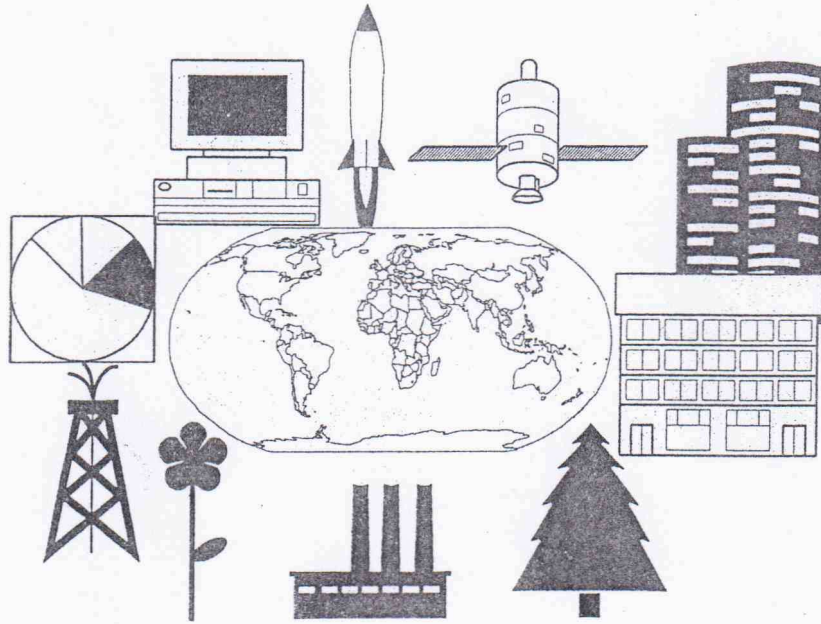


T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

*Harran University  
Faculty of Engineering*

**3.GAP MÜHENDİSLİK KONGRESİ  
BİLDİRİLER KİTABI**

*Proceedings of the Third GAP Engineering Congress*



**Derleyenler**

*Edited by*

**Bülent Yeşilata & Fatih Alagöz**

**24-26 Mayıs 2000**

*24-26 May 2000*

Harran Üniversitesi Basımevi  
Harran University Press  
Şanlıurfa

FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLİ SU POMPALARININ DİZAYN  
ESASLARININ ARAŞTIRILMASI

Bülent YEŞİLATA ve M.Azmi AKTACİR

Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

**Özet :** Bu çalışmada, fotovoltaik (PV) güç sistemli su pompalarının dizayn esasları incelenmiş ve sistem bileşenlerinin kolaylıkla seçimine katkıda bulunacak bir yöntem takip edilerek tasarım grafikleri (abakları) oluşturulmuştur. Bu grafikler yardımıyla sistem için gerekli fotovoltaik güneş paneli seçimi pratik olarak yapılabilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Fotovoltaik, güneş pilleri, su pompaları.

INVESTIGATION OF DESIGN CONSIDERATIONS FOR PHOTOVOLTAIC  
WATER PUMPING SYSTEMS

**Abstract:** In this study, design considerations for photovoltaic (PV) water pumping systems is examined. Nomographs that provide easy selection of the systems components are obtained by following basic steps in designing. The selection of PV panel required is also very practical task with the aid of these nomographs.

**Key Words:** Photovoltaic power, PV, solar water pumping

## 1. GİRİŞ

Güneş ışınlarının direkt olarak elektriksel güce dönüştürülebildiği fotovoltaik (PV) sistemlerin kullanımı son çeyrek asırda önemli derecede artmıştır. Bu artışta en etkili faktör bu tür sistemlerin çalışma prensibini oluşturan yarı-iletken malzemelerin üretim teknolojisinde son yıllarda ulaşılan gelişmelerdir. Bu gelişmeler doğrultusunda günümüzde PV sistemler uzun yıllar öncesine kıyasla daha düşük maliyet ve çok daha yüksek verimle çalışabilmektedir. Örneğin, ilk kullanılan PV sistemlerde yüzey üzerine ulaşan güneş ışınını %1-%2 mertebesinde bir verim ile elektrik enerjisine dönüştürülürken günümüzde bu oran %17 seviyesine varabilmektedir. Benzer şekilde önceleri sadece küçük pil hücrelerinin birleşmesi sonucu oluşturulan modüller bugün süper teknoloji ile tek parça olarak üretilmekte ve yaklaşık otuz yıl bakım gerektirmeksizin kullanılabilir [1]. Uzun ömürlü paneller vasıtasıyla kullanım yılı başına düşen maliyet, düşük seviyelerde kalabilmektedir.

