

## Değişken Debili Sulama Pompaj Tesislerinde Enerji Etkinliğinin Belirlenmesi

Ender KAYA<sup>1</sup> Sedat ÇALIŞIR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu Konya İl Koordinatörlüğü, Konya  
<sup>2</sup>S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Konya  
ender.kaya@tkdk.gov.tr

Geliş Tarihi (Received): 27.05.2015 Kabul Tarihi (Accepted): 09.06.2015

**Özet:** Bu çalışmada, sabit basınç ve değişken debili sulama pompaj tesislerinde verimlilik ve özgül enerji tüketimi bakımından üç farklı senaryonun kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Senaryolar arasındaki fark, debi ve basınç değiştirmek için kullanılan ekipmanlardan kaynaklanmaktadır. Buna göre; Senaryo I. değişken hızlı pompa (DHP) ve hidrolik basınç yükselticisi (HBY); senaryo II. DHP ve servo motorlu ayar vanası (SMAV); senaryo III. sabit hızlı pompa (SHP) ve basınç düşürücü vanayı (BDV) içermektedir.

Araştırmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Senaryo I, nominal debinin % 70'inde sabit basınç elde edilmiştir ancak nominal değerlere göre %30.49 seviyesinde sistem veriminde azalma ve özgül enerji tüketiminde artış görülmüştür. Bu senaryoda HBY, nominal debinin % 60'ında istenilen basıncı geliştirememiştir.

Senaryo II. sabit basınç nominal debinin % 60'ına kadar değişken debiler elde edilmiştir. Nominal debinin % 80'inde, nominal verime göre % 15 düzeyinde daha yüksek sistem verimi ve % 15 düzeyinde daha düşük özgül enerji tüketimi sağlanmıştır.

Senaryo III. nominal debinin sadece % 63.7'sinde sabit basınç elde edilebilmiştir. Bu debi oranında, nominal sistem verimine göre % 6.9 düzeyinde daha yüksek sistem verimi ve % 6.9 düzeyinde daha düşük özgül enerji tüketiminde elde edilmiştir.

Sonuç olarak; sabit basınç ve değişken debili basınçlı sulama sistemlerinde, debi değişkenliği, sistem verimi ve özgül enerji tüketimi bakımından Senaryo II'nin kullanılması önerilebilir.

**Anahtar kelimeler:** Değişken debi, değişken hızlı pompa, özgül enerji tüketimi, hidrolik basınç yükselticisi, basınç düşürücü vana, sulama pompaj tesisi.

### Determination of the Energy Efficiency in Variable Flow Irrigation Pumping Plants

**Abstract:** In this research, it has been searched of three (3) different scenarios in irrigation pumping facilities with fixed and variable flow in terms of efficiency and consumption of specific energy. The difference between scenarios is arisen from equipment using from changing the flow and pressure. According to this, these scenarios are involving;

Scenario I: variable fast pump (DHP) and hydraulic pressure amplifier,

Scenario II: DHP and regulating valve with servo motor

Scenario III: Fixed –speedy pump (SHP) and valve for pressure reducer

The results obtained from research have been given as follows;

Scenario I: Fixed pressure has been obtained in 70 % of nominal flows but according to the nominal values, a decrease as 30.49 % in system yield was obtained and an increase was determined in specific energy consumption. In this scenario, HBY could not develop the require pressure in the 60 % of nominal flow.

Scenario II: it was obtained variable flows of fixed pressure up to the 60 %. It was also obtained 15 % higher system yield in the 80 % of normal flow and obtained amount of 15 % lower specific energy according to the normal yield.

Scenario III: It could be obtained the fixed pressure only in 63.7 % of nominal flows. In this flow ratio, according to the nominal yield system, it was obtained the higher yield in the level of 6.9 % and lower specific energy consumption in the level of 6.9 %.

As a results; Using the Scenario II can be suggested in fixed and variable pressure in terms of flow variability, system yield and energy consumption

**Key words:** Variable flow, variable fast pump, specific energy consumption, hydraulic pressure rise, pressure reducer valve, irrigation pumping

## GİRİŞ

Bitkisel üretim, girdisi su (H<sub>2</sub>O) ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) olan, fotosentez işleminden geçirek organik madde (CH<sub>2</sub>O) ve oksijen (O<sub>2</sub>) üreten bir sistemdir. Bu sisteme göre doğal ya da yapay sulama suyu olmadan bitkisel üretimin yapılamayacağı açıktır.

14 milyar m<sup>3</sup>/yıl çekilebilir yer altı suyu olmak üzere toplam 112 milyar m<sup>3</sup>/yıl net kullanılabilir su potansiyeline sahip olan Türkiye’de, 2011 yılı itibariyle bu miktarın sadece 44 milyar m<sup>3</sup>/yıl (% 39) tüketilmiştir (Anonim, 2008; Anonim, 2012). Kurak ve yarı kurak iklim kuşağında yapılan bitkisel üretimde, en önemli girdilerin başında sulama enerjisi gelmektedir. Tüketilen su potansiyelinin %75’inin tarımda kullanılıyor olması, 6 milyon hektara yaklaşan sulama alanı ve su kaynaklarındaki kısıtlar, dikkatleri sulama suyunun daha etkin kullanılmasına çevirmiştir. Sulama suyunun kullanımına etki eden parametreler, su kaynağı, iklim, toprak, bitki, yönetim ve sulama yöntemleri en önde gelen bileşenler olmaktadır.

Dünyada elektrik motorlarının enerji tüketimlerinin %22’lik payı pompalama sistemlerinde tüketilmektedir. Kullanılan pompaların da % 73’ü rotadinamik pompalar olduğu bildirilmektedir (Frenning ve ark., 2001).

Değişken hızlı pompalı sulama pompaj tesislerinde istenilen faydaların elde edilebilmesi için dik karakterli sistem eğrisi, yatay karakterli Hm-Q eğrisine sahip olması gerektiği aksi durumda pompa veriminin önemli düzeyde düşebileceği vurgulanmıştır (Clement ve Galand, 1979; Bower ve ark 2006). Frekans değiştiricilerin neden olduğu kayıplar değişik araştırmacılar tarafından Little ve Mccrodden, (1989), % 8.3 - 7.7 ve Duymuş ve Ertöz (2001), değişken devirli pompalarda frekans değiştiricilerin tam yükteki kayıplarının % 2 - 6 arasında değiştiği ifade edilmiştir.

Little ve Mccrodden, (1989), su iletim sistemlerinde oluşan enerji maliyetinin % 90’ının pompaj işlemi nedeniyle oluştuğunu bildirmiştir. Bir sulama pompa tesisinin ömür boyu maliyeti içerisinde başlangıç masraflarının % 5, bakım-onarım

masraflarının % 10, enerji maliyetinin ise % 85 yer tuttuğunu bildirmiştir (Ackermann (2003).

