



**Türkiye'nin Elektrik Sektöründe  
Yenilenebilir Kaynakların Artan Payı:  
İletim Şebekesi Yatırım ve Esneklik  
Seçenekleri**



**YÖNETİCİ ÖZETİ**

## SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi Hakkında

European Climate Foundation (ECF), Agora Energiewende ve Sabancı Üniversitesi bünyesindeki İstanbul Politikalar Merkezi (İPM) ortaklığında kurulan SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, yenilikçi bir enerji dönüşüm platformu olarak enerji sektörünün karbonsuzlaşmasına katkıda bulunmayı hedefler. Aynı zamanda Türkiye'deki enerji sektörünün politik, teknolojik ve ekonomik yönleri üzerine yapılan tartışmalarda sürdürülebilir ve kabul görmüş bir ortak zemine olan ihtiyacı karşılamayı amaçlar. SHURA, gerçeklere dayalı analizler ve en güncel veriler ışığında, enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji üzerinden düşük karbonlu bir enerji sistemine geçişi desteklemeyi odağına alır. Farklı paydaşların bakış açılarını göz önünde bulundurarak bu geçişin ekonomik potansiyeli, teknik fizibilitesi ve ilgili politika araçlarına yönelik bir anlayış oluşturulmasına yardımcı olur.

## Yazarlar

Philipp Godron (Agora Energiewende), Mahmut Erkut Cebeci ve Osman Bülent Tör (EPRA Elektrik Enerji) ve Değer Saygın (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi)

## Teşekkürler

Modelleme ve simülasyonlar EPRA tarafından, RWTH Aachen Üniversitesi'nin Enerji Sistemleri ve Enerji Ekonomileri Enstitüsü (Philipp Baumanns, Tobias van Leeuwen ve Marius Sieberichs) ile yakın iş birliğiyle gerçekleştirilmiştir. Stephanie Ropenus ve Markus Steigenberger (Agora Energiewende), ECF çalışanları Rebecca Collyer, Matt Philips ve Tomasz Terlecki, SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi Yönlendirme Komitesi'nden Ceren Ayas (ECF), Selahattin Hakman ve Ümit Şahin (İPM), Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'ndan Asami Miketa ve Michael Taylor ve Uluslararası Enerji Ajansı'ndan Simon Müller ise çalışmaya çok değerli incelemeleri sonrasında geri bildirim sağlamıştır.

Raporda, Ankara'da TEİAŞ ile 13 Ocak 2017 tarihinde ve YEGM ile 7 Aralık 2015 ve 25 Nisan 2017 tarihlerinde yapılan çalışma toplantıları çerçevesinde sağlanan girdilerden de yararlanılmıştır. Rapor ayrıca 19 Nisan 2018 tarihinde Berlin'de gerçekleştirilen Yenilenebilir Kaynaklı Enerji Sistemlerinde Sistem Güvenilirliği çalıştayına katılan uluslararası uzmanlar tarafından da incelenmiştir. Toplantılara katılan uzmanların yaptığı yorumlar ve öneriler son derece değerli olup, raporun nihai haline kavuşmasını sağlamıştır.

SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi ECF'in bu rapor için sağladığı cömert finansmana müteşekkirdir.

Bu rapor, [www.shura.org.tr](http://www.shura.org.tr) adresinden indirilebilir.

Daha detaylı bilgi almak veya geri bildirimde bulunmak için lütfen [info@shura.org.tr](mailto:info@shura.org.tr) adresinden SHURA ekibiyle iletişime geçiniz.

## Tasarım

Tasarımhane Tanıtım Ltd. Şti.

## Baskı

Printworld Matbaa San. Tic. A.Ş.

## Fotoğraflar

[www.ingimage.com](http://www.ingimage.com)

Telif Hakkı © 2018 Sabancı Üniversitesi

ISBN 978-605-2095-23-2

## Feragatname

Bu raporda ortaya koyulan yorumlar ve çıkarımlar yalnızca yazarlara aittir ve SHURA'nın resmi görüşünü yansıtmamaktadır.



**Türkiye'nin Elektrik Sektöründe  
Yenilenebilir Kaynakların Artan Payı:  
İletim Şebekesi Yatırım ve Esneklik  
Seçenekleri**

**YÖNETİCİ ÖZETİ**







Önümüzdeki yıllarda, Türkiye enerji sisteminde başta rüzgâr ve güneş olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarının hızla artacağı öngörülmüyor. Son yıllarda dünya genelinde elektrik üretiminde yenilenebilir enerjinin kurulu gücünde büyük bir artış gerçekleşti ve 2017 yılında Türkiye’de rekor büyüme kaydedildi. Yenilenebilir elektrik üretim teknolojilerinin kapasite artışında önemli bir hızlanma yaşanması beklenen bu dönemde, rüzgâr ve güneş enerjisinin artan paylarının Türkiye’nin elektrik sistemini nasıl etkileyeceğinin daha iyi anlaşılması gerekiyor.

Bu çalışmadaki analizler; yenilenebilir enerji konusunda öncelikli alanların belirlenmesi, enerji planlamacılarının, sistem operatörünün, yetkili makamların ve piyasa oyuncularının yenilenebilir kaynakların elektrik üretimindeki artan payı nedeniyle ihtiyaç duyulacak iletim şebekesi yatırımları konusunda bilgilendirilmesi ve yenilenebilir enerji sistemlerinin Türkiye şebekesine entegrasyonuna yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlamak amacıyla gerçekleştirildi. Türkiye’de benzer bir örneği bulunmayan bu çalışmanın, ulusal ölçekte düşük karbonlu elektrik sistemine geçiş konusundaki değerlendirmelere katkı sağlaması amaçlandı. Çalışma, dünyadaki en hızlı büyüyen ekonomilerden Türkiye’nin, artan elektrik talebini, sistem güvenliğini tehdit etmeyecek şekilde yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla karşılayabilmesinin yollarını araştırıyor.

