **Makroekonomik faydalar:** Elektrik fiyatlarının düşürülmesi ve sanayi sektörünün ekonomik rekabet gücünün artırılmasıyla birlikte, ihracatın 5,6 milyon Türk lirası (1,16 milyon ABD doları) artarak GSYİH'de yüzde 0,13'lük bir büyümeye yol açması beklenmektedir. Türkiye sanayi sektörünün uluslararası alanda rekabet gücü artırılarak, sektörün daha hızlı büyümesi ve 19 bin kadar yeni iş yaratması sağlanabilir.
- **İklim faydaları:** Türkiye elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payının artırıldığı Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu ile (31 GW rüzgâr, 20 GW güneş enerjisi), Mevcut Baz Senaryo planlarına (17 GW rüzgâr, 20 GW güneş kurulu gücü) kıyasla, CO_2 yoğunluğu yüzde 5 azaltılabilir. Yenilenebilir enerjisiz bir elektrik piyasası ile karşılaştırıldığında ise, Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu'yla CO_2 yoğunluğu yüzde 9 azaltılarak 2030 yılı CO_2 emisyonunda toplam 12 milyon metrik ton kadar azaltım gerçekleştirilmektedir. Avrupa Birliği'nin Sınırda Karbon Uyarlaması Mekanizması (CBAM) planları göz önüne alındığında, bu durumun Türkiye sanayi sektörünün ihracat fırsatlarını artırması muhtemeldir.

Şekil 6. 2015 ve 2020 yılları toptan piyasa takas fiyatları karşılaştırması (yenilenebilir kaynaklarla gerçekleşen elektrik üretimi ile Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altındaki üretimin karşılaştırması)



3.1 YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMI SAYESİNDE SANAYİ SEKTÖRÜNÜN GERÇEKLEŞTİRDİĞİ TARİHSEL TASARRUFLAR

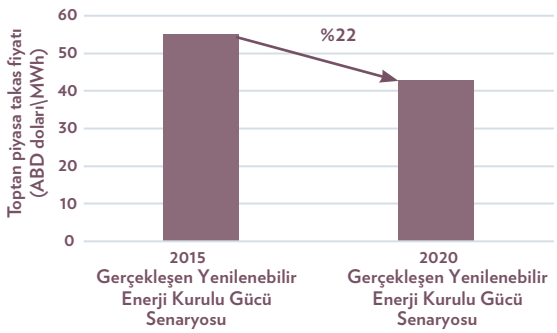
3.1.1 Toptan elektrik piyasa fiyatındaki düşüş

Piyasa simülasyon motoru, 2015-2020 döneminde toptan elektrik fiyatlarındaki değişiklikleri hesaplamak için kullanılmaktadır. Motor, Türkiye elektrik piyasasını marjinal hata payı ile temsil etme yeteneğine sahiptir (maksimum yüzde 1 hata, bkz *Ek 2, 6.2.1*'deki yıllık üretim simülasyonu ile 2015 ve 2020 yıllarında fiilen gerçekleşmiş tarihsel değerlerin karşılaştırılması).

Şekil 6'da, 2015 ve 2020 yıllarındaki gerçekleşen toptan piyasası takas fiyatları ile Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altındaki fiyatlar (sıfır güneş ve rüzgâr enerjisi kapasitesi) karşılaştırılmıştır. 2015 ve 2020 yıllarının ortalama yıllık toptan elektrik fiyatları, Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla, sırasıyla yüzde 3,0 ve yüzde 7,6 daha düşüktür.

Yıllık ortalama toptan elektrik fiyatları 2015-2020 döneminde yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artışa bağlı olarak yüzde 22 düşmüştür (bkz. Şekil 7).

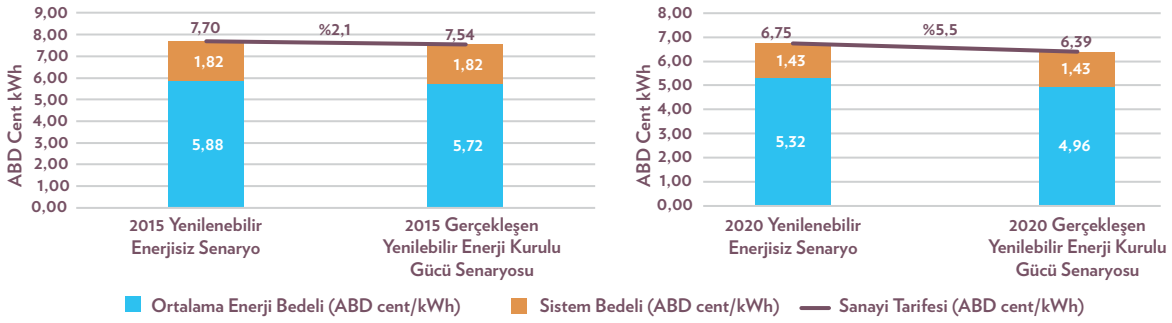
Şekil 7. 2015 ve 2020 yılları ortalama toptan piyasa takas fiyatları karşılaştırması (yenilenebilir kaynaklarla gerçekleşen üretim)



3.1.2 Perakende elektrik piyasası fiyatındaki düşüş

Perakende elektrik fiyatı üzerindeki etkilerin hesaplanması için, ortalama toptan piyasa fiyatının ötesinde fiyat bileşeninin, yani "sistem bedeli"nin dikkate alınması gerekmektedir. 2015 ve 2020 yıllarının sanayi sektörü ortalama perakende elektrik tarifesi ve ilgili bileşenleri Şekil 8'de gösterilmektedir.

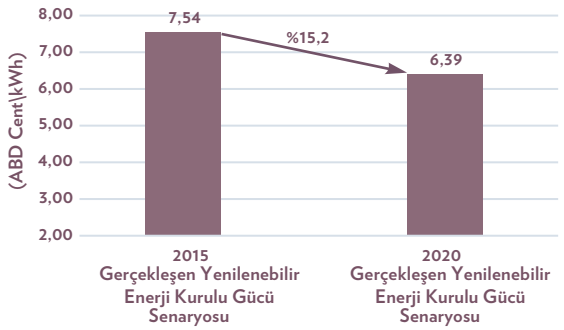
Şekil 8. 2015 ve 2020 yılları ortalama enerji bedeli ve sistem bedelindeki değişiklikler (Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo ile Gerçekleşen Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü Senaryosu karşılaştırması)



Sanayi sektörü ortalama yıllık perakende elektrik fiyatları ile Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr ve güneş) eklenmesinin perakende elektrik fiyatlarını 2015'te yüzde 2,1 ve 2020'de yüzde 5,5 oranında düşürdüğünü göstermektedir.

Hesaplamalara göre, 2015-2020 döneminde Türkiye elektrik sistemine yenilenebilir enerji kaynakları eklenerek **sanayi sektörü için yıllık ortalama perakende elektrik fiyatı** yüzde 15,2 oranında düşürülmüştür.

Şekil 9. 2015-2020 ortalama sanayi perakende elektrik tarifesi



3.1.3 Sanayi sektörü için toplam elektrik maliyeti tasarrufu

Varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altındaki perakende elektrik tarifesi ile gerçekleşen perakende elektrik tarifesi arasındaki farklar (bkz. Şekil 8), sanayi sektörünün doğrudan gerçekleştirdiği yıllık ve kümülatif tasarrufları hesaplamak için kullanılmıştır. Gerçekleşen maliyetler ile Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altındaki maliyetler karşılaştırıldığında Türkiye sanayi sektörlerinin 2015-2020 döneminde 9,47 milyar Türk lirası (1,96 milyar ABD doları) kadar bir tasarruf gerçekleştirdikleri görülmektedir (her bir sanayi sektörünün maliyet tasarrufu için bkz. Tablo 2).

Tablo 2. 2015-2020 elektrik maliyeti tasarrufu, Gerçekleşen Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü Senaryosu ve Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırması (milyon ABD doları)

	Nace Rev. 2 kodu	Elektrik Talebi (GWh)						Elektrik maliyeti tasarrufu, Yenilenebilir Enerjisiz Varsayımsal Senaryo'ya kıyasla (milyon ABD doları)		
Sektör		**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2015**	**2020**	**2015-2020 kümülatif**
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	17-18	4.018	4.139	3.506	3.439	3.418	3.468	6,62	30,94	74,65
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	23	18.228	19.099	12.955	12.931	12.853	13.065	30,01	83,60	259,71
Ana metal sanayi	24	19.462	24.375	29.262	29.092	28.918	29.373	32,04	191,68	515,11
Diğer imalat	16-31-32	5.885	6.388	18.928	18.552	18.441	18.591	9,69	27,03	204,66
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	07-08-09	10.229	2.271	1.402	1.593	1.584	1.605	16,84	13,94	48,15
Tekstil, giyim ve deri ürünleri imalatı	13-14-15	24.022	17.892	17.022	18.077	17.967	18.298	39,55	103,55	326,93
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	20-21-22	8.190	15.610	12.449	13.146	13.067	13.297	13,48	77,77	230,36
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	25	1.494	1.646	2.377	2.188	2.174	2.216	2,46	12,86	37,27
Ulaşım araçları imalatı	29-30	1.910	2.736	2.635	2.589	2.574	2.765	3,14	5,76	36,06
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	26-27-28	1.607	2.219	2.889	2.756	2.739	2.808	2,65	55,31	85,65
Gıda ürünleri	10-11-12	7.777	7.313	7.483	7.805	7.758	7.809	12,80	55,32	146,98
TOPLAM		**102.822**	**103.687**	**110.907**	**112.167**	**111.493**	**113.293**	**169,3**	**657,8**	**1.965,5**
TOPLAM (milyon TL)								**816,2**	**3.171,3**	**9.476,67**

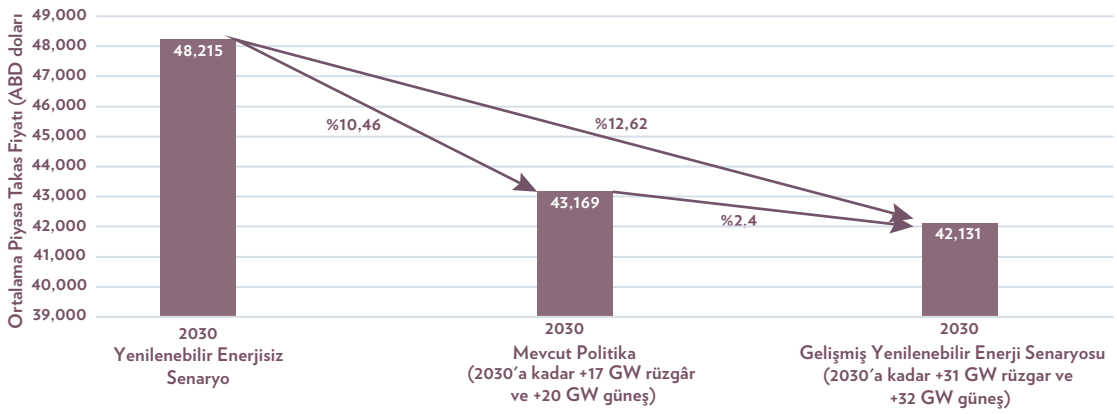
3.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ KULLANIMININ ARTMASIYLA BİRLİKTE SANAYİ SEKTÖRÜNÜN GELECEKTEKİ TASARRUF POTANSİYELİ

3.2.1 Toptan elektrik piyasası fiyatlarının düşmesi

Piyasa simülasyon motoru, tarihsel tasarrufları hesaplamak için kullanıldığı gibi, seçili senaryolar altında gelecekteki elektrik fiyatlarında yaşanacak değişiklikleri hesaplamak için de kullanılmaktadır (yöntem için bkz. *Ek 1* ve 2025 ve 2030 yıllarının elektrik üretimi piyasa simülasyonu için bkz. *Ek 2, 6.2.4*).

2030 yılında, enerji üretiminde hidroelektrik dışında hiçbir yenilenebilir kaynağın kullanılmadığı varsayımsal bir elektrik piyasası senaryosu

Şekil 10. 2030 yılı yıllık ortalama toptan piyasa takas fiyatı karşılaştırması



altında, Mevcut Politika Senaryosu'na (17 GW rüzgâr ve 20 GW güneş) kıyasla, toptan piyasa fiyatının yüzde 10,46 daha yüksek olabileceğini görülmektedir. Gelişmiş Yenilenebilir Enerjisi Senaryosu (31 GW rüzgâr ve güneş, bkz. Şekil 10) ile toptan piyasa fiyatları yüzde 2,4 daha düşürülebilmektedir. Bu, yenilenebilir kaynakların toptan piyasa fiyatlarının düşürülmesinde oynadıkları önemli rolü ortaya koymaktadır.

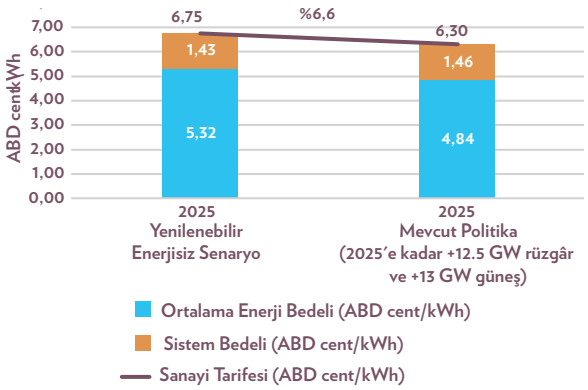
3.2.2 Perakende elektrik piyasası fiyatlarının düşmesi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye elektrik üretimdeki payının artmasıyla birlikte, gelecekte sanayi sektörü perakende elektrik fiyatlarının düştüğü açıkça görülmektedir.

2025 yılında, Mevcut Politika Senaryosu altında, varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz senaryoya kıyasla, ortalama perakende elektrik fiyatları yüzde 6,6 düşürülebilmektedir (bkz. Şekil 11).

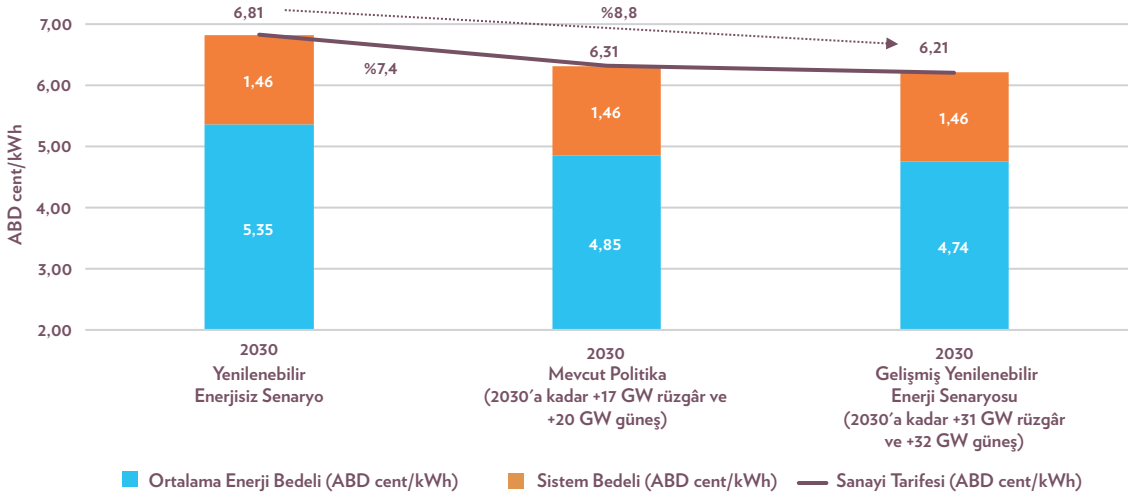
2030 yılı için yapılan analizde, perakende elektrik fiyatlarının daha da düşürülebileceği görülmektedir: Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu (ek 14 GW güneş ve 12 GW rüzgâr enerjisi kapasitesi) altında, Mevcut Politika Senaryosu'na kıyasla,

Şekil 11. 2025 yılı ortalama yıllık perakende elektrik fiyatı (Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo ile Mevcut Politika Senaryosu karşılaştırması)



perakende elektrik fiyatı yüzde 1,6 daha düşürülebilir. Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu, hidroelektrik dışında Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla, sanayi perakende elektrik fiyatlarını 2030 yılında **yüzde 8,8** oranında düşürme potansiyeline sahiptir (bkz. Şekil 12).

Şekil 12. 2030 yılı ortalama yıllık perakende elektrik fiyatı (Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo, Mevcut Politika Senaryosu ve Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu karşılaştırması)



3.2.3 Sanayi sektörü için toplam elektrik maliyeti tasarrufları

Yenilenebilir enerji payının artması, 2020-2030 dönemi sanayi elektrik fiyatlarındaki tahmini düşüşle de görüldüğü üzere, sanayi sektörüne doğrudan fayda sağlayabilecektir.

Baz Senaryo altında sanayi sektörleri için öngörülen doğrudan faydalar, 2025 yılında 820 milyon ABD doları ve 2030 yılında 1,15 milyar ABD dolarına ulaşmaktadır.

Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu 2030 yılında gerçekleştiği takdirde, 2030 yılında 1,43 milyar ABD doları kadar fayda elde edilebilmektedir (bkz. Şekil 13). Bu değerler, A Durumu (istikrarlı yakıt fiyatının olduğu ve karbon fiyatlandırmanın olmadığı) için gerçekleşen yenilenebilir enerji kapasitesi senaryosu ile varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo ile karşılaştırılarak hesaplanmaktadır.

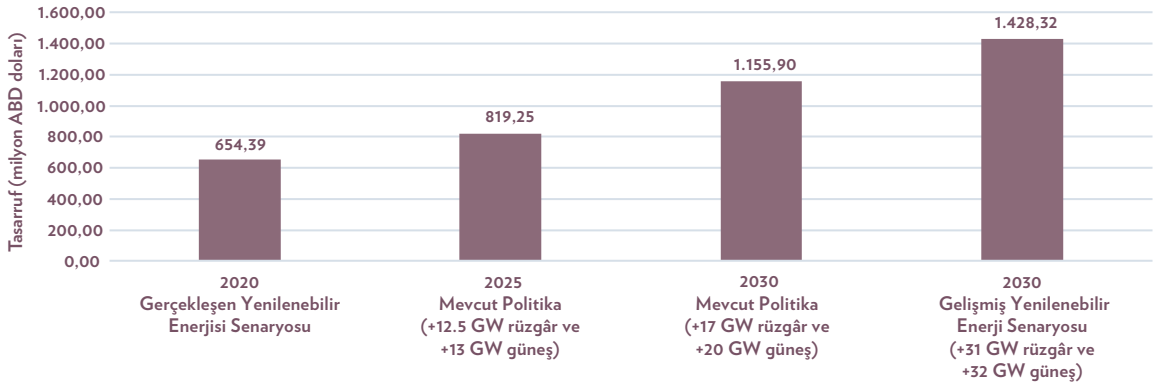
Baz Senaryo'da, 2020-2030 döneminde Türkiye enerji piyasasında yenilenebilir kaynakların

2020-2030 DÖNEMİ MALİYET TASARRUFLARI HESAPLAMASI

Maliyet tasarrufları (doğrudan fayda), Baz Senaryo ve Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu, ve varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altındaki sanayi perakende elektrik tariflerindeki farklar kullanılarak hesaplanmaktadır.

2018-2030 dönemi için makroekonomik modelin ürettiği sektörel büyüme dinamikleri sonuçlarına dayalı elektrik talebi projeksiyonları (hem 2018 yılı reel Türk lirası bazında ödemeler hem de GWh cinsinden fiziksel birimler) kullanılmıştır. 2020-2030 döneminde sanayi grubu tüketicilerinin elde edecekleri doğrudan faydalar bu şekilde hesaplanmıştır.

Şekil 13. Elektrik maliyeti tasarrufu, Yenilenebilir Enerjili Senaryolar ile Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırması (milyon ABD doları)



Tablo 3. 2020, 2025 ve 2030 yılları elektrik maliyeti tasarrufu ve kümülatif fayda (Durum A)

		Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla gerçekleştirilen tasarruf (milyon ABD doları)						
Sektör	Nace Rev. 4 kodu	2020 Gerçekleşen Yenilenebilir Enerji Kurulu Gücü Senaryosu	2025 Mevcut Politika (+12,5 GW rüzgar ve +13 GW güneş)	2030 Mevcut Politika (+17 GW rüzgar ve +20 GW güneş)	2030 Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu (+31 GW rüzgar ve +32 GW güneş)	Kümülatif		
						2020-25 Mevcut Politika	2020-30 Mevcut Politika	2020-30 Gelişmiş Yenilenebilir Enerji
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	17-18	30,78	37,12	52,31	64,53	203,65	431,76	465,35
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	23	83,17	101,63	143,30	176,81	554,31	1.179,32	1.271,07
Ana metal sanayi	24	190,70	253,52	358,79	444,61	1.341,21	2.910,07	3.136,48
Diğer imalat	16-31-32	26,90	32,49	45,64	56,36	178,30	377,79	407,19
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	07-08-09	13,87	17,12	23,99	29,65	93,06	198,20	213,62
Tekstil, giyim ve deri ürünleri imalatı	13-14-15	103,03	125,36	175,58	216,67	684,69	1.453,02	1.566,06
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	20-21-22	77,38	93,93	132,62	163,67	513,45	1.092,11	1.177,08
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	25	12,79	16,14	22,81	28,17	87,03	186,68	201,20
Ulaşım araçları imalatı	29-30	5,73	8,48	12,49	15,41	42,89	96,79	104,32
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	26-27-28	55,02	69,29	99,36	122,66	373,74	803,72	866,25
Gıda	10-11-12	55,04	64,18	89,02	109,79	357,78	748,76	807,01
TOPLAM		**654,39**	**819,25**	**1.155,90**	**1.428,32**	**4.430,10**	**9.478,21**	**10.215,64**
TOPLAM (milyon TL)		**3.171,30**	**3.970,20**	**5.601,69**	**6.921,86**	**21.468,96**	**45.932,86**	**49.506,55**

payının artmasıyla 9,52 milyar ABD doları kadar kümülatif doğrudan fayda (tasarruf açısından) elde edilebilmektedir.

Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında 2030 yılında sağlanan faydalar artmaktadır. Tablo 3'te görüldüğü üzere, 2030 yılına gelindiğinde Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında, Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla, 10,23 milyar ABD doları kadar bir kümülatif doğrudan fayda sağlanmaktadır.

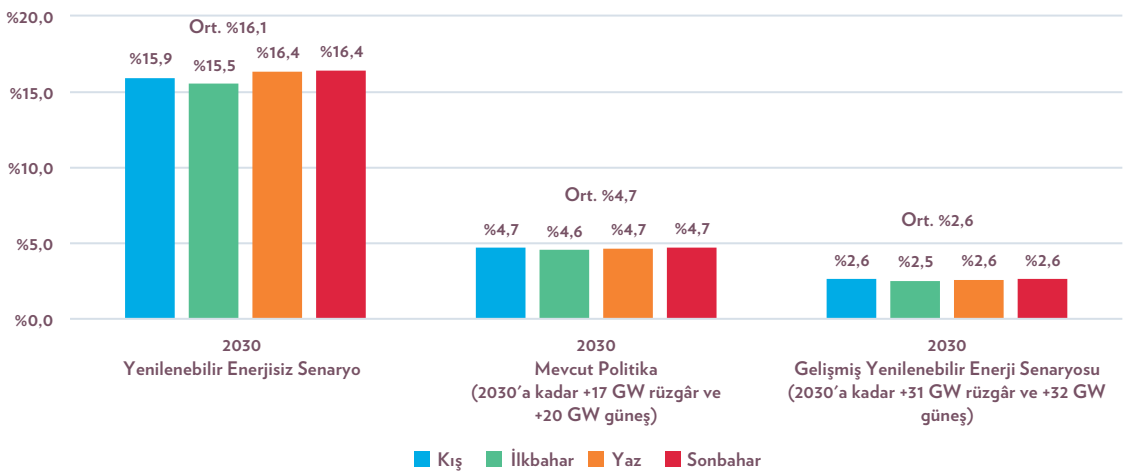
3.3 YAKIT FİYATI DEĞİŞKENLİĞİNİN YARATTIĞI RİSKLERDEN KORUNMA: FOSİL YAKIT PAYININ AZALTILMASI

Türkiye enerji üretim sistemi, büyük ölçüde dışa bağımlıdır ve kullandığı doğal gazın yüzde 98'inden fazlasını ve taş kömürün yüzde 97'sinden fazlasını ithal etmektedir. Türkiye enerji üretim sisteminde doğal gaz önemli bir rol oynamaktadır zira doğal gaz santrallerinin büyük kısmının, kömür veya linyit gibi diğer geleneksel üretim teknolojilerine kıyasla, kısa vadeli marjinal maliyetleri yüksektir. Çoğu durumda doğal gaz santrallerine, piyasa takas fiyatını belirledikleri için marjinal enerji santralleri ve "fiyat belirleyici" santraller denilmektedir. Sektördeki hacim ve ortalama maliyet de dolayısıyla bu birincil enerji kaynaklarının doğal gaz fiyatlarından önemli ölçüde etkilenmektedir.

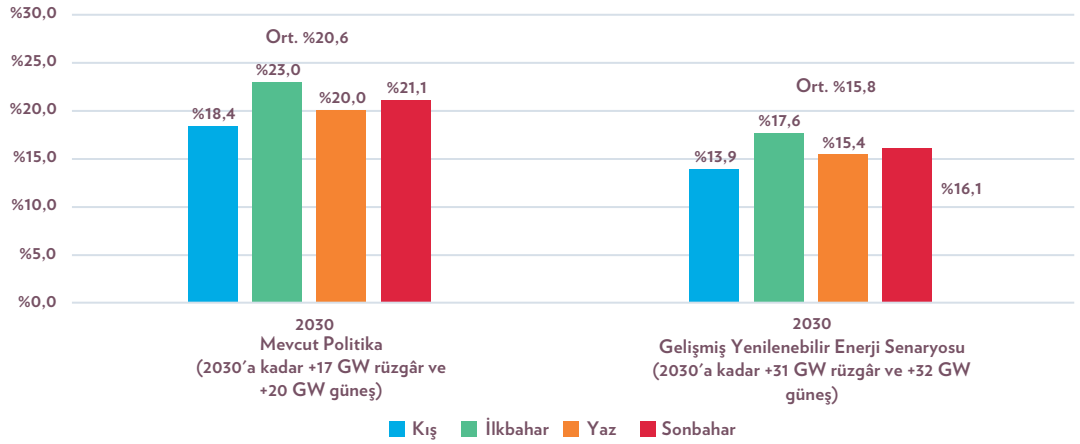
Doğal gaz fiyat artışlarının Türkiye'deki sanayi tüketici grubu elektrik fiyatları üzerindeki etkisini anlamak için, her üç referans senaryoda da doğal gaz fiyatında yüzde 31'lik bir artış modellenmiştir (Durum B ve D). Bu fiyat artışı, Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) 2030 yılı için gerçekleştirdiği yeni politika tahminlerine dayanmaktadır. Modelde, 2021 ve 2022'deki en son doğal gaz fiyat artışları dikkate alınmamıştır. Ayrıntılı bilgi için bkz. *Ek 1.*

Doğal gaz fiyatında yüzde 31'lik bir artış, varsayımsal yenilenebilir enerjisiz bir elektrik piyasasında sanayi perakende elektrik tarifesinde yüzde 16,1'lik bir artışa neden olmaktadır (Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo). Mevcut Politika Senaryosu'nda bile, sanayi grubu tüketicileri yüzde 4,7'lik bir perakende elektrik fiyatı artışıyla karşı karşıya kalacaktır. Buna karşılık, Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında doğal gaz fiyatı artışı, sanayi grubu tüketicileri perakende elektrik fiyatlarına sadece yüzde 2,6'lık bir artış olarak yansıyacaktır. Bu durum, yenilenebilir enerji kapasite artışının fosil yakıt fiyat değişkenliğinin doğurduğu risklere karşı koruma potansiyelini ortaya koymaktadır (bkz. Şekil 14).

Şekil 14. Daha yüksek doğal gaz fiyatlarının sanayi sektörü perakende elektrik tarifesine etkileri



Şekil 15. Sanayi elektrik fiyatlarında artış: karbon fiyatının yüksek olduğu ve karbon fiyatının olmadığı durumların karşılaştırması



3.4 KARBON FİYATLARI DEĞİŞKENLİĞİNİN YARATTIĞI RİSKLERDEN KORUNMA: ELEKTRİK SEKTÖRÜNÜN KARBON YOĞUNLUĞUNUN AZALTILMASI

Paris Anlaşması'nın hedeflerinin tutturulması için, karbon emisyonlarıyla ilişkili negatif dışsallıkların "içselleştirilmesi" gerekmektedir, yani bunların fosil yakıt fiyatlarına yansıtılması ve dahil edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, karbon fiyatlandırması küresel enerji dönüşümü için önemi giderek artan bir politika aracıdır.

2021 itibarıyla, karbon fiyatlandırması 65 ülke ve bölgede uygulanmaktadır.[11] Karbon Fiyatlandırma Üst Komisyonu, karbon fiyatlarının 2020 yılında 40–80 ABD doları/tCO_2e ve 2030 itibarıyla 50–100 ABD doları/tCO_2e aralığında olması gerektiği sonucuna varmıştır (Dünya Bankası, 2020). Avrupa Birliği'nde, emisyon ticaret sistemindeki (ETS) karbon fiyatı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. ETS fiyatı, 2019 sonunda 28,2 ABD doları/tCO_2e seviyesinden12 2020 yıl sonunda 35,3 ABD doları/tCO_2e'nin üzerine ve 2021 sonunda ise 94,1 ABD doları/tCO_2e'nin üzerine çıkmıştır. [13]

Aşağıdaki iki durum, Türkiye'de karbon fiyatlandırılmasının gelecekte sanayi grubu elektrik fiyatlarını nasıl etkileyebileceğini değerlendirmek için kullanılmıştır: Karbon fiyatlandırması olmayan bir elektrik sistemi (Durum A ve B); ve karbon fiyatının 70,6 ABD doları/ton CO_2 olduğu bir elektrik sistemi (Durum C ve D). CO2 fiyatında kullanılan varsayımlar hakkında daha ayrıntı bilgi için bkz. *Ek 6.1.3.*

Yüksek karbon fiyatı uygulaması, sanayi grubu tüketicilerine daha yüksek fiyatlar olarak yansıyacaktır. Bu fiyat artışı, karbonsuz yenilenebilir enerji teknolojilerinin elektrik üretimindeki payının artırılmasıyla azaltılabilir. Mevcut Politika Senaryosu altında ve karbon fiyatının 70.6 ABD doları/ton CO_2 olduğu varsayıldığında, sanayi perakende elektrik fiyatları 2030 yılında ortalama yüzde 20,6 artmaktadır. Ancak, Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında bu fiyat artışı sadece yüzde 15,8 olacaktır (bkz. Şekil 15).

