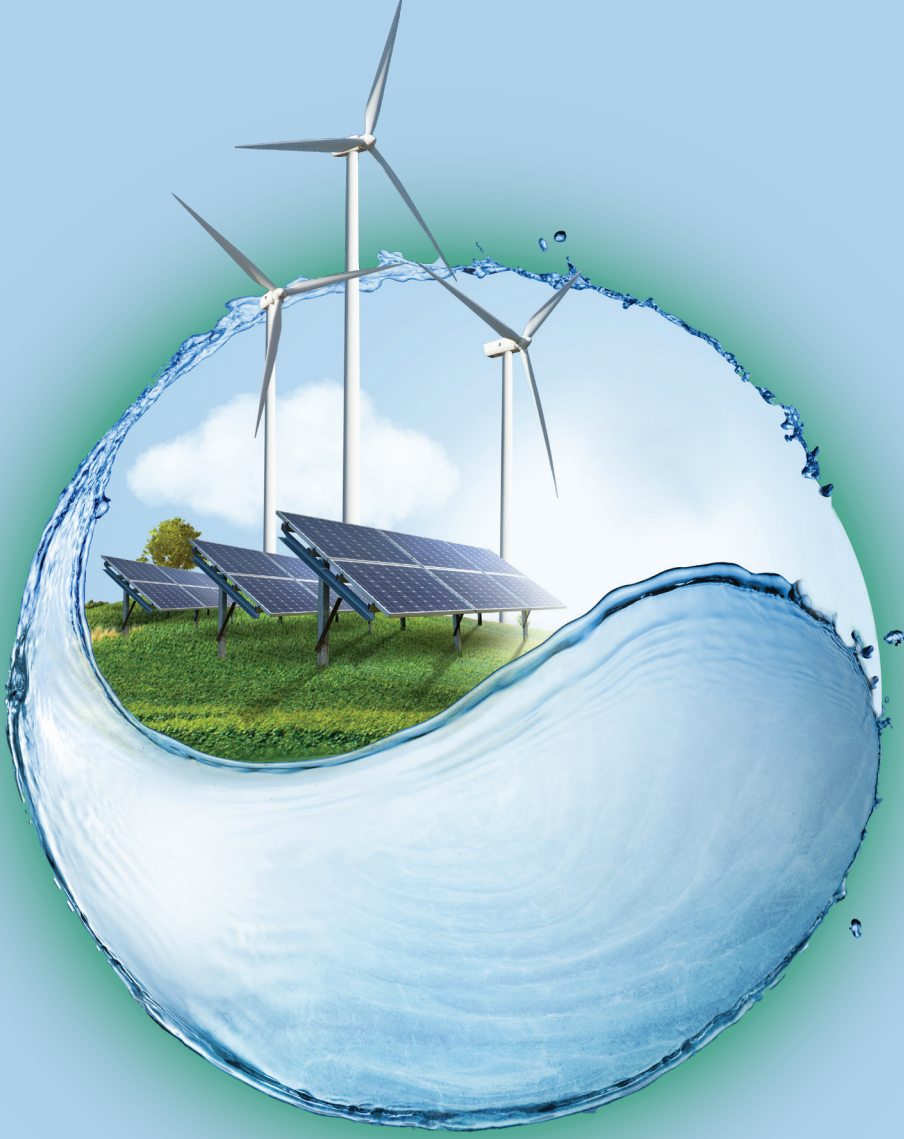


TÜRKİYE YENİLENEBİLİR ENERJİ GÖRÜNÜMÜ | 2022



Yönetici Özeti

Executive Summary

Sabancı
Üniversitesi

IICEC

SABANCI UNIVERSITY
ISTANBUL INTERNATIONAL
CENTER FOR ENERGY AND CLIMATE

IICEC

SABANCI UNIVERSITY
ISTANBUL INTERNATIONAL
CENTER FOR ENERGY AND CLIMATE

IICEC Hakkında

Sabancı Üniversitesi İstanbul Uluslararası Enerji ve İklim Merkezi (IICEC), geleceğe yönelik bir bağımsız araştırma ve politika merkezi olarak, enerji ve iklim konularında nesnel, kaliteli araştırmalar yapmak üzere kurulmuştur.

IICEC, kamu-sanayi-akademi iş birliklerini destekleyen başarı üçgeni modeli içerisinde, enerji ve iklim gündeminde gerçekleştirdiği ulusal, bölgesel ve uluslararası çalışmalar ile daha temiz ve güvenli enerji geleceğine katkı sunmaktadır.

Bölgedeki en seçkin üniversitelerden birinin bünyesinde yer alan IICEC, Türkiye enerji sektörüne stratejik ve bütüncül bakış perspektifiyle analitik çalışmalar gerçekleştirmekte, aynı zamanda enerji ve iklim alanlarında kilit paydaşları bir araya getiren seçkin bir platform sağlayarak fikir alışverişini ve gelişimini de teşvik etmektedir. IICEC tarafından 2020 yılında Türkiye’de bir ilk olarak yayımlanan “Turkey Energy Outlook”, enerji sektörünün verimli, güvenli, rekabetçi, teknoloji-odaklı ve sürdürülebilir geleceğini somut öneriler ile desteklemektedir.