*Türkiye, 2026 yılında toplam elektrik üretiminin %20’sini -mevcut iletim sistemi planlamasına ek bir maliyet oluşturmadan- rüzgâr ve güneş enerjisinden karşılayabilir.*

Teknoloji maliyetleri düşme eğiliminde olan rüzgâr ve güneş (bu çalışmada birlikte “değişken yenilenebilir enerji” olarak tanımlanmıştır.) enerjisinden elektrik üretimi tüm dünyada kaçınılmaz bir şekilde hızlandı. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen analizler, 2026 yılında Türkiye’nin toplam elektrik üretiminin %20’sinin -mevcut iletim sistemi planlamasına ek bir maliyet oluşturmadan- rüzgâr ve güneş enerjisinden karşılanabileceğini gösteriyor. Çalışmada hedef olarak belirlenen 2026 yılında, Baz Senaryo’da toplam rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün 20 GW olacağı varsayılarak hesaplanan iletim sistemi yatırım ihtiyacının (400 kV ve 154 kV iletim hattı ve trafo merkezleri), toplam rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün iki katına, yani 40 GW seviyesine çıkarılması durumunda değişmediği gözlemlendi. Rüzgâr ve güneş kurulu gücünün 40 GW olduğu durumda gereken toplam iletim şebekesi yatırım ihtiyacının, Türkiye Elektrik İletim A.Ş.’nin (TEİAŞ) hazırladığı On Yıllık Şebeke Gelişim Planı’nda öngörülen miktarla hemen hemen aynı seviyede olduğu durumda, yıllık toplam YAL/YAT (yük alma/yük atma) talimatlarındaki artış göz ardı edilebiliyor. Belirtilen ek yenilenebilir kapasite, rüzgâr hızı ve güneş ışınımı göz önüne alınarak trafo yüklenmeleri bazında daha geniş alanlara dağıtılsa, yenilenebilir enerjinin şebekeye entegrasyonundan elde edilecek artı değer önemli ölçüde artıyor.

**Türkiye’nin zengin yerel kaynaklarının kullanımını teşvik eden politikalar ve yenilenebilir enerji teknoloji maliyetlerindeki düşüş, rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı elektrik üretiminde artışla sonuçlanıyor. Yenilenebilir kaynaklara dayalı elektrik üretimindeki artışta rekor yaşanan 2017 yılının ardından, son dönemde gerçekleşen güneş ve rüzgâr enerjisi ihaleleri bu ivmenin devamına işaret ediyor.**

*2017’de yenilenebilir kaynak kapasitesindeki net artış (3,2 GW), fosil yakıtlara dayalı kaynaklardaki artışın (1,5 GW) iki katından yüksek gerçekleşti.*

Son yıllarda dünya genelinde yenilenebilir kaynakların kurulu gücünde büyük bir artış yaşandı. 2017 yılında Türkiye’deki yenilenebilir kaynakların kurulumundaki artış da rekor seviyede. Yenilenebilir kaynak kapasitesindeki net artış (3,2 GW) fosil yakıtlara dayalı kaynaklardaki artışın (1,5 GW) iki katından yüksek gerçekleşti. 2017 yılında 1,79 GW artan güneş enerjisi kapasitesi, 2016 yılındaki artışın üç katı seviyesinde gerçekleşerek, Türkiye’yi Avrupa’daki en büyük güneş enerjisi piyasalarından biri



**2012 yılından bu yana yenilenebilir kaynaklardaki küresel net kapasite artışları, diğer tüm teknolojilerdeki kapasite artışlarını geçti.**

haline getirdi. 2017 yılının sonunda, toplam kurulu rüzgâr kapasitesi ise 6,9 GW ile neredeyse üç katına çıktı.<sup>1</sup> Rüzgâr ve güneşten elde edilen enerji üretimi, Türkiye'nin toplam elektrik enerjisi üretiminin %7'sini oluşturuyor.<sup>2</sup> 2017 yılındaki ihalelerde yaklaşık 5 GW'lık rüzgâr ve güneş enerjisi proje lisans ve ön lisansları ihale edildi ve bu büyümenin devam etmesi öngörülüyor.

Son yıllardaki güneş, rüzgâr ve diğer yenilenebilir enerji teknolojisi maliyetlerindeki önemli düşüş, düşük karbonlu enerji alanında yeni bir çağ başlattı. 2012 yılından bu yana yenilenebilir kaynaklardaki küresel net kapasite artışları, diğer tüm teknolojilerdeki kapasite artışlarını geçti. 2016 yılında küresel ölçekte yenilenebilir enerji kapasitesindeki artış, kömür ve doğal gazdaki net artışın iki katını buldu (161 GW).<sup>3</sup> Son dönemde gerçekleştirilen büyük ölçekli güneş ve rüzgâr enerjisi ihaleleri, Türkiye'nin de bu gelişmelerden etkilendiğini gösteriyor. İhalelerde kazanan teklifler, kilovatsaat (kWh) başına rüzgâr enerjisi için 3,48 ¢ (ABD dolar sent) ve güneş enerjisi için 6,99¢ ile sabit fiyat ve alım garantisinin (feed-in tariff) çok altında seyretti. 2017 yılında ön lisans ihalelerini kazanan projelerin çoğu sabit fiyat ve alım garantisine tabi olmadığı gibi, bazıları şebekeye lisans hakları için üretecekleri kilovatsaat elektrik üzerinden TEİAŞ'a ödeme yapmayı taahhüt etti.

Rüzgâr ve güneş enerjisi bakımından zengin kaynaklara sahip Türkiye'nin yenilenebilir enerjiye dayalı elektrik üretiminde potansiyeli oldukça yüksek. Bu alanda küresel olarak büyüyen iş fırsatlarını, ülkenin dört bir yanındaki zengin potansiyelle değerlendirmek için ise zamanlama önemli. Ege kıyıları boyunca rüzgâr enerjisi üretimi için en uygun bölgelere yatırımlar yapılıyor. Güneş enerjisi açısından ise ülkenin güneyinde birçok fırsat mevcut. Bunun yanı sıra, arsa bedellerinin ucuz olduğu tarıma elverişsiz alanlarda ve talep merkezlerine yakın birçok bölgede, güneş ve rüzgâr enerjisi açısından büyük bir potansiyel bulunuyor.

