

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNDE KALİTE UNSURLARI, BOZULMA TÜRLERİ VE ETKİLERİ

*TYPES OF DEGRADATION, QUALITY ELEMENTS AND ITS EFFECTS ON
PHOTOVOLTAIC MODULES*



Erdem MERİÇ

*YANKI ENERJİ Yenilenebilir Güç Sistemleri – KOCAELİ
Enerji Danışmanlığı Hizmetleri / Renewable Energy Consultancy
2021*

ÖZET

Fotovoltaik panellerde kurulum öncesi ve sonrasında bozulmalar meydana gelebilmektedir. PV hücre ve modül imalatındaki kalite kusurları, hatalı yapılan montaj işçiliği, olumsuz çevresel şartlar ve işletme faktörleri bozulma etkilerinin ortaya çıkışını hızlandırmaktadır. *Panel üreticilerinin birbirleriyle rekabet edebilmeleri adına, PV modül teknik föylerinde 25 yıl lineer performans garantisi ile sundukları ürünler gerçekten beklenen ömürleri dolana kadar sahada performans göstermeye devam edebiliyorlar mı? Ya da ürün ve proses kalitesinden verilen ödünler sebebiyle devreye alınmalarını takip eden birkaç yıl içinde bozulmaya başlayan ve beklenen ömürleri dolmadan yenileriyle değiştirilme gereği duyulan modüllere rastlanıyor mu?* Bu yazıda pv modülleri olumsuz etkileyerek bozulmalarına sebep olan faktörler ve yaygın olarak rastlanan modül bozulma çeşitleri ele alınmıştır.

SUMMARY

Deterioration may occur in photovoltaic panels before and after installation. Quality defects in PV cell and module manufacturing, faulty assembly workmanship, adverse environmental conditions and operating factors accelerate the emergence of deterioration effects. In order for panel manufacturers to compete with each other, can the products they offer with a 25-year linear performance guarantee in the PV module technical sheets continue to perform in the field until their expected lifespan actually expires? Or are there modules that start to deteriorate within a few years following their commissioning due to compromises in product and process quality and need to be replaced before their expected lifespans are over? In this article, the factors that affect pv modules negatively and cause them to fail and common module defects are discussed.

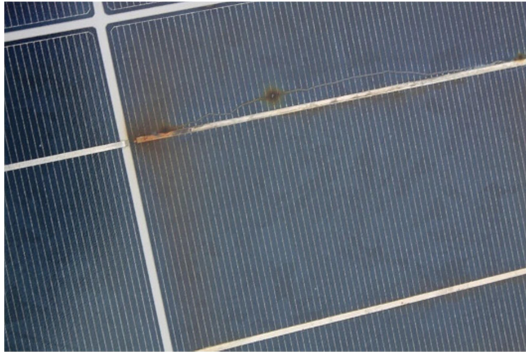
1- SICAK NOKTALAR (HOT SPOT)

Sıcak noktalar, farklı arıza modlarının bir sonucu olarak ortaya çıkan, PV modüllerin enerji üretim seviyelerinin azalmasına sebep olan ve genelde uzun vadede etkisi artış gösteren bir bozulmadır. “Hot Spot” denilen sıcak noktalar, üretilen akım yolundaki lokal direnç bölgelerindeki ısıdır. Elektrik akımının ilerlediği yol boyunca I²xR kayıplarının olduğunu biliyoruz. Akım, panellerdeki hücre dizilerinden geçerken hücrelerdeki yüksek dirençli bölgelere rastladıklarında lokal sıcaklık artışları olmaktadır.

Ön camın kırılması, hücre içindeki imalat kaynaklı sorunlar ve dış gölgelemeler sıcak noktalara sebep olan başlıca unsurlardır.

Hücre içindeki imalat kaynaklı sorunlara örnek olarak; hatalı yapılan hücre sıralamaları, hücre içindeki lokal kısa devreler, hücre çatlakları, kötü lehimleme veya yetersiz elektrik bağlantıları örnek verilebilir.

Uzun vadede ve dikkat edilmediğinde sıcak noktalar modülün diğer tabakalarına da zarar verir, hatta yangına sebep olabilecek bir sürecin başlamasında etkili olabilirler.