11 Karbon Fiyatlandırma Tablosu, Dünya Bankası https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/

12 Metrik ton cinsinden (1 metrik ton = 1,000 kilogram)

13 Karbon Fiyatları, Sandbag https://sandbag.be/index.php/carbon-price-viewer/

Bununla birlikte, karbon yoğunluğu yüksek bir sanayi sektörünün gelecekte Türkiye'nin küresel ticaret rekabet gücünü önemli ölçüde azaltması muhtemeldir. Avrupa Birliği, Yeşil Mutabakat kapsamında "Sınırda Karbon Uyarlaması Mekanizması" üzerinde çalışmalar yürütmektedir. Temmuz 2021'de Avrupa Komisyonu, belirli ürünlerin ithalatına karbon vergisi getiren yeni bir "Sınırda Karbon Uyarlaması Mekanizması" tasarısını onaylamıştır.[14] Başka bölgelerde de benzer mekanizmalar tartışılmaktadır. Bu nedenle, Türkiye elektrik sisteminin karbon yoğunluğunun azaltılması, Türkiye'nin ihracat yapan sektörlerini korumaya yönelik bir politika önlemi olarak da görülebilir.

Yenilenebilir enerji payının artırılmasıyla gerçekleştirilecek elektrik sistemi dönüşümü, şebeke esnekliğinin artırılmasına yönelik daha fazla yatırım gerektirecek ve biraz daha maliyetli olacaktır ancak yine de karbon yoğunluğu yüksek bir sistemi devam ettirmekten daha düşük maliyetli olacaktır.

3.5 MAKROEKONOMİK FAYDALAR: İSTİHDAM YARATILMASI VE İHRACAT

Sanayi tüketici grubu için daha düşük elektrik fiyatları, bir bütün olarak Türkiye ekonomisi için daha geniş makro-ekonomik etkileri (yayılma etkileri-spillover effects) de beraberinde getirecektir. Sanayi elektrik tarifesinin ucuzlamasından kaynaklanan bu olumlu yayılma etkileri, model ekonominin arz yönü kullanılarak değerlendirilmektedir (bkz. Bölüm 2.2 ve *Ek 2, 6.2.7*) ve **istihdam yaratma (işgücü talebi)** ve **ihracat** üzerindeki etkileri de kapsamaktadır.

Şekil 16'da, Durum A'da 2030 yılında Mevcut Politika ile Gelişmiş Yenilenebilir Enerji senaryoları altında (a) işgücü talebi ve (b) toplam ihracat üzerimdeki görece yayılma etkilerini karşılaştırılmaktadır. Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu'nda, Mevcut Politika Senaryosu'na kıyasla, işgücü talebinin yüzde 18,75 ve toplam ihracat miktarının yüzde 22,30 daha yüksek olacağı tahmin edilmektedir.

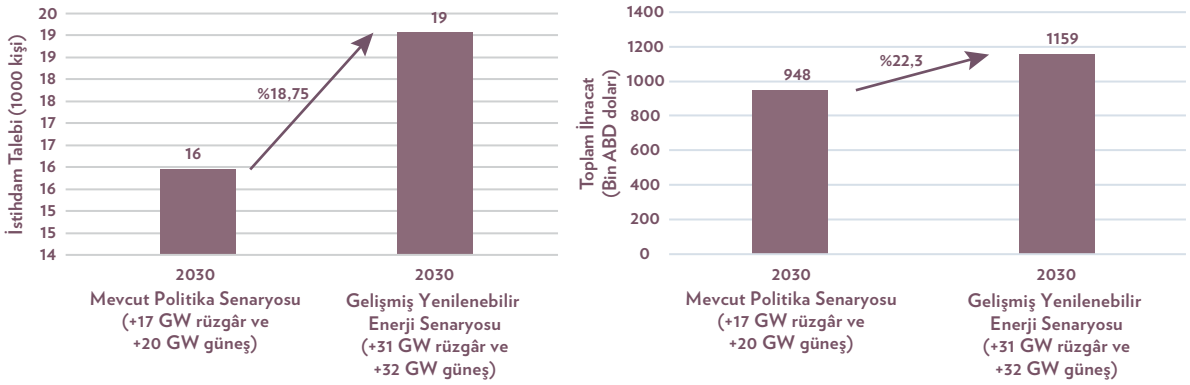
AB SINIRDA KARBON UYARLAMASI MEKANİZMASI (CBAM)

AB Yeşil Mutabakat'ında belirlenen uzun vadeli iklim politikası hedefleri doğrultusunda, Avrupa Komisyonu Temmuz 2021'de AB üyesi olmayan üreticilerin AB'ye ihraç edecekleri ürünlerin üretimi sırasında açığa çıkan doğrudan emisyonlar (Kapsam 1 emisyonları) için bir bedel ödemesini sağlayacak bir yasa tasarısı sunmuştur. CBAM bedeli, AB üreticilerinin AB Emisyon Ticareti Sistemi (ETS) kapsamında muhatap oldukları karbon fiyatına benzer olacaktır.

CBAM ilk önce çimento, gübre, demir-çelik, alüminyum ve elektrik ürünleri ithalatına uygulanacaktır. 2021 itibariyle CBAM tasarısı hâlâ değerlendirme aşamasındadır. CBAM'ın 2026'da tam olarak yürürlüğe girmesi beklenmektedir. 2023'te başlayacak geçiş döneminde, AB üyesi olmayan üreticilerin ihraç ettikleri malların emisyonlarını bildirmeleri ancak bir bedel ödememeleri (CBAM sertifikaları satın almamaları) beklenmektedir.

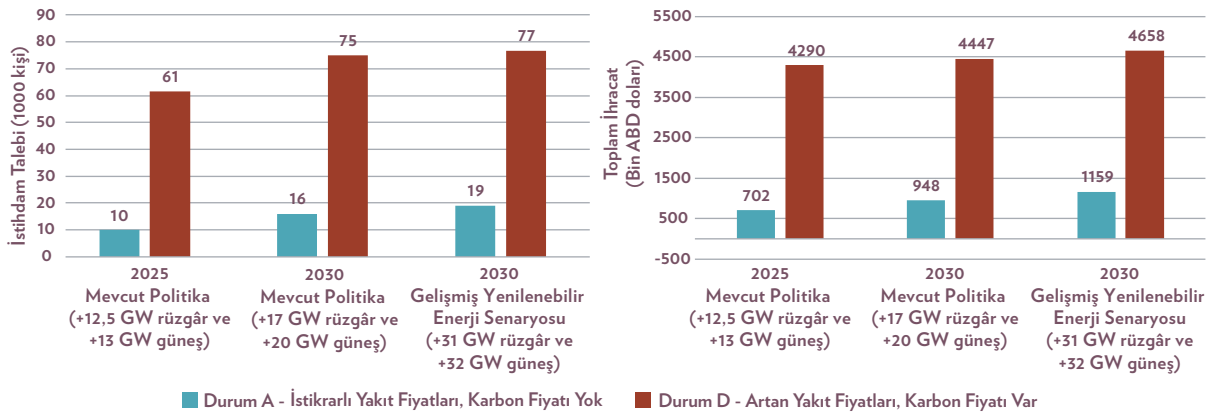
14 Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması, AK https://ec.europa.eu/taxation_customs/green-taxation-0/carbon-border-adjustment-mechanism_en

Şekil 16. Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla görece yayılma etkileri (2030 yılında Mevcut Politika Senaryosu ile Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu karşılaştırması): a) işgücü talebi, b) Toplam ihracat – Durum A



Şekil 17, fosil yakıt maliyetlerinin arttığı ve karbon fiyatlandırmasının uygulandığı durumunda varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altındaki **yayılma etkilerini** göstermektedir. Şekil 17'de görüldüğü üzere, işgücü talebi ve ihracat açısından Durum D'de, Durum A'ya kıyasla, daha fazla fayda elde edilmektedir. Bunun başlıca nedeni, Durum D'deki elektrik maliyeti tasarruflarının Durum A'ya kıyasla oldukça yüksek olmasıdır. 2030 yılında, Mevcut Politika Senaryosu altında **işgücü talebinin** 16.000 kişiden 75.000 kişiye (yüzde 365) çıkacağı, Gelişmiş Yenilenebilir Senaryosu altında ise 19.000 kişiden 77.000 kişiye (yüzde 305) çıkacağı öngörülmektedir. İhracat rakamı, Mevcut Politika Senaryosu altında 0,95 milyon ABD dolarından 4,47 milyon ABD dolarına (yüzde 369), Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryo'sunda ise 1,16 milyon ABD dolarından 4,7 milyon ABD dolarına (yüzde 301) çıkmaktadır.

Şekil 17. Yenilenebilir Enerjisiz Varsayımsal Senaryo'ya kıyasla yayılma etkileri (Durum A ve Durum D karşılaştırması): a) İşgücü talebi, b) Toplam ihracat



Yerel örnek çalışması: Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB)

Belirli bir sanayi bölgesine odaklanarak, yenilenebilir enerjinin tarihsel ve gelecekteki maliyet tasarruflarının etkileri daha somut bir şekilde görülebilmektedir. Çalışma, elde edilen başlıca bulguları pilot bölge olarak seçilen ve Türkiye'nin en büyük sanayi bölgelerinden biri olan Bursa Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi'ne uygulamıştır.*



2019'da seçili firmaların elde ettikleri doğrudan tasarruf miktarı Baz Senaryo altında, varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla, 2 milyon ABD doları civarındadır. **2015-2020 dönemi kümülatif tasarruf miktarı ise 7,3 milyon ABD doları civarındadır**. Elde edilen sonuçlara göre, 2019 yılında bu firmaların gerçekleştirdiği maliyet tasarrufları toplam elektrik faturalarının yaklaşık yüzde 2,5'ini teşkil etmektedir.

Varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo ile karşılaştırıldığında: Mevcut Politika Senaryosu altında toplam tasarruf miktarı, 2030'da 4,59 milyon ABD doları ve **2020-2030 döneminde 35,73 milyon ABD dolarına** kadar çıkabilmektedir; Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında ise 2030'da 5,52 milyon ABD doları ve 2020-2030 döneminde 38,52 milyon ABD dolarına çıkabilmektedir.

Tablo 4. DOSAB için Varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryoya kıyasla elde edilecek toplam tasarruf miktarları, 2015-2019 (ABD doları)

	2015	2016	2017	2018	2019	2015-2019 Kümülatif
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	375.653	343.748	387.882	476.518	537.848	2.121.648
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünleri imalatı	45.603	106.783	101.001	123.391	139.280	516.058
Ulaşım araçları imalatı	477.243	839.793	959.274	1.090.659	1.231.181	4.598.150
Gıda	5.805	6.706	8.139	9.820	11.085	41.556
Metal Sanayi	2.286	3.095	5.300	5.644	6.369	22.693
TOPLAM (ABD doları)	**906.590**	**1.300.124**	**1.461.596**	**1.706.031**	**1.925.763**	**7.300.105**

Tablo 5. DOSAB için Baz Senaryo ve Varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırması sonucu ortaya çıkan toplam tasarruf miktarları, 2020-2030 (ABD doları)

	2030	2020-2025	2020-2030
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	1.076.067	4.044.159	8.719.551
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünleri imalatı	277.629	1.035.873	2.239.389
Ulaşım araçları imalatı	3.201.769	10.611.389	24.496.006
Gıda	20.697	80.139	170.120
Metal Sanayi	13.952	50.297	111.139
TOPLAM (ABD doları)	**4.590.113**	**15.821.858**	**35.736.205**

*Geçmişteki ve gelecekteki tasarruf miktarlarının hesaplanması için verilerine erişilebilen seçili örnek DOSAB şirketleri. Seçili örnek, 2019 yılında DOSAB'ın toplam elektrik talebinin yaklaşık yüzde 54'ünü oluşturmuştur (1.140,3 Gwh).

4. SANAYİ SEKTÖRÜNÜN DAHA DÜŞÜK ELEKTRİK MALİYETLERİNDEN YARARLANMASINA İMKÂN TANIYAN BİR ORTAMIN OLUŞTURULMASI

TARTIŞMAYI İLERİYE TAŞIYACAK ÖNERİLER

Bu COBENEFITS çalışması, Türkiye elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları payının artırılmasının sanayi sektörüne büyük fayda sağladığını ve sağlayacağını ortaya koymaktadır. Elektrik sisteminde yenilenebilir kaynakların daha yüksek paylara sahip olması, hem toptan hem de perakende elektrik fiyatını düşürmektedir. Maliyetlerin azalması sanayi sektörüne fayda sağlayacaktır ve bu da sektörün ekonomik rekabet gücünü artıracaktır.

Yenilenebilir enerji payının daha yüksek olduğu bir senaryoda **toptan elektrik fiyatı** 2030 itibarıyla ortalama yüzde 2,4 oranında düşürülebilmektedir (mevcut politikaya kıyasla). Bu, yalnızca 2030 yılı için toplam 1,96 milyar Türk lirası (477 milyon ABD doları) tasarruf anlamına gelmektedir. Sanayi sektörü **perakende elektrik fiyatı**, rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesinin daha hızlı arttığı Gelişmiş Yenilenebilir Senaryo altında, Mevcut Politika Senaryosu'na kıyasla, 2030 yılında yüzde 1,65 daha düşürülebilmektedir. Bu, sadece 2030 yılında sanayi sektörüne toplam 1,32 milyar Türk lirası (274 milyon ABD doları) tasarruf sağlayacaktır. Yenilenebilir enerji tedariki, aynı zamanda fosil yakıt fiyatlarındaki oynaklıktan doğan riskleri de azaltabilmektedir.

Bununla birlikte, sanayi sektörü elektrik fiyatlarının düşürülmesi ve sektörün ekonomik rekabet gücünün artırılmasına bağlı olarak **ihracatın** 5,6 milyon TL (1,16 milyon ABD doları) artması ve **GSYİH**'ye yüzde 0,13'lük bir büyüme olarak yansıması beklenmektedir. Türk sanayi sektörünün uluslararası alandaki rekabet gücünün artırılmasıyla, sektörün daha hızlı büyümesi ve **19.000** kadar yeni iş yaratması sağlanabilir.

Türkiye'de kamu kurumları ve politika yapıcılar, sanayi sektörü tasarruflarının daha da artırılmasına elverişli bir ortamın yaratılması için neler yapabilir?

Çalışma sonuçlarına ve politika ve bilgi ortaklarıyla yapılan görüşmelere dayanarak, tartışmanın sanayi sektörünün daha düşük maliyetli elektriğe erişimini kolaylaştıracak politikalar ve düzenlemelerin uygulanabileceği aşağıda belirtilen alanlara yönlendirilmesini öneriyoruz:

- AB Sınırda Karbon Uyarlaması Mekanizması etkileri öngörülerek, Türkiye sanayi sektörünün korunması (Yüksek Etkili Eylem 1);
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye enerji sistemlerine entegrasyonunu kolaylaştırmak için şebeke esneklik önlemlerinin teşvik edilmesi (Yüksek Etkili Eylemi 2);
- Sanayi sektörünün yenilenebilir enerji öz tüketimine dair düzenlemelerin iyileştirilmesi (Yüksek Etkili Eylemi 3);
- Yeşil tarifelerin/ Menşe Garantisi Sistemi'nin (Guarantee of Origins System) teşvik edilmesi (Ek Etkili Eylem);
- Yenilenebilir enerjiden azami düzeyde faydalanmak için şebeke odaklı bir mekanizmanın oluşturulması (Ek Etkili Eylemi).

YÜKSEK ETKİLİ EYLEM 1: AB SINIRDA KARBON UYARLAMASI MEKANİZMASI ÖNGÖRÜLEREK TÜRKİYE SANAYİ SEKTÖRÜNÜN KORUNMASI

Türkiye Hükümeti, sanayi sektörünün uluslararası alanda rekabet edebilmesini sağlamak için yasal belirsizliği önleyecek önlemler almalıdır ve ulusal karbon fiyatlandırma sistemini hayata geçirirken sanayi sektörünün karbonsuzlaştırılmasına yönelik bir uzun vadeli finansman programı belirlemelidir.

CBAM tasarısının kabul edilmesi, Türkiye sanayi sektöründe "düşük karbon ekonomisi" tartışmalarını önemli ölçüde artırmıştır. AB bölgesinin Türkiye'nin en büyük dış ticaret ortağı[15] olduğu göz önüne alındığında, Türkiye Hükümeti'nin CBAM tasarısının sunduğu fırsatlardan yararlanmak ve olası riskleri azaltmak için daha proaktif olması ve vaktinde cesur önlemler alması gerekmektedir. Bununla birlikte, AB üyeliğine aday bir ülke olarak Türkiye'nin AB iklim ve enerji müktesebatına uyum çalışmalarını da hızlandırması gerekmektedir.

Ticaret Bakanlığı, AB Yeşil Mutabakatı'nın Türkiye ekonomisine olası etkilerine cevaben 16 Temmuz 2021'de Yeşil Mutabakat Eylem Planı'nı açıkladı. Eylem Planı, kısa vadede ETS'ye benzer bir mekanizma veya bir karbon vergilendirme aracı kurulmasına yönelik kesin bir yargı belirtmeden "karbon fiyatlandırma konusunda Türkiye'nin pozisyonunu belirlemeye yönelik çalışmalar" yürütülmesini öngörmektedir.[16] Ancak, özel sektör AB ETS ile uyumlu, işlevsel bir ulusal emisyon ticaret sisteminin mümkün olan en kısa sürede kurulmasını talep etmektedir. Bu sistem kurulduğu takdirde, sanayi sektörü CBAM'ın 2023'te yürürlüğe girmesiyle başlayacak raporlama yükümlülüğüne hazırlanmış olacaktır (AB ETS'ye katılan veya AB ETS'ye bağlı bir emisyon ticaret sistemine sahip olan bazı ülkelerin CBAM dışında tutulması beklenmektedir. Bu, Avrupa Ekonomik Alanı ülkeleri ve İsviçre için geçerlidir).

Bu çalışmada, Türkiye'de bir karbon fiyatlandırma mekanizmasının kurulması ve doğal gaz fiyatlarının artması durumunda sanayi sektörünün gerçekleştirebileceği potansiyel tasarruflar da modellenmiştir. Tablo 6, fosil yakıt fiyatlarının artması ve karbon fiyatlandırma mekanizmasının kurulması durumunda ve Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla sağlanacak doğrudan faydaları göstermektedir. Sadece 2030 yılında 7 milyar ABD doları kadar doğrudan tasarruf gerçekleştirilebilmektedir.

15 Türkiye'nin CBAM'a tabi olacağı öngörülen beş ürün grubundaki ihracatı 4,8 milyar ABD doları tutarındadır ve toplam ihracatının yüzde 32'sini teşkil etmektedir. CBAM'ın Türkiye ihracatına maliyeti yılda 1,1 ila 1,8 milyar euro olarak hesaplanmaktadır. Bkz. TÜSİAD'ın *"Ekonomik Göstergeler Merceğinden Yeni İklim Rejimi"* raporu https://tusiad.org/tr/yayinlar/raporlar/item/10633-ekonomik-gostergeler-merceginden-yeni-i-klim-rejimi-raporu

16 Türkiye'nin Gümrük Birliği'nin modernizasyonu ve güncellenmesi için Avrupa Komisyonu ile bir uzlaşmaya varması gerekmektedir. Bu, Türkiye'nin benzeri bir karbon vergilendirme mekanizması kurmasında belirleyici unsur olacaktır.

Tablo 6. 2030 yılı için doğrudan faydalar: Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla Durum A ve Durum D için hesaplanan tasarruflar

Sektör	Yenilenebilir Enerjisiz Varsayımsal Senaryo'ya kıyasla tasarruf miktarları (milyon ABD doları)					
	2025 Mevcut Politika (+12,5 GW rüzgâr ve +13 GW güneş)		2030 Mevcut Politika (+17 GW rüzgâr ve +20 GW güneş)		2030 Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu (+31 GW rüzgâr ve +32 GW güneş)	
	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	37,3	280,9	52,6	300,0	64,9	317,0
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	102,1	769,2	144,0	821,8	177,7	868,6
Metal sanayi	254,8	1.918,8	360,6	2.057,5	446,9	2.184,3
Diğer imalat	32,7	245,9	45,9	261,7	56,6	276,9
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	17,2	129,5	24,1	137,6	29,8	145,7
Tekstil, giyim ve deri ürünleri imalatı	126,0	948,8	176,5	1.006,9	217,8	1.064,4
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	94,4	710,9	133,3	760,5	164,5	804,1
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	16,2	122,2	22,9	130,8	28,3	138,4
Ulaşım araçları imalatı	8,5	64,2	12,6	71,6	15,5	75,7
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	69,6	524,4	99,9	569,8	123,3	602,6
Gıda	64,5	485,8	89,5	510,5	110,4	539,4
TOPLAM	**823,4**	**6.200,6**	**1.161,8**	**6.628,8**	**1.435,6**	**7.016,9**
TOPLAM (milyon TL)	**3.970,2**	**29.895,5**	**5.601,7**	**31.960,5**	**6.921,9**	**33.831,7**

Eylemi destekleyecek kurum	Başarılı bir uygulama için işbirliği yapılacak kurumlar	Zaman çerçevesi
Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı) Ticaret Bakanlığı	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)), Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ)	Kısa vade

YÜKSEK ETKİLİ EYLEM 2: YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ TÜRKİYE ENERJİ SİSTEMLERİNE ENTEGRASYONUNU KOLAYLAŞTIRMAK İÇİN ESNEKLİK ÖNLEMLERİNİN TEŞVİK EDİLMESİ

Çalışma sonuçlarına göre, Türkiye enerji sistemine entegre edilen yenilenebilir enerji miktarı ve bununla bağlantılı olarak yenilenebilir enerjinin elektrik üreti içindeki payı, piyasa takas fiyatını ve dolayısıyla sanayi sektörü tarifelerini doğrudan etkilemektedir.

Yenilenebilir kaynakların devreye alınması daha yüksek maliyetli elektrik üretim ünitelerini fayda sırasında aşağı kaydırmaktadır ve sonuç olarak piyasada arz talep dengelenirken daha düşük marjinal maliyetli bir elektrik santrali ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, yenilenebilir kaynakların elektrik sistemine entegrasyonu şebeke esnekliği açısından birtakım sıkıntılar ortaya çıkarmaktadır.

Örneğin, yenilenebilir kaynakların elektrik sistemindeki payının yüksek ve elektrik talebinin de düşük olduğu durumlarda, üretim-tüketim dengesini korumak için iki seçenek ortaya çıkmaktadır: 1) Devredeki konvansiyonel elektrik santrallerinin devreden çıkarılması –ancak, nükleer santraller gibi bazı konvansiyonel santrallerin kısıtları devre dışı bırakılmalarını zorlaştırmaktadır; 2) Yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik üretimde kesintiler yapmak, ancak bu seçenek de elde edilen faydaları azalmaktadır. Bu tür sorunlardan kaçınmak için batarya depolama sistemleri, pompaj depolama üniteleri ve komşu ülkelerle enterkoneksiyon bağlantıları gibi esneklik seçenekleri uygulanabilir.

Esneklik önlemleri, elektrik santrali filosundaki konvansiyonel enerji santrallerinin kısıtlarını sorununu çözerken yenilenebilir enerji kesintilerini de önlemektedir. Türkiye elektrik iletim şebekesini konu alan çalışmalar, Türkiye elektrik sisteminin 600 MW batarya depolama ve 1000 MW pompaj depolama ünitesi kurulumu ile, 63 GW'lık yenilenebilir enerji kapasitesinin (31 GW rüzgâr ve 32 GW) sağladığı doğrudan ve yan faydalardan yararlanabileceğini ortaya koymaktadır. Bu miktar, Türkiye'nin Avrupa Elektrik İletim Sistemi Operatörleri Şebekesi (ENTSOE) ve Gürcistan ile sahip olduğu enterkoneksiyon hatlarının net transfer kapasitelerinin artırılması ve piyasa birleştirme ve dengesizlik netleştirme gibi gelişmiş piyasa mekanizmalarının kullanılmasıyla da artırılabilmektedir.

Eylemi destekleyecek kurum	Başarılı bir uygulama için işbirliği yapılacak kurumlar	Zaman çerçevesi
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)), Türkiye Elektrik İletim A.Ş: (TEİAŞ)	Kısa veya orta vade

YÜKSEK ETKİLİ EYLEM 3: YENİLENEBİLİR ENERJİ ÖZ TÜKETİM MODELİNE İLİŞKİN DÜZENLEMELERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Lisanssız üretime ilişkin mevcut düzenleme rejimi, caydırıcı unsurlar içermektedir ve idari süreç ve proje finansmanı düzenlemeleri yetersizdir.

Sanayi sektörü öz tüketiminin artırılması için mevzuatın iyileştirilmesi ve yeni önlemler belirlenerek şirketlerin teşvik edilmesi gerekmektedir.

DÜZENLEYİCİ ÇERÇEVENİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE ŞİRKETLERİN ÖZ TÜKETİMİNİN TEŞVİK EDİLMESİNE YÖNELİK ÖNLEMLER

- Mahsuplaşma kurallarının değiştirilmesi (yıllık dengeleme olarak)
- Lisanssız güneş enerjisi üreticilerinin piyasa katılımcısı olarak tanınması
- Enerji şirketleri ve tüketiciler arasında uzun vadeli elektrik satın alma anlaşmalarının (PPA) oluşturulması
- En verimli şirketlerin ödüllendirilmesi
- Enerji depolama cihazları kurulumunu teşvik eden mekanizmalar
- Mevcut perakende şirketlerine dağıtık enerji portföyü sağlanması

Elverişli bir ortamın oluşturulması

Mahsuplaşma kurallarının değiştirilmesi

Elverişli bir ortamın sağlanmasında karşılaşılan zorluklarından biri, lisanssız elektrik üretimi için mahsuplaşma kurallarına ilişkin (fazla elektrik için ödeme yöntemleri) mevcut mevzuatın değiştirilmesidir[17]. Halihazırda, dengeleme işlemi fazladan üretilen elektriğin aylık bazda şebekeye verilmeyesiyle gerçekleştirilmektedir. Dengeleme işleminde yıllık baza geçilmesi sanayi sektörünü daha fazla öz tüketim yatırımı yapmaya teşvik edecektir.

Lisanssız güneş enerjisi üreticilerinin piyasaya katılımcısı olmaları

2021 itibarıyla, lisanssız güneş enerjisi kurulu gücü 6000 MW'ın üzerindedir ve önemli bir kapasite teşkil etmektedir. Ancak, lisanssız güneş enerjisi üreticileri piyasa katılımcısı olarak kabul edilmemektedir ve dolayısıyla, karbon sertifikaları gibi belirli uygulamalardan yararlanamamaktadır. Lisanssız güneş enerjisi üretim tesislerinin mevcut mekanizmalara ve yeni kurulacak mekanizmalara katılmalarını sağlayacak düzenlemeler hayata geçirilmelidir.

Bununla birlikte, piyasa düzenleme kurumu bu üreticileri sabit **alım fiyatı garantisi süreleri bittikten sonra toptan elektrik piyasalarına dahil edebilir;** bu tür tedbirler, üretilen elektriğin önemli bir miktarının kullanılmadığı durumları önleyebilecektir.

Enerji şirketleri ve tüketiciler arasında uzun vadeli elektrik satın alma anlaşmalarının (PPA) düzenlenmesi

Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği'nde Mayıs 2021'de yapılan değişikliklerle tüketiciler artık sözleşmede belirlenen kurulu gücü geçmeyecek şekilde tüketim tesisi ile aynı ölçüm noktasında lisanssız arazi tipi güneş enerjisi üretim tesisi kurabilmektedir. Sanayi sektörü bu değişikliği memnuniyetle karşılamış ve enerji şirketi ile tüketici arasında uzun vadeli elektrik satın alma anlaşmaları imzalanmasına imkân tanıyacak ek bir değişiklik yapılmasını talep etmiştir.

17 This refers to monthly calculation of the difference between consumption and generation that such actors sell to the grid. Bu tür aktörlerin aylık elektrik tüketimi ve şebekeye sattıkları elektrik miktarı arasındaki farkın hesaplanması.

Teşvikler

Sanayi sektöründe öz tüketimden faydalanılması için, büyük oyunculardan küçük ve orta boy işletmelere (KOBİ) kadar tüm sanayi grubu tüketicilere fayda sağlayacak cazip teşviklerin oluşturulması ve mevcut teşviklerin iyileştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Nihai tüketicilere sağlanacak teşvikler (örneğin, güneş enerjisi ekipmanına KDV indirimi, emlak vergisi muafiyeti/indirimi) ve uzun vadeli ve düşük faizli finansman modelleri sayesinde sanayi sektörü (KOBİ'ler dahil) öz tüketim yatırım kararlarını hızlandırabilir. Ayrıca, enerji piyasası düzenleme kurumları öz tüketim kurulumlarını destekleyecek yeni iş modellerinin (ikili anlaşmalar, çatı kiralama, vs.) geliştirilmesi için düzenlemeler getirebilir.

