

## SABİT GÜÇ ÜRETEN FOTOVOLTAİK PANELLERİN OPTİMİZASYONU VE DALGIÇ POMPALI HİDROLİK SİSTEMLERDE KULLANIMI

Z. Abidin FIRATOĞLU<sup>1</sup>

Bülent YEŞİLATA<sup>1</sup>

### ÖZET

Bu çalışmada sabit güç üretmesi arzulanan fotovoltaik (PV) paneller için optimum dizayn koşulları araştırılmaktadır. Optimizasyonda meteorolojik verilerin aylık ortalama değerleri kullanılarak, yılın her ayı için en uygun PV panel sisteminin tespiti hedeflenmiştir. Bu amaçla tasarım aşamasında öncelikle optimum panel eğim açısı ve maksimum kullanılabilirliği sağlayan kritik ışınım şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında sabit debi ve sabit basınç çıkısına sahip dalgıç pompa kullanan bir hidrolik sistem için gerekli optimum panel sayısı ve panel bağlantı konfigürasyonları belirlenmiş ve elde edilen sistemle pompalanan su miktarının aylara göre değişimi araştırılmıştır.

### ABSTRACT

In this study, optimum design conditions are investigated for a photovoltaic (PV) module, which is desired to produce constant electrical power. In optimization, selection of the best PV array configuration for each month is aimed by using monthly average values of meteorological data. Therefore, optimum panel tilt angle and critical solar radiation intensity to provide maximum utilizability are firstly calculated. The optimal number of PV modules and their possible connections for a hydraulic system consisting of a submersible pump that operates at constant volume rate and constant total pressure loss are then determined. Finally, monthly variation on daily volumetric water flow rate to be pumped with this system is investigated.

### GİRİŞ

Dünya nüfusunun artışı ve gelişen teknolojilerin kişi başına tüketilen enerji miktarında yarattığı yükseliş günümüzde kömür, petrol, doğalgaz gibi klasik enerji kaynaklarının giderek tükenmeye yüz tutması tehlikesini ortaya çıkarmıştır. Enerji pozisyonundaki bu değişimden dolayı bugün büyük bir enerji darboğazı mevcuttur. Bu bağlamda, kullanım olanakları araştırılan çeşitli alternatif enerji kaynakları arasında önemli bir konuma sahip güneş enerjisi uygulamalarının yönü de gelişen teknolojiye paralel olarak değişmektedir [1]. Son yıllarda gelişmiş ülkelerin yaygın olarak yöneldiği fotovoltaik (PV) sistemler bu yön değişimine verilecek en çarpıcı örneklerden biri olarak göze çarpmaktadır [2-5].

Günümüzde fotovoltaik sistem teknolojisinin, yani güneş pili olarak ta isimlendirilen yarıiletken maddeler aracılığıyla güneş enerjisinden doğrudan elektrik üreten sistemlerin geldiği nokta umut verici seviyededir. İlk kullanılan PV sistemler yüzey üzerine ulaşılan güneş ışınımını %1-2 mertebesinde verim ile elektrik dönüştürürken, günümüzde bu oran %17 seviyelerine varabilmektedir. PV hücrelerinin maliyeti 1974 yılında yaklaşık 200 \$/Watt iken 2000' li yıllarda bu değer 2 \$/Watt seviyelerine gerilemiştir. Benzer şekilde önceleri sadece küçük pil hücrelerinin birleşmeleri sonucu oluşturulan modüller bugün süper teknoloji ile tek parça olarak üretilebilmekte ve yaklaşık otuz yıl bakım gerektirmeksizin kullanılabilir. Uzun ömürlü paneller vasıtasıyla kullanım yılı başına düşen maliyet daha düşük seviyelerde kalabilmektedir. PV sistemleri artık birçok gelişmiş ülkede; uzay araçları, uydu sistemleri, telefon sinyal istasyonları, meteoroloji istasyonlarının çalıştırılması, kırsal kesimlerdeki konut, bina, kampus veya diğer yerleşim yerlerindeki konforlu yaşam için gerekli elektrik enerjisi temini gibi bazı önemli uygulamalarda ilk tercih edilebilecek enerji kaynağı durumuna ulaşmıştır [2-5]. Günümüzde, PV sistemlerin enerji kaynağı olarak en fazla tercih edildiği uygulamalar arasında su pompalama sistemleri bulunmaktadır [6-10]. 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 dağıtımı ekstra kablo düzeni gerektirmektedir.