Türkiye, küresel ölçekte en hızlı büyüyen ekonomilerden biri haline geldi. 2010 ve 2016 yılları arasında ülkenin Gayri Safi Yurtiçi Hasılası (GSYH) %4,8 artış göstererek<sup>4</sup> OECD ülkeleri arasında ikinci sırada yer aldı. Aynı dönemde, nüfusu yıllık %1,6 artarak 2016 yılında 78 milyonu aştı. 2010 yılından itibaren ülkedeki toplam elektrik talebi yıllık ortalama %4,3 arttı ve bu artış eğiliminin devamı bekleniyor.

2016 yılında 78,5 GW olan toplam kurulu güç, 2017 yılında 83 GW'ı geçti. Bu toplam kapasitenin yarısı, hidroelektrik santrallerin de dahil olduğu yenilenebilir enerji kaynaklarından, diğer yarısı ise fosil yakıtlardan oluşuyor. Yıllık elektrik üretiminin %70'inden fazlası fosil yakıtlardan sağlanıyor. Ülkedeki elektrik üretiminin %29,3'ü ise yenilenebilir kaynaklardan, özellikle hidroelektrik ve rüzgâr enerjisinden karşılanıyor. Güneş enerjisinin elektrik üretimindeki payı ise yalnızca %1'dir. Türkiye, artan enerji talebini karşılamamın yanı sıra mevcut enerji ihtiyacının %75'inin ithal edildiği bağımlılığın kırılmasını da hedefliyor. Yenilenebilir enerji, bu hedefe ulaşmada temel bir yapı taşı olarak öne çıkıyor.

**Rüzgâr ve güneş enerjisinden elektrik üretimi değişken özelliktedir. Başka bir deyişle, üretilen enerji rüzgâr seviyesine ve güneş ışınım miktarına bağlı değişkenlik gösterir. Bu durum, anlık üretim tüketim dengesinin sağlanması açısından şebekede zorluk yaratmaktadır. Dünyadaki örnekler bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarının %15 veya daha fazla paya sahip olduğu durumlarda sistem planlaması ve işletiminde büyük ölçekli ek önlemlere gerek kalmadan şebekeye entegrasyon sağlanabiliyor.**

<sup>1</sup> Wind Europe (2018), Wind in Power 2017. Yıllık birleşik kara üstü ve deniz üstü rüzgâr enerjisi istatistikleri.

<sup>2</sup> Bkz. [http://www.emo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=88369](http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369);

Enerji IQ (2018), Turkey's Energy Market Report, No: 2018 / 93 Year: 4, 13 March 2018.

<sup>3</sup> IRENA (2017): Yenilenebilir Kaynak Kapasitesi İstatistikleri 2017.

<sup>4</sup> 2010 yılında sabit ABD Doları kuruyla.

**Yenilenebilir enerjinin daha yüksek paya sahip olduğu elektrik güç sistemlerinin; enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, ticaret dengesinin sağlanması, ekonomik faaliyetin artması, yeni istihdam olanakları sağlanması ve daha temiz bir çevre gibi ek faydaları bulunuyor.**

Yenilenebilir enerjinin daha yüksek paya sahip olduğu elektrik sistemlerinin; enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, ticaret dengesinin sağlanması, ekonomik faaliyetin artması, yeni istihdam olanakları sağlanması ve daha temiz bir çevre gibi ek faydaları bulunuyor. Ancak sektördeki birçok paydaş ve sistem operatörü, rüzgâr ve güneş enerjisinin toplam kapasitedeki payının artışı, sistem güvenilirliği ve esnekliği açısından ek maliyetlere ve işletme sıkıntlarına yol açan bir zorluk olarak görüyor.

Son yıllarda küresel ölçekte birçok örnek, güneş ve rüzgârdan elektrik üretiminin yıllık payının %15 ve üzeri seviyelere çıkarılmasının sisteme etkisini, şebeke işletimi bakımından ek faktörlerin göz önüne alınması ve zamanlama planıyla sınırlı olduğunu gösteriyor.



**Şekil 1:** Güneş ve rüzgâr enerjisi üretiminin farklı ülkelerdeki payı, 2015<sup>5</sup>

Küresel ölçekte, elektrik üretiminde rüzgâr ve güneş enerjisinin payının sistemde bir değişikliğe gidilmeden %25'e çıktığı örnekler bulunuyor. Bu yüzde, birçok ülkede yılın belirli saatlerinde talebin %80'inden fazlasının karşılanması anlamına geliyor. Kaliforniya, Almanya ve İspanya'daki elektrik sistemlerinde komşu ülkelerin sistemleriyle bağlantı (enterkonneksiyon) kapasitesinin güçlendirilmesi, fosil yakıtla çalışan santrallerin esnekliğini artırmış, böylece şebekede yaşanan kısıtlarda ihtiyaç duyulan yenilenebilir enerji üretim kesinti miktarı sınırlanmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken üretim özelliği, elektrik fiyatlarındaki dengesizlikler ve düşük kapasite kullanım oranları nedeniyle fosil yakıtla çalışan santral yatırımlarında yaşanan zorluklar, bazı ülkeleri elektrik piyasalarında uyarlamalara gitmeye yöneltmiştir.

**Rüzgâr ve güneş enerjisinin artan payının Türkiye'nin enerji sistemini nasıl etkileyeceğinin daha iyi anlaşılması gerekiyor. Türkiye'de benzer bir örneği bulunmayan bu çalışma, ulusal ölçekte düşük karbonlu elektrik sistemine geçiş konusundaki değerlendirmelere katkı sağlamayı hedefliyor.**

Yenilenebilir kaynakların toplam elektrik üretimindeki payının artmasıyla şebekede yaşanabilecek sıkıntıları daha iyi anlamak ve en etkin önlemleri alabilmek için ulusal ölçekte analizler yapılması gerekiyor. Bu amaca hizmet eden çalışmanın -Türkiye

