

Derin Kuyu Pompalarında Kolon Borusu Uzunluğunun Pompaj İşletme Karakteristiklerine Etkisi

The Effect of Column Pipe Length on Pumping Operating Characteristics in Deep Well Pumps

Mehmet Kurt^{1*} , Kazım Çarman² 

¹ Selçuk Üniversitesi, Cihanbeyli Meslek Yüksekokulu, Yönetim ve Organizasyon Bölümü, Konya, Türkiye.

² Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye.

* Corresponding author (Sorumlu Yazar): M. Kurt, e-mail (e-posta): mehmet.kurt@selcuk.edu.tr

Makale Bilgisi

Alınış tarihi : 19.08.2022
Düzeltilme tarihi : 26.11.2022
Kabul tarihi : 28.11.2022

Anahtar Kelimeler:

Pompa İşletme Karakteristikleri
Sürtünme Kuvveti
Kolon Borusu Uzunluğu
Düşüm

Atf için:

Kurt, M., Çarman, K., (2022). "Derin Kuyu Pompalarında Kolon Borusu Uzunluğunun Pompaj İşletme Karakteristiklerine Etkisi", *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 18(3): 173-188.

ÖZET

Derin kuyu pompaları, yer altı suyunun yer yüzüne çıkarılmasını sağlayan rotodinamik pompalardır. Genellikle çok derin mesafelere kadar yerleştirilebilmektedir. Ancak bu tip pompaj tesislerinde su, boru ve bağlantı elemanları yardımıyla kapalı bir sistem içerisinde taşınarak iletimi sağlanmaktadır. Bu iletim esnasında, sürtünme kuvveti pompaj sisteminde önemli enerji kaybına neden olmaktadır. Boru ve yardımcı parçaların içerisinde bulunan akışkan hızına bağlı olarak sürtünme kuvveti meydana gelmektedir. Bu çalışmada 78 mm (≈3") iç çapındaki bir dalgıç tip derin kuyu pompasının farklı kolon borusu uzunluklarındaki pompa işletme karakteristikleri ve sürtünmeden kaynaklanan kayıplara etkisi incelenmiştir. Sürtünme kayıpları, Moody denklemine göre hesaplanmış ve her bir kolon borusu uzunluğu için arttığı belirlenmiştir. Bu artışın pompa çıkış basıncını etkilediği görülmüştür. Pompa sürtünme kaybının, hızın en yüksek değerleri için kolon borusu uzunluğunun artışı ile %3,87'den, %13,52'ye yükseldiği belirlenmiştir. Farklı kolon borusu uzunluklarında 2, 4 ve 6 metre derinlikte çalıştırılan pompanın sabit debi değerlerine karşılık basınç değerlerinde düşüşler meydana geldiği gözlemlenmiştir. Pompanın en yüksek basınç ölçümü, 2 metrelik kolon borusundaki debi noktasının optimum olduğu (50 m³h⁻¹) degerde elde edilmiştir. Aynı debi değerlerinde pompa hidrolik gücünde ise kolon borusu uzunluğu arttıkça azalma meydana gelmiştir. Denemelerde en yüksek pompaj sistem verimi 2 metrelik kolon borusu uygulamasında elde edilmiştir. Derin kuyu pompaj tesislerinde kolon borusu uzunluğunun pompa işletme parametreleri üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur (p≤0.01). Çalışmada elde edilen sonuçlara göre pompa kolon borusu uzunluğundaki artışın sürtünme kayıplarını da arttıracığı görülmektedir. Kolon borusunun uzunluğu kuyunun işletme karakteristikleriyle doğrudan ilişkili olması sebebiyle kuyu karakteristikleri (debisi, statik ve dinamik su yükseklikleri, düşüm) belirlenerek pompa en uygun derinlikte çalıştırılmalıdır. Ayrıca pompanın tasarım noktasında çalıştırılması öngörülen kayıpların önüne geçmemizi sağlayacaktır.

Article Info

Received date : 19.08.2022
Revised date : 26.11.2022
Accepted date : 28.11.2022

Keywords:

Pump Operating Characteristics
Frictional force
Column Tube Length
Drawdown

How to Cite:

Kurt, M., Çarman, K., (2022). "The Effect of Column Pipe Length on Pumping Operating Characteristics in Deep Well Pumps", *Journal of Agricultural Machinery Science*, 18(3): 173-188.

ABSTRACT

Deep well pumps are rotodynamic pumps that extract groundwater to the ground surface. It can usually be accommodated at very deep distances. However, in this type of pumping facilities, water is carried in a closed system with pipes and fittings. During extraction, the friction force causes significant energy loss in the pumping system. Friction force has occurred depending on the fluid velocity flowing through the pipe and auxiliary parts. In this study, the operating characteristics of a submersible deep well pump with an internal pipe diameter of 78 mm (≈3") with different column pipe lengths and its effect on losses due to friction were investigated. Friction losses were calculated according to the Moody equation and were found that friction losses increase as the column pipe length increases. This increase affects the pump outlet pressure. It was determined that the pump friction loss increased from 3.87% to 13.52% with the increase of the column pipe length at the highest speed. The pressure values decrease in response to the constant flow values of the pump, which is operated in different column pipe lengths, at a depth of 2, 4 and 6 meters. The highest pressure measurement of the pump was obtained at the optimum (50 m³ h⁻¹) flow point in the 2 meters column pipe. At the same flow rates, the hydraulic power of the pump decreased as the length of the column pipe increased. In the trials, the highest pumping system efficiency was obtained in the 2 meters column pipe application. The effect of column pipe length on pump operating parameters was found to be significant in deep well pumping plants (p≤0.01). According to the results, the increase in the pump column pipe length also increases the friction losses. Since the length of the column pipe is directly related to the operating characteristics of the well, the well characteristics (flow rate, static and dynamic water heights, drawdown) should be determined and the pump should be operated at the most appropriate depth. In addition, operating the pump at the design point will enable us to prevent expected losses.

1. GİRİŞ

Su ve benzeri akışkanlar genellikle boru içerisinde taşınmaktadır. Şehir şebekelerinde, ısıtma sistemlerinde, sulama ve yakıt enerjilerinin taşınmasında kapalı borulu sistemleri kullanılmaktadır. Bu nedenle boru hatlarındaki tasarım önemli hale gelmektedir. Suyun taşınması için kullanılan tüm sistemlerde olduğu gibi sulama sistemlerinde de kapalı borulardaki akış hem teknik hem de ekonomik açıdan önemlidir (Çalışır, 2009).

Yeraltı su kaynağının kullanılabilmesi için derin kuyulardan ve bu kuyulara teçhiz edilen derin kuyu pompalarından yararlanılmaktadır. Pompaj sistemlerinin birçoğunda olduğu gibi derin kuyu pompalarında da kapalı boru sistemleri kullanılmaktadır. Derin kuyu pompaları belirli çaplarda ve derinlikte açılan kuyular içerisine yerleştirilen pompalardır. Yeraltına indirilmesi istenen pompanın yükseklik seviyesi artacağından enerji gereksiniminde artış meydana gelecektir. Derin kuyulara yerleştirilen bu pompalar için derinlik kadar boru uzunluğuna da ihtiyaç duyulacaktır (Çalışır ve Haciseferoğulları, 2008; Schulz, 1977).

Pompaj sistemleri tasarımı yapılırken boru hatlarının da sisteme uygun olması gerekmektedir. Pompa ve boru sistemlerinde yüksek hız ve basınçlarda akış gerçekleşmektedir. Akışın hareketi boyunca kapalı bir sistem içerisinde akışkanın boru ile temas eden yüzeylerinde kayıplar oluşmaktadır. Bu kayıpların oluşmasında boru uzunluğu, boru çapı, boru malzemesi, akış ve akışkan tipi gibi temel olarak sürtünme kaybına etki edecek parametrelerdir (Alawee vd. 2020). Sürtünme kayıplarının bilinmesi pompa ve pompaj sistemlerinde enerji kayıplarının da önüne geçilmesine olanak sağlamaktadır. Pompaj esnasında aynı çapa sahip borulardan geçen debinin artması ile hızı da artmaktadır. Hızın bir bileşkesi olan sürtünme kaybı ise hızın karesi ile değişmektedir. Pompa hızındaki bu değişim, tasarlanması istenen pompaj ekonomisi için önemlidir (Çalışır vd. 2004).

Derin kuyu pompaların kuyu içerisinde konumlandırılması da pompaj ekonomisi için oldukça önemlidir. Bu nedenle kuyuların pompanın yerleştirileceği derinliğe uygun olması gerekmektedir. Bunun belirlenmesi pompaj öncesi yapılacak kuyu çapı, kuyu debisi ve besleme yapısına bağlı olarak değişmektedir (Driscoll, 2010). Pompa çalışmaya başladığı andan itibaren statik su seviyesi harekete başlamakta ve dinamik bir seviyeye gelmektedir. Pompa çalışırken dinamik seviyeden yukarıda ise yapılan pompajın verimli olmayacağı ifade edilmektedir. Derin kuyu pompalarının dinamik seviyenin belirlenmesinden sonra bu seviyenin en az 5 m altında konumlandırılması gerektiği belirtilmiştir (Schulz, 1977). Derin kuyularda istenen seviyeye montaj yapılması pompa enerji kaybında önüne geçecektir. Debi ve basınca bağlı pompa için gerekli güç, pompanın derinliği arttıkça artan parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Pompanın belirli bir derinlikte olması su yükü meydana gerektireceğinden gücüde etkileyecektir. Pompa tarafından harcanacak gücün artması ile pompa veriminde değişeceği bilinmektedir. Bu durumda uygun pompa derinliğinin ya da pompa su yükünde belirlenmesi gerekmektedir (Mokeddem, 2011; Orhan vd., 2021).

Bu çalışmada derin kuyu pompası olan 3" (78 mm) çıkış borusu çapına sahip bir dalgıç pompanın farklı kolon borusu uzunluklarında (2 m, 4 m ve 6 m) pompa karakteristikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Pompa kolon borusu uzunluğundaki değişime bağlı olarak pompa karakteristik değerleri olan debi, basınç, güç ve verim değerlerindeki değişimler incelenmiştir. Bu değişimlerin kolon borusu uzunluğunun artışı ile oluşacak sürtünme kayıpları incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

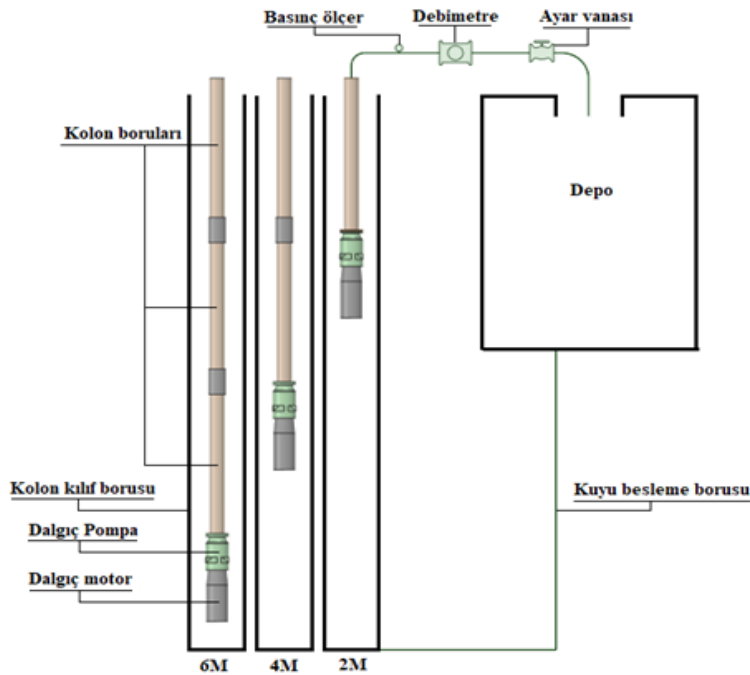
2.1. Materyal

Denemeler, Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde Prof. Dr. Şinasi YETKİN Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Uygulama Atölyesi'nde yapılan Derin Kuyu Pompa Test Ünitesi'nde yapılmıştır. Bu ünite derin kuyu pompalarının denenmesi için yapılmış bir kılıf borusu, depolar ve bağlantı elemanları ile yeraltı kuyu formatını yer üstüne çıkaran bir test ünitesidir. Derin kuyu pompa test ünitesi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Derin kuyu test ünitesi

Pompa Şekil 2'deki gibi derin kuyu pompa test ünitesine farklı uzunluktaki kolon boruları kullanılarak ayrı ayrı denemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada her bir kolon borusu uzunluğu için kuyu statik su seviyeleri sabit tutulmuştur. Denemelerde kullanılan borularda bağlantı elemanı olarak manşon kullanılmış ve çıkış borusundaki dirsekler her denemede ortak olduğundan dirsek kayıpları ihmal edilmiştir.



Şekil 2. Dalgıç pompaların deneme düzeni

Dalgıç pompalar derin kuyu test ünitesinde bulunan 300 mm çapındaki kılıf borusu içerisine yerleştirilmiştir. Pompa kolon borusu uzunluğu değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Pompa 2 m uzunluğunda üç adet kolon borusu ile 2 m, 4 m ve 6 m olarak deneyleri gerçekleştirilmiştir. Denemelerde ele alınan kolon borusu uzunluklarına ilişkin konular 2M, 4M ve 6M rumuzlarıyla kodlanmıştır. Dalgıç pompanın ve motorun teknik özellikleri Tablo 1 de, deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarının teknik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca dalgıç pompa ve motorunun genel görünüşleri Şekil 3' de gösterilmiştir.

Tablo 1. Dalgıç pompa ve motoru teknik özellikleri

<i>Dalgıç Pompa Teknik özellikleri</i>		<i>Dalgıç Motor Teknik özellikleri</i>	
Pompa anma çapları	3" (78 mm)	Marka	Suver
Pompa gövde malzemesi	Pik	Tip	Dalgıç
Pompa çark malzemesi	Pirinç	Güç (kW)	4
Pompa mil malzemesi	Paslanmaz çelik	Gerilim (V)	380
Pompa mili çapı	25 mm	Akım şiddeti (A)	9.2
Pompa kademe sayısı	2	Devir sayısı (min ⁻¹)	2869
Klerens açıklığı	4.5 mm	Frekans (Hz)	50
Kanat sayısı (z)	7	Güç faktörü (cosφ)	0.86
Kanat kalınlığı (t) mm	5	Motor anma çapı (")	6"
Çark çıkış çapı (Dç) mm	140	Motor mil çapı (mm)	25
Çark çıkış genişliği (b ₂) mm	16	Soğutma tipi	Su



Dalgıç Pompa

Dalgıç Pompa Motoru

Şekil 3. Dalgıç pompa ve motoru

Tablo 2. Deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarının teknik özellikleri

<i>Dalgıç Pompa Teknik özellikleri</i>	
Debimetre	S-MAG 100 Tip DN80 Çalışma debisi 1-180 m ³ h Çalışma basıncı 16 bar Çalışma sıcaklığı -10/60 °C Enerji bağlantısı 220 V Bağlantı şekli Flanşlı Gösterge Dijital
Manometre	Markası WİKA Montaj tipi alttan bağlantılı ölçü aralığı 0 - 10 bar Ölçü birimi bar/kPa/psi Bağlantı ölçüsü G 1/4" B Ortam sıcaklığı - 20 + 80 °C Akışkan sıcaklığı Maksimum + 60 °C, manometre ölçüm hassasiyeti 0.001
Seviye ölçer	Hydrotechnik Tipi 010 tip/1.5 V Ölçü aralığı 0 - 150 m Ölçü birimi Metre Ölçü uyarısı Ses ve ışık ikazlı Sensör prop çapı 15 mm Sensör prop uzunluğu 200 mm
Sıcaklık ölçer	Turck marka, 10-24 VDC, -50...100 °C, 4-20 mA çıkış
Güç analizörü	KAEL Multiser 05-PC-TFT Ölçüm çeşitleri Güç, voltaj, çekilen akım ve güç faktörü (cos φ) Ölçü birimi kW Ölçü aralığı 4-18.5 kW

2.2. Metot

Pompa iletim hatlarında meydana gelen kayıplar akışkan hızına bağlı olarak gerçekleşmektedir. Yapılan çalışmada pompa kolon borularındaki sürtünme kaybının etkisi ile pompa karakteristiklerindeki değişim incelenmiştir. Denemede kullanılan 3" çıkış çapına sahip bir dalgıç tip derin kuyu pompasının artacak kolon borusu uzunluğu ile debi, manometrik yükseklik, güç ve verim değerlerindeki bulgular elde edilmiştir. Ayrıca 2M kolon borusu uzunluğundaki değerler pompanın referans değerleri kabul edilmiş olup kolon borusu uzunluğunun artışı ile sürtünme kaybına bağlı olarak azalan debi ve basınç değerleri arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Ölçümler belirli basınç değerlerinde elde edilen debi, güç ve düşüm değeri ölçülmüş ve verim değerleri hesaplanarak farklılıklar incelenmiştir.

Derin kuyu pompa denemelerinde yapılan ölçümler materyal kısmında belirtilen cihazlar yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Debi değerleri elektromanyetik debimetre ile m^3h^{-1} birimi, pompa basıncı dijital manometre ile bar birimi ve bir güç analizörü yardımıyla pompa motor gücü kW cinsinde ölçülmüştür. Düşüm değerleri ise, derin kuyu pompa test ünitesindeki kılıf borusu içerisinden elektronik bir seviye ölçer yardımıyla statik ve dinamik su seviyeleri belirlenmiştir. Bu seviyelerdeki farklar ile düşüm değerleri tespit edilmiştir. Pompa performans değerlerinin belirlenmesinde ölçüm ve hesaplamalar gerekli kaynaklardan faydalanılarak oluşturulmuştur (TS 514, TS 11146). Manometrik yükseklik ise; basınç, hız ve potansiyel enerjinin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmaktadır (Yalçın, 1998).

$$m = z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

- H_m*: Manometrik yükseklik, (m)
z: Statik ve dinamik su seviyesi farkı, (m)
P: Pompa çalışma basıncı, (Pa)
ρ: Suyun özkütlesi, (kgm^{-3})
V: Akışkanın hızı, (ms^{-1})
g: Yer çekimi ivmesi (ms^{-2}).

Dalgıç pompalarda güç belirlenirken şebekeden çekilen elektrik gücü baz alınmıştır. Hidrolik gücü ise aşağıdaki eşitlik yardımıyla tespit edilmiştir. Hidrolik güç ve şebekeden çekilen (elektrik) gücün birbiri ile oranlanması pompa verimini vermektedir (Baysal, 1979; Çengel ve Cimbala, 2008).

$$N_h = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m}{1000} \quad (2)$$

- N_h*: Hidrolik güç, (kW)
H_m: Manometrik yükseklik, (m)
Q: Debi, (m^3s^{-1})
ρ: Suyun özkütlesi, (kgm^{-3})
g: Yer çekimi ivmesi (ms^{-2}).

$$\eta_g = \frac{N_h}{N_s} \cdot 100 \quad (3)$$

- N_h : Hidrolik güç, (kW)
 N_s : Şebekeden çekilen elektrik gücü, (kW)
 η_g : Pompa genel verimi (%).

Pompa performans değerlerinin yanı sıra sürtünmeye bağlı basınç kayıpları elde edilmiştir. Pompa kolon borularında dikişsiz çelik çekme kolon boruları kullanılmıştır. Sürtünme kaybının bir parametresi olan pürüzlülük değerleri (ϵ) ise buna bağlı olarak paslanmaz çelik borularda 0,002-0,0025 mm ve ticari çelik borularda 0,045 mm olduğu bilinmektedir. Verilen bu değerlerdeki belirsizlikler \pm %60'a kadar gerçekleşebilmektedir (Çengel ve Cimbala 2008). Kullanılan çelik çekme borular paslanmaz çelik ile aynı kabul edilmiştir. Çalışmada pürüzlülük değeri 0,0025 mm olarak alınmıştır. Sürtünme kaybının tespit edilmesi için Moody diyagramından faydalanılmaktadır. Diyagramın okunması uzun ve hataya sebebiyet vereceğinden Moody eşitliği ile farklı durumlardaki sürtünme kaybı hesaplanabilmektedir. Bu nedenle sürtünme kaybı (f) değerlerinin hesaplanmasında Moody eşitliği kullanılmıştır (Coronado-Hernández, 2021; Zeyu, 2020).

$$f = 5,5 \cdot 10^{-3} \left[1 + \left(2 \cdot 10^4 \left(\frac{\epsilon}{D} \right) + \frac{10^6}{Re} \right)^{(1/3)} \right] \quad (4)$$

- f : Boru sürtünme katsayısı,
 ϵ : Boru pürüzlülük değeri, (m)
 D : Boru çapı, (m)
 Re : Reynolds sayısı.

$$H_k = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

- H_k : Yük kaybı, (m)
 f : Boru sürtünme katsayısı,
 L : Boru uzunluğu, (m)
 D : Boru çapı, (m)
 V : Akışkanın hızı, (ms^{-1})
 g : Yer çekimi ivmesi (ms^{-2}).

$$\Delta P = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (6)$$

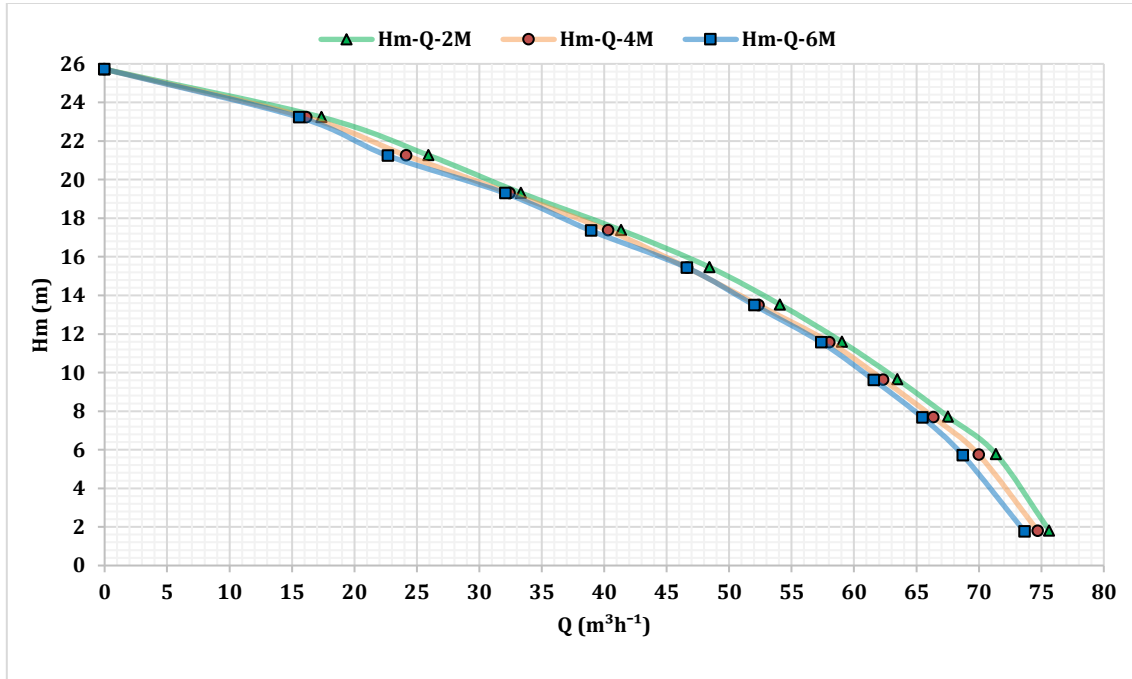
- ΔP : Basınç kaybı, (Pa)
 f : Boru sürtünme kaybı,
 L : Boru uzunluğu, (m)
 D : Boru çapı, (m)
 ρ : Suyun özkütlesi, (kgm^{-3})
 V : Akışkanın hızı, (ms^{-1})
 g : Yer çekimi ivmesi (ms^{-2}).

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

3.1. Pompaj Karakteristikleri

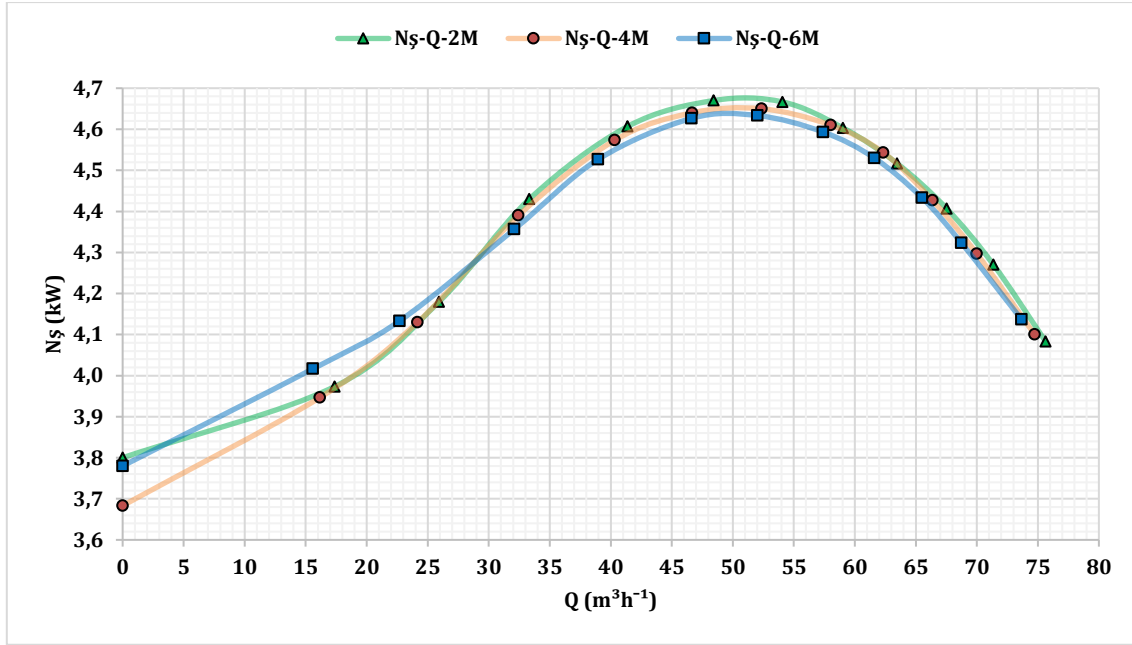
Denemelerde elde edilen sonuçlar kullanılan her bir kolon borusu için değerlendirilmiştir. Bulgular kolon borusu uzunluğunun artması ile pompa karakteristiklerinde değişimler olduğunu göstermiştir. Pompa karakteristikleri incelendiğinde en yüksek debi değerine ($75.633 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$) 0 kPa'da 2M boru uzunluğunda, en düşük debi değerine ($15.60 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$) ise 220 kPa'da 6m boru uzunluğunda ulaşılmıştır. Kolon borusunun uzunluğunun artmasıyla, her basınç değerine karşılık gelen debide azalma görülmüştür. Debi, 6M boru uzunluğunda %4, 4M boru uzunluğunda ise %1,55 oranında azalmıştır. Bu duruma, kolon borusu boyunun artışına bağlı olarak sürtünme yüzey alanındaki artışın hızlarda meydana getireceği yük kaybı neden olmuştur. 2M kolon borusu uzunluğuna göre diğer uzunluklar incelenirse ortalama değerlerin aralarında yaşanan debi değişimi 4M kolon borusu uzunluğu için $1.161 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$, 6M kolon borusu uzunluğunda ise $1.883 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ tespit edilmiştir.

Pompa manometrik yüksekliği pompa basıncı ile ilişkilidir. Farklı basınç değerlerinde kolon borusu uzunluğunun değişimine bağlı olarak manometrik yükseklik değerleri 1.752-23.234 m arasında değişmiştir (Şekil 4). Sabit basınç değerlerinde ise kolon borusu uzunluğunun değişimine bağlı olarak manometrik yükseklik ortalama değerleri arasındaki farklılık önemsiz bulunmuştur. Sabit basınç değerlerinde manometrik yüksekliklerde değişim beklenmemektedir. Ancak statik ve dinamik su seviyesindeki değişimler (düşüm) ile oluşabilecek küçük farklılıklar ortaya çıkabilmektedir (Kurt, 2016). Tam açık vana konumunda maksimum debilerdeki değişim kolon boruları uzunluklarının manometrik yükseklik üzerinde etkisini göstermektedir. 2M kolon borusunda manometrik yükseklik 1.808 m iken, 4M ve 6M kolon borularında sırasıyla 1.781 m, 1.752 m olarak ölçülmüştür. Çalışmamızda işletme noktasında (maksimum verimde) kolon borusu uzunluğunun değişimine bağlı olarak manometrik yükseklik değerlerindeki değişim % 0.213 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. Farklı kolon borusu uzunluklarında manometrik yükseklik değerleri

Pompada her bir kolon borusu uzunluğuna bağlı olarak ölçülen gücün ortalama değerleri dikkate alındığında aralarında belirli farklılıklar olduğu görülmektedir. Güç değerlerinde artan kolon borusu uzunluğunca arttığı ya da azaldığı söylenememektedir. Bunun sebebi olarak elektriksel gücün farklı yüklenmelerde etki edeceği amper ve voltaj değişimin etkisi olarak yorumlanabilir. Şekil 5'te pompaya ait güç grafiği verilmiştir.



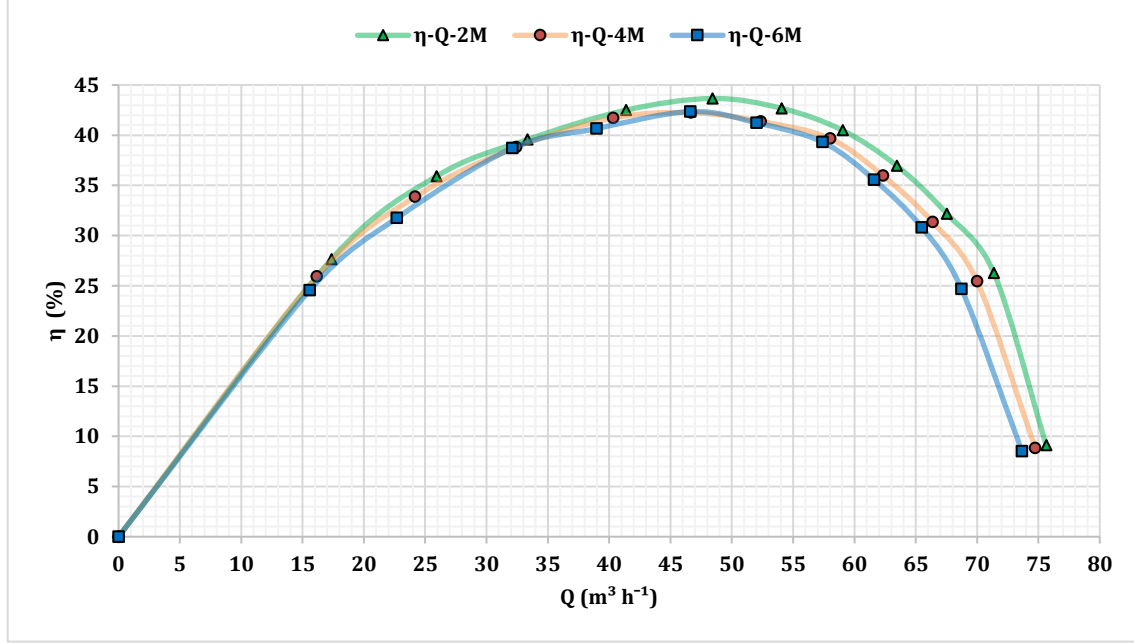
Şekil 5. Farklı kolon borusu uzunluklarında şebekeden ölçülen güç değerleri

Kolon borusu uzunluğuna bağlı Şekil 5'teki güç değerleri incelendiğinde; belirli bir debi artışına kadar düzgün olmayan bir eğilim gösterdiği görülmektedir. Ancak artan debi değerlerinde grafiğin düzenli bir hal almaktadır. Pompa güç eğrilerinde yapılan istatistiki değerlendirmelerin önemli olduğu tespit edilmiştir. Ortalama değerlere göre değişimin aralığı 4.351-4.333 kW arasında kaldığı görülmüştür. Kolon borusu uzunluğunun artışı diğer parametrelerde bir azalmaya sebep olurken güçte tam tersi bir durum meydana gelmiştir. Kolon borusu uzunluğunun artması güç tüketimini azaltmıştır. Pompanın en verimli noktasına karşılık gelen güç değerleri 2M için 4.67 kW, 4M için 4.64 kW ve 6M için 4.627 kW olduğu belirlenmiştir. Bunun temel sebebi ise, pompanın debi ya da basıncında meydana gelen azalmaların pompa motor yüklenmelerini olumlu yönde etkilemesi olarak açıklanabilir. Ancak bu değerler her bir kolon borusu uzunluğundaki en yüksek debi değerleri ele alındığında gücün arttığı görülmektedir. 2M kolon uzunluğundaki güç değeri 4.083 kW iken 4M ve 6M kolon borusu uzunluklarında bu değerler sırasıyla 4.100 kW ile 4.137 kW olarak ölçülmüştür.

Pompalarda elde edilen tüm karakteristik değerlerin bileşkesinin verim değeri olduğu bilinmektedir (Baysal, 1979). Bu nedenle pompalar tasarlanırken verim noktasındaki değerleri ya da tasarlanmış bir pompanın verim değerinde çalıştırılması gerekmektedir. Bu değer pompaya ait hidrolik performans, mekanik ve elektriksel (şebeke) güç ile elde edilmektedir. Genellikle pompalar bir elektrik motoruna bağlı çalıştıklarında elde edilen güç elektriksel güç olmaktadır. Bu nedenle pompa veriminin genel verimini ifade etmektedir.

Değişen kolon borusu uzunluklarında farklı verim değerleri elde edilmiştir. Verim değerlerinde artan kolon borusu uzunluğuna göre azalmalar meydana geldiği görülmektedir. Ortalama değerlerdeki

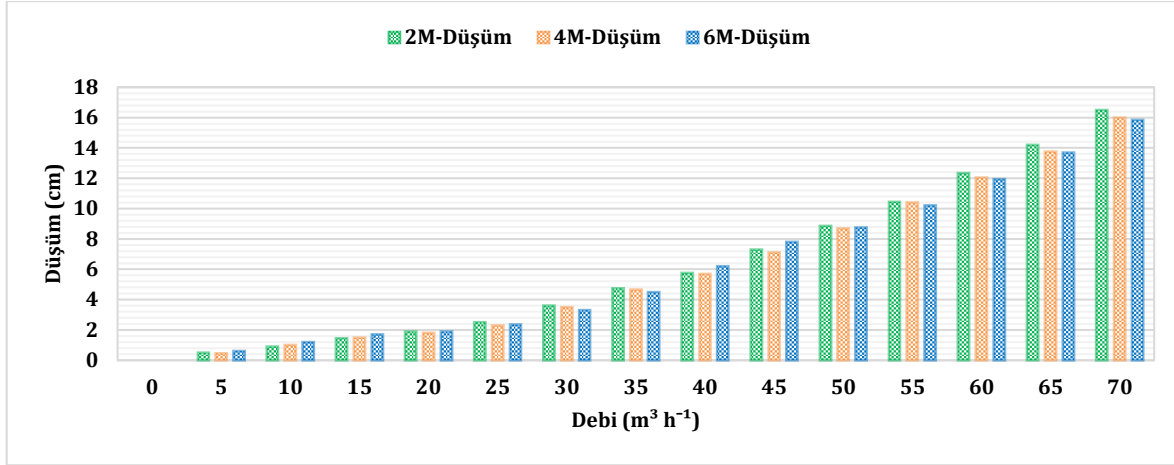
değişimlerin 2M kolon borusu referans alınır, 4M kolon borusunda %3.18 ve 6M kolon borusunda ise %5 olarak tespit edilmiştir. Verim değerlerinin verilmiş olduğu Şekil 6'da bulunan grafik incelendiğinde debinin her noktasında uzunluğa bağlı olarak azalmaların meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 6. Farklı kolon borusu uzunluklarında pompa verim değerleri

Verim değerlerinin kolon borusu uzunlukları ortalamaları (2M, 4M ve 6M) için 140 kPa basınç noktasında en yüksek değerleri elde edilmiştir. 2M kolon borusunun %43.664 ile en yüksek verim değerine sahip olduğu belirlenmiştir. 4M ve 6M kolon borularındaki verim değerleri ise sırasıyla %42.250 ve %42.357 olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerde gerçekleşen verimlerde beklenen her kolon borusu artışı için güçte artma, verimde azalma olmasıdır. Fakat burada debi ve güce bağlı olarak 4M ve 6M kolon borularında uzunlukla verimin doğru orantılı olmadığı görülmektedir. En yüksek verim noktasındaki debi değerleri incelendiğinde 2M kolon borusu uzunluğunda 48.433 m³h⁻¹, 4M kolon borusu uzunluğunda 46.667 m³h⁻¹ ve 6M kolon borusu uzunluğunda ise 46.633 m³h⁻¹ değerleri ölçülmüştür. Etkili olan sürtünme kuvvetinin de hızdaki azalmaya bağlı kayıplardaki artış oranında güçte de bir azalma meydana getirdiği gözlemlenmiştir.

Düşüm değerleri debiye bağlı olarak değişmektedir. Artan debi değerlerinde statik ve dinamik su seviyelerin farkları artacaktır. Çalışmada düşümün debi ile değişimini Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Farklı kolon borusu uzunluklarında pompa dinamik seviye (düşüm) değerleri

Debi artışının kuyuların dinamik seviyelerindeki artışına etki ettiği görülmektedir. Bu durumda kolon borusu uzunluğunun artması pompa debisini azaltacağından düşümünde azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Ancak bazı noktalarda bu durum değişmektedir. Bunun sebebi ise seviyelerdeki ölçüm esnasında suyun sürekli değişiklik göstermesi olarak açıklanabilir. En yüksek debi noktasındaki (70 m³h⁻¹) değerleri 2M kolon borusu uzunluğu için 16.5 cm, 4M kolon borusu için 16 cm ve 6M kolon borusu uzunluğu için ise 15.85 cm olarak değişmiştir (Şekil 7).

Debi, manometrik yükseklik, güç ve verim değerleri üzerinde yapılan varyans analizi sonucu, kolon borusu uzunluğundaki değişimin bağımlı değişkenler üzerindeki etkisinin önemli olduğu bulunmuştur (P<0.01) (Tablo 3).

Tablo 3. Bağımsız değişkenler üzerinde yapılan varyans analizi

<i>Debi üzerine yapılan varyans analizi</i>					
	SD	KT	KO	F	P
Kolon borusu uzunluğu	2	6.3622	3.1811	954.33	0.000*
Hata	6	0.02	0.0033	---	---
Toplam	8	6.3822	---	---	---
*p<0.01					
<i>Manometrik yükseklik üzerine yapılan varyans analizi</i>					
	SD	KT	KO	F	P
Kolon borusu uzunluğu	2	0.00197839	0.00098920	555.19	0.000*
Hata	6	0.00001069	0.00000178	---	---
Toplam	8	0.00198908	---	---	---
*p<0.01					
<i>Güç üzerine yapılan varyans analizi</i>					
	SD	KT	KO	F	P
Kolon borusu uzunluğu	2	0.0029556	0.0014778	19.00	0.003*
Hata	6	0.0004667	0.0000778	---	---
Toplam	8	0.0034222	---	---	---
*p<0.01					
<i>Verim üzerine yapılan varyans analizi</i>					
	SD	KT	KO	F	P
Kolon borusu uzunluğu	2	3.7161	1.8581	161.46	0.000*
Hata	6	0.069	0.0115	---	---
Toplam	8	3.7161	---	---	---
*p<0.01					

Bağımsız değişkenleri için yapılan varyans analizine bağlı olarak elde edilen optimum verim değerlerindeki debi, manometrik yükseklik ve güç değerleri ile verim değerlerine ait ortalamalarının arasındaki farklılıklar Tablo 4'te görülmektedir. Kolon borusu uzunluklarına karşılık gelen ortalamaların pompa performans değerleri arasındaki en küçük önemli farklarda (LSD) verilmiştir.

Tablo 4. Optimum verim noktalarında bağımsız değişkenler üzerinde yapılan varyans analizine bağlı ortalamaların karşılaştırılması

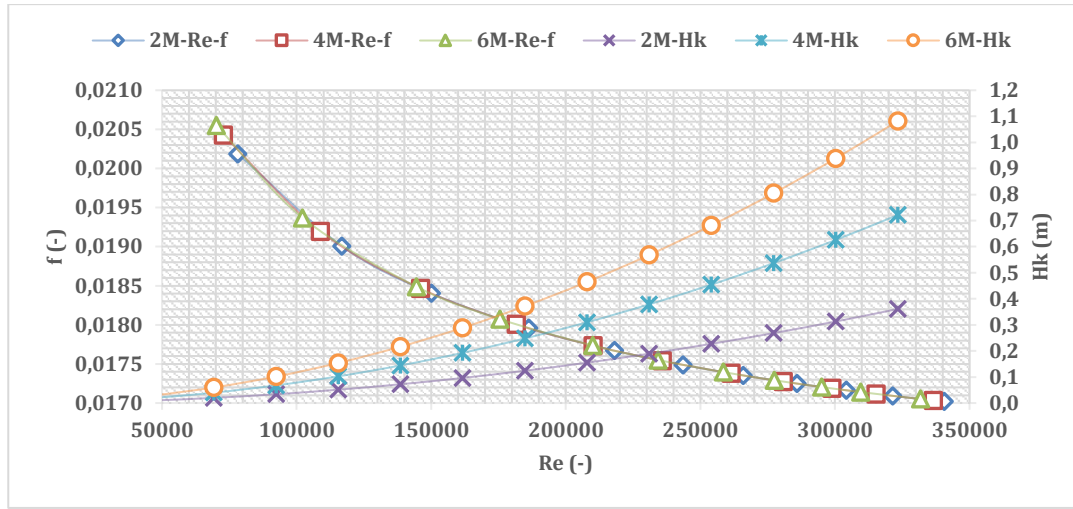
	<i>Kolon borusu uzunluğu</i>			
	2M	4M	6M	LSD
Debi ($m^3 h^{-1}$)	48.433 ^A	46.667 ^B	46.633 ^B	0.3261
Manometrik yükseklik (m)	15.459 ^A	15.426 ^C	15.431 ^B	0.0729
Güç (kW)	4.670 ^A	4.640 ^B	4.627 ^B	0.0498
Verim (%)	43.664 ^A	42.250 ^B	42.357 ^B	0.6052
LSD (0.05)				

Optimum verim noktalarındaki değerler incelendiğinde kolon borusu uzunluğunun artması tüm karakteristik değerlerinde azalma meydana geldiği ve istatistik açıdan bu değerlerin önemli olduğu gözlemlenmiştir. Pompa kolon borusu uzunluğunun artması ile debi, güç ve verim değerlerinde 2M kolon borusunun diğer uzunluklara göre önemli olduğu görülmüştür. Manometrik yükseklikte ise her bir uzunluktaki değerlerin birbirleri arasındaki farkların asgari düzeyde etkilediği tespit edilmiştir.

3.2. Sürtünme Kaybı

Derin kuyu pompa kolon borusu uzunluğunun artması ile kayıplarda belirli bir artış görülecektir. Kayıplar belirli hesaplamalara bağlı olarak elde edilen değerlerde hızın bir fonksiyonu olarak değişmektedir. Borularda akışkan ve boru özelliklerine bağlı olarak sürtünme kaybı hesaplanmaktadır. Sürtünme kayıpları pompanın hız bileşeni ve boru uzunluğu ile malzeme yapısına bağlıdır. Debi ve boru özelliklerine bağlı olarak Reynolds sayısı (Re), sürtünme katsayısı (f) ve yük kaybı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değere ait grafik Şekil 8'de verilmiştir.

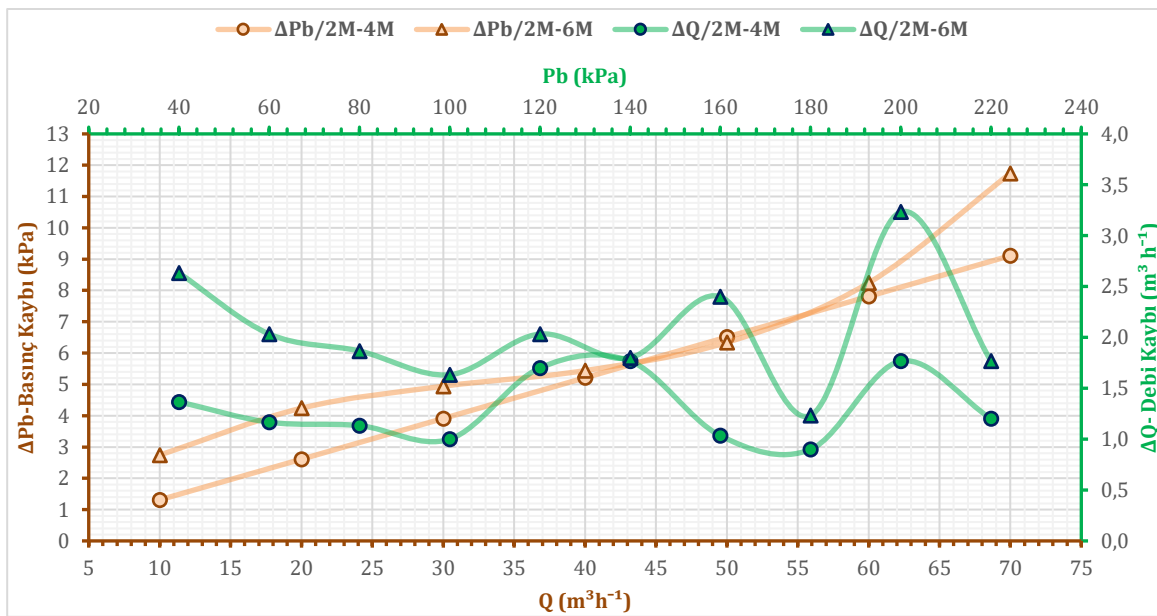
Denemelerde sabit basınç değerlerine göre ölçülen debi değerlerindeki farklılığa bağlı olarak elde edilen hız değerleri ile hesaplanan Reynolds sayısında azalmaya bağlı bir azalma görülmektedir. Elde edilen Reynolds sayılarının ($4000 < Re$) türbülanslı akış gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Türbülanslı akışlarda basınç ve yük kaybı bazı hesaplamalar ile mümkündür. Moody diyagramına bağlı olarak türetilmiş Moody denklemi ile pompa sürtünme katsayısı hesaplanmıştır. Sürtünme kaybı Reynolds sayısı ve hızın bir fonksiyonu olarak kolon borusu uzunluğunun artması ile bir artış gösterdiği görülmektedir (Kiijarvi, 2011).



Şekil 8. Reynolds sayısının sürtünme katsayısı ve yük kaybına bağlı değişimleri

Boru kayıplarında yaşanan basınç düşümü ve sürtünme kaybına bağlı olarak elde edilen değerler incelendiğinde boru uzunluğu arttıkça sürtünme kaybı ve basınç düşümünde artacağı gözlemlenmektedir. Reynolds sayısı hız ile doğru orantılı olduğundan artması ile yaşanacak sürtünme yük kaybı da artacaktır. Sürtünme katsayısı (f) değeri ise artan Reynolds sayısına göre azalmaktadır. Ayrıca her kolon borusu uzunluğu için elde edilen sürtünme katsayılarındaki değişim kolon uzunluğunun artması ile artmakta olduğu tespit edilmiştir. Sabit Reynolds ve f değerlerine karşılık gelen yük kayıpları Şekil 8' deki gibi değişiklik gösterecektir. Bu noktalar eşitliklerde artan kolon borusu uzunluğuna göre artma eğilimi gösterecektir. Sürtünme kaybı, kolon borusu uzunlukları arasındaki değişimin %3.87'den, %13.52'ye kadar olduğu belirlenmiştir.

Araştırma sonuçlarının, değişmeyen çap ve pompa tipine bağlı olarak artan debi ile birlikte basınç kaybının artacağı bilinmektedir. Basınç değerlerinde elde edilen verilere bağlı değişen debinin her kolon borusu artışında azaldığı görülmektedir. Kolon borusu uzunluğundaki farklılıklar ise Şekil 9'daki gibi düzgün olmayan bir eğriye sahip olsa da uzunluğun artmasıyla beraber kayıp olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9. Pompa deneysel sonuçlarına göre kolon boruları arasındaki basınç ve debideki farklar

Pompa debi değerleri boru uzunluğuna bağlı olarak basınç kayıplarının (ΔP_b) değişimleri tespit edilmiştir. Sürtünme kaybının da düzgün olarak artacağını göstermektedir. Şekil 9'da debinin en yüksek olduğu noktalarda 2M-4M ve 2M-6M kolon borularının basınç düşüşündeki değerleri sırasıyla 9.11 kPa ve 11.74 kPa olarak elde edilmiştir. Debi değerlerindeki azalmalar ise grafikler dalgali bir şekildedir. Ancak her bir basınç noktasında farklı kolon boruları birbirleriyle kıyaslandığında azalmalar olduğu görülmüştür. Kolon borusu uzunluğuna bağlı debideki azalmalar incelendiğinde ise ($\Delta Q/2M-6M$) 200 kPa basınç değerindeki debinin % 12.47 olarak en yüksek değişiminin olduğu görülmüştür.

Kayıplar sabit debi değerlerinde ise debi artışı kolon borusu uzunluğunun artması ile basınç değerlerinde kayıplar meydana geldiği görülmüştür. Bu kayıplar debi değerlerinde olduğu gibi artan kolon borusu uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Kolon borusu uzunluklarının değişmesiyle elde edilen kayıp değerlerindeki azalmalar pompanın optimum verime karşılık gelen debide ($50 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$) sırasıyla 2M-4M arasında 6.51 kPa iken 2M-6M kolon boruları arasındaki basınç farkı ise 6.34 kPa olarak gerçekleşmiştir. Basınç kaybının kolon borularına göre oranlanarak elde edilmesi ile oluşturulan denklemlerde 2M-4M deki basınç farkının doğrusal bir eğilim izleyerek $\Delta P_b = 0.13x + 0.01$ ($R^2=1$), 2M-6M arasındaki farkı ise polinomsal olarak $\Delta P_b = 0.0001x^3 - 0.01x^2 + 0.38x - 0.16$ ($R^2=1$) tespit edilmiştir.

4. SONUÇ

Kolon borusu uzunluğunun etkisi ile pompaj karakteristiklerinin de etkilendiği görülmektedir. Kapalı sistemler içerisinde taşınan akışkanlardaki sürtünme kayıplarının etkisiyle oluşan azalmalar, planlanan pompajın verimini düşürmektedir. Pompa tasarım noktasındaki değerlere göre kolon borusu uzunluğunun artması ile debide %3.72, manometrik yükseklikte %0.21, güçte %0.92 ve verimde ise %3.23 değerlerinde bir azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca verimin bir bileşkesi olan hidrolik güçteki değişiminde 2M-6M kolon boruları arasında azalmanın %4.1 olduğu belirlenmiştir. Kolon borusu uzunluğu arasındaki farkların fazla olmadığı bu çalışmada elde edilen değerlerdeki değişimlerinde önemli olduğu belirlenmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi sürtünme kaybı etkisinin basınçta düzgün bir azalmaya neden olduğu ancak debi de ise değişen hızlar ile beraber kolon boruları aralarındaki farkların değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Hesaplanan sürtünme kaybının hızın bir fonksiyonu olduğu ve buradaki değerlerde düzgün bir artış gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ancak pratikte debi ve basınç değerlerindeki azalmaların hesaplamalar ile kıyaslandığında teorik olarak hesaplanan debi değişiminin pratikte farklı sonuçlar ortaya çıkaracağı unutulmamalıdır.

BİLGİLENDİRME

Bu makalenin özeti, 07-09 Eylül 2022 tarihleri arasında Bilecik'te gerçekleştirilmiş olan 34. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Kongresi'nin Özet ve Bildiri Kitabı'nda yayınlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Alawee, W. H., Almolhem, Y. A., Yusuf, B., Mohammad, T. A., & Dhahad, H. A. (2020). Variation of coefficient of friction and friction head losses along a pipe with multiple outlets. *Water*, 12(3), 844. <https://doi.org/10.3390/w12030844>
- Baysal, K. (1979). *Tam santrifüj pompalar: hesap, çizim ve konstrüksiyon özellikleri*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Coronado-Hernández, Ó. E., Derpich, I., Fuertes-Miquel, V. S., Coronado-Hernández, J. R., ve Gatica, G. (2021). Assessment of steady and unsteady friction models in the draining processes of hydraulic installations. *Water*, 13(14), 1888. <https://doi.org/10.3390/w13141888>
- Çalışır, S., Şeflek, A. Y., ve Erkol, A. (2004). Sulama Pompaj Tesislerinde Pompa Seçimine Etki Eden Faktörler.
- Çalışır, S., ve Haciseferoğulları, H. (2008). Sulama pompaj tesislerinde enerji tüketimi. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 22(44), 30-32.
- Çalışır, S. (2009). Sulamada pompaj tesisleri. Gazanfer Ergüneş (Editör), *Tarım Makinaları* (1. basım, ss. 351-413). Nobel Yayınları
- Çengel, Y. A., Cimbala, J. M., & Engin, T. (2008). *Akışkanlar mekaniği: temelleri ve uygulamaları*. Güven Kitabevi.
- Driscoll, F. (2010). Kuyu Hidroliği, Çeviri: Ali Faruk ÖZTAN, Jeoloji Yüksek Mühendisi *DSİ, Ankara*.
- Kiijarvi, J. (2011). Darcy friction factor formulae in turbulent pipe flow. *Lunowa Fluid Mechanics Paper*, 110727(2011), 1-11.
- Mokeddem, A., Midoun, A., Kadri, D., Hiadsi, S., ve Raja, I. A. (2011). Performance of a directly-coupled PV water pumping system. *Energy conversion and management*, 52(10), 3089-3095. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.04.024>
- Orhan, N., Kurt, M., Özbek, O., & Şeflek, A. Y. (2021). Düşey Hidrolik Yükün Pompa İşletme Karakteristiklerine Etkisi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(2), 344-352. <https://doi.org/10.30910/turkjans.837120>
- Schulz, H. (1977) *Die Pumpen Arbeitsweise. Berechnung, Konstruktion*, 13.
- TSE, Türk Standardları Enstitüsü. Pompalar-Düşey Milli Türbin, Eylül 1977, TS 514.
- TSE, Türk Standardları Enstitüsü. Pompalar-Dalgıç Pompalar, Aralık 1993, TS 11146.
- Yalçın, K. (1998). *Hacimsel ve Santrifüj Pompalar*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Zeyu, Z., Junrui, C., Zhanbin, L., Zengguang, X., ve Peng, L. (2020). Approximations of the Darcy-Weisbach friction factor in a vertical pipe with full flow regime. *Water Supply*, 20(4), 1321-1333. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.048>

EXTENDED ABSTRACT

Introduction and Research Questions & Purpose

In this study, the friction losses of the column pipe length that occur with the increase of the depth of the deep well pump was examined. The effects of different column pipe lengths (2M, 4M and 6M) on the pump characteristics of a submersible pump with the same column pipe diameter were investigated. The changes of friction loss, flow rate, pressure loss, manometric height, power and efficiency for each column pipe length were determined.

Methodology

The pump flow, pressure, power and drop values were measured and performance values of the pumps were determined according to the equations. Performance values were compared and evaluated. In addition, pump friction losses were calculated depending on the Reynolds number. Finally, the obtained flow and pressure values were compared separately at both constant flow and constant pressure, and the losses were revealed by taking the first column pipes as a reference.

Results and Conclusions

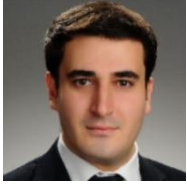
It is a fact that closed systems used in the transmission of fluids will be exposed to friction force. Speed and pressure losses will occur with the effect of friction loss. These losses will adversely affect pump performance values. There will be increases in losses depending on the length of the column pipes, which can be increased as a result of operating the pump deeper to provide the desired conditions. Accordingly, the power values to be obtained at constant flow rates also increase. The pressure drop values of the 2M-4M and 2M-6M column pipes at the highest flow points were obtained as 9.11 kPa and 11.74 kPa, respectively. Decreases in flow rates, on the other hand, show wavy graphs. However, when different column pipes were compared with each other at each pressure point, it was observed that there were decreases. When the decreases in flow rate depending on the length of the column pipe are examined ($\Delta Q/2M-6M$), it is seen that the flow at 200 kPa pressure has the highest change as 12.47%. The decrease in loss values obtained by changing the column pipe lengths was 6.51 kPa between 2M-4M, respectively, at the flow rate corresponding to the optimum efficiency of the pump ($50 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$), while the pressure difference was 6.34 kPa between 2M-6M column pipes. Considering these situations, the necessary ways to reduce the friction force should be followed while designing.

To reduce friction and pressure losses in piping systems, following facts are important;

- Changes in flow rate,
- Increasing the pipe diameter for constant flow,
- Reducing the pipe length,
- The type of pipe material

Considering the existing lengths of deep wells, to reduce the energy input of the pumping, determination of the required well depth for the pump is essential.

Yazarların Biyografisi



Mehmet KURT

Selçuk Üniversitesi, Cihanbeyli Meslek Yüksekokulu, Tarımsal İşletmecilik Programında öğretim görevlisidir. Bulunduğu birimde halen görevine devam etmektedir. Uzmanlık alanı tarım makineleri, sulama makinaları, hidrolik-pnömatik ve sulama sistemleridir.

İletişim mehmet.kurt@selcuk.edu.tr
ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-9566-6627>



Kazım ÇARMAN

Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü öğretim üyesidir. Bulunduğu birimde halen görevine devam etmektedir. Uzmanlık alanı tarım makinelerinin tasarımı, koruyucu toprak işleme uygulamaları, tarımda yapay zeka teknikleri.

İletişim kcarman@selcuk.edu.tr
ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-9860-7403>