PV sistemlerin yaygınlaşmasına engel teşkil eden bu dezavantajların çözümünde ulaşılan nokta henüz yeterli olmamakla birlikte, sistem sahip olduğu önemli avantajlar nedeniyle özellikle bazı spesifik uygulamalar için bugün en iyi enerji alternatifi olarak gündemdedir. Bir PV sisteminin ilk tercih sebebi tüm yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu gibi düşük işletme masraflarıdır. Bu durum enerji kaynağının bedelsiz temini, hareketli parçasının olmaması sebebiyle sık bakım istememesi ve çalışması esnasında personel gözetimine ihtiyaç duymamasıyla açıklanabilir [2]. PV sistemlerin diğer önemli avantajları arasında uzun dönem çalışma güvenilirliği ve performans kararlılığı,

istenilen boyut ve güç üretmeye olanak tanıyacak şekilde modüler olmaları, düşük montaj maliyetleri ile sistemin taşınabilir şekilde dizaynının mümkün olması gösterilebilir [3]. Günümüzde artık çok ciddi bir şekilde tedirginlik yaratmaya başlayan klasik enerji kaynaklarının yarattığı sera gazı emisyonları ve gürültü kirliliğine de bir çözüm teşkil etmesi sebebiyle, PV sistemlerin uygulama alanları giderek zenginleşmektedir [4]. Güneş enerjisi ile çalışan tüm sistemlerde yaşanan bazı temel problemlerin çözümü konusunda da PV sistemler için günümüzde çok önemli adımlar atılmıştır. Enerji kaynağının sürekli ve şiddetinin zamansal olarak homojen olmamasından kaynaklanan sorunların çözümü için değişik bileşen ve kombinasyona sahip PV sistemleri söz konusudur. Bu çözümler arasında PV sisteme enerji depolanması maksadıyla bir batarya düzeneğinin ilavesi, bir yedek jeneratör sisteminin kullanılması, sistemin ana elektrik hattıyla irtibatlı çalışması ya da elektrik üretebilen diğer sistemlerle (rüzgar türbini, hidroelektrik türbin) kombine bir sistem oluşturması gösterilebilir [5]. PV sistemlerinin yaygınlaşmış uygulamaları arasında basit sistemlere ek olarak günümüzde birçok kompleks sistemi de görmek mümkündür. Uzay araçları, uydu sistemleri, telefon sinyal istasyonları, meteoroloji istasyonlarının çalıştırılmasından, kırsal kesimlerdeki konut, bina, kampüs veya diğer yerleşim yerlerindeki konforlu yaşam için gerekli elektrik teminine kadar uzanan geniş bir sahada kullanılmaktadır [6].

Günümüzde, PV sistemlerin enerji kaynağı olarak en fazla tercih edildiği uygulamalar arasında su pompalama sistemleri bulunmaktadır [7]. PV güç sistemli su pompalama uygulaması özellikle şehir su ve elektrik şebekesine bağlı olmayan kırsal yörelerde kuyu veya kanallardan su temininde veya zirai amaçlı arazilerde sulama kanallarından araziye su dağıtımında ekonomik olarak kullanılabilir. Çünkü bu tür bölgelere yeni enerji hattının çekilmesi nedeniyle ortaya çıkan ilk yatırım maliyeti genellikle çok yüksek meblağlar oluşturmaktadır. Tarım arazileri gibi geniş alanlarda sabit enerji noktasından veya sulama kanallarından arazinin tüm bölgelerine su dağıtımını ekstra kablo düzeni gerektirmektedir. En önemlisi sulama döneminde tüketilen ve genellikle tükenmeye yüz tutmuş enerji kaynaklarıyla elde edilen elektrik enerjisi çok yüksek maliyetle kullanılmaktadır. Bu düşünceler ışığında, Amerika başta olmak üzere birçok gelişmiş ülkede sulu tarım ve hayvancılıkta PV sistemlerinin kullanımına son çeyrek asırda hızlı bir yönelme başlamıştır. Bu eğilim son on yılda gelişmekte olan ülkelere de (örneğin Meksika ve Güney Kore) yansımıştır. Amerika’da bulunan Enerji ve Güç Araştırma Enstitüsü (EPRI) 1990 yılı verileri, 15 eyalete dağılmış bulunan ve yıllık su tüketimi yılda yaklaşık 300 milyar litreyi bulan çiftliklerde, şebeke elektrik kullanımından PV sistemine hızlı bir geçişin olduğunu göstermektedir [8].

Sulama uygulamalarında tüketilen elektrik enerjisi tarıma dayalı ekonomik yapısı bulunan ülkemizde de çok ciddi seviyelerdedir. Tarım uygulamalarının yoğun olduğu yörelerde sulama amaçlı tüketilen elektrik enerjisinin toplam tüketim içerisindeki payı şehir merkezlerinde bile %20 ile %40 seviyeleri arasındadır. Bu duruma örnek teşkil etmesi nedeniyle, Şanlıurfa il merkezi 1997 yılı elektrik enerjisi tüketiminin sektörlere dağılımı Tablo 1’de verilmiştir [9]. Tablodan görüleceği üzere sulama uygulamaları için kayıtlı abone sayısı toplam abone sayısının sadece %3’ ünü oluşturmasına karşın; bu amaçla tüketilen enerji, toplam tüketimin %30’ unu oluşturmaktadır. Bu pay GAP projesinin bünyesinde bulunan diğer bazı illerde daha yüksek olup, ilçelerde %50’ nin üzerine çıkabilmektedir. Projenin tam devreye girmesiyle bu oran ciddi seviyede artacağından, PV destekli sulama uygulamalarına zaman kaybetmeden yönelmek gerektiği kaçınılmazdır.

