

TARIMSAL SULAMA VE GÜNEŞ ENERJİSİ

Ramazan ŞENOL

Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü Batı Yerleşke İSPARTA
ramazansenol@sdu.edu.tr

(Geliş/Received: 21.02.2011; Kabul/Accepted: 07.05.2012)

ÖZET

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi tüm dünyada hızla yaygınlaşmaktadır. Güneş gözeleri ile elektrik üretimi uygulamaları ise çok çeşitli alanlarda kullanılmakta ve her geçen gün ilk yatırım maliyetleri azalmaktadır. Ülkemizde ise 2010 yılı sonunda yapılan düzenlemelerin kamuoyunun beklentilerinin çok altında kalması fotovoltaik sektörünü olumsuz etkilemektedir. Tarımsal sulamada dizel pompaların yerine güneş gözelerinin kullanımı ise hem pompaların teknik yetersizlikleri hem de mevcut teşvik düzenlemelerinin eksiklikleri yüzünden yaygınlaşamamaktadır. Ülkemizde kullandığımız akaryakıtların fiyatları dünyanın en pahalı akaryakıt fiyatları arasında olup tarımsal uygulamalardaki ürün kalitesini de olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada, çeşitli tarım bölgeleri için dizel jeneratörler yerine fotovoltaik destekli pompaların kullanılması durumunda pompalanabilecek su miktarları bölgelere göre ve toplam dinamik yüksekliklere göre incelenmiştir. Ayrıca seçilen optimum bölge için farklı dinamik yükseklik değerlerine göre pompalanabilecek su miktarları incelenmiştir. Son olarak optimum yükseklik ve istenilen su miktarı için ömür maliyet analizi yapılmıştır. Sistemin geri kazanım süresi mevcut yasal duruma göre 6 yıl bulunmuş olup Fotovoltaik sistemin dizel sisteme olan yatırım oranı tasarrufu (SIR) yaklaşık %4,6 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Fotovoltaik Teknoloji, Tarımsal Sulama

AGRICULTURAL IRRIGATION AND SOLAR ENERGY

ABSTRACT

Electricity production by solar energy is rapidly developing all over the world. Applications of electricity production by solar cells are used in a wide variety area and reduced initial investment costs, with each passing day. At the end of 2010 the regulations in our country remain far below the expectations of public opinion, negatively affects the photovoltaic sector. The use of photovoltaic systems for irrigation instead of diesel pumps cannot pervade because of technical inadequacies of pumps and deficiencies of the existing incentive arrangements. A price of fuels which we use in our country among the world's most expensive fuel prices and it has a negative impact of agricultural practices in product quality. In this study, to the use of photovoltaic pumps instead of diesel generators for the various agricultural regions were investigated for different district and total dynamic heights. In addition, water amount can be pumped according to the different dynamic heights are investigated for selected the optimum region. Finally life cycle cost analysis was conducted for the optimum height and water amount. According to the current legal situation, recovery time is found 6 years. Savings to investment ratio (SIR) of photovoltaic system is calculated 4,6%.

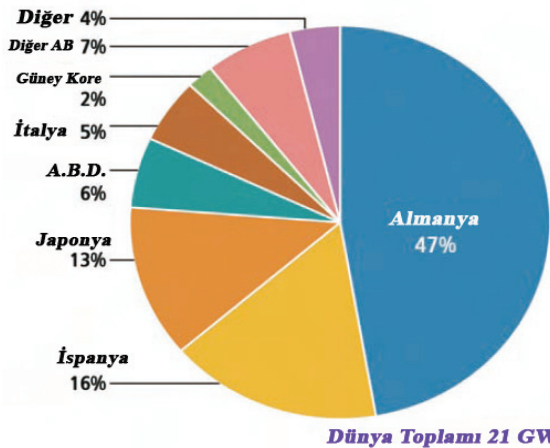
Keywords: Solar Energy, Photovoltaic Technology, Agricultural Irrigation

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen teknoloji, artan dünya nüfusu ve artan enerji ihtiyacı ile birlikte ortaya çıkan doğal felaketler her gün farklı bir noktada ortaya çıkmaktadır. İnsanoğlunun bilerek ve/veya bilmeyerek yıllarca çevreye verdiği zararlar neticesinde gezegenimiz artık

iflas etme noktasına doğru hızla yaklaşmaktadır. Kaçınılmaz bu yok oluşu ortadan kaldırmak imkânsızdır ancak yavaşlatmak yine insanoğlunun elindedir. Artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla her geçen gün daha fazla tükettiğimiz fosil kökenli kaynakların yerine yenilenebilir ve çevre dostu olan alternatif enerji kaynaklarını kullanarak bu süreci

yavaşlatabiliriz. Elektrikli taşıtların kullanımının artmasıyla, çeşitli atıkların geri kazanımı ile enerji eldesiyle, güneş, rüzgar, jeotermal gibi kaynakların kullanımının artırılmasına yönelik çalışmalara destek vererek sürdürülebilir bir dünya için atılan adımlara destek olabiliriz. Bu sorun tek başına bir kişinin veya bir ulusun çözüm bulması gereken veya bulabileceği bir husus değildir. Bu sorunun çözümüne yönelik çok uluslu çözümlerle ortaklaşa adımlar atılmalıdır. Pek çok ülke bu konuda üzerine düşeni fazlasıyla yapmaktadır. Örneğin pek çok ülke fotovoltaik teknolojiden elektrik üretimi hususunda teşvik edici ortamlar oluşturulması konusunda oldukça başarılı olmuş ve güneş gözelerinden elektrik üretiminde ulusal sınırları içerisinde merkezi santrallerden pek çok evin çatısına varıncaya kadar çok çeşitli uygulama alanlarına bu teknolojileri hızla ve başarılı bir biçimde yaygınlaştırmışlardır. Almanya, İspanya, Japonya gibi devletler bu konularda oldukça başarılı işler ortaya koymuşlardır. Almanya bu teknoloji ile elektrik enerjisi üretiminde 1994-2010 yılları arasında açık ara lider olmuştur. Şebekeye bağlı fotovoltaik teknolojiyle elektrik üretiminde 9,8 GW'lık kurulu kapasite ile dünya genelinde %47'lik bir payla birinci sırada yer almıştır. İspanya 3,4 GW ile ikinci sırada Japonya ise 2,6 GW kurulu kapasite ile üçüncü sırada yer almıştır. 2009 yılı sonunda dünya genelinde şebekeye bağlı çalışan fotovoltaik teknoloji kurulu kapasitesi 21 GW'dır. 2009 yılında bu sektöre en çok yatırım yapan ülkeler ise sırasıyla Almanya (3,8 GW), İtalya (1 GW), Japonya (0,48 GW) ve Amerika Birleşik Devletleri (0,43 GW) olmuştur [1]. 2009 yılı sonunda dünya genelindeki şebekeye bağlı çalışan fotovoltaik teknolojilerin ülkelere göre kurulu güç kapasiteleri Şekil 1'de gösterilmiştir [1].



