

TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİYLE ENERJİ ARZININ GÜVENCE ALTINA ALINMASI VE CARİ AÇIĞIN DENGELENMESİ

SAEED TEIMOURZADEH
GÖKTÜRK POYRAZOĞLU
OSMAN BÜLENT TÖR

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

IASS POTSDAM

TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİYLE ENERJİ ARZININ GÜVENCE ALTINA ALINMASI VE CARİ AÇIĞIN DENGELENMESİ

ELEKTRİK SEKTÖRÜNÜ KARBONSUZLAŞTIRMANIN YAN FAYDALARI

SAEED TEIMOURZADEH
GÖKTÜRK POYRAZOĞLU
OSMAN BÜLENT TÖR

Haziran 2021

Bu çalışma, "İklim değişikliği azaltımı yan faydalarının kamu 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:

Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

based on a decision of the German Bundestag

INTERNATIONAL CLIMATE INITIATIVE (IKI)

Editörler: Héctor Rodríguez, Sebastian Helgenberger, Pınar Ertör, Laura Nagel – IASS Potsdam ve Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi

Teknik uygulama: Saeed Teimourzadeh (EPRA), Göktürk Poyrazoğlu (Özyeğin Üniversitesi), Osman Bülent Tör (EPRA)

Çeviri: Ayşe Bereket

Yayın Kimliği Tasarımı: MYRA

SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi ve Direktörü Değer Saygın'a COBENEFITS Türkiye çalışmalarına değerleri katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Atıf önerisi: IASS/İPM. 2020. Türkiye'de yenilenebilir enerji ile enerji arzının güvence altına alınması ve cari açığın dengelenmesi. Elektrik sektörünü karbonsuzlaştırmanın yan faydaları. COBENEFITS Raporu. Postdam/İstanbul. www.cobenefits.info

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

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

DOI: 10.2312/iass.2019.046

ISBN: 978-605-2095-90-4

www.cobenefits.info

Twitter: @IKI_COBENEFITS

COBENEFITS

CC BY SA

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR 6

ÖNSÖZ 7

YÖNETİCİ ÖZETİ 9

1. FOSİL YAKITLARA YÜKSEK DÜZEYDE BAĞIMLI OLAN TÜRKİYE'DE ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİNİN DURUMU 14

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ VE ENERJİ SİSTEMİ SENARYOLARI 18

3. TÜRKİYE'NİN ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİNİN ARTIRILMASI: FOSİL YAKITLARIN AZALTILMASIYLA SAĞLANAN YAKIT TASARRUFU VE EKONOMİK KAZANÇ 28

4. TÜRKİYE'NİN ENERJİ GÜVENLİĞİNİN VE BAĞIMSIZLIĞININ ARTIRILMASINA İMKÂN TANIYAN ORTAMIN OLUŞTURULMASI 31

REFERANSLAR 34

TABLOLAR

Tablo 1. Elektrik üretimi (TWh): Baz yılı ve farklı senaryo projeksiyonları 21

Tablo 2. 2028 yılı kısa dönem marjinal maliyet (SMRC) ortalaması tahminleri, fosil yakıt türüne göre 22

Tablo 3. 2028 itibarıyla yıllık doğal gaz, kömür ve linyit talebi, senaryo bazında 28

Tablo 4. 2028 itibarıyla fosil yakıta dayalı elektrik üretimi, yakıt ve tasarruf, senaryo bazında 29

ŞEKİLLER

Anahtar Şekil 1: Türkiye'de 2028 yılı yenilenebilir enerji üretimi ve fosil yakıt tasarrufu projeksiyonu 11

Şekil YÖ.1: Yakıt türüne göre elektrik üretim senaryoları: Kurulu güç (GW) 13

Şekil YÖ.2: Yakıt türüne göre elektrik üretim senaryoları (TWh) 13

Şekil 1. Türkiye'nin başlıca linyit üretim yerleri 15

Şekil 2. Yıllık cari açık ve enerji ithalatı, 2013-2017 17

Şekil 3. Kurulu güç (GW): Baz yılı ve farklı senaryo projeksiyonları 20

Şekil 4. Eletrik üretimi (TWh): Baz yılı ve farklı senaryo projeksiyonları 20

Şekil 5. Fosil yakıt teknolojisine göre ortalama ısıl oran (2007 – 2017) 22

Şekil 6. Sermaye maliyetleri karşılaştırması, teknolojiye göre 24

Şekil 7. Ardışık piyasa ve şebeke simülasyonları 24

Şekil 8. Simülasyon metodolojisi akış şeması 26

Şekil 9. Senaryo bazında seviyelendirilmiş elektrik maliyetleri, 2028 itibarıyla 32

KISALTMALAR

AOSM	Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (WACC)
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPİAŞ	Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
IASS	Institute for Advanced Sustainability Studies Potsdam
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
İPM	Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi
MBTU/MMBTU	Bin İngiliz Isı Birimi/1 milyon İngiliz Isı Birimi
MIP	Karma tamsayılı programlama (Mixed-integer programing)
MW	Megawatt
SHURA	SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi
SEM	Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE)
SRMC	Kısa dönem marjinal maliyetler
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TTKGM	Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü
TWh	Terawatt saat
TZE	Tam zaman eşdeğeri
YAL/YAT	Yük al/yük at
YEK	Yenilenebilir enerji kaynakları

COVID -19 PANDEMİSİ IŞIĞINDA ÖNSÖZ

Bu raporun yayımlandığı tarihte, dünyadaki birçok ekonomiyle birlikte Türkiye de küresel COVID-19 pandemisinin etkilerinden ciddi darbe almıştı. Daha geniş ölçekte bakıldığında, pandeminin şimdiden milyonlarca aile, işçi ve işyeriyle birlikte yerel ekonomiler ve ulusal sağlık sistemi üzerinde de yıkıcı etkileri olduğu görülmektedir. Dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi, Türkiye'de de hem ulusal ve yerel ekonomilerin ve iş piyasalarının yeniden inşa edilmesi hem de sağlık sistemlerinin dayanıklılığının artırılması için güçlü politikalara ihtiyaç duyulmaktadır. Pandemi, bizlere halk sağlığı önlemlerinin güçlü ve esnek bir sağlık sistemi kadar önemli olduğunu da hatırlatmıştır.

Bu rapor ve ilgili Türkiye COBENEFITS çalışma serisi, yeni yenilenebilir enerji dünyasının ve Türkiye enerji sektörünü karbonsuzlaştırmanın istihdamı artırarak, ekonomik direncin temelini oluşturacak şekilde enerji bağımsızlığını teşvik ederek ve en önemlisi solunum sistemi hastalıklarının azaltılması sayesinde ulusal sağlık sisteminin yükünü hafifleterek, ekonominin ve sağlık sisteminin iyileştirilmesinde güçlü bir rol oynayacağını göstermektedir. Hükümet, bu ortak faydaların önünü açacak bir politika ortamını sağlayarak, COVID-19 pandemisinin etkilerinden kurtulmak, sağlık sistemini rahatlatmak ve ülke ekonomisini canlandırmak için önemli teşvikler sağlayabilir.

Türkiye, hangi patikanın seçildiğine bağlı olarak önemli sosyal ve ekonomik sonuçları olacak bir enerji dönüşümünün içindedir. Enerji ithalatına bağımlılığı azaltmak, ekonomik refah, insan sağlığının iyileştirilmesi, iş ve istihdam olanakları: Türkiye'nin seçeceği enerji patikası, gelecekteki gelişmesinin temellerini oluşturacaktır. Türkiye'nin enerji geleceği konusunda alacağı siyasi kararlar, enerjinin yanı sıra, çevre, sanayi, ekonomi, dışişleri ve sağlık ile ilgili birçok bakanlığın misyon ve görevleri ile de ilişkilidir.

Daha da önemlisi, bütün tartışma tek bir soru çevresinde dönmektedir: Yenilenebilir enerji kaynakları Türkiye halkının yaşamını ve refah düzeyini nasıl iyileştirebilir? Bilimsel titizliğe ve kilit önem taşıyan teknik verilere dayanan çalışma, bu temel sorunun yanıtlanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma, yenilenebilir enerjinin Türkiye'ye sağlayacağı sosyal ve ekonomik faydaların ortaya çıkarılmasına olanak sağlayan bir siyasi ortamın şekillendirilmesi için bakanlıklara ve kamu kurumlarına rehberlik etmektedir.

Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezi İPM (COBENEFITS Türkiye Projesi Koordinatörü) ve IASS Postdam'ın ortak sorumlulukları altında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Hazine ve Maliye Bakanlığı (eski adıyla Ekonomi Bakanlığı), Dışişleri Bakanlığı ve Sağlık Bakanlığı, COBENEFITS Yönlendirme Komitesi'ne katkıda bulunmaya, COBENEFITS Tespit Çalışmaları ile COBENEFITS Eğitim Programı'na rehberlik etmeye ve yuvarlak masa politika toplantılarını kolaylaştırmaya davet edilmiştir. Bakanlıkların COBENEFITS Yönlendirme Komitesi oturumlarında yaptıkları katkılar, proje ekibinin Türkiye COBENEFITS çalışmalarını hangi konular çerçevesinde yürüteceğinin belirlenmesine rehberlik etmiştir. Bakanlıkların katkıları ayrıca bu konuların ilgili kurumların mevcut politika geliştirme çalışmalarıyla ve politika çerçeveleriyle doğrudan ilişkili olmasını sağlamıştır.

Değerli araştırma ve bilgi ortaklarımıza da çalışmanın teknik kısmına verdikleri büyük destek ve özverili çalışmaları nedeniyle teşekkür borçluyuz. Elinizdeki COBENEFITS çalışması, Almanya'nın Uluslararası İklim Girişimi'nin desteği ile gerçek-

leştirilmiştir. Türkiye Hükümeti, iklim değişikliğinin insanlığın karşı karşıya kaldığı en önemli sorunlardan biri olduğuna ve erken müdahale önlemleri alınmadığı takdirde Türkiye'nin geleceğine yönelik büyük tehditler oluşturduğuna vurgu yapmaktadır. Hükümet, Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Stratejisi kapsamında, yurttaşlarına düşük karbon ekonomisiyle yüksek yaşam kalitesi ve refah düzeyi sağlayacak bir vizyon belirlemiştir.

Düşük karbonlu ve iklim değişikliğine dirençli bir ekonomiye adil geçişin sosyal ve ekonomik yan faydalarının harekete geçirilmesi için bilimsel bir temel sağlayan bu çalışmayla bu vizyona katkıda bulunmayı amaçlıyoruz. Böylece Türkiye'nin yenilenebilir kaynaklara dayalı düşük karbonlu enerji dünyasına uluslararası ve bölgesel düzeyde öncülük etmesini, gezegen ve Türkiye için de bir başarı hikâyesi yaratılmasını umut ediyoruz.

Bu çalışmanın okuyucuya, adil, müreffeh ve sürdürülebilir bir enerji geleceği hakkındaki tartışmalarda ilham kaynağı olmasını dileriz!

Ümit Şahin
İklim Değişikliği Çalışmaları Koordinatörü
İstanbul Politikalar Merkezi
Sabancı Üniversitesi

Sebastian Helgenberger
IASS Potsdam, Almanya
COBENEFITS
Proje Direktörü

YÖNETİCİ ÖZETİ

Türkiye'de sosyoekonomik büyümeyle birlikte enerji talebinin de artması, hem ülkenin gelecekteki enerji arzının güvence altına alınması hem de yerel ve temiz enerji kaynaklarının kullanılması açısından pek çok yan faydanın gündeme getirilmesine fırsat vermiştir. Enerji dönüşümü, dünya genelinde elektrik üretiminde ve altyapı sektörlerinde yeni yatırımları teşvik etmektedir. Artan enerji talebinin büyük kısmını fosil yakıt kaynaklarından karşılayan Türkiye, enerji sektöründen kaynaklanan dış ticaret açığının büyümesi ve enerji ithalatına bağımlılığın giderek artması gibi önemli risklerle karşı karşıya kalmaktadır. Yerel ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanan elektrik üretim teknolojileri, enerji ithalatı bağımlılığının azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir.

Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıt talebinin ve dolayısıyla fosil yakıt ithalatının azaltılmasına olan katkısını değerlendirmektedir. Bu araştırma, yenilenebilir enerjiyle, yenilenebilir olmayan enerji sistemleriyle karşılaştırıldığında sera gazı emisyonlarının azaltmanın yanı sıra ortaya çıkan bir dizi yan faydayı[1] değerlendiren COBENEFITS projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Çalışma için, çeşitli ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (WACC) varsayımları altında yenilenebilir enerjinin yatırım, işletme ve yönetim maliyetlerine dayanan yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) kapasite penetrasyonu senaryo analizi, piyasa ve şebeke simülasyonu ile seviyelendirilmiş enerji maliyetleri (LCOE) analizlerinden oluşan bir dizi kantitatif analiz yapılmıştır.

1 "Yan faydalar" (co-benefits) terimi, bir politika müdahalesi ya da özel sektör yatırımı veya bunların bir araya gelmesinden kaynaklanan birçok fayda ya da hedefin eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesini ifade etmektedir (Helgenberger ve diğerleri, 2019).