<https://iicec.sabanciuniv.edu>

[in iicec-sabancı-university-istanbul-international-center-for-energy-and-climate](https://www.linkedin.com/company/iicec-sabancı-university-istanbul-international-center-for-energy-and-climate)

[t sabancıu_iicec](https://twitter.com/sabancıu_iicec)

Yönetici Özeti

Yönetici Özeti

Genel Bakış ve TREO Senaryoları

Yenilenebilir enerji, enerji verimliliği ile birlikte Türkiye'nin artan enerji talebinin sürdürülebilir koşullarda sağlanabilmesi ve gelişen enerji sisteminin güvenli ve temiz enerji geleceği için en kritik başarı faktörlerinden biridir. Geçtiğimiz otuz yıl içerisinde kaynaklar bazında dağılımı önemli değişkenlik göstermiş olmakla birlikte yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki katkısı genelde %35-%45 seviyesinde gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerjinin 1990 yılında nihai enerji talebine, büyük bölümü geleneksel biyokütle kaynaklarından gelmek üzere yaklaşık %20 olan doğrudan katkısı ise, doğrudan modern yenilenebilir enerji kullanımındaki büyümenin nihai tüketici sektörlerin talebinde doğal gaz başta gelmek üzere diğer yakıtlardaki büyüme hızından düşük seyretmesi sonucunda %5 seviyesine gerilemiştir. Yenilenebilir enerji günümüzde Türkiye'nin toplam nihai enerji talebinin %12'sini karşılamakta olup, henüz değerlendirilmemiş olan yüksek yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelinin, enerji, iklim ve sanayi politikaları, piyasalar, yatırım ortamı ve teknolojik fırsatlar yoluyla hızla performansa dönüştürülmesi durumunda bu oranda yüksek artışlar ile çok boyutlu fırsatlar sağlanacağı sağlanabileceği görülmektedir.

Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü (TREO), IICEC tarafından Türkiye'de bir ilk olarak yayımlanan Turkey Energy Outlook (Türkiye Enerji Görünümü) çalışmasının ve IICEC Enerji Modeli ile Türkiye enerji ekonomisinin detaylı bir envanteri üzerine kurulmuştur. Enerjide arz ve talep zincirinin tamamını kapsayan bir veri tabanından yararlanan bütüncül modelleme çerçevesi, küresel ve bölgesel enerji ve iklim dinamiklerini, Türkiye'nin güncel enerji, sanayi ve iklim politikalarındaki yönelimleri, enerji piyasalarındaki ve yatırımlardaki gelişmeleri, teknolojilerdeki ilerlemeleri yansıtmaktadır. Elektrik sektörünün ve enerji tüketicisi tüm sektörlerin, yenilenebilir elektrik üretimine ve doğrudan yenilenebilir enerji kullanımına ilişkin büyüme ve gelişim perspektifi, kaynaklar ve sektörler bazında Türkiye'nin çok yüksek yenilenebilir enerji potansiyeli ve çok boyutlu fırsat alanları ile birlikte detaylı olarak irdelenerek analiz edilmiştir.

Sektörde bir ilk olan ve senaryo bazlı bir yaklaşımla gerçekleştirilen bu çalışmada, iki farklı TREO Senaryosu ile yenilenebilir enerjide 2050 yılına kadar olan dönemde büyüme perspektifinin, Türkiye'nin enerjide kaynak çeşitlendirmesine ve enerji güvenliğine, enerji ithalat faturasına, temiz enerji dönüşümü amaçlarına ve net-sıfır emisyon perspektifine, hava kalitesine, toplam sistem verimliliğine ve geniş ölçekte sürdürülebilirliğe katkıları somut sayısal göstergeler ile değerlendirilmiştir.

Enerji ve iklim politikalarının, enerji piyasalarının ve yatırım ortamının yenilenebilir enerjide güçlü büyümeyi destekleyecek yönde geliştiği, elektrik sektöründe ve nihai enerji tüketici sektörlerde enerji verimliliği potansiyelinin etkin şekilde değerlendirildiği, yenilenebilir enerji ve diğer temiz enerji teknolojilerindeki küresel teknolojik gelişmelerden azami şekilde yararlandırıldığı Yüksek Senaryoda, tüm bunları sağlayabilmek üzere geniş bir ekosistem, yenilikçilik ve insan kaynakları boyutları da dahil olmak üzere, somut enerji ve iklim hedefleri ve yol haritaları ile desteklenmektedir. Böylelikle de zengin yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli, mevcut trendlerden çok daha yüksek hızda ve artan oranlarda değerlendirilirken, yenilenebilir enerjinin payında sağlanabilen yüksek artışın, enerji güvenliğine, enerji ile ilgili makro ekonomik dengelere, temiz enerji dönüşümü hedeflerine ve sürdürülebilirliğe sağlayacağı çok boyutlu kritik katkılar somut sayısal göstergeler ile sunulmaktadır.

Tüm bu alanlarda ilerlemenin daha yavaş geliştiği, politika çerçevesinin ve piyasaların yatırımlarda öngörülebilir büyümeyi yeterince desteklemediği, bu nedenle de yenilenebilir enerji potansiyelinin kısmen değerlendirilebildiği Yavaş Senaryo ise, Türkiye'nin yüksek potansiyeli ile karşılaştırıldığında enerji ve çevre performansına sınırlı katkı sağlayabilmektedir.

TREO Senaryoları Özeti

Yüksek Senaryoda elektrik talebi, binalarda yalıtım, elektrikli aletlerde verimlilik, elektrik motorlarında verimli dönüşüm, sanayide öz-tüketim odaklı dağıtık üretimin gelişimi, tarımsal sulamada dağıtık ve verimli yenilenebilir enerji çözümlerinde yaygınlaşma gibi faktörlerin katkısıyla, daha verimli bir büyüme patikasında gelişmektedir. Şebeke kayıplarında daha yüksek iyileşmeler ve elektrik üretim sisteminin bütünündeki verimlilik kazanımlarının da neticesinde, 2050 yılında Yavaş Senaryoya göre %15 daha düşük brüt elektrik talebi, elektrik enerjisi hizmetlerini aynı konfor ve kalitede sağlayabilmektedir.

