

# Güneş Işınlardan Elektrik Üretiminde Hiç Düşünülmeyen Son... Milyonlarca Güneş Paneli Sonunda Ne Olacak?

Dr. Yüksel ATAKAN  
Radyasyon Fizikçisi

İçlerinde cam, plastik, aliminyum ve silisyumun yanı sıra, kurşun, kadmiyum, antimon gibi zehirli maddeler de bulunan milyonlarca güneş paneli 25-30 yıl içinde hurdaya çıkınca, bunların çevreye olumsuz etkileri düşünülmeli ve depolanacağı yerler de geri dönüşümleri de şimdiden planlanmalı, ilgili yaptırımlar yönetmeliğe alınmalı.

Türkiye’de hiç bir kurumun, güneş enerjisiyle ilgili teknik raporunda ele alınmayan bu konuyu ilk kez gündeme getiriyoruz.

Güneş ışınlarından elektrik üretimi, kaynağının tükenmemesi, bol ve ücretsiz olması, CO2 salınmaması, sadece santrallarda değil, binaların çatılarında da elektrik üretilmesi gibi olumlu yönleri nedeniyle hepimizin istediği bir elektrik üretim türü. Bu nedenlerle bugün tüm dünyada ve Türkiye’de güneş ışınlarından elektrik üretimi (özellikle fotovoltaiik yöntemle) tüm hızıyla ilerliyor. Bu konuda bizim de HBT’de yayımlanan bir dizi yazımız bulunuyor /1/.

Ancak değil sade vatandaş, bu dalda çalışan uzmanlar dahi - güneş panelleri ileride kullanım sürelerini doldurduğunda (**ki bugün bile ülkemizde hurdaya çıkan çok sayıda panel vardır**), dünyada ortaya çıkacak milyarlarca hurda panelle ne yapılacak, bunlardaki kurşun, kadmiyum, antimon gibi zehirli maddelerle, cam, silisyum ve aliminyum gibi değerli maddeler geri dönüşümle tekrar kazanılacak mı, yoksa hurda panellerden çöp dağları mı ortaya çıkacak? Ayrıca zehirli maddelerin zamanla toprağa, bitkilere, sulara ve sonunda insana ulaşacağı da düşünülmüş ya da planlamış değil! Gelişmekte olan ülkelerde hiç düşünülmeyen bu konu, gelişmiş ülkelerde son yıllarda düşünülmeye, bilimsel ve teknolojik araştırmalar yapılmaya başlandı ama Japon’ya hükümeti bile hurda paneller konusunda bir planı, programı olmadığını açıkladı.

**Dış basında - eğer** güneş enerjisi söylendiği kadar temiz ise tüm dünyadaki milyarlarca paneldeki zehirli maddelerin ileride havaya, çevreye yayılması nasıl önlenecek ve panellerdeki diğer maddelerin geri dönüşümleri nasıl yapılacak? diye soruluyor ve bu sorun 10-15 yıl sonra patlayacak deniyor.



Şekil 1: Hurda panellerin geri dönüşümü gereği, Şekil 2: Bir tornado sonrası güneş panellerindeki yıkım

Güneş panellerinin kullanım süreleri genellikle 25 – 30 yıl arasında değişmekle birlikte, bunların bir çoğunun verimleri 15 -20 yıl sonra yüzde 10-20 kadar düştüğünden daha önce de hurdaya çıkarılıyor. Deneyimler, ayrıca, güneş panelleri 25-30 yıldan çok önce de, yüzde 0,5 ile yüzde 3 miktarda panelin her yıl, çeşitli bozulmalar (aşırı hava sıcaklığı değişimleriyle çatlak ve yarıkların oluşması, panel çerçevelerinin eğilip bükülmesiyle panel yüzeyinin bozulup kırılması ve taşıma kazaları gibi hasarlar) sonucu hurdaya çıkarıldığını, bunların yenileriyle değiştirildiğini gösterdiğinden, her yıl çok sayıda panelin de hurda yığınlarına eklendiğini gösteriyor.

### **Güneş panelleri geri dönüşümleri**

Güneş panelleri geri dönüşümlerinin yapılmasında en büyük güçlük bunların gitgide artan miktarları. Üretilen enerji birimi başına güneş panelleri, nükleer santrallardan 300 kat daha çok zehirli madde üretiyor. Bir nükleer santralin 1 yılda ürettiği enerjiyi güneş santrali 25 yılda ürettikten sonra, bunlar hurdaya çıkarılıp üstüste konacak olsalar, nükleer santralin çöpleri 53 metre yüksekliğindeki Pizza kulesi kadar olurken, hurdaya çıkan güneş panellerinin yüksekliği ise Everest dağının iki katı olan 16 km'ye yükseliyor.