BAŞLICA POLİTİKA FIRSATLARI

- **Politika fırsatı 1:** Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak enerji bağımsızlığını artırabilir ve enerji arzını güvence altına alabilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının artırılması hem fosil yakıt ithalatına bağımlılığı hem de enerji sektöründen kaynaklanan dış ticaret açığını azaltacaktır.
- **Politika fırsatı 2:** 2028 yılına gelindiğinde Türkiye, öngörülen iletim sistemi yatırımlarının artırılmasına gerek kalmadan yenilenebilir enerji üretimini artırarak doğal gaz tüketimini yüzde 16 oranında ve 155 milyon MMBTU (milyon İngiliz Isı Birim) azaltabilir.
- **Politika fırsatı 3:** Türkiye, yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payını artırarak ve iletim sistemini yenilenebilir enerji kaynaklarına hazır hale getirerek, 2028 itibarıyla fosil yakıt ithalatının azaltılmasından yılda 2,1 milyar ABD doları tasarruf sağlayabilir.

TÜRKİYE İÇİN DÖRT ELEKTRİK ÜRETİM PATİKASI

Elektrik sektörünü karbonsuzlaştırmanın Türkiye için yan faydalarını inceleyen bu çalışmada, mevcut politika ortamlarıyla bağlantı kurabilmek ve Türkiye'deki çeşitli potansiyel enerji dönüşüm patikalarının sosyoekonomik performans karşılaştırmasından faydalanabilmek için politika yönelimli senaryo yaklaşımı benimsenmiştir.

Hükümet ve uzman kuruluşlarla istişare edilerek, yenilenebilir kaynakların (rüzgâr ve güneş) 2028 yılında Türkiye'nin elektrik üretimindeki payının artırılmasının sosyo-ekonomik sonuçlarını değerlendirmek için dört senaryo tanımlanmıştır (Bkz.

Şekil ES.1 ve ES.2). 2017'nin baz yılı olarak kabul edildiği bu dört senaryoda, 2017'de 300 TWh'nin altında olan toplam üretimin üçte bir oranında artarak, 2028'de yaklaşık 400 TWh'ye (2028) yükseleceği öngörülmektedir.

1 | **Baz yıl (2017):** Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) 2017 baz yılında 37,8 GW yenilenebilir enerji kurulu gücü ile toplam 85,1 TWh elektrik üretildiğini ve yenilenebilir kaynakların toplam elektrik üretiminin yüzde 29'unu oluşturduğunu bildirmiştir.[2]

2 | **Mevcut Politika Senaryosu:** TEİAŞ'ın 2026 yılı tahminlerine dayandırılmış ve 2028 yılı için orantılı olarak düzeltilmiştir. Bu senaryoda, 2028 yılında 61,5 GW yenilenebilir enerji kurulu gücü ile 142,0 TWh enerji üretilmektedir ve yenilenebilir enerji toplam elektrik üretiminin yüzde 36'sını oluşturmaktadır.

3 | ***Yeni Politika Senaryosu:*** Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın "Ulusal Enerji ve Madencilik Politikası" kapsamında 2018'den itibaren 10 yıl boyunca güneş ve rüzgâr enerjisi kapasitesinde yıllık 1'er GW'lık artış yapılacağı açıklaması temel alınmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, t.y.). Bu senaryoda, 2028 yılında 69,5 GW yenilenebilir enerji kurulu gücü ile 167,1 TWh enerji üretilmektedir ve yenilenebilir enerji toplam elektrik üretiminin yüzde 43'ünü oluşturmaktadır.

4 | **İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu:** Bu senaryoda, 2028 yılında 77,5 GW yenilenebilir enerji kurulu gücü ile 181,5 TWh enerji üretilmektedir ve yenilenebilir enerji toplam elektrik üretiminin yüzde 46'sını teşkil etmektedir. Bu senaryo, rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün 20'şer GW'a çıkarılmasının iletim sistemine herhangi ilave bir yatırım yapılmadan mümkün olduğunu açıklayan SHURA (2018) çalışmasına dayanmaktadır.

5 | **İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu:** Bu senaryoda, 2028'de 97,5 GW yenilenebilir enerji kurulu gücü ile 217,0 TWh enerji üretilmektedir ve yenilenebilir enerji toplam elektrik üretiminin yüzde 55'ini teşkil etmektedir. Bu senaryo, güneş ve rüzgâr sektörünün her birinde 30 GW'lık artışın, iletim kapasitesi yatırımında yüzde 30 ve trafo merkezi yatırımlarında yüzde 20'lik artışla mümkün olduğunu ortaya koyan SHURA (2018) çalışmasını temel almaktadır.

ÖNEMLİ SAYILAR:

Türkiye, fosil yakıt ithalatına büyük ölçüde bağımlıdır: 2017 yılında, elektrik üretimi için yakılan doğal gazın yüzde 98'inden fazlası ve kömürün yüzde 42'den fazlası ithal edilmiştir (EPDK, 2019).

Türkiye'nin kömür rezervleri sadece belli bölgelerde yer almaktadır ve doğal gaz kaynakları kıttır.[3]: 2017 baz yılında enerji sektöründe kullanılan doğal gazın yüzde 99'u ithal edilmiştir. Ülke genelinde linyit kaynakları mevcut olmasına rağmen, yerli rezervlerin yüzde 90'ından fazlasının kalorifik değerleri düşüktür ve ısıl oranları 3.000 Kcal/Kg'ın altındadır.

2017 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam enerji üretimindeki payı yüzde 29 olarak gerçekleşmiştir ve 2018 yılında yüzde 32'ye yükselmiştir. En yüksek enerji üretim kapasitesine sahip fosil yakıt dışı kaynaklar ise hidroelektrik (20 GW),

2 Bu rapordaki üretim paylarını hesaplamak için kullanılan enerji kaynakları, 2017 baz yılında üretilen enerjinin yüzde 99'unu kapsamaktadır. Dizel veya biyokütle gibi geriye kalan enerji kaynakları dahil edildiğinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının yüzdesi (2017 için yüzde 29) değişmemektedir. Dolayısıyla, 2028 hedef yılı için rakamlarda büyük tutarsızlıklar beklenmemektedir.

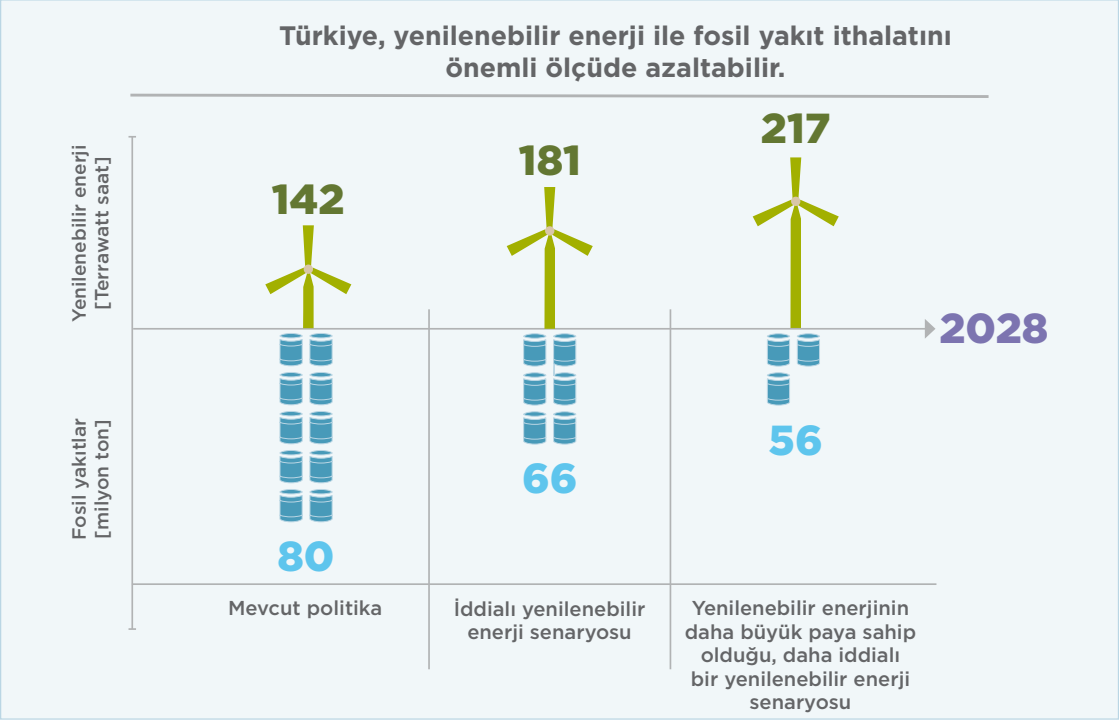
3 İlk doğal gaz üretimi 2017 yılında Çanakkale'de başlamıştır. Bu ildeki üretim miktarı Aralık 2017'de 1,48 milyon Sm^3 olarak gerçekleşmiştir. (EPDK, 2018: 3)

rüzgâr (6,5 GW) ve güneş (3 GW) olmuştur. 2018 yılında güneş ve rüzgâr enerjisi kurulu güçleri sırasıyla 5GW ve 7GW'a yükselmiştir (EPDK, 2019).

Yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretiminin, iletim sistemine herhangi bir ek yatırım yapılmadan, en az iki kat artırılarak 85,1 TWh'den 181,5 TWh'ye (toplam enerji üretiminin %46'sı) çıkarılması mümkündür (SHURA 2018'e dayalı kendi hesaplamalarımız).

Yenilenebilir enerjinin Türkiye elektrik sistemine entegrasyonu için hedef yılda 1 GW'tır. Ancak mevcut rakamlar bu hedefle uyumlu değildir (Mevcut Politika Senaryosu'nda yaklaşık 0,6 GW/yıl).

Anahtar Şekil 1: Türkiye'de 2028'de yenilenebilir enerji üretimi ve fosil yakıt tasarrufu projeksiyonu



TEMEL BULGULAR:

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak enerji bağımsızlığını ve arz güvenliğini artırabilir: Türkiye 2028 yılına kadar, öngörülen iletim sistemi yatırımlarını artırmadan, doğal gaz tüketimini yüzde 16 oranında ve 155 milyon MMBTU kadar azaltabilir. (İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu, mevcut politika patikasıyla karşılaştırıldığında).

Yenilenebilir enerji, iletim kapasitesi ve trafo merkezlerine sırasıyla yüzde 30 ve yüzde 20 ilave yatırım yapıldığı takdirde, 2028 yılı itibarıyla Türkiye'nin doğal gaz tüketimini yüzde 38 oranında (300 milyon MMBTU) azaltmasına ve enerji sisteminin fosil yakıt talebini neredeyse yüzde 30 oranında azaltmasına olanak sağlayabilir. (İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu, mevcut politika patikasıyla karşılaştırıldığında).

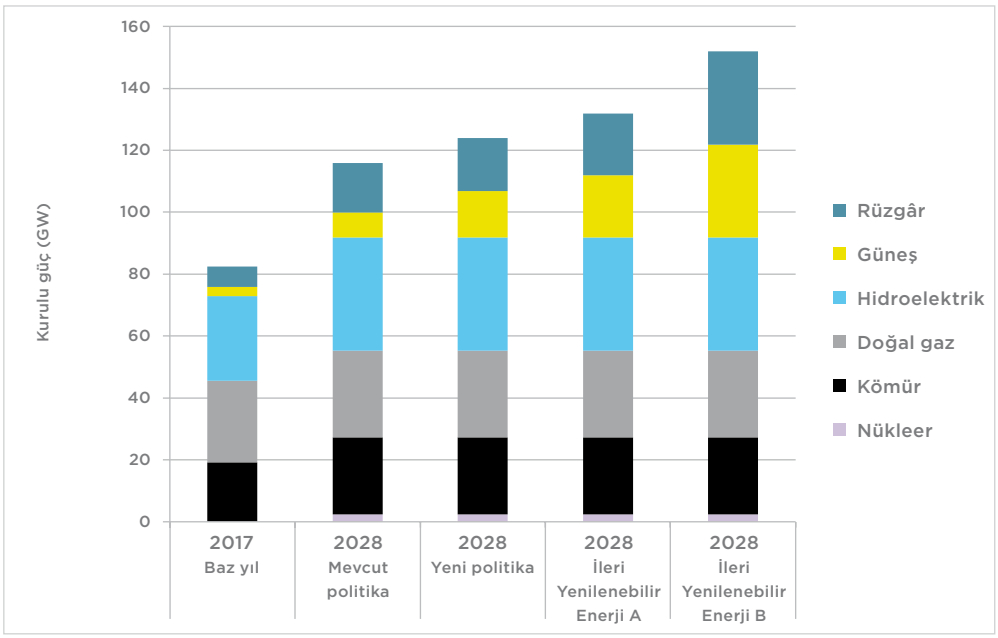
Türkiye'nin mevcut politika patikasında elektrik sektörünün 2028 yılında yaklaşık 80 milyon ton fosil yakıt tüketmesi beklenmektedir. Bu toplam tüketim miktarı, enerji dönüşümü patikaları İleri Yenilenebilir Enerji A ve B Senaryoları ile sırasıyla yüzde 17 (66 milyon ton) ve yüzde 30 oranında azaltılabilir (bkz. Önemli Rakamlar 1)

Yeni Politika Senaryosu'nda Türkiye'nin 2028 yılında (ithalat dahil) 728 milyon ABD doları fosil yakıt tasarrufu sağlayacağı öngörülmektedir. Yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı yüzde 46'ya çıkartıldığı takdirde, tasarruf miktarı 1 milyar ABD dolarının üzerine çıkartılabilir (İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu). İletim şebekesine yapılacak ilave yatırımlarla yenilenebilir enerjinin enerji üretimindeki payının yüzde 55'e çıkarılmasına olanak tanıyan ve yenilenebilir enerji kaynaklarının seviyelendirilmiş enerji maliyetini (LCOE) düşüren İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu ile, tasarruf miktarı iki kat artırılarak 2,1 milyar ABD dolarına çıkartılabilir.



