
ORTA YÜKSEKLİKTE DAĞLIK BÖLGELERDE KURULAN GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİNDE FOTOVOLTAİK MODÜLLERİN YAŞLANMASININ ARAŞTIRILMASI

*Volkan BAŞAY **
*Recep EKEN †***
*Güneş YILMAZ ****

Alınma:04.03.2019 ; düzeltme:29.05.2019 ; kabul: 31.05.2019

Öz: Fotovoltaik (PV) sistemlerin artması sebebiyle yatırım maliyetlerinin geri dönüşümü ile ilgili doğru tahminlerin yapılması önemli hale gelmiştir. Fotovoltaik modüller iklime bağlı olarak kararlılıklarını, verimliliklerini ve çalışma ömürlerini etkileyebilecek bozulmalara maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, Uludağ çevresinde orta yükseklikte dağlık bölgelerde kurulmuş fotovoltaik modüllerin yapısında bozulmaya sebep olan ultraviyole (UV) ışınların, nemin ve ısı çevrimlerin fotovoltaik modüllerin çalışma ömrünü ne oranda etkilediği incelenmiştir. 835 metre rakımda orta yükseklikte dağlık bölgede kurulan santraldeki fotovoltaik modüllerin ömrü ile ilgili elde edilen sonuçlar deniz seviyesindeki şartlarda çalışan fotovoltaik modüllerin ömrü ile karşılaştırılmıştır. Santralin kurulduğu bölgede UV ışınımının daha yüksek olmasından dolayı modül ömrü %5,6 kısalmakta, sıcaklık değerlerinin daha düşük olmasından dolayı ise modül ömrü %10 uzamaktadır. Nemin doğrudan etkisi ile modüllerin ömrü %5,8 kısalmaktadır. Bulutlu ve yağışlı günlerin daha fazla olmasından dolayı UV ışınlarının etkisi azalmakta ve modül ömründe %14'lük artış gerçekleşmektedir. Ayrıca santralin 2000 m gibi daha yüksek bölgelerde kurulması durumunda fotovoltaik modüllerin ömrünün nasıl etkileneceği de araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre deniz seviyesindeki modüllerin ömrünün 24,5 yıl, 835 m yükseklikteki modüllerin 25 yıl ve 2000 m yükseklikte kurulan modüllerin ömrünün de 22,5 yıl olacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik modüller, UV ışınların etkisi, nem konsantrasyonu etkisi ve ısı çevrim

Investigation of The Aging of Photovoltaic Modules in The Solar Power Plant Established in Middle-Height Mountainous Regions

Abstract: Due to the increase in photovoltaic (PV) systems, it is important to make accurate estimates about the recycling of investment costs. Photovoltaic modules are subject to disturbances that may affect their stability, productivity and working life due to climate. In this study, it was investigated how ultraviolet (UV) rays, moisture and thermal cycles affect the life of photovoltaic modules which cause deterioration in the structure of photovoltaic modules in middle-high mountainous areas around Uludağ. The results obtained for the life of photovoltaic modules at the power plant established in the mid-mountain region at an altitude of 835 meters were compared with the life of photovoltaic modules at sea level. Since UV radiation is higher in the region where the power plant is installed, the module life is

* Bursa Uludağ Üniversitesi · Fen Bilimleri Enstitüsü · Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı · YL Programı, Bursa, TÜRKİYE

** Bursa Uludağ Üniversitesi · Fen Bilimleri Enstitüsü · Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı · YL Programı, Bursa, TÜRKİYE

*** Bursa Uludağ Üniversitesi · Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü Bursa, TÜRKİYE
İletişim Yazarı: Güneş YILMAZ (gunesy@uludag.edu.tr)

shortened by 5.6% and the module life is extended by 10% due to low temperature values. With the direct effect of humidity, the life of modules decreases by 5.8 %. Because of the more cloudy and rainy days, the effect of UV rays is getting low and 14% increase in module life is realized. Other case, if the plant is installed in higher regions such as 2000 m, how will the life of photovoltaic modules be affected were investigated. According to the results, it has been determined that the life of the modules at sea level will be 24.5 years, the life of the modules at 835 m height will be 25 years and the life of the modules at 2000 m height will be 22.5 years.

Keywords: Photovoltaic modules, effect of UV rays, humidity concentration effect and thermal cycle effect

1. GİRİŞ

Enerjiye duyulan ihtiyaç artıkça yenilenebilir kaynakların önemi artmaktadır. Hem çevreci hem de doğal olmaları sebebiyle enerji ihtiyacını karşılamak adına önemli bir seçenek olmuşlardır. Güneş enerjisi; sonsuz olması, çevre kirliliğine yol açmaması ve gelen ışını elektrik enerjisine doğrudan çevirebilmesi gibi sebeplerden dolayı çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Dünyada yaygınlaşan fotovoltaik sistemlerde yatırım maliyetinin geri kazanımı için kurulan sistemden maksimum verim sağlanması büyük önem kazanmıştır. Güneş enerjisinden maksimum verimi sağlamak için birçok maksimum güç noktası izleme yöntemleri geliştirilmiştir.

İdeal koşullarda fotovoltaik (PV) modüllerin ömürleri neredeyse sonsuzdur. Gerçek şartlarda doğal koşullar ile sistemsel nedenlerden kaynaklanan olumsuzluklardan dolayı fotovoltaik modüllerin ömürlerinde azalmalar meydana gelmektedir. Fotovoltaik modüllerin ömürlerinin azalmasına sebep olan UV ışınlarının, nemin ve sıcaklığın etkisi bölgeye ve yüksekliğe göre farklılık göstermektedir. Fotovoltaik sistemlerin genel olarak garanti süreleri üreticiler tarafından 20- 25 yıl olarak belirlenmektedir. Çoğu üretici fotovoltaik hücrelerde oluşan verim kaybını 10. yıl sonunda %10 ve 20. yıl sonunda %20 olacağını öngörmektedir. Oluşan verim kayıplarının nedenleri fotovoltaik modüllerin bozulmaya uğramasıdır. Bozulma birçok nedenden kaynaklanabilir. UV ışınların artması, ortam neminin ve sıcaklığının yüksekliği, ısı çevrimlerin büyüklüğü modül ömrünü kısaltmaktadır.

Güneş modüllerinde güneş enerjisini elektrik akımına dönüştüren fotovoltaik olaylar iki kısımdan meydana gelmektedir. P ve N tipi yarıiletkeni birbirinden ayıran kısım yasak enerji bandıdır. Bu bölgeye güneş ışığının düşürülmesi ile yarıiletken malzemelerin üzerinde boşluklar ile elektronlar oluşmaktadır. Oluşan elektronların enerjisi yasak enerji bandından daha yüksek olduğundan elektronlar yasak enerji bandından atlayarak iletkenlik bandına geçerler. Bu atlama başta bir adet fazla elektronun N tipi yarıiletkende, bir adet fazla boşluğun da P tipi yarıiletkende oluşmasını sağlar. Bu devam eden atlama sonucunda boşluklar ile elektronlar birbirinden koparlar. Sürekli gerçekleşen bu fotovoltaik olay sonucunda elektronlar N tipi yarıiletken kısımda, boşluklar ise P tipi yarıiletken kısımda birikir. Yarıiletken malzemelerin iç yüzeylerinde elektrik alan oluşmadığı için ayrılan elektron ve boşluk çiftleri tekrar birbirleriyle birleşir ve elektrik akımını meydana getirirler (Twidell J. and Weir T. 2006).

Bozulmaya neden olan UV ışınlarının, nemin ve ısı çevrimlerin deniz seviyesinde, 835 metre yükseklikte ve 2000 metre yükseklikte olan bölgelerde fotovoltaik modüllerin ömrünü ne oranda etkilediği önemlidir. Çünkü bölgede elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için kurulan santralin kâra geçme noktasını belirlemektedir.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ

Fotovoltaik teknolojisi, özel yarıiletken düzenekleri sayesinde güneşten gelen fotonların enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren bir teknolojidir. Gelen fotonları soğurarak elektrik enerjisine çeviren düzenek güneş pili olarak adlandırılır.

Teknolojinin sürekli gelişmesi sonucunda fotovoltaik modüllerin üretimi için farklı yapılarda materyaller ve farklı üretim teknikleri geliştirilmiştir. Ağırlıklı olarak monokristal veya polikristal malzemeler kullanılmaktadır.

PV modüllerinin en çok kullanılanları;

- Monokristal Silikon (Tekli Kristal Silikon)
- Polikristal Silikon (Çoklu Kristal Silikon)
- Thin Film (İnce Film)

2.1. Monokristal (c-Si, SIN)

- Verimleri %15 ile %18 arasındadır ve bu değerler mevcut teknolojide yüksek düzeyde olduğu için uzun vadeli yatırımlarda daha avantajlıdır.
- Laboratuvar ortamında maksimum %20 seviyesinde verime ulaşılmıştır.
- Fiyatları saf kristal ihtiyacından dolayı pahalıdır.
- Kurulum maliyetinin geri ödeme süresi 4 ile 6 yıl arasındadır.

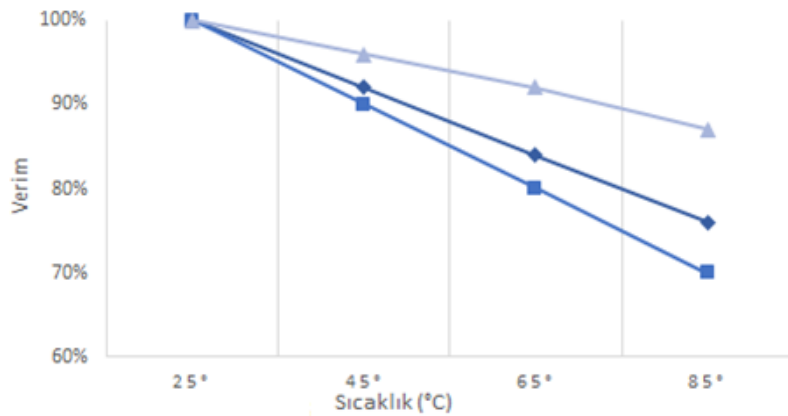
2.2. Polikristal (Poly-Si)

- Verimleri %12 ile %15 arasındadır, verimleri düşük olduğundan yatırımlar için çok avantajlı değildirler.
- Laboratuvar ortamında maksimum %16,2 seviyesinde verime ulaşılmıştır.
- Monokristale göre yapılarındaki kristaller tam homojen olmadığı için daha ucuzdur.
- Kurulum maliyetinin geri ödeme süresi 2 ile 4,5 yıl arasındadır.

2.3. Thin Film (Amorphous a-Si)

- Verimleri %8 ile %10 arasındadır, verimleri çok düşük olduğundan yatırımlar için uygun değildirler.
- Laboratuvar ortamında maksimum %17 seviyesinde verime ulaşılmıştır.
- Üretim maliyetleri ucuzdur.
- Kurulum maliyetinin geri ödeme süresi 1,5 ile 3,5 yıl arasındadır (Özçelik 2016).

İdeal olmayan koşulların farklı yapıda bulunan fotovoltaik modüllere etkisi de farklı olmaktadır. Şekil 1'de sıcaklık değişimine göre farklı yapıdaki modüllerin verim kayıpları incelenmiştir. İnce film modüllerin sıcaklığa dayanıklılık açısından diğer yapıdaki modüllerden avantajlı olduğu gözlenmiştir.



Şekil 1:

Farklı yapıdaki modüllerin verimi

◆ Poli-kristal modül çıkışı, ■ Mono-kristal modül çıkışı, ▲ İnce Film (Amorf) modül çıkışı <(Özçelik 2016)>

2. FOTOVOLYAİK MODÜLLERİN ÖMRÜNÜ AZALTAN ETKENLERİN ANALİZİ

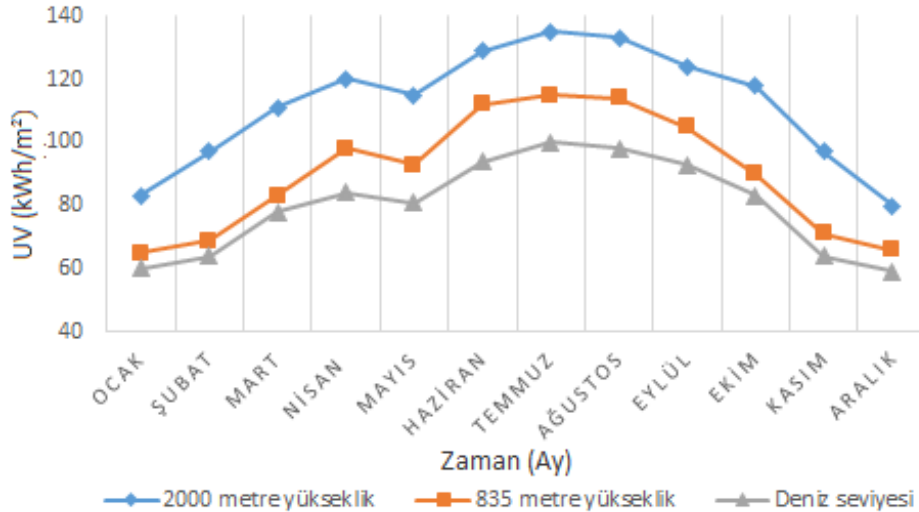
2.1. UV Işıkların Etkisi

Deniz seviyesine göre yüksekliğin artması ile her m²'ye ulaşan güneş enerjisinin miktarı da artmaktadır.

Güneş spektrumu farklı dalga boyu aralıkları içerir. Bu farklı dalga boylarından ultraviyole (UV) ışık (200 nm-400 nm), görünür ışık (400 nm-750 nm) ve kızılötesi ışık (750 nm ~ 1 µm) güneş spektral ışınlarının çoğunluğunu oluşturmaktadırlar. UV ışınım güneş ışınımının sadece küçük bir parçasıdır. UV dalga boyu 3 farklı aralığa bölünmüştür; UVA (320 nm-400 nm), UVB (280 nm-320 nm) ve UVC (200 nm-280 nm). Her bir aralıktaki UV dalga boyunun malzemeye yapacağı etki farklıdır. Güneş ışınımındaki UV ışık yoğunluğu iklim ve yükseklik etkisiyle yaklaşık olarak %3 ile %5 oranında değişebilmektedir. Doğada bulunan birçok komponent UV ışınlanmasından kolayca etkilenebilmektedir (Lawrence Dunn, Michael Gostein and Bill Stueve 2013). PV modüller UV şartlandırma deneyine tabi tutularak üretilmiştir. UV şartlandırma deneyinde modülün sıcaklığı, UV ışığı ile ışınlandığı sırada 60 °C ± 5 °C'de olduğu ve 280 nm ve 385 nm arasında dalga boyu aralığında, UV ışınmasına maruz bırakılarak dayanıklılık testi yapılmıştır. Deney sonucunda, modüllerin çalışma ömrü 25 yıl olarak belirlenmiştir (Türk Standartları Enstitüsü 2017). Güneş ışınım enerjisi her 1000 metre yükseklikte %9 ile %11 arasında artar.

Güneş Enerji Santralinin (GES) kurulacağı yarı dağlık bölgenin yüksekliği 835 metredir. GEPA'nın güneşlenme radyasyonu verilerine göre bölgeye düşecek güneş enerjisi miktarı yaklaşık 1570-1625 kWh/m²-yıl olacaktır (<http://www.yegm.gov.tr/>).

Yıllık UV ışınlama dozu genel olarak deniz seviyesinde yaklaşık 100 kWh/m² olup deniz seviyesinden 3000 metre yükseklikte 150 kWh/m²'ye ulaşabilmektedir. 835 metre yükseklikte bulunan yarı dağlık bölgede yıllık UV ışın dozu yaklaşık 115 kWh/m²'dir. Uludağ'ın yüksek bölgelerinde (2000 metre) ise bu UV ışınlanma dozajı yaklaşık 135 kWh/m² olacaktır. UV ışın dozunun seviyesinin çok yüksek olmamasından bölgede kurulan GES ömrü daha uzun olacaktır. Bunun sebebi ise fotovoltaik modüllerin UV ışınlarından olumsuz etkilenmesidir. Şekil 2'de aynı konumda fakat farklı yüksekliklere yerleştirilen modüllere ulaşan ortalama UV ışın seviyeleri karşılaştırılmıştır.

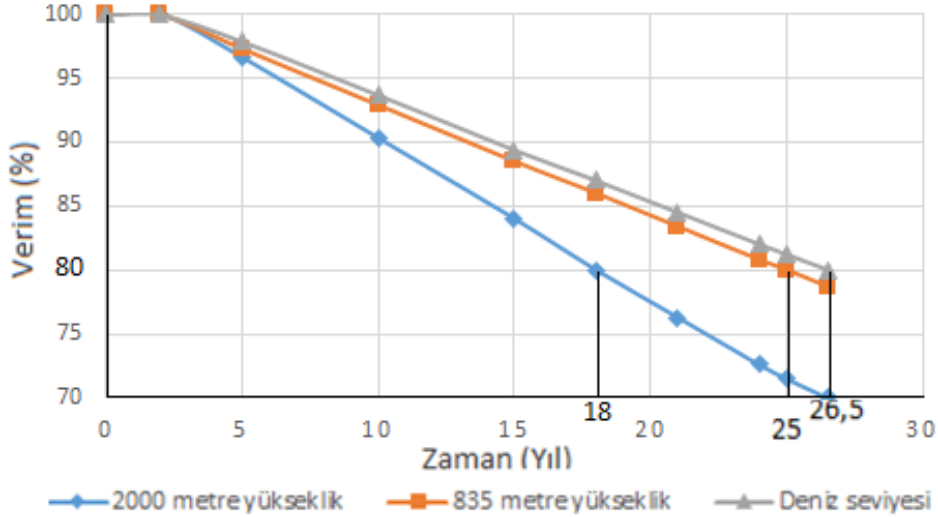


Şekil 2:

Aylık ortalama UV ışın seviyeleri

Fotovoltaik modüller solar ışınlama koşullarında çalıştıkları için güneş ışığında bulunan UV ışını, modüllerde bulunan polimerik malzemelerin bozulmasına neden olabilmektedir.

Genellikle PV modüller UVA ve UVB dalga boyu aralıklarından etkilenmekte olup uzun süre UV ışınımına maruz kaldıklarında yapısal bozulmalar oluşabilmektedir. Meydana gelen bozulmalar, PV modüllerin akım-gerilim (I-V) özelliklerini değiştirip değiştirmediğini kontrol ederek teyit edilebilmektedir (Lawrence Dunn, Michael Gostein and Bill Stueve 2013). Şekil 2’de elde edilen grafiğe göre 835 metre yükseklikteki bölge deniz seviyesine oranla UV ışınımından daha fazla etkilenecektir. Şekil 2’deki bulgulardan yola çıkarak Şekil 3’te UV dozunun PV modül ömrüne etkisi incelenmiş ve PV modüllerin ömürlerinde deniz seviyesine oranla yaklaşık %5,6’lık bir azalma meydana geleceği öngörülmüştür.



Şekil 3:

UV ışınlarının farklı yüksekliklerde bulunan modüllerin ömrüne etkisi

2.2. Nemin Etkisi

PV modül yapısı beş katmandan oluşmaktadır: Cam kaplama, fiberglass, güneş pili hücresi, fiberglass, arka örtü (tedlar). Nem, hava geçiren arka tabakaları veya etilen vinil asetat (EVA) tabakaları aracılığıyla fotovoltaik (PV) modüllere yayılabilir. Ortamdaki nem, korozyona neden olabilecek elektrokimyasal reaksiyonlara yol açabilir. Nemin etkisiyle PV modüllerin ömrü hızla kısalmaktadır. Eğer nem polimere nüfuz etmeye başlarsa ve güneş hücresine ulaşırsa, ara yüzey yapıştırıcı bağlarını zayıflatabilir, bu da PV modülün yapısının bozulmasıyla sonuçlanabilir (Michele Cândida Carvalho de Oliveira Antônia Sonia AlvesDiniz Cardoso Marcelo Machado Viana Vanessa de Freitas CunhaLins 2018). Oluşabilecek bozulmalar hakkında araştırmalar yapılmaktadır. Bunlar, korozyona maruz kalan PV modüllerinin bozulmasını incelemek için Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) 61215 standardının belirlediği yaşta sıcaklık testleri ile doğrulanmaktadır (damp-heat test-DH). Yüksek neme sahip ortamlara maruz kalınması yapışma mukavemetini azaltmakta, EVA'nın hücreden ayrılmasını kolaylaştırmakta ve buna bağlı olarak şebeke korozyonu artmaktadır. Yukarıda belirtildiği gibi, PV modüller ortam sıcaklığı ve nem oranı ile bozulmaktadır; dahası, bu faktörler bozulmayı hızlandırabilmektedir. Bu bozulma ise esas olarak korozyondan kaynaklanmaktadır (Michele Cândida Carvalho de Oliveira Antônia Sonia AlvesDiniz Cardoso Marcelo Machado Viana Vanessa de Freitas CunhaLins 2018). Bir PV modüldeki nem konsantrasyonu tek tip değildir. Bu nedenle, neme bağlı bozulmayı tahmin etmek zordur.

Escobar ve Meeker (L. A. Escobar and W. Q. Meeker 2006), iki bozulma modelini önermiştir. Bunlar Eyring ve Peck modellerinin varyasyonlarıdır. Eyring modeline dayanan bozulma modeli (RD.Eyring) denklem (1) ile ifade edilir:

$$RD, Eyring = A \exp\left(\frac{-Ea}{kT} - \frac{b}{rh}\right) \quad (1)$$

(1)'de bulunan **Ea** bozulma işleminin (eV) termal aktivasyon enerjisi, **k** Boltzmann sabiti ($8,62 \times 10^{-5}$ eV / °K), **T** sıcaklık (° K) ve **rh** nispi nemdir (%). **A** ve **b**, arıza moduna bağlı iki sabittir. PV modüllerdeki rh, ortam iklimine, malzeme (kapsülleyici, arka tabaka) özelliklerine ve çalışma koşullarına bağlıdır. Buradaki nem konsantrasyonu difüzyon modeli kullanılarak denklem (1) ile hesaplanabilir.

Peck modeline dayanan diğer bozulma modeli (RD_{Peck}) denklem (2) ile ifade edilir:

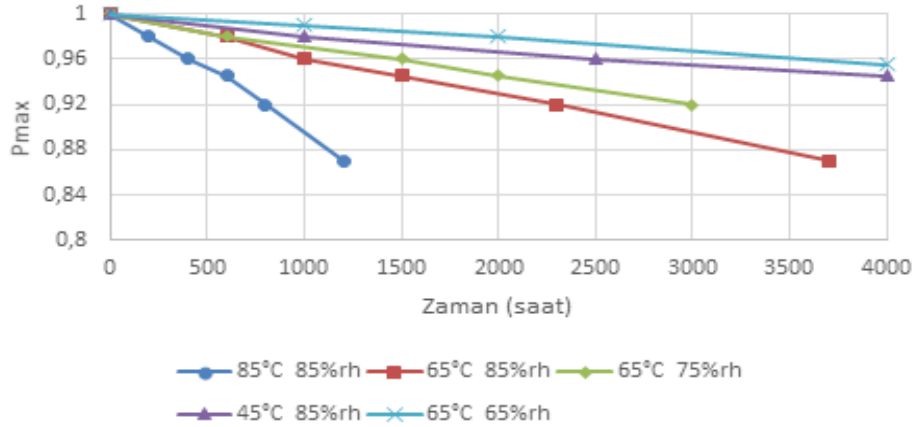
$$RD_{Peck} = B \exp\left(-\frac{Ea}{kT}\right) \cdot (rh)^n \quad (2)$$

Burada B ve n, başarısızlığa bağlı iki sabittir. Denklem (1)'deki Ea değeri ile denklem (2)'deki n değerini elde etmek için, denklem (3) ve denklem (4) kullanılmaktadır:

$$\ln(RD_{Eyring}) = \ln(A) - \left(\frac{Ea}{kT}\right) - \left(\frac{b}{rh}\right) \quad (3)$$

$$\ln(RD_{Peck}) = \ln(B) - \left(\frac{Ea}{kT}\right) - n \ln(rh) \quad (4)$$

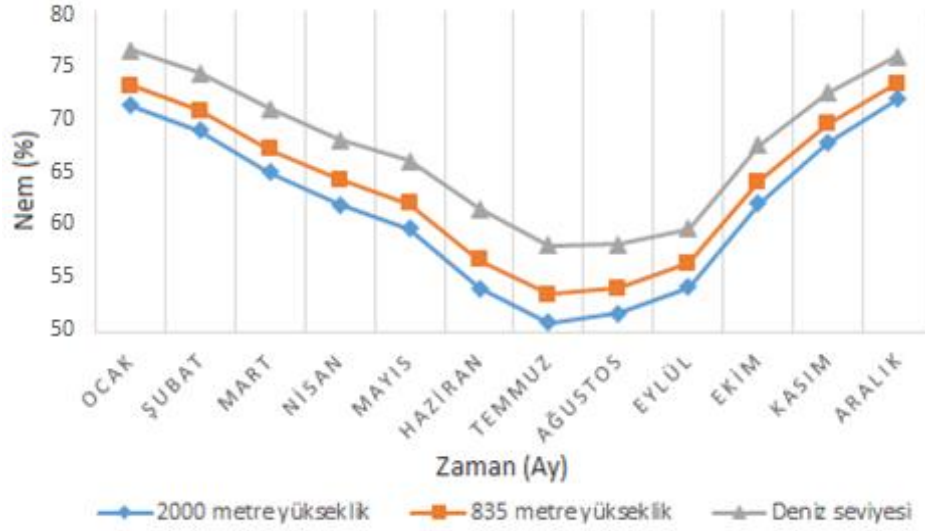
Ortan sıcaklığı ve nem oranı PV modüllerin yapısının bozulmasına neden olur. Yarı dağlık bölgede kurulan GES'e ait PV modüller DH testine maruz bırakılmıştır. Yaş sıcaklık testinde modüller 1000 saat boyunca 85°C'de ve %85 rh bağlı neme maruz bırakılarak yaşlandırılmıştır. Nemin etkisinin ne kadar olacağını belirlemek için PV modüllere uygulanan hızlandırılmış yaşlanma testleri sonucunda Pmax'ın zamanın bir fonksiyonu olarak doğrusal azaldığı belirlenmiştir. Peck modeli ve Eyring modeli ile bulunan 10 yıllık bozulma oranı birbirlerine yakın bulunmuştur. Şekil 4'te sıcaklık ile nemin PV modülün ömrüne etkisi incelenmiştir.



Şekil 4:

Nemin çıkış gücüne etkisi < (P.Huelsmann, K. A.Weiss and M. Köhl 2012)>

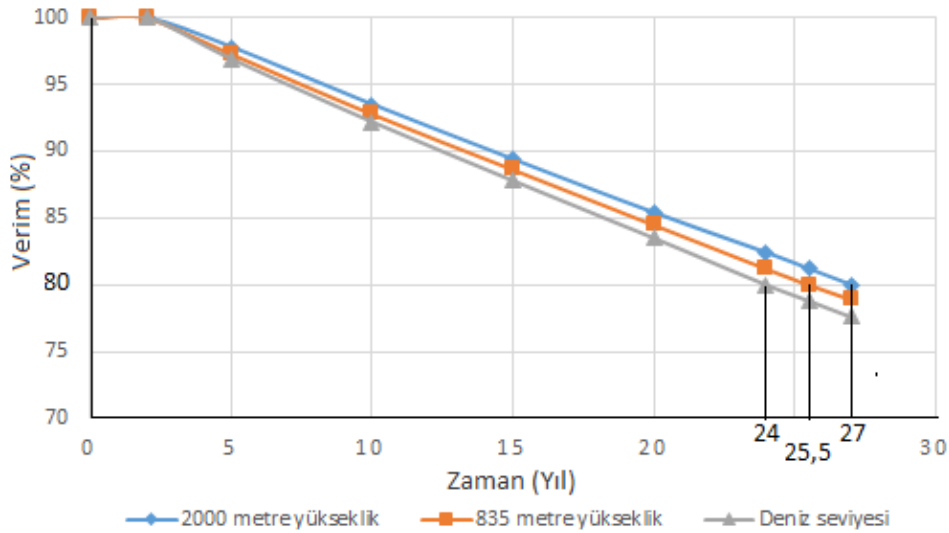
Santralin kurulduğu bölgede 1 yıl boyunca aylık ortalama nem konsantrasyonu Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5:

Aylık ortalama nem konsantrasyonu

GES'nin kurulacağı yarı dağlık bölgede (835 metre yükseklik) nem oranı %62,8 – %66,6 aralığında bulunmaktadır (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>). Aynı bölge için deniz seviyesi koşullarında nem oranı daha yüksek, 2000 metre rakımda ise nem oranı daha düşüktür. (Osman Beyit, Şirin Dervişoğulları 2008). Şekil 5'te elde edilen grafiğe göre, nem oranı deniz seviyesi ile kıyaslandığında 835 metrede %5,6, 2000 metrede de %7,8 kadar daha azdır. Bu bulguları dikkate alarak nem oranının PV modül ömrüne etkisi incelenmiş ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Sadece nem oranı dikkate alındığında, deniz seviyesindeki modüllerin ömrü 24 yıl iken 835 metrede 25,5 yıl, 2000 metre yükseklikte ise 27 yıl olacağı hesaplanmıştır.



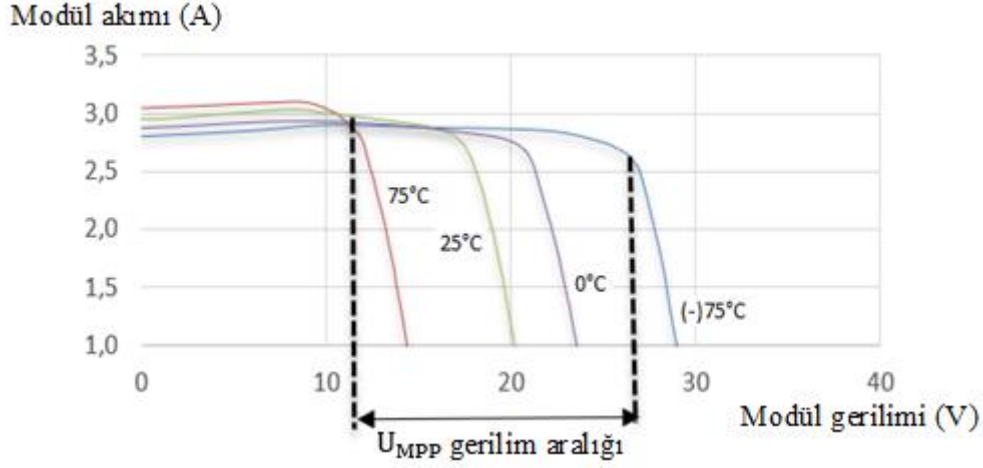
Şekil 6:

Havada bulunan nemin farklı yüksekliklerde bulunan modüllerin ömrüne etkisi

2.3. Sıcaklık Etkisi

PV modüller sıcaklıktan olumsuz etkilenmektedir. Üretilen modüller 25°C sıcaklık, 1,5 AM hava kütle katsayısı ve 1000 W/m² güneş radyasyonu bulunan ortamda test edilir. PV modüller üzerinde sıcaklığın oluşmasının nedeni modüllerin veriminin %100 olmamasıdır. Elektrik enerjisine dönüştürülemeyen enerji ısıya dönüşmektedir. Sıcaklık arttıkça modüllerde oluşan

gerilim azalmaktadır. Gerilimin azalması neticesinde modülün çıkış gücünde azalma olur ve bu nedenden dolayı Şekil 7’den de görüleceği gibi verim kaybı oluşmaktadır.



Şekil 7:
Sıcaklığın modül verimine etkisi

PV modüller fazla sıcaklığa maruz kaldıklarında yapılarında bozulmalar meydana gelmektedir. Güneş enerji santralının kurulacağı bölgenin seçiminde ortam sıcaklığı bu açıdan oldukça önemlidir. Sisteme doğal hava soğutma ya da cebri hava soğutmalı sistem kurulması gerekmektedir. Söz konusu yarı dağlık bölge için Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı Veri Kontrol ve İstatistik Şube Müdürlüğü İstatistik Biriminin verilerine göre ortalama rüzgâr hızının 1,8–2,3 m/sn. olduğu belirlenmiştir. Bölgede rüzgârın hızı ile rakım yüksekliğinden kaynaklanan düşük hava sıcaklığı bir arada düşünüldüğünde PV modüllerin yapısına olumsuz yönde etki eden sıcaklık sorunu yoktur ve modülleri soğutmak için ekstra önlem almaya gerek kalmamaktadır (Solar Radyasyonun Ölçülmesi 2017).

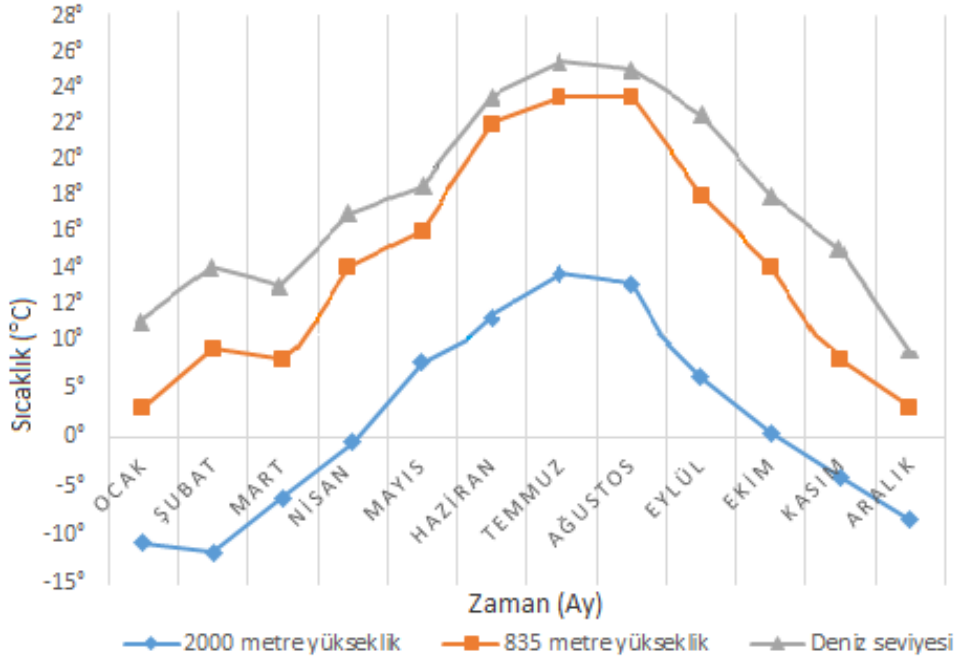
Güneş Enerji Santralinde 4400 adet 265W gücünde modül kullanılmaktadır. Kullanılan modüllerin çalışma sıcaklık aralığı -40 °C ile +85 °C’dir. Modül ısısı 25°C, ışımaya 1000 W/m², hava kütle katsayısı 1,5 AM’dir.

Genel olarak modül ısısının verimliliğe etkisi aşağıdaki gibi açıklanabilmektedir:

265W gücünde polikristal hücrelere sahip bir modülün verimi %16,2’dir. Çıkış gücüne sıcaklık etkisi yaklaşık olarak (P_m): -0,00398 1/°C kabul edilmektedir. 25°C’lik ortamda modüller 45 °C’ye kadar ısınmaktadır, bu sebepten modül verimi hesabı;

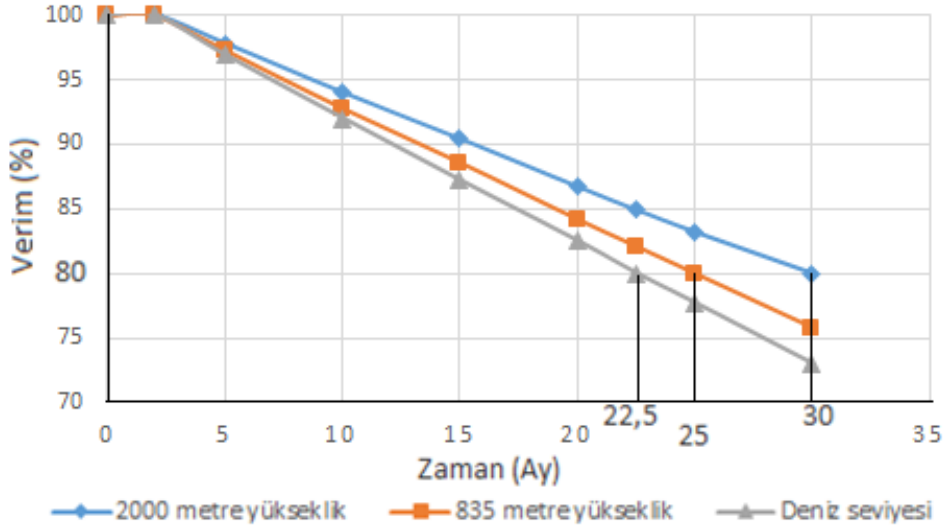
Modülün çıkış gücü x (1- P_m x (modül sıcaklığı- 25)) = 265 x (1- 0,00398 x (45-25)) = 243,9 W olacak yani modül verimi de %14,9 seviyesine düşecektir.

Modül sıcaklığının düştüğü durumlarda ise verim artacaktır. Deniz seviyesinde, 835 metrede (GES’in kurulacağı bölge) ve 2000 metre yükseklikte aylara göre ortalama sıcaklık hava sıcaklığı bilgileri Şekil 8’de gösterilmiştir.



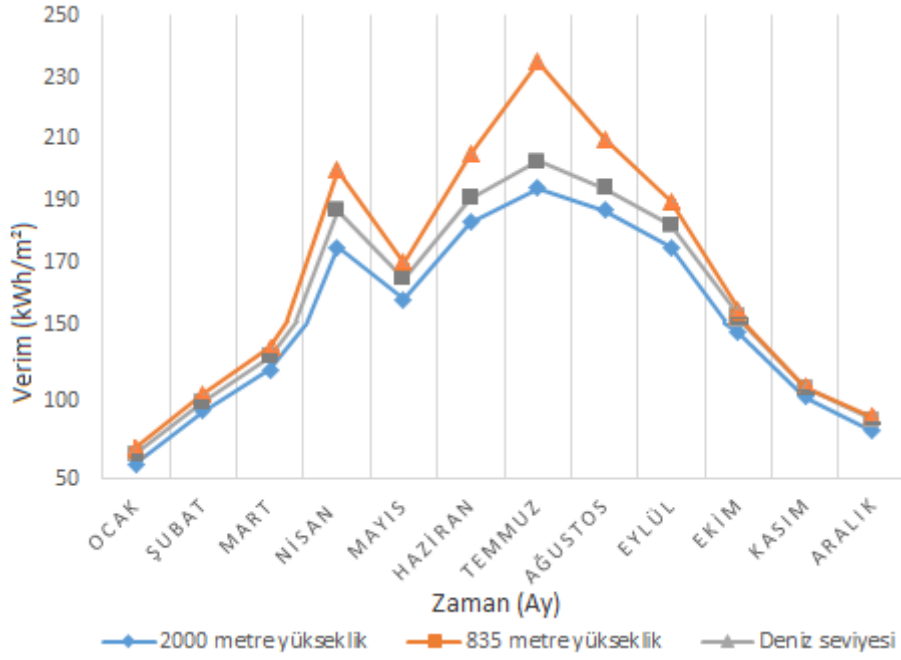
Şekil 8:
Aylık ortalama hava sıcaklığı bilgileri

Şekil 8'den de görüleceği üzere GES'in kurulacağı bölgedeki sıcaklık deniz seviyesine oranla daha azdır. Sadece sıcaklık dikkate alındığında, Şekil 9'dan da görüleceği gibi deniz seviyesindeki modüllerin ömrü 22,5 yıl iken 835 metrede 25 yıl, 2000 metre yükseklikte ise 30 yıl olacağı hesaplanmıştır.



Şekil 9:
Sıcaklığın farklı yüksekliklerde bulunan modüllerin ömrüne etkisi

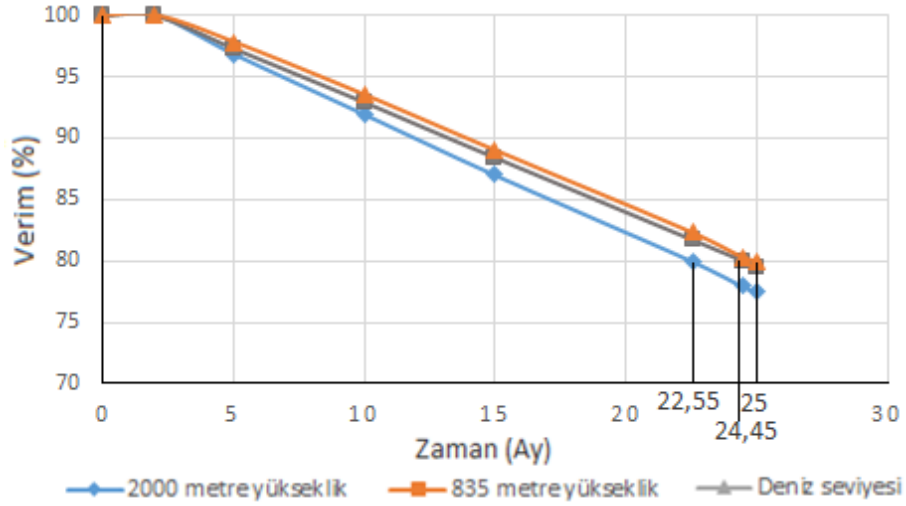
PV panellerin ömrünü ve verimini belirleyen UV ışınların şiddeti, nem oranı ve sıcaklık değerlerinin toplam etkisi göz önüne alınarak aynı enlem ve boylamda olup 3 farklı rakımda kurulan PV modüllerin verimlilik seviyeleri Şekil 10'da ömür süreleri de Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 10:

Tüm olumsuz etkilerden sonra toplam verimlilik

Nisan-Mayıs aylarında görülen yağış ve bulutlanmadan kaynaklanan güneş ışınımının düşmesi verime olumsuz etki ederken sıcaklık ve UV ışınlarının azalması ise modül ömrünü yaklaşık %14 uzatacaktır.



Şekil 11:

Tüm olumsuz etkilerden sonra toplam modül ömürleri

Elde edilen sonuçlara göre 835 m yükseklikteki modüllerin ömrünün 25 yıl, deniz seviyesindeki modüllerin 24,45 yıl ve 2000 m yükseklikte kurulan modüllerin ömrünün de 22,55 yıl olacağı tespit edilmiştir.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, aynı enlem ve boylamda fakat farklı rakım seviyelerinde kurulacak PV modüllerin ömrüne UV ışınlarının, nem konsantrasyonunun ve ısı çevrimlerin nasıl etki ettiği incelenmiştir ve elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- i) GES kurulumu yapılmadan önce, yapılması düşünülen santral bölgesinin GES için uygun koşulları taşıması önemlidir. Doğal koşullar ile sistemsel nedenlerden kaynaklanan olumsuzluklardan dolayı fotovoltaik modüllerin ömürlerinde azalmalar meydana gelmektedir. Fotovoltaik modüllerin ömürlerinin azalmasına sebep olan UV ışınlarının etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda Şekil 3'teki sonuçlar elde edilmiş olup 835 metre yükseklikteki modüllerin ömürlerinde deniz seviyesinde bulunan modüllerin ömürlerine oranla yaklaşık %5,6'lık bir azalma olacağı belirlenmiştir.
- ii) Nem; hava geçiren arka tabakalar veya etilen vinil asetat (EVA) tabakalar aracılığıyla PV modüllere yayılabilmekte olup korozyona neden olabilecek elektrokimyasal reaksiyonlara yol açabilmektedir. Bu yüzden GES'in kurulacağı bölgede nem konsantrasyon oranları araştırılmış ve sonuç olarak 835 metre yükseklikteki nem konsantrasyonunun deniz seviyesine oranla daha az olduğu tespit edilmiş ve Şekil 6'dan da görüleceği üzere 835 metre yükseklikteki modüllerin ömürlerinde deniz seviyesinde bulunan modüllerin ömürlerine oranla %5,8'lik bir uzama olacağı belirlenmiştir.
- iii) PV modüller yüksek ısı çevrimlere maruz kaldığında hem o andaki verimlerinde kayıplar oluşabilmekte hem de modül yapısında kalıcı bozulmalar oluşabilmektedir. GES'in orta yükseklikte dağlık bölgeye kurulmasının sebepleri arasında Şekil 8'den de görüleceği üzere bölgedeki sıcaklık seviyesinin yüksek olmaması ve bulunduğu konumun doğal soğutma yapması vardır. 3 farklı yükseklik için ısı çevrimlerin modüllerin ömrüne etkisi araştırılmış ve sonuç olarak 835 metre yükseklikteki modüllerin ömürlerinin, deniz seviyesinde bulunan modüllerinkine göre %10 daha uzun olacağı belirlenmiştir.
- iv) PV modüllerin ömrüne etki eden UV ışınların, nemin ve ısı çevrimlerin toplam etkisi göz önüne alınarak aynı enlem ve boylamda bulunan 3 farklı rakımdaki PV modüllerin ömürleri kıyaslanmış olup 835 m yükseklikte bulunan modüllerin ömrünün 25 yıl, deniz seviyesinde kurulan modüllerin ömrünün 24,5 yıl ve 2000 m yükseklikte kurulan modüllerin ömrünün de 22,5 yıl olacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

1. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> Erişim Tarihi: 10.05.2018 Konu: *Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi-İnteraktif Haritalar*.
2. <http://www.yegm.gov.tr/>, Erişim Tarihi: 06.12.2018 Konu: *Yenilenebilir Enerji-Güneş*.
3. L. A. Escobar and W. Q. Meeker (2006), *A review of accelerated test models*, Statistical Science, vol. 21, no. 4, pp. 552–577. (DOI: 10.1214/088342306000000321)
4. Lawrence Dunn, Michael Gostein and Bill Stueve (2013), *Literature Review of the Effects of UV Exposure on PV Modules* - Atonometrics, Inc., Austin, Texas 78757.
5. M. A. Quintana, D. L. King, T. J. McMahon, and C. R. Osterwald (2002), *Commonly observed degradation in field-aged photovoltaic modules*, in Proceedings of the 29th IEEE. (DOI: 10.1109/PVSC.2002.1190879)
6. Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı-Veri Kontrol ve İstatistik Şube Müdürlüğü İstatistik Birimi (201), *Yıllık Toplam Yağış Verileri, Rüzgâr Yön ve Hızı, Hava Kirliliği*.

7. Michele Cândida Carvalho de Oliveira Antônia Sonia AlvesDiniz Cardoso Marcelo Machado Viana Vanessa de Freitas CunhaLins (2018), *The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules: A review*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 81 Part 2. (DOI: 10.1016/j.rser.2017.06.039)
8. Osman Beyit, Şirin Dervişoğulları (2008), Güneş Pilleri ve Güneş Enerji Sistemleri, Kıbrıs Türk Elektrik Mühendisleri Birliği, Kıbrıs.
9. Özçelik S. (2016), Fotovoltaik (PV) Teknolojileri, *Gazi Üniversitesi Fotonik Uygulama ve Araştırma Merkezi*, Ankara.
10. P.Huelsmann, K. A.Weiss and M. Köhl (2012), *Temperature-dependent water vapour and oxygen permeation through different polymericmaterials used in photovoltaic-modules*, Progress in Photovoltaics: Research and Applications. (DOI: 10.1002/pip.2273)
11. *Solar Radyasyonun Ölçülmesi* (2017), Güneş Enerjisi Föy 1, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli.
12. Türk Standartları Enstitüsü (2017), *Fotovoltaik Modüller Ve Güneş Enerjisi Santrallerinde Standartlar*, Fotovoltaik Çalıştayı III, Hacettepe Üniversitesi, Ankara
13. Twidell J. and Weir T. (2006), *Renewable Energy Resources-Second Edition*, Taylor & Francis Group, London and New York, p220-226.