Kurulu güçte mevcut büyüme ivmesinde önemli bir artışın sağlanmadığı Yavaş Senaryoda, yenilenebilir enerjinin kurulu güç ve üretimdeki payı 2050 yılında sırasıyla %76 ve %61 olarak gerçekleşmektedir. Yüksek Senaryoda ise elektrik kurulu gücü 2050 yılında 294 GW'a ulaşırken kurulu güç içerisinde yenilenebilir enerji payı, ağırlıklı bölümü güneş ve rüzgar enerjisinden gelecek şekilde 2040 yılında %80'e ve 2050 yılında %90'a ulaşmaktadır. Yenilenebilir enerjinin elektrik üretiminde halen %43 seviyesinde olan payının 2040 yılında dörtte-üçün üzerine çıktığı, 2050 yılında da bugüne göre iki kat artarak %86'ya ulaştığı Yüksek Senaryoda, 2050 yılına kadar elektrik üretiminde rüzgar ve güneş enerjisinin toplam payı ise dört katın üzerinde artarak üçte-ikiye ulaşmaktadır. 2050 yılında üretim portföyünün tamamına yakının düşük karbonlu duruma geldiği Yüksek Senaryo Türkiye'nin net-sıfır emisyon perspektifini desteklemekte, sanayilerin ve ekonominin rekabetçiliği için de önemli avantaj yaratmaktadır.

Yüksek Senaryoda 2050 yılına kadar olan dönemde yenilenebilir enerjide daha verimli ve hızlı büyümeyi destekleyen yıllık yatırım tutarı gereksinimi, Yavaş Senaryodaki 14,1 milyar 2022\$'ın sadece %6 üzerinde öngörülmektedir (14,9 milyar 2022\$). Ancak yatırımların sektörel dağılımında önemli bir değişim gerçekleşmekte, yatırımlar içerisinde son dönemde %30'un altında, Yavaş Senaryoda ise %30'lar seviyelerinde olan şebeke, enerji depolama ve talep verimliliği yatırımlarının payı Yüksek Senaryoda %40'lar seviyesinde gerçekleşmektedir. Yüksek Senaryoda 2050 yılına kadar olan dönemde yenilenebilir elektrik üretimi için yıllık yatırım miktarı ortalama 5,5 milyar \$ olarak hesaplanmaktadır.

Yüksek Senaryoda enerji güvenliği, temiz enerji dönüşümü ve bunlara ilişkin maliyetler bakımından, toplam elektrik yatırım gereksinimindeki artışın çok üzerinde katkılar elde edilebilmektedir. Örneğin, Yavaş Senaryo ile kıyaslandığında, yıllık 800 milyon \$ yatırım fazlasına karşın enerji ithalat faturasında yıllık 2 milyar \$¹ tasarruf sağlanabilmektedir (Yakıt ithalatı tasarrufu çarpanı 2,5). Yüksek Senaryoda elektrik üretiminden kaynaklı emisyonlar 2030 yılından önce tepe noktasına ulaşmakta ve 2050 yılında mevcut düzeyinin %85 altına düşmektedir. 100 \$/ton karbon fiyatı seviyesinde, Yavaş Senaryoya göre yıllık ortalama ekonomik karşılığı 6,7 milyar \$'a ulaşan emisyon tasarrufu sağlanabilmektedir (Emisyon maliyeti tasarrufu çarpanı 8,4). 2050 yılına doğru, kükürt-dioksit ve azot-oksitler gibi önemli hava kirleticilerin yıllık emisyon hacmi Yavaş Senaryoda 2022 seviyesine göre üçte-bir azalırken, Yüksek Senaryoda ise sadece sınırlı doğal gaz tüketiminden kaynaklı olacak şekilde 2040 yılından sonra neredeyse tümüyle ortadan kaldırılabilir.

¹ IEA Announced Pledges Senaryosu fiyat öngörülerini ile. Mevcut emtia fiyatlarıyla 8,4 milyar \$

Yüksek Senaryoda, nihai enerji talebi içerisinde elektrik enerjisinin halen beşte-bir olan payı, elektriğin fosil kaynakları ikamesi yoluyla 2050 yılına doğru %40'lar seviyesine gelmektedir. Özellikle binalarda ve tarımda jeotermal enerji, sanayide ve binalarda güneş enerjisi ve havayolu ulaşımında sürdürülebilir biyoyakıtların gelişimiyle, nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin halen %5 olan doğrudan katkısı ise 2050 yılında %15'in üzerine çıkmaktadır. Böylelikle nihai enerji talebinde yenilenebilir enerjinin toplam payı %12'den 2030 yılında %22'ye, 2040 yılında %35'e ve 2050 yılında bugüne göre dört katın üzerinde artışla %50'ye ulaşmaktadır.

Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Geleceği

GW		Mutlak Değer			
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek
Elektrik					
Puant Talep	56,3	77,0	73,7	160,5	134,3
Kurulu Güç	99,8	146,2	155,1	296,3	294,1
Yenilenebilir	53,6	91,6	101,9	224,9	264,5
Hidro	31,5	35,6	36,1	41,5	42,0
Rüzgar	10,6	22,0	25,9	65,9	80,2
Güneş	7,8	28,4	32,2	105,7	128,9
Biyokütle	2,0	3,5	3,6	6,2	6,8
Jeotermal	1,7	2,1	4,1	5,6	6,6
Nükleer	-	4,8	4,8	18,3	12,4
Kömür	20,4	21,8	21,8	16,8	-
Doğal Gaz	25,6	28,0	26,5	36,4	17,2
Petrol	0,3	-	0,1	-	-
Yerli	63,7	101,7	112,0	230,0	264,5
İthal	36,1	44,4	43,0	66,3	29,6
Düşük Karbon	53,6	96,4	106,7	243,2	276,9
Fosil Yakıtlar	46,2	49,8	48,4	53,2	17,2
Güneş ve Rüzgar	18,4	50,4	58,1	171,6	209,1