Hot Spot Kaynaklı Hücre Bozulması

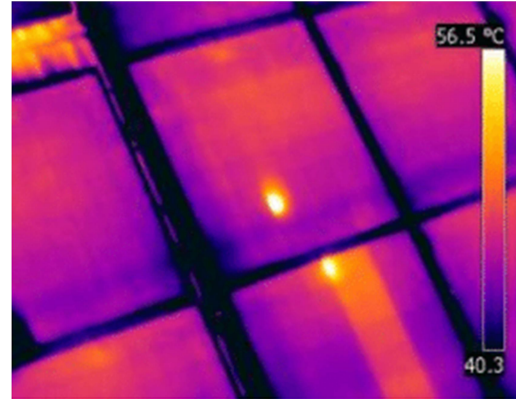
Hot Spot etkisini minimize edebilmek için atılması gereken ilk adım, panel imalatında hücrelerin montajı öncesinde yapılan testlerde kusurlu tespit edilen hücrelerin

ayrılması ve modül imalat sürecine dahil edilmemesidir.

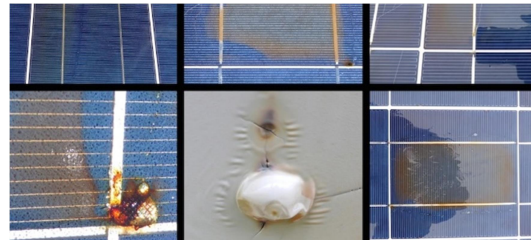
Üzerinde çatlak bulunan veya hatalı lehimlenmiş hücreler otomatik üretim süreçleri altında tespit edilirler ve modül imalatının bir sonraki aşamasına gönderilmezler.



Hot Spot Kaynaklı Bozulma



Termal Kamerada Tespit Edilen Bir Hot Spot



Farklı Tipteki Hot Spot Bozulmaları

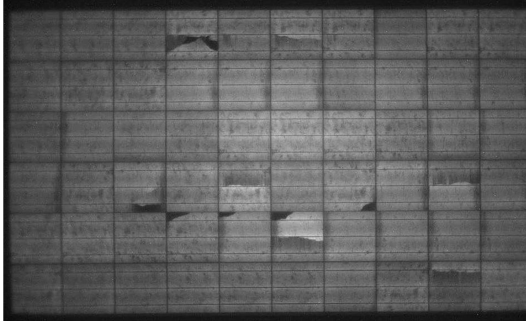
2- MİKRO ÇATLAKLAR

PV hücrelerde gözle tespit edilmesi çok zor olabilen mikro çatlaklar modül enerji üretimini düşüren bir problemdir. Yarıiletken teknolojisindeki gelişmeler sayesinde fotovoltaik hücrelerin katkılı yarıiletken bölge düzlemi kalınlığını azaltmıştır. Bir yandan verimlilik unsurları artarken aynı zamanda hücrelerin mekanik darbelere bağlı kırılma eğilimi de artmıştır.

Yarı iletken düzlemde meydana gelen bir mikro çatlak, hücrenin enerji üretimini azaltan, üretilen akıma direnç gösteren ve sıcak nokta oluşumunu hızlandıran bir bozulma çeşididir.

Aşağıdaki fotoğrafta elektrolüminesans testi (EL) sonucunda pv hücrelerde tespit edilen mikro çatlaklar görülmektedir. Elektrolüminesans testleri genelde üretici firmalar tarafından yapılmakta ve imalat esnasında meydana gelebilecek olası uygunsuz etkileri ürünü henüz piyasaya aktarmadan tespit etmeyi amaçlamaktadır.

Mikro çatlaklar sıklıkla hatalı taşıma, montaj ve kötü yapılan işçiliğe bağlı olarak meydana gelmektedir.



Mikro çatlaklar nedeniyle bozulmaya uğrayan bir panelin EL görüntüsü

Elektrolüminesans ve Termografi görüntüleme teknikleri sayesinde birçok uygunsuzluk henüz imalat aşamasında tespit edilebilmektedir. Hücrelerde meydana gelen çatlakların yapısını anlamak üzere 574 adet PV modül üzerinde yapılan bir araştırmada tespit

edilen çatlakları sekiz farklı grupta gruplayan bir hücre çatlağı sınıflandırması önerilmiştir. Önerilen her bir çatlak tipinin ortalama frekansı hesaplanmıştır:

- 1- Çatlak yok,
- 2- Dentritik çatlak (%2),
- 3- Çeşitli yönlerde çatlak (%24),
- 4- +45° çatlak (%16),
- 5- -45° çatlak (%16),
- 6- Baraya paralel çatlak (%17),
- 7- Baraya dik çatlak (%5),
- 8- Çapraz çatlak (%20)

Bu araştırmada toplamda modüllerin %4,1' inde en az bir çatlak olduğu tespit edilmiştir.

