

Dünya'yı bekleyen büyük sorun.. AŞIRI ARTMAKTA OLAN GÜNEŞ PANEL HURDALARIYLA NASIL BAŞEDİLECEK?!

Almanya, Türkiye ve Dünya'daki durumun analizi

Dr. Yüksel Atakan, Radyasyon Fizikçisi, Almanya, ybatakan4@gmail.com

Özet

Özellikle iklimi CO₂ ve diğer zararlı sera gazlarından korumak amacıyla tüm Dünya ülkelerinin Güneş ve Rüzgar'dan elektrik üretimine hız verdiği açıkça görülüyor. Güneş ve rüzgardan elektrik üretimi tertemiz ve bedava gibi düşünülerek madalyonun parlayan yanı özellikle bunları pazarlayanlarca öne çıkarılıyor. Güneş panel çiftliklerinin yanı sıra, çok kişi evlerinin çatılarına Güneş panelleri yerleştirip elektrik üretmeye çalışıyor. Bu olumlu gelişmeye karşın, madalyonun arka yüzünün de görülmesinden ve gerekli önlemlerin gecikmeden alınmasından ise söz edilmiyor.

Güneş panellerinin yakın gelecekte çok daha fazla artacak sayıları gözönüne alındığında, bunların içlerindeki zehirli maddelerle birlikte geri dönüşümlerinin nasıl yapılacağını da planlamak gerekiyor. Çünkü panellerin ömürleri 25 yıl kadar az ve bunlar bu süre dolduğunda işlevlerini tam olarak yerine getiremediklerinden sökülüyorlar. Güneş panel hurdaları gelişmiş ülkelerde depolara konuluyorlar ve geri dönüşümlerini bekliyorlar az gelişmiş ülkelerde ise çöplüklere atıldıklarını kestirmek yanlış olmaz. Çünkü geri dönüşüm hem bedava değil hem de tesisleri yok. Bu nedenler bunların geri dönüşümlerinin artan Güneş paneli hurda sayısı ile orantılı olarak planlanıp, yapılmaları gerekiyor.

Güneş enerjisinden elektrik üretiminin verimliliğinin düşük olması nedeniyle, aynı elektrik üretimi için diğer elektrik santrallerinde göre, çok daha fazla arazi ve malzemeye gerek duyuluyor ve sonuçta çok daha fazla kurulu güce gerek var.

Güneş panellerindeki zararlı maddeler:

- **Kurşun:** Kurşun, silikon bazlı güneş panellerinin lehim bağlantılarında ve bazı temas yerlerinde kullanılıyor. Hektar başına yaklaşık 3000 m² panel alanında 20-25 kg kurşun bulunuyor. Bu nedenle, Güneş panellerinin üretimi, kullanımı ve geri dönüşümü sırasında kurşun sızma ve bulaşma olabilir.
- **Kadmiyum:** İnce film güneş panelleri, özellikle kadmiyum tellürür (CdTe) kullananlar, hektar başına yaklaşık 18-26 kg kadmiyum içeriyor. Kadmiyum oldukça zehirli ağır bir metal olduğundan, paneller ciddi şekilde hasar gördüğünde (örneğin dolu veya yangın) bunlardan toprağa sızabilen kadmiyum biyolojik dolaşıma girerek zararlı olabilir.

Malzeme tüketimi ve verimliliği:

- Güneş panel çiftlikleri, diğer enerji santralleriyle karşılaştırıldığında çok daha düşük verimliliktedir. Aynı miktarda elektrik üretmek için, Güneş ışınlarının

enerji yoğunluğu sınırlı olduğundan daha geniş alanlara, çelik, beton ve daha başka malzemelere daha çok gereksinim vardır.

