



PV Çatı Uygulaması için Enerji Hesaplaması ve Ekonomik Analizi

İbrahim ÜÇGÜL*¹, Erhan TÜYSÜZOĞLU, Melik Ziya YAKUT*²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği, 32260, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arş. ve Uyg. Merkezi, 32260, Isparta

(Alınış Tarihi: 10.10.2013, Kabul Tarihi: 24.07.2014)

Anahtar Kelimeler

Güneş Enerjisi,
Güneş Enerjisi Yatırımları
ve Finansman Analizi,
Karbon Emisyonu, Isparta..

Özet: Bu çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi fotovoltaik enerjiden yararlanma şansı uygun görülen fakülte bina çatılarına fotovoltaik çatı sistemleri modeli göz önünde bulundurularak araştırılmıştır. Bu araştırma esnasında elektriksel hesaplamalar SMA design programı tarafından yapılmış, muhtemel maliyet hesaplamaları, yatırımın finansal analizi, karbon emisyon ölçümü, alınan karbon azaltım sertifikalarının satışından elde edilen gelirin finansal analize dahil edilmesi incelenmiştir. Yapılan analiz ve araştırmalar da proje yatırımın öz sermaye ile gerçekleşmesi durumunda yatırımdan yıllık %96 kazanç elde edileceği görülmüştür. Yatırımın geri dönüş süresi ise yaklaşık 14 yıldır. Yatırımın ekonomik ömrü 25 yıl olarak alınmıştır.

Energy Calculation and Economic Analysis for the Implementation of the PV Roof

Keywords

Solar Energy,
Solar Energy
Investments and
Financial Analysis,
Carbon Emissions, Isparta.

Abstract: In this study, the chance to benefit from Süleyman Demirel University, photovoltaic energy, the eligible faculty building rooftops; photovoltaic roof systems were investigated by considering the model. This research during electrical calculations by the SMA design program are made possible the cost calculations of the investment and financial analysis of the carbon emission measurement is taken of carbon abatement certificates proceeds from the sale of financial included in the analysis to be investigated. The analysis and research in the project of the investment in the equity capital with the event of the realization of investment-year 96 %of the profit will be observed. The return on investment period is about 14 years. Investment in the economic life of 25 years.

Semboller

At	t zamandaki getiri	n	Yatırımın tesis ve ekonomik ömrü toplamı
$EF_{CO_2,i,y}$	y yılında i yakıt cinsi için CO2 emisyon faktörü (tCO ₂ /GJ)	NÇt	Yatırımın tesis ve işletme t döneminde gerektirdiği net yıllık para çıkışı
EFgrid,OMsimple,y	y yılındaki basit işletim marjının CO2 emisyon faktörü (tCO ₂ /GWh)	NGt	Yatırımın sağlayacağı net yıllık para girişi
EGy	y yılındaki sisteme hizmet veren tüm enerji kaynaklarınca üretilen ve şebekeye ulaştırılan net elektrik (W)	NCVi,y	y yılında fosil yakıt türü i'nin net ısı değeri
FCi,y	y yılında sistemde tüketilen fosil yakıt cinsi i miktarı	N*	Geri ödeme süresi
i	Önceden saptanmış iskonto haddini	n-t	Dönem sayısını
I	Yatırılan tutar	Rm	Pazar Risk Primi
		Rf	Risksiz Getiri Oranı
		β	Beta Katsayısı

* İlgili yazar: ziyayakut@sdu.edu.tr

1. Giriş

1990-2009 döneminde ülkemizde birincil enerji talebi artış hızı yüzde 3,7 düzeyinde gerçekleşmiştir. Türkiye, OECD ülkeleri içerisinde geçtiğimiz 10 yıllık dönemde enerji talep artışının en hızlı gerçekleştiği ülke durumundadır. Aynı şekilde ülkemiz, dünyada 2000 yılından bu yana elektrik ve doğalgazda Çin'den sonra en fazla talep artışına sahip ikinci büyük ekonomi konumunda olmuştur (Anonim, 2012).

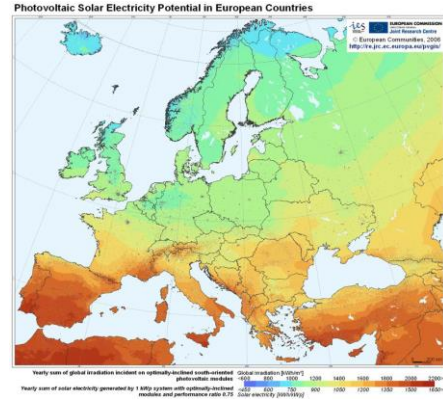
Dünya elektrik ihtiyacının 2007 ile 2035 yılları arasında yıllık ortalama %1,4 toplamda %49 artacağı öngörülmektedir. Ülkemizde ise 2009- 2018 yılları arasında yüksek talep olduğunda %4,5-7,5 düşük talep olduğunda ise %4,5-6,7 oranında yıllık elektrik talep artışı olacağı tahmin edilmektedir. Bu artışa karşın, TPAO'nun rezervlerine göre, dünya elektrik üretiminin %26,7'sini (2008 yılı), ülkemizin ise %47,2'sini (2010 yılı) karşılayan petrol ve doğalgazdan petrol rezervleri 2050 yılında, doğalgaz rezervleri ise 2070 yılında tükeneceği tahmin edilmektedir (Anonim, 2012).

Ülkemizdeki bu durum alternatif enerji kaynaklarına yönelmeyi ihtiyaç haline getirmektedir. Kısıtlı olan enerji kaynakları talebi karşılayamamakta ve bu açığı kapatmak için dış ülkelere enerji ithal etmek zorunda kalınmaktadır. TÜİK verilerine göre, ihracatın yüzde 12,8 artışla 100 milyar 55 milyon dolara ulaştığı, ithalatın ise yüzde 2,4 oranında azalarak 156 milyar 648 milyon dolar düzeyinde gerçekleştiği 2012 yılının ilk 8 ayında, Türkiye 56 milyar 593 milyon dolar düzeyinde dış ticaret açığı verdi. Dış ticaret açığının en büyük kalemini enerji ithalatı oluşturdu (EnerjiEnstitusu.com, 2012).

Bu olumsuz durumu gidermek için yeni enerji kaynaklarına yönelmek, var olan maden rezervlerini genişletmek ve mevcut enerji kaynaklarını verimli kullanmak üzerine politikalar geliştirilmektedir.

Yeni enerji kaynakları arasında da öncelikle yenilenebilir enerji kaynakları gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında özellikle son yıllarda gelişen güneş dayalı enerji üretim sistemleri; tükenmeyen, çevreyi kirletmeyen, dışalım gerektirmeyen ve bir ölçüde de bedava sayılabilecek kaynağıyla yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Güneş enerjisinin kullanımı, fosil yakıtların kullanımını ve yanma sonucu oluşan karbon emisyonunu azaltmaktadır.

Ülkemiz konumuna göre güneşlenme potansiyeli Şekil 1'de görülmektedir.

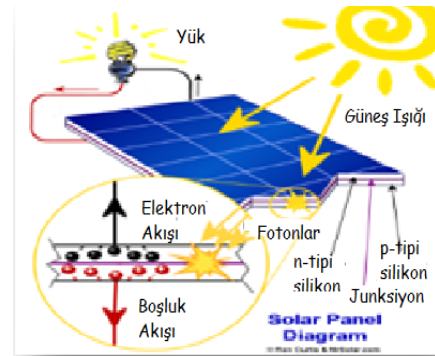


Şekil 1. Avrupa ülkelerinin fotovoltaik solar elektrik potansiyeli (Wikipedia.org, 2013)

Ülkemiz güneş enerji potansiyeli bakımından Avrupa'da çok önemli bir yere sahip fakat uygulama olarak Avrupa ortalamasının çok altında yer almaktadır.

2. Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi

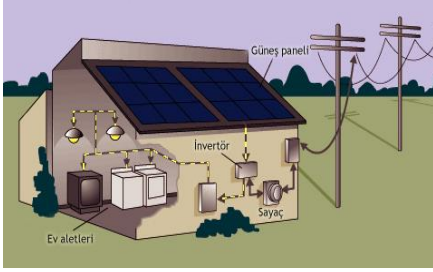
Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi, güneş pilleri ya da fotovoltaik (PV) hücreler olarak adlandırılan iki katmanlı yarıiletken maddeler ile sağlanmaktadır (Dinçer, 2011). Foton içeren güneş ışığı fotovoltaik hücrelerin yüzeyine geldiğinde fotonlar katmanlar arasında elektriksel alan oluşturmakta ve oluşan bu alan elektrik akımına neden olmaktadır (EPIA, 2010). Fotovoltaik (Photovoltaic) kelime anlamı olarak da buradan gelmektedir. Işık (photo) ve elektrik (voltaic) kelimelerin birleşiminden oluşturulmuş "PV" olarak kısaltılmıştır. PV hücreler, yüksek gerilim ve akım elde etmek için seri ve paralel bağlanarak daha güçlü PV modülleri oluşturmaktadır. Fotovoltaik hücre ve buradan elektrik üretimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Fotovoltaik hücreden elektrik üretimi (Hybridca-r.com, 2013)

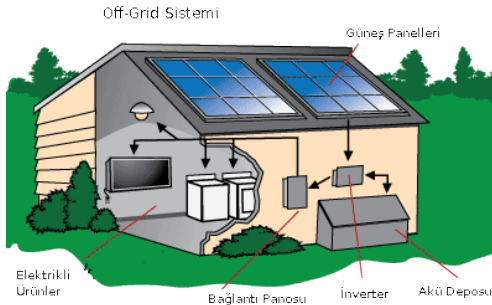
Sistem, fotovoltaik (PV) modül, solar regülatörü, invertör ve uygulama alanına göre değişen akü gibi elemanlardan oluşmaktadır. Uygulama alanları ise 2 ayrı guruba ayrılmaktadır.

- Şebeke Bağlantılı Sistemler (on-grid): Şekil 3'de gösterildiği gibi bu tip fotovoltaik sistemler, yerel elektrik enerjisi ağına bağlıdır. Güneş ışığı olmadığı zamanlarda, elektrik enerjisi fotovoltaik sistem tarafından üretilmeyeceği için, kullanım için gerekli güç ağdan satın alınır.



Şekil 3. Şebeke bağlantılı sistem (Gönen Günü, 2012)

- Şebekeden Bağımsız Sistemler (off-grid): Tek başına fotovoltaik sistemler, elektrik şebekesine erişimin olmadığı veya zor olduğu yerlerde kullanılır. Böyle bir sistem, elektrik şebekesinden bağımsızdır ve üretilen enerji genellikle bataryalarda depolanır (Bedeloğlu vd., 2010). Şebekeden bağımsız sistemlere örnek Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Şebekeden bağımsız sistem (Neoaurenergy, 2013)

Bu sistemler sayesinde azaltılan fosil yakıt tüketimiyle çevreye salınan karbon miktarı azaltılarak ülkemizin de Şubat 2009 tarihinde imzalamış olduğu Kyoto Protokolüne uygun davranılmış olunacaktır. Protokol çerçevesince doğaya bırakılan sera gazlarının belirli bir seviyenin altında tutulması gerekmekte olduğu için bu çalışma çevreci standartlara uygun olacaktır.

Doğaya salınan karbon miktarının (çevreyi kirlenme hakkı) alınıp satılabilen ve fiyatı olan ticari bir mal haline getiren Kyoto Protokolü, bu çalışma ile de üniversiteye ekstra bir kazanç sağlayacaktır. Yani, serbest piyasada belirlenen fiyatı üzerinden karbon salınımı pazarlanabilecektir.

3. Sitem Özellikleri

Mevcut fotovoltaik sistemler kullanarak kamu binalarının elektrik ihtiyaçlarının bir kısmının karşılanması amaçlanarak üniversitemiz Süleyman Demirel Üniversitesinde örnek bir çalışma hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşkesinde uygun görülen 29 fakülte binasına SMA Sunay Design programı kullanarak PVC çatı sistemlerinin kurulması planlandı. Fakülte örnek çatı uygulaması Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Fakülte örnek çatı uygulaması

Her bir çatı dizaynı 25 kW'lık elektrik enerjisi kapasitesine sahip akü desteği olmadan şebeke destekli (on-gride) olacak şekilde tasarlanmıştır. Uygulanacak yerleşkedeki fakültelerin örnek çatı uygulamaları ise Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Uygulanacak yerleşkedeki fakülte örnek çatı uygulamaları

Üniversite yerleşkesinde, güneşe bakan cephe ve 25 metrekare çatı alanına sahip olan toplam olarak 29 adet bina bulunmaktadır. Fakültelerin güneşe bakan örnek çatıları Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Fakültenin güneşe bakan örnek çatılar

Bu şekilde sistem kurulduğunda bir binadan yıllık 39394,80 kW enerji üretilmektedir. Tüm kampüse uygulanması halinde ise 1142,449 MW enerji ortaya çıkmaktadır. Böylece 2011 yılı verileri baz alındığında

kampüsün toplam enerji tüketiminin %15'lik kısmı karşılanabilmektedir.

4. Sistem Ekonomik Analizi ve Karbon Geliri

4.1. Karbon Geliri

Karbon gelirini hesaplayabilmemiz için öncelikle ne kadar karbon emisyon azaltımı olduğu saptanması gerekir. Bu çalışmada Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) tarafından yöntem olarak yayımlanmış olan işletim marjı emisyonu metodu kullanılarak karbon salınım değerleri hesaplanmıştır.

$$EF_{grid,0Msimple,y} = \left(\sum_{i,m} FC_{i,y} * NCV_{i,y} * EF_{CO_2,i,y} \right) / EG_y \quad (1)$$

Yapılan hesaplamalar da 0,689739005 tCO₂/MWh işlem marjı emisyonuna sahip olup, nispeten karbon yoğunudur. 25 KW'lık bir sistemde 787,9917 ton CO₂/yıl gibi bir beklenti ile sera gazları emisyonunu azaltması beklenmektedir.

Ülkemizde elektrik enerjisi üretimi için kullanılan yakıtlar fosil ağırlıklı yakıtlar olmasından dolayı üretilen bu temiz enerji, işlem marjı denklemi (1) kullanılarak yılda 788 ton karbondioksit emisyonunu önlenmiş olacağı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer çevreye olan katkısının yanı sıra gelir olarak da kullanılabilir. Gerçekleştirilen emisyon azatlımı sertifikalandırılarak Avrupa veya diğer karbon piyasalarında satışa sunulabilmektedir. Elde edilen bu gelir net nakit akım tablosun da nakit girişi olarak değerlendirilir.

4.2. Ekonomik Analizler

4.2.1. Net Bugünkü Değer Analizi

Bir yatırımın net bugünkü değeri, yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı para girişinin önceden saptanmış belirli bir iskonto üzerinden bugüne indirgenmiş değerleri toplamı ile yatırımın gerektirdiği para çıkışının bu belirli iskonto oranı üzerinden bugünkü değeri toplamı arasındaki farktır (Aydın vd., 2010).

Proje öz sermaye tarafından karşılandığı için iskonto oranında borçlanma maliyetini dâhil edilmeyip sadece sermaye maliyeti iskonto oranı olarak kullanılmıştır. Öz sermaye oranını hesaplarken;

$$Re = R_f + (\beta \times R_m) \quad (2)$$

R_f, yatırımın faaliyet gösterdiği ülkedeki yatırım araçlarından riski en düşük olanı ifade eder.

R_m, ülkedeki en risksiz sermaye piyasası araçlarına yatırım yapıldığında devlet tahvillerine oranla kazanılması öngörülen ekstra kazancı ifade eder. Türkiye gibi gelişmekte olan piyasalarda ortalama pazar riski, genelde %5 olarak görülmektedir.

β, özel riskler, faaliyet riskleri ve finansal yapı riskini kapsar, kısaca iş riskini ifade eder.

İlgili kaynaklarda yer alan örneklerde kabul edilen oran 0,80'dir. Öz sermaye Maliyeti (Re) = 0,07 + (0,8 x 0,05) = 0,11 (Aslan, 2011).

Nakit akışlarının bugünkü değerinin hesaplanması;

$$\sum_{t=1}^n \frac{NG_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{NÇ_t}{(1+i)^t} \quad (3)$$

n-t değer aralığı, 4 döneme göre yapılmıştır.

4.2.2. Geri Ödeme Süresi Yöntemi

Yöntem yatırımdan sağlanan net nakit akışlarının, yatırım için yapılan harcamaları karşılayabilmesi için geçmesi gerekli olan yıl sayısının belirlenmesi esasına dayanmaktadır (Aydın vd., 2010).

$$I = \sum_{t=1}^{N^*} A_t \quad (4)$$

Bu eşitliğe göre bir projenin kabul edilmesi için yatırımın geri dönüş süresi istenilen tutardan daha kısa olması beklenilmektedir. Yöntem uygulaması kolay ve anlaşılabilir fakat paranın zaman değerini yok saymaktadır. Bu Türkiye gibi enflasyonist ekonomilerde gerçeği yansıtmamakta olup yatırımcıyı yanlış yönlendirmektedir. Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak için paranın zaman değerini hesaba katan

$$I = \sum_{t=1}^{N^*} \frac{A_t}{(1+i)^t} \quad (5)$$

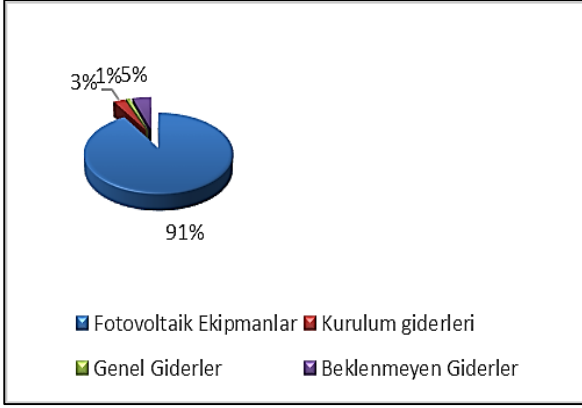
formülünü kullanabilmektedir (Finansal Analiz, 2013).

Yatırımdan elde edilen gelir toplandığında 9. yılın sonunda 2.604.672,00 TL elde edilmiştir. Bu sonuca göre yatırım 9. yılın içerisinde kar elde etmeye başlayacaktır.

5. Bulgular ve Değerlendirme

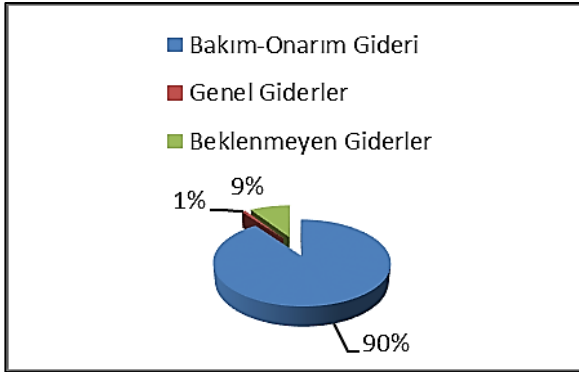
Bu çalışmada verilen fiyatlar 2013 yılı genel piyasa fiyatları baz alınarak yapılmıştır. Fotovoltaik ekipman maliyeti 1,25€/Wp, destekleyici yapılar ve kurulum maliyeti 0,037€/Wp, şebekeye bağlı sistemin toplam maliyeti yaklaşık olarak 1,29€/Wp hesaplanmıştır.

Şekil 8'de sabit yatırım tutarı dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 8. Sabit Yatırım Tutarı Dağılımı

PV sistemlerinin enerji maliyetleri yoktur. Sabit yatırım ve işletme sermayesi tutarları için; bakım-onarım gideri, makine ekipmanlarının bakım-onarım giderlerini kapsamaktadır. Gider hesaplanırken sabit yatırım kalemleri tablosunda yer alan malzeme inşaat gideri ve makine donanım gideri toplamının binde 5'i baz alınmıştır. Genel giderler hesaplanırken diğer tüm giderlerin(makine ekipman, malzeme, inşaat giderleri) %1'i oranında bir genel gider olacağı varsayılmıştır. Beklenmeyen giderler hesaplanırken diğer tüm giderlerin %10'u oranında bir beklenmeyen gider oluşabileceği varsayılmıştır. Şekil 9'da işletme sermayesi dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 9. İşletme Sermayesi Dağılımı

Genel olarak değerlendirilir ise:

- Net bugünkü değer yönteminde 9 yıldan sonra düzenli olarak kar elde ettiği görülmüştür.
- Geri ödeme süresi yönteminde paranın zaman değeri hesaba katılarak yapılan analizde yatırımın 14 yıl içerisinde yatırımın maliyetinin karşılanarak geri dönüşümünü sağladığı görülmüştür.
- Karbon ticaretinden yılda 7 yıl boyunca (Şubat ayının ortalaması ton başına €4 alınarak belirlenmiştir.) Gold Standart

sertifikasyonundan edilecek gelir 7501 TL'dir (Carbontradexchange, 2013).

- Karbon ticaretinden elde edilen gelir, ticari gelir olarak değerlendirilmiş %20 kurumlar vergisi kapsamına alınmıştır.

6. Sonuç

Hazırlanan bu çalışmayla mevcut güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek, ülke ekonomisine katkıda bulunulmak istenmiştir. Bu amaçla Süleyman Demirel Üniversitesi'nde kurulması düşünülen güneş enerji sisteminin maliyeti, yatırımın finansal analizi ve karbon emisyon azaltım değerleri belirlenmeye çalışılmış, alternatif olarak neler yapılabileceği sorularına yanıt bulunmaya çalışılmıştır. Bu projeye diğer üniversitelere, çeşitli kamu kurumlarına ve özel teşebbüs yatırımlarına örnek teşkil edecektir. Yerleşke projesiyle ayrıca yeni nesil öğrencilere de yenilenebilir enerji kaynağının yaygınlaşmasına ve uygulama fikirlerinin artmasına oranın artmasına yol açacaktır.

Bulunan bu değerler güneş enerji sektörü yatırımlarının genel karakteristik özelliklerine uygun sonuçlar vermektedir. Ülkemiz de ve dünya da enerji yatırımları sermaye ve yatırım karlılığı uzun dönemli olarak düşünülmekte 10 yıl ve üzeri değerler normal kabul görmektedir. Güneş enerjisi diğer enerji santrallerine göre bakım-onarım ve kurulum olarak daha pratiktir ki bu da yatırımı teşvik eden unsurlardandır. Diğer teşvik edici unsurlardan biri de teknolojinin gelişimi ve dünya üzerinde oluşan bilincin artması PV sistemlerin W_p değerlerinde düşüşe neden olmaktadır.

7. Kaynaklar

Anonim, 2012. Enerji Bakanlığı, Nükleer Santraller ve Ülkemizde Kurulacak Nükleer Santrale İlişkin Bilgiler. Erişim tarihi: 17.04.2013. http://www.enerji.gov.tr/yayinlar/raporlar/Nukleer_Guc_Santralleri_ve_Turkiye.pdf

Enerjienstitusu.com, 2012. Erişim tarihi: 13.05.2013. <http://enerjienstitusu.com/2012/10/08/2012-yilinda-enerji-ithalati-yuzde-13-7-oraninda-artisla-39-milyara-ulasti>

Wikipedia.org, 2013. Erişim tarihi: 15.08.2013. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy_in_the_Eu_ropian_Union

Dinçer, F., 2011. Türkiye'de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme,

EPIA, 2010. Photovoltaic energy electricity from the sun, Erişim tarihi: 08.04.2013
http://www.epia.org/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=/uploads/tx_epiapublications/Electricity_from_the_Sun_2010_update_02.pdf&t=1380632083&hash=fd13631953fd6bbc36a32122374417f9733167f6

hybridca-r.com, 2013. Erişim tarihi: 09.05.2013
<http://hybridca-r.com/photovoltaic-solar-panels>

Gönen Günısı, 2012. Erişim tarihi: 09.05.2013
http://www.gonenisi.com.tr/tr/index.php?option=com_content&view=article&id=113&Itemid=212

Bedeloğlu, A., Demir, A., Bozkurt, Y., 2010. Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. Erişim tarihi: 09.05.2013.
<http://www.solar-academy.com/menus/fotovoltaik-teknolojisi-T%C3%BCrkiye-d%C3%BCnya025044.pdf>

Neoauraenergy, 2013. Erişim tarihi: 09.05.2013
http://neoauraenergy.com/neo/bilgi_kaynag/85-fotovoltaik-teknolojileri

Aydın N., Başar M., Çoşkun M., Finansal Yönetim, Detay Yayıncılık, Ankara, 2010, Syf 380.

Aslan H. Ders Notları 2011. Erişim tarihi: 25.07.2013
www.aslanhuseyin.com/2011/10/30/indirgenmis-nakit-akimlari-yontemine-gore-sirket-degerlemesinde-iskonto-oraninin-tespit-edilmesi

Finansal Analiz, 2013. Erişim tarihi: 09.05.2013
http://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/307/mod_resource/content/1/finansal-analiz.pdf

Carbontradexchange, 2013. Erişim tarihi: 12.05.2013.
<http://www.carbontradexchange.com/knowledge-centre/case-studies.html>