Ülkemizde sulama pompaj tesislerinde kullanılan pompa verimlerinin % 40 - 60 arasında olduğu, ciddi firmaların bu verim değerini % 70 - 80 düzeyine yükselttikleri belirlenmiştir. Anonim (2005), enerji etkin elektrik motorları (EFF1), standart elektrik motorlarından (EFF3) motor yüklenmesine bağlı olarak % 3-5 düzeyinde daha yüksek olduğu belirtilmektedir.

Sulama suyu pompaj sistemlerinde değişik su kaynağı, pompa, motor ve sulama yöntemlerine göre özgül enerji tüketimi 0.175 kWh/m<sup>3</sup> – 1.75 kWh/m<sup>3</sup> gibi 10 kata varan çok büyük aralıkta değişebilmektedir (Çalışır ve ark. 2005a; Çalışır ve ark. 2005b; Çalışır ve ark., 2005c; Alegre ve ark. 2006; Çalışır, 2007; Barutçu, 2011).

Birçok araştırmacı sulama, evsel ve endüstriyel pompaj uygulamalarda, değişken hızlı motorlarla çalışmada sabit hızlı motorlara göre %6-50 arasında enerji kazanımları sağlanabileceği yönünde sonuçlar rapor etmişlerdir.

Lambeth ve Houston (1991), % 20; Bouabe (1996), % 17-34; Hanson ve ark., (1996), % 32 -59; King ve Wall, (2000), % 15.8-20.2; Barutçu ve ark. (2007), % 32.9; Moreno ve ark. (2007), %16; Rodriguez ve ark. (2009), %20 %30; Barutçu (2011), %12 - 30.3; Moreno ve ark. (2009), %32.3; Lamaddalena ve ark., (2011), %24 -35 ve Fernandez Garcia ve ark. (2013) % 20 - 29 bunlardan bazıları olarak gösterilebilir.

Sulama pompaj tesislerinin sistem verimi, doğru tasarımı, iyi bakım ve işletme ile amaca ve tekniğe uygun oluşturulacak kombinasyon, plan, program, optimizasyon ve yönetime bağlı olarak %20-30 düzeyinde iyileştirme potansiyeli mevcuttur (Serven, 1979; Çalışır ve ark.,2004; Rocamora ve ark., 2013; Reza ve ark., 2014; Stambouli, ve ark., 2014).

Ülkemizde arazi toplulaştırması ile kapalı tip modern basınçlı sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması için destek ve teşvik politikaları geliştirilmektedir. Kapalı sulama sistemleri, verimli pompa seçimi ve ekonomik işletim bakımından sıkıntılar ortaya çıkarmıştır. Çünkü belli bir işletme noktası için seçilmiş pompaj sistemi bileşenleri, değişken debilerde verimsiz çalışma koşullarını doğurmaktadır.

Sulama sistemlerinde debi, farklı yöntemlerle değiştirilebilmektedir (Thorne ve ark., 2006).

Bunlar;

- Pompayı ihtiyaç olunca çalıştırarak bir depoya basmak (kesintili çalıştırmak),
- Pompa çıkışındaki debi kontrol vanası ile debiyi ayarlamak,
- Pompayı devamlı çalıştırarak akışkanın bir bölümünü depoya geri döndürmek (by-pass),
- Pompa sayısını değiştirmek (paralel pompalar),
- Sabit devirli elektrik motoru ile pompa arasına mekanik, hidrolik veya elektrikli kavrama koyarak pompa devrini değiştirerek ve
- Elektrik motorunun devrini dolayısıyla pompa devrini frekans kontrol cihazı ile değiştirmek gibi yöntemlerdir.

Diğer taraftan santrifüj sulama pompalarının kavtasyon, ters akış ve verim bakımından belli debi aralığında çalıştırılması gerekmektedir. Bu aralık genel olarak nominal debinin % 60 ila % 120 arasında olması gerektiği önerilmektedir (Şen, 1979; Bilgen ve Eralp, 1996; Karadoğan, 2001).

Debi değiştirme yöntemlerine bakıldığında ya vana ile sistem karakteristiğine ya da devir sayısı ile pompa karakteristiğine müdahale edilmektedir. Her iki yaklaşımda da debiyi isteğimiz değere ayarlayabilmemize karşın sistem basıncının değişmesine engel olunamamaktadır. Oysa basınçlı sulama sistemleri debi değişse de basıncın sabit olması gerekmektedir. Bütün mesele basınçlı sulama yönteminin istediği sabit basınç değerinde fakat değişken düzeyli debilerde yüksek verim noktası civarında uzlaşabilecek bir yöntem belirlemektir.

Bu çalışmada, etkin su kullanımı için önerilen yağmurlama ve damla sulama gibi basınçlı sulama pompaj tesislerinde, sabit basınçta, değişken debi elde edilebilen, otomasyona uygun olabileceği düşünülen üç farklı kombinasyondan oluşan senaryo geliştirilmiş ve senaryoların sistem verimi ve enerji etkinliği bakımından hangisinin daha elverişli olabileceği araştırılması amaçlanmıştır.

## MATERYAL ve YÖNTEM

Denemeler, S.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları bölümü pompaj ünitesinde tesis edilmiş ve yürütülmüştür. Temel büyüklüklerin ölçülmesi ve hesaplanması ile kullanılan ölçme cihazlarının hassasiyet değerlerinde Anonim (2002) esas alınmıştır. Denemelerde; yatay milli santrifüj pompa (SP), elektrik motoru (EM), frekans kontrol cihazı (FKC), servo motor (SM), sürgülü vana (SV), hidrolik basınç yükseltici (HBY) ve basınç düşürücü vana (BDV) temel devre elemanı olarak yer almıştır. Denemelerde; debi; elektromanyetik debimetre, pozitif basınç; basınç sensörü, negatif basınç; vakum metre, güç; güç analizörü, sıcaklık; termometre, bağıl nem; higrometre ve devir sayısı; takometre ile ölçülmüştür.

Deney pompası öncelikle 50 Hz ve 2,900 d/d'da test edilmiş ve işletme karakteristikleri elde edilmiştir. Elde edilen işletme karakteristiklerine göre 3 bar çıkış basıncındaki işletme karakteristikleri nominal değer olarak esas alınmıştır. Pompanın nominal değerleri frekans ( $f_N$ ), devir ( $n_N$ ), debi ( $Q_N$ ), basınç ( $p_N$ ), manometrik yükseklik ( $H_{mN}$ ), güç ( $N_N$ ) ve sistem verimi ( $\eta_{sN}$ ) sırasıyla belirlenmiştir. Daha sonra sabit çıkış basıncı ( $p_N=3$  bar) değerinde, her üç senaryo için de %100, % 90, % 80, % 70 ve % 60 değişken debi oranlarında özgül enerji tüketimi, sistem verimi ve bileşenleri tespit edilmiştir.

