



Çatılarda 120 GW'tan fazla potansiyel mevcut

Türkiye'nin çatılarına kurulabilecek güneş santrali potansiyeli ülkenin toplam güneş kurulu gücünün on katına yakın. Bu potansiyel ile toplam elektrik tüketiminin %45'ini karşılamak mümkün.

Yayınlanma tarihi: 11 Aralık 2023

Başyazar: [Ufuk Alparslan](#)

Diğer yazarlar: [Azem Yıldırım](#)

İçindekiler

İçindekiler.....	1
Hakkında.....	3
Önemli Noktalar.....	3
Yönetici Özeti.....	4
Mevcut durum.....	7
Güneşin payı potansiyelin gerisinde.....	7
Türkiye’de çatı güneş enerjisinin durumu.....	7
Sanayiciler için çatının önemi.....	8
Konutların kritik rolü.....	9
Potansiyel.....	12
Çatı GES potansiyelinin hesaplanması.....	12
Potansiyel tanımları.....	12
Veri ve kapsam.....	13
120 GW’tan fazla potansiyel.....	14
Açıların güneşten elektrik üretimine etkisi.....	16
Elektrik tüketiminin %45’ine ulaşan potansiyel.....	18
Kapasite hedeflerinde çatıların yeri.....	19
Küresel örnekler.....	21
Çatılar çeşitli politika araçları ile destekleniyor.....	21
Apartman çatıları için sanal mahsuplaşma.....	21
Uzun süreli alım garantileri.....	22
Deprem sonrası inşa edilen konutlarda çatı kiralama yöntemi.....	23
Polonya’da küçük ölçekli santraller Türkiye’nin güneş kurulu gücü ile başa baş..	23
Tadilat teşvikleri çatı üstü kurulumların önünü açabilir.....	25
Kurulum yükümlülükleri.....	26
Birbirini tamamlayan uygulamalar kurulumları daha da hızlandırabilir.....	27
Enerjide arz sorununa çatılar çözüm olabiliyor.....	29
Sonuç.....	31
Dünyada yeni güneş kurulumlarının yarısı çatılardan.....	31
Elektrik fiyatlarının kurulumlara etkisi.....	32
Yeni bina inşaatları fırsata dönüştürülebilir.....	33
Engellerin kaldırılması teşviğe dönüşebilir.....	33
Ekler.....	35

Metodoloji.....	35
Kapasite potansiyeli hesaplamaları.....	35
Üretim tahmini hesaplamaları.....	36
Sübvansiyon hesaplamaları.....	37
Teşekkür.....	37
Teşekkürler.....	37
Görsel telif bilgisi.....	37

Hakkında

Bu çalışmada Türkiye'nin yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri analiz edilerek afet bölgesi ilan edilen 11 il dışındaki çatılarda kurulabilecek güneş enerjisi potansiyeli hesaplanmaktadır. İllere göre hesap edilen kapasite ve elektrik üretimi potansiyeli ile elektrik tüketiminin ne ölçüde karşılanabileceği gösterilmektedir. Dünyada çatılarda güneş enerjisine ilişkin politikalara ve Türkiye'de elektrik tarifelerindeki sübvansiyonlara dikkat çekilerek Türkiye'ye uygun politika önerileri sunulmaktadır.

Önemli Noktalar

120 GW

%45

\$3,6 milyar

Türkiye'nin çatılarındaki güneş enerjisinin teknik potansiyeli

Türkiye'de çatıların toplam elektrik tüketimini karşılama potansiyeli

Türkiye'de çatıların mesken tarifelerindeki sübvansiyon yükünü düşürme potansiyeli

Güneşteki hedeflere giden yol çatılardan da geçiyor

Arazi gereksiniminin olmaması ve tüketimle aynı noktada üretim sağlaması nedeniyle enerji politikaları açısından önem taşıyan çatı üstü güneş santralleri, sınırda karbon düzenlemesi nedeniyle ekonomi, kişilere kendi elektriklerini üretme fırsatı sağlamasıyla kalkınma, elektrik tarifelerindeki sübvansiyon nedeniyle maliye politikaları açısından da kritik rol oynayacaktır.

01 Türkiye'nin çatı üstü güneş enerjisi potansiyeli en az 120 GW

Toplam çatı üstü güneş potansiyelinde nüfus açısından en büyük üç il İstanbul (10,4 GW), Ankara (10,1 GW) ve İzmir (9,3 GW) öne çıkmaktadır. Düz çatılar genellikle sanayi tesislerinin çatıları olduğu için nüfus açısından kalabalık olmamasına rağmen, Kocaeli (2,5 GW), Manisa (3,1 GW) ve Tekirdağ (1,9 GW) gibi sanayileşmiş iller düz çatı potansiyelinde büyük illerin hemen ardında yer almışlardır. İllerde hane halklarının yaşadığı bina tipleri de sonuçlara yansımıştır. Nüfus açısından 31. il olmasına rağmen, nüfusun yarısından fazlasının iki veya daha az katlı binalarda ikamet ettiği Afyon 2,8 GW eğimli çatı potansiyeli ile bu kategoride dördüncü sıradadır. Çatıların uygunluk oranı açısından değerlendirildiğinde, %40'ın üstünde uygunluk oranlarıyla özellikle Uşak, Afyon, Eskişehir ve Kütahya gibi İç ve Batı Anadolu illeri öne çıkmaktadır.

02 Çatılardaki potansiyel toplam elektrik tüketiminin %45'ini karşılayabilir

İstanbul 11,4 TWh'lik üretim potansiyeli ile güneş potansiyeli daha yüksek olan Ankara (12,5 TWh) ve İzmir'in (12,4 TWh) gerisindedir. Üç büyük ili

Konya (8,6 TWh) takip ederken, kapasite potansiyeli sıralamasına benzer olarak Manisa (6,4 TWh), Bursa (5,4 TWh), Afyon (5,3 TWh) ve Balıkesir (4,7 TWh) de yine kendisine ön sıralarda yer bulmuştur. Çatı üstü elektrik üretimi potansiyelinin faturalanan elektrik tüketimini karşılama oranlarına bakıldığında, elektrik tüketiminin iki katından yüksek potansiyele sahip Afyon, Çorum, Iğdır, Kırşehir ve Yozgat gibi iller ön plana çıkmaktadır. Büyükşehirlerden Konya (%113), Ankara (%88) ve İzmir'in (%76) de çatı üstü elektrik üretimi potansiyeli faturalanan elektrik tüketimlerini karşılamada yüksek seviyelerdedir.

03 Dünyada çatı üstü kurulumları yeni güneş kapasitesinin yarısına ulaştı

2022 yılında dünyada toplam 239 GW'lık yeni güneş kapasitesi eklenirken bunun yarısına yakını (118 GW) çatılara kurulmuştur. Dolayısıyla 2022 yılında yeni kurulan çatı üstü güneş santralleri bir önceki yıla göre %49 artış kaydetmiştir. 2022 yılı itibariyle kişi başına düşen güneş kapasitesinde dünya lideri olan Avustralya'da her üç evden birinin çatısında güneş santrali bulunurken Avustralya'nın hemen arkasından gelen Hollanda'da ise güneşten elektrik üretiminin %40'ı konut çatılarından elde edilmektedir. Kişi başına düşen güneş kapasitesinde üçüncü sıradaki Almanya'da ise bugüne dek her yıl kurulan yeni güneş santrallerinin %60'ından fazlası çatılara kurulmakta olup kimi yıllar bu oran %80'in üstüne çıkabilmektedir. Avrupa Birliği'nde 2022 yılı sonu itibariyle güneş kurulu gücünün %66'sı çatılardadır.

04 Çatılar Türkiye'de konutlardaki 3,6 milyar dolarlık sübvansiyonu azaltabilir

Resmi açıklamalarda da ifade edildiği üzere, Türkiye'de elektrik tarifelerinde sübvansiyon uygulanmaktadır. Elektrik tarifesinin en düşük olduğu tüketici tipi olan meskenlerde, Eylül 2022'den Ağustos 2023'e geçen 12 aylık sürede sübvansiyon miktarı yaklaşık 3,6 milyar dolara ulaşmıştır. Türkiye elektrik üretiminde dışa bağımlıdır. Bu açıdan değerlendirildiğinde, Türkiye'de özellikle konutlarda çatı GES'in yaygınlaşmasını sağlayacak politikalar, fosil kaynaklı ithalatı azaltarak elektriğin ülke üzerindeki gerçek maliyetini azaltmayı sağlayacaktır.

Dünyada uygulanan enerji dönüşümü politikalarına baktığımızda önceliğin çatılara verildiğini görüyoruz. Güneşte iddialı hedefleri olan Türkiye'nin çatıları, mevcut güneş kurulu gücünün on katına yakın bir potansiyel barındırıyor. Mevcut çatılardaki potansiyele ek olarak Türkiye'de her yıl on binlerce yeni bina inşa ediliyor, deprem bölgesinin yeniden inşası nedeniyle bu sayı daha da artacak. Yeni binalara ve kamu binalarına panel yükümlülüklerinin getirilmesi ile belediyelerin uygun apartman binası çatı alanlarını ihale etmesi, hem enerjideki hedeflere ulaşmamızı, hem de kişilerin kendi elektriklerini ucuza üretmesini sağlayabilir.

Ufuk Alparıslan

Bölge Lideri
Ember



Mevcut durum

Herkesin yararına olacak bir fırsat olarak çatılarda güneş santrali

Çatılarda kurulabilecek güneş santralleri yalnızca enerji ve çevre politikaları açısından değil; sanayi, büyüme, kalkınma ve maliye politikaları yönünden de Türkiye'ye fayda sağlayacaktır.

Güneşin payı potansiyelin gerisinde

Türkiye, Avrupa ülkelerinin çoğundan daha yüksek [güneş enerjisi potansiyeline](#) sahip olmasına rağmen, bu durum henüz elektrik üretimine yansımış değildir. Türkiye'de güneşin elektrik üretimindeki payı [2022 yılında %4,7'lik oranla](#) Hollanda (%14), Estonya (%6,3), Danimarka (%5,8) gibi Türkiye'ye kıyasla daha düşük potansiyel ve yüzölçümüne sahip olan kuzey Avrupa ülkelerinden geride kalmıştır.

2023 yılının ilk yarısında da bu durum değişiklik göstermemiştir. Yılın ilk yarısında Türkiye'de [güneşin elektrik üretimindeki payı %5,7](#) ile geçtiğimiz yılın aynı dönemine kıyasla yükselme gösterse de, aynı dönemde bir başka kuzey ülkesi Polonya'nın gerisindedir ([%6,6](#)). Güneşin elektrik üretimindeki payı [2019 yılında %1'in dahi altında](#) olan Polonya, 2023 yılında Türkiye'yi geçmeyi başarmıştır.

Türkiye'de çatı güneş enerjisinin durumu

Türkiye'de çatı güneş enerjisi santrali (GES) kurulu gücü resmi istatistiklerde yer almadığı için bilinmemektedir. Öztüketim amacıyla kurulmuş olan lisanssız güneş santrallerinin kurulu güçteki payı bilinse de, bu santrallerin arazi üstüne kurulumu da mümkündür. Toplam güneş kurulu gücüne bakıldığında, son beş yıldır her yıl ortalama 1,2 GW'lık kapasite eklendiği görülmektedir. 2023 yılında ise Kasım sonu itibarıyla 1,8 GW'lık yeni güneş santrali devreye alınarak toplam güneş kurulu gücü 11,2 GW'a ulaşmıştır.

Çatı GES'ler gerek elektrik üretiminin tüketim ile aynı noktada gerçekleşmesi, gerekse elektrik talebinin yoğun olduğu yerleşim yerlerine yakınlıkları nedeniyle elektrik sistemi şebekesinin yönetimini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle birçok ülkede çatıların elektrik üretimi için önünü

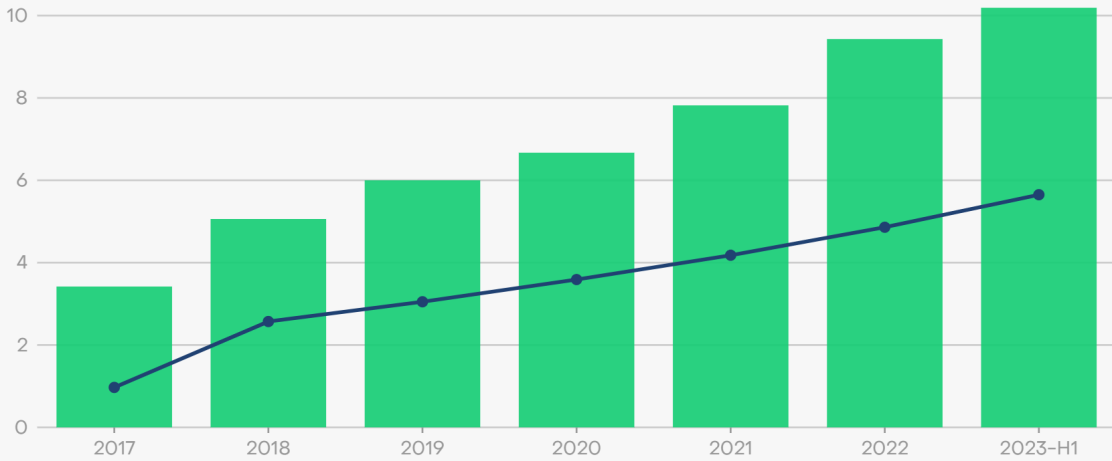
açacak adımlar atılmaktadır. Türkiye’de de 2019 yılında yayınlanan [aylık mahsuplaşma düzenlemesi](#) çatı GES’in önünü açmaya yönelik önemli uygulamalardan biri olmuştur.

