

Basınçlı Sulama Sistemlerinde Değişken Hızlı Pompalarla Enerji Kazanımı

Fatih BARUTÇU¹, Mehmet Tunç ÖZCAN², Emin GÜZEL², Mahmut ÇETİN³

¹Adana Ziraî Üretim İşletmesi Tarımsal Yayım ve Hizmetiçi Eğitim Merkezi Müdürlüğü, Yüreğir, Adana

²Çukurova Üniversitesi Tarım Makineleri Bölümü, Balcalı-Adana

³Çukurova Üniversitesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Balcalı-Adana
fatihbarutcu@hotmail.com

Received (Geliş Tarihi): 09.05.2012

Accepted (Kabul Tarihi): 29.06.2012

Özet: Sulama pompa istasyonlarının birçoğu tasarım hatalarının oluşturduğu yüksek enerji maliyeti nedeniyle çalıştırılmamakta, çalıştırıldığında yüksek maliyeti beraberinde getirmektedir. 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 değişken hız teknolojisine dayalı çeşitli senaryolar altında belirlenmiştir. Pompa karakteristik eğrilerini sulama sistem eğrilerine adapte etmek, değişken hız teknolojisine sahip pompa istasyonları ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada, simülasyon araçları ve değişken hız teknolojisi yaklaşımı birleştirilerek kullanılmıştır. Sabit hızlı pompa işletme modeline kıyasla, iki farklı senaryo altında pompa istasyonunda yıllık %12 ve %15 oranında bir enerji kazanımı sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Tüm bulgular, önerilen yaklaşımın enerji kazanımı açısından oldukça verimli, uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

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

Energy Saving With Variable Speed Pumps in Pressurized Irrigation Systems

Abstract: Many of the irrigation pumping stations cannot be operated due to high energy costs resulting from design mistakes or when operated they bring about high running costs. 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 under different scenarios based on variable speed technologies. In addition, overall efficiency of the pumping station and the specific energy of the alternatives examined were calculated, the economic analysis was carried out. The adaption of pumping characteristic curves to irrigation system curves is possible with pumping stations having variable speed technologies. Therefore, simulation tools and variable speed technologies approach were used in combination. It was concluded that in comparison with the current constant speed operation, annual energy savings of about 12% and 15% may be achieved at the pumping station under two scenarios. All the results showed that the presented methodology is efficient in terms of energy savings and applicable.

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

GİRİŞ

Sulama suyu dağıtım sistemleri içinde basınçlı sulama sistemleri son zamanlarda oldukça yaygınlaşmış olup açık kanallara oranla önemli avantajlara sahiptir. Basıncılı 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 Piccinni, 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 istasyonunun performans analizinin yapılarak çalışma koşullarını belirlemek, değişken sulama suyu ihtiyacını karşılayacak gerekli minimum basıncı sağlayacak işletme metodunu geliştirmek, yeni yöntem ile sistemin optimizasyonunun yapılarak klasik uygulamaya kıyasla sağlanan enerji kazanım miktarını belirlemek amaçlanmıştır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

Çalışma Alanı, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Uygulama Çiftliği Pompa İstasyonu ve bu pompa istasyonunun hizmet ettiği 3810 dekarlık tarım arazisini kapsamaktadır (Şekil 1). Pompa istasyonu, birbirinden bağımsız iki sulama sistemine servis yapmaktadır. Her bir sulama sisteminde 32 adet hidrant bulunmakta olup, toplamda 64 adet hidranttandır. Hidrantların nominal debisi 12 l s^{-1} olup hidrantta 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 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.

ayarlanmaktadır. İhtiyaç durumunda her iki pompa da tam hıza ulaştığında sıradaki sabit hızlı pompa tam devirde sisteme dahil olmakta ve değişken hızlı pompanın hızı tekrar FD tarafından uyarlanmaktadır.

Regülasyon 2: Mevcut pompa istasyonundaki her bir pompa için ayrı bir frekans değiştirici kullanılarak tüm pompaların değişken hızlarda, aynı debiyi basacak şekilde eşzamanlı çalıştırılması

Regülasyon 2'ye göre pompa istasyonunun çalışma prensibi aşağıda açıklanmıştır:

Pompa istasyonundaki her bir pompa frekans değiştiriciye sahiptir. 1. pompa minimumla maksimum arasında değişen hızlarda çalışmaktadır. Sıradaki pompanın devreye girdiği sistem debisinden sonra her iki pompanın, arzulanan talebe göre eşit debi sağlamak üzere aynı hızlarda hareket edecek şekilde pompa hızları FD tarafından düzenlenmektedir. Sistemde bulunan pompalar aynı tip ise her iki değişken hızlı pompa da eşit hızlarda çalışacaklardır. Pompalar aynı tip değilse her iki pompanın aynı debiyi sağlayacak şekilde hızları FD tarafından uyarlanacaktır.

Değişken hızlı pompa istasyonlarında enerji gereksinimi hesaplanırken birçok araştırmacı FD kayıpları ile motor ve frekans değiştiricilerin yük durumuna bağlı verim kayıplarını dikkate almamaktadır. Bu çalışmada, değişken hızlı pompa işletme modeli altında yapılan hesaplamalarda tüm sistem bileşenlerinin kayıpları dikkate alınmıştır. Her üç pompa operasyonunun 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.

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 (Hm-Q, BP-Q ve Verim-Q) belirlenmiştir. Pompaların farklı çalışma hızlarına ait olan Hm-Q eğrileri ise Pompa Benzeşim Yasaları kullanılarak 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 elektriksel parametreleri istenilen noktadan doğrudan okuduğundan, aşağıdaki eşitlik kullanılarak pompanın çektiği güç hesaplanmıştır (Eşitlik 1).

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

P_r : Pompanın çektiği güç [kW],
 U : Pompanın çektiği volt [V],
 I : Pompanın çektiği amper [A],
 η_m : Motor verimi (% 94),
 $\cos \varphi$: Güç faktörü'dür.

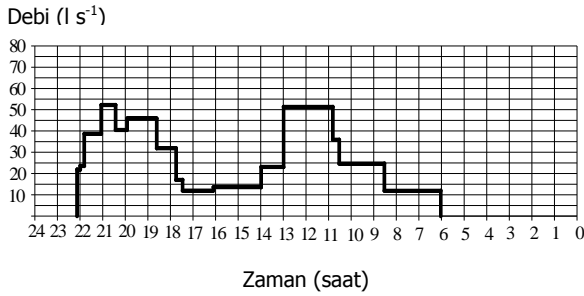
Debi Hidrografları:

Debi hidrografları sulama pompalarının ihtiyaç duyduğu enerji miktarının hesaplanmasında gerekli olup sulama suyu gereksinimini belirler ve çiftçinin su kullanımındaki davranışını göstermektedir (Şekil 2).

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 istasyonundan 2009 yılı için elde edilmiştir.



Şekil 2. Basıncılı bir sulama sistemine ait tipik bir debi hidrografı

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.

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

P_a : Elektrik şebekesinden çekilen toplam güç [kW],

E : Enerji [kWh],

T : İşletme süresi [h]'dir.

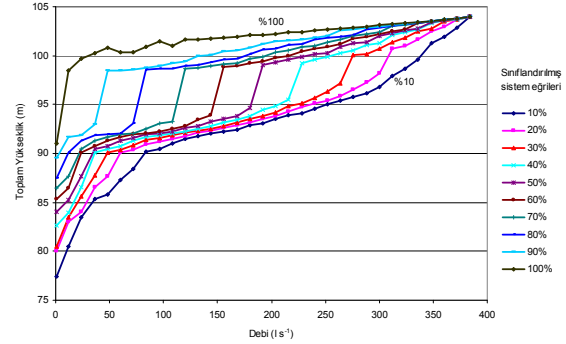
ARAŞTIRMA BULGULARI

Çalışma sahasında bulunan hidrantların topoğrafik konumlarına ve aynı anda çalışan farklı hidrant kombinasyonlarına göre sistemde birden fazla yük eğrisi bulunabilmektedir (Lamaddalena ve Sagardoy, 2000; Planells ve ark., 2001). Şekil 3 ve Şekil 4'te M-1 ve M-2 sulama sistemleri için "Sınıflandırılmış Sulama Sistem Eğrileri" sunulmuştur.

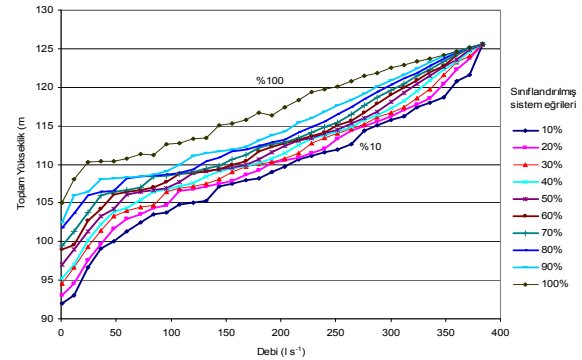
Bu çalışmada, sulama ve pompaj sisteminin optimizasyonu için uygulanan yöntem için %90 sistem yük eğrisi temel olarak alınmıştır.

Tüm sulama sezonu için, pompa istasyonu çıkış debileri saatlik olarak elde edilmiştir. Çizelge 3, bir sulama sezonu boyunca gerçekleşen debi değerleri için frekans (F), yığılımlı frekans (F_{yig}), olasılık (P) ve yığılımlı olasılık (P_{yig}) değerlerini göstermektedir. Çizelgeden anlaşılacağı gibi, sulama sezonu boyunca

sistemden alınan su hacmi değişkenlik göstermektedir. Yığılımlı frekans değeri olan 3302.8 h M-1 sulama sistemine servis yapan pompaların toplam işletme süresini belirtmektedir. 12 l s⁻¹ debi, P = %32,5 olasılık değeri ile en yüksek gerçekleşme olasılığına sahipken 204 l s⁻¹, P = %0.5 gerçekleşme olasılığına sahip gözükmektedir.



Şekil 3. Sınıflandırılmış sulama sistem eğrileri (M-1)



Şekil 4. Sınıflandırılmış sulama sistem eğrileri (M-2)

Çizelge 3. M-1 sulama sistemi için olası sistem debileri ve frekansları

Q [l s ⁻¹]	F [h]	F _{yig} [h]	P [%]	P _{yig} [%]
12	1074.8	1074.8	32.5	32.5
24	271.0	1345.8	8.2	40.7
36	53.0	1398.8	1.6	42.4
168	236.3	1635.1	7.2	49.5
180	973.2	2608.3	29.5	79.0
192	379.0	2987.3	11.5	90.4
204	17.0	3004.3	0.5	91.0
348	37.5	3041.8	1.1	92.1
360	189.0	3230.8	5.7	97.8
372	72.0	3302.8	2.2	100.0
TOPLAM	3302.8			

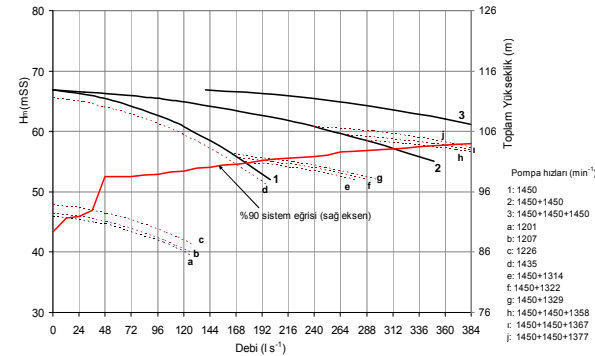
Çizelge 4'te, M-2 sulama sisteminde bir sulama sezonu boyunca gerçekleşen debi değerleri için frekans, yığılımlı frekans, olasılık ve yığılımlı olasılık değerleri görülmektedir. Yığılımlı frekans değeri olan

2997 h, M-2 sulama sistemine servis yapan pompaların toplam işletme süresini belirtmektedir. 72 l s⁻¹ debi, P = %24.7 olasılık değeri ile en yüksek gerçekleşme olasılığına sahipken, 288 l s⁻¹, P = %1 gerçekleşme olasılığına sahip gözükmemektedir.

Çizelge 4. M-2 sulama sistemi için olası sistem debileri ve frekansları

Q [l s ⁻¹]	F [h]	F _{virg} [h]	P [%]	P _{virg} [%]
72	739.6	739.6	24.7	24.7
108	693.0	1432.6	23.1	47.8
180	456.0	1888.6	15.2	63.0
204	536.0	2424.6	17.9	80.9
216	164.0	2588.6	5.5	86.4
276	222.4	2811.0	7.4	93.8
288	10.0	2821.0	0.3	94.1
312	146.0	2967.0	4.9	99.0
324	30.0	2997.0	1.0	100.0
TOPLAM	2997.0			

Çalışma alanında bulunan mevcut pompaların "regülasyon 1"e göre karakteristik eğrileri ile sulama sistemi yük eğrisi aynı grafik üzerinde gösterilerek olası pompa çalışma noktaları görülebilmektedir (Şekil 5 ve Şekil 6). Şekil 5'te, M-1 sulama sistemine bağlı pompaların çeşitli işletme noktaları için münferit ve paralel çalışması durumunda oluşacak pompa karakteristik eğrileri ve sulama sistemi (M-1) yük eğrisinin eşleşmesi görülmektedir.



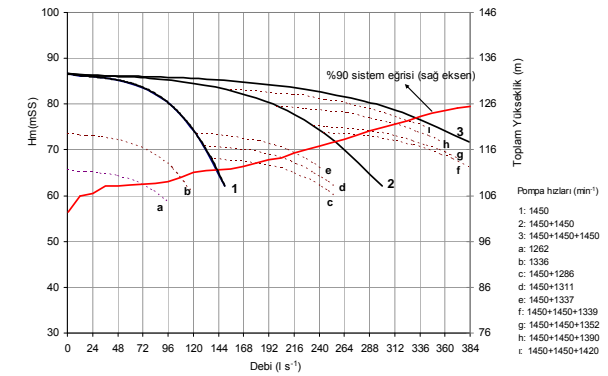
Şekil 5. Pompa karakteristik eğrileri ve M-1 sulama sistemi eğrisi

1

Şekil 5'te 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 6'da, M-2 sulama sistemine servis yapan pompaların (Norm 200-500) farklı hızlarda münferit ve birlikte paralel çalışması durumunda oluşacak pompa Hm-Q eğrilerinin M-2 sulama sistemi yük eğrisi ile eşleşmesi görülmektedir.



Şekil 6. Pompa karakteristik eğrileri ve M-2 sulama sistemi eğrisi

Şekil 6'da 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.

Enerji Gereksinimi:

Sabit ve değişken hızlı pompa operasyonunda (regülasyon 1) gerekli enerji miktarı pompa çalışma noktalarına ve çalışma sürelerine bağlı olarak hesaplanarak Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir. 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. M-2 sulama sisteminde ise; sabit hızlı pompa operasyonunun enerji gereksinimi 673476.6 kWh iken değişken hızlı pompa operasyonunun enerji gereksinimi 608984.3 kWh olarak belirlenmiştir. Her iki sulama sistemi için sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla regülasyon 1'in enerji gereksiniminin daha düşük olduğu görülmüştür

Çizelge 5. Enerji gereksinimi (M-1 sulama sistemi)

Q [l s ⁻¹]	Değişken Hızlı Pompa Operasyonu (regülasyon 1)				Sabit Hızlı Pompa Operasyonu (mevcut durum)				
	E [kWh]				E [kWh]				
	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

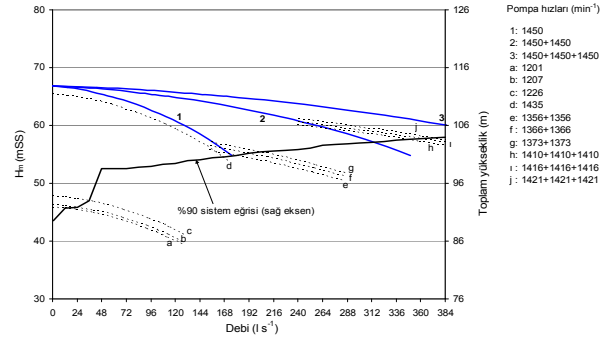
Çizelge 6. Enerji gereksinimi (M-2 sulama sistemi)

Q [l s ⁻¹]	Değişken Hızlı Pompa Operasyonu (regülasyon 1)				Sabit Hızlı Pompa Operasyonu (mevcut durum)				
	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

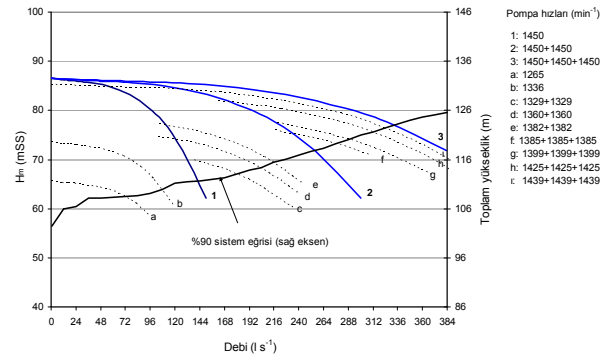
Enerji gereksinimleri karşılaştırıldığında M-1 sulama sisteminde ortaya çıkan kazanım değerleri regülasyon 1 için yaklaşık olarak %14.4'tür. M-2 sulama sistemi için enerji kazanımı sabit hızlı pompa operasyonuna kıyasla regülasyon 1 için yaklaşık olarak %9.6 olarak elde edilmiştir. Bu oran, pompa çalışma noktalarına ve çalışma süresine bağlı olarak değişebilir. Özellikle yüksek kazanım sağlayan, daha düşük sistem debilerine ihtiyacın arttığı durumlarda bu oran artış gösterecektir.

Çalışma alanında bulunan mevcut pompaların "regülasyon 2"ye göre karakteristik eğrileri ile sulama sistemi yük eğrisi aynı grafik üzerinde gösterilerek olası pompa çalışma noktaları görülebilmektedir (Şekil 7 ve Şekil 8).

Çizelge 7 ve Çizelge 8'de, regülasyon 2 için pompa işletme noktalarındaki gerekli enerji değeri verilmiştir. Pompa istasyonunda uygulanan değişken hızlı pompa işletme modeli regülasyon 2'ye göre düzenlendiği takdirde gereksinim duyulan enerji miktarı M-1 sulama hattı için 572461.7 kWh iken M-2 sulama hattı için 590275 kWh olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Pompa ve sistem (M-1) karakteristiklerinin eşleşmesi



Şekil 8. Pompa ve sistem (M-2) karakteristiklerinin eşleşmesi

Genel olarak, her iki regülasyon modeli açısından bakıldığında; sistemdeki değişken hızlı pompaların hızı arttıkça regülasyon 1'in regülasyon 2'ye kıyasla güç kazanımı yönünden avantajının arttığı, ancak pompa geçiş noktalarındaki düşük debilerde regülasyon 2'nin güç kazanımı açısından regülasyon 1'e kıyasla daha avantajlı olduğu söylenebilir.

Çizelge 7. Enerji gereksinimi (M-1 sulama sistemi)

Q [l s ⁻¹]	Değişken Hızlı Pompa Operasyonu (regülasyon 2)			
	E [kWh]			
	P1	P2	P3	Toplam
12	71552.7	-	-	71552.7
24	18777.0	-	-	18777.0
36	3949.8	-	-	3949.8
168	39068.2	-	-	39068.2
180	111834.6	111834.6	-	223669.3
192	44129.3	44129.3	-	88258.6
204	2082.3	2082.3	-	4164.6
348	5164.4	5164.4	4618.9	14947.8
360	26682.1	26682.1	24302.2	77666.3
372	10369.0	10369.0	9669.4	30407.5
	TOPLAM			572461.7

Çizelge 8. Enerji gereksinimi (M-2 sulama sistemi)

Q [l s ⁻¹]	Değişken Hızlı Pompa Operasyonu (regülasyon 2)			
	E [kWh]			
	P1	P2	P3	Toplam
72	63664.8	-	-	63664.8
108	86355.1	-	-	86355.1
180	50217.4	50217.4	-	100434.7
204	67028.5	67028.5	-	134057.0
216	22104.9	22104.9	-	44209.8
276	27497.1	27497.1	27497.1	82491.3
288	1292.5	1292.5	1292.5	3877.5
312	20623.0	20623.0	20623.0	61868.9
324	4438.6	4438.6	4438.6	13315.8
	TOPLAM			590275.0

Regülasyon 1 ve Regülasyon 2'ye göre pompa istasyonunun enerji gereksinimi ve sabit hızlı pompa operasyonu ile karşılaştırmalı kazanım miktarları Çizelge 9'da verilmiştir. Buna göre, her iki sulama sisteminde Regülasyon 2'nin daha düşük enerji tükettiği görülmektedir. Bu tüketim miktarı, Regülasyon 1'e kıyasla 40427.8 kWh olup % 3.3 enerji kazanımına eşdeğerdir. Bu oranlar M-1 ve M-2 sulama sistemleri için gerekli toplam enerji miktarına göre hesaplanmış olup, sulama sistemlerinin karakteristiklerine, bitki desenine ve işletme şartlarına göre değişebilir. Lamaddalena ve Khila, (2011) yaptıkları bir araştırmada, regülasyon 2 ile sabit hızlı pompa işletme modeline kıyasla %27 enerji kazanımı elde ederken regülasyon 1 ile %24 enerji kazanımı

sağlandığını bildirmişlerdir. Buna göre, her iki düzenleme arasındaki fark olan %3'lük değer mevcut çalışmanın sonucuyla da örtüşmektedir. Başka bir araştırmada, Planells ve ark. (2001), her bir aya ait maksimum tasarım debisinin sulama sezonu boyunca kullanıldığını varsaydığı senaryolarında, tüm pompaların değişken hızlı olarak çalışması durumunda, sadece bir pompanın değişken geri kalanların sabit hızlı olduğu sisteme göre %14 enerji kazanımı elde etmişlerdir. Böylece regülasyon 2'nin birçok durumda, enerji kazanımı açısından daha iyi sonuçlar verebildiği görülmektedir.

Çizelge 9. Operasyon tipine göre pompa istasyonunun enerji gereksinimi ve sabit hızlı pompa istasyonu ile kıyaslanması

Operasyon tipi	Gerekli Enerji [kWh]			Kazanım Miktarı	
	M-1	M-2	Toplam	[kWh]	[%]
Sabit hız	694493.4	673476.6	1367970.0	0	0
Regülasyon 1	594180.2	608984.3	1203164.5	164805.5	12
Regülasyon 2	572461.7	590275.0	1162736.7	205233.3	15

TARTIŞMA VE SONUÇ

Pompa istasyonunda mevcut işletme modeline (sabit hızlı) alternatif değişken hızlı işletme modelinin (regülasyon 1 ve regülasyon 2) enerji gereksinimi incelenmiştir. En yüksek enerji ihtiyacı (1367970 kWh) sabit hızlı pompalar kullanıldığında oluşmaktadır. Mevcut pompaların değişken hızlı olarak çalıştırılması durumunda sabit hıza kıyasla regülasyon 1 için 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. Mevcut pompaları regülasyon 2'ye göre çalıştırılmaları durumunda kazanım miktarı %3 oranında daha artmaktadır. Bu oranlar, pompa çalışma noktalarına ve çalışma süresine bağlı olarak artış gösterebilmektedir. Çizelge 3'te fark edileceği gibi, M-1 sulama sisteminde, bitki deseni ve bunların parsel boyutlarına bağlı olarak en yüksek işletme süreleri düşük sistem debilerinde gerçekleşmiştir (12 l s⁻¹). Büyük sistem debilerinin yanında küçük sistem debilerinde uzun işletme sürelerine gereksinim duyulan durumlarda, daha küçük bir pompanın sisteme dahil edilmesi, düşük sistem debilerinde kullanılmak zorunda kalan büyük pompaların verimsizliğinin de önüne geçerek beklenen kazanım miktarlarının artabileceğini göstermektedir.

Yukarıda bahsedilen tüm sonuçlar ve faydaları dikkate alındığında, enerji kazanımı açısından büyük bir potansiyele sahip olduğundan dolayı basınçlı sulama sistemlerinde değişken hızlı pompa işletme modelinin uygulanması tavsiye edilmektedir. Bu tür ileri sulama sistemlerinin yönetilmesinde iyi eğitilmiş teknik elemanların bulunması önerilmektedir. 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.

LİTERATÜR LİSTESİ

- Ait Kadi, M., N. Lamaddalena, Z. Bouabe, Z. Yacoubi, 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., M.J. Calejo, N. Lamaddalena, A. Douieb, R. Bounoua, 2003. Design and Performance Analysis of Low Pressure Irrigation Distribution Systems. Irrigation and Drainage Systems, 17:305-324.
- Lamaddalena, N. and A.F. Piccini, 1993. Sull'utilizzo delle Curve Caratteristiche Indicizzate di una Rete Irrigua per il Dimensionamento delgi 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.
- Lamaddalena, N. and J.A. Sagardoy, 2000. Performance Analysis of Ondemand Pressurized Irrigation Systems. FAO Irrigation and Drainage Paper No 59, Roma, 132s.
- King, B.A. and R.W. Wall, 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., J.M. Tarjuelo, F. Ortega, M.I. Casanova, 2001. Design of Water Networks for On-Demand Irrigation. Irrigation Science, 20:189-201.
- Pérez, P.C., P.P. Alandi, F.O. Alvarez, M.T. Martín-Benitez, 2002. Management and Over-Exploitation Risk of Water Resources in Semi-Arid Zones. Annual International ASAE Meeting Presentation, Paper No: 022192.
- Walski, T., K. Zimmerman, M. Dudinyak, P. Dileepkumar, 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., A. S. Dwayne, H. B. Gerald, 2004. Fluid Flow. Chapter 4 in Food & Process Engineering Technology, ASAE, St Joseph, Michigan, 65-110.
- Khadra, R. and N. Lamaddalena, 2006. A Simulation Model to Generate the Demand Hydrographs in Large-scale Irrigation Systems. Biosystem Engineering, 93(3): 335-346.