### **Dünyada hurda panellerle ilgili durum?**

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Kurumu (IRENA) 2016 yılında hurda panel miktarının yaklaşık olarak 250.000 ton iken, bunun 2050 yılında 78 milyon ton olabileceğini öngörüyor /3/.

Panellerin içindeki plastik, kurşun, kadmiyum ve antimomun kirlilikleri nedeniyle, cam plakın da kolayca geri dönüşümünün yapılamayacağı da ileri sürülüyor. 1,8 milyon panelde 50 ton kadmiyum bulunduğu kestiriliyor. Buradan panel başına 30 gram kadar kadmiyum bulunduğu hesaplanabilir.

Kurşun, antimon ve diğerleriyle birlikte her panelde toplam zehirli maddelerin kabaca 100 gram olduğu varsayılabilir.

Paneller normal kullanım sürelerini doldurmadan da büyük fırtına, tornada ve depremlerde panellerin kırılarak içlerindeki zehirli maddelerin çevreye dağılacağı da düşünülmeli. Örneğin 2015’de Güney Kaliforniya’daki Desert Sunlight güneş çiftliği ve 2017 yılında Porto Rico’daki bir güneş parkı tornadolarla baştan aşağı parçalandılar (Bkz. Şekil 2).

Öte yandan az gelişmiş ülkelerde eski panellerin depolandıkları yerlere (çöplüklere) yakın yaşayan bazı kişilerin bunları kırıp ya da yakıp içindeki değerli malzemeleri alıp satmakta oldukları da bir gerçek. Yakma sırasında ise plastik ve diğer zehirli maddelerin havaya saldıkları taneciklerle zehirli dumanların (smoke) havaya yayılacağına uzmanlar dikkat çekiyorlar. Kasım 2016’da Japonya Çevre Bakanlığı hurdaya çıkan panel miktarının yılda 10.000 tondan 2040 yılına kadar yılda 800.000 tona çıkacağını ve bunların geri dönüşümlerinin nasıl sağlanabileceğinin henüz bilinemediğini açıklamıştır.

ABD’den 2 kat daha çok güneş paneli kullanan Çin ise ortaya çıkacak 20 milyon ton hurda panelle ilgili olarak herhangi bir planı olmadığını bildirmiştir /2/.

### **Türkiye’de durum: ileride kaç adet hurda panel ortaya çıkabilir?**

Türkiye’de güneş enerjisiyle elektrik üretimine epey hız verilmesine rağmen bugün ve ileride ortaya çıkacak milyonlarca güneş panelinin, çevreye olumsuz etkileri gözönüne alınarak, gerek depolanacağı yerler gerekse bunlardaki çeşitli maddelerin geri dönüşümleriyle ilgili herhangi bir plan, enerji bakanlığının sayfalarında da ilgili şirketlerin ve TÜBA’nın 2018 güneş enerjisi raporunda da bulunmuyor/3/.

Türkiye’nin güneş santrallerinden ortaya çıkacak hurda panellerden oluşan çöpleri için /3/ nolu kaynak ise aşağıdaki tonajları veriyor. Ancak nasıl hesaplandığı bilinmeyen bu değerler, aşağıdaki hesap sonuçlarımızın yanında çok düşük kalmaktadır. Gerçek değerler, hesapladığımızı yakın olmalıdır, çünkü kurulu güç değerleri ve panel sayı ve kg’ları ortadadır.

**Çizelge 1:** Türkiye’de yıllara göre ortaya çıkacak hurda panel miktarlarını /4/ nolu kaynak çok düşük olarak aşağıda veriyor  
Amount of solar panel waste in Turkey (in tons): **Parantez içindeki değerler** her panel 20 kg ve her panelde toplam 100 gram kadmiyum, kurşun, antimony gibi bir dizi zehirli maddeler bulunduğu varsayılarak yaptığımız yaklaşımlardır.

- in 2016: 30 t (Yaklaşık 1.500 adet panel ve toplam 150 kg zehirli madde)
- in 2020: 100 t (Yaklaşık 5.000 adet panel ve toplam 500 kg zehirli madde)
- in 2030: 1,500 t (Yaklaşık 75.000 adet panel ve toplam 7.500 kg zehirli madde).