TWh		Mutlak Değer			
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek
Elektrik					
Tüketim	331,7	451,7	432,5	878,1	747,6
Üretim	334,7	451,7	432,5	878,1	747,6
Yenilenebilir	119,9	219,5	257,0	539,5	647,8
Hidro	55,9	76,1	77,2	68,3	70,7
Rüzgar	31,4	63,6	74,9	190,5	235,4
Güneş	13,9	52,2	62,1	217,3	268,4
Biyokütle	7,8	13,8	14,2	24,4	26,8
Jeotermal	10,8	13,8	28,7	38,9	46,5
Nükleer	-	33,6	33,6	128,2	86,9
Kömür	03,4	114,4	76,2	88,1	-
Doğal Gaz	111,2	84,1	65,4	122,2	12,9
Petrol	0,3	-	0,2	-	-
Yerli	168,3	272,8	292,5	566,5	647,8
İthal	166,4	178,8	139,9	311,5	99,8
Düşük Karbon	119,9	253,2	290,7	667,7	734,7
Fosil Yakıtlar	214,8	198,5	141,8	210,3	12,9
Güneş ve Rüzgar	45,4	115,8	136,9	407,8	503,8

%		Pay			
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek
Elektrik Kurulu Gücü					
Yenilenebilir	54%	63%	66%	76%	90%
Hidro	32%	24%	23%	14%	14%
Rüzgar	11%	15%	17%	22%	27%
Güneş	8%	19%	21%	36%	44%
Biyokütle	2%	2%	2%	2%	2%
Jeotermal	2%	1%	3%	2%	2%
Nükleer	0%	3%	3%	6%	4%
Kömür	20%	15%	14%	6%	0%
Doğal Gaz	26%	19%	17%	12%	6%
Petrol	0%	0%	0%	0%	0%
Yerli	64%	70%	72%	78%	90%
İthal	36%	30%	28%	22%	10%
Düşük Karbon	54%	66%	69%	82%	94%
Fosil Yakıtlar	46%	34%	31%	18%	6%
Güneş ve Rüzgar	18%	34%	37%	58%	71%

%		Pay			
	2021	2030 Yavaş	2030 Yüksek	2050 Yavaş	2050 Yüksek
Elektrik Üretimi					
Yenilenebilir	36%	49%	59%	61%	87%
Hidro	17%	17%	18%	8%	9%
Rüzgar	9%	14%	17%	22%	31%
Güneş	4%	12%	14%	25%	36%
Biyokütle	2%	3%	3%	3%	4%
Jeotermal	3%	3%	7%	4%	6%
Nükleer	0%	7%	8%	15%	12%
Kömür	31%	25%	18%	10%	0%
Doğal Gaz	33%	19%	15%	14%	2%
Petrol	0%	0%	0%	0%	0%
Yerli	50%	60%	68%	65%	87%
İthal	50%	40%	32%	35%	13%
Düşük Karbon	36%	56%	67%	76%	98%
Fosil Yakıtlar	64%	44%	33%	24%	2%
Güneş ve Rüzgar	14%	26%	32%	46%	67%

Toplam Nihai Enerji Talebinde Yenilenebilir Enerji Geleceği

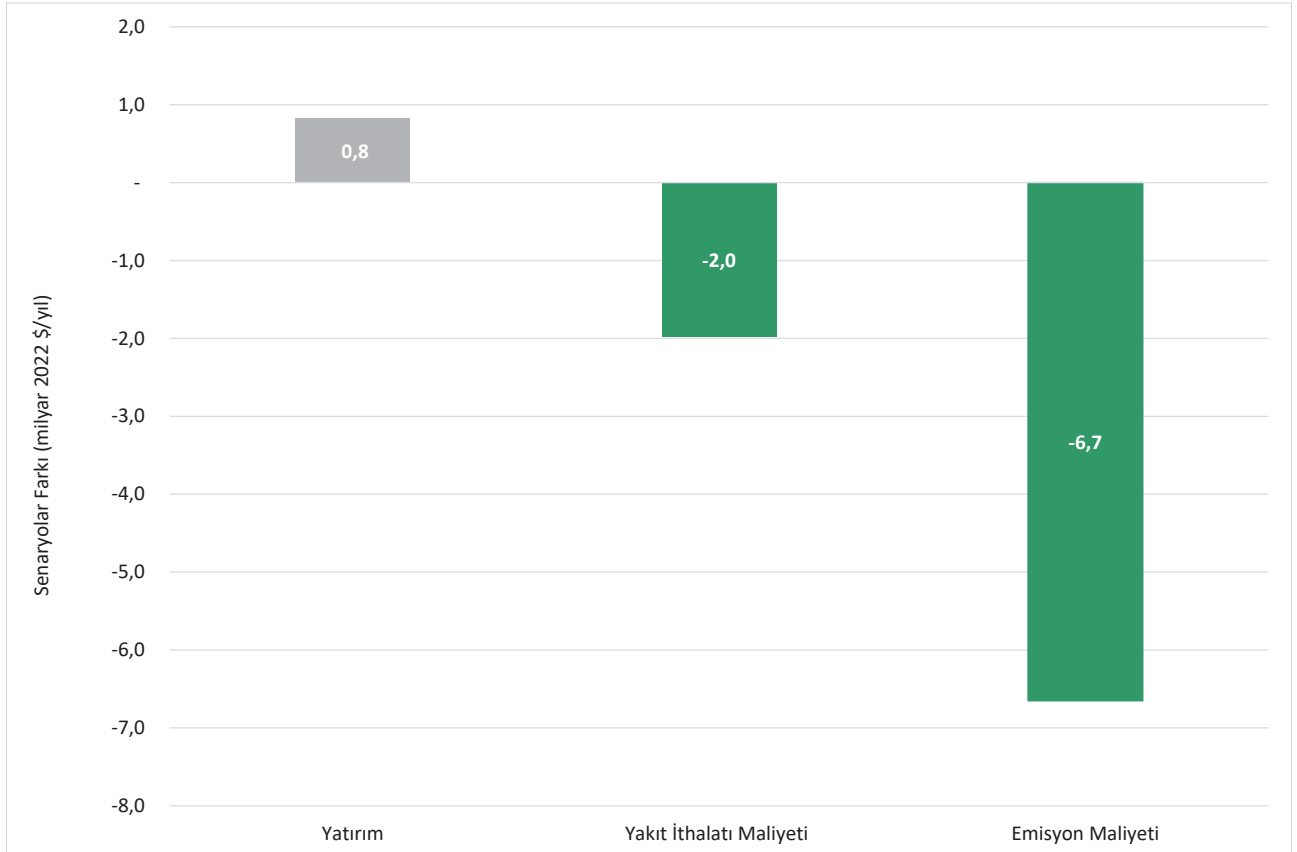
TWh	2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek
Elektrik Üretimi	334,7	432,5	747,6
Yenilenebilir	119,9	257,0	647,8
Hidro	55,9	77,2	70,7
Rüzgar	31,4	74,9	235,4
Güneş	13,9	62,1	268,4
Biyokütle	7,8	14,2	26,8
Jeotermal	10,8	28,7	46,5