<sup>1</sup> Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

En önemlisi sulama döneminde tüketilen ve genellikle tükenmeye yüz tutmuş enerji kaynaklarıyla elde edilen elektrik enerjisi çok yüksek maliyetle kullanılmaktadır [9-10].

Ülkemiz, güneş enerjisi potansiyeli açısından bakıldığında diğer birçok ülkeye göre daha şanslı durumda olmasına rağmen PV sistemlerin kullanımı çok düşük seviyededir. Ülkemizde yıllık ortalama ışınım şiddeti 3.6 kWh/m<sup>2</sup>gün ve yıllık güneşlenme süresinin 2640 saat seviyelerindedir. Bazı bölgelerde ulusal ortalamanın çok üzerinde bir güneş enerjisi potansiyeli mevcut olup, bu çalışma için seçilen Şanlıurfa ili ve yöresi 4.6 kWh/m<sup>2</sup> yıllık ortalama güneş ışınım şiddeti ve 3200 saat yıllık güneşlenme süresi ile bu duruma gösterilebilecek en iyi örneklerden biridir [11]. PV destekli dalgıç pompa uygulaması için bu yörenin seçimini teşvik eden diğer unsurlar ise, GAP projesiyle birlikte sulama için harcanan elektrik enerjisinin genel elektrik tüketimi içerisindeki oranının küçümsenmeyecek değerlere ulaşmış olması [12] ve sulama dönemlerinde sık sık yaşanan elektrik kesintileri olarak gösterilebilir.

Bu çalışmanın amacı sabit debi ve sabit basınç çıktısı arzulanan bir PV destekli dalgıç pompanın optimum tasarımını gerçekleştirmektir. Çalışma temel olarak dört aşamadan meydana gelmekte olup, her aşamada kullanılan veriler ve elde edilen sonuçlar aylık ortalamayı temsil etmektedirler. İlk etapta PV panellerin maksimum radyasyonu alabileceği optimum panel eğim açısı değerleri saptanmıştır. Bu optimizasyon, Liu ve Jordon (Bkz: [13 ve 14]) tarafından geliştirilmiş eğimli yüzeylere gelen toplam radyasyon miktarını ifade eden bağıntıda eğim açısının optimizasyon parametresi olarak alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. İkinci aşama PV sistemlerin sabit yük uygulamasında maksimum kullanılabilirlik için birim panel alanına düşmesi gereken sistem yükünü karşılayacak ışınım şiddetinin tespittir. Bu tespit için gerekli anlık güneş ışınımının hesabı için Kılıç (Bkz: [15]) tarafından önerilen denklem kullanılmış ve elde edilen denklem sistemi panel birim alanına gelen ışınım şiddeti bazında optimize edilmiştir. Bu veriler ışığında, PV panel üretici firma kataloglarından seçilen uygun özellikte bir PV panel baz alınarak, bu panel için çıktı akımı ve gerilimi her ay için tespit edilmiştir. Son olarak da bu tespit edilen optimum koşullarda her ay için gerekli panel sayısı ve panel bağlantı (seri + paralel) konfigürasyonları belirlenmiş ve elde edilen sistemle pompalanan su miktarının aylara göre değişimi araştırılmıştır.

## OPTİMİZASYON AŞAMALARI VE MATEMATİKSEL YÖNTEM

### Optimum Eğim Açılarının Tespiti

Bir düzlem üzerine gelen güneş ışınımının maksimum olabilmesi için düzlemin ışınlara dik bir şekilde güneşi takip etmesi gerekir. Ancak, pratik uygulamalarda güneşi takip eden sistemlerin yapımı zor ve pahalı olduğundan, sabit yüzeylerin uygulaması daha yaygındır. Bu tür yüzeylerin efektif bir şekilde çalışmaları için tespit edilen kullanım süreci ve sezonu bazında optimum bir eğim ve azimut açısıyla yerleştirmeleri gerekmektedir. Birçok güneş enerjisi sistemleri için yıllık bazda eğim açısı optimizasyonu yeterli olabilmesine karşın, PV sistemlerde elektrik enerjisi çıktısını arttırabilmek için aylık bazda eğim açısı optimizasyonuna ihtiyaç söz konusudur. Bu çalışmada yılın her bir ayı için (sabit azimut açısı seçimiyle) maksimum toplam güneş ışınımının ulaştığı yüzeyin eğim açısı tespitinde Liu ve Jordon [14] tarafından geliştirilen ve eğimli yüzeylere gelen toplam radyasyonu tespit eden aşağıdaki bağıntıdan yararlanılmıştır:

$$I_{Te}(\alpha) = I_{dy}R_d + I_{yy}R_y \quad (1)$$

Bu denklem azimut açısı sıfır olan eğimli yüzeyler için geliştirilmiş; zamana, bölgenin enlemine ve panelin eğim açısına bağlı bir denklemdir. Denklemde  $I_{Te}$  eğimli yüzeye gelen aylık ortalama toplam radyasyon miktarını (kJ/m<sup>2</sup>gün),  $I_{dy}$  yatay yüzeye gelen aylık ortalama direkt radyasyon miktarını (kJ/m<sup>2</sup>gün),  $I_{yy}$  ise yatay yüzeye gelen aylık ortalama yayılı radyasyon miktarını (kJ/m<sup>2</sup>) göstermektedir. Sırasıyla direkt radyasyon aç faktörü ve yayılı radyasyon aç faktörünü gösteren  $R_d$  ve  $R_y$  değerlerinin hesabında;

$$R_d = a \sin(37.1 - \alpha) + b \cos(37.1 - \alpha) \quad (2)$$

$$R_y = \frac{1 + \cos(\alpha)}{2} \quad (3)$$

formülleri kullanılmaktadır. Bu formüllerde  $\alpha$  eğim açısı olup,  $a$  ve  $b$  yörenin meteorolojik koşullarına ve enlem açısına bağımlı sabit katsayılardır. Bu çalışmada Şanlıurfa ilinin yer aldığı 37.1 enlemi için tespit yapılacağından; (1) nolu denklemdeki yöre ile ilgili değişkenler, değişken olmaktan çıkıp aylık ortalama bazda birer sabit hüviyetine bürünür. Her ay için değerleri değişen bu sabitlerin tespit edilmesiyle, Denklem (1) uzayda bir eğriyi temsil eden tek değişkenli bir fonksiyona indirgenebilir. Denklem (1)' de bulunan değişkenlerin hesabında kullanılan yukarıdaki formüllerin denkleme ilavesi sonrası, eğimli yüzeye gelen aylık ortalama toplam radyasyon miktarını veren eşitliğin birinci ve ikinci türevlerini veren

$$\frac{d I_{Te}}{d \alpha} = I_{dy} (-a \cos(37.1 - \alpha) + b \sin(37.1 - \alpha)) - I_{yy} \left( \frac{\sin(\alpha)}{2} \right) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{d^2 I_{Te}}{d \alpha^2} = I_{dy} (-a \sin(37.1 - \alpha) - b \cos(37.1 - \alpha)) - I_{yy} \left( \frac{\sin(\alpha)}{2} \right) \quad (5)$$

eşitlikler elde edilir. Denklem (5)'de görüldüğü gibi denklem (1)'in ikinci türevi tüm şartlarda sıfırdan küçük olduğundan, Denklem (4)'ü sağlayan tüm  $\alpha$  eğim açılarında toplam radyasyon miktarı maksimumdur. Denklem (4) lineer olmayan bir denklem olduğundan çözümü, yani optimum eğim açılarının tespiti nümerik şema yardımıyla bulunmuştur. Bu çerçevede her ay için tespit edilen optimum eğim açıları, bu açılarda direkt ve yayılı radyasyon açı faktörlerinin aldığı değerler ve optimum eğimli yüzeylere gelen toplam ışınım miktarları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Optimum eğim açısını tespit için yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen veriler