**Yaklaşımımız ise: Türkiye’de 2030 ‘dan başlayarak 30 yıl boyunca, her yıl 3,3 milyon adet (66.000 ton hurda panel) ve bu panellerde toplam 330 ton zehirli madde (metindeki hesaplama bkz).**

- /4/ nolu kaynağa göre : 2040 yılında 20,000 t ( Bizim hesabımıza göre: Yaklaşık 1 Milyon adet panel ve toplam 100 ton zehirli madde).
- /4/ nolu kaynağa göre: 2050 yılında: 200,000 t ; (Bizim hesabımıza göre: Yaklaşık 10 Milyon adet panel ve toplam 1000 ton zehirli madde)

## Hesaplarımız

Biz bu konuda aşağıdaki verileri gözönüne alarak bir yaklaşımla durumu ortaya koymaya çalışacağız:

HBT’de yayımlanan daha önceki yazımızda /1/, Türkiye’nin 2018’da güneş enerjisinden 5000 MWp kurulu güçle yılda 7,9 TWh elektrik ürettiğini ve bunun toplam elektrik üretiminin yüzde 2,6 kadarı olduğunu belirtmiştik. Bu kurulu güce, bu arada yapılabilecek santrallerle, 2030 yılına kadar 2 kat daha ya da 10.000 MWp eklenebilirse (toplam 15.000 MWp kurulu gücüyle) güneş enerjisiyle toplam üretimin yılda 24 TWh değerine yükselebileceğini hesaplamıştık.

Bunun için örnek olarak 1,65m x 1 m boyutlarındaki 60 güneş hücreli panellerden kullanılırsa, her bir panel, çerçeve ve diğer parçalarıyla birlikte toplam 20 kg kadar olacaktır. Her panel yaklaşık 200 Watt elektrik gücünde ise, toplam 15.000 MWp kurulu güç için 75 milyon panel gerekecek. (= 15 milyar Watt/200 Watt).

75 milyon panele, çeşitli bozulmalar sonucu ortalama olarak bu miktarın yüzde 1,5 kadarı **her yıl için** eklendiğinde 30 yıl sonunda toplam hurda panel sayısı : 75 milyon x (75 x 0, 015 milyon)/yıl x 30 yıl= 108 milyon ya da kabaca 100 milyon olacaktır. Panellerin her biri 20 kg’dan hesaplanırsa 100 milyon panel 2 milyar kg (= 2 milyon ton) güneş paneli yaklaşık 30 yıl boyunca hurdaya çıkacaktır.

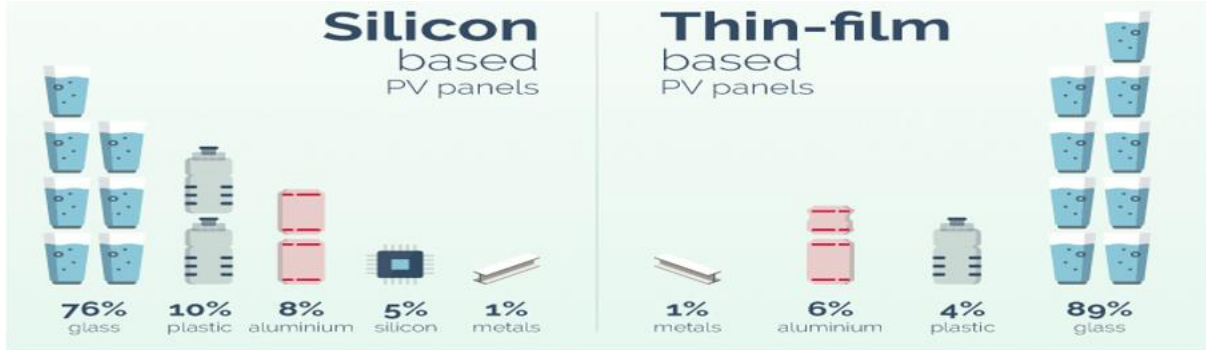
Bu miktarın büyüklüğünü gözümüzde canlandırabilmek için, güneş panellerinin 10 tonluk kamyonlarla taşındığını düşünürsek 2 milyon ton panel için 200.000 kamyon gerekecektir. 200 bin kamyonun 50 metre arayla bir konvoy oluşturulursa bunun uzunluğu 10.000 km olacak (Dünyanın çevresinin ¼ uzunluğu !)(İstanbul’dan Tokyo’ya kadar uzanan bir konvoy olabilir!). Kuşkusuz bunların tümü aynı yıl,

kullanım sürelerini doldurmayacaktır. Ardı sıra gelen yıllarda bunlar ortaya çıkacak, ancak her panelin en geç 30 yıl sonunda kullanım süresi dolacağından toplam sayı değişmeyecektir.