Bu nedenle bu çalışmada PV güç sistemli su pompalarının dizayn esasları incelenmiş ve sistem bileşenlerinin kolaylıkla seçimine katkıda bulunacak bir yöntem takip edilerek tasarım grafikleri (abakları) oluşturulmuştur. Bu grafikler yardımıyla sistem için gerekli fotovoltaik güneş paneli seçimi pratik olarak yapılabilmektedir.

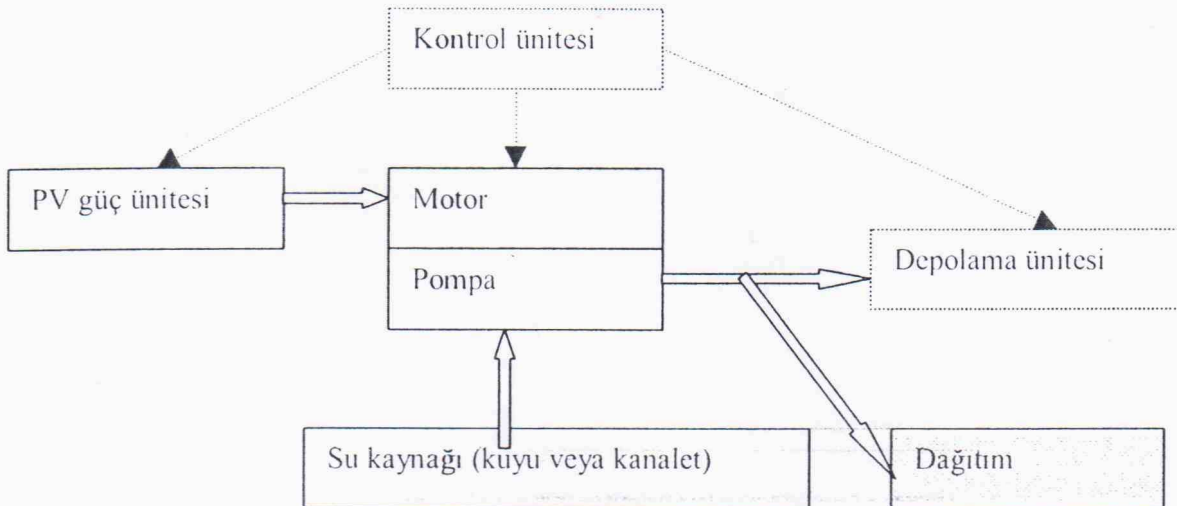
Tablo 1. Elektrik enerjisi tüketiminde sektörler bazında dağılımın Şanlıurfa il merkezindeki değerleri [9].

	Mesken	Ticaret	Resmi Daire	Sanayi	Sulama	Diğer
Abone sayısı	70958	14533	664	6727	2880	177
Tüketim (kWh)	75.883.549	71.868.795	74.061.227	123.178.878	207.195.682	158.134
Tüketim oranı(%)	11	10	10	17	30	22

## 2. PV POMPA SİSTEMİ VE TERCİH KRİTERLERİ

### 2.1. PV Sistem Elemanları

PV su pompalama sistemleri genel olarak diğer pompalama sistemlerine benzemekle birlikte çalışma verimlerini ve kararlılığını arttırmak açısından bazı ilave kontrol ve depolama ünitelerine ihtiyaç duyulabilir. Böyle bir sistemin elemanlarına ait blok diyagramı Şekil 1’ de gösterilmiştir. PV destekli sulama sisteminin oluşturulması için minimum gerekli elemanlar; PV panel, pompa ve motordur. PV pompa sistemleri için diğer su sirkülasyon sistemlerinde olduğu gibi farklı boyut ve özelliklerde pompa kullanımı mümkün olup uygulamada bu pompaları merkezkaç ya da pistonlu olmak üzere iki temel kategoride toplamak mümkündür. Her iki kategorideki pompalar ayrıca suya daldırılabilir (dalgıç tipi) ya da daldırılmaz olma konumuna göre sınıflandırılabilir. Uygulamanın türüne, günlük su ihtiyacı ve pompa hidrolik kayıplarına bağlı olarak seçilen pompa tipini, PV sistemlere özel olmak üzere, akuple olduğu motorun alternatif akım (AC) ya da doğru akım (DC) kaynaklı olması da etkiler.



