F16

ISSN 1019-1011

Ç.Ü.MÜH.MİM.FAK.DERGİSİ		Haziran	1996	Ç.Ü.J.FAC.ENG.ARCH.	
CİLT 11	SAYI 1	June		VOL.11	NO.1

ÇUKUROVA BÖLGESİ İÇİN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI

Orhan BÜYÜKALACA ve Mustafa KARAÇORLU
Ç.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada, Adana için güneş pili ile elektrik enerjisi üretiminin hangi koşullarda ekonomik olacağı örnek enerji tüketim senaryoları hazırlanarak incelenmiştir. Günümüzün fiyatları esas alındığında, elektrik hattı bulunan yerlerde fotovoltaik sistem ile elektrik üretiminin oldukça pahalı olduğu, ancak yerleşim birimlerinden uzakta, elektrik ihtiyacı olan yerlerde fotovoltaik sistemin elektrik hattı çekimine göre daha ekonomik olabileceği görülmüştür.*

ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC ELECTRICITY PRODUCTION IN ADANA

ABSTRACT : *In this study, an economic analysis of electricity production in Adana using solar cells is carried out. For this purpose, different scenarios of electricity consumption were considered. It was found that, the cost of electricity from a photovoltaic system is quite expensive in the places where an electrical distribution network is available. However it was seen that, photovoltaic system might be cheaper than installing a new electricity network for remote locations in which electricity is needed.*

* Bu çalışma Çukurova Üniversitesi, Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte her geçen gün enerjiye olan ihtiyaç daha fazla artmaktadır. Buna paralel olarak da klasik enerji kaynakları hızla tükenmektedir. Önümüzdeki yıllarda arz talep dengesini karşılamak üzere alternatif enerji kaynaklarının kullanılması kaçınılmazdır. Bu alternatif enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisi de güneş enerjisidir. Günümüzde pahalı olduklarından dolayı çok fazla kullanım alanı bulamamakla birlikte, güneş enerjisi sistemlerinin uzun ömürlü olmaları, çevreyi kirletmemeleri, gürültüsüz çalışmaları, bakım gerektirmemeleri ve en önemlisi, enerji kullanımı için para ödenmemesi gibi sebeplerle yakın bir gelecekte yaygın olarak kullanılmaları beklenmektedir.

İlkemizin belirli bölgelerinde (Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu) güneş enerjisinden faydalanılarak sıcak su üreten düz güneş toplayıcıları yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyada bazı ülkelerde, belirli alanlarda kullanılmakla birlikte, fotovoltaik sistemlerin kullanımı ülkemizde yaygın değildir. Sadece Elektrik İşleri Etüd idaresi (1) ve Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü (2) tarafından küçük ölçekli bazı projeler gerçekleştirilmiştir.

Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını %5 ile %20 arasında değişen bir verimle doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken kristallerdir (3). Güç çıkışını artırmak amacı ile çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilmektedir. Bu yapıya güneş pili modülü adı verilmektedir. Fotovoltaik sistemler özellikle elektrik enerjisi gereksiniminin küçük olduğu ve elektrik hattı bulunmayan yerleşim yerlerinden uzak yöreler için uygun olmaktadır. Örneğin küçük hesap makinaları, saatler, konutlar, deniz fenerleri, yatlar, televizyon ve radyo verici istasyonları, petrol boru hatlarının korunması, orman gözetleme kuleleri gibi birçok sistem için gerekli elektrik enerjisi güneş pillerinden temin edilebilir.

Günümüzde kullanılan güneş pillerinin kökeni bundan yaklaşık 50 yıl öncesine dayanmakla birlikte fotovoltaik sistemlere ilgi 1970' li yılların başında patlak veren petrol krizinden sonra artmıştır. Güneşten yeryüzüne bir saatten az bir zaman dilimi içersinde gelen enerji tüm dünyanın bir yıllık toplam enerji ihtiyacını karşılayacak büyüklüktedir. Güneş pilleri yardımıyla elektrik enerjisi üretiminin temiz olması, çevreyi kirletmemesi, yerel uygulamalara uygun olması, çok az bakım gerektirmesi, işletme masraflarının çok düşük olması gibi birçok avantajları vardır. Bu avantajlara karşın, birim yüzeye gelen güneş ışınımının düşük olmasından dolayı büyük yüzey alanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bir çok uygulamada sadece güneş pili yeterli olmamakta, akümülatör, gerilim düzenleyicisi, çevirici/yükseltici gibi diğer bazı elemanlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisi sürekli olmadığından, akümülatör gibi bir depolama sistemi gereklidir. Bu durumda, güneş pilinden elde edilen gerilim ile akümülatörün şarz gerilimini dengeleyebilmek için, pil ile akümülatör arasına bir gerilim düzenleyicisi (şarz regülatörü) yerleştirilmelidir. Bunlara ilave olarak,

akümülatörden çekilen doğru akımın (DC) alternatif akıma çevrilmesi ve ayrıca gerilimin de 12 V'tan 220 V'a yükseltilmesi gereklidir. Bu amaçla akümülatör ile yük arasında bir çevirici/yükseltiçiye ihtiyaç vardır. Bütün bu ilave elemanlar, fotovoltaik sistemin ilk yatırım maliyetini arttırdığı gibi ayrıca toplam sistem veriminde de düşüşlere sebep olmaktadır.

Büyükalaca (4) bir deney düzeneği kurarak, güneş pilinden elektrik enerjisi üretimini ve akümülatör kullanılarak depolanmasını Çukurova şartlarında araştırmıştır. Güneş pilinden sağlanan elektrik enerjisi ile akümülatörün önce şarz sonra deşarz ve aynı anda hem şarz hem de deşarz edilmesi şeklinde iki değişik şekilde gerçekleştirilen deneylerde ortalama toplam sistem veriminin %6 mertebesinde olduğu görülmüştür. Ortalama pil veriminin %12, şarz düzenleyicisi veriminin %91, akümülatör veriminin %70 ve çevirici/yükseltici veriminin %80 civarında olduğu bulunmuştur. Bu çalışmada yapılan hesaplarda Büyükalaca'nın (4) araştırmasında bulunan %6 toplam sistem verimi esas alınmıştır.

Fotovoltaik sistemlerin tasarımı için değişik yöntemler önerilmiştir. Örnek olarak Siegel ve arkadaşları (5), Evans (6), Clark ve arkadaşları (7), Bartoli ve arkadaşları (8), Barra ve arkadaşları (9), Groumpos ve Papageorgiou (10) ve Edigo ve Lorenzo'nun (11) çalışmaları verilebilir. Tasarım için geliştirilen yöntemler Rosenblum (12) tarafından üç ana grup altında toplanmıştır. Bunlar;

a) Keyfi tasarım marjin metodu : Bu metotta fotovoltaik sistemin büyüklüğü, günlük ortalama ışınım değerleri kullanılarak belirlenir. Daha sonra belirli bir güvenlik payı düşünülerek pil alanı ve akümülatör kapasitesi belirli oranlarda arttırılır.

b) Keyfi hava değişken faktör metodu : Bir önceki metoda çok benzer ancak hava çevrim değişkeni olarak adlandırılan bir faktör de hesaplarda kullanılır.

c) Işınım ihtimal fonksiyonu metodu : Aylık ortalama günlük ışınımın oluşma ihtimali ampirik bir fonksiyon kullanılarak belirlenir. Fotovoltaik sistem tasarımında bu ampirik ihtimal fonksiyonundan faydalanılır.

Bu çalışmada ise Çukurova Bölgesi şartlarında fotovoltaik sistemlerin hangi koşullar altında ekonomik olabileceği incelenmiştir. Çalışmada %0 güvenlik payı arttırımı ile keyfi tasarım marjin metodu kullanılmıştır.

2. ENERJİ KULLANIM SENARYOSU

Analizde güneş pili ile elde edilen elektriğin, bütün bir yıl boyunca aynı programı uygulayan 4 kişilik bir ailenin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere kullanılacağı düşünülmüştür. İki değişik elektrik kullanım senaryosu ele alınmıştır. Senaryo-1'de güneş pili sisteminden sadece evin aydınlatılması için, Senaryo-2'de ise aydınlatma ve bazı temel ev cihazlarının çalıştırılması için elektrik kullanılacağı öngörülmüştür. Enerji tüketen cihazlar, Senaryo-1 ve Senaryo-2 için sırasıyla Çizelge-1 ve Çizelge-2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Senaryo-1 için enerji tüketen cihazlar.

Mahal	*Aydınlatma*
Yatak Odası-1	2x40 W floresan lamba
Yatak Odası-2	2x40 W floresan lamba
Salon	2x40 W floresan lamba
Banyo	40 W ampül
WC	40 W ampül
Mutfak	40 W ampül
Toplam	360 W

Çizelge 2. Senaryo-2 için enerji tüketen cihazlar.

Mahal	*Aydınlatma*	*Cihaz*
Yatak Odası-1	2x40 W floresan lamba	
Yatak Odası-2	2x40 W floresan lamba	
Salon	2x40 W floresan lamba	
Koridor	40 W floresan lamba	
Banyo	40 W ampül	
Mutfak	40 W floresan lamba	
WC	40 W ampül	
Salon (TV)		95 W 55 ekran TV
Mutfak (Buzdolabı)		150 W no frost buzdolabı
Banyo (Çamaşır Mak.)		1900 W otomatik çamaşır mak.
Oturma Odası (Radyo-teyp)		40 W müzik seti
Toplam (2585 W)	400 W	2185 W

Bu cihazların gün içerisinde ne kadar kullanılacağı ise Çizelge 3 ve Çizelge 4'te Senaryo-1 ve Senaryo-2 için ayrı ayrı verilmiştir. Bu çizelgelerde "Gece" gün batışı ile doğuşu arasında geçen süreyi, "Gündüz" ise gün doğuşu ile batışı arasında geçen süreyi temsil etmektedir. "A" belirtilen sürenin yarısında, "B" ise dörtte birinde elektrik enerjisi kullanıldığını belirtmektedir. "A" gece için, "B" ise gündüz için düşünülmüştür. Çukurova şartlarında buzdolabının ilkbahar ve yaz aylarında günde ortalama 10 saat, diğer aylarda ise 7 saat çalışacağı tahmin edilmiştir (13). Bu değerlerle, buzdolabı ilkbahar ve yaz aylarında 1 saatlik bir süre içerisinde 36 dakika, sonbahar ve kış aylarında ise 24 dakika çalışacaktır. Bu durum Çizelge 4' te "C" ile temsil edilmiştir. Çamaşır makinasının ise haftada iki defa 105 dakika kullanılacağı varsayılmıştır.

Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilen kullanım senaryoları esas alınarak günlük toplam enerji ihtiyacı bütün aylar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu amaçla, öncelikle literatürde (14) verilen bağıntılar ve Adana için meteorolojik veriler kullanılarak aylık ortalama gün doğuş ve batış saatleri, bulutluluk, hava sıcaklığı ve ışınım değerleri belirlenmiştir. Bu veriler yardımıyla elektrik tüketiminin mevsimlik değişimi göz önüne alınarak, her

Çizelge 3. Senaryo-1 için, elektrik kullanım senaryosu.

Saat	Faaliyet	Kullanılan Güç (W)	Gece	Gündüz
06:00-07:00	Yıkanma, Giyinme (2 Oda+Banyo+WC)	240	A	B
07:00-08:00	Kahvaltı (Mutfak)	40	-	B
08:00-17:00	Günlük Ev İşleri (Tüm Aydınlatma)	360	A	B
17:00-19:00	Mutfak İşleri, Yemek (Mutfak, Salon)	120	A	B
18:00-22:00	Okuma ve Oturma (Salon, Oturma Odası)	160	A	B
22:00-23:00	Yıkanma ve Yatma (2 Oda, Banyo, WC)	240	A	-

Çizelge 4. Senaryo-2 için, elektrik kullanım senaryosu.

Saat	Faaliyet	Kullanılan Güç (W)	Gece	Gündüz
06:00-07:00	Yıkanma, Giyinme (2 Oda+Banyo+WC)	240	A	B
07:00-08:00	Kahvaltı (Mutfak)	40	A	B
08:00-17:00	Günlük Ev İşleri (Aydınlatma+TV+Radyo-Teyp)	535	A	B
17:00-19:00	Mutfak İşleri, Yemek (Mutfak, Salon)	120	A	B
18:00-22:00	Okuma ve Oturma (Salon, Oturma Odası, TV, Radyo-Teyp)	295	A	B
22:00-23:00	Yıkanma ve Yatma (2 Oda, Banyo, WC)	240	A	-
06:00-23:00	Mutfak (Buzdolabı)	150	C	C
08:00-09:00	Banyo (Çamaşır Makinası)	1900	-	B

bir ay için yük faktörleri belirlenmiş ve Çizelge 3 ve Çizelge 4'te verilen güç değerleri ile çarpılmıştır (2). Örnek olarak Senaryo-2 dikkate alınarak Ocak ayına ait sonuçlar Çizelge 5'te gösterilmiştir. Bu çizelgede görülen katsayılar yukarıda verilen "A", "B" ve "C" durumlarına göre elde edilmişlerdir. Örneğin bu ayda 06-07 saatleri arasında yaklaşık 40 dakika gece, 20 dakika da gündüzdür. Daha önce verilen kriterler dikkate alınarak, aydınlatma için gece bölümünde 20 dakika, gündüz bölümünde ise 5 dakika enerji kullanımı olacaktır. 06-07 saatleri arasında 240 W'lık güç, toplam 25 dakika kullanılacaktır. Bu ise 0.41 katsayısını verir. Diğer zaman dilimleri için de bu katsayılar elde edilerek bir günlük toplam enerji ihtiyacı belirlenmiştir. Benzer şekilde diğer aylar için de günlük toplam enerji ihtiyacı elde edilmiştir. Senaryo-1 ve Senaryo-2 için ayrı ayrı elde edilen bu değerler Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. Günlük toplam elektrik enerjisi ihtiyacı.

Ay : Ocak	*Gün Doğuşu :* 06:41			*Gün Batışı :* 16:54						
Cihaz Gücü (W)	*Saat*								*Enerji İhtiyacı (Wh)*	
	06-07	07-08	08-17	17-19	18-22	22-23	06-23	08-09	Gece	Toplam
240 W	0.41								79	98
40 W		0.25								10
535 W			0.25							1203
120 W				0.5					120	120
295 W					0.5				590	590
240 W						0.5			120	120
150 W							0.4		420	1020
1900 W								0.25		475
								Toplam :	1329	3636

Çizelge 6. Senaryo-1 ve Senaryo-2 için aylara göre günlük toplam elektrik enerjisi ihtiyacı.

Ay	*Senaryo-1*		*Senaryo-2*	
	Gece (Wh)	*Toplam (Wh)*	*Gece (Wh)*	*Toplam (Wh)*
Ocak	639	1478	1329	3636
Şubat	584	1443	1214	3601
Mart	520	1420	1240	4088
Nisan	487	1398	1220	4079
Mayıs	416	1368	992	4009
Haziran	416	1368	992	4009
Temmuz	416	1368	992	4009
Ağustos	468	1391	1116	4043
Eylül	520	1420	1090	3578
Ekim	555	1435	1185	3593
Kasım	560	1440	1190	3598
Aralık	707	1501	1352	3675
Toplam				

Çizelge 6'dan da görülebileceği gibi, her iki senaryo için de ihtiyaç duyulan günlük enerji miktarı aylara göre değişmekle birlikte, bu değişim en fazla %10 civarındadır. Sadece aydınlatma için gerekli enerji (Senaryo-1), en kısa gün uzunluğuna sahip Aralık ayı için maksimum olurken Haziran ayı civarında da minimum olmaktadır. Senaryo-2 dikkate alındığında ise maksimum Mart ayında, minumum ise Eylül ayında görülmektedir.

3. MALİYET ANALİZİ

Çizelge 6'da verilen enerjiyi güneş pili kullanarak elde edebilmek için belirli bir güneş

pili yüzey alanına ihtiyaç vardır. Güneş pili yüzey alanını belirleyebilmek için, güneş pili yüzeyine gelen toplam güneş ışınım miktarı ve güneş pili sistem veriminin bilinmesi gereklidir. Yatayla, 36° (Adana için enlem açısı), 31° ve 41° açı yapan düzlemlere gelen toplam güneş ışınım miktarı literatürde (14) verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplar, Mart-Eylül ayları arasında 31°, diğer aylarda ise 41° lik bir eğimle yerleştirilmesi durumunda güneş pili yüzeyine en fazla ışınımın geleceğini göstermiştir. Güneş pili sistemi verimi olarak ise, Büyükalaca (4) tarafından elde edilen %6 toplam sistem verimi alınmıştır.

Adana ili için, %6 toplam sistem verimi kabul ederek Senaryo-1 ve Senaryo-2'ye göre ihtiyaç duyulan enerjiyi (Çizelge-6) elde edebilmek için gerekli olan güneş pili yüzey alanı hesaplanmış ve Çizelge 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Senaryo-1 ve Senaryo-2 için gerekli modül alanı.

Ay	Pil Eğim Açısı (°)	Günlük Toplam Işınım (Wh/m^2)	Gerekli Pil Yüzey Alanı (m^2)	
			Senaryo-1	Senaryo-2
Ocak	41	4048.76	6.08	14.96
Şubat	41	5180.18	4.64	11.58
Mart	31	6101.73	3.87	11.16
Nisan	31	6899.36	3.37	9.85
Mayıs	31	7643.64	2.98	8.74
Haziran	31	7701.97	2.96	8.67
Temmuz	31	7445.34	3.06	8.97
Ağustos	31	7271.86	3.18	9.26
Eylül	31	6708.36	3.52	8.88
Ekim	41	5945.87	4.02	10.07
Kasım	41	4728.65	5.07	12.68
Aralık	41	3941.21	6.34	15.54

Çizelge 8 ve Çizelge 9'da ise Siemens (15), Yuasa (16), Mutlu (17) ve Or Elektronik'ten (18) alınan fiyatlar kullanılarak hesaplanan ilk yatırım maliyeti Senaryo-1 ve Senaryo-2 için sırasıyla verilmiştir. Modül sayısı, standart bir pil modülünün yüzey alanının 0.36 m^2 olduğu dikkate alınarak elde edilmiştir. Ayrıca modül sayısı kadar bunları tutturmak için sehpaya ihtiyaç duyulacağı göz önüne alınmıştır. Akümülatör kapasitesi, günlük toplam gece yükü dikkate alınarak belirlenmiştir. Üst üste üç gün boyunca havanın kapalı geçip, akümülatörün yeterli miktarda şarz olmayacağı düşünülerek, akümülatör kapasitesi olarak elde edilen değerin üç katı alınmıştır. İlk yatırım maliyeti her iki senaryoda da iki tip akümülatör için yapılmıştır. Kuru tip akümülatörler Türkiye'de imal edilmeyip, ithal edilmektedirler. Bu tip akümülatörlerin önemli özelliklerinden birisi de bakım gerektirmemeleridir. Sulu tip

akümülatörler ise ülkemizde imal edilmektedir. Bu tip akümülatörlere ayda bir bakım yapılması gerekmektedir. Kuru tip akümülatör maliyeti, sulu tip akümülatör maliyetinin yaklaşık 2.4 katıdır.

Çizelge 8 ve 9'dan da görülebileceği üzere, ilk yatırım maliyeti aylara göre değişim göstermektedir. En büyük değerini Aralık ayında, en küçük değerini ise Mayıs-Haziran aylarında almaktadır. Aralık ayında gün uzunluğu ve gelen güneş ışınımı miktarı azdır. Bundan dolayı daha fazla pil alanına ihtiyaç duyulduğundan bu ay esas alınarak yapılan ilk yatırım maliyeti de fazla olmaktadır. Mayıs-Haziran aylarında ise gün uzunluğu ve gelen güneş ışınımı miktarı artmaktadır. Bundan dolayı da pil ilk yatırım maliyeti düşmektedir. Ancak bu aylar esas alınarak bir güneş pili sistemi tasarlanırsa bu sistem kış aylarında yeterli olmayacaktır. Bu durumda ilave bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulacaktır.

Çizelge 6'daki değerler yardımıyla, bir yıllık toplam enerji tüketiminin Senaryo-1'e göre yaklaşık 520 kWh, Senaryo-2'ye göre ise 1401 kWh olduğu bulunur. Elektrik fiyatının 0.0833 $/kWh olduğu dikkate alınırsa, bu enerjilerin şehir şebekesinden alınması durumunda yıllık ödenmesi gereken miktar Senaryo-1 için 43 $, Senaryo-2 için ise 117 $'dır. Bu fiyatlar Çizelge 8 ve Çizelge 9'da verilen ilk yatırım maliyetinin yanında oldukça düşüktür. Buradan mevcut şartlarda, şehir şebekesi bulunan yerlerde fotovoltaik sistemin kendisini çok uzun bir sürede geri ödeyeceği, bu sebepten dolayı da ekonomik olmadığı sonucunu çıkarmak mümkündür.

Ancak yerleşim birimlerinden uzakta, dağ ve tepelerde bulunan televizyon, radyo gibi verici istasyonlarında, meteoroloji istasyonlarında, çiftlik ve köy evlerinde ve orman gözetleme kulelerinde elektrik kullanımı için uzak hat çekilmesi gerekebilir. Bu da beraberinde belirli bir mali külfet getirecektir. Aşağıda, uzak hat çekilmesi durumunda fotovoltaik sistemin ekonomikliği tartışılmıştır.

Hattın tek fazlı 220 V, 50 Hz olacak şekilde çekileceği düşünülmüştür. Hatta alüminyum iletken kullanılacağı ve 50 m ara ile direk dikileceği düşünülmüştür. Hattın başındaki ve sonundaki direkler özel direk olup, aralardaki direkler ise normal tip direklerdir. Her direkte iletkenleri bağlamak için 2 adet izolatör ve demiri ile 1 adet topraklama levhası kullanılacağı düşünülmüştür. Kullanılan malzemelerle ilgili birim fiyatlar TEDAŞ'dan (19) temin edilmiş ve hesaplarda kullanılmıştır.

Hattın uzunluğuna bağlı olarak iletkenler üzerinde gerilim düşümü olacaktır. Bu gerilim düşümü TEDAŞ (19) tarafından verilen

$$\text{GerilimDüşümü} = 0.074 \cdot \frac{\text{Güç(kW)}.\ \text{Uzaklık(m)}}{\text{Kesit(mm}^2\text{)}} \qquad (1)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Gerilim düşümünün 3'ten küçük olması gerekmektedir. Bu kritere göre, elektrik hattı yaklaşık 2 km ve 2000 W'a kadar transformatör kullanılmaksızın çekilebilmektedir. Daha büyük güç ve daha uzak mesafeler için gerilim yükseltici ve gerilim düşürücü transformatörler kullanılması gerekir. Şekil 1'de

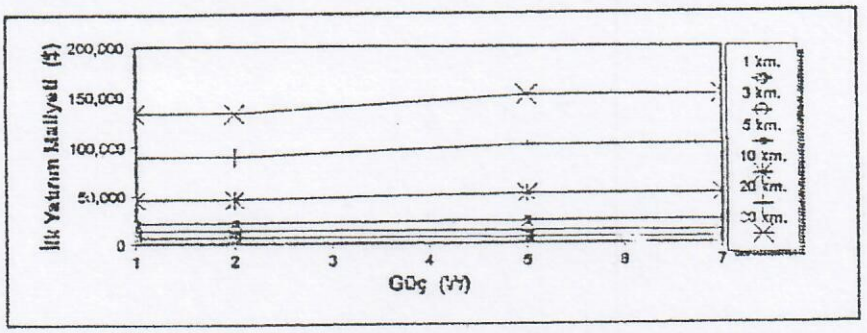
Çizelge 8. Senaryo-1 için ilk yatırım maliyeti.

Aylar	Modül ve Sehpa Sayısı (Adet)	Modül Fiyatı ($/ Adet)	Sehpa Fiyatı ($/ Adet)	Akü Tipi (1 Adet)	Kuru Akü ($/ Adet)	Sulu Akü ($/ Adet)	Şarj Devresi ($)	İnverter (0.3 KW) ($)	Kurma İşçiliği ($)	Toplam Maliyet ($)	
										Kuru Akü	Sulu Akü
Ocak	17	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	9079	8485
Şubat	13	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	7259	6665
Mart	11	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	6349	5755
Nisan	9	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	5083	4678
Mayıs	8	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	4628	4223
Haziran	8	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	4628	4223
Temmuz	8	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	4628	4223
Ağustos	9	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	5083	4678
Eylül	10	440	15	12V. 110Ah.	688	283	50	200	50	5538	5133
Ekim	11	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	6349	5755
Kasım	14	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	7714	7120
Aralık	18	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	50	200	50	9534	8940

Çizelge 9. Senaryo-2 için ilk yatırım maliyeti.

Aylar	Modül ve Sehpa Sayısı (Adet)	Modül Fiyatı ($/ Adet)	Sehpa Fiyatı ($/ Adet)	Akü Tipi (2 Adet)	Kuru Akü ($/ Adet)	Sulu Akü ($/ Adet)	Şarj Devresi ($)	İnverter (2.4 KW) ($)	Kurma İşçiliği ($)	Toplam Maliyet ($)	
										Kuru Akü	Sulu Akü
Ocak	42	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	22273	21090
Şubat	32	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	17728	16540
Mart	31	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	17273	16085
Nisan	27	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	14741	13431
Mayıs	24	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	13376	12566
Haziran	24	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	13376	12566
Temmuz	25	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	13831	13021
Ağustos	26	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	14286	13486
Eylül	25	440	15	12V. 110Ah.	688	283	80	900	100	13831	13021
Ekim	28	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	15908	14720
Kasım	35	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	19093	17905
Aralık	43	440	15	12V. 200Ah.	1044	450	80	900	100	22733	21545

uzak hat çekimi için ilk yatırım maliyetinin güce göre değişimi, mesafeye bağlı olarak verilmiştir. $ bazındaki bu fiyatlara işçilik ücretleri dahildir. Görüldüğü gibi güç arttıkça, mesafeye bağlı olarak ilk yatırım maliyeti de artmaktadır. özellikle 20 km ve sonrasında ilk yatırım maliyeti 100000 $ ve üzeri bir değere çıkmaktadır.



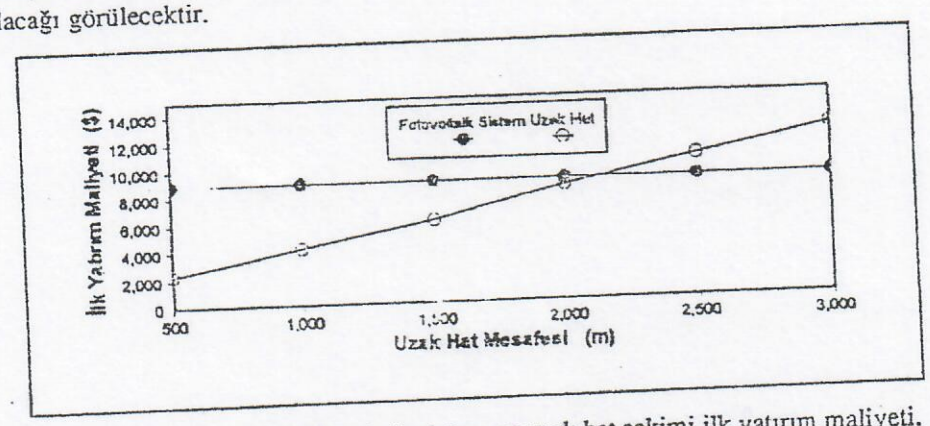
Şekil 1. Uzak hat çekimi ilk yatırım maliyeti.

İlk yatırım maliyetlerinin fazla olması güneş pili sistemlerinin en büyük dezavantajlarıdır. Ancak elektrik hattı bulunmayan veya elektrik götürülmesinin pahalı olduğu kırsal yörelerde, dağ veya tepelerdeki verici istasyonlarında, dizel jeneratörlere alternatif olarak, güneş pillerinin kullanılması daha ekonomik olabilmektedir. Çünkü güneş pili sistemlerinde bir kez ilk yatırım için harcama yapıldıktan sonra başka masraf olmamakta, oysa dizel jeneratörler ucuz satınalma fiyatlarına karşılık, yakıt ve bakım maliyetleri nedeniyle uzun dönemde pahalıya gelmektedir. Genellikle ulaşımın da zor olduğu bu tip kırsal yörelerde, dizel jeneratörlere sürekli yakıt taşımak sorun olabilmektedir. Ayrıca güneş pili sisteminin en büyük avantajlarından birisi de, ilk yatırım maliyeti yapıldıktan sonra, enerji kullanım ücreti ödemek gibi bir zorunluluğun olmamasıdır. Oysa dizel jeneratör veya elektrik için enerji kullanım ücreti ödenmek zorundadır. Bundan başka, jeneratörlerin tersine güneş pilleri bakım gerektirmez, parça değişimi gibi bir sorunları da yoktur.

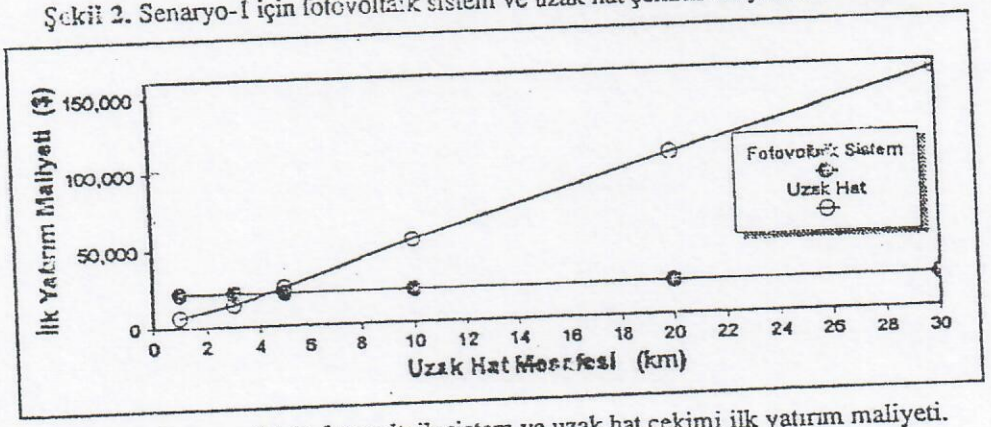
Yukarıda yapılan hesaplamalara dayanılarak, güneş pili sisteminin ilk yatırım maliyetinin şehir elektriğinin bulunduğu yerleşim birimlerinde ekonomik olmadığı, ancak elektriğin bulunmadığı yerleşim birimlerinden uzak yerlerde (köy, çiftlik evleri, dağ veya tepelerdeki radyo-televizyon verici istasyonları, orman gözetleme kuleleri, meteoroloji ölçüm istasyonları gibi) güneş pili sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin hat çekimi ilk yatırım maliyetine göre daha ekonomik olduğu görülmektedir.

Şekil 2 ve Şekil 3'de Senaryo-1 ve 2'ye göre ihtiyaç duyulan enerjinin güneş pilinden elde edilmesi ve hat çekilmesi durumundaki ilk yatırım maliyetleri karşılaştırılmıştır. Fotovoltaik sistemin ilk yatırım maliyetinin hesabında güneş ışınımının en az ve gün uzunluğunun en kısa olduğu Aralık ayı esas alınmıştır. Böylece

senaryo için gerekli enerji yıl boyunca tamamen fotovoltaik sistemden karşılanabilmektedir. Hat çekiminde ise Senaryo-1 durumunda 500 W, Senaryo-2 durumunda 3 kW'lık bir hat çekileceği dikkate alınmıştır. Şekil 2'den de görülebileceği gibi, Senaryo-1 için yaklaşık 2 km'den sonraki mesafelerde fotovoltaik sistem daha ekonomik olmaktadır. Benzer şekilde Senaryo-2 için de yaklaşık 5 km'den sonraki mesafelerde fotovoltaik sistemin daha ekonomik olduğu görülmüştür. Ayrıca elektrik hattı ilk yatırım maliyeti ile bebaber, hat çekildikten sonraki enerji kullanımından dolayı ödenecek ücretler de dikkate alınırsa, güneş pili sisteminin daha da ekonomik olacağı görülecektir.



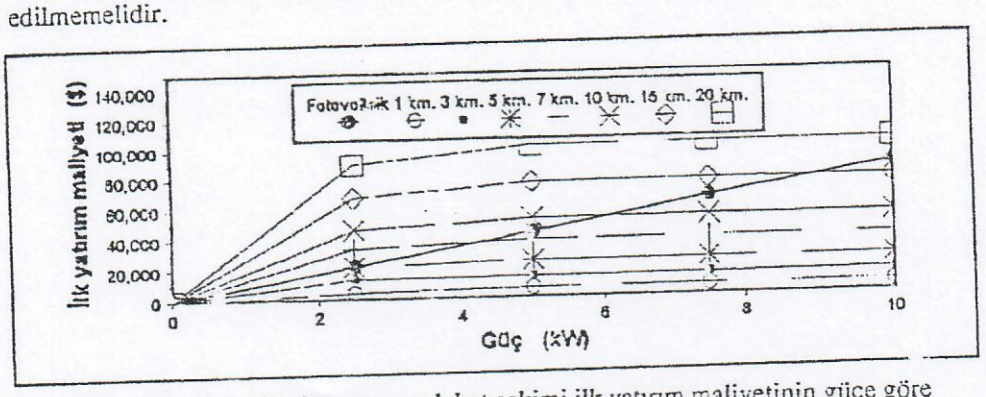
Şekil 2. Senaryo-1 için fotovoltaik sistem ve uzak hat çekimi ilk yatırım maliyeti.



Şekil 3. Senaryo-2 için fotovoltaik sistem ve uzak hat çekimi ilk yatırım maliyeti.

Ancak sabit bir mesafe için gerekli güç artarsa, belirli bir güç değerinden sonra fotovoltaik sistemin üstünlüğünden bahsetmek mümkün olmaz. Bu durum Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu şekildeki güç gereksinimi Senaryo-2 temel alınarak elde edilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, 5 km'nin altındaki mesafelerde gerekli güç ne olursa olsun uzak hat çekimi fotovoltaik sisteme göre daha ekonomiktir. Ancak 5 km'den

sonra belirli bir güce kadar fotovoltaik sistem maliyeti daha düşük olurken, kritik bir noktadan sonra hat çekimi tekrar ekonomik hale gelmektedir. Yalnız bu değişimin öngörülen enerji kullanım senaryolarına doğrudan bağlı olduğu gerçeği gözardı edilmemelidir.



Şekil 4. Fotovoltaik sistem ve uzak hat çekimi ilk yatırım maliyetinin güce göre değişimi.

Gelişen teknoloji ile birlikte Watt başına pilin maliyeti her yıl düşmekte ve önümüzdeki yıllarda da düşmeye devam edeceği beklenmektedir. Toplam maliyette yaklaşık %90'lık bir paya sahip olan pil maliyetinin düşmesiyle toplam sistem maliyeti de düşecektir. Günümüzde pahalı olduklarından dolayı çok fazla kullanım alanı bulamamakla birlikte, bu sistemlerin uzun ömürlü olmaları, çevreyi kirletmemeleri, gürültüsüz çalışmaları, bakım gerektirmemeleri ve en önemlisi, enerji kullanımı için para ödenmemesi gibi avantajları nedeniyle yakın bir gelecekte yaygın olarak kullanılmaları beklenmektedir.

4. SONUÇ

Deneyler sonucunda elde edilen toplam sistem verimi kullanılarak iki değişik elektrik kullanım senaryosuna göre fotovoltaik sistemin ilk yatırım maliyeti çıkarılmıştır. Elde edilen fotovoltaik sistem maliyeti, aynı senaryolara bağlı kalarak şehir elektriği kullanılması ve uzak hat çekimi ilk yatırım maliyeti ile karşılaştırılmıştır. Buradan güneş pili sisteminin elektriğin bulunduğu yerleşim birimlerinde ekonomik olmadığı, ancak yerleşim birimlerinden uzakta, elektrik ihtiyacı olan yerlerde güneş pili sisteminin uzak hat çekimine göre daha ekonomik olabileceği görülmüştür.

Fotovoltaik sistemde kullanılan güneş pillerinin maliyeti oldukça yüksektir. Özellikle toplam maliyette %90'lık bir kısmı pil maliyetinin oluşturması, bu sistemlerin ilk yatırım maliyetinin büyük olmasında önemli rol oynamaktadır. Gelişen teknoloji ile önümüzdeki yıllarda güneş pillerinin daha da ucuzlayacağı beklenmektedir. Kullanılan klasik enerji kaynaklarının sınırlı olduğu düşünülürse, fotovoltaik sistemlerin uzun

ömürlü olmaları, çevreyi kirletmemeleri, gürültüsüz çalışmaları ve en önemlisi enerji kullanımından dolayı para ödenmemesi gibi avantajları sebebiyle önümüzdeki yıllarda kullanımının artması beklenmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. *E.I.E., Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Direktörlüğü, Güneş Pilleri, Ankara, 1992.*

2. *Çolak, M. ve Erdiş, F., Fotovoltaik Prensibi ile Güneş Enerjisinden Doğrudan Elektrik İretimi, Ege Üniversitesi Araştırma Fonu, Araştırma Raporu, 1989.*

3. *Markvart,T ., Solar Electricity, John Wiley and Sons Ltd., 1994.*

4. *Büyükalaca, O., Çukurova Bölgesinde güneş pili ile elektrik üretiminin denenmesi, Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi (Yayınlanmak üzere sunuldu), 1997.*

5. *Siegel,M.D., Klein,S.A. ve Beckman,W.A., A simplified method for estimating the monthly-average performance of photovoltaic systems, Solar Energy, 26, 1981.*

6. *Evans, D.L., Simplified method for predicting photovoltaic array output, Solar Energy, 27, 1981.*

7. *Clark, D.R., Klein, S.A. ve Beckman, W.A., A method for estimating the performance of photovoltaic systems, Solar Energy, 33, 1984.*

8. *Bartoli, B., Cuomo,V., Fontana, F, Serio, C. ve Silvestrini, V., The design of photovoltaic plants : an optimization procedure, Applied Energy, 18, 37-47, 1984.*

9. *Barra, L., Catalanoth, F., Fontana, F. ve Lavoranth, F., An analytical method to determine the optimal size of a photovoltaic plant, Solar Energy, 33(6), 509-514, 1984.*

10. *Groumpos, P.P. ve Papageorgiou, G., An optimal sizing method for stand-alone photovoltaic power systems, Solar Energy, 38 (5), 341-351, 1987.*

11. *Ediğo, M.A. ve Lorenzo, E., The sizing of stand-alone PV systems : a review and a proposed new method, Solar Energy Materials and Solar Cells, 26, 51-69, 1992.*

12. *Rosenblum, L., Bölüm 2 : Photovoltaic System Design, Solar Energy in Agriculture, (Energy in World Agriculture Serisi, Ed : Parker, B.F.), Elsevier Science Publishing Co., Newyork, 1991.*

13. *Savaş, S., Soğuk Depoculuk ve Soğutma Sistemlerine Giriş, Cilt 1., Uludağ İniversitesi Basımevi, Bursa, 1987.*

14. *Kılıç, A. ve Öztürk, A., Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımcılık, İstanbul, 1983.*

15. *Siemens, Solar Energy Products Catalog and Brochures, Germany, 1996.*

16. *Yuasa, Stationary Type Lead-Acid Battery Catalog and Price List, U.K, 1992.*

17. *Mutlu, Mutlu Aküleri Broşür ve Katalokları, 1996.*

18. *Or Elektronik, Or Elektronik Regülatör, İnvertör ve Transformatörleri Broşür ve Kataloğu, İskenderun, 1996.*

19. *T.E.D.A.Ş., Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi, Elektrik, Proje ve Tesis Birim Fiyat Kitabı, Ankara, 1996 .*