

JEOTERMAL AKIŞKANLARIN POMPAJİ

A.Özden ERTÖZ

ÖZET

Kendiliğinden yeryüzüne çıkan jeotermal akışkanlardan tarih boyunca sağlık amacıyla yararlanılmıştır. Kendiliğinden yeryüzüne çıkamayan jeotermal kaynaklardan yararlanmak için artezyen kuyularının açılması ve burada bulunan jeotermal akışkanın yeryüzüne pompalanması gerektiğinden gelişme sondaj ve pompa teknolojisinin ilerlemesiyle yaşanabilmektedir. 1970 yılından önce jeotermal akışkanların pompalanması için normal soğuk su tipi derin kuyu pompaları kullanılmıştır. Sıcaklığın ve dinamik seviyenin yüksek olmadığı durumlarda sınırlı bir ölçekte sonuç alınmıştır. 1970'lerin başlarında enerji üretimi maksadıyla açılan kuyularda kullanılan yüksek sıcaklıklı jeotermal pompaların ömürleri 30-60 gün olmuştur. Daha sonraları jeotermal akışkanların derinkuyu pompalarının hidroliğine ve mekaniğine yaptığı etkiler incelenmeye başlanmış, yapılan konstrüktif değişiklikler sonucunda 1980'lerin sonuna doğru pompa ömürleri 12-14 ay civarına çıkarılmıştır. 1990'larda ise kuyu içindeki kabuklaşma sorununa kesin çözümler üretilmiş ve pompaların çalıştırılması ve durdurulması talimatları geliştirilerek işletme hatası yapılmadan işletilen uygun pompaların ömürleri 5 yılın üzerine çıkarılmıştır.

GİRİŞ

Jeotermal akışkanların yeryüzüne çıkarılması için kullanılacak kuyu içi pompaları olarak aklımıza iki türlü pompa gelmektedir. Dik milli derinkuyu pompaları ve Dalgıç pompalar. Diğer tip pompaların kullanım alanları ve debileri oldukça sınırlı olduğundan jeotermal uygulamalarda kullanılmamaktadır.

Dik milli derinkuyu pompalarının elektrik motoru kuyunun üzerinde bulunan akıtma başlığının üzerine oturtulmuştur. Pratik olarak 250 m. derinliğe kadar inebilen kolon borularının ucunda bulunan pompa, boruların ek yerlerinde bulunan yataklar tarafından desteklenen miller yardımı ile çevrilir. Dalgıç pompalarda ise küçük çaplı uzun bir hale getirilmiş elektrik motoru pompanın altına monte edilmiştir. Bu sayede kısa bir mil ile tahrik edilen pompanın elektrik motorunun içine kuyu sularının girmesini önleyici tedbirler alınmıştır.

Jeotermal pompa tipi seçimi, montaj derinliği, kuyu çapı, kuyu düzgünlüğü ve kuyu sıcaklığı, jeotermal akışkanın özellikleri gibi faktörler göz önüne alınarak karşılaştırılır. Bu şartlar belli bir pompa tipini kullanmaya bizi mecbur etmiyorsa pompa, ömrü boyunca en düşük maliyet sağlayacak şekilde seçilmelidir. Pompa seçiminde; enerji maliyeti, beklenen ömür, onarım maliyeti, yedek parça temini, çalışmama maliyeti, sıcaklık, dalgıç pompanın motor verimi, kablo uzunluğu, kolon borusu boyu, özel çark ve araçnak dizayn gereksinimi gibi faktörler göz önüne alınmalıdır.

Milli ve dalgıç pompaların verim farklılıklarını etkileyen çeşitli faktörler vardır. Milli pompaların mil ve kolon borusu uzama farklılıklarını dengelemek için çark ve ara çanaklarda yapılacak konstrüktif değişiklikler pompa verimini düşürecektir. Buna mukabil dalgıç pompaların motor verimleri milli pompaların motor verimlerinden daha düşüktür. Ayrıca pompanın altında bulunan elektrik motorunun kuyuyu tıkaması dolayısıyla dinamik seviyenin daha aşağıda oluşması sonucu gerekli pompaj gücü daha fazla olacaktır.