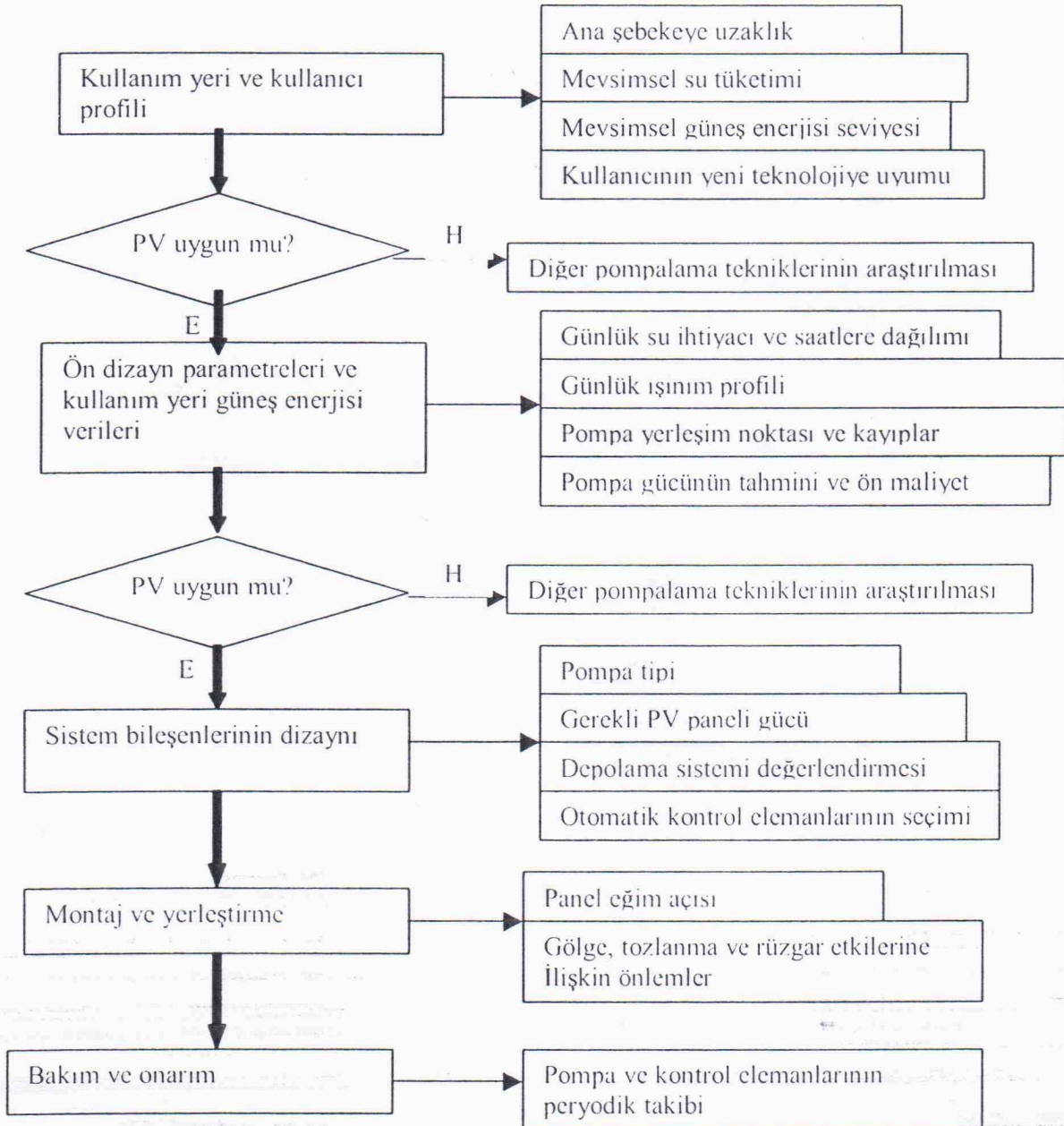
Şekil 1. PV pompa sistemi bileşenlerinin blok diyagramı.

Sistemde kontrol ünitesi; uygulamanın niteliğine bağlı olarak, PV panel güneş izleyici düzeneği, pompa yük düzenleyicileri, su seviye sensörleri içerebilir. Pompa yük düzenleyicileri, çevre sıcaklığı ve güneş ışınım şiddetiyle değişen PV panel güç çıkışı ile pompa yükü arasında optimum uyumun sağlanmasında kullanılırlar. Uygulamada üç tip elektronik kontrol ünitesi kullanılmaktadır: maksimum güç noktası izleyicileri

(MPPT), sabit voltaj izleyicileri (CVT) ve lineer akım güçlendiricileri (LCB). Depolama ünitesine duyulan ihtiyaç güneşin bulunmadığı anlarda su dağıtımını temin içindir. Depolama ünitesi için; üretilen elektrik enerjisinin bir batarya ünitesine aktarımı ya da pompalanan suyun yüksek bir depoda toplanması olmak üzere iki farklı seçenek mevcuttur.