Elektrik Üretimi (%)	2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek
Yenilenebilir	36%	59%	87%
Hidro	17%	18%	9%
Rüzgar	9%	17%	31%
Güneş	4%	14%	36%
Biyokütle	2%	3%	4%
Jeotermal	3%	7%	6%

Mtep	2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek
Nihai Enerji Tüketimi	115,4	123,5	146,5
Elektrik	24,4	31,7	58,1
Yenilenebilir Elektrik	8,8	18,8	50,3
Doğrudan Yenilenebilir	5,6	8,8	23,0
Toplam Yenilenebilir	14,4	27,6	73,3

Nihai Enerji Tüketimi (%)	2021	2030 Yüksek	2050 Yüksek
Elektrik	21%	26%	40%
Yenilenebilir Elektrik	8%	15%	34%
Doğrudan Yenilenebilir	5%	7%	16%
Toplam Yenilenebilir	12%	22%	50%

Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Göre Yıllık Ortalama Değişim (milyar 2022\$)



Türkiye Yenilenebilir Enerji Görünümü, bir net-sıfır emisyon perspektifi çalışması olmamakla birlikte, enerji verimliliğinin, temiz elektrifikasyonun ve doğrudan yenilenebilir enerjinin yüksek katkısı, birincil enerji arzında halen çok yüksek olan fosil yakıt yoğunluğunu büyük ölçüde sınırlandırabilmekte, 2050 yılında nihai enerji tüketiminin %60'a yakını, sadece bu üç alandaki fırsatların değerlendirilmesi ile karbondan arındırılmış olmaktadır. Bu önemli gelişim, temiz hidrojen ve karbon-yakalama-depolama teknolojileri gibi yenilikçi alanlarda atılabilecek diğer adımlarla net-sıfır emisyon perspektifinin temel zeminini oluşturmaktadır. Yüksek Senaryo, güvenli ve temiz enerji geleceğine sunacağı bu somut katkıların yanı sıra, küresel ve bölgesel trendlerle uyum içerisinde temiz enerji teknolojileri odaklı ekonomik büyümeye, sosyal gelişime, yenilikçi sanayi, ihracat ve girişimcilik modellerine de önemli bir açılım sağlamaktadır. Tüm bu kazanımlar, kamu, özel sektör, akademi iş birlikleri içerisinde, uzun vadeli hedefler ve yol haritaları, piyasa gelişimi ve yatırım ortamı, şebekeler ve bütüncül elektrik sistemi, kritik teknolojilerde Ar-Ge ve imalat yetkinlikleri, enerjide verimli büyüme gibi kritik gelişim alanlarında önemli iyileşmeler ile hayata geçirilebilecektir.

IICEC Önerileri

IICEC, Türkiye'nin yenilenebilir enerjide ve ilgili teknolojilerde, enerji güvenliği, temiz enerji dönüşümü, rekabetçi ve teknoloji-odaklı sanayi gelişimi için çok boyutlu fırsatlar sunan, yüksek büyüme potansiyelinin değerlendirilmesi için,

1. 2050 yılında 250 GW'ın üzerinde toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü ile %85'in üzerinde yenilenebilir elektrik üretim payına, nihai enerji talebinde %50 toplam yenilenebilir payına ulaşılmasını ve buna yönelik yol haritalarının, kaynaklar, teknolojiler ve sektörler bazında belirlenmesini,
2. Verimli, derinlikli, maliyetleri yansıtan, öngörülebilir bir elektrik piyasası işleyişinin sağlanmasını, sürdürülebilir yatırım ve finansman modellerinin geliştirilmesini, böylelikle proje stokunda güçlü büyümenin sağlanmasını,
3. Elektrik sisteminin omurgasını oluşturan şebekelerin kapasitesinin ve esnekliğinin, uzun vadeli dinamik planlama ile desteklenen, teknoloji-odaklı yatırımlar ile güçlendirilmesini,
4. Rüzgar ve güneş teknolojilerinde gelişimin, tedarik zincirlerinin sürdürülebilirliğini, Türkiye'nin bölgesel temiz enerji teknolojileri üretim üssü olmasını destekleyecek şekilde sürdürülmesini; enerji depolama ve yeşil hidrojen üretimi teknolojilerinde geliştirmelerin hayata geçirilmesini,
5. Binalarda, sanayide, ulaşımda ve diğer enerji tüketicisi sektörlerde, temiz elektrifikasyona ek olarak, doğrudan yenilenebilir enerji katkısının da en az üç kat artırılmasını temin ederek enerji güvenliği ve temiz enerji dönüşümünün desteklenmesini,
6. Değer zincirinde enerji verimliliği potansiyelinden ve dijitalleşme çözümlerinden faydalanılarak yenilenebilir enerji ekosistemindeki büyümenin yüksek katma değerli fırsatlara dönüştürülmesini,
7. Yenilenebilir enerjide güçlü ve sürdürülebilir büyümeyi ve rekabetçiliği destekleyecek, nitelikli insan kaynağının ve girişimcilik ekosisteminin geliştirilmesini önermektedir.