Şekil 1. Fotovoltaik sistemlerin 2009 yılı sonunda dünya üzerindeki kurulu kapasitesi. (Existing global solar PV capacity, 2009.)

Ülkemizde ise 2010 yılı aralık ayı içerisinde, 2005 yılında çıkartılan “yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun” da değişiklik yapılmasına dair yeniden düzenleme yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan düzenleme ile güneş enerjisinden elektrik üretiminde,

üretilecek elektrik enerjisinin alım fiyatı 13,3 ABD Doları cent/kWh olarak belirlenmiştir (Kanun No. 6094, Kabul Tarihi: 29/12/2010). Bu alım fiyatına ilaveten, yerli üretim ekipmanları içeren tesislerde üretilen elektrik enerjisi için ilave fiyatlar eklenmiştir [2]. Ancak yapılan tüm bu düzenlemeler ile ortaya çıkan yeni durum, ülkemizde evlerin çatısında veya işyerlerinin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla çatılarına veya merkezi bir noktaya kuracakları fotovoltaik sistem ile ürettikleri elektrik enerjisinin ihtiyaç fazlasını ulusal şebekeye satmak için yeterli cazibeye sahip değildir. Tarımsal amaçlı sulama için kurulan basınçlı sulama sistemlerine uygulanmakta olan çeşitli teşvik mekanizmaları mevcuttur. Ancak basınçlı sulama sistemlerini kurmak için ilk yatırım maliyetinden ziyade bu sistemlerin işletilmesi için harcanması gereken miktar ülkemiz şartlarında dizel jeneratörlü çalışma durumlarında oldukça yüksek olmaktadır. Bu durumda mevcut olan basınçlı sulama teşvik mekanizmaları çiftçiye destek anlamında çok fazla etkili olamamaktadır. Bu olumsuz durumun ortadan kaldırılabilmesi için, basınçlı sulama sistemlerinde kullanılan enerjinin güneş enerjisinden karşılandığı durumlarda fotovoltaik teknoloji ilk yatırım maliyetinin de teşvik kapsamına alınması doğru ve gerekli bir uygulama olacaktır.

Bu çalışmada, Türkiye için basınçlı sulama sistemlerinde fotovoltaik teknolojinin kullanımı durumunda ortaya çıkan sonuçlar farklı tarımsal bölgeler için incelenmiştir. Fotovoltaik teknoloji ile tarımsal sulama için incelenen bölgelerden en uygun olanı belirlenmeye çalışılmış ve bu bölge için farklı yüksekliklerde pompalanabilecek su miktarları aylık ve yıllık bazda incelenmiştir. Optimum toplam dinamik yükseklik belirlenmeye çalışılmış ve bu değer dizel jeneratör ile yapılan tarımsal sulamaya olan avantajları belirlenmeye çalışılmıştır. Son olarak optimum yükseklik için ömür maliyet analizi yapılmıştır.

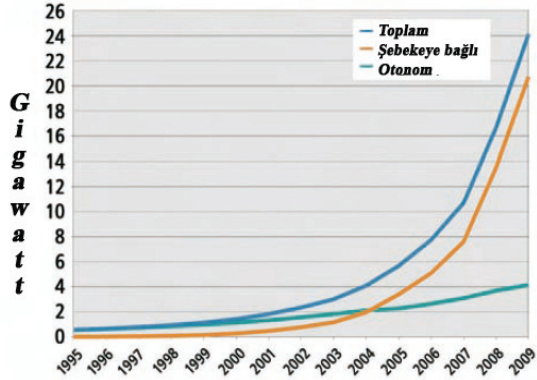
2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1 MATERYAL (MATERIAL)

2.1.1 GÜNEŞ ENERJİSİ, FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİ VE TÜRKİYE (SOLAR ENERGY, PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY AND TURKEY)

Uzun yıllara ait meteorolojik gözlemlerin ortalaması alınarak bulunan Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2640 saat olup (günlük toplam 7,2 saat), maksimum değer 362 saat ile Temmuz ayında ve minimum değer 98 saat ile aralık ayında gerçekleşmektedir. Ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [3]. Ancak Türkiye'de bu güneş enerjisi potansiyelinden sadece sıcak su eldesinde etkin bir biçimde faydalanılmaktadır. Türkiye güneş enerjisinden sıcak su eldesinde dünya genelinde üçüncü sırada yer almaktadır. İlk sırada 105 GWth ile Çin, ikinci sırada

18,3 GWth ile Avrupa Birliği ülkelerinin tamamı ve üçüncü sırada 7,5 GWth ile Türkiye yer almaktadır. Güneş enerjisinden sıcak su üretiminde dünya geneli toplam değer ise 149 GWth' dir [1]. Fotovoltaik teknoloji ile elektrik üretimi dünya kurulu güç kapasitesinin uygulama türüne ve yıllara göre (1995 – 2009) değişimi Şekil 2' de verilmiştir [1].



Şekil 2. Dünya genelinde 1995-2009 yılları arasında fotovoltaik teknoloji kurulu gücü. (Solar PV existing world capacity 1995-2009.)