Fotovoltaik modüllerin maruz kaldıkları kuş pisliği, ağaç, bitki örtüsü ve bina gölgeleri de hücrelerin I-V eğrilerinde farklı yerel maksimum güç noktaları (MPP) oluşturur. Bunlar hücre dizileri arasındaki uyumsuzlukların başlangıç noktasıdır.



Mikro Çatlak Görüntüsü

3- ÖN CAM KIRILMALARI

Havanın doğadaki malzemeler üzerindeki bozucu etkileri, pv hücre yarıiletken malzemesi, jonksiyon bölgeleri ve terminal bağlantıları için de geçerlidir.

Bu nedenle camı kırılan bir modül, havanın olumsuz etkilerine karşı savunmasızdır.

Güneş panellerinin ön camının iki fonksiyonu vardır. Birincisi; pv hücreleri yağmur, dolu ve kar gibi olumsuz hava şartlarından korumaktır. Ayrıca rüzgarla taşınan toz, kir ve benzer etkilere karşı da koruma sağlamaktır. Camın ikinci fonksiyonu ise, tüm kötü şartlara karşı savunma hattı teşkil ederken güneş ışığına karşı da bir o kadar geçirgen olmalıdır. Solar modüllerde kullanılan cam bu iki fonksiyonu yerine getirmelidir.

Cam kırıldığında pv hücreler için emilen ışık miktarı azalır ve ışık Emilimi yönelim olarak düzensizleşir. Burada panelin enerji üretimi azalır, ancak gerçek problem camın altına zamanla nüfus edecek olan toz ve yabancı maddelerin nemle birleşerek hücrelerin üzerini gölgelemesi ve panelin ekonomik ömrünü azaltmasıdır.

Özellikle kırsal yerleşim bölgelerinin yakınına kurulan arazi tipi güneş enerji santrallerinde başıboş mermilerin isabet ettiği solar panellere rastlamaktayız. Solar panellerin ön camı her ne kadar sağlam, esnek, ışığı geçiren özellikte olsa bile havadan yüksek hızda düşen dolu tanelerine ve yabancı cisimlere karşı hassas olabilirler. Kırık camlı paneller, tespit edildiklerinde dizinin diğer panellerini olumsuz etkilememeleri için ivedilikle özdeş yeni modüllerle değiştirilmelidirler.

Panel üreticileri, 100 km/s hızda hareket eden buz toplarını (buz toplarının çapı 35 mm) farklı açılarda solar panele isabet ettirerek çarpma testleri yapmaktadırlar.



Cam kırıkları, güneş panellerinin ekonomik ömürlerinin sonunu getirir.

Aşağıda fotoğrafta güçlü bir dolu yağışı sonrası meydana gelen ön cam kırılmalarına örnek görülmektedir.



4- TOZ VE KİR ETKİLERİ

Panellerin üzeri zamanla tozla kaplanacaktır. Panelin enerji üretimini azaltan bu etki beklenen bir süreçtir. Rüzgarla taşınan tozlar, çamur yağmurları, çevredeki endüstriyel tesislerin baca gazlarındaki partiküller, ulaşım yollarından ve iş makinalarından kalkan tozlar panellerin üzerinde zamanla birikerek enerji üretimini azaltırlar. Bu problem tüm panelleri kapsadığından, kirlenmeye bağlı enerji üretim kaybı göz ardı edilemeyecek boyuta ulaşır.

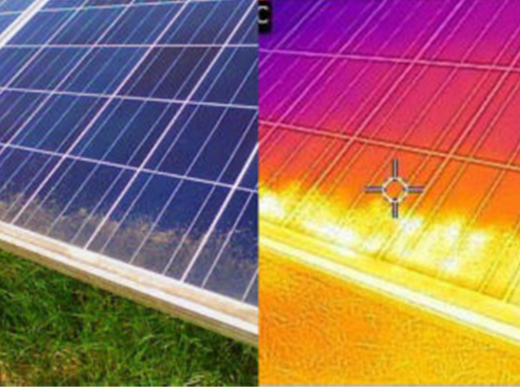
Özellikle belirli bir açıyla montajlanan panellerde yağmur sonrasında küçük su birikintileri oluşur. Bu birikintilerdeki su zamanla buharlaşır. Buharlaşan su deiyonize olduğundan tüm partikül ve yabancı maddeler panelin üzerinde kalarak toz tabakası oluştururlar.