Executive Summary

Türkiye Renewable Energy Outlook Executive Summary

General Overview and IICEC Scenarios

Renewable energy, together with energy efficiency, is one of the most critical success factors if Türkiye is to meet its increasing energy demand and to create a secure and clean energy future for its energy system. Although the breakdown of resources has varied considerably over the past thirty years, the overall contribution of renewable energy to electricity generation has generally been between 35% and 45%. The direct contribution of renewable energy to the final energy demand was approximately 20% in 1990, most of which came from traditional biomass sources. This figure declined to 5% in 2021, as the growth in the use of direct modern renewable energy was outpaced by that of other fuels, primarily natural gas, in final energy demand. Renewable energy currently meets 12% of the final energy demand in Türkiye. The high potential of renewable energy resources, which has yet to be fully evaluated, can be rapidly harnessed through energy, climate and industrial policies, markets, investment, and environment and technological opportunities, and create multidimensional benefits.

The Türkiye Renewable Energy Outlook (TREO) is based on a detailed inventory of Türkiye's energy economy, the "Turkey Energy Outlook" that was published by IICEC as a first-of-its-kind study in Türkiye, and the IICEC Energy Model. This holistic modeling framework employs a database covering the entire energy supply and demand chain, reflects global and regional energy and climate dynamics; current trends in national energy, industry, and climate policies; developments in energy markets; and investments together with advancements in technologies. This report analyzes in details the growth and development perspective of all energy sectors regarding renewable-electricity generation and direct renewable energy use alongside the multidimensional avenues for Türkiye to reach its significant renewable energy potential.

This first-of-its-kind study in the sector was carried out with a scenario-based approach to assess growth perspectives in renewable energy through 2050. Two different TREO scenarios are showcased to assess the contribution of renewable energy to improving energy resource diversification and energy security, alleviating the country's energy import bill, achieving a clean energy transition and net-zero emission targets, improving air quality, enhancing overall system efficiency, and fostering sustainability with solid indicators and metrics.

The High (high adoption) Scenario benefits from supportive energy and climate policies and the development of energy markets and an investment environment to fuel growth in renewable energy. The potential of energy efficiency is effectively utilized in the electricity sector and the benefits from global technological developments in renewable energy and other clean energy technologies are highly captured in end user energy sectors. It is supported by concrete energy and climate targets and roadmaps encompassing a broad ecosystem including innovation and human resources in support of a renewable energy-driven future. This enables a higher utilization of Türkiye's unexploited renewable energy resource base compared to the current trends and provides critical contributions to energy security, energy-related macro-economic balances, clean energy transformation aspirations, and other sustainability benefits.

The Slow (slow adoption) Scenario, on the other hand, exhibits underwhelming progress in all respective areas, especially within the policy framework, and markets do not provide sufficient support for predictable growth investments.

The renewable energy potential is partly utilized with a limited contribution to energy and environmental performance as compared to the high potential of Türkiye.

TREO Scenarios Summary

In the High Scenario, electricity demand develops on a more efficient growth pathway, with the contribution of factors such as insulation in buildings, efficiency in electrical appliances, efficient transformation in electric motors, development of self-consumption-oriented distributed generation in the industry, and the widespread use of distributed and efficient renewable energy solutions in agricultural irrigation. As a result of higher improvements in grid losses and efficiency gains in the entire electricity generation system, Türkiye realizes 15% lower gross electricity demand in 2050 compared to the Slow Scenario but provides electrical energy services with the same comfort and quality.

The share of renewable energy in installed capacity and power generation is 76% and 61%, respectively, in 2050 in the Slow Scenario, where there is no significant acceleration in the current growth momentum in renewable energy-based power investments. The installed capacity in the High Scenario, on the other hand, increases to 294 GW in 2050 while the share of renewable energy in installed power reaches 80% in 2040 and 90% in 2050, predominantly from solar and wind energy. The contribution of renewables in electricity generation increases to over 75% by 2040 and doubles from 43% at present to 87% in 2050. The combined share of solar and wind in gross electricity generation increases by more than four times to reach two-thirds of gross electricity generation by 2050. In the High Scenario, nearly the entire power generation portfolio becomes low-carbon in 2050, supporting the net-zero emission goal and creating significant advantages for the sustainable competitiveness of industries and the overall economy.

The High Scenario supports a more efficient and faster growth in renewable energy in the period until 2050 with an investment requirement of only 6% over the Low Scenarios (\$14.9 billion/year vs \$14.1 billion/year in 2022 currency values). However, a significant shift takes place in the sectoral breakdown of investments: the share of power grids, energy storage, and demand-side efficiency investments, which stood below 30% in recent years and is around 30% in the Slow Scenario, increases to roughly 40% in the High Scenario. In the High Scenario, the average annual investment amount for renewable electricity generation in the period until 2050 is estimated as \$5.5 billion.

The High Scenario delivers a significant pay-off in energy security, clean energy transformation, and associated costs. For example, compared to the Slow Scenario, Türkiye can realize an annual savings of \$2 billion¹ in its energy-import bill despite an annual increase of \$800 million in total investment, a fuel import-savings multiplier of 2.5. In the High Scenario, emissions from electricity generation peak before 2030 and fall 85% below their present level by 2050. At a carbon price level of \$100/ton, emissions-related average cost savings of up to \$6.7 billion/year can be achieved with the Slow Scenario, an emission cost-savings multiplier of 8.4. Towards 2050, annual emissions of important air pollutants such as sulfur dioxide and nitrogen-oxides decrease by one-third compared to 2022 in the Slow Scenario, while the High Scenario nearly eliminates these after 2040 to limited natural gas consumption.

¹ With the IEA Announced Pledges Scenario price series. 8.4 milyar \$ with current commodity prices

The share of electricity in final energy demand increases from 20% to 40% by 2050 replacing fossil fuels in energy demand. Meanwhile, the direct contribution of renewable energy in final energy consumption increases from 5% to 15% in 2050, especially with the wider adoption of geothermal energy in buildings and agriculture, solar energy in industry and buildings, and sustainable biofuels in air transport. Thus, the total share of renewable energy in final energy demand rises from 12% at present to 22% in 2030, 35% in 2040, and 50% in 2050, representing a more than fourfold increase.