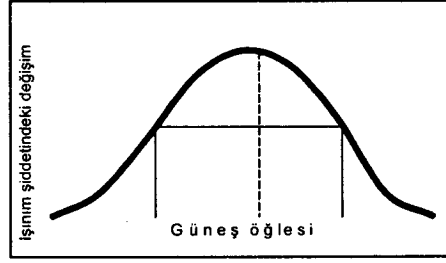
|         | $\alpha$<br>(Derece) | $R_d$   | $R_y$  | $I_{Te}$<br>kj/m <sup>2</sup> gün |
|---------|----------------------|---------|--------|-----------------------------------|
| Ocak    | 65 <sup>0</sup>      | 2,32177 | 0.7113 | 11181                             |
| Şubat   | 56 <sup>0</sup>      | 1.78675 | 0.7796 | 13924                             |
| Mart    | 41 <sup>0</sup>      | 1.32139 | 0.8773 | 16351                             |
| Nisan   | 22 <sup>0</sup>      | 1.07629 | 0.9636 | 19740                             |
| Mayıs   | 5 <sup>0</sup>       | 1.00346 | 0.9981 | 24060                             |
| Haziran | 0 <sup>0</sup>       | 1       | 1      | 26816                             |
| Temmuz  | 0 <sup>0</sup>       | 1       | 1      | 26318                             |
| Ağustos | 14 <sup>0</sup>      | 1.0259  | 0.9851 | 24564                             |
| Eylül   | 32 <sup>0</sup>      | 1.1747  | 0.9240 | 19901                             |
| Ekim    | 51 <sup>0</sup>      | 1.5374  | 0.8147 | 17511                             |
| Kasım   | 61 <sup>0</sup>      | 2.0757  | 0.7424 | 12851                             |
| Aralık  | 66 <sup>0</sup>      | 2.4939  | 0.7034 | 11317                             |

#### Sabit Debi Ve Sabit Çıkış Basıncı Koşullarında PV Destekli Pompa Sisteminde Maksimum Kullanılabilirlik Noktalarının Tespiti

Sabit debi ve sabit çıkış basıncında çalışan pompa sistemleri sabit bir güç girdisine gereksinim duyarlar. Günümüzde kullanılan klasik pompa motorlarının birçoğu sabit bir güç girdisi ile çalıştırılmaktadır. Sabit güç girdisiyle çalışan cihaz ve ekipmanlarla kullanılan PV sistemlerde kullanılabilirlik; Şekil 1'deki anlık ışınımı ifade eden eğrinin altındaki sistem yükünü karşılayacak ışınım seviyesiyle doğru orantılı olarak değişen dikdörtgenin alanının, eğrinin altındaki toplam alana yani, yatay yüzeye gelen toplam radyasyona oranıdır. Bu kullanılabilirlik tanımı sabit güç üreten ve batarya kullanılmayan PV sistemler için geçerli olup, diğer güneş enerjisi uygulamalarında dikdörtgen üzerindeki alan da kullanılabilirlik bölgesinde değerlendirilmektedir.

Maksimum kullanılabilirlik noktasının tespiti için anlık ışınım şiddetindeki değişimi ifade eden bir denklemin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla ülkemiz koşullarına uygun olarak geliştirilmiş Kılıç [15] tarafından önerilen anlık ışınım şiddeti denklemi kullanılarak Şekil 1'deki eğrinin altındaki dikdörtgen alanını maksimum yapacak bir optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Yapılan

optimizasyon; kullanılabilirliği ifade eden ve zamana bağlı türetilen tek değişkenli denklemin uygun matematiksel operasyonlara tabii tutulması adımlarını içermektedir. Literatürdeki anlık ışıınımı ifade



Şekil 1. PV sistemlerin sabit yük uygulamasında kullanılabilirlik dikdörtgeni

eden diğer denklemlerde olduğu gibi, bu çalışmada kullanılan denklemlerle de yıl boyunca her ay için aynı kullanılabilirlik yüzdesine ulaşılmıştır. Bu durum kullanılabilirlik bazında sistemin fiziksel davranışının tüm aylar için aynı olmasından kaynaklanmaktadır. Tespit edilen bu sabit değer (0.55784) her ay için aynı olmasına karşın, aylık ortalama ışıınım şiddetleri ile aylık ortalama güneşlenme süreleri değişken olduğundan, sabit sistem yükünü karşılaması gereken kritik ışıınım seviyesi ( $I_{kr}$ ) ve sistemin çalışma aralığı ( $t_c$ ) aylara göre önemli değişimler göstermektedir. Kullanılabilirlik analizinde, sabit güç gereksinimi olan düzenekleri besleyen PV sistemler açısından kritik bir önemi olan bu farklılığa hassasiyetle dikkat edilmesi gerekmektedir. Yapılan optimizasyon sonucunda elde edilen değerler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Maksimum kullanılabilirlik için birim panel alanına ulaşması gereken kritik ışıınım şiddeti ( $I_{kr}$ ) değerleri ve bu şartlarda sistemin çalışma aralığı ( $t_c$ ).