Toz ve kir enerji üretimini olumsuz etkiler



Modül çerçevesinin kenarında zamanla biriken toz katmanı



Toz ve kirlenmeye bağlı bölgesel sıcaklık artışları

Su birikmesini önlemek ve panel üzerindeki suyun tahliyesini sağlamak için panel çerçevelerinin ön camı tutan bölümleri açılı olarak tasarlanır. Benzer şekilde panellerin belirli bir açıyla montajlanmış olmaları da su molekülleri arasındaki zayıf moleküler bağ kuvvetlerine destek olarak suyun tahliyesini kolaylaştıracaktır.

Kirlilikten kaynaklanan bu enerji üretim kaybında, By-Pass diyotlarının önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Çünkü gölge unsuru olarak toz birikintileri, cisimden kaynaklı tam ve yarı gölgeler kadar enerji üretim kaybı meydana getirebilirler. Ayrıca gölgelemeler, Hot Spot oluşumlarını da hızlandırır.

Bazı panel üreticileri su tahliyesini sağlamak için çerçeve köşelerinde drenaj yolu oluşturan özel tasarımlar yapmaktadır. Böylece panel üzerinde su birikintisi oluşumunun önüne geçilmektedir.



Drenaj Fonksiyonlu Panel Çerçevesi

5- ÖN CAM ÇİZİKLERİ

Ambalajından çıkan güneş panellerinde görülebilen ön cam çizikleri yaygın bir kalite sorunudur. Danışmanlık firmalarının yaptığı 3. taraf denetimlerde panellerde küçük ve büyük çiziklerin olduğu rapor edilmektedir.

Bu uygunsuzluğun temel sebebi olarak ihmalkâr ve güvenli olmayan paketleme süreçleri görülmektedir. Ancak imalat esnasında cam çiziklerinin oluşma olasılığı da bulunmaktadır.

Ön camda bulunan çizikler, modülün etiketindeki elektriksel değerlerden çizik sayısının ve boyutuna göre değişen oranda sapmalara sebep olurlar. Küçük çizikler ve bunların yapacakları gölgeleme nedeniyle gerçekleşen kayıplar ve uzun vadede ortaya çıkması muhtemel sorunlar kabul edilebilir sınırlarda olabilir. Ancak derin çizikler ön camdaki yansıma önleyici kaplamaya zarar vererek ışık geçirgenliğinde değişikliğe neden olabilirler. Bu durum Hot Spot bozulmaları için yeterli bir nedendir.

PV modüller için yapılan gözlemlerde ön camdaki çizikler, kırık veya çatlak hücreler, hücrelerin hizalanışı ve hücre aralarındaki mesafeler, panel içinde görülebilen saç kılı, lehim artıkları veya yabancı maddeler kolaylıkla tespit edilebilen kusurlardır. Bu hataların fonksiyonel olarak olumsuz etkileri az

olmakla birlikte, üretici firmanın genel kalitesini göstermesi yönünden önem arz ederler. Gözün gördüğü kusurlar ne kadar fazlaysa, görmediği kusurlar da bir o kadar fazla olabilir.



PV Modül Ön Camında Görülen Çizik

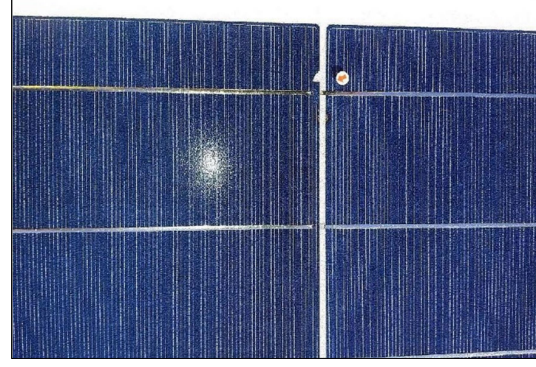
6- HASARLI HÜCRELER

Fotovoltaik hücreler yaklaşık 170 µm kalınlığında imal edilmektedir. İnsan saç teli kalınlığının yaklaşık 2~4 katıdır. Bu sebeple mekanik etkilere karşı hassastır.