Yönetmelik değişikliğiyle beraber öztüketim amacıyla kurulan güneş santralleri mesken çatılarında olmaları koşuluyla üretim lisansı alma ya da şirket kurma zorunluluğundan muaf tutulmuşlardır. Ayrıca aylık mahsuplaşma hakkı ile tüketim fazlası elektriğin tüketicinin bağlı bulunduğu tarife üzerinden satılarak fazladan gelir elde etme imkanı elde edilmiştir. Ancak öztüketim amaçlı tesisleri çatı ve cephe uygulamalarıyla sınırlandıran bu düzenlemenin güneş kurulu gücündeki artış eğiliminde yeni bir ivme yaratmadığı görülmektedir.

Türkiye’de güneş enerjisinde mütevazı artış

Güneş kurulu gücü ve elektrik üretimindeki payı

■ Güneşin elektrik üretimindeki payı (%) ■ Güneş kurulu gücü (GW)



Kaynak: TEİAŞ, Ember

EMBER

Sanayiciler için çatının önemi

Ekim 2023 itibariyle pilot uygulamayla devreye giren Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), 2026 yılı ile birlikte Avrupa Birliği ülkelerine ihracat yapmakta olan kapsam dahilindeki sektör şirketlerine emisyonlarına bağlı olarak mali yükümlülük getirecektir. SKDM başlangıç olarak çimento, demir-çelik, alüminyum, gübre, elektrik ve hidrojen [sektörlerini kapsayacaktır](#). Sanayicilerin bu maliyetten kaçınabilmeleri ve sektördeki rakiplerine karşı dezavantajlı konuma düşmemeleri için üretim süreçlerini karbonsuzlaştırmaya çalışmaları gerekmektedir. Karbonsuzlaşmanın en hızlı sağlanacağı alan ise temiz alternatifleri kolay uygulanabilen ve ekonomik olan elektrik tüketimi kaynaklı emisyonlar olacaktır.

Doğrudan olmayan emisyonları içeren Kapsam 2 emisyonları arasında tanımlanan elektrik tüketimi kaynaklı emisyonların, SKDM'nin geçiş dönemi tamamlandığında çimento ve gübre sektörleri için de [kapsam dahiline alınması planlanmaktadır](#). İndirekt emisyonların kapsam dahiline alınmasının yanında, başlangıç olarak belirlenen sektörlerin sayısının artırılması ihtimali de SKDM'nin geçiş döneminde değerlendirilecektir. Öte yandan bir tesisin elektrik tüketiminin temiz enerji olarak değerlendirilebilmesi için [ilgili tesisin içinde üretilmesi ya da ikili anlaşma ile satın alınması gerekmektedir](#). Dolayısıyla tesis arazisi dışında kurulan lisanssız santrallerin elektrik üretimi, şebekeden elektrik tüketiliyormuş gibi vergilendirilecektir. Bu nedenle yerli sanayiciler için tesislerinde kurulabilecek çatı GES'lerin ayrı bir önemi vardır.

Konutların kritik rolü

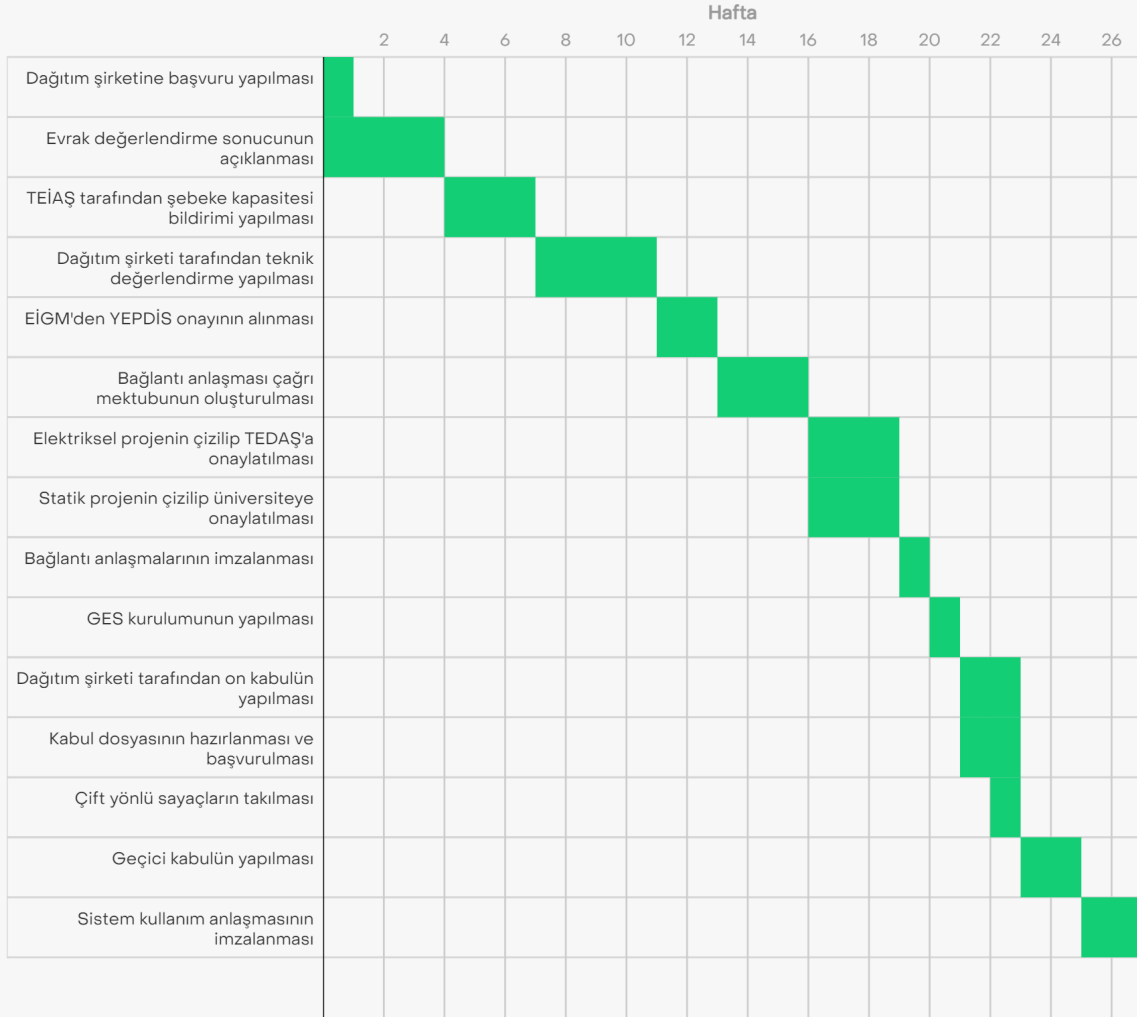
Gerçek kişiler açısından değerlendirildiğinde, kurulumunun kolaylığı ve her bütçeye uygun bir seçenek olması nedeniyle enerji dönüşümünün parçası olmak ve bundan faydalanmak isteyen kişilerin önünde çatı GES ilk seçenek olarak öne çıkmaktadır. Ancak kişilerin çatı GES sahibi olabilmek için öncelikle ev sahibi olmaları gerekmektedir. Eğer müstakil bir ev yerine apartman binasında ikamet ediliyorsa, apartman çatısına kurulacak güneş panelleri ancak binanın asansör ve aydınlatma gibi ortak elektrik tüketimi amacıyla kullanılabilmesi için kişilerin kendi elektriğini üretme imkanı çok kısıtlı kalmaktadır.

Türkiye'de çatı GES kurarak kendi elektriğini üretmek isteyen mesken tüketicileri uzun bir bürokratik sürecin içine girmektedir. Santralin kurulacağı bölgeden sorumlu dağıtım şirketi, iletim sistemi işletmecisi (TEİAŞ), Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, dağıtım sistemi işletmecisi (TEDAŞ) ve üniversiteler gibi farklı kuruluşlardan onayların alınması gerekmektedir.

Güneş enerjisi derneği [Solar3GW](#)'ın yaptığı bir araştırmaya göre, meskenler için başvurudan kurulumuna bir çatı GES'in tamamlanması 27 hafta sürmektedir. 27 hafta süren çatı GES kurulumunun yalnızca bir haftası panellerin kurulumu ile geçmektedir. Dolayısıyla çatısına yalnızca bir panel kurmak isteyen kişilerin dahi en az 26 hafta süren bir başvuru sürecine girmeleri gerekmektedir.

Türkiye'de başvurudan kurulumu çatı GES süreci 27 hafta sürüyor

Her adım için gereken hafta sayısı



Kaynak: Solar3GW

EİGM: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, YEPEĐS: Yenilenebilir Enerji Projeleri Değerlendirme İzleme Sistemi

EMBER

Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) [2021 Nüfus ve Konut Sayımı](#) istatistiklerine göre Türkiye'de hane halkının %60,7'si ikamet ettiği evin sahibidir. TÜİK'in 2021 [Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması](#)'na göre ise konutlarda yaşayan hane halkının yalnızca %11,7'sinin tek katlı binalarda ikamet ettiği görülmektedir. Dolayısıyla meskenlerde çatı GES kurulumunda başvuru süreci bürokrasisi dışında da engeller bulunmaktadır.

Konutların çatılarında üretilebilecek elektrik, enerjideki sübvansiyonların düşürülmesine yardımcı olabilir. [Resmi açıklamalara göre](#) Türkiye'de devlet tarafından belirlenen ulusal

elektrik tarifelerinde %50'ye varan oranda sübvansiyon uygulanmaktadır. Ancak elektrik tarifesinin düşük tutulması elektriğin maliyetini düşürmemekte ve hazine bütçesinde yük oluşturmaktadır. [Ülke geneli elektrik tüketiminin dörtte birinin](#) gerçekleştiği meskenler Türkiye'de en düşük elektrik tarifesinin uygulandığı tüketici tipi olduğu için kritik önemdedir.

Çatı GES sanayi, mesken ya da kamu kurumları ayırt etmeksizin her kesimin yararına olabilecek bir temiz enerji alternatifi olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle ülke geneli potansiyelin bilinmesi Türkiye'nin yalnızca enerji ve çevre politikaları açısından değil, SKDM nedeniyle ihracat ve ekonomik büyüme, sade vatandaşlara kendi elektriklerini üretme fırsatı sağlamasıyla kalkınma, elektrik tarifelerindeki sübvansiyon nedeniyle ise hazine bütçesi açısından önemlidir. Bunun yanında Türkiye'nin çatı GES potansiyeli analizi, ülkenin gelecekte ulaşmayı planladığı güneş kapasitesinin ne kadarlık bölümünün çatılara kurulabileceği konusunda da yol gösterici olacaktır.

Potansiyel

Güneşteki hedeflere giden yol çatılardan da geçiyor

120 GW'ı aşan, elektrik tüketiminin %45'ini karşılayabilecek potansiyeliyle çatı GES'ler Türkiye'nin enerji dönüşümünde önemli bir rol oynayacak.

Çatı GES potansiyelinin hesaplanması

Potansiyel tanımları

Yenilenebilir enerji kaynakları için [birden fazla potansiyel tanımı bulunmaktadır](#): teorik, teknik, ekonomik ve piyasa potansiyeli. Teorik potansiyel en geniş, piyasa potansiyeli en dar kapsam olmak üzere; bu dört potansiyel kavramı birbirinin alt kümesidir.

Çatı üstüne kurulacak güneş santralleri için teorik potansiyel, uygunluğuna bakılmaksızın tüm bina çatı alanlarının tamamının güneş panelleri ile donatıldığını varsayarak hesap edilirken, teknik potansiyel çatı uygun alanlarını da göze alarak hesaplanan potansiyeldir. Ekonomik potansiyelin hesaplanabilmesi için potansiyel projelerin karlılığı da dikkate alınırken, piyasa potansiyelinde şebeke kısıtları, piyasadaki rekabet, yatırım iklimi gibi durumlar da göz önüne alınır.