## 2.2. PV Pompa Sistemi Tercih Kriterleri

PV su pompalarının tercihinde göz önüne alınması gerekli birçok faktör söz konusudur. Bu faktörler kullanım yerindeki günlük su ihtiyacı, su kalitesi, pompa statik ve dinamik yükleri, kullanılma sezonunu kapsayan aylar ve bu aylardaki güneş ışınım şiddeti olup, uygulama öncesi bu faktörlerin detaylı olarak analizi gerekmektedir. PV güç sistemi uygulamasının seçimine karar verme aşamasında yapılacak bu analizin aşamalarını özetleyen blok diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir.

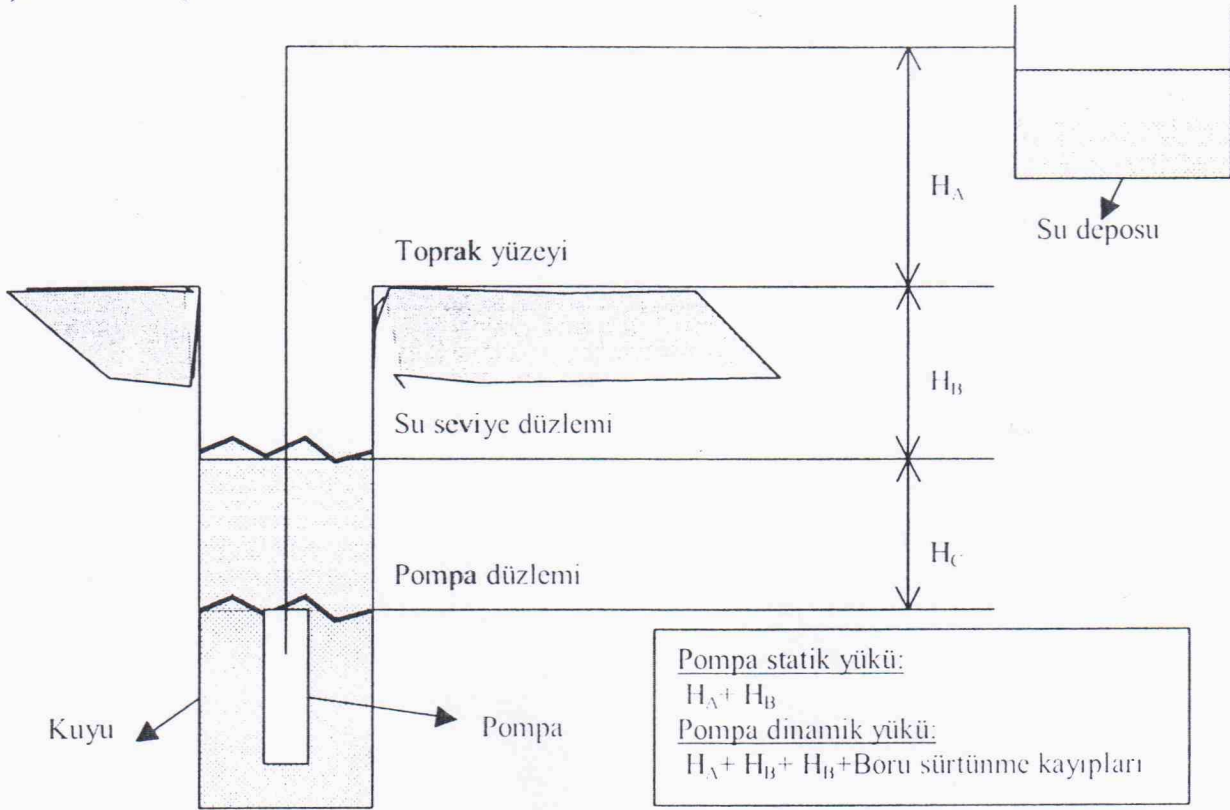


Şekil 2. PV sistemli pompa tasarımının uygulanma aşamalarının blok diyagram ile gösterilmesi.

### 3. PV SİSTEM TASARIM METODU

PV pompa sisteminin kullanımına karar verildikten sonra uygulama ile ilgili mevcut verilerden yararlanılarak sistem elemanlarının seçimi ve boyutlandırılması mümkündür. Sistem boyutlarının, performansının ve sistem maliyetinin hassas bir şekilde tespiti karmaşık hesaplar gerektirmekte ve genellikle bu amaçla yazılmış bilgisayar programlarından yararlanılması gerekmektedir. Bu kısımda sistem bileşenlerinin kullanıcı tarafından yeterli doğrulukta seçimi için izlenebilecek basit bir tasarım metodu önerilmektedir. Tasarım aşamaları aşağıda verilmiştir.

i) Pompa statik ve dinamik kayıplarının tespiti: Günlük su debisi (Q) ile pompa emme ve basma noktaları verileri yardımıyla söz konusu kayıplar Şekil 3' de gösterildiği şekilde hesaplanabilir.