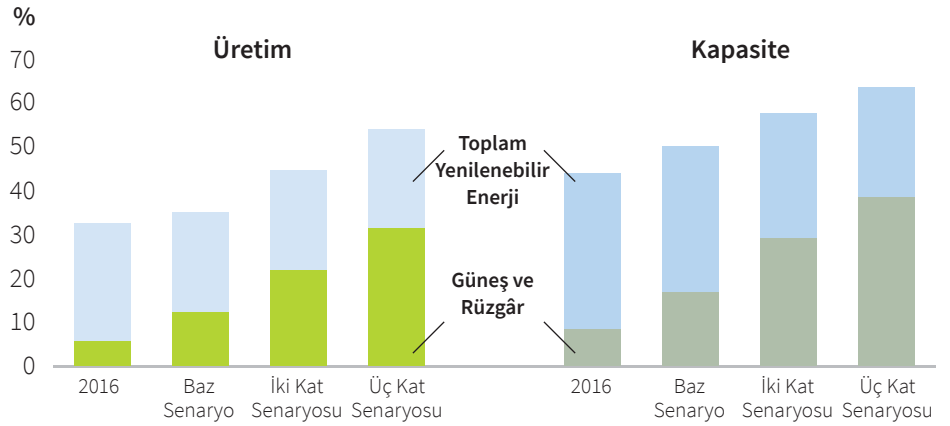
<sup>5</sup> Uluslararası Enerji Ajansı (2017). World Energy Balances 2017 edition. OECD/IEA, Paris.

ölçeğinde ilk kez gerçekleştirilerek- Türkiye'nin temiz enerjiye geçiş sürecinde; karar alıcılara, sistem operatörüne, düzenleme kurumuna ve tüketicilere katkı sunması amaçlandı.

Çalışma, yenilenebilir enerjinin kurulu gücündeki artışın entegrasyon stratejilerine etkisini yenilikçi ve bilimsel yöntemlere dayalı simülasyonlarla sektör paydaşlarına iletmeyi amaçlıyor.<sup>6</sup>

2016-2026 dönemini kapsayan rapor, 2026 yılında toplam rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün toplam kapasitedeki payını üç senaryo üzerinden analiz ediyor: i) Baz Senaryo (TEİAŞ'ın mevcut planları doğrultusunda 14 GW rüzgâr ve 6 GW güneş enerjisi olmak üzere toplam 20 GW); ii) İki Kat Senaryosu (rüzgâr ve güneş enerjisi toplam kurulu gücünün Baz Senaryo'nun iki katına çıkarıldığı toplam 40 GW); iii) Üç Kat Senaryosu (rüzgâr ve güneş enerjisi toplam kurulu gücünün Baz Senaryo'nun üç katına çıkarıldığı toplam 60 GW). Fotovoltaik güneş teknolojisinde yaşanan hızlı maliyet düşüşü göz önünde bulundurularak, İki Kat ve Üç Kat senaryolarında güneş ve rüzgâr enerjisi kurulu güçleri eşit varsayıldı.<sup>7</sup> Bu kapasite değerleri, en olası ya da en çok hedeflenen değerleri yansıtmamaktadır. Buradaki amaç, şebekede yaşanabilecek zorlukları ve sistem üzerindeki etkileri daha iyi değerlendirebilmek amacıyla farklı senaryolar geliştirmek oldu.

Rüzgâr ve güneş enerjisinin 2026 yılında toplam kurulu güçteki payı Baz Senaryo'da %12, İki Kat Senaryosu'nda %21, Üç Kat Senaryosu'nda ise %31. Hidroelektrik, jeotermal ve biyokütle enerjisinin toplam yenilenebilir enerji üretimindeki payı sırasıyla %35, %44 ve %53 olarak varsayıldı.



**Şekil 2:** Senaryolarda güneş, rüzgâr ve toplam yenilenebilir enerji yüzdeleri, 2016-2026

Senaryolarda rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı toplam kurulu gücün dağılımı iki farklı strateji altında incelendi: i) rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımlarını kapasite kullanım oranlarının en yüksek olduğu yerde konumlandırılan kaynak odaklı (resource-driven) dağılım; ii) rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımlarını yük merkezlerindeki güç trafolarının kapasiteleri göz önünde bulundurularak ülke ölçeğinde dengeleyen sistem odaklı (system-driven) dağılım. Çalışmada şebekenin esnekliğini artıran faktörlerin etkisi de

<sup>6</sup> Karmaşık yapısı ve veriye erişimdeki sıkıntılar nedeniyle dağıtım şebekesi çalışma kapsamında modellenmemiştir. Uzun mesafeli güç iletiminin dağıtım şebekesi üzerinde ciddi bir etkisi bulunmamaktadır. Yenilenebilir kaynakların dağıtım şebekelerine entegre edilmesinin zorlukları ve oluşan maliyetler büyük oranda yenilenebilir kaynaklara yönelik arz ve talep oranlarına, bunların etkin planlanmasına ve rüzgâr ve güneş enerjisinin şebekeye bağlantısının takip ve kontrol edilmesine bağlıdır.

<sup>7</sup> Konsantrasyon güneş enerjisi, yüksek yatırım maliyetleri nedeniyle öne çıkan bir seçenek değildir, bu nedenle analizde yer verilmemiştir.



analiz edildi. Verimli bir kıyaslama yapabilmek adına üç senaryoda girdiler sabit kabul edilip, gerçek şebeke verileri kullanıldı ve TEİAŞ'ın mevcut şebeke işletim ve planlama kriterleri göz önüne alındı.

Yenilenebilir Enerji Şebekesi Entegrasyonu Stratejileri		Simülasyon Senaryoları		Sonuçların Değerlendirilmesi için Parametreler	
Ana Senaryolar Kaynak Odaklı Dağıtım	Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Üretimini Kaynak Kalitesini Göre Ayırma	Baz Senaryo 20 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kaynak Odaklı	İki Kat (x2) 40 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kaynak Odaklı	Üç Kat (x3) 60 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kaynak Odaklı	<ul style="list-style-type: none"> <li>İletim Yatırımları (milyon Euro cinsinden)</li> <li>YAL/YAT Talimatı Miktarları (TWh/yıl ve toplam üretiminin %'si cinsinden)</li> </ul>
Strateji 1 Sistem Odaklı Dağıtım	Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Üretimini Kaynak Kalitesi ve Yerel Talebi Dengeleyerek Yeniden Dağıtma		40 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Sistem Odaklı	60 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Sistem Odaklı	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kesintisi (TWh/yıl ve toplam üretiminin %'si cinsinden)</li> </ul>
Strateji 2 Esneklik Seçenekleri	Depolama Sistemleri (Pompaj Depolama ve Batarya) Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kesintisi ve Talep Katılımı Esnek Termik Ünite		40 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Kaynak Odaklı* Esneklik	60 GW Rüzgâr ve Güneş Enerjisi Sistem Odaklı* Esneklik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hatlarda Kısıt Süresi (yıllık saat cinsinden)</li> </ul>

\* Sistem sonuçları ve bu senaryonun kaynak odaklı değerlendirme arasında sadece küçük farklılıklar söz konusu olduğundan değerlendirme için kaynak odaklı dağıtım baz alındı.