En verimli şirketlerin ödüllendirilmesi

Büyük enerji tüketicileri, enerji fiyatlarının sübvansiyonu yerine rekabet avantajını doğrudan etkileyecek verimlilik/öz tüketim yatırımları için daha fazla kamu teşviki talep etmektedir.[18]

Yeni teşvik mekanizmaları, en yüksek performanslı şirketler (çevre puanı yüksek, karbon ayak izi düşük -sanayi sektörü yenilenebilir enerji liderleri) performans düzeylerine göre ödüllendirebilir. Sanayi sektörü seviyelendirilmiş elektrik tarifelerinin belirlenmesinde şirketlerin enerji performansı (enerji kullanım kalitesi, elektrik depolama sistemleri yatırımları ve yenilenebilir kaynaklar) baz alınabilir.

18 Büyük enerji tüketicilerinin çoğu, enerji fiyatlarının sübvanse edilmesi yerine doğrudan rekabet üstünlüğü sağlayacak verimlilik/öz tüketim yatırımları için de kamu teşviki talep etmektedir. Büyük Enerji Tüketicisi Anketi. TÜSİAD, 2021

Enerji depolama cihazları kurulumlarının teşvik mekanizmaları ve sübvansiyonlar aracılığıyla desteklenmesi

Elektrik arzı kalitesi, bazı sanayi sektörlerinde (örneğin, kimyasal madde imalatı) üretim sürekliliği açısından kimi zaman sorun teşkil edebilmektedir. Kurulum seviyesinde esnekliğin artırılması ve aralıklı üretimin azaltılması için enerji depolama sistemlerinin kullanılması gerekmektedir. Ancak, bunlar pahalı sistemlerdir ve ancak hükümet desteklediği takdirde yatırımcı açısından ekonomik olarak fizibıldır.

Hükümet, enerji depolama sistemlerine yatırım yapmayı planlayan sanayicilere de destek olabilir. Yeni, hedefe yönelik teşvikler (vergi indirimleri, krediler veya hibeler gibi) mahsuplaşmadan küçük ölçekli batarya depolama sistemlerine geçiş yapılmasını sağlayabilir ve sistem esnekliğinin artırılmasına katkıda bulunabilir.

Perakende elektrik şirketleri için dağıtık enerji portföyü sağlanması

Bu önlemlerle birlikte, perakende şirketler dağıtık enerjinin yaygınlaştırılması için özel çaba göstermeye teşvik edilmelidir. Enerji piyasası düzenleme kurumları, perakende şirketleri enerjinin belirli bir oranını yenilenebilir kaynaklardan elde etmeye teşvik edecek/zorunlu tutacak bir portföy standardı hayata geçirebilir.

Yüksek Etkili Eylem 3: Yenilenebilir enerji öz tüketim modeline ilişkin düzenlemelerinin iyileştirilmesi

Eylemi destekleyecek kurum	Başarılı bir uygulama için işbirliği yapılacak kurum	Zaman çerçevesi
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK)	Kısa vade, 1-2 yıl içinde

EK ETKİLİ EYLEM 1: YEŞİL TARİFELERİN/ MENŞE GARANTİLERİ SİSTEMİ'NİN TEŞVİK EDİLMESİ

Yeşil tarifeler ve yenilenebilir enerji kaynağı garanti belgesi uygulamaları, sanayi sektörünün iklim ve enerji politikası hedeflerini gerçekleştirmesine yardımcı olabilecek mevcut araçlar arasında yer almaktadır. Bu uygulamaların, Türkiye'de tüketicileri yenilenebilir enerji kullanmaya teşvik etmesi de beklenmektedir. Katılımın gönüllülük esasına dayalı olduğu Ulusal Yenilenebilir Enerji Kaynak Garantisi (YEK-G) sistemi 1 Haziran 2021 tarihinde devreye girmiştir.[19] YEK-G sertifikaları, tüketicilere sağlanan elektriğin yenilenebilir kaynaklardan üretildiğinin takip, ispat ve ifşa edilmesi ve tüketicilerin yenilenebilir kaynaklardan temin edildiği belgelenmiş elektrik tüketmelerini sağlamak için EPİAŞ tarafından verilmektedir. YEK-G sisteminin Avrupa Enerji Sertifika Sistemi (EECS) ile entegre edilmesi gerekmektedir.

Son olarak, YEK-G sistemine olan ilginin ve yenilenebilir enerji yatırımları teşviklerinin artırılması için lisanssız güneş enerjisi santrallerinin (2020 sonunda 6.258 MW) de YEK-G sistemine dahil edilmesi önerilmektedir.

Eylemi destekleyecek kurum	Başarılı bir uygulama için işbirliği yapılacak kurumlar	Zaman çerçevesi
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı)	EPDK, EPİAŞ	Kısa veya orta vade

19 Organize YEK-G Piyasası, EPİAŞ tarafından sürekli ticaret modeline göre işletilen ve piyasa katılımcılarının YEK-G sertifikaları alım satımı yaptıkları piyasadır.

EK ETKİLİ EYLEM 2: YENİLENEBİLİR ENERJİDEN AZAMİ DÜZEYDE FAYDA ELDE EDİLMESİNİ SAĞLAYACAK ŞEBEKE ODAKLI MEKANİZMANIN OLUŞTURULMASI

Yenilenebilir kaynakların yayılmasının önündeki başlıca engellerden biri, bu tür kesintili kaynaklara uygun bir iletim şebekesinin olmamasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyonunun sınırlı olduğu konvansiyonel enerji sisteminde, iletim sisteminin genişletme planları toplu üretim sistemlerinin entegrasyonuna ve ana yük merkezlerine dayandırılmaktadır. Ancak, yenilenebilir enerji kaynaklarının konvansiyonel elektrik sistemlerine entegrasyonu bu dengeyi değiştirmektedir.

Daha ayrıntılı anlatmak gerekirse, yenilenebilir enerji entegrasyonu büyük ölçüde kaynak odaklı bir yaklaşıma dayanmaktadır; bu yaklaşımda, kurulum planlarında rüzgâr gibi yenilenebilir kaynakların bol olduğu lokasyonlara odaklanılmaktadır. Ancak bu tür bir yaklaşım, kapasite ve kısıt sorunları olan iletim sistemini zorlayabilmektedir. Başka bir deyişle, kaynak odaklı yaklaşım yenilenebilir enerji entegrasyonu potansiyeline sahiptir ancak çeşitli şebeke kısıtları yenilenebilir enerji üretiminde büyük kesintilere yol açabilmektedir ve bu da bu potansiyelin tam olarak kullanılamadığı anlamına gelmektedir.

Yukarıda bahsedilen kaynak odaklı yaklaşımın yarattığı strese Türkiye'de en yüksek genişletme maliyetine sahip 400 kV'luk bir sistem maruz bırakılmaktadır. Olası yenilenebilir enerji kesintilerinin azaltılması ve şebeke kısıtlarının giderilmesi için yenilenebilir enerji entegrasyonunda şebeke odaklı bir yaklaşımın benimsenmesi önerilmektedir. Bu tür bir yaklaşımda, yenilenebilir kaynaklar çoğunlukla ana yük merkezlerinin yakınında toplanmıştır ve 154 kV'luk bir şebeke üzerinden iletim sistemine bağlanmaktadır. Bu entegrasyon iki büyük avantajı sağlamaktadır:

1) Yenilenebilir kaynaklar yük merkezinin çok yakınındadır ve bu da yerinde üretimi/tüketimi mümkün kılmakta ve şebeke yatırımı ihtiyacını azaltmaktadır; 2) Şebeke kısıtlarından kaynaklanan yenilenebilir enerji kesintileri önemli ölçüde azaltılacaktır.

Eylemi destekleyecek kurum	Başarılı bir uygulama için işbirliği yapılacak kurumlar	Zaman çerçevesi
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	EPDK, EPİAŞ, TEİAŞ, Dağıtım Sistemi Operatörleri	Kısa vade, 1-2 yıl içinde

5. KAYNAKLAR

Acar, Sevil, Ebru Voyvoda, and Erinc Yeldan. 2018. Macroeconomics of Climate Change in a Dualistic Economy: A Regional General Equilibrium Analysis: Academic Press.

Bigerna, Simona, and Carlo Andrea Bollino. 2016. "Demand market power and renewables in the Italian electricity market." Renewable and Sustainable Energy Reviews 55:1154 – 1162.

BNEF 2021. "Energy Transition Investment Trends 2022". January 2022. https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/Energy-Transition-Investment-Trends-Exec-Summary-2022.pdf

Bode, Sven. 2006. On the impact of renewable energy support schemes on power prices. HWWI Research Paper.

Bohringer, Christoph, Florian Landis, and Miguel Angel Tovar Reanos. 2017. "Economic impacts of renewable energy production in Germany." The Energy Journal 38 (KAPSARC Special Issue).

Božić, Zorana, Dušan Dobromirov, Jovana Arsić, Mladen Radišić, and Beata Ślusarczyk. 2020. "Power Exchange Prices: Comparison of Volatility in European Markets." Energies 13 (21):5620.

Dillig, Marius, Manuel Jung, and Jurgen Karl. 2016. "The impact of renewables on electricity prices in Germany–An estimation based on historic spot prices in the years 2011–2013." Renewable and Sustainable Energy Reviews 57:7-15.

EPDK, 2021. Energy Market Regulatory Authority. Elektrik Piyasası 2020 yılı Piyasa Gelişim Raporu [Electricity Market 2016 Progress Report]. Ankara: TEİAŞ, 2018.

ETKB, 2021. Energy General Equilibrium Tables for Turkey, the Ministry of Energy and Natural Resources, https://enerji.gov.tr/enerji-isleri-genel-mudurlugu-denge-tablolari

Gouveia, Joao Pedro, Luis Dias, Ines Martins, and Julia Seixas. 2014. "Effects of renewables penetration on the security of Portuguese electricity supply." Applied Energy 123:438-447. Hirth, Lion. 2012. "The market value of variable renewables."

IASS/IPC 2019a. "Future skills and job creation through renewable energy in Turkey. Assessing the cobenefits of decarbonising the power sector". Potsdam/Istanbul. www.cobenefits.info.

IASS/IPC 2019b. "Industrial development, trade opportunities and innovation with renewable energy in Turkey. Assessing the co-benefits of decarbonising the power sector". Potsdam/Istanbul. www.cobenefits.info.

IASS/IPC 2020a. "Improving people's health and unburdening the health system through renewable energy in Turkey". Assessing the co-benefits of decarbonising the power sector Potsdam/Istanbul. www.cobenefits.info.

IASS/IPC 2020b. "Securing Turkey's energy supply and balancing the current account deficit through renewable energy. Assessing the co-benefits of decarbonising the power sector". Potsdam/Istanbul. www.cobenefits.info.

IASS/IPC/UfU. 2020. Making the Paris Agreement a success for the planet and the people of Turkey. Unlocking the co-benefits of decarbonising South Turkey power sector. COBENEFITS Policy Report. Potsdam/Istanbul. www.cobenefits.info

IEA, 2016. International Energy Agency, World Energy Outlook 2016.

Ignatieva, Katja. 2014. "A nonparametric model for spot price dynamics and pricing of futures contracts in electricity markets." Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics 18 (5):483 – 505.

Kat, Bora, Sergey Paltsev, and Mei Yuan. 2018. "Turkish energy sector development and the Paris Agreement goals: A CGE model assessment." Energy Policy 122:84 – 96.

Mathiesen, B. V. (2018). Heat Roadmap Europe: A low-carbon heating and cooling strategy for Europe. Resources and Results. https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2020/01/HRE4_D6.1-Future-fuel-pricereview.pdf

Li, Ji Feng, Xin Wang, Ya Xiong Zhang, and Qin Kou. 2014. "The economic impact of carbon pricing with regulated electricity prices in China—An application of a computable general equilibrium approach." Energy Policy 75:46 – 56.

O'Ryan, Raul, Shahriyar Nasirov, and Andres Alvarez-Espinosa. 2020. "Renewable energy expansion in the Chilean power market: A dynamic general equilibrium modeling approach to determine CO2 emission baselines." Journal of Cleaner Production 247:119645.

Osorio, Sebastian, and Ann Van Ackere. 2016. "From nuclear phase-out to renewable energies in the Swiss electricity market." Energy Policy 93:8-22.

Paraschiv, Florentina, David Erni, and Ralf Pietsch. 2014. "The impact of renewable energies on EEX day-ahead electricity prices." Energy Policy 73:196 – 210.

Proenca, Sara, and Miguel St Aubyn. 2013. "Hybrid modeling to support energy-climate policy: Effects of feed-in tariffs to promote renewable energy in Portugal." Energy Economics 38:176 – 185.

Rodrigues, Renato, and Pedro Linares. 2015. "Electricity load level detail in computational general equilibrium–part II–welfare impacts of a demand response program." Energy Economics 47:52 – 67.

Song, Ma-lin, and Lian-Biao Cui. 2016. "Economic evaluation of Chinese electricity price marketization based on dynamic computational general equilibrium model." Computers & Industrial Engineering 101:614 – 628.

TSKB, 2021. Turkish Energy Sector Report, 2021, Available from https://www.tskb.com.tr/i/assets/document/pdf/enerji-sektor-gorunumu-2021.pdf

Wing, Ian Sue. 2006. "The synthesis of bottom-up and top-down approaches to climate policy modeling: Electric power technologies and the cost of limiting US CO2 emissions." Energy Policy 34 (18):3847 – 3869.

World Bank (2020). State and Trends of Carbon Pricing 2020, Washington DC: World Bank. Available from https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/33809/9781464815867.pdf?sequence=4&isAllowed=y

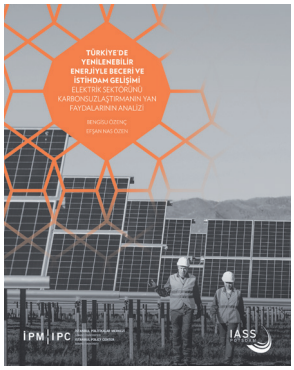
Zareipour, Hamidreza, Kankar Bhattacharya, and Claudio A Canizares. 2007. "Electricity market price volatility: The case of Ontario." Energy Policy 35 (9):4739 – – – – 4748.

Zhao, Xiaoli, Shujie Li, Sufang Zhang, Rui Yang, and Suwei Liu. 2016. "The effectiveness of China's wind power policy: An empirical analysis." Energy Policy 95:269 – 279.

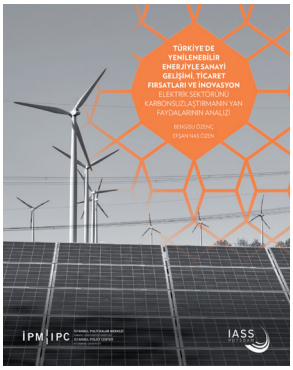
TÜRKIYE COBENEFITS ÇALIŞMALARI

COBENEFITS çalışmaları Türkiye'de Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi (İPM) ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Hazine ve Maliye Bakanlığı (eski adıyla Ekonomi Bakanlığı), Dışişleri Bakanlığı ve Sağlık Bakanlığı ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı temsilcilerinden oluşan bir komite rehberliğinde gerçekleştirilmiştir.

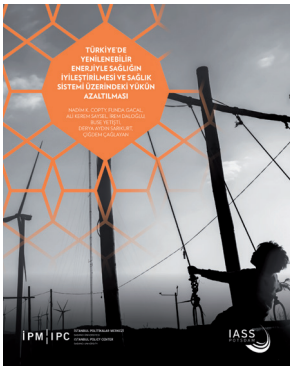
COBENEFITS çalışmaları, Türkiye elektrik sistemlerinde yenilenebilir enerji payının artırılmasının sağlayacağı önemli sosyal ve ekonomik yan faydaları tanımlamış ve değerlendirmiştir. Çalışmaların sonuçları temel alınarak, yenilenebilir enerjinin Türkiye vatandaşları ve iş dünyasına sağlayacağı bu yan faydaları ortaya çıkaracak politika seçeneklerini geliştirmek için Türkiye hükümeti kurumları ile birlikte çalışılmıştır. Çalışma sonuçları, Türkiye COBENEFITS Çalışma serisinde yayınlamıştır ve www.cobenefits.info adresinden erişilebilmektedir.



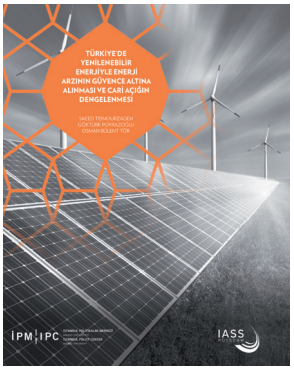
Raporu indir.



Raporu indir.



Raporu indir.



Raporu indir.

6. EKLER:

EKLERE AİT TABLOLAR LİSTESİ

Tablo E. 1. Baz Senaryo'da enerji üretim kapasitesi 51
Tablo E. 2. Kısa dönem marjinal maliyetlere dayalı fayda sırası varsayımlar 55
Tablo E. 3. KDMM ve SEM verileri 56
Tablo E. 4. Her üretim teknolojisinin emisyon miktarı 61
Tablo E. 5. Yenilenebilir enerji ve nükleer enerji destek maliyeti bileşenleri 63
Tablo E. 6. Makroekonomik analizde dikkate alınan sektörler 65
Tablo E. 7. 2018 baz yılı ve 2019-2030 yılları ekonomik değişkenleri 66
Tablo E. 8. Elektrik üretimi kompozisyonu, simülasyon sonuçları ile gerçekleşen rakamların karşılaştırması 70
Tablo E. 9. 2015 ve 2020 yılları sanayi perakende elektrik tarifesi ve bileşenleri 71
Tablo E. 10.Yenilenebilir enerji kapasite artışına bağlı olarak sektör bazında gerçekleştirilen elektrik maliyeti tasarrufları (2015-2019) 72
Tablo E. 11. 2025 ve 2030 yılları sanayi tarifesi ve bileşenleri 74
Tablo E. 12. Özet: 2020 yılında sanayi sektörü tarafından sağlanan doğrudan faydalar 75
Tablo E. 13. Sektörel katma değer ve elektriğin toplam enerji faturası içindeki payına dair göstergeler (2025) 77
Tablo E. 14. Sektörel katma değer ve elektriğin toplam enerji faturası içindeki payına dair göstergeler (2030) 78
Tablo E. 15. Yıl bazında elde edilen doğrudan faydalar ile 2020-2025/2020-2030 dönemlerindeki kümülatif etkiler 79
Tablo E. 16. Baz Senaryo ve Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında 2030 yılı dolaylı tasarruf miktarları 80
Tablo E. 17. Baz Senaryo ve Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında 2030 yılı kümülatif tasarruf miktarları 81
Tablo E. 18. Yenilenebilir Enerjisiz Varsayımsal Senaryo'da seçili değişkenler üzerindeki yayılma etkileri 82
Tablo E. 19. İlk 250'ye giren örneklem DOSAB firmalarının betimleyici istatistikleri 84
Tablo E. 20. İlk 250'ye giren DOSAB firmalarının toplam tasarruf miktarı, Gerçekleşen Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Senaryosu ile varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırması, 2015-2019 dönemi (EUR) 84
Tablo E. 21. İlk 250'ye giren DOSAB firmalarının yenilenebilir enerji payının artmasıyla gerçekleştirdikleri toplam tasarruf miktarları, 2020-2030 (EUR) 85
Tablo E. 22. Farklı Avrupa ülkelerinin DVDA istatistikleri 93

EKLERE AİT ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil E. 1. 2015,2020 ve 2030 yılları toplam talep 52
Şekil E. 2. 2015, 2020 ve 2030 yılları saatlik talep 52
Şekil E. 3. Yenilenebilir enerji kurulu gücü 53
Şekil E. 4. 2020 yılı haftalık yenilenebilir enerji üretimi profilleri 53
Şekil E. 5. Tarihsel maliyet tasarruflarının değerlendirilmesinde kullanılan yöntem 54
Şekil E. 6. Piyasa simülasyonunda fayda sırası kavramı 55
Şekil E. 7. Değerlendirmede kullanılan fayda sırası aralıkları 56
Şekil E. 8. Piyasa takas fiyatı hesaplanması akış şeması 57
Şekil E. 9. Saat bazında yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretimi ile piyasa takas fiyatı (PTF) karşılaştırması, tarihsel 58
Şekil E. 10. Sanayi sektörünün tarihsel tasarruflarını hesaplama yöntemi 58
Şekil E. 11. 2020-2030 dönemi maliyet tasarrufları ele alınırken kullanılan yöntem 59
Şekil E. 12. Çalışmanın senaryo kurgusu 59
Şekil E. 13. Doğal gaz fiyatlarındaki artışın etkisini hesaplamakta kullanılan şema akışı 60
Şekil E. 14. Referans fiyat ve yüksek fiyat koşullarında doğal gaz fiyatları 60
Şekil E. 15. Yüksek karbon fiyatı etkisi hesaplaması akış şeması 61
Şekil E. 16. Tarihsel sanayi perakende elektrik tarifeleri 61
Şekil E. 17. Sanayi perakende elektrik tarifesi enerji bileşenleri, 2015-2020 61
Şekil E. 18. Tarihsel ve gelecekteki yıllık YEKDEM maliyetleri (euro/MWh) 62
Şekil E. 19. Sanayi perakende elektrik tarifesi enerji bileşenleri, 2020-2030 62
Şekil E. 20. Nükleer enerji satın alım anlaşması 63
Şekil E. 21. Sanayi tarifesi sistem bedeli bileşenin tarihsel seyri 64
Şekil E. 22. Sanayi tarifesi sistem bedeli bileşeni, 2015-2030 64
Şekil E. 23. Makroekonomik faydaları değerlendirme metodolojisi 68
Şekil E. 24. Elektrik üretimi için gerçekleştirilen piyasa simülasyonu sonuçları 69
Şekil E. 25. 2015 ve 2020 yılları mevsimsel toptan piyasa takas fiyatı karşılaştırması (gerçek elektrik üretimi kompozisyonu ile Yenilenebilir Enerjisiz Senaryosu karşılaştırması 70
Şekil E. 26. Piyasa simülasyonu sonuçları: Gelecekteki elektrik üretimi kompozisyonu 73
Şekil E. 27. 2025 yılı mevsim bazında toptan piyasa takas fiyatları modeli 74
Şekil E. 28. 2025 yılı mevsim bazında toptan piyasa takas fiyatları modeli 74
Şekil E. 29. Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB) (kaynak: www.dosab.org.tr) 83
Şekil E. 30. Yıllık talep ve GÖP'ün yıllık talep içindeki payı 86
Şekil E. 31.Türkiye sanayi sektörünün yıllık enerji talebi ve toplam ulusal enerji talebi içindeki payı 86
Şekil E. 32. Tarihsel saatlik YEK üretimi ile PTF karşılaştırması 89
Şekil E. 33. DVDA'ya dayalı günlük fiyat oynaklığı 90
Şekil E. 34. DVDA istatistikleri 91
Şekil E. 35. DVDA ile Günlük YK Üretimi Karşılaştırması 91
Şekil E. 36. Yunanistan, İsviçre, Romanya, Bulgaristan ve Türkiye DVDA'ları 92

6.1 EK 1: YÖNTEM, MODEL GİRDİLERİ VE VARSAYIMLAR

Eklerde kullanılan para birimlerine dair not: Çalışmadaki hesaplamaların çoğu euro cinsinden yapılmıştır ve dolayısıyla euro cinsinden verilmiştir. Yönetici Özeti'nde ise uluslararası karşılaştırmaların daha kolay yapılabilmesi için ABD doları kullanılmıştır.

6.1.1 Piyasa simülasyonu için başlıca varsayımlar: Baz senaryoda enerji üretim kapasitesi

Tablo E.1.'de incelenen yılların Baz Senaryo'daki enerji üretim kapasiteleri verilmiştir. (Şekil E.12'de ise diğer senaryolara ait bilgiler sunulmuştur.)

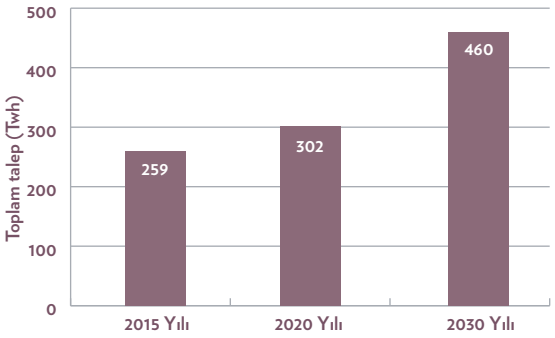
Tablo E. 1. Baz Senaryo'da enerji üretim kapasitesi

	2015 (GW)	2020 (GW)	2025 (GW)	2030 (GW)
Doğal gaz	25,1	25,6	25,8	25,8
Toplam Kömür	15,3	19,9	21,5	23,2
Yerli Kömür	0,4	0,8	0,9	0,9
İthal Kömür	6,1	9	9,6	10,3
Linyit	8,8	10,1	11	12
Jeotermal	0,6	1,5	2,2	2,9
Biyokütle	0,3	0,9	2,1	3,3
Toplam Hidroelektrik	**25,9**	**29,8**	**31,7**	**31,7**
Hidroelektrik	19,1	21,9	23,5	23,5
Akarsu	6,8	7,9	8,2	8,2
Toplam Yenilenebilir Enerji	**4,8**	**14,4**	**25,5**	**36,5**
Rüzgâr	4,5	8,1	12,4	16,7
Güneş	0,2	6,4	13,1	19,8
Nükleer	0	0	0	4.8
Diğer	1,2	1,1	1,1	1,1
Toplam enterkoneksiyon	**1,2**	**1,2**	**1,2**	**1,2**
ENTSO	0,5	0,5	0,5	0,5
Gürcistan	0,7	0,7	0,7	0,7
Toplam	**73,1**	**94,5**	**111,1**	**130,5**

2015, 2020 ve 2030 yıllarındaki toplam enerji talebi Şekil E.1'de gösterilmektedir. 2015 ve 2020 yılları için saatlik talep profillerine EPİAŞ Şeffaflık Platformu'ndan ulaşılmıştır.[20] 2030 yılı saatlik talep profilini hesaplamak için 2020 yılı talep profili referans alınmıştır. 2020 ve 2030 arasındaki her bir yılın talep profili hesaplanırken, tarihi her yıl değişen dini bayramlar gibi tatil günleri de dikkate alınmıştır. 2015, 2020 ve 2030 yıllarının saatlik talep profilleri Şekil E.2'de verilmiştir.

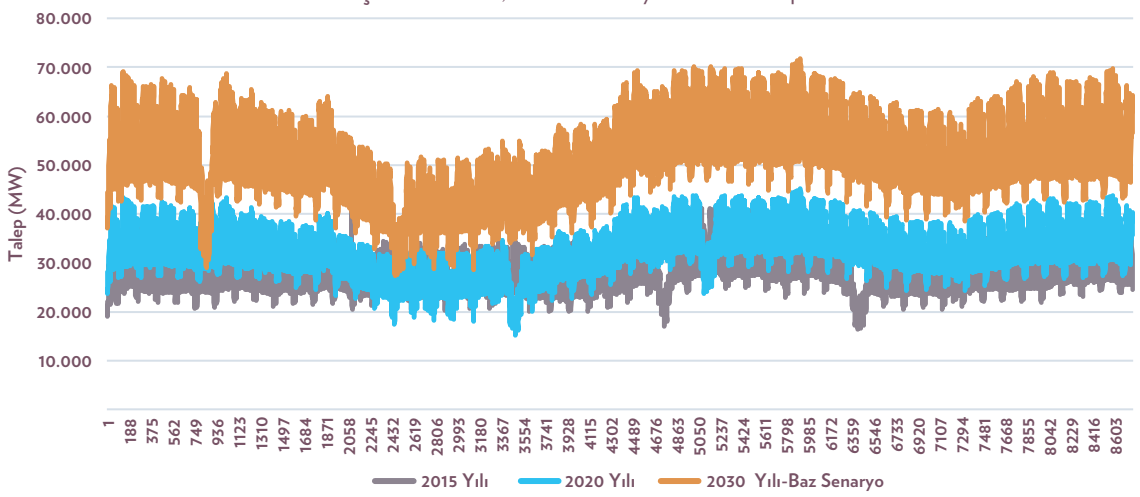
Her bir rüzgâr ve güneş enerjisi santralinin saatlik üretim profilleri, SHURA'nın "Türkiye'nin Enerji Sisteminde Yenilenebilir Kaynakların Artan Payı: İletimde Genişleme ve Esneklik Seçenekleri" çalışmasında 2030 hedef yılı için kullanılan metodolojiye dayanmaktadır. Her bir rüzgâr enerjisi santralinin saatlik üretim profili için, Avrupa Orta Vadeli Meteorolojik Tahminler Merkezi'nden (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)[21] elde edilen uydu verilerini

Şekil E. 1. 2015,2020 ve 2030 yılları toplam talep



kullanan ulusal veri tabanı[22] baz alınmıştır. Yenilenebilir enerji kurulu gücü Şekil E.3.'te verilmiştir. Şekil E.4'te ise 2020 yılı yenilenebilir enerji haftalık üretim profili gösterilmektedir.

Şekil E. 2. 2015, 2020 ve 2030 yılları saatlik talep

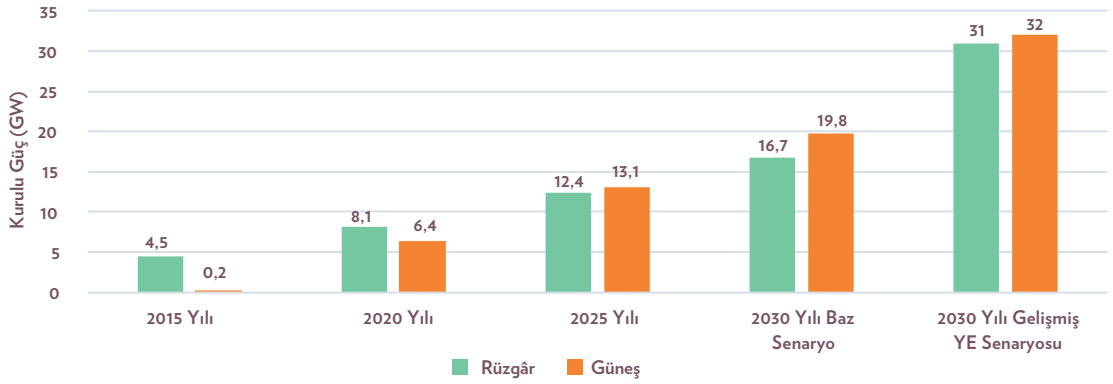


20 https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/

21 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, "ECMWF," : http://www.ecmwf.int/

22 Hale Çetinay, "Determination of Wind Power Potential and Optimal Wind Power Plant Locations in Turkey," Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mayıs 2014.

