

2013

SDU YEKARUM TEMİZ ENERJİ UYGULAMALARI



2 - PV Fotovoltaik Panel Üretimi Tesisi Kurulum Uygulamaları

Hazırlayanlar:

Y.Doç.Dr. İbrahim ÜÇGÜL

Doç.Dr. Reyhan SELBAŞ

Y.Doç.Dr. Ramazan ŞENOL

SDÜ

YEKARUM

23.01.2013

RAPOR NO: 2013-02

SDÜ YEKARUM

Ölçü:

Merkezimiz Güneş enerjisi konusunda 2002 yılından bugüne pek çok çalışmalar yürütmüştür. Ancak gerekli maddi desteklerin sağlanması hususunda yaşanan sıkıntılar ve halen tamamlanmayan alt yapı ihtiyacı sebebi ile mevcut teknolojilerin merkezimizde kazandırılması güçleşmiştir. Tıbbi gibi çeşitli konulara yapılan büyük bütçeli proje başvurularının kabul edilmesinde yaşanan sıkıntılar yüzünden merkezimiz teknolojik ekipman alımı ihtiyacının karşılanamaması olup ulusal ve uluslararası rekabet ortamı yitirilmiştir. SDÜ YEKARUM, 9 yıldır güneş enerjisi konusunda çeşitli genel uygulamaları yerleşik içinde hayata geçirmiş ve bu teknolojilerin topluma tanıtımı için çalışmalarını sürdürmüştür. Tüm yurtta sürmekte olan "yenilenebilir enerji bilinçlenmesi" artık yerini "yenilenebilir enerjiye dönüşüm hareketine" bırakmalı ve çevreyi kirleten fosil kökenli yakıtların kullanımını hızla bırakılmalıdır. Ülkemizde pek çok üniversite güneş enerjisine büyük yatırımlar yapmaktadır ve çeşitli genel ve çevre dostu uygulamalar ile de "aktif emniyetli yerleşikler" kavramına bir adım daha yaklaşmaktadır. Üniversitemiz yerleşiminde kurulacak olan Güneş Enerjisinden Üretilen Elektrik Üreten PV- Fotovoltaik Panel (PV Modül) Üretim tesisi Üniversitemiz pek çok alanda öncü konuma geçecektir.

Bu kapsamda Üniversitemiz yerleşik sınırları içinde yapılacak olan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

ISPARTA İÇİN

GÜLKENT' TEN GÜNKENT' E

YEKARUM'LA



AMAÇ: SDÜ YEKARUM GÜNEŞ PİLİ FABRİKASI KURULUMU

SDÜ YEKARUM 2013 ISPARTA

Sayfa 2

GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ VE PV TEKNOLOJİSİ

Güneş enerjisinden su, soğuk ve elektrik enerjisi üretiminde faydalanılabilmektedir. Yüzeylerine gelen güneş enerjisi fotoelektrik etki ile direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürülen sistemlere fotovoltaik güneş pilleri (PV) adı verilir. Bir modülün yüzeyi kare, dikdörtgen ya da daire biçiminde olup alanı yaklaşık 100 cm² civarında ve kalınlığı 0,2 ile 0,4 mm arasındadır. Güneş enerjisi güneş pillerini yapmaya bağlı olarak 50-100 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.



Bir PV sistemi en önemli parçaları hücrelerdir. PV hücreler genellikle katottan katodlu kristal silikon veya üzerine ince bir tabaka kaplanmış ince filmlerden yapılır. 2007 yılında tüm solar hücre üretiminin %90'ı kristal silikondan üretilmiştir. Silikon ve diğer malzemeler üzerine yapılan ince film teknolojilerinin PV pazarında daha büyük bir pay alacağı tahmin edilmektedir. Bu teknoloji büyük mabeyne tüketimi, düşük ağırlık, potansiyel bir yarıyıl gibi avantajları barındırır. Hücre ve modül teknolojilerinin ortalamaya verimlilikleri ve karşılaştıkları veriler (Çizelge 1 de görülmektedir).