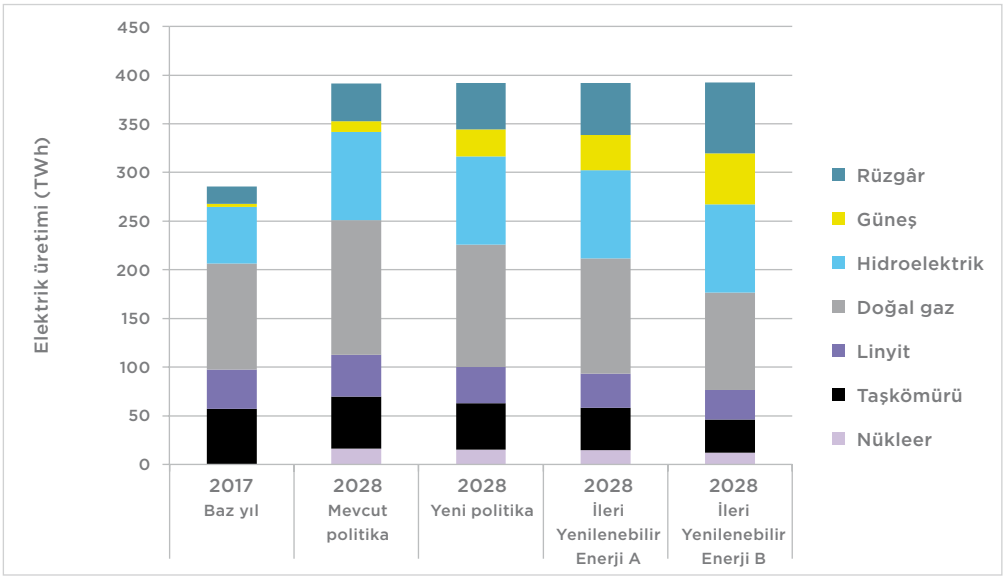
Yenilenebilir enerji ile enerji bağımsızlığının teşvik edilmesi ve enerji arz güvenliğinin sağlanması © Dennis Schroeder/ NRE

Şekil YÖ.1: Yakıt türüne göre elektrik üretim senaryoları: Kurulu güç (GW)



Kaynak: SHURA (2018), TEİAŞ (2018a) ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019) verilerine dayalı kendi hesaplamalarımız.

Şekil YÖ.2: Yakıt türüne göre elektrik üretim senaryoları (TWh)



Kaynak: SHURA (2018), TEİAŞ (2018a) ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019) verilerine dayalı kendi hesaplamalarımız

1.FOSİL YAKITLARA YÜKSEK DÜZEYDE BAĞIMLI OLAN TÜRKİYE'DE ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİNİN DURUMU

ÖNEMLİ NOKTALAR

Türkiye enerji ihtiyacının büyük kısmını fosil yakıt ithalatıyla karşılamaktadır: 2017 yılında elektrik üretiminde kullanılan doğal gazın yüzde 99'u ve kömürün yüzde 42'si ithal edilmiştir (EPDK, 2019). 2017 yılında üretilen elektriğin yüzde 75'i (206,4 TWh) fosil enerji kaynaklarından üretilmiştir.

Türkiye'nin yerel fosil yakıt rezervleri talebi karşılamaya yeterli değildir ve kaynakların büyük kısmı ısıl oran açısından düşük kalitededir. Türkiye›nin kömür rezervleri sadece belli bölgelerde yer almaktadır ve doğal gaz kaynakları kıttır[4]. Türkiye'nin her bölgesinde linyit rezervleri bulunmaktadır ancak yerli linyit rezervlerinin yüzde 90'ından fazlasının ısıl oranı 3.000 Kcal/Kg'ın altındadır[5]. Türkiye'nin yakıt ithalatına olan bağımlılığı, gelecekteki enerji güvenliği için tehdit oluştururken ülkenin cari açığını da artırmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, 2017 yılında üretilen toplam enerjinin yüzde 29'unu teşkil etmiştir ve bu oran 2018'de yüzde 32'ye yükselmiştir. En yüksek enerji üretim kapasitesine sahip fosil yakıt dışı kaynaklar ise hidroelektrik (20 GW) ve ardından güneş (3 GW) ve rüzgâr enerjisi (6,5 GW) olmuştur. 2018 yılında güneş ve rüzgâr enerjilerinin üretim kapasiteleri sırasıyla 5 GW ve 7 GW'a yükselmiştir (EPDK, 2019).

4 2017 yılında ilk doğal gaz üretimi Çanakkale'de başlamıştır. Bu ildeki üretim miktarı Aralık 2017'de 1,48 milyon Sm^3 olarak gerçekleşmiştir. (EPDK, 2018: 3)

5 2017 ısıl oranı, eia.gov üzerinden erişilen Ana İşletici ve Enerji Kaynağına Göre Test Edilen Ortalama Isıl Oranları

Türkiye'nin enerji görünümü, enerji arz güvenliği ve cari açık

Türkiye, son 10 yılda enerji kaynaklarını çeşitlendirmiştir; çalışmanın baz yılı olan 2017'de yenilenebilir enerji kurulu gücü 2,7 GW (güneş enerjisi) ve 6,5 GW (rüzgâr enerjisi) olarak gerçekleşmiştir. 2018 yılında yenilenebilir enerji kurulu gücü sırasıyla 5,06 GW (güneş enerjisi) ve 6,99 GW'a (rüzgâr) çıkmıştır (TEİAŞ, 2019). 2017 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının (hidroelektrik, jeotermal ve atık dahil) toplam elektrik üretimindeki payı yüzde 29 iken, 2018 yılında yüzde 32'ye yükselmiştir. Bununla birlikte, Türkiye elektrik üretiminde fosil yakıt hakimiyeti devam etmektedir ve 2018 yılı toplam elektrik üretiminin yüzde 68'i fosil yakıtlardan sağlanmıştır. 2017 baz yılında elektriğin yüzde 37,2'si doğalgazdan ve yüzde 32,8'i kömürden üretilmiştir (TEİAŞ, 2019).

Türkiye'de enerji dönüşümü, ülkede elektrik üretimi ve enerji alanında yeni yatırımların önünü açmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ve iklim değişikliği azaltım stratejilerinin her geçen gün önem kazanması sadece birincil enerji kaynakları talebindeki değişimler nedeniyle değil enerji bağımsızlığı ve temiz enerji üretimi alanında yeni yerel fırsatlar yaratması açısından da enerji jeopolitiğini değiştirmektedir.

Türkiye yenilenebilir kaynakların payını artırarak, enerji ithalatını azaltmayı, enerji güvenliğini ve enerji bağımsızlığını artırmayı hedeflemektedir. Türkiye bu doğrultuda, Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) mekanizmasını hayata geçirmiştir. 2017 yılında 2 GW (her biri 1 GW) kapasiteli güneş ve rüzgâr enerjisi ihaleleri yapılmıştır. İhaleleri kazanan konsorsiyumlara, yerli içeriğin nihai proje değerinin üçte ikisini oluşturması

Şekil 1. Türkiye'nin başlıca linyit üretim yerleri



şartı getirilmiştir. Böyle bir politika çerçevesinin, yenilenebilir enerji sektöründe yerli katma değer artışını ve istihdamı desteklemesi beklenmektedir.

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kurulu kapasitesi artmasına rağmen, enerji talebinin büyük bir kısmını karşılayan fosil yakıtlarla kıyaslayınca üretimdeki payı yetersiz kalmaktadır. Türkiye'nin elektrik üretimi için doğalgaz kullanımında, sadece bir yıl içinde (2016'dan 2017'ye) yüzde 24'lük bir artış yaşanmış ve ardından 2018 yılında yüzde 2'lik küçük bir düşüş görülmüştür (Dünya, 2018a; EPDK, 2018). 2016 yılında elektrik üretimi için tüketilen doğal gaz 16 milyar m^3 civarında iken, bu rakam 2017 yılında 20 milyar m^3'e ulaşmıştır (Bloomberg, 2019). Mevcut doğal gaz tüketimine ve doğal gaz santrallerinin üretim miktarlarına bakıldığında, Türkiye'de geleneksel bir doğal gaz santrali 1 MWh elektrik üretmek için 220 m^3 doğalgaz tüketmektedir ve bu da 7.790 BTU/kWh ısıl oranına tekabül etmektedir (EIA, 2018).

Türkiye'de elektrik üretimi için yakılan fosil yakıtların çoğu ithal edilmektedir: 2017 yılında kullanılan doğal gazın yüzde 99'u[6] Rusya (yüzde 51), İran (yüzde 16) ve Azerbaycan'dan (yüzde 11) ithal edilmiştir (City population, 2018). 2017 yılında elektrik üretiminin yüzde 17'si ithal kömürle yapılmıştır. Bu taşkömürünün yarısından fazlası Kolombiya'dan, kalan miktarın büyük kısmı ise Rusya'dan ithal edilirken, Amerika Birleşik Devletleri (yüzde 7), Avustralya (yüzde 5,3) ve Güney Afrika'dan (yüzde 4,2) (Euracoal, 2019) nispeten küçük miktarlarda taşkömürü alınmıştır. Türkiye'nin toplam kömür ithalatı 1980'den bu yana önemli ölçüde artmıştır. Bunun başlıca nedenleri, yerli linyit ve kömür rezervlerinin düşük ısıl değeri ve son yıllarda Türkiye'de enerji talebinin sürekli artmasıdır. Bir fosil yakıtın ısıl değeri verimliliğini belirler. 2018 yılında Türkiye'nin fosil yakıtlar için dışa bağımlılığı yaklaşık %72'ye çıkmıştır. (Euracoal, 2019).

Türkiye'nin kolayca ulaşılabilir taşkömürü rezervlerinin 7 milyon tondan fazla olduğu tahmin edilmektedir ve bunlar çoğunlukla ülkenin kuzey-

6 Rusya, İran ve Azerbaycan'dan doğal gaz, Nijerya ve Cezayir'den Sıvılaştırılmış Doğal Gaz ithal edilmiştir.

batısında, Zonguldak yakınlarındadır. Öte yandan, yaklaşık 12 milyon ton olduğu tahmin edilen kolayca ulaşılabilir linyit rezervlerine ise ülkenin her bölgesinde erişilebilmektedir (Şekil 1). Türkiye yerli taşkömürü ve linyit rezervlerine sahiptir ancak mevcut rezervler, uluslararası piyasalardaki eşdeğer fosil yakıtlara kıyasla, düşük ısıl değerlere sahiptir. Türkiye'deki yerli linyit rezervlerinin ısıl değeri 1.000-4.200 kcal / kg arasında değişmektedir ve yüzde 90'ının ısıl değeri 3.000 kcal/kg'ın altındadır (EIA, 2018).

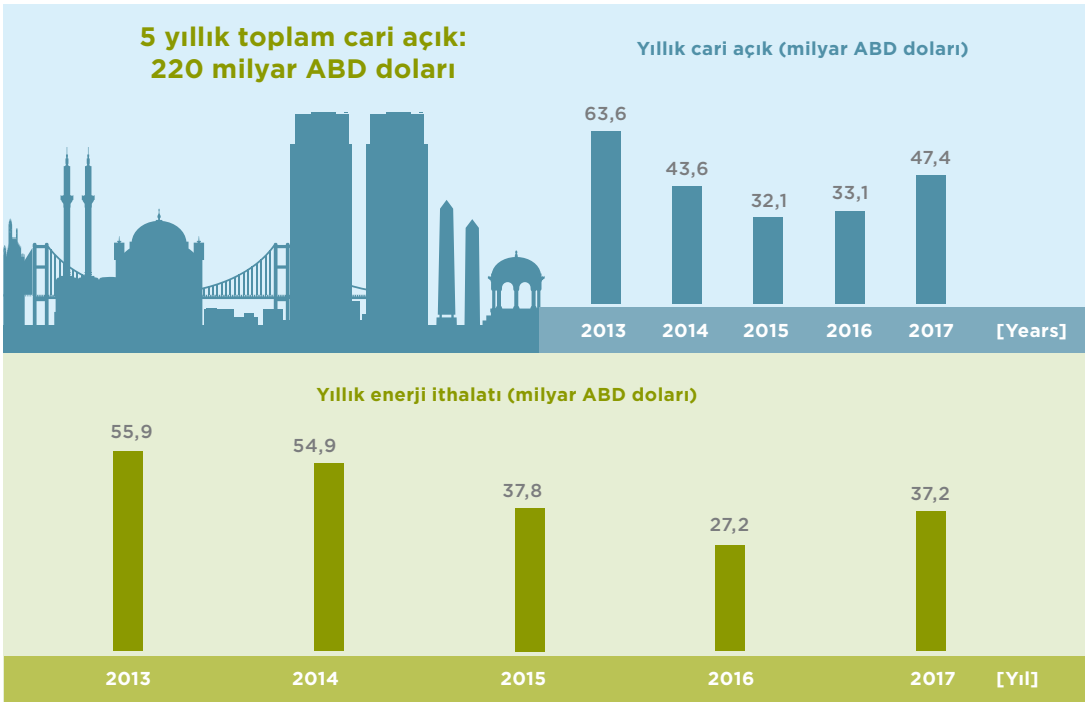
Türkiye'nin enerji geleceğinin güvence altına alınması

İthal fosil yakıtların piyasa fiyatlarındaki dalgalanmalar, Türkiye'nin gelecekte enerji arzını güvence altına almasına karşı tehdit oluşturmaktadır. Türkiye'de yenilenebilir enerjinin yaygınlaşması, yalnızca fosil yakıt kullanımını azaltmakla ve fosil yakıt ithalatını azaltarak ekonomik tasarruf sağlamakla sınırlı kalmayacak, aynı zamanda enerji üretiminde ithal fosil yakıtlara bağımlılığı da azaltacaktır.