| Aylar                        | Ocak    | Şubat   | Mart    | Nisan   | Mayıs   | Haziran |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $I_{kr}$ (W/m <sup>2</sup> ) | 353.000 | 403.690 | 427.289 | 468.096 | 528.817 | 567.396 |
| $t_c$ (saat)                 | 4.90584 | 5.34470 | 5.92966 | 6.53462 | 7.05014 | 7.32344 |

| Aylar                        | Temmuz  | Ağustos | Eylül   | Ekim    | Kasım   | Aralık  |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $I_{kr}$ (W/m <sup>2</sup> ) | 564.610 | 559.513 | 495.370 | 483.083 | 391.375 | 366.123 |
| $t_c$ (saat)                 | 7.2229  | 6.80292 | 6.22520 | 5.61690 | 5.08806 | 4.78974 |

## OPTİMUM KOŞULLARIN PV DESTEKLİ DALGIÇ POMPA SİSTEMİNE UYGULANMASI VE SONUÇLAR

### PV panelin sabit gerilim çıktısında ürettiği akım değerleri

PV modül lineer olmayan bir güç kaynağıdır. Panel çıktı akımı ve voltajı ışıınım seviyesine ve panel sıcaklığına bağlı olarak değişir. Sistem yükünü baz alarak yapılacak herhangi bir kombinasyon, sistemin talep ettiği minimum ışıınımdaki panelin akım ve voltaj çıktıları dikkate alınarak yapılmalıdır. Aksi takdirde yapılacak yanlış bir kombinasyonda, beklenen sonuçlardan uzak değerlere ulaşılabilir. Bilindiği gibi bir PV sistemi tasarım aşamasındayken, tasarımın en kritik noktası sistemi tahrik edebilecek minimum ışıınım seviyesinde yapılacak kombinasyondur. Çünkü, bu nokta yapılacak herhangi bir ekonomik optimizasyonun referans noktasıdır. Bu çalışma için seçilen STK ASE-50-AIF/17 tipi panellerin üretici firma tarafından standart test koşullarında (1000 W/m<sup>2</sup> ışıınım şiddeti ve 25<sup>0</sup> C panel sıcaklığı) deneysel olarak elde edilen çıktı verisi ve teknik özellikleri Tablo 3’de verilmiştir.

Literatürde, ışıınım şiddeti ve panel sıcaklığının fonksiyonu olarak panel tarafından üretilen elektrik enerjisinin akım ve voltaj çıktılarını ifade eden bazı bağıntılar önerilmiştir. Al-İbrahim [7] en yaygın olarak kullanılan bu bağıntıları irdeleyerek pratik şartlara daha uyumlu bir denklem türetimi gerçekleştirmiştir. Yapılan incelemelerde görülmüştür ki panelin maksimum çalışma noktasındaki voltaj çıktısı ışıınım şiddetindeki değişimden fazla etkilenmemekte ancak akım değerinde ise büyük değişiklikler meydana gelmektedir. Bu nedenle aylık hesaplamalarda elde edilen ışıınım şiddeti değerleri için panel voltaj çıktısı için 17.2 V sabit değeri kullanılmıştır. Yapılan optimizasyonlar

sonucunda her bir ay için tespit edilmiş kritik ışınım şiddeti değerlerine karşılık gelen akım çıktılarını hesaplamada Al-İbrahim [7] tarafından önerilen denklem kullanılmış ve elde edilen sayısal sonuçlar Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. STK ASE-50-AIF/17 tipi PV panelin standart test koşullarındaki teknik özellikleri

| Güç  | $I_{ks}$ | $I_{mn}$ | $V_{av}$ | $V_{mn}$ | A                   | $\eta_{sık}$ |
|------|----------|----------|----------|----------|---------------------|--------------|
| 50 W | 3.2 A    | 2.9 A    | 20 V     | 17.2 V   | 0.44 m <sup>2</sup> | 0.114        |