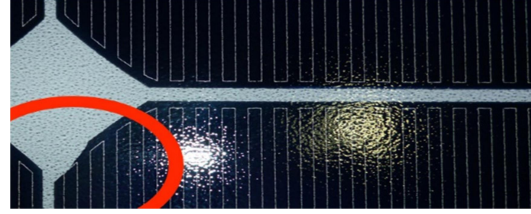
Mikro çatlakların anlatıldığı 2. bölümde güneş hücrelerindeki mikro çatlakların genellikle taşıma ve montaj aşamalarında uygunsuz işçiliğe bağlı olarak meydana geldiğinden bahsedildi. Elbette mikro çatlaklar imalat esnasında da ortaya çıkabilirler.

Bu bölümün konusu ise, modül imalatına katılan hasarlı bir hücrenin kontrolü yetersiz bir üretim hattında solar panele lamine edilebilmesi durumudur.

Panel imalatı yapan bir tesisin tüm üretim hatları birbiriyle özdeş olmayabilir. Bir hattan alınan ürün ile diğer hattan alınan ürün arasında farklılıklar bulunur. Aşağıdaki fotoğrafta panel imalatına bir şekilde dahil olmuş hücre kırığı görülmektedir.



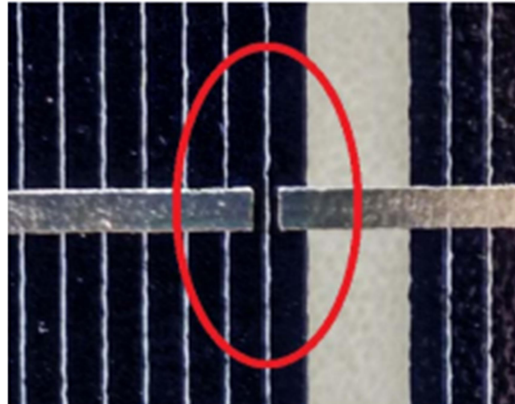
Hasarlı Hücre Örneği



Laminasyona dahil olmuş bir pv hücre kırığı

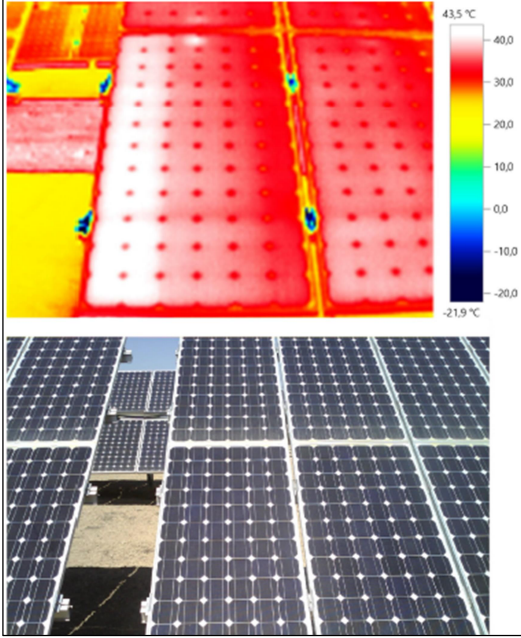
7- HÜCRELER ARASI ZAYIF BAĞLANTILAR

Güneş hücreleri birbirlerine ara bağlantı telleri ile lehimlenerek irtibatlanırlar. Ara bağlantılardaki lehimli birleştirmeler gelişmiş otomasyon metotları kullanılarak robotlar yardımıyla yapılmaktadır. Ancak manuel birleştirme yapan üreticiler de mevcuttur. Manuel lehimleme esnasında hücre kırılması oranı otomatik lehimlemeye göre daha fazladır. Burada meydana gelecek zayıf bir bağlantı enerji üretimini önemli ölçüde azaltabilir.



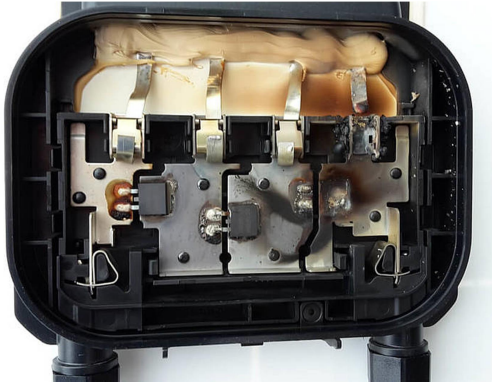
Bağlantı Hatası

Aşağıdaki görselde termal görüntülemesi yapılan bir panelde zayıf bağlantılar nedeniyle veya By-Pass devresindeki bir sorun nedeniyle 1/3 oranında yaşanan enerji üretim kaybı görülmektedir.