2013-2017 yılları arasında Türkiye'nin toplam cari açığı 220 milyar ABD doları olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2) (Dünya, 2018b). Bu açığın yüzde 85'inden fazlası (188 milyar ABD doları) enerji sektörü kaynaklıdır. Aynı dönemde enerji sektöründe ithalat 213 milyar ABD doları büyüklüğünde iken, ihracatı 25 milyar ABD doları olarak gerçekleşmiştir. Enerji sektöründeki açık, sadece akaryakıt ithalatını değil, enerji sektörüyle ve enerji tedarik zinciriyle ilgili tüm ithalatları kapsamaktadır. Ancak, mevcut enerji sektöründeki ticaret açığının ve ülkenin toplam cari açığının en önemli unsuru artan fosil yakıt ithalatıdır. Şekil 2, toplam cari açığı ve yıllık cari açıkla ilişkili enerji ithalatını göstermektedir. Enerji ithalatı 2016 ile 2017 arasında yüzde 40'ın üzerinde bir artışla, 37,2 milyar ABD dolarına çıkmıştır (Şekil 2) (Dünya, 2018b).

Türkiye'nin yerli yenilenebilir enerji kaynak zenginliği göz önüne alındığında, bu kaynakların enerji sektöründe cari açığın dengelenmesi ve enerjide dışa bağımlılığın önemli ölçüde azaltılması açısından yan faydalar sağlaması beklenebilir. SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi tarafından yürütülen yakın tarihli bir araştırma, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretiminin, iletim sistemine herhangi bir ek yatırım yapılmadan, 68 TWh'den 180 TWh'ye (toplam enerji üretiminin yüzde 46'sı) çıkarılmasının, yani neredeyse üç kat artırılmasının mümkün olduğuna dair teknik kanıt sunmuştur (SHURA 2018'ye dayandırılan özgün hesaplama). Türkiye, iletim sistemine yapılacak ek yatırımlarla, 200 TWh'nin üzerinde bir toplam elektrik üretimi için yenilenebilir enerji üretim kapasitesini neredeyse 100 GW'a yükseltebilecek ve böylece yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki payını yüzde 55'e çıkarabilecektir (SHURA 2018'ye dayandırılan kendi hesaplamalarımız). Buna karşın, yenilenebilir enerjinin Türkiye elektrik sistemine entegre edilme hedefi 1 GW/yıl'dır. Ancak, halihazırdaki rakamlar bu hedefi gerçekleştirmekten de hayli uzaktır (yaklaşık 0,6 GW/yıl).

Şekil 2. Yıllık cari açık ve enerji ithalatı, 2013-2017



Kaynak: Veriler Dünya, 2018b'ye dayanmaktadır

2.ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ VE ENERJİ SİSTEMİ SENARYOLARI

Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıt talebinin ve bu talebe bağlı fosil yakıt ithalatının azaltılmasına olan katkısını değerlendirmektedir. Çalışma, çeşitli Ağırlıklı Ortalama Sermaye Maliyeti (WACC) varsayımları için gerçekleştirilen yenilenebilir enerji yatırım ile işletim ve yönetim maliyetine (O&M) dayanan bir dizi kantitatif analizi temel almaktadır. Bunlar, Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK) kapasitesi penetrasyon senaryosu analizi, piyasa ve şebeke simülasyonu ve seviyelendirilmiş enerji maliyeti analizidir (LCOE).

Türkiye için yapılan bu yan faydalar çalışmasında, mevcut politika ortamlarıyla bağlantı kurabilmek ve Türkiye'deki çeşitli potansiyel enerji dönüşüm patikalarının sosyoekonomik performans karşılaştırmasından faydalanabilmek için politika yönelimli senaryo yaklaşımı benimsenmiştir. Bu karşılaştırmalı yaklaşım, fosil yakıtlar ve yenilenebilir enerjinin piyasa davranışlarını tahmin ederek, bunların Türkiye'nin enerji güvenliği üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım, elde edilen sonuçların doğrudan Türkiye'nin mevcut ve gelecekteki politika seçenekleriyle karşılaştırılarak değerlendirilmesine de olanak tanımaktadır.

Bakanlıklar[7] ve uzman kuruluşlarla istişare edilerek, Türkiye'nin 2028 yılı enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların (hidroelektrik dahil) payını artırmanın sosyoekonomik etkilerini değerlendirmek üzere dört senaryo belirlenmiştir.

7 Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Hazine ve Maliye Bakanlığı (eski adıyla Ekonomi Bakanlığı), Dışişleri Bakanlığı ve Sağlık Bakanlığı 2018/2019'da COBENEFITS Yönlendirme Komitesi'ne davet edilmiş ve katkı sunmuşlardır.

2.1.TÜRKİYE'DE ELEKTRİK SEKTÖRÜ İÇİN REFERANS SENARYOLAR

Bu çalışmada, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesini artırmak için izleyebileceği çeşitli politika patikaları kullanılarak, enerji güvenliğini artırmak ve cari ticaret açıklarını dengelemek için yararlanabileceği fırsatları ve yan faydaları incelemek üzere çeşitli politika patikalarını gösteren karşılaştırmalı bir senaryo yaklaşımı benimsenmiştir. Türkiye'nin elektrik sektörü referans politika patikaları, devlet kurumları ve uzman kuruluşlarla istişare edilerek aşağıda belirtilen noktalar göz önünde bulundurularak geliştirilmiş ve seçilmiştir:

- Değerlendirme sonuçlarının politika açısından uygunluğunun ve kullanılabilirliğinin sağlanması için, Türkiye'nin resmi iklim ve enerji politikaları, stratejileri veya yol haritaları (mevcut veya değerlendirilmekte olan) ile bağlantılılık ve karşılaştırılabilirlik.
- Bilimsel açıdan güvenilir kantitatif sosyoekonomik etki değerlendirmeleri için yapılacak hesaplamalara uygunluk.

Türkiye için gerçekleştirilen yan faydalar çalışmasında, mevcut politika ortamları ile bağlantı kurabilmek ve çeşitli muhtemel enerji dönüşümü patikalarının sosyoekonomik performanslarının karşılaştırılmasından faydalanmak için karşılaştırmalı bir senaryo yaklaşımı benimsenmiştir. Hükümet ve uzman kuruluşlarla istişare edilerek, yenilenebilir kaynakların (rüzgâr ve güneş) 2028 yılında Türkiye'nin elektrik üretimindeki payının artırılmasının sosyo-ekonomik sonuçlarını değerlendirmek için dört senaryo tanımlanmıştır (bkz. Şekil 3 ve Şekil 4). 2028 referans yılı, bu on yıl içinde derhal görülecek sosyo-ekonomik etkiler ve fırsatları ele almak için belirlenmiştir. 2017'nin baz

yılı olarak kabul edildiği bu dört senaryoda, 2017'de 300 TWh'nin altında olan toplam üretimin üçte bir oranında artarak, 2028'de yaklaşık 400 TWh'ye (2028) yükseleceği öngörülmektedir.

1 | **Baz yıl (2017):** Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) 2017 baz yılında 37,8 GW yenilenebilir enerji kurulu gücü ile toplam 85,1 TWh elektrik üretildiğini ve yenilenebilir kaynakların toplam elektrik üretiminin yüzde 29'unu oluşturduğunu bildirmiştir.[8]

2 | **Mevcut Politika Senaryosu:** TEİAŞ'ın 2026 yılı tahminlerine dayandırılmış ve 2028 yılı için orantılı olarak düzeltilmiştir. Bu senaryoda, 2028 yılında 61,5 GW yenilenebilir enerji kurulu gücü ile 142,0 TWh enerji üretilmektedir ve yenilenebilir enerji toplam elektrik üretiminin yüzde 36'sını oluşturmaktadır.

3 | **Yeni Politika Senaryosu:** Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın "Ulusal Enerji ve Madencilik Politikası" kapsamında 2018'den itibaren 10 yıl boyunca güneş ve rüzgâr enerjisi kapasitesinde yıllık 1'er GW'lık artış yapılacağı açıklaması temel alınmıştır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, t.y.). Bu senaryoda, 2028 yılında 69,5 GW yenilenebilir enerji kurulu gücü ile 167,1 TWh enerji üretilmektedir ve yenilenebilir enerji toplam elektrik üretiminin yüzde 43'ünü oluşturmaktadır.

4 | **İleri Yenilenebilir Enerji Senaryosu A:** Bu senaryoda, 2028 yılında 77,5 GW yenilenebilir enerji kurulu gücü ile 181,5 TWh enerji üretilmektedir ve yenilenebilir enerji toplam elektrik üretiminin yüzde 46'sını teşkil etmektedir. Bu senaryo, rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün 20'şer GW'a çıkarılmasının iletim sistemine herhangi ilave bir yatırım yapılmadan mümkün olduğunu açıklayan SHURA (2018) çalışmasına dayanmaktadır.

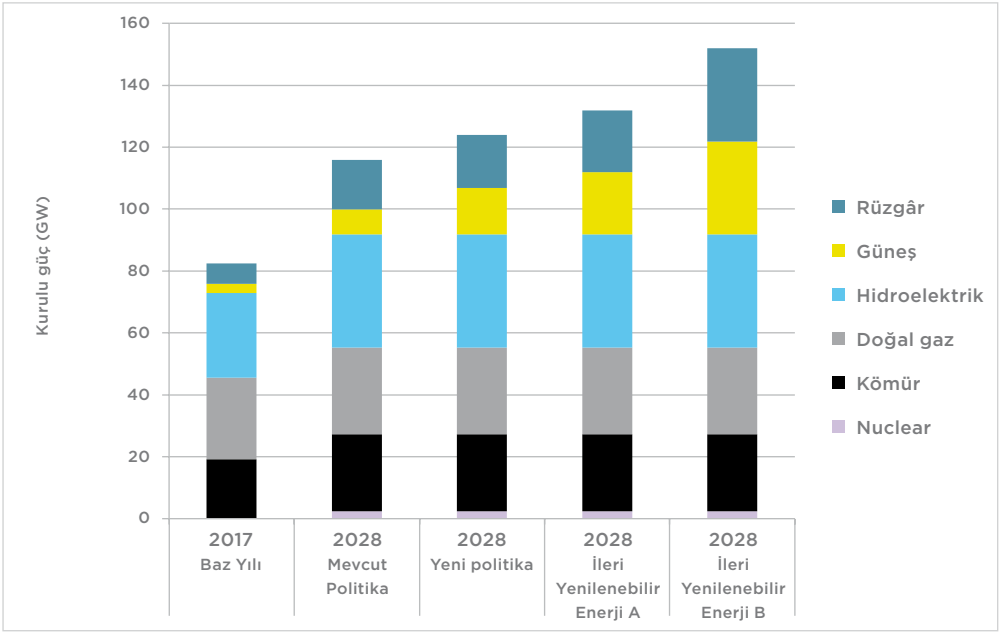
5 | **İleri Yenilenebilir Enerji Senaryosu B:** Bu senaryoda, 2028'de 97,5 GW yenilenebilir enerji kurulu gücü ile 217,0 TWh enerji üretilmektedir ve yenilenebilir enerji toplam elektrik üretiminin yüzde 55'ini teşkil etmektedir. Bu senaryo, güneş ve rüzgâr sektörünün her birinde 30 GW'lık artışın, iletim kapasitesi yatırımında yüzde 30 ve trafo merkezi yatırımlarında yüzde 20'lik artışla mümkün olduğunu ortaya koyan SHURA (2018) çalışmasını temel almaktadır.