Tablo 4. Maksimum kullanılabilirlik koşullarını sağlayan kritik ışınım seviyelerinde STK ASE-50-AIF/17 tipi panelin akım çıktıları.

| 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.69A | 0.93A | 1.13A | 1.48A | 1.98A | 2.28A | 2.34A | 2.31A | 1.87A | 1.68A | 1.00A | 0.71A |

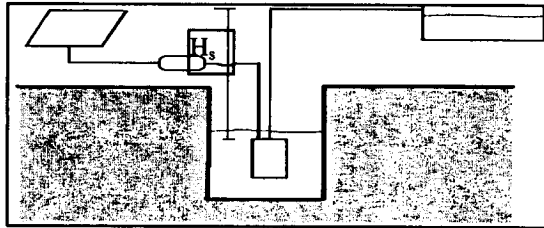
#### Hidrolik sistem ve PV sistem konfigürasyonunun belirlenmesi

Bu çalışmada tasarlanan PV sistem elemanlarına ait blok diyagramı Şekil 3’de ve seçilen dalgıç pompa ile hidrolik sistem düzenlemesi ise Şekil 4’de gösterilmiştir. Hidrolik sistemde kullanılmak üzere 924 Volt ve 4.2 Amper girişine sahip bir doğru akım motoru kullanan ve toplam mekanik verimi 0.3 olan bir dalgıç pompa seçilmiştir.

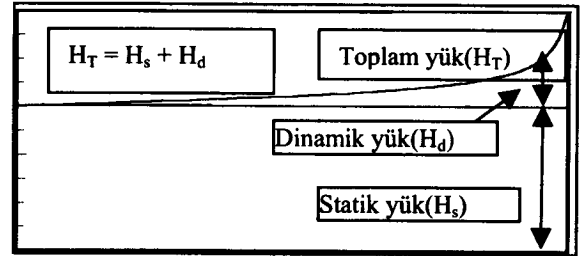


Şekil 3. Tasarlanan sistem elemanlarının blok diyagramı.

Şekil 4’te gösterilen sistemin toplam hidrolik yükü ( $H_T$ ), statik yük ( $H_s$ ) ve dinamik yükün ( $H_d$ ) yani akış oranının bir fonksiyonu olup, yerleşimi belirlenmiş bir pompa – depo sisteminde toplam yük Şekil 5’de gösterildiği gibi sadece akış oranı ile değişmektedir. Bu çalışmada seçilen ve sabit güç girdisiyle tahrik edilen pompa için, hidrolik sistem boyutları (kuyu derinliği, pompa – depo arası toplam boru ve bağlantı uzunlukları) bilindiğinden pompa anlık debisinin dolayısıyla dinamik kayıpların tespiti mümkündür. Bu nedenle bahsedilen rutin hesap prosedürünü uygulamaya ihtiyaç olmaksızın, söz konusu sistem için toplam hidrolik kayıplar yöre koşullarında suya ulaşabilecek derinlik de dikkate alınarak,  $H_T=600$  kPa olarak seçilmiştir. Bu şartlar altında kullanılması gerekli panel sayısı ve bağlantı konfigürasyonları, Tablo 2 ve Tablo 4’de optimizasyonla bulunan verilerden yararlanarak tespit edilmiş ve Şekil 6’da gösterilmiştir.



Şekil 4. Hidrolik sistem şematik şekli



Şekil 5. Akış oranına bağlı dinamik ve toplam yükteki değişim

### Pompalanan Su Miktarının Aylara Göre Değişimi

Optimizasyonlar sonucunda yapılan panel konfigürasyonu çerçevesinde yıl boyunca her ayın ortalamasını temsil eden bir gün için pompanın seçilen toplam hidrolik yükü karşılayacak basınçta (600 kPa) pompalayabileceği su miktarı hesaplanmış ve elde edilen sayısal sonuçlar Tablo 4'de verilmiştir.