- Sonuç olarak, daha fazla güneş panelinin kurulması gerekiyor ve bu da malzeme ve arazi gereksinimini artırıyor.
-
- **Resim 1:** Bir panel çiftliği



Geri dönüşüm sorunu:

- 2014'ten bu yana kurulu güneş panellerindeki büyük artış, geri dönüşüm gereksiniminin artmasına neden oldu. Güneş panellerinin geri dönüştürülmesi, özellikle içerdikleri ağır metaller ve diğer zararlı maddeler nedeniyle çok karmaşık yöntem ve işlemleri gerektiriyor.
- Dünya çapında Güneş panellerinin geri dönüşümü için yeterli kapasite olmadığı düşünülmelidir. Gelişmiş ülkeler de dahil olmak üzere birçok ülkede, kusurlu veya eski paneller açık depolama alanlarına gidebilir ve bu da kurşun ve kadmiyum gibi zehirli maddelerden kaynaklanan çevre kirliliği riskini artırıyor.
- Bu yazımızda, Güneş enerjisinin özellikle malzeme kullanımı ve panellerdeki zararlı maddeler alanında ilgili çevre sorunlarının gözardı edilmemesi gerektiğinin altı çiziliyor.
- Güneş enerjisi teknolojisinin verimliliğinin düşük olması nedeniyle, aynı elektrik üretimi için diğer elektrik santrallerine göre daha fazla arazi ve malzemeye gerek duyulduğuna da dikkat çekiliyor.

Sonuç olarak, yazımız, bu konularda farkındalık ve uzun vadeli çevresel etkileri en aza indirmek için teknolojilerde ve geri dönüşüm süreçlerinde bir iyileştirme çağrısında bulunuyor, hurda panellerinin çöplüklere atılmaması, kapalı depolarda saklandıktan sonra geri dönüşüm tesislerinde içlerindeki zararlı ama değerli maddelerin tekrar kazanılmasını öneriyor.

Çizelge 1: Yaptığımız hesapların sonuçlarına göre, Almanya, Türkiye ve Dünya’da bugünkü Güneş panel sayılarıyla, bunlardan, her yıl, 25 yıllık ömürlerini dolduranların yaklaşık sayıları ve elektrik üretimindeki verimler:

2023 DEĞERLERİ	BUGÜNKÜ (300 Watt'lık) GÜNEŞ PANEL SAYISI	HER YIL, 25 YILINI DOLDURAN GÜNEŞ PANEL SAYISI	GÜNEŞ ENERJİSİNİN YIL SONUNDAKİ ORTALAMA VERİMİ (%) (KURULU GÜÇTEN % KAÇ ELEKTRİK ELDE EDİLDİ?)
ALMANYA	300 Milyon	12 Milyon	6,5
TÜRKİYE	60 Milyon	2,4 Milyon	11,5
DÜNYA	5,3 Milyar	212 Milyon	12
ELEKTRİK SANTRALLERİ ORTALAMA VERİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI			
HİDROLİK			90
NÜKLEER			80
FOSİL KÖMÜR			60

Not: Her yılki panel sayılarının o yıl içinde geri dönüşümleri yapılmadığında, bunların çöplüklerdeki sayılarının, her yeni yılda birikerek artacağı açıktır. Hidrolik santrallerde verimin en yüksek olmasının nedeni, barajlarda yüksekten düşürülen suyun potansiyel enerjisinin, fazla bir enerji kaybı olmadan doğrudan türbin kanatlarında kinetik enerjiye ve türbine bağlanan jeneratörde de elektriğe çevrilmesinden kaynaklanıyor.

.....

Ayrıntılar

Almanya'da durum ve genel değerlendirmeler

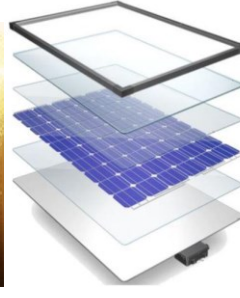
"Almanya'da Kamu Net Elektrik Üretimi 2024 – 08.09.2024'e Kadar Enerjik Olarak Düzeltilmiş Değerler" raporuna göre, Eylül 2024'e kadar Almanya'da:

89 GigaWatt (GW) Güneş Kurulu Gücünden,

51 Terawatt saat = 51.000 Gigawatt saat (GWh) elektrik üretildi i.

1. Güneş enerjisi üretiminin verimliliği (Konuya yabancı olanlar için açıklamalar)

"Kurulu güç", bir sistemin ya da santralin üretebileceği maksimum elektrik gücüdür. Örneğin, her biri 300 Watt'lık 18 güneş paneli, bir çatıya konulmuşsa, o evin kurulu gücü: 18 panel x 300 Watt = 5.400 Watt (W).