COBENEFITS Türkiye çalışmasında Türkiye elektrik sektörü için tanımlanan dört referans politika patikası, hem hükümetin politika belgeleri, hem de SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi raporunda geliştirilen ve Türkiye'de elektrik üretimi içinde yenilenebilir kaynakların gelecekteki paylarına ilişkin metodolojik yaklaşım temel alınarak tanımlanmıştır[9]. 2017 bazı yılı ve 2028 senaryolarının elektrik üretim verileri Tablo 1'de verilmiştir.

8 Bu rapordaki üretim paylarını hesaplamak için kullanılan enerji kaynakları, bazı yıl olan 2017 üretilen gücün %99'unu kapsamaktadır. Dizel veya biyokütle gibi kalan enerji kaynakları dahil edildiğinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı (2017 için %23) değişmeden kalır. Dolayısıyla, 2028 hedef yılı için büyük bir farklılık beklenmemektedir.

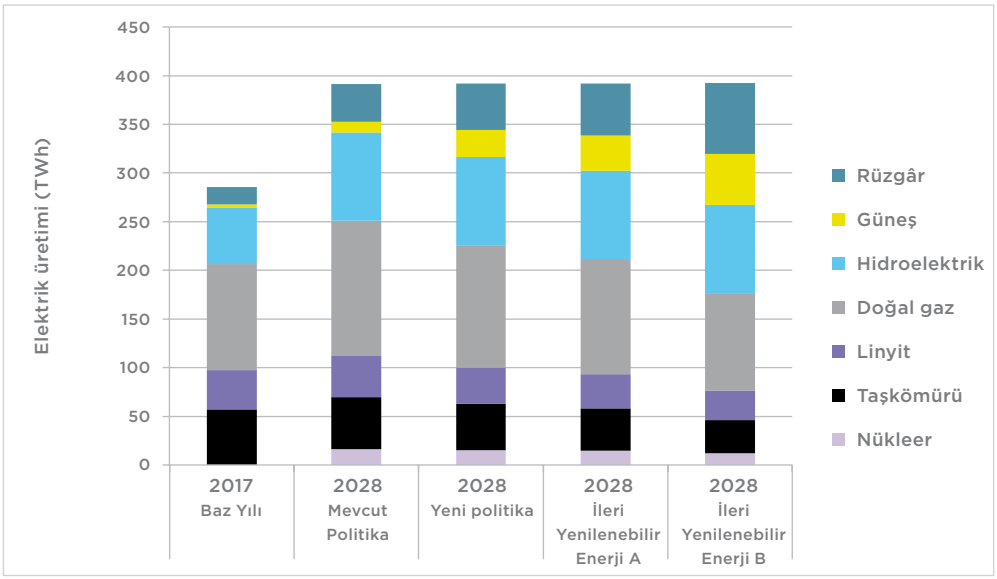
9 Türkiye'nin Enerji Sisteminde Yenilenebilir Kaynakların Artan Payı: İletimde Genişleme ve Esneklik Seçenekleri. Shura Enerji Dönüşümü Merkezi, 2018

Şekil 3. Kurulu güç (GW): Baz yılı ve farklı senaryo projeksiyonları



Kaynak: SHURA (2018), TEİAŞ (2018a), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019)'a dayalı kendi hesaplamalarımız

Şekil 4. Eletrik üretimi (TWh): Baz yılı ve farklı senaryo projeksiyonları



Kaynak: SHURA (2018), TEİAŞ (2018a), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019)'a dayalı kendi hesaplamalarımız

Tablo 1. Elektrik üretimi (TWh): Baz yılı ve farklı senaryo projeksiyonları

Yakıt	2017 Baz Yılı	2028 Mevcut Politika	2028 Yeni Politika	2028 İleri Yenilenebilir Enerji A	2028 İleri Yenilenebilir Enerji B
Taşkömürü	57,0	53,5	47,5	43,6	34,0
Linyit	40,6	43,1	37,5	35,1	30,5
Doğal gaz	108,8	138,3	125,5	118,3	100,1
Nükleer	0,0	16,1	15,3	14,5	11,9
Güneş	2,9	10,8	27,8	36,4	52,5
Rüzgâr	17,9	38,9	47,3	53,2	72,9
Hidroelektrik	58,4	90,8	90,8	90,8	90,8

Kaynak: SHURA (2018), TEİAŞ (2018a) ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2019)'a dayalı kendi hesaplamalarımız

2017 baz yılı verileri TEİAŞ raporlarına dayanmaktadır. COBENEFITS çalışmalarında tanımlanan 2028 projeksiyonları hükümetin politika belgelerine ve SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi tarafından geliştirilen metodolojik yaklaşıma dayanmaktadır.

2.2 ÇOK AŞAMALI DEĞERLENDİRME METODOLOJİSİ

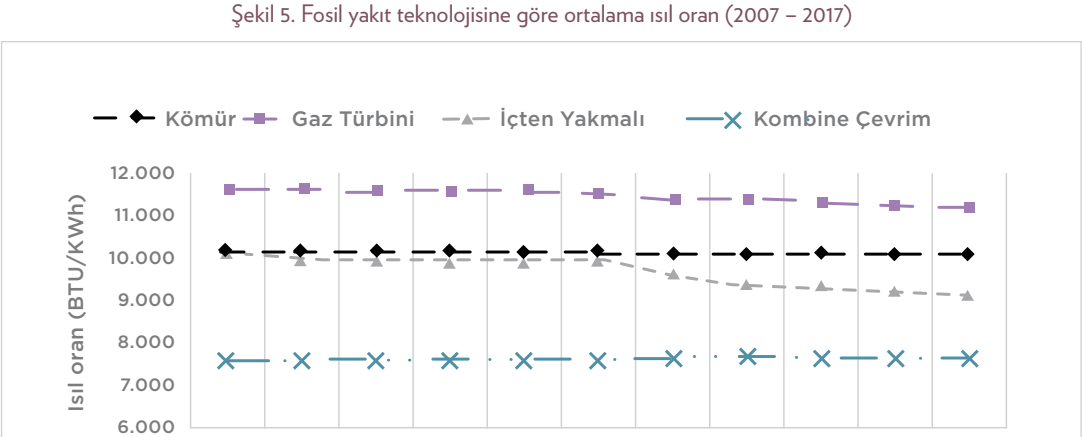
Santrallerin tahmini ısıl oranı ve yakıt kalitesi

Kısa dönem marjinal maliyetler (SRMC), mevcut enerji santrallerinin ısıl oranı ve yakılan fosil yakıtların kalitesi hesaplanarak tahmin edilmektedir. Isıl oran, santralin yakıtı elektriğe dönüştüren ısıl verimliliğidir ve BTU/kWh[10] birimiyle ifade edilir. Şekil 5, çeşitli fosil yakıtların ortalama ısıl oranını göstermektedir (EIA, 2018).

Yakıtın kalitesi, yakıtın ağırlığı ve enerji potansiyeli ile belirlenmektedir. Taşkömürü, kilogram başına 5.700 kcal'in üzerinde potansiyel enerjiye sahiptir ve enerji açısından en verimli fosil yakıtlar arasında yer alan koklaşabilir taşkömürünü ve buhar kömürünü kapsamaktadır. Kilogram başına 5.700 kcal'in altında potansiyel enerjiye sahip düşük verimli kömür ise, kahverengi kömür olarak sınıflandırılır ve düşük bitümlü kömür ve linyit olarak ikiye ayrılır.

10 Ayrıca sıklıkla MWh başına MMBTU (1 milyon İngiliz Isı Birimi) olarak da ifade edilmektedir: Isıl oran, bir enerji santralinin yakıtı elektriğe dönüştürmedeki ısıl verimliliğinin ölçüsüdür. Üretilen her bir kWh elektrik için ısı girdi miktarını (saatlik BTU birimi cinsinden) ölçer. Isıl oran için en yaygın kullanılan birim BTU/kWh olmasına rağmen, MMBTU/MWh birimi de birçok raporda kullanılmaktadır. Kömür veya doğal gaz yakan enerji santralleri çoğu zaman farklı ısıl oranlara sahiptir. 1 MMBTU, 1 milyon BTU'ya (İngiliz Isı Birimi) eşittir. Doğal gaz, MMBTU ile ölçülür ve 1 MMBTU = tanımlanan sıcaklık ve basınç koşullarında 28.263682 m^3 doğal gazdır.

Şekil 5. Fosil yakıt teknolojisine göre ortalama ısıl oran (2007 – 2017)



Yakıt fiyatı tahminleri

Yakıt fiyatları, aşağıdaki denklem kullanılarak 1.000 İngiliz Isı Birimi (MBTU) fiyatı hesaplanarak tahmin edilir:

$$\frac{\$}{\text{ton}} \times \frac{\text{ton}}{\text{kalite (1.000 kcal)}} \times \frac{7.000.000\ \text{kcal}}{1\ tce} \times \frac{1\ tce}{27{,}7\ MBTU} = \frac{\$}{MBTU}$$

Bu denklemde kullanılan dönüştürme faktörleri National Academy Press'ten (NAP, 2007) alınmıştır. Yerel ve ithal fosil yakıtların 2028 yılı fiyat tahminleri, tarihsel fiyatlar kullanılarak yapılan logaritmik regresyon analizi sonuçlarına dayanmaktadır.

Yakıt kalitesi fosil yakıtın ısıl değerine göre ölçülmektedir. Isıl değer ne kadar yüksekse, fosil yakıtın enerji üretimi o kadar verimlidir. Yerli linyit için tahsis edilen minimum ısıl değer 1.600 kcal/kg (TTKGN, 2016), yerli taşkömürü için 6.200 kcal/kg ile 7.250 kcal/kg arasında ve ithal taşkömürü için 6.600 kcal/kg'dır (TTKGM, 2016). Linyit, yerli taşkömürü, ithal taşkömürü ve ithal doğal gazın yakıt maliyetleri, ısıl oran ve kısa dönem marjinal maliyetleri (SRMC) Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. 2028 yılı kısa dönem marjinal maliyet (SMRC) ortalaması tahminleri, fosil yakıt türüne göre

Yakıt	Piyasa Fiyatı (ABD doları/ton))	Kalite (1.000 kcal)	ABD doları/ MBTU	Isıl oranı (MBTU/MWh)	SRMC (ABD doları/MWh)
Yerli linyit	13,00	1.600	2,05	11,2	22,93
Yerli taşkömürü	95,51	7.000	3,42	10,4	35,57
İthal taşkömürü	82,21	6.600	3,14	10,2	32,02
Doğal gaz	–	–	7,33	8,5	62,31

Kaynak: TTKGN, 2016'ya dayalı kendi hesaplamalarımız

Yenilenebilir enerji tahminleri

Elektrik fiyatı hesaplamaları arazi, işçilik, yakıt ve yatırım maliyetleri gibi sabit ve değişken maliyetlerin toplamını gerektirmektedir. Elektriğin yıllık eşdeğer sabit maliyeti (YESM – *annualized fixed cost AFC*), bir enerji santralinin beklenen ömrü üzerinden sabit kurulum maliyetini tahmin eder ve yatırım kararlarında ve elektrik maliyeti hesaplamalarında kullanılır. Çalışmada, YESM'yi hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılmıştır:

$$\text{YESM} = \frac{C_{fix} \, x \, p \, x \, (1+p)^{L}}{(1+p)^{L} - 1}$$

Sabit maliyet (Cfix), genellikle elektrik üretmek için kullanılan yakıta göre sınıflandırılan teknolojiye bağlı bir maliyettir. Alternatif enerji kaynaklarının sermaye maliyetleri, süregiden teknolojik gelişmelere bağlı olarak, genellikle daha yüksektir. Depolamalı, yakıt hücreli güneş enerjisi kuleleri, jeotermal enerji kaynakları ve küçük ölçekli çatı tipi güneş enerjisi sistemleri, şebeke ölçekli rüzgâr ve güneş enerjisi sistemlerine kıyasla, iki-üç kat daha yüksek sermaye maliyetine sahiptir. Makul ölçüde küçük ölçekli yenilenebilir enerji teknolojilerinin sermaye maliyetleri, halihazırda doğal gaz ve bazı kömür teknolojilerinin sermaye maliyetlerinin üzerindendir. Ancak, beklenen teknolojik gelişmeler ve geleneksel yakıt maliyetlerinin uzun vadedeki belirsizliği sayesinde bu fark giderek kapanmaktadır.