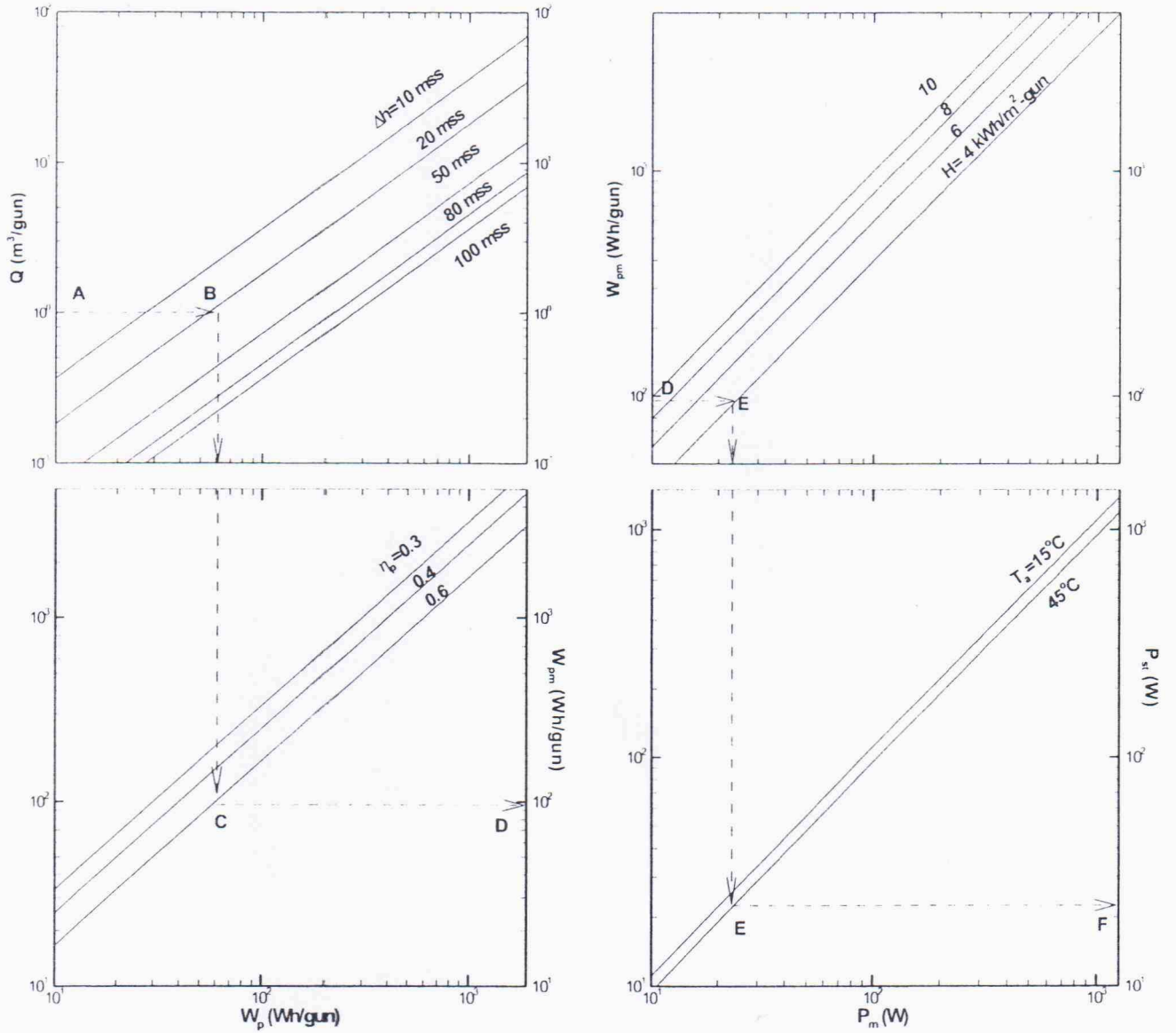


Şekil 3. Pompa hidrolik yüküne etki eden faktörlerin şematik gösterimi.

ii) Pompa hidrolik yükünün tespiti: Pompa hidrolik yükü; su debisi (Q) ile toplam dinamik kayıpların ( $\Delta h$ ) çarpımından oluşan bir parametredir. Uygun özellikte pompa seçimi açısından, pompa hidrolik yükü değerinin 50-2000 ( $m^4/gün$ ) limitleri arasında bulunması gerekmektedir. Bu sınırlar arasında elde edilen değer yardımıyla pompa ve motor tipine karar verilebilmektedir. Pompa tipi seçimi bu çalışmanın kapsamı dışında olup, seçim ile ilgili detaylı bilgi [7] nolu literatürde verilmektedir. Pompa ve motor tipinin seçimi, PV panel ile bu elemanlar arasında kullanılan kablo ve elektronik kontrolden dolayı oluşacak toplam kaybı belirlemede önemlidir. Bu kayıplar nedeniyle söz konusu pompa çıkış gücü ve panel çıkış gücü arasındaki oran ( $\eta_p$ ) uygulamada 0.3 ile 0.6 arasında değişmektedir.

iii) Kullanım yeri güneş ışınım verilerinin tespiti: Kullanım yeri ve kullanım sezonunu içeren aylar için panel yüzeyine ulaşması muhtemel toplam güneş ışınım şiddeti meteorolojik veriler yardımıyla tespit edilebilir. Tasarım için gerekli güneş ışınım şiddeti ( $H$ , kWh/m<sup>2</sup>-gün); yüzeye ulaşan aylık ortalama günlük güneş ışınımı değerinin, günlük ortalama güneşlenme süresi ile çarpımından elde edilir.

