



tmmob
makina mühendisleri odası

JEOTERMAL ENERJİ DOĞRUDAN ISITMA SİSTEMLERİ : TEMELLERİ ve TASARIMI

SEMİNER KİTABI

EDİTÖR
Prof. Dr. Macit TOKSOY

tmmob
makina mühendisleri odası

Sümer Sok. No: 36/1-A Demirtepe, 06440 - ANKARA
Tel: (0 312) 231 31 59 - 231 31 64 - 231 80 23 - 231 80 98
Fax:(0 312)2313165

ODAYAYIN NO: E/2003/328-4

ISBN 975 - 395 - 625 - 8

BU YAPITIN YAYIN HAKKI MMO' NA AİTTİR.

KAPAK FOTOĞRAFI: Yrd.Doç.Dr. Niyazi AKSOY D.E.Ü. Torbalı M.Y.O.

KAPAK TASARIMI: Ürün Tanıtım- İZMİR Tel / Fax: (0232) 441 02 53

DİZGİ : TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI İZMİR ŞUBESİ

Atatürk Cad. No:422 / 5 35220Alsancak / İZMİR

Tel: (0232) 463 41 98 Pbx

BASKI: ALTINDAĞ MATBAACILIK - İZMİR Tel: (0232) 457 58 33



Bu bir MMO
yayıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Kontrol Stratejileri Ve Otomasyon

Adil Caner ŞENER
İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Macit TOKSOY
İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Gül den GÖKÇEN
İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNDE KONTROL STRATEJİLERİ VE OTOMASYON

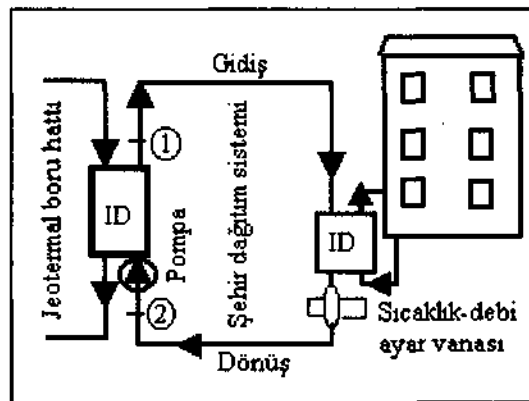
A.Caner ŞENER
Macit TOKSOY
Güliden GÖKÇEN

ÖZET

Jeotermal akışkan enerjisinin yer altından yüze, yüzeiden de kullanıcılara ulaştırılması ancak pompa kullanımı ile mümkündür. Buna bağlı olarak, jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletme maliyetinin büyük bir kısmını pompalama enerjisi oluşturur. Bu çalışmada jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin elektrik tüketimini minimize eden optimum işletme stratejileri tartışılmaktadır. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde kuyu başından, kullanıcıya kadar olan safhalar incelenmiş, tasarım ve işletme sırasında yapılması gerekenler tartışılmıştır. Son olarak jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde optimum işletme şartlarını sağlayabilmek için gerekli olan minimum otomasyon gereksinimleri belirtilmiştir.

1. GİRİŞ

Jeotermal bölge ısıtma uygulamaları genel olarak geleneksel enerji kaynakları (Mazot, kömür vs.) ile yapılan ısıtmaya göre çok daha verimlidir. Ülkemizde, bu göreceli verimlilik çoğu zaman yeterli olarak algılanmakta ve jeotermal ısıtma sistemlerinin verimi üstünde durulmamaktadır. Yapılan çalışmalar [1], ülkemizde işletilmekte olan jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin çok daha verimli çalışabileceğini göstermektedir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletme hedefi, kullanıcılara ihtiyaçları olan ısı enerjisini temin ederken, sistemin elektrik tüketimini minimize etmektir. Bu sistemlerde elektrik enerjisinin neredeyse tamamının pompalar tarafından tüketildiği düşünülürse. İşletme hedefine ulaşmak için üretimden dağıtıma, bütün pompaların değişen sistem ısı yüküne göre ve en verimli şekilde çalıştırılması gereği ortaya çıkar.



Şekil 1. Tipik bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin basit şeması (ID= Isı değiştirgeci)

Şekil 1'de tipik bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin basitleştirilmiş bir şeması verilmiştir. Gerek içerdiği aşındırıcı elementler gerekse, hidrolik gereksinimler nedeniyle jeotermal akışkan sadece kuyulardan, kuyulara yakın bir noktada bulunan ısı merkezine kadar taşınır. Isısı temiz suya aktarılan jeotermal akışkan daha sonra re-enjeksiyon kuyularına geri basılır. Temiz su ise kapalı devre olan şehir dağıtım sisteminde dolaştırılır ve ısı konutlara dağıtılır. Sistemin Şekil 1'de gösterilenden farklı olarak birçok jeotermal kuyuya ve yüzlerce binaya bağlı olduğu düşünülürse, sistemin optimum kontrolünün belli bir işletme stratejisi ve otomasyon olmadan imkansız olduğu anlaşılır.

Jeotermal bölge ısıtma sistemleri de diğer ısıtma sistemleri gibi tepe ısı yüküne göre tasarlanırlar ve ısıtma sezonunun büyük bir bölümünde kısmi yüklerde çalışırlar. Isıtma sistemlerinde ısı yükünü belirleyen bir numaralı etken dış hava sıcaklığıdır, bununla birlikte büyük bir bölge ısıtma sisteminin hava sıcaklığı değişimlerine verdiği tepki bir çok etkene bağlıdır ve statik ısı yükü hesapları ile belirlenemez. Gelişmiş ülkelerde bulunan bölge ısıtma sistemlerinde ısı yükünün tahmini için ısı yükü tahmin modelleri kullanılmakta ve bu modeller sistem verileri ışığında devamlı olarak güncellenmektedir. Böylece bölge ısıtma sistemi aboneleri ihtiyaçları olan ısıyı doğru miktarda ve doğru zamanda alabilmektedirler. Isı yükü tahmini optimum işletme stratejisinin belirlenmesinde ilk adımı oluşturur ve diğer adımlar için en önemli veriyi oluşturur.

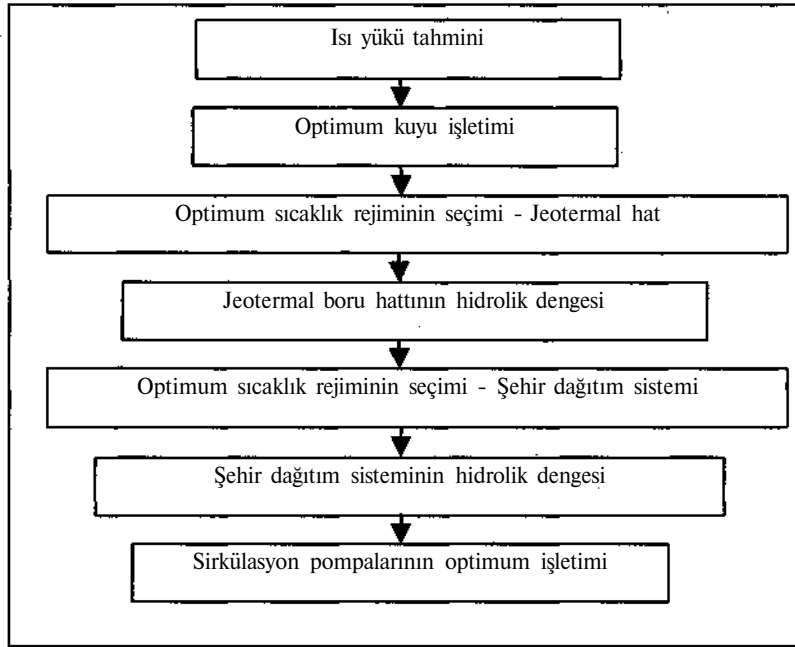
Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde genel olarak birden fazla jeotermal kuyudan üretim yapılır. Bu kuyuların maksimum üretim kapasitesi, jeotermal akışkan sıcaklıkları, statik ve dinamik seviyeleri, ve pompa karakteristikleri birbirlerinden farklılık gösterebilir. Bu durumda jeotermal enerji üretimi için tüketilmesi gereken elektrik enerjisi miktarı her kuyu için değişir. Elektrik tüketiminin minimize edilebilmesi kısmi yüklerde verimli kuyuların çalıştırılmasına bağlıdır.

Geleneksel ısıtma sistemlerinden farklı olarak, jeotermal ısıtma *sistemleri sabit sıcaklık farkı değişken debi* prensibine göre işletilirler. Bu işletme prensibine göre, değişen ısı yüküne göre sıcaklık rejimleri sabit tutulurken, sıcak suyun debisi değiştirilir. Sıcaklık rejimleri, jeotermal kaynağın özellikleri, kullanılacak malzemenin özellikleri dikkate alınarak tasarım aşamasında seçilir. Sıcaklık rejimlerinin seçimi kadar, sistemde bu rejimi sağlayacak kontrol ekipmanlarının seçimi de çok önemlidir. Sistem seçilmiş sıcaklık rejimlerine göre tasarlandığından, farklı sıcaklık rejimlerinde sistem verimi düşer. Bir jeotermal bölge ısıtma sisteminde sıcaklık farklarının tasarım değerinden düşük olması durumunda, sistemin debisinin artırılması gerekir. Bu da pompalama enerjisinin artması anlamına gelir.

Jeotermal enerjinin kuyubaşından binalara dağıtımını sağlayan sirkülasyon pompaları ve yardımcı pompaların, seri ve paralel kombinasyonları en iyi şekilde incelenmeli ve bu pompalar en verimli şekilde çalıştırılmalıdır.

Yukarıda sıralanan işletme stratejileri, sistemde belirli bir düzeyde otomasyon yoksa uygulanamaz. Kilometrekarelerce alana yayılmış ve ısıtma sezonu boyunca çalışan bölge ısıtma sistemlerinin manuel kontrolü oldukça zor ve verimsizdir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde optimum kontrol stratejisi tasarım sırasında belirlenmeli ve kontrol ve izleme elemanları buna göre seçilmelidir.

Şekil 2, bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin optimum kontrolü için izlenmesi gereken yolu gösterir.



Şekil 2. Jeotermal bölge ısıtma sisteminin ideal işletme stratejisi [1]

Bu çalışmada, jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde enerji tüketimini minimize eden optimum kontrol stratejileri incelenecek . ve sistemin optimum şekilde kontrolünü sağlayacak otomasyon gereksinimlerinden bahsedilecektir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin tasarım konseptleri, elektrik tüketimini minimize etmek için izlenecek metodları farklılaştırabilir. Örneğin, şehir dağıtım sisteminin açık devre olduğu ve jeotermal akışkanın binalara kadar dağıtıldığı bir sistemle, ikincil çevrimi olan ve şehir içi dağıtımı kapalı devre olan bir sistemin kontrol stratejisi farklıdır. Daha önce Şekil 1'de gösterilen jeotermal bölge ısıtma sistemi şeması ülkemizde bulunan tipik bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin bütün özelliklerini yansıtmaktadır. Sonraki bölümlerde daha ayrıntılı açıklanacak olan bu sistem bu çalışmada baz alınmıştır.

2. JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNİN OPTİMUM KONTROLÜ

Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletme hedefi kullanıcıya ihtiyacı olan ısıyı sağlarken, sistem enerji tüketimini minimize etmektir. Bu sistemlerde enerjinin neredeyse tamamı pompalar tarafından tüketilir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde enerji tüketiminin düşürülmesi sistemdeki bütün pompaların birbiriyle koordineli ve en yüksek verim noktasında çalıştırılması ile mümkündür.

Bölge ısıtma sistemlerinde kontrol, zamanla değişen dış hava şartlarına (başlıca dış hava sıcaklığı) bağlı olarak değişen bina ısı yüklerini karşılamak üzere yeterli ısıyı sistem kullanıcılarına iletmek için, ısı üreten sistemlerin ve taşıyan akışkanların sırasıyla üretim ve taşıma kapasitelerini değiştirmektir. Bu değişim, sabit sıcaklık değişken debi veya değişken debi sabit sıcaklık prensiplerinden birini uygun olarak gerçekleştirilir. Jeotermal bölge ısıtma sistemleri gibi büyük sistemlerde, kuyu ve sirkülasyon pompalarının devirleri değiştirilerek, sabit sıcaklık değişken debi ile yük kontrolü yapılması literatürde tavsiye edilmektedir [9]. Özellikle değişken frekans sürücülerinin (variable frequency drivers) düşen fiyatları ve otomasyon sistemlerine kolayca adapte edilebilmeleri, değişken frekans kontrolünün jeotermal sistemlerde sık olarak kullanımına yol açmıştır. Frekans kontrollü bir pompa, belirlenen maksimum ve minimum debi değerleri arasında istenilen debide üretim yapabilir. Böylece operatörler değişen ısı yüküne göre jeotermal akışkan üretimini ve sirkülasyon suyunun debisini ayarlayabilirler.

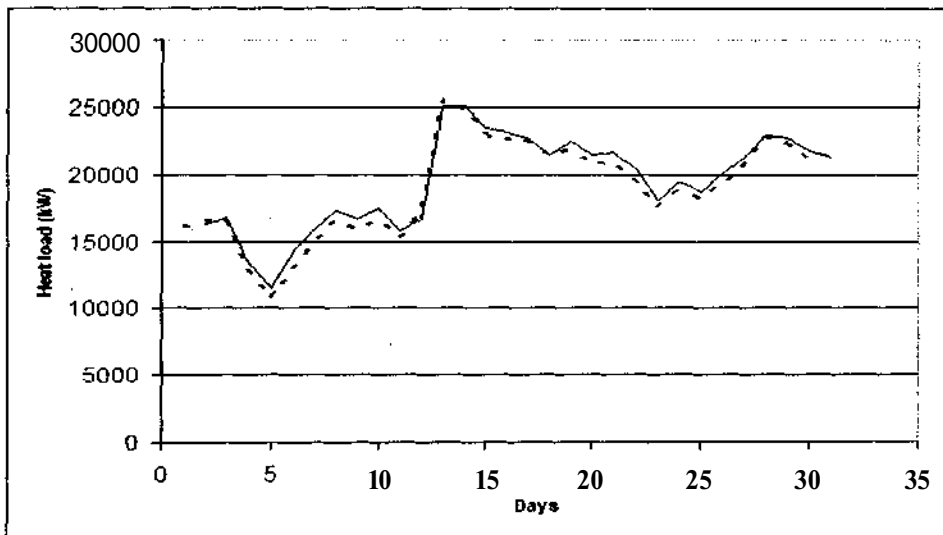
Bir operatörün frekans sürücülerinin avantajlarından tam olarak yararlanabilmesi ve sistemi sorunsuz işletebilmesi için aşağıdaki parametreleri bilmesi gerekir.

1. Ertesi günün dış hava sıcaklığı tahminini dikkate alarak hesaplanmış **bir gün sonraki sistem ısı yükünün miktarı.**
2. Sistem ısı yükünü karşılamak ve enerji tüketimini minimize etmek için **çalıştırılacak kuyular ve bunlardan ne kadar debide üretim yapılacağı.**
3. Sistemin **optimum basınç ve sıcaklık işletme değerleri.**
4. Sistemdeki **bütün boru hatlarının basınç düşüm karakteristikleri** (bütün debiler için).
5. Sistemdeki **bütün pompaların karakteristik eğrileri.**

Bu bölümde yukarıda sıralanan konular hakkında bilgi verilecek, ve Balçova-Narlidere JBIS üzerinde yapılan çalışmalar örneklenecektir.

2.1 Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Isı Yükü Tahmini

Konvansiyonel enerji kaynaklı bölge ısıtma sistemlerinde olduğu gibi, bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin optimum koşullarda işletilmesine sağlayacak kontrol stratejisi ısı yükünün gerçek modellenmesine gereksinim duyar. Isı yükünün modellenmesi, sisteme bağlı binaların herhangi bir andaki ısı kayıplarının hesaplanabilmesine imkan veren modelin kurulmasıdır. Balçova-Narlidere sistemine bağlı yaklaşık 900 binanın termo fiziksel özelliklerinin bilinmemesi, kompleksliğine rağmen dinamik ısı yükü hesaplama simülasyonlarının kullanımını mümkün kılmamaktadır. Sisteme bağlı binalara, kontrol sistemindeki eksiklikler nedeniyle, gereksinimin üzerinde enerji verildiğinin bilinmesine rağmen, binalara verilen toplam enerji 2001 yılından itibaren düzenli olarak, ölçülen eşanjör giriş ve çıkış sıcaklıkları ile şehir şebekesi debisinden hesaplanmaktadır. Günlük olarak hesaplanan bu değerler, mevcut sisteme, ideal olmamakla beraber verilen enerjidir. 2001 yılı verileri kullanılarak elde edilen ısı yükü modeli, 2002 yılına uygulanmış ve 2002 gerçekleşen yükü ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3'te verilen bu karşılaştırma, simülasyonun yük tahminin de kullanılabilirliğini göstermektedir. Bu tür modeller ancak gelişmiş bilgisayar programları ve büyük miktarda sistem verisinin kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Ayrıca ısı yükü tahmininde kullanılan modellerin sürekli olarak güncellenmesi ve kalibrasyonu yapılmalıdır. Şekil 3'te düz çizgi gerçekleşen ısı yükünü, noktalar ise bir gün önceden model kullanılarak yapılmış ısı yükü tahminini göstermektedir. Isı yükü modeli sayesinde operatör bir gün sonrasının ısı yükünü ertesi günün dış hava sıcaklığına bağlı olarak tahmin edebilmekte ve sistemi bu tahmine göre hazırlayabilmektedir. [2]



Şekil 3. Balçova-Narlidere JBIS'nde gerçek ısı yükü değişiminin model sonuçları ile karşılaştırılması [3]

Bu tür modeller gelişmiş ülkelerde bulunan bölge ısıtma sistemlerinde otomasyonun bir parçası olarak kullanılmaktadır. Modellerin doğruluğu hava sıcaklığı tahminlerinin ve kullanılan verilerin doğruluğuna bağlıdır. Ülkemizde bu tür modeller halen çalışmaların devam ettiği Balçova-Narlidere JBIS sistemi dışında kullanılmamaktadır. Genel uygulama sisteme ihtiyacından bir miktar daha fazla ısı verip ısıtılan mekanların konfor sıcaklığının altına düşmesini önleme yönündedir. Bu uygulama sonucunda insanlar jeotermal bölge ısıtma sistemi kullanıcılarının yılın en soğuk zamanlarında bile pencerelerini açık bırakmaları, gözlemlenmiş bir gerçektir. Bu tür uygulamalar sistemlerin verimsiz işletmesine sebep olan en önemli etkenlerden biridir.

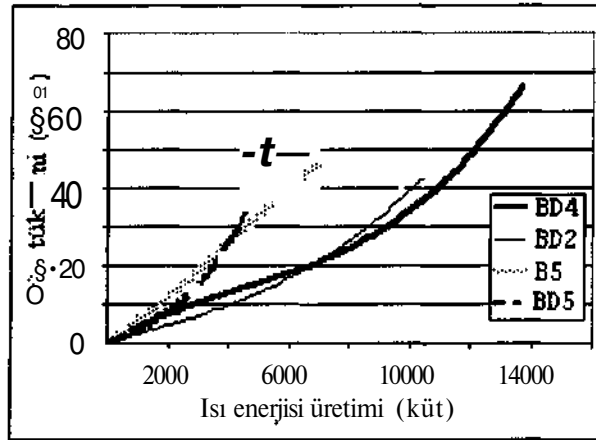
Tablo 1. Balçova-Narlidere Jeotermal Sahasındaki Üretim Kuyularının özellikleri [3]

Kuyu	Sıcaklık (°C)	Maksimum debi (kg/s)
BD2	130	50
BD3	120	40
BD4	135	45
BD5	112	22
BD7	115	22
B4	100	14
B5	100	28
B10	90	30

2.2 Jeotermal Akışkan Üretimi

Minimum elektrik enerjisi tüketimi ile istenilen enerjiyi taşıyan akışkanın üretilmesi, sıcaklıkları, dinamik ve statik seviyeleri birbirinden farklı ve zamanla değişen çok sayıda kuyudan en uygunlarının seçilmesini gerektirmektedir. En uygun kuyuların seçimi ise, istenilen enerjiyi taşıyan jeotermal akışkanın, minimum elektrik enerjisi ile üreten kuyu grubunun üretim parametreleri ile (devir, debi vs.) belirlenmesidir.

Jeotermal akışkan üretiminin optimum kuyu işletme prensibi ile yapılması ile ilgili bir çalışma Balçova-Narlidere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi üzerinde yapılmıştır [1]. Balçova-Narlidere jeotermal üretim sahasında, jeotermal akışkan üretimi, sıcaklıkları ve maksimum debileri farklı 8 kuyudan yapılmaktadır. Bu kuyuların Tablo 1'de verilen özelliklerine ilaveten, bu kuyuların pompa karakteristikleri birbirinden farklıdır. Bir başka deyişle bu kuyulardan üretilen jeotermal enerjiye karşılık harcanan elektrik enerjisi kuyudan kuyuya farklıdır. Örnek olarak Şekil 4'te dört kuyu için yapılan jeotermal enerji üretimine karşılık tüketilen elektrik enerjisi gösteren eğriler verilmiştir.



Şekil 4. Balçova-Narlidere JBIS'ndeki bazı üretim kuyularının enerji tüketimi karakteristikleri [4]

Şekilden görüleceği üzere, aynı miktarda enerji üretimi için tüketilecek elektrik enerjisi farklı kuyular için çok miktarda değişmektedir. Örneğin 4000 kW, bir enerji üretimi için BD4 kuyusu pompasında 10 kW_e, diğer kuyularda 25 kW_e güç kullanılmaktadır. Bu nedenle gereksinim duyulan enerjinin üretimi için, minimum elektrik enerji tüketmek üzere kuyuların ve pompa devirlerinin seçilmesi gerekmektedir. Bu seçim içinde en başta, kuyuların yukarıda verilen üretim karakteristiklerini içeren veri tabanının oluşturulması gerekir.

Kuyulardaki üretim karakteristiklerinin yanında, kuyu pompalarının seçilen çalışma parametrelerinin jeotermal akışkan devresindeki hidrolik etkileri de, işletme stratejisini belirleme açısından önemlidir. Balçova - Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi için geliştirilen optimizasyon programında, oluşturulan kuyu üretim karakteristikleri veri tabanını kullanan bir bilgisayar programı ile, herhangi bir andaki ısı yükünü karşılamak üzere istenilen enerjiyi üreten en uygun kuyu grubu seçilmekte, bu gruptaki kuyu pompalarının jeotermal hidrolik devre üzerindeki etkileri "pipelab" programı ile simule edilerek sonuçlar gözlenmektedir. Kuyu grubunu seçilmesi ile ilgili algoritmanın ana özellikleri aşağıda açıklanmıştır. [1]

Her hangi bir kuyudan üretilen jeotermal enerji:

$$\dot{Q}_{well} = \dot{m}_{well} \cdot c_p \cdot (T_{well} - T_{return}) \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikte T_{return} , ısı merkezlerindeki eşanjörlerdeki jeotermal akışkan çıkış sıcaklığıdır ve 60 C olarak tasarlanmıştır. Söz konusu jeotermal enerjiyi üretmek için gerekli pompa gücü aşağıdaki 2 nolu eşitlikle hesaplanır:

$$P_{pump} = \frac{\dot{m}_{well} \cdot g \cdot H_{pump}}{\eta_{pump} \cdot \eta_{motor}} \quad (6)$$

1 ve 2 nolu eşitliklerden, pompa gücü ile üretilen enerji arasındaki fonksiyonel ilişkiyi kurmak mümkündür:

$$P_{pump} = f(Q_m, I) \quad (7)$$

Üretim yapan tüm kuyular göz önüne alınırsa, üretim sisteminin tümü için:

$$P_{total} = f_{BD2}(Q_{BD2}) + f_{BD4}(Q_{BD4}) + f_{BD3}(Q_{BD3}) + f_{BD7}(Q_{BD7}) + f_{B4}(Q_{B4}) + f_{B5}(Q_{B5}) + f_{B10}(Q_{B10}) + f_{BD5}(Q_{BD5}) \quad (8)$$

eşitliği yazılır. Herhangi bir anda, kuyulardan üretilen toplam enerji, o andaki ısı yüküne eşit veya ondan büyük olmalıdır:

$$Q_{BD2} + Q_{BD4} + Q_{BD3} + Q_{BD7} + Q_{B4} + Q_{B5} + Q_{B10} + Q_{BD5} \geq Q_{demand} \quad (9)$$

Böylece minimum enerji kullanımını sağlayacak performans kriteri,

$$P_{total} = \min \left[\sum (f_{BD2}(Q_{BD2}) + f_{BD3}(Q_{BD3}) + f_{BD4}(Q_{BD4}) + f_{BD7}(Q_{BD7}) + f_{B4}(Q_{B4}) + f_{B5}(Q_{B5}) + f_{B10}(Q_{B10}) + f_{BD5}(Q_{BD5})) \right] \quad (10)$$

eşitliğiyle ifade edilir. Hazırlanan program hem 5 nolu, hem de 6 nolu eşitliği sağlamak üzere tasarlanmıştır. Şekil 5 Balçova-Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma sistemi'nde optimum kuyu çalıştırma stratejisini belirlemek üzere yazılmış WELLOPT adlı programın kullanıcı ara yüzünü göstermektedir. Program ilk olarak dış hava sıcaklığına tahminine bağlı olarak ertesi günün ısı yükünü hesaplamakta daha sonra da çalıştırılacak kuyuları ve her bir kuyudan üretilen jeotermal akışkan miktarını belirlemektedir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin işletme mühendislerinin kullanımı için tasarlanmış olan program, kolayca her türlü jeotermal sisteme adapte edilebilir. Gerekli otomasyon altyapısı bulunan sistemlerde ise direkt olarak otomasyon sistemlerine (SCADA) entegre edilebilir.

WELLOPT

EntM outside temperature for yesterday °C

Emer average outside temperature for last 24 hours °C

Enter outside temperature for tomorrow °C

Eoter average flovrate for Balcova city circulation toop for last 24 hours tonnes per hour

Enter average HEX outlet temperature for last 24 hours °C

Enter average HEX inlet temperature for bst 24 hours °C

Click on the wells that will be run BD2 BD4 B5 B4 B10 BD5 BD7 BU

Please click on places that will be heated

Total static heat energy demand for tomorrow kW

Total dynamic heat energy demand for tomorrow kW

Electricity consumption of well pumps kW

Required flowrates from wells (tonnes per hour) BD2 BD4 BT BD7 B4 m B10 B11

Şekil 5. Optimum kuyu işletme stratejisini belirleyen WELLOPT programının arayüzü

Hazırlanan optimizasyon programının örnek sonuçları, Tablo 2'de verilmiştir. Bu tabloda birinci sütundaki elektrik gücü, ikinci sütunda istenilen ısı yüklerini karşılamak üzere seçilen kuyularda, belirtilen üretimler yapılmak üzere gerekli güçlerin toplamıdır. Aynı üretimi ve yaklaşık aynı elektrik tüketimi ile sağlayan kuyu kombinasyonları birden fazladır. Bunun bir örneği Tablo 3'de verilmiştir. Yaklaşık 40.000 kW, bir üretim için yüzlerce kombinasyon söz konusudur. Tablo'da 1, 5, 10, 15, 40, 75 ve 100 nolu kombinasyonların sonuçları verilmiştir. Operatör programı çalıştırdıktan sonra elde ettiği bu kombinasyonlardan birini kuyuların durumunu (ekipman arızaları gibi) göz önüne alarak seçebilir.

Tablo 2 . Değişik yükler için optimize edilmiş kuyu kombinasyonları. [4]

Güç Tüketimi (kW _e)	Jeotermal Enerji Üretimi (kW _t)	Toplam Debi (kg/s)	Kuyu Debileri (kg/s)							
			BD2	BD3	BD4	BD5	BD7	B4	B5	B10
317	50,000	210	36.0	29.0	45.0	16.7	17.0	14.0	28.0	23.0
261	45,000	181	36.0	18.7	45.0	16.7	12.0	7.7	28.0	22.8
209	40,000	168	36.0	18.7	32.3	16.7	12.0	7.7	28.0	15.7
164	35,000	151	36.0	8.0	32.3	11.3	12.0	7.7	20.3	15.7
130	30,000	122	36.0	8.0	32.3	11.3	7.0	4.5	12.7	0
98	25,000	106	22.0	0	32.3	11.3	12.0	4.5	12.67	0
71	20,000	88	22.0	0	32.3	0	7.0	4.5	5.0	0
47	15,000	70	22.0	0	19.7	0	7.0	4.5	0	0
31	10,000	55	8.0	0	19.7	0	7.0	0	0	0

Tablo 3. 40.000 kWt enerji üretimi için farklı kombinasyonların sonuçları [1]

Kombinasyon Numarası	Güç Tüketimi (kW _e)	Jeotermal Enerji Üretimi (kW _t)	Kombinasyon Numarası	Güç Tüketimi (kW _e)	Jeotermal Enerji Üretimi (kW _t)
1	209	40221	40	218	40037
5	212	40129	75	221	40229
10	214	40758	100	222	40471
15	215	40475			

Tablo 4'te, farklı 5 işletme gününe ait gerçekleşen enerji üretimi ve buna karşılık gerçekleşen enerji tüketimlerine karşılık , optimizasyon yapıldığı taktirde tüketilecek enerji miktarları ve yapılacak günlük enerji tasarrufu miktarları ömelenmiştir.

Tablo 4. Örnek işletme günleri için üretilen, tüketilen enerjiler ve optimum kuyu üretim stratejisine göre yapılabilecek işletme ile elde edilebilecek enerji tasarrufu miktarı [4]

Tarih	Jeotermal Enerji Üretimi (kWh _t)	Kuyu Pompalarında Gerçekleşen Elektrik Tüketimi (kWh _e)	Kuyu Pompalarında Olması Gereken Elektrik Tüketimi (kWh _e)	Mümkün Olabilecek Elektrik Tasarrufu (kWh _e)
03.11.2002	20530.8	2671,2	1737,6	933.5
16.11.2002	20459.4	2748	1699,2	1050.3
10.01.2003	27443.4	3475,2	2724	749.9
15.01.2003	34577.8	4824	3861,6	962.0
01.02.2003	34262.1	4380	3844,8	536.6

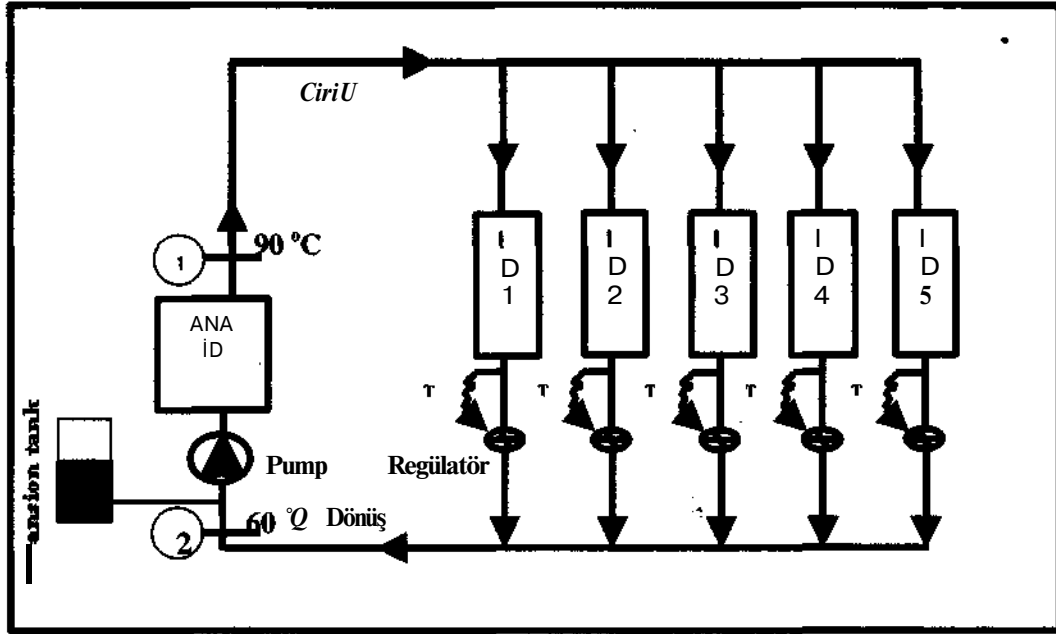
2.3 Şehir Sıcak Su Dağıtım Sisteminin Kontrolü

Şehir dağıtım sistemleri bir pompa istasyonundan şehirdeki binalara sıcak su taşıyan sistemlerdir. Şehir dağıtım sistemleri tasarım konsepti olarak açık devre ve kapalı devre olarak ikiye ayrılırlar. Açık devre sistemlerde su kullanıcıya ulaştırıldıktan sonra sistemden atılır (Kanalizasyon, deniz vs.), sisteme devamlı olarak yeni su girişi vardır. Bu tür sistemler su kaynağının bol miktarda bulunduğu ve kot farkının problem olmadığı yerlerde kullanılır. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de şehir sıcak su dağıtım sistemleri çoğunlukla kapalı devre tasarlanmaktadır. Kapalı devre sistemlerde sıcak su radyatörden veya ısı değiştirgecinden geçtikten sonra pompa istasyonuna geri döner, ve burada tekrar ısıtılır.

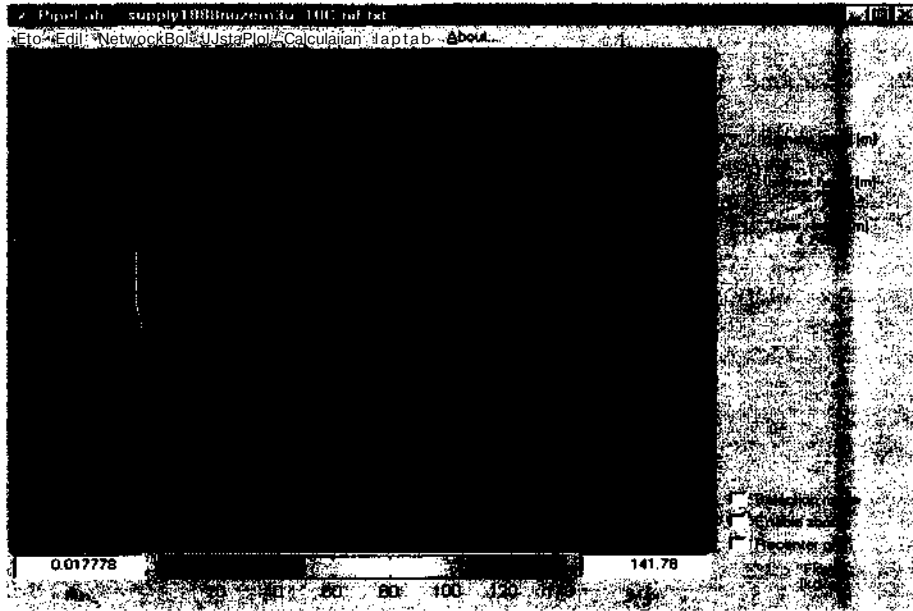
Balçova-Narlidere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi'nin şehir dağıtım sistemi basit şeması Şekil 6'da görülmektedir. Pompa istasyonunda bulunan ana ısı değiştirgecinde jeotermal akışkanın sıcaklığı şehir dağıtım sistemi suyuna transfer edilir. Kapalı devre olan şehir dağıtım sistemi yaklaşık sıcaklığı 85-90 °C olan suyu şehir içindeki bina altı ısı değiştirgeçlerine taşır. Bina altı ısı değiştirgeçlerinde, şehir dağıtım sistemi suyunun ısısı, bina içi ısıtma sistemine aktarılır. Şehir dağıtım sistemi suyu yaklaşık 60 °C'de pompa istasyonuna döner.

Şehir dağıtım sistemlerinde işletme prensibi tasarım sırasında belirlenmiş optimum sıcaklık rejimlerinin sabit tutulması üzerinedir. Isı değiştirgeci giriş ve çıkış sıcaklıklarının belirlenen değerde tutulması ısıtılan mekanlarda ısı konforu sağlamak ve enerji tasarrufu açısından hayati derecede önemlidir. Sıcaklık rejimlerinin sabit tutulabilmesi için sistemin ısı yükünün önceden bilinmesi gereklidir. Bu da ancak daha önce bahsedilmiş olan ısı yükü modellerinin oluşturulması ve kullanımı ile mümkündür.

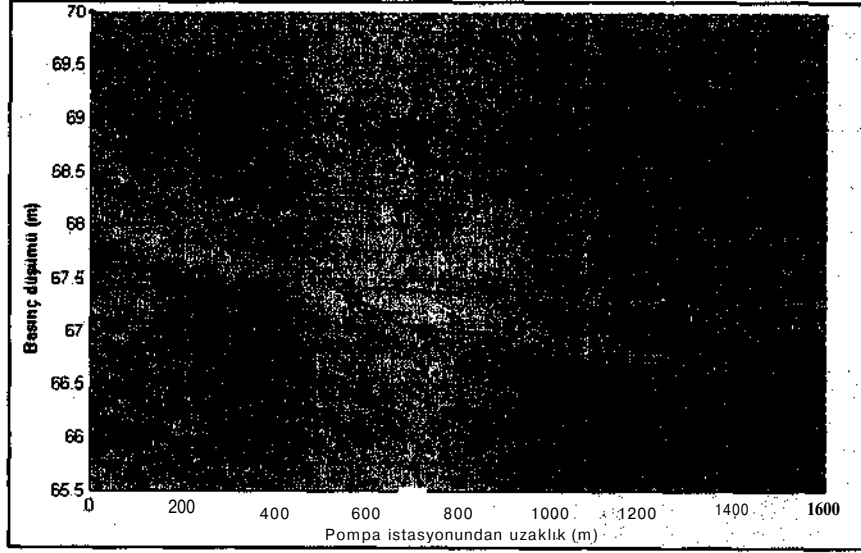
Dağıtım sistemlerinde termodinamik denge kadar hidrolik denge de önemlidir. Sistemin her noktasına ihtiyaç duyulan debide sıcak suyu göndermek ancak hidrolik analizler doğru yapılırsa mümkündür. Şekil 7'de Pipelab adlı bölge ısıtma sistemi simülasyon programında Balçova şehir dağıtım sisteminin görünümü gösterilmiştir. Şekil 8 ise aynı program tarafından hesaplanan Balçova şehir dağıtım sisteminin basınç düşüm grafiğini göstermektedir. Hidrolik modelleme programları sayesinde çıkarılabilen bu tür grafikler, sistemin hidrolik analizi ve sistem sorunlarının çözümü için önemli araçlardır.



Şekil 6. Balçova şehir dağıtım sistemi



Şekil 7. Balçova şehir dağıtım sisteminin PipeLab bölge ısıtma sistemi simülasyon programında görünümü [6]



Şekil 8. Balçova şehir dağıtım sistemi gidiş hattı için basınç düşüm grafiği [6]

Bu tür simülasyon programlarının kullanımı, operatörlere sistem üzerindeki problemleri ve potansiyel gelişme fırsatlarını görme fırsatı verir. Sistem üzerinde yapılacak değişiklikler ilk olarak bu programlarda uygulanır ve sonuçları analiz edilir. Yazarların bilgisi dahilinde ülkemizde sadece Balçova-Narlıdere JBIS 'nde bu tür simülasyon programları kullanılmaktadır. Bu tür programların ülkemizde yaygınlaşarak bölge ısıtma sistemi operatörlerinin elinde bir araç haline gelmesi, ülkemiz kaynaklarının daha verimli kullanılabilmesi için çok önemlidir.

Şehir dağıtım sistemi işletiminde göz önünde bulundurulması gereken bir diğer faktör bina altı bağlantı elemanlarıdır. Şehir dağıtım sisteminin binaya bağlandığı noktada bulunan kontrol elemanları sistemin dengeli çalışmasını sağlarlar. Ülkemizde bina bağlantılarında genel olarak kendi kendine çalışan (Self-operating) vanalar kullanılmaktadırlar. Bu vanalar sıcaklık, basınç ve debi kontrolünde kullanılmaktadırlar. En yaygın uygulama ısı değiştirgeci çıkış sıcaklığının kontrol edilmesidir. Ülkemizde bu tür vanaların kullanılmasında en çok karşılaşılan zorluk sistemdeki suyun içerdiği kum ve çamurun bu hassas vanaları tıkanması veya kilitlemesidir. Öte yandan bu vanaların ayarı her bir binanın ısı yüküne göre yapılmalı ve bütün sezon boyunca sabit tutulmalıdır, bir vananın ayarındaki en ufak bir sapma zincirleme olarak bütün bir branşmanı daha sonra da bütün sistemi etkiler. Vanalara müdahale sadece bilgili ve yetkili kişiler tarafından yapılmalı ve vanalar dış müdahalelere karşı korunaklı olmalıdırlar.

Şehir dağıtım sistemleri yüzlerce binaya bağlı büyük sistemlerdir. Herhangi bir branşmandaki hidrolik dengesizlik (kaçak, vana ayarsızlığı vs.) bütün bir sistemi etkiler. Bu sebeple şehir dağıtım sistemleri üzerinde yapılacak değişikliklerde bütün sistem bir bütün olarak düşünülmeli ve sistem operatörleri haricinde sisteme müdahale (pompa yerleştirme, vana ayarı yapma) kesinlikle önlenmelidir.

Sistem işletme strajesini belirleyen bir diğer parametre de kullanıcıların aldıkları ısıtma servisi için ödeme şekilleridir. Ülkemizdeki jeotermal ısıtma sistemlerinde uygulanan sistemde ödeme yıllık olarak dağıtıcı firma tarafından belirlenir. Her bir konut için ücretlendirme konut alanına göre yapılır. Bu sistemde kullanıcı yıl içinde ne kadar ısı kullanırsa kullansın sabit bir ücret öder. Diğer sistemde ise kullanıcının ısıtma sistemine bağlı olan debimetre kullanıcının kullandığı sıcak su miktarını saptar ve fiyatlandırma buna göre yapılır. Bu sistemin ana dezavantajı her bir bağlantı için ilk yatırım maliyetinin artması ve debimetrelerin periyodik olarak okunması ihtiyacıdır. Öte yandan debimetreli sistemde kullanıcı kullandığı suyun parasını ödediği için tasarruf yapmaya zorlanır. Sabit ücretlendirmede ise enerjinin kontrollü kullanımı sadece binaya konulan kontrol elemanına bağlıdır. Ayrıca İzlanda'da yapılan bir çalışmada [5] sabit fiyatlandırma yapılan ısıtma sistemlerde gerçekleşen tepe ısı yükünün debimetreli fiyatlandırma yapılan sistemlere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebi

olarak sabit fiyatlandırmada kullanıcıların ısıyı bütün gün boyunca kullanmaları öte yandan debimetre kullanılan binalarda kullanıcıların sadece evde buldukları akşam ve sabah saatlerinde enerji kullanmaları olarak belirtilmiştir.

Konutlaşma düzeninin Kuzey Avrupa ülkelerinden çok farklı olduğu Türkiye'de bireysel olarak her kullanıcıya debimetre takılması yerine bina bağlantılarına takılacak debimetreler ile apartmanlara toplam olarak ısınma faturası kesilmesi henüz düşünce aşamasında olan bir yöntemdir. Ülkemizde kullanılan sabit ücretlendirme sisteminin aksayan noktası kontrol vanalardır. Daha önce de belirtildiği gibi bu vanalar çeşitli etkenler nedeniyle işlevlerini yerine getirememektedirler. Bu durum sistemde hidrolik dengesizliğe yol açmaktadır. Kontrol vanaları işletme koşullarına (sıcaklık, basınç, su kalitesi) çok duyarlıdır. Kontrol vanalarının (Self operating valves) kullanıldığı sistemlerde, bu tür vanaların uygun çalışma koşulları çok iyi incelenmeli ve sistem tasarımında bu koşullar sağlanmalıdır. Kontrol vanalarının işlevlerini doğru yerine getirebilmesi sabit fiyatlandırmanın sistem üzerindeki olumsuz etkileri ez aza indirilebilir.

3. JEOTERMAL ISITMA SİSTEMLERİNİN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin performanslarının değerlendirilmesinde kullanılacak iki faktör tanımlanmıştır. Balçova-Narlıdere JBIS üzerinde yapılan iyileştirme çalışmaları sırasında, yapılan iyileştirmelerin sistem üzerine etkisini izleme amacıyla tanımlanan bu iki faktör, diğer jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde de performans izleme amacıyla kullanılabilir. Balçova-Narlıdere JBIS'nin 2001 ve 2002 verileri kullanılarak yapılan çalışmada aylık olarak her kuyudan yapılan üretim debileri, kuyu üretim sıcaklığı ile re-enjeksiyon sıcaklığı arasındaki farklar çarpılarak kuyulardan üretilen jeotermal enerji hesaplanmıştır. Kuyulardan söz konusu üretimi yapabilmek ve konutlara transfer edebilmek için kullanılan toplam elektrik enerjisi tüketimi de aylık elektrik faturalarından hesaplanmıştır. Optimum enerji tüketimi ise sistem optimum kontrol stratejisi ile işletildiğinde ortaya çıkacak elektrik tüketimi olarak hesaplanmıştır.

Konvansiyonel enerji katsayısı [Conventional Energy Ratio (CER)], bir jeotermal sahada birim elektrik tüketimi başına üretilen jeotermal enerji miktarı olarak tanımlanmıştır. [4]

$$CER = \frac{\text{Üretilen jeotermal enerji}}{\text{Tüketilen elektrik enerjisi}} \quad (kWh / kWh_e)$$

Gerçekleştirilen üretim için CER, jeotermal enerji üretimi miktarının, elektrik tüketimine bölünmesiyle elde edilmiştir. Elektrik tüketimini optimize eden kontrol stratejisine göre gerçekleşmesi beklenen CER_o ise, jeotermal enerji üretimi miktarının optimum elektrik tüketimine oranı ile elde edilmiştir.

Konvansiyonel enerji fazlalık katsayısı [Conventional Energy Ratio (CEER)] ise, bir jeotermal bölge ısıtma sisteminde, ısıtma yükünü karşılamak için işletilen kuyu ve akışkan transfer pompalarında kullanılan elektrik enerjisinin, aynı ısıtma yükünün en uygun kuyu dizininin, kuyu ve transfer pomplarının en uygun çalışma noktalarının seçimi ile harcanacak elektrik enerjisine oranıdır.

$$CEER = \frac{\text{Tüketilen elektrik enerjisi}}{\text{Optimum elektrik enerjisi tüketimi}}$$

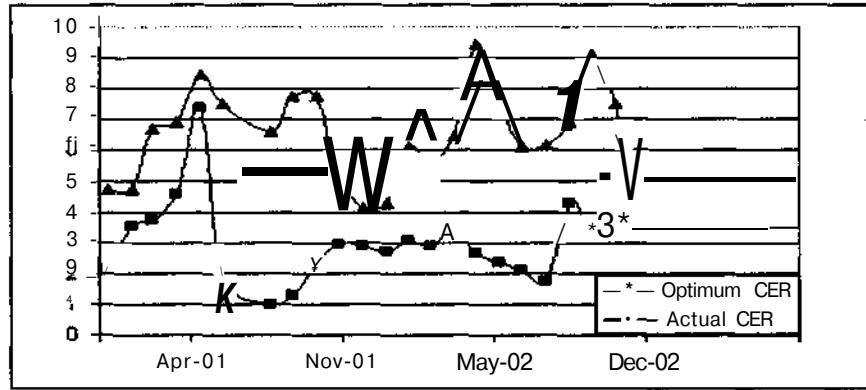
İdeal olarak, değişen dış sıcaklığa bağlı olarak sistemin ısı yükü tahmin edilebilirse, sistemin kapasitif davranışı ve kuyuların dinamik davranışları tam olarak modellenebilmişse, nihayet bu tahmin ve modellemelere bağlı olarak kontrol sistemi oluşturulmuş ve işletiliyorsa, CEER'in değeri 1 olacaktır. Ancak, en azından değişen dış hava sıcaklığının ve buna bağlı olarak değişen yükün tam olarak tahmin edilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, binalardaki konfor koşullarının eksiksiz sağlanması

amacıyla, sisteme gerektiğinden daha fazla enerjinin verilmesi söz konusudur. Böylece ÇEER 1'den büyük olacaktır. Şekil 5'teki CEER değeri aynı zamanda, optimum CER₀ değerinin Üretim CER değerine oranıdır:

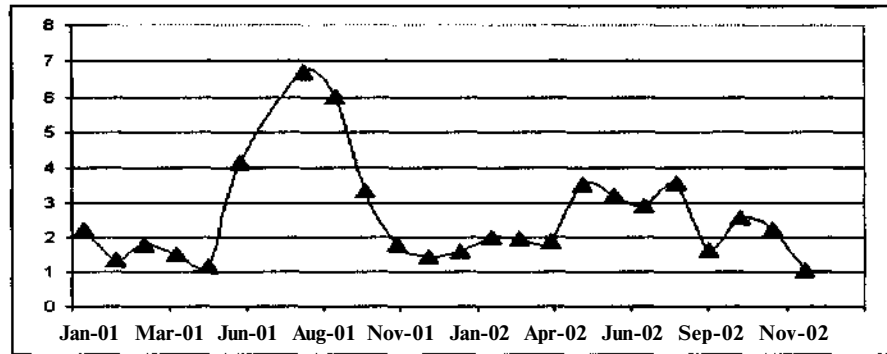
$$CEER = (CER_0) / (CER) \quad (7)$$

Sistemden sisteme CER değerleri arasında fark olabilir. Bu farklılık, sistemin projelendirilmesi ve uygulanması en ideal halde gerçekleştirirse bile, jeotermal saha özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Ancak CEER değeri, işletme otomasyonundaki başarıya bağlıdır ve jeotermal sahanın karakteristiklerinden bağımsızdır.

Şekil 9'da gerçekleşen ve optimum CER değerlerinin 2001-2002 yılları için değişimini göstermektedir, Şekil 10 ise CEER değerinin aynı yıllar için değişimini göstermektedir. 1.91 ortalamaıyla CEER değerine bakıldığında, sistem kontrolünün optimumdan çok uzak olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. Balçova-Narlidere JBIS'nde optimum ve gerçek CER değerlerinin 2001 ve 2002 yılları için karşılaştırılması [4]



Şekil 10. Balçova-Narlidere JBIS'nde 2001 ve 2002 yılları için CEER değerinin değişimi [4]

Özellikle yaz aylarında yükselen CEER değerinin sebebi yazlık pompalarda değişken frekans kontrolünün yapılmamasıdır. Yaz aylarında terk edilen değişken debi sabit sıcaklık farkı uygulaması yerini zorunlu olarak sabit debi değişken sıcaklık farkı uygulamasına bırakmakta bu da sistemde sıcaklık farkının azalmasına sebep olmaktadır. Kış aylarında 30°C'ye varan ısı değiştirgeci sıcaklık farkları yaz aylarında 10°C 'ye kadar düşmekte bu da sistemin daha fazla enerji tüketmesine sebep olmaktadır. İlk olarak 2003 yazında yazlık pompalarda frekans kontrolü uygulamasına geçilmiş ve yaz sezonu elektrik tüketimi değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenmiştir.

4. JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNDE OTOMASYON

Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde otomasyonun iki temel işlevi vardır *gözlem/veri toplama* ve *kontrol*. Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde kuyulardan başlayarak son kullanıcıya kadar sistemin bir bütün olarak ele alınıp kontrolünün gerçekleştirilmesi gerekir. Bu jeotermal akışkanın enerjisinin optimum kullanımına ve sistemin önemli parametrelerinin sürekli gözlemlenebilmesine olanak vererek daha emniyetli ve daha ekonomik bir kullanım sağlar. Otomatik kontrol sistemi, gerekli olduğunda sisteme hızlı müdahale edilebilmesine güç kesintisi, deprem gibi acil durumlarda sistemin en emniyetli şekilde kapatılmasına olanak verir.

4.1 Gözlem ve Veri Toplama

Aşağıda sıralanan paramaterler jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde devamlı olarak gözlemlenmesi ve otomasyon sisteminin veri tabanında depolanması gereken parametrelerdir. [7]

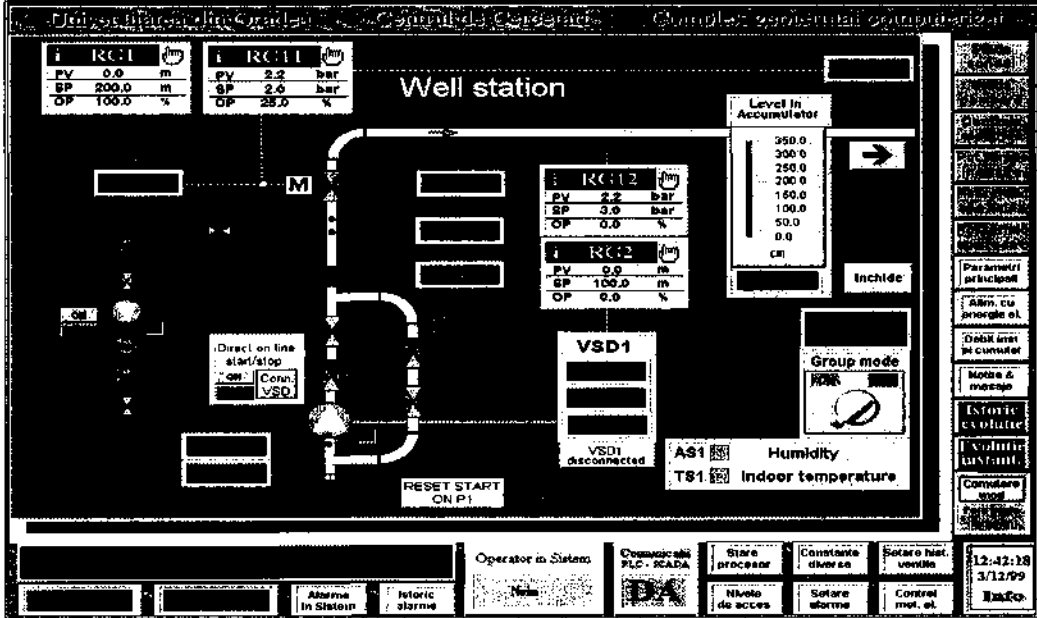
- *Rezervuar karakteristikleri (Rj):*
 1. Kuyu anlık üretim sıcaklığı.
 2. Kuyu anlık dinamik seviyeleri.
 3. Kuyu statik seviyeleri.
 4. Kuyu anlık debileri ve üretilen toplam(günlük, aylık) akışkan debileri.
 5. Kuyu pompası çıkış basıncı.
 6. Kuyu pompalarının frekans değiştiricilerinin parametreleri:
 - anlık işletme frekansı.
 - motorun çektiği güç
 - pompanın çalışma süresi
 - motorun çektiği akım
- *Bölge ısıtma sistemi işletme parametreleri (Bı):*
 1. Jeotermal akışkanın ısı merkezlerindeki eşanjörlere giriş ve çıkış sıcaklıkları.
 2. Sirkülasyon pompaları çıkış basıncı.
 3. Sirkülasyon pompaları debisi.
 4. Şehir dağıtım sisteminin kritik noktalarından alınan basınç, sıcaklık ölçümleri.
 5. Sirkülasyon pompalarının frekans değiştiricilerinin parametreleri:
 - anlık işletme frekansı.
 - motorun çektiği güç
 - pompanın çalışma süresi
 - motorun çektiği akım
 6. Genleşme tankı seviye ölçümü
- *iklim verileri (C\)*
 1. Dış hava sıcaklığı
 2. Dış hava sıcaklığı nemi
 3. Rüzgar hızı ve yönü

4.2 Kontrol

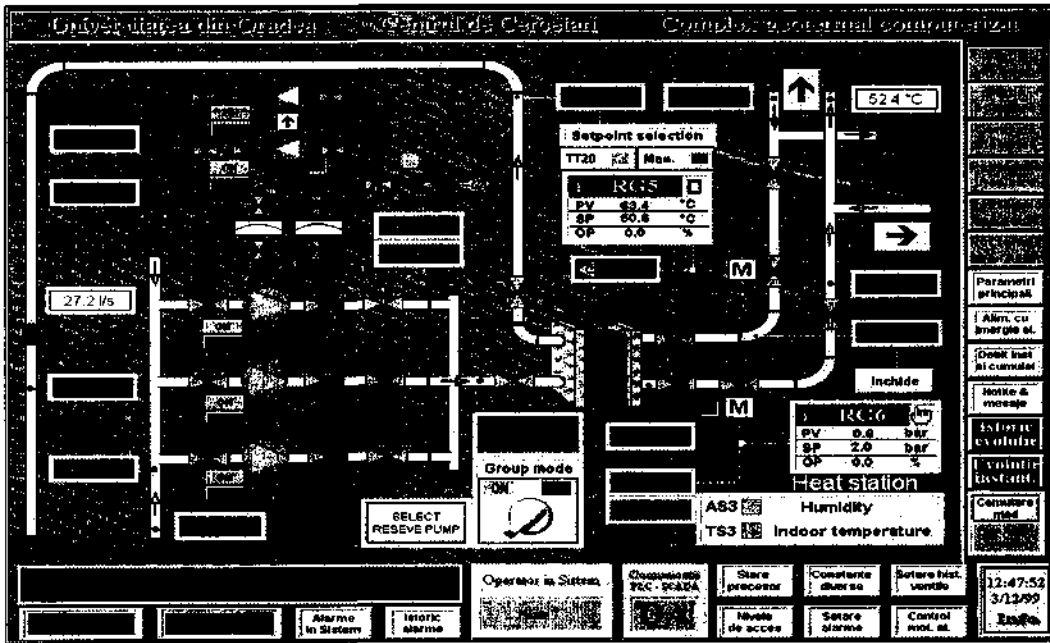
Rezervuar özelliklerine ve ısıtma yükünün zamanla değişimine göre, en uygun kuyu ve sirkülasyon pompaları işletme stratejisinin uygulanması, bir başka deyişle, sistemde kuyu pompaları dahil tüm pompaların minimum enerji kullanımı stratejisine uygun olarak çalıştırılmasının kontrolü. Kontrol algoritması geçmiş günlerdeki çalışma rejimlerine ve hava tahmin raporlarına göre bir sonraki günün pompa çalışma stratejisini belirlemelidir. Ayrıca kontrol sistemi herhangi bir güç kesintisine karşı sistemi güvenli bir şekilde devreden çıkarabilmelidir. Sistemin sağlıklı işletilmesi sistemin karlılığını

doğrudan etkileyen bir parametredir. Kullanılacak otomatik kontrol ekipmanları sistemin ilk yatırım maliyetini artırmakta fakat işletme maliyetini düşürmektedir. Sistemin kullanım süresi göz önüne alındığında belirli bir seviyede yapılmış otomasyonun ekonomik açıdan karlı olacağı açıktır. [6]

Şekil 10 ve 11'de modern bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin otomatik kontrol sisteminin kullanıcı arayüzü görülmektedir. Bu tür sistemlerde sensörler ve kontrol elemanları bir PLC'ye bağlıdır. PLC'ler ise kumanda odasındaki bilgisayara bağlıdır ve bu bilgisayarlara yüklü arayüz programları sayesinde operatörler kolaylıkla sistemi bir noktadan yönetebilmektedirler.



Şekil 10. Jeotermal kuyubaşının otomasyon merkezindeki bilgisayardan görünümü [8]



Şekil 11. Pompa istasyonunun otomasyon merkezindeki bilgisayardan görünümü [8]

5. SONUÇ

Önceki bölümlerde açıklanan kontrol ve performans izleme stratejilerinin tam olarak uygulanabilmesinin tek yolu sistemde otomasyonun bulunmasıdır. Ülkemizde otomasyonun ilk yatırım maliyetine getirdiği yük çoğunlukla otomasyon projesinin feda edilmesi veya sınırlandırılması ile hafifletilmektedir. Henüz, ülkemizdeki hiçbir uygulamada maliyet analizi gereği gibi yapılmadığından, sistemlerin daha verimli olarak nasıl çalıştırılabileceği sorusu gündeme alınmamaktadır.

Bugün ülkemizde bulunan jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin karşılaştığı en büyük sorunlardan biri verimsizliktir. Ülkemizin en büyük ısıtma sistemi olan Balçova-Narlıdere JBIS üzerinde yapılan çalışmalar sistemin şimdiki durumundan çok daha verimli işletilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu durum ülkemizdeki diğer jeotermal bölge ısıtma sistemleri için de genellenebilir. Bölge ısıtma sistemlerinin işletme maliyetini en aza indirebilmek için hem sistem tasarım aşamasında hem de işletme sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar vardır.

a) Tasarım sırasında

- Boru çapları belirlenirken basınç kaybı-boru çapı optimizasyonunu işletme maliyeti faktörünü de göz önüne alarak yapmak.
- Sistemde kullanılacak pompaların seçiminde pompaları yüksek verimlerde çalışacak şekilde seçmek.
- Sistemde tüketilen enerjiyi gözlemleyen ve pompaları kontrol edebilen bir kontrol sisteminin tasarımını yapmak ve uygulamak.

b) İşletme sırasında

- Kullanıcılara ihtiyaçları kadar ısı verebilmek için, sistem ısı yükünün önceden tahmin edilmesi.
- Sistemi değişen ısı yükleri için elektrik tüketimini minimuma indiren bir işletme stratejisine göre çalıştırmak.

İşletme sırasında yapılan hatalarda geri dönüş şansı bulunmasına rağmen, tasarım hatalarından geri dönüş mümkün olmamaktadır. Günümüzde binlerce binaya dağılan ve bir çok branşmanı olan sistemler bilgisayar programlarında rahatça modellenebilmekte ve kolayca basınç kaybı-boru çapı optimizasyonu yapılabilmektedir. Bu tür programların yanlış yapma riski az olduğu gibi aynı zamanda tasarımcılara esneklik sağlamak ve proje safhasında meydana gelen değişikliklerin zaman kaybına yol açmasını önlemektedir. Bu tür programların kullanımı sadece tasarımcıya değil işletme sırasında operatöre büyük katkılar sağlamaktadır. İşletmesi ne kadar iyi olursa olsun eğer sistemde tasarım hataları varsa sistemden yüksek verim almak imkansızdır. Tasarım hatalarının en aza indirilmesi için jeotermal proje finansörlerinin bu konuda bilinçli hareket etmesi ve projenin, bütün safhalarında jeotermal enerji uzmanlarından yardım alması gereklidir.

Jeotermal bölge ısıtma sisteminde çalışacak bütün elemanlar (mühendisler, sistem operatörleri, teknisyenler, kuyu operatörleri, arıza ekipleri, işçiler) işe başlamadan önce sistemin çalışma prensipleri hakkında eğitime tabii tutulmalıdırlar. Otomasyonun uygulanamamasının bir sebebi de, bu sistemleri işletecek eğitilmiş çalışanların bulunmamasıdır. Otomasyon sistemi kurulmuş bir bölge ısıtma sisteminde bu konuda eğitim almış insanlar çalıştırılmalıdır.

Jeotermal enerji geleneksel enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında temiz ve ucuz bir enerji kaynağıdır. Ancak jeotermal enerji sistemlerinin primer enerji kaynaklarına ihtiyaç duydukları unutulmamalıdır. Jeotermal enerjinin verimli kullanımı daha fazla konutun jeotermal enerjiyle ısınması anlamına gelir. Ülkemizdeki mevcut sistemlerde iyileştirme çalışmalarının devam ettiği bugünlerde, gelecekteki projeler geçmişten çıkarılan dersler ışığında yapılmalıdır. Bu çalışmada tanımları yapılan CER ve CEER değerleri jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin verimliliğini tanımlayan faktörlerdir. Bu faktörler tasarım safhasından işletmeye kadar jeotermal bölge ısıtma sistemlerinin performans tanımının yapılabilmesini ve performansının izlenebilmesini sağlar. Bu iki katsayının kullanımı jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde işletmecilere sistem performansının artırılması yönünde yol gösterecektir.

KAYNAKLAR

- [1] ŞENER A. C., "Optimisation of Balçova Geothermal District Heating System", Yüksek lisans tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü, 2003.
- [2] ŞENER A. C, TOKSOY M., AKSOY N., Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Otomasyonun Primer Enerji Tüketimi Açısından Önemi: Konvansiyonel Enerji Oranı (CER) ve Konvansiyonel Enerji Fazlalık Katsayısı (CEER), izmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü GEOCEN Yayınları No:007, 2003.
- [3] ŞENER A. C, Modelling of Balçova Geothermal District Heating Sytem. United Nations University Geothermal Training Program Publications pp. 233-264, 2003.
- [4] ŞENER A. C, TOKSOY M., AKSOY N., Importance of Load Based Automatic Control in Geothermal Energy Systems, 3rd International Federation of Automatic Control Workshop DECOM-TT 225-231, 2003.
- [5] KARLSSON T., Geothermal district heating the Iceland experience, United Nations University Geothermal Training Programme Report 1982-4, 11.
- [6] VALDIMARSSON P., Pipelab 3.18 District Heating Simulation Programme, University of Iceland Mechanical Engineering Department, 1999.
- [7] TOKSOY M., ŞENER A.C., AKSOY N., ÇANAKÇI C, İMAMOĞLU F., BAŞEĞMEZ D., GÜLSEN E., Bergama Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü GEOCEN Yayınları No:001,2003.
- [8] ANTAL C, MAGHIAR T., Automatic Control and Data Acquisition (SCADA) for Geothermal Systems, European Summer School on Geothermal Energy Applications, pp.305-310, Ed. By M. ROSCA, April 26th - May 5th, Romania 2001.
- [9] ASHRAE Handbook, Heating, Ventilating and Air-Conditioning Applications, 1999.

SEMBOLLER VE İNDİSLER

C_p	Özgül İsi	$\text{kJ}/(\text{kg}^*\text{K})$
g	Yerçekimi ivmesi	m/s^2
H	Basma yüksekliği	m
m	Debi	kg/s
P	Birim zamanda tüketilen elektrik enerjisi	KW
Q	Birim zamanda üretilen İsi enerjisi	KW
T	Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$
gt	Jeotermal	-
pump	Pompa	-
return	Eşanjör çıkışı	-
well	Kuyu	-
η	Verim	-

ÖZGEÇMİŞLER

Adil Caner ŞENER

1977 İzmir doğumlu olan Şener, 2000 yılında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı yıl içinde İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde yüksek lisansa başlamıştır. 2000 yılından bu yana araştırma görevlisi olarak İYTE Makina Mühendisliği Bölümü'nde çalışan çalışan Şener, Balçova Jeotermal Bölge Isıtma Sisteminin Optimizasyonu adlı projeyi yüksek lisans tez konusu olarak çalışmıştır. 2002 yılında Birleşmiş Milletler Üniversitesi tarafından burslu olarak davet edildiği İzlanda'da jeotermal enerji sistemleri konulu 6 aylık eğitim programına katılmıştır. İzlanda'da kaldığı süre içerisinde Pipelab adlı bölge ısıtma sistemi simülasyon ve tasarım programı üzerinde çalışmalar yapmış ve bu programın geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Tez çalışması sırasında tasarladığı WELLOPT adlı program jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde optimum kuyu işletme stratejisini bulmak için kullanılmaktadır. Ana çalışma konuları: jeotermal enerji sistemleri, boru mühendisliği, bölge ısıtma sistemi modellemesi ve tasarımı, jeotermal enerji sistemlerinde kontrol ve otomasyon olarak özetlenebilir.

Macit TOKSOY

1949 da ilköğretim (izmir) de doğdu. 1967'de Manisa Lisesi'ni, 1972 de İstanbul Teknik Üniversitesini bitirdi. Ege Üniversitesi'nden doktora derecesini aldı. 1982 senesine kadar Ege Üniversitesinde, 1999 senesine kadar, fakültesinin üniversite değiştirmesi, nedeniyle Dokuz Eylül Üniversitesi'nde öğretim üyesi olarak çalıştı. 1999'dan bu yana da İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde öğretim üyesi olarak çalışma hayatına devam ediyor. 1999 senesinde Cumhurbaşkanlığı Genel Sekreteri, eski İzmir Valisi Sayın Kemal Nehrozoğlu'nun kurduğu, Jeotermal Enerji Yüksek Danışma Kurulu'na üye seçilmesiyle, Türkiye'deki jeotermal enerji uygulamalarını tanıma fırsatı buldu. O tarihten bu yana akademik çalışma zamanını ve gücünü, ülkemizdeki jeotermal enerji bölge ısıtma sistemlerinin çağdaş, bilimsel ve teknik ölçütlerde projelendirilmesi ve uygulanmasına, ilgili bilgi ve teknolojinin yayılması için seminer ve konferanslar düzenlenmesine, ilgili alanda araştırma yapmaya, lisansüstü tez çalışmaları yaptırmaya, bu alanda kamu kaynaklarının toplumsal duyarlılıkla kullanılmasına, ilgili alanda "Türkçe" yayın yapmaya ve yapılmasına katkı koymaya, yine ilgili alanda teknik standartların geliştirilmesine, İYTE bünyesinde Türkiye'nin gereksinimi olan Jeotermal Araştırma Geliştirme Test ve Eğitim Merkezi (GEOCEN) 'nin kurulmasına ve nihayet çok önemsendiği ve gururunu duyduğu bir grup jeotermal enerji bölge ısıtma sistemi uzmanının yetişmesine katkı koymaya ayırdı. Yaptıklarından çok mutlu. Bu mutluluğa neden olan Sayın Nehrozoğlu'na, gece ve gündüzlerini jeotermal enerji ile geçirmesine müsaade ettikleri için ailesine, çalışmalarını destekleyen Balçova Termal ve Balçova Jeotermal Şirketi yöneticilerine çok, lisansüstü öğrencilerine çok teşekkür ediyor.

Gülden GÖKÇEN

1968 yılı İzmir doğumludur. 1990 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1992 yılında Yüksek Mühendis, 2000 yılındada Doktor unvanı almıştır. 1996 yılında Auckland Üniversitesi Jeotermal Enstitüsü'nde bir yıllık "Jeotermal Enerji Teknolojisi Diploma Kursu"na katılmıştır. 1997 yılında NATO A2 bursu ile ABD'de "Jeotermal Elektrik Santrallerinde Reboiler Teknolojisi" üzerine dört aylık bir çalışma yapmıştır. 1991-2000 yılları arasında Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2000 yılından bu yana İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nde Yard.Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Jeotermal elektrik santrallerinde verim artırma yöntemleri, ısı eşanjörleri, jeotermal enerji kullanım yöntemleri ve jeotermal enerjinin çevresel etkileri konularında çalışmaktadır.



Bu bir MMO
yayıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Jeotermal Enerji Uygulamalarında Çevre Sorunları

Mebrure BADRUK
MADEN TETKİK VE ARAMA GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
EGE BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ

JEOTERMAL ENERJİ UYGULAMALARINDA ÇEVRE SORUNLARI

Mebrure BADRUK

ÖZET

Hava, yüzey suları ve yer altı suları jeotermal sıvıdaki kimyasal ile kirlenebilir. Bu kimyasalların insan hayatı, evcil hayvanlar, tarımsal ürünler ve yabani yaşam üzerindeki etkileri özellikle dikkate alınmalıdır.

Kimyasal maddeler jeotermal sıvılara ya araştırma sırasında ya da jeotermal enerji üretimi sırasında eklenebilmektedir. Kostik soda, Sülfürik asit ve bakteri oluşumu ya da çökelmeyi ve kabuklaşmayı önlemek için pek çok farklı toksit ya da korozif kimyasallar kullanılmaktadırlar. Ayrıca üretim sırasında oluşan iyon denge değişiminin çevreye verdiği olumsuz etkileri incelenmesi gerekmektedir.

1. KİMYASAL KİRLLETİCİLER VE ETKİLERİ

Jeotermal araştırma ve uygulamalar boyunca çevreye verilen kimyasalların olası kirlilik etkilerinin belirlenmesi ve bu zararlı etkilerinden korunulması gereklidir. Kirleticilerin etkileri insan sağlığı, evcil hayvanlar, ürünler ile susal ya da karasal yaşam üzerindeki etkileri özellikle dikkate alınmalıdır.

Jeotermal kaynakların kullanılarak elektrik enerjisi üretiminden dolayı oluşan çevresel etkileri kabaca şöyle sınıflandırabiliriz;

- S Sondaj süresinde ekosistemin bozulması
- S Kuyu sondajları boyunca jeotermal sıvı ile su ve toprağın kirlenme riski
- S Tesisin işletilmesi süresince CO₂ ve H₂S emisyonları
- S Jeotermal sıvının ekstraksiyonu nedeniyle arazinin çökme riski

Üretim boyunca rezervuardaki basınç ve sıcaklık değişimi kimyasal dengeyi etkiler. Bu da ek çözünme ve çökelmelere neden olur. Kirletici kaynaklar kabaca şöyle toplanabilir;

- S Kuyular (yüzey ekipmanları yoluyla)
- S Separatörler
- S Buhar boruları
- S Silencerler
- S Kondenserler (yoğuşmuş buhar atımı yoluyla)
- S Soğutma kuleleri
- S Reenjeksiyon sistemleri

Kimyasal maddeler; jeotermal sıvıların aranmasında kullanılabilirler. Bununla birlikte bakteriyel oluşumu ya da kabuklaşmayı önlemek amacıyla çeşitli kimyasallar, kostik soda, sülfürik asit ve pek çok diğer toksit ya da korozif kimyasallar da jeotermal uygulamalarda kullanılır. Ayrıca; rutin uygulama

boyunca kullanılan bu kimyasalların çevreye verdikleri zararda bunların kullanım miktarları ve depolanan kimyasalların yada kullanılanların gelecekteki potansiyel etkileri özellikle dikkate alınması gerekmektedir.

Jeotermal enerji uygulamalarında oluşan çevresel etkiler;

- S hava,
- S su,
- S toprak,
- S termal,
- S gürültü kirliliği

basamaklarına ayrılabilirler. Buhar içinde taşınan yoğuşmayan ve atmosfere verilen gazlar önemli problemlerdir. Jeotermal proseslerde en önemli emisyon noktaları, yoğuşmayan gazların salındığı bacalar, soğutma kulelerinde yoğuşmayan gazların evaporasyonu, silenseler, buhar borularından buhar ürünün drenajı, soğutma kulelerinden fazla yoğuşmuş emisyonudur. Önemli yoğuşmayan gazlar CO_2 , H_2S ve daha düşük oranlarda NH_3 , CH_4 ve H_2 'dir.

Karbondioksit emisyonları buhar kompozisyonuna bağlı olarak jeokimyasal tesislerde; 10-400 g/kWh iken bu değer fuel oil ve kömür santrallerinde 900-1000 g/kWh'tir. Fosil yakıtların enerji için yakılmasında ayrıca sülfürük asit (SO_2) üretilir. Su ile birleşimi havada ait yağmuru oluşturarak bitki ve binalara zarar verir ve yüzey sularını asitlendirir. Jeotermal alanlar sülfür dioksit üretseler bile sıvı yeterli derecede oksitlenmemiştir.

Jeotermal santraller, kuyulardan (sondaj ve test sırasında) kondenser ile silencerlardan ve en önemlisi santralin gaz boşaltıcısından boşalan gazlardan dolayı hava kalitesini hiçte azımsanmayacak ölçüde etkiler. ABD-Geyser ve İtalya-Larderello gibi atık suyun tamamıyla reenjektte edildiği buhar baskın arazilerde; gaz ve buhar en belirgin rutin atıklardır.

1.1. Gaz Boşalımlarının Bileşimi ve Etkileri

Çevresel perspektiften bakıldığında en önemli kirleticiler gazlar,

- S Karbondioksit (CO_2 , genellikle en önemli bileşen)
- S Hidrojen sülfür (H_2S)
- S Amonyak (NH_3)
- S Cıva(Hg)
- S Borik Asit (H_3BO_3) olarak verilebilir.

Gaz atıklar metan yada etan ve radon gibi hidrokarbonlar içerebilirler; fakat bu bileşenlerin çevreye zararlı etkileri daha azdır.

Buhardaki kirleticilerin konsantrasyonları rezervuar jeokimyası ve güç üretimi şartlarına bağlıdır. Başlangıç buhar ayırımı boyunca eğer gerekli ise sıvı rezervuardaki kirleticiler kısmen yada tamamen buharlaşabilirliklerine bağlı olarak buhar faza transfer edilebilirler. Arsenik (As) gibi buharlaşabilirliği düşük olan kirleticiler ayırım sırasında sıvı fazda kalır. Borik asit ve amonyak'ın buharlaşabilirliği düşüktür; fakat ayırımın gerektirmediği buhar baskın arazilerde buharla önemli konsantrasyonlarda elde edilebilirler. Öte yandan hidrojen sülfür ve cıva daha buharlaşabilir ve CO_2 çok buharlaşır. Orijinal jeotermal akışkanın bu bileşenleri çoğu ayırımda buhar faza transfer olur.

Atık gazın atmosferde dağılıma oranı çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar;

- S Meteoroloji ve topografya
- S Deşarjın yapısı (direkt atık yada soğutma kulesi atığı)
- S Gaz kirleticilerin kimyasal stabilitesidir.

Rüzgarın etkisi, topografya ve soğutma kulesi yada atık gazın yapıları arazilerde çok farklıdır. Bu faktörlerin potansiyel etkileri, çeşitli konsantrasyonlarda atmosfere verilme şartları ve atmosferde dağılımı bilgisayar programı kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Bununla birlikte atmosferden yağmur damlaları yada sis ile ayrılan kirleticilerin oranı gazın çözünürlüğünden etkilenir. Örneğin; amonyak gazı atmosferden hızlıca liç olur, çünkü suda kolay çözünür. Bununla birlikte cıva buharı, atmosferde daha uzun süre kalır ve geniş alanlara yayılabilir.

Kirleticilerin kimyasal formları değişebilir ve bu genellikle toksitesi değişimine uygundur. Örneğin; hidrojen sülfür sis içinde olan nem tanelerinde toksik olmayan tiosulfat($S_2O^{2-}_3$), sülfid(SO^{2-}_3) ve son olarak sülfat(SO^{2-}_4) gibi çözünmüş sülfür oxyanyonlarına dönüşebilir. Eğer nem damlaları nötral yada alkali pH'a sahipse Hidrojen sülfid hidrojen iyonunu kaybederek daha az toksit olan bisülfid iyonu (HS^-)'a dönüşebilir. Aynı şekilde $pH = 7$ nötral suda çözünen amonyak daha az toksit amonyum iyonu (NH^+_4)'na dönüşür; ki daha sonra nitrat (NO^{3-}_3) gibi oxyanyon formuna okside olabilir. Yağmur suyunda bulunan kirleticiler toprağa yada bitki yapısına girer ve atık ve yeraltı ve yüzey suları kimyasını etkiler. Bu etkiler gaz ve buhar deşarjın ikincil etkileri olarak anılırlar.

Gaz kirleticiler çevre ve insan sağlığını olumsuz etkileyebilir. Hava kalitesi için kirleticilerin deşarj miktarı ayarlanabilir.

1.1.1 Karbondioksit

Jeotermal santralinin gaz boşalımında karbondioksit insan sağlığında direkt etkisi vardır. Bununla birlikte; karbondioksit metan gibi sera etkisi yapan bir gazdır. Bu nedenle negatif çevresel etkisi nedeniyle dikkate alınmalıdır. CO_2 , H_2S gibi su ve buhar fazda salınabilir.

CO_2 'in atmosfere deşarjı global ısınmaya neden olur. Petrol ve kömür santralleri ile jeotermal santraller karşılaştırıldığında jeotermal santralden CO_2 verilmesi düşük olmasına rağmen; uluslararası antlaşma gereği (Kyoto Protokolü, 1997) ülkelerin CO_2 üretiminin azaltılması nedeniyle dikkat çekici olmaktadır. Jeotermal enerji CO_2 üretiminin uygun olduğu ve yenilenebilir enerji kaynağı olduğunda tercih edilmektedir.

1.1.2 Hidrojen Sülfid

Hidrojen sülfid çürük yumurta kokusu ile çok düşük konsantrasyonlarda (yaklaşık 0.3 mg/kg civarında) algılanabilir ve yüksek entalpili alanların karakteristik bir göstergesidir. H_2S atmosferden yağmur ile uzaklaşır ve fümerollerde okside olur. Hidrojen sülfür boşalımı insan yaşamında yada çalışma ortamında koku problemi nedeniyle sorun yaratabilir. Ancak koku konsantrasyonun belirlenmesinde güvenilir değildir; ve yüksek konsantrasyonlarda insan sağlığına etkileri çok önemlidir. Tıpkı karbondioksit gibi hidrojen sülfür ağır gazdır ve alçak alanlarda birikir. Sonuçta; aspiratörlerde, drenaj ve borularda havayla karışmadan değişik uzaklıklara taşınabilir.

Çevre üzerinde hidrojen sülfütün etkisi özellikle yüzey sularındaki potansiyel kirleticiler ve yağmur suyundaki hidrojen sülfür gibi kalan okside olmayan gazların ikincil etkileri sınırlandırılabilir. Buna rağmen sülfür emisyonu ve bölgesel yağmur asidifikasyonu arasında direkt bağlantı kanıtlanmamıştır.

Olkaria-Kenya Jeotermal Sahasındaki H_2S konsantrasyonunun uzaklık ile değişii ölçülmüş; rüzgarın sakin olduğu, yüksek nemlilik ve atmosferik sıcaklığın düşük olduğu dönemlerde yüksek H_2S deüerleri elde edilmiştir. Ölçümler güç santrali civarında rüzgar hızı ile H_2S konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Santralden uzaklaştıkça H_2S konsantrasyonları düşüş göstermektedir. Santralden 0.5 km uzaklık insan, hayvan ve bitki yaşamı için güvenli olmaktadır.

Günümüzde pekçok jeotermal güç santrali H_2S atmosfere salmaktadır. İnsan için H_2S 'in psikolojik etki sınırları düşük konsantrasyonlarda (0.06 ppm) kokudan, yüksek konsantrasyonda (>600 ppm) 1 saat solunması ile ölüme kadarsır. Bitkiler için H_2S 'in düşük konsantrasyonlarda; 0.03-0.1 ppm konsantrasyonlarda bitki büyümesi için yararlıdır. 0.3-3 ppm çoğu bitkilere zarar verebilir, daha yüksek konsantrasyonlar yapraklarda doku bozukluğu, büyüme azalmasına neden olur. Atmosferde sülfür oksitlerine (SO_x) oksitlenir ve su ile yeryüzüne ıslak yada kuru olarak düşer. Bu yüzden jeotermal güç santrallerinin asit yağmurları gözlemlenmelidir.

Cerro Prieto-Meksika Jeotermal gücü santralinden atmosfere yayılan H_2S değerleri toplum sağlığı için riskli değildir (Yıllık 130 ppb) ancak kokusu ile farkedilmektedir ve Jeotermal projelerin geliştirilmesi ile H_2S değerlerinin 300 ppb olacağı tahmin edilmektedir. H_2S için risk sınırı 30 mikrogram/kg-ppb'dir.

1.1.3 Cıva

Deşarj edilen cıva buharı atmosferde geniş alanları olumsuz etkileyecek sürede kalır. Cıvanın kanserojen yapıcı olup olmadığı kanıtlanmamıştır. Ancak besin zincirinde birikim yaptığı bilinmektedir. Sonuç olarak salınan cıvanın toplam miktarı (flux yada taşınan) havadaki konsantrasyonu açısından önemlidir.

Solunum yapıldığında, cıvanın büyük bir miktarı vücutta kalır (yaklaşık %80) ve böbreklerde depolanır. İlk etkileri böbreklerde göstermesine rağmen merkezi sinir sistemi kritik organdır. Buhar etkisine uzun süreli maruz kalınması titreme ve sonunda deliliğe neden olur. Cıvanın atmosfer konsantrasyonunun artmasının yanında besin zincirinde, bitki, balık yada kuşlarda birikmesi de önemlidir.

1.1.4 Diğer Gazlar

Psikolojik problemlere neden olup insan sağlığına toksit olan amonyak gazı koklandığında hoşlanılmaz. Yağmur sularındaki amonyakın neden olduğu ikincil etkiler daha az belirgindir, çünkü doğadaki amonyak iyonu ve nitrat gibi oxyanyonlar daha az toksiktir.

Gaz deşarjında genellikle borik asit konsantrasyonları düşüktür. İnsan sağlığında borik asit gazının etkisinin az olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte borik asit bulaşmış toprak yada sulama suları bitki büyümesine olumsuz etki yapabilir. Sonuç olarak borik asitçe zengin buhar yada gaz deşarjı, özellikle yüzey suları ve toprak kirliliği önemli etki olmaktadır.

1.1.5 Etkilerin Azaltılması

Çevresel ve halk sağlığına etkiler gaz kirleticilerin havadaki konsantrasyonlarının ulusal ve uluslararası hava kalitesi standartlarını geçmemesi sağlanarak minimize edilebilir (Tablo 1).

Tablo 1: WHO (1987)'a göre hava kalitesi için jeotermal gaz kirleticilerin sınırları

Kirleticisi Gaz	Miktar (mg/kg)	Ortalama Etki Zamanı (saat)
Karbon dioksit	7500	8
Amonyak	15	8
Borik Asit	8	8
Hidrojen Sülfür	0.13	24
Cıva	0.001	12 ay

Havadaki gaz kirleticilerin konsantrasyonları düzenli olarak ölçülmelidir. Bu ölçümler geniş çaplı çevresel ölçme programının bir parçası olmalıdır. Eğer havanın kalitesi belirlenen miktarları aşmaya başlıyorsa yada başlama eğilimi gösteriyorsa işletme koşulları yada santralin dizaynı değiştirilmek zorunda olabilir. Kondenser operasyonu geliştirilmeli yada H_2S gibi kirleticilerin gaz atımından uzaklaştırılması amacıyla ara işlemler eklenmelidir. Bu tarz işlemler geçmişte Geysir buharından

sülfür ekstraksiyonu dahil çeşitli değerli kimyasalların ve Larderello'daki buhardan bor, amonyak ve sülfür kazanılması amacıyla yapılmıştır.

Hava kalitesi standartlarında genellikle gaz kirleticilerin yüzey suları ve topraktaki ikincil etkileri dikkate alınmamaktadır. Örneğin; ürünler yada bitkiler havadan yağış olarak yağ yada kuru çökme yoluyla kirleticilerin zararı ile karşılaşabilirler. Bu durumda toplum sağlığına ek etkiler dolaylı etkilerdir. Hava kalitesini belirleyen standartlar sadece havanın solunması ile doğrudan etkilenmeyi dikkate almaktadır. Ayrıca karasal doğal yaşam ve depolanmanın pek çok durumda gaz kirleticiler için belirli toleranslara sahip olduğu kabul edilmektedir.

1.2 Su Kalitesine Etkiler

Yüzey sularının kirlenmesi jeotermal arazi gelişimleri sonucunda da olabilmektedir. Eğer sıvı nehir yada akarsuya deşarj edilirse kirlenme doğrudan oluşur. Kirlenme dolaylı olarak yeraltı suyunun yada yüzey sularının kirlenmesi şeklinde de olur. Tüm atık sular arazide tamamiyle reenjekte edilse bile, kirleticiler yüzey sularında yeraltı suları sistemi yada gaz deşarjın ikincil etkilenme aracılığıyla zengin kalabilirler. Örneğin, yeraltı suyu kirlenmesi atık su yada yoğunlaşmanın reenjeksiyonu boyunca yada kuyu deşarjı ve sondaj sıvısı için havuzlarda tutulan suyun sızması şeklinde olabilir.

Jeotermal kirleticiler suyu kaynak olarak kullanarak sıvı ekosistem ve karasal ortamı etkileyerek nehir yada akarsuların içine karışarak su kimyasını değiştirir. Aynı kirleticiler doğal jeotermal sularda bulunmasına rağmen, bunların toprakta çökme ve dolayısıyla konsantrasyonlarını artırma eğilimleri vardır. Bu yüzden çevresel etkiler daha çok bölgeseldir.

Yüzey suları ayrıca kimyasal atıkların işletme süresince atılması yada sızma nedeniyle kirlenebilirler. Ancak bu önlenemez problemlerdir. Bununla birlikte ortamda depolanan sondaj sıvılarının, sıvı yakıtların, yağlama maddelerinin, çökeltim önleyicilerin ve diğer özel kimyasalların potansiyel çevresel etkileri çevresel etkiler boyunca dikkate alınmalıdır.

Buhar ve gaz deşarjı ile birlikte sıvı deşarjdaki kirleticilerin konsantrasyonları rezervuar jeokimyası tarafından belirlenir ve güç üretimi için işletme şartları kullanılır. Atık su ve yoğunlaşmada büyük olasılıkla bulunan kirleticiler;

- S Lityum
- S Borik asit
- S Arsenik
- S Cıva
- S Hidrojen sülfür
- S Amonyaktır.

Atık sular ayrıca yüksek tuzlu olabilirler ve antimuan, talyum, gümüş ve selenyum gibi jeotermal sıvılarda bulunan eser elementler ölçülebilir konsantrasyonlarda olabilir.

Tipik olarak yoğunlaşma sıvısı atık suya göre hidrojen sülfür ve cıva gibi buharlaşabilir kirleticilerin daha yüksek konsantrasyonlarına sahiptir. Oysa atık su buharlaşmayan yada lityum, arsenik, bor gibi az buharlaşanların daha yüksek konsantrasyonlarını içerir. Tablo 2'de buna örnek verilmiştir.

Tablo 2. Belirli jeotermal alanlarda atılan jeotermal atık sularındaki kimyasal kirleticilerin Konsantrasyonları

	CH ₄	NH ₃	H ₂ BO ₃	Hg	As	U
Salton Sea (ABD)	16	386	2231	6.0	12	215
Cerro Prieto (Meksika)	0.16	127	109	0.05	2.3	—
Wairakei (Yeni Zelanda)	1.7	0.20	172	0.12	4.7	14
Okaaki (Yeni Zelanda)	1.0	2.1	276	0.05	8.1	11.7
Haveragerdi (İzlanda)	7.3	0.1	3.4	—	0.0	0.3
Kizildere	—	20	160	—	0.6	4.5
Tipik Nehir Suyu	<0.1	0.04	0.05	0.00004	0.002	0.003

1.2.1 Çevre Tarafından Alınan Kirleticinin Davranışı

Aynı kirleticilerin farklı kimyasal formları çevreyi farklı etkiler ve önemli olan kirleticinin o andaki formunun bilinmesidir. Kimyasallara ılımlı, tutucu denmesinin amacı; bunların reaksiyona girmemesi ve çoğu doğal sıvı ortamlarda tek kimyasal yapıda olmasıdır. Lityum tutucu davranır, örneğin; Li⁺ jeotermal sıvıda atık su borularında ve yüzey sularında Li olarak kalır. Çözünmüş borik asit (H₃BO₃) de suda pH çok alkali (>9) olmadıkça tutucudur, pH > 7 olduğunda hidrojen iyonunu kaybedip H₂BO₃ formuna girer.

Diğer jeotermal kirleticiler daha kompleks davranırlar. Örneğin, arsenik için iki tane oksidasyon hali vardır. As^{III} ve As^V. Ayrılmış atık sıvı ortama verildiğinde; As^{III} As^V'e genellikle arsenat iyonunu (H₂AsO₄⁻) okside olur. Arsenik fosfat yerine bitkiler tarafından kolayca alınır, ve bitkilerde inorganik arsenik olarak depolanır.

Jeotermal sıvılardan çözünmüş elemental cıva (Hg⁰) atık sularında Hg⁺ ve Hg²⁺ iyonları formunda okside olur. H⁺ iyonları HgCl₂ gibi duraylı kompleks formunda olmak üzere kolayca klor, iyot ve bromür iyonları ile reaksiyona girerler.

Sülfür kompleks yapan başka bir kirleticidir. Atık suda H₂S pH>7 olduğunda bisülfid iyonuna (HS⁻) bozuşur yada thiosülfat (S₂O₃²⁻), sülfid (HSO₃⁻) ve sülfat (SO₄²⁻) gibi çeşitli sülfür oxyanyonlara okside olur. Ayrıca belirli oranda çözünmüş gaz olarak H₂S atık su borularında atmosfere yayılır.

Sülfür gibi azot jeotermal sıvılarda baskın formda olan redüklenmiş amonyak ile çeşitli oksitlenmiş yapılarda bulunabilir. Sıvı ayrıldığında amonyak daha az toksit amonyum iyonuna (NH₄⁺) dönüşür.

Atmosferik oksijen yada oksijene olmuş sular ile temas oksidasyon derecesini artırır ve dışarıda jeotermal azot inorganik azot bağlı bileşiklerin konsantrasyonunu sağlayan bakteriyel oksidasyon ve redüksiyon olan yerde kompleks biyokimyasal azot çevrimi parçası olur. Bunlara çözünmüş moleküler azot N₂, NH₃, NH₄⁺, nitrit (NO₂⁻) ve nitrat, amino asitler, aminler, proteinler ve humikli materyaller gibi organik bileşikler dahildir.

Kirleticiler yüzey yada yeraltı sularından sedimentlerce adsorbsiyon yada çökeltme ile uzaklaştırılabilirler. Arsenik, bor ve cıva; kil ve okside yüzeyler ve organik madde tarafından adsorbe edilirler. Bu sürekli olmayabilir. Adsorblanan kirleticiler kimyasal şartlar değiştiğinden yada bakteriyel aktivite değiştiğinde sedimentten tekrar salınabilir. Örneğin, mikrobial redüksiyonla adsorblanan cıva suya metilciva olarak cıva bırakabilir. Mineral çökeltmesi çok nadiren çözüldüden kirleticileri uzaklaştırabilir; cinnabar(HgS) yada pirit (FeS₂) çökeltimi uygun anaerobik şartlarda oluşabilir. Amonyak, hidrojen sülfür ve cıva gibi uçucu kirleticiler de atmosfere verilebilir.

Bunun yanında lityum; sudan kolayca uzaklaşmaz., ve jeotermal sıvı göçü ve seyrelmesinde tracer olarak davranır.

1.2.2. Toksiklik ve Çevresel Etkiler

Kimyasal maddelerin, topluluklara biyolojik etkide bulunmadıkça çevreye verilmesi problem olmaz. Bunun için negatif etkisi olmalıdır. Kimyasalların çevreye verilmesi durumunda ekosistemin tamamıyla korunması gerekmektedir.

Yüzey sularının kalitesinin bozulması çevreyi geniş çaplı etkiler. Bu etkiyi şu şekilde sınıflandırabiliriz;

- S Sıvı yaşam
- S Depolama, (eğer su depo suyu olarak kullanılıyorsa)
- S Ürünler, (eğer su sulamada kullanılıyorsa)
- S İnsanoğlu, eğer su içme suyu olarak kullanılıyorsa, yada susal hayvan yada bitkilerde stoklanıyor yada bu ürünler doğrudan tüketiliyorsa.

1.2.2.1 Lityum ve Borik Asit

Eğer yüzey yada yer altı suları sulamada kullanılıyorsa, ürünler ağaç yapraklarına zararlı olan yüksek bor ve lityum konsantrasyonları ile olumsuz etkilenir. Etkilenimin derecesi ürünün dayanıklılığına ve toprak tipine bağlıdır. Bazı topraklar oldukça az borik asit adsorbe eder ve toprağın bor tarafından etkilemesi etkisini azaltır. Eğer bitki bu tür toprakta yetişiyorsa borun toksit etkisinden korunacaktır. Bor insan sağlığını olumsuz etkiler. Örneğin, yüksek bor konsantrasyonlu bor içme suyu insanda kilo kaybı ve bağırsak sistemi rahatsızlıklarına neden olur.

1.2.2.2 Arsenik

Yüksek konsantrasyonlu arsenik içecek sudan çok özellikle yiyecek yada içecek alımıyla zamanla oluşan akut zehirlenmeye ; stok ve sulu yaşamda zehirlenmeye neden olur. Kirlenmiş suda büyüyen bitkiler inorganik arseniğin yüksek konsantrasyonları birikir ve böylece zehirli olabilir. Bu durum Yeni Zelanda'da Waikato Nehri'nde saptanmıştır. Nehre Wairakei ve Ohaaki'den drenaj olmaktadır. Nehirdeki susal bitkiler 6000 mg/kg üzerinde As içermektedir. Nehirdeki istenmeyen otlar alınıp kıyıya bırakıldığında kıyıdaki bitkilerin ölmesi olayı kanıtlanmıştır.

Sedimanlarda birikmiş arsenikte dikkatle incelenmelidir. Boşaltılan arsenik As'çe zengin sedimentler ile yeniden nehre dönebilir.

Arsenik ağaç yapraklarında renk bozukluğuna neden olur. Örneğin; eğer arsenik bulaşmış toprakta bütün yetişirse bu anlaşılır.

Arseniğin direkt kanser neden olduğu ve WHO(1993) tarafından dikkatle incelenmesi belirtilmiştir. Yeraltındaki arsenikçe zengin kayaçlar tarafından yeraltı sularına da yüksek oranda arsenik verilebilir.

1.2.2.3 Cıva

Çözünmüş cıva sudan adsorbsiyon ile kolayca uzaklaştırılır. Bunun anlamı jeotermal sıvıdaki cıva oranından çok nehre yada çevre suyuna verilen cıvanın toplam miktarının dikkate alınmasıdır. Cıva bakteriyel işlem ile cıvadan daha toksit olan methyl cıvaya dönüştürülerek sedimalardan tekrar uzaklaşabilir ve bu biçimde sulu yada karasal besin zincirinde birikir. Bunun için güzel bir örnek Yeni Zelanda 'da Waikato Nehri'nde vardır. Jeotermal alanlara yakın göllerdeki sedimanların cıva konsantrasyonları 0.4 mg/kg civadadır. Alabalıklar jeotermal alanların yukarı akımlarından 5-15 kat daha fazla cıva içermektedir.

Cıva susal bitkilerde ve hayvanlarda baskın olarak methylciva şeklinde birikir. İnsanoğlu için çok toksit etkisi olan methyl cıva merkezi sinir sistemine zarar verir.

Civanın insan tarafından alımı doğrudan içme suyundan daha çok özellikle yiyecekler yoluyla oluşur. Örneğin, 1960'larda Japonya'da oluşan önemli civa zehirlenmesi, endüstriyel atıkların yakınında tutulan balıkların tüketilmesi sonucu olmuştur.

İnorganik civa biyobirikim göstermez, fakat eğer yüksek miktarda alınırsa böbrekleri etkileyebilir. Hayvanlar inorganik civa ve metilcivaya bitkilerden daha duyarlıdır. Sonuç olarak; tatlı su ve birikmiş sulardaki civa konsantrasyonları toksit etkisinden ve besin zincirindeki biyobirikimden korunmak amacıyla kontrol edilmesi gerekmektedir.

1.2.2.4 Hidrojen Sülfid

Suda çözülmüş hidrojen sülfidin insan sağlığını olumsuz etkileyecek yüksek konsantrasyonlara ulaşması olası değildir. Su hidrojen sülfid kokabilir ve çok düşük konsantrasyonlarda bile tadı lezzetsiz olabilir. Bu yüzden normalde içme, birikim yada sulama sularında hidrojen sülfid konsantrasyonu için önerilen limit yoktur.

Bununla birlikte, çözülmüş gaz olan hidrojen sülfid balıklar ve sudan çözülmüş oksijeni alan susal yaşamlar için oldukça toksiktir. Hidrojen sülfid pH artışıyla daha az toksit olan bisülfid iyonuna dönüşmesi ile susal yaşam olan toksitise azalır.

1.2.2.5 Amonyak

İçme sularındaki çözülmüş amonyak tat ve renk problemleri oluşturabilmesine rağmen insan sağlığını direkt olarak etkilemez. Bununla birlikte, yüzey sularında amonyak bitki için çok önemli besleyici olan nitrat formuna okside olur. Eğer susal bitki gelişimi nitrat konsantrasyonu ile sınırlandırılırsa; nitral konsantrasyonun artması istenmeyen susal yabancı otların büyümesine yol açar. Bu nehir yada akarsuyu tıkayabilir, oksijeni tüketir.

1.2.2.6 Tuzluluk

Eğer tuzlu jeotermal sıvı ile kirlenmiş su sulamada kullanılırsa; bitkilerde olumsuz etkiler olabilir. Sodyum ve klordaki gibi iyonları toksit etkisinin direkt olmasıyla birlikte nem isteyen bitkilerin yaptığı ozmotik işlemi toprağın tuzluluğunun artması olumsuz etkiler. Bazı ürünler, özellikle badem ve kayısı gibi çekirdekli meyvalar; sodyum ve klor konsantrasyonlarına çok duyarlıdır. İçme suyunun tuzluluğunun artması ağırlık kaybı, süt yada yumurta üretimi azaltılmasına neden olur. Tatlı su susal yaşam da su tuzluluğu değişimine oldukça hassastır.

1.2.3 Etkilerin Azaltılması

Yüzey sularının atık su yada yoğuşmuş su ile direkt kirlenmesinin önlenmesi genellikle bu sıvıların araziye reenjeksiyonu yoluyla olur. Ancak bu da yer altı sularının kirlenmesine neden olur. Yeraltı sularının kirlenmesi yeraltı suyu akiferi boyunca reenjeksiyon kuyularında casing (çelik çekme boru) kullanımı ve biriktirme havuzlarında istenmeyen sızıntıları önlemek için kaplama yoluyla önlenir.

Kirleticilerin uzaklaştırılması bir tercihtir ve işlem tesisine ticari girdiyi sağlar. Kimyasalın kazanılması, saflaştırılması ve satışı mümkün olabilir. Saf kalsiyum silikat, koloidal silika, arsenik, lityum, altın ve gümüş eldesi bazı alanlarda (özellikle Yeni Zelanda) ve farklı derecelerde başarılarla denenmiştir. Ayrıca işlenmiş atık su suyun az bulunduğu alanlarda kullanım suyu olarak kullanılabilir. Çoğu ülkeler susal ekosistemleri ile içme, sulama, stoklama gibi özel amaçlar için kullanılan suyun korunması amacıyla standartlarını geliştirmekte yada adapte etmektedirler. Kılavuzlar ve standartlar (genellikle kılavuzlar yasal statüdedirler) sudaki kirlilik konsantrasyonları için en yüksek sınırı koşul koyar ve suyun özel kullanımını belirler. Bu önerilen değerlerin üzerindeki seviyelerde ya doğrudan yada dolaylı olarak biyolojik yaşama etki beklenir. Bu sınırların altında, uzun yada kısa vadede etki olmaz çevresel kalite devam eder.

1.3. Çevreye Fiziksel Etkiler

Jeotermal alanın araştırılması, geliştirilmesi ve uygulanması kaynağın çevresindeki fiziksel çevreye önemli etkiler yapar. Başlangıçta jeokimyasal ve jeofiziksel ölçümler için yol açmak amacıyla yapılan çalışmalar nedeniyle yapılan araştırma kademesi boyunca; etki az olacaktır. Eğer karar araştırma sondajlarını yapmaya yönelik olursa bu aşamada ulaşım yolları ve sondaj patikaları gerekir. Sondaj çalışmalarından dolayı gürültü emisyonu olur. Gelişmeler arttığında, daha sonraki sondajlar, boru hatları ve santral için daha çok alana ihtiyaç duyulur ki fiziksel etkiler artar. Ayrıca bu oluşumlar sırasında, gürültü kirliliği artar. Yerel su yolları (kanallar) da etkilenir ve manzaranın görüntüsü büyük yeryüzü çalışmaları ile şiddetlice değiştirilebilir. Araştırma aşamasıyla, fiziksel çevrede pek çok sayıda yeni etkiler önemli olur. Doğal jeotermal aktivite artar yada azalır, yerel iklim etkilenebilir, büyük hacimlilik su yerel su kanallarının termal kirliliğine katkıda bulunabilir ve bazı alanlar çökmeye maruz kalabilir

1.3.1 Gürültü

Gürültü jeotermal aktiviteden çevreye özellikle inşa ve operasyon aşamalarında zarar veren önemli etkilerden biridir. Gürültü "istenmeyen ses" olarak tanımlanabilir ve her aşamada bu etkinin azaltılmasına özen gösterilmelidir. Çoğu jeotermal alanlar gürültü seviyesi düşük ve ekstra gürültünün dikkat çektiği uzak alanlardadır.

Gürültü araştırma sondajlarında, inşa ve üretim fazlarında oluşur. Havalı sondaj en gürültülü (120dBA)'dür. Uygun susturucu ile 85 dBA civarına indirilebilir. Çamur sondajı 80dBA civarında gürültü ile daha sessizdir. Dizel motorların çalıştırdığı kompresörler ve elektrik üreticilerde uzak mesafeler taşıyan yankılanan sesler üretir.

Sondajı takip eden period kuyu deşarjıdır. Dikey deşarj çok gürültülüdür (120 dBA yukarı), fakat kuyuların temizlenmesi ve sondaj kırıntılarının uzaklaştırılması için gerekmektedir. Bundan sonra, normal kuyu testi aşaması vardır. Bu aşamada susturuculu silenser kullanımı ile uygun şartlar sağlanabilir. Ancak hala hissedilebilir. Gürültü(70-110dBA) vardır. Yeni dizayn edilmiş silensirlarda gürültü önemli ölçüde azaltılmıştır. Bu aşamayı gürültünün 85 dBA civarında olduğu 65 dBA'e indirilen kuyu üretimi izler.

inşa aşaması ağır makinaların kullanımı (90dBA üstü) ile normal ses getirir. Uygun susturucu ile yüzeyde hareket eden ekipmanların gürültüleri azaltılır. Üretim dönemi boyunca, buharın borularda dolanması ve ara sıra deşarj salımı ile gürültü vardır. Bunlar normal olarak kabul edilebilir. Güç santralinde asıl gürültü kirliliği soğutma kuleleri fanlarından, buhar tahliyelerinden ve türbin çalışmasından gelir.

1.3.2 Doğal Alana Etkiler

Sıcak su kaynakları, çamur havuzları, gayzerler, fümeroller gibi doğal yüzey özellikleri çoğu jeotermal sistemler ile çağrışım yaparlar. Hepsinin ortak doğal özelliği, turistler tarafından ilgi çekmeleri ve bölgesel yerleşimlerde kullanılmalarıdır. Aynı rezervuardan jeotermal kullanım bu türlerin potansiyelini etkiler. Jeotermal aktivitenin görünen belirtisi, ülkenin mirası ve her jeotermal gelişmede, çevresel etki raporu boyunca dikkate alınmalıdır.

Araştırma safhasında, doğal çıkışlar normal olarak sıcaklık, sıvı akışı, ısı akışı, kimya ve derin rezervuar hakkında bilgi almak için araştırmalar gibi bilgilerle analizlendirilirler. Bu bilgi ayrıca özellikler için düzenli ölçüm programının çekirdeği olmalıdır.

Bölgesel hava durumu ve yağışlar gibi bölgesel sismoloji ve çökme gayzerlerin bir etkisinin olabileceği işaretlenmelidir. Jeotermal gelişmelerin yüzeydeki jeotermal türlere direkt etkisini tahmin etmek zordur.

Bununla birlikte, işletilen jeotermal alanlarda gözle görülen bir tecrübe vardır ve genel fikirler yapılabilir.

Su baskın sistemlerde, derin jeotermal suyun akışına bağlı yüzeylenmeler derin rezervuarın üretilmesi ise azalma eğilimi gösterirler. Wairakei'de başlangıç üretimi boyunca derin rezervuarda su seviyesinin 200 m'ye düştüğü yerde, gayzerlerin ve doğal kaynakların olduğu Wairakei Geyser Valley'deki termal alan yok olmuştur.

Buhar baskın jeotermal sistemlerde, ki başlıca hareketli sıvı buhardır; rezervuar başmandaki azalma direkt olarak yüzey deşarjlarında azalmayı etkiler. Bu doğal aktivitenin buhar ve gaz jetlerinden oluşan Larderello'da kanıtlanmıştır.

1.3.3 Hidrotermal Püskürme

Çok nadir olmakla birlikte, hidrotermal püskürmeler aktif jeotermal sahalarda potansiyel zarar vericidir ve çevresel etki değerlendirme içine dahil edilmelidir.

Aşağıdaki noktalar, hidrotermal püskürme olasılığının incelenmesinde dikkate alınmalıdır.

- S Daha önceleri hidrotermal püskürmelerin oluşması yada kanıtları
- S Rezervuar basıncı düşmesi yada buhar zonu artışından yüzeye buhar akışının artışı
- S Güçlü yayımlı yada aşırı ısınmış buhar emisyonu ve yoğun olmayan düşük yoğunluklu sığ formasyonlar
- S Yüzeye yakın akifer sıcaklıklarının derinlikle kaynama noktasına yaklaşması
- S Sondaj süresince sığ gaz cepleri, dolaşım yada blowout

1.3.4 Çökme

Her tür yeraltı rezervuarında sıvı çekimi, gözenekli alanda basınç azalmasına neden olur ki bu çökmeyi oluşturmaktadır. Çökme yeraltı suyu rezervuarlarında, petrol rezervuarlarında ve jeotermal rezervuarlarda gözlemlenir. Çökme jeotermal güç üretimi için pek çok anlama sahiptir ve çevresel etkisi vardır, hareketi jeotermal sahada boru hatlarının drenaj ve kuyu casingların stabilitesinde önemli sorunlar yaratır. Eğer arazi yerleşim yerlerine yakın ise çökme çekme kuyuları ve diğer binaların stabilitesinde problemlere neden olur. Mekan olmayan daha uzak alanlarda, bölgesel yüzey su havza sistemleri etkilenebilir. Bu yüzden etkiler ve olası çökme çevresel etki kapsamında kabul edilmelidir. Benzer şekilde, çekim öncesi sistem yerleştirilmeden önce temel seviyeler araştırılıp belirlenmelidir. Böylece çekim nedeniyle seviyede tektonik değişmelerin olup olmadığı belirlenmiş olur.

Çökmenin su baskın alanlarda buhar baskın sahalara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Kaydedilen en büyük çökme Yeni Zelanda Wairakei'dedir. Wairakei'de ki çökme üretim öncesi ve üretim süresince ölçülmüştür. Wairakei tektonik aktif zonda yer almaktadır ve yıllık yaklaşık 5 mm çökmeye sahiptir. Üretimin ilk yıllarında arazinin kuzeydoğu kıyılarında büyük çökme oranı belirlenmiştir ki değer max. çökme 450 mm/yıldır. Bu şimdilerde yaklaşık 300 mm/yıl'a gerilemiştir

Düzenli seviye araştırmaları Yeni Zelanda Ohaaki jeotermal sahasında deşarj ve üretim periodları boyunca çökmenin olduğunu göstermiştir. Yine aynı sahada ılık ve sıcak doğal havuzlarda soğumaların olduğu saptanmıştır. Ohaaki doğal havuzunda test yapılmış ve test süresi boyunca 1978-1987 yılları arasında su seviyesi 9.5 m düşmüştür. Test sonrası su seviyesi tekrar yükselmiştir. Yeraltı su seviyesinde de birkaç metre düşüş gözlemlenmiştir.

Eğer rezervuardan alınan sıvı oranında rezervuara sıvı enjekte edilmezse kütle kaybı nedeniyle gravite azalması oluşur. Bu nedenle üretim boyunca yükseklik ve gravite değişikliklerinin ölçülmesi rezervuarda oluşan değişikliklerin belirlenmesinde önemli ve değerli bilgiler verir. Örneğin; İzlanda Krafta alanında 1976 yılından beri üretim yapılmaktadır; yalnızca Svartgengi jeotermal sahasında önemli gravite değişikliği gözlemlenmiştir. İzlanda Reykjanes Yarımadası'nda üç adet yüksek sıcaklıklı

jeotermal alan bulunmaktadır (Svartsengi, Eldrop ve Reykjanes). Svartsengi jeotermal sahasında üretim yüzünden farkedilebilir yükselti ve gravite değişikliği saptanmıştır. Svartsengi'deki maksimum çökme 10 mm/yıl ve gravite düşüşü 5[^]gal/yıl'dır. Dünyadaki diğer alanlar ile karşılaştırıldığında bu değer çok yüksek değildir. Svartsengi

Glowacka, Meksika Cerro Prieto jeotermal sahasında çökmenin ortalama olarak 100 mm/yıl olduğunu belirtmiştir. Filipinlerde Bulalo jeotermal sahasında gravite azalmasının 26 ugal/yıl olduğu açıklanmıştır. Mosson ve Segall ABD Kalifornia Geyser sahasında çökmenin 48 mm/yıl olduğunu 1973'ten beri toplam çökmenin 1.09 m olarak kaydedildiğini belirtmiştir. Vadon ve Sigmundsson Svartsengi, İzlanda'da maksimum çökmenin 20 mm/yıl olduğunu ölçmüşlerdir. Yine Massonnet ABD East Mesa jeotermal sahasında çökmenin 19 mm/yıl olarak tespit etmişlerdir.

1.3.5 Depremlerin Oluşumu

Jeotermal sahalar genellikle yüksek sismik aktiviteli alanlarda oluşurlar. Bu durumda, tümüyle jeotermal alandan çekimle ilgili olmayan, depremler sürekli olur. Düşük ölçekli mikro depremler sismik olaylardır ve sadece cihazlar ile ölçülebilir. Bu sismik aktivite jeotermal sistemler aktif olarak üretilsin yada üretilmesin vardır ve yeraltı yüzeyi kolları boyunca suyun akışı ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir. Pek çok jeotermal sahada mikro deprem aktivitesinin araştırılması yapılmaktadır ve bölge fay yapılarının pozisyonu hakkında bilgi verebilecek yer kanıtları vardır.

Üretim ve reenjeksiyonu direkt etkileyen mikro depremler Geysers'de gözlemlenmiştir. Fakat dünyada herhangi bir yerde sismiğin neden olduğu üretim zararı kayıtlanmamıştır.

Sıvının derin formasyonlara enjeksiyonunda depremlere neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu olay; Colorado'da Rock Flats alanında 3000 m derinliğe atık suyun enjeksiyonundan sonra bölgeye yakın şehirlerde pek çok sayıda depremin hissedilmesi ile saptanmıştır. Benzer şekilde, Wairakei'de jeotermal sahasında yüksek basınç altında reenjeksiyon bölgede depremlerin hissedildiğinde durdurulmak zorunda kalınmıştır.

Ohaaki sahasında 1987-1992 yılları arasında sismik ölçümler yapılmıştır. Gözlemler sonucunda üretim sırasında sismik aktivitenin düşük olduğu saptanmıştır.

1.3.6 Atık Isı

Farklı elektrik üretimi yöntemleri için atık ısı miktarları aşağıdaki gibidir.

İslem	-1.86
File Off	1.2
	1.2
	4.5
	9.7

Jeotermal sistemlerden enerji üretilmesiyle büyük oranda atık ısı oluştuğundan bunun çevresel olarak kabul edilmesi için dağıtılması gereklidir.

Buhar baskın sistemlerdeki atık ısı soğutma kulesi atıkları formunda atmosfere yada soğutma kuleleri su dış akımları formunda yüzey sularına deşarj edilebilir. Su baskın sistemlerde; atık ısı su ve buharla ayrılır. Su baskın jeotermal sistemlerin su içeriklerindeki atık ısı miktarı binary cycle tesislerde artırılmaktadır. Bu yolla, sıcaklık azaltılır ve sonuç olarak çevresel etki azaltılır. Aynı şekilde, pek çok jeotermal işletmeler şimdilerde atık jeotermal sıvıyı derin reenjeksiyon ile atar ki reenjeksiyon ısı içeriği yüzünden çevresel etkileri kabul edilebilir.

Atmosfere deşarj bölgesel iklimi etkiler, oysa yüzey sularına deşarj bölgesel bitkisel yaşamı etkiler. Genelde, biyolojik etkiler daha tehlikeli olarak kabul edilir. Bu yüzden eğilim yüzey deşarjından çok buharın atmosferik deşarjına doğrudur.

Jeotermal enerjinin termal etkisi global ısınma açısından önemlidir. Bunun için tesisin kütle transfer şeması belirlenip izlenmelidir. Analizlerde doğal ısı girişı e ısı çıkışı belirlenmelidir.

Farklı ısı kaynaklarının global ısınmaya etkisi farklı olmaktadır ve bunun için Global Warming Potential (GWP) geliştirilmiştir. Karbondioksit referans madde olarak alınmıştır. Örneğin; 1 kgCO₂-Eq/kgCO₂, Diğer sera gazları metan (CH₄, XkgCO₂-Eq/kgCH₄) ve azot dioksit (N₂O, XkgCO₂-Eq/kgN₂O)

1.3.7 Zararlı Atıklar

Jeotermal çalışmalar önemli miktarda zararlı atık üretebilir ve bunun için bunların uygun depolama yöntemlerinin bulunması gereklidir. Jeotermal sular ağır metal -özellikle arsenik-içerirler zararlılar sınıfına sokulurlar. US'de zararlı atık depolama alanları varken, çoğu ülkelerde bu atıkların bölgesel alanda depolanması gerekmektedir.

Sondaj boyunca sondaj çamuru; yağ ve petrol ürünleri ve çimento atıkları formunda üretilir. Sondaj çamurları alkalidir ve yüksek konsantrasyonda krom ve pek çok kimyasali beraberinde içerir. Sondaj çamuru ya kuyuda sirkülasyonda kaybedilir yada sondaj sonunda katı atık olarak atılır. Çimentolama silika flor gibi zararlı olabilecek bazı içeriklerine rağmen normal olarak zararlı olarak tanımlanmaz. H₂S'in' azalması istendiği buhar baskın sistemlerde sondaj süresince kullanılan kimyasallar zararlı olabilirler ve özel olarak saklama gerektirirler.

Güç santrali tarafından üretilen temel katı atıklar soğutma kulesi sulu çamurdur. H₂S azaltılsın yada azaltılmasın bunlar normalde baskın olarak sülfürü muhtemelen cıva ile içeriğidir.

Daha sonraki atık yalıtım maddesi olarak asbestin kullanılması bazen zararlı kabul edilmektedir.

2. ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ (ÇED) VE ZARARLI ETKİLERİN AZALTILMASI

Çevresel etki değerlendirmesi arazi gelişimi için uygulamalarda birinci ve en önemli dokümandır. ÇED aşğıdaki potansiyel etkileri içerir;

Hava Kalitesi: Atmosferdeki kirletici gazların konsantrasyonları, tahmini gaz salınımı ve buhar deşarj kimyası, kirletici seyrelmesi, atmosferde dağılımı, hava kalitesi kriteri ile yağ ve kuru çökelim oranları ve bitki ve y\ıxvsy sularında ikincil etkilerin bilgilerini içermektedir.

Arazi: Bölgesel arazi kullanımı genel bakışı ve insan nüfusunun dağılımı, bölgesel bitki dağılımı, karasal ekosistem, toprak tipi, gaz deşarjının (ikincil etki) potansiyel etkileri ve yüzey suyu kirlenmesi (sulama), çökme potansiyeli ve jeotermal yapısını içerir. Topraktaki jeotermal kirleticilerin başlangıçtaki değerleri de ölçülmelidir.

Su Kalitesi: Yüzey ve yer altı sularının kirleticilerinin geçmiş konsantrasyonları, tahmini atık su ve yoğunlaşma deşarj kimyası, yüzey ve yeraltı sularında kirletici seyrelmesi ve dağılımı; bitkiler, omurgasızlar ve balıklar dahil susal yaşam detaylarını içerir.

Sosyal Yapı: Civardaki insan popülasyonunun incelenmesi, önceki jeotermal gaz çıkışları, gelişmeye bağlı olarak arazi ve su ihtiyacı, danışma prosesinin tamamlanması, ilgilerin belirlenmesi ve tazminatların belirlenmesini içerir.

ÇED ayrıca sahada kullanılan özel kimyasalların çevresel etkilerinin değerlendirilmesini de içerir. Bu sayede kullanılan kimyasalların sayım çizelgesinin yapılmasını, depolama ve saklamada ön önlemlerin alınmasını, yüksek riskli alanların belirlenmesini ve havaya yada suya sızma yada dökme olaylarında ölçümlerin alınmasını içerir. Sürekli ölçüm ve kontroller ile jeotermal enerji zararsız enerji kaynağı olmaktadır. ÇED ülkelere göre farklılıklar göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerin tamamının gelişmiş ülkelerin gerisinde kalmakla birlikte Filipinler'de ÇED çalışmalarının 1977 yılından beri jeotermal projelerde istendiği dikkat çekicidir. Almanya Federal Cumhuriyeti jeotermal çalışmalarda ÇED işlemlerine bu tarihten on yıl sonra başlamıştır.

ÇED toplum çalışanlarına çevresel sonuçların anlaşılmasına yardımcı olur. ÇED basit ayarlamalar ile geliştirebilir ve ülke standartlarına ayarlanabilir. Günümüzde Dünya Bankası ve Inter American Development Bankası projelerinde ÇED yerlamkatadır.

Genellikle jeotermal aktivitelerin tekbir etkisi göz önüne alınmakatadır. ÇED işlemi ancak işletme sırasında düzenli ölçüm ve kontrollerin yapılması ile etkili ve yararlı olabilir.

ÇED mutlaka multü disiplinler sistemde hazırlanmalıdır.Doüal ve sosyal bilimler devreye sokulmalıdır. Çevresel etkiler değerlendirme araştırmaları düzenli olarak yapılmalı ve düzenli olarak yayımlanarak halk bilinçlendirilmen ve bilgilendirilmelidir. ÇED çalışmalarına hava emisyonları, hava kalitesi ve yeraltı ile yerüstü su kalitesi bilgileri dahil edilmelidir.

3. SONUÇ

Yapılan araştırmalar sonucu dünya nüfusunun %17'sinin elektrik ihtiyacının jeotermal enerji kullanımı ile sağlanabileceği tespit edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerjinin fosil yakıtların yerine kullanılması sera etkisi yapan gaz emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır. Fakat bununla birlikte jeotermal enerjinin kullanımı ile çevreye fiziksel ve kimyasal zararlı etkiler yapabilir. Bu amaçla jeotermal araştırma ve uygulamalarında gerekli olan jeolojik, jeofizik ve kimyasal bilgiler toplanmalı ve bunların değerlendirilmesi yapılmalıdır. Bu sayede jeotermal enerjinin çevreye verebileceği zararlara karşı önlem alınması ile çevreye dost olması sağlanmış olur.

Hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkeler yenilenebilir enerji kaynağı olan jeotermal enerjiye doğru yönelim göstermiştir. Aynı zamanda doğal kaynakların restorasyonu ve korunması, çevrenin olumlu etkilenmesinin sağlanması ve yaşam şartlarının kalitesinin artırılmasına aynı anda dikkat edilmesi gerekmektedir. Pek çok doğal kaynaklara göre jeotermal kaynakların çevreye etkisi olumsuz değildir. Ancak yine de eğer uygun ölçümler yapılmaz ve kontroller sağlanmazsa jeotermal enerji her ne kadar diğer enerji kaynakları gibi zararlı olmasa da çevreye negatif etkiler yapar.

KAYNAKLAR

1. ALLİS, R. G. and T. H. HUNT, "Analysis of exploitation induced gravity changes at Wairakei Geothermal Field", Geophysics, 51, 8, 1647-1660, 1986.
2. ANDRES, R. B. S and J. R. PEDERSEN, "Monitoring the Bulalo geothermal reservoir Philipines using precision garvity data", Geothermics, 22, 5/6 395-402, 1993.
3. BADRUK, M., "Removal of Boron from Geothermal Brines of Kızıldere by means of Co-precipitation and Ion-exchange methods", Ph. D. Thesis, 1998.
4. BROWN, K.; "Impacts on the Physical Environment", Environmental Safety and Health Issues in Geothermal Development, Japan, 2000

5. Geothermal Education Office Web Pages, 2001
6. Geothermal Energy Association Web Page, 2001
7. Geothermal Energy Programme Web Pages, 2001
8. GLOWACKA, E., "Surface deformation in the area of Cerro Prieto (B.C. Mexico) and it relationship with seismicity, local tectonics and fluid extraction". *Geothermia, Rev. Mex. De Geoenergia*, 15, 1, 39-46, 1999
9. HUNT, T. M, BROMLEY, C.J, "Some environmental Changes Resulting from Development of Ohaaki Geothermal Field, New Zealand", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 621-626, 2000
10. IGAVWeb Pages, 2001
11. KALTSCHMITT, M., "Environmental Effects of Heat Provision from Geothermal Energy in Comparison to Other sources of Energy", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 627-632, 2000.
12. KRISTMANNSDOTTIR, H., SIGURGEIRSSON, M., ARMANNSSON, H., HJARTARSON, H., And OOLAFSSON, M., "Suphur emission from Geothermal Power Plants in Island", *Geothermic*, 1999.
13. MASSONNET, D. ,T. HOLZER And H. VADON, "Land subsidence caused by the East Mesa geothermal field, California, observed using SAR interferometry", *Geophys. Res. Letters*, 24, 8, 901-904, 1997.
14. MOSSON , A. and P SEGALL, "Subsidence at the Geyser geothermal field, N. California from comparision of GPS and levelling surveys", *Geophys. Res. Letter*, 24, 14, 1839-1842, 1997.
15. ORTEGA, R. G, NUFIEZ, M. Q., CUETO, R G., "H₂S Dispersion Model at Cerro Prieto Geothermoelectric Power Plant", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 579-583, 2000.
16. WEBSTER, J.; *Chemical Contaminants and their Effects, Environmental Safety and Health Issues in Geothermal Development, Japan*, 2000
17. WHO (1993) *Guidelines for Drinking Water Ouality*
18. *World Bank Web Pages*, 2001
19. MARANI, M., TOLE, M. And OGATO, L; "Concentrations of H₂S in Air Around The Olkaria Geothermal Field, Kenya", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 649-661, 2000.
20. ORTEGA, R., NUNEZ, M. And Cueto, O.; "H₂S Dispersion Model Cerro Prieto Geothermoelectric Power Plant", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 579-584, 2000.
21. GLOWACKA, E., GONZALEZ, J. And NAVA, F.; " Subsidence in Cerro Prieto Geothermal Field, Baja California, Mexico", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 591-596, 2000.
22. EYSTEINSSON, H., " Elevation and Gravity Changes at Geothermal Fields on The Reykjanes Peninsula, SW Iceland", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 559-564, 2000.
23. HUNT, T. And BLOMLEY, C.J.; "Some Environmental Changes Resulting From Development of Ohaaki Geothermal Field, New Zealand, *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 621-626, 2000.
24. GOFF, S.; " The Effective Use of Environmental Impact Assessments (EIAs) For Geothermal Projects", *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 597-602, 2000.
25. LOPPI, S.;" Licken Ouality in Geothermal Areas; *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 645-648, 2000.

ÖZGEÇMİŞ

Mebrure BADRUK

İzmir doğumludur. 1991 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı üniversitede 1994 yılında Yüksek Mühendis, 1998 yılında Doktor unvanını almıştır. 1991 yılından beri MTA Ege Bölge Müdürlüğünde Maden Mühendisi olarak çalışmaktadır. Jeotermal atık sızılardan bor uzaklaştırılması ve silika çökelimini önleme ile jeotermal sızılardan çevreye etkileri üzerine çalışmaktadır.



Bu bir MMO
yayıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde İşletme: Gözlem (Monitoring)

Macit TOKSOY
İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

Fasih KUTLUAY
BALÇOVA JEOTERMAL ENERJİ SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Cihan ÇANAĞCI
BALÇOVA JEOTERMAL ENERJİ SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.

Adil Caner ŞENER
İZMİR YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

JEOTERMAL BÖLGE ISITMA SİSTEMLERİNDE İŞLETME : GÖZLEM (MONITORING)

Macit TOKSOY
Fasih KUTLUAY
Cihan ÇANAKÇI
A. Caner ŞENER

ÖZET

Jeotermal Bölge Isıtma Sistemleri işletmeciliğinin en önemli fonksiyonlarından bir tanesi sistemin normal ve arıza konumlarında, tüm işletme parametrelerinin gözlenmesi, kayıtlarının tutulması ve elde edilen değerlerin, işletmenin ilk çalışma-tasarım koşullarını, performansını sağlayıp sağlamadığı ve işletmede teknik ve ekonomik anlamda geliştirilmesi anlamlarında yorumlanmasıdır. Gerek optimum işletme koşullarının sağlanması ve geliştirilmesi için, gerek periyodik ve koruyucu bakım programlarının uygulanması açısından periyodik gözlem (bilgilerin okunması), kayıt (bilgilerin kaydedilmesi) ve değerlendirmesi zorunludur. Bu çalışmada Balçova-Narlidere JBIS'de oluşturulan gözlem ve kayıt sistemi ile bunlara ilişkin değerlendirmeler örneklendirilmiştir.

1. GİRİŞ

Jeotermal bölge ısıtma sistemleri, Balçova-Narlidere JBIS'de olduğu gibi, farklı amaçlı yapılara (konut, otel, hastahane, eğitim kurumları, ibadet camii, kamu binaları, iş-alışveriş merkezleri) yıl boyunca ısı konfor sağlayan, bu nedenle insan sağlığı ile doğrudan ilgili enerji sistemleridir. Bu toplumsal hizmetin etkin (performansı tasarıma uygun, güvenilir, yetkin-hizmet verebilen) sürekli ve ekonomik şekilde yürütülmesi, modern işletmeciliğin tüm fonksiyonlarının yerine getirilmesiyle mümkün olabilir. Yönetimde yaşam döngü maliyeti kavramının (life-cycle cost concept of management) boyutlarından biri olan etkinlik, yetkinliğin (capability) ve dayanaklılık (dependability); dayanaklılık, güvenilirlik (reliability) ve bakımlanabilirliğin (maintainability) fonksiyonu olarak analitik olarak tanımlanmıştır¹. Bir başka deyişle günümüzde bu değerler niteliksel değil sayısal olarak ifade edilmekte, işletmelerin değerlendirmeleri de bu sayısal değerlere bakılarak yapılmaktadır.

Ekonomiklik maliyetleri minimize eden optimum işletme koşullarının (doğru yapılmış tasarım değerlerinde) sürdürülmesi veya (işletme sürecinde) yaratılması ile, etkin ve sürekli hizmet verme ise periyodik ve koruyucu bakım sistemlerinin uygulanması ile mümkün olur. Modern işletme ve bakım mühendisliği sistemlerinin önemli unsurlarından biri, söz konusu uygulamaların yapılabilmesi için gerekli olan, sistem ve ekipmanlarının durumlarının gözlenmesini gerektirir. Gözlem (monitoring), hem ilgili sistem şartlarının (sıcaklık, debi, basınç vs) ve ekipmanlarının şartlarının (titreşim, yük, ses vs) gözlenmesini ve kayıt edilmesini (test raporları) hem de değerlendirilmesi süreçlerini içerir. Bu süreçlerin sonunda, işletme ve bakım planları gerçekleştirilir.

¹ a Dependability ve reliability kelimeleri ingilizce'de eş anlamlıdır ve Türkçe karşılıkları güvenilirlik olarak verilmektedir. Dependability, Türkçe de teknik terim olarak dayanaklılık olarak karşılık bulduğu görülmektedir. ASHRAE Applications Handbook'ta(1999, Chapter 37) verilen tanımlar ise şöyledir: "Dependability(bağımlılık), bir sistemin durumunun ölçüsüdür. Sistemin, hizmet ömrünün başlangıcında çalışır durumda olduğunu kabul ederek, dependability hizmet ömrünün içindeki herhangi bir anda çalışabilir durumda olma olasılığıdır. Reliability(güvenilirlik) ise tanımlanmış bir zaman periodunun öngörülen bir dilimi içerisinde sistemin çalışacağını gösterir".

Bir jeotermal bölge ısıtma sisteminde gözlem, birbirine bağlı ancak farklı mühendislik alanlarının (jeotermal rezervuar mühendisliği ve tesisat mühendisliği) değerlendirme konusu olan ancak birbiriyle yakından ilgili iki bileşene sahiptir. Bunlardan biri jeotermal akışkanın üretildiği sahanın gözlemi (jeotermal saha gözlemi), diğeri ise jeotermal akışkandaki enerjiyi dağıtan ve dağıtımını kontrol eden sisteminin - bölge ısıtma sistemi gözlemidir. Sürdürülebilir, etkin, sürekli, güvenilir bir jeotermal bölge ısıtma sisteminin planlanması, uygulanması ve işletilmesi bu iki mühendislik alanındaki uzmanların da, etkin güvenilir ve sürekli işbirliğini gerektirir.

Bu çalışmada jeotermal saha gözlemini içermemektedir. Bu alanda ilgili literatüre başvurulmalıdır^{2,3}. Çalışmada (jeotermal) bölge ısıtma sistemlerinde yapılması gereken gözlem-monitoring ele alınmıştır. Yazarlar bu alana (jeotermal bölge ısıtma sistemleri) özgü bir yayına rastlamamışlardır. Önerilen gözlem yöntemleri, Balçova-Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi'nde yapılan ve yapılması planlanan optimum işletme fonksiyonlarının (örneğin kontrol stratejisi) belirlenmesi çalışmaları içinde geliştirilen sistem ve dokümantasyon ile bunlara bağlı değerlendirme örnekleridir.

Türkiye'de işletilen jeotermal bölge ısıtma sistemleri, planlama ve uygulama süreçlerinin mirası olan etkinlik kayıplarını çeşitli seviyelerde yaşamaktadırlar. Bazı sistemler ısıtma sezonunun bir kısmında performans düşüklüğü bir yana hizmet dışı kalmakta, bazı sistemlerde kısmi performans düşüklüğü ve hizmet dışı kalmalar gözlenmektedir. Bu genetik olumsuzlukların giderilmesi, işletme sürecinde sistem tasarımı da dahil olmak üzere tüm işletme parametrelerinin gözlemlenmesini zorunlu kılmaktadır.

2. ÖRNEKLERLE GÖZLEM NEDENLERİ

Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde gözlem sonuçlarından iki biçimde fayda sağlanır: 1) Sistemin daha verimli çalıştırılabilmesi için işletme stratejisindeki ve sistemdeki potansiyel iyileştirmeleri saptamak, 2) Sistemde oluşabilecek arızaları ve bozulmaları önceden belirlemek ve bunlara müdahale etmek.

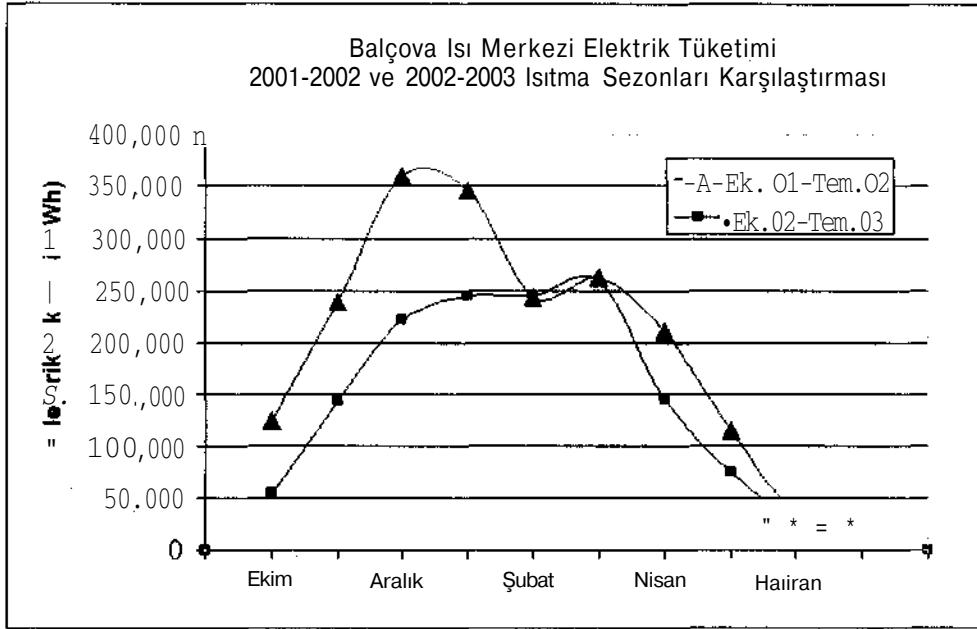
Jeotermal bölge ısıtma sistemleri, her ne kadar bir alternatif enerji kaynağını kullanıyor olsalar da, bu enerjinin yaşam hacimlerine transferinde kullanılan pompalar nedeniyle konvansiyonel enerji kaynaklarını da tüketmektedirler. Bu konvansiyonel enerji kaynağı pompaların kullandığı elektrik enerjisi için tükettiğimiz primer enerji kaynaklarıdır. Türkiye'de elektrik üretimi, TEAŞ 2001 verilerine göre %80 oranında termal güç santrallerinde, kömür ve doğal gaz gibi kaynaklar kullanılarak, üretilmektedir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde kullanılan elektrik enerjisi mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Çünkü:

- İşletme maliyetinin büyük bir kısmını elektrik maliyeti oluşturmaktadır.
- Kullanılan elektrik enerjisinin üretildiği sistemle çevre kirliliği yaratmaktadır.
- Elektrik üretiminde kullanılan primer kaynakların bir kısmı ithal edilmektedir.

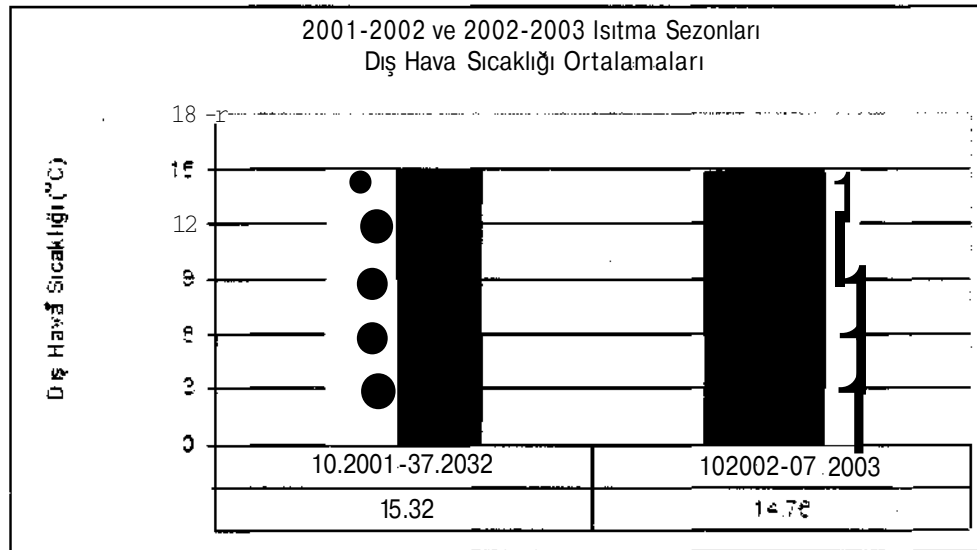
Son iki neden dolaylı etkileri söz konusu olduğundan, bölge ısıtma sistemi işletmecisi tarafından göz ardı edilmektedir. Ancak Balçova Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi (BNJBIS) örneğinde izlendiği üzere, işletme maliyetlerinin en büyük girdilerinden bir tanesi elektrik enerjisi maliyetidir. BNJBIS'te 2002 yılına ait işletme maliyetinde en büyük pay, %26 ile elektrik enerjisine aittir. Bu durumda, "Kullanılan elektrik enerjisi gerekli olan miktarda mıdır?" , "Elektrik enerjisi tüketiminde tasarruf yapılabilir mi?" sorularına cevap verebilmek için yapılacak şey elektrik enerjisi tüketimini sağlıklı olarak izlemek ve izlenen diğer parametrelere bağlı olarak değerlendirmektir.

Şekil 1'de, Balçova ısı merkezine ait elektrik tüketiminin iki farklı dönem için aylık değişimi verilmiştir. Yaklaşık üç yıldır devam eden modelleme, optimizasyon ve enerji ekonomisi çalışmalarının sonuçları Balçova ısı merkezinde 2002 Ekim ayında uygulanmaya başlanmıştır. Şekil 1'de 2001 Ekim-2002 Temmuz dönemi için verilen elektrik enerjisi tüketimi miktarı sistemin herhangi bir kontrol stratejisine göre çalıştırılmadığı durumdaki elektrik tüketimini göstermektedir. Aynı şekilde sistemde optimum

kontrol stratejisi uygulama çalışmalarının devam ettiği 2002 Ekim-2003 Temmuz dönemi elektrik tüketimi de gösterilmiştir. Bu iki 10 aylık dönem karşılaştırıldığında Balçova ısı merkezinde elektrik enerjisi tüketiminin %27 (530,000 kWh) azaltıldığı görülür. Sistemin tükettiği elektrik enerjisi miktarı önemli bir veri olmakla birlikte tek başına analiz edildiğinde yanlış sonuçlar verebilir. Örnek vermek gerekirse sistemin harcadığı elektrik enerjisi esas olarak sistem ısı yükünün bir fonksiyonudur, ve ancak aynı ısı yükü değerine ait elektrik tüketim değerleri karşılaştırılabilir. Şekil 2 2001 Ekim-2002 Temmuz ve 2002 Ekim-2003 Temmuz dönemleri dış hava sıcaklığı ortalamalarını vermektedir. Şekilden de görülebileceği üzere 2002 Ekim-2003 Temmuz dönemine ait dış hava sıcaklığı ortalaması (14.76) daha düşük dolayısı ile sistem ısı yükü daha yüksektir. Bu durumda aynı dönemde sistem elektrik tüketiminin %27 azaltılması, sistem performansının %27'den daha fazla yükseltilmesi anlamına gelir.



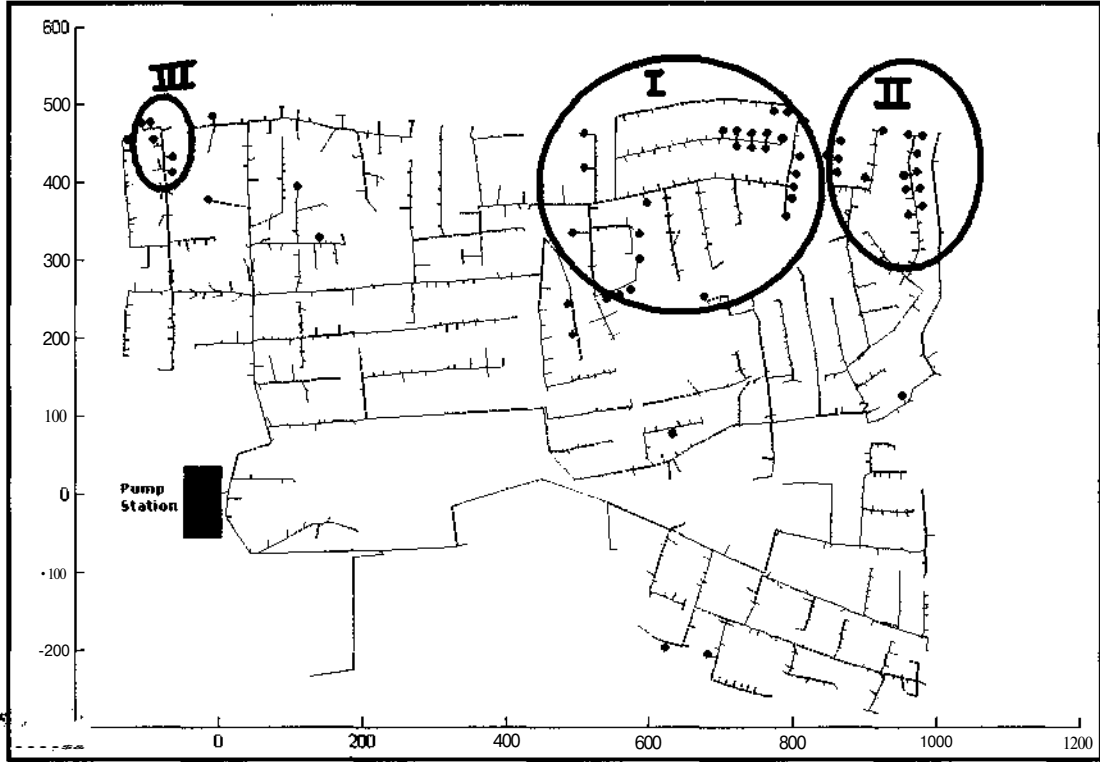
Şekil 1. Balçova Isı Merkezi Elektrik Tüketim Değerleri



Şekil 2. Balçova-Narlıdere Dış Hava Sıcaklığı Değerleri

Sistem performansının doğru bir biçimde gözlemlenebilmesi ve değerlendirilebilmesi için sistemden üretilen ve tüketilen enerji miktarı, sisteme verilen enerji miktarı, dış hava sıcaklığı sürekli olarak gözlemlenmesi ve kayda geçirilmelidir. Bu da bütün kuyu başlarında, ısı değiştirgeci giriş çıkışlarında, debi ve sıcaklık ölçümlerinin düzenli bir biçimde alınmasını gerektirir. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde performans gözlem ve analiz yöntemleri Balçova-Narlıdere JBIS üzerinde yapılan çalışmaların sonucu olarak literatürde bulunmaktadır [4].

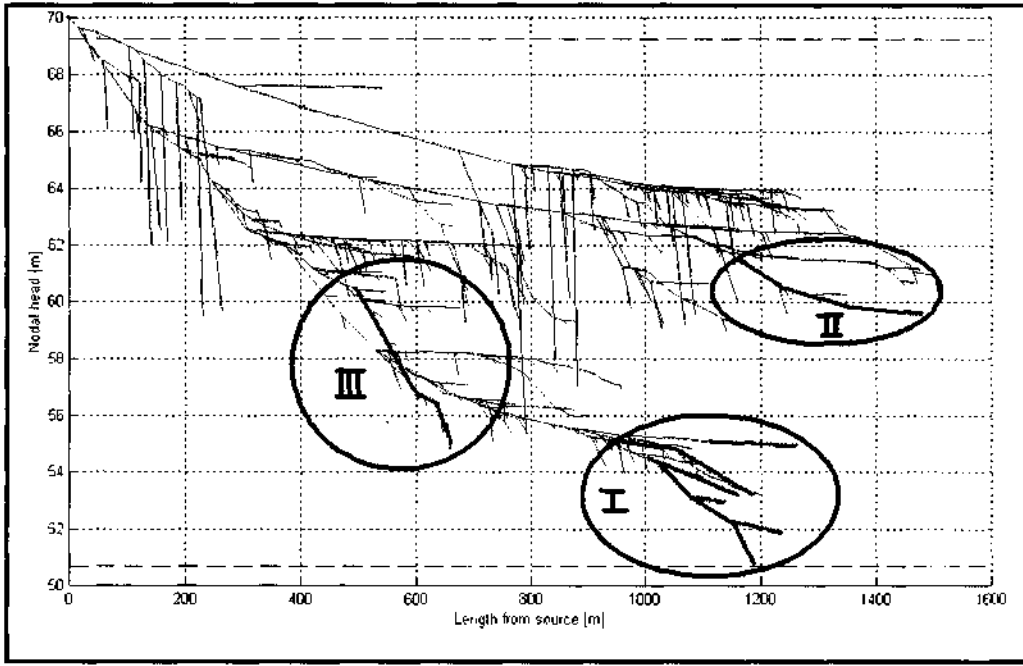
Gözlem sonuçlarının kullanıldığı bir diğer yer sistemdeki problemleri ve bunların nedenlerini teşhis etmektir. Şekil 3'te Balçova şehir sıcak su dağıtım sistemi gösterilmektedir. Noktalarla işaretlenmiş bölgeler, ısıtma sezonu boyunca müşteri şikayetlerinin yoğunlaştığı noktalardır. Yıl boyunca ısı merkezine gelen kullanıcı şikayetleri arıza kayıt defterinde toplanmakta ve daha sonra, bu arızalar şekil üzerinde işaretlenmektedir. Problemlerin oluştuğu ana branşmanlar incelenmekte ve daha sonra bu problemlerin sebepleri üzerinde durulmaktadır.



Şekil 3. Balçova Şehir Sıcak Su Dağıtım Sistemi ve Problemlili Bölgeler [5]

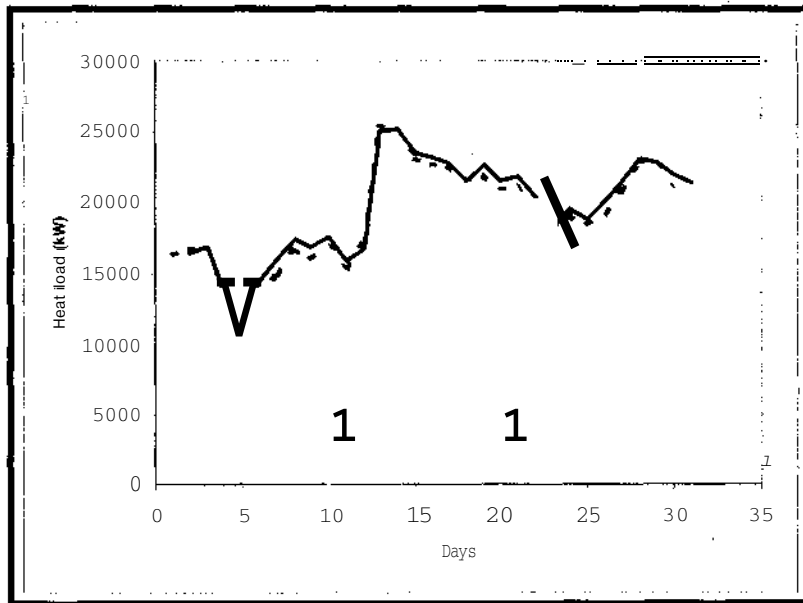
Şekil 4'te Balçova şehir sıcak su dağıtım sisteminin basınç düşüm grafiği görülmektedir. Görüldüğü gibi sistemdeki problemlerin %60'tan fazlasını barındıran ve Şekil 3'te bir numara olarak işaretlenen branşman sistemde basınç düşümünün en fazla olduğu bölgedir. Şekil 4 incelendiğinde 1 numaralı bölgede oluşan problemlerin düşük işletme basıncının sonucunda oluştuğu sonucuna varılabilir. 2002-2003 ısıtma sezonunda işletme basıncının artırılmasıyla bu bölgeden gelen şikayetlerde azalma gözlemlenmiştir.

Örneklerden de anlaşılabilir gibi, jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde gözlem sistemin herhangi bir aksama olmadan çalışmasına ve sistem performansının iyileştirilebilmesine olanak sağlar, iyi bir işletmenin olmazsa olmaz parçası olan veri toplama ve değerlendirme gelişmiş bilgisayarlar ve yazılımlar sayesinde sistemlerin en verimli şekillerde çalıştırılabilmesine olanak vermektedir.



Şekil 4. Balçova Sıcak Su Dağıtım Sistemi Basınç Düşüm Grafiği [5]

Bugün gelişmiş ülkelerde tamamen otomatik olarak kontrol edilen bölge ısıtma sistemleri veri bankalarında depoladıkları sistem verileri sayesinde sistemin davranışını tahmin (forecast) edebilmekte ve dış hava sıcaklığı tahminlerine göre sistemi yönlendirmektedir. Buna benzer bir çalışma da Balçova JBIS ısı yükünün tahmini için yapılmıştır. Şekil 5 sistem verileri kullanılarak oluşturulan bir sistem ısı yükü modelinin sonuçlarının gerçek sistem yükü karşılaştırılmasını gösterir. Düz çizgi günlük gerçekleşmiş ısı yükünü gösterirken, noktalar tahmin değerlerini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere model gerçek ısı yüküne yakın sonuçlar vermektedir. Bu tür modellerin yapılabilmesi ancak çok büyük miktarlarda verinin doğru olarak toplanıp analiz edilebilmesiyle mümkündür.



Şekil 5. Balçova JBIS Isı Yükü Tahmini ve Gerçek Isı Yükü Karşılaştırması [5]

3. GÖZLEM ALANLARI VE GÖZLEM PARAMETRELERİ

BNJBIS'te işletme aşamasında kaydedilen veriler iki başlık altında toplanabilir. Bunlardan birincisi ısı merkezi verilerini içeren formlar, ikincisi de sistemde meydana gelen arızaların kayıdır. ısı merkezi formları ile Tablo 1'de görüldüğü üzere sıcaklık, basınç, motor devri, frekans, güç gibi büyüklükler tesbit edilmekte ve kaydedilmektedir. Kayıtlar işletme personeli tarafından alınmakta olup insan faktörü hatalarını da içermektedir. Bir bölgesel ısıtma sistemi gibi yaygın bir alana hizmet eden sistemde tüm dataların bir otomasyon sistemi dahilinde alınması ve kaydedilmesi daha kesin veriler ile çalışılmasını sağlayacaktır.

Tablo 1. BNJBIS gözlem parametreleri, ölçü alınma periyotları ve ölçüm noktaları

Ölçülen Değer	Birim	Periyod	Ölçüm Yeri
Dış hava sıcaklığı	°C	1 saat	Balçova
		6 saat	Narlıdere
		1 saat	DEÜ 1,2
Jeotermal su sıcaklıkları (Gidiş/Dönüş)	°C	1 saat	Balçova
		6 saat	Narlıdere
		1 saat	DEÜ 1,2
		24 saat	Kuyular
Kapalı devre su sıcaklıkları (Gidiş/Dönüş)	°C	1 saat	Balçova
		6 saat	Narlıdere
		2 saat	Ekonomi
		1 saat	DEÜ 1,2
Jeotermal su debisi	m ³ /h	24 saat	Kuyular
		1 saat	DEÜ 1,2
Kapalı devre debisi	m ³ /h	1 saat	Balçova
		2 saat	Ekonomi
Jeotermal su basıncı (Gidiş/Dönüş)	bar	1 saat	Balçova
		4 saat	Narlıdere
		24 saat	Kuyular
		1 saat	DEÜ 1,2
Kapalı devre basıncı (Gidiş/Dönüş)	bar	1 saat	Balçova
		4 saat	Narlıdere
		1 saat	DEÜ 1,2
Su kaybı	m ³ /h	1 saat	Balçova
		4 saat	Narlıdere
Statik seviye	Metre	24 saat	Kuyular
Güç yüzdesi	%	24 saat	Kuyular
		1 saat	Balçova
Frekans	Hertz	24 saat	Kuyular
		1 saat	Balçova
Devir	d/d	24 saat	Kuyular
		1 saat	Balçova
Akım	Amper	24 saat	Kuyular
		1 saat	Balçova
Voltaj	Volt	24 saat	Kuyular
		1 saat	Balçova
Çekilen Güç	kW	24 saat	Kuyular
		1 saat	Balçova

Tutulan tüm datalar bilgisayar ortamına geçirilmektedir. Öncelikli olarak gidiş dönüş sıcaklıkları ile dış hava sıcaklığı değerlendirilerek sistemin daha verimli çalışması sağlanmaktadır. Bilindiği üzere Bölge ısıtma sistemleri genel olarak sabit sıcaklık değişken debi ilkesi ile çalışarak yıl içinde meydana gelen yük değişikliklerini debinin (Pompa elektrik Enerjisinin) azaltılması yoluyla karşılamaktadırlar.

BNJBIS'te sabit sıcaklık farkı değişken debi tasarlanmasına rağmen işletme tarihinde hiçbir zaman tasarım verilerinde çalışmamıştır. İşletme, vardiya sorumlularının insiyatifinde, bu kişilerin deneyerek öğrendikleri bilgiler ışığında ve kendi becerileri dahilinde yüksek enerji maliyetleri ile gerçekleştirilmiştir. İşletmenin ilk yıllarında amaç sadece sistemi çalışır vaziyette tutmak olmuştur. 2000'li yıllardan sonra yapılan idari değişiklikler ile bir işletme stratejisi geliştirilmiştir. Sahada sıcaklık farkları devamlı gözlenerek pompa devirleri düşürülmüş ve sıcaklık farkları olabilecek maksimum konumlara çıkarılmıştır. Bu aşamalarda en sık karşılaşılan problem kritik debi ve sıcaklık farklarında çalışılan günlerde sistemin devamlı gözlenerek sistemin verdiği tepkilere uygun şekilde cevap vermekte yaşanmıştır. Sisteme verilen enerjinin ana parametreleri olan debi- sıcaklık farkı ilişkisi dışında sistemin ısıl ataleti, işletme personelinin sistemi sadece çalıştırma amacı ile edindikleri alışkanlıklar, mevcut tesisattaki su kayıpları ve ömürlerini tamamlayan ekipmanlar da işletmede belirleyici fonksiyon olmuştur.

BNJBIS'nde gözlem parametrelerinden biri de tutulan arıza ve bakım kayıtlarıdır. Bilindiği üzere bakım olgusu arizi, periyodik ve kestirimci olarak üç başlık halinde incelenebilir. Arizi bakımların düzenli kaydedilmesi sonucunda oluşan veritabanı kestirimci bakım için kullanılacaktır.

BNJBIS'te işletme şefinin raporları, işletme defteri ve arıza ekibinin doldurduğu arıza formu olmak üzere 3 farklı veritabanı bulunmaktadır. 2002 yılında başlatılan bu çalışma ile;

- 17.12.2002-03.06.2003 tarihleri arasında tutulan 27 adet raporda 161 adet arıza kaydı
- 30.10.2002-04.06.2003 tarihleri arasında tutulan toplam 3475 adet arıza formu
- 28.02.200-25.06.2003 tarihleri arasında tutulan toplam 1137 adet arıza kaydı

Tablo.2 deki gibi yazılmıştır.

Tablo 2. Tutulan arıza kayıtları

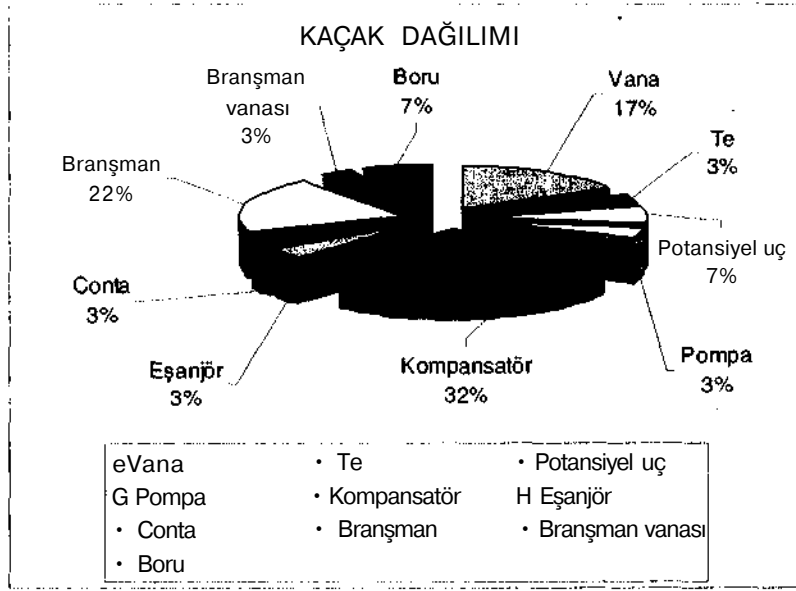
SOKAK/MAHALLE	APARTMAN ADI	NUMARA	ARIZA BİLDİRİ TARİHİ	GİDİŞ TARİHİ	ARIZA NEDENİ	YAPILAN İŞLEMLER	EKİP
MİMOZA		16		06.11.2002		Evde yok.	Latif
ÇAĞDAŞ		31	30.10.2002	30.10.2002	Debi kontrol vanası.	D.K.V Kilidi açıldı.	İlker-Ahmet
MAZİ		6/1	30.10.2002	30.10.2002	Debi kontrol vanası.	D.K.V Kilidi açıldı.	İlker-Ahmet
MAZİ		10/5	30.10.2002	30.10.2002	Debi kontrol vanası.	D.K.V Kilidi açıldı.	İlker-Ahmet

Alınan tüm veriler arıza yeri, nedeni, zamanı başlıkları altında incelenmiştir. Bölüm 5'te detaylı örnekleri verilmektedir. Verilerin incelenmesi sonucunda arıza nedenleri belirgin olarak anlaşılmaktadır.

4. GÖZLEM VE DEĞERLENDİRME ÖRNEKLERİ

BNJBIS'te yapılan gözlem neticesinde elde edilen en önemli sonuç sistemde su kaçaklarının nedeninin belirlenmesi, sistemde hangi bileşenlerin arızaya neden olduğunu tesbitidir.

Mevcut su kaçaklarının ana nedeni kompensatörlerin ve tekniğine uygun yapılmayan branşmandan meydana gelen su kaçaklarıdır (Şekil 6)

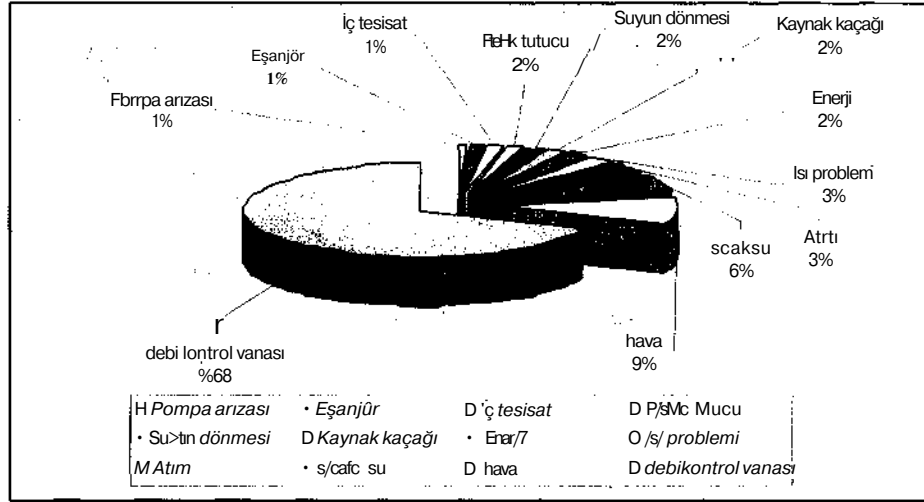


Şekil 6. BNJBIS'te meydana gelen su kaçaklarının ana nedeni

Tesbit edilen su kaçaklarında kompansatörler %32, branşman hataları %22 ile en büyük orana sahiptirler.

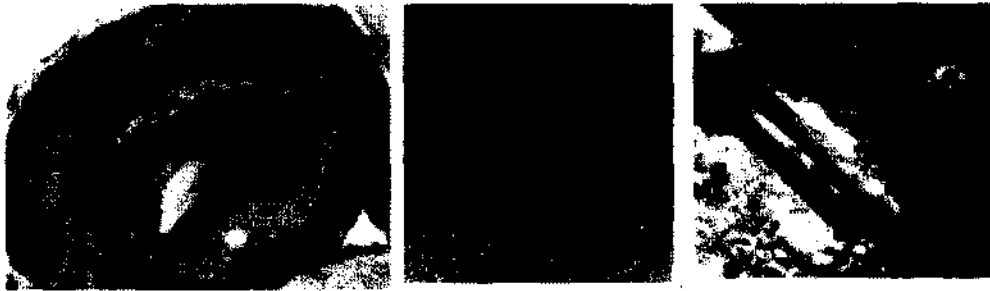
Bina altı sistemleri ile ilgili tutalan formlarda genel arıza nedeninin kontrol vanası (%68) olduğu görülmektedir. Debi kontrol vanasında genel olarak çıkan arızalar:

1. Kilitlenme: Eşanjör dönüş suyu sıcaklığı eğer yüksek ise debi kontrol vanası, termostatik vananın mili iteleyerek, akışı kapatarak sekonder devre suyunun ısı merkezine dönmesine izin vermez. Bina kullanıcısı ne zaman su tüketimi yaparsa, eşanjörde ısı alışverişi olur, debi kontrol vanası yayı, termostatın soğuması ile vananın mili geri çekerek, tekrar açılıp sekonder devre suyunun akışına izin verir. Kilitlenmiş durumdaki debi kontrol vanasında ise su içindeki pislikler milin hareketini sağlayan piston kısmının altında birikerek çamur oluşturur ve pistonun hareketini engeller. Böylece debi kontrol vanası kilitlenir ve çalışmaz.
2. Termostat:-Termostat içindeki gazın görevini görmeyişi(gaz kaçağı,vs.). Termostat montaj yerlerindeki plastik rekorun montaj esnasında kırılması veya çatlaması.
3. Alt ve üst kilitler:2003 yılına kadar bu kilitlerin olmayışı dışarıdan müdahalelere sebebiyet vermekteydi.



Şekil 7. Bina altı ekipmanlarında meydana gelen genel arızalar ve Kontrol vanaları

Yukarıda açıklanan arıza kayıtları göstermektedir ki sistemde ciddi bir iç ve dış korozyon problemi mevcuttur. Oluşan yeni arızalar bir sonraki arızaların nedeni olmaktadır.



s) Değiştirilen boru

b) DN 250 ana hat borunun içi

c) Branşman hattında patlak

Şekil 8. Boru hatlarındaki korozyon

5. SONUÇ

Bu çalışmada jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde gözlem teknikleri ve gözlemin önemi, Balçova-Narlıdere Jeotermal Bölge Isıtma Sistemi üzerinde yapılan çalışmalardan örnekler verilerek açıklanmıştır. Jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde gözlem sonuçlarının analizi sistemin daha iyiye götürülebilmesi için kullanılan en önemli araçtır. Ne yazık ki ülkemizde özellikle son on yılda kurulan jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde gözlemin önemi yeterince anlaşılamamıştır. Son üç yıl boyunca

Balçova-Narlıdere JBIS'nde yapılan gözlem sonuçları bir çok bilimsel çalışmanın temelini oluşturmuştur. Bu bilimsel çalışmaların sonuçlarının sistem üzerinde uygulanmaya başlamasıyla sistem işletme maliyetlerinde ciddi düşüşler yaşanmış, sistem arızaları azalmış ve sistemin daha bilinçli işletilmesi sağlanmıştır. Balçova-Narlıdere gözlem tecrübesinin ülkemizdeki diğer jeotermal bölge ısıtma sistemleri için örnek alınması ve geliştirilmesi ülkemizde jeotermal enerjinin daha verimli ve yaygın kullanılabilmesi için şarttır.

Balçova-Narlıdere JBIS ülkemizdeki en ileri gözlem tekniklerini kullanan bölge ısıtma sistemi olmasına rağmen henüz olması gereken seviyede değildir. Manuel olarak toplanan veriler önce dosyalarda muhafaza edilmekte ve daha sonra yıllık olarak (yaz döneminde) bilgisayara aktarılmaktadır. Yıllık olarak güncellenen veri tabanı sistemin ancak yıllık analizine olanak sağlamakta ve sistemdeki problemlerin ve gelişmelerin geç teşhisine yol açmaktadır. Balçova-Narlıdere JBIS'ne kurulması planlanan otomasyon sistemi sayesinde sistem verileri otomatik olarak belli periyodlarla okunacak ve depolanacaktır. Bu sayede sistemdeki gelişme ve bozulma trendleri anlık olarak yakalanabilecek ve sisteme anlık (doğru) müdahale mümkün olabilecektir.

Ülkemizde şu ana kadar kurulan jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde gözlem (veri toplama) göz ardı edilmiş bir unsurdur. Yapım aşamasından, işletme aşamasına büyük bir maliyet gerektirmeden yapılabilecek olan gözlemlerin eksikliği daha sonra çok büyük mali kayıplara yola açan arızalara dönüşebilmektedir. Balçova-Narlıdere JBIS üzerinde yapılan çalışmalar göstermiştir ki düzenli gözlem (veri toplama) ve bu verilerin bilimsel analizi işletmede her yıl bilinçsiz olarak yapılan hataların farkedilmesini sağlamakta ve işletme verimini arttırmaktadır.

Gözlem ülkemizde yapılmış ve yapılmakta olan her jeotermal bölge ısıtma sisteminin işletmesinde bir rutin halini almalıdır. Veri toplanmasını sağlayan (debimetre, basınç ve sıcaklık sensörleri, manometre, termometre vs.) cihazlar bütün jeotermal sistemlerde kritik noktalara yerleştirilmeli ve uzmanlar tarafından belirlenen veri toplama ve analiz yöntemleri jeotermal bölge ısıtma işletmeciliğinin bir parçası haline gelmelidir. Ülkemizdeki jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde yapılan gözlemler göstermektedir ki yüksek tempoda çalışan bu işletmelerinin büyük miktarlarda veriyi sistematik olarak depolamak ve analiz etmek için gereken donanım, bilgiye ve insan gücüne sahip değildir. Bu durum işletmelerin, üniversiteler ve araştırma merkezleri ile işbirliğini zorunlu kılmaktadır. Öte yandan bilimsel çalışmalara temel olacak bir veri tabanı çok dikkatli bir şekilde oluşturulmalıdır. Sistemdeki stratejik noktalar saptanmalı bu noktalarda hangi parametrelerin ne kadar sıklıkla ölçüleceği belirlenmelidir. Bütün bunlar sistem kullanıma ilk açıldığı anda başlamalıdır. Bugün için jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde gözlem operatörlerin insiyatifindedir ve gözlem derecesi keyfi olarak ayarlanmaktadır. Ülkemizdeki jeotermal otoritelerin jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde minimum gözlem gereksinimlerini standart olarak tanımlaması ve bu standartların zorunlu olarak bütün sistemlerde uygulanması ülkemizdeki jeotermal kaynakların daha bilinçli kullanımına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE Applications Handbook,(1999).
- [2] AKSOY, Niyazi. (2001). "Jeotermal "Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Gözlem: Balçova Örneği". Jeotermal Enerji Doğrudan ısıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı, MMO/2001/270.
- [3] AKSOY, Niyazi. (2003). "Jeotermal Enerji Rezervuar Gözlemi". Jeotermal Enerji Doğrudan ısıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı Seminer Kitabı, MMO/2003.
- [4] ŞENER, A.C. TOKSOY, M. AKSOY, N. "Importance of load based automatic control in geothermal energy systems," *International Federation of Automatic Control, Automatic systems for building the infrastructure in developin countries, İstanbul, Republic of Turkey, 2003.*
- [5] ŞENER, A.Caner. Modelling of Balçova Geothermal District Heating System, *United Nations University Geothermal Training Programme, Report 2002-13, Iceland.*

ÖZGEÇMİŞLER

Macit TOKSOY

1949 da ilkkurşun (İzmir) de doğdu. 1967'de Manisa Lisesi'ni, 1972 de İstanbul Teknik Üniversitesini bitirdi. Ege Üniversitesi'nden doktora derecesini aldı. 1982 senesine kadar Ege Üniversitesinde, 1999 senesine kadar, fakültesinin üniversite değiştirmesi, nedeniyle Dokuz Eylül Üniversitesi'nde öğretim üyesi olarak çalıştı. 1999'dan bu yana da İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde öğretim üyesi olarak çalışma hayatına devam ediyor. 1999 senesinde Cumhurbaşkanlığı Genel Sekreteri, eski İzmir Valisi Sayın Kemal Nehrozoğlu'nun kurduğu, Jeotermal Enerji Yüksek Danışma Kurulu'na üye seçilmesiyle, Türkiye'deki jeotermal enerji uygulamalarını tanıma fırsatı buldu. O tarihten bu yana akademik çalışma zamanını ve gücünü, ülkemizdeki jeotermal enerji bölge ısıtma sistemlerinin çağdaş, bilimsel ve teknik ölçütlerde projelendirilmesi ve uygulanmasına, ilgili bilgi ve teknolojinin yayılması için seminer ve konferanslar düzenlenmesine, ilgili alanda araştırma yapmaya, lisansüstü tez çalışmaları yaptırmaya, bu alanda kamu kaynaklarının toplumsal duyarlılıkla kullanılmasına, ilgili alanda "Türkçe" yayın yapmaya ve yapılmasına katkı koymaya, yine ilgili alanda teknik standartların geliştirilmesine, MTE bünyesinde Türkiye'nin gereksinimi olan Jeotermal Araştırma Geliştirme Test ve Eğitim Merkezi (GEOCEN) 'nin kurulmasına ve nihayet çok önemsediği ve gururunu duyduğu bir grup jeotermal enerji bölge ısıtma sistemi uzmanının yetişmesine katkı koymaya ayırdı. Yaptıklarından çok mutlu. Bu mutluluğa neden olan Sayın Nehrozoğlu'na, gece ve gündüzlerini jeotermal enerji ile geçirmesine müsaade ettikleri için ailesine, çalışmalarını destekleyen Balçova Termal ve Balçova Jeotermal Şirketi yöneticilerine çok, lisansüstü öğrencilerine çok teşekkür ediyor.

Fasih KUTLUAY

1955 yılında İzmir'de doğdu. 1977 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makine Bölümünü bitirdi. 80'li yıllarda serbest olarak çalıştı. 1981-1994 yılları arasında Makine Mühendisleri Odası İzmir Şubesi'nde profesyonel yönetici olarak şube sekreterliği görevini yürüttü. 1978-1998 yılları arasında çeşitli dönemlerde Makine Mühendisleri Odası İzmir Şubesi'nde yönetim kurulu üyeliği ve başkanlığı görevlerinde bulundu. Halen Balçova Jeotermal Enerji San. Ve Tic. Ltd. Şti.'nde genel müdür olarak görev yapmaktadır.

Cihan ÇANAKÇI

29/01/1977 tarihinde Bursa'da doğdu. Ortaokul ve Lise öğrenimini 1995 yılında Bursa Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesinde tamamladı. 2000 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2003 yılında yine aynı üniversitenin Makina Mühendisliği Bölümünden yüksek lisans derecesini aldı. Kasım 2000 tarihinden bu yana çeşitli görevler üstlendiği Balçova Jeotermal San. Ve Tic. Ltd. Şirketinde Şubat 2003'ten bu yana proje müdürü olarak çalışmaktadır.

Adil Caner ŞENER

1977 İzmir doğumlu olan Şener, 2000 yılında ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı yıl içinde İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde yüksek lisansa başlamıştır. 2000 yılından bu yana araştırma görevlisi olarak MTE Makina Mühendisliği Bölümü'nde çalışan çalışan Şener, Balçova Jeotermal Bölge Isıtma Sisteminin Optimizasyonu adlı projeyi yüksek lisans tez konusu olarak çalışmıştır. 2002 yılında Birleşmiş Milletler Üniversitesi tarafından burslu olarak davet edildiği İzlanda'da jeotermal enerji sistemleri konulu 6 aylık eğitim programına katılmıştır. İzlanda'da kaldığı süre içerisinde Pipelab adlı bölge ısıtma sistemi simülasyon ve tasarım programı üzerinde çalışmalar yapmış ve bu programın geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Tez çalışması sırasında tasarladığı WELLOPT adlı program jeotermal bölge ısıtma sistemlerinde optimum kuyu işletme stratejisini bulmak için kullanılmaktadır. Ana çalışma konuları: jeotermal enerji sistemleri, boru mühendisliği, bölge ısıtma sistemi modellemesi ve tasarımı, jeotermal enerji sistemlerinde kontrol ve otomasyon olarak özetlenebilir.



Bu bir MMO
yayıdır

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Jeotermal Uygulamalarda Plakalı Isı Eşanjörleri

Ulf VESTERGRÉN
TRANSTER PHE

JEOTERMAL UYGULAMALARDA PLAKALI ISI EŞANJÖRLERİ

Ulf VESTERGREN

ÖZET

Bu yazı, plaka ısı eşanjörü ve kullanımını ve jeotermal uygulamalarını kapsar. İcadından günümüze kadar olan geçmiőinin kısa bir özetini içerir. Plaka ısı eşanjörünü ve elemanlarını, çalışmasını ve jeotermal uygulamalarında kullanılan malzemeleri anlatır. PHE' nin (Plate Heat Exchanger - Plaka Isı Eşanjörü) temel termodinamiği ile birlikte onunla nasıl başa çıkılacağı da anlatılıyor. Isıl yaklaşımla yatırım maliyetinin nasıl deđiőtiđi hakkında da pratik misaller veriliyor.

Contalı plaka ısı eşanjörlerinin jeotermal uygulamalarda geniş olarak kullanılmasını sağlayan özellikleri;

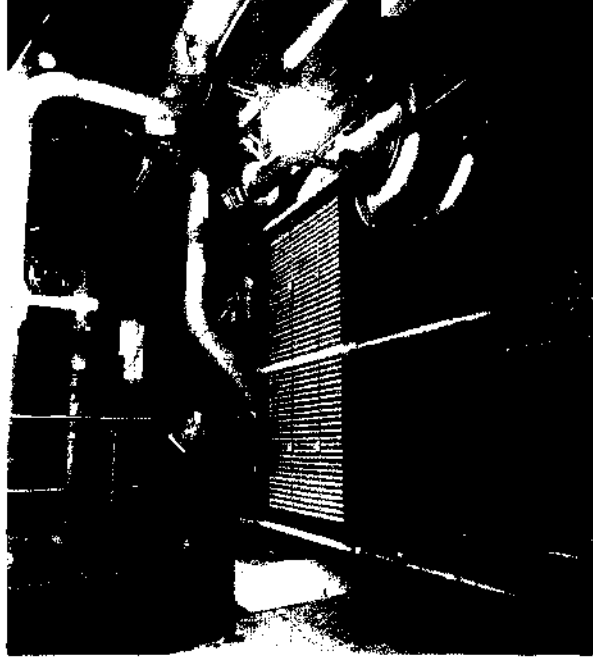
- Yüksek verim, minimum ısı transferi yüzeyi gereksinimi
- Aőınmaya dayanıklı malzemelerin ekonomik kullanımı
- Küçük tabanından dolayı az yer kaplaması
- Basit kurulumu ve işletilmesi
- Tüm ısıll yüzlere temizleme için kolay ulaşılabilmesi

GİRİŞ

Plaka tipi olarak adlandırabileceğimiz ilk ısı eşanjörü için ilk patentler Almanya' da 1800'ler sonlarında ortaya çıktı. İlk ticari plaka ısı eşanjörü (makine ile üretilmiş pirinç plakalar) 1923' te İngiltere' de Dr. Richard Seligman tarafından APV de geliştirildi. İlk plaka ısı eşanjörü, o zamanlar yaygın ve tehlikeli bir hastalık durumunda olan TBC ile savaşabilmek amacıyla sütün çabuk soğutulması için geliştirilmişti.

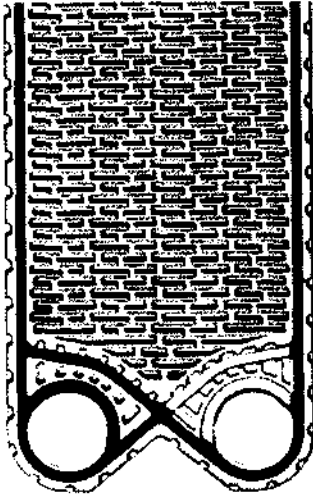


Şekil 1. Richard Seligman, ilk PHE ile görölüyor

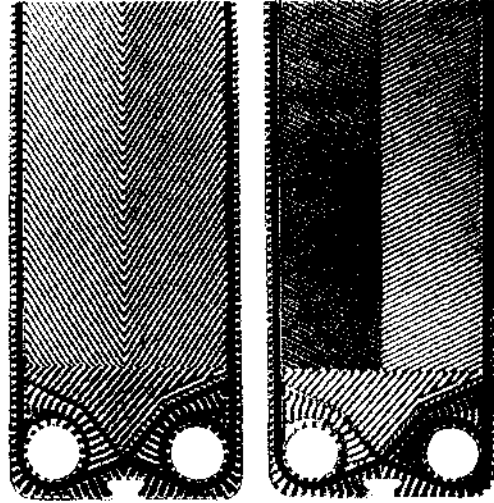


Şekil 2. Modern PHE

Preslenerek üretilen ilk plakalar 1930' larda geliştirildi. Bunlar yıkama tahtası biçimindeydiler ve öncelikle gıda uygulamalarında halen kullanılmaktadır. Yıkama tahtası plakaların az miktarda temas noktaları vardır ve bundan dolayı oldukça kalın malzemedен (0,9 - 1,2 mm) yapılmışlardır ve çok yüksek basınçlarda kullanılamıyorlardı.



Şekil 3. Yıkama tahtası plaka



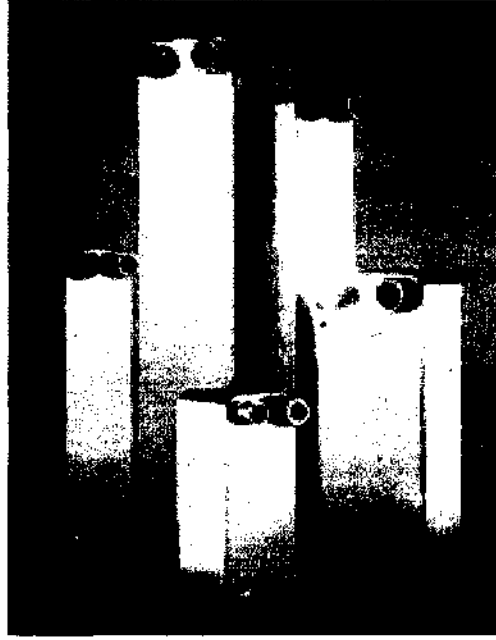
Şekil 4. Balık kılıçığı plakalar. İki plakayı farklı açılarda araya yeniliği 1960 sonlarında geldi.

1950 başlarında İsveç şirketi Rosenblads Patenter, daha çok sayıda temas noktası olan ve dolayısı ile daha iyi mekanik stabilite gösteren balık kılıçığı plakaları geliştirdi. Bu icat ile plakalar daha ince (0,6 mm) yapılabildi ve işletme basıncı daha da yükseldi ve böylece PHE gıda endüstrisi dışında daha yaygın olarak kullanım alanı buldu.

Balık kılıçığı plakalar son 50 yıl içinde çok geliştirildi, fakat çapraz düzen belli başlı tüm sağlayıcılar tarafından hala kullanılmakta. Plakalar günümüzde 0,4 mm inceliğe kadar bulunabiliyor.

Balık kılçığı plakalar son 50 yıl içinde çok geliştirildi, fakat çapraz düzen belli başlı tüm sağlayıcılar tarafından hala kullanılmakta. Plakalar günümüzde 0,4 mm inceliğe kadar bulunabiliyor.

1980' lerin başlarında pirinç kaynaklı plaka ısı eşanjörleri geliştirildi. Bunlar, balık kılçığı plakaların tüm temas noktalarında pirinç kaynakla bir araya getirilerek perçinsiz plaka ısı eşanjörünü oluşturmasından ibarettir. Bu tip eşanjörler özellikle çok soğutma uygulamalarında kullanılmakta, fakat temizlemek için açmanın gerekmeyeceği kirli olmayan uygulamalarda da kullanılmaktadır. Kirli jeotermal uygulamalarda nadiren kullanıldığı için bu tip burada daha fazla anlatılmayacak.



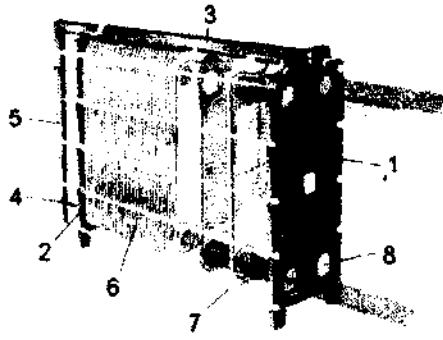
Şekil 5. Pirinç perçinli plaka ısı eşanjörleri

CONTALI PLAKA ISI EŞANJÖRLERİNİN GENEL TANITIMI

Konu sıvıdan-sıvıya uygulamalarına, bazen de buharlaştırıcıdara (evaporatör) ve yoğunlaştıruculara (kondenser) geldiğinde PHE' ler tüm ısı eşanjörleri içinde en etkin olanıdır. Bunun nedeni kırışık plaka kanalları içindeki türbülansla yatar. PHE' nin toplam ısı transfer katsayısı (k-değeri veya U-değeri) çoğu zaman kazan - boru tipi ısı eşanjörlerine kıyasla 3 ila 4 kez daha yüksektir. Isı transfer yüzeylerinin kalınlığı diğer tiplere göre çok daha azdır, bu da PHE' yi, basınç, ısı ve ısı transferi yapılacak sıvı limitleri dahilinde açık arayla en ekonomik ısı eşanjörü konumuna getirir. PHE' ler halen 25 bar basınç ve 180° C ısılarda ve hatta daha yüksek derecelerde kullanılmakta. Pazartffc bulunan en büyük üniteler 500-mm giriş-çıkış bağlantı noktaları ile tek bir üniteye 4500m³/saat akış hızı gibi özelliklere sahiptir.

Plakalar arasındaki yoğun türbülans ayrıca kirlenme sorunlarını da en aza indirger.

PHE' nin standart kısımları vardır; esas olarak sabitleştirilmiş çıkarılabilen kapak plakaları arasında sıkıştırılmış plaka destesi.



1. Sabit kapak plakası
2. Çıkarılabilir kapak plakası
3. Üst taşıyıcı çubuk
4. Alt kılavuz çubuğu
5. Uçdesteği
6. Plaka destesi
7. Sıkıştırma civataları
8. Bağlantılar

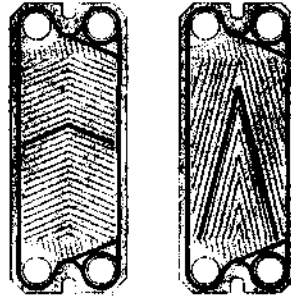
Şekil 6. PHE içindeki parçalar

Plakalar $0,02 \text{ m}^2$ den 4 m^2 den daha büyük ölçülere kadar bulunuyor. Tek bir üniteye bir kaç yüz plaka kullanılabilirdiği için tek bir üniteye toplam ısı transfer yüzeyi 2000 m^2 den daha fazla olabilir.

PLAKALAR

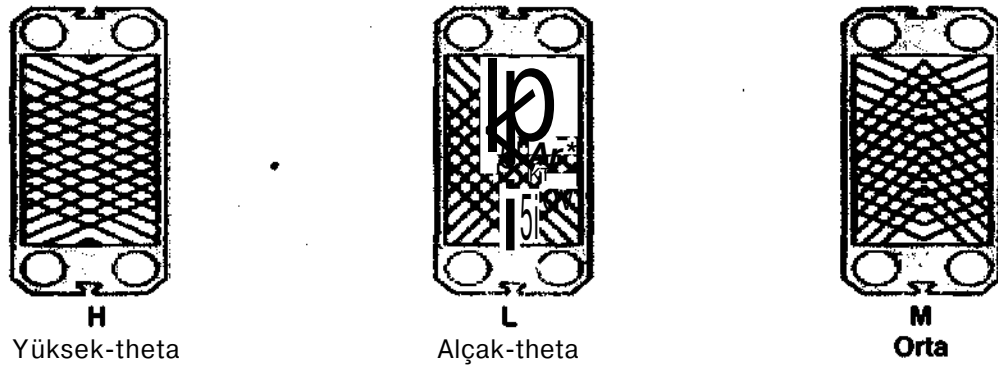
Yukarıda değinildiği gibi prensip olarak, bugün sunulmakta olan tüm plakalar balık kılçığı tipindedir, ve burada da yalnız bu tipten bahsedeceğiz.

Geleneksel balık kılçığı plakalar günümüzde iki ok açısı ile yapılıyor, biri akışa karşı yüksek dirençli "yüksek-theta" ve diğeri de akışa karşı daha alçak dirençli "alçak-theta".



Şekil 7. İki ok açılı balık kılçığı plakalar.

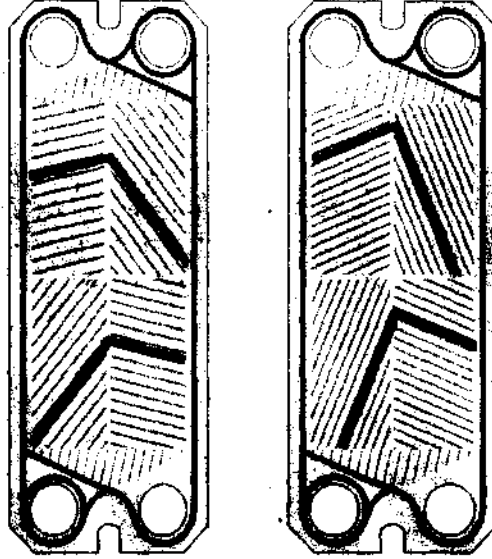
Bu iki tip plaka, her biri ısı transferi ve basınç düşmesi bakımından farklı karakteristikler gösteren üç farklı şekilde kombine edilebilirler.



Şekil 8. İki simetrik plakayı kombine ederek üç farklı kanal

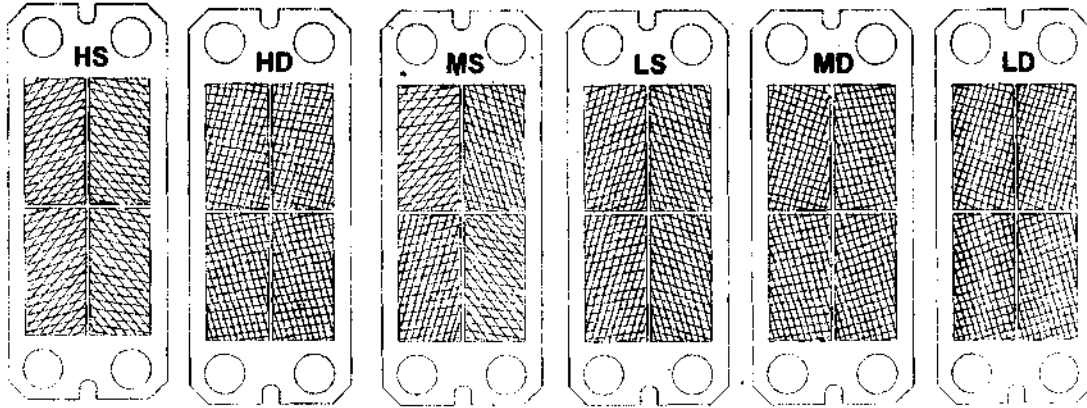
Simetrik plakalar ile birincil ve ikincil yanlar geometrik olarak aynıdır ve plaka destesi en iyi şekilde yalnız bir yan üzerinde kullanılabilir.

Daha sonra çıkan bir yenilik ise asimetrik plakadır, bu iki takım ok açısına sahiptir, biri yüksek-theta ve diğeri de alçak-theta.



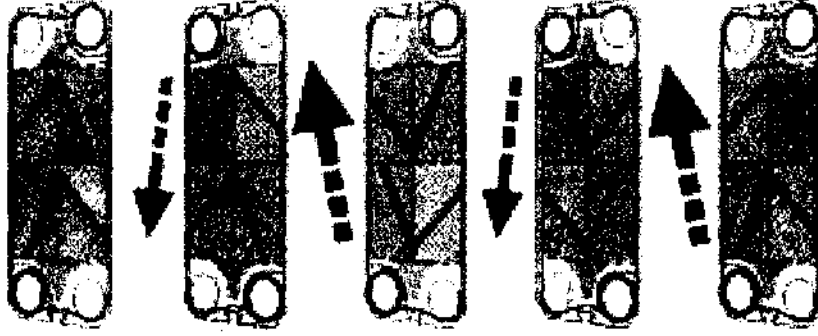
Şekil 9. Asimetrik yüksek- ve alçak-theta plakalar

Bu iki plaka, her biri farklı ısı transfer karakteristiği gösteren altı değişik akış kanalı olacak biçimde kombine edilebilir.



Şekil 10. İki farklı plakayı kombine ederek altı değişik akış kanalları mümkündür

Asimetrik plakalar ayrıca asimetrik plaka destesi oluşturma olanağını da verir, bunda birincil tarafın geometrisi ikincil taraftaki geometriden farklıdır. Bu iki yanı da ayrı ayrı en iyi şekilde kullanma ve böylece gereken ısı transfer yüzeyinin azaltılması ile var olan basınç azalmasının daha iyi kullanılması olanağını sağlar.



Şekil 11. PHE' de asimetrik en iyi kullanım

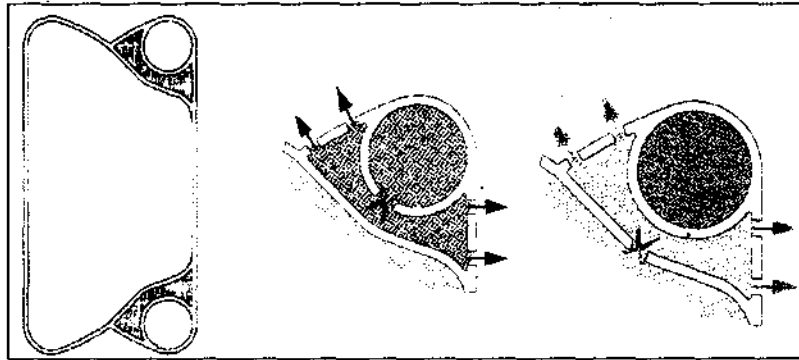
Tasarlanmış basınç değeri ve bakım stabilitesine uygun olarak plakalar 0,4 mm' den 0,8 mm' ye kadar farklı kalınlıklarda üretilirler. Temizleme ve diğer nedenlerle ünitenin açılması gereken uygulamalarda ince plakalar kullanılmaz.

Jeotermal uygulamalarda en sık kullanılan malzemeler AISI 316, 254 SMO ve ticari saf (derece 1) titanyumdur. Diğer yüksek alaşım malzemeler de jeotermal sıvıların çok korozif olduğu hallerde kullanılırlar.

CONTALAR

Her bir plakanın çevresinde ve iki giriş-çıkış deliği etrafında bir conta vardır. Bunu yanındaki plakada da diğer delikler etrafında conta vardır. Bu sıvının, ısı eşanjörü içindeki farklı kanallardan geçirilmesine olanak verir; aşağıdaki akış düzenlerine bakınız.

Tüm sağlayıcılarda tüm plakalarda contalar öylesine düzenlenmiştir ki iki conta iki sıvıyı ayırır. Bu güvenlik özelliğinin nedeni, seyrek de olsa görülebilen conta arızası durumlarında sıvının karışmak yerine dışarı akacak olmasıdır.



Şekil 12. Çifte conta iki sıvıyı ayırır

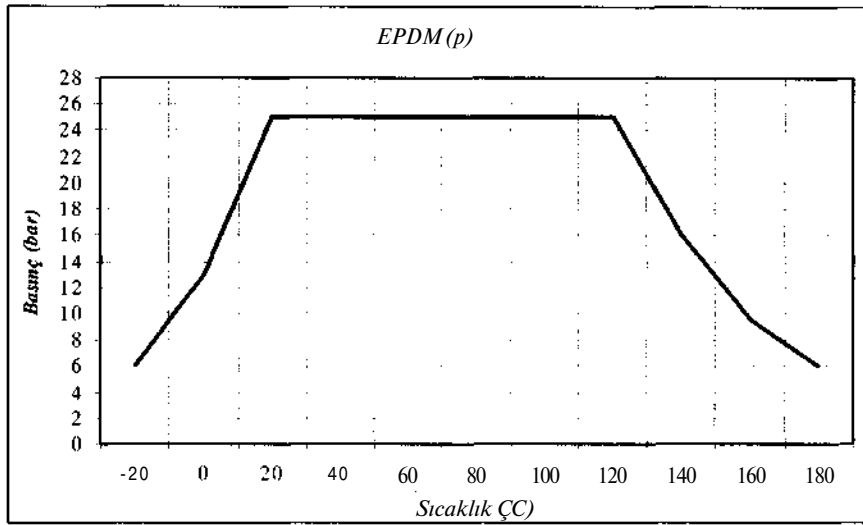
Contalar muhtelif farklı elastomerler kullanılarak üretilebilir. Günümüzde en yaygın kullanılanlar şunlardır:

Elastomer	En iy conta özelliği için maksimum işletme ısı
Nitrile (NBR)	140 derece C
EPDM	170 derece C
Fluorinli contalar (Vitonlar)	100-180 derece C, tipine ve uygulamaya göre

Farklı vulkanizasyon (işleme) sistemleri kullanılıyor. Günümüzde yukarıdaki elastomerlerin peroksit ile işleme tabi tutulmuş çeşitleri en yaygın olanlarıdır ve yukarıda belirtilmiş olan ısılar yalnız en yüksek kaliteli peroksit ile işlenmiş contalar için verilmiştir.

Jeotermal uygulamalar için NBR ve EPDM en yaygın biçimde kullanılanlardır.

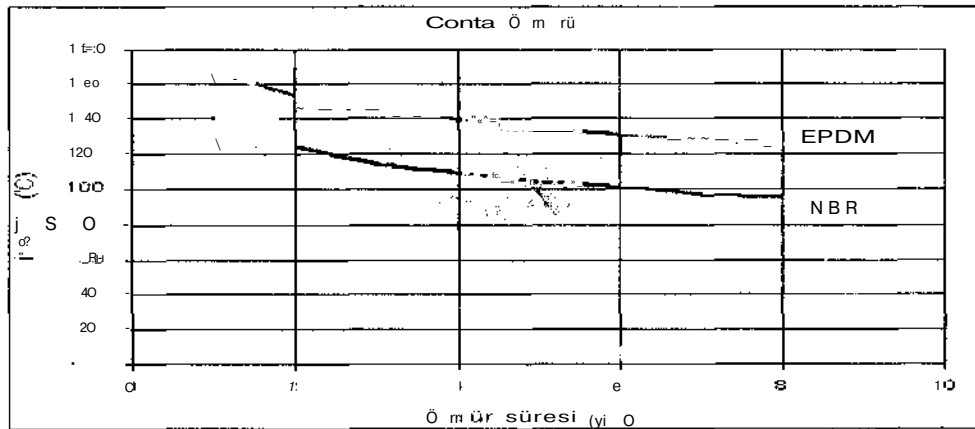
Contalar zaman içinde eskirler. Yukarıdaki azami işletme sıcaklığı, conta malzemesinin sıvıya dayanıklı olmasına ve belirli bir süre için stabil şartlarda kullanılıyor olmasına göre geçerlidir. Aynı zamanda işletme basıncına da bağlıdır; yüksek işletme basıncı orijinal esneklikte bir conta gerektirir iken biraz eskimiş bir conta işletme basıncının düşük olduğu hallerde yeterli olacaktır.



Şekil 13. Çeşitli conta malzemeleri için işletme basıncı ve ısısı limitasyonları

İşletme ısısı düşük oldukça contanın ömrü de uzun olur. Basit bir hesaplama, işletme basıncının 10 derece C daha düşük olması contanın ömrünü iki katına çıkarır. Buna Arrhenius eşitliği denir. Dolayısıyla azami işletme sıcaklığı yüksek olan kalitede bir conta kullanmak avantajlı olacaktır. Bu contanın muhtemel ömrünün uzun olmasını sağlayacaktır.

Aşağıdaki tablo peroksit işlemeli NBR ve EPDM' contalarının muhtemel ömürlerini gösteriyor:



Şekil 14. NBR(p) ve EPDM(p)' nin orta basınçlı suda muhtemel ömürleri

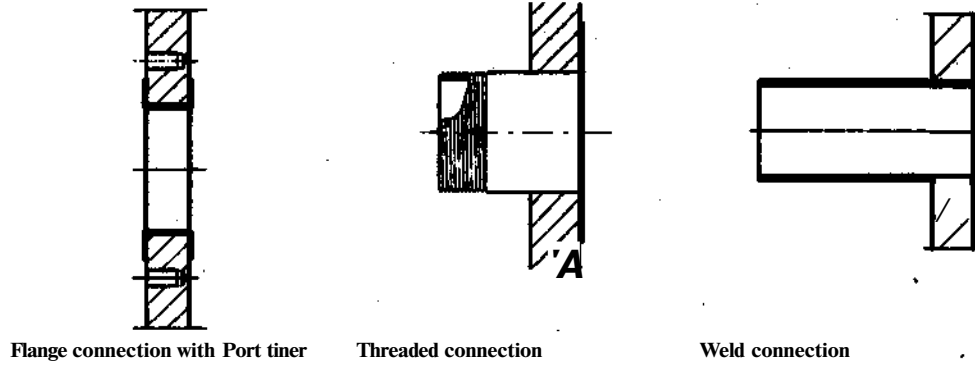
ÇERÇEVELER

Plaka ısı eşanjörünün çerçevesi jeotermal uygulamalarda normal olarak karbon çeliğinden yapılır. Kapaklar ve civatalar farklı basınç kodlarına ve standartlarına göre tasarlanmışlardır, Avrupa için PED geçerlidir, Amerika' da ASME VIII geçerlidir.

Sıkıştırma civataları yüksek gerilime dayanıklı çelikten yapılmış olmalıdır ve mesela bir çinko kaplama ile korunmalıdır. Plaka destesi ile temasta olan üst ve alt çubuklar için olan parçalar da normal olarak paslanmaz çelikten yapılır.

Karbon çeliğinden olan yüzeyler iyi bir yüzey koruma programına tabi tutulmalıdır; aşınmayı önlemek için kum püskürtme, birincil ve son kaplama gibi.

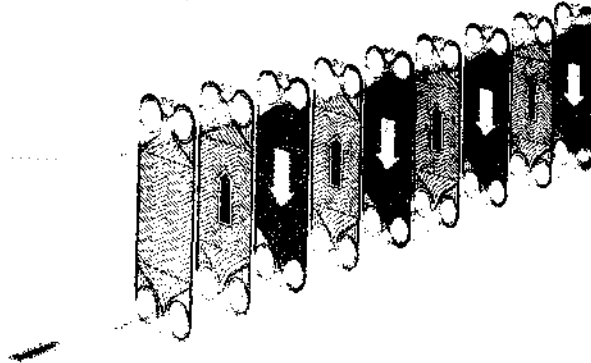
Mümkün olan çeşitli bağlama tipleri vardır, bugün endüstriyel uygulamalarda en yaygın olarak kullanılmakta olan büyük üniteler için düğmeli girişler veya daha küçük üniteler için yivli ya da kaynaklı uçlu borulardır. Bağlantılar sıvıya dayanıklı bir malzeme ne astarlanmalıdır ki sıvı karbon çelik çerçeve ile temasa gelemesin. Astarlama, paslanmaz çelikten, titanyumdan ya da kauçuktan yapılabilir.



Şekil 15. Farklı bağlantı tipleri

AKIŞ DÜZENLERİ

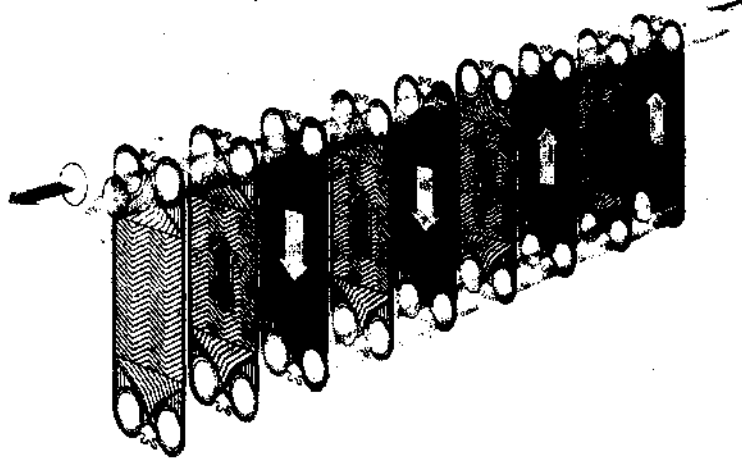
En yaygın ve tercih edilen akış düzeni ünitenin tek geçişli olarak ayarlanmasıdır. Bu, sıvının plaka destesini bir defa geçmesi ve tüm bağlantıların sabitlenmiş kapak plakasına yapılmış olması demektir. Bu durumda sonuncusu hariç tüm diğer plakaların açılmış dört bağlantı delikleri vardır. Sıvının karbon çeliği ile doğrudan temas edememesi için son plakanın açılmış hiç bir deliği yoktur.



Şekil 16. Bir geçişli düzen

Şayet ısı programı çok dar ise o takdirde çoklu geçiş sistemi kullanmak gerekebilir. Bu şu anlama gelir; sıvı plaka demetinin bir kısmını geçer ve çıkışta toplanır ve sonraki geçişe yönlendirilir. Bu durumda, doğru akışı sağlamak için dönen plakalar gerekir. İkili-geçiş düzeninin gösterilmiş olduğu aşağıdaki şekle bakınız.

Çoklu geçişli düzenin bir mahzuru bağlantıların çıkarılabilir plaka üzerinde bulunması zorunluluğunun olmasıdır. *Bu* durum, ünitenin açılabilmesi için çıkarılabilir plaka üzerindeki boruların yerinden çıkarılmasını gerektirdiğinden bakım çalışmalarını zorlaştırır.



Şekil 17. ikili-geçiş düzeni

ISI EŞANJÖRLERİ İÇİN TERMODİNAMİK TEMELLER

Bir ısı eşanjörünün ısı yükü farklı şekillerde açıklanabilir:

$$Q_H = m_H \cdot C_p \cdot \Delta T_H$$

$$Q_C = m_C \cdot C_p \cdot \Delta T_C$$

$$Q = k \cdot A \cdot \text{LMTD}$$

Burada:

m = beher birim zamanda akan kütle (kg / sn)

C_p = özgül ısı kapasite (J / kg. K)

ΔT = sıvının ısı değişimi (K)

H ve C sıcak ve soğuk suyu işaret eder

k = Toplam ısı aktarımı katsayısı (W / m², K)

A = Isı transfer yüzeyi (m²)

Belirli bir iş için k ve A ' dan başka diğer verilerin hepsi biliniyor. Ölçünün amacı elde edilebilecek olan toplam ısı aktarımı katsayısına göre ne kadar ısı aktarım yüzeyi gerektiğini bulmaktır.

Isı dengesi şunu gerektirir: $Q_H = Q_C = Q$

LMTD Logaritmik Ortalama Isı Farklılığı (Logarithmic Mean Temperature Difference) anlamındadır.

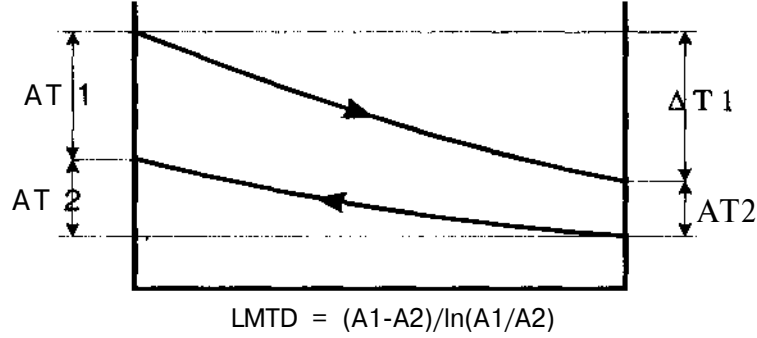
LMTD sıcak sudan soğuk suya ısı transferini sağlayan güçtür, bu da iki sıvı arasındaki ortalama ısı farkıdır.

LMTD küçüldükçe daha büyük ısıtma yüzeyi gerekir.

LMTD küçüldükçe daha çok ısı kazancı olur.

LMTD "iş yaptıran itici güçtür".

Zit akışlı bir ısı eşanjöründe, aşağıdaki diyagramda gösterildiği üzere, LMTD şöyle hesaplanır:



Şekil 18. LMTD' nin tanımı

Burada:

A1 = Sıcak giriş ile soğuk çıkış arasındaki ısı farkı

A2 = Sıcak çıkış ile soğuk giriş arasındaki ısı farkı

AT1 = Sıcak sıvının ısı değişimi

AT2 = Soğuk sıvının ısı değişimi

Ar = A2, LMTD = A1 = A2 olduğu özel durumda

Toplam ısı transferi katsayısı (k) şöyle yazılabilir:

$$1/k = 1/a_h + 1/a_c + d/lh + Rt$$

burada;

d = ısı transfer plakasının kalınlığı (m)

A = ısı transfer plakasının maddesinin ısı iletkenliği (W, m, K)

Rf = kirlenme faktörü ($m^2, K/W$), bu gelecekteki kirlilikler için tasarımda eklenmiş olan marjdir.

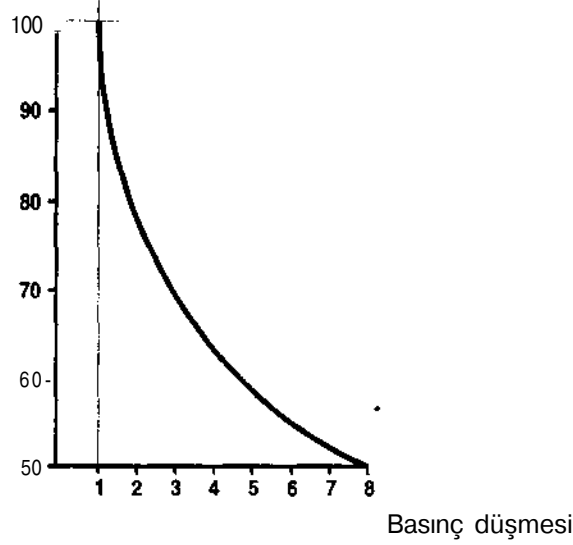
Bu veriler işletme sırasında elde edilmiştir.

AH ve aC sıcak ve soğuk tarafların ısı transfer katsayılarıdır. Bu değerler Reynolds sayısı, Nusselt sayısı ve Prandtl sayısı arasındaki ilişkiler için kullanılan ampirik eşitliklerden elde edilmiştir. Aşağıya bakınız.

k-değeri, basınç düşmesine bağlı olarak sıvı-sıvı uygulamalarında normal olarak $3000 - 7000 W/m^2, K$ mertebesindedir.

Basınç düşmesine fazla izin verdiğiniz kadar işi yapmak için daha küçük ısı transfer yüzeyine gereksinim olacaktır. Basıncılı sularda toplam ısı aktarın katsayısı ve basınç düşmesi arasındaki ilişki şöyledir:

Gerekli ısı transfer alanı



Şekil 19. Basıncılı akışta basınç düşmesi ve ısı transfer yüzeyi arasındaki ilişki: $k \sim (Ap)^{1/3}$

Bu, basınç düşmesini iki katına çıkarmanın teorik olarak gerekli ısıtma yüzeyini %20' den fazla azalması gerektiği anlamına gelir. Gerçekte büyük basınç düşmesinin ısı transfer yüzeylerini kirletme hızını artıracığından azalma daha fazladır.

PHE kanalında basıncılı akış için ısı transfer eşitliği şöyle yazılabilir:

$$Nu = C * Re^{a7} * Pr^{1/3} * (rj/rjw)^{0.14}$$

Bu eşitlik ampiriktir ve denemelere dayanır.

Burada:

$$Nu = \text{Nusselt sayısı} = a * dh / A$$

C = kanal geometrisine bağlı olan sabite

$$Re = \text{Reynolds sayısı} = w * dh / v$$

$$Pr = \text{Prandtl sayısı} = r * cp / A$$

rj = ortalama ısıda dinamik akışkanlık (kg, m, s)

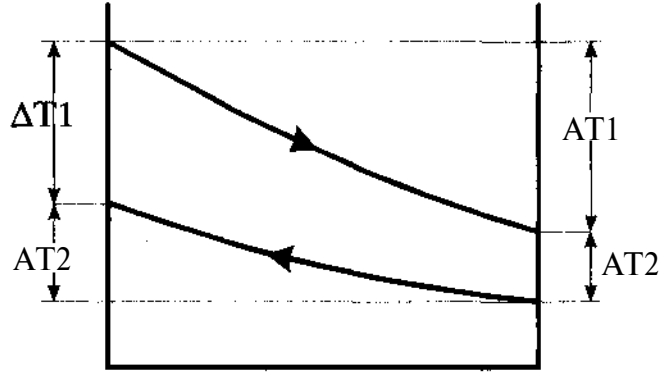
rjw = duvar ısısında dinamik akışkanlık

v = ortalama ısıda kinetik akışkanlık (m^2 / s) $n = p * v$

p = sıvının yoğunluğu (kg / m^3)

dh = hidrolik çap (m) (~PHE kanalının derinliğinin iki katı)

Bir ısı transfer işinin termal uzunluğu ($0 = HTU = NTU$) işin ne kadar "zor" olduğunu belirler, bu yapılması gereken işin (ısı transferi) ısı transferi için var olan iş görme gücüne bölünmesinin sonucudur (LMTD).



Şekil 20. Termal uzunluk = theta = HTU

Her sıvının kendi 0 değeri vardır;

$$O1 = AT1 / LMTD$$

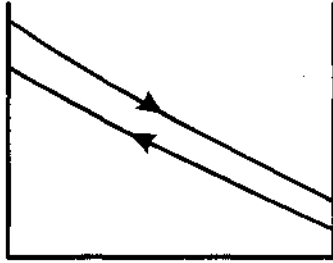
$$O2 = AT2 / LMTD$$

Burada AT1 ve AT2 sıcak ve soğuk suların grafiğe göre ısı değişimleridir.

Termal uzunluk, "yapılacak işin" "iş yapmak için var olan güce" oranlanmasıdır; bu da ısı değişiminin LMTD ile bölünmesidir.

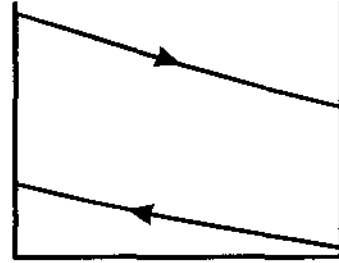
Bir "yüksek- 0" işi (dar bir ısı programı) uzun bir plaka veya PHE için çoklu geçişli bir düzen gerektirir. Bu "zor" bir iştir ve belli bir ısı yükü ve akış hızı için daha fazla ısıtma yüzeyi gerektirir.

Bir "düşük- 0" işi (geniş yayımlı bir ısı programı) kısa bir plaka veya PHE için tekli geçişli bir düzen gerektirir. Bu "kolay" bir iştir ve belli bir ısı yükü ve akış hızı için daha az ısıtma yüzeyi gerektirir.



Yüksek-theta

Uzun plaka ve çoklu geçiş
"Zor" iş, belli bir iş için daha
çok yüzey gerektirir.



Düşük-theta

Kısa plaka ve tekli geçiş
"Kolay" iş, belli bir iş için daha
az yüzey gerektirir.

Şekil 21. Yüksek-theta ve Düşük-theta ısı programları

Yüksek-theta işine misal: 90 => 30 / 20 => 80 derece C

Düşük-theta işine misal: 60 => 50 / 30 => 40 derece C

LMTD = 10

Theta = 6

LMTD = 10

Theta = 0,5

AŞINMAYI ÖNLEMEK İÇİN PLAKA MALZEMESİ

Jeotermal sistemlerde en yaygın karşılaşılan aşınma tipi klor saldırısıdır ve malzeme seçimi çoğu hallerde şöyle tespit edilir:

- AISI 304 yalnız çok düşük oranlarda klor içeren dolaşım sistemlerinde kullanılır ve jeotermal sistemlerde nadiren kullanılır.
- AISI 316 daha çok alaşımlıdır ve yüksek klor içeriği hallerinde kullanılabilir
- SMO' nun klor saldırısına karşı daha da yüksek derecede dayanıklılığı vardır.
- Titanyum (derece 1) klor saldırısına karşı jeotermal sistemlerde 100 derece C ye kadar hemen hemen tamamen korumalıdır.
- Palladyum ile stabil duruma getirilmiş titanyum (derece 11) daha yüksek ısılarda derece 1 yerine kullanılır.

Klor ppm	60 °C	80 °C	120 °C	130 °C
≤10	304	304	304	316
≤25	304	304	316	316
≤50	304	316	316	Ti
≤80	316	316	316	Ti
≤ 150	316	316	Ti	Ti
≤300	316	Ti	Ti	Ti
>300	Ti	Ti	Ti	Ti

Şekil 22. Değişik klor içerikli saf su için yaklaşık azami konsantrasyonlar

PHE TASARIMINDA SEÇİM VE İYİ UYGULAMALAR

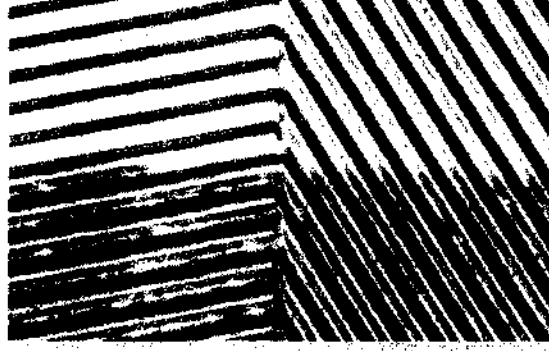
Bir ısı transfer plakasının tasarımı oldukça karmaşıktır ve en iyi sonucu almak için çok sayıda parametrelerin değiştirilmesi gerekebilir. Bu günlerde bu tasarımlar bilgisayar ile yapılmakta.

iyi bir PHE seçimi yapmak için gereken parametreler:

- Tam iş (Isıl yük, akış hızı, ısılar)
- Her iki taraf için izin verilen azami basınç düşmeleri
- Su analizleri veya kullanılacak plaka malzemesinin özellikleri
- Tasarım basıncı ve ısı
- Tasarımı etkileyen sair bilgiler; kirlenme eğilimi gibi.

KİRLETME

Kirlenme, ısı transfer yüzeyinin ısı transferini azaltan ve/veya basınç düşüşünü arttıran bir maddeyle kaplanması demektir.



Şekil 23. Kirlenme ısı transferini azaltır ve maliyeti arttırır.

Jeotermal sistemlerde en yaygın görülen kirlenme çeşitleri;

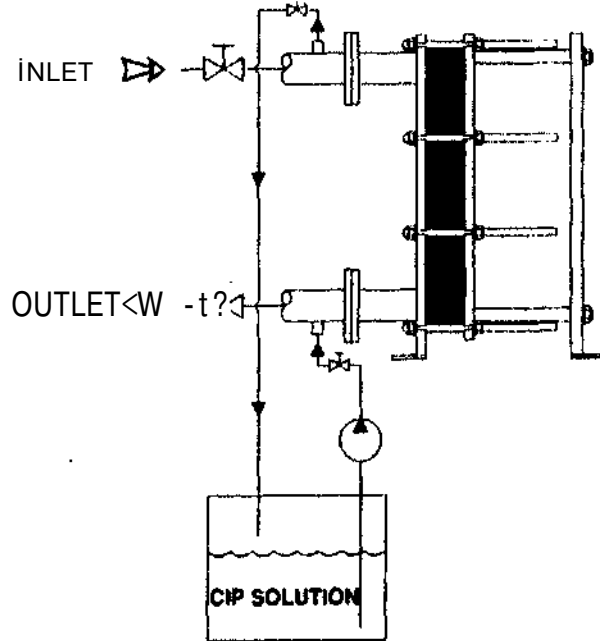
- Kalsiyum karbonat (kireç) birikimi
- Sedimentasyon
- Partikül blokajı

Kirlenme ısı transferini çok büyük oranda azaltabilir ve dolayısı ile minimize etmek gerekir. Kullanılan başlıca metotlar;

- Kirlenme hızını azaltmak için pro-aktif tasarım; sıvı ve plaka arasındaki ayrışım baskısını yüksek tutmak yardımcı olur; 50 Pa önerilir.
- Dahili ve/veya harici süzücüler
- Yumuşatma filtreleri, mümkün ve uygun olan durumlarda
- Çerçeveden çıkarıldıktan sonra plakaların mekanik temizlenmesi. Bu işlemin kolay olabilmesi için üniteyi ona göre yerleştirin. Tek geçişli düzen ya da çoklu geçiş düzeni gerekiyorsa çıkarılabilir borular kullanın. Temizlemek için tel fırça veya demir tel kullanmayın.
- Kimyasal temizleme. Uygun bir kimyasal kullanarak kirlenmeyi temizleyin. Bu işlem plakaların tek tek temizlenmesi ile veya içlerinde uygun bir yerinde temizleme sıvısı dolaştırılmasıyla da yapılabilir. Bu kimyasalların uygunluğunu PHE sapsayıcısı ile doğrulayın. Plaka destesini her kimyasal temizlemeden sonra temiz su ile durulayın.



Şekil 24. Yerinde temizleme sıvısı örnekleri



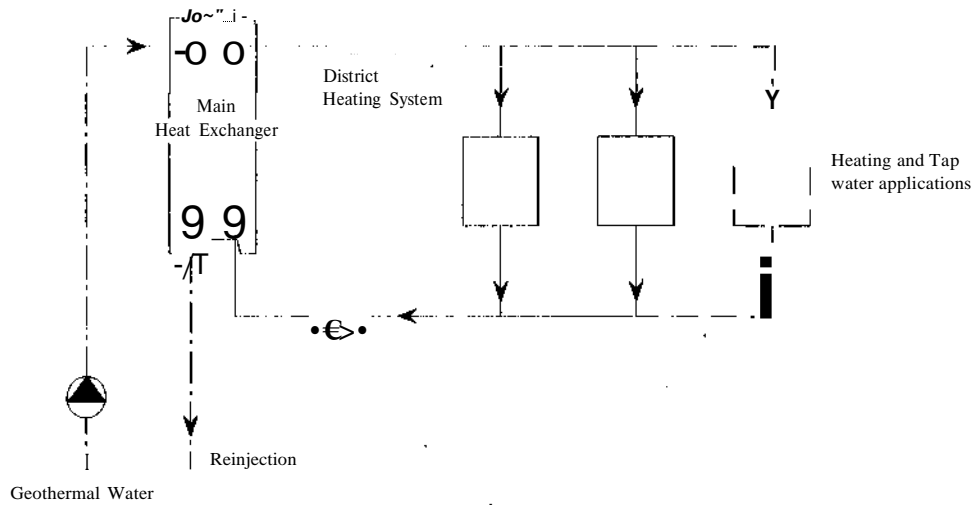
Şekil 25. Yerinde temizlemenin yapılışı

JEOTERMAL UYGULAMALARA MİSALLER

Isıtma amacıyla kullanılan bir sistemde, jeotermal suyu veya buharı, dolaştırılan taze su sisteminden ayırmak için santrale bir geniş ana ısı eşanjörü kurulur. Isı eşanjöründe ısı düşürüldükten sonra jeotermal su yere tekrar enjekte edilir. Isıtılmış olan taze su ısıtma sistemine pompalanır.

Bu ısı eşanjörü sık sık, klor içeriği çok yüksek olabildiği için özel malzemelerden yapılmalıdır. Yüksek klor içeriği için en yaygın kullanılan malzeme titanyumdur, fakat zaman zaman ısıya, klor derecesine, pH ve iyon durumlarına bağlı olarak daha yüksek evsafa 254 SMO gibi paslanmaz çelik kullanmak gerekebilir. Böyle bir ünite 16-25 bar gibi yüksek işletme basınçları için tasarlanır.

Bireysel ısı eşanjörleri musluk suyu üretmek veya ısınma amacıyla ya her bir kullanıcıda kurulur ya da kullanıcı grupları için kurulur. Bu gibi eşanjörler AISI 316 ısıtma yüzeyleri ile yapılır.



Şekil 26. Tipik bir kurulum

ISI YAKLAŞIMININ FONKSİYONU OLARAK YATIRIM MALİYETİ - PRATİK BİR ÖRNEK

Bölgesel bir ısıtma sistemi marifetiyle ısı profili $95^{\circ}\text{C} \Rightarrow 50^{\circ}\text{C}$ olan bir jeotermal suyu ayırmak için ana bir ısı eşanjörü kullanılacak.

Jeotermal akış değerinin 300 ton/saat ve bölgesel ısıtma sistemindeki akış değerinin 375 ton/saat olduğunu kabul edelim.

Isıl yük $300 \text{ ton/saat} * (95 - 50) * 1,163 = 15700 \text{ kW}$ olarak hesap edilebilir.

Bölgesel ısıtma sistemindeki ısı değişimi $15700 / 1,163 / 750 = 36^{\circ}\text{C}$ olarak hesap edilebilir.

ikincil ısı eşanjörlerini mümkün olduğunca küçük yapabilmek için bölgesel ısıtma sisteminin ısı seviyesi belli ki, mümkün olduğunca yüksek olmalıdır Madalyonun öbür yüzünde de, bölgesel ısıtma

sisteminin ısısının yüksek olduğu oranda ana ısı eşanjör sisteminin daha büyük ve daha pahalı olacağı gerçeği vardır.

1 barlık (100 kPa) bir basınç düşmesi kullanabileceğimizi var sayalım.
Böylece ısı aktarım işi şöyle olur;

300 ton / saat jeotermal su soğutulacak	95°C => 50°C	Max. 100 kPa
375 ton /saat D.H. su ısıtılacak	T2°C<=T1°C	Max. 100 kPa
(Burada T2 - T1 = 36°C tır)		

PHE' nin ölçüsü ve maliyeti şimdi hesaplanabilir. Bunu yapmanın en kolay ve en hassas yolu, bu bilgisayarlık seçim işini sizin için çabucak yapmasını bir sağlayıcıdan istemektir. Sonuç şöyle olacak (2003):

T1 °C	T2 °C	LMTD °C	Gerekli yaklaşık ısıtma yüzeyi m ²	Hesaplanan k-değeri kW/ m ² ,K	AISI 316 Ünitenin Yaklaşık fiyatı kEuro	Titanyum ünitenin yaklaşık fiyatı kEuro
49	85	3,91	940	4270	56	110
48	84	5,28	680	4370	42	78
47	83	6,49	480	5040	32	57
46	82	7,64	350	5870	25	44
45	81	8,74	300	6000	21	37

Gelen jeotermal su ile çıkan bölgesel ısıtma su arasında daha küçük bir ısı yaklaşımı, daha büyük ve daha pahalı ısı eşanjörü anlamına gelir. Her bir ısı derecesi çok şey ifade eder. Bu ölçüde titanyum bir eşanjör AISI 316 bir ünitenin iki katı fiyatıdır.

Aynı tip bir araştırma kullanıcının yerindeki ısı eşanjörleri için de yapılabilir ve bölgesel ısıtma sistemlerinin ısıları, tüm ısı eşanjörleri için en az toplam maliyetli olan olarak değerlendirilebilir.

ÖZGEÇMİŞ

Ulf VESTERGREN

Ulf Vestergren Stockholm (İsveç)' da bulunan Royal Teknoloji Üniversitesi-Termal Enerji Teknolojileri bölümünden 1975' te mezun oldu.

Tranter PHE' de 27 yıl Isı Eşanjörleri konusunda çeşitli pozisyonlarda Makina Mühendisi olarak çalışan Ulf Vestergren, halen görevine Tranter PHE Satış Müdürü olarak devam etmektedir.