1. Aluminium Frame
2. Tempered Glass - to protect cells
3. Encapsulant material – e.g. EVA film
4. Silicon solar cells – 60 or 72 connected in series
5. Encapsulant material
6. Back sheet – various materials used
7. Junction box – typically using 12v wiring

Şekil 2: Quelle: www.adac.de

Şekil3 : Bir Güneş paneli iç yapısı

Bir silikon güneş paneli yaklaşık %70 cam, %10 plastik, %8 alüminyum, %5 silikon, %1 bakır ve %1 gümüş'ün yanı sıra az miktarlarda da kurşun, kadmiyum, antimon ve diğer bazı maddelerden oluşur.

Bir elektrik santralının elektrik üretiminin kapasite faktörü veya verimliliği (E), 1 yıl içinde gerçekten üretilen elektrik miktarının, yıl boyunca sürekli tam elektrik gücüyle elde edilebileceği düşünülen maksimum elektrik miktarına oranı olarak hesaplanıyor.

Almanya'da 8 Eylül 2024'e kadar 1 yıl için hesaplandığında:

$$E = 51.000 \text{ GWh} / (89 \text{ GW} \times 24 \text{ Std.} \times 365 \text{ Tage}) = 51.000 / 779.640 = \% 6,5$$

Bu oran, Güneş enerjisi ile yıl içinde kurulu gücün sadece % 6,5'nun elektriğe dönüştürülebildiği, Güneş ışınlarının geceleri olmaması ve yılın birçok gününde çok zayıf olması nedeniyle, elektrik gücün %93,5'inin kullanılmadığı anlamına geliyor.

Karşılaştırıldığında, verimlilik (ya da kapasite faktörü) hidroelektrik santraller için yaklaşık % 90, nükleer santraller için yaklaşık % 80 ve fosil yakıtlı santraller için ise yaklaşık % 60 kadardır.

Not: Bu verimlilik (E) veya kapasite faktörü, bir Güneş panelinin, Güneş enerjisinin paneldeki elektrik enerjisine dönüşüm oranı olan ve % 20 ila % 25 arasındaki verimliliği ile karıştırılmamalıdır.

"2023 sonunda Almanya'daki toplam Kurulu Güç 81,7 GigaWatt idi. 2030 yılında güneş enerjisi için 215 GigaWatt'a erişme hedefine ulaşmak için gelecekte, her yıl 19 GigaWatt eklenmesi gerekecek. Almanya'da 2023 yılında 54 TWh elektrik, Güneş enerjisinden üretildi"

2. Almanya'daki toplam güneş paneli sayısı

Yaklaşık 90 GW toplam Kurulu Güç ve panel başına ortalama 300 Watt güç var sayıldığında **bugün Almanya'daki toplam panel sayısı, yaklaşık olarak:**

$$90 \text{ GW} \times 1.000.000.000 \text{ W/GW} / 300 \text{ W} = \mathbf{300 \text{ milyon panel kadardır.}}$$

Panel başına ortalama 20 kg ağırlık ile bu: 300 milyon panel x 20 kg/panel = 6 milyon ton eder.

Bu miktarın büyüklüğünü gözümüzde canlandırmak için: 30 tonluk kamyonlara bu miktar dağıtılırsa, sonuç şöyle olurdu: 6.000.000 ton / 30 ton/kamyon = 200.000 kamyon gerekirdi.

Bu kamyonlardan herbiri 100 metre aralıklı bir konvoy oluşturulursa bu: 200.000 x 100 metre = 20.000.000 metre = 20.000 km uzunluğa ulaşacaktır ki, bu da ekvatorun uzunluğunun yarısına karşılık gelecektir.

2030 yılı içinⁱⁱ 'deki hedeflere ulaşırsa, yukarıdaki sayıların 215/90 = 2,39 faktörü ile artırılması gerekecektir. Bu ise konvoyun Dünya'nın yörüngesinde bir kez döneceği anlamına geliyor.

Not: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı, 2050 yılına kadar Dünya'da 78 milyon tona kadar ulaşacak Güneş paneli dağılımı öngörüyor.