Bu aşamalar takip edilerek, planlanan bir sistem için gerekli PV panel gücünün pratik olarak tespiti amacıyla oluşturulan tasarım grafiği Şekil 4' de gösterilmiştir. Grafiğin kullanımının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla örnek bir uygulama gösterilmiştir.



Şekil 4. PV pompa sistemi tasarım grafiği.

Tasarıma başlangıç noktası bilinen günlük su ihtiyacı değeri ( $Q$ ), yani 'A' noktasıdır. 'B' noktasının konumu yukarıda belirtilen yöntem ile hesaplanan  $\Delta h$  değeri yardımıyla bulunur. 'B' noktasından inen dik çizginin, bulunduğu grafikte yatay eksenini kestiği nokta, pompanın günlük hidrolik enerji tüketimini ( $W_p$ ) vermektedir. Pompaya

kumanda eden motor için 'D' noktasına tekabül eden gerekli güç değeri ( $W_{pm}$ ), yukarıda bahsedildiği üzere pompa ve motor tipine bağlı olarak üretici firma tarafından verilen ' $\eta_p$ ' değeri (C noktası) yardımıyla bulunmaktadır. Bu değer sağ üst noktadaki grafikte kullanılarak, kullanım yeri güneş ışınım değerine ait eğri ile kesiştirildiğinde 'E' noktası tespit edilir. Benzer şekilde 'E' noktasından indirilen dikmenin söz konusu grafikte yatay eksenini kestiği nokta panel gücü ( $P_m$ ) değerine eşittir. Ancak bu panel gücünün, standart koşullar altında test edilen ( $T_a = 25^\circ C$  ve  $I = 1 kW/m^2$ ) ve üretici firmanın katalogunda yer alan panel gücü ile ilişkilendirilebilmesi için kullanım koşullarındaki çevre sıcaklığı ( $T_a$ ) ile birlikte değerlendirilmesi gerekir. Bu nedenle 'E' noktası sağ alt köşedeki grafikte verilen dizayn  $T_a$  sıcaklık eğrisine taşındıktan sonra elde edilen 'F' noktasındaki değer standart panel gücünü ( $P_{st}$ ) verir. Kullanıcı  $P_{st}$  değerini karşılayacak PV panelini üretici firma kataloglarından maliyet kıyaslaması yaparak temin edebilir. Şekil 4 üzerinde gösterilen örnek uygulama dikkate alındığında, kullanıcı verileri olan  $Q = 1 m^3/gün$ ,  $\Delta h = 20 m$ , ve  $H = 4 kW/m^2$  değerleri karşılığında pompanın günlük hidrolik enerji tüketimi,  $W_p = 60 Wh/gün$  olarak bulunmakta ve  $\eta_p = 0,6$  olan pompa-motor sistemi için de gerekli pompa motoru gücü  $W_p = 96 Wh/gün$  olarak tespit edilmektedir. Bu şartlardaki sistem çevre sıcaklığı  $T_a = 45^\circ C$  olan bir yörede kullanıldığında, standart panel gücü ihtiyacı  $P_{st} = 22 W$  olacaktır.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Tarıma dayalı ekonomik yapısı bulunan ülkemizde sulama uygulamalarında tüketilen elektrik enerjisi çok ciddi seviyelerdedir. Özellikle tarım uygulamalarının yoğun olduğu yörelerde sulama amaçlı tüketilen elektrik enerjisinin toplam tüketim içerisindeki payı şehir merkezlerinde bile %20 ile %40 seviyeleri arasındadır. Bugün tüm dünyada sulama uygulamaları için PV sistemlere hızlı bir geçiş söz konusudur. Bu yönelmenin en önemli sebepleri arasında uzun yıllar boyunca yapılan maliyet analiziyle PV sistemlerin daha ekonomik bir çözüm olacağına birçok uygulama ile kanıtlanmasıdır. Bu nedenle bu çalışmada PV güç sistemli su pompalarının dizayn esasları incelenmiş ve sistem bileşenlerinin kolaylıkla seçimine katkıda bulunacak bir yöntem takip edilerek tasarım grafikleri (abakları) oluşturulmuştur. Bu grafikler yardımıyla sistem için gerekli fotovoltaiik güneş paneli seçimi pratik olarak yapılabilmektedir. Bu çalışmanın ileriye yönelik olarak geliştirilmesinin gerek ülkemiz gerekse GAP Bölgesi açısından önemi aşağıda belirtilmiştir:

Ülkemizde önümüzdeki yıllarda öngörülen büyük baraj ve sulama projeleri vasıtasıyla sulamaya açılacak binlerce dönüm arazi söz konusudur. Bu duruma gösterilecek en çarpıcı örneklerden biri ülkemizin en büyük yatırım projesi olan GAP projesidir. GAP projesi kapsamındaki sulamaya açılacak alanlar Tablo 2'de verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere bu arazilerin yaklaşık %37'lik bir kısmında pompaj sulama kullanılacaktır. GAP projesi kapsamında bulunan bu sulama alanlarında yeni enerji hatları oluşturulması gereği ve elektrik enerjisindeki cömertçe kullanımın ülkemize gittikçe artan yükler getirdiği göz önüne alınırsa, PV destekli sulama uygulamalarına zaman kaybetmeden yönelmek gerektiği kaçınılmazdır. GAP bölgesinde PV uygulamasının isabetliliğini göstermek açısından bölgeye ait güneş enerjisi verileri Tablo 3'de belirtilmiştir. Tablo 3'den görüleceği üzere GAP bölgesi güneş enerjisi potansiyeli değerleri Türkiye ortalamasının çok üzerinde seyretmekte olup PV destekli sulama uygulamaları için ideal bir yapı sergilemektedir.



Tablo 2. GAP Bölgesi Sulama Alanları [10]

1-Fırat Havzası sulama projeleri		
	Cazibe (ha)	Pompaj(ha)
Aşağı Fırat Projesi	327.474	378.807
Suruç-Yaylak projesi	146.500	-
Adıyaman-Kahta Projesi	48.225	29.599
Adıyaman-Göksu-Araban-Pazarcık	71.598	-
Gaziantep Projesi	21.691	67.309
2-Dicle Havzası Sulama projeleri		
Dicle Kralkızı Projesi	54.249	71.801
Batman Projesi	18.758	18.986
Batman-Silvan Projesi	200.000	57.000
Gerger Projesi	60.000	-
Cizre Projesi	111.000	-
<b>Toplam</b>	<b>1.069.525</b>	<b>623.502</b>

Tablo 3. GAP Bölgesi İlleri Uzun Yıllar Ortalaması Güneş Enerjisi Verileri [11].

	Güneşlenme şiddeti kWh/m <sup>2</sup> gün	Güneşlenme süresi Saat
Adıyaman	3.59	2920
Batman	3.92	2701
Diyarbakır	4.18	2847
Gaziantep	4.11	2774
Kilis	4.71	2884
Mardin	4.07	2847
Siirt	4.71	2738
Şanlıurfa	4.21	3030
Şırnak	4.79	2993
GAP	4.25	2859
TÜRKİYE	3.70	2609

## KAYNAKLAR

- [1] Czanderna A.W., Jorgensen G.J., "Accelerated Life Testing and Service Lifetime Prediction for PV Technologies in the Twenty-First Century", National Renewable Energy Laboratory, NREL/CP- 520-26710, May 4, 1999.
- [2] Mayer J.G., "Efficient Light-to-Electrical Energy Conversion: Nanocrystalline TiO<sub>2</sub> Films Modified with Inorganic Sensitizers", Jopurnal of Chemical Education, Vol.74, pp. 652, 1997.
- [3] Rosental A.L., Lane C.G., "Solar cells: Their Science, Technology, Applications and Economics", Elsevier Sequoia,, Vol.30, pp. 563, 1991.
- [4] Hsieh S.J., "Solar Energy Engineering",Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.

- [5] Suehrcke H., Appelbaum J., Reshef B., "Modelling a Permanent Magnet DC motor/centrifugal Pump Assembly in a Photovoltaic Energy System", Solar Energy, Vol.59, pp. 37-42, 1997.
- [6] Al-Ibrahim A.M., Beckman W.A., Klein S.A., "Desing procedure for Selecting an Optimum Photovoltaic Pumping System in a Solar Domestic Hot Water System", Solar Energy, Vol.64, pp. 227-239, 1998.
- [7] Thomas M.G., "Water Pumping: The Solar Alternative", Sandia National Laboratories SAND87-0804, 11<sup>th</sup> printing, 1996.
- [8] Stokes K., Saito P.,Hjelle C., "Photovoltaic Power as a Utility Service: Guidelines for Livestock Water Pumping", Sandia National Laboratories SAND93-7043, Printed April 1993.
- [9] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü, Şanlıurfa ili Verileri, 1997.
- [10] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, GAP Verileri, 1997.
- [11] T.C. Başbakanlık Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Elektronik Bilgi İşlem Müdürlüğü, Şanlıurfa ili Meteorolojik Bilgi Dokümanları, 1999.