1995 yılı sonunda dünya genelinde fotovoltaik teknolojiye dayalı elektrik enerjisi üretimi kurulu gücü yaklaşık 0,5 GW olup bu rakamın tamamı otonom uygulamalardan oluşmaktaydı. Bu yıla kadar şebekeye bağlı sistemlerin uygulaması teknik ve yasal eksiklikler sebebiyle yapılamamaktaydı. Bu değer 2004 yılına gelindiğinde ise dünya genelinde 4 GW değerine ulaşmış ve şebekeye bağlı çalışan tesis kurulu gücü 2 GW, otonom çalışan sistemlerin kurulu gücü de 2 GW'a ulaşmıştır. 2009 yılı sonuna gelindiğinde ise dünya geneli toplam kurulu kapasite 24 GW'a ulaşmıştır. Bu değer yaklaşık 21 GW'lık bölümünü şebekeye bağlı sistemler oluşturmaktadır.

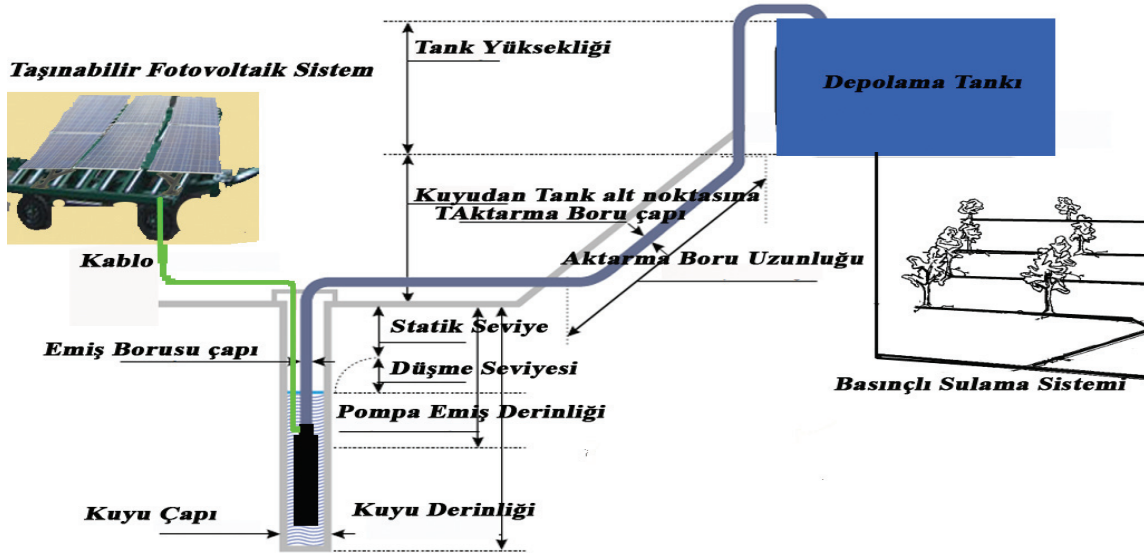
Türkiye'de ise 2010 yılı sonuna gelindiğinde şebekeye bağlı olarak elektrik üreten tesis bulunmamaktadır. 2010 yılı sonuna yapılan yasal düzenleme de bu durumun değişmesinde çok etkili olacak gibi gözükmemektedir. Bunun sebebi olarak da üretilen elektrik enerjisinin ulusal şebekeye aktarılmasında elde edilecek olan değer oldukça düşük kalmasıdır. Ülkemizin güneş enerjisi bakımından zengin bir potansiyele sahip olduğu doğru olmakla birlikte ülkemizde fotovoltaik teknoloji kurulumu halen daha oldukça pahalı gözükmekte bu durum sistemden üretilen elektrik enerjisinin değerinin oldukça düşük olmasına yol açmaktadır. Türkiye şartlarında fotovoltaik teknolojiyle elektrik enerjisi üretiminde kullanılmak üzere satın alınan güneş gözelerine ödenen watt başına maliyet kaliteli panellerde yaklaşık 3 Euro, daha düşük kaliteli panellerde ise 1,5-2 Euro civarındadır. Özellikle otonom sistemlerde toplam kurulum maliyetinin %30'unu oluşturan akülerin fiyatları da oldukça yüksek seyretmektedir. Uygulamaların yaygınlaşmaması neticesinde bu ürünlerin fiyatları bir türlü aşağı doğru bir düşüş yaşamamaktadır. Bu

uygulamaların her alanda yaygınlaşabilmesi ve maliyetlerinin aşağılara çekilebilmesi için devlet desteğinin özellikle ilk 10 yıllık süreçte tatminkâr seviyede olması gerektiği aşikârdır.

Türkiye'de her kesimde olduğu gibi tarım kesiminde de güneş enerjili sulama sistemlerinin devlet tarafından teşvikine yönelik beklentiler mevcut olup her geçen gün bu beklentiler artmaktadır.