Teknolojik değişimler, ekonomik koşullar ve regülasyonlar potansiyel hesaplarına etki etmektedir. Örneğin güneş paneli verimliliğindeki iyileşmeler birim alan başına konulabilecek panel kapasitesini arttırdığı için dört potansiyel sonucunu da iyileştirmektedir. Diğer yandan panel fiyatı, finansman maliyetleri, yönetmelik değişiklikleri, elektrik fiyatları ya da tarifesi ise ekonomik potansiyeli doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla ekonomik potansiyel hesabı güncel koşullara bağlı olarak hızlı bir değişim göstermektedir. Bu nedenle çatı GES potansiyel hesaplarında teknik potansiyel öne çıkmaktadır.

Veri ve kapsam

Bu çalışmada Türkiye'nin çatı GES teknik potansiyeli yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri analiz edilerek hesaplanmıştır. 2023 Şubat ayındaki depremlerden etkilenerek [afet bölgesi ilan edilen 11 il](#) kapsam dışında tutularak geri kalan 70 ile ait çatıların uydu görüntüleri analiz edilmiş ve çatı GES'e uygunluklarına göre sınıflandırılmışlardır.

Çatı üstü güneş enerjisi potansiyelinin uydu görüntüleri ile hesaplanması

Çatıların kategorilere sınıflandırılma süreci

1.Adım:

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri toplandı



2.Adım:

Microsoft Building Footprints veritabanı kullanılarak çatılar belirlendi



3.Adım:

Çatı tipini ve panele uygunluğu belirlemek için bir makine öğrenme yöntemi kullanıldı



Kaynak: Ember analizi

Google Earth Engine

Ülke geneli çatıların tespit edilebilmesi için [Microsoft Building Footprints](#) veritabanından yararlanılmıştır. Kamuya açık olarak yayınlanan veritabanında, yeryüzünün yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri düzenli aralıklarla derin sinir ağları yöntemleriyle taranarak tespit edilen çatıların koordinatları yayınlanmaktadır. Türkiye'yi de kapsayan çalışmadaki koordinatlar kullanılarak 70 ile ait çatı alanları hesap edildiğinde, toplam çatı alanının 2,8 milyar m2 olduğu görülmüştür.

Uydu görüntülerinin analizi için [Google Earth Engine](#) (GEE) yazılımı kullanılmıştır. Tarayıcı üzerinde çalışan GEE, bütünleşik kodlama editörü sayesinde uydu görüntülerini işleme ve analiz etme olanağı sağlamaktadır. GEE'de uydu görüntülerinden çatı koordinatlarının

kırılmasıyla elde edilen çatı görüntüleri, *Random Forest* makine öğrenme yöntemi ile üç ayrı kategoriye (düz uygun çatı, eğimli uygun çatı ve uygun olmayan çatı) sınıflandırılmıştır.

Çatılar uygunluklarına göre sınıflandırılırken baca, anten, güneş kolektörü, güneş paneli gibi çatı üstünü dolduran kısımlar ile örtü altı yetiştiriciliği yapılan sera çatıları uygun olmayan çatı şeklinde sınıflandırılmıştır. Buna göre, uygun olarak sınıflandırılan düz ve eğimli çatıların toplam alanı 772 milyon m² olarak hesap edilmiştir. Bir başka deyişle toplam çatı alanının %27,6'sı uygun çatı olarak sınıflandırılmıştır.

Uygun çatı alanından potansiyel güneş santrali kapasitesine ulaşmak için çatı GES kurulumu yapan kuruluşların alan gereksinimi hesaplamaları ve son dönemde Türkiye'de devreye alınmış çatı GES projeleri referans alınmıştır. 1 kW'lık çatı GES kurulumu için tespit edilen en yüksek alan gereksinimi olan 6,4 metrekare, hesaplamalarda dikkate alınan varsayım olmuştur. Kapasite potansiyeli hesabı ile ilgili daha ayrıntılı bilgi [Metodoloji](#) kısmında bulunabilir.

120 GW'tan fazla potansiyel

Türkiye'nin 70 ilinin uygun olarak sınıflandırılan düz ve eğimli çatı alanından yola çıkılarak toplam çatı GES potansiyeli 120 GW olarak hesap edilmiştir. Deprem bölgesinin dikkate alınmamış olması ve nispeten düşük verimliliğe sahip panellerin kaplayacağı alan varsayımına göre potansiyel hesabı yapıldığı için Türkiye'nin çatı GES teknik potansiyeli en az 120 GW'tır denilebilir.

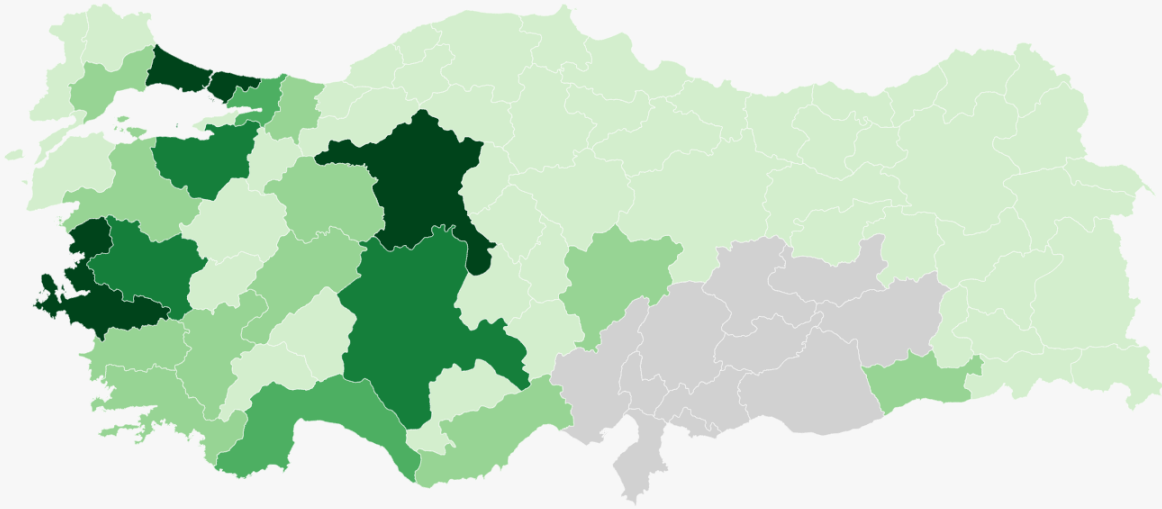
En yüksek çatı GES kapasite potansiyelinin olduğu illere bakıldığında, nüfus açısından en büyük üç il İstanbul (10,4 GW), Ankara (10,1 GW) ve İzmir (9,3 GW) öne çıkmaktadır. Ancak İstanbul 15,9 milyon kişilik nüfusuyla 5,8 milyonluk Ankara ile kapasite potansiyeli açısından başabaş durumda olduğu için nüfusuna oranla düşük bir potansiyele sahiptir.

Türkiye'nin çatı üstü güneş potansiyeli 120 GW'ın üzerinde

Çatı GES kapasite potansiyeli, MW

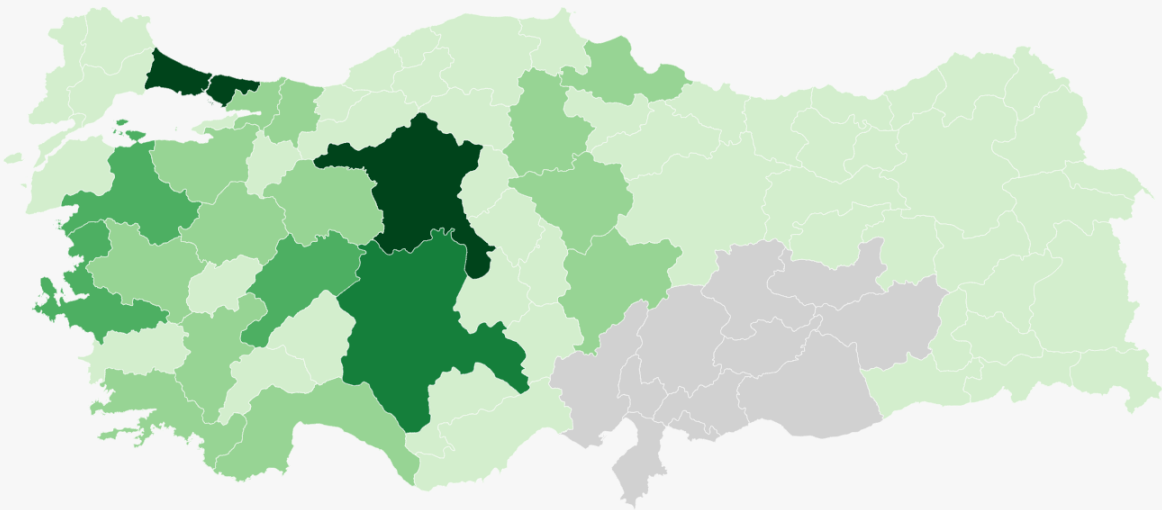
Toplam Düz çatılar Eğimli çatılar

0 1000 2000 3000 4000 5000



Toplam Düz çatılar Eğimli çatılar

0 1000 2000 3000 4000 5000



Kaynak: Ember analizi

Not: Depremden etkilenen 11 il kapsam dışı bırakılmış ve gri ile gösterilmiştir.

Sıralamaya çatı tipi açısından bakıldığında ise, toplam potansiyelin 61,7 GW'ına sahip olan düz çatılarda İzmir ilk sıradadır (6,7 GW). İzmir'i diğer büyükşehirler İstanbul (4,7 GW), Ankara (4,7 GW) ve Bursa (3,3 GW) takip etmektedir. Düz çatılar genellikle sanayi tesislerinin çatıları olduğu için nüfus açısından kalabalık olmamasına rağmen [sanayinin gayrisafi yurtiçi hasılasına katkısında](#) ilk 10'da yer alan Kocaeli (2,5 GW), Manisa (3,1 GW) ve Tekirdağ (1,9 GW) gibi sanayileşmiş iller, düz çatı potansiyelinde büyük illerin hemen ardında yer almışlardır.

Üç büyük ilin dışında Konya hem düz çatıdaki yüksek potansiyeli (3,3 GW), hem de eğimli çatı potansiyeli (3,2 GW) ile dikkat çekmektedir. Konya ilinin düz geniş arazileri ve [yüksek güneş potansiyeli](#) de hesaba katılınca şehrin güneş enerjisi için ülkedeki en uygun konumlardan biri olduğu söylenebilir. Zira Konya, Türkiye'nin [1 GWac/1,35 GWdc kurulu güce sahip](#) en büyük güneş santraline de ev sahipliği yapmaktadır.

58,9 GW'lık potansiyelin bulunduğu eğimli çatılarda İstanbul (5,7 GW) ve Ankara (5,5 GW) başı çekerken, illerde hane halklarının yaşadığı bina tipleri de sonuçlara yansımıştır. Çok katlı apartman binaları genellikle düz çatılı iken, az katlı ve müstakil evler eğimli çatılara sahip olmaktadır. Örneğin nüfusun %75'inin [ikiden çok katlı apartman binalarında yoğunlaştığı](#) Türkiye'nin en kalabalık beşinci ili Antalya, eğimli çatı potansiyelinde ilk 10'a girememiştir. Öte yandan [nüfus açısından 31. il](#) olmasına rağmen, nüfusun [yarıdan fazlasının iki veya daha az katlı binalarda](#) ikamet ettiği Afyon 2,8 GW eğimli çatı potansiyeli ile bu kategoride dördüncü sıradadır. Eğimli çatılarda öne çıkan bir diğer il de Balıkesir'dir (2,3 GW).

Çatıların uygunluk oranı açısından değerlendirildiğinde, %40'ın üstünde uygunluk oranlarıyla özellikle Uşak, Afyon, Eskişehir ve Kütahya gibi İç ve İç Batı Anadolu illeri öne çıkmaktadır. Afyon, Kütahya, Kırşehir'in özellikle uygun eğimli çatıları, Mardin ve Siirt'in ise düz çatıları öne çıkarak bu istatistikte ön sıralarda yer almalarını sağlamıştır.