YESM, yıllık kW başına para birimi cinsinden sunulmuştur (Şekil 6). Yatırım kararı sırasında kW başına para birimi cinsinden sabit maliyet (Cfix), elektrik üretmek için kullanılan yakıta göre sınıflandırılmıştır. Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti (AOSM – *weighted average cost of capital WACC*), iskonto oranı (p) ve santralin teknik ömrü (L)'dir.[11]

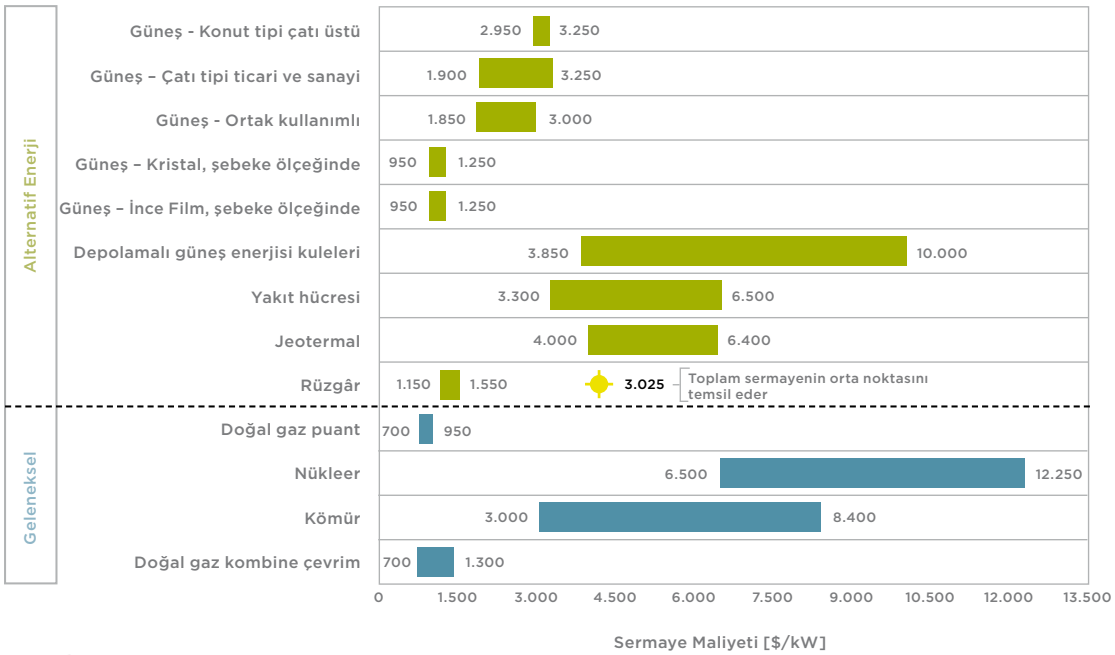
YESM hesaplamalarındaki iskonto oranı AOSM olarak alınır. AOSM, ilgili varlıklardaki alternatif yatırım maliyetlerini yansıtan yatırım getirisidir. Aşağıdaki denklem kullanılarak ülkeye ve sektöre göre hesaplanmaktadır:

$$AOSM = p = \left(\begin{matrix}\text{özsermaye}\\ \text{oranı}\end{matrix} \text{ x } \begin{matrix}\text{özsermaye}\\ \text{maliyeti}\end{matrix}\right) + \left(\begin{matrix}\text{borçlanma}\\ \text{oranı}\end{matrix} \text{ x } \begin{matrix}\text{borçlanma}\\ \text{maliyeti}\end{matrix}\right)$$

Özsermaye maliyeti, yatırımcıların diğer bir alternatif yatırımdan kazanabilecekleri vazgeçilen getiriyi yansıtmaktadır. Borç maliyeti ise bir şirketin tahvil sahiplerine ve alacaklılarına ödediği faiz oranıdır. Bu çalışmada, Akenerji elektrik şirketi tarafından hazırlanan yatırımcı raporuna dayanılarak, yatırımlar için yüzde 30 öz sermaye ve yüzde 70 borç kullanılmıştır (Akenerji, 2016). AOSM, daha sonra piyasa ve şebeke simülasyonlarında uygulanan seviyelendirilmiş elektrik maliyetini (SEM – *levelized cost of electricity LCOE*) etkileyen önemli faktörlerden biridir.

11 İskonto oranı, sermaye mevcudiyetine ve sermaye riskine bağlı olarak ülkeden ülkeye farklılık gösterebilir.

Şekil 6. Sermaye maliyetleri karşılaştırması, teknolojiye göre



Kaynak: LAZARD LCOE, 2018

Piyasa ve şebeke simülasyonu

Çalışma metodolojisi, 2028 hedef yılının tamamı boyunca saatlik çözünürlükte yürütülen ardışık bir [piyasa simülasyonu/ şebeke simülasyonu] döngüsüne dayanmaktadır (Bkz. Şekil 7). EPRA Elektrik Enerji firması tarafından geliştirilen Mühendislik, Tedarik, Araştırma ve Analiz Enstitüsü piyasa simülasyon platformu, Türkiye'de 2028 yılı gün öncesi elektrik borsasını (PX) simüle etmektedir (SHURA, 2018).

Şekil 7. Ardışık piyasa ve şebeke simülasyonları



Ardışık piyasa ve şebeke simülasyonları metodolojinin temelini oluşturmaktadır. Piyasa simülasyonunda, elektrik sisteminin arz-talep dengesi, yenilenebilir enerji için asgari toplam üretim maliyeti ve kesinti varsayımıyla, tüm hedef yıl için saatlik olarak sağlanmıştır. Piyasa simülasyonu elektrik ticareti piyasası takas fiyatını optimize etmektedir. Elektrik borsasının aksine piyasa simülasyonunda şebeke güvenliği ve güvenilirliği kısıtlarının yanı sıra döner rezerv gereksinimleri de göz ardı edilmiştir. Piyasa simülasyonu esasen piyasa işletmecisinin (EPİAŞ), tek bir gün için değil tüm hedef yıl için, gün öncesi elektrik borsasındaki rolünü temsil etmektedir. Farklı senaryoların piyasa ve şebeke simülasyonları, esas olarak, farklı YEK penetrasyon senaryoları altında fosil yakıt ithalatındaki azalmaları öngörmektedir. Cari açık üzerindeki etkiler akaryakıt fiyat tahminleri esas alınarak hesaplanmaktadır. Piyasa simülasyonlarının başlıca çıktıları aşağıdakileri kapsamaktadır:

- Hedef yıl denge fiyatı (saatlik çözümleme)
- Konvansiyonel üreticilerin birim taahhüdü (UC) (saatlik çözümleme)
- Üretim maliyeti (saatlik çözümleme). Varsa, rüzgâr ve güneş enerjisi kesinti miktarı.

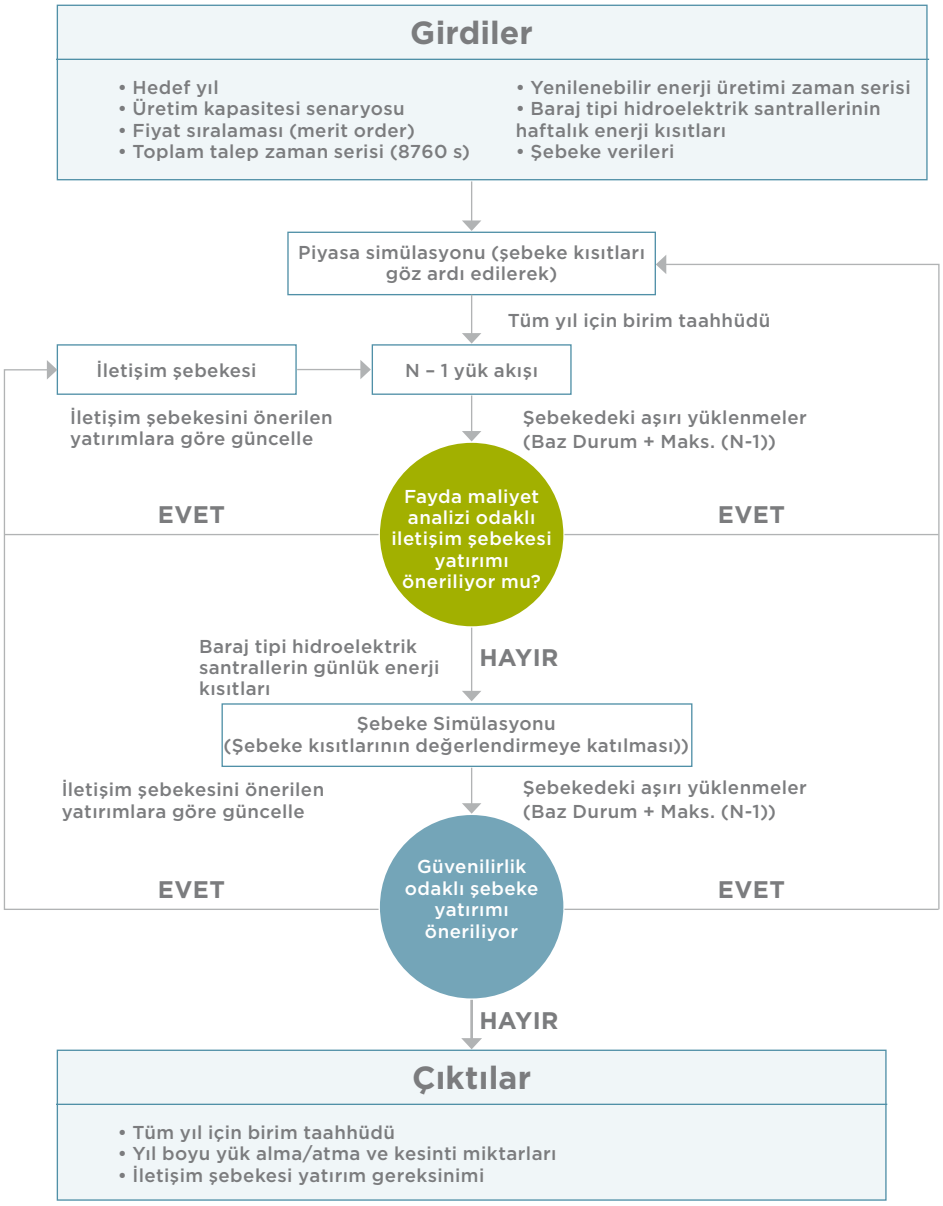
Piyasa simülasyonu çıktıları, şebeke simülasyonunda girdi olarak kullanılmaktadır. Şebeke simülasyonu, Türkiye'deki iletim sistemi operatörü TEİAŞ'ın şebeke güvenliği ve güvenirliği sağlayan bir iletim şebekesi ve sistem işletimi belirlenmesindeki rolünü göstermektedir. Piyasa simülasyonunda yalnızca zamanla ilgili ayrıntılı bir çözümleme (yılda 8.760 saat) varken, şebeke simülasyonunda mekanla ilgili de yüksek çözümleme olduğundan karmaşıklık düzeyi daha fazladır.

Ardışık pazar ve şebeke simülasyon yaklaşımı akış şeması Şekil 8'de gösterilmiştir. İlk adım, yıl boyunca enerji piyasasını dengeye getiren fiyat sıralamasına (merit order) dayalı piyasa simülasyonudur. Bu, enerji santrallerinin kısa ve uzun dönemli işletimle ilgili kısıtlar altında dinamik birim taahhütlerini içeren bir karma tamsayılı programlama (MIP) problemidir. Piyasa simülasyonundan elde edilen birim taahhüdü enerji borsasındaki piyasa eğilimini ortaya koymaktadır. Gün öncesi piyasasında, piyasa takas fiyatı ve enerji santrallerinin taahhütleri piyasa oyuncularının tekliflerine göre tanımlansa da, uzun vadeli planlama problemlerinde literatürde genel kabul gören yaklaşım, enerji santrallerinin kısa dönem marjinal maliyetlerine (SRMC) dayalı birim taahhütleridir. Marjinal santrale dayanan bir enerji borsasında piyasa takas fiyatı marjinal santral tarafından belirlendiğinden dolayı çalışmadaki ana varsayım, tüm piyasa oyuncularının tekliflerini kısa dönem marjinal maliyetlerine göre yaptıklarıdır.

İkinci aşamada, piyasa simülasyonu çıktıkları kullanılarak yük akışı analizleri yapılır. Yük akışı analizleri hedef yıl boyunca iletim şebekesindeki enerji kısıt miktarı ve aşırı yüklenme süresini göstermektedir. Sistemin de buna göre çalışması gerekmektedir (standart voltaj, kabul edilebilir akım, vs.). Üçüncü aşama, iletim şebekesindeki enerji kısıt miktarına bakılarak iletim şebekesi yatırımı gerekip gerekemediğinin değerlendirilmesidir. Fayda maliyet analizi odaklı iletim şebekesi yatırımlarının belirlenmesi için fayda maliyet analizleri gerçekleştirilir. Bir iletim hattında kilometre başına yıllık enerji kısıt miktarının önceden tanımlanmış bir eşik değeri aşması durumunda, koridoru güçlendirmenin uygun olduğu varsayılır. Bu eşik, koridorun kilometre başına güçlendirilmesinin yıllık yatırım maliyetidir. Birim maliyet değerleri TEİAŞ'tan[12] alınmıştır. Hedef yılın (2028) iletim şebekesi modeli, fayda maliyet analizi kaynaklı iletim şebekesi yatırımları dikkate alınarak güncellenir. Bu süreç, yinelemeli piyasa simülasyonları ve fayda maliyet analizleri tarafından hiçbir ek şebeke yatırımı önerilmeyene kadar devam eder.

12 www.teias.gov.tr

Şekil 8. Simülasyon metodolojisi akış şeması



Dördüncü aşamada, şebeke simülasyonları gerçekleştirilir. Şebeke simülasyonunda santrallerin başlangıç noktası olarak piyasa simülasyon sonuçları kullanılmaktadır. Piyasa simülasyonundan farklı olarak, şebeke simülasyonlarında iletim şebekesi kısıtları dikkate alınmaktadır. Kısıtlar, güvenlik (şebeke hatlarındaki aşırı yüklenmeler) ve döner rezerv gereksinimlerini kapsamaktadır. Şebeke simülasyonları, santrallerin şebeke kısıtlarını karşılarken santrallerin yük alma/atma (YAL/YAT) talimat miktarı ve kısıt maliyetlerini en aza indirir.