Şekil E. 3. Yenilenebilir enerji kurulu gücü



Şekil E. 4. 2020 yılı haftalık yenilenebilir enerji üretimi profilleri

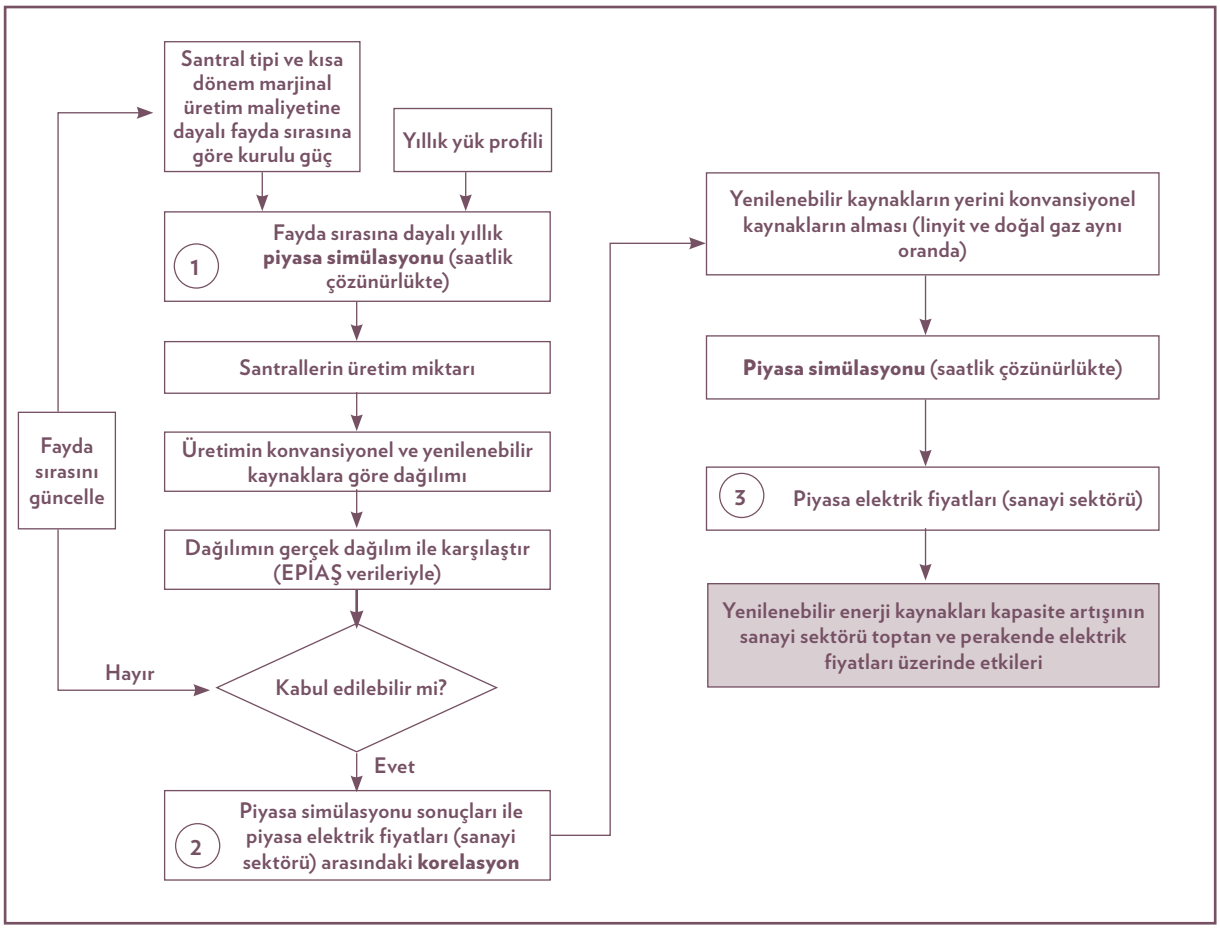


6.1.2 Tarihsel tasarrufların hesaplanmasında kullanılan piyasa simülasyon aracı

Sanayi sektörünün yenilenebilir enerji kapasite artışına bağlı olarak gerçekleştirdiği elektrik maliyeti tasarruflarını ölçmek için (kısa dönem marjinal maliyetlere dayalı fayda sırası etkisi - merit order effect) bir fiyat hesaplama aracı geliştirilmiştir (bkz. Şekil E.5). Bu araç, #1 ve #2 kutularında gösterilen iki ana motordan yararlanmaktadır.

Şekil E.5 Kutu #1, Türkiye'deki gün öncesi enerji ticareti piyasasını simüle eden piyasa simülasyon motorudur. Bu piyasa simülasyonu motoru, enerji üretim kapasitesi, farklı üretim teknolojilerinin kısa dönem marjinal maliyetlere dayalı fayda sırası (merit order), yıllık yük ve yenilenebilir kaynaklara dayalı üretim profillerini de kullanmaktadır. Fayda sırası (merit order), mevcut elektrik üretimi teknolojilerini üretilen enerji miktarına göre ve en düşük fiyattan en yüksek fiyata -bazen de kirliliğe

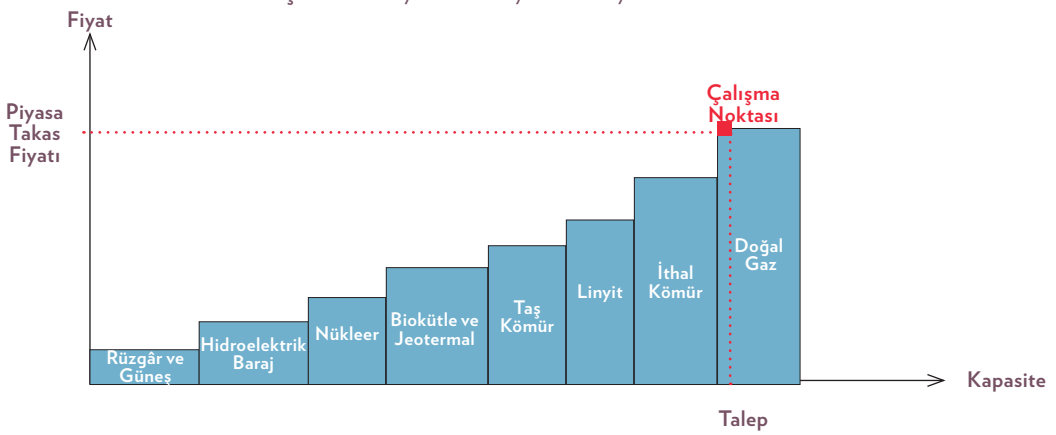
Şekil E. 5. Tarihsel maliyet tasarruflarının değerlendirilmesinde kullanılan yöntem



göre- (bu teknolojilerin kısa dönemli marjinal üretim maliyetleri sıralamasına denk gelebilmektedir) sıralama yöntemidir (bakınız Şekil E.6). Bu sıralama sonucunda piyasa simülasyonunda enerji talebi ilk önce en düşük marjinal maliyete sahip enerji ile karşılanmaktadır, en yüksek marjinal maliyetli santraller ise en son sırada yer almaktadır. "Ekonomik üretim" olarak da bilinen bu tür enerji üretimi elektrik üretim maliyetini düşürmektedir.

Piyasa simülasyon motoru, yukarıda bahsedilen girdi verilerini bir dizi teknik kısıta tabi olan sistemin toplam işletme maliyetini minimum seviyeye düşürme amacını taşıyan bir optimizasyon modeline yerleştirmektedir. Buradaki başlıca kısıtlar, enerji santrallerinin rampa hızları, santrallerin asgari çalışma ve çalışmama süreleri, santrallerin izin verilen çalışma aralıkları, bakım gereksinimleri, hidroelektrik santrallerinin haftalık enerji kısıtları vs.'dir. Piyasa simülasyon motoru çıktıları saatlik üretim durumu ve farklı santraller

Şekil E. 6. Piyasa simülasyonunda fayda sırası kavramı



tarafından üretilen enerji, saat başı marjinal üretim, yenilenebilir enerji kesintileri vs.'den oluşmaktadır. Piyasa simülasyon aracı çıktıları, farklı teknolojiler açısından yıllık üretimin farklı teknolojilere göre dağılımını bulmak için işlenmektedir. Yıllık üretimin teknolojilere göre dağılımı, farklı teknolojilere atfedilen fayda sırasının etkinliğini teyit etmek için kullanılmaktır. Örneğin, 2020 yılında farklı teknolojilerin yıllık üretim miktarları için kendi hesaplamalarımız sonucunda elde ettiğimiz miktarlar ile 2020 yılında gerçekleşmiş olan üretim miktarları karşılaştırılmıştır. Hesaplanan ve gerçeklemiş üretim miktarları arasındaki farktan yola çıkarak piyasa simülasyonu fayda sırası girdisi revize edilmektedir ve hesaplamalar tekrarlanabilmektedir. Fayda sırasının hiyerarşik yapısına rağmen, farklı enerji santrallerinin yaş ve verimliliğindeki farklılıklar nedeniyle çakışmalar olabilmektedir (bkz. Şekil E.7 - farklı teknolojilerin fayda sırası aralıkları). Şekil E.7'deki fayda sırası referansları ve hesaplamaları Tablo E.2 ve Tablo E.3'de verilmiştir.

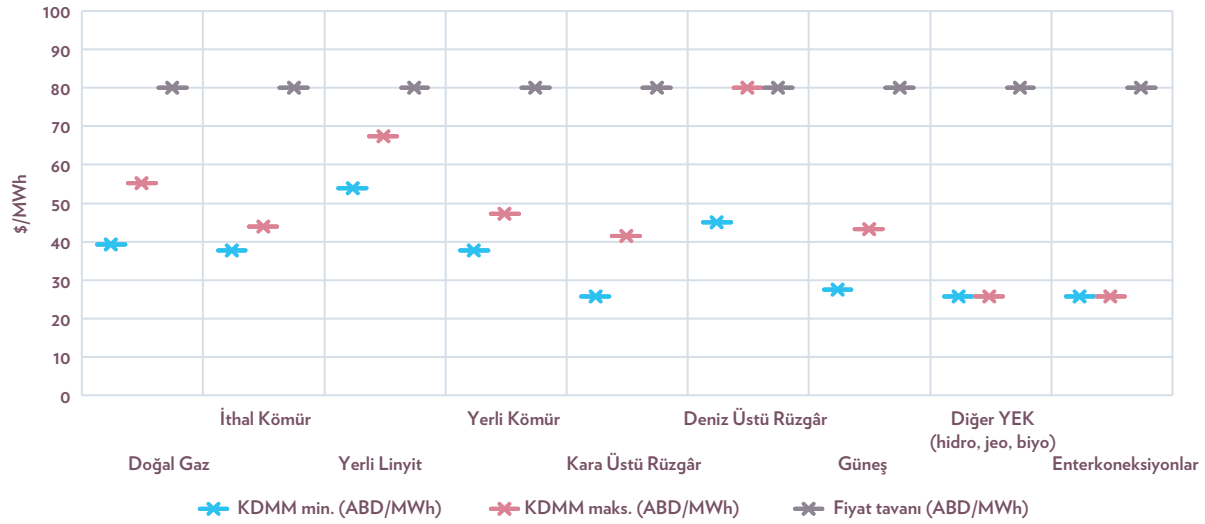
Tablo E. 2. Kısa dönem marjinal maliyetlere dayalı fayda sırası varsayımlar

	Doğal Gaz	İthal Kömür	Yerli Linyit	Yerli Kömür	Kara Üstü Rüzgâr	Deniz Üstü Rüzgâr	Güneş	Diğer YE (Hidroelektrik, jeotermal, biyokütle)	Enterkoneksiyonlar
KDMM minimum. (ABD doları / MWh)	39,30	37,63	53,83	37,63	25,63	45,05	27,58	25,63	25,63
KDMM maksimum (ABD doları /MWh)	55,15	43,98	67,30	47,33	41,58	80,00	43,27	25,63	25,63
Fiyat tavanı (ABD doları /MWh)[23]	80,00								

* Kara üstü (on-shore) rüzgâr enerjisi santralleriyle birlikte, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının (hidroelektrik, jeotermal, biyokütle) kısa dönem marjinal maliyetlerinin (KDMM) ve enterkoneksiyonların sabit olduğu ve fayda sıralamasında altta oldukları varsayılmıştır. KDMM maksimumun seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (SEM) olduğu varsayılmıştır.

23 Maksimum SEM olarak varsayılmıştır. Bu, Temmuz 2021'de Türkiye'de EPDK tarafından 71 ABD doları/MWh olarak uygulanmıştır.

Şekil E. 7. Değerlendirmede kullanılan fayda sırası aralıkları (bkz. Şekil E.5 Kutu #1)



* Kara üstü (on-shore) rüzgâr enerjisi santralleriyle birlikte, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının (hidroelektrik, jeotermal, biyokütle) kısa dönem marjinal maliyetlerinin (KDMM) ve enterkoneksiyonların sabit olduğu ve fayda sıralamasında altta oldukları varsayılmıştır.

Tablo E. 3. KDMM ve SEM verileri

Parametreler ve Referanslar	Doğal Gaz	İthal Kömür	Yerli Linyit	Yerli Kömür	Kara Üstü-Rüzgâr	Deniz Üstü-Rüzgâr	Güneş
Kapasite faktörü %[24]	%27	%78	%48	%51	%34	%49 [25]	%20
Yatırım maliyeti (ABD doları/kW) [26]	750	1300	1700	1300	950	3000	550
Ömür (yıl) [27]	20	30	30	30	20	20	20
KDMM (ABD doları/MWh) [28]	39,30	37,63	53,83	37,63	25,63	45,05	27,58
SEM (ABD doları/MWh)-hesaplama	55,15	43,98	67,30	47,33	41,58	80,00	43,27

24 EPİAŞ'ın 2019 ve 2020 verileri ortalaması https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/

25 IEA (https://www.iea.org/reports/world-energy-model/techno-economic-inputs)

26 https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2020/09/rapor_TR_web_.pdf

27 https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2020/09/rapor_TR_web_.pdf

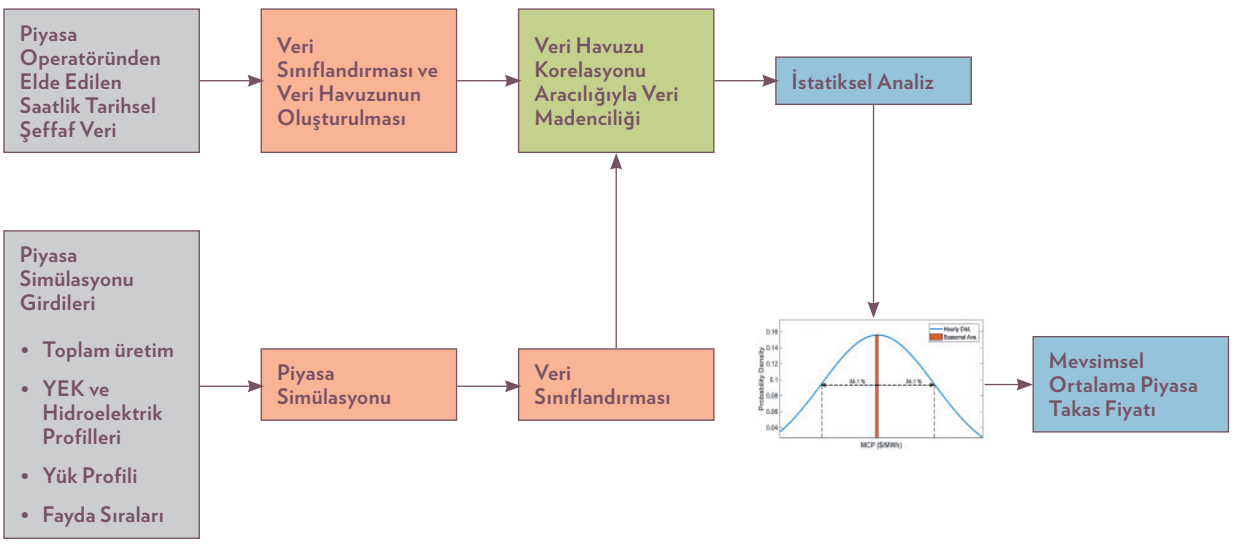
28 https://iicec.sabanciuniv.edu/sites/iicec.sabanciuniv.edu/files/inline-files/TEO.pdf

Şekil E.7'deki fayda sırasının revize edilmesi için Şekil E.6'daki fayda sırası blokları arasındaki çakışmaların revize edilmesi gerekmektedir. Hesaplanan değerler ve gerçekleşmiş değerler arasındaki kabul edilebilir hata payı aralığındaki optimal fayda konfigürasyonu oluşturulduktan sonra, fiyat hesaplama motoru (Kutu #2) piyasa simülasyon motoru sonuçlarını baz alarak piyasa takas fiyatını hesaplamaktadır.

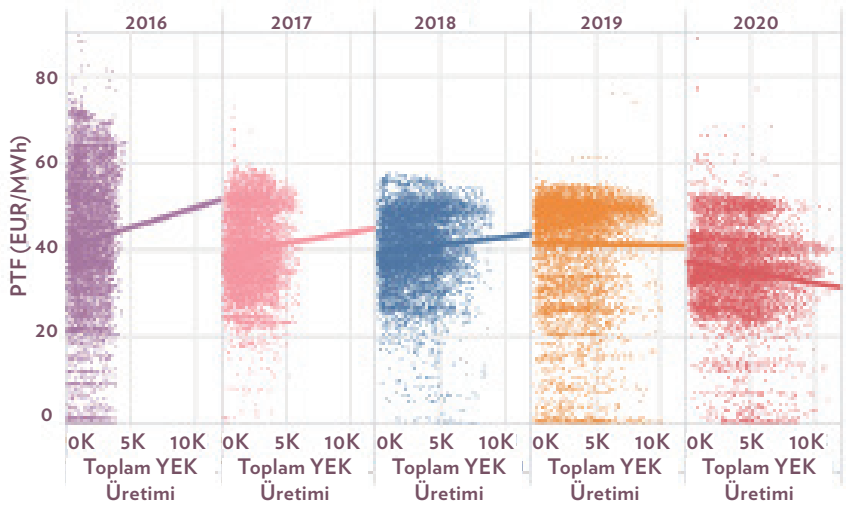
Önerilen piyasa takas fiyatı motorunun akış şeması Şekil E.8'de verilmektedir. Burada, piyasa simülasyon motoru çıktıları (yani, farklı üreticilerin enerji üretimi), piyasa takas fiyatı hesaplama motoruna girdi sağlamaktadır. Piyasa takas fiyatı hesaplama motoru, EPİAŞ gibi piyasa operatörü platformlarından tarihsel ve erişilebilen şeffaf verileri kullanmaktadır.

Erişilebilen şeffaf piyasa verileri, bir veri havuzu oluşturmak için kullanılmıştır. Şekil E.9.'da bu çalışma için yapılan ilk araştırmalarda elde edilen saat bazında tarihsel yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretimi ile piyasa takas fiyatı (PTF) karşılaştırması verilmiştir. Veri havuzu, piyasa takas fiyatı ile konvansiyonel santrallerin üretim vektörü-ve bunlar çoğu zaman fiyat belirleyicileridir, örneğin doğal gaz, ithal kömür ve linyit teknolojileri- karşılaştırmasını vermektedir. Piyasa simülasyon motorundan elde edilen girdiler veri havuzu ile karşılaştırılmıştır ve piyasa takas fiyatı, piyasa simülasyon motoruyla elde edilen üretim verileri arasında optimum korelasyonlar kurularak hesaplanmıştır. Burada, fiyat hesaplaması için mevsime göre bir sınıflandırma gerçekleştirilmiştir ve bunun başlıca nedeni farklı üretim teknolojilerinin yük davranışının ve kullanılabilirliğinin mevsime göre değişmesidir. Bu sınıflandırma, fiyat hesaplama motoruyla daha doğru tahminler elde edilmesini sağlamaktadır.

Şekil E. 8. Piyasa takas fiyatı hesaplanması akış şeması



Şekil E. 9. Saat bazında yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretimi ile piyasa takas fiyatı (PTF) karşılaştırması, tarihsel



Şekil E. 10. Sanayi sektörünün tarihsel tasarruflarını hesaplama yöntemi



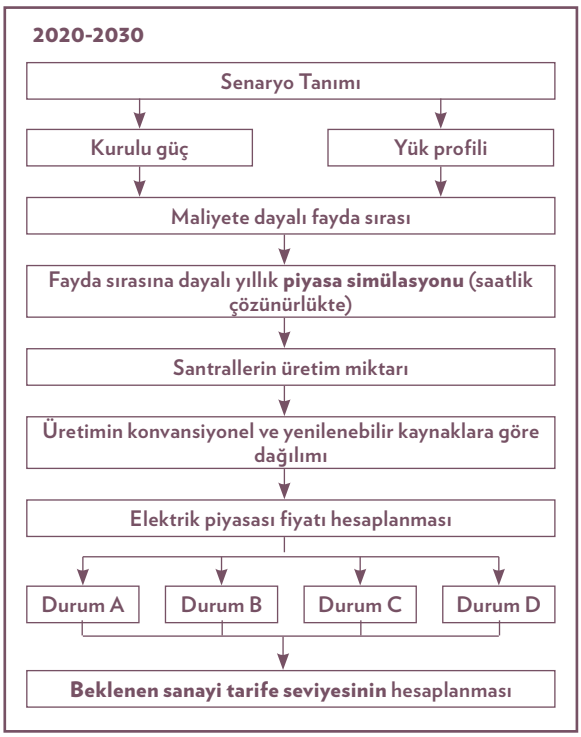
Şekil E.10'da, Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo ile karşılaştırma yapabilmek için, yenilenebilir kaynakların yerine uygun maliyetli fayda sırasına sahip eşdeğer geleneksel kaynaklar konulmuştur. Burada ikame edilen teknolojiler doğal gaz veya ithal kömür santralleri olabilmektedir. Bunun başlıca nedeni, bu santrallerin esas olarak fiyat belirleyici marjinal santraller olmasıdır. Fiyat belirleyiciliği, mevsime göre doğal gaz veya ithal kömür olarak değişmektedir. Kutu #2 tarafından hesaplanan fiyat ile Kutu #3 tarafından hesaplanan fiyat arasındaki fark, yenilenebilir enerji gelişiminin toptan fiyatlar üzerindeki etkisidir.

Hesaplamalarda Şekil E.10'da verilen metodoloji kullanılmıştır. Burada, Şekil E.8'de hesaplanan toptan elektrik fiyatları perakende elektrik fiyatlarını belirlemek için kullanılmaktadır. Perakende elektrik fiyatları elde edildikten sonra, bunların sanayi sektörüne sağlayacağı maliyet tasarrufları ve faydalar hesaplanmıştır.

6.1.3 Gelecekteki tasarrufların hesaplanmasında kullanılan piyasa simülasyon aracı (2030'a kadar)

Tarihsel tasarruflarının hesaplanmasında olduğu gibi, piyasa simülasyonları ve sanayi sektörü tarifesi hesaplamasında da maliyet bazında bir fayda sırası oluşturulmuştur (bkz. Şekil E.11). İlk aşama senaryonun tanımlamasıdır. Burada politika odaklı bir senaryo yaklaşımı kullanılmaktadır. Senaryo tasarımı Şekil E.12'de verilmiştir. Her bir senaryo için toplam üretim ve talep projeksiyon-

Şekil E. 11. 2020-2030 dönemi maliyet tasarrufları ele alınırken kullanılan yöntem



ları hesaplanmış ve piyasa simülasyon motoruna girilmiştir. Piyasa simülasyon motoruna Bölüm 2.2.2'de değinilmiştir. Piyasa simülasyonu sonucu fiyat hesaplama motoruna girilmektedir. Toptan elektrik fiyatı elde edildikten sonra, perakende fiyatı Bölüm 6.1.3'de değinilen yaklaşımla hesaplanmaktadır. Burada, Şekil E.11'de görüldüğü üzere dört durum ele alınmaktadır.

Durum A, doğal gaz fiyatları için Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) Yeni Politikalar referans fiyatlarının[29] kullanıldığı ve karbon fiyatlandırmasının olmadığı bir durumdur. Durum B'de doğal gaz fiyatları artmaktadır ve Durum C'de ise karbon fiyatı yüksektir. Durum D, doğal gaz fiyatlarında artışın ve yüksek karbon fiyatlarının eşzamanlı etkisi ele alınmaktadır.

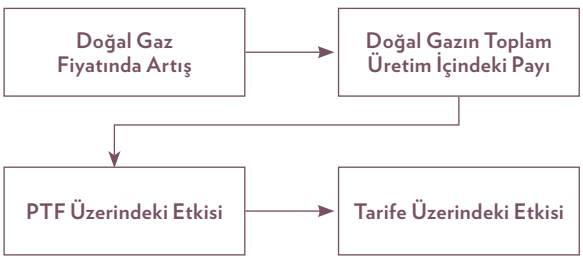
29 https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2020/01/HRE4_D6.1-Future-fuel-price-review.pdf

Şekil E. 12. Çalışmanın senaryo kurgusu

Senaryolar							
Mevcut Politika Senaryosu (Baz Senaryo)				Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu			
YEK SEM: Orta ≈17 GW rüzgar ≈20 GW güneş				YEK SEM: Düşük ≈31 GW rüzgar ≈32 GW güneş			
- Toplam talep: 460 TWh - NTK 2020 yılı ile aynı				**Baz Senaryo+ 600 MW Batarya + 1000 MW Pompaj Depolama**			
-TEİAŞ tahminlerine göre konvansiyonel elektrik santralleri - Akkuyu Nükleer Santrali'nin 4 ünitesi				Baz Senaryo			
Durum A	Durum B	Durum C	Durum D	Durum A	Durum B	Durum C	Durum D
Yakıt: Referans fiyat	**Yakıt: Artan Fiyat**	Yakıt: Referans fiyat	**Yakıt: Artan Fiyat**	Yakıt: Referans fiyat	**Yakıt: Artan Fiyat**	Yakıt: Referans fiyat	**Yakıt: Artan Fiyat**

Durum B'de, doğal gaz fiyatlarındaki artışın sanayi perakende elektrik tarifesi üzerindeki etkisi Şekil E.13'te gösterildiği biçimde ele alınmıştır. Referans fiyat ve yüksek fiyat koşullarındaki doğal gaz fiyatları ise Şekil E.14'te verilmiştir.

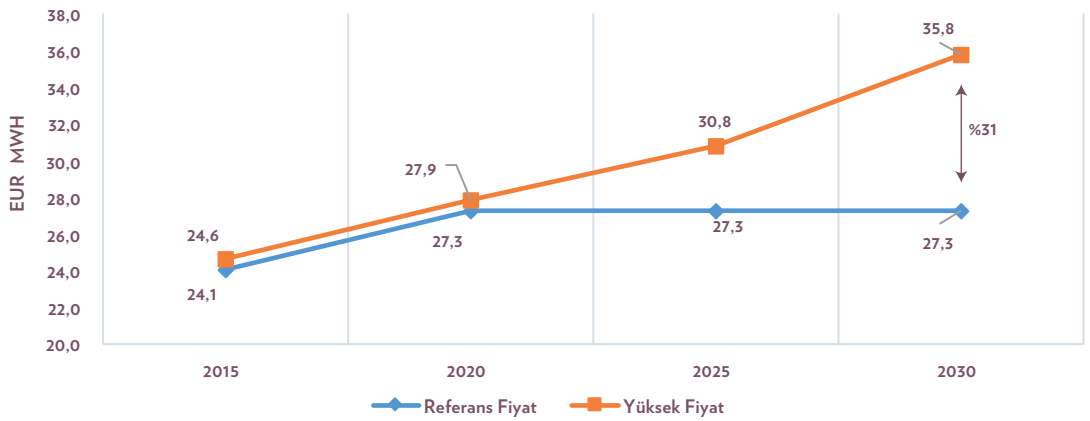
Şekil E. 13. Doğal gaz fiyatlarındaki artışın etkisini hesaplamakta kullanılan şema akışı



Şekil E.14.'te, doğal gaz fiyatının 2020-2030 yılları arasında sabit kaldığı varsayılmaktadır (uzun dönemli bir yakıt satın alım anlaşmasına işaret etmektedir). Referans fiyat ile yüksek fiyat arasındaki fark Şekil E.13'te kullanılmaktadır. Şekil E.13'te doğal gaz fiyatındaki artış değeri, doğal gaz santrallerinin toplam üretim içindeki payı ile çarpılmakta ve referans fiyat koşulunun piyasa takas fiyatına (PTF) eklenmektedir. Elde edilen PTF, Bölüm 6.1.3'te değinilen sanayi tarifesi hesaplamasında girdi olarak kullanılmaktadır.

