

BASINÇLI SULAMA SİSTEMLERİNDE DEĞİŞKEN HIZLI POMPALARLA ENERJİ KAZANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI*

A Research On Energy Saving Possibilities With Variable Speed Pumps In Pressurized Irrigation Systems

Fatih BARUTÇU
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

M. Tunç ÖZCAN
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada, iki ayrı basınçlı sulama şebekesine servis eden bir pompa istasyonunda enerji kazanım olanakları incelenmiş ve enerji kazanımı sağlayacak bir işletme modeli geliştirilmiştir. Model, değişken sulama suyu ihtiyacına göre pompa ve sulama sistem eğrilerini tüm sulama sezonu boyunca eşleştirerek enerji tüketimini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Bunun için, pompa ve sulama sistemi bir bütün olarak ele alınarak tesisin mevcut durumu incelenmiş, geliştirilen yöntem ile sistemin optimizasyonu yapılarak klasik uygulamaya kıyasla sağlanan enerji kazanım miktarları belirlenmiştir. Sabit hızlı pompa işletme modeline kıyasla, M-1 sulama sisteminde %14,4, M-2 sulama sisteminde %9,6 olmak üzere pompa istasyonunda yıllık %12 oranında bir enerji kazanımı sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.

Tüm bulgular ve analizler, önerilen yaklaşımın enerji kazanımı açısından verimli olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Değişken hızlı pompa, frekans değiştirici, enerji kazanımı, basınçlı sulama sistemi, pompaj maliyeti

ABSTRACT

In this study, energy saving possibilities were analysed in a pumping station serving two different pressurized irrigation networks and a model to save provide energy savings was developed. The model is aimed to optimize energy consumption by matching pump and system characteristic curves during the whole irrigation season. For this purpose, current situation of the pumping plant was investigated by evaluating pump and irrigation system as a whole. By optimizing the system with the help of the methodology developed, the quantity of energy savings respect to classical approach was determined. It was concluded that in comparison with the current constant speed operation, annual energy savings of about %14.4 and %9.6 may be achieved at M-1 and M-2 irrigation systems respectively and average of 12% at the pumping station.

All the results and analyses showed that the presented methodology is efficient in terms of energy savings and applicable in terms of economics.

Key Words: Variable speed pump, frequency drive, energy saving, pressurized irrigation system, pumping cost

* Doktora Tezi – PhD Thesis

Giriş

Sulama suyu dağıtım sistemleri içinde basınçlı sulama sistemleri son zamanlarda oldukça yaygınlaşmış olup açık kanallara oranla önemli avantajlara sahiptir. Basınçlı sulama sistemleri, bitki su gereksinimini karşılayacak su miktarını sağlamakta, böylece çiftlik seviyesinde daha verimli su kullanımını temin etmekte ve kayıpları minimum düzeyde tutmaktadır.(Pereira ve ark., 2003). Kullanılan sulama suyu miktarı ölçülebildiğinden birim su hacmi başına fiyatlandırma sistemi kolayca uygulanabilmektedir. Tüm bu sayılan faydalarına karşın, basınçlı sulama sistemlerinin önündeki en büyük engel, suyun iletiminde ve taşınmasında gerekli olan enerji masrafı, diğer bir ifadeyle pompaj maliyetidir.

Pompa istasyonları çoğunlukla maksimum sistem debisini sağlamak üzere tesis edilmektedir. Ancak, maksimum debi sınırlı bir zaman dilimi için oluşmakta ya da hiç oluşmamaktadır. Bunun yanında, üretim sezonu boyunca debi sabit değildir. Özellikle basınçlı sulama sistemlerinde, bitki su tüketiminin zamanla değişkenlik göstermesi nedeniyle, debi ve basınç yükü ihtiyacında sürekli değişiklikler meydana gelmektedir. Böyle sistemlerde sulama sistem eğrisi de duruma göre değişiklik göstermektedir. Sistemin sürekli maksimum debide çalışması ise artık enerji ile sonuçlanmaktadır. Debi ve basınç yükü gereksinimlerindeki dalgalanmalar, pompa istasyonunun sadece enerji verimliliğini azaltmakla kalmayıp aynı zamanda su kullanım etkinliğini ve su dağılım üniformitesini de olumsuz olarak etkilemektedir.

Pompa birimleri, tarla içi sulama sistemine uygun yeterli basınçtaki suyu çiftçilere sağlamak amacıyla tesis edilmektedir. Tüketilen enerji, sistem debisine, işletme basıncına ve işletme süresine bağlıdır. Enerji kazanımı; sistem debisinin, işletme basıncının, işletme süresinin azaltılması ile gerçekleştirilebileceği gibi sistem veriminin yükseltilmesiyle de gerçekleştirilebilir (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000, Barutçu, 2005). Enerji ve su kullanımı açısından optimum verim, sistem işletme koşullarına bağlı olarak pompa istasyonunun hidrant seviyesinde gerekli minimum basınç değerine göre işletilmesiyle başarılabilir (Lamaddalena ve Piccini, 1993; Ait Kadi ve ark., 1998; King ve Wall, 2000; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Barutçu 2005).

Değişken hızlı pompalar; içme suyu dağıtım şebekelerinde ve atık su dönüşüm sistemlerinde daha önce kullanımı bilinen; ancak, sulama sistemleri için yeni sayılan bir teknolojik yeniliktir. Bu teknolojinin yararı sadece işletme süresi boyunca enerji kazanımıyla sınırlı değil, aynı zamanda pompa istasyonunun bakımıyla da ilgilidir. Ancak; bu teknolojinin kullanımı pompa istasyonlarında kapsamlı bir araştırma ve uygun bir yöntemin geliştirilmesiyle mümkündür.

Bu çalışmada bir sulama pompa İstasyonunun performans analizinin yapılarak çalışma koşullarını belirlemek, değişken sulama suyu ihtiyacını karşılayacak gerekli minimum basıncı sağlayacak işletme metodunu geliştirmek, yeni yöntem ile sistemin optimizasyonu yapılarak klasik uygulamaya kıyasla sağlanan enerji kazanım miktarını belirlemek amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

Materyal

Çalışma Alanı, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Çiftliği Pompa İstasyonu ve bu pompa istasyonunun hizmet ettiği 3810 dekarlık tarım arazisini kapsamaktadır (**Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**). Pompa istasyonu, birbirinden bağımsız iki sulama sistemine servis yapmaktadır. Her bir sulama sisteminde 32 adet hidrant bulunmakta olup, toplamda 64 adet hidranttandır oluşmaktadır. Hidrantların nominal debisi 12 l s^{-1} olup hidranta gerekli minimum basınç yükü 30 mSS'dur. Her bir hidrant 5 hektar ile 12,6 hektar aralığında değişen büyüklükteki arazilere hizmet etmektedir. Sulama suyu kaynağı, DSİ sulama kanalına bağlı bir rezervuar olup, kapasite problemi bulunmamaktadır. Sulama boruları asbestli çimento boru olup, her iki sulama hattı pompa istasyonu çıkışında 500 mm'lik bir çapa sahiptir.

Çalışmaya konu alanda tek ve çok yıllık tarla bitkileri ve bahçe bitkileri ürünleri yetiştiriciliği yapılmaktadır. Bitki örtüsü; narenciye, buğday, yonca, mısır, fiğ, üzüm, nar, ikinci ürün mısır gibi yetiştirme sezonları birbirinden farklı bitkilerden oluşmaktadır. Çalışmaya konu pompa istasyonunda 6 adet yatay milli santrifüj pompa bulunmaktadır. Pompa istasyonu içerisinde bulunan pompalara ve elektrik motorlarına ait teknik veriler Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Bu pompalardan 2 adedi M-1 sulama hattına, 3 adedi M-2 sulama hattına, 1 adedi ise her iki sulama hattına servis yapacak şekilde paralel olarak düzenlenmiştir

Çizelge 1. Pompa istasyonunda kullanılan pompalara ait teknik özellikler

Model	Nominal Hız [min^{-1}]	Basınç yükü [mSS]	Debi [$\text{m}^3 \text{h}^{-1}$]
Norm 200/500	1480	83.6	446.3
Norm 250/500	1480	59	583.2

Çizelge 2. Pompa istasyonunda kullanılan elektrik motorlarına ait teknik özellikler

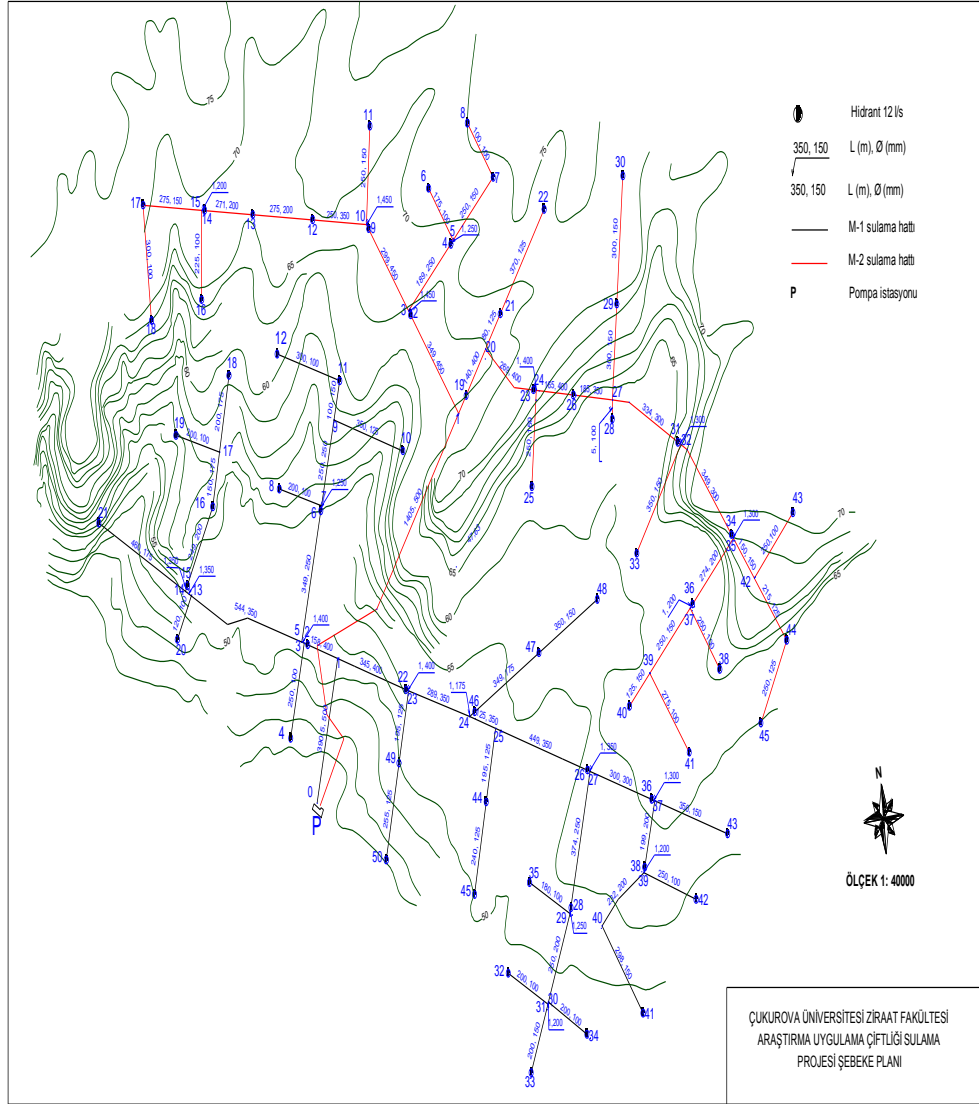
Model	Nominal Güç	Verim	Güç Faktörü	Nominal Akım	Gerilim
315M	P_n [kW]	η [%]	$\cos\phi$	I_n [A]	[V]
	160	94	0.89	291	380/660 V

Metot

Çalışmaya konu pompa istasyonundaki pompaların arazi şartlarındaki pompa testlerine dayalı karakteristikleri dikkate alınarak sabit ve değişken hızlı pompa operasyonlarının enerji gereksiniminin karşılaştırılması ve ekonomik analizi gerçekleştirilmiştir. Sabit hızlı pompa operasyonu pompa istasyonunun mevcut durumunu ifade etmektedir. Çalışmada dikkate alınan değişken hızlı pompa işletme modeli pompa istasyonunda her bir sulama hattı için, sadece tek bir pompanın frekans değiştiriciye bağlı olarak değişken hızda, geri kalan pompaların sabit hızda çalıştırılması prensibine göre düzenlenmiştir.

Her iki pompa operasyonunu uygulanması için bir dizi ölçüm ve analiz gerçekleştirilmiştir. Bunlar; (i) basınçlı sulama sisteminin analizi, (ii) pompaların

karakteristik eğrilerinin elde edilmesi, (iii) debi hidrograflarının elde edilmesi, (iv) enerji tüketimi değerlerinin hesaplanmasıdır.



Şekil 1. Sulama projesi şebekesi planı

Sulama sisteminin analizi:

Talebe dayalı basınçlı sulama şebekelerinde aynı sistem debisi için her bir şebeke hattı boyunca akan debi, o hat üzerinde açık olan hidrant sayısına ve debisine bağlı olarak değişmektedir. Bu hidrantların konumuna bağlı olarak, her bir hidrantta minimum basınç yükü gereksinimini garanti edebilmek amacıyla pompa istasyonunda değişken basınç yükü ihtiyacı gerekli olmaktadır. Bu durum, talebe dayalı basınçlı sulama şebekelerinde birden fazla sulama sistem (talep) eğrisi olduğunu göstermektedir (Lamaddalena, 1997; Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Planells ve ark., 2001; Pérez ve ark., 2002).

Çalışma konusu pompa İstasyonuna bağlı sulama sisteminin analizi amacıyla Lamaddalena (1997) tarafından geliştirilen "COPAM-Sınıflandırılmış Karakteristik Eğriler Modeli" kullanılmıştır. Çalışmada 1 l s^{-1} ve 382 l s^{-1} aralığında değişen sistem debisine göre eş zamanlı olarak çalışan 1000 tesadüfî hidrant konfigürasyonu belirlenmiştir.

Pompa karakteristik eğrileri:

Araştırmaya konu pompa istasyonunda kullanılan pompalar, arazi şartlarında test edilerek nominal hızlarına ait karakteristik eğriler (H_m -Q, BP-Q ve Verim-Q) belirlenmiştir. Pompaların farklı çalışma hızlarına ait olan H_m -Q eğrileri ise Pompa Benzeşim Yasaları'ndan elde edilmiştir.

Debi ölçümlerinde Krohne UFM-610P marka ultrasonik debimetre kullanılmıştır. Basma hattındaki basıncı ölçmek için Herde marka, bar cinsinden basınç (0 ile 16 bar arasındaki) değerlerini gösteren manometreler kullanılmıştır. Emme hattında oluşan yük kayıpları, emme hattında kullanılan boru aparatlarına ve borunun cinsine göre abak ve formüllerden yararlanılarak hesaplanmıştır. Denemeler esnasında güç ölçümü, "Güç ve Enerji Analiz / Ölçüm Cihazı HT VEGA 76" serisi tarafından yapılmıştır. Ölçüm cihazı doğrudan elektrik şebekesinden çekilen güç (P_a) okuduğundan, aşağıdaki formül kullanılarak pompanın yuttuğu güç hesaplanmıştır.

$$P_{YG} = \frac{1,73 \times U \times I \times \cos \varphi \times \eta_m}{1000} \quad (1)$$

P_{YG} : Pompanın yuttuğu güç [kW],

U : Pompanın çektiği volt [V],

I : Pompanın çektiği amper [A],

η_m : Motor verimi (% 94),

$\cos \varphi$: Güç faktörü'dür.

Debi Hidrografları:

Debi hidrografları sulama pompalarının ihtiyaç duyduğu enerji miktarının hesaplanmasında gerekli olup sulama suyu gereksinimini belirler ve çiftçinin su kullanımındaki davranışını göstermektedir.

Debi hidrograflarını kaydedebilmesi için kayıt cihazıyla (data logger) donanımlı bir debimetrenin sulama sezonu boyunca kullanılması gerekmektedir.

Çalışma sırasında böyle bir donanımın sisteme entegrasyonunda yaşanan güçlüklerden ve güvenlik problemlerinden dolayı debi hidrograflarının elde edilebilmesi amacıyla toprak-su dengesi yaklaşımına göre çalışan bir simülasyon (WinGenera) modeli kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan WinGenera yazılımı, Khadra ve Lamaddalena (2005) tarafından geliştirilmiş olup, hidrant seviyesinde su ihtiyacını belirlemek ve bunu sulama sisteminin bütünüyle ilişkilendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Simülasyonda kullanılan meteorolojik veriler (Günlük sıcaklık (minimum, maksimum, ortalama), oransal nem (ortalama ve maksimum), güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve yağış) Adana Meteoroloji İstasyonundan 2009 yılı için elde edilmiştir.

Enerji Gereksinimi:

Enerji tüketimi güç gereksinimine ve işletme süresine bağlı olarak değişmektedir. Bu sayılan unsurlar bilindiği takdirde pompa istasyonunda tüketilen enerji miktarını hesaplamak mümkün olabilir (Eşitlik 9).

$$E = P_a \times T \quad (2)$$

E : Enerji [kWh],

T : İşletme süresi [h]'dir.

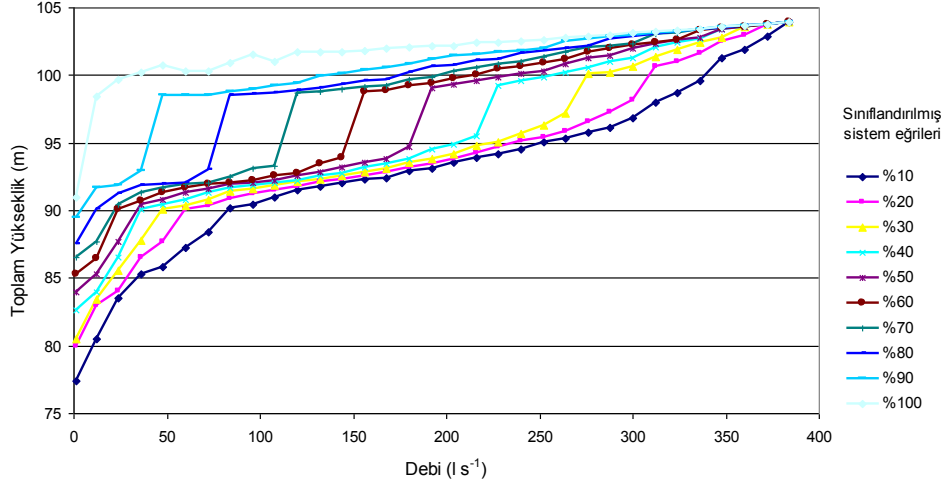
Değişken hızlı pompa istasyonlarında ise güç gereksinimi hesabı yapılırken, pompa ve elektrik motorunun yanında, sistemde kullanılan Frekans Değiştirici (FD) veriminin de ayrıca dikkate alınması gerekmektedir ve bu çalışmada bu husus dikkate alınmıştır.

Araştırma Bulguları

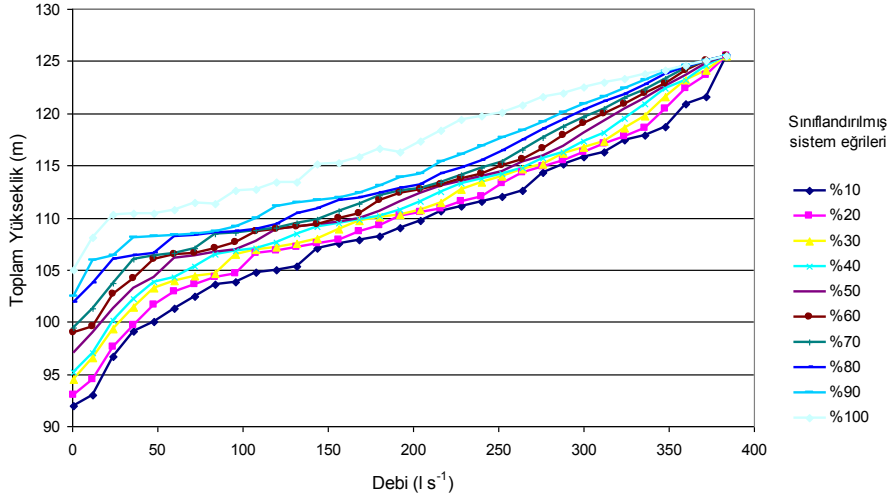
Çalışma sahasında bulunan hidrantların topoğrafik konumlarına ve aynı anda çalışan hidrant kombinasyonlarının birbirlerine göre olan konumlarına göre sistemde birden fazla yük eğrisi bulunabilmektedir (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Planells ve ark., 2001). Şekil 2 ve Şekil 3'te M-1 ve M-2 sulama sistemleri için "Sınıflandırılmış Sulama Sistem Eğrileri" sunulmuştur.

Bu çalışmada, sulama ve pompaj sisteminin hidrolik ve ekonomik optimizasyonu için uygulanan yöntem için %90 sistem yük eğrisi temel olarak alınmıştır.

Çalışmaya konu pompaların karakteristik eğrileri ile hizmet ettiği sulama sistemine ait sistem yük eğrisi aynı grafik üzerinde gösterilerek olası pompa çalışma noktaları görülebilmektedir. Şekil 4'de, M-1 sulama sistemine servis yapan pompaların çeşitli işletme noktaları için tek ve paralel çalışması durumunda oluşacak pompa karakteristik eğrileri ve M-1 sulama sistemi yük eğrisinin eşleşmesi görülmektedir.



Şekil 2. M-1 sulama sistemi sulama sistem eğrileri



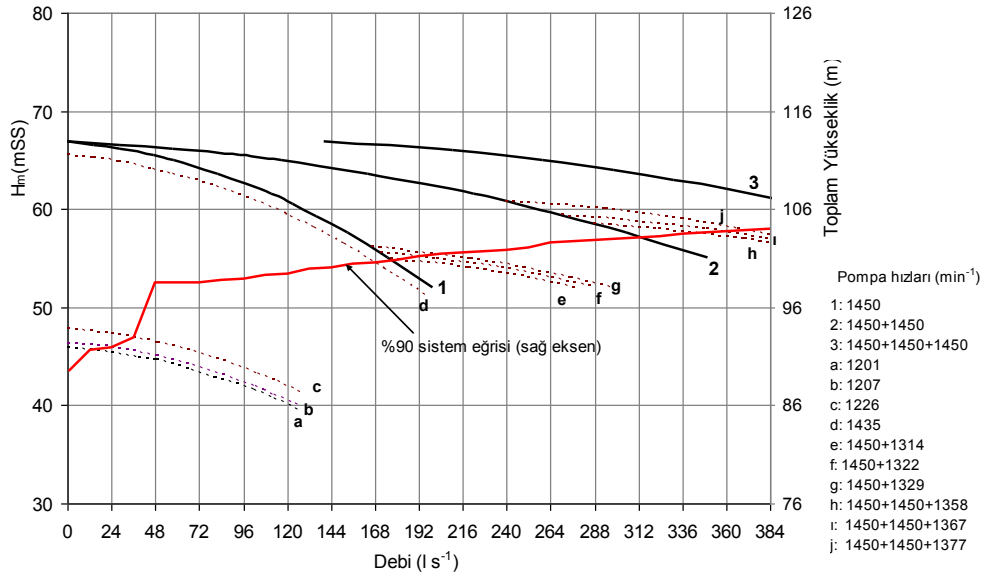
Şekil 3. M-2 sulama sistemi sulama sistem eğrileri

Şekil 4'de görülen eğri 1, Norm 250-500 tip pompanın tek çalıştırılması durumundaki pompa karakteristiğini gösterirken, eğri 2 aynı iki birim pompanın paralel çalıştırılması durumundaki pompa karakteristiğini göstermektedir. M-1 sulama sisteminde 2 adet Norm 250-500 tip 1 adet ise Norm 200-500 tip pompa bulunmaktadır. 3 numaralı eğri bu üç pompanın paralel çalıştırılması durumunda oluşacak pompa karakteristiğini temsil etmektedir. Kesik çizgiler ise, farklı sistem

debileri için olası pompa çalışma noktalarına göre pompa hızlarının uyarlanması durumunda oluşan pompa karakteristiklerini belirtmektedir.

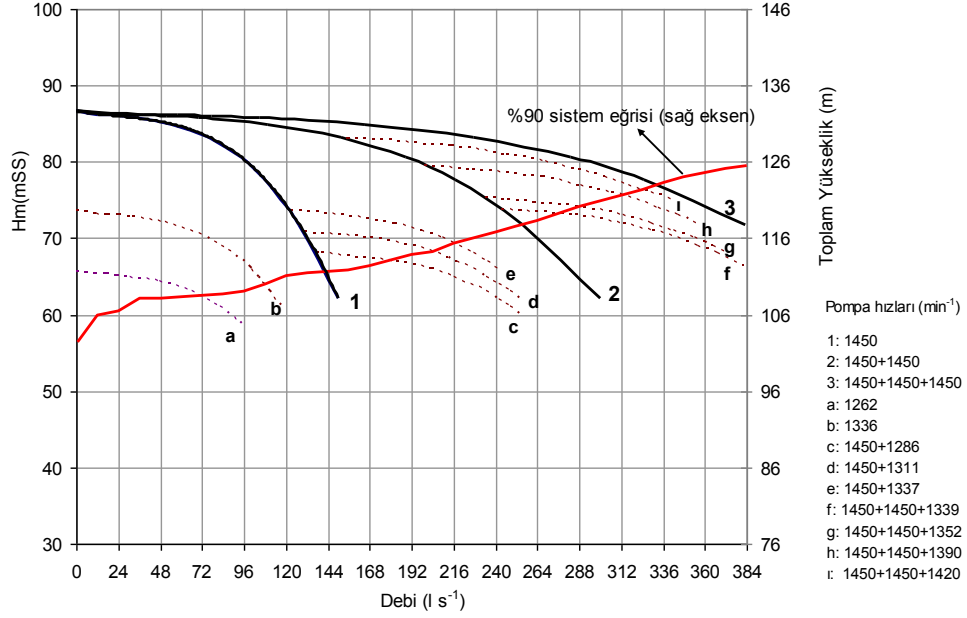
Grafik dikkatle incelenirse, 178 l s⁻¹ den sonra ikinci pompanın birinci pompa ile birlikte, 315 l s⁻¹ den sonra üçüncü pompanın bir ve ikinci pompalarla beraber çalışması gerektiği görülmektedir.

Şekil 5'te, M-2 sulama sistemine servis yapan pompaların (Norm 200-500) farklı hızlarda tek ve birlikte paralel çalışması durumunda oluşacak pompa H_m-Q eğrilerinin M-2 sulama sistemi yük eğrisi ile eşleşmesi görülmektedir.



Şekil 4. Pompa karakteristik eğrileri ve M-1 sulama sistem eğrisi

Şekil 5'te kalın çizgi ile gösterilen 1 numaralı eğri tek bir pompanın tam hızda (1450 min⁻¹) tek başına, 2 numaralı eğri iki birim pompanın 1450 min⁻¹ hızda paralel olarak, 3 numaralı eğri ise 3 birim pompanın 1450 min⁻¹ hızda paralel olarak eş zamanlı çalışması durumundaki pompa karakteristiklerini göstermektedir. Grafik analiz edildiğinde, 142 l s⁻¹'den sonra ikinci pompanın, 256 l s⁻¹'den sonra üçüncü pompanın devreye girmesi gerektiği görülmektedir.



Şekil 5. Pompa karakteristik eğrileri ve M-2 sulama sistem eğrisi

Enerji Gereksinimi:

Sabit ve değişken hızlı pompa operasyonlarında gerekli enerji miktarı Çizelge 3 ve Çizelge 4'de sunulmuştur.

Çizelge 3. Enerji gereksinimi (M-1 sulama sistemi)

Q [l s ⁻¹]	Değişken Hızlı Pompa Operasyonu				Sabit Hızlı Pompa Operasyonu			
	E [kWh]				E [kW]			
	P1	P2	P3	Toplam	P1	P2	P3	Toplam
12	71552.7	-	-	71552.7	121120.9	-	-	121120.9
24	18777.0	-	-	18777.0	30608.7	-	-	30608.7
36	3949.8	-	-	3949.8	6218.0	-	-	6218.0
168	39068.2	-	-	39068.2	38646.3	-	-	38646.3
180	163300.3	83326.6	-	246626.9	129244.2	129244.2	-	258488.4
192	62973.9	33436.1	-	96410.0	51261.7	51261.7	-	102523.5
204	2814.2	1598.2	-	4412.3	2330.1	2330.1	-	4660.2
348	5857.4	5857.4	2209.7	13924.5	5103.7	5103.7	6495.0	16702.3
360	29401.4	29401.4	12741.5	71544.3	25617.2	25617.2	32317.6	83551.9
372	11178.1	11178.1	5558.3	27914.5	9901.7	9901.7	12169.7	31973.1
	TOPLAM			594180.2	TOPLAM			694493.4

Çizelge 3'e göre, M-1 sulama sistemi için sabit hızlı pompa operasyonunun enerji gereksinimi 694493.4 kWh iken değişken hızlı pompa operasyonunun enerji gereksinimi 594180.2 kWh olarak belirlenmiştir

Çizelge 4. Enerji gereksinimi (M-2 sulama sistemi)

Q [l s ⁻¹]	Değişken Hızlı Pompa Operasyonu				Sabit Hızlı Pompa Operasyonu			
	E [kWh]				E [kWh]			
	P1	P2	P3	Toplam	P1	P2	P3	Toplam
72	63664.8	-	-	63664.8	86676.7	-	-	86676.7
108	86355.1	-	-	86355.1	100636.7	-	-	100636.7
180	77782.0	32069.9	-	109851.9	60043.0	60043.0	-	120086.0
204	90571.0	48840.1	-	139411.1	75182.6	75182.6	-	150365.1
216	27415.3	17429.1	-	44844.4	23815.9	23815.9	-	47631.8
276	35440.7	35440.7	15678.7	86560.2	29609.3	29609.3	29609.3	88827.8
288	1566.8	1566.8	837.1	3970.7	1363.1	1363.1	1363.1	4089.2
312	22221.3	22221.3	16849.8	61292.4	20697.9	20697.9	20697.9	62093.7
324	4487.4	4487.4	4058.6	13033.5	4356.6	4356.6	4356.6	13069.7
TOPLAM				608984.3	TOPLAM			673476.6

M-2 sulama sistemi için; pompa çalışma noktaları ve çalışma süreleri için enerji gereksinim değerleri hesaplandığında Çizelge 4'de sunulan sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre, sabit hızlı pompa operasyonunun enerji gereksinimi 673476.6 kWh iken değişken hızlı pompa operasyonunun enerji gereksinimi 608984.3 kWh olarak belirlenmiştir. Her iki sulama sisteminde de sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla değişken hızlı pompa operasyonu enerji gereksiniminin daha düşük olduğu görülmüştür.

Güç ve enerji gereksinimleri karşılaştırıldığında M-1 sulama sisteminde ortaya çıkan kazanım değerleri yaklaşık olarak %14.4'tür. Bu oran, pompa çalışma noktalarına ve çalışma süresine bağlı olarak değişebilir. Özellikle yüksek kazanım sağlayan, daha düşük sistem debilerine ihtiyacın arttığı durumlarda bu oran artış gösterecektir.

M-2 sulama sistemi için, sabit ve değişken hızlı pompa operasyonları karşılaştırıldığında güç ve enerji kazanımı yaklaşık olarak %9.6 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 5. Enerji gereksinimleri ve enerji kazanım miktarlarının mevcut sabit hızlı pompa istasyonu ile kıyaslanması

Senaryo	Gerekli Enerji [kWh]			Kazanım Miktarı	
	M-1	M-2	Toplam	[kWh]	[%]
Sabit hız	694493.4	673476.6	1367970.0	0	0
Değişken hız	594180.2	608984.3	1203164.5	164805.5	12

Tartışma ve Sonuçlar

Pompa istasyonunda mevcut işletme modeline (sabit hızlı) alternatif değişken hızlı işletme modelinin (sabit hızlı ve değişken hızlı) enerji gereksinimi incelenmiştir. En yüksek enerji ihtiyacı (1367970 kWh) sabit hızlı pompalar kullanıldığında oluşmaktadır. Mevcut pompaların değişken hızlı olarak çalıştırılması durumunda sabit hıza kıyasla yıllık 164805 kWh'lik bir enerji tasarrufu sağlanmış olup bu değer %12 oranında bir enerji kazanımına eşdeğerdir. Kazanım miktarı M-1 ve M-2 sulama sistemi için sırasıyla %14.4 ve %9.6 oranında gerçekleşmiştir. Bu oranlar, pompa çalışma noktalarına ve çalışma süresine bağlı olarak artış gösterebilmektedir. Elde edilen bulgular ve analiz sonuçları, önerilen yaklaşımın enerji kazanımı açısından verimli olduğunu göstermiştir.

Değişken hızlı pompa kontrol sistemleri gündeme geldiği zaman ilk olarak enerji kazanımı düşünülmektedir. Değişken hızlı sistemler enerji kazanımı açısından çoğunlukla en iyi çözümü sunmakla beraber ekonomik olarak bu her durumda mümkün olmamaktadır. Bu durumda ömür boyu maliyet analizinin gerçekleştirilmesi finansal kazanımların değerlendirilmesi açısından önemlidir. Her bir seçenek için gerçekleştirilen ekonomik analizlerin sonucu birbiri ile karşılaştırıldığında en ekonomik ve kazançlı çözüm de bulunmuş olacaktır.

Kaynaklar

- AIT KADI, M., LAMADDALENA, N., BOUABE, Z. and YACOUBI, Z., 1998. Studio Sulle Possibilità di Risparmio Energetico in un Sistema Irriguo Servito da di Sollevamento. Rivista di Irrigazione e Drenaggio, 45(1):25-30.
- BARUTÇU, F., 2005. Energy Saving Criteria for Optimal Design of a Pumping Station Serving an On-demand Irrigation System. Master Science Thesis, CIHEAM, Bari Institute, Italy, 134s.
- PEREIRA, L.S., CALEJO, M.J., LAMADDALENA, N., DOUIEB, A., and BOUNOUA, R., 2003. Design and Performance Analysis of Low Pressure Irrigation Distribution Systems. Irrigation and Drainage Systems, 17:305-324.
- LAMADDALENA, N. and PICCINNI, A.F., 1993. Sull'utilizzo delle Curve Caratteristiche Indicizzate di una Rete Irrigua per il Dimensionamento degli Impianti di Sollevamento. AIGR-Rivista di Ingegneria Agraria, 3:129-135.
- LAMADDALENA, N., 1997. Integrated Simulation Modeling for Design and Performance Analysis of On-demand Pressurized Irrigation Systems. PhD, Dissertation. Technical University of Lisbon, Portugal, 210s.
- LAMADDELENA, N. and SAGARDOY, J.A., 2000. Performance Analysis of On-demand Pressurized Irrigation Systems. FAO Irrigation and Drainage Paper No 59, Roma, 132s.
- 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.
- PLANELLS, P., TARJUELO, J.M., ORTEGA, F. and CASANOVA, M.I., 2001. Design of Water Networks for On-Demand Irrigation. Irrigation Science, 20:189-201.

- PÉREZ, P.C., ALANDI, P.P., ALVAREZ, F.O. and MARTIN-BENITEZ, M.T., 2002. Management and Over-Exploitation Risk of Water Resources in Semi-Arid Zones. Annual International ASAE Meeting Presentation, Paper No: 022192.
- WALSKI, T., ZIMMERMAN, K., DUDINYAK, M. and DILEEPKUMAR, P., 2003. Some Surprises in Estimating the Efficiency of Variable – Speed Pumps with the Pump Affinity Laws. Proceedings of World Water and Environmental Resources Congress, Philadelphia, USA.
- WILHELM, L.R., DWAYNE, A. S. and GERALD, H. B., 2004. Fluid Flow. Chapter 4 in Food & Process Engineering Technology, ASAE, St Joseph, Michigan, 65-110.
- KHADRA, R. and LAMADDALENA, N., 2006. A Simulation Model to Generate the Demand Hydrographs in Large-scale Irrigation Systems. Biosystem Engineering, 93(3): 335-346.