8- ARIZALI BAĞLANTI KUTULARI

Panellerin arkasında bulunan bağlantı kutuları fotovoltaik gücün dış dünyaya açılan penceresidir. By-Pass diyotlarının da yer aldığı bu kutular su ve yabancı partiküllere karşı muhafazalıdır. Bu bağlantı kutusunun içine su veya toz girmesi durumunda diyotlar kısa devre olabilirler.



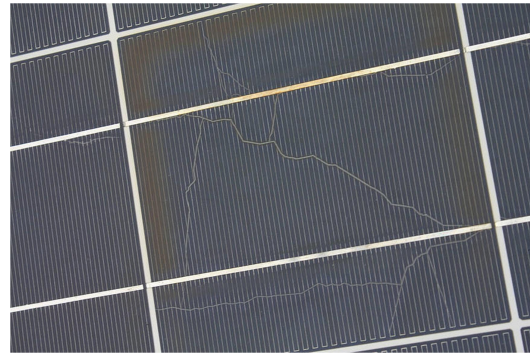
By-Pass Diyotları Hasar Görmüş Bir Bağlantı Kutusu

Bağlantı kutusu yalıtımı IP67 koruma sınıfına sahip olmalıdır. Bu bilgi panel teknik föylerinde her zaman belirtilen bir detay olmamaktadır. Benzer şekilde panel MC4 konnektörleri için üreticinin tercih ettiği marka da önemlidir. Solar panelin kalite unsurlarının önemli bölümleri panelin arka yüzünde bulunmaktadır. Madalyonun diğer yüzü...

9- SALYANGOZ İZLERİ

Salyangoz izlerinin oluşmasında yine mikro çatlaklar etkili olmaktadır. Salyangoz izleri, esasen mikro çatlakların görünür hale gelmesi durumudur. Bilindiği üzere mikro çatlaklardan geçen fotovoltaik akım, hücredeki çatlak hatları boyunca yüksek direnç noktaları meydana getirmekte ve bu bölgelerin ısınmasına sebep olmaktadır. Eğer mikro çatlakın bulunduğu hücre kapsülü nem almışsa mikro çatlakın yaydığı çizgisel sıcaklık yoluna bağlı olarak buharlaşan su, hücre kapsülünde salyangoz izine benzeyen renksiz çizgiler olarak görünür hale gelir. Burada akla gelen soru nemin kapsül içine nasıl girebildiğidir.

Mikro çatlaklar ilk meydana geldiklerinde EVA hasar görmemiş olabilir. Bu durumda kapsüle nem girişi de olmayacaktır. Ancak mikro çatlakın yaydığı sıcaklık zamanla ısıya duyarlı olan EVA malzemesini lokalize olarak kavurur. İzolasyon kabiliyetini kaybeden hücre kapsülüne artık havadaki nem nüfuz edebilir ve salyangoz izlerinin oluşumu böylece hızlanmış olur.



Hücre kapsülünde oluşan salyangoz izi

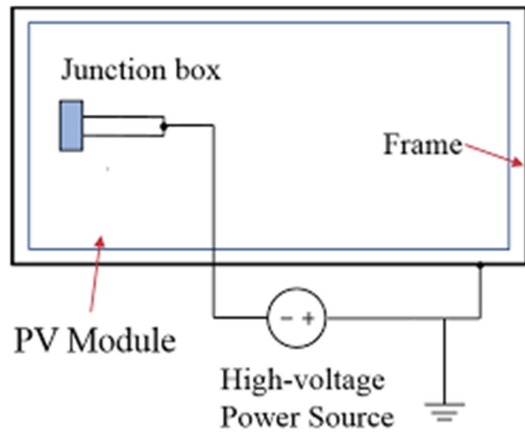
Salyangoz izlerini azaltmak için EVA (Etilen Vinil Asetat) malzemesinin kalitesine ve güvenilirliğine dikkat edilmelidir. Bu şekilde su buharının kapsül içine (laminasyona) girmesi önlenir. İkinci bir iyileştirici yöntem ise, mikro çatlaklar hakkında bilgilendirilmiş ve konusunda yetkin kişilerin panel taşıma ve montaj işlemlerini yapıyor olmasıdır.