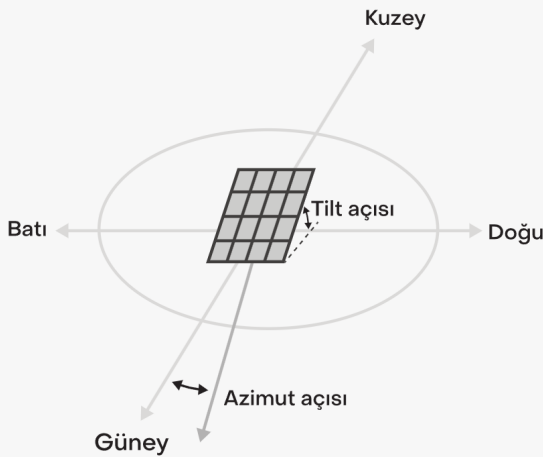
Açıların güneşten elektrik üretimine etkisi

Kapasite potansiyelinden elektrik üretimi tahmini yapabilmek için güneş panellerinin eğimini gösteren tilt açısı ile güney yönü ile yaptığı açıyı temsil eden Azimut açısını belirlemek gerekmektedir. Bir panelin konumuna göre güneşten elektrik üretimini optimize eden birer tilt ve Azimut açısı olsa da, çatılarda bu açıları optimal şekilde seçmek mümkün olmayabilir. Örneğin eğimli çatılarda çatının eğimi tilt açısını belirler. Benzer şekilde kuzey yarımkürede tam güneye bakan Azimut açısı optimal açı olsa da, eğimli bir çatının baktığı yön neresi ise doğrudan çatı GES'in Azimut açısını da belirlemektedir.

Üretim potansiyeli hesaplamalarında düz çatılar için tilt açısının 0 derece olduğu varsayılmıştır. Düz çatılar için daha yüksek kapasite sağlayabilecek doğu-batı doğrultusunda 10 derecelik açı ya da birim kapasite ile en yüksek elektrik üretilebilecek optimal açılı güneye bakan kurulum da değerlendirilebilir. [Her bir seçeneğin avantajı ve dezavantajı vardır](#). Eğimli çatıların ise [eğimlerinin 33 derece olduğu](#) varsayılmıştır. Eğimli çatıların hangi yöne baktıklarının yani Azimut açılarının hesap edilebilmesi için daha önce kullanılan çatı koordinatları veritabanı kullanılmıştır.

Panelin yönü ne kadar güneş enerjisi üretebileceğini etkiler

Tilt ve Azimut açıları güneş panelinin performansını etkiler



Eğimli çatıların Azimut açısına göre maksimum potansiyel güneş enerjisi üretimine uygulanan düzeltme faktörleri



Kaynak: Ember analizi, PVGIS

EMBER

Her bir eğimli çatı için hesap edilen Azimut açısı, yönüne göre 45 derecelik sekiz eşit kategori içerisinde sınıflandırılmıştır: Kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı, kuzeybatı. Bu hesaplamalar sonucunda Türkiye'deki çatıların büyük kısmının kuzey-güney doğrultusunda olduğu gözlemlenmiştir. İllere göre kuzey-güney yönüne bakan çatı oranı ise %45-60 arasında değişkenlik göstermektedir. Yalnızca güneye bakan eğimli çatıların kapasite potansiyeli 15,2 GW olarak hesaplanmıştır.

Optimal açıları seçmek mümkün olmadığı için çatıdaki bir güneş santrali ile üretilebilecek elektrik, aynı kapasitedeki bağımsız bir santralin üretebileceği maksimum üretimden daha

düşük olmaktadır. Bu nedenle ilk olarak bir önceki adımda elde edilen kapasite potansiyellerinin optimal açılarla üretebileceği maksimum üretim hesaplanmıştır.

Her bir ilçedeki potansiyel için optimal açıyla ne kadar elektrik üretebileceği hesaplandıktan sonra, çatı tipine göre bu miktarlar üzerine düzeltme faktörleri uygulanmıştır. Örneğin düz çatılarda 0 tilt açısıyla, optimal açılarla elektrik üretimine kıyasla %84 oranında üretim gerçekleştirebileceği hesaplanmıştır. Sekiz eğimli çatı tipi için baktıkları yöne göre uygulanan düzeltme faktörleri ise yukarıdaki görselde özetlenmiştir. Üretim tahmini adımlarına ilişkin daha detaylı bilgi [Metodoloji](#) kısmında bulunabilir.

Elektrik tüketiminin %45'ine ulaşan potansiyel

70 ildeki her bir çatının bulunduğu lokasyondaki optimal açılarla üretim potansiyeli üzerine, çatı türüne göre uygulanan düzeltme faktörleri sonucunda elde edilen yıllık çatı GES elektrik üretimi potansiyeli 148 TWh'tir. Bu miktar Türkiye'nin 2022 yılı toplam elektrik tüketiminin %45'ine denk gelmektedir.

Kapasite potansiyelinde ilk sırada olsa da, İstanbul 11,4 TWh'lik üretim potansiyeli ile güneş potansiyeli daha yüksek olan Ankara (12,5 TWh) ve İzmir'in (12,4 TWh) gerisinde kalmıştır. Üretim potansiyelinde üç büyük ili Konya (8,6 TWh) takip ederken, kapasite potansiyeli sıralamasına benzer olarak Manisa (6,4 TWh), Bursa (5,4 TWh), Afyon (5,3 TWh) ve Balıkesir (4,7 TWh) de yine kendisine ön sıralarda yer bulmuştur. Elektrik üretimi açısından ilk 10 sırada bulunan diğer iki il Antalya (5,5 TWh) ve Muğla (4,5 TWh) ise yüksek güneş potansiyelleri sayesinde kapasite potansiyeli sıralamasına göre daha yukarı sıralarda yer almışlardır.

İllere göre çatı GES elektrik üretimi potansiyelinin faturalanan elektrik tüketimini karşılama oranlarına bakıldığında, elektrik tüketiminin iki katından yüksek potansiyele sahip Afyon, Çorum, Iğdır, Kırşehir ve Yozgat gibi iller ön plana çıkmaktadır. Bu illerden Iğdır (0,22 TWh) ve Kırşehir'in (0,53 TWh) elektrik tüketiminin düşüklüğü, Afyon'un çatı uygunluk oranının yüksekliği (%46), Çorum ve Yozgat'ın ise kişi başına düşen elektrik tüketiminin azlığı nedeniyle çatı GES potansiyelinin elektrik tüketimini karşılama oranı yüksektir.

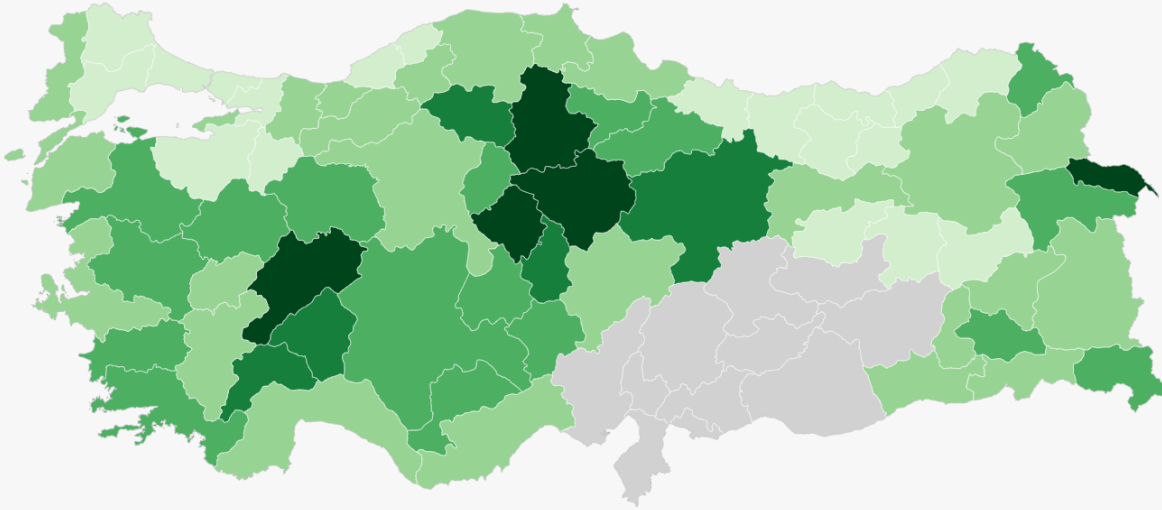
Büyükşehirlerden Konya (%113), Ankara (%88) ve İzmir'in (%76) de çatı GES potansiyeli faturalanan elektrik tüketimlerini karşılamada yüksek seviyelerdedir. Kuzeyde daha az güneş alan, sanayileşmiş ve elektrik tüketimi yüksek olan büyük iller İstanbul (%27) ve Bursa'nın (%42) ise elektrik tüketimine kıyasla çatı GES potansiyeli düşük kalmıştır. Nüfus açısından bir

diğer kalabalık il Antalya ise güneyde olmasına rağmen çatılarının uygunluk oranının düşük olması nedeniyle %59 oranında kalmıştır.

Çatılardaki potansiyel toplam elektrik tüketiminin %45'ini karşılayabilir

Çatı GES üretim potansiyelinin illerin elektrik tüketimine oranı (2022)

%0 %50 %100 %150 %200 %250



Kaynak: EPDK (2022, Faturalanan Tüketimin İllere Göre Dağılımı), Ember analizi
Not: Depremden etkilenen 11 il kapsam dışı bırakılmış ve gri ile gösterilmiştir.

EMBER

Kapasite ve üretim potansiyeli haritalarında dikkat çeken noktalardan biri de, batıdaki illerin çatı GES potansiyelinin doğu illerinden belirgin bir şekilde yüksek olmasıdır. Nüfus yoğunluğu ve sanayileşme batı illerinde daha yüksek olsa da, Adana ve Gaziantep gibi sanayileşmiş ve nüfusu yüksek iller ile birlikte Şanlıurfa, Diyarbakır, Hatay ve Kahramanmaraş gibi büyükşehirlerin afet bölgesi olması nedeniyle çalışmanın kapsamı dışında olması da buna etkindir. Çalışma kapsamı dışında kalan 11 ilin toplam nüfus içindeki oranı %16'dır.

Kapasite hedeflerinde çatıların yeri

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 2022 yılı sonunda yayınladığı [Ulusal Enerji Planı](#)'na göre Türkiye 2035 yılına kadar güneş enerjisi kurulu gücünü 52,9 GW'a yükseltmeyi planlamaktadır. Ekim 2023'te yayınlanan, [12. Kalkınma Planı](#)'na göre ise 2028 yılı sonunda

ulaşılması hedeflenen güneş kapasitesi 30 GW'tır. Bir başka deyişle 2024 ile 2028 yılları arasında her yıl 3,8 GW güneş santralinin kurulması amaçlanmaktadır.

Ulusal Enerji Planı ve 12. Kalkınma Planı içerisinde enerjide güneşi öne çıkaran hedefler açıklanmış olsa da, bu kapasitelerin hangi tür güneş santralleri ile ne seviyelerde gerçekleştirileceği açısından bilgi verilmemiştir. Önümüzdeki yılların kapasite planlamasında çatılarda, arazide ya da su yüzeylerinde kurulması planlanan kapasitelerin hangi miktarda oldukları bilinmemektedir.

Türkiye'nin en az 120 GW'lık çatı GES teknik potansiyeli göstermektedir ki ülkenin güneş enerjisindeki kapasite hedeflerine ulaşmada çatılar da önemli bir rol oynayacaktır. Arazi gereksiniminin olmaması, tüketimle aynı noktada üretim sağlanması ve her kesimden kişinin parçası olabileceği bir elektrik üretim yöntemi olması nedeniyle bundan sonraki hedeflerden biri de çatıların enerji dönüşümünün ve ekonomik kalkınmanın aktif bir parçası olması için uygun politikalar geliştirmek olmalıdır.

Küresel örnekler

Çatı üstü güneş teşvikleri dünya genelinde yaygınlaşıyor

Temiz ve güvenilir elektrik ihtiyacı ülkeleri çatılarını değerlendirmeye yönlendiriyor.

Çatılar çeşitli politika araçları ile destekleniyor

Hollanda'dan Çin'e, Polonya'dan Güney Afrika'ya birçok ülke çatılarda güneş santrali kurulumunu destekleyici politikalar uygulamaktadır. Bu uygulamalar arasında mahsuplaşma, alım garantileri, vergi indirimleri ve doğrudan sübvansiyon politikaları sayılabilir. Kurulum zorunluluğu ve çatı GES'e uygun inşaat yükümlülükleri şeklinde regülasyonlar da mevcuttur.

Bu politikaları başarılı uygulayan ülkelerde çatılara güneş santrali kurulumu hızlanmış ve Çin gibi ülkelerde arazi tipi kurulumların önüne geçmiştir. Öte yandan Güney Afrika gibi bazı ülkelerde arz güvenliğinin sağlanamaması halkın kendiliğinden çatı GES'e yönelmesine sebep olmuş ve teşvikler akabinde hayata geçirilmiştir.