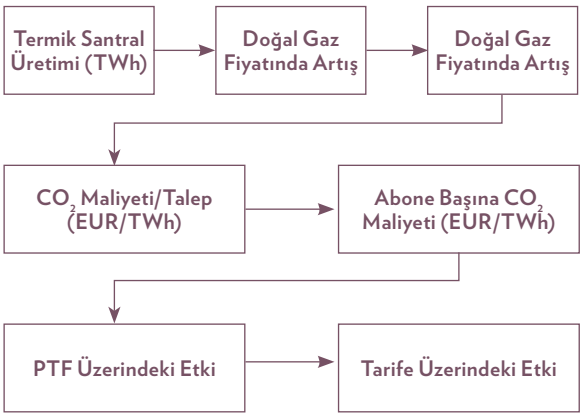
Durum C'de, Şekil E.15'te gösterildiği üzere yüksek karbon fiyatının etkileri incelenmektedir. Şekil E.15'te emisyon hesaplaması için Tablo E.4'te verilen emisyon katsayısı ile toplam termik santral üretim miktarı birlikte kullanılmaktadır. Her bir termik santral teknolojisinin üretim miktarları Tablo E.4'teki emisyon katsayıları ile çarpılmaktadır ve 70,6 euro\t$CO_2$ üzerinden karbon dioksitin (CO2) toplam maliyeti hesaplanmaktadır. Üretilen her TWh'ın CO_2 maliyeti, toplam CO_2 maliyetinin toplam talep miktarına, örneğin 2030'da 460 TWh'ye bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Bu aşamada maliyet, yüzde 50'lik bir ödeme oranı dikkate alınarak, elektrik tüketicileri arasında bölünmektedir. Elde edilen değer, karbon fiyatının olmadığı varsayılarak hesaplanan PTF'ye eklenmektedir ve böylece sanayi perakende elektrik tarifesi hesaplanmaktadır.

Şekil E. 14. Referans fiyat ve yüksek fiyat koşullarında doğal gaz fiyatları[30]



30 https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2020/01/HRE4_D6.1-Future-fuel-price-review.pdf

Şekil E. 15. Yüksek karbon fiyatı etkisi hesaplaması akış şeması



Tablo E. 4. Her üretim teknolojisinin emisyon miktarı

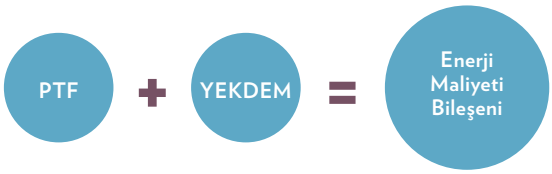
	Diğer	Taş Kömür	İthal Kömür	Linyit	Doğal Gaz
Emisyon ($Mt\ CO_2/TWh$)	0,5	1,03	0,96	1,19	0,4

6.1.4 Sanayi sektörü perakende elektrik fiyatlarının hesaplanması

Tarihsel verilere göre (bkz. Şekil E.16), sanayi perakende elektrik tarifesi enerji bedeli ve sistem bedeli olmak üzere iki ana bileşenden oluşmaktadır.

Sanayi tarifesinin enerji bileşenini hesaplamak Şekil E.17'de görüldüğü üzere piyasa takas fiyatına (PTF) yenilenebilir enerji desteği eklenmektedir.

Şekil E. 17. Sanayi perakende elektrik tarifesi enerji bileşenleri, 2015-2020

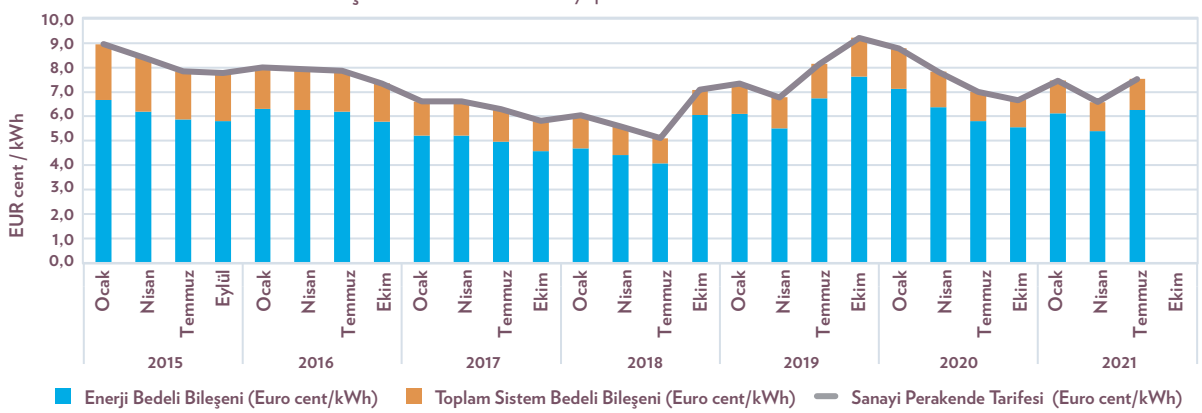


Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM), Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırımlarını desteklemek amacıyla 2011 yılında başlatılan bir elektrik satın alım anlaşması uygulamasıdır. YEKDEM 1 uygulaması 2020 yılı sonuna kadar devam etmiştir, yeni YEKDEM 2 ise halen devam etmektedir.[31]

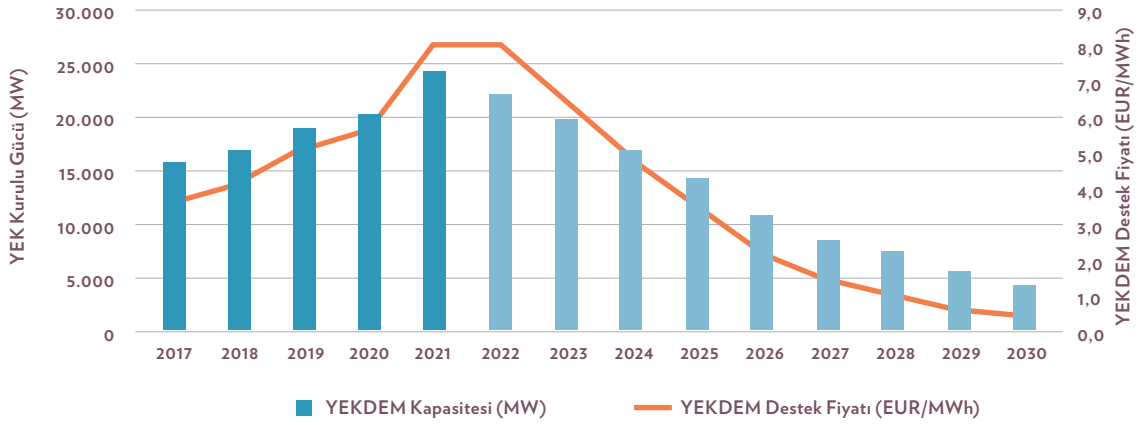
YEKDEM 1'de tesislere uygulanacak fiyatlar Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi

31 Yeni YEKDEM 2 mekanizması 1 Temmuz 2021 tarihinden 31 Aralık 2025 tarihine kadar işletmeye alınan elektrik üretim tesisleri için 10 yıl süreyle uygulanacaktır. YEKDEM 1'de dolar üzerinden olan garantili tarife YEKDEM 2'de TL bazında belirlenmektedir ve üç ayda bir sepet bazında (ÜFE, TÜFE, ABD doları ve Euro gözetilerek dengeli bir dağılımla) güncellenip ABD doları cinsinden belirlenen bir üst fiyata tabidir. YEKDEM 2, belirlenen fiyatlara ek olarak 8 TL kuruş / kWh'a kadar beş yıllık bir yerli katkı fiyatı uygulaması da getirmiştir.

Şekil E. 16. Tarihsel sanayi perakende elektrik tarifeleri



Şekil E. 18. Tarihsel ve gelecekteki yıllık YEKDEM maliyetleri (euro/MWh)



Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (Değişik:25/11/2020-7257/22md.) ile belirlenmiştir: Hidroelektrik üretim tesisleri ve rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisleri için 7,30 ABD doları cent/kWh, jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisleri için 10,50 ABD doları cent/kWh ve biyokütleye dayalı enerji üretim tesisleri ve güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için 13,30 ABD doları cent.

Desteğin süresi, üretim tesisinin devreye girdiği ilk günden başlamak üzere 10 yıldır. 2011 yılında 201 MW ile başlayan mekanizma, 2020 yılında YEKDEM 1 sona ererken 24.567 MW'a çıkmıştır.

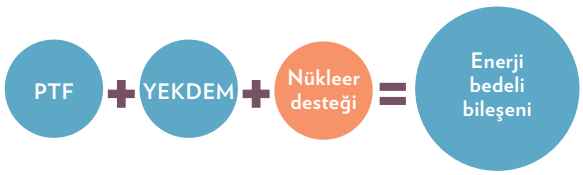
Şekil E.18, Türkiye'de her yıl YEKDEM desteği alan yıllık kümülatif sözleşmeli YEK kapasitesini göstermektedir. Mekanizmanın ilk yıllarında sözleşme imzalayanların 10 yıllık sürelerinin 2021 yılında dolması nedeniyle kapasite miktarı 2021'den itibaren azalmıştır.

YEKDEM mekanizmasının elektrik tarifeleri üzerinde doğrudan etkisi vardır. Tarifenin enerji bileşeninde, elektriğin piyasa fiyatına ek bir maliyet olarak muhasebeleştirilir. Bu nedenle, YEKDEM'in 2025 ve 2030 yılları enerji bileşenleri üzerindeki olası etkisini öngörmek önemlidir. Bunun için mekanizmanın tarihsel yıllık maliyeti ve toplam sözleşmeli YEK kapasitesi analiz edilerek doğrusal regresyon yöntemi tercih edilmiştir.

2021'de ilk YEKDEM 1'in sona ermesiyle birlikte, entegre RES kapasitesine sağlanan 10 yıllık erken destek süresinin sona ermesi nedeniyle mekanizmadaki toplam kapasitede azalma yaşanmıştır. Dolayısıyla, 2021 yılında en yüksek maliyet 8,1 euro/MWh olarak görülecektir ancak 2025 yılında 3,5 euro/MWh ve 2030 yılında 0,4 euro/MWh'a düşecektir. MWh başına YEKDEM maliyeti ve kalan sözleşmeli kapasite Şekil E.18'de gösterilmektedir.

2020-2030 yıllarının enerji tarifesi bileşenleri hesaplarken Şekil E.19'da gösterildiği üzere nükleer enerji desteğinin de eklenmesi gerekmektedir.

Şekil E. 19. Sanayi perakende elektrik tarifesi enerji bileşenleri, 2020-2030



Nükleer enerji destek mekanizması Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından onaylanmıştır. Mekanizma, Akkuyu Nükleer Santrali için 15 yıl boyunca ilk iki reaktörde üretilen elektriğin yüzde 70'ini ve üçüncü ve dördüncü reaktörlerde üretilenin yüzde 30'unu kapsayan bir enerji satın alım anlaşmasıdır. Şekil E.20'de her reaktörün 2027'den sonra devreye gireceği varsayılmaktadır ve sözleşmede yer alan nükleer kapasite gösterilmektedir. 2030 yılında toplam sözleşmeli nükleer kurulu güç 2.400 MW'a çıkmaktadır.

İlk reaktörün 2027'de devreye gireceği varsayıldığında, çalışma kapsamında ek nükleer destek mekanizması tarafından etkilenecek tek yıl 2030 yılıdır. Akkuyu Nükleer Enerji Santrali'nin toplam üretim miktarı üretim algortiması ile, toplam destek maliyeti ise ortalama 123,5 ABD doları/MWh'lik (100 EUR/MWh) satın alım anlaşması baz alınarak hesaplanmaktadır. Hem YEKDEM hem de nükleer enerji destek mekanizmaları, piyasa fiyatına ek bir maliyet olarak hesaplanmaktadır ve her ikisi de tarifenin enerji bileşeni içindedir. Çalışma, toplam destek maliyetleri içerisinde YEKDEM maliyeti zamanla azalırken, 2030 yılında nükleer destek mekanizması maliyetinin öne çıktığını göstermektedir. Nükleer enerji destek faktörü hesaplaması akış şeması Şekil E.20'de verilmiştir.

Şekil E. 20. Nükleer enerji satın alım anlaşması



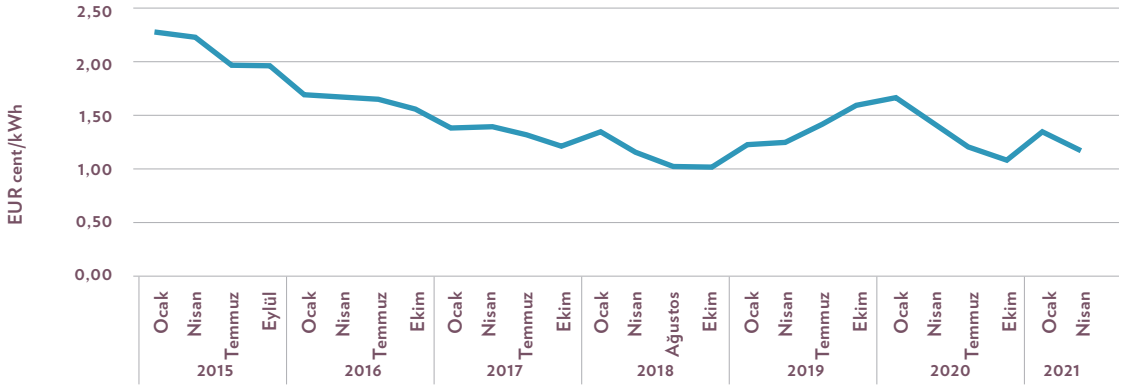
Yenilenebilir enerji ve nükleer enerjiye sağlanan mali destek seviyeleri Tablo E.5'te verilmiştir.

Sistem tarifesi bileşenine dair tarihsel verilere bakıldığında, Şekil E.21'de gösterildiği üzere bir düşüş eğilimi görülmektedir. 2030 yılı hesaplamalarında, 2030 yılı sistem bileşenini bulmak için aynı trend üzerinden bir tahmin yapılması önerilebilmektedir. Ancak, yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyonu ve şebekeyi güçlendirme ihtiyacı nedeniyle, sistem tarifesinin 2020-2030 arasında sabit kalacağı varsayımı yapılabilmektedir. Bununla beraber, euro cinsinden sabit değerlerin Türk lirası cinsinden artış eğilimi göstereceğini de unutmamak gerekmektedir. Sanayi tarifesinin sistem maliyeti bileşeni rakamları Şekil E.22'de gösterilmektedir.

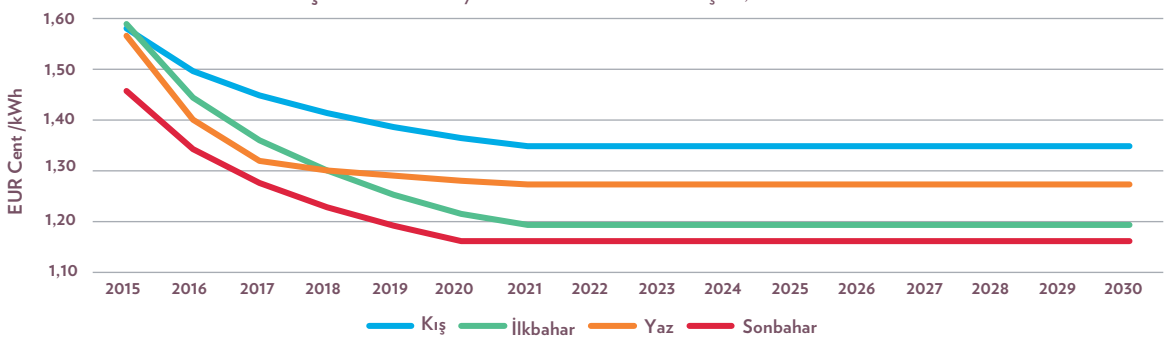
Tablo E. 5. Yenilenebilir enerji ve nükleer enerji destek maliyeti bileşenleri

	Yenilenebilir Enerji Desteği (EUR/MWh)				Nükleer Enerji Desteği (EUR/MWh)			
	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
2015	1,90	1,90	1,90	1,90	0	0	0	0
2020	5,72	5,72	5,72	5,72	0	0	0	0
2025	3,52	3,52	3,52	3,52	0	0	0	0
2030	0,38	0,38	0,38	0,38	3,58	4,17	4,28	4,44

Şekil E. 21. Sanayi tarifesi sistem bedeli bileşenin tarihsel seyri



Şekil E. 22. Sanayi tarifesi sistem bedeli bileşeni, 2015-2030



Özetlemek gerekirse, PTF sanayi tarifesi hesaplanmasının ana girdisidir. Enerji bileşeni, PTF, YEKDEM ve nükleer enerji desteği değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Sistem bileşeni, Şekil E.22'de gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır. Sanayi tarifesi ise enerji ve sistem bileşenlerinin toplamıdır.

6.1.5 Sanayi sektörünün toplam tasarruf miktarının ile makroekonomik etkilerin hesaplanmasında kullanılan uygulamalı genel denge (UGD) modeli tanımları

2015–2020 döneminde daha düşük elektrik fiyatlarıyla sağlanan **tarihsel maliyet tasarrufu** etkilerini ölçmek için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Enerji Dengesi Tabloları kullanılmıştır. Bu tablolarda bileşik enerji tüketiminin yanı sıra sektör bazında enerji tüketimi verileri de yer almaktadır.

Ancak, 2020–30 döneminde yani **gelecekte sanayi sektörünün gerçekleştireceği maliyet tasarruflarının** ve makro-ekonomik etkilerin hesaplanması için: i) bu çalışmada kullanılan toplam elektrik talebi projeksiyonlarıyla tutarlı bir ekonomik büyüme patikası öngörülmesi ve ii) bu büyüme patikasının sektörel büyüme dinamiklerine de yansıtılması gerekmektedir. 2020–30 döneminde Türkiye enerji piyasasında yenilenebilir enerji kaynaklarının artan payının yaratacağı doğrudan etkileri ölçmek için bir dinamik uygulamalı genel denge modeli (UGD) kullanılmıştır.

Model, toplam ekonomiyi tarım, hizmetler, enerji ve sanayi sektörleri de olmak üzere 23 sektöre ayırmaktadır. Bu sektörlerden on biri sanayi sektörünü temsil etmektedir. Sektörlerin ayrıntılı olarak temsil edilmesi ve kullanılan farklı veri kaynaklarının (örneğin, 2014 GTAP [Global Trade Analysis Project-Küresel Ticaret Analiz Projesi] veri seti ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Denge Tabloları) kendi birbirleriyle uyumlu olmaları için sektörler alt gruplara ayrılmıştır.

UGD modeliyle, sektörel girdi dinamikleri ve enerji kompozit talepleri elde edilmektedir; dolayısıyla bu model ile elektrik fiyatlarındaki değişikliklerin her bir sektörün enerji ve toplam girdi maliyetleri üzerindeki etkisi ölçülebilmektedir. Burada, önerilen yöntemle, elektrik fiyatlarındaki değişim (yüzde) simüle edebilmektedir ve sektör düzeyinde gerçekleştirilen doğrudan maliyet tasarrufları hesaplanabilmektedir.

UGD modeli, yenilenebilir enerji kullanımının Türkiye ekonomisi üzerindeki daha geniş makro ekonomik etkilerini ölçmek için kullanılmaktadır. Çalışmada dinamik uygulamalı genel denge modeli (UGD) kullanılmıştır. Toplam ekonomik faaliyeti 23 sektöre ayıran genişletilmiş veri yapısı üzerine kurulan model, ulusal düzeydeki toplam arzı (emilim) ekonomide üretilen katma değerin toplamı olarak göstermektedir.

Önerilen yöntem, endüstriyel sektörleri "Gıda", "Tekstil", "Kimyasal Ürünlerin İmalatı" ve "Metal Sanayi" gibi elektrik yoğun ve ihracata yönelik sektörlerin yanı sıra elektrik yoğun ve iç piyasaya yönelik sektörlere ayırmaktadır. "Ulaşım Araçları İmalatı" gibi sektörler, ihracata yönelik ve üretim birimi başına nispeten düşük elektrik tüketimine sahip sektörler olarak sınıflandırılmaktadır. Tablo E.6'da, GTAP veri seti, ulusal hesaplar ve enerji denge istatistik verileriyle uyumlu bir sanayi sektörleri listesi verilmektedir.

(Tablo E.6, makro ekonomik analiz sırasında dikkate alınan sektörleri ve bu analizi gerçekleştirmek için kullanılan sektörel toplulaştırmayı göstermektedir).

Tablo E. 6. Makroekonomik analizde dikkate alınan sektörler

Endeks #	Toplulaştırılmış Sektör	Tanım	GTAP 2014 Sektör No.	NACE Rev. 2
1	agri	Tarım	1–14	
2	food	Gıda	19–26	10–12
3	coal	Kömür	15	
4	oil	Ham petrol	16	
5	gas	Doğal Gaz	17	
6	ppp	Kağıt ve kağıt ürünleri	31	17–18
7	roil	Rafine petrol	32	
8	nmm	Metalik olmayan mineraller: çimento, alçı, mucur, beton	34	23
9	nfm & irst	Demir dışı metaller; demir ve çelik	35	24
10	text	Tekstil ve giyim	27–28	13–15
11	chem	Kimyasal ürünler; kauçuk/plastik ürünler	33	20–22
12	elect & mach	Elektronik ekipman ve makine	40–41	26–28
13	auto	Ulaşım araçları	38–39	29–30
14	otmn	Metal cevheri madenciliği	18	07–09
15	trnRW	Ulaşım: karayolu, demiryolu, boru hatları, yardımcı ulaşım faaliyetleri vb.	59–60	
16	trnA	Hava ulaşımı	61	
17	othr	Diğer sanayi	29–30, 3–42	16, 31–32
18	meta	Metal ürünleri imalatı	36–37	25
19	serv	Hizmetler	56,61–68	
20	RnwE	Yenilenebilir enerji	47, 50, 52, 54	
21	NucE	Nükleer enerji	44	
22	FosE	Fosil yakıt enerjisi		
23	TnD	İletim ve dağıtım	43	

Sektörel büyüme patikası projeksiyonlarıyla (bkz. Tablo E.7.) sektör bazında elektrik talebi miktarı (GWh) ve parasal değer (2018 baz yılı fiyatları) elde edilmektedir

Tablo E.7'de 2018 baz yılı ve 2019-2030 yılları ekonomik değişkenleri özetlenmiştir.

Tablo E. 7. 2018 baz yılı ve 2019-2030 yılları ekonomik değişkenleri

	Reel GSYİH büyüme (%)	Reel GSYİH (milyar TL, 2018 fiyatları)	Elektrik Talebi (TWh)	Elektrik Talebinde Artış (%)	Enerji Verimliliğinde Artış (%)
2018		3776,1	300		
2019	1	3813,5	300,6	0,2	0,5
2020	1,6	3873,8	304,4	1,3	0,3
2021	4,4	4042,8	317,7	4,4	
2022	3,4	4181,5	328,5	3,4	0
2023	3,3	4317,6	339	3,2	0
2024	3,2	4456	349	3	0,2
2025	3,2	4596,7	359,5	3	0,2
2026	3,2	4742,9	370,1	2,9	0,2
2027	3.2	4892,6	380,8	2,9	0,2
2028	3,1	5045,6	391,5	2,8	0,2
2029	3	5197,6	401,6	2,6	0,3
2030	3,1	5359,4	412,4	2,7	0,3

Model, Türkiye ekonomisinin 2018 makro-ekonomik/sektörel dengesine kalibre edilmiştir. 2018–2030 Baz Senaryosu, makroekonomik/sektörel modelin oluşturulmasındaki temel referans noktası enerji sektörü Baz Senaryosu'dur (Baz Senaryo altında sanayi sektörü elektrik piyasası fiyatı ve elektrik talep projeksiyonları olarak). Ardından, makroekonomik model kullanılarak uyumlu baz makroekonomik patika ve sektörel üretim patikaları elde edilmektedir.

Enerji sektörü modelinin öngörülen elektrik talebiyle hemen hemen uyumlu olan Baz Senaryo GSYİH büyüme oranı, mütevazı bir ortalama enerji verimliliği kazanç oranı içermektedir (2020–2030 için yıllık büyüme oranı yüzde 0,2). Baz çizgisi boyunca reel GSYİH büyüme oranı, 2020–30 için ortalama yüzde 3,3'tür.

UGD modelleme yöntemi, Walras'ın Genel Denge Teorisi disiplini içinde farklı enerji/elektrik fiyatları patikalarının ve genel makroekonominin sektörel üretim faaliyetleri üzerindeki etkilerini ve politika ödünleşimleri yansıtmak için bir analitik çerçeve sunmaktadır. Bu UGD modellemesinin, fiyat sinyalleri karşısında faydalarını optimize eden davranışsal varsayımlarını, üretim teknolojilerini ve pazar kurumlarını genel dengenin kaynak kısıtları altında bir arada toplaması nedeniyle *Walrasçı* olduğunu söylenebilir. Ayrıca bu dengenin yanında üretim süreçleri, sermaye, iş gücü ve bu çalışma bağlamında toplam enerji girdisi gibi üretim faktörlerini, dinamik olarak kendisi içinde düzenleyen teknoloji paradigması içinde bir araya getirmektedir

Bu çalışmada kullanılan modelleme çerçevesinin detayları için bkz. Acar, Voyvoda ve Yeldan (2018) ve Kat, Paltsev ve Yuan (2018). Elektrik arzı komposizyonun fiyatlar ve son kullanıcılar üzerindeki dinamik etkilerine ilişkin ülke düzeyinde yapılmış birkaç analiz, hem UGD geleneğinin saf tavandan tabana enerji-ekonomi modellerini hem de tek bir çerçeve kapsamında tabandan tavana (elektrik) ve tavandan tabana (ekonomi) yaklaşımları bir araya getiren daha kapsamlı hibrit modelleri içermektedir. Başlıca kaynaklar için bkz. Li ve ark. (2014), Song ve Cui (2016), Wing (2006), Proença ve Aubyn (2013), O'Ryan, Nasirov ve Álvarez-Espinosa (2020), Rodrigues ve Linares (2015), ve Böhringer, Landis ve Reanos (2017).

Elektrik girdi fiyatındaki dinamik değişikliklerin doğrudan etkisini (sanayi grubu tüketicilerin tasarrufları aracılığıyla) değerlendirmek için, Baz Senaryosu'nda her *t* dönemi için bir *sabit reel çıktı arzı* varsayılmıştır ve her sektörün elektrik girdi maliyet değişiklikleri hesaplanmıştır.

Mevcut modelin en önemli özelliği tipik bir sanayi sektörünün üretim yapısını temsil etmesidir. Model, her bir sektör çıktısı üretimi sırasında elektrik/enerji talebinin yanı sıra faktörler/girdiler arasında ikame olanakları da tanımlayabilen çok katmanlı iç içe yapılar aracılığıyla **sektörel çıktı** XS_i'nin üretimini temsil etmektedir (Detaylar için Bakınız Ek 6).

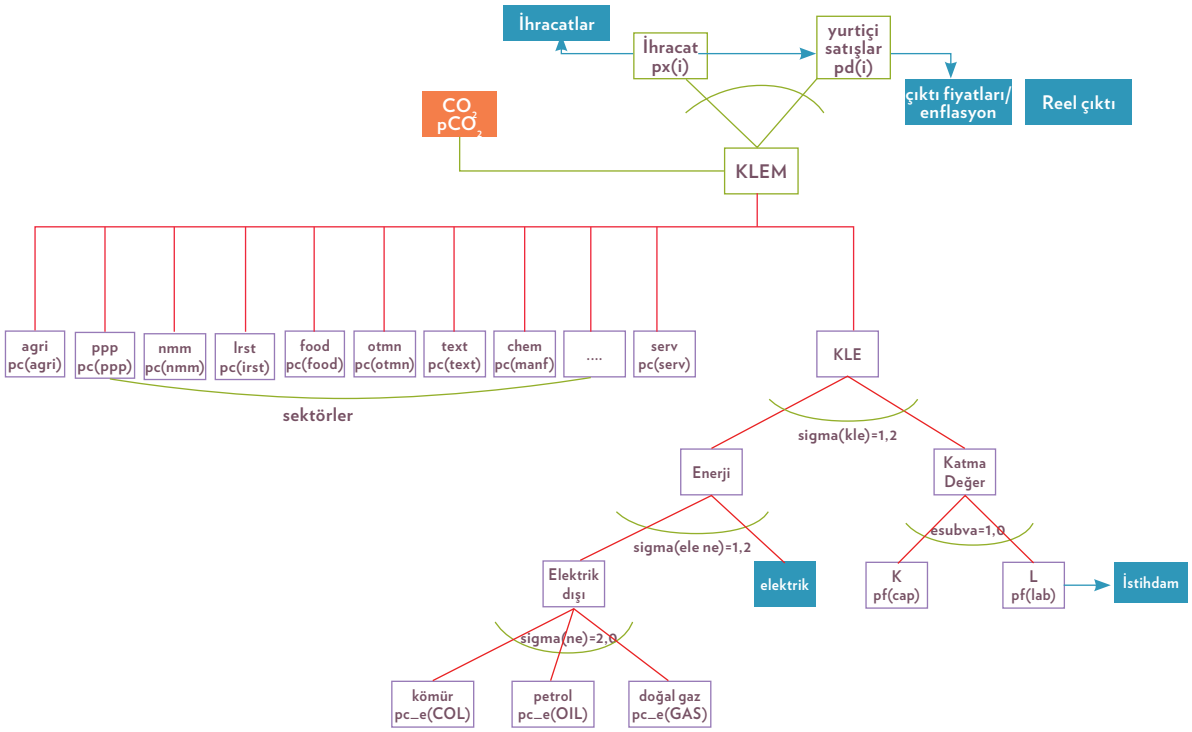
Burada, sanayi sektörlerinin üretimini modellemenin bir yolu, malzeme girdisinin (ara ürünlerin) enerji katma değeri kompozitinde (KLE) sabit oranda (Leontief spesifikasyonu) kullanılacağını varsaymaktır. KLE kompoziti daha sonra bir Sabit İkame Esnekliği (CES) fonksiyonu aracılığıyla kompozit enerjiyi ve katma değeri (VA) birleştirmektedir (Detaylar için Bakınız Ek 6).