Piyasa simülasyonundaki birim taahhüdü çözümü, şebeke simülasyonlarının YAL/YAT talimat miktarlarının hesaplanmasında referans olarak kullanılır. Şebeke simülasyonundaki birim taahhüdü bu referansla karşılaştırıldığında, optimum yük atma/alma miktarları elde edilir. Böylelikle birim taahhüdü, kısa vadeli operasyonel önlemler (YAL/YAT talimatları, yenilenebilir enerji ve/veya kesinti, vb.) ve uzun vadeli yatırım çözümleri arasında ödünleşim yapılmasını sağlar.

Son olarak, güvenirlik odaklı iletişim şebekesi yatırımları, şebeke simülasyonlarının n-1 durum analizlerine dayanılarak tanımlanır. N-1 kriterlerini karşılamak üzere tanımlanan iletim şebekesi yatırımları, Şekil 7'de görüldüğü üzere, iletim şebekesi modeline dahil edilmiştir. Fayda-maliyet odaklı ve güvenirlik odaklı iletim şebekesi yatırım gereksinimleri tamamlanana kadar iteratif piyasa ve şebeke simülasyonları yapılmıştır.

3.TÜRKİYE'NİN ENERJİ ARZ GÜVENLİĞİNİN ARTIRILMASI: FOSİL YAKITLARIN AZALTILMASIYLA SAĞLANAN YAKIT TASARRUFU VE EKONOMİK KAZANÇ

ÖNEMLİ NOKTALAR:

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırarak enerji arz güvenliğini ve enerji bağımsızlığını artırabilir: Türkiye 2028 yılına kadar, yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretimini artırarak doğal gaz tüketimini yüzde 16 oranında ve 155 milyon m^3 kadar azaltabilir. Bu azaltım iletim sistemi için planlanan yatırımlar artırılmadan gerçekleştirilebilir.

Yenilenebilir enerji iletim şebekesi kapasitesine yüzde 30 ve trafo merkezlerine yüzde 20 oranında yapılacak ek yatırımlarla Türkiye, 2028 itibarıyla elektrik sisteminin toplam fosil yakıt talebini yüzde 30 oranında ve bununla birlikte doğal gaz tüketimini de yüzde 38 oranında (300 milyon m^3) azaltabilir (İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu, mevcut politika patikası ile karşılaştırıldığında) (Tablo 4).

Mevcut politika patikasında, Türkiye elektrik sektörünün toplam fosil yakıt tüketimi (milyon ton) 2028 yılında neredeyse 80 milyon tona çıkacaktır. Bu toplam tüketim miktarı, Gelişmiş Yenilenebilir Enerji A Senaryosu ile yüzde 17 (66 milyon tona) ve Gelişmiş Yenilenebilir Enerji B Senaryosu ile yüzde 30 oranında azaltılabilir (Tablo 3).

Yeni Politika Senaryosu'na göre, 2028 yılında fosil yakıt ithalatı ve tüketimindeki azalmayla elde edilen ekonomik tasarrufun 728 milyon ABD doları olacağı tahmin edilmektedir. Yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı yüzde 46'ya çıkarıldığı takdirde, tasarruf miktarı 1 milyar ABD dolarının üzerine çıkabilmektedir (İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu). İletim şebekesine yapılacak ek yatırımlarla yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı yüzde 55'e çıkarılacak ve yenilenebilir enerji kaynaklarının seviyelendirilmiş

Tablo 3. 2028 itibarıyla yıllık doğal gaz, kömür ve linyit talebi, senaryo bazında

Yakıt	Toplam Elektrik Üretimi 2028 (TWh)				Toplam Yakıt Miktarı 2028 (Milyon ton)			
	Mevcut Politika	Yeni Politika	İleri Yenilenebilir Enerji A	İleri Yenilenebilir Enerji B	Mevcut Politika	Yeni Politika	İleri Yenilenebilir Enerji A	İleri Yenilenebilir Enerji B
Doğal gaz	138,3	125,5	118,3	100,1	31,45	28,54	26,9	22,76
Kömür	53,5	47,5	43,6	34	8,42	7,47	6,86	5,35
Linyit	43,1	37,5	35,1	30,5	39,79	34,62	32,4	28,15
Toplam	234,9	210,5	197,0	164,6	79,66	70,63	66,17	56,26

enerji maliyeti (SEM/LCOE) düşürülecek, böylece tasarruf miktarı neredeyse iki kat artarak 2,1 milyar ABD dolarına çıkabilecektir. (İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu).

Gerçekleştirilen analize göre, 2028 itibarıyla Türkiye, iletim sistemi için öngörülen yatırım miktarının artırılmasına gerek kalmadan, fosil yakıtlara dayalı elektrik üretimini yüzde 15 oranında azaltabilir (Mevcut Politika Senaryosu'ndaki üretim miktarı olan 138 TWh'den İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu'na göre 118 TWh'ye çıkarak). Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıt ithalatı bağımlılığının daha da azaltılması amacıyla, İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu'ndaki kadar artırılırsa, fosil yakıtlara dayalı elektrik üretiminde mevcut politika patikasıyla karşılaştırıldığında yüzde 27'lik bir azalma sağlanabilecektir.

Doğal gaz ithalatı açısından bakıldığında ise analiz sonuçları, 2028 yılı itibarıyla Türkiye'nin, yenilenebilir enerji üretimini artırarak ve öngörülen iletim sistemi yatırım miktarını artırmasına gerek kalmadan, doğal gaz tüketimini yüzde 16 oranında (155 milyon MMBTU) azaltabileceğini ortaya koymaktadır (İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu, mevcut politika patikası ile karşılaştırıldığında). Yenilenebilir enerji iletim şebekesi kapasitesine yüzde 30 ve trafo merkezlerine yüzde 20 oranında yapılacak ek yatırımlar, 2028 itibarıyla Türkiye elektrik sistemindeki toplam fosil yakıt talebinin neredeyse yüzde 30, doğal gaz tüketimini ise yüzde 38 (300 milyon MMBTU) azaltmasını sağlayabilir (İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu, mevcut politika patikası ile karşılaştırıldığında) (Tablo 4).

Halihazırda Türkiye'nin doğal gaza dayalı elektrik üretimi ithalata bağımlıdır (2017'de doğal gaz miktarının yüzde 99'u ithal edilmiştir. Doğal gaz alımı yapılan başlıca ülkeler: Rusya yüzde 51, İran yüzde 16 ve Azerbaycan yüzde 11, bkz. Bölüm 1). Burada sunulan sonuçlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye'nin ithal enerji bağımlılığını azaltmada önemli bir rol oynayabileceğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4. 2028 itibarıyla fosil yakıta dayalı elektrik üretimi, yakıt ve tasarruf, senaryo bazında[13]

Doğal gaz	2028			
	Mevcut Politika	Yeni Politika	İleri Yenilenebilir Enerji A	İleri Yenilenebilir Enerji B
Energy üretimi (TWh)	138,30	125,50	118,30	100,10
Hacim eşdeğeri (m^3)	30.426.000.000	27.610.000.000	26.026.000.000	22.022.000.000
Isı birimi eşdeğeri (MMBTU)	1.074.037.800	974.633.000	918.717.800	777.376.600
Türkiye'nin fosil yakıt tasarrufu (MMBTU)	—	99.404.800	155.320.000	296.661.200
Türkiye'nin ekonomik tasarrufu (USD)[13]	—	728.637.184	1.138.495.600	2.174.526.596

13 Doğal gaz fiyatı olarak 7,33 USD/MMBTU kullanılmıştır.

Yeni Politika Senaryosu'nda, fosil yakıt ithalatı ve kullanımının azalmasıyla 2028 yılında 728 milyon ABD doları ekonomik tasarruf sağlanacağı öngörülmektedir. Yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı yüzde 46'ya çıkarıldığı takdirde tasarruf miktarı 1 milyar ABD dolarının üzerine çıkarılabilir (İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu). Yenilenebilir enerjinin enerji üretimindeki payını yüzde 55'e çıkaracak ve yenilenebilir enerji kaynakları için seviyelendirilmiş enerji maliyetini (SEM) düşürecek iletim şebekesi ek yatırımlarıyla ekonomik tasarruf neredeyse ikiye katlanarak 2,1 milyar ABD dolarına çıkarılabilir (İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu).

Türkiye, zengin yerel ve yenilenebilir enerji kaynaklarına rağmen halihazırda net enerji ithalatçısı bir ülke olduğu için (bkz. Türkiye'nin enerji arz güvenliği durumu), İleri Yenilenebilir Enerji Senaryoları doğrultusunda gerçekleştirilecek bir hızlandırılmış enerji dönüşümü Türkiye elektrik sektörü cari açığını olumlu yönde etkileyecektir.

Ayrıca, Türkiye enerji dönüşümünü hızlandırarak iklim değişikliğiyle ve küresel ısınmanın Türkiye'deki etkileri ile mücadeleye yönelik ulusal ve uluslararası çabalara katkı sunabilir. İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu seçildiği takdirde, fosil yakıtla üretilen enerjinin en az 38,30 TWh'ı temiz kaynaklar olan rüzgâr ve güneşten üretilir ve ithalat azaltılarak hem ekonomik tasarruf hem de enerji güvenliği açısından kazanım sağlanır.

4.TÜRKİYE'NİN ENERJİ GÜVENLİĞİNİN VE BAĞIMSIZLIĞININ ARTIRILMASINA İMKÂN TANIYAN ORTAMIN OLUŞTURULMASI

Tartışmayı ilerletecek noktalar

Bu COBENEFITS çalışması, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kurulu gücünü artırarak enerji arz güvenliğini önemli ölçüde artırabileceğini, cari açığını azaltabileceğini ve elektrik sektörü maliyetlerini düşürebileceğini ortaya koymaktadır.

Türkiye'deki yenilenebilir enerji politikası çerçevesi, yenilenebilir enerji kurulu gücünün artırılmasını, bağımsız bir yerel enerji piyasası oluşturmayı ve fosil yakıtların ve bununla ilgili malların ithalatının azaltılmasını hedeflemelidir.

İthal fosil yakıt fiyatlarındaki piyasa dalgalanmaları, Türkiye'nin gelecekteki enerji güvenliğine tehdit oluşturmaktadır. Türkiye'de yenilenebilir enerji kullanımının artırılması fosil yakıt kullanımını azaltabilir ve buna bağlı ekonomik tasarruf sağlayabilir. Ayrıca, fosil yakıtlardan uzaklaşmak enerji üretiminde ithal fosil yakıt bağımlılığını ve belirsizliği azaltarak da olumlu bir etki yaratabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları, akaryakıt ithalatını azaltırken enerji sektörünün cari açığının dengelenmesine de katkıda bulunarak ekonomik tasarruf sağlayabilir.

Türkiye, fosil yakıt talebini ve dolayısıyla fosil yakıt ithalatını önemli ölçüde azaltabilir. Türkiye, İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu ile 2028 yılında doğal gaz tüketimini yaklaşık 300 milyon MMBTU'ya düşürebilir. Türkiye, enerji üretimi için fosil yakıt ithalatını azaltarak Yeni Politika Senaryosu ile 728 milyon ABD doları, İleri Yenilenebilir Enerji A Senaryosu ile 1,1 milyar ABD doları ve İleri Yenilenebilir Enerji B Senaryosu ile 2,1 milyar ABD doları tasarruf sağlama fırsatına sahiptir.

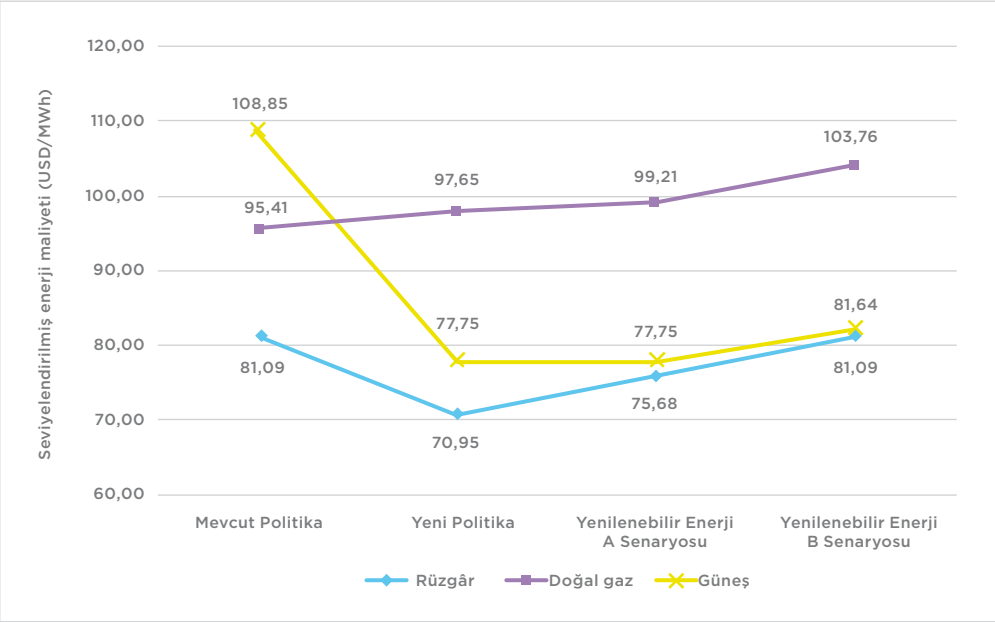
Türkiye, bu çalışmanın ortaya koyduğu yan faydaları nasıl artırabilir?

