

# JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMLERİNİN TASARIM KRİTERLERİ

**Ali Çetin GÜRSES**

Jeotermal destekli bir bölgesel ısıtma sisteminin tasarımında, jeotermal enerji kaynağının genel özelliklerinin dışında ekonomik ve uygulanabilir bir sistem tasarımı için göz önünde tutulması gereken pek çok faktör vardır.

Bu kriterlerin bazıları sınırlayıcı, bazıları ise uygulanabilir tasarım aralıklarının tespiti açısından önem taşırlar.

Jeotermal bir bölgesel ısıtma sistemi tasarımında;

## SINIRLAYICI FAKTÖRLER

- Jeotermal akışkanın kompozisyonu
- Kuyu başı debisi,
- Jeotermal kaynak sıcaklığı,
- Enerji kullanım yoğunluğu,
- Jeotermal Kaynak derinliği,
- Jeotermal kuyularla uygulama arası uzaklık,
- Alternatif Enerji Maliyeti.

## TASARIM PARAMETRELERİ

- Kuyu başı ve kuyu içi ünitelerin seçimi,
- Jeotermal dağıtım sistemi,
- Sıcaklık düşümü,
- Sistem yük faktörü ve toplam yükü,
- Son kullanıcı üniteleri, ısıtıcılar,
- Uygun malzeme seçimi,

olarak iki ayrı grupta toplanabilirler. Karar ve tasarım esnasında yukarıda belirtilen bu kriterler özenle gözden geçirilmeli, son tüketiciye ulaşan enerjinin ekonomik ve uygulanabilir sınırlar içinde kalıp kalmadığı tahkik edilmelidir.

## A-JEOTERMAL BÖLGESEL ISITMA SİSTEMİ TASARIMINDA SINIRLAYICI FAKTÖRLER:

### A1-Jeotermal Akışkanın Kompozisyonu:

Jeotermal Kaynaklarda mevcut akışkan sıcak su, buhar veya su-buhar karışımı olarak, içinde çözümlenmiş katı ve gazlarla tuzlu sudan eriyiğe kadar değişik yoğunluklardadır. Jeotermal akışkanlar bünyelerinde mevcut çözülmemiş katı ve gaz madde miktarlarına bağlı olarak:

- a.  $V_a$  sınıfı akışkanlar  
Korozif madde oranı  $< 5000$  mg/kg  
alkali madde ( $CaCo_3$ )  $207 < a < 1329$  mg/kg  
pH seviyesi  $6.7 < pH < 7.6$
- b.  $V_b$  sınıfı akışkanlar  
Korozif madde oranı  $< 5000$  mg/kg  
alkali madde ( $CaCo_3$ )  $< 210$  mg/kg  
pH seviyesi  $7.8 < pH < 9.85$

olarak iki ayrı grupta toplanmaktadırlar. Gerek korozif ve gerekse alkali madde seviyesi yukarıdaki sınırların üzerinde olan akışkanlar genellikle jeotermal uygulamalar için uygun görülmemektedir. Jeotermal akışkanın kompozisyonu uygulama için uygun malzeme seçimi açısından büyük öneme sahiptir.

#### **A2-Kuyu başı debisi:**

Bir Jeotermal Kaynaktan çekilebilecek enerji miktarı kaynaktan çekilecek akışkan debisi ile direk orantılıdır. Ekonomik bir tasarıma ulaşabilmek için kuyu başı akışkan debisinin 25-50 lt/s aralığında olması arzu edilen bir durumdur.

#### **A3-Jeotermal Kaynak sıcaklığı:**

Jeotermal temelli bir bölgesel ısıtma sistemi için arzu edilen kaynak sıcaklığı (T) aralığı

$$90^{\circ}C < T < 150^{\circ}C$$

dir. Kaynak sıcaklığının  $90^{\circ}C$ 'nin altında kaldığı durumlarda, konvensiyonel ısıtma sisteminin panel ısıtması veya ısı pompası olarak seçilmesi halinde uygun çözümler üretmek imkanı bulunmamakla beraber, bölgesel ısıtma sisteminin toplam maliyetinin ekonomik sınırlar içinde kalıp kalmadığının tespiti açısından hassas bir analizinin yapılması gerekli olacaktır.

#### **A4-Enerji Kullanım yoğunluğu:**

Birim alanda kullanılan enerji miktarı Jeotermal ısıtma sistemleri için bir diğer sınırlayıcı faktördür. Tek katlı ve dağınık yerleşim alanlarında bölgesel ısıtma uygulamaları genellikle ekonomik sonuçlar üretmezken, çok katlı ve bitişik nizamlı yerleşim alanlarında Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi uygulamaları cazip ve teşvik edici sonuçlar doğurmaktadır.

#### **A5-Jeotermal Kaynak derinliği:**

Jeotermal ısıtma sistemlerinin toplam maliyetinin önemli bir kısmını kuyu maliyeti oluşturur. Bu sebeple jeotermal kuyu derinliği de ekonomik uygulamalar için bir diğer sınırlayıcı faktördür. Genel bir fikir edinmek açısından uygulanabilir çözümler için kuyu derinliğinin (D)  $300 < D < 600$  m arasında olması arzu edilen bir durumdur.

#### **A6-Jeotermal Kuyularla uygulama arası uzaklık:**

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemlerinde merkezi dağıtım şebekesinin maliyeti açısından, kuyularla uygulama alanı arasındaki mesafe kısaltıkça sistemin uygulanabilirliği artar. Bugün dünyada mevcut örnek jeotermal ısıtma sistemlerinin pek çoğunda kuyularla uygulama alanı arası uzaklık 1500 m'nin altındadır.

### A7-Alternatif Enerji Maliyeti:

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemi uygulamalarında alternatif enerji maliyeti karşılaştırmasının önemi büyüktür. Jeotermal enerjinin son tüketiciye güvenilirliğin yanı sıra teşvik edici fiyatlarla sunulması sistemin kabulü ve yaygınlaşmasını sağlayacaktır.

Ülkemizde Mayıs 2001 itibarıyla kalorifer yakıtının maliyeti  $4.6 \times 10^{-5}$  USD/Kcal mertebesindedir. Kömür bazlı enerji maliyeti karşılaştırmalara dahil edilmemiştir. Kömür bazlı enerji üretimi son tüketici açısından çok cazip olmakla birlikte, çevre kirliliği nedeniyle kamuya yüklediği maliyetler dikkate alındığında makro ekonomik açıdan en pahalı, ve tersinmez etkileri çok yüksek bir uygulama olarak görülmektedir.

Bugün çağdaş teknolojiler uygulanarak tasarlanmış bir jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin konut başına toplam ilk yatırım maliyeti 2200-2500 USD (5000 konut ve üzeri) dir. Söz konusu böyle bir bölgesel ısıtma sisteminde konut başına yıllık işletme gideri ise 60-