Burada, katma değer (VA) ile enerji paketi sigma ("kle") arasındaki ikame esnekliği parametrik olarak verilmektedir ve tüm sektörlerde sabit kaldığı varsayılmaktadır. Enerji paketi ayrıca, (sabit) ikame esnekliğinin sigma ("ele_ne") olarak alındığı, elektrik ve elektrik dışı enerji arasında ikinci tur ikame varsaymaktadır (Detaylar için Bakınız Ek 6).

Elektrik dışı birincil enerji girdileri (kömür, petrol, gaz), ikame esnekliği için sigma ("ne") varsayılarak, bir CES fonksiyonu aracılığıyla birleştirilmektedir. Ardından üretilen *XSi* ya ihraç edilmekte ya da yurt içinde tüketilmektedir (bkz. Şekil E.23).

Şekil E.23, aynı zamanda, yan faydaları temsil eden başlıca arz yönlü değişkenleri, yani sektörel istihdam, enerji/üretim fiyatları, reel çıktı ve ihracatların gösterilmesinde de etkilidir.

Şekil E. 23. Makroekonomik faydaları değerlendirme metodolojisi



Bu model, makro-ekonomik etkileri (elektrik sektöründe yenilenebilir kaynakların artan payının dolaylı etkileri) değerlendirmek için E.23'te gösterilen üretim yapısını kullanmaktadır.

CES kompozitlerinin çok seviyeli iç içe yapısı ile her sektörün üretim teknolojisi kullanılarak, düşen elektrik fiyatlarının (*pelec*) birim maliyet yapısı üzerindeki etkisi hesaplanabilmektedir (üretim girdileri arasındaki ikame olanakları da dikkate alarak). Bundan sonraki aşamada niceliksel etkilerle birlikte (maliyet değişiklikleri nedeniyle artan üretim), her sektör için olduğu kadar sanayi sektörünün geneli için de yan faydaları değerlendirmek mümkün olacaktır.

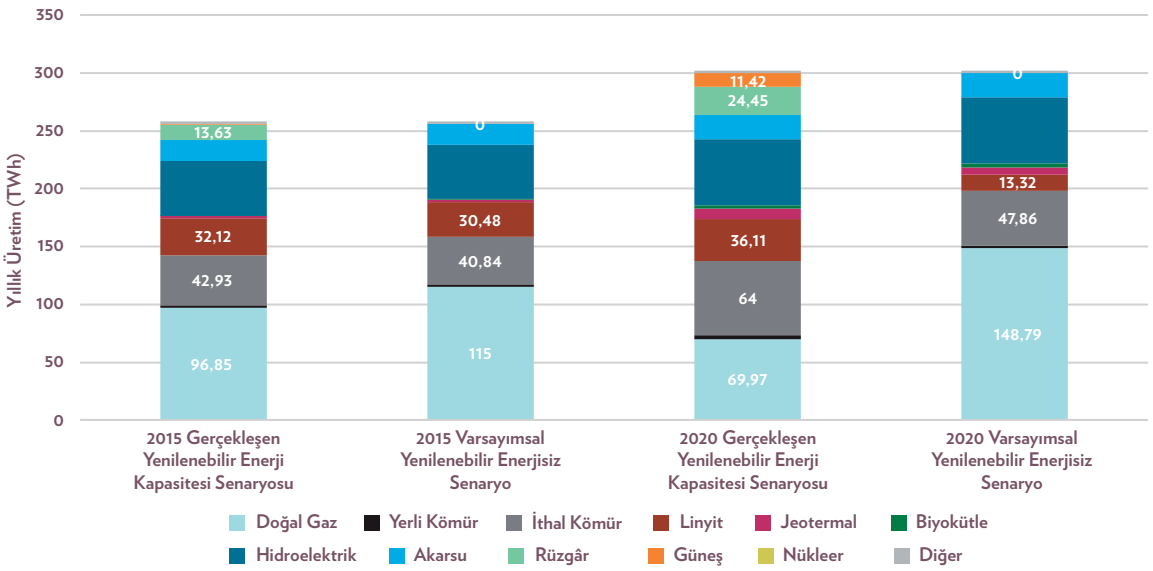
6.2 EK 2: BAŞLICA BULGULARIN AYRINTILARI

6.2.1 2015-2020 döneminde toptan elektrik fiyatındaki düşüş

Bu bölümde, 2015-2020 dönemi toptan elektrik piyasası fiyatları hesaplamasının ayrıntıları özetlenmiştir.

Şekil E.24'teki piyasa simülasyonu, tüm elektrik üretim teknolojileri (doğal gaz, kömür, linyit, yenilenebilir kaynaklar vs.) üretilen yıllık elektrik miktarlarını göstermektedir. Piyasa simülasyon motoru performansını teyit etmek için elektrik üretimin kaynaklara göre dağılımı ile 2015 ve 2020 yıllarının gerçek elektrik üretim miktarları karşılaştırılmıştır (bkz. Tablo E.8).

Şekil E. 24. Elektrik üretimi için gerçekleştirilen piyasa simülasyonu sonuçları



Tablo E.8'de görüldüğü üzere, piyasa simülasyon motoru Türkiye elektrik piyasasını marjinal hatayla (en fazla yüzde 1 hata) doğru bir şekilde temsil etmektedir. Şekil E.24 ve Tablo E.8'deki elektrik üretimi kompozisyonu Bölüm 2.2.1'de değinilen tekrarlı süreçten türetilmiştir.

Şekil E.24. teorik olarak elektrik üretimde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmamasının etkisini de göstermektedir. Bu durumda, doğal gazın elektrik üretimdeki payı 2015 yılında yüzde 19, 2020 yılında ise yüzde 113 oranında artmaktadır .

Tablo E. 8. Elektrik üretimi kompozisyonu, simülasyon sonuçları ile gerçekleşen rakamların karşılaştırması

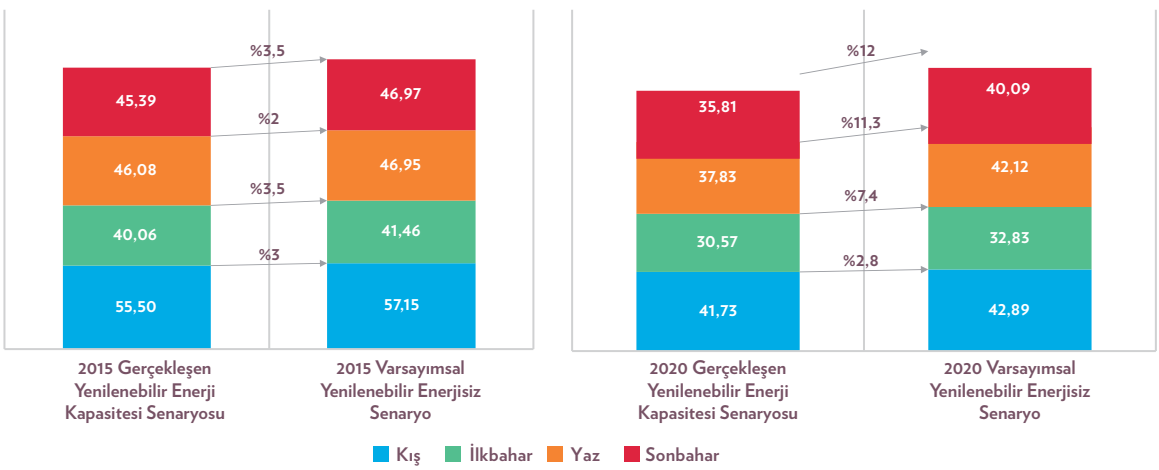
Teknoloji	2020				2015			
	Piyasa Simülasyonu (TWh)	EPİAŞ verileri (TWh)	Kurulu Güç (MW)	Hata	Piyasa Simülasyonu (TWh)	EPİAŞ verileri (TWh)	Kurulu Güç (MW)	Hata
Doğal Gaz	69,97	68,07	25,632	%1	96,85	98,55	25,145	%1
Toplam Kömür	**103,96**	**104,02**	**19,875**	**%0**	**77,7**	**74,52**	**1.,260**	**%1**
Yerli Kömür	3,85	3,78	811	%0	2,65	3,35	350	%0
İthal Kömür	64	62,46	8,967	%1	42,93	40,05	6,070	%1
Linyit	36,11	37,78	10.097	%1	32,12	31,12	8.840	%0
Jeotermal	8,62	9,31	1.515	%0	2,1	3,06	624	%0
Biyokütle	3,46	4,065	869	%0	0,22	1,16	272	%0

Tablo E. 8. Elektrik üretimi kompozisyonu, simülasyon sonuçları ile gerçekleşen rakamların karşılaştırması (devam)

Teknoloji	2020				2015			
	Piyasa Simülasyonu (TWh)	EPİAŞ verileri (TWh)	Kurulu Güç (MW)	Hata	Piyasa Simülasyonu (TWh)	EPİAŞ verileri (TWh)	Kurulu Güç (MW)	Hata
Toplam Hidroelektrik	**77,94**	**77,83**	**29.790**	**%0**	**65,04**	**66,41**	**2.,868**	**%1**
Hidroelektrik	56,93	57,32	21.877	%0	47	47,53	19.077	%0
Akarsu Tipi	21,01	20,51	7.913	%0	18,04	18,88	6.791	%0
Toplam Yenilenebilir Kaynaklar	**35,87**	**35,88**	**14.438**	**%0**	**14,08**	**11,66**	**4.752**	**%1**
Rüzgâr	24,45	24,46	8.077	%0	13,63	11,66	4.503	%1
Güneş	11,42	11,42	6.361	%0	0,45	0	249	%0
Diğer	2,5	2,5	1.088	%0	2,5	3,12	1.226	%0
Toplam	**302**	**302**	**93.207**	-	**258,5**	**258,5**	**73.147**	-

Elektrik üretimi kompozisyonu simülasyonuna dayanarak, 2015 ve 2020 yılları mevsimlik toptan satış piyasası takas fiyatı (PTF) hesaplanmıştır (bkz. Şekil E.25). 2015 yılında Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altında toptan PTF sonbahar ve ilkbahar mevsimlerinde yüzde 3,5'e kadar artmaktadır. 2020 yılı sonbaharında gerçek elektrik üretimi komposizyonunda piyasa takas fiyatı, varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla, yüzde 12 kadar daha düşüktür.

Şekil E. 25. 2015 ve 2020 yılları mevsimsel toptan piyasa takas fiyatı karşılaştırması (gerçek elektrik üretimi kompozisyonu ile Yenilenebilir Enerjisiz Senaryosu karşılaştırması



Tablo E. 9. 2015 ve 2020 yılları sanayi perakende elektrik tarifesi ve bileşenleri

Yıl	Senaryo	Ortalama Enerji Maliyeti (EUR cent/kWh)				Sistem Maliyeti (EUR cent/kWh)				Sanayi Tarifesi (EUR cent/kWh)			
		Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
2015	Yenilenebilir kaynakların mevcut olduğu gerçek elektrik üretimi	5,74	4,20	4,80	4,73	1,58	1,59	1,57	1,46	7,32	5,78	6,36	6,19
	Varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo	5,90	4,34	4,89	4,89	1,58	1,59	1,57	1,46	7,48	5,92	6,45	6,34
2020	Yenilenebilir kaynakların mevcut olduğu gerçek elektrik üretimi	4,75	3,63	4,36	4,15	1,36	1,22	1,13	1,16	6,11	4,84	5,48	5,32
	Varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo	4,86	3,85	4,78	4,58	1,36	1,22	1,13	1,16	6,23	5,07	5,91	5,74

6.2.2 2015-2020 döneminde perakende elektrik piyasası fiyatındaki düşüş

Bu bölümde, 2015-2020 yılları perakende elektrik piyasası fiyatlarının hesaplanması özetlenmektedir.

2015 ve 2020 yıllarının sanayi sektörü perakende elektrik tarifesi ve ilgili bileşenler Tablo E.9'da gösterilmiştir. Türkiye'de sanayi sektörü fiyatları mevsimsel olarak değiştiği için mevsimlik tarifeler verilmiştir. Perakende elektrik fiyatının çeşitli bileşenlerine Bölüm 6.1.2'deki Ek 1'de daha ayrıntılı olarak değinilmiştir.

6.2.3 2015-2020 döneminde sanayi sektörünün toplam elektrik maliyeti tasarrufları

Bu bölümde, 2015-2020 döneminin toplam elektrik maliyeti tasarrufları hesaplanması özetlenmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının artan payının doğrudan etkisini (sanayi sektörü tasarrufları açısından) hesaplamak için Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan 2015-2019 Türkiye Enerji Denge Tabloları kullanılmıştır.

Tablo E.10, 2015-2019 yılları için sektör bazında derlenen elektrik talebini (GWh) vermektedir. Talebi sabit tutarak ve Baz Senaryo altındaki sanayi perakende tarifesi ve varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altındaki perakende tarifesi arasındaki fark kullanılarak, sanayi sektörünün yıllık ve kümülatif doğrudan tasarruf miktarlarını hesaplamak mümkündür.

Burada fiyat değişikliklerinin 2015 ve 2020 yılları arasında lineer bir seyir izlediği varsayılmıştır. 2015-2019 dönemi için gerçek maliyetler ile Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altındaki maliyetler karşılaştırıldığında, Türkiye'de sanayi sektörlerinin 1 milyar euro'nun üzerinde tasarruf sağladığı görülmektedir.

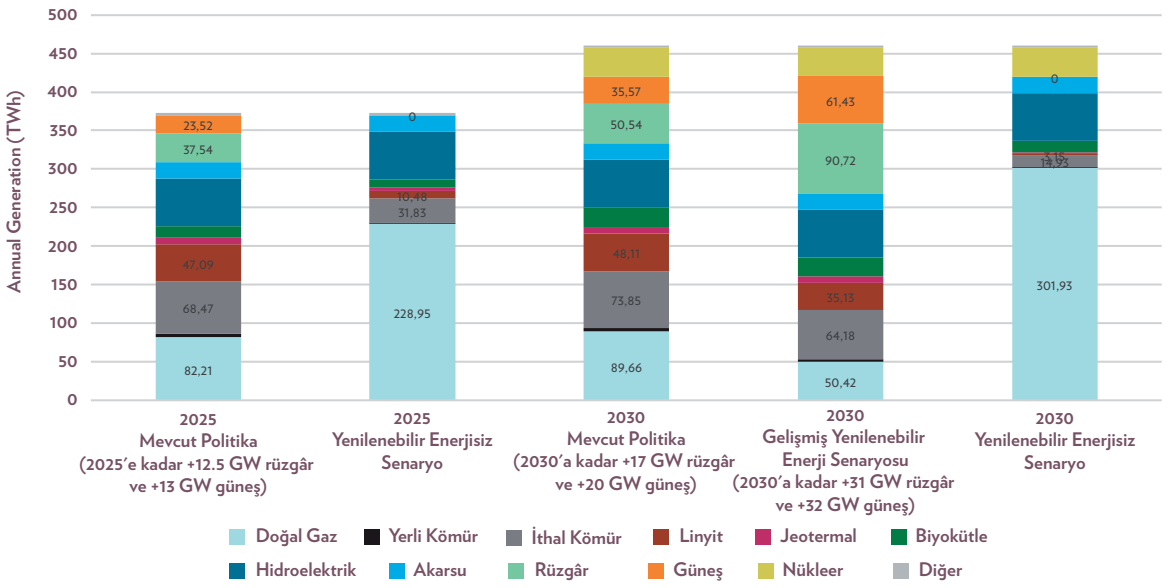
Tablo E. 10. Yenilenebilir enerji kapasite artışına bağlı olarak sektör bazında gerçekleştirilen elektrik maliyeti tasarrufları (2015-2019)

Sektör	Kod	Nace Rev. 2 kodu	Elektrik Talebi (GWh)						Elektrik maliyeti tasarrufu, Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla (milyon ABD doları)		
			2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2020	2015-2020 Kümülatif
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	ppp	17-18	4.018	4.139	3.506	3.439	3.418	3.468	5,63	26,31	63,48
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	nmm	23	18.228	19.099	12.955	12.931	12.853	13.065	25,52	71,08	220,85
Ana metal sanayi	nfm+irst	24	19.462	24.375	29.262	29.092	28.918	29.373	27,25	162,99	438,01
Diğer imalat	othr	16-31-32	5.885	6.388	18.928	18.552	18.441	18.591	8,24	22,99	174,03
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	otmn	07-08-09	10.229	2.271	1.402	1.593	1.584	1.605	14,32	11,85	40,95
Tekstil, giyim ürünleri imalatı	text	13-14-15	24.022	17.892	17.022	18.077	17.967	18.298	33,63	88,06	278,00
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	chem	20-21-22	8.190	15.610	12.449	13.146	13.067	13.297	11,47	66,13	195,89
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	meta	25	1.494	1.646	2.377	2.188	2.174	2.216	2,09	10,93	31,69
Ulaşım araçları imalatı	auto	29-30	1.910	2.736	2.635	2.589	2.574	2.765	2,67	4,90	30,66
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	elect+mach	26-27-28	1.607	2.219	2.889	2.756	2.739	2.808	2,25	47,03	72,83
Gıda ürünleri	food	10-11-12	7.777	7.313	7.483	7.805	7.758	7.809	10,89	47,04	124,98
TOPLAM			**102.822**	**103.687**	**110.907**	**112.167**	**111.493**	**113.293**	**143,95**	**559,31**	**1.671,37**
TOPLAM (milyon TL)									**816,20**	**3.171,30**	**9.476,67**

6.2.4 2020-2030 döneminde toptan elektrik piyasası fiyatındaki beklenen düşüş

Bu bölüm, 2020-2030 dönemi için toptan elektrik piyasası fiyatlarının hesaplanması ayrıntılı olarak ele almaktadır. Piyasa simülasyonundan elde edilen elektrik üretimi kompozisyonu Şekil E.26'da verilmiştir.

Şekil E. 26. Piyasa simülasyonu sonuçları: Gelecekteki elektrik üretimi kompozisyonu



Şekil E.26'da görüldüğü üzere, yenilenebilir enerjisiz bir elektrik sisteminde doğal gazın payı önemli ölçüde artmaktadır. 2015 yılında, doğal gaza dayalı elektrik üretimi yüzde 178'in üzerinde artmaktadır. 2030 yılında, rüzgâr ve güneş enerjisinin mevcut olmadığı bir elektrik sisteminde doğal gaza dayalı elektrik üretimi, yenilenebilir kaynak kapasitesinin kısıtlı oldu Mevcut Politika Senaryosu ile karşılaştırıldığında yüzde 237 ve Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu ile karşılaştırıldığında yüzde 499 artmaktadır.

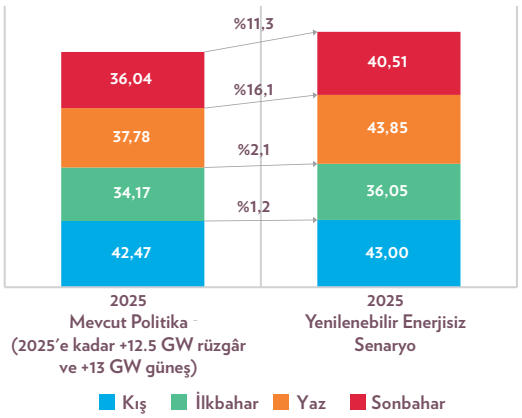
Toptan piyasa fiyatının hesaplanması

2025 ve 2030 yılları piyasa simülasyonlarında, 2020 yılı için gerçekleştirilen kısa dönem marjinal üretim maliyetine dayalı fayda sırası düzeltmesi baz alınmıştır.

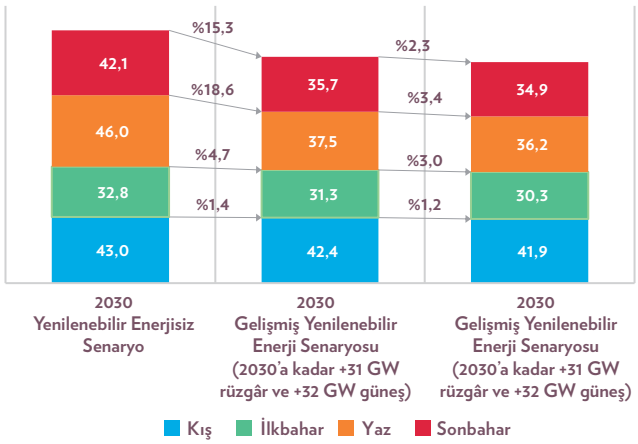
2025 ve 2030 yılları toptan satış piyasası takas fiyatı (PTF) farklı enerji kompozisyonları ve yenilenebilir enerji paylarına göre, mevsimsel olarak hesaplanmıştır. Mevcut Politika Senaryosu (Baz Senaryo) ile varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırıldığında, 2025 yılı yaz döneminde toptan satış fiyatında yüzde 13,9'a varan bir düşüş hesaplanmıştır (bkz. Şekil E.27).

2030 yılı için üç referans senaryoyu karşılaştırırken de benzer bir tablo ortaya çıkmaktadır (bkz. Şekil E.28). Mevcut Politika Senaryosu (Baz Senaryo) ile Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu karşılaştırıldığında, (sonbaharda) toptan satış piyasası fiyatlarının yüzde 2,3'e kadar düşürülebileceğini ortaya koymaktadır. Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu ile, varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya kıyasla, (yaz mevsiminde) toptan elektrik fiyatları yüzde 3,4'e kadar düşürülebilmektedir.

Şekil E. 27. 2025 yılı mevsim bazında toptan piyasa takas fiyatları modeli



Şekil E. 28. 2025 yılı mevsim bazında toptan piyasa takas fiyatları modeli



6.2.5 2020-2030 dönemi perakende elektrik piyasası fiyatındaki beklenen düşüş

Bu bölümde, 2020-2030 dönemi perakende elektrik piyasası fiyatları hesaplaması özetlenmiştir. 2025 ve 2030 yılları sanayi tarifesi ve sistem maliyetleri (mevsimsel değişimler dahil) Tablo E.11'de verilmiştir.

Tablo E. 11. 2025 ve 2030 yılları sanayi tarifesi ve bileşenleri

Yıl	Senaryo	Ortalama Enerji Maliyeti (EUR cent/kWh)				Sistem Maliyeti (EUR cent/kWh)				Sanayi Tarifesi (EUR cent/kWh)			
		Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	İlkbahar	Yaz	Sonbahar
2025	Yenilenebilir Enerjisiz	4,86	3,85	4,78	4,58	1,36	1,22	1,13	1,16	6,23	5,07	5,91	5,74
	Yenilenebilir Enerjili	4,60	3,77	4,13	3,96	1,35	1,19	1,27	1,16	5,95	4,96	5,40	5,12
2030	Yenilenebilir Enerjisiz	4,70	3,74	5,07	4,70	1,35	1,19	1,27	1,16	6,04	4,93	6,34	5,86
	Baz Senaryo- kısıtlı YEK (Mevcut Politika)	4,64	3,58	4,21	4,05	1,35	1,19	1,27	1,16	5,98	4,78	5,49	5,21
	Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu	4,58	3,49	4,09	3,97	1,35	1,19	1,27	1,16	5,93	4,68	5,36	5,13

6.2.6 2020-2030 döneminde sanayi sektörü tarafından gerçekleştirilen toplam elektrik maliyeti tasarrufları

Bu bölüm, 2020-2030 dönemi toplam elektrik maliyeti tasarrufları hesaplamasını özetlemektedir.

Sektörel büyüme dinamikleri

Burada, 2018-2030 dönemi için gerçekleştirilen makroekonomik modelden elde edilen sektörel büyüme dinamiklerine dayandırılan elektrik talebi projeksiyonları (hem 2018 reel TL cinsinden ödemeler hem de GWh olarak) kullanılmıştır. Bu sayede, 2020-2030 döneminde sanayi grubu tüketicilerinim elde ettikleri doğrudan faydalar hesaplanabilmektedir. Baz patikada, Mevcut Politika Senaryosu altındaki sanayi elektrik tarifesi dinamiklerini dikkate alınmıştır. Aynı zamanda, 2018 Girdi-Çıktı Tablosu'nun ara akışlarında öngörülen elektrik birim maliyetindeki sektörel heterojenlikler de dikkate alınmıştır. Bu bölümde, sağlanan doğrudan tasarruflar varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'ya göre hesaplanmaktadır. Sanayi grubu elektrik tüketicileri, 2020 yılı sanayi elektrik tarifesinde görüldüğü üzere, elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının artan payından doğrudan faydalanabilmektedir (Tablo E.12).

Tabloda görüldüğü üzere, toplam enerji maliyetlerinin bir bölümünü oluşturan elektrik maliyeti, sektörden sektöre büyük farklılıklar göstermekte olup, yüzde 27,3 (Ulaşım Araçları İmalatı) ile yüzde 81,4 (Tekstil ve Giyim) arasında değişmektedir ve ortalaması yüzde 59,0'dur. Elektrik mali-

Tablo E. 12. Özet: 2020 yılında sanayi sektörü tarafından sağlanan doğrudan faydalar

2020 Sektör	Kod	Nace Rev. 4 kodu	Elektrik Talebi (GWh)	Elektrik Ödemesi (2018 fiyatları -milyon TL)	Elektriğin Toplam Girdi Maliyetindeki Payı (%)	Elektriğin Toplam Enerji Maliyetindeki Payı (%)	Elektrik Maliyeti /Katma Değer (%)
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	ppp	17-18	3.467,86	2.659,81	3,01	68,03	6,01
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	nmm	23	13.065,04	7.187,57	7,48	51,77	14,56
Ana metal sanayi	nfm+irst	24	29.373,16	16.480,43	7,77	56,76	18,00
Diğer imalat	othr	16-31-32	18.590,65	2.324,33	2,27	72,19	7,95
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	otmn	07-08-09	1.604,55	1.198,53	3,94	58,71	3,22
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	text	13-14-15	18.298,01	8.903,65	2,04	81,44	6,85
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	chem	20-21-22	13.296,80	6.686,96	2,59	28,29	6,74
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	meta	25	2.215,51	1.105,55	1,18	75,69	2,61
Ulaşım araçları imalatı	auto	29-30	2.764,54	495,20	0,28	27,32	0,34
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	elect+mach	26-27-28	2.808,13	4.755,25	1,80	78,28	2,29
Gıda ürünleri	food	10-11-12	7.808,66	4.756,34	1,12	50,26	5,48
TOPLAM			**113.292,89**	**56.553,62**			**5,88**
TOPLAM (milyon euro)				**9.974,18**			

Tablo E. 12. Özet: 2020 yılında sanayi sektörü tarafından sağlanan doğrudan faydalar (devam)

2020 Sektör	Kod	Nace Rev. 4 kodu	Katma Değer (2018 milyon TL)	Katma Değer Payı (%)	İlave Elektrik Faturası - Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo (2018 milyon TL)	İlave Elektrik Faturası - Katma Değer Payı (%)
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	ppp	17-18	44.220,14	1,22	149,15	0,34
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	nmm	23	49.355,70	1,36	403,05	0,82
Ana metal sanayi	nfm+irst	24	91.581,54	2,53	924,16	1,01
Diğer imalat	othr	16-31-32	29.236,85	0,81	130,34	0,45
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	otmn	07-08-09	37.213,71	1,03	67,21	0,18
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	text	13-14-15	129.935,39	3,59	499,28	0,38
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	chem	20-21-22	99.158,97	2,74	374,98	0,38
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	meta	25	42.397,69	1,17	61,99	0,15
Ulaşım araçları imalatı	auto	29-30	143.755,57	3,97	27,77	0,02
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	elect+mach	26-27-28	208.091,14	5,74	266,66	0,13
Gıda ürünleri	food	10-11-12	86.771,37	2,39	266,72	0,31
TOPLAM			**961.718,07**	**26,54**	**3.171,30**	**0,33**
TOPLAM (milyon euro)			**169.615,18**		**559,31**	

yetinin toplam girdi maliyeti içindeki en düşük ve en yüksek paylarına bakıldığında, Ulaşım Araçları üretiminde yüzde 0,3 ve Metal Sanayi'de yüzde 7,8 olduğu görülmektedir ve böylece farklı üretim süreçlerinin enerji yoğunluğu da ortaya çıkmaktadır. Elektrik maliyetinin katma değere oranın en yüksek olduğu sektör Metal Sanayi'dir (yüzde18,0) ve elektrik tarifelerindeki olası değişikliklerin sanayi üretimi/katma değer açısından önemini göstermektedir. Bir bütün olarak ele alındığında, 2020 yılı sanayi sektörü katma değeri (2018 fiyatlarıyla) 962 milyar TL civarında olup, yaklaşık 170 milyar Euro'ya ve 2020 yılı GSYİH'nın yaklaşık yüzde 26,6'sına tekabül etmektedir.

2020 yılında sanayi sektörünün sağladığı doğrudan fayda yaklaşık 560 Euro'dur (2018'de 3,2 milyar TL). Bu, 2020 yılı Gerçekleşen Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Senaryosu için 5,44 EUR cent/kWh alınarak ve 2020 yılı Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo altında perakende elektrik tarifesi için de 5,44 EUR cent/kWh varsayılarak, ve ardından birbirleriyle karşılaştırılarak hesaplanmıştır.

Ayrıca, Tablo E.13 ve E.14'te görüldüğü üzere, Mevcut Politika Senaryosu altında sanayi sektörünün elde ettiği doğrudan faydalar, 2025 yılı için 700 milyon euro ve 2030 yılı için 988 milyon euro arasında değişmektedir. Bu değerler, Gerçek Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Senaryosu ile varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırılarak hesaplanmaktadır.