Jeotermal uygulamalar için bu iki tip pompanın avantaj ve dezavantajları Tablo'1 de verilmiştir.

Tablo 1. Dik milli derinkuyu pompaları ile dalgıç pompaların kıyaslaması.

Dik Milli Derinkuyu Pompaları	Dalgıç Pompalar
Pompa asamblesi verimleri genellikle %65 ile 80 arasındadır. Kademe başına basma yükseklikleri ile pompa çapı başına debileri daha azdır. Motor kablosunda enerji kaybı pek az olup millerine sürtünme kaybı vardır.	Pompa asamblesi verimleri genellikle %65 ile 80 arasındadır. Kademe başına basma yükseklikleri ile pompa çapı başına debileri daha fazladır. Motor kablosunda enerji kaybı olup kablo sıcak kolon borusuna bağlanmak zorundadır.
Motor, eksenel yatak ve salmastra yüzeyde olup kolayca erişilebilir.	Motor, eksenel yatak ve salmastra kuyu içinde olup kolayca erişilemez.
Genellikle düşük devirli (2000 d/dak dan az) olduğundan daha az aşınır.	Genellikle yüksek devirli olduğundan (2900 d/dak) daha çok aşınır.
Yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. 200°C+	Sıcaklığa dayanımı daha azdır. Yüksek sıcaklıklara dayanıklı (140 °C) özel motorlar kullanılarak doğrudan kullanım amaçlı sistemlerde kullanılabilir.
Ekonomik olarak 250 m den daha az montaj derinlikleri için kullanılırlar. (Enerji santralleri için kullanılan özel olarak yapılmış çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı özel pompalar 600 m. Derinliğe kadar indirilmiştir.)	Petrol kuyularında 3600 m. ye indirilebilir. Motorlar genellikle yüksek gerilim ile çalışır (600-5000 V).
Montaj ve demontaj zamanı daha uzundur	Montaj ve demontaj zamanı daha kısadır.
Dik milli derinkuyu pompaları oldukça düzgün açılmış kuyulara monte edilmelidir. Eğri kuyularda kolon borusu içinde bulunan miller de eğrileceğinden erken aşınma problemleri ortaya çıkacağından daha geniş bir kuyu gerekir.	Eğri kuyularda da kullanılabilir. Kuyu techiz edilebiliyorsa pompa da konabilir.
İlk çalıştırmada başlık mili ayarı yapılmalıdır.	Çarkların pozisyonu sabittir.
Doğrudan kullanım için fiyatları genellikle daha düşüktür.	Fiyatları genellikle daha pahalıdır.

Jeotermal enerjinin doğrudan kullanıldığı bütün uygulamalarda daima dik milli derinkuyu tipi pompalar tercih edilen çözüm olmuştur.

JEOTERMAL AKIŞKANLARDA POMPAJ PROBLEMLERİ

Kabuklaşma

Jeotermal kuyularda karşılaşılan en büyük problem kabuklaşmadır. Kabuklaşma jeotermal akışkanın basıncının azalması, sıcaklığının değişmesi, erimiş gazların açığa çıkması gibi olayların sonucunda ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarla uygun inhibitörlerin bulunması sonucunda kabuklaşma problemleri ortadan kaldırılmıştır.

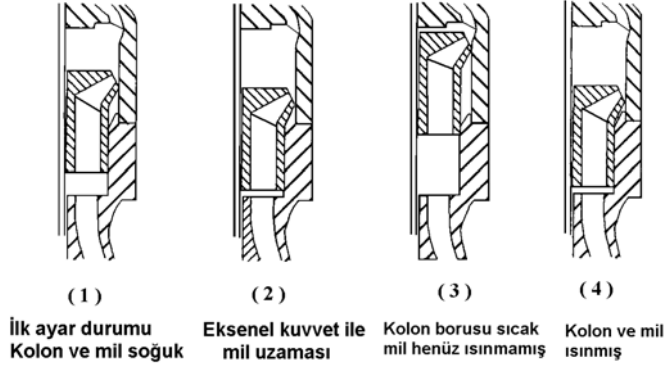
Korozyon

Tüm jeotermal akışkanlar çok az miktarlarda olsa da H₂S ihtiva etmektedir. Havanın oksijeniyle temas eden H₂S, asit oluşturmakta ve kolon boruları ile kuyu techiz borularında delinmelere sebep

olmaktadır. Bu etkinin minimuma indirilebilmesi için jeotermal akışkanla temas eden pompa ve kuyu aksamının havayla teması önlenmelidir. Pompa kolon borularının dışı ve techiz borusunun oksijenle temasının önlenmesi kuyu içinin azot ile basınçlandırılması gerekmektedir. Kolon borularının içinin havayla temasının engellenebilmesi pompanın devamlı durdurulmadan çalıştırılmasıyla mümkündür. Bu sebepten start-stop çalışma yerine frekans kontrolü yardımıyla pompa debisinin ayarlanması tercih edilmelidir.

Uzama Farklılıkları

Kuyu içi sıcaklıkları derinliğe bağlı olarak değişmektedir. Pompanın çalışmasıyla derinlerdeki daha sıcak akışkanların etkisiyle ani sıcaklık değişimleri sonucunda pompada ısınma hızına bağlı olarak farklı uzamalar meydana gelmektedir. Uzama farklılıklarını incelemek için dik milli derinkuyu pompasını iki kısımda mütalaa edelim. Birinci kısmı kolon borusu, mil muhafaza borusu, pompa araçnakları, ikinci kısmı ise kolon milleri, pompa mili ve çarklar olarak ele alalım. Pompayı çalıştırmadan önce (1) ısı dengede bulunan bu elemanlar pompa çalışınca aksel hidrolik kuvvetlerin etkisiyle milde bir uzama meydana gelir (2). Kısa bir süre sonra kolon boruları yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkanla karşılaşınca hemen uzayacaktır.



Miller daha kalın ve korunmuş olduklarından geç ısınacağından pompa çarkları aynı seviyede kalırken kolon boruları uzadığı için araçnaklar aşağıya doğru inecek, netice olarak çarklar araçnakların üstüne dayanacaktır (3). Bir müddet sonra miller de ısınınca araçnaklar içindeki çarklar tekrar denge durumuna gelecektir (4). Şekil 1.

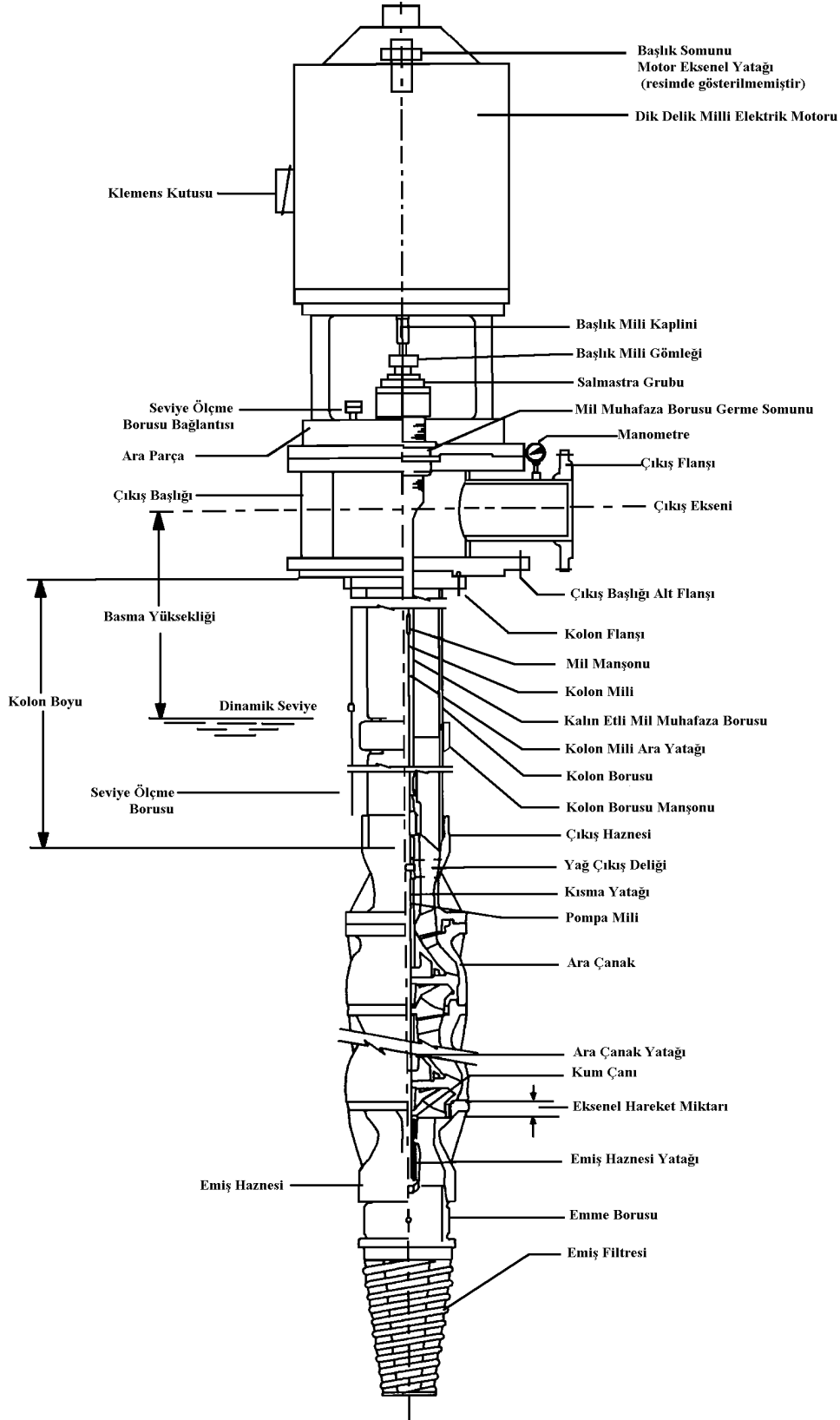
Şekil 1. Uzama farklılıkları

DİK MİLLİ DERINKUYU POMPALARI

Şekil.2'de tipik bir yağ ile yağlamalı jeotermal derin kuyu pompası kesiti görülmektedir. Bu pompada mil, "Mil muhafaza borusu" içine alınmış olup yağ ile yağlanmaktadır. Yeryüzünde bulunan akıtma başlığı en aşağıda bulunan pompa asamblesini taşıyan kolon boruları ve mil muhafaza borularını taşımaktadır. Kolon boruları genellikle 3 m.(10')lik bölümler halinde vidalı veya flanşlı olarak imal edilir. Mil muhafaza borusunun her ek yerinde bir yatak vardır. Kolon borularının ek yerinde mil muhafaza borusu merkezleyicileri bulunur. En altta bulunan pompa grubu aksel uzama farklılıklarına karşı önlemi alınmış, kabuklaşmaya dayanıklı bir yapıda olmalıdır.

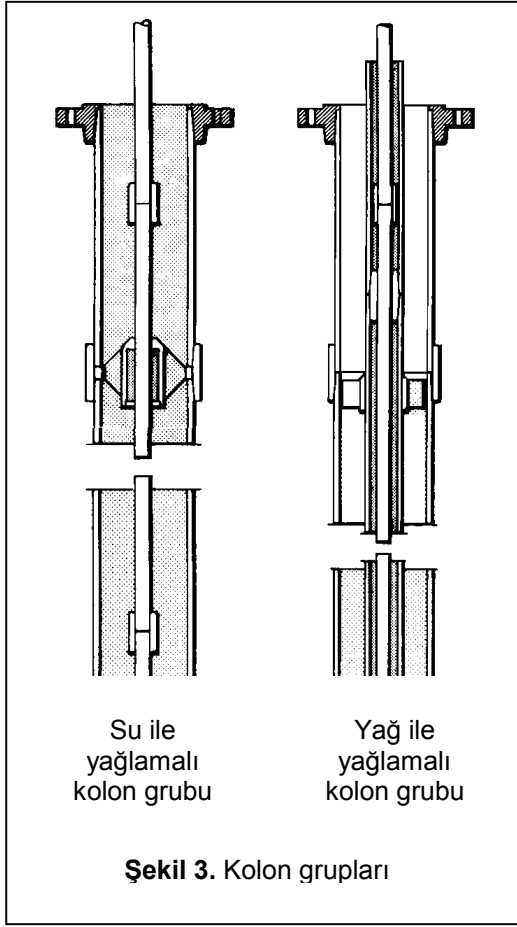
Akıtma başlığının yanında kuyu içine uzanan iki adet ince borunun birinden pompanın çok altındaki bir seviyeden inhibitör enjekte edilmeli, ikinci borudan ise kuyu içindeki statik seviyeler devamlı kontrol edilerek kayıtları tutulmalıdır.

Pompa çıkışında jeotermal akışkanın basıncı kalmaz ise kolon borusu içerisinde kabuklaşma başlayacaktır. Bunu önlemek için pompa çıkışında mutlaka 2-5 bar bir çıkış basıncı bulunmalı, bu basınç eşanjörde, reenjeksiyonda kullanılmalıdır.



Şekil 2. Jeotermal dik mili derinkuyu pompası

KOLON GRUBU

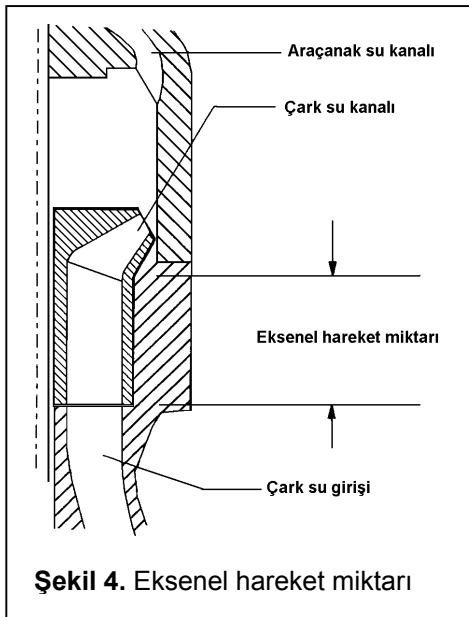


Yağ ile yağlamalı pompaların ara milleri mil muhafaza borusu içine alınmış olup mil muhafaza borularının ek yerinde bulunan manşon-yataklar akıtma başlığının yanında bulunan yağ deposundan yağ damlatılarak yağlanmaktadır. Bu yağlar görevini tamamladıktan sonra pompa çıkış haznesinde bulunan bir düzenekle kuyu içine atılır.

Mil muhafaza borusu bulunmayan su ile yağlamalı pompalar sadece statik seviyesi yüksek olan veya artezyen yapan kuyularda sınırlı şekilde kullanılırlar. Yatakları jeotermal sıcak suyla yağlandığı için daha çabuk aşınır ve korozyona karşı dayanımı azdır. Bu tip pompaların ömürleri oldukça kısadır ve yalnızca jeotermal akışkanın son derece temiz olduğu 60°C'den düşük sıcaklıklarda kullanılabilir.

Pompa çarkları pompa miline konik çark tespit burcu veya kama ile sabitlenmiştir. Miller, pompa çarkları ve oluşan aksenal kuvvetler, elektrik motoru içinde bulunan aksenal yatak tarafından taşınırlar. Elektrik motorunun üstünde bulunan ayar somunu vasıtasıyla çarkların ara çanak içindeki pozisyonu ayarlanır. Pompa durdurulduğunda kolon borusu içindeki akışkan kuyuya geri dönerken pompayı ters yönde çevirmeye çalışır. Bu sırada pompayı tekrar çalıştırmak arızalara sebebiyet vereceğinden pompayı korumak için elektrik motorlarında geriye dönüş önleme tertibatının daima çalışır durumda olmasına dikkat edilmelidir.

Bağıl Uzama ve Aksenal Hareket Miktarı



Uzama farklılıklarının pompa üzerine hasar meydana getirmemesi için gerekli önlemlerin başında çarkların ve araçanakların aksenal hareket miktarının artırılması gelmektedir. Şekil 4'de gösterilen ara çanak ve çark kesidi, aksenal hareket miktarını arttırmak için yapılan konstrüktif değişiklikleri göstermektedir. Standart olarak sızdırmazlık bileziği uzunluğu 8 ile 15 mm. arasında iken jeotermal pompalarda 15 ile 100 mm arasında bir hareket miktarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebepten standart konstrüksiyonlu pompaların jeotermal uygulamalara neden uygun olmadığı kendiliğinden ortaya çıkar.

DALGIÇ POMPALAR

Dalgıç Pompalar

Dalgıç pompalar elektrik motorunun kuyu içindeki pompanın alt tarafına monte edildiği pompalardır. Uzun milleri bulunmadığı için bağıl uzama bir problem teşkil etmez. Pompaların basma yüksekliklerinin gereğinden fazla olması halinde pompalarda oluşan aksel kuvvetin yönü yukarıya doğru olmaktadır. Bu durumda motorun içinde bulunan upthrust yatağı (ters yöndeki aksel yük yatağı) bir kaç dakika içerisinde görevini yapamaz hale gelmekte ve motoru arızalandırmaktadır.

Standart dalgıç motorları 30°C ve daha düşük sıcaklıklarda çalışması için dizayn edilmişlerdir. Gereğinden büyük güçlerde motor kullanılarak garanti edilmese de 50°C'ye kadar sıcaklıklarda çalıştırılmaları mümkündür.

Üç tip dalgıç pompa motoru bulunmaktadır; ıslak statorlu, yağ ile doldurulmuş ve hermetik tip;

Islak statorlu motor gövdesi su ile doldurulmuştur. Motor sargıları suya karşı korunmuş özel tip kablo ile yapılmıştır. Plastik izolasyonlu bu kablolar ankoşlarda çok yer kapladığı için belli bir güç için motor uzunlukları daha fazla olmaktadır.

Yağlı motorların içinde normal emaye sargı bulunmaktadır. Kuyu içindeki suyun motor içine girmesi mekanik salmastra sayesinde önlenmiştir. Bu motorların aksel yatakları yağ içinde çalıştığından aksel yük taşıma kapasitesi daha fazla olur.

Hermetik tip motorlarda sargılar emaye telden sarıldıktan sonra ısı taşınımını arttırmak amacıyla özel bir polye ester reçine içine konulmuştur. Motorun geri kalan bölümlerinin su ile temasta olması bir problem yaratmaz

Yüksek Sıcaklık Dalgıç Pompaları

Yüksek sıcaklık dalgıç pompaları petrol kuyularında kullanılmak için geliştirilmiştir. Daha yüksek sıcaklıklara dayanabilecek pahalı malzemeler kullanılarak üretilen bu motorlar 140°C sıcaklığa kadar yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. Bu motorların üzerinde motor gövdesinden daha büyük bir sızdırmazlık ve genişleme bölümü vardır. Pompanın girişinden önce de bir gaz ayırıcı bölüm açığa çıkan gazların pompaya girişini önleyerek pompanın sağlıklı çalışmasını sağlamaktadır.

Büyük güçlü olan bu tip motorlar, enerji kablolarındaki kayıpları azaltmak için yüksek gerilimli olarak üretilirler (380 - 5000 V). Pompaların aksel yüklerini azaltmak için de çarklara etki eden aksel hidrolik kuvvetlerin dengelenmesi gerekir. Belli bir debi için dengelenen çarklar dizayn debisinden daha fazla debide çalıştırıldıkları takdirde yukarı doğru, dizayn debisinden daha az debilerde çalıştırılırlarsa aşağı doğru itilirler.

Motor dış çapları API standartlarına göre açılmış kuyulara girebilmesi için 89 – 190 mm. arasında yapılmaktadır. Rotorlar genellikle 300-600 mm uzunlukta olup, güçleri arttırmak için motorlar birbirine eklenmektedir. Örnek olarak 400 hp gücünde bir motorun uzunluğu 9 metre civarındadır. 750 hp gücündeki bir tandem motorun uzunluğu 27 metre olmaktadır.

Motorların soğutulması için motor dışından geçen akışkan hızının 0.3 m/s'den daha fazla olması sağlanmalıdır.

JEOTERMAL UYGULAMALARDA FREKANS DEĞİŞTİRİCİ UYGULANMASI

Enerji maliyeti, kuyu içi jeotermal pompalarının işletme maliyetlerinde önemli bir yer tutar. Bilhassa ısıtma amaçlı kullanımda pompaj debisinin dış hava sıcaklığına bağlı olarak değişmesi istendiğinde bunu üç yolla yapmak mümkündür.

1. Vana kısılarak debi ayarı

Vana kısılarak debi ayarı enerji israfı olduğundan masraflı bir çözümdür.

2. Pompanın zaman zaman çalıştırılarak bir deponun doldurulması

Zaman zaman pompanın çalıştırılarak bir deponun doldurulması pompaya sık sık darbe yaptırdığı, kolon borularının içine ve depodaki suyun içine havanın oksijeninin girmesi korozyonu hızlandırdığı için pompa bakım maliyetlerini arttırmakta olduğundan tercih edilmemelidir.

3. Pompa devrinin değiştirilmesi yolu ile debinin ayarlanması.

Frekans değiştiriciler yardımı ile pompanın devir sayısının değiştirilmesi pompa ömrünü belirgin bir şekilde arttırmaktadır. Ağır devirli bir pompa aynı şartlarda çalışan yüksek devirli bir pompadan daha uzun ömürlü olmaktadır. Pompanın aşınması devir sayılarının oranının karesi ile küpü arasında değişmektedir (Frost 1988) Örnek olarak 2900 devirli bir pompa 1450 devirli bir pompaya göre dört ila sekiz defa daha hızlı aşınacaktır. Bir pompanın debisini kontrol etmek için enerji verimliliği en iyi olan yol, frekans değişimi ile pompanın devrini ayarlamaktır. Basma yüksekliğinin sadece sürtünme kayıplarından oluştuğu kapalı bir sistemde debi, devir sayısı ile doğru orantılı olarak değişirken basınç devir sayıları oranının karesi ile, güç ise devir sayıları oranının küpü ile orantılı olarak değişmektedir. Basma yüksekliği sadece statik yükseklikten oluşan sistemlerde statik basma yüksekliği debi ile değişmeyeceği için bu gibi sistemlerde debi, devir sayıları oranı ile değişecek, basma yüksekliği sabit kaldığı için pompanın gücü de devir sayıları oranında değişmiş olacaktır.

Jeotermal pompanın çıkışında, kabuklaşmaya meydan vermemek için eşanjöre basınçlı girişin sağlanması amacıyla 4-6 bar arasında basınç istendiğinden, pompa basınçları yüzde yüz statik olmayıp bu iki ekstrem durum arasında bir yeredir. Bu yer dinamik seviye ile pompa çıkışında istenen basınçların oranına bağlı olduğundan devir sayısının frekans kontrolü ile değişiminden sağlanacak enerji tasarrufu devir sayıları oranından daha fazladır.

Eğer kuyubaşı basıncının sabit olması isteniyorsa sistem %100 statik basma yüksekliği durumuna çok yakındır. Debi ile kuyubaşı basıncının değişimine müsaade edilen sistemlerde sağlanacak enerji ekonomisi daha fazla olacaktır.

SONUÇ

Başarılı bir jeotermal pompa uygulaması için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

1. Jeotermal pompa sipariş edilirken kuyu ve jeotermal akışkan hakkındaki bütün bilgiler verilmelidir. Kuyu techiz planı, sıcaklık gradyanı, statik ve dinamik seviyeler, jeotermal akışkanın kimyasal özellikleri ve bilhassa akışkanda bulunan erimiş gazların durumu çok önemlidir.
2. Jeotermal pompaların durmaksızın çalışması gerekir. Kısa aralıklarla start-stop yapan pompalar yerine, frekans kontrolü yardımı ile devri değiştirilen pompalar tercih edilmelidir. Çünkü her duruştan sonra kolon borusunun içindeki akışkan boşalacak ve yerine hava girecek, bunun sonucunda havadaki oksijen akışkanda eser miktarda da olsa bulunan H₂S ile birleşerek kolon borularında delinmelere sebep olacaktır.

3. Start-stop yapan pompalar bir açık depoya ihtiyaç gösterirler. Bu depoda, jeotermal akışkana havadan gelen oksijen, akışkanda bulunan hidrojen sülfid ile birleşerek bakır ve bakır alaşımları ile gümüş kaynağı yapılan bakır borusu bulunan cihazlarda ve fittingslerde korozyona sebep olacaktır.
4. Sık sık start/stop çalışma pompa millerinde darbelere de sebep olduğu gibi aksel uzama farklılıkları dolayısıyla oluşacak mil, kama sıyırma, çark çözülme gibi problemleri doğuracaktır.
5. Pompaların debisi, basıncı ve devir sayıları muntazam aralıklarla kaydedilmeli, debide veya basınçta bir azalma görüldüğünde gerekli önlemler daha büyük bir arızaya sebebiyet verilmeden alınmalıdır.
6. Pompalar deneyime veya imalatçısının tavsiyesine göre muntazam aralıklarla sökülerek bakımı yapılmalıdır.
7. Otomatik çalışan frekans kontrollü pompalarda tam kapalı vana konumunda çalışmayı önleyici uygun bir minimum debinin geçebileceği by-pass düzeneği yapılmalıdır.
8. Elektrik motorlarının havalandırılması sağlanmalıdır. Kapalı yerlerde sıcak borulara yakın motorların çalışmazken bile dayanabileceği sıcaklık üst sınırına gelmeleri mümkündür.
9. Salmastraların bakımına dikkat edilmelidir. Uzun zaman ihmal edilen salmastralardan fışkıran akışkanın motorun alt yataklarını tahrip etmesine müsaade edilmemelidir.
10. Start/stop çalışan pompalarda yağlama stop sırasında durdurulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] FROST, J. Historical Review of Downhole Production Pumps in the Imperial Valley, Sf 296, Geothermal Resources Council BULLETIN, December 1993
- [2] Centrilift Hughes, Submersible Pump Handbook, 1983. Tulsa, OK.
- [3] Culver, Gene, 1994. "Results of Investigations of Failures of Geothermal Direct-Use Well Pumps, Geo-Heat Center, Klamath Falls, OR.
- [4] Johnston Pump Co., 1987. "Johnston Engineering Data," Glendora, CA.

ÖZGEÇMİŞ

A.Özden ERTÖZ

1934 yılında İzmir'de doğdu. 1960 yılında İ.T.Ü.'den makina mühendisi olarak mezun oldu. 1960-1961 yıllarında Finlandiya'da pompa araştırma mühendisi olarak çalıştı. 1964 yılında Vansan Makina Sanayii'ni kurarak pompa imalatına başladı. Aynı zamanda NATO İzmir teşkilatında 18 yıl işletme mühendisi olarak görev yaptı. 1964 yılından bugüne kadar çeşitli tipte pompaları üretti. Pompa Sanayicileri Derneği (POMSAD) kurucularındandır. Vansan Makina Sanayii adlı kendi firmasında derin kuyu pompaları, jeotermal pompalar, dalgıç pompalar, pis su pompaları ve çekvafler imal etmekte olup öğretim görevlisi olarak Dokuz Eylül Üniversitesinde 2 yıl süreyle Hidrolik makineler dersini vermiştir. 1 yıl da Dokuz Eylül Üniversitesi Meslek Yüksek Okulunda Pompalar ve Kompresörler dersini vermiş olup halen Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Hidrolik Makineler dersini vermektedir.