Apartman çatıları için sanal mahsuplaşma

Çatılarda elektrik üretimini yaygınlaştırmak isteyen ülkeler ilk olarak mahsuplaşma imkanı sağlamaktadır. Mahsuplaşma sayesinde üretilen elektriğin tüketilenden dönemsel olarak düşülmesiyle, tüketici kendi tüketimini karşılayabildiği ölçüde düşük bir fatura öder. Üretimin tüketimden fazla olması durumunda tüketici, şebekeye verdiği fazladan elektrik ile kazanç da elde edebilmektedir.

Mahsuplaşma yapılırken şebekeden alınan ve şebekeye verilen elektriğin ölçülebilmesi için her bir tüketim noktası için ayrı bir sayaca ihtiyaç duyulur. Apartmanlar gibi birden çok hanenin bulunduğu binalarda ise üretimi her sayacın tüketimiyle oransal olarak mahsuplaştırmak için sanal mahsuplaşma yapılmaktadır. Tüketici sayaçları ve santral arasında fiziksel bağlantı olmayan bu uygulamada, üretilen elektrik ortak alanların tüketimiyle mahsuplaşıldıktan sonra şebekeye verilir. Daha sonra tüketicilerin şebekeden kullandığı elektrik ile fatura üzerinde finansal mahsuplaşma yapılır.

1996'dan bu yana mahsuplaşma sistemini kullanan Kaliforniya'da, 2008'de başlayan sanal mahsuplaşma programları ile Ekim 2023'e kadar apartman çatılarında [87,2 MW](#)'lık güneş santrali kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kaliforniya, programlar kapsamındaki GES'lerin kurulumunu kolaylaştırmak için [sabit sübvansiyonlar uygulamıştır](#). Üretilen elektriğin ortak alanlar yerine haneler ile mahsuplaşıldığı sistemlere yüksek teşvikler ([1,8\\$/W](#) ve [3,5\\$/W](#)) verilerek bina sakinlerinin çatı GES'ten en yüksek oranda faydalanması hedeflenmiştir.

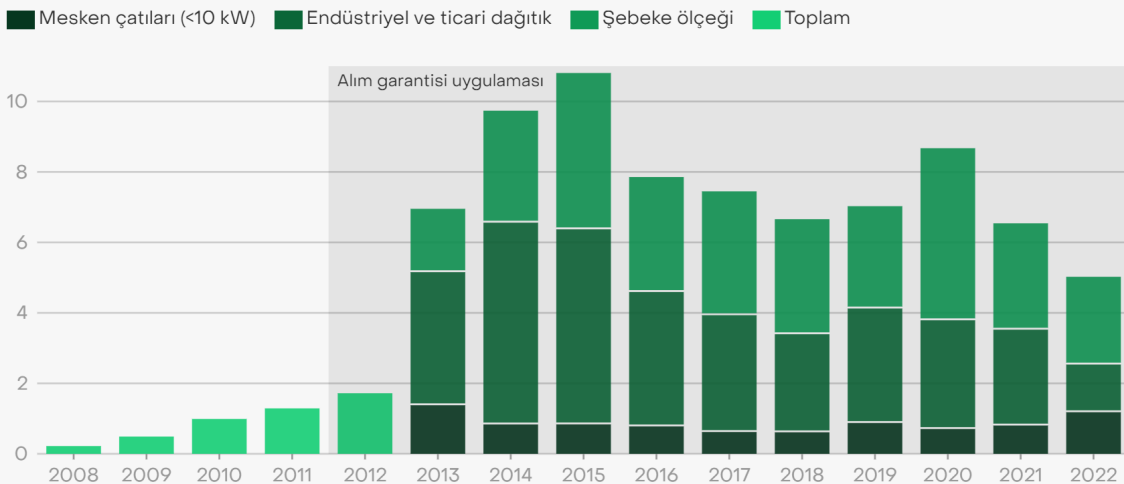
Uzun süreli alım garantileri

Alım garantisi, üretilen elektriğin tamamının kurulumdan önce belirlenen bir fiyattan şebekeye verildiği bir teşvik yöntemidir. Bu sistemde devlet, çatı GES sahiplerine 10-20 yıl gibi uzun vadeler boyunca perakende elektrik fiyatından yüksek bir fiyattan alım garantisi sağlamaktadır.

Japonya'nın güneş enerjisindeki atılımı, 2012'de hem öztüketim odaklı, hem de ticari projelerin faydalanabildiği şebekeye satış tarifesinin [yürürlüğe girmesi ile başlamıştır](#). Mesken, ticari ve sanayi tüketicilerinin öztüketim amacıyla devreye aldığı dağıtık GES kapasitesi, 2020 yılı hariç olmak üzere, 2013'ten beri her sene şebeke ölçeği kurulumlardan fazla olmuştur. Bu sayede dünyanın en büyük üçüncü güneş enerjisi kapasitesine sahip Japonya'nın 2022'de 83 GW güneş kurulu gücünün yaklaşık %60'ını dağıtık GES projeleri oluşturmuştur.

Dağıtık kurulumlar, alım garantisi sayesinde 2013 yılından bu yana Japonya'da güneş kapasitesi artışının yarısından fazlasını oluşturdu

Santral türüne göre GES kurulumları, GW



Kaynak: IEA PVPS, JPEA
'Endüstriyel ve ticari dağıtık' kategorisi 500 kW'tan küçük arazi tipi GES'leri içerebilir. 2013 öncesi santral kırılımı mevcut değildir.

Deprem sonrası inşa edilen konutlarda çatı kiralama yöntemi

Japonya'nın örnek teşkil edebilecek çatı GES uygulamalarından bir diğeri de 2011 depreminden sonra inşa edilen sosyal konutlarda çatı kiralama modelinin kullanılmasıdır. Depremden en çok etkilenen illerden olan Miyagi'de yerel yönetim, depremzedeler için inşa edilen sosyal konut çatılarını toplam 4,3 MW gücünde GES kurulumu için proje geliştiricilerine [kiralamıştır](#).

Çatı kiralama modelinde proje geliştiricisi, bina sahibine kira öderken çatı üstü santralden ürettiği elektriği doğrudan şebekeye satarak gelir elde eder. Bu iş modelini mantıklı hale getiren, alım garantisi kapsamında şebekeye satılan elektrikten elde edilen gelirin çatı için ödenen kiradan yüksek olmasıdır. Bina sakinleri bu şekilde kurulum masraflarını üstlenmeden güneş enerjisinden faydalanabilmektedir.

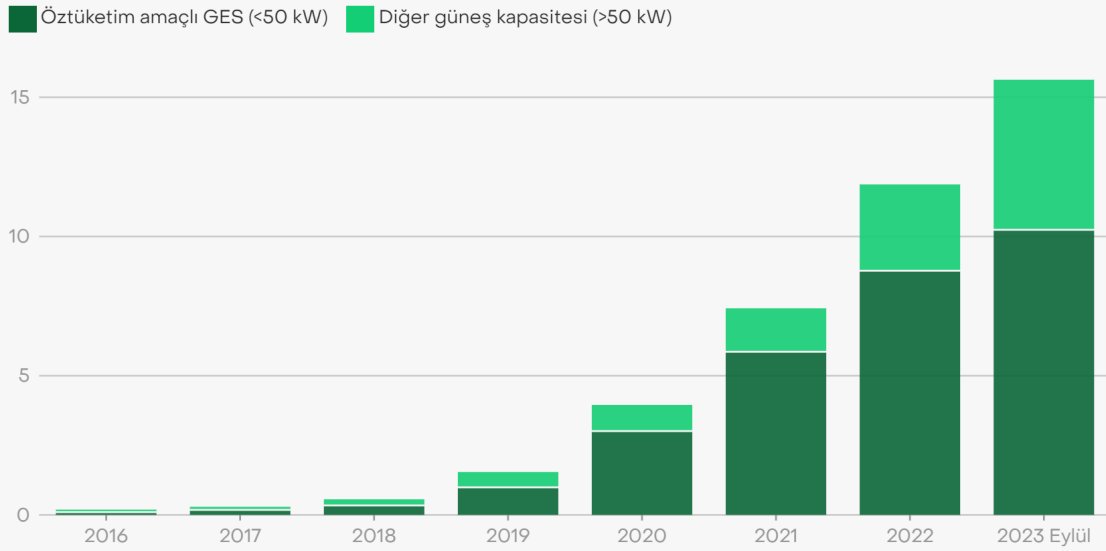
Polonya'da küçük ölçekli santraller Türkiye'nin güneş kurulu gücü ile başa baş

Çatı GES maliyetlerini düşürmek amacıyla doğrudan sübvansiyonlara ve vergi indirimlerine de başvurulmaktadır. Ekipman masraflarını hafifletmek ve çatı GES projelerinin yatırımı geri ödeme sürelerini kısaltmak için birim kapasite başına sabit ödeme politikaları bulunmaktadır. Ayrıca güneş panelleri üzerindeki katma değer vergisinin (KDV) azaltılması, çatı GES kurulumu için yapılan harcamanın gelir vergisinden düşülmesi gibi uygulamalar mevcuttur.

Polonya'da 2019'da yürürlüğe giren [Benim Elektrikim](#) adlı sübvansiyon programı doğrudan sübvansiyonların başarılı bir örneğidir. Program kapsamında 2-10 kW arası çatı GES sistemleri için ekipman ve kurulum maliyetleri 7.000 zlotiye (\$1.745) kadar [sübvansiyon edilmiştir](#). Destekleyici bir başka politika olarak ayrıca 2019'da mesken GES'ler için uygulanan KDV [%23'ten %8'e](#) indirilmiştir.

Polonya'nın öztüketim amaçlı güneş kapasitesi 2023 yılında 10 GW'ı aştı

Kapasite, GW



Kaynak: Polonya İklim ve Çevre Bakanlığı (2016–2021), ARE S.A. (2022–2023), Ember

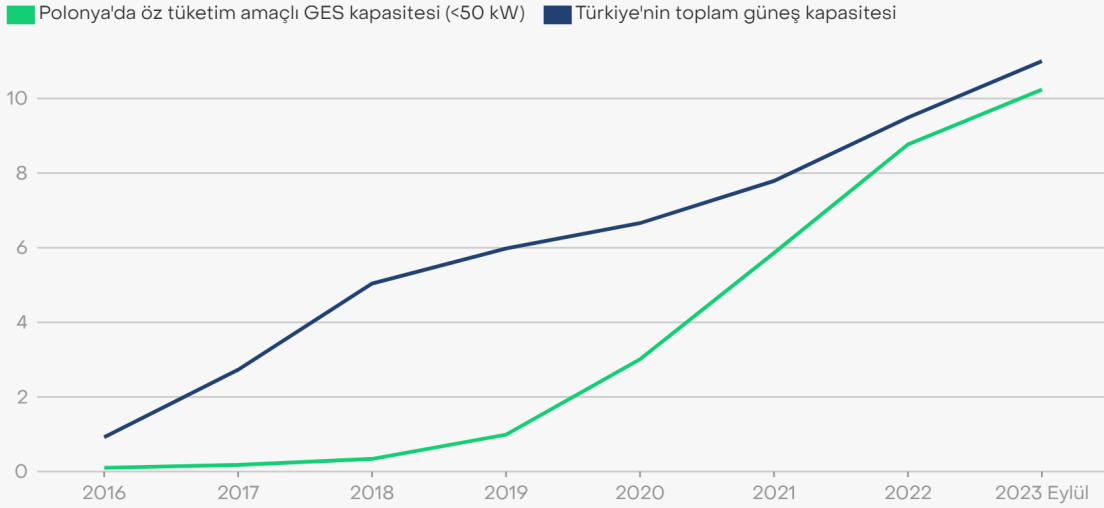
EMBER

50 kW ve altındaki sistemlere sahip meskenler ve küçük işletmeler, 2022 yılına kadar mahsuplaşmadan faydalanabilmekteydi. Polonya'da 2018-2022 arası [üç kattan fazla artan elektrik fiyatları](#), *Benim Elektriğim* programı ve mahsuplaşma sayesinde 2018'de [yaklaşık 51,000](#) olan çatı GES sayısı 2022 sonunda [1,2 milyonun üzerine](#) çıkmıştır. Bu dönemde devreye alınan 12 GW güneş kapasitesinin dörtte üçünü çatı üstü santraller oluşturmuştur.

2022 yılı sonu itibariyle Polonya'da 50 kW'ın altındaki küçük ölçekli GES'ler [8,8 GW'lık kapasiteye](#) ulaşmış, 2023 yılı Eylül ayına kadar [eklenen 1,4 GW'lık kapasite](#) ile birlikte Türkiye'nin 11 GW'lık toplam güneş kapasitesi ile neredeyse başabaş duruma gelmiştir.

Polonya'da 50 kW'ın altındaki santraller Türkiye'nin güneş kurulu gücünü neredeyse yakaladı

Kapasite, GW



Kaynak: Polonya İklim ve Çevre Bakanlığı (2016–2021), ARE S.A. (2022–2023)

EMBER

Sübvansiyon ile sistem maliyetlerini azaltmayı hedefleyen başka bir devlet politikası ise Karadağ'ın 2021'de başlattığı [Soları programıdır](#). Güneş kurulu gücü 2021 sonunda [2,6 MW](#) olan Karadağ, [Soları](#) ile [70 MW çatı GES kurulumu hedeflemekte](#) ve bu doğrultuda devlet, santral yatırım maliyetinin %20'sini üstlenmektedir. Ek olarak, güneş panelleri üzerindeki KDV Ocak 2023'te [%21'den %7'ye düşürülerek](#) kurulum maliyetleri daha da azaltılmıştır.

[Soları](#)'yi cazip kılan özelliklerden biri de program katılımcılarının yatırım maliyetini herhangi bir peşinat ödemeksizin aylık taksitler halinde kamu elektrik şirketine ödemeleridir. Taksitlerin tutarı katılımcıların aylık elektrik faturasından yüksek olmayacak şekilde belirlenmektedir. Çatı GES'ler aynı zamanda yıllık mahsuplaşmaya tabi olduğundan, katılımcılar yıllık tüketimlerini çatılarından sağlayabildikleri sürece aylık fatura tutarından daha yüksek bir harcama yapmadan çatı GES sahibi olabilmektedir.

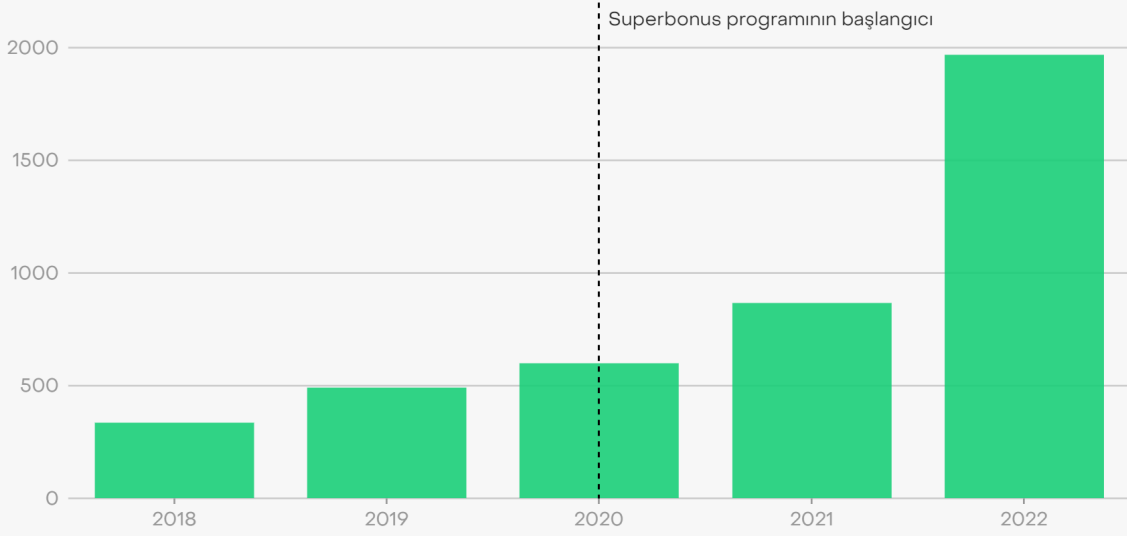
Tadilat teşvikleri çatı üstü kurulumların önünü açabilir

Doğrudan teşviklerin yanı sıra, çatı GES'in bina tadilatlarının bir parçası olarak desteklediği politikalar da mevcuttur. İtalya'da 2020 yılında başlayan [Superbonus programı](#), binalarda enerji verimliliğini artırma amaçlı tadilat ve çatı GES kurulumu bir arada yapıldığında yatırım miktarının neredeyse tamamının vergiden düşülmesine olanak sağlamaktadır. 2021 yılında

devreye alınan 890 MW dağıtık GES kapasitesinin [%63'ünü Superbonus'tan faydalanan kurulumlar](#) oluşturmuştur. 2022 yılında ise dağıtık GES kurulumları 2 GW'ı aşmıştır.

İtalya'da dağıtık GES kurulumları Superbonus politikası ile hızlandı

Dağıtık GES kurulumları, MW



Kaynak: IEA PVPS, PV Magazine - Dağıtık GES, öz tüketim amaçlı çatı ve arazi kurulumları anlamına gelir. Superbonus, çatı GES'i de kapsayan, ev tadilatları için bir vergi iadesi politikasıdır.

EMBER

Superbonus'tan faydalanabilen tadilat türlerinin çatı GES ile uyumlu olması da kurulumları teşvik etmektedir. Örneğin yalıtım amaçlı çatı tadilatıyla beraber GES kurulumu yapılarak her iki çatı işi tek seferde tamamlanabilir. Bununla beraber, ısıtma sisteminin ısı pompası ile değiştirilmesi sonucunda artan elektrik talebi, ücretsiz kurulacak çatı GES ile karşılanabilir. Superbonus, aynı zamanda meskenlerde depreme karşı güçlendirme çalışmasıyla beraber çatı GES kurulumu yapıldığında da geçerlidir. Bu sayede binalar güçlendirilirken afet durumunda arz güvenliği sağlayan güneş enerjisi de teşvik edilmektedir.

Kurulum yükümlülükleri

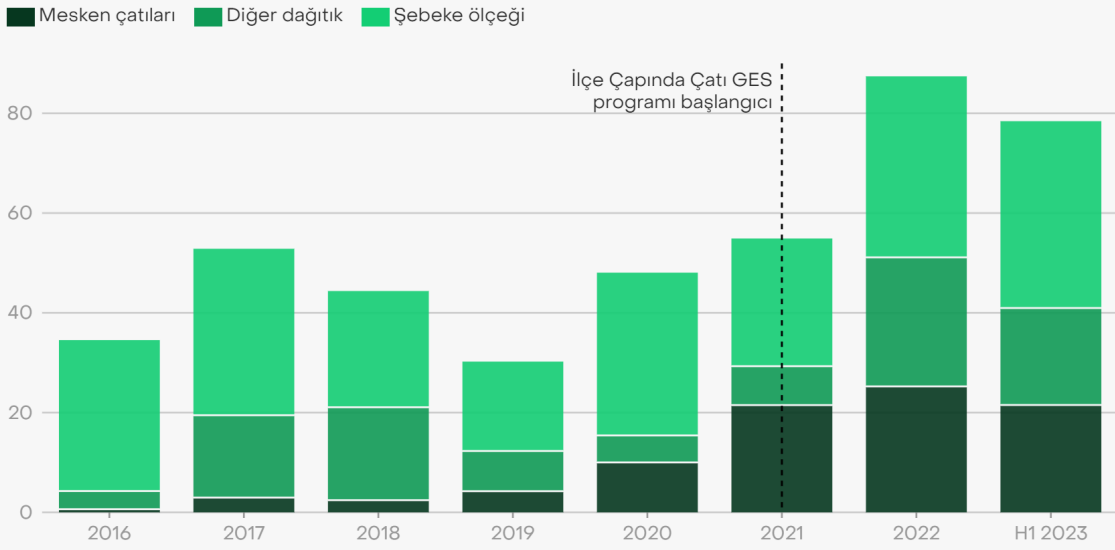
Çatılarda güneş santrali kurulumunu hızlandırmak için teşviklerin yanı sıra kurulum yükümlülükleri getiren regülasyonlara da başvurulmaktadır. Bina ölçeğinde emisyon azaltımı veya öztüketim zorunlulukları bu tarz regülasyonlara örnek verilebilir. Bina türü, çatı alanı ve kat sayısına göre farklı yükümlülükler olabilmektedir.

Çin'in çatı GES kurulum zorunlulukları getiren [İlçe Çapında Çatı GES](#) politikası ile birlikte 2021 yılında 55 GW güneş kurulu güç artışının [%53'ünü](#) dağıtık güneş santralleri oluşturmuştur. Böylece dağıtık GES ilk defa şebeke ölçeğinde santrallerdeki artışın [önüne geçmiştir](#). 2022

yılında ise ivme devam etmiş, devreye alınan mesken GES (25,3 GW) ve diğer dağıtık GES (25,9 GW) kapasitesi, güneşte toplam kapasite artışının %58'ini sağlamıştır.

Çin'de mesken GES kurulumları yükselişte

Santral türüne göre yeni GES kurulumları, GW



Kaynak: Çin Ulusal Enerji İdaresi, PV Magazine, Xu et al.
Diğer dağıtık kategorisi öz tüketim amaçlı çatı ve arazi kurulumlarını gösterir.

EMBER

İlçe Çapında Çatı GES uygulamasında büyük proje geliştirici şirketlere belirli ilçelerde çatı GES kurulum ihaleleri verilmektedir. İhaleler bina türüne göre belirlenen santral kurulum kotalarına bağlı olarak yapılmakta, ihaleleri kazanan geliştiricilerin kamu binalarının yarısına, okul ve hastanelerin %40'ına, sanayi ve ticari binaların %30'una ve kırsal meskenlerin %20'sine çatı GES kurma yükümlülüğü [bulunmaktadır](#).

Birbirini tamamlayan uygulamalar kurulumları daha da hızlandırabilir

Çatılarda güneş enerjisini yaygınlaştırmanın yolu birbirlerini destekleyen birden fazla politikanın doğru uygulanmasından geçmektedir. Bunun örneklerinden biri, küçük yüzölçümüne rağmen Avrupa'da [güneşten elektrik üretiminde lider](#) olan Hollanda'dır. [Mahsuplaşma, sübvansiyon, alım garantileri ve vergi indirimlerinden](#) oluşan bir politika kombinasyonu sayesinde Hollanda'da çatı üstü kurulumlar yılda 3 GW'a yaklaşmış durumdadır. Buna ek olarak 2025'ten itibaren 250 m²'den az çatı alanına sahip konut harici binalara GES kurulum yükümlülüğü getirmeyi [planlamaktadır](#).

Hollanda'da konut çatıları diğer kurulumlar içerisinde öne çıkmaktadır. 2023 yılında güneş panellerinde [KDV kaldırılana değin](#) yalnızca mahsuplaşmadan faydalansa da, [ortalama konut](#)

[elektrik tarifesi](#), güneşten elektrik [üretim maliyetinden](#) yüksek seyrettiğinden cazip hale gelmiştir. Mahsuplaşma kapsamında üretim fazlası elektriğin tamamının sonra kullanılmak üzere maliyetsiz bir şekilde şebekeye verilebilmesi ise haneleri GES kurulumuna teşvik eden bir diğer faktör olmuştur. Böylece, konut çatılarında güneş santrali kurulumları 2017'den 2022'ye yılda ortalama her yıl 1 GW artış göstermiş ve 2022 yılında yaklaşık 4 GW olan yeni GES kurulumunun %44'ünü oluşturmuştur.

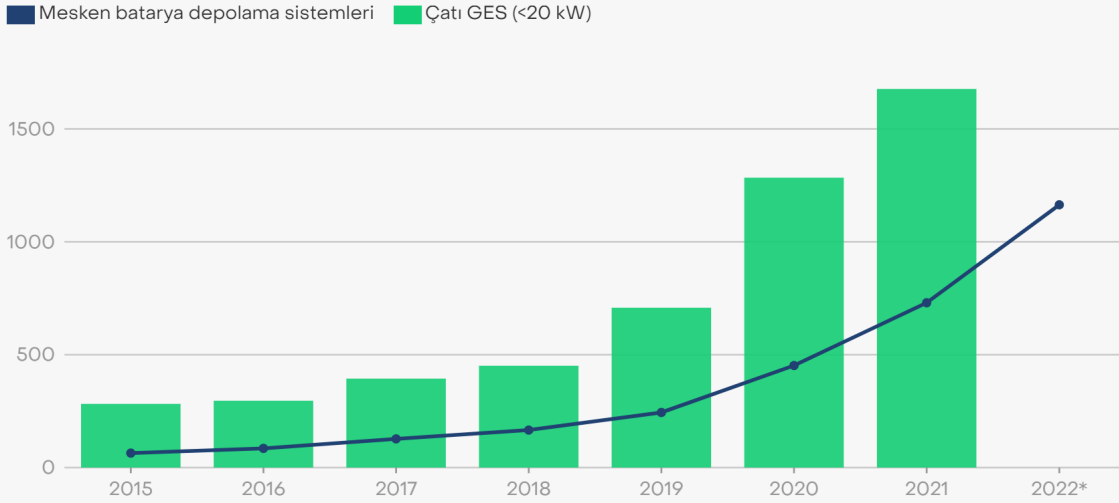
Hollanda'da çatı GES'lerin hızlı bir şekilde yaygınlaşması, talebin düşük olduğu zamanlarda arz fazlası güneş enerjisinin kısılması sorununu beraberinde getirmiştir. Şebeke işletmecileri, sistem dengesini korumak adına mahsuplaşma kapsamında şebekeye verilecek güneş enerjisi üretimini azaltabilmektedir. Bu durum 2022 yılının ilk yarısında Hollanda'nın güneş kapasitesinin %43'üne (8 GW) ev sahipliği yapan dağıtım bölgesinde 1.074 defa yaşanırken 2023'ün aynı döneminde [3.476 kez gerçekleşmiştir](#).

Bu sorundan kaçınmanın bir yolu olarak öztüketimi ve enerji depolamayı teşvik eden politikalar öne çıkmaktadır. 67 GW ile dünyanın [en yüksek dördüncü](#) güneş kapasitesine sahip Almanya'da çatı GES ile üretilen elektrik, öztüketim için kullanılmakta veya alım garantisi kapsamında şebekeye verilmektedir. Mesken GES'ler için alım garantisi tarifeleri, 2011 yılından bu yana elektrik fiyatının [altında kaldığı için](#) öztüketim daha cazip hale gelmiştir.

Üretimin olmadığı saatlerde de öztüketim yapabilmeyi sağlayan mesken batarya depolama sistemleri, 2014 ve 2020 yılları arasında maliyetlerin [%71 düşmesiyle](#) ön plana çıkmıştır. Mesken batarya depolama kapasitesindeki yıllık artış, 20 kW'tan küçük yeni çatı GES kurulumları ile paralel seyretmektedir. Devreye alınan mesken GES kapasitesi 2020 yılında 1,2 GW, batarya depolama sistemleri ise 2021 yılında 1,1 GW ile ilk kez gigawatt ölçeğinde artış göstermiştir.

Almanya'da konutlarda çatı GES ve batarya depolama sistemleri birlikte artıyor

Yıllık küçük ölçekli çatı GES ve mesken batarya depolama kurulumları (MW)



Kaynak: ISEA RWTH Aachen, Fraunhofer
*2022 yılı çatı GES verisi henüz mevcut değildir.

EMBER

Çatı GES ve batarya aracılığıyla öztüketim, teşvik programları ile de desteklenmektedir. Örneğin Almanya'da devlet, 2013 yılından 2018'e kadar mesken ölçeğinde batarya maliyetinin %30'unu düşük faizli krediler ile destekleyen bir politika [uygulamaya koymuştur](#). Üretilen elektriğin en fazla yarısının şebekeye verilmesi şartıyla, çatı GES ve depolama için kredi imkanı sağlayan devlet destekli bir program [halen mevcuttur](#).

Enerjide arz sorununa çatılar çözüm olabiliyor

Çatılarda güneş santrali kurulumları çoğu ülkede enerji stratejileri bağlamında proaktif politikalar sayesinde hızlanmış olsa da, kriz veya savaş koşulları sebebiyle enerji arz güvenliğinin azaldığı ülkelerde halkın çözüm olarak çatı GES'e yöneldiği görülmektedir. Örneğin 2021 yılından bu yana ekonomik krizden dolayı fosil yakıt ithalatında [kesintiler yaşanan](#) Lübnan'da 2020'de 14 MW çatı GES kurulumu yapılırken 2022'de bu rakam [663 MW'a yükselmiştir](#).

Güney Afrika, enerjide arz problemlerinin tüketicileri çatı GES'e yönlendirdiği başka bir örnektir. 2022'de elektrik üretiminin [%80'ini kömürden sağlayan ülkede](#) en az bir saatlik elektrik kesintisi yaşanan gün sayısı 2018'de 14 günden, 2023'ün yalnızca ilk yarısında [181'e](#) çıkmıştır. Tüketicilerin kendi elektriklerini üreterek arz güvenliğini kendileri sağlamak zorunda kalmalarıyla Mart 2022'den Ekim 2023'e Güney Afrika'da çatı GES kapasitesi dört kattan

fazla artarak [4,8 GW'ı](#) aşmıştır. Tüketici inisiyatifiyle başlayan bu atılım, panel maliyetlerinin dörtte birinin yıllık gelir vergisinden [düşülmesi](#) ve [kredi garantisi](#) gibi uygulamalar ile devlet tarafından da desteklenmeye başlamıştır.

Özetle dünyada uygulanan enerji dönüşümü politikalarında göze çarpan noktalardan ilki, elektrik üretiminde öncelikli olarak çatılardaki güneş potansiyelinin kullanılmaya çalışıldığıdır. Bu politikaların sonuçlarına ve farklı ülke deneyimlerine bakıldığında, çatılarda üretilen elektrik yalnızca temiz enerji çözümü olarak değil, aynı zamanda ülkelerin enerjide arz güvenliğini sağlamasında da rol oynayan bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç

Dünyada çatılar ön plana çıkıyor

Dünyanın birçok ülkesinde çatılarda kuruluma öncelik verilmesiyle birlikte çatıların tüm dünyada yeni güneş kurulumlarındaki payı 2022 itibariyle %50'ye ulaşmış durumda.

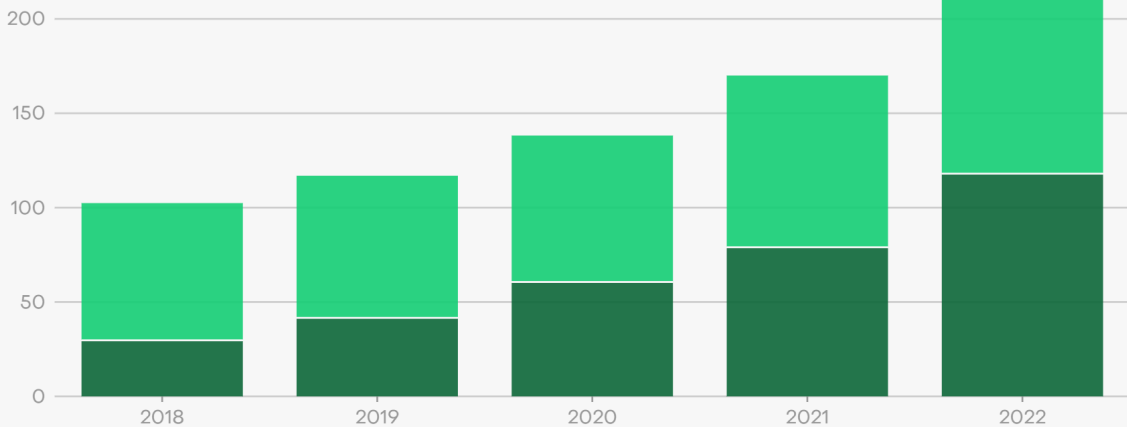
Dünyada yeni güneş kurulumlarının yarısı çatılardan

2022 yılında dünyada toplam [239 GW'lık yeni güneş kapasitesi eklenirken](#) bunun yarısına yakını (118 GW) çatılara kurulmuştur. Dolayısıyla 2022 yılında yeni kurulan çatı üstü güneş santralleri bir önceki yıla göre %49 artış kaydetmiştir. 2021 yılında dünyada yeni devreye alınan çatı GES kapasitesi 79 GW olarak gerçekleşmişti. Böylece çatılar ilk kez toplam kurulumlar içerisinde bu kadar yüksek bir paya ulaşmıştır.

Dünyada yeni güneş kapasitesinin yarısı çatılara kuruldu

Dünyada yıllık GES kurulumları, GW

■ Çatı GES ■ Şebeke ölçeğinde santraller



Kaynak: SolarPower Europe - Global Market Outlook

EMBER

Dünyada güneş enerjisinde öncü olan ülkelerde çatılar önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin 2022 yılı itibariyle [kişi başına düşen güneş kapasitesinde](#) dünya lideri olan [Avustralya'da her](#)

[üç evden birinin](#) çatısında güneş santrali bulunmaktadır. Avustralya'nın hemen arkasından gelen Hollanda'da ise güneşten elektrik üretiminin [%40'ı konut çatılarından](#) elde edilmektedir. Kişi başına düşen güneş kapasitesinde üçüncü sıradaki Almanya'da ise bugüne dek her yıl kurulan [yeni güneş santrallerinin %60'ından fazlası](#) çatılara kurulmakta olup kimi yıllar bu oran %80'in üstüne çıkabilmektedir.

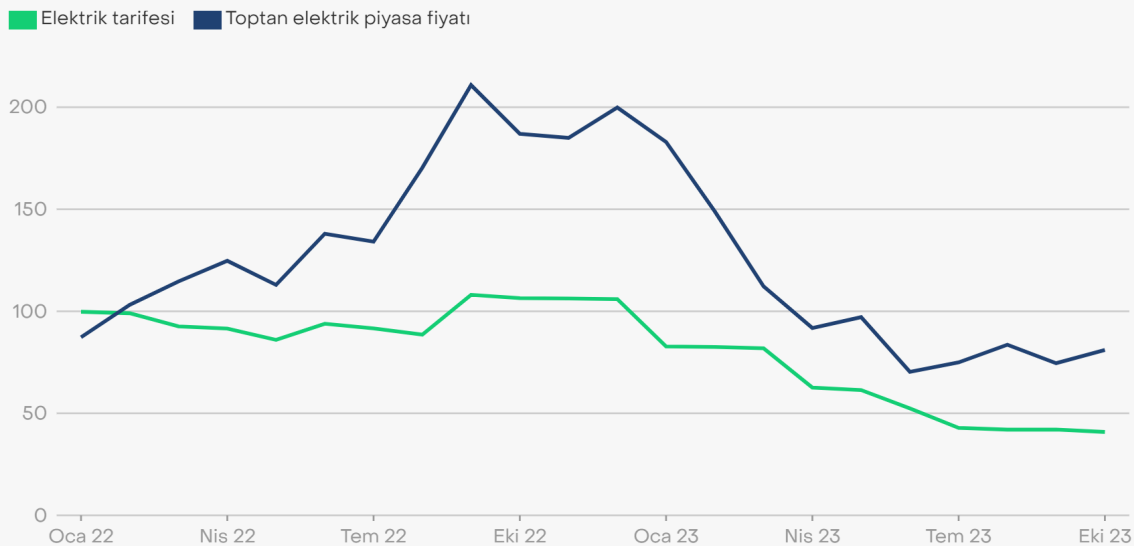
2022 yılı sonu itibariyle toplam [güneş kurulu gücünün %66'sı](#) çatılarda olan Avrupa Birliği ülkeleri bu konuda öne çıksa da, 2022 yılında [dünyada kurulan her beş güneş panelinden birisi](#), çatılara güneş santrali kurma zorunlulukları uygulayan Çin'deki çatılara kurulmuştur.

Elektrik fiyatlarının kurulumlara etkisi

Rusya'nın Ukrayna'yı işgali ile ortaya çıkan küresel enerji krizi ve artan elektrik fiyatları da tüketicilere kendi elektriklerini üretme motivasyonu sağlamıştır. Özellikle 2022 yılında Avrupa'da toptan piyasalarda [500 EUR/MWh'in üstüne](#) kadar çıkan aylık ortalama elektrik fiyatları [çatılarda gerçekleştirilen kurulumların yükselmesinde](#) etkili olmuştur. 2022 yılında küresel kurulumlarda çatıların yükselen payı da bunun bir kanıtıdır. Bu nedenle elektrik fiyatının kendisi kayda değer bir teşvik olabilmekte ve kriz fırsata dönüşebilmektedir.

Türkiye'de mesken elektrik tarifelerine sübvansiyon uygulanıyor

Mesken tarifesi ve gün öncesi piyasa fiyatı, USD/MWh



Kaynak: EPIAŞ, EPDK
İkinci kademe mesken tarifesindeki aktif enerji bedeli kullanılmıştır

Elektrik fiyatının düşük tutulması, tüketicilerin kendi elektriklerini üretmekten alıkoyarak bir kısır döngü yaratmaktadır. [Resmi açıklamalarda](#) da ifade edildiği üzere, Türkiye'de enerji

krizinin son tüketicilerin elektrik fiyatına yansımaması için sübvansiyon uygulanmaktadır. Türkiye’de elektrik tarifesinin en düşük olduğu tüketici tipi olan meskenlerde, Eylül 2022’den Ağustos 2023’e geçen 12 aylık sürede sübvansiyon miktarı [yaklaşık 3,6 milyar dolara ulaşmıştır](#).

Türkiye elektrik üretiminde dışa bağımlıdır. 2022 yılı itibariyle [elektrik üretiminin %42’si ithal](#) fosil kaynaklarla gerçekleştirilmiştir. Kuraklığın hidroelektrik üretimini azaltması ve yıldan yıla artan elektrik talebi nedeniyle bu oranın %50’ye yaklaştığı yıllar olmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde, Türkiye’de özellikle konutlarda çatı GES’in yaygınlaşmasını sağlayacak politikalar, fosil kaynaklı ithalatı azaltarak elektriğin ülke üzerindeki gerçek maliyetini azaltmayı sağlayacaktır.

Yeni bina inşaatları fırsata dönüştürülebilir

Türkiye’de inşaat sektörü önemli sektörlerden birisidir. Öyle ki ülkede her yıl yaklaşık [130 bine yakın yeni bina](#) ruhsat almaktadır. Şubat 2023 depreminin ardından bölgenin yeniden inşa süreciyle birlikte bu sayının daha da artması beklenmektedir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın Ağustos ayında yaptığı açıklamaya göre bölgede bir yıl içerisinde [319 bin binanın](#) yeniden inşası hedeflenmektedir. Bu çalışmanın kapsamı dışında kalsa da; deprem bölgesinde sağlam binalardaki çatı üstü güneş potansiyeli de değerlendirilmelidir. Buna ek olarak özellikle deprem riski altındaki illerde eski binaların yeniden inşa edildiği, ülke genelinde [400 bin kentsel dönüşüm projesi](#) bulunmaktadır.

Türkiye, yeniden inşaat sürecini enerjide dışa bağımlılığı azaltma ve arz güvenliğini sağlama fırsatına dönüştürebilir. [Çin örneğinde görüldüğü gibi](#), çatılara güneş santrali kurulum zorunluluğu getirmek çatıların elektrik üretimindeki payını artırmada hızlı çözüm alternatiflerinden birisidir. Türkiye’de de yeni yapılan binalara çatı GES kurma yükümlülükleri getirilmesi, yalnızca bir yıl içerisinde GW seviyesinde çatı üstü güneş santrali kurulumlarını beraberinde getirebilir. Yeni binalara kurulum zorunluluğu, kamu binalarının çatılarında kurulum yükümlülükleri politikası ile desteklenerek güçlendirilebilir.

Engellerin kaldırılması teşviğe dönüşebilir

Türkiye’de [halkın %88,3’ü çok katlı binalarda](#) ikamet etmektedir. Ancak mevcut durumda gerek çatının apartman binasının ortak mülkiyeti olması, gerekse uzun süren karar alma ve başvuru süreci engelleri nedeniyle apartman çatılarında elektrik üretimi gelişim gösterememiştir.

Apartment çatılarında güneş santrali kurulumunun yaygınlaştırılabilmesi için bölgede sorumlu belediye ya da dağıtım şirketi tarafından bölgesel çatı GES programları tasarlanabilir. Bu

programın parçası olmayı tercih eden apartmanların çatı GES potansiyelleri belirlenerek her bölgedeki toplam kapasite tek bir çatı GES ihalesine dönüştürülebilir. Devreye alınacak güneş santrallerinin bina ortak alanındaki tüketimden arta kalan elektrik üretimi şebekeye verilmeye devam etse de, fazla elektrik üretiminden kaynaklanan gelir, sanal mahsuplaşma uygulaması ile apartman sakinlerinin çatıdaki yasal payları oranında paylaşılabilir. Devlet bu tür kurulumlara vergi indirimleri uygulayarak destek verebilir.

Dünyada teşvikler çatılarda elektrik üretiminin yaygınlaşması açısından önemli katkı sağlamış olsa da, önünü kesecek uygulamalar kaldırıldığında adeta bir teşvik etkisi de yaratabilmektedir. Örneğin 2022 yılı itibariyle [güneşin elektrik üretimindeki payı %11,5](#) olan İspanya'da öztüketim amacıyla kurulan güneş santrallerine uygulanan [Güneş Vergisi](#) bu engellerden birisiydi. 2018 yılında bu verginin kaldırılmasıyla ülkedeki güneş kapasitesinde hızlı bir artış yaşanmıştır. Öyle ki iki yıl üst üste [çatılardaki kurulu güç iki katına çıkarak](#) 2022 yılında 3 GW'a ulaşmış durumdadır. Çatı GES potansiyelinden bir hayli geride olan Türkiye'nin uygulayacağı politikalar da çatılarda güneş santrali kurulumlarının kısa sürede artmasını sağlayabilir.

Metodoloji

Kapasite potansiyeli hesaplamaları

Analiz kapsamında Türkiye'deki çatıların tespiti amacıyla kullanılan Microsoft Building Footprints veritabanında bugüne dek [tespit edilen 1 milyardan fazla](#) çatı koordinatı birer poligon olarak saklanmakta ve kamuya açık olarak yayınlanmaktadır. Bu çalışmada [Google Earth Engine içerisinde bir "Feature Collection" olarak saklanan](#) Mayıs 2022 güncellemesi kullanılmıştır. Kullanılan veri setinde Türkiye sınırları içerisinde 18.058.257 adet poligon bulunmaktadır. Bu poligonların içerisinde çatısı olan her türlü yapı yer almaktadır.

Çatıya kurulacak 1 kW'lık güneş santralinin ne kadarlık alan kaplayacağı ile ilgili birden fazla kaynak incelenmiştir. Örneğin ev sahipleri için en uygun güneş paneli seçeneklerini listelemek için fiyat teklifi almalarını sağlayan İngiltere merkezli bir şirkete göre 250 Watt'lık %20'nin altında verimliliğe sahip paneller kullanılarak hesap edilen gerekli çatı alanı [kW başına 6,4 m2](#) olarak gösterilmiştir. Güneş enerjisi sektöründeki tüketicilere yardımcı olma amacıyla kurulan [ABD merkezli bir websitesi](#) ile Avustralya'daki güneş paneli tedarikçilerini listelemek için fiyat teklifi alınmasını sağlayan [bir başka hizmet sağlayıcı şirkete göre](#) %20 ve üstü verimliliğe sahip 330–400 Watt'lık panellerde 1 kW için gereken çatı alanı 4,1–5,6 m2 seviyelerine kadar düşebilmektedir. 2021-2022 yılında Türkiye'de tamamlanmış olan [rastgele on çatı GES projesi](#) uydu görüntüleri aracılığıyla incelendiğinde ise 1 kW'lık çatı GES kapasitesinin ortalama 6,3 m2'lik alan kapladığı görülmüştür. Bu nedenle hesaplamalarda konservatif bir yaklaşım olarak 1 kW'lık panelin 6,4 m2 alan kaplayacağı varsayılmıştır.

Çatıların üç ayrı kategoriye sınıflandırılması işlemi için öncelikle seçilen bir ilin yalnızca çatıların yer aldığı bir uydu görüntüsünde bu üç kategoriyi de kapsayan bir eğitim seti belirlenmiştir. Eğitim seti oluşturulurken rastgele seçilen yeterli sayıda çatı görüntüsü üç çatı tipine göre (düz boş / eğimli boş / dolu) manuel olarak etiketlenilmiştir. Yeterli sayıda eğitim setinin oluşturulmasına eğitim setinden tamamen bağımsız olarak oluşturulan validasyon seti ile karar verilmiştir. Türkiye'nin sekiz farklı bölgesinden seçilen validasyon setinin her bir bölgesinde binlerce nokta seçilerek düz/eğimli/dolu olmalarına göre manuel olarak etiketlenilmiştir. Ardından GEE üzerinde tasarlanan görsel sınıflandırma algoritması çalıştırılarak validasyon kümesindeki doğruluk oranları hesap edilmiş, elde edilen doğruluk oranları maksimize edilene kadar eğitim seti genişletilmiş ve iyileştirilmiştir. Eğitim seti Ankara'da oluşturulmuş olup validasyon setinin kapsadığı iller İstanbul, Ankara, İzmir,

Antalya, Konya, Erzurum, Trabzon ve Şırnak'tır. Validasyon sırasında her bir çatı sınıfı için nihai modelde elde edilen doğruluk skorları boş eğimli çatı için %97, boş düz çatı için %83 ve dolu çatı için %89 olmuştur.

Üç ayrı kategoriye sınıflandırılan çatı alanları üstünde bazı düzeltmeler uygulanmıştır. Bunlardan ilki bir panelin sığamayacağı kadar düşük alana sahip olan kısımların yeniden kategorize edilerek uygun olmayan çatı olarak sınıflandırılmasıdır. Diğer bir düzenleme de, örtü altı yetiştiriciliğin yaygın olduğu Antalya ve Mersin gibi illerde, sera çatılarının koordinatları manuel olarak belirlenerek uygun olmayan çatı olarak sınıflandırılmalarıdır.

Üretim tahmini hesaplamaları

Her bir ildeki eğimli çatıların hangi yöne baktıklarını (Azimut açılarını) bulmak için öncelikle Microsoft Building Footprints veritabanındaki 150 ile 500 m² arasında çatı alanına sahip çatılar filtrelenmiştir. Bunun nedeni eğimli çatıların büyük çoğunluğunun bu büyüklükteki çatıların arasında olmasıdır. Bir çatıyı iki eğimli kenara bölecek çizginin çatının uzun kenarına paralel olarak geçeceği varsayımından hareketle, filtreleme sonrasında elde edilen dörtgenlerin her birinin uzun kenarının kuzey-güney eksenini ile yaptığı açı hesap edilmiş ve çatıların Azimut açısı olarak kabul edilmiştir. Hesap edilen Azimut açıları, yönlere göre 45 derecelik sekiz eşit parçaya bölünen kategorilere sınıflandırılmıştır.

Her bir ilçenin kapasite potansiyeli için hesap edilen maksimum elektrik üretimi [Solargis'in yayınladığı](#) güneş potansiyeli (kWh/kWp) haritası ile gerçekleştirilmiştir. Bunun yapılabilmesi için Solargis potansiyel haritası GEE'ye yüklenerek içindeki piksel değerlerinin ilçelere göre [ortalaması alınmıştır](#). Solargis'in bu haritada sağladığı potansiyel hesabı [bağımsız bir santralin optimum açılarla üretim potansiyeli](#) varsayımına dayanarak yapılmıştır. Bu nedenle maksimum üretim tahmini olarak kullanılmıştır. Solargis'in varsayımlarında invertör verimliliği %98, tozlanma kaynaklı kayıp %3.5, DC kaynaklı kayıp %2,3 ve AC kaynaklı kayıp %0,9 olarak varsayılmıştır. Solargis'ten elde edilen ortalama ilçe kWh/kWp potansiyelleri üzerine uygulanan düzeltme faktörleri [PVGIS](#) güneş enerjisi üretim tahmini modeli ile hesaplanmıştır. Bu amaçla PVGIS'te Türkiye'nin farklı noktalarında dokuz çatı tipine ilişkin tilt ve Azimut açıları seçilerek bağımsız bir GES'e oranla üretim tahmininin hangi oranda düştüğünü hesaplanmış ve analizde kullanılan düzeltme faktörleri olarak bu oranlar kullanılmıştır. Son adım olarak GEE'de her bir ilçe için hesap edilen kapasite potansiyeli, ilçedeki ortalama maksimum üretim potansiyeli ve çatı kategorisine bağlı olarak düzeltme faktörleri ile çarpılmıştır.

Sübvansiyon hesaplamaları

Elektrik tarifelerindeki sübvansiyon hesaplamalarında, EPDK'nın yayınladığı [Faturaya Esas Tarife Tabloları'nda](#) alçak gerilim - tek terimli ikinci kademe (8 kWh/gün üstü) olarak uygulanan aktif enerji bedeli kullanılmıştır. Tarife fiyatlarını ABD doları cinsine dönüştürmek için Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası'nın aylık döviz alış kurları kullanılmıştır. Toptan elektrik piyasa fiyatı için [EPIAŞ Şeffaflık Platformu](#)'nda Günöncesi Piyasası'nın USD/MWh cinsinden raporlanan fiyatları kullanılmıştır. Aradaki fiyat farkı ile [EPDK'nın aylık raporlarında](#) yayınlanan mesken tüketicilerinin aylık tüketimi çarpılarak aylık sübvansiyon tutarına ulaşılmıştır.

Teşekkür

Teşekkürler

Metnin içeriğini gözden geçiren Ateş Uğurel'e (Solarvizyon), metodolojiyi gözden geçiren Sam Hawkins ve Matt Ewen'a, veri görselleştirmelerini gözden geçiren Reynaldo Dizon, metnin İngilizce çevirisini gözden geçiren Eva Mbengue'ye teşekkür ederiz.

Görsel telif bilgisi

Mikel Bilbao / Alamy Stock Photo

© Ember, 2023

Published under a Creative Commons ShareAlike Attribution Licence (CC BY-SA 4.0). You are actively encouraged to share and adapt the report, but you must credit the authors and title, and you must share any material you create under the same licence.