Uygunsuz bir işçilik neticesinde, başta elektrolüminesans ve diğer testleri başarıyla geçerek sahaya ulaştırılan hatasız paneller, kurulum ve montaj sonrasında mikro çatlaklara sahip olmuş olabilirler. Yakın gelecekte üretim ve verimlilik kaybı yaşanması muhtemel panellere dönüşmüş olabilirler.

10- PID BOZULMALARI

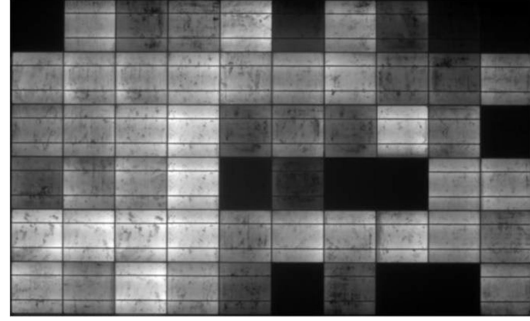
PID konusu solar panellerin uzun vadeli verimliliğini etkileyen en önemli ve daha tasarım aşamasında dikkate alınması gereken bozucu bir etkidir.

PID kısaltmasının açılımı “Potential Induced Degradation” olup Türkçeye “Potansiyel Kaynaklı Bozulma” olarak çevrilebilir. Esasen burada bahsedilen, yüksek dc potansiyel farkı nedeniyle topraklanmış panel çerçeveleriyle fotovoltaik hücreler arasında indüklenerek meydana gelen enerji kayıplarıdır.



Hücreler ve topraklı bölgeler arasındaki potansiyel fark

Paneller 1000V/1500V sistem voltajlarına sahip olacak şekilde seri bağlanarak dizi haline getirilirler. Burada meydana gelen yüksek voltaj PID kayıplarının oluşmasında başlıca etkidir. Şayet panel kalitesi PID koruma yetkinliğine sahip değilse ve gereken standart şartlarını sağlamıyorsa bu kayıplar kaçınılmaz olacaktır.



PV Modülde PID Bozulmaları

11- ARKA TABAKADA OLUŞAN ÇATLAKLAR

Güneş panelleri her gün ultraviyole ışınlarla maruz kalmaktadır. Gece ve gündüz sıcaklık farklılıkları, mevsimsel zorlayıcı hava koşulları da panelleri olumsuz etkilemektedir.

Bu olumsuzlukların yanı sıra panel üretici firmanın panel imalatı için tercih ettiği kalitesiz hammaddeler sonucunda koruyucu tabakaları niteliksiz olan güneş panelleri ortaya çıkabilmektedir. Bu panellerin arka tabakalarında zamanla çatlaklar meydana gelmekte ve su izolasyonuna karşı savunmasız hale gelmektedir. Su buharının laminasyona nüfuz etmesinin getirdiği sorunlardan önceki maddelerde bahsedildi. Bu duruma maruz kalan paneller için yaşam süresinin sonuna geldiği söylenirse yanlış olmaz.

Kullanılan materyalin kalitesine bağlı olarak arka tabakada renk farklılaşmaları görülebilir.

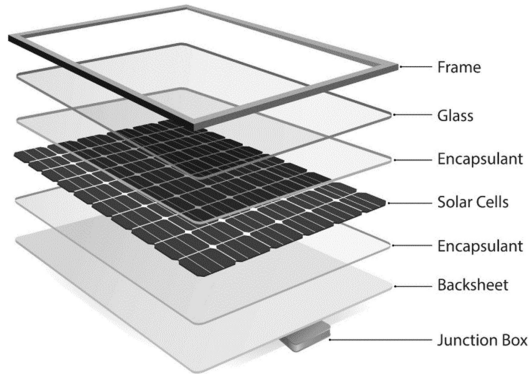
Bu durum gözle fark edilebilen bir süreçtir. Zamanla ortaya çıkan renk değişimleri, arka tabakadaki gevrekleşen malzemenin ve olası çatlakların habercisi olabilir.



Çatlamış bir arka tabaka su izolasyonu sağlayamaz

12- DELAMİNASYON

Bu konunun anlaşılabilmesi için PV modülü oluşturan temel katmanlar ve panel imalat süreci hakkında bilgi sahibi olunmalıdır.



PV Modülü Oluşturan Katmanlar

Bir fotovoltaik modülün katmanlarını gösteren yukarıdaki görselde, “Encapsulant” olarak belirtilen ve pv hücrelerini alttan ve üstten kaplayan bir malzeme görülmektedir. Etil Vinil Asetat (EVA) olarak literatüre giren bu tabaka pv

hücrelerini kapsül gibi sarmakta ve muhafaza etmektedir.