Bir güneş panelinin ömrü yaklaşık 25 yıldır. Güneş enerjisi Almanya'da 1990'dan beri var. Basına göre: "Güneş enerjisindeki atılım, 1990 ve 1992 yılları arasında Almanya Federal hükümetinin 1000 çatı programıyla başladı". Bu ise, 32 yıl sonra bugün birçok panelin zaten geri dönüşümünde olması anlamına geliyor.

3. Önümüzdeki 25 yıl içinde ve bundan sonraki her yıl geri dönüştürülecek panel sayısı

300 milyon panelin yaklaşık 25 yıl içinde geri dönüşümünün yapılacağını, bunun ise en azından % 4'lük oranlarda yapılabileceğini varsayarsak, Almanya'da:

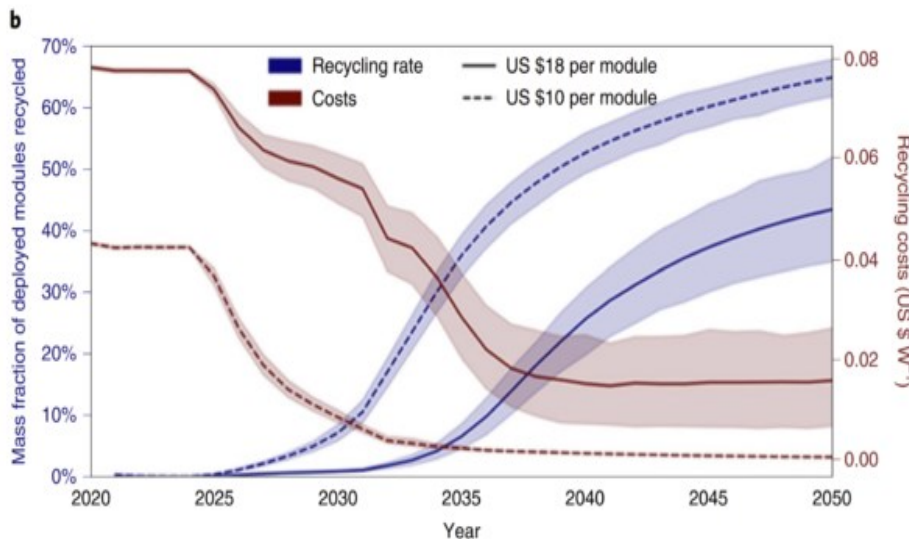
300 milyon x 0,04 = yılda 12 milyon panel'in geri dönüşümü yapılabilir.

Asıl sorun, her yıl ve sonraki yıllarda yeterli geri dönüşüm yerlerinin bulunup bulunmayacağıdır. Bunun araştırılması gerekir.

Panellerin geri dönüşümü sadece pahalı değil, aynı zamanda derin uzmanlık gerektiren bir alan olup özel makine ve uzman personel gerektirmektedir (gelişmekte olan ülkelerde bunların bulunmayacağı da açıktır)ⁱⁱⁱ.

Aşağıdaki **Şekil 4**'de gösterilenler: Geri dönüştürülecek panel miktarının (kütlesinin) yüzdeleri (solda).

ABD doları cinsinden Watt ve panel başına geri dönüşüm fiyatı (sağda):



4. Güneş panellerindeki zararlı maddeler nelerdir:

Panellerde bulunan silikon, kadmiyum, antimon, gümüş ve kurşun gibi malzemelerin zehirli olduğu ve bu nedenle eski panellerin dikkatli bir şekilde elden geçirilmesi gerekiyor.

Gelişmekte olan ülkelerde, geri dönüşüm yerlerinin pek bulunmaması ve geri dönüşümün de ücretli olması nedenleriyle eski panellerin geri dönüştürülmemesi, açık depolama alanlarında atılması ve zehirli maddelerin çevreye sızması durumunda çevre kirliliği sorunu göz ardı edilmemelidir^{iv}.

Örneğin bir araştırmaya (2014) göre, araştırmacılar, Dünya’da Güneş panellerinde 11.000 ton kurşun ve 800 ton kadmiyum bulunduğunu hesaplıyorlar /3/ Panel sayısı 2014'ten bu yana büyük miktarda arttığı ve artmaya devam ettiği için bu sayılar bugün çok daha büyüktür.