Elektrik Sektöründe Yenilenebilir Enerji Geleceği

GW		Absolute Value			
	2021	2030 Slow	2030 High	2050 Slow	2050 High
Electricity					
Peak Demand	56.3	77.0	73.7	160.5	134.3
Installed Capacity	99.8	146.2	155.1	296.3	294.1
Renewables	53.6	91.6	101.9	224.9	264.5
Hydro	31.5	35.6	36.1	41.5	42.0
Wind	10.6	22.0	25.9	65.9	80.2
Solar	7.8	28.4	32.2	105.7	128.9
Biomass	2.0	3.5	3.6	6.2	6.8
Geothermal	1.7	2.1	4.1	5.6	6.6
Nuclear	-	4.8	4.8	18.3	12.4
Coal	20.4	21.8	21.8	16.8	-
Natural Gas	25.6	28.0	26.5	36.4	17.2
Oil	0.3	-	0.1	-	-
Domestic	63.7	101.7	112.0	230.0	264.5
Imported fuel	36.1	44.4	43.0	66.3	29.6
Low carbon	53.6	96.4	106.7	243.2	276.9
Fossil fuels	46.2	49.8	48.4	53.2	17.2
Solar and Wind	18.4	50.4	58.1	171.6	209.1

TWh		Absolute Value			
	2021	2030 Slow	2030 High	2050 Slow	2050 High
Electricity					
Consumption	331.7	451.7	432.5	878.1	747.6
Generation	334.7	451.7	432.5	878.1	747.6
Renewables	119.9	219.5	257.0	539.5	647.8
Hydro	55.9	76.1	77.2	68.3	70.7
Wind	31.4	63.6	74.9	190.5	235.4
Solar	13.9	52.2	62.1	217.3	268.4
Biomass	7.8	13.8	14.2	24.4	26.8
Geothermal	10.8	13.8	28.7	38.9	46.5
Nuclear	-	33.6	33.6	128.2	86.9
Coal	103.4	114.4	76.2	88.1	-
Natural Gas	111.2	84.1	65.4	122.2	12.9
Oil	0.3	-	0.2	-	-
Domestic	168.3	272.8	292.5	566.5	647.8
Imported fuel	166.4	178.8	139.9	311.5	99.8
Low carbon	119.9	253.2	290.7	667.7	734.7
Fossil fuels	214.8	198.5	141.8	210.3	12.9
Solar and Wind	45.4	115.8	136.9	407.8	503.8

%		Pay			
	2021	2030 Slow	2030 High	2050 Slow	2050 High
Electricity Installed Capacity					
Renewables	54%	63%	66%	76%	90%
Hydro	32%	24%	23%	14%	14%
Wind	11%	15%	17%	22%	27%
Solar	8%	19%	21%	36%	44%
Biomass	2%	2%	2%	2%	2%
Geothermal	2%	1%	3%	2%	2%
Nuclear	0%	3%	3%	6%	4%
Coal	20%	15%	14%	6%	0%
Natural Gas	26%	19%	17%	12%	6%
Oil	0%	0%	0%	0%	0%
Domestic	64%	70%	72%	78%	90%
Imported fuel	36%	30%	28%	22%	10%
Low carbon	54%	66%	69%	82%	94%
Fossil fuels	46%	34%	31%	18%	6%
Solar and Wind	18%	34%	37%	58%	71%

%		Pay			
	2021	2030 Slow	2030 High	2050 Slow	2050 High
Electricity Generation					
Renewables	36%	49%	59%	61%	87%
Hydro	17%	17%	18%	8%	9%
Wind	9%	14%	17%	22%	31%
Solar	4%	12%	14%	25%	36%
Biomass	2%	3%	3%	3%	4%
Geothermal	3%	3%	7%	4%	6%
Nuclear	0%	7%	8%	15%	12%
Coal	31%	25%	18%	10%	0%
Natural Gas	33%	19%	15%	14%	2%
Oil	0%	0%	0%	0%	0%
Domestic	50%	60%	68%	65%	87%
Imported fuel	50%	40%	32%	35%	13%
Low carbon	36%	56%	67%	76%	98%
Fossil fuels	64%	44%	33%	24%	2%
Solar and Wind	14%	26%	32%	46%	67%