**Ortalama her yıl 3,3 milyon panel hurdaya çıkacak** (Toplam 100 milyon panel/30 yıl ve bunların her yıl depolanıp geri dönüşümlerinin yapılması gerekecektir). Gerçekte her yıl kaç ton ya da kaç adet güneş panelinin kullanım süresini dolduracağı, bunların geri dönüşümünün nerede ve nasıl yapılabileceği yetkililerce hesaplanıp, planlanmalıdır. Ayrıca panellerdeki zehirli maddelerin nasıl bir işlem göreceği de araştırılmalı ve ona göre önlem alınmalıdır.

### Güneş panellerinde hangi cins maddeler var ve bunların geri dönüşüm oranları ne kadar?

Aşağıdaki şeklin sol yanında silisyumlu güneş panellerinde yüzde olarak bulunan diğer maddeleri gösteriyor. Paneller hurdaya çıktığında bunların geri dönüşümleri büyük önem taşıyor. Panellerde en çok bulunan maddeler ise Şekil 3'den görüldüğü gibi sırayla: cam, plastik, alüminyum ve silisyum geliyor. Çok az miktarda bulunan kurşun, kadmiyum, antimon gibi zehirli maddeler, bu şekilde gösterilemiyor. Panellerdeki alüminyum çerçeve yüzde 100, cam yüzde 95, silisyum ise yüzde 85 oranlarında geri dönüşümle tekrar kullanılabilir /2,4,5/.



Şekil 3: Solda silisyum tabanlı, sağda ince film tabanlı fotovoltaik panellerin yapısında bulunan maddeler şematik olarak ve aşağıda yüzde oranlarıyla gösteriliyor.

### Güneş panellerinin geri dönüşümleri nasıl yapılıyor?

Panellerdeki malzemelerin ayrılması özel makinalarda aşağıdaki sırayla yapılıyor:

Önce alüminyum çerçeve çıkarılıyor (yüzde100 tekrar kullanılabilir)

Cam plak ayrılıyor (yüzde 95 tekrar kullanılabilir)

Plastik maddeler 500 C derecede buharlaştırılarak güneş hücreleri kolayca ayrıştırılıyor

Silisyum kimyasal olarak ayrılıyor ve tekrar kullanılabilir hale getiriliyor (yüzde85 tekrar kullanılabilir) Kaynak: /2,4,5/

## Sonuç

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de fotovoltaik yöntemle çalışan güneş satrallarındaki ve çatılara konan güneş panellerinin sayıları artarken, bunların sadece olumlu yönleriyle görülmemesi, bugünden başlanarak 25-30 yıllık kullanım süresi içinde ortaya çıkacak ve içlerinde çeşitli zehirli kimyasallar da bulunan milyonlarca hurda paneldeki maddelerin geri dönüşümlerinin yapılması gereği, ayrıca her yıl ortaya çıkacak hurda panellerin depolanacağı yerler de santraller kurulurken planlanmalı, bunlar ilgili yönetmelikle lisanslama döneminde gerçekleştirilmelidir. Türkiye’de ilgili yönetmelikte, bu yaptırımlar bulunmuyor/6/.

**Not:** Güneş panellerinde bulunan sağlığa zararlı kimyasal maddelerin azaltılmasıyla ilgili daha önceki yazımızdaki önerilerin göz önüne alınarak gerekli önlemlerin alınması yararlı olabilir ve 25-30 yıl sonra ülkemizin bir çok yerinin binlerce eski panel çöplüğüne dönüşmesi önlenbilir umarız /7/.

Dr. Yüksel ATAKAN, Radyasyon Fizikçisi

(\* ) 1 Watt: Elektrik güç 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’dır.

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

## Kaynaklar:

/1/ Güneş Enerjisinden Elektrik üretimiyle ilgili Herkese Bilim Teknoloji Dergisindeki bir dizi yazılarımız (Ocak-Mart 2020)

/2/ <https://wattsupwiththat.com/2018/12/23/solar-panel-waste-a-disposal-problem/>

/3/ TÜBA-GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİLERİ RAPORU Ankara – 2018 Editör: Prof. Dr. İbrahim DİNÇER

/4/ <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2017/10/the-opportunities-of-solar-panel-recycling>

/5/ [https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena\\_ieapvps\\_end-of-life\\_pv\\_panels\\_2016.pdf](https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_ieapvps_end-of-life_pv_panels_2016.pdf)

/6/ Resmi Gazete Tarihi: 30.06.2017 Resmi Gazete Sayısı: 30110 GÜNEŞ ENERJİSİNE DAYALI ELEKTRİK ÜRETİMİ BAŞVURULARININ TEKNİK DEĞERLENDİRMESİ HAKKINDA YÖNETMELİK