Şekil 3: Senaryo yaklaşımı

Güneş ve rüzgâr enerjisi kurulu gücünün Baz Senaryo'ya göre iki kat artırılarak 40 GW'a çıkarılması, sistem işletim ve planlama açılarından belirgin bir etki yaratmıyor. Baz Senaryo'da (20 GW) öngörülen şebeke yatırımları ve İki Kat Senaryosu sonuçları, yıllık toplam YAL/YAT talimatlarındaki artışın göz ardı edilebilir olduğunu ortaya koyuyor. Her iki senaryoda da iletim şebekesi için gerekli yıllık ortalama yatırım miktarı yaklaşık 390 milyon Euro'dur. Bu meblağ TEİAŞ tarafından hazırlanan On Yıllık Şebeke Gelişim Planı'nda belirtilen yatırım miktarıyla aynı seviyededir.

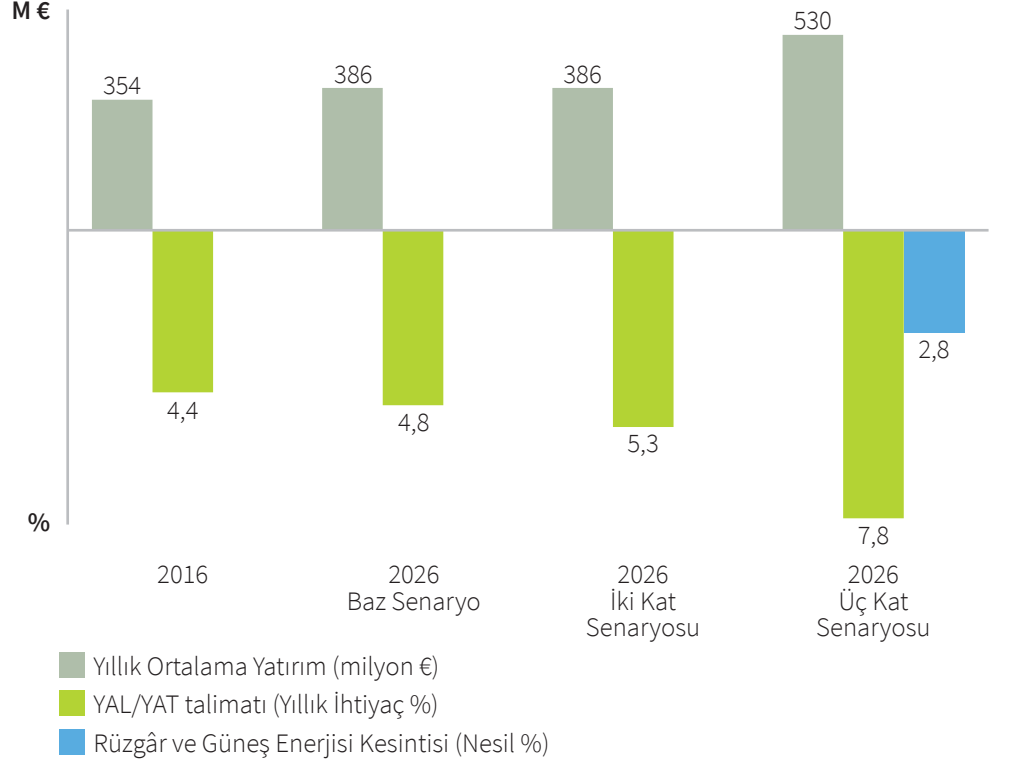
Türkiye'nin 2026 yılındaki toplam elektrik üretiminin, 2016'daki 272 TWh'den yıllık ortalama %5 artışla, 439 TWh'a ulaşacağı varsayıldı.

Baz Senaryo'da 400 kilovolt (kV) ve 154 kV şebeke TEİAŞ'ın On Yıllık Şebeke Gelişim Planı'na dayandırıldı. 8.900 km'lik yeni 400 kV hattı, 10.700 km'lik yeni 154 kV hattı ve 61 adet yeni 400 kV/154 kV trafo merkezi kurulacağı öngörüldü. Bu yatırımların maliyetinin 2016-2026 arasında yıllık yaklaşık 390 milyon Euro olacağı öngörüldü. Bu sonuç, geçtiğimiz beş yıllık süreçte gerçekleşen yatırım ihtiyacının benzer şekilde devam edeceğini gösteriyor. Yapılacak yeni yatırımların çoğu Batı Anadolu Bölgesi'nde, Ege Denizi kıyılarında, İç Anadolu ve Trakya bölgeleri arasında ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde öngörülüyor.

**Baz Senaryo'da öngörülen şebeke yatırımlarına ek, bir yatırıma ihtiyaç olmadan rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücü Baz Senaryo'nun iki katına, yani 40 GW'a çıkabilir.**

Analiz, Baz Senaryo'da öngörülen şebeke yatırımlarına ek bir yatırıma ihtiyaç olmadan rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün Baz Senaryo'nun iki katına, yani 40 GW'a çıkabileceğini gösteriyor. Bu yatırım miktarı, Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) kapsamında planlanan büyük ölçekli santrallerin şebekeye entegrasyonu için gerekli bağlantı yatırımlarını kapsamıyor.