2.1.2 TARIMSAL SULAMA VE GÜNEŞ GÖZELERİ (AGRICULTURAL IRRIGATION AND SOLAR CELLS)

Tarımsal sulamada artan yakıt giderlerinin çiftçinin kazancını oldukça düşürdüğü bilinmektedir. Bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak için fotovoltaik teknoloji ile tarımsal sulamanın uygulamalarının çiftçilere tanıtılması ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bunun için güneş enerjisi ile sulamanın mutlaka teşvik kapsamında olması gerekmektedir. Fotovoltaik teknoloji ile tarımsal sulama sistemlerinin kabiliyetleri, düzenlenecek eğitim ve seminerler ile bölge bölge hatta köy köy gezilerek çiftçilere anlatılmalıdır. Günümüz şartlarında 10 dekar bir meyve bahçesinin (Elma, şeftali, vb.) basınçlı sulama sistemi ile su tasarrufu yapacak biçimde sulanabilmesi için bir yıllık harcanması gereken yakıt miktarına ödenecek tutar yaklaşık 800 – 900 TL civarındadır. Bu değerler oldukça yüksek olup çiftçiyi zor durumda bırakmaktadır. Özellikle son 20 yılda fotovoltaik pompalar otonom sistemlerle uygun olarak çalışabilecek şekilde oldukça yaygınlaşmıştır [4]. Güneş gözeleri ile tarımsal sulama yapılması avantajlı durumları da beraberinde getirmektedir. Özellikle yüzeyden (nehir, göl, kanal, vb.) pompalama sistemleri oldukça ekonomik çözümler olarak gözükmektedir. Ancak bu teknolojinin tarımsal sulamada yaygınlaşmasını engelleyen en büyük etken derin kuyu uygulamalarında toplam dinamik yüksekliğe göre pompalanan su miktarının değişmesidir. Dizel sistemlere nazaran fotovoltaik teknolojinin optimum çözümler sunabildiği toplam dinamik yükseklikler oldukça düşüktür. Fotovoltaik sistemler ile 150 metreden dahi su çekilebilmektedir ancak tarımsal sulama için bu yükseklikten çekilecek su miktarı oldukça düşük kalmaktadır. Tarımsal sulamada daha derin noktalardan yeterli miktarda su çekebilmek amacıyla daha fazla kuyu açılması ve daha fazla fotovoltaik sistemin kurulması gerekmektedir. Bu durum ise zaten teşvik kapsamında olmayan kurulum maliyetini oldukça artırmaktadır. Kısaca derin kuyudan su temini için 20 – 30 metreden daha fazla bir dinamik yükseklikte fotovoltaik sistemler henüz yeterli kabiliyete sahip değildir. Ancak Türkiye'de tarım yapılan araziler incelendiğinde çok büyük bir bölümde DSİ tarafından işletilen kanaletlerden, akarsulardan veya göletlerden faydalanılmakta ve özellikle son yıllarda devletin de büyük destekleri ile basınçlı sulama sistemi



Şekil 3. Fotovoltaik destekli sulama sistemi. (Photovoltaic irrigation system.)

uygulanmaktadır. Dolayısıyla mevcut bu sulama sistemlerine fotovoltaik teknolojilerin uygulanması oldukça kolay ve ekonomik çözümler olarak ortaya çıkmaktadır. Damla sulama sistemlerinde taşıma ve buharlaşma kayıplarının önlenmesi ile su verimi %90'lara kadar çıkabilmektedir [5].

2.2 METOT (METHOD)

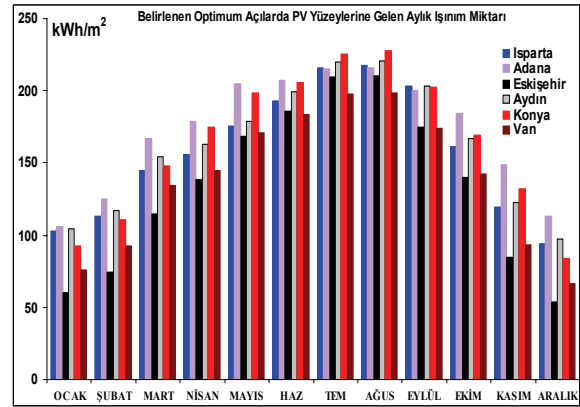
2.2.1 MODELLEME VE SİMÜLASYON (MODELING AND SIMULATION)

Durum 1

Fotovoltaik sistem destekli tarımsal sulama için örnek uygulama resmi (derin kuyu uygulaması) Şekil 3'te görülmektedir. Sistem mobil fotovoltaik ünite, pompa, depolama tankı, boru ve bağlantı ekipmanları ile basınçlı sulama sistemi ekipmanlarından oluşur. Fotovoltaik kurulu gücü 1000Wp için aşağıda belirtilen hesaplamalar ve analizler teorik olarak yapılmıştır. Bu yöntemde akülerde enerji depolaması olmayacağı varsayılmıştır. Pompa ekipmanı olarak "Solar Pump" olarak adlandırılan güneş enerjisi uygulamaları için özel üretilen pompalar seçilmiştir. Bu pompaların özelliği düşük enerji tüketimi ile ekonomik çözümler sunabilmeleridir.

Ülke ekonomisine önemli ekonomik getirileri olan (Patates, soğan, pamuk, buğday, vb.) belirli ürünler ile ihracatı yapılan (Elma, kiraz, incir, vb.) ülkemiz açısından son derece önemli olan diğer tarım ürünlerinin yetiştirildiği altı farklı bölge için simülasyonlar yapılmıştır. Bu bölgeler Eskişehir, Isparta, Adana, Aydın, Konya ve Van olarak belirlenmiştir. İlk olarak bu bölgeler için mevcut güneş enerjisi potansiyelleri analiz edilmiştir. Yukarıda sayılan bölgelere ait güneş enerjisi potansiyelleri tüm bir yılı içerisinde alacak şekilde optimize edilmiş eğimli yüzeylere gelen güneş enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Bunun için sırasıyla Isparta, Adana, Aydın, Eskişehir, Konya, Van için hesaplamalar neticesinde elde edilen yatayla

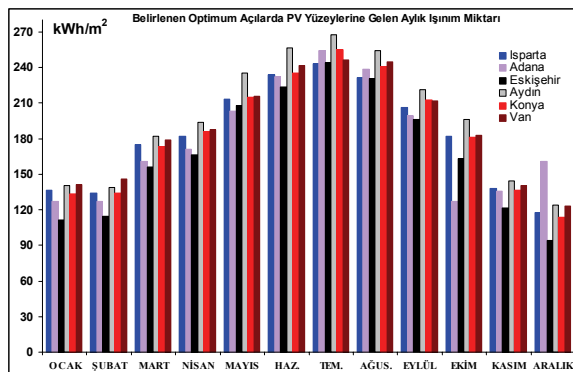
yapılması gereken optimum açı değerleri sırasıyla 33°, 32,5°, 33,5°, 33°, 33,4°, 34,3° olup bölgenin enlem derecesinin 0,9 ile çarpılmaları sonucunda [6-10] elde edilmişlerdir.