Tablo E.13'te, uygulamalı genel denge modeli temel simülasyonundan elde edilen sektörel katma değer, elektrik talebi (hem GWh biriminden hem

Tablo E. 13. Sektörel katma değer ve elektriğin toplam enerji faturası içindeki payına dair göstergeler (2025)

2025 Sektör	Nace Rev. 4 Kodu	Elektrik Talebi (GWh)	Elektrik Ödemesi (2018 fiyatları -milyon TL)	Elektriğin Toplam Girdi Maliyetindeki Payı (%)	Elektriğin Toplam Enerji Maliyetindeki Payı (%)	Elektrik Maliyeti / Katma Değer (%)
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	17-18	3.848,74	2.914,94	2,89	68,21	5,49
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	23	14.692,16	7.981,37	7,25	52,12	13,15
Ana metal sanayi	24	35.936,81	19.910,31	7,53	57,00	14,89
Diğer imalat	16-31-32	20.664,96	2.551,28	2,22	72,42	7,26
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	07-08-09	1.822,49	1.344,26	3,79	59,06	2,88
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	13-14-15	20.490,62	9.845,55	1,93	81,43	6,18
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	20-21-22	14.854,47	7.376,65	2,51	28,63	6,13
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	25	2.572,50	1.267,60	1,16	76,27	2,28
Ulaşım araçları imalatı	29-30	3.766,85	666,27	0,27	27,49	0,26
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	26-27-28	3.254,13	5.441,42	1,75	78,38	2,00
Gıda ürünleri	10-11-12	8.380,13	5.040,44	1,04	50,38	5,17
TOPLAM		**130.283,84**	**64.340,07**			**5,78**
TOPLAM (milyon euro)			**11.347,45**			

Sektör 2025	Nace Rev. 4 Kodu	Katma Değer (2018 milyar TL	Katma Değer Payı (%)	İlave Elektrik Faturası - Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo (2018 milyon TL)	İlave Elektrik Faturası - Katma Değer Payı (%)
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	17-18	48.460,07	1,12	179,87	0,37
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	23	54.651,97	1,27	492,50	0,90
Ana metal sanayi	24	110.698,85	2,57	1228,60	1,11
Diğer imalat	16-31-32	32.003,62	0,74	157,43	0,49
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	07-08-09	41.659,19	0,97	82,95	0,20
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	13-14-15	144.044,38	3,34	607,53	0,42
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	20-21-22	109.068,12	2,53	455,19	0,42
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	25	48.560,50	1,13	78,22	0,16
Ulaşım araçları imalatı	29-30	193.381,20	4,48	41,11	0,02
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	26-27-28	237.917,48	5,51	335,77	0,14
Gıda ürünleri	10-11-12	91.997,74	2,13	311,03	0,34
TOPLAM		**1.112.443,11**	**25,78**	**3.970,20**	**0,36**
TOPLAM (milyon euro)		**196.198,08**		**700,21**	

Tablo E. 14. Sektörel katma değer ve elektriğin toplam enerji faturası içindeki payına dair göstergeler (2030)

2030 Sektör	Kod	Nace Rev. 4 Kodu	Elektrik Talebi (GWh)	Electrik Ödemesi (2018 fiyatları -milyon TL)	Elektriğin Toplam Girdi Maliyetindeki Payı (%)	Elektriğin Toplam Enerji Maliyetindeki Payı (%)	Elektrik Maliyeti / Katma Değer (%)
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	ppp	17-18	4.216,82	3.146,67	2,77	68,57	5,99
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	nmm	23	16.105,04	8.620,05	7,00	52,57	14,58
Ana metal sanayi	nfm+irst	24	39.537,36	21.582,52	7,36	57,66	17,95
Diğer imalat	othr	16-31-32	22.568,31	2.745,22	2,14	72,67	7,94
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	otmn	07-08-09	1.986,04	1.443,32	3,64	59,58	3,22
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	text	13-14-15	22.309,76	10.561,75	1,84	81,51	6,79
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	chem	20-21-22	16.304,92	7.977,68	2,42	29,09	6,77
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	meta	25	2.825,98	1.371,99	1,12	76,85	2,59
Ulaşım araçları imalatı	auto	29-30	4.311,80	751,43	0,26	28,04	0,35
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	elect+mach	26-27-28	3.627,92	5.977,10	1,70	78,62	2,28
Gıda ürünleri	food	10-11-12	9.036,19	5.354,99	0,97	50,62	5,46
TOPLAM			**142.830,13**	**69.532,73**			**5,72**
TOPLAM (milyon euro)				**12.263,27**			

Sektör 2030	Kod	Nace Rev. 4 Kodu	Katma Değer (2018 milyar TL	Katma Değer Payı (%)	İlave Elektrik Faturası - Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo (2018 milyon TL)	İlave Elektrik Faturası - Katma Değer Payı (%)
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	ppp	17-18	52.492,06	1,04	253,50	0,48
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	nmm	23	59.128,44	1,17	694,45	1,17
Ana metal sanayi	nfm+irst	24	120.228,60	2,38	1.738,73	1,45
Diğer imalat	othr	16-31-32	34.553,02	0,68	221,16	0,64
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	otmn	07-08-09	44.799,66	0,89	116,28	0,26
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	text	13-14-15	155.528,27	3,08	850,87	0,55
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	chem	20-21-22	117.895,63	2,34	642,70	0,55
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	meta	25	52.878,93	1,05	110,53	0,21
Ulaşım araçları imalatı	auto	29-30	217.800,90	4,32	60,54	0,03
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	elect+mach	26-27-28	261.777,61	5,19	481,53	0,18
Gıda ürünleri	food	10-11-12	98.140,54	1,94	431,41	0,44
TOPLAM			**1.215.223,66**	**24,08**	**5.601,69**	**0,46**
TOPLAM (milyon euro)			**214.325,16**		**987,95**	

de 2018 yılı TL cinsinden), elektriğin toplam enerji faturası içerisindeki payına dair ek göstergeler ve 2025 yılında elektriğin toplam girdi maliyeti içerisindeki payı verilmiştir. Tablonun son iki sütunu, yenilenebilir enerji kaynaklarının artan payından kaynaklanan ve 2025 yılı sanayi elektrik tarifesine yansıyan (Baz Yenilenebilir Enerji Senaryosu, Durum A kapsamında) doğrudan faydaların büyüklüğünü (2018 TL cinsinden) göstermektedir. Tablo E.14'te, aynı göstergeler 2030 yılı için verilmiştir.

Mevcut Baz Politikası altında, yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye elektrik piyasasındaki artan payı ile 2020–30 döneminde 8,1 milyar euro'luk doğrudan fayda (kümülatif tasarruf) sağlanabilmektedir.

2030 yılına bakıldığında ise, Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu'nun öngörülen faydaları arttırdığı görülmektedir. Tablo E.15'te görüldüğü üzere, 2030 yılında Gelişmiş Yenilenebilir Senaryosu kapsamında elde edilen doğrudan faydalar, yenilenebilir kaynakların olmadığı senaryoya kıyasla 1,22 milyar euro tutarındadır. Tablo E.15'te 2020, 2025 ve 2030 yılları sonuçlarının yanı sıra 2020–2025 ve 2020–2030 dönemleri kümülatif etkileri verilmektedir. Sanayi sektörünün yenilenebilir kaynak kullanımından elde edeceği doğrudan fayda sadece 2020'de yaklaşık 560 milyon euro tutarındadır.

Mevcut politika kapsamında ve doğal gaz fiyatları arttığı takdirde ve Türkiye'nin karbon için bir fiyat belirlemesi durumunda, elde edilecek toplam fayda 2020–2025 döneminde yaklaşık 3,78 milyar euro ve 2020–2030 döneminde (2018 fiyatlarında) yaklaşık 8,1 milyar euroyu bulabilmektedir. Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu 2030 yılında gerçekleştirildiği takdirde, 2020–2030 döneminde 8,73 milyar euro kadar kümülatif fayda elde edilebilmektedir.

Tablo E. 15. Yıl bazında elde edilen doğrudan faydalar ile 2020-2025/2020-2030 dönemlerindeki kümülatif etkiler

DURUM A			İlave Elektrik Faturası - Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo (2018 milyon TL)				
Sektör	Kod	Nace Rev. 2 Kodu	2020	2025	2030	2020-25 Kümülatif	2020-30 Kümülatif
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	ppp	17-18	149,15	179,87	253,50	986,94	2.092,35
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	nmm	23	403,05	492,50	694,45	2.686,30	5.715,17
Ana metal sanayi	nfm+irst	24	924,16	1.228,60	1.738,73	6.499,71	14.102,65
Diğer imalat	othr	16-31-32	130,34	157,43	221,16	864,05	1.830,85
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	otmn	07-08-09	67,21	82,95	116,28	450,98	960,52
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	text	13-14-15	499,28	607,53	850,87	3.318,09	7.041,54
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	chem	20-21-22	374,98	455,19	642,70	2.488,27	5.292,53
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	meta	25	61,99	78,22	110,53	421,75	904,68
Ulaşım araçları imalatı	auto	29-30	27,77	41,11	60,54	207,86	469,05
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	elect+mach	26-27-28	266,66	335,77	481,53	1.811,19	3.894,94
Gıda ürünleri	food	10-11-12	266,72	311,03	431,41	1.733,83	3.628,59
TOPLAM			**3.171,30**	**3.970,20**	**5.601,69**	**21.468,96**	**45.932,86**
TOPLAM (milyon euro)			**559,31**	**700,21**	**987,95**	**3.786,41**	**8.101,03**

Tablo E. 16. Baz Senaryo ve Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında 2030 yılı dolaylı tasarruf miktarları

	Enerji Kompoziti Birim Fiyatı (% değişiklik)		Reel Çıktı (2018 yılı, milyon TL)		Çıktı Fiyatı (% değişiklik)		İstihdam Talebi (1000 kişi)		İhracat (bin euro)	
2030	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	6,34	34,77	-0,82	-3,86	0,22	1,21	-0,31	-1,47	-11,59	-54,65
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	5,31	28,46	-1,93	-9,02	0,55	2,95	-0,51	-2,39	-44,34	-207,20
Ana metal sanayi	6,06	32,99	-5,39	-25,11	0,58	3,17	-4,41	-20,52	-308,05	-1.434,30
Diğer imalat	6,36	34,89	-1,03	-4,87	0,17	0,93	-0,18	-0,84	-52,22	-245,70
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	5,89	31,96	-0,23	-1,10	0,29	1,56	-0,08	-0,38	-8,22	-38,89
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	6,83	37,91	-4,09	-19,27	0,15	0,81	-6,33	-29,81	-168,18	-792,39
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	3,89	20,17	-2,34	-11,05	0,19	0,98	-0,14	-0,66	-91,77	-432,59
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	7,88	44,76	-0,40	-1,89	0,09	0,51	-0,06	-0,30	-20,79	-98,47
Ulaşım araçları imalatı	3,91	20,26	-0,16	-0,75	0,02	0,10	-0,01	-0,03	-15,12	-71,80
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	6,67	36,87	-1,22	-5,77	0,14	0,75	-1,70	-8,04	-52,56	-249,11
Gıda ürünleri	5,04	26,85	-2,76	-13,01	0,08	0,40	-2,22	-10,50	-37,24	-175,78
ORTALAMA	5,83	31,81			0,22	1,22				
TOPLAM			**-20,37**	**-95,70**			**-15,95**	**-74,94**	**-810,08**	**-3.800,88**

	Enerji Kompoziti Birim Fiyatı (% değişiklik)		Reel Çıktı (2018 yılı, milyon TL)		Çıktı Fiyatı (% değişiklik)		İstihdam Talebi (1000 kişi)		İhracat (bin euro)	
2030 - Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Sen.	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D
Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	7,79	36,60	-1,00	-4,04	0,27	1,28	-0,36	-1,47	-14,15	-57,15
Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	6,52	29,92	-2,36	-9,43	0,68	3,11	-0,59	-2,36	-54,25	-217,11
Ana metal sanayi	7,44	34,72	-6,61	-26,37	0,72	3,36	-5,38	-21,44	-377,70	-1.505,94
Diğer imalat	7,82	36,73	-1,26	-5,09	0,21	0,99	-0,24	-0,98	-63,84	-257,23
Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	7,23	33,63	-0,28	-1,15	0,36	1,65	-0,06	-0,23	-10,02	-40,62
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	8,40	39,92	-5,00	-20,16	0,18	0,86	-7,55	-30,46	-205,34	-828,44
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	4,77	21,18	-2,86	-11,56	0,23	1,03	-0,18	-0,74	-112,06	-452,34
Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	9,70	47,20	-0,49	-1,98	0,11	0,54	-0,04	-0,16	-25,41	-103,09
Ulaşım araçları imalatı	4,79	21,27	-0,19	-0,78	0,02	0,11	-0,01	-0,03	-18,45	-75,05
Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	8,20	38,83	-1,49	-6,04	0,17	0,79	-1,99	-8,08	-64,20	-260,55
Gıda ürünleri	6,19	28,22	-3,36	-13,60	0,09	0,43	-2,65	-10,72	-45,39	-183,45
ORTALAMA	7,17	33,48			0,28	1,29				
TOPLAM			**-24,91**	**-100,20**			**-19,06**	**-76,67**	**-990,83**	**-3.980,97**

Tablo E.16, alternatif senaryoların makro ekonomik etkilerinin karşılaştırılması için Yenilenebilir Enerjili Baz Senaryo ve Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryoları (Durum A ve Durum D) altında seçili değişkenler için elde edilen sonuçları göstermektedir.

Tablo A.17'de, her iki senaryo (Durum A ve Durum D) altında 2020–2030 dönemi kümülatif sonuçları gösterilmektedir.

Tablo E. 17. Baz Senaryo ve Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında 2030 yılı kümülatif tasarruf miktarları

Sanayi Tarifelerindeki Değişikliklerin Dolaylı Etkileri 2020-2030, Seçili Değişkenler, Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu							
		Reel Çıktı (2018 yılı, milyon TL)		İstihdam Talebi (1000 kişi)		İhracat (bin euro)	
2020-2030		Durum A	Durum D	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D
Kümülatif	Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	-6,77	-31,08	-0,31	-1,47	-100,99	-461,16
	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	-15,98	-72,72	-0,51	-2,39	-374,95	-1.700,75
	Ana metal sanayi	-44,20	-202,18	-4,41	-20,52	-2.530,74	-11.639,68
	Diğer imalat	-8,61	-39,37	-0,18	-0,84	-464,58	-2.104,36
	Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	-1,93	-8,90	-0,08	-0,38	-70,90	-325,67
	Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	-33,56	-154,20	-6,33	-29,81	-1.444,82	-6.609,98
	Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	-19,39	-88,94	-0,14	-0,66	-788,17	-3.593,38
	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	-3,27	-15,13	-0,06	-0,30	-173,96	-803,12
	Ulaşım araçları imalatı	-1,24	-5,83	-0,01	-0,03	-117,72	-558,84
	Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	-9,99	-46,18	-1,70	-8,04	-451,46	-2.085,88
	Gıda ürünleri	-22,91	-104,94	-2,22	-10,50	-390,83	-1.723,61
	TOPLAM	**-167,84**	**-769,46**	**-15,95**	**-74,94**	**-6.909,13**	**-31.606,42**
	TOPLAM (milyon euro)	**-29,60**	**-135,71**				

		Reel Çıktı (2018 yılı, milyon TL)		İstihdam Talebi (1000 kişi)		İhracat (bin euro)	
2020-2030 Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Sen.		Durum A	Durum D	Durum A	Durum D	Durum A	Durum D
Kümülatif	Kağıt ve kağıt ürünleri imalatı ile kağıtlı medyanın basılması ve çoğaltılması	-7,31	-31,59	-0,36	-1,47	-108,72	-468,66
	Diğer metalik olmayan mineral ürünlerin imalatı	-17,23	-73,89	-0,59	-2,36	-404,54	-1.730,34
	Ana metal sanayi	-47,72	-205,44	-5,38	-21,44	-2.740,04	-11.855,39
	Diğer imalat	-9,28	-40,01	-0,24	-0,98	-499,78	-2.139,25
	Madencilik (kömür ve doğal gaz hariç)	-2,08	-9,05	-0,06	-0,23	-76,35	-330,86
	Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	-36,22	-156,74	-7,55	-30,46	-1.556,59	-6.718,15
	Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı	-20,92	-90,39	-0,18	-0,74	-849,03	-3.652,42
	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı	-3,53	-15,38	-0,04	-0,16	-187,81	-816,91
	Ulaşım araçları imalatı	-1,34	-5,93	-0,01	-0,03	-127,72	-568,54
	Makine, elektrikli teçhizat ve elektronik ürün imalatı	-10,78	-46,95	-1,99	-8,08	-486,67	-2.120,37
	Gıda ürünleri	-24,70	-106,65	-2,65	-10,72	-416,47	-1.747,64
	TOPLAM	**-181,11**	**-782,01**	**-19,06**	**-76,67**	**-7.453,74**	**-32.148,53**
	TOPLAM (milyon euro)	**-31,94**	**-137,92**				

6.2.7 Makro-ekonomik faydalar: İstihdam yaratma (işgücü talebi) ve ihracat

Sanayi sektörleri için çok önemli bir üretim girdisi olan elektrik fiyatının etkisini ayrıştırmak için çalışmada kısmi denge etkilerine odaklanılmıştır. Diğer genel denge etkilerini izole etmek için diğer tüm girdi fiyatlarının (kömür, gaz gibi diğer enerji girdileri; işgücü birim maliyetleri, sermaye kiralama maliyeti ve diğer ara girdilerin birim maliyetleri) sabit kaldığı varsayılmıştır ve böylece sadece elektrik fiyatlarındaki değişikliklerin etkilerine odaklanılmıştır.

Tablo E.18'de, varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo'da seçili değişkenler üzerindeki yayılma etkileri (spillover effect) verilmektedir. "Reel Çıktı", 2018 yılı sabit fiyatları üzerinden sektörel çıktı/üretim değerini ifade etmektedir; "Çıktı Fiyatı", sektörel çıktı/üretim piyasa fiyatıdır; ve "İhracat", sektörün gerçekleştirdiği ihracatı (bin euro) ifade etmektedir.

Tablo E. 18. Yenilenebilir Enerjisiz Varsayımsal Senaryo'da seçili değişkenler üzerindeki yayılma etkileri

Endeks	Enerji Kompoziti Birim Fiyatındaki Ortalama Değişiklik (%)	Toplam Reel Çıktı (2018 yılı, milyon EUR)	Çıktı Fiyatındaki Ortalama Değişiklik (%)	İşgücü Talebi (1000 kişi)	Toplam İhracat (bin EUR)
2020 Gerçekleşen Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Senaryosu	4,10	-11,40	0,17	-16,46	-474,64
2025 Mevcut Baz Politika (+12.5 GW rüzgâr; +13 GW güneş)	4,50	-14,43	0,18	-10,02	-600,11
2030 Mevcut Baz Politika (+17 GW rüzgâr; +20 GW güneş)	5,83	-20,37	0,22	-15,95	-810,08
2030 Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu (+31 GW rüzgâr; +32 GW güneş)	7,17	-24,91	0,28	-19,06	-990,83
2020–2030 Kümülatif Mevcut Politika	--	-29,6	--	-15,95	-6909
2020–2030 Kümülatif Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu	--	-31,94	--	-19,06	-7453

6.3. EK 3: YEREL ÖRNEK ÇALIŞMASI: DEMİRTAŞ SANAYİ BÖLGESİ (DOSAB)

Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB) 1990 yılında Bursa'da kurulmuştur. DOSAB, 15 Nisan 2000 tarihinde yürürlüğe giren 4562 sayılı Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu kapsamında 2001 yılında organize sanayi bölgesi olarak tescil edilmiştir.

2020 yılı itibarıyla DOSAB alanı 485 hektardır. Bu alanın 384 hektarı sanayi parselleri, 11 hektarı atıksu arıtma tesisi, 6 hektarı teknik altyapı alanı ve 84 hektarı yeşil alanlardan oluşmaktadır. DOSAB'da 381 parsel bulunmaktadır. Bunların 342'si sanayi parseli (316 parsel dolu, 26'sı ise boş-proje aşamasında), geri kalan 39'u ise idari ve sosyal tesisler ile alt yapı alanlarıdır.

Şekil E. 29. Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi (DOSAB) (kaynak: www.dosab.org.tr)



2019 verilerine göre, DOSAB'da faal firma sayısı 547, istihdam edilen kişi sayısı ise 42.000'dir. 2019 yılında Bursa Sanayi ve Ticaret Odası'nın açıkladığı İlk 250 Büyük Firma arasında 43 DOSAB katılımcısı firma bulunmaktadır.[32] Bu firmalardan 23'ü Tekstil ve Konfeksiyon, 13'ü Otomotiv ve Yan Sanayi (Ulaştırma Ekipmanları), 7'si Makine, Metal ve diğer sektörlerde faaliyet göstermektedir. Bu 43 firma, 29,9 milyar Türk lirası toplam gelirle Bursa'nın en büyük 250 şirketinin toplam cirosunun yüzde 18,2'sini oluşturmuştur. Bu miktarın 23,6 milyar Türk lirası ise 250 şirketin toplam net satışlarının yüzde 20'sine tekabül etmektedir ve DOSAB'ta faaliyet gösteren 43 şirket tarafından gerçekleştirilmiştir.

2020 yılı itibarıyla DOSAB'ın sektörel dağılımı (firma sayılarına göre) aşağıda verilmiştir:[33]

- Tekstil ve Konfeksiyon: yüzde 68
- Ulaşım Ekipmanı: yüzde 22
- Gıda, Plastik, Kimya ve diğerleri: yüzde 10

2019 yılında DOSAB'da faaliyet gösteren firmalar yaklaşık 1,14 TWh elektrik tüketmiştir. 2019 yılı sonunda dağıtım trafolarının kurulu gücü 569 MVA'dır.34 Belirli bir sanayi bölgesine odaklanıldığında, tarihsel ve gelecekteki potansiyel maliyet tasarruflarının etkileri daha somut olarak görülebilmektedir. İlk 250 Büyük Firma arasına giren DOSAB firmalarının elektrik talebi verileri de mevcuttur:

- İlk 250'ye giren DOSAB firmaları 2015-2020 döneminde Türkiye elektrik piyasasında yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgâr ve güneş) artan payından ne kadar faydalanmıştır?
- İlk 250'ye giren DOSAB firmaları, 2020-2030 döneminde yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgâr ve güneş) payının daha da artmasından ne denli faydalanacaktır?

32 https://www.dosab.org.tr/Detay/1008/43-DOSAB-Firmasindan-2,9-Milyar-Dolar-Ihracat,-19-bin-687-Istihdam

33 https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler//2018-organize-sanayi-bolgeleri-envanteri-20181112091121.xls

34 https://www.dosab.org.tr/dosyalar/dokumanlar/180120212140l2Q7MQL9.pdf

Tablo E.19'da, 2019 yılı toplam gelir, ihracat ve istihdam rakamlarını paylaşan 43 DOSAB firmasından 28'i için seçili değişkenlerin bir özeti yer almaktadır. Bu 28 firma, 2019 yılında ilk 250'ye giren 43 DOSAB firmasının toplam gelirlerinin yüzde 92'sini teşkil etmektedir. 2019 yılında bu seçilen örneklemin elektrik talebi, DOSAB genelindeki toplam elektrik talebinin yaklaşık yüzde 54'ünü (1.140.3 GWh) teşkil etmiştir.

İlk 250'ye giren DOSAB firmalarının 2015-2019 döneminde gerçekleştirdikleri yaklaşık tasarruf miktarını hesaplamak için, bu firmaların elektrik talebinin büyüme dinamiklerinin, Türkiye Enerji Denge Tabloları'ndaki sektör ortalaması büyüme dinamiklerine yakın bir seyir takip ettiği varsayılmaktadır. Böylece, 2015–2019 döneminde bu firmaların gerçekleştirdikleri toplam doğrudan tasarruf miktarı tahmin edilebilmektedir. Tablo E.20'de gösterildiği üzere, Gerçekleşen Yenilenebilir Enerji Kapasitesi ile varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırıldığında, bu seçili firmaların 2019 yılında 1,7 milyon euro civarında doğrudan tasarruf sağladıkları görülmektedir. Aynı karşılaştırmayla, 2015 ile 2020 yılları arasında yaklaşık 6,2 milyon euro kadar kümülatif tasarruf gerçekleştirilmiştir. Elektrik maliyetleri üzerinden gerçekleştirilen bu tasarruf miktarları, bu firmaların 2019 yılı toplam elektrik faturasının yaklaşık yüzde 2,5'ini teşkil etmektedir.

Tablo E. 19. İlk 250'ye giren örneklem DOSAB firmalarının betimleyici istatistikleri

		Gelir (milyon TL) (KDV düşüldükten sonra net gelir)	İhracat (milyon ABD)	Ortalama İstihdam	Üretimden Elde Edilen Satış (milyon TL)	Elektrik Talebi 2019 (GWh) *
Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	text	5.275,8	393,5	8.833,0	3.648,1	171,5
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünleri imalatı	chem	1.203,7	13,9	699,0	1.008,9	44,4
Ulaşım araçları imalatı	auto	20.503,5	2.383,4	8.590,0	17.367,7	392,6
Gıda	food	142,6	0,0	45,0	0,0	3,5
Metal Sanayi	nfm+irst	436,2	39,4	359,0	431,6	2,0
TOPLAM		**27.561,7**	**2.830,1**	**18.526,0**	**22.456,2**	**614,2**
En Büyük 250 Firma		164.858,2	11.521,8	151.741,0	118.445,0	
En Büyük DOSAB Firmalarının En Büyük 250 Şirket İçindeki Payı (%)		16,7	24,6	12,2	19,0	

*/UGD model sonuçlarıyla hesaplanan yaklaşık değerler

Tablo E. 20. İlk 250'ye giren DOSAB firmalarının toplam tasarruf miktarı, Gerçekleşen Yenilenebilir Enerji Kapasitesi Senaryosu ile varsayımsal Yenilenebilir Enerjisiz Senaryo karşılaştırması, 2015-2019 dönemi (EUR)

Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	2015	2016	2017	2018	2019	2015-2019 Kümülatif
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünleri imalatı	321.070,65	293.801,43	331.522,88	407.280,27	459.699,23	1.813.374,46
Ulaşım araçları imalatı	38.976,69	91.267,19	86.326,03	105.462,01	119.042,96	441.074,89
Gıda	407.900,29	717.771,74	819.892,36	932.187,22	1.052.291,22	3.930.042,83
Metal Sanayi	4.961,55	5.731,93	6.956,23	8.393,33	9.474,62	35.517,65
	1.954,18	2.645,01	4.529,56	4.823,58	5.443,52	19.395,85
TOPLAM	**774.863,36**	**1.111.217,30**	**1.249.227,06**	**1.458.146,41**	**1.645.951,55**	**6.239.405,68**

Tablo E. 21. İlk 250'ye giren DOSAB firmalarının yenilenebilir enerji payının artmasıyla gerçekleştirdikleri toplam tasarruf miktarları, 2020-2030 (EUR)

Tekstil ve giyim ürünleri imalatı	2030	2020-2025	2020-2030
Kimyasal, kauçuk ve plastik ürünleri imalatı	915.022,77	3.438.911,03	7.414.584,26
Ulaşım araçları imalatı	236.078,76	880.844,30	1.904.242,12
Gıda	2.722.592,30	9.023.290,23	20.829.937,26
Metal Sanayi	17.599,77	68.145,22	144.659,63
	11.863,61	42.769,93	94.505,98
TOPLAM	**3.903.157,21**	**13.453.960,71**	**30.387.929,26**

2020–2030 dönemi projeksiyonu için benzer bir yöntem kullanılmıştır: UGD kullanılarak, önce her bir sektörün büyüme oranı ve buna karşılık gelen elektrik talebi patikası tahmin edilmiştir. İki önemli varsayımda bulunulmuştur: 1) Elektrik girdisini ve buna bağlı olarak gerçekleştirilen üretimi temsil eden teknolojik katsayılarının yaklaşık değerleri, sektör ortalamaları kullanılarak hesaplanabilmektedir (2020–30 dönemi her bir sektörde faaliyet gösteren DOSAB firmaları için; ve 2) DOSAB'ın En Büyük 250 Firma Listesi'ndeki firmalarının sektör ortalamalarıyla benzer büyüme, enerji verimliliği ve elektrik talebi patikaları izleyeceği varsayılmaktadır. Bu varsayımlarla birlikte Mevcut Politika Senaryosu ile Yenilenebilir Enerjisiz Varsayımsal Senaryo karşılaştırıldığında (bkz. Tablo E.21), ilk 250'ye giren DOSAB firmaları sadece 2030 yılında 3,9 milyon euro ve 2020-2030 döneminde 30,4 milyon euro kadar doğrudan tasarruf sağlayabilmektedir. Bu potansiyel tasarruf miktarları, Gelişmiş Yenilenebilir Enerji Senaryosu altında 2030 yılında 4,7 milyon euro ve 2020–30 döneminde 32,75 milyon euroya çıkmaktadır.

6.4 EK 4: TÜRKİYE ELEKTRİK PİYASASI

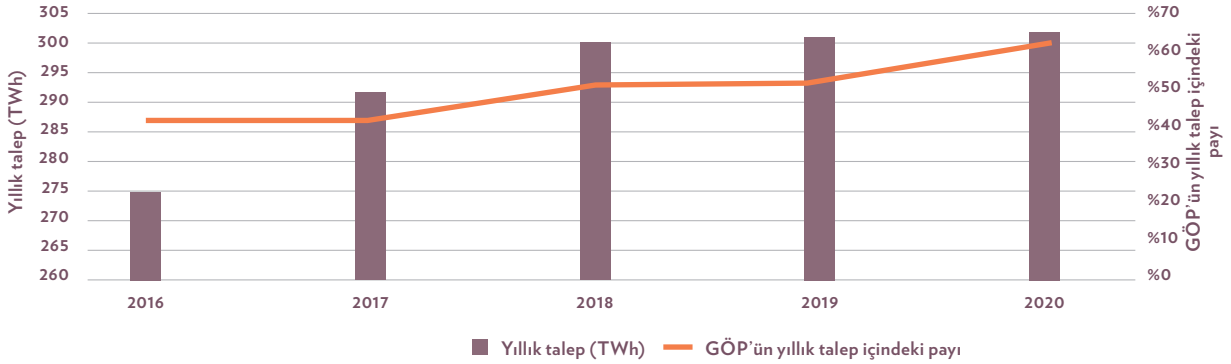
6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu, elektrik üretimi, iletimi, dağıtımı, toptan ve perakende satış, ve diğer elektrik hizmetlerine ilişkin kuralları belirlemektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ulusal enerji politikalarını belirlemektedir ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'na (EPDK) enerji piyasasını düzenleme yetkisi verilmiştir.

Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ), elektrik ve gaz emtiaları da dahil olmak üzere enerji piyasalarının yönetiminden ve işletilmesinden sorumludur. EPİAŞ, spot elektrik piyasaları, vadeli elektrik piyasası, Yenilenebilir Enerji Kaynak Garanti Sistemi (YEK-G Sistemi) ve Organize Yenilenebilir Enerji Kaynak Garantisi piyasasını (organize YEK-G Piyasası) işletmektedir.

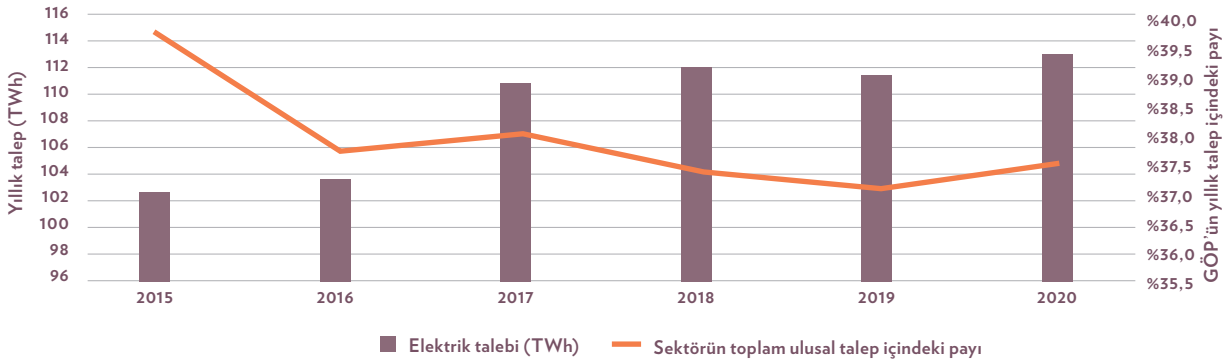
Spot elektrik piyasaları, 2015 yılından bu yana EPİAŞ tarafından işletilen Gün Öncesi Piyasası (GÖP)[35] ve Gün İçi Piyasası'ndan (GİP) oluşmaktadır. Ancak, elektrik talebinin bir kısmı spot elektrik piyasalarının dışında kalmaktadır. 2016 yılında GÖP'ün toplam elektrik ticareti içindeki payı yüzde 41,5 iken 2020 yılında yüzde 62,3 ile

35 Gün öncesi piyasası (GÖP), bir gün sonraki gün teslim edilecek uzlaştırma dönemi bazında elektrik enerjisi alış-satış işlemleri için kurulan ve EPİAŞ tarafından işletilen bir organize toptan elektrik piyasasıdır. EPİAŞ, GÖP katılımcılarının sundukları tekliflere dayanarak saatlik piyasa takas fiyatlarını (PTF-toptan piyasa fiyatı) açıklar.

Şekil E. 30. Yıllık talep ve GÖP'ün yıllık talep içindeki payı



Şekil E. 31. Türkiye sanayi sektörünün yıllık enerji talebi ve toplam ulusal enerji talebi içindeki payı



rekor seviyeye ulaşmıştır. Yıllık talep ve GÖP hacminin yıllık talep içindeki payı payı Şekil 30'da verilmiştir.

Türkiye sanayi sektörünün yıllık enerji talebi ve ulusal enerji talebi içindeki payı Şekil 31'de verilmiştir. 2015 ve 2020 yılları arasında sanayi sektörünün Türkiye'nin toplam enerji talebi içindeki ortalama payı yüzde 38 olarak gerçekleşmiştir.

6.5 EK 5: ARAŞTIRMA KISITLARI VE ÖNERİLER

Çalışma, EPİAŞ website'sinden elde edilen ve Türkiye elektrik piyasasının genel görünümü hakkında bilgi veren şeffaf verilere dayanmaktadır ancak çok sayıda ticari açıdan hassas veriye erişilememektedir. Özellikle ikili sözleşmeler ve enerji santrallerinin bakım süreleri ile ilgili bu veri eksikliği, Bölüm 2.2.1'de izah edildiği üzere kısa-dönem marjinal üretim maliyetine dayalı fayda sırası (merit order) ile telafi edilmektedir. Bununla birlikte, Baz Senaryo'da 2019 verileri temel alınmıştır ve dolayısıyla COVID-19 pandemisinin etkilerini içermemektedir. Yenilenebilir enerji üretim profilleri, kamuya açık verilere dayanılarak tasarlanmıştır ve yenilenebilir kaynakların konumuna göre güncellenebilir. Hidroelektrik santraller için ise, enerji kısıtları modellenirken yağışlı yıl profilleri dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada kullanılan Uygulamalı Genel Denge Modeli (UGD), 2014 Global Trade Analysis Project

(GTAP) Girdi-Çıktı Tabloları[36] kullanılarak kurulan 2018 yılı Türkiye ekonomisinin makro-ekonomik/sektörel dengesine dayanmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu TÜİK'in en son yayınladığı Girdi-Çıktı Tabloları da 2012 tarihlidir. Güncellenmiş tablo eksikliğinden dolayı sektörel elektrik talebi için daha kesin rakamlar kullanılamamıştır. Girdi-çıktı tablolarındaki sektörel ayrıştırmayı Enerji Dengesi Tabloları'ndakiyle eşleştirme gerekliliği de sektörel ayrıştırma düzeyini etkilemiştir. Örneğin, Nace Rev. 2 26-27-28 sektörleri "Makineler, Elektrik Makineler ve Elektronik" altında toplulaştırılmıştır.

UGD modelleme çalışması, özellikle elektrik ile diğer enerji girdileri ve enerji kompoziti ile diğer üretim faktörleri (K, L) arasında herhangi bir ikame olanağının kullanılmaması için, çalışmadaki UGD modellemesi elektrik tasarrufu sağlayan teknik değişiklikler veya üretim süreçlerinin daha ileri elektrifikasyonu hakkında herhangi bir varsayımda bulunmamaktadır. Bununla birlikte, araştırma tasarımı üretim girdileri arasındaki ikame olanaklarını mümkün olduğunca düşük tutmuştur. Elektrifikasyon ve/veya enerji tasarrufu sağlayan teknik değişiklik imkanları hakkında sektörel düzeyde analizlerin yanı sıra hassasiyet analizi çalışmalarının yapılması daha rafine sonuçlar elde edilmesini kolaylaştırabilir.

Gelecekteki perakende elektrik fiyatı gelişimi hakkında, aşağıdakiler konular da dahil olmak üzere, daha fazla araştırma yapılabilir:

- Gelecekteki toptan elektrik fiyatı analizi için çok hassas bir modelleme çalışılabilir.
- Gelecekteki toptan elektrik fiyatı analizi için, daha fazla erişime açık veri (maliyet eğrileri veya enerji santrallerinin kısa vadeli marjinal maliyetleri gibi) olduğu takdirde çok hassas bir modelleme çalışılabilir.
- Perakende elektrik fiyatı gelişimi için, yenilenebilir destek mekanizmalarının gelişimi gibi birçok fiyat bileşeni gelecekte meydana gelecek fiyat değişimlerini etkileyecektir. Yenilenebilir enerji destek maliyetlerinin geliştirilmesi ve nükleer enerjiyi destekleme maliyetlerinin perakende elektrik fiyatlarını nasıl etkilediği konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.
- Gelecekteki toptan gün öncesi piyasası fiyat tahmini, tarihsel fiyatlara ve tarihsel fiyatlar ile farklı santrallerin mevsimsel çözünürlükteki taahhüt durumları arasındaki korelasyona dayanmaktadır. Daha yüksek çözünürlükte daha hassas analizlerin yapılması için makine öğrenmesi teknikleri gibi daha sofistike araçlar kullanılabilir.

Akaryakıt fiyat risklerini analiz etmek için, 2030 yılı doğal gaz fiyatının 2020 yılı referans fiyatına eşit olacağı varsayılmıştır. Referans fiyat, Uluslararası Enerji Ajansı EIA'nın Yeni Politikalar Senaryosu'na dayanmaktadır. Özellikle 2021 ve 2022'deki fosil yakıt fiyatlarındaki artışlar göz önünde tutulduğunda, akaryakıt fiyatları ve bunların Türkiye sanayi sektörü perakende elektrik fiyatları üzerindeki etkileri konusunda daha fazla araştırma yapılabilir.

36 2014 GTAP Input-Output (I-O) Tables, https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/v10/index.aspx).

6.6 EK 6: ENERJİ GENEL DENGE MODELİ

Şekil E.23'teki üretim yapısı, her sektörün elektrik dışı enerji girdi kaynakları için bir "elektrik dışı enerji kompoziti" (kömür, gaz ve petrol) tanımlamaktadır ve her i sektörü için bir "enerji kompoziti" oluşturmak için bir CES (constant elasticity of substitution-sabit ikame esnekliği) fonksiyonu aracılığıyla elektrik ve "elektrik dışı enerji kompoziti" arasında eksik ikame ilişkisi olduğunu varsaymaktadır.

$$ENG_i = \overline{A_ENG_i}[\delta_i NonEL_i^{-\rho_i} + (1-\delta_{ij})EL_i^{-\rho_i}]^{-1/\rho_i}$$

Yukarıdaki denklemde, *i* sektörünün enerji kompoziti cinsinden toplam enerji talebini temsil etmektedir. *NonEL* "elektrik dışı enerji kompoziti" seviyesi ve *EL* her bir *i* sektörünün elektrik girdisidir. $\delta = \frac{1}{1-\rho}$ parametresi bu iki girdi arasındaki ikame esnekliğini temsil eden bir sabit değerdir. Optimum enerji talebi stratejisi, nispi fiyatlara dayanarak $P_NonEL_i nonEL_i + pelec_i EL_i$ maliyetlerinin minimize edilmesiyle türetilmektedir. Böylece, her bir sektör için $pelec_i$ olarak ifade edilen elektrik fiyatındaki değişikliklerin enerji kompoziti fiyatı üzerinde doğrudan bir etkisi olacaktır.

Burada maliyet minimizsayon probleminin optimal koşulu, "elektrik dışı enerji kompoziti"'nin elektrik girdi talebine oranını nispi fiyatların, elektrik maliyetinin sektördeki toplam enerji maliyeti içerisindeki payının $(1-\delta_{ij})$ ve $\sigma_i = \frac{1}{1-\rho_i}$ parametresi ile ifade edilen ikame esnekliğinin fonksiyonu olarak tarif edilmesini sağlar.

Şekil A.23'te de görülebileceği gibi, enerji kompozit girdisi, her sektörün toplam nihai üretim fonksiyonuna XS_i, katma değeri VA_i oluşturan emek (L_i) ve sermaye girdileri (K_i) ile birlikte dahil olmaktadır.:

$$XS_i = \overline{A_XS_i}[\beta_i ENG_i^{-\rho X_i} + (1-\beta_{ij})VA_i^{-\rho x_i}]^{-1/\rho x_i}$$

Burada, hem enerji kompozitinin birim fiyatı $P_ ENG_i$ hem de katma değerin (ücret oranı ve sermaye kira oranlarının) birim fiyatı, P_XS_i,çıktı fiyatını etkileyecektir. Bu durumda, maliyet minimizasyonu için gerekli koşul aşağıda ifade edilmiştir:

$$\frac{ENG_i}{VA_i} = \left[\frac{P_VA_i}{P_ENG_i}\frac{\beta_i}{(1-\beta_{ij})}\right]^{\frac{1}{\rho X_i+1}}$$

Bu nedenle, bir kısmi denge ortamında, her sektörün elektrik birim fiyatı ($pelec_i$) enerji kompoziti birim fiyatını ($P_ ENG_i$) ve çıktı birim fiyatını (P_{XSi}) etkileyecektir. Diğer tüm girdilerin (ücret oranı, sermaye fiyatı vb.) birim fiyatları sabit tutulduğunda, enerji kompozitindeki nispi fiyat değişikliği, enerji ve elektrik talebindeki değişiklikler üzerinden nihai üretim hacimlerini etkileyecektir.

6.7 EK 7: YENİLENEBİLİR KAYNAKLARIN FİYAT ETKİSİ: LİTERATÜR TARAMASI

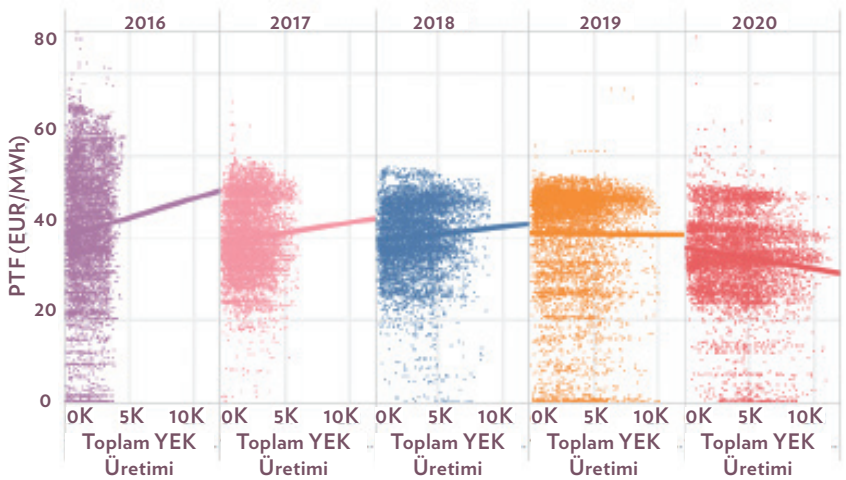
6.7.1 Rüzgâr ve güneş enerjisi etkilerinin analizi

Yenilenebilir enerji üretiminin enerji piyasası fiyatlarına etkisi literatürde farklı açılardan incelenmektedir; ancak, cevaplanan sorular COBENEFITS projesinin ilgilendiği cevaplara benzememektedir. Yenilenebilir enerji üretiminin perakende fiyatlar üzerindeki etkilerini ölçmeyi amaçlayan çalışmalar için literatürde perakende fiyatların artıp artmadığı konusunda fikir birliği sağlanmamıştır. Burada, dikkate alınan senaryolar önemli bir rol oynamaktadır ve COBENEFITS çalışması senaryolarından farklıdır. Beklenen sonuç YEK üretimindeki artışla birlikte piyasa fiyatlarının düşmesi ve dolayısıyla yüksek üretim maliyetlerine sahip üretim birimlerinin piyasadan çekilmesi olabilir. Ancak, YEK marjı, YEK entegrasyonu ile artabilir ve bu da perakende fiyatlarında daha fazla artışa veya düşüşe neden olabilmektedir (Bode 2006).

Literatürde, YEK'in piyasalar ve perakende fiyatlar üzerindeki etkilerine odaklanan çalışmalar bulunmaktadır: İtalya için (Bigerna ve Bollino 2016), Portekiz için (Gouveia ve ark. 2014) ve Çin için (Zhao ve ark. 2016). Bazı araştırmalar, artan YEK üretiminin elektrik piyasası fiyatlarını düşürdüğünü ortaya koymuştur (Paraschiv, Erni ve Pietsch 2014,Hirth 2012, Dillig, Jung ve Karl 2016). Ancak diğer çalışmalar, değişken enerji kaynakları kullanımının uzun vadede piyasa fiyatlarını artıracağını öngörmektedir (Osorio ve Van Ackere 2016).

Yenilenebilir enerji kaynakları kapasite artışının Türkiye elektrik piyasası fiyatları üzerindeki etkilerini analiz etmek için EPİAŞ şeffaflık platformundan saatlik YEK üretimi ve PTF verileri alınmıştır. Şekil E.32, 2016-2020 yıllarının tarihsel saatlik YEK üretimi ile gün öncesi PTF'yi karşılaştırmaktadır. Şekil E.32.'de bu dönemde YEK üretiminin önemli ölçüde arttığı görülmektedir ve bunun PTF'yi nasıl etkilediği de doğrusal eğilim çizgileriyle gösterilmektedir. Çizgilerin eğilimleri bu dönemde fiyatların düştüğünü ortaya koymaktadır.

Şekil E. 32. Tarihsel saatlik YEK üretimi ile PTF karşılaştırması



6.7.2 Fiyat oynaklığı (volatilite)

Mevcut teknolojiyle elektriğin etkin bir şekilde depolanmasındaki kısıtlar nedeniyle elektrik piyasasında sürekli bir takas süreci işlemektedir (Božić ve ark., 2020). Bu piyasa takas fiyatındaki dalgalanmalar oynaklık (volatilite) olarak adlandırılmaktadır ve portföy optimizasyonu gibi alanların tahmin süreçlerinde önemli bir unsuru teşkil etmektedir (Ignatieva, 2014). Fiyat oynaklığını hesaplamak için birçok yöntem bulunmaktadır; bunlardan biri aşağıdaki denklemde görüldüğü üzere günlük ortalama elektrik fiyatına dayalı günlük hız (DVDA) olarak formüle edilmektedir. (Zareipour, Bhattacharya ve Canizares, 2007)

$$DVDA_i = \frac{1}{M}\left\{\left[\left(\sum_{j=1}^{M-1}|p_{i,j+1}-p_{i,j}|\right)+|p_{i-1,M}-p_{i,1}|\right]\Big/ p_{i,.}\right\} \text{X } 100\,, \quad i = 1,2,\ldots,N.$$

Bu denklemde N gün sayısıdır ve i endeksi tarafından temsil edilmektedir. M, incelenen dönem içindeki gün sayısıdır ve j endeksi ile gösterilmektedir ve gün öncesi piyasası için M=24olarak alınmaktadır. $p_{i,j}$, j döneminin i günündeki PTF'yi ifade etmektedir. $p_{i,.}$, aşağıdaki denklemde görüldüğü üzere, i'ninci gündeki ortalama günlük fiyattır.

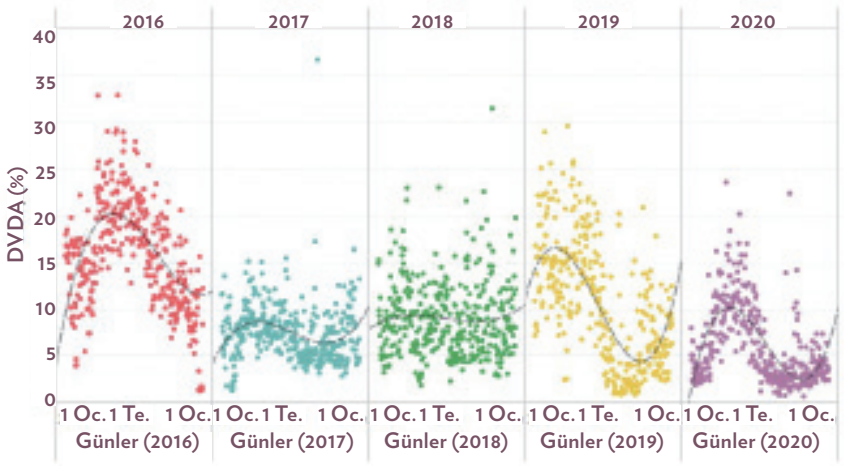
$$p_{i,.} = \frac{1}{M}\sum_{j=1}^{M} p_{i,j}\,, \quad i = 1,2,\ldots,N.$$

Bu yaklaşımın tercih edilmesinin temel nedeni, bu tür fiyat oynaklığının çoğunlukla elektrik piyasasındaki fiyat davranışını tanımlamak için kullanılmasıdır. Bu endeks, Türkiye elektrik piyasaları davranışlarını dünyanın diğer piyasalarıyla karşılaştırılmasını kolaylaştırmak için kullanılmaktadır.

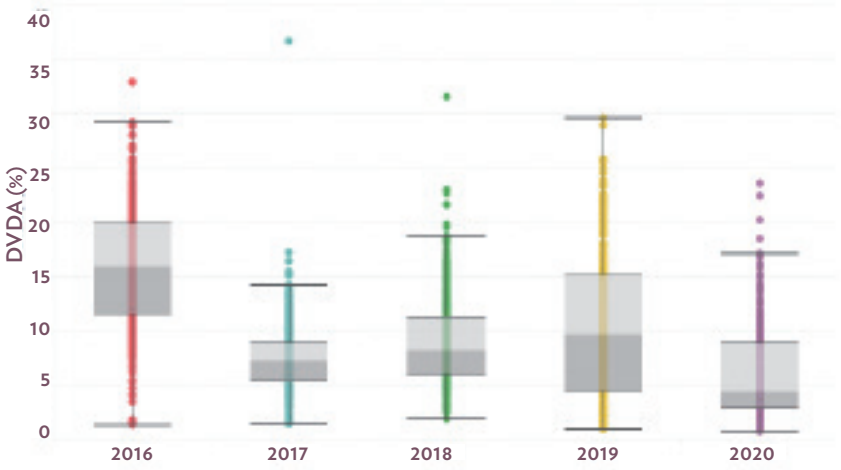
6.7.3 GÖP fiyatlarındaki oynaklık

Şekil E.33, gün öncesi piyasası için DVDA volatilite metriğini göstermektedir. Şekil E.34, yıllara göre maksimum, minimum ve ağırlıklı ortalama gibi gün öncesi DVDA istatistiklerini göstermektedir.

Şekil E. 33. DVDA'ya dayalı günlük fiyat oynaklığı



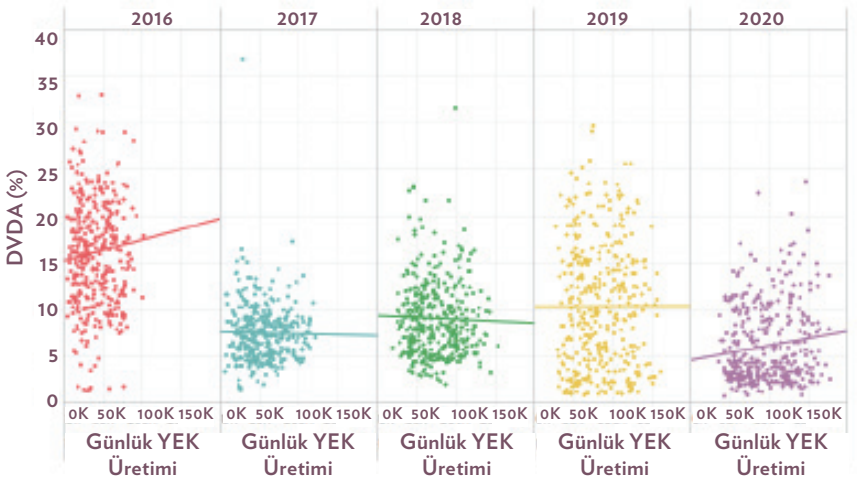
Şekil E. 34. DVDA istatistikleri



Görüldüğü üzere, GÖP fiyatındaki DVDA bir düşüş eğilimi sergilemektedir ve Türkiye gün öncesi piyasasının yıllarla ölçülen bir zaman diliminde istikrara kavuştuğuna işaret etmektedir.

DVDA ve günlük GÖP üretim verileri Şekil E.33'te gösterilmiştir. Günlük toplam YEK üretimi yatay eksende MWh/gün, dikey eksende DVDA olarak ifade edilmektedir. Görüldüğü üzere, eğilim GÖP fiyatlarının günlük YEK üretiminin artmasıyla daha yüksek DVDA göstermesi yönündedir; bunun nedeni, yenilenebilir enerjinin kesintili üretim yapma özelliği olabilir.

Şekil E. 35. DVDA ile Günlük YK Üretimi Karşılaştırması

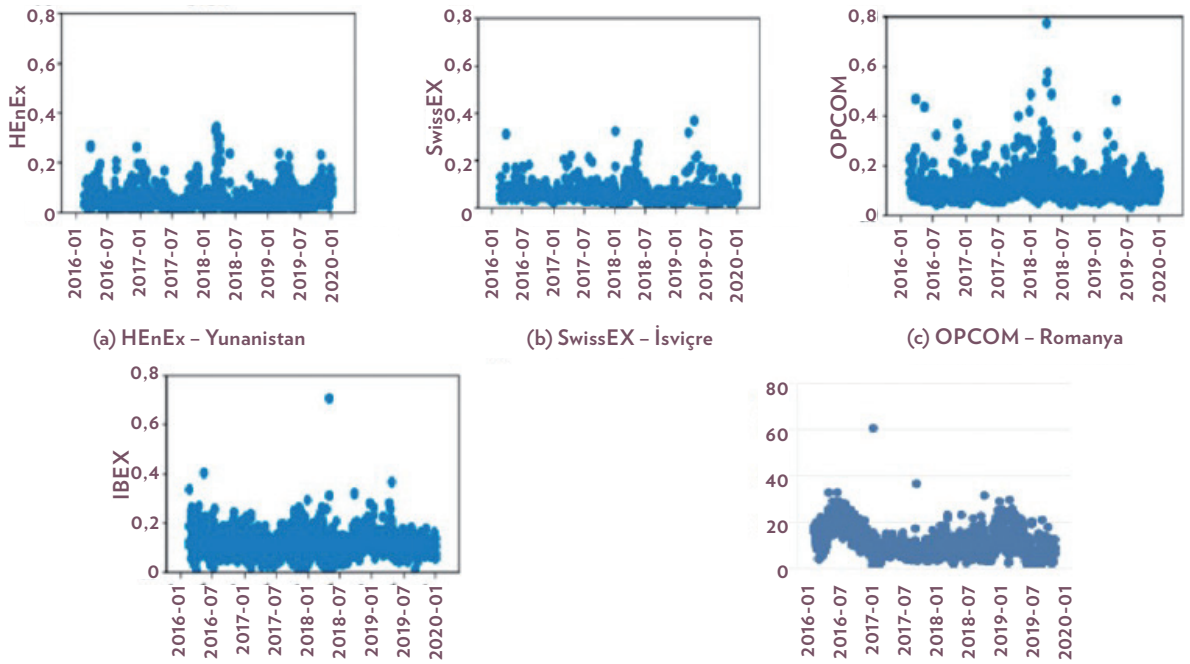


6.7.4 Avrupa Elektrik Piyasalarındaki Oynaklık

Elektrik piyasalarının Avrupa'da 1990'lardan beri faaliyet göstermesine karşın, Güneydoğu Avrupa bölgesinde ise sadece birkaç yıl önce kurulmuşlardır. Oynaklık (volatilite), piyasa gelişme düzeyini tanımlayan göstergelerden biridir. Božić ve ark. (2020), 2016-2020 dönemi için Bulgaristan, Yunanistan, Romanya ve İsviçre enerji piyasalarındaki oynaklığı incelemişlerdir. Günlük ortalama fiyata dayalı günlük hız (DVDA) metriği Denklem 1'de gösterildiği üzere oynaklık ölçümü için kullanılmaktadır. Türkiye gün öncesi piyasasındaki oynaklık bulguları ile diğer Avrupa enerji piyasalarındakiler karşılaştırılırken kullanılan DVDA karşılaştırmaları Şekil E.35'te gösterilmiştir.

2016 ve 2020 yılları arasında çeşitli Avrupa piyasaları istatistikleri Tablo E.22'de verilmiştir. Burada fiyat oynaklığı araştırması, yenilenebilir enerji kaynağı entegrasyonunun gün öncesi toptan elektrik fiyatları üzerindeki etkisine ilişkin niteliksel bir gösterge sağlamak için yapılmaktadır. Araştırmadaki kilit sorulara Önemli bir soruya yanıt olarak daha ayrıntılı analizlerle daha ayrıntılı nicel sonuçlar elde edilecektir (bkz. Yöntem bölümü).

Şekil E. 36. Yunanistan, İsviçre, Romanya, Bulgaristan ve Türkiye DVDA'ları



(a) HEnEx – Yunanistan

(b) SwissEX – İsviçre

(c) OPCOM – Romanya

(d) IBEX – Bulgaristan

(e) EPİAŞ – Türkiye

Tablo E. 22. Farklı Avrupa ülkelerinin DVDA istatistikleri

Elektrik Piyasaları	Standard Sapma	Ortalama	Değişkenlik Katsayısı	Minimum	Maksimum
HUPX	0,05	0,0963	0,47	0,03	0,68
BSP	0,08	0,1031	0,80	-1,34	1,27
CROPEX	0,11	0,1010	1,10	-3,40	1,22
PHELIX	0,76	0,0896	8,51	-23,59	13,67
EXAA	0,50	0,0657	7,54	-17,68	2,68
GME North	0,02	0,0676	0,35	0,02	0,21
GME South	0,04	0,0756	0,49	0,01	0,39
HEnEx	0,04	0,0509	0,83	0,00	0,34
SEEPEX	0,04	0,0816	0,50	0,03	0,91
OTE	0,36	0,1034	3,48	-3,65	10,04
IBEX	0,05	0,1153	0,44	0,00	0,71
OPCOM	0,06	0,1140	0,51	0,04	0,78
OKTE	0,36	0,1113	3,22	-3,65	10,04
SWISSIX	0,20	0,0574	3,47	-6,77	2,10
FRANSA	0,09	0,0926	0,94	0,03	2,28
EPİAŞ – TÜRKİYE	0,07	0,1069	0,62	0,01	1,14

İPM | IPC

İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ
SABANCI ÜNİVERSİTESİ
ISTANBUL POLICY CENTER
SABANCI UNIVERSITY

ISBN:978-625-6956-04-9

İstanbul Politikalar Merkezi
Bankalar Caddesi No: 2 Minerva Han 34420
Karaköy, İstanbul Türkiye

☎ +90 212 292 49 39
+90 212 292 49 57
@ ipc@sabanciuniv.edu
w ipc.sabanciuniv.edu