Baz Senaryo'da, 2026 yılı YAL/YAT talimat miktarının toplam elektrik üretimindeki payı 2016'nın %4,8'i olarak öngörülüyor. İki Kat Senaryosu'nda YAL/YAT talimatı bir nebze artarak, %5'lik bant aralığında seyrediyor.<sup>8</sup> Rüzgâr ve güneş enerjisi üretiminde ihtiyaç duyulan kesinti miktarı göz ardı edilebilir seviyede bulunuyor.<sup>9</sup> Talebin yaklaşık %20'sini rüzgâr ve güneş enerjisinden sağlayan Almanya'yla karşılaştırıldığında, 2016 yılındaki rüzgâr ve güneşten elektrik üretiminin %3,3'ü şebeke yatırımlarında yaşanan gecikmeler nedeniyle kesintiye uğradı.<sup>10</sup>



**Şekil 4.** 2016 ve 2026 ana senaryolar için iletim şebekesi yatırımları, YAL/YAT talimatları ve kesinti sonuçları

**Şebeke entegrasyon stratejilerinin etkin uygulanmasıyla rüzgâr ve güneş kurulu gücü Baz Senaryo'nun üç katına çıkabilir. Üretim alanları önceliklendirilirken kapasite faktörünün yanı sıra bölgedeki tüketim miktarının göz önünde bulundurulmasının (sistem odaklı yaklaşım) yanı sıra iletim şebekesi kapasitesinin ve şebeke esnekliğinin artırılması da gerekiyor. İletim şebekesine yapılacak ekle yıllık 430 milyon Euro'yu bulan yatırım, Üç Kat Senaryosu'nda YAL/YAT talimatlarının makul seviyelerde gerçekleşmesine ve %1'den az yenilenebilir enerji kesintisine ihtiyaç duyulmasına imkân tanıyor.**

**Güneş ve rüzgâr toplam kurulu gücünün 2026 yılında üç katına çıkarılarak 60 GW'a yükseltilmesi, bu kaynakların %31 üretimle en büyük kaynaklardan biri olmasına anlamına geliyor.**

Güneş ve rüzgâr toplam kurulu gücünün 2026 yılında üç katına çıkarılarak 60 GW'a yükseltilmesi, bu kaynakların %31 üretimle en büyük kaynaklardan biri olmasına anlamına geliyor. Bu senaryoda, tüm yenilenebilir kaynakların üretimi, Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin yarısına denktir. Kısa dönemli marjinal maliyet (short-term marginal cost, SRMC) analizi, yenilenebilir kaynakların oranının artırılmasının, termik santrallerden sağlanan enerji miktarında azalmayla sonuçlandığını gösteriyor. Başka bir deyişle doğal gaz, linyit ve ithal kömürle çalışan santraller en çok etkilenenler olarak öne çıkıyor.

<sup>8</sup> YAL/YAT talimatları elektrik piyasasında arz-talep dengesini ve sistem güvenliğini sağlamak amacıyla verilmekte, ek maliyetlere sebep olmaktadır.

<sup>9</sup> Aşırı düşük yük seviyeleri yaşanan bayram gibi dönemlerde rüzgâr koşulları ve güneş ışınım seviyelerine göre birkaç saatliğine kesinti yapılması gerekebilmektedir. Bu kesintiler yıllık rüzgâr ve güneş enerjisi üretiminin %0,1'i olup göz ardı edilebilir düzeydedir.

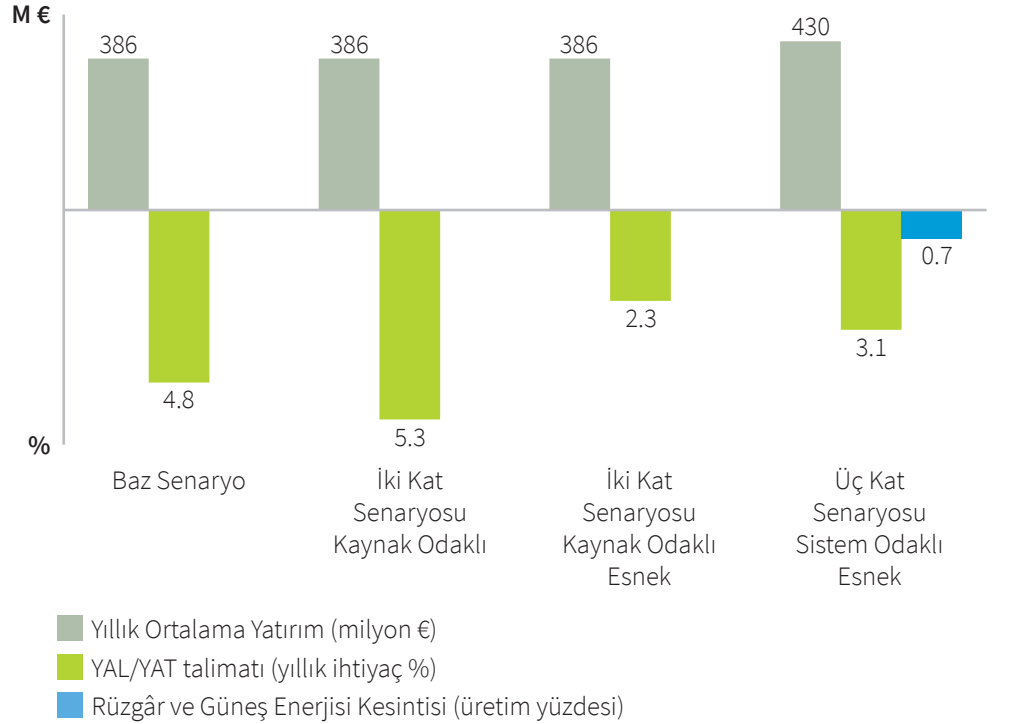
<sup>10</sup> Bundesnetzagentur (2017): EEG 2016 in Zahlen.