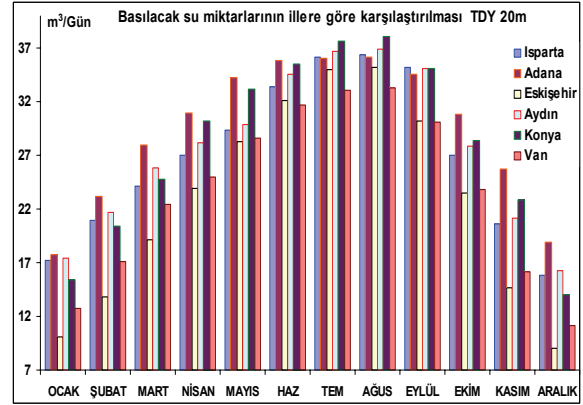
Şekil 4. Belirlenen bölgeler için elde edilmiş eğim açılarında gelen güneş enerjisi miktarları. (Amount of solar energy for tilt angles in different regions.)

Bu bölgeler için belirlenen açı değerlerinde yüzeylerine gelebilecek yıllık güneş enerjisi miktarları hesaplanmış ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Belirlenen bu bölgeler için yaz ve kış dönemlerine optimum uyumun sağlanabilmesi için Nisan ve Ekim aylarında fotovoltaik modüllerin yatayla olan açılarının değiştirilmesi gerekmektedir. Manuel olarak yapılacak olan bu değişiklikler için her bölgenin yaz ve kış peryotları göz önüne alınarak farklı açılar elde edilmiştir. Bu sistemlerde anlık olarak güneşin izlenmesi için elektronik olarak son derece kolay ve ekonomik çözümler sunulmaktadır. Ancak sulama sistemlerinde fotovoltaik modüllerin ve sistemin mobil olması gerektiği düşünülürse, bir sulama bölgesinde sulama işlemi tamamlandığında diğer sulama bölgesine (örneğin kiraz bahçesinden diğer kiraz bahçesine veya herhangi bir meyve bahçesine) taşınması gerekir. Bu işlem gerektiğinde her gün veya sistemin kapasitesine bağlı olarak 2-3 günde bir

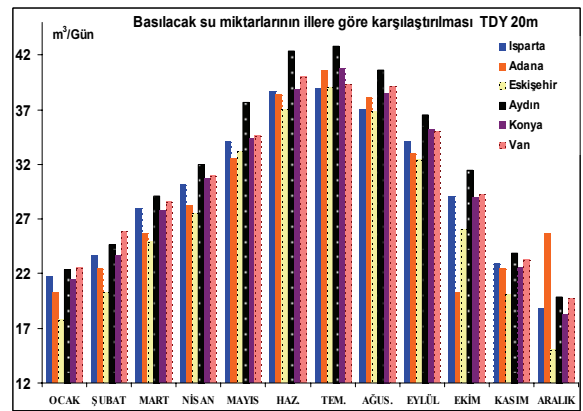
gerçekleştirilir. Bu durumda taşıma esnasında güneş izleme ekipmanlarının zarar görme olasılığı oldukça yüksektir. Bunun yerine sadece yaz kış ayarı yaparak modüllerin açısı mekanik olarak el ile değiştirilebilir. Bu işlem sadece nisan ve ekim aylarında (bölgenin coğrafi şartlarına göre) yılda iki kez yapılabilir. Örneğin aydın ili için Nisan ayında 15 derece, Ekim ayında 52 derece yatay açısı ayarlanabilir. Bu sayede eğimli panel yüzeylerine gelen güneş enerjisi Nisan ayından Ekim ayına kadar olan sürede 15 derece ile 33,5 dereceye göre daha büyük olacaktır. Aynı şekilde Ekim ayından Nisan ayına kadar olan sürede 52 derece ile 33,5 dereceye göre daha büyük olacaktır. Sistemin herhangi bir römork üzerine veya bir hareketli kaide üzerine monte edildiği düşünülürse, hem taşınabilir olan sistem hem de yaz kış açılarının ilaveten birde sabah ve öğleden sonra olan azimuth açısı değerleri de değiştirilebilir hale gelir. Örneğin mobil sistem, sabah saatlerinde sistem güney doğuya, akşamüzeri ise güney batıya doğru yönlendirilebilir. Uygulaması son derece kolay olan bu işlemler ile elde dillecek elektrik enerjisi miktarı yaklaşık olarak %10-%20 civarında artırılmış olur. Fotovoltaik modüllerin %12-%15 verimle [11, 12] çalıştığı gerçeği göz önüne alındığında bahsi geçen verim artışları oldukça önem kazanmaktadır. Sadece yaz kış ayarı yapılarak elde edilebilecek güneş enerjisi miktarları Şekil 5'te verilmiştir. Burada Isparta için açısı değerleri Deriş'e (1979) göre nisan ve ekim aylarında sırasıyla 15 derece ve 52 derece olarak belirlenmiştir. Bu açısı değerleri Adana, Aydın, Eskişehir, Konya, Van için sırasıyla; $14^\circ - 51^\circ$, $15^\circ - 52^\circ$, $16^\circ - 53^\circ$, $15^\circ - 52^\circ$, $16^\circ - 53^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Fotovoltaik sistemlerin sulama amaçlı boyutlandırılmasına yönelik çeşitli çalışmalar mevcuttur [13-15]. Bu çalışmalar fotovoltaik sistemin her bir bileşeninin çalışmasının simülasyonu üzerinedir. Fotovoltaik sistemlerin hidrolik enerji ve güneş ışınımına göre boyutlandırılması yapılmıştır [4]. Yukarıda verilen ışınım değerlerine göre 20 metre toplam dinamik yükseklik için pompalanabilecek toplam su miktarlarının sulama bölgelerine göre değişimleri Şekil 6'da yıllık optimum verim için gerekli olan açısı değerine göre, Şekil 7'de ise yaz kış açısı ayarlaması yapıldığı duruma göre verilmiştir.