PV panel üretiminde EVA materyali laminatör adı verilen bir makine tarafından tek parça halinde eritilir ve malzeme katı fazdan yarı akışkan sıvı faza (jel) geçer. Laminasyon yaklaşık 140 °C’ de ve sınırlı bir sürede (15-20 dakika) yapılmaktadır. Ayrıca bu işlem vakum ortamında (deaeration) gerçekleştirilir. PV modülün içinde hiçbir şekilde hava kabarcığı bulunmadığını garanti etmek için vakum ortamında laminasyon yapılması son derece önemlidir.

Delaminasyon olarak isimlendirilen bozulma şekli ise, EVA katmanının ön camdan veya arka tabakadan kısmen ayrılması olayıdır.



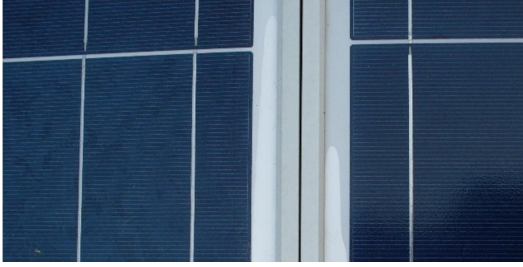
Delaminasyon Görseli

Delaminasyonda en önemli etken EVA malzemesinin kalitesi ve üretim sürecidir. Panel üretici firmaların, ekonomik ömrü boyunca izolasyon seviyesinin korunması ve 25 yıllık güç çıkışı için verdikleri taahhütlerin arkasındaki gerçek EVA tabakasının hammadde kalitesinde saklıdır.

Lamine edilmiş malzemenin kalitesi, kimyasal bir testle ölçülen jel içeriği ile belirlenir. Panel firmaları bu testi kendi bünyelerinde yapabilmektedirler.



Delaminasyon Hatası Olan Bir Panel



Çerçeveye Yakın Kenarda Başlayan Delaminasyon Görüntüsü

SONUÇ

Bir sistemi doğru bir şekilde tasarlayanlar, ancak o sistemi zayıf yönleriyle tanıyan, sistemin bozulma kaynaklarını ve etkilerini bilen kişiler olabilirler. Bu bilginin sadece tasarımı gerçekleştiren mühendislerde olması doğru değildir. Çünkü 25 yıl güç çıkışı beklenen bir sistem sadece tasarımdan ibaret değildir.

Yenilenebilir enerji kaynakları üzerine faaliyet gösteren firmalar, tasarım yapan mühendisler, yatırımcılar, panel imalatçıları, satın alma birimleri ve hatta kurulumu gerçekleştirenler de sisteme ait bilgilere vakıf olmalıdırlar.

Bu yazıda kullanılan anlatım dilinde, herkesin kolay anlayabileceği yalın bir dil kullanılmış ve teknik terimler izah edilmeye çalışılmıştır.

KAYNAKÇA

- 1- 11 Common Solar Panel Defects and How To Avoid Them – WINAICO
<https://winaico.com/blog/common-solar-panel-defects/>
- 2- Among the defects common in this case were melting backsheets, hotspots and broken or damaged solar cells. Photo: Anonymous
<https://pv-magazine-usa.com/2016/09/06/melting-backsheets-broken-cells-and-hotspots/>
- 3- Analysis and characterization of PV module defects by thermographic inspection. Sara Gallardo-Saavedra, Luis Hernández-Callejo, Óscar Duque-Pérez. Universidad de Valladolid, Spain
- 4- GARDEL Electrical & Solar
<https://www.gardelectrical.com.au/contact>
- 5- A Survey on an Artificial Intelligence Approach to Maintenance of Solar Photovoltaic Modules
https://www.researchgate.net/figure/Soiling-of-solar-PV-module_fig1_351908662
- 6- Solar Panel Soiling and Solar Panel Cleaning
<http://spcfonline.com/blog/solar-panel-soiling-and-solar-panel-cleaning/>
- 7- 5 Solar Panel Quality Defects you can detect by yourself
Dricus De Rooij
<https://sinovoltaics.com/quality-control/5-solar-panel-quality-defects-can-detect/>
- 8- FuturaSun srl-ITALY
<https://www.futurasun.com/en/delamination/>

Erdem MERİÇ
Elektrik Elektronik Mühendisi

YANKI ENERJİ – KOCAELİ
2021