60 GW Senaryosu'nda şebeke entegrasyon stratejilerinin göz ardı edilmesi, Baz Senaryo ve İki Kat Senaryosu'na göre iletim hatlarında %30, trafo merkezi yatırımlarında %20 artışla sonuçlanıyor. Gerekli yatırım miktarı da 530 milyon Euro'ya yükseliyor.<sup>11</sup>

Rüzgâr ve güneş potansiyelinin yanı sıra, enerji talebi ve trafo kapasitesinin göz önüne alındığı sistem odaklı dağılım stratejisiyle yaklaşık %50 yenilenebilir kapasite artışının, ek yatırım ihtiyacı olmadan şebekeye entegre edilebileceği görülüyor. Örneğin, Üç Kat Senaryosu'nda kaynak odaklı stratejiyle belirlenen iletim hattı yatırım ihtiyacının (8.300 km), sistem odaklı stratejiyle hesaplanan iletim hattı yatırım ihtiyacından %70 daha düşük olduğu gözleniyor (2.750 km). Aynı zamanda YAL/YAT talimat seviyeleri de %7,8 yerine %6,6 olarak gerçekleşiyor. Ayrıca, sistem odaklı stratejide, şebeke kısıtları nedeniyle ihtiyaç duyulan yıllık rüzgâr ve güneş enerjisine dayalı üretim kesinti miktarı, toplam üretim miktarının %1'inden daha düşük.

**Rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün sistem odaklı dağıtım ekonomik avantajlar da sunuyor.**

Rüzgâr ve güneş enerjisi kurulu gücünün sistem odaklı dağıtım ekonomik avantajlar da sunuyor. Türkiye'de rüzgâr ve güneş enerjisi kapasitesinin yüksek olduğu alanların geniş bir coğrafyaya yayılmış olması, dağıtılmış rüzgâr ve güneş enerjisi üretimi için seviyelendirilmiş elektrik maliyetlerindeki artışı %5'ten az, yani göz ardı edilebilir seviyede tutuyor. Bu durum ayrıca, Türkiye'deki tüm bölgelerde rüzgâr ve güneş açısından cazip yatırım olanakları yaratıyor, bölgeye sağladığı artı değerini yanı sıra iletim sisteminin gelişimini ve işletimini olumlu etkiliyor.

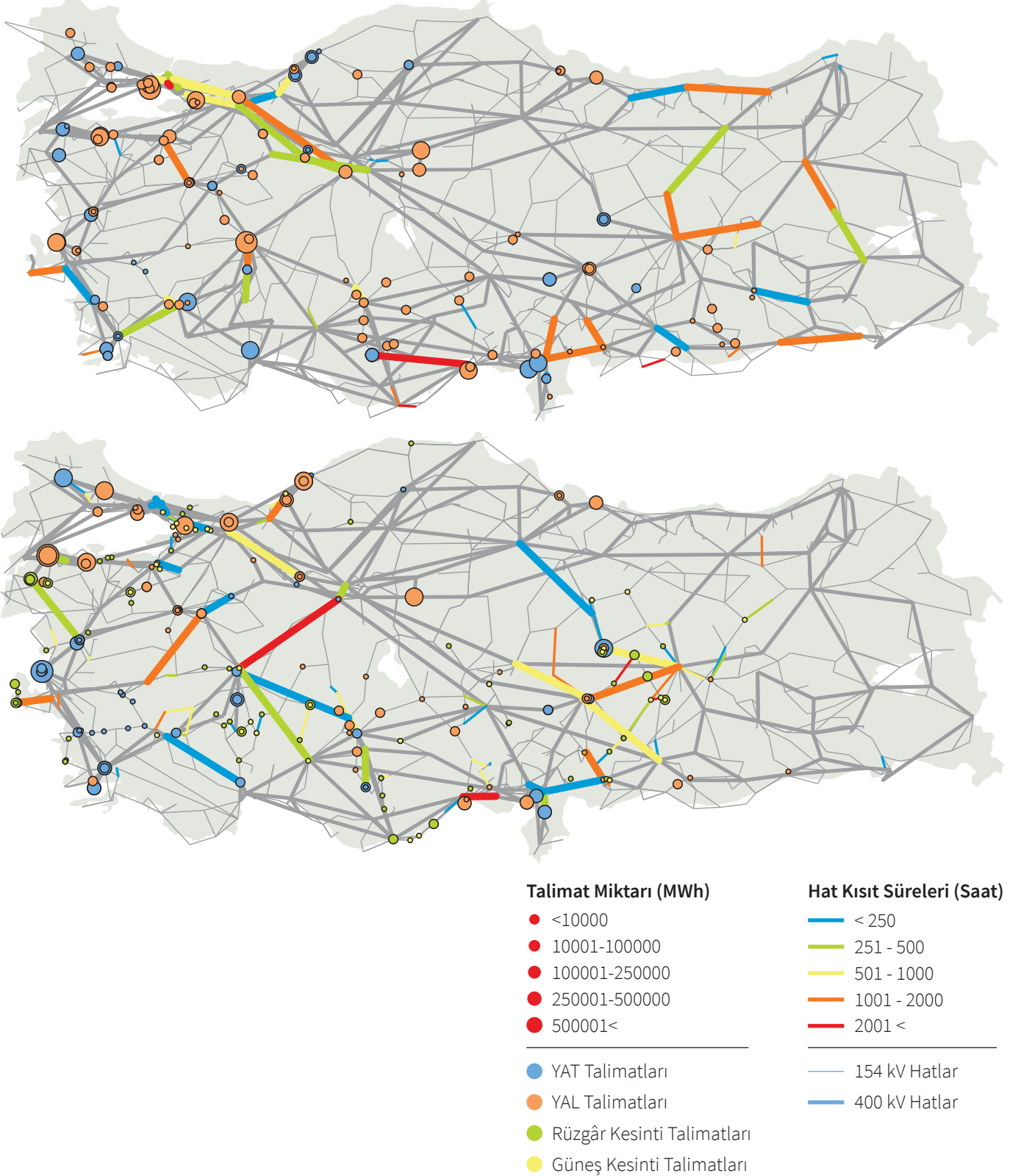


**Şekil 5.** 2026 ana senaryoda yenilenebilir enerji kapasite dağılımı ve şebeke esneklik yaklaşımlarının; iletim şebekesi yatırımları, YAL/YAT talimatları ve kesinti sonuçlarına etkileri

Şebeke esnekliğini artıran çözümler, güneş ve rüzgârın entegrasyonunu kolaylaştırır. Pompaj depolamalı hidroelektrik santral ve akü başta olmak üzere depolama teknolojileri, modernize edilmiş kömürlü termik santraller ve talep katılım mekanizmaları şebeke esnekliğini artıran unsurlardır. 2 GW depolama sistemi (pompaj

<sup>11</sup> Yenilenebilir enerji santrallerinin şebeke bağlantı yatırımları dahil değildir.

depolamalı hidroelektrik santral ve akü toplamı) modellenerek gerçekleştirilen analizlerde, hem İki Kat, hem Üç Kat senaryolarındaki YAL/YAT talimatı seviyeleri günümüzdekinin oldukça altında seyrediyor. Şebeke esnekliği, yenilenebilir enerji kesinti ihtiyacını olumlu etkiliyor. Üç Kat Senaryosu'nda belirtilen kesinti seviyesinin %1'in altında olduğu görülüyor.



