



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

JEOTERMAL ENERJİ UYGULAMALARINDA KULLANILAN ISI DEĞİŞTİRİCİLER

**HÜSEYİN GÜNERHAN
EGE ÜNİVERSİTESİ**

JEOTERMAL ENERJİ UYGULAMALARINDA KULLANILAN ISI DEĞİŞTİRİCİLER

Heat Exchangers Used in Geothermal Energy Applications

Hüseyin GÜNERHAN

ÖZET

Jeotermal akışkanların çoğu çözünmüş halde bulunan kimyasal maddeler içerir. Bu kimyasal maddeler de metalik malzemelerde korozyona sebep olur. Bu çerçevede korozyonun ve kabuklaşmanın olmadığı uygun ısı değiştiricinin seçimi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada jeotermal enerji uygulamalarında kullanılan plakalı ve kuyu içi ısı değiştiricileri üzerinde durulmuştur. Öncelikle plakalı ısı değiştiricilerinin genel özellikleri ve verimlilik kriterleri altında uygun tasarıma ait sayısal bilgiler verilmiştir. Benzer şekilde kuyu için ısı değiştiricileri de ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, plakalı ısı değiştiricileri, kuyu için ısı değiştiricileri.

ABSTRACT

Most geothermal fluids, because of their elevated temperature, contain a variety of dissolved chemicals. These chemicals are frequently corrosive toward standard materials of construction. As a result, it is advisable in most cases to isolate the geothermal fluid from the process to which heat is being transferred. The task of heat transfer from the geothermal fluid to a closed process loop is most often handled by a plate heat exchanger. The two most common types used in geothermal applications are: bolted and brazed. For smaller systems, in geothermal resource areas of a specific character, downhole heat exchangers provide a unique means of heat extraction. These devices eliminate the requirement for physical removal of fluid from the well.

Key Words: Geothermal energy, plate heat exchanger, downhole heat exchangers.

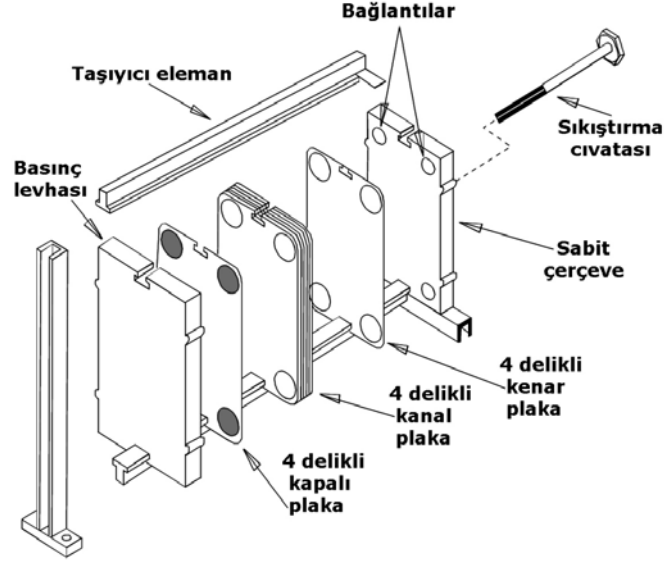
1.GİRİŞ

Isı değiştirici, bir akışkanın sahip olduğu ısı enerjisinin farklı sıcaklıktaki diğer bir akışkana, akışkanlar birbirlerine karışmadan veya doğrudan temas ettirilerek aktarılmasını sağlayan bir düzendir. Isı değiştiricileri; ısıtma sistemlerinde, havalandırma sistemlerinde, atık ısının geri kazanılmasında, enerji üretiminde, kimyasal işlem içeren uygulamalarda ve genel ısıtma ve soğutma içeren tüm uygulamalarda kullanılmaktadır. Isı değiştiricileri, akışkan fazına, akış yönüne ve geometrik özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Akışkan fazına göre tek veya iki fazlı, akış yönüne göre ise paralel veya karşıt akışlı olarak isimlendirilirler. Isıtma veya soğutmanın amacına göre veya ısı değiştiricisinin yapısına göre uygun tipteki ısı değiştiricisi seçimi yapılır [Kakaç & Liu, 2002].

Jeotermal akışkanların enerjilerinden yararlanmak için çoğu zaman ısı değiştiricileri kullanılır. Isı değiştiricileri de genelde plakalı ısı değiştiricilerinden oluşur. Isı gereksiminin fazla olmadığı durumlarda fazla korozyon içermeyen jeotermal akışkanın bulunduğu kaynaklardan enerji elde etmede kuyu içi ısı değiştiricileri de kullanılır. Bu ısı değiştiricileri kuyudan jeotermal akışkanın alınmasını gerektirmezler.

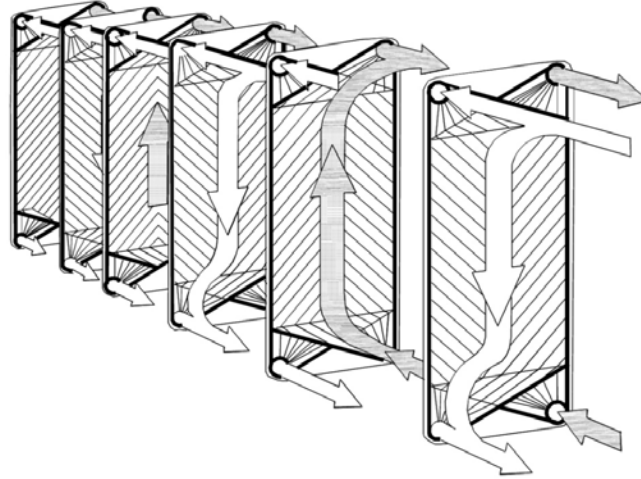
Plakalı ısı değıştiricileri son yıllarda jeotermal sistemlerde yaygın biçimde kullanılmaktadır. Yüksek ısı verim, korozyona dayanıklı alaşım kullanma olanağı, bakım kolaylığı, tasarım esnekliği ve küçük boyutta tasarım plakalı ısı değıştiricilerinin tercih edilmesini sağlamaktadır.

Plakalı ısı değıştiricileri, iki levha arasında preslenmiş olan plaka serilerinden oluşmaktadır (Şekil 1). Tüm parçalar bağlantı cıvatalarıyla tutturulmuştur. Plakalar tek tek hem üst hem alt kısımlarından taşıyıcı elemanlarla tutturulmuştur. Tek geçişli sistemlerde sıcak ve soğuk akış tarafı bağlantıları sondaki sabit levha üzerine yerleştirilmiştir. Çok geçişli sistemlerde ise bağlantılar uç noktadaki sabit ve hareketli levhalar üzerindedir.



Şekil 1. Jeotermal akışkanlarda kullanılan plakalı ısı değıştirici [Rafferty, 1993]

Şekil 2 ile plakalar arasındaki akış üzerine bilgiler verilmiştir. Sıcak ve soğuk akışkanlar plakaların her iki tarafından birbirlerine ters yönde akmaktadır. Su akışı plakalar arasında yerleştirilen contalarla kontrol edilmektedir. Contaların yerleştirilme konumlarına göre akışkan bir plaka üzerinden akabilir veya akmayabilir.



Şekil 2. Jeotermal akışkanlarda kullanılan plakalı ısı değıştirici içindeki akış durumları [Rafferty, 1998]

Plakalı ısı değıştiricileri, genellikle 200°C sıcaklık ve 40 kPa basınçta çalışan düzeneklerdir. Plakaların her birinin alanı 0.028 m² ile 2 m² arasında olabilmektedir. Tek bir ısı değıştirici için en fazla ısı transferi alanı ise 1200 m² değerine kadar çıkabilmektedir. Plakalı ısı değıştiricilerin debisi 0.383 m³/s ile 3.33.10⁻⁴ m³/s arasında değışmektedir. Akışkana göre değışen boru çapları ise 0.02 m ile 0.35 m arasında olmaktadır.

Plakalı ısı değiştiricilerin malzemesi, seçilecek olan plaka ve conta malzemelerine göre değişmektedir. Isı değiştiricisinin ısı transferi yüzeyleri için korozyona dayanıklı çeşitli alaşımlar seçilebilmektedir. Bu alaşımlar; çeşitli paslanmaz çelikler, titanyum, tantalyum ve alüminyum-bronz gibi alaşımlar olabilmektedir.

Jeotermal suyun doğrudan kullanımında genellikle paslanmaz elik veya titanyum ısı değiştiricileri seçilebilmektedir. Yüzme havuzu uygulamalarında içerisinde klorid ve oksijen bulunan akışkanlar için jeotermal uygulamalarda titanyum kullanılabilir.

Plakalı ısı değiştiricilerinde çok çeşitli contalar kullanılabilir. Conta seçimi en yüksek sıcaklığa göre değişmektedir. Örneğin 120°C sıcaklık için neopren malzemeli conta seçilebileceği gibi 250°C için sıkıştırılmış asbest malzemeli conta seçilebilmektedir.

Plaka ve contalar için yapılan malzeme seçimi çoğunlukla jeotermal akışkanın özelliklerine bağlıdır. Bu durumda ikinci akışkanın aşındırıcı bir yapıya sahip olmadığı kabul edilmektedir. İkinci akışkan kimyasal bir akışkan veya işlem görmüş su ise, ek bir malzemenin seçim kriterlerinin göz önüne alınması gerekmektedir.

Plakalı ısı değiştiricilerin erevesi çoğu zaman karbon çeliğinden yapılır ve genellikle epoksi içerikli malzeme ile boyanır. Bağlantı civatalarının malzemesi nikel-karbon çeliği olarak seçilir. Standart bağlantılar ise flanşlı tip karbon elik malzemeleridir.

Plakalı ısı değiştiricilerinde toplam ısı transferi katsayısı genellikle 4500 W/(m²K) ile 6800 W/(m²K) değerleri arasında değişmektedir. Plakalı ısı değiştiricilerde elde edilen bu yüksek performans, jeotermal uygulamalarda çok küçük sıcaklık farklarının kullanılmasını olanak sağlamaktadır. Isıl performans arttıķa yüksek basınç kayıpları ile karşılaşılmaktadır. Plakalı ısı değiştiricilerinin seçimi, ısı transfer katsayısı ve basınç kaybı arasındaki ilişki göz nne alınarak yapılabilir. Plakalı ısı değiştiricileri kolaylıkla sklebildiklerinden dolayı temizlenmeleri kolay olmakta ve kirlilik faktörü bu özelliğe göre değerlendirilmektedir [Rafferty, 1993 ve Rafferty, 1998].

2. ISI DEğİşTİRİCİ HESAPLARI

Isı değiştiricilerinin seçimi, belirli koşullar altında belirli bir miktar ısıyı transfer edecek şekilde yapılır. Seçim sırasındaki önemli parametre; gerekli ısı transfer yüzey alanının belirlenmesidir. Bu seçime ait temel eşitlik Denklem (1) verilmiştir.

$$Q = (U)(A)(LMTD)(C_f) \quad (1)$$

Denklem (1) verilen; Q ısı yükü (W), U toplam ısı transfer katsayısı [W/(m²K)], A yüzey alanı (m²), LMTD logaritmik ortalama sıcaklık farkı (K) ve C_f LMTD düzeltme katsayısıdır.

C_f düzeltme katsayısı jeotermal enerjili uygulamalarda 0.85 ile 1.0 arasında alınabilir. Logaritmik ortalama sıcaklık farkı Denklem (2) ile bulunabilir. U toplam ısı transfer katsayısı ise, kirlilik derecelerine göre düzenlenmiş basınç düşümü- toplam ısı transfer katsayısı grafiklerinden alınabilir.

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (2)$$

Denklem (2) ile verilen $\Delta T_1 = T_{1} - T_{2}$ (K) ve $\Delta T_2 = T_{1} - T_{2}$ (K) eşitlikleri geçerlidir. Birinci akışkan için çıkış sıcaklığı T_{1} ve giriş sıcaklığı T_{1} olarak ve ikinci akışkan için giriş sıcaklığı T_{2} ve çıkış sıcaklığı T_{2} olarak alınmalıdır. Plakalı ısı değiştiricileri için tasarım değerleri Tablo 1 ile verilmiştir.

Tablo 1.Plakalı ısı değıştircileri için tasarım değeri [Rafferty, 1998]

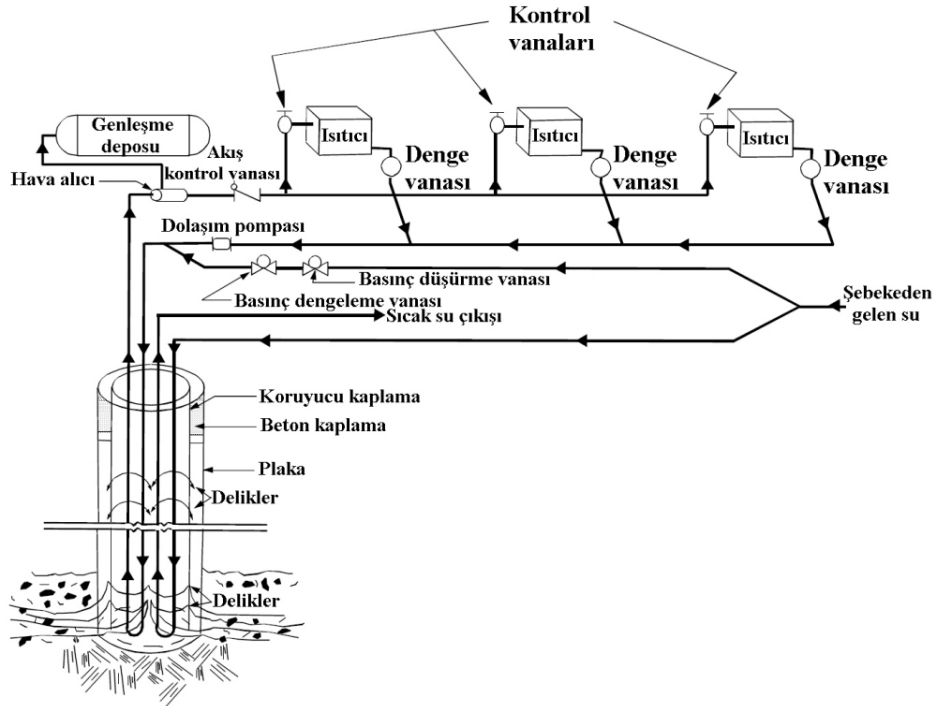
Parametre	Tasarım Değeri
Kirlilik faktörü	$1.762 \cdot 10^{-5}$ (m ² K)/W ile $3.524 \cdot 10^{-5}$ (m ² K)/W arası
Basınç kaybı	68.95 Pa değerinden az
Toplam ısı transfer katsayısı	4255 W/(m ² K) ile 5100 W/(m ² K) arasında
Plaka malzemesi	Genellikle titanyum
Conta malzemesi	Orta nitril lastik

Plakalı ısı değıştircilerin hesabında; jeotermal akışkanın debisine ve sıcaklığına bağı olarak enerji gereksinimi için gerekli ısı transfer yüzey alanına, gerekli işletme koşullarına, gerekli basınç kayıplarına ve sıcaklık farkına bakıp seçimin yapılması gerekmektedir. [Rafferty, 1998 ve Kakaç & Liu, 2002].

3.KUYU İÇİ ISI DEĞİŞTİRİCİLERİ

Kuyu içi ısı değıştircileri, düşük enerji gereksinimi ve uygun jeotermal akışkan olduğu durumlarda kullanılmaktadır ve diğer ısı değıştircilerine göre daha ekonomik olmaktadır. Bunun yanında eksisi ise, enerji eldesinin jeotermal kuyudaki doğal akışa bağı olmasıdır. Pompalı sistemlerde doğal akışın yerini pompa aldığı için daha çok enerji eldesi mümkün olabilmektedir.

Bir kuyu içi ısı değıştircisi, Şekil 3 ile verilen U-tüplü sistem şeklinde olabilir.

**Şekil 3.**Kuyu içi ısı değıştircili sistem [Culver & Reistad, 1978]

Hacim ısıtması için genellikle 0.05 m siyah demir U borusu, sıcak su eldesi için ise 0.02 m boru kullanılmaktadır. Isı değıştirci ömrünü arttırmak için korozyona dayanımı yüksek malzeme seçilmesi gerekmektedir. Kaplamanın değıştirilmesi ekonomik olmayacağı için ısı değıştirci ile kaplama arasındaki galvanik etkileşim dikkate alınmalıdır. Korozyonunun en çok su-hava ara yüzeyinde yani statik su seviyesinde olduğu görülmüştür. Isı değıştircisini şebeke suyundan ve elektrik kaçaklarından korumak için kuyu başlarında yalıtım yapılması gerekmektedir.

Fiberglas ile güçlendirilmiş epoksi ve polibütülen gibi metal olmayan malzemeler kullanılarak korozyonun olumsuz etkileri giderilebilir. Metal olmayan malzemelerin ısı iletim katsayıları metallerden düşüktür. Fiberglas epoksi borunun ısı iletim katsayısı 0.400 W/(mK) ve polibütülen malzemenin 0.200 W/(mK) iken beyaz çeliğin 70 W/(mK) civarındadır. Metal olmayan boruların et kalınlıkları, metal olanlardan daha fazladır. Bununla beraber toplam ısı transfer katsayısı; borunun ısı iletim katsayısına, borunun içindeki ve dışındaki ısı taşınım katsayısına ve kirlilik oluşumuna bağlıdır.

Kuyu içi ısı değiştiricileri ısıyı, rezervuar boyunca akan jeotermal akışkandan ve kuyunun çevresindeki sıcak kayalardan çekerler. Kuyu içi ısı değiştiricileri hacim ve su ısıtma için kullanılır. [Culver & Reistad, 1978 ve Rafferty, 1998].

4.SONUÇ

Doğrudan kullanımlı jeotermal enerjili sistemlerde, sistemin çalışması ve başarılı olması için birçok donanımın kullanılması gerekmektedir. Sistemdeki başlıca donanımlar; kuyu içi pompalar, boru tesisatı elemanları, yerel ısıtma ve soğutma elemanları ve ısı değiştiricileridir. Jeotermal enerjili uygulamalarda kullanılacak ısı değiştiricilerinin seçimindeki en büyük faktör, kaynak suyunun kimyasal yapısı ve sıcaklığı olmaktadır. Jeotermal uygulamalarda en yaygın olarak tercih edilen ısı değiştiricileri, sahip oldukları küçük yapı ve temizlenebilir özellikleri nedeniyle plakalı tiplerdir. Plakalı ısı değiştiricilerinin, jeotermal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmalarını sağlayan özellikleri ise, yüksek ısıl performansları, korozyona dayanıklı olmaları, montaj ve yerleşimlerinin kolayca yapılabilir olmaları ve değişen kapasitelere göre aynı gövde içinde ve gerektiği kadar büyütülebilmeleridir.

Kuyu içi ısı değiştiricileriyle, jeotermal kuyudan akışkan alınmamakta sadece jeotermal kaynaktaki enerji çekilmektedir. Böylece jeotermal akışkan içindeki zararlı maddelerden kaynaklanan sorunlar giderilmiş olmaktadır. Kuyu içi ısı değiştiricili sistemler, uygun jeotermal akışkanın bulunduğu ve düşük enerji gereksinimleri için daha verimli sistemlerdir. Kuyu içi ısı değiştiricileri, genellikle hacim ve konutların ısıtılması veya sıcak su gereksiniminin karşılanması için kullanılmakta ve diğer ısı gereksinimlerini karşılama yöntemlerine göre özellikle kuyudan akışkan çekilmemesi nedeniyle avantajlı olmaktadır. Plakalı ısı değiştiricilerinde ise, kuyudan alınan akışkanın enerjisi kullanıldıktan sonra akışkanın tekrar kuyuya gönderilmesi gerekmektedir. Bu işlemin suyun alındığı kuyudan en az 1.5 km uzaklıkta olması gerekmektedir ve ek giderler söz konusu olmaktadır. Ayrıca ek gider olarak jeotermal akışkanı pompalanması için harcanan ilk yatırım ve işletme giderlerinin yanında bu pompaların korozyona karşı korunması da gerekmektedir. Bu durum kuyu içi ısı değiştiricilerin üstünlüğünü göstermektedir.

KAYNAKLAR

Culver, G. Reistad, G.M. 1978. "Evaluation and Design of Downhole Heat Exchangers for Direct Application", Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, USA.

Kakaç, S. Liu, H. 2002. Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design, 2. Baskı, CRC Press, Florida.

Rafferty, K.D. 1993. Direct Use Geothermal Applications for Brazed Plate Heat Exchangers, Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, USA.

Rafferty, K.D. 1998. "Chapter 11-Heat Exchangers", Geothermal Direct Use Engineering and Design Guidebook, Third Edition, Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, USA.



ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin GÜNERHAN

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012 yılından itibaren aynı bölümde doçent doktor olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısı enerji depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.