Almanya’daki bir tarım bülteninden alıntı - LfL (bayern.de)^v /5/

"Tüm güneş panellerini % 90 kadarı yarı iletken olarak silikon yapıdır.. Bununla birlikte, temas yerleri ve lehim bağlantıları gümüş, çinko veya büyük miktarda kurşun içeriyor (Her hektarda, 3000 m²'lik bir panel alanı kullanıldığında, bu alanda, yaklaşık 20 – 25 kg kurşun bulunuyor).

İnce film Güneş modüllerinde, yarı iletkenler olarak genellikle zor çözünen kadmiyum tellür (CdTe) ve daha az miktarda kadmiyum sülfür (CdS) bulunuyor. Sadece yaklaşık 3 µm kalınlığındaki yarı iletken tabakada, hektar başına yaklaşık 18-26 kg kadmiyum olduğu hesaplanabilir.

Sağlam panellerden toprağa kadmiyum ve kurşun sızması beklenmiyor. Bununla birlikte, panellerde ciddi hasar olması durumunda (örneğin dolu veya yangın), toprağa kadmiyum ve kurşun sızması olabilir. Önlem olarak, kusurlu paneller daha uzun süre kullanılmamalıdır /5/. Daha fazla bilgi için: Kısa makale: Schadstoffe in Photovoltaik-Freiflächenanlagen 266 KB Ayrıntılı makale: Schadstoffe in Photovoltaik-Freiflächenanlagen

Güneş panellerinde zehirli maddeler neden var?

Güneş panellerinden elektrik elde edebilmek için içlerine kadmiyum, antimon, gümüş gibi daha başka katkı maddeleri konularak yarı iletkenlik sağlanıyor ve sonunda Fotovoltaik yöntemiyle elektrik ancak bu katkı maddelerinin iletkenliğiyle elde edilebiliyor.

Türkiye’de durum

Türkiye’de bulunan Güneş Enerji Santrallerinin toplam kurulu gücü 17,6 MW’dır. 2023 yılında Güneş Enerji Santralleri ile 18.800 GWh elektrik üretimi yapılmıştır. Bu miktar, toplam elektrik üretimi olan 330.000 GWh’in % 5,7’ dir ^{vi}. Bu sayılardan oldukça yüksek ortalama bir verimlilik (kapasite faktörü) % 12 hesaplanır. Bu faktör, Almanya ortalama kapasite faktörü olan %6,5 ile karşılaştırılırsa neredeyse 2 kattır.

Panel sayısı: 17.600 MW kurulu güç ve her bir panel için 300 Watt varsayıldığında,

Türkiye’de 2023 yılında :

$17.600 \text{ MW} \times 10^6 \text{ W} / \text{MW} / 300 \text{ W} = 60 \text{ milyon kadar panel bulunuyor.}$

Bunların bir çoğu 90 lı yıllarda ve sonrasında yapılmış olduğundan işletim ömürlerini doldurmuş olmalıdır. Bunların geri dönüşümleri yapılıyor mu yoksa çöplüklere mi atılıyorlar araştırılması gerekir.

Dünya’da durum

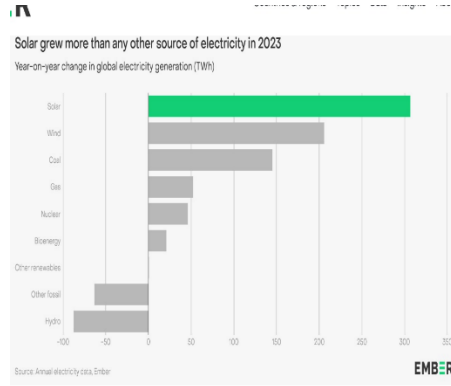
2023 yılında tüm Dünya’daki Güneş Enerjisinden elektrik üretimi için toplam Kurulu Güç 1.600 GigaWatt’a ulaştı.

2023 yılında Dünya’da Güneş enerjisinden üretilen toplam miktar ise 1.630 TWh ^{vii}/6/.