Enerji güvenliği yan faydalarının en üst düzeye çıkarılması ulusal elektrik sistemi esnekliğinin artırılmasına bağlı olacaktır. Mevcut enerji tedarik teknolojilerinde ve mekanizmalarında, enerji depolamanın artırılması gibi yollarla şebeke esnekliğinin sağlanması, yenilenebilir enerji kaynaklarının aralıklı üretim etkisini azaltabilir ve yenilenebilir enerji kaynakları daha esnek yollarla şebekeye entegre edilebilir. Şebekenin yeterince esnek olmaması, iddialı yenilenebilir enerji entegrasyon senaryolarındaki yenilenebilir enerji üretimi kesintileri yüzünden, daha yüksek seviyelendirilmiş enerji maliyetlerine (SEM) yol açmaktadır. Depolama ile sistem esnekliğinin artırılması, mevcut konvansiyonel elektrik santrallerinin esnekliğinin artırılması ve talep katılımın iyileştirilmesi, şebekeyle ilgili maliyetlerin daha da düşürülmesini sağlayabilir.

Türkiye'de kamu kurumları ve politika yapıcılar enerji güvenliğinin artırılmasına elverişli bir ortamın yaratılması için neler yapabilir?

Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sistemine entegrasyonu, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) ile birlikte yenilenebilir enerjiyi teşvik eden ve ülkenin elektrik şebekesinin güvenliğini artıran elverişli bir ortam yaratmasını gerektirmektedir. Türkiye'nin elektrik düzenleme kurumları sermaye veya işletme bütçeleri için yenilenebilir enerji kaynaklarına yerli ve yabancı yatırım çekecek ve bu yatırımları teşvik edecek mekanizmalar tasarlayabilir.

Şekil 9. Senaryo bazında seviyelendirilmiş elektrik maliyetleri, 2028 itibarıyla



Enerji Piyasası operatörü EPİAŞ tarafından yenilenebilir enerji üreticilerine verilen yeşil sertifikalar, yenilenebilir enerji üretiminin artırılmasını teşvik edebilir.[14] Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynakları için bir kapasite piyasasının oluşturulması ve genişletilmesi de Türkiye'de yenilenebilir enerji üretiminin artırılmasını teşvik edebilir. Türkiye, 1.000 MW'lık güneş ve 1.000 MW'lık rüzgâr enerjisi santral inşaatı ihalesi olmak üzere, iki YEKA ihalesini başarıyla gerçekleştirmiştir (TEİAŞ, 2019).

Türkiye'de enerji düzenleme kurumları yenilenebilir enerjiyi teşvik için bir satış tarifesi garantisi mekanizmasını 2013 yılında kurmuştur. Bu tarife, yenilenebilir enerjinin piyasa fiyatlarının üzerinde satışına izin vermektedir. Ancak yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasıyla birlikte satış tarifesinin elektrik piyasasında rekabeti azaltabileceği, bu nedenle de etkisinin azaldığı kabul edilebilir. Örneğin, Şekil 9'da farklı teknolojilerin seviyelendirilmiş enerji maliyetleri (SEM) COBENEFITS yenilenebilir enerji entegrasyonu senaryoları bazında karşılaştırılmıştır.

Şekil 9'da görüldüğü üzere, Mevcut Politika'dan Yeni Politika Senaryosu'na geçiş, doğal gazla karşılaştırıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının seviyelendirilmiş enerji maliyetlerini azaltabilmektedir. Bu da, yenilenebilir enerji kaynaklarının seviyelendirilmiş enerji maliyetlerinin elektrik piyasasındaki rekabet gücünün daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Ancak, Yeni Politika Senaryosu'ndan İleri Yenilenebilir Enerji A ve B Senaryoları'na geçiş, yenilenebilir enerji kaynaklarının seviyelendirilmiş enerji maliyetlerini artırır. Seviyelendirilmiş enerji maliyetindeki bu artış, enerji sistemindeki mevcut kısıtlardan kaynaklanan yenilenebilir enerji üretimindeki

14 Yeşil sertifikalar, elektriğin yenilenebilir enerji kaynaklarından üretildiğini garanti eden ve ticareti yapılan mallardır. (Renewable Energy World, 2020).

kesinti ile açıklanmaktadır. Bu noktada, enerji piyasası düzenleme kurumu EPDK, yenilenebilir enerji kaynaklarının seviyelendirilmiş enerji maliyetlerinde artışı önlemek için, yenilenebilir enerji kaynaklarını işletim harcamaları düzeyinde teşvik etmelidir. Böylece, elektrik piyasasında rekabet ederken sisteme daha fazla yenilenebilir enerji entegre edilebilir. İşletim harcamaları düzeyindeki yatırımlar, EPDK tarafından uygulanan ve işletme giderlerini azaltabilen, şebekenin genel güvenilirliğini artırabilen, erişilebilir ve öngörücü bir şebeke bakım yapısı aracılığıyla teşvik edilebilir.

Enerji sisteminin işletim kabiliyetleri ve sorumlulukları göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye'nin enerji planları yenilenebilir enerjinin aralıklı üretim yapan bir enerji kaynağı olduğunu dikkate almalıdır. Elektrik sisteminde enerji planlaması için sıkça yapılan bir uygulama puant ve minimum talep koşullarının uygulanmasıdır. Ancak, gelecekte yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payları artırılırken üretim profilleri de dikkate alınmalıdır. Yenilenebilir enerji planlamasına odaklanılması, sadece yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyon potansiyelini artırmakla kalmayacak, aynı zamanda üretimdeki kısıntıları da hafifleterek ilişkili seviyelendirilmiş enerji maliyetlerini de azaltacaktır.

REFERANSLAR

Akenerji 2016. AKENERJİ ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş. http://www.akenerji.com.tr/Dosya/Dokuman/investor%20presentation%20160.pdf. Istanbul: Akenerji, 2016.

Basu, Sudip Ranjan. "Retooling Trade Policy in Developing Countries: Does Technology Intensity of Exports Matter for GDP Per Capita?" *Policy Issues in International Trade and Commodities* (56). New York and Geneva: UNCTAD/ITCD/ TAB/, 2011.

Bazilian, Morgan et al. "Model and manage the changing geopolitics of energy". Nature 569, 29–31 (2019). doi: 10.1038/d41586-019-01312-5.

Bloomberg 2019. Doğal gaz tüketimi 2018'de yüzde 8,28 azaldı. https://www.bloomberght.com/haberler/haber/2200741-dogal-gaz-tuketimi-2018-de-yuzde-8-28-azaldi. Bloomberg, Şubat 2019.

City population 2018. *Natural gas imports turkey.* http://world.bymap.org/NaturalGasImports.html.

Dünya 2018a. Doğalgaz ithalatında rekor kırıldı. https://www.dunya.com/ekonomi/dogalgaz-ithalatinda-rekor-kirildi-haberi-403703. Istanbul: Dünya, Şubat 2018.

Dünya 2018b. Türkiye'nin cari açığında 'enerji' yük oldu. https://www.dunya.com/ekonomi/turkiye-nin-cari-aciginda-enerji-yuk-oldu-haberi-416032. Istanbul: Dünya, Mayıs 2018.

EIA, E. F, 2018. Annual electric generator report. *Energy Information Administration, Department of Energy.* Washington DC: EIA, 2018.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. "Milli Enerji ve Maden Politikası Tanıtım Programı" Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 16 Eylül 2019. https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Bakanlik-Haberleri/Milli-Enerji-Ve-Maden-Politikasi-Tanitim-Programi

EPDK, 2018. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. Elektrik Piyasası 2017 yılı Piyasa Gelişim Raporu [Electricity Market 2016 Progress Report]. Ankara: TEİAŞ, 2018.

EPDK, 2019. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. Elektrik Piyasası 2018 yılı Piyasa Gelişim Raporu *[Electricity Market 2016 Progress Report].* Ankara: TEİAŞ, 2019.

Euracoal, 2019. Country profile Turkey. https://euracoal.eu/info/country-profiles/turkey/. Brussels: Euracoal, 2019.

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, 2020. "ECMWF," [Online]. Available: http://www.ecmwf.int/. 2018 data.

Helgenberger, Sebastian, Martin Jänicke and Konrad Gürtler. "Co-benefits of Climate Change Mitigation." In: Leal Filho, W., et al. (Eds.), *Climate Action: Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals.* Cham: Springer International Publishing, 2019. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-319-71063-1_93-1

IASS 2017a. *Generating socio-economic values from renewable energies: An overview of questions and assessment methods.* Potsdam: IASS Working Paper, July 2017. DOI: http://doi.org/10.2312/iass.2017.016

IASS 2017b. *Mobilizing the co-benefits of climate change mitigation: Connecting opportunities with interests in the new energy world of renewables.* Potsdam: IASS Working Paper, July 2017. DOI: http://doi.org/10.2312/iass.2017.015

IASS 2019. *Strengthening International Cooperation for a Global Energy Transition.* Potsdam:

IASS Policy Brief, April 2019. DOI: http://doi.org/10.2312/iass.2019.011

IASS 2020. Reviving national economies and health systems following the COVID-19 pandemic. COBENEFITS Factsheet, May 2020 – accessible online: www.cobenefits.info

IASS/İPM 2019.*Türkiye'de Yenilenebilir Enerjiyle Sanayi Gelişimi, Ticaret Fırsatları ve* İnovasyon*: Elektrik Sektörünü Karbonsuzlaştırmanın Yan Faydalarının Analizi*. Potsdam/Istanbul: IASS/IPM

https://www.cobenefits.info/wp-content/uploads/2020/11/COBENEFITS_Industial_dev_TK.pdf

Medina, Leandro and Friedrich Schneider. *Shadow Economies Around the World: What Did We Learn Over the Last 20 Years?* International Monetary Fund (IMF) Working Paper, January 2018.

National Research Council. 2007. Coal: Research and Development to Support National Energy Policy. Washington, DC: The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/11977.

OECD. *Economic outlook, analysis, and forecasts.* 2015.

Porter, Michael. *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance.* NY: Free Press, 1985.

Renewable Energy World 2020. What Is A Renewable Energy Certificate (REC)? https://www.renewableenergyworld.com/2015/08/24/what-is-a-renewable-energy-certificate-rec/#gref. 2020.

SHURA 2018. *Türkiye'nin Enerji Sistmeninde Yenilenebilir Kaynakların Artan Payı: İletimde Genişlmeme ve Esneklik Seçenekleri.* https://www.shura.org.tr/turkiyenin-enerji-sisteminde-yenilenebilir-kaynaklarin-artan-payi-iletimde-genisleme-ve-esneklik-secenekleri/ SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, 2018.

SHURA 2019. Türkiye Enerji Sektöründe Fiyatlandırma ve Piyasa Dışı Fon Akışları. https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2019/05/raporweb_TR.pdf SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, 2019.

TEİAŞ 2018a. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Veri tabanı https://www.teias.gov.tr/tr-TR. 2018

TEİAŞ, 2018b. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. *Elektrik Piyasası 2017 yılı Piyasa Gelişim Raporu* Ankara: TEİAŞ, 2018.

Uluslararası Enerji Ajansı 2018. *Data and Statistics. Energy supply, Electricity generation by Source, Turkey.* https://www.iea.org/data-and-statistics?country=TURKEY&fuel=Energy%2supply&indicator=Coal%20production%20by%20type.Paris: IEA, 2018.

Uluslararası Enerji Ajansı 2019a. *World Energy Outlook 2018,* Paris: IEA, 2019.

Uluslararası Enerji Ajansı 2019b. *Global Energy and CO2 Status Report 2018.* Paris: IEA, 2019.

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı. *Renewable Energy Benefits: Leveraging Local Capacity for onshore wind.* Abu Dhabi: IRENA, 2017

TEİAŞ, 2019. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. *Elektrik Piyasası 2018 yılı Piyasa Gelişim Raporu [Electricity Market 2016 Progress Report].* Ankara: TEİAŞ, 2019.

Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü 2016. Sektör Raporu. http://www.tki.gov.tr/depo/2017/ KomurSektorRaporu2015.pdf. 2016



Yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı artırılırsa, 2028 itibarıyla fosil yakıt ve fosil yakıt ithalatından yılda 2.1 milyar ABD doları tasarruf sağlanabilir. © istock/Ozturk

İPM | IPC

İSTANBUL POLİTİKALAR MERKEZİ
SABANCI ÜNİVERSİTESİ
ISTANBUL POLICY CENTER
SABANCI UNIVERSITY

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

ISBN: 978-625-7329-24-8