Çizelge 1) Güneş Pili Verimlilikleri Karşılaştırması

Teknoloji	Yüzey Alanı	Çıktıları (Watt/cm ²)		Çıktıları (Watt/m ²)		
		Amorf silikon (a-Si)	Crystalline (CdTe)	Üçgen	4. Yarıyıl	Monokristal
Cell Efficiency up to STC	0.7%	0.11%	17.7%	8%	15-18%	11-16%
Module Efficiency					13-16%	10-14%
Area needed per kWp (for modules)	10 m ²	11 m ²	5 m ²	12 m ²	app. 7 m ²	app. 8 m ²

1) National Testing Center, STC, 1000 W/m², 25°C, 1000 hPa, 1.5° air mass 1.5
2) W. J. Wood, "Solar PV Technology Handbook", CRC Press, 2003, p. 100

SDÜ YEKARUM 2013 ISPARTA

Sayfa 3

Güneş enerjisinden fotovoltaik güneş pilleri ile elektrik üretilen sistemlerin diğer güneş enerjisinden elektrik üretilen sistemleri ile sistem verimi, çalışma koşulları, ilk yatırım maliyetleri ve enerji maliyetleri yönünden karşılaştırılması Çizelge 2 de verilmiştir.

Çizelge 2) Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Teknolojilerinin Karşılaştırılması

Teknoloji Türü	Sistem Verimi %		Maks. Çözünme Sıcaklığı °C	İlk Yatırım Maliyeti \$	Enerji maliyeti	
	Elektrik	Isı			Elektrik \$/kWh	Isı \$/kWh
Düzensiz Kull.	-	50-70	80	200-1000	-	0.50-1.00
Parabolik Düz.	14	-46	380	2800 k\$/kW	0.15	0.0085
Parabolik Çanak	24	75	700	5000 k\$/kW	0.28	-
Merkez Kule	15	-46	800-700	3000 k\$/kW	0.16	0.004
Tek Kristal Silikon	12	-	-	8000 k\$/kW	0.25	-
Çok Kristal Silikon	10	-	-	6000 k\$/kW	0.20	-
Tek İnce Film	4	-	-	3000 k\$/kW	0.25	-
Çoklu İnce Film	7	-	-	3000 k\$/kW	0.24	-

PV sistemi hücreler modül, modüllerde diziye oluşturur. Bunlar aşağıdaki şekillerde görülmektedir.



Şekil 1. Hücre (Cell), Panel (Modül) ve Dizi görünüşleri

Kristal silikon hata PV modüllerinde en çok kullanılan malzemedir. Kristal silikondan yapılabilen güneş pili oluşturmak için n yada p tipi katılmalıdır. Buna göre n ya da p tipi Yada P-n katılmalıdır n ya da n tipi yani katılmalıdır elde edilmeye olur.

SDÜ YEKARUM 2013 ISPARTA

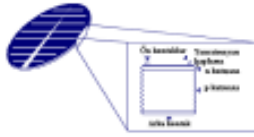
Sayfa 4

PV ÇALIŞMA PRİNSİBİ



Şekil 2. PV çalışma Prinsibi

PV'nin çalışması için yan taraftaki ekran bölgesinde fotovoltaik dönüştürme sağlanmasa gerekir. Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi, bu dönüştürme 2 aşamada olur. İlk olarak ekran bölgesine yük değiştirilerek elektro-boşluk çiftleri oluşur. İkinci olarak ise bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirinden ayrılır. Ayrıca bu çiftler güneş ışının uyarımında yaratılan bir güç çığpı oluşturur. (Şekil 3.)



Şekil 3. Güneş Hücre Katman ve Kontaktları

PV Üretim Süreçleri ve Teknolojileri

PV Teknolojisinde üretim süreçleri aşağıdaki aşamalardan oluşur.

- 1.Solar Kalite Silikon Üretimi
- 2.İngot Üretimi
- 3.Wafer Üretimi
- 4.Solar Cell Üretimi
- 5.Solar Panel Üretimi



Şekil 4. PV Üretim Süreçleri

Bir PV sistemin en önemli parçası solar hücrelerdir. PV hücreler genellikle ingottan kesilmiş kristal silikon veya bozine ince bir tabaka kaplanmış ince filmlerden yapılır. 2007 yılında tüm solar hücre üretiminin %90'ı kristal silikondan üretilmiştir. Silikon ve diğer malzemeler üzerine yapılan ince film teknolojisinin PV pazarında daha büyük bir pay alacağı tahmin edilmektedir. Bu teknoloji düşük maliyetli, düşük ağırlık, pürüzsüz bir yüzey gibi avantajları barındırmaktadır.

Bazı teknik parametreler açısından solar hücreler için ideal bir malzeme olmamasına rağmen, kolay bulunabilirliği, teknolojinin iyi anlaşılması ve elektriksel endüstri için geliştirilene benzer bir kullanım alanına sahip olması nedeniyle temel hammaddede olmuştur.

Solar hücrelerin vektör gibi kalınlığı da önemli bir faktördür. Solar hücreler wafer adı verilen kristal silikon dilimlerinden meydana gelir ve ne kadar ince olursa o kadar az malzeme tüketimi olacak ve maliyet azalacaktır. Bir wafer kalınlığı 2000 senesinde 0.32 mm iken bu değer 2008 yılında 0.17 mm'ye düşmüştür. Aynı periyotta da ortalama verim %14'ten %16'ya çıkmıştır. 2010 yılına kadar

wafer kalınlığının 0.15 mm'ye düşürülmesi, ortalama verimin de %16.5'e çıkarılması hedeflenmektedir. Wafer Üretimi açısından, kesme çarkını içeren önemli miktarda silikon kaybı olmaktadır. "Ribbon sheet technology" gibi alternatif yaklaşımlar ile wafer Üretiminde oluşan bu kayıpları önlenmeye çalışılmaktadır. Bu teknoloji ile ergitilmiş silikondan ince bir tabaka çekilir veya ergitilmiş silikon uygun bir aletle üzerine dökülür. Böylece kesme sırasında oluşan kayıplar önlenmiş olur.

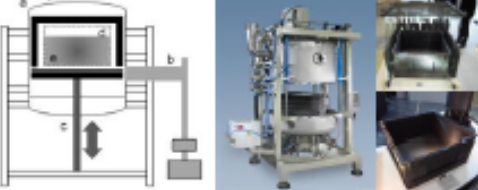
İNGOT ÜRETİMİ:

Silikon kristal büyüme işleminin monokristal veya polikristal olmasına göre farklı imal edilir. Monokristal ingotlar C ve Fz prosedürlerine göre elde edilir. Şekil 5 de C ve Fz prosedürleri gösterilmiştir.

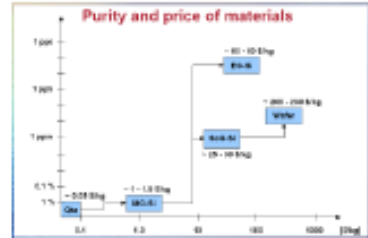


Şekil 5. C ve Fz Prosedürüyle Monokristal İngot Üretimi

Multi-crystalline silikon Prosesi



Şekil 6. Multi-crystalline Prosedürüyle Polikristal İngot Üretimi



Şekil 7. Hammaddede saflıkta Maliyet



Şekil 8. İngot ve Wafer

SİLİKON İNGOT İMALATI İÇİN GEREKLİ CİHAZ GRUPLARI:

1. İngot Üretimi İçin Silikon Kristal Büyütme Fırını:
Silisyum parçalarının bir pota içinde eritilip, kalınsız kristal olarak uzun ve geniş bir saf silisyum kütlesi (özellikle) sağlanır, günümüzde kristaller 200-300mm çapında ve 1-2 m uzunluğunda büyütülebilmektedirler.



Şekil 9. Kristal büyütme fırını

2. İngot Silikon Kristal Kesilme:
Büyütülen Si kristali 200-350mm kalınlığında keserek çevrede güneş pilli yapılacak olan ince waferlar yapılarak üretilir.



Şekil 10. Kristal kesilme

3. Plazma aşındırma ünitesi:
Kesilen waferların kalıba bir şekilde işlenmesi için yüzey temizliği yapar ve pilli yüzeyini pürüzsüz hale getirir. Ayrıca wafer kalınlığına n-tipi waferın p-tipinden dolayı bir biçimde ayrılması sağlar. İki ön ünite tarafından yüzey temizleme kimyasal yolla yapılır, NaOH wafer yüzeyini organik maddelerden ve silanestrillerden arındırır ayrıca wafer yüzeyinde piratik yapılar okuyularak verimliliği arttırmaya da yarar.



Şekil 11. Plazma aşındırma

4. Diffüzyon Fırını:
Diffüzyon fırını güneş pilli yongalarının üretildiği ana kısımdır. İki katlı p-tipi wafer üzerine farklılık için difüzyon yüksek sıcaklığa (900-1000°C) maruz bırakılması sonucunda formlanan wafer a difüzyon edilmiş ve sonuç olarak n-tipi silikon waferın üst yüzeyinde oluşmasını sağlar.



Şekil 12. Diffüzyon fırını

PV TEKNOLOJİSİ VE TESİS MALİYETLERİ



FOTOVOLTAİK (PV) TEKNOLOJİ

MONOKRİSTALİN SİLİKON
POLİKİTİL SİLİKON
SİLİSİYUM
PEROVSKİT



Şekil 13 Silikon' dan Wafer'a



Şekil 14 Wafer' dan Modül'e

PV PANEL İMALATI İÇİN GEREKLİ CİHAZ GRUPLARI :

- Cam Yıkama Ünitesi,
- Cam Yıkama ve Kurutma Ünitesi,
- Eva/Tedlar Kesme ve Serme Üniteleri
- Stringer Düzim ve Interconnection Ünitesi
- Laminatörler
- Otomatik Junction Box ve Alüminyum Çerçeveleme Robotları
- Modül Testi Güneş Simulatörleri
- Modül Ayırma ve Gruplama Robotları,



PV CELL İMALATI İÇİN GEREKLİ CİHAZ GRUPLARI :

- Cell Loading ve Acid Texturing Ünitesi
- Phosphorus Doper Ünitesi
- PSG Etching & Single Side Isolation Ünitesi
- Pick & Place Robots Üniteleri
- Ink-jet PV Cell Printing Ünitesi
- Light induced Plating & Selective Emmitter Üniteleri
- Classification & Sorting Üniteleri



PV WAFER İMALATI İÇİN GEREKLİ CİHAZ GRUPLARI :

- Wafer Singulation Ünitesi
- Wafer Temizleme Ünitesi
- Pick & Place Robotlar
- Wafer Test ve Tasnif Ünitesi



TESİS KURULUM YAKLAŞIK MALİYETLERİ:



İki Seçenek İncelenmiştir:

Birinci seçenekte, 60MW PV Modül Üretim Hattından oluşan büyük tesis, İkinci Seçenekte, 500 kW PV Modül Üretim Hattından oluşan küçük tesis incelenmiştir.

İkinci sayfa:

40MW PV Modül Üretim Hattı –Maliyet Analizi

Toplam Yatırım Maliyeti	€ 48.000.000
Makine/Ekipman/Kurulum	€ 4.000.000
Toplam Yatırım	€ 48.000.000

Toplam yıllık üretim 60.000.000 saat (%80 kapasite)= 48.000.000 saat/yıl

GELİRLER		
48.000.000 * € 0,30/saat		€ 14.400.000
GİDERİLER		
PV Cell (%1Loss) 40.000.000 (€ 0,40/saat (Ebc2))		€ 16.000.000
Glass/Tedac/EVA/ALU (Ebc2) saat(48MW)		€ 6.000.000
Diğer Üretim* (Ebc2) saat(48MW)		€ 2.000.000
Personel (Ebc2) saat(48MW) kişi(€ 2000/ay)		€ 2.000.000
Makine/Amortisman** (1.Yıl) %40 (€ 40M)		€ 16.000.000
Banka Faizi (%8M**)		€ 8.000.000
TOPLAM		€ 40.000.000

VERGİ/ÖNCESİ KAR

* Diğer Üretim Güçten Elektrik, Su, Hava, Fütaj Bakım ve Yedek Pile ve diğerlerdir.
** Malzeme Amortismanı 1.Yıl için %40, 2.Yıl için %20 ve 3.Yıl için %40 olarak alınmıştır.

İkinci sayfa:

YILIK 60 MW LİK ÜRETİM YAPILAN PV MODÜL ÜRETİM HATTI İHTİYAÇI:

Yeni 700 MW'lık üretim yapılırsa, PV modül ihtiyaçları üretim kapasitesinin potansiyel 0.3 katı kadar olacaktır. Üretim ve satış için yıllık 200 MW'lık üretim arzlanmalıdır.
Tesis Kurulum/Maliyet/Toplam

0,3 MW PV Modül Üretim Hattı –Maliyet Analizi

Toplam Yatırım Maliyeti	€ 2.000.000
Makine/Ekipman/Kurulum	€ 200.000
Toplam Yatırım	€ 2.000.000

Toplam yıllık üretim 2.600.000 saat (%80 kapasite)= 2.000.000 saat/yıl

GELİRLER		
2.000.000 * € 0,30/saat		€ 600.000
GİDERİLER		
PV Cell (%1Loss) 204240 (€ 0,40/saat (Ebc2))		€ 816.960
Glass/Tedac/EVA/ALU (Ebc2) saat(3MW)		€ 240.000
Diğer Üretim* (Ebc2) saat(3MW)		€ 80.000
Personel (Ebc2) saat(3MW) kişi(€ 2000/ay)		€ 240.000
TOPLAM		€ 1.376.960

VERGİ/ÖNCESİ KAR

* Tesis işletme giderleri için bazı masraflar alınmıştır

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- 1) Kurulacak tesisler kendini kısa sürede amorti etmektedir.
- 2) Güneş enerjisi ve fotovoltaik piller uygulamalarına Dünyada ve Türkiye de hızlı bir üretim ve yatırım süreci yaşanmaktadır. Bu trendi kaçırmamak, Isparta için hayati bir öneme sahiptir. Bu teknolojinin imkânlarını yakalamak için ilk adımda güneş hücrelerinin hazır alımı güneş pillerinin Üni-versitemizde üretimi öncelikli olarak gerçekleştirilmelidir. Bu modül üretim tesisi Finansal kiralama yada çok ortaklıklarla (Yekarum, SDÜ Diğer sermaye işletmesi, Vakıf, Teknokent AŞ. ve yerli yatırımcılarla) olarak gerçekleştirilebilir.
- 3) İkinci adım olarak Güneş enerjisi kalite silikon üretimini Üni-versitemizde gerçekleştirmek; Güneş enerjisi kalite silikon üretimi, metalurjik ve elektronik kalite silikon üretiminin arasında yer alan bir süreçtir. Fotovoltaik güneş pillerinde kullanılacak deneysel mono kristal ve poli kristal silikon üretim tesisleri finansal kiralama yada çok ortaklıklarla (Yekarum, SDÜ Diğer sermaye işletmesi, Vakıf, Teknokent AŞ. ve yerli yatırımcılarla) olarak gerçekleştirilebilir. Üni-versitemizde böyle bir teknolojik yatırımın yapılması gelecek on yılda Üni-versitemizi ve Isparta'yı Türkiye'nin Teknoloji Üssü haline getirecektir.
- 4) Üçüncü adımda güneş pillerinin kullanım yaygınlaştırılmasına yönelik uygulamaların yapılmasıdır. Örneğin: Kamu binalarına güneş pillerinin uygulanması, trafik sinyalizasyon ve yönlendirme levhalarının güneş piller ile yapılması, cadde, sokak, park ve bahçe aydınlatmalarının güneş piller ile yapılması, stadyum ve büyük iş merkezlerinin çatılarının güneş piller ile donatılarak enerji üretim hale getirilmesi, Isparta ve BAKA bölgesinde güneş pillerinin üretim santrallerinin kurulması, tarımsal, sulama, bahçe sulama tesislerinde güneş pillerinin kullanılması, toplu konutlarda güneş pillerinin uygulanması gibi çalışmalar.
- 5) Üni-versitemizde yapılan PV tesis, üretim ve uygulamalarının tanıtımının sağlanması ardından, satış ve teknoloji transferinin yapılması tüm ülkeye yaygınlaştırılmalıdır.



Sonuç Olarak:

- Üni-versitemiz Yerleşkesi içerisinde PV fotovoltaik panel üretim tesisi kurulduğunda; tesisler kendini kısa sürede amorti edecektir.
- Tesis üretimi ile Üni-versitenin enerji maliyetleri sıfırlanacaktır.
- Üni-versitemiz kısa sürede enerji satış gelir elde eden bir konuma gelecektir.
- Tesis panel satışlarından Üni-versitemiz büyük gelir sağlayacaktır.
- Daha sonra konuyla ilgili teknoloji geliştirerek bu teknolojiyi pazarlayarak ayrıca gelir elde edecektir.
- SDÜ konuyla ilgili öncü bir üniversite konumuna gelecektir
- SDÜ konuyla ilgili yetiştirdiği öğrencileriyle aranan, tercih edilen bir üniversite olacaktır.
- Uygulanacak Yenilenebilir enerji kaynakları teknolojisini ile SÖLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ, Ülkemizde ve dünyada; sürdürülebilir, çevre-ekolojik-yeşil Yerleşke modeliyle ön plana çıkacaktır. Ayrıca SDÜ 5627 sayılı ve 5346 sayılı yasaların yürürlüğe girmesiyle yerleşke gibi, CO₂ salımlarını da azaltmış olarak hem Karbon ticareti yapabilecek hem de ulusal ve uluslararası sorumluluklarını yerine getirmiş olacaktır.

21.12.2013 İSPARTA

YEKARUM MERKEZİ ADINA

Yrd.Doç.Dr. İbrahim ÖZGÜL

YEKARUM MÜDÜRÜ