Deneme planı üç ayrı senaryo üzerine kurgulanmıştır. Senaryolarda aşağıda gösterilen temel devre elemanlarından oluşturulmuştur.

**Senaryo I:** FKC + EM + SP + HBY

**Senaryo II:** FKC + EM + SP + SMAV

**Senaryo III:** EM + SP + SV + BDV

**Senaryo I:** FKC + EM + SP + HBY temel elemanlarından oluşturulmuştur (Şekil 1) .

Senaryo I'de kısmi debileri elde edebilmek için, FKC aracılığıyla, motor-pompa devir sayısı  $n_1$ 'den  $n_2$ 'ye düşürülmektedir (Şekil 1). Azalan devir sayısı ile pompa  $H_m-Q$  eğrisi aynı  $s_1$  sistem eğrisi için, işletme noktası 1'den 2'ye gelmektedir. Böylece istenen kısmi debi elde edilmiş olmakta ancak nominal manometrik yükseklik azalmaktadır. Senaryo I'de işletme noktasının 2'den 3'e getirilmesi işlemi için HBY devreye alınmaktadır. Senaryo I'deki HBY'nin çektiği güç ayrıca ölçülmüştür.

HBY çalışma prensibi ve bunun yağ hidrolik devre şeması Şekil 2'de verilmiştir. Yağ hidroliği devresinde

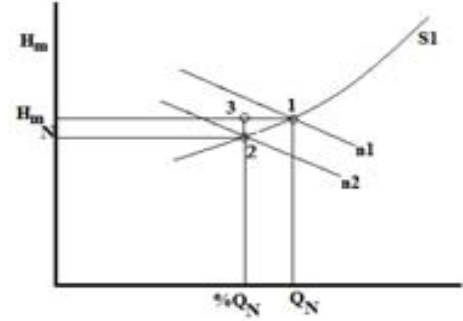
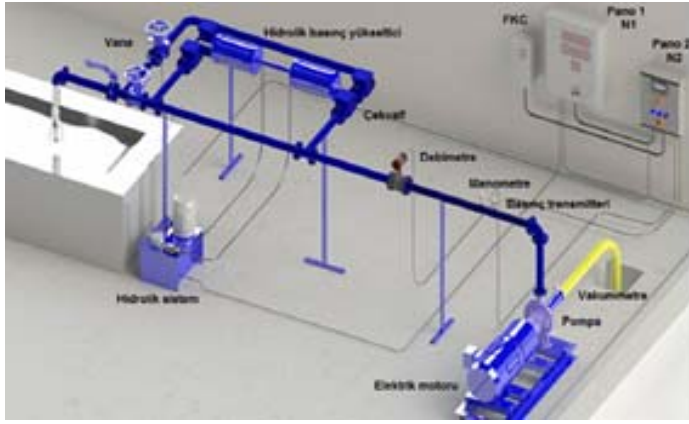
## Değişken Debili Sulama Pompaj Tesislerinde Enerji Etkinliğinin Belirlenmesi

hidrolik pompa paletli ve değişken debili (0-58 //dk); hidrolik devre elektrik motor gücü 15 kW ve devri 1,450 d/d' dir. Hidrolik sistemde SAE 46 numaralı yağ kullanılmıştır. HBY Sistemde, içleri honlanmış (D1) 250 mm ve (D<sub>2</sub>) 60 mm çapında içi paslanmaya karşı kromla kaplatılmış dikişsiz çelik boru ve 3" lik 4 adet çekvalf ile donatılmıştır. Kullanılan çekvalfler GGG 40 sfero döküm malzemeden üretilmiştir. Basınç yükselticinin tasarımı ve boyutlandırılmasında maksimum 3 bar çıkış basıncı geliştirmesi esas alınmıştır. Her çıkış basıncı için değişik silindir/piston çaplarının kullanılması gerekmektedir.

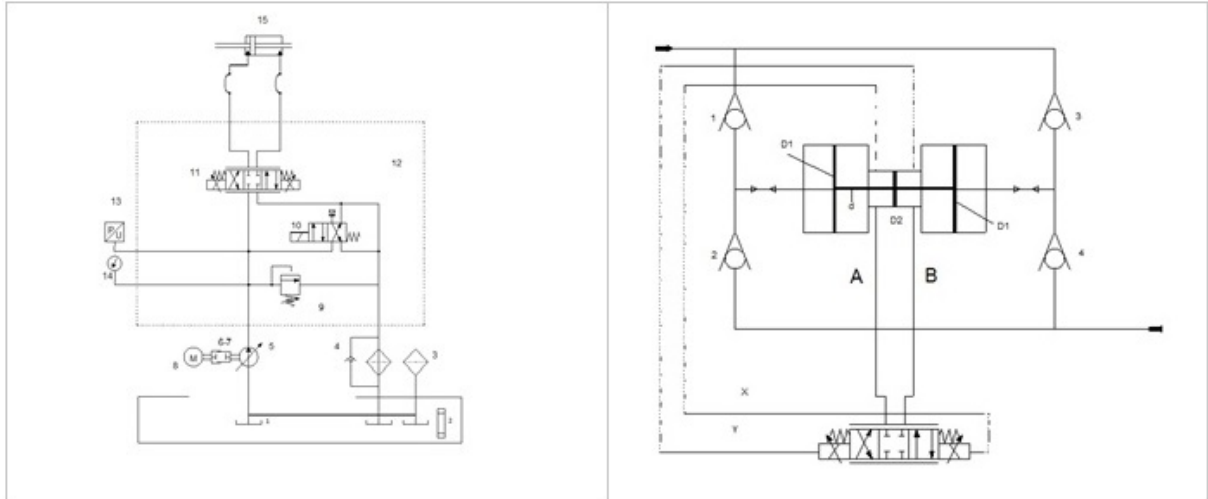
### Senaryo II:

FKC + EM + SP + SMAV temel elemanlarından oluşturulmuştur (Şekil 3).

Senaryo II'de kısmi debileri elde edebilmek için FKC aracılığıyla, motor- pompa devir sayısının  $n_1$ 'den  $n_2$ 'ye getirilmektedir (Şekil 3). Azalan devir sayısı ile işletme noktası 1'den 2'ye kaymaktadır. Bu durumda debi azaltılarak istenen kısmi değere ayarlanabilmektedir. Ancak nominal manometmik yükseklik, basınçlı sulama sisteminin gereksinimini karşılayamamaktadır. İşletme noktasının 3'e taşınabilmesi için (sistem basıncının 3 bar olması için) servo motorlu ayar vanası (SMAV), PLC yazılımı yardımıyla kısılmaktadır. Bu durumda s2 sistem eğrisi elde edilmektedir. Başka bir ifade ile s1 sistem eğrisi s2 ye kaymaktadır.