Toplam Nihai Enerji Talebinde Yenilenebilir Enerji Geleceği

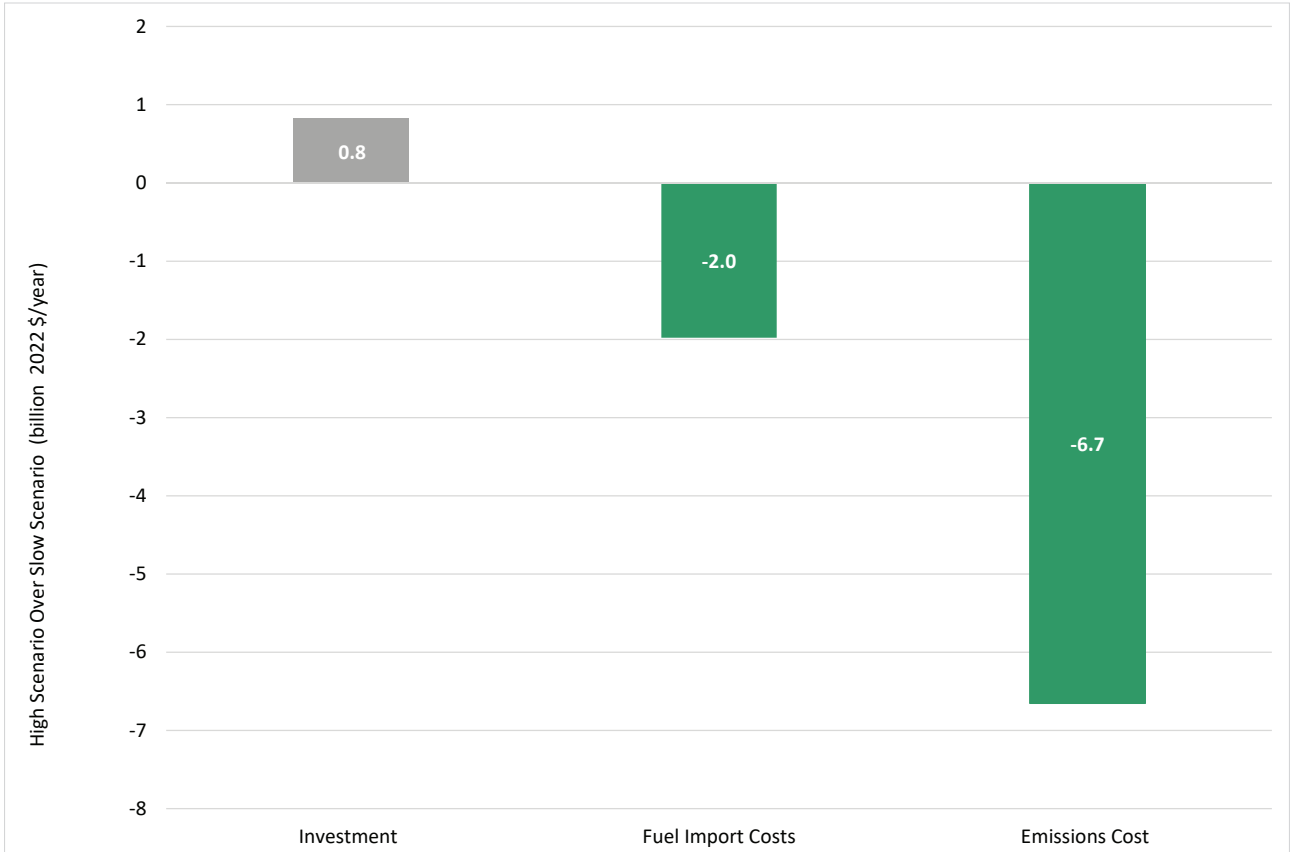
TWh	2021	2030 High	2050 High
Electricity Generation	334.7	432.5	747.6
Renewable	119.9	257.0	647.8
Hydro	55.9	77.2	70.7
Wind	31.4	74.9	235.4
Solar	13.9	62.1	268.4
Biomass	7.8	14.2	26.8
Geothermal	10.8	28.7	46.5

Electricity Generation (%)	2021	2030 High	2050 High
Renewables	36%	59%	87%
Hydro	17%	18%	9%
Wind	9%	17%	31%
Solar	4%	14%	36%
Biomass	2%	3%	4%
Geothermal	3%	7%	6%

Mtoe	2021	2030 High	2050 High
Final Energy Consumption	115.4	123.5	146.5
Electricity	24.4	31.7	58.1
Renewable Electricity	8.8	18.8	50.3
Direct Renewables	5.6	8.8	23.0
Total Renewables	14.4	27.6	73.3

Final Energy Consumption (%)	2021	2030 High	2050 High
Electricity	21%	26%	40%
Renewable Electricity	8%	15%	34%
Direct Renewables	5%	7%	16%
Total Renewables	12%	22%	50%

Yüksek Senaryoda Yavaş Senaryoya Göre Yıllık Ortalama Değişim (milyar 2022\$)



The Türkiye Renewable Energy Outlook is not a net-zero emissions study. However, a strong contribution from energy efficiency, clean electrification, and direct use of renewable energy can greatly reduce the high intensity of fossil fuels in the primary energy supply. These three areas can provide almost 60% of total final energy consumption by 2050, a development that lays the groundwork for the net-zero emission perspective with other clean energy actions that can be realized in many emerging technology areas such as clean hydrogen and carbon-capture-storage technologies. In addition to several tangible contributions to a secure and clean energy future, the High Scenario provides an important gateway to economic growth, social development, innovative industry, exports, and entrepreneurship models around clean energy technologies in harmony with global and regional trends and advancements. All these benefits can be realized with developments on several fronts such as policy targets and roadmaps, market development and investment environment, grids and a holistic power system, R&D and manufacturing competencies in critical technologies, and more efficient growth in energy-demand services supported by the public sector, private sector, and academia success triangle model.

IICEC Recommendations

IICEC recommends the following to harness the strong potential of Türkiye in renewable energy and related technologies and thus provide multiple benefits for energy security, a clean energy transition, and a more competitive and technology-driven development of the industry:

- 1.** Developing roadmaps for resources, technologies, and sectors to achieve over 250 GW of total renewable energy installed capacity, with a more than 85% renewable energy contribution in power generation and a 50% renewable energy contribution in final energy demand by 2050,
- 2.** Ensuring an efficient, cost-reflective, and more predictable electricity market and developing sustainable investment and financing models to enable strong growth in the project portfolio,
- 3.** Strengthening the capacity and flexibility of the networks that form the backbone of the electricity system with technology-oriented investments supported by long-term dynamic planning,
- 4.** Continuing efforts to develop wind and solar technologies in a way that supports the sustainability of supply chains and supports Türkiye becoming a regional clean energy technologies production base while also advancing developments in energy storage and green hydrogen-production technologies,
- 5.** In addition to clean electrification, increasing the direct contribution of renewable energy at least threefold in buildings, industry, transport, and other energy-consuming sectors to support energy security and a clean energy transition,
- 6.** Turning the growth in the renewable energy ecosystem into high value-added opportunities by utilizing energy efficiency potential and digitalization solutions across the value chain,
- 7.** Developing qualified human resources and a talent pool together with an entrepreneurship ecosystem that supports strong, sustainable, and competitive growth in renewable energy.

TÜRKİYE YENİLENEBİLİR ENERJİ GÖRÜNÜMÜ | 2022



Sabancı
Üniversitesi

IICEC

SABANCI UNIVERSITY
ISTANBUL INTERNATIONAL
CENTER FOR ENERGY AND CLIMATE