**Şekil 6.** Baz Senaryo ve şebeke esneklik stratejileri altında Üç Kat Senaryosu için YAL/YAT talimatları, darboğazlar ve yenilenebilir enerji üretim kesintileri haritası (2026)





**Analiz, Türkiye'nin enerji sistemine rüzgâr ve güneşin entegrasyonu konusunda planlayıcıların ve sistem operatörünün önceliklerini belirlemeyi amaçlayan ilk çalışmadır. Bulgular, ilgili tüm paydaşların bakış açısını içeren temiz enerji yol haritasının başlangıcı niteliğindedir.**

*Çalışma, Türkiye'nin toplam elektrik ihtiyacının %20'sinin on yıldan kısa bir sürede rüzgâr ve güneşten karşılanabileceğini ve bu durumun iletim sisteminin işletmesine ve planlamasına olumsuz bir etki yaratmayacağını ortaya koyuyor.*

Analiz, Türkiye'nin toplam elektrik ihtiyacının %20'sinin on yıldan kısa bir sürede rüzgâr ve güneşten karşılanabileceğini, bu durumun iletim sisteminin işletmesine ve planlamasına olumsuz bir etki yaratmadığını gösteriyor.

Türkiye'nin düşük karbonlu enerji sistemine geçiş için diğer ülkelerle birlikte hazırlanması gerekiyor. Elektrik sistemi planlamasının bu kapsamda yeniden değerlendirilmesi süreçte önemli rol oynuyor. Arz ve talep eğilimlerindeki değişimlerin, veri toplama, veri şeffaflığı ve veri yönetiminin önem kazanmasının, rüzgâr ve güneş gibi kaynaklara dayalı elektrik üretiminin yaygınlaşmasının ve depolama teknolojilerinin kullanıma girmesinin, sistem operatörünün planlama sürecinde daha önemli hale gelmesi öngörülüyor.

Sistem maliyetlerinin azalması, elektrik talebindeki artışın ekonomik büyümeyle ayrışmasında büyük önem teşkil ediyor.

Talep arttıkça ve şebeke genişledikçe, elektrik üretim kapasitesinde de artış bekleniyor. Rüzgâr ve güneş enerjisinin payındaki artış, esnek termik santrallere olan ihtiyacı da ortaya çıkarıyor. Bu ihtiyacın da sistem planlamacıları tarafından göz önünde bulundurulması gerekiyor. Şebekenin esnekliğini artırıcı mekanizma ve teknolojilerin yatırım maliyetleri değerlendirilirken teknik özellikleri, kaynak imkanları, bölgesel etkileri ve çevre üzerindeki etkilerinin de değerlendirilmesi azami önem taşıyor.

**Bu çalışma, Türkiye'de rüzgâr ve güneşten üretilen elektriğin sistem entegrasyonu planlaması açısından mihenk taşı niteliği taşıyor.**

Türkiye ölçeğinde, enerji sistemini artan yenilenebilir kaynaklara hazırlayan bir yol haritası çizilmesi gerekiyor. Bu anlamda, karar vericilerin belirleyeceği hedefler doğrultusunda yeni düzenlemeler, teşvik programları ve etkin şebeke planlaması için yeni çalışmalara duyulan ihtiyaç ortaya çıkıyor.

### **İstanbul Politikalar Merkezi**

İstanbul Politikalar Merkez (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: İPM-Sabancı Üniversitesi-Stiftung Mercator Girişimi, Demokratikleşme ve Kurumsal Reform, Çatışma Çözümü ve Arbuluculuk. 2001 yılından bu yana İPM, karar alıcılara, kanaat önderlerine ve paydaşlara uzmanlık alanına giren konularda tarafsız analiz ve yenilikçi politika önerilerinde bulunmaktadır.

### **European Climate Foundation**

European Climate Foundation (ECF) Avrupa'nın düşük karbonlu bir toplum haline gelmesine yardımcı olabilmek ve iklim değişikliğiyle mücadelede uluslararası alanda güçlü bir lider rolü oynayabilmek amacıyla kurulmuştur. ECF, her türlü ideolojiden uzak kalarak düşük karbonlu bir topluma geçişin "nasıl" olacağı konusunu odağına alır. Ortaklarıyla yaptığı iş birliği kapsamında ECF, bu geçişte kilit rol oynayacak patikaları ve farklı alternatiflerin sonuçlarını ortaya çıkararak bu tartışmalara katkı sağlamayı hedefler.

### **Agora Energiewende**

Agora Energiewende; Özellikle Almanya ve Avrupa olmak üzere tüm dünyada temiz enerjiye başarılı bir geçiş yapılmasını sağlamak amacıyla veri odaklı, politik açıdan uygulanabilir stratejiler geliştirir. Bir düşünce kuruluşu ve politika laboratuvarı olan Agora; yapıcı bir fikir alışverişi sağlarken siyaset, iş ve akademi dünyasından paydaşlarla da bilgi birikimini paylaşmayı hedefler. Kâr amacı gütmeyen ve bağışlarla finanse edilen Agora, kendini kurumsal ve siyasi çıkarlara değil, iklim değişikliğiyle mücadeleye adanmıştır.



Bankalar Caddesi, No:2  
Minerva Han Kat: 3  
34420 Karaköy / İstanbul  
Tel: +90 212 292 49 39  
E-mail: info@shura.org.tr  
[www.shura.org.tr](http://www.shura.org.tr)

SHURA Kurucu Ortakları:

