

Güneş ve Rüzgar santrallerinden önümüzdeki yıllarda kaç adet hurda beklenebilir? Dünya, Almanya ve Türkiye ile ilgili hesaplar..

Tüm ülkeler, güneş ve rüzgardan elektrik üretimini artırma çabasında. Ancak güneş ve rüzgar santralleri sadece 25 yıl verimli çalışabiliyorlar. Daha sonra ve hatta bozulmalar sonucu her yıl, bunlar kullanılamaz duruma gelip hurdaya çıktıklarında, milyonlarca panelin ve binlerce rüzgar santrallerindeki kule ve rotor kanatlarının, eğer geri dönüşümleri yapılmazsa, çöplüklerde dağlar oluşturacağını ise pek kimse bilmiyor! Örneğin sadece Konya Karapınar Güneş Santralinde 3,3 milyon güneş panelinden bir bölümü her yıl, tümü ise 25 yıl içinde hurdaya çıkacakları hesaplanarak geri dönüşümleri planlanıyor mu? Bunlar çöplüklere atıldıklarında ise, içlerindeki zehirli maddelerin doğaya, iklime ve insana zararlı olacağı da hesaplanmalı, ona göre önlemler şimdiden alınmalı. Güneş ve rüzgar santrallerinden Dünya’da, Almanya ve Türkiye’de kaç adet hurda beklenebilir hesapları ve yapılması gerekenler bu yazımızın konusu..

Hesaplar, yaklaşımlar

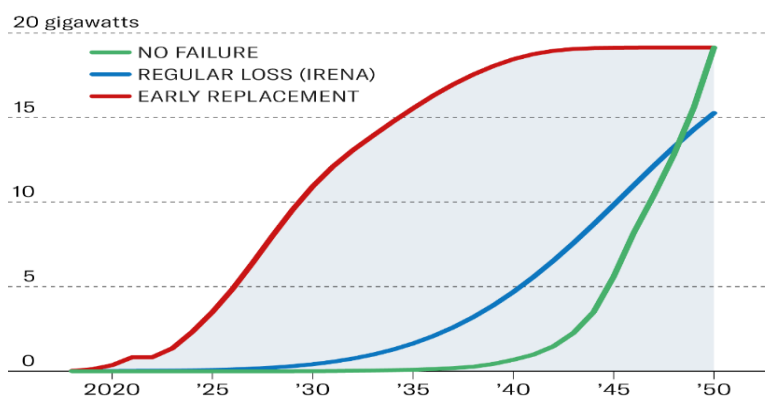
Dünya, Almanya ve Türkiye’de Güneş santrallerinde bugün kullanılan milyonlarca panel ile binlerce rüzgar santrallerinin kule ve rotor kanatları ortalama 25-30 yıl içinde hurdaya çıkacaklarını temel alarak, yaptığımız hesaplara göre bunların kaç adet ve kaç ton olacakları ayrıntılarıyla Çizelge 1 ve 2’de bulunuyor. Bu çizelgelerde ayrıca bunların bozulmalarla her yıl % 3 kadarının da hurdaya çıkabilecekleri yer alıyor.

Çizelgeleri daha iyi anlaşılabilmesi için özetlersek:

2022 yılında Dünya Güneş Enerjisi kapasitesi ya da Kurulu Gücü: 1.1 TW oldu (TeraWatt olarak güç: 1’den sonra 12 sıfırlı Watt değeri). Güneş enerjisinden elektrik elde etmek için bu kadar fazla kurulu güç kuşkusuz hepimizi sevindirir! Şimdi bu büyük kurulu gücün nasıl oluştuğuna bir bakalım: Bu ‘Kurulu Gücün’ ortalama 300 Watt’lık panellerden oluştuğunu varsayalım. 1.1 TW Kurulu Güç için bu panellerden $1.1.000.000.000.000 \text{ Watt} / 300 \text{ Watt} = 3,6$ Milyar adet panel ile bu kurulu güç sağlanmış demektir. Bir panel ortalama 20 kg kadardır. Bu ise toplamda 72 Milyon Ton panel eder. Gözümüzde canlandırmak için bunları 36 tonluk kamyonlara yükleyip 100 m aralıklı bir konvoy oluşturulursa, konvoyun uzunluğu Dünya’yı 5 kez dolaşabilir. Kuşkusuz 72 Milyon ton panelin tümü hep birden bozulup ya da aynı yıl hurdaya çıkmayacak. Kabaca her yıl bunların % 3 kadarı hurdaya çıkarsa, yılda 2 Milyon ton panelin çöplüğe gitmemesi için hazırlık yapmak ve bunların geri dönüşümlerini planlamak gerekir.

Şekil 1: Yapılan bilimsel araştırmalar güneş panelleri atıklarının beklenen kullanım süreleri sonundan çok daha önce de, birikeceği yönünde. Yeşil eğri 30 yıl boyunca hatasız çalışan panellerin daha sonra eskimelerini, mavi eğri ise Uluslararası YE Ajansı (IRENA)’nın kestirimini gösteriyor. Kırmızı eğri ise beklenenenden çok daha önce panellerin bir çoğunun değiştirilmesi gerekeceği modelini hesaba katıyor/1,2/.

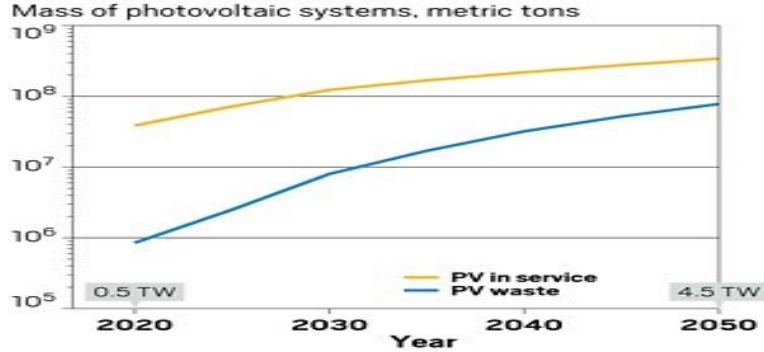
Cumulative capacity



Source: International Renewable Energy Agency, Electricity Data Browser, Global Solar Atlas

HBR

Şekil 2: Güneş panellerinin dünya'daki ton olarak toplam miktarları (üstteki eğri çalışmakta olan panellerin, alttaki eğri hurda panellerin toplam miktarlarını gösteriyor) 2050'de 500 milyon ton çalışan panel, 80 milyon ton hurda panel bekleniyor



Source: Adapted from *Nat. Energy* 2020, D OI: 10.1038/s41560-020-0645-2

Türkiye’de hurda panel sayısı bugün ve 2035 yılında kaç adet olabilir?

Türkiye’nin Güneş Enerjisi Kurulu Gücü 2023 yılında 9,43 GigaWatt (GW). Dünya’daki duruma benzer hesaparsak: $9,43(9)\text{Watt}/300\text{ Watt} = 31$ milyon panel sonunda hurdaya çıkacak. Her yıl bunların % 3 kadarı bozulma ya da ömürleri dolarak kullanılmaz duruma gelirse 1 milyon kadar hurda panel şimdi bile, çöplüklerde olabilir. Kullanılmadan, kötü montaj nedeniyle hurdaya çıkanları saymadık bile! Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından **Türkiye Ulusal Enerji Planı’na göre** hazırlanan senaryoda **2020-2035 yılları arası** için üretim ve tüketimde oluşabilecek görünüme göre:

Elektrik tüketiminin 510,4 TWh seviyesine ulaşması,

Elektrik kurulu gücünde; Toplamda 189,7 GW’a,

Güneş enerjisinde 52,9 GW’a, Rüzgar enerjisinde 29,6 GW’a,

Nükleer enerjide 7,2 GW’a yükselmesi öngörülüyor /3/.

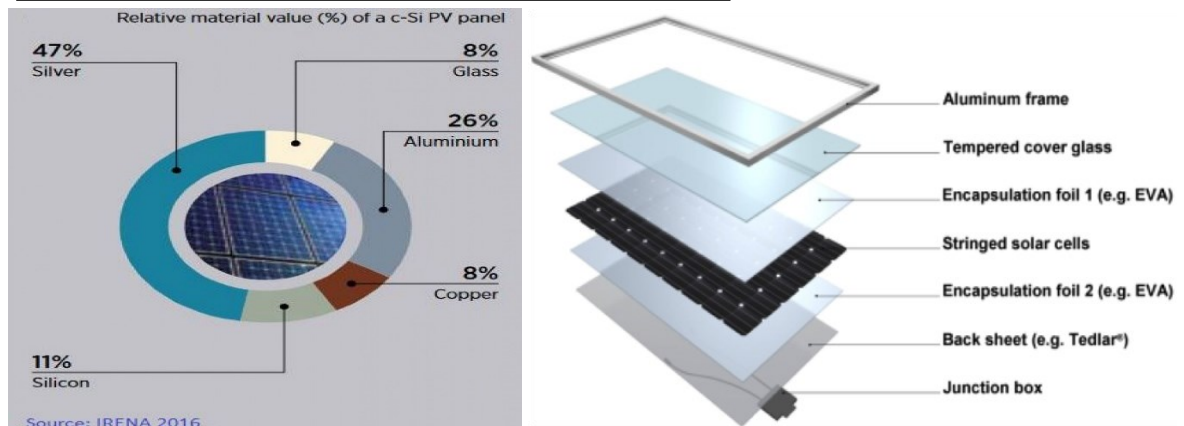
Bu senaryoya göre güneş antralleri kurulu gücü 2035 yılında yaklaşık olarak: 53 GW

= $53(9)\text{ Watt}$, $53(9)\text{ Watt} / 300\text{ Watt} = 177$ milyon panel bulunacak ve bu toplamdan daha ileriki yıllarda örneğin her yıl % 3 kadarı hurdaya çıkarsa yılda 5 milyon kadar hurda panelin geri dönüşümleri yapılamazsa bunlar çöplüklerde dağlar oluşturacak ve büyük olasılıkla ehliyetsiz hurdacıların elinde parçalanıp zehirli maddelerden hem kendileri hem de çevre ve hatta iklim zarar görecektir. Türkiye’de güneş enerjisiyle ilgili önemli yayınlara bakıldığında yakın gelecekte ortaya çıkacak dağlarca hurda panelin kapalı depolarda saklanıp, geri dönüşümlerinin yapılacağına ilişkin yol, yöntem ve yaptırımlara Enerji Bakanlığı internet sayfalarında da TÜBA’nın Güneş Enerjisi 2018 raporunda da rastlanmıyor /3-6/.

Şekil 3 : Kristalin silikon temelli bir PV panelinde bulunan maddelerin oranları,

Şekil 4 Bir güneş panelini oluşturan malzemeler (yukarıdan aşağıya:

alüminyum çerçeve, kırılmaz cam, kapsülleme folyesi,güneş hücresi, arka yaprak, bağlantı kutusu



Güneş Enerjisi Santrallerinde (GES) / Tarlalarında neden bu kadar çok panel kullanılıyor?

Güneş ışınları elektriğe çevrilirken, ışınların yıl boyunca aynı şiddette olmadıklarını, geceleri ise hiç olmadıklarını biliyoruz. Bu nedenle GES'in kurulu MW gücünden yıl boyunca toplam olarak ancak oldukça düşük verimle elektrik üretiliyor. Bu verim Almanya'da ortalama olarak sadece % 11, daha güneşli Türkiye'de ise % 18'dir.

Örneğin Konya Karapınar santralının kurulu gücü 1000 MWpeak (Bu güç, en güneşli gün ve saat içindir). Bundan yıl boyunca üretilebilecek elektrik ise sanki 180 MW'lık net bir kurulu güç'ten elde edilebilecek kadar azdır: 1,58 TWh. Aynı 1000 MW'lık kurulu güçteki bir kömür santralinde ve nükleer santralinde ise yıl boyunca üretilen elektrik miktarları, bunların verimleri sırasıyla %50 ve %90 kadar yüksek olduğundan 3 ile 5 kat kadar daha fazladır. Karapınar GES'in yıl boyunca ürettiği 1,58 TWh elektriğe karşın, aynı kurulu güçteki bir kömür santrali 4,38 TWh ve Nükleer santral ise 7,88 TWh elektrik üretebilirler.

Konya Karapınar 1000 MW'lık güneş santralinde, diğer santrallere göre ancak 1,58 TWh kadar az elektrik elde edebilmek için bile 3,3 milyon kadar çok güneş paneli gerektiği görülüyor. Daha az panel sayısı ise bundan da daha az elektrik üretimi demek. Bu nedenle GES'lerinde çok panele gereksinim olduğu görülüyor.

Öte yandan, Güneş Enerji Santralleri (GES) çok fazla malzeme üretilerek yapılabiliyor. İleride üretecekleri TeraWattSaat başına karşılaştırma yapılırsa: GES için kabaca 16 000 ton malzeme kullanılırken, bu miktar bir nükleer santralde 100 'de biri kadar daha azdır: 160 ton. Bu nedenle bir güneş santrali, yapımı için kullanılan malzemenin üretimi için gereken enerjiyi, ileride ancak 3-4 yıl çalışarak ancak çıkarabiliyor. Rüzgar santrallerinin yapımında kullanılan malzeme miktarı GES'den daha az: 10 000 ton/TWh.

Bir güneş santralindeki panellerin ancak 25 yıl çalışmalarına karşın, diğer santrallerin 50-60 yıl çalıştıkları da gözönüne alınmalıdır. Bunun sonucu, güneş santralleri malzemelerinin üretiminin 2-3 kez tekrarlanması gerekecek, malzemelerin üretimi için de 2-3 kez daha fazla enerji gerekecek ve havaya 2-3 kat daha fazla CO₂ salınacaktır. Bunlar ise hiçbir yerde açıklanmıyor.

Güneş çiftliklerinde panellerin zamanla tozlanma nedeniyle verimleri düştüğünden, yıkanarak temizlenmeleri için ise çok fazla su gerekiyor. Örneğin çorak ve kurak arazide kurulan Konya Karapınar santralindeki 3,3 milyon panelin, tozlanma sonucu verimi düşeceğinden yılda 2-3 kez yıkanması gerektiğinde, suyun birkaç yüz metre derinlikteki yeraltı suyundan pompalanarak çıkarılması zorunlu olacak ve bu pompalamada büyük elektrik harcanmasına yol açacaktır.

Örneklersek: 2 m² alanı olan 1 panelin yıkanması için 2 litre su kullanılırsa, Konya Karapınar güneş tarlasındaki gibi 3,3 milyon panel bulunan bir güneş çiftliği için 6,6 milyon litre = 6 600 ton ve yılda 2 kez yıkama yapılırsa 13 200 ton su gerekecektir. Suyun yeraltından çıkarılmasının yanı sıra 3,3 milyon panelin yıkanması için pompalanmasında da büyük enerji kullanılacağı gözönüne alınmalı.

Güneş santrallerinin yapımı ve geri dönüşümleri için havaya ne kadar CO₂ salınıyor?

Almanya'da 2022 yılı için yapılan hesaplamada endüstride harcanan kWh başına 434 gram CO₂ salındığı hesaplanıyor/5-12/.