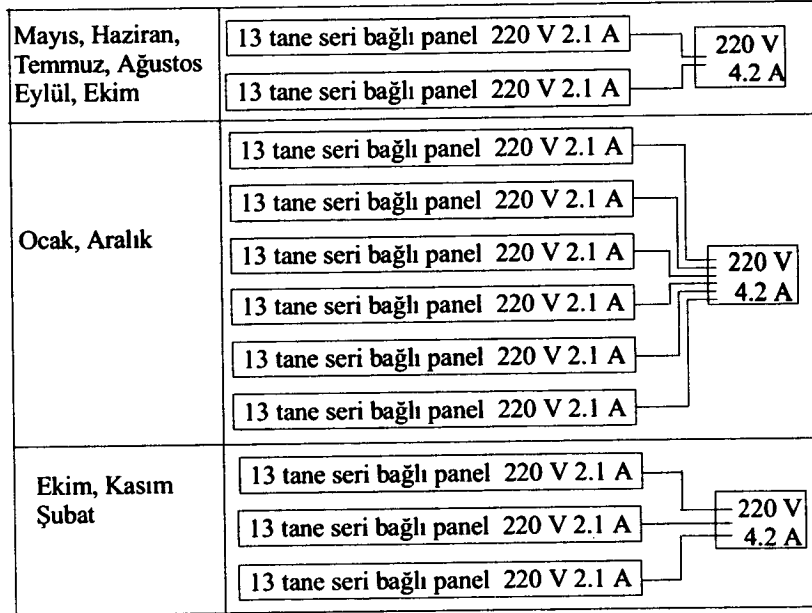
Tablo 4. Aylık ortalamayı temsil eden bir günde  $H_T=600$  kPa için pompalanan günlük toplam su miktarını değerleri

| Aylar                     | Ocak    | Şubat   | Mart    | Nisan    | Mayıs    | Haziran  |
|---------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|
| Debi(m <sup>3</sup> /gün) | 8,15939 | 8,88931 | 9,86221 | 10,86838 | 11,72579 | 12,18034 |

| Aylar                     | Temmuz   | Ağustos  | Eylül    | Ekim    | Kasım   | Aralık  |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|
| Debi(m <sup>3</sup> /gün) | 12,01312 | 11,31461 | 10,35375 | 9,34202 | 8,46246 | 7,96629 |

### TARTIŞMA VE SONUÇLAR

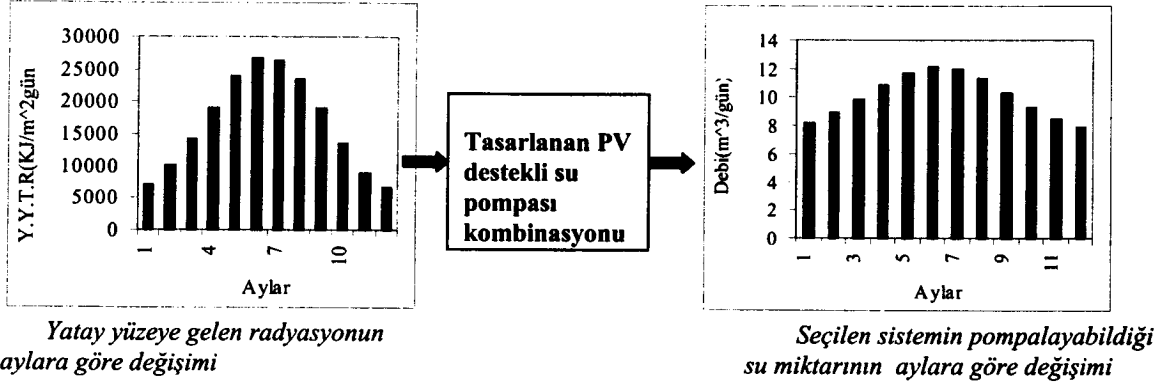
Bu çalışmada sabit debi ve sabit basınç çıkışı arzulan PV destekli bir dalgıç su pompasının optimum dizayn koşulları araştırılmıştır. Optimizasyonda meteorolojik verilerin aylık ortalama değerleri kullanılarak, yılın her bir ayı için en uygun PV panel sistemin tespiti hedeflenmiştir. Bu amaçla tasarım aşamasında öncelikle optimum panel eğim açısı ve maksimum kullanılabilirliği sağlayan kritik ışınım şiddeti değerleri hesaplanmıştır. Bu veriler ışığında dalgıç pompa kullanan bir hidrolik sistemde kullanılacak panel sayısı ve panel bağlantı konfigürasyonları belirlenerek pompalanacak su miktarının aylara göre değişimi belirlenmiştir.



Şekil 6. Yapılan optimizasyonlar sonucunda her ay için gerekli panel kombinasyonu (Çıkış akımı değerlerinde Tablo 3' deki değerlere nazaran oluşan küçük farklar çalışma şartları birbirine yakın ayları bir grupta toplama düşüncesinden kaynaklanmaktadır).

Optimizasyonun amaçlarından biri yıl boyunca büyük ölçüde değişkenlik gösteren ışınım şiddeti değerlerine rağmen pompalanan su miktarında bu değişimi en aza indirmektir. Şekil 7'de yıl boyunca yatay yüzeye gelen toplam radyasyon miktarı ve pompalanan su miktarındaki değişimler gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi yatay yüzeye gelen radyasyonun yıl boyunca değişim ivmesinin yüksekliğine karşın, sağlanan hidrolik enerjinin yıl boyunca değişim ivmesinin dikkate değer oranda küçük tutulabilmesi optimizasyonun bu noktada başarılı sonuç verdiğini göstermektedir.

Sistem ile ilgili yapılan performans değerlendirmesinde, bu tür sistemlerin Şanlıurfa için olduğu gibi, güneş enerjisi potansiyeli ve su temini ihtiyacı yüksek diğer GAP Bölgesi illerinde iyi bir seçim olabileceği sonucuna varılmıştır. İlk yatırım masraflarından tasarruf edebilmek için sistemde kullanılan panel sayısı ve bağlantı konfigürasyonunu belirlemede su ihtiyacının yoğun olduğu Mayıs – Eylül ayları göz önüne alınmalıdır. Bu şekilde seçilen sistemden diğer aylarda yararlanılması düşünüldüğünde, aylık ortalama temsil eden gün bazında pompalanan su miktarı bu çalışmada sunulan yöntem takip edilerek hesaplanmalıdır.



Şekil 7. Yatay yüzeye gelen toplam radyasyon ve optimizasyon sonrası hidrolik sistemden temin edilen su miktarının aylara göre değişimi.

#### KAYNAKLAR

- [1] Özcan, Mustafa., Güneş Enerjisi, Tübitak-Bilim ve Teknik Dergisi, cilt 340, sy. 50-55, 1996.
- [2] Yeşilata, B., Aktacir, M.A., "Fotovoltaik Güç Sistemli Su Pompalarının Dizayn Esaslarının Araştırılması", Mühendis ve Makine, cilt 42, sayı 493, sy 29-34, 2001
- [3] 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.
- [4] Rosental A.L., Lane C.G., "Solar cells: Their Science, Technology, Applications and Economics", Elsevier Sequoia., Vol.30, pp. 563, 1991.
- [5] Muntasser, M.A. , Bara, M.F., Quadri , H.A. , EL-Tarabelsi, R., La-azebi, I.F., "Photovoltaic Marketing In Developing Countries", Applied Energy, v 65, p 67-72, 2000.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Kou S.A., Klein A., Beckman W., " A Method for Estimating the Long-Term Performance of Direct-Coupled PV Pumping Systems", Solar Enery, vol. 641 n 3 pp. 33-39, 1998
- [9] Thomas M.G., "Water Pumping: The Solar Alternative", Sandia National Laboratoris SAND87-0804, 11<sup>th</sup> printing, 1996.
- [10] 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.
- [11] T.C. Başbakanlık Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Elektronik Bilgi İşlem Müdürlüğü, Şanlıurfa ili Meteorolojik Bilgi Dokümanları, 1999.
- [12] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü, Şanlıurfa ili Verileri, 1997.
- [13] Hsieh S.J., Solar Energy Engineering ,Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- [14] Duffie, J., Beckman, W.A., Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd edn., Wiley Interscience,, 1991.
- [15] Kılıç A., Öztürk A., Güneş Enerjisi, Kipaş Yayıncılık, 1983.