

JEOTERMAL AKIŞKANLARIN POMPAJİ

**A.ÖZDEN ERTÖZ
ENDER DUYMUŞ**

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 yaşanabilmiştir. 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. Bazı özel uygulamalarda 600 m. derinliğe kadar dik milli derin kuyu pompaları indirilmiştir.

Dalgıç pompalar ise pompanın altına monte edilen, yüksek devirli, küçük çaplı, yüksek sıcaklığa dayanıklı hale getirilmiş dalgıç tip elektrik motoru tarafından tahrik edilirler. Bu pompa motoruna iletilen enerji yine yüksek sıcaklığa dayanıklı özel kablolar yardımıyla olur. Yüksek sıcaklık dalgıç pompalarının mil uçlarından motor içine kuyu sularının girmesini önlemek için uzun bir sızdırmazlık bölümü bulunur. Ayrıca pompaya iki fazlı akışkanın girmesini önleyici bir kısım ilave edilmektedir. Jeotermal dalgıç pompalar aslında petrol kuyuları için geliştirilen pompa ve kabloları kullanırlar. 200°C sıcaklığa dayanan bu kablolar amerikada imal edilmektedir. Fiyatları çok pahalı olup kullanma süreleri kısıtlıdır.

JEOTERMAL POMPANIN BELİRLENMESİ

Jeotermal pompaların belirlenmesi demek pompanın debisi, basma yüksekliği, devir sayısı, pompanın montaj derinliği, statik,dinamik seviyeleri, pompanın içine gireceği kuyuya uygunluğu, pompanın tipi, korrozondan korunma önlemleri gibi hususlarda karar verebilmek için gerekli bilgilerin elde edilmesi demektir. Aşağıdaki bilgilerin verilmesi pompanın doğru seçimi için gereklidir.

Kuyu techiz planı

Debi-düşüm deneyi sonuçları

Kuyunun sıcaklık profili

Jeotermal akışkan özellikleri

Basma hattı özellikleri (boru çapı, uzunluğu, basma hattı basıncı, vanalar, filtreler....)

çalışacağı sistemde diğer kuyular ve pompalar hakkında bilgi

Uygulamada en sık karşılaşılan zorluk, istenen debi için techiz borusu çapının küçük olmasıdır. Kuyu açılırken yapılmak istenen tasarruf burada, boru içinde aşırı basınç kaybı olarak ortaya çıkmakta, genellikle arzu edilen debinin daha altında bir debiye razı olunmaktadır. Normal şartlar altında jeotermal pompalar işletme maliyeti minimum olacak şekilde seçilmelidir.

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. Fakat hala jeotermal kuyulardan hava ile su çıkarmaya çalışanların kuyuları kabuklaşma yolu ile tıkadıklarının farkına varmadan çalışmaya devam ettikleri görülmektedir.

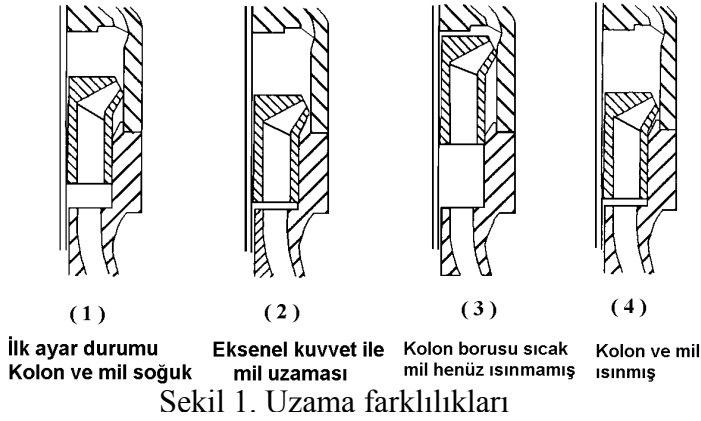
Korozyon

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 durdurulmadan çalıştırılmasıyla mümkündür. Bu sebepten start-stop çalışma yerine frekans kontrolü yardımıyla pompa debisinin ayarlanması tercih edilmelidir. Yapılmaması gereken diğer bir önemli husus pompadan çıkan jeotermal akışkanın bir depoya akıtılarak oradan kullanım yerlerine santrifüj pompalarla pompalanmasıdır. Jeotermal akışkan depoya dökülürken içinde bulunan H₂S hava ile temas ettiğinde korozyonu hızlandıran asitler meydana getirecektir. Bu asitli sular çeşmelerdeki pirinç muslukların bünyesindeki çinkoyu eriterek arızalanmalarına sebebiyet verecektir.

DİK MİLLİ JEOTERMAL POMPALAR

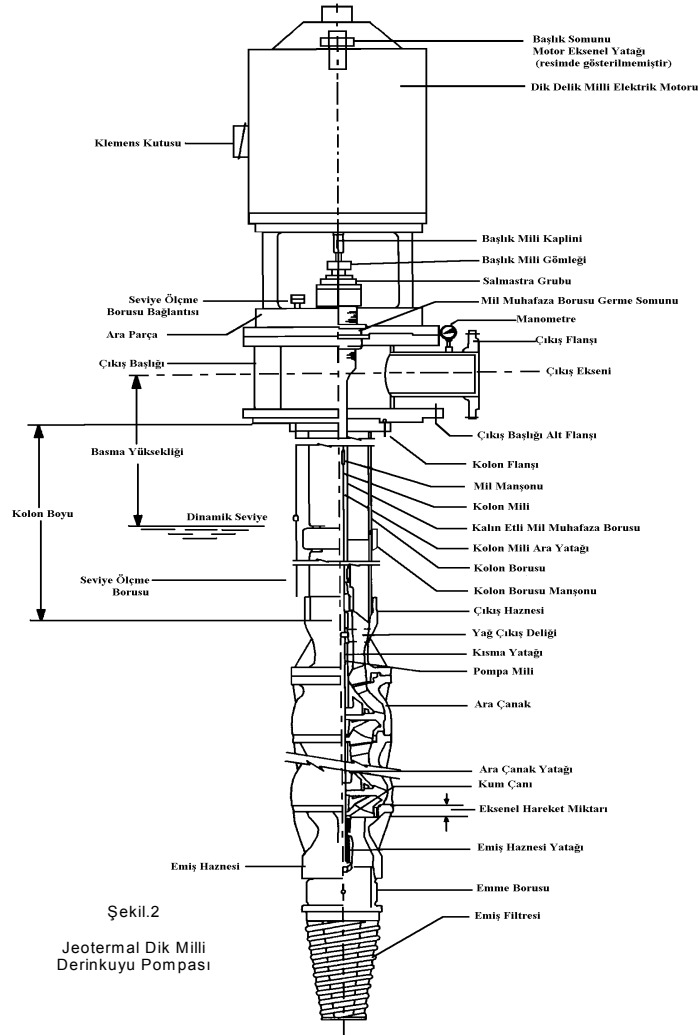
Şekil.2'de tipik milleri mil muhafaza borusu ile korunmuş bir jeotermal derin kuyu pompası kesiti görülmektedir. Bu pompada mil, "Mil muhafaza borusu" içine alınmış olup yataklar su ile yağlanmaktadır. Yeryüzünde bulunan akıtma başlığı en aşağıda bulunan pompa asamblesini taşıyan kolon boruları ve mil 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 bir yapıda olmalıdır.

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 ara çanakları gibi sabit duran kısım, diğeri ise kolon milleri, pompa mili

ve çarklar gibi dönen kısımlar olarak ele alalım. Pompayı çalıştırmadan önce kuyu içinde (1) ısı dengede bulunan bu elemanlar pompa çalışınca eksenel hidrolik kuvvetlerin etkisiyle derhal milde bir uzama meydana gelir (2) ve pompa dönmeye başlar. Kısa bir süre sonra kolon boruları yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkanla karşılaşınca hemen uzayacaktır. Miller daha kalın ve mil muhafaza boruları ile korunmuş olduklarından geç ısınacağından pompa çarkları aynı seviyede kalırken kolon boruları uzadığı için ara çanaklar aşağıya doğru inecek, netice olarak çarklar ara çanakların üstüne dayanacaktır (3). Bir müddet sonra miller de ısınınca ara çanaklar içindeki çarklar tekrar denge durumuna gelecektir (4).



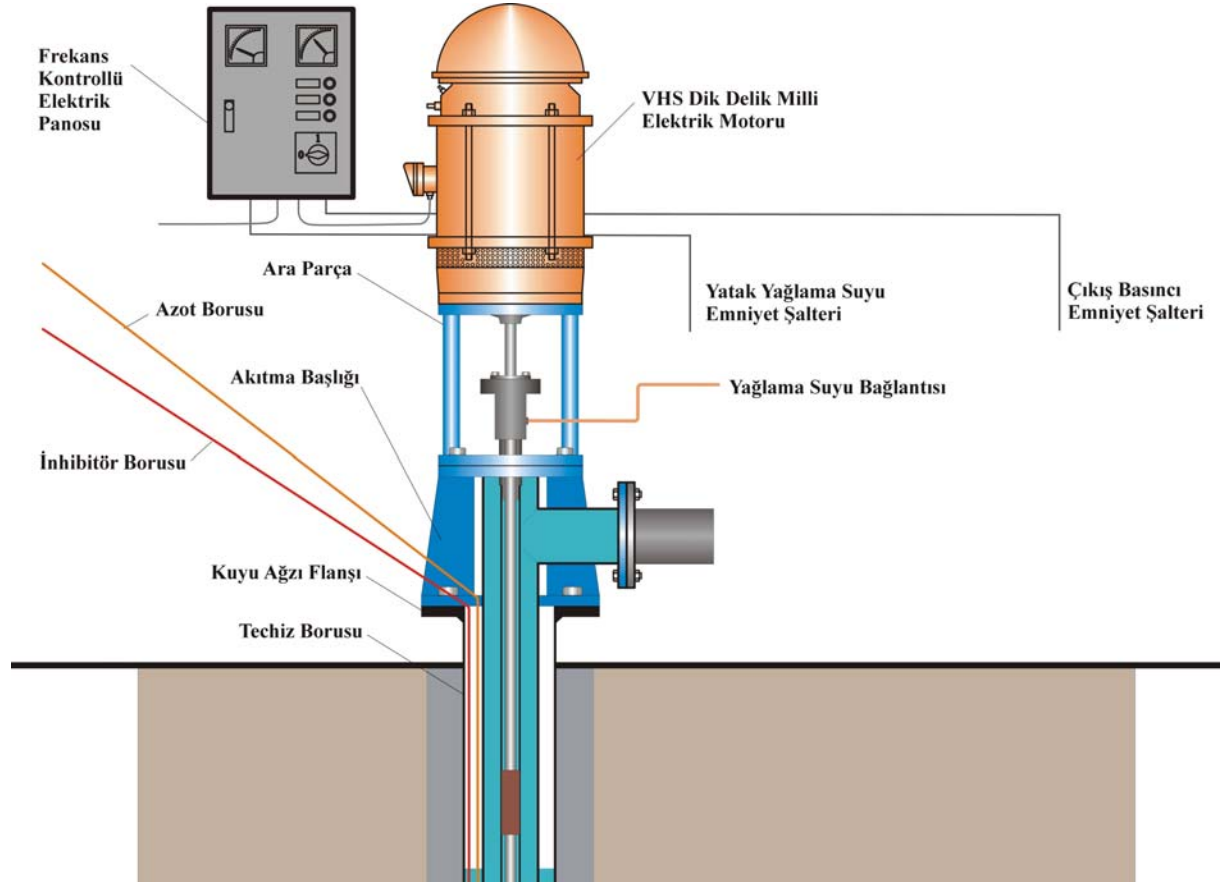
İnhibütör ve seviye boruları

Akıtma başlığının yanında kuyu içine uzanan iki adet ince boru bulunmaktadır. 316 paslanmaz çelikten dikişsiz çelik çekme borular kalın etli Ø8mm iç çapı takriben 4.5 mm olan makaraya sarılı olarak gelen borulardır. Bu boruların birinden pompanın çok altındaki bir seviyeye (pompanın yaklaşık 50 m.altına) kuyu ekseninde merkezlenmiş bir difüzörden inhibitör enjekte edilmelidir. Bu sayede enjekte edilen inhibitör yeterince karışarak pompaya girecek ve istenen sonuç elde edilecektir. İkinci borudan ise kuyu içindeki statik seviyeler devamlı kontrol edilerek kayıtları tutulmalıdır. Azotla annülüsü basınçlandırılan kuyularda her iki görev uygun bir manifold sayesinde tek inhibitör borusu ile de yapılabilir.

Pompa çıkışında jeotermal akışkanın basıncının azalması sonucu kolon borusu içerisinde iki fazlı akışa müsaade etmemek gerekir. Bunun için akıtma başlığı çıkışında, akışkan sıcaklığına ve gaz miktarına bağlı olarak hesaplanacak bir çıkış basıncının altına düşülmemelidir. Bu basınç eşanjörde, reenjeksiyonda kullanılabileceği için bir kayıp değildir.

Jeotermal çıkış başlığı grubu

Çıkış başlığı bütün pompanın ağırlığını ve tahrik motorunu taşıyabilecek yapıda olmalı ve kuyu ağız flanşına oturarak kuyuyu dış havadan izole edebilmelidir. Ayrıca kolon borusundaki ısıyı motora iletmemeli ve salmastradan gelebilecek sıçramalara karşı motoru koruyabilmelidir. Üzerinde mil muhafaza borusuna girecek uygun bir yağlayıcı sıvı bağlantısı bulunmalıdır. Ayrıca hem flanş üzerinde hem de çıkış borusu üzerinde uygun yerlerde ½" manşonları olmalıdır. Çıkış borusundan akıtma başlığına hiç bir zorlayıcı kuvvet gelmemelidir.

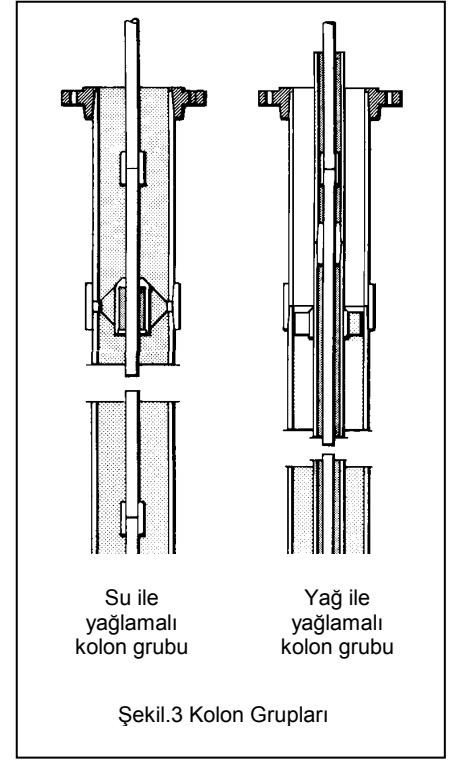


Kolon grubu

Yağ veya su ile yağlamalı ara milleri mil muhafaza borusu içine alınmış olup mil muhafaza borularının ek yerinde bulunan manşon-yataklar akıtma başlığının yanında bulunan yağ deposundan yağ damlatılarak veya akıtma başlığı çıkışıdan alınan, filtre edilip (10 mikron) süzülen ve basıncı kontrol edilen jeotermal akışkanla yağlanmalıdır.

Mil muhafaza borusu bulunmayan su ile yağlamalı pompalar sadece statik seviyesi yüksek olan veya artezyen yapan düşük sıcaklıklı kuyularda sınırlı şekilde kullanılırlar. Yatakları filtre edilmemiş 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 aksel kuvvetler, elektrik motoru içinde bulunan aksel 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.

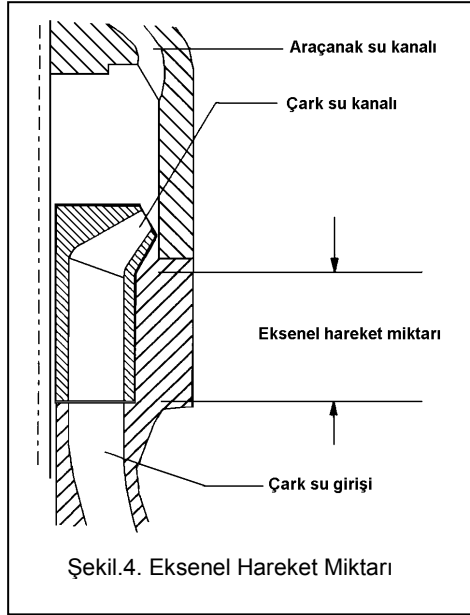


Pompa grubu

Pompa grubu emiş filtresi, emiş haznesi, ara çanak ve çarklar ile çıkış haznesinden oluşur. Pompadan beklenen istenen debiyi uygun basınçta sağlamasıdır. Bunu yaparken aşırı sıcaklık, aksel kuvvetler ve aşırı basınç pompayı etkilememelidir. Bundan başka sadece en yüksek debide yüksek verimli olmayıp yüksek verimliliğini tüm kullanım alanı boyunca devam ettirebilmelidir. Jeotermal pompalar değişken devirli olmalı ve en çok çalışacağı debide verimi maksimum olmalıdır. Aşağıdaki fotoğraflarda jeotermal pompaya ait kademe grupları görülmektedir.



Bağıl Uzama ve Eksenel Hareket Miktarı



Pompa çalışmaya başlayınca statik seviyenin üzerinde bulunan kolon boruları su içindeki bölüme oranla daha soğuk olacağı için kolon boruları derhal uzar. Bu uzama miller henüz uzmadığı için çarlar yukarıya doğru çekilmiş gibi olur. Biraz sonra miller de ısınır ve uzadığında çarklar sadece eksenel hidrolik kuvvetlerin etkisi kadar uzayıp mil boyu bir dahaki çalışmaya kadar sabitlenir. Uzama farklılıklarının pompa üzerine hasar meydana getirmemesi için gerekli önlemlerin başında çarkların ve ara çanakların eksenel hareket miktarının artırılması gelmektedir. Şekil 4 te gösterilen ara çanak ve çark kesidi, eksenel hareket miktarını arttırmak için yapılan konstrüktif değişiklikleri göstermektedir. Normal pompalarda 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.

Pompa dış çapı ile debi ilişkisi

Pompanın istenen debiyi uygun bir dönme hızında vermesi gerekir. Bu işi yapacak pompanın dış çapı kuyuya uygun olmalı hatta pompanın yanından geçecek 8mm çapındaki inhibitör borusuna da yer kalmalıdır. Pompalar içine girebilecekleri kuyu çapına göre adlandırılır. 0834 tip demek aslında bu pompanın dış çapı 8" kuyuya girebilecek kadardır anlamına gelir.

POMPA DIŞ ÇAPI	DEBİ (lt/sn)
6" (144 mm.)	8-15
8" (192mm.)	45
10" (248 mm.)	90
12" (294 mm.)	160

Tabloda gösterilen debiler uygun devir sayılarında erişilecek debilerdir.

Frekans değiştiricili jeotermal pompalar

Enerji maliyeti, kuyu içi jeotermal pompalarının işletme maliyetlerinde önemli bir yer tutar. Avrupa topluluğunda yapılan bir araştırmada ısıtma sistemlerinde kullanılan sirkülasyon pompalarının gereken debiye bağlı olarak gerçekleşen kullanma süreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Debi (%)	Süre (%)
100	6
75	15
50	35
25	44

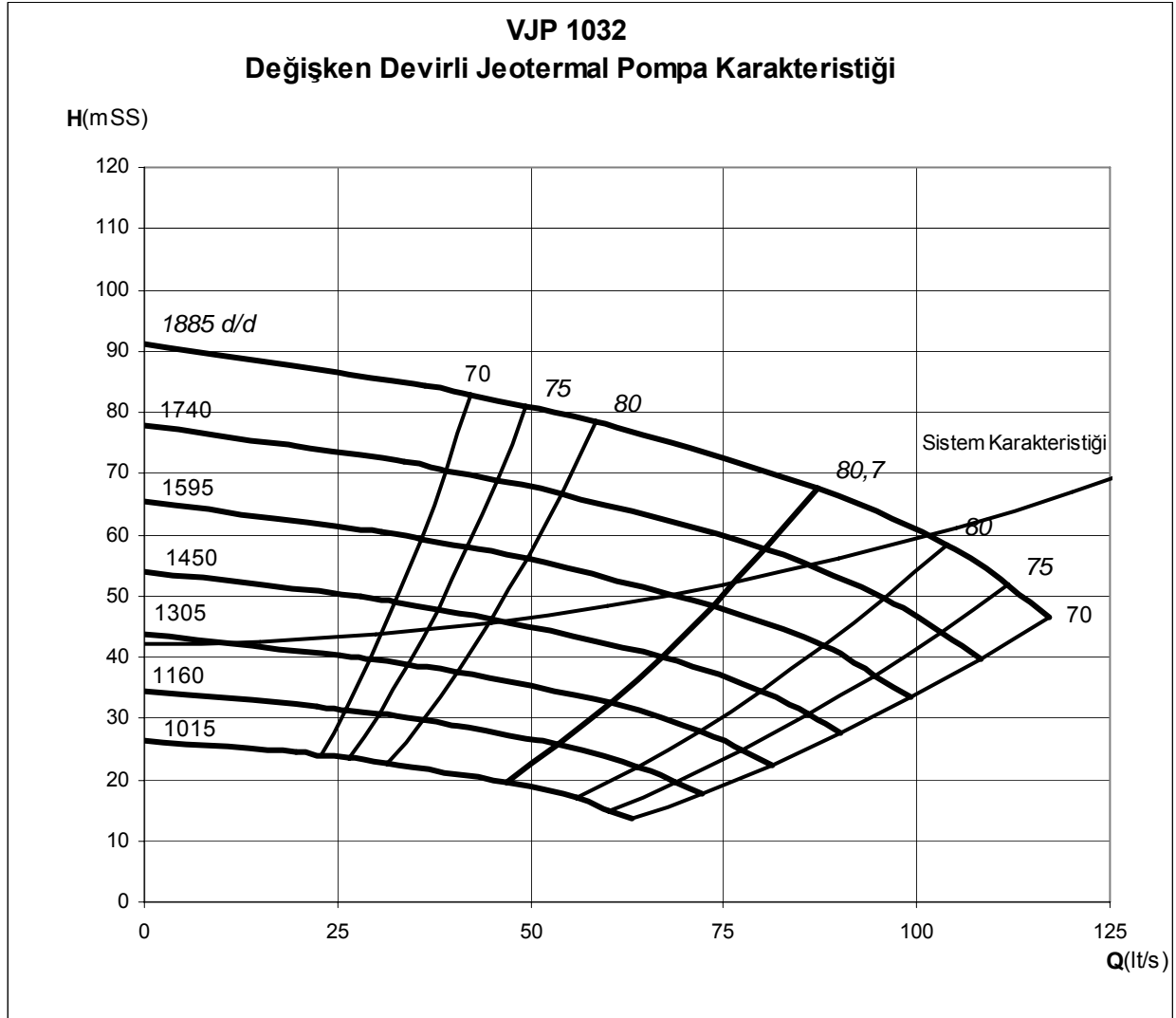
Isıtma amaçlı kullanımda pompaj debisinin dış hava sıcaklığına bağlı olarak değişmesi istendiğinde bunu üç yolla yapmak mümkündür.

- Vana kısılarak debi ayarı
- Pompanın zaman zaman çalıştırılarak bir deponun doldurulması
- Pompa devrinin değiştirilmesi yolu ile debinin ayarlanması

Vana kısılarak debi ayarı enerji israfı olduğundan hiç kullanılmayan bir çözümdür.

Zaman zaman pompanın çalıştırılarak bir deponun doldurulması, pompaya sık sık darbe yaptırdığı, kuyu içinde seviyelerin ani değişimi kuyudunun malzeme getirmesine sebep olmaktadır. Ayrıca kolon borularının içine ve depodaki suyun içine havanın oksijeninin girmesi korozyonu hızlandırdığı, pompanın ömrünü kısaltıp bakım maliyetlerini arttırdığı için tercih edilmemelidir.

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. Jeotermal pompalarda basma yüksekliği sadece statik yükseklikten ibaret değildir. Kuyuda dinamik seviye ve kolon borusu kayıpları da debi ile değişmektedir. Bu sebepten pompa devir sayısının kontrolü yolu ile debinin değişimi enerji tüketiminde oldukça önemli bir tasarruf sağlamaktadır.



Şekilde değişken devirli bir jeotermal pompanın karakteristiği ile sistem karakteristiği görülmektedir. Örnek olarak sistemimizdeki maksimum debi 100 l/s ve bu debide istenen basma yüksekliği 60 mss. olsun. Yıllık toplam çalışma üresi 6000 saat ve enerji bedeli 0,1 \$/kwh kabul ederek diyagramdan okunan değerlerle oluşturulan tablo aşağıdadır.

% Debi	Basınç mss	Verim %	Güç kw	Süre %	Süre (h)	Enerji (kwh)
100	60	80	73,4	6	360	26.419
75	52	80,7	47,3	15	900	42.558
50	46	80	28,1	35	2100	59.075
25	43	62	17	44	2640	44.789
Yıllık enerji tüketimi (kwh)						172.841
Yıllık enerji bedeli						17.284 \$ (~24 Milyar TL)

Kuyulardan elde edilen ısı enerjisinin yukarıdaki hesaplamalarla elde edilen elektrik enerjisine oranı jeotermal sahada bulunan tüm kuyular için yapıldığında kuyuların verimlilik sıralaması elde edilir. Böylece en az enerji ile en fazla ısı üretimi yapılan kuyu en çok çalıştırılarak jeotermal tesisin optimizasyonunun önemli bir adımı çözümlenmiş olur.

SONUÇ

Başarılı bir jeotermal pompa uygulaması için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

Jeotermal pompa sipariş edilirken kuyu ve jeotermal akışkan hakkındaki bütün bilgiler verilmelidir. Kuyu techiz planı, sıcaklık gradyeni, statik ve dinamik seviyeler, jeotermal akışkanın kimyasal özellikleri ve bilhassa akışkanda bulunan erimiş gazların durumu çok önemlidir.

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.

Start-stop yapan pompalar bir açık depoya ihtiyaç gösterirler. Bu depoda, jeotermal akışkana havadan gelen oksijen, akışkanda bulunan hidrojen sülfür ile birleşerek bakır ve bakır alaşımları ile gümüş kaynağı yapılan bakır borusu bulunan cihazlarda ve fittingslerde korozyona sebep olacaktır.

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.

Pompaların debisi, basıncı ve devir sayıları muntazam aralıklarla kaydedilmeli, debide veya basınçta bir azalma görüldüğünde gerekli önlemler daha büyük bir arızaya sebebiyet verilmeden alınmalıdır.

Pompalar deneyime veya imalatçısının tavsiyesine göre muntazam aralıklarla sökülerek bakımı yapılmalıdır.

Elektrik motorlarının havalandırılması sağlanmalıdır. Kapalı yerlerde sıcak borulara yakın motorların çalışmazken bile dayanabileceği sıcaklık üst sınırına gelmeleri mümkündür.

Salmastraların bakımına dikkat edilmelidir. Uzun zaman ihmal edilen salmastralardan fişkıran akışkanın motorun alt yataklarını tahrip etmesine müsaade edilmemelidir.

Start/stop çalışan pompalarda yağlama stop sırasında durdurulmamalıdır.

KAYNAKLAR

FROST, J. Historical Review of Downhole Production Pumps in the Imperial Valley, Sf 296, Geothermal Resources Council BULLETIN, December 1993

Centrilift Hughes, Submersible Pump Handbook, 1983. Tulsa, OK.

Culver, Gene, 1994. "Results of Investigations of Failures of Geothermal Direct-Use Well Pumps, Geo-Heat Center, Klamath Falls, OR.

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 halen Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Hidrolik Makinalar dersini vermektedir.

ENDER DUYMUŞ

1977 yılı Diyarbakır'da doğdu. 2000 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirdi. Halen Ege Üniversitesi Akışkanlar Mekaniği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmakta olup Vansan Makina Sanayii'nde pompa araştırma mühendisi olarak çalışmaktadır. Çalışmaları arasında eksenel pompalar, su türbinleri, dik milli ve jeotermal pompalar dizaynları bulunmaktadır