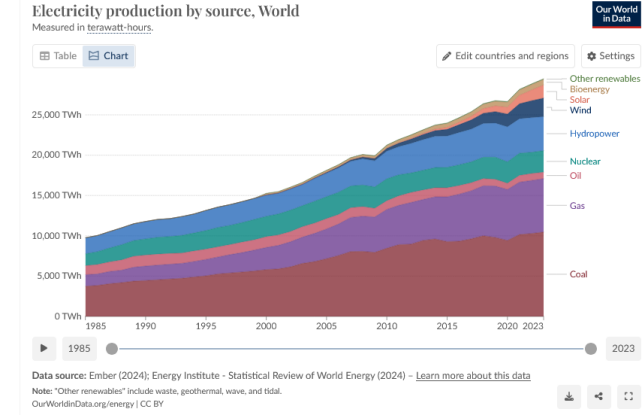
Dünya ortalama kapasite faktörü ya da verimliliği ise: % 11,5 bulunur. Bu oldukça yüksek verimlilikte, Afrika’daki gibi bol Güneş’li ülkelerin katkısı fazladır.

Şekilden görüldüğü gibi 2023 yılında en çok artan Güneş Enerjisinden elektrik üretimi oldu (TWh) olarak:

Şekil 5: 2023’de artımlar



Şekil 6: Kaynaklara göre Dünya elektrik üretimi 2023



Tüm Dünya’daki panel sayısı her biri 300 Watt’lık paneller varsayılarak:
 $1600 \text{ GW} \times 10^9 \text{ W/GW} / 300\text{W} = 5,3 \text{ milyar panel bulunuyor.}$

Bu çokluktaki panellerin geri dönüşümlerinin şimdiden planlanması gerekiyor. Özellikle az gelişmiş ülkelerde, Asya ve Afrika’da bunların en azından % 30 kadarının geri dönüşümleri yapılamazsa, bu, 1.6 milyar panelin ileride çöplüklerde çürüyeceği demektir.

5. Sonuç

Bu yazımızın amacı, Almanya’da, Türkiye’de ve Dünya’da, Güneş enerjisinden elektrik üretiminin pek bilinmeyen sorunlarına dikkat çekmektir. Örneğin, Güneş enerjisi sistemlerinin verimliliği Almanya’da sadece % 6,5, Dünya’da ve Türkiye’de %11,5 - % 12 kadar düşük olduğundan, kurulu güce göre hesaplandığından çok daha fazla panelin kurulması gerekir. 1.200 MW kapasiteli 3 milyon panelli bir güneş enerjisi çiftliğinde, aynı miktarda elektrik üretmek için diğer enerji santrallerinden çok daha fazla malzemeye (çelik, beton vb.) gerek vardır. Her yıl Dünya’da geri dönüştürülecek toplam panel sayısı olan 5,3 milyar panel o kadar fazladır ki, bunun tümünün geri dönüşümlerinin yapılması beklenmemeli ve bu nedenle planlama yapılmalı, geri dönüşümler özellikle az gelişmiş ülkelerde yapılmalıdır. Gelişmiş ülkelerde bile ancak % 80-90 geri dönüşüm yapılabileceğinden, hurdalar çöplüklere atıldığında, bunların içlerindeki zehirli maddelerin çevre kirliliğine neden olacakları açıktır. ^{viii}

Kaynaklar

ⁱ <https://www.energy-charts.info/charts/energy/chart.html?l=de&c=DE&chartColumnS>

ⁱⁱ https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2024/20240105_EEG_Zubau.html ⁱⁱⁱ <https://ourworldindata.org/electricity-mixml>

ⁱⁱⁱ Güneş Panellerinin Geri Dönüşümü: Karlılık ve Zorluklar – pv magazine USA (pv-magazine-usa.com)

^{iv} Fotovoltaik Modüllerden Kirlenici Salınımı – Prof. Dr. Jürgen Werner, Stuttgart Üniversitesi, Fotovoltaik Enstitüsü (2014–2017) ve

<https://www.enbause.de/solarenergie/aktuelles/artikel/wissenschaftler-untersuchen-schadstoffe-aus-pv-modulen-3933.html>

^v Yere monte fotovoltaik sistemlerdeki kirleneticiler - LfL (bayern.de) Yere monte fotovoltaik sistemlerdeki kirleneticiler - LfL (bayern.de)

^{vi} <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>

^{viii} Güneş ve rüzgardan elektrik tertemiz ve bedava mı? Y.Atakan, kitap, Sarmal yayınları 2023