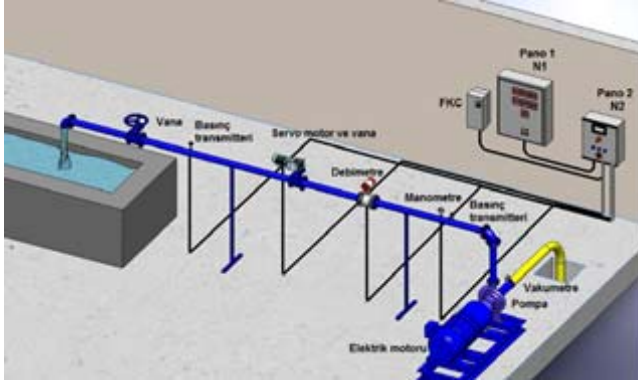


Şekil 1. Senaryo I devre elemanlarının yeri ve bağlantıları ve işletme noktası değişimi

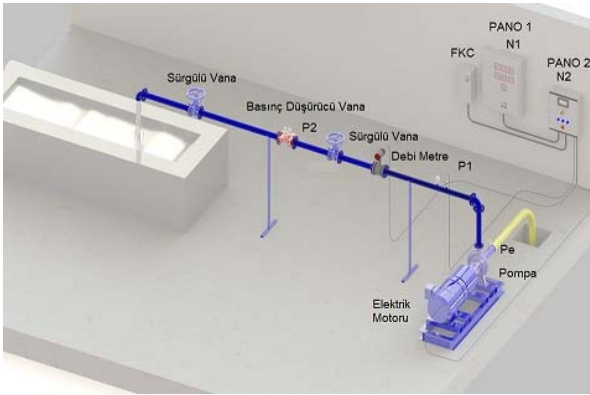
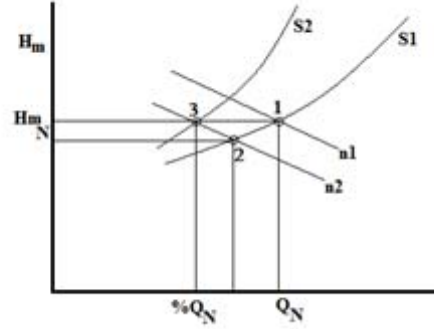


Şekil 2. Esas denemelerde kullanılan hidrolik sistem devre şeması ve HBY çalışma esası

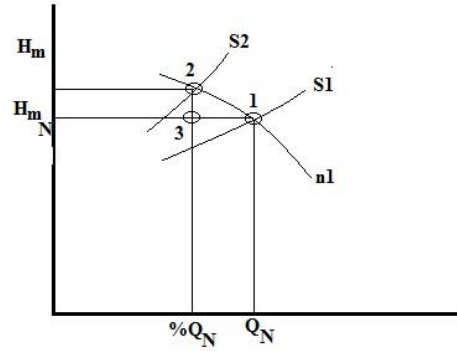
1- Yağ deposu, 2- Sıcaklık ve seviye göstergesi, 3- Depo kapağı ve havalık, 4- Dönüş Filtresi 5-) Paletli tip değişken debili pompa, 6-) Kampana, 7-) Kaplin, 8-) Elektrik motoru, 9-) Basınç emniyet valfi, 10-) 4/2 Yön kontrol valfi, 11-) 4/3 Oransal yön kontrol valfi, 12-) Hidrolik blok, 13-) Basınç transmitteri, 14-) Manometre, 15-) Çift millî hidrolik basınç yükseltici silindir.



Şekil 3. Senaryo II devre elemanlarının yeri ve bağlantıları ve işletme noktası değişimi



Şekil 4. Senaryo III de devre elemanlarının yeri ve bağlantıları ve işletme noktası değişimi



### Senaryo III.

EM + SP + SV + BDV elemanlarından oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu senaryo da FKC kullanılmamaktadır. Nominal pompa devrinde ( $n_1$ ) oluşan 1 nolu işletme noktası nominal işletme koşullarını içermektedir. Kısmi debileri elde edebilmek için, basma hattı ayar vanası kısıldığında, işletme noktası  $n_1$  devirdeki pompanın  $H_m$ -Q eğrisi üzerinde sola kayarak yeni bir  $S_2$  sistem eğrisi ortaya çıkmakta ve bu durumda işletme noktası 2'de oluşmaktadır (Şekil 3.4). Böylece istenen kısmi debi elde edilmekte ancak nominal manometrik yükseklikte artış ortaya çıkmaktadır. İşletme noktasının, istenen işletme noktası olan 3 nolu noktaya getirebilmek için devreye basınç düşürücü vanaya yer verilmiştir. Senaryo III'de Dorot marka 3" lik bir adet basınç düşürücü in-line parmak filtresi, pilot devresi olan ayarlanabilir küresel bir vana'dır

### ARAŞTIRMA BULGULARI

Denemeler süresince ortam sıcaklığı 15-29°C, bağıl nem % 51-72 ve pompalanan su sıcaklığı da 13-17°C arasında değişmiştir.

Araştırmada kullanılan sulama pompası 50 Hz şebeke frekansında 2,963 d/d'daki deneme

sonuçlarına göre pompanın debisi 13.49 //s, 4 bar çıkış basınç yüksekliği, manometrik yüksekliği 46.31 m olmuştur. Bu değerler, pompaj ünitesinin sistemden 15.87 kW güç çekilerek sağlanmıştır. Bu vana açıklığında, %38.59 değeri ile en iyi sistem verimi elde edilmiştir. Pompanın en iyi verim noktası için pompanın özgül hızı  $n_q=19.4$  ( $n_s=70.8$ ) olarak hesaplanmıştır. Bu özgül hıza göre pompa, radyal akışlı tipte olduğu belirlenmiştir. Pompa işletme karakteristik eğrileri incelendiğinde  $H_m$  - Q eğrisi yatay, N - Q eğrisi aşırı yüklü,  $\eta_s$  - Q eğrisi de geniş bölgede yüksek verimli seyreden karakterli eğrilere sahip olup tipik bir radyal akışlı pompa özelliği taşıdığı görülmektedir.

Aynı pompanın 3 bar çıkış basıncı bu vana açıklığında ki nominal değerler; debi, manometrik yükseklik, şebekeden çekilen güç ve sistem verimi olmak üzere sırasıyla 15.29 //s; 36.93 m; 16.53 kW ve % 33.49 olduğu saptanmıştır.

Deney pompasının nominal debi  $[(Q/Q_N) * 100]$  % 100 ve nominal debinin % 90, % 80, % 70 ve % 60 yüzdelerinin farklı pompa devirlerinde elde edilen karakteristik değerleri Çizelge 1.'de verilmiştir.

**Çizelge 1. Deney pompasının nominal debi ve nominal debinin yüzdelilerindeki karakteristik değerleri**

f (Hz)	n (d/d)	Q <sub>N</sub> göre değişim (%)	Q (l/s)	H <sub>m</sub> (m)	N <sub>s</sub> (kW)	η <sub>s</sub> (%)
50	2,963	100	15.29	36.93	16.53	33.49
45	2,686	90	13.78	33.61	12.70	35.75
40	2,386	80	12.20	30.10	8.90	40.46
35	2,087	70	10.77	24.32	6.00	42.81
30	1,798	60	9.17	16.64	3.72	40.21

**Çizelge 2. Senaryo I de değişik debi oranlarında elde edilen sonuçlar**

f (Hz)	n (d/d)	%Q <sub>N</sub>	Q (l/s)	P <sub>1</sub> (bar)	P <sub>2</sub> (bar)	P <sub>e</sub> (mmHg)	H <sub>m</sub> (m)	HBV H <sub>m</sub> (m)	N <sub>1</sub> (kW)	HBV N <sub>2</sub> (kW)	N = N <sub>1</sub> + N <sub>2</sub> (kW)	η <sub>s</sub> (%)
50	2,963	100	15.29	3.00	3.00	391	36.93	0.00	16.53	0.00	16.53	33.48
45	2,686	90	13.70	2.70	3.00	373	33.61	3.32	12.70	6.38	19.08	26.15
40	2,386	80	12.20	2.40	3.00	340	30.10	6.83	8.90	8.75	17.65	25.03
35	2,087	70	10.77	1.90	3.00	290	24.32	12.61	6.00	10.75	16.75	23.28
<b>30</b>	<b>1,798</b>	<b>60</b>	<b>9.17</b>	<b>1.20</b>	<b>2.50</b>	<b>250</b>	<b>16.64</b>	<b>15.30</b>	<b>3.72</b>	<b>13.50</b>	<b>17.22</b>	<b>16.68</b>

Deney pompasının devir sayısı değişimi ile işletme karakteristiklerinin değişimi arasındaki ilişki belli bir devir sayısından sonra benzerlik yasalarına uymamıştır. Bunun nedeni benzerlik yasalarının geçerliliği devir sayısı değişiminin % 10 ile sınırlandırılması ve pompa veriminin değişmediği kabulünde söz konusu olmasıdır (Tezer, 1978).

### Senaryo I Sonuçları

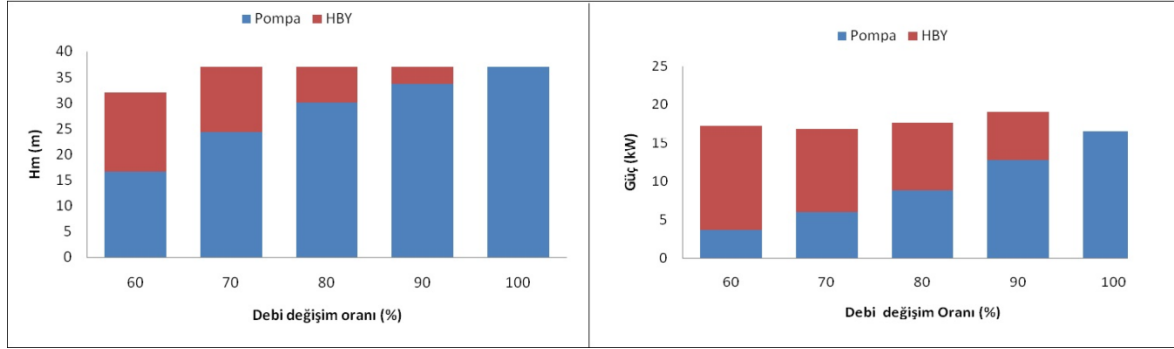
Deneme pompası, Senaryo I'e göre sisteme bağlanıp 3 bar sistem çıkış basıncında deneye tabi tutulduğunda, nominal debinin yüzdelilerinde elde edilen veriler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 incelendiğinde nominal debide, pompa devrine müdahale edilmemiş ve hidrolik basınç yükseltici (HBV) devreye alınmamıştır. Nominal debinin % 90 değerinde, elektrik motorunun devri FKÇ ile 50 Hz'den 45 Hz'e azaltıldığında, pompa devri 2,686 d/d'e düşmüştür. Bu koşulda pompa çıkış basıncı 2.70 bar manometrik yükseklik ise 33.61 m olmuştur. Basıncılı sulama sisteminin arzu edilen işletme basıncı 3 bar'ın altına düştüğü için sulama sisteminde istenen performans alınamayacağı için devreye HBV alınmıştır. Böylece % 90 sistem debisi (13.70 l/s) korunarak sistem basıncı HBV yardımıyla 3 bar'a yükseltilmiştir. Bu durumda HBV sisteme 3.32

m'lik ek basınç yüksekliği sağlamıştır. Buna karşılık, HBV şebekeden 6.38 kW şiddetinde elektriksel güç çekmiştir. Bu durumda % 90 kısmi debide, sistem verimi nominal sistem verimine göre % 21.89 oranındaki azalmayla % 26.15 değerine düşmüştür.

Benzer şekilde nominal debinin % 80, % 70 ve % 60 yüzdelilerinde de, HBV aralığıyla ek güç harcanarak, sisteme basınç aktarılmıştır. Buna bağlı olarak da azalan debi düzeylerinde, sistem veriminde de önemli ölçüde düşüşler görülmüştür. Nominal sistem verimine göre en yüksek sistem verim düşümü % 30.47 ile % 70'lik kısmi debi değerinde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni, bu çalışma noktasında HBV'nin sisteme sağladığı hidrolik güçten, şebekeden daha fazla elektriksel güç çekmesi ile açıklanabilir. Başka bir ifade ile HBV, sulama pompası tarafından gönderilen suyun azalması ve bu suyun HBV silindirine sürekli olarak doldurulabilmesi için yağ hidroliği güç kaynağı daha yüksek yağ debisi ve piston hızında çalışmak zorunda kalmasından kaynaklanmaktadır. Buna kanıt olarak % 60 debi oranı için HBV sistemde 36.93 m'lik manometrik yükseklik geliştirememiştir.

Çizelge 2'ye göre HBV'nin debinin değişik yüzdelilerinde sisteme sağladığı manometrik yükseklik değerleri ve ilave güç çekimi Şekil 5'de verilmiştir.

Şekil 5. Değişik kısmi debilerde pompa ve HBY tarafından sağlanan  $H_m$  ve güç değerleri

Çizelge 3. Senaryo II de kısmi debilerde elde edilen sonuçlar

f (Hz)	n (d/d)	2 no.lu işletme noktası verileri					3 no.lu işletme noktası verileri				
		[Q/Q <sub>N</sub> ]*100	Q <sub>1</sub> (//s)	H <sub>m1</sub> (m)	N <sub>1</sub> (kW)	η <sub>s1</sub> (%)	[Q/Q <sub>N</sub> ]*100	Q <sub>2</sub> (L/s)	P <sub>2</sub> (bar)	N <sub>2</sub> (kW)	η <sub>s2</sub> (%)
50	2,963	100	15.29	36.93	16.53	33.49	100	15.29	3.0	16.53	33.49
48	2,844	96	14.7	34.03	16.62	29.51	90	13.70	3.0	13.85	35.81
46	2,726	92	14.1	31.26	12.87	33.58	80	12.20	3.0	11.50	38.41
44	2,607	88	13.5	28.60	11.26	33.62	70	10.77	3.0	10.25	38.04
42	2489	84	12.9	26.06	9.80	33.63	60	9.17	3.0	8.39	37.35
40	2,370	80	12.2	23.60	8.46	33.37	50	7.65	2.9	7.42	37.33

Bununla beraber hidrolik basınç yükseltici, belirli bir çıkış basıncı için tasarlanması zorunluluğu bulunmaktadır. Modern basınçlı sulama sistemlerinde basınç nispeten düşük buna karşın pompa debileri oldukça yüksektir. Özellikle pompa debisinin daha büyük değerlerinde, HBY'nin piston hızı için mevcut hidrolik devre elemanları yeterliliği tartışılabilir durumdadır. Zira bu bağlamda ön denemelerde kullanılan sabit debili hidrolik pompa ve ayarlanabilir akış kontrol valfli HBY pompa tarafından gönderilen kısmi debiyi sisteme gönderebilmekte yetersiz kalmış, esas çalışmada daha büyük kapasiteli değişken debili pompa ve oransal valf kullanılmak zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu bakımdan HBY genel olarak daha düşük debileri çok daha yüksek basınçlara yükseltilmesinin teknik ve ekonomik bakımından daha elverişli olabileceği söylenebilir. Bu yüzden deney pompası sulamada kullanılan pompaların en küçük debili pompasının seçilmesi yolu tercih edilmiştir.

Sonuç olarak Senaryo I prensipte sulama pompaj tesislerinde verimli ve amaca uygun olarak kullanılabilir. Ancak daha büyük debili pompaj tesislerinde HBY tasarımı ve mevcut devre elemanlarının (özellikle hidrolik pompa ve akış kontrol

valfi bakımından) kapasiteleri en büyük sınırlandırıcı faktör olarak görülmektedir.

### Senaryo II Sonuçları

Deney pompası, Senaryo II'ye göre sisteme bağlanıp 3 bar işletme basıncında, kısmi debilerde Şekil 3'de verilen 2 ve 3 no.lu işletme noktalarında elde edilen karakteristikler Çizelge 3'de gösterilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde motor frekansı 50 Hz'den 44 Hz'e düşürüldüğünde, pompa devri 2,963 d/d'dan 2,607 d/d'ya, debi nominal debinin % 88'ine, manometrik yükseklik 36.93 m'den 28.60 m'ye gerilemiş olup vananın kısılması suretiyle yapılan müdahale sonucu basınç istenilen değere yükseltilirken kısmi debi % 88'den % 70'e gerilemiştir. Benzer ilişki diğer kısmi debilerde de artarak devam etmiştir. Pompa devir sayısı 2,370 d/d (40 Hz)'ya düşürüldüğünde kısmi debiler arasındaki fark % 37.5'e (% 80'den % 50'ye) çıkmış buna karşın istenen işletme basıncı sağlanamamıştır.

### Senaryo III Sonuçları

Senaryo III'de sistem çıkış basıncı, ayarlanabilir basınç düşürücü vana yardımıyla 3 bar'a ayarlandığında, deney pompasından Çizelge 4'de verilen değerler elde edilmiştir.

**Çizelge 4. Senaryo III de elde edilen veriler**

Vana Açıklığı	Q (l/s)	P <sub>1</sub> (bar)	P <sub>2</sub> (bar)	P <sub>e</sub> (mmHg)	N <sub>1</sub> (kW)	H <sub>m</sub> (m)	η <sub>s</sub> (%)
1	9.74	4.80	3.00	250.00	14.23	53.36	35.80
2	9.04	5.00	3.00	215.00	13.80	54.92	35.26
3	6.81	5.00	3.00	170.00	12.17	54.31	29.78
4	5.86	5.13	3.00	175.00	11.60	55.74	27.61
5	4.63	5.20	3.00	140.00	10.77	55.94	23.58
6	3.83	5.23	3.00	140.00	10.33	56.28	20.47
7	2.50	5.40	3.00	120.00	9.60	57.71	14.73
8	1.25	5.37	3.00	120.00	8.90	57.37	7.90
9	0.00	5.60	0.00	110.00	8.17	59.62	0.00

**Çizelge 5. Nominal ve kısmi debi yüzdelerinde yöntemlere bağlı sistem verimi ve özgül enerji tüketimi (3 bar işletme basıncı veya 36.93 m manometrik yükseklikte)**

Senaryo	Q/Q <sub>N</sub> (%)	Q (l/s)	N (kW)	η <sub>s</sub> (%)	ÖET (kWh/m <sup>3</sup> )
Nominal	100	15.29	16.53	33.49	0.300
	90	13.70	19.08	26.15	0.387
I	80	12.20	17.65	25.03	0.402
	70	10.77	16.75	23.28	0.432
	60	9.17	-	-	-
	90	13.70	13.85	35.81	0.281
II	80	12.20	11.50	38.41	0.262
	70	10.77	10.25	38.04	0.264
	60	9.17	8.39	37.5	0.254
	90	-	-	-	-
III	80	-	-	-	-
	70	-	-	-	-
	63,7	9.74	14.23	35.80	0.406

Çizelge 4 incelendiğinde, Senaryo III'de elde edilebilen en büyük debi 9.74 l/s olup bu değer nominal debinin ancak % 63.7'sine karşılık gelmektedir. Bu bakımdan bu yöntemden sabit 3 bar basınçta elde edilebilen diğer tüm kısmi debi değerleri pompanın kaviteasyon oluşum sınırında debi elde edilmekte ve bu yöntemden ekonomik, sürdürülebilir bir pompaj sağlanamayacağı söylenebilir. Basınç düşürücü sistemlerin kullanılabilirliği daha yüksek basınçlı pompaj tesislerinde daha elverişli olabileceği ifade edilebilir.

#### Sistem verimi ve özgül enerji tüketimi

Üç değişik senaryo için elde edilebilen değişik kısmi debi yüzdelerindeki sistem verimi ve özgül enerji tüketim değerleri çizelge 5 de gösterilmiştir.

Çizelge 5 incelendiğinde; senaryo I'de kısmi debi oranları azaldıkça, sistem verimi düşmüş, buna bağlı özgül enerji tüketim değerleri de yükselmiştir. % 70 kısmi debi oranında sistem verimi ve kWh/m<sup>3</sup> birimiyle ifade edilen özgül enerji tüketiminde (ÖET) % 30.49'luk bir düşüş hesaplanmıştır. Ayrıca senaryo I'de 3 bar sabit basınçta % 60 kısmi debi oranı elde edilememiştir.



Modern basınçlı sulama sistemlerinde sabit basınç, değişken debi ilkesi bakımından verimlilik ve kullanılabilirlik açısından en elverişli senaryonun senaryo II olduğu söylenebilir. Senaryo II ile nominal debinin % 60'ına kadar tüm kısmi debi oranlarında nominal debiye göre daha yüksek sistem verimi ve daha düşük özgül enerji tüketimi ile pompaj yapılabileceğini ortaya konulmuştur. Senaryo II'de özellikle % 80 kısmi debi oranında nominal sistem verimine göre %15 daha yüksek sistem verimi ve daha düşük özgül enerji tüketimi sağlamıştır.

Senaryo III, senaryolar arasında, sabit basınç değişken debide kullanılabilirlik bakımından en elverişsiz senaryo olduğu söylenebilir. Çünkü istenen işletme basıncını, nominal debinin sadece % 63.7'inde sağlanabilmiştir. Senaryo III'de sadece % 63.7 kısmi debi oranında, sistem verimi ve özgül enerji tüketimi bakımından da nominal değerlere göre % 6.9 düzeyinde avantaj sağladığı söylenebilir.

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Günümüz dünyasında "değişken düzeyli tarımsal uygulamalar" cümlesi çok sık kullanılmaktadır. Bu bağlamda tarımsal sulama pompajında debi değiştirmek için birçok yöntemin kullanılabilirliği söz konusudur. Bu yöntemlerde debi değiştirilince başta basınç olmak üzere diğer pompaj işletme karakteristikleri de değişmektedir. Ancak modern basınçlı sulama sistemleri olarak bilinen yağmurlama ve damla sulama yöntemleri, değişik debilerde fakat sabit bir basınçta çalışması gerekmektedir. Bu çalışmada özellikle otomasyona imkân sağlayabileceği ön görülen üç değişik senaryonun sabit basınç, değişken debi koşullarında uygulanabilirliği ve verimliliği araştırılmış ve özetle aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır. Senaryo I: Pompa devir sayısının FKC ile azaltılması sonucu, düşen sistem basıncının, HBY ile yeniden sisteme kazandırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla bir HBY tasarlanarak, prototip imalatı yapılmış ve bu çalışmada kullanılmıştır. Yapılan testler sonucunda 3 bar sabit işletme basıncında, nominal debinin ancak % 70'ine kadar debi elde edilebildiği, kısmi debi azaldıkça sistem veriminin düştüğü ve % 70 kısmi debi oranında sistem verimi nominal verime göre % 30.49 düzeyinde azalma, özgül enerji tüketiminde de aynı düzeyde artış görülmüştür. Ayrıca 3 bar işletme basıncında, nominal debinin % 60'ı ve daha düşük kısmi debi oranı sağlanamamıştır.

Senaryo II: Pompa devir sayısı FKC ile azaltılması sonucu, azalan sistem basıncının, basma hattı vanasının kısılması ile yeniden sisteme kazandırılması hedeflenmiştir. Yapılan testler sonucunda 3 bar sabit işletme basıncında, nominal debinin % 60'ına kadar değişken kısmi debiler elde edildiği ve azalan kısmi debi oranlarında sistem verimi nominal sistem verimine göre daha yüksek olduğu benzer şekilde özgül enerji tüketimi ise azaldığı görülmüştür. % 80 kısmi debi oranında sistem verimi ve özgül enerji tüketiminin, nominal değerlere göre % 15 daha elverişli olduğu bulunmuştur.

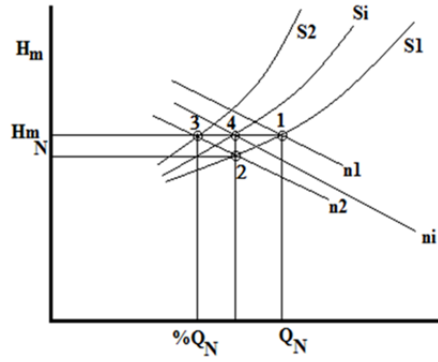
Senaryo III: Pompa devir sayısına müdahale edilmeden debinin vana ile kısılarak azaltılması sonucu, artan sistem basıncının, sisteme bağlanan bir basınç dürrücü marifetiyle sistemin istenen basınca düşürülmesi hedeflenmiştir. Yapılan testler sonucunda 3 bar sabit işletme basıncında, nominal debinin ancak ve sadece % 63.7'lük kısmi debi elde edilebilmiştir. Bu işletme noktasındaki sistem verimi ve özgül enerji tüketimi bakımından da nominal değerlere göre % 6.9 düzeyinde avantaj sağladığı söylenebilir.

I. Senaryo için tasarlanan HBY, belli bir basınç değeri için imal edilmekte ve sistemde kullanılacak sulama pompasının çok küçük debili olması gerekmektedir. Hidrolik güç kaynağında değişken debili pompa ve oransal akış kontrol valfi kullanma zorunluluğu vardır. I. senaryo sabit basınç ve değişken debili sulama pompaj tesislerinde verimlilik ve enerji tüketimi bakımından uygun olmadığı söylenebilir.

II. senaryo için geliştirilen tek yönlü (sadece basınç) PLC yazılımının, Şekil 6 da gösterilen 4 no.lu işletme noktasının koordinatlarında (istenen debi ve basınç) uzlaşma sağlayabilecek sonsuz tekrarlamalı çift yönlü bir PLC yazılımına dönüştürülmesi verimlilik ve enerji tüketimi bakımından çok daha yararlı olabileceği önerilebilir.

III. senaryoda, debi değişim aralığı çok sınırlı kalmaktadır. Bu yöntemin sabit basınç ve değişken debili sulama sistemlerinde kullanılmasının elverişli olmayacağı söylenebilir.

Sonuç olarak; sabit basınç ve değişken debili sulama pompaj tesislerinde debi değişkenliği, kullanılabilirlik, verimlilik ve enerji tüketimi bakımından, II. Senaryo daha uygun bulunmuştur.



Şekil 6. Önerilen çift yönlü yazılım için işletme noktası

## LİTERATÜR LİSTESİ

- Ackermann, K., 2003, Minimizing life cycle cost of wastewater pumps, *Engineering in Life Sciences*, 3(5), 233-236.
- Anonim, 2002, TS EN ISO 9906 Rotadinamik pompalar-hidrolik performans kabul deneyleri, sınıf I ve sınıf II, Ankara.
- Anonim, 2005, AC Induction motors platts, a division of the McGraw-Hill companies, [http://www.reliant.com/en\\_US/Platts/PDF/P\\_PA\\_35.pdf](http://www.reliant.com/en_US/Platts/PDF/P_PA_35.pdf), [Çevrimiçi Erişim: 11.05.2012].
- Anonim, 2008, [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr) [Çevrimiçi Erişim: 12.11.2012].
- Anonim, 2012, [www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr) [Çevrimiçi Erişim: 26.11.2012].
- Alegre, H., Baptista, J.M., Cabrera E., Cubillo, F., Duarte, P., Hirner, W., Merkel, W. and Parena, R., 2006, Performance indicators for water supply services, IWA Publishing, London, 289.
- Barutçu, F., Lamaddalena, N., and Fratino, U., 2007, Energy saving for a pumping station serving an on-demand irrigation system: A Study case, water saving in mediterranean agriculture and future research needs, options mediterraneennes, Bari, Serie B 56(1), 367-379.
- Barutçu, F., 2011, Basıncılı sulama sistemlerinde değişken hızlı pompalarla enerji kazanım olanaklarının araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Bilgen, İ.H., ve Eralp, O.C., 1996, Santrifüj pompalardaki kavitasyonun deneysel incelenmesi ve analizi, 2. Pompa Kongresi, İstanbul 98-107.
- Bouabe, Z., 1996, Etude des possibilites d'economie d'energie a travers la conversion de la regulation d'une station de pompage par reservoir sureleve a la vitesse variable, (Master Science Thesis), CIHEAM, Bari Institute, 116.
- Bower, j., Geoff, B., Houstadius, G., Warren, L., ve ark., 2006, Değişken hızlı pompalama, (Çeviri) Europump ve Hidrolik Enstitüsü, Pomsad Yayınları, İstanbul.
- Çalışır, S., Sungur, C., Haciseferoğulları, H., Yıldız, M.U., 2004, Pompaj tesislerinde enerji etkinliğini iyileştirme yöntemleri, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu, Kütahya, 431-441.
- Çalışır S., Haciseferogullar, H., and Gezer, I., 2005a, Specific energy consumption at vertical turbine deep well irrigation pumping plants, 9 th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture&27 th International Conference of CIGR Section IV: The Efficiency Of Electricity And Renewable Energy Sources, İzmir, 270-275.
- Çalışır, S., Topak, R., ve Acaroglu, M., 2005b, Specific energy consumption of motopumps in irrigation, 9 th International Congress On Mechanization And Energy İn Agriculture&27 the International Conference Of Cigr Section IV: The Efficiency Of Electricity And Renewable Energy Sources, İzmir, 276-280.
- Çalışır, S., Acaroglu, M., and Haciseferoğulları, H., 2005c, Determination of specific energy consumption of the centrifugal pumps used in irrigation, 4rd International Advanced Technologies Symposium, Konya, 527-533.
- Çalışır, S., 2007, The evaluation of performance and energy usage in submersible deep well irrigation pumping plants, *Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin Amerika (AMA)*, Vol. 38, No.1, 9-17.
- Clement, R., and Galand, A., 1979, Irrigation par aspersion et reseaux collectifs de distribution sous pression, Eyrolles Editeur, Paris, 182.
- Duymus, E., ve Ertöz, A.Ö., 2001, Değişken devirli pompa seçimi, 4. Pompa Kongresi, İstanbul, 24-32.
- Fernandez Garcia, I., Rodriguez Diaz, J.A., Camacho Poyato, E. and Montesinos, P., 2013, Optimal Operation of Pressurized Irrigation Networks with Several Supply Sources, *Water Resources Management Volume: 27 Issue: 8*, 2855-2869.
- Frenning, L., Hovstadius, G., Alfredsson, K., Beekman, B., Angle, T., Bower, J., Hennecke, F.W., Mckane, A.,

- Doolin, J., and Romanyshyn, G., 2001, Pompalarda ömür boyu maliyet, (O. Konuralp Çev.), Pomsad, İstanbul.
- Hanson, B., Weigand, C., and Orloff, S., 1996, Performance of electric irrigation pumping plants using variable frequency drives, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 122(3), 179-182.
- Karadoğan, H., 2001, Değişken devirli pompa kullanan büyük pompa istasyonlarını bekleyen bazı sorunlar, 4. Pompa Kongresi, İstanbul, 61-68.
- King, B.A. and Wall, R.W., 2000, Distributed instrumentation for optimum control of variable speed electric pumping plants with center pivots, *Applied Engineering in Agriculture*, 16(1), 45-50.
- Lamadelena, N. and Khila, S., 2011, Energy saving with variable speed pumps in on-demand irrigation systems, *Irrigation Science*, Online, <http://www.springerlink.com/content/4357mwjt123ml521/fulltext.pdf>, [Çevrimiçi Erişim: 26.11.2012].
- Lambeth, J. and Houston, J., 1991, Adjustable frequency drives save energy. *Water Environment and Technology*, 34.
- Little, K.W. and Mccrodden, B.J., 1989, Minimization raw water pumping costs using milp, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 115(4), 511-522.
- Moreno, M.A., Carrion, P.A., Planells, P., Ortega, J.F. and Tarjuelo J.M., 2007, Measurement and improvement of the energy efficiency at pumping stations, *Biosystems Engineering*, 479-486.
- Moreno, M.A., Planells, P., Córcoles, J.I., Tarjuelo, J.M. and Carrion, P.A., 2009, Development of a new methodology to obtain the characteristic pump curves that minimize the total cost at pumping stations, *Biosystems Engineering*, 95-105.
- Reca, J., Garcia, M., A. and Martinez, J., 2014, Optimal Pumping Scheduling for Complex Irrigation Water Distribution Systems, *Journal of Water Resources Planning and Management* Volume: 140 Issue: 5, 630-637.
- Rocamora, C., Vera, J. And Abadia, R., 2013, Strategy for Efficient Energy Management to solve energy problems in modernized irrigation: Analysis of the Spanish case, *Irrigation Science* Volume:31 Issue:5, 1139-1158.
- Rodriguez, J.A.D, Lopez, R.L, Carrillo, M.T.C, Montesinos, P., and Camacho, E.P., 2009, Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks, *Biosystems Engineering*, 104(4), 552-561.
- Serven, E.J., 1979, Pompalar ve enerji tasarrufu, 1. Ulusal Pompa Kongresi, İstanbul, 295 – 316.
- Stambouli, T., Faci, J.M. and Zapata, N. 2014, Water and energy management in an automated irrigation district, *Agricultural Water Management* Volume: 142, 66-76.
- Şen, M., 1979, Santrifüj pompaların girişindeki ters akış ve buna etki eden dizayn parametreleri, 1. Pompa Kongresi, İstanbul, 159-175.
- Tezer, E., 1978, Sulama pompaj tesisleri (Proje seçim ve işletme yöntemleri), Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Adana.
- Thorne, T., Bonn P., Bristow, D., Emnenbach, F., Gibbs, K., Holz, F., Neveril, J., Stoffel, B., Went, B., Wilde, G., and Yates, M., 2006, Sistem verimi, (Çeviri) Europump yayınları, Pomsad, İstanbul, 29-61.