1 000 MW kurulu gücündeki Konya Karapınar GES örneği için panellerin yapımında ne kadar enerji kullanıldığını ve havaya ne kadar CO₂ salındığını hesaplarsak:

1 GES kurulmadan önce yapımı için harcanan enerjiyi, ileride üreteceği 3,5 yılda geri alabiliyorsa bu sürede harcanan enerji miktarı: 1000 MW x 1000 kWh/1MW x 3,5 yıl x 24 saat x 365 gün x 0,18 kapasite katsayısı = 5 519 milyar kWh. Bu miktar enerji 0,434 gram/kWh ile çarpılırsa: 2,4 milyon ton CO₂, Karapınar santrali kurulmadan önce, panellerin yapımı sırasında havaya verilmiş demektir.

Bu miktar CO₂'in en az yarısının da 3,3 milyon panelin geri dönüşümleri yapılırken havaya salınacağı hesaplanabilir.

Çizelge 1: Bugünkü ve ileriki yıllardaki kurulu güçlere göre hesaplandığımız güneş panel sayıları

Güneş panelleri elektrik kurulu güç ve verimleri (ortalama kapasite katsayıları)	Dünya, Almanya ve Türkiye’de Güneş Panelleri Sayısı (2022 değerleri ve beklentileri)	2050 yılında beklenen Dünya Güneş Kurulu Gücü ve hurda panel sayıları : 4600 GW/Statista/
Dünya Güneş Kurulu Gücü (2022): 1100 GigaWattWp (GWpeak) = 1,1 TeraWatt Bu Kurulu Güc’den üretilen toplam elektrik miktarı: 1 000 TWh Dünya ortalama kapasite Katsayısı: % 10.4 (=1.000,000 GWh/1.100 GWx24x365)	1 Panel ortalama 300 Watt ve 1,70m x 1m= 1,70m ² , 20 kg, 1 100 GW Kurulu Güç için 3,6 milyar panel gerekir, x 20 kg = bu 72 Milyon ton panel eder Her biri 36 Ton’luk 2 Milyon Kamyon, 100 m aralıkla 200 bin km kamyon konvoyu, Dünya’yı 5 kez dolanabilir. Bu toplam 3,6 milyar panelin her yıl % 3 kadarı hurdaya çıkarsa: 100 milyon panel ve x 20 kg/panel= 2 milyon ton panelin hurdaya çıkması beklenir	Soldaki sayıların Yaklaşık 4,5 katı Toplam olarak: 16 milyar panel ya da 324 Milyon ton panel Şekil 3’e göre ise 2050’de 80 milyon ton hurda panel bekleniyor. (Çeşitli senaryolara göre farklılık normal).
Güneş Almanya 2022’de Kurulu Gücü : 67 GWp Üretilen elektrik: 58 TWh Almanya ortalama kapasite katsayısı: 58 000 GWh /67x 24x365= % 10	Yukarıdaki gibi hesaplanırsa: 223 milyon panel x20 kg= 4,5 milyon ton, 125 bin kamyon doldurabilir Bu toplam 223 milyon panelin her yıl % 3 kadarı hurdaya çıkarsa: 7 milyon panel ve x 20 kg/panel= 140 bin ton panelin hurdaya çıkması beklenir	Almanya’da 2050 yılında 4,4 milyon ton panelin hurdaya çıkacağı kestirilebilir
Güneş Türkiye KuruluGücü/9/: 9,43 GigaWatt (GW) Üretilen elektrik: 15,3 TWh Türkiye Güneş Enerjisi ortalama kapasite katsayısı: 15 300/9,43x24x365=%18,5	31 milyon panel x 20 kg=620 bin ton,36 tonluk 17 bin kamyonu doldurabilir: 17 bin kamyon 100m aralıkla bir konvoy yapılırsa 17 000 x 0,100km= 1 700 km ‘lik bir konvoy oluşturur Bu toplam 31 milyon panelin her yıl % 3 kadarı hurdaya çıkarsa: 1 milyon kadar panel ve x 20 kg/panel = 20 bin ton panelin hurdaya çıkacağı kestirilebilir	2035 yılı Enerji Bakanlığı senaryosuna Göre 177 milyon hurda panel. Daha ilerideki her yıl ortalama % 3’ i , 5 Milyon panel hurdaya çıkabilir

Çizelge 2: Bugünkü ve ileriki yıllardaki kurulu güçlere göre hesaplanan Rüzgar Türbini sayıları ve ton olarak miktarları

Rüzgar enerjisi elektrik kurulu güçleri ve verimleri (ortalama kapasite katsayıları) /6,7/	Dünya, Almanya ve Türkiye’de Rüzgar Türbinleri Sayısı ya da miktarları: ton(2022)	2050 yılında beklenen Dünya Rüzgar santralleri hurdaları (ton)
Dünya Rüzgar Kurulu Gücü (2022): 906 GigaWattWp (GWpeak). Bunun 842 GW Kara (Onshore), 74 GW Deniz (offs) 2021 Kurulu Güc’ten üretilen toplam elektrik miktarı: 1 755 TWh Dünya ortalama kapasite Katsayısı: % 24 (=1 870,000 GWh/906 GWx24x365)	Dünya’da 2023 yılında 2,5 milyon ton rüzgar türbini bileşik malzemesi olabilir.	2050’de 43 Milyon ton Rüzgar Santralleri hurdası bekleniyor (36 tonluk 1,2 milyon adet kamyon yükü, 100m aralıkla dünyanın çevresini 3 kez dolaşabilir)
Rüzgar Almanya 2022’de Kurulu Gücü : 66 GWp Bunun 56 GW karada (onshore), 10 GW ise Deniz üstü (offshore) Üretilen elektrik: 123 000 GWh Tüm elektriğin %24 ü rüгідardan eelde ediliyor. Almanya ortalama kapasite katsayısı: 123 000 GWh /66 x 24x365= % 21 Yaklaşık 30 000 Rüzgar türbini var (28 443 karada, kalanı denizde)	Avrupa ülkelerinde toplam olarak 14 000 türbin rotor kanatları (pervanesi) 2023’de bekleniyor (Toplam 40 000-60 000 ton eski pervanelerin sökülmesi, toplanıp taşınması için büyük bir organizasyon ve iş gücü gerekiyor)	
Rüzgar Türkiye Kurulu Gücü /6,7): 12 GigaWatt (GWp). 285 karadaki rüzgar santralinden sağlanıyor Üretilen elektrik: 35 TWh Türkiye Rüzgar Enerjisi ortalama kapasite katsayısı: 35/12x24x365= % 33	İlgili yönetmelik ve taahhünameye göre kriz ve savaş durumlarında gerektiğinde kule dahil, rotor kanatlarının sökülmesi santrali kuran şirkete ait ama ileride hurdaya çıktıklarında yapılacakları belirsiz. Yönetmelik bulunamadı.	2035’de 29 GigaWatt (GW) /7/. Yaklaşık olarak bugünkü rüzgar türbin sayısının 2 katından fazla.

Ana sorun ve sonuç

Ana sorun, gitgide artan nüfus, konforlu yaşam ve savurganlığımız sonucu daha fazla elektriğe ve elektriğin üretildiği santrallere gerek duymamızdır ama bunlara, bizi etkilediğinden, kimse değinmiyor. Dünya nüfusu bugün 7,8 milyar, 2050 ‘de 10 milyara yaklaşacak. Her şeyin üretim ve kullanımının birkaç yerine elektriğe gerek olduğunu ise biliyoruz. Buna paralel olarak konfor ve savurganlık da artınca daha fazla elektrik gerekeceği açık.

2020 yılında dünyada üretilen elektrik miktarı 25 000 TeraWattSaat iken bunun 2050 yılında 42 000 TeraWattSaat’e yükselmesi bekleniyor (iki katına yakın bir artımlı). Artan elektriğin büyük bir

bölümünün de güneş ve rüzgar enerjilerinden sağlanacağı düşünülürse, Çizelge 1 ve 2'deki 2050 yılı için hesapladığımız çok büyük hurda sayı ve miktarlarıyla uyumlu olduğu görülür. Güneş ve rüzgar santralleri kurulurken ileride her yıl bunların hiç de az olmayan önemli bir miktardaki panellerinin ve diğer malzemelerin hurdaya çıkacağı da hesaplanarak, geri dönüşümlerinin yapılması için gerekli önlemler alınmalı. Binaların çatılarındaki paneller, kullanım sürelerinin sonunda ya da daha önce bozulduklarında bunlar toplatılmalı ya da kapalı depo yerlerine teslim edilmeli, ilgili yönetmelikte yapılması gerekenler bulunmalıdır. Eğer Türkiye'de her yıl ortaya çıkmakta olduğunu hesapladığımız bir milyon kadar hurda panel, kapalı depo yerlerinde korunmaz, içlerindeki zararlı ve zehirli maddelerin geri dönüşümleri yapılmaz ise, gelecek kuşaklara daha da kirli bir miras bırakacağımız açık!

Yüksel Atakan, Dr.Y.Fizik Müh., Almanya, ybatakan4@gmail.com

Birimler

(*) **1 Watt:** Elektrik gücü birimi olup 'Enerji aktarım (transfer) hızını' gösteriyor (enerji değil, enerjiyle karıştırılmamalı!). Güç (W)= Ws/s
Enerji birimi: WattSaniye (Ws) = Güç (Watt) x Saniye (s).

1 WattSaniye (1Ws): 1 saniyede üretilen ya da tüketilen 1 Joule'lük enerji, elektrikte, **1 Ws'dir.**

1 Joule: Örneğin 100 gramlık çikolata paketini yerden 1m yukarıya kaldırmak için gereken enerji.

1 WattSaat (1 Wh) = Güç (Watt) x Saat (h).

1 kWh = 1000 Wh, 1 MWh= 1 Milyon Wh, 1 GWh= 1 Milyar Wh, 1 TWh= 1 Trilyon Wh= 1 Milyar kWh

Örneğin 1 milyar 100 Watt'lık ampulü 10 saat yakabilmek için 1 milyar kWh'luk enerji gerekecek.

Kaynaklar

/1/ <https://www.osti.gov/biblio/1785329> ABD NREL 2021

/2/ <https://hbr.org/2021/06/the-dark-side-of-solar-power>Atalay Atası,Serasu Duran,

/3/ <https://www.radyasyonyatakan.com/yazi/milyonlarca-gunes-paneli-sonunda-ne-olacak-ve>

/4/ www.radyasyonyatakan.com 3. Bölümdeki yazılar

/5/ <https://solarfast.co.uk/blog/17-largest-solar-farms-in-the-world/>

/6/ <http://www.enerjiatlas.com/gunes> /....

/7/<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>

/8/<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38897/umfrage/co2-emissionsfaktor-fuer-den-strommix-in-deutschland-seit-1990/#:~:text=Im%20Jahr%202022%20wurde%20der,mit%20kleinen%20Ausnahmen%20kontinuierlich%20ab.>

/9/ <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=32659&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

/10/ <https://www.tuba.gov.tr/files/yayinlar/raporlar/T%C3%9CBAG%C3%BCne%C5%9F%20Enerjisi%20Teknolojileri%20Raporu>

/11/<https://www.elektrikde.com/turkiyenin-gunes-paneli-ureticileri/>

/12/ <https://kalyonpv.com/gunes-santrali.html>

Not: Bu yazımız HBT portalında 20.09.2023 yayımlandı