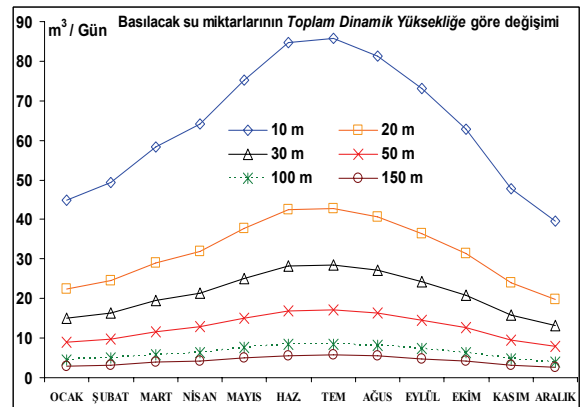
Şekil 5. Yaz kış modül açıları optimize edilmiş yüzeylere gelen ışınım değerleri. (Solar radiation values for optimized surfaces by summer and winter modul angles.)



Şekil 6. Yıllık optimum verim durumunda basılabilecek su miktarlarının değişimi. (Amount of water to be pumped for annual optimum efficiency)



Şekil 7. Yaz - Kış optimum verim durumunda basılabilecek su miktarlarının değişimi. (Amount of water to be pumped for summer-winter optimum efficiency)



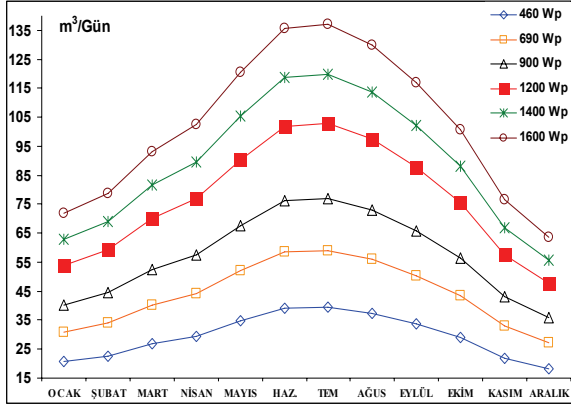
Şekil 8. Aydın için farklı dinamik yüksekliklerde aylık pompalanabilecek su miktarları. (Amount of water to be pumped at different heights for Aydın monthly.)

Sistemin 20 m toplam dinamik yükseklik için seçilen altı farklı bölgede özellikle de Aydın, Adana ve Konya için oldukça uygun olduğu görülmektedir. Toplam dinamik yükseklik (TDY) değerleri 5 metreden 150 metreye kadar değiştirilecek olursa basılabilecek su miktarlarının yüksekliğe bağlı olarak değişeceği aşikardır. Bu durum sadece bir bölge seçilerek incelenmiştir. Aydın ili için farklı dinamik

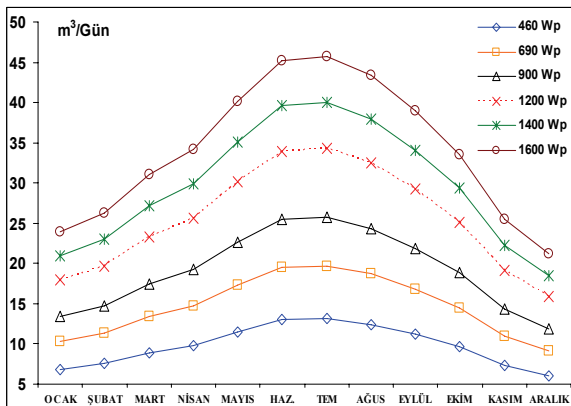
yüksekliklerde elde edilecek su miktarı değerleri Şekil 8'de gösterilmiştir.

Durum 2

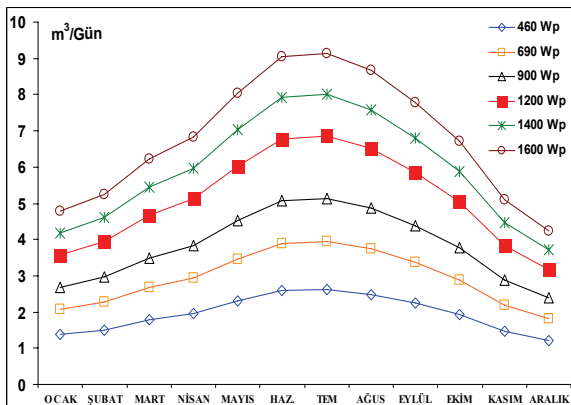
Aydın ili için 10m, 20m, 30m, 50m, 100m ve 150m dinamik yükseklik değerleri için farklı fotovoltaik kurulu kapasitelerine göre teorik olarak basılabilecek su miktarları analiz edilecektir.



Şekil 9. TDY 10 m için farklı kurulu güç değerlerine göre pompalanabilecek su miktarı. (Amount of water to be pumped by different PV systems for 10m total pumping head.)

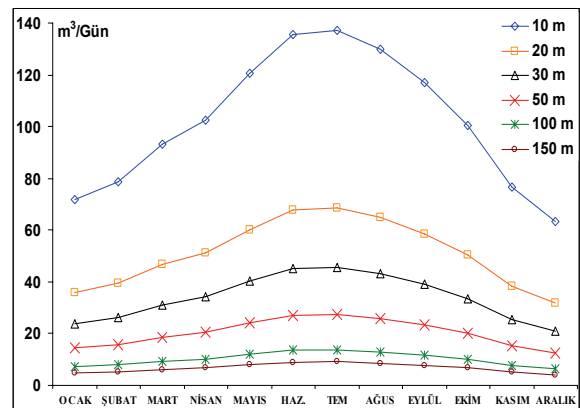


Şekil 10. TDY 30 m için farklı kurulu güç değerlerine göre pompalanabilecek su miktarı. (Amount of water to be pumped by different PV systems for 30m total pumping head.)



Şekil 11. TDY 150 m için farklı kurulu güç değerlerine göre pompalanabilecek su miktarı. (Amount of water to be pumped by different PV systems for 150m total pumping head.)

Bu yöntemde de akülerde enerji depolaması olmayacağı varsayılmıştır. Bahsi geçen dinamik yükseklikler için 460Wp, 690Wp, 900Wp, 1200Wp, 1400Wp ve 1600Wp kurulu fotovoltaik kapasitelerinde elde edilecek su miktarı değerleri mesafeye ve fotovoltaik kapasiteye bağlı olarak oldukça değişkendir. Kurulu güç ve dinamik yükseklik değişimleri sadece 10 m, 30 m ve 150 m için Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11'de gösterilmiştir. Şekil 9 ve Şekil 11'den de açıkça görüldüğü gibi 10 m dinamik yükseklik için seçilen en küçük kurulu güç değeri olan 460Wp ile Temmuz ayında günlük olarak yaklaşık 35 ton su çıkartılabilecek maksimum su miktarı 1600Wp kurulu güç ile yaklaşık 9 ton/gün olmaktadır. Şekil 8 analiz edildiğinde ortaya çıkan sonuçlardan en önemlisi dinamik yükseklik değerinin 20 veya 30 metreden daha fazla olduğu durumlarda tarımsal sulama için fotovoltaik sulama sistem maliyetlerinin oldukça artacağı görülmektedir. Şekil 11'deki 150 m eğrileri incelendiğinde görülmektedir ki elde edilebilecek günlük su miktarları tarımsal sulamada uygulamanın yerine ve türüne de bağlı olmak üzere oldukça verimsizdir. Elde edilebilecek maksimum su değerinin 9 m³ olduğu 1600Wp kurulu güç değerinde 150 metre derinlik için bu su miktarı oldukça yetersizdir. Örneğin 5 dekar bir elma bahçesi için basınçlı damla sulama sisteminde günlük su ihtiyacı Isparta şartlarında yaklaşık olarak 50 m³ olup 5 günde bir sulama yapılması uygun düşmektedir. 150 metre dinamik yükseklikten elde edilebilecek 9 m³ su değeri 4 gün boyunca depolansa ve beşinci gün hem depolama hem sulama işlemi uygulansa dahi gerekli su miktarını karşılayamamaktadır. Dinamik yükseklik 30 metre olduğu durumda 1600Wp kurulu fotovoltaik gücü ile Temmuz ayında yaklaşık 46 m³ su pompalanabilmektedir. 20 metre için bu değer yaklaşık olarak 70 m³/gün olmaktadır.

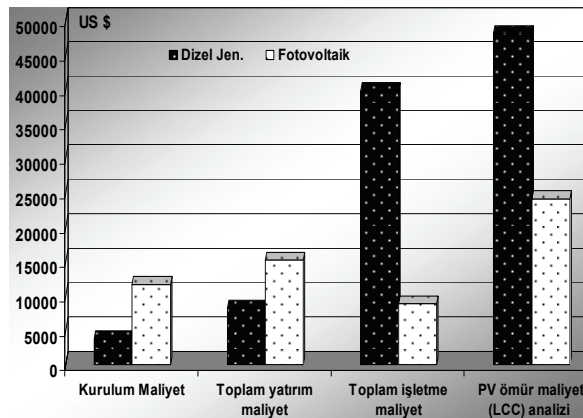


Şekil 12. 1600Wp ile farklı yüksekliklerde elde edilebilecek su miktarları. (Amount of water to be pumped by 1600W PV system at different heights.)

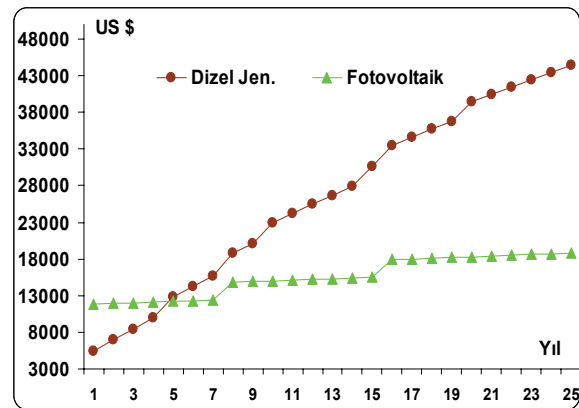
2.2.2 EKONOMİK ANALİZ(ECONOMIC ANALYSIS)

Fotovoltaik destekli tarımsal sulama sistemi için 10m ila 30m arasındaki toplam dinamik yüksekliklerde

verimli olarak çalışabileceği ve tarımsal sulamada istenilen su miktarlarını ekonomik ve verimli olarak sağlayabileceği görülmektedir. 30 metre yükseklik için fotovoltaik sistem ve dizel jeneratörlü sistem için ömür maliyet (LCC) analizi yapılmıştır. Sistem 365 gün boyunca kullanılacak olarak düşünülmüştür. Fotovoltaik kurulu güç kapasitesi ise 1600Wp olup Watt başına modül birim maliyeti 4\$ alınmıştır. Dizel jeneratör çalışma durumu için kullanılacak olan yakıtın birim fiyatı ise 2\$ alınmıştır. Bu değer dünyanın en pahalı akaryakıt fiyatlarından biridir. Ömür maliyet analizi fotovoltaik modüllerin ömürleri temel alınarak 25 yıl için yapılmıştır. Hem dizel hem de fotovoltaik sistem ile uygulamada pompa veya motor yenileme süreleri 8 yıl alınmıştır. Pompa olarak seçilen güneş enerjisi uygulamalarına özel olan ürünlerin en büyük avantajı daha düşük enerji gereksinimleri ile çalışabilmeleridir. Dizel jeneratör için yenileme süresi 5 yıl alınmıştır [16]. Tüm ödemenin taksitlendirilmeden ya da kredilendirme desteği olmadan ilk yıl yapıldığı varsayılmış ve indirim oranı %8 alınmıştır. İşletme ve bakım maliyetleri %10 olarak belirlenmiştir. Dizel jeneratörün fotovoltaik sistemin bir günde yapacağı işe eşit iş yapması için günlük 2 saat yaklaşık 2 litre yakıt harcaması gerektiği hesaplanmıştır.



Şekil 13. Ömür maliyet (LCC) analizi. (LCC analysis.)



Şekil 14. Yıllara Göre Dizel ve Fotovoltaik sistemlerin maliyet karşılaştırması. (Total costs comparison of a PV system and Diesel Generator system year by year.)

Fotovoltaik sistemin dizel sisteme olan yatırım oranı tasarrufu (SIR) yaklaşık %4,6 olarak hesaplanmıştır. İlk kurulum maliyeti oldukça düşük olan dizel sistem yaklaşık 6 yıl sonra fotovoltaik sistemi maliyet bakımından geçmekte ve her geçen yıl çok daha maliyetli hale gelmektedir. Dizel jeneratörlü sistemin işletme maliyeti fotovoltaik sisteme göre yaklaşık olarak 4,5 kat daha fazla olduğu da Şekil 13'de görülmektedir.

3. SONUÇ (CONCLUSION)

Ülkemizde 2006 yılından sonra uygulanmaya başlanan Kırsal Kalkınma Yatırımlarının Desteklenmesi Programı kapsamında uygulaması hızla artan basınçlı sulama sistemleri ile yurt genelinde dikkate değer oranlarda su tasarrufu sağlanmıştır. Ancak bu destekleme programı enerji tasarrufunu amaçlamamaktadır. Güneş enerjili tarımsal sulama sistemlerinin yaygınlaşmamasının ve ekonomikleşmemesinin sebeplerinden bir tanesi de Kırsal Kalkınma Yatırımlarının Desteklenmesi Programı kapsamına fotovoltaik sistemlerin alınmamasıdır.

Bu çalışmada yapılan analizler bu kapsamda fotovoltaik sistemlerin destek kapsamına alınmadığı güncel şartlar temel alınarak yapılmıştır. Bu şartlar altında güneş enerjili tarımsal sulama sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri dizel sistemlere göre yüksektir. Ancak güneş enerjili tarımsal sulama sistemlerinin işletme ve bakım maliyetleri oldukça düşük olup yakıt maliyetleri sıfırdır. 30 metre için yapılan maliyet analizi göstermiştir ki yaklaşık 6 yıl gibi bir sürede sistem kendisini dizel sisteme göre daha avantajlı hale getirmektedir. Mevcut mevzuatlar çerçevesinde 10m, 20m ve 30m gibi düşük dinamik yükseklik değerleri için güneş enerjili sulama sistemleri oldukça ekonomik ve çevreci çözümler sunmaktadır. Ancak dinamik yükseklik değerleri arttıkça güneş enerjili sulama sistem çözümleri sadece çevreci olmakta ve ekonomikliğini kaybetmektedir. Basınçlı sulama sistemlerinde güneş enerjisi sistemlerinin de destek kapsamına alınması neticesinde daha büyük dinamik yüksekliklerde de ekonomik ve çevreci çözümler ortaya çıkarılabilir.

Çalışmada incelenen sistemin taşınabilir olması ayrıca önemlidir. Sistem hem birden fazla noktada aynı sulama döneminde hizmet verebilir hem de sulama sezonunun olmadığı dönemlerde kişisel enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kullanılabilir. Özellikle akaryakıt fiyatlarının dünya standartlarından çok üstte olduğu ülkemizde, tarımsal sulama için oldukça yüksek bütçeler ayrılmaktadır. Bu durum akaryakıt sektöründe dışa bağımlı olan ülkemiz için hem ekonomik açıdan hem de sürdürülebilir bir dünya açısından oldukça olumsuz durumları ortaya çıkarmaktadır. Sürdürülebilir çevre açısından son

derece önemli olan yenilebilir enerji kaynaklarının kullanımı, hükümetler tarafından daha fazla desteklenmesi neticesinde yaygınlaşacaktır. Bu yeni teknolojilerin hem daha düşük maliyetlere kurulabilmesi hem de tüm toplum tabanına yaygınlaşabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılacağı her uygulama alanına destek verilmesi büyük bir önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR (References)

1. **Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**, El-Ashry, M., *Renewables 2010 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat) 2010.
2. **Resmi gazete**, 08.01.2011 Tarihli ve 27809 Sayılı <http://www.resmigazete.gov.tr>
3. **Elektrik İşleri Etüd İdaresi**, 2011, <http://www.eie.gov.tr/turkce/yek/gunes/tgues.html> erişim 08.02.2011
4. Bouzidi, B., Haddadi, M., Belmokhtar, O., “Assessment of a Photovoltaic Pumping System in the Areas of the Algerian Sahara”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 13, 879–886, 2009.
5. **LORENTZ**, 2010, Solar Drip Irrigation, www.lorentz.de
6. Tırıs, M., Tırıs, Ç., Erdallı, Y., “**Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri**”, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, 1997.
7. Kılıç, A. ve Öztürk, A., “**Güneş Enerjisi**”, Kipaş Dağıtımçılık, S.331, İstanbul, 1983.
8. Deriş, N., “**Güneş Enerjisi Sıcak Su İle Isıtma Tekniği**”, Sermet matbaası, İstanbul, 1979.
9. Kacira, M., Şimşek, M., Babur, Y., Demirkol, S., “Determining Optimum Tilt Angles And Orientations Of Photovoltaics Panels in Sanlıurfa, Turkey”, **Renewable Energy**, 29, 1265-1275, 2004.
10. Güven, Ş.Y., Şenol, R., “Güneş Pili Destekli Çevre Aydınlatma ve Sulama Sisteminin Örnek Bir Uygulaması”, **Mühendis ve Makine**, Cilt: 46 Say: 548, Eylül 2005.
11. RETSCREEN, “**Photovoltaic project analysis. Clean Energy Project Analysis: RetScreen® Engineering & Cases Textbook**”, RETScreen® International Clean Energy Decision Support Centre, www.retscreen.net, 2010.
12. **ITS**, 2010. Product catalogue, www.innotechsolar.com, Innotech Solar AS.
13. Hadj-Arab, A., Chenlo, F., Benghanem M., “Loss-of-load Probability of Photovoltaic Pumping Systems”, **Solar Energy**; 76:713–23, 2004.
14. Hadj-Arab, A., Chenlo, F., Mukadam, K., Balenzategui, J.L., “Performance of PV Water Pumping Systems”, **Renew Energy**, 18:191–204, 1999.
15. Hamidat, A., “Simulation of the performance and Cost Calculations of the Surface Pump”, **Renew Energy**, 18:383–92, 1999.
16. Meah, K., Ula, S., Barrett, S., “Solar photovoltaic water pumping-opportunities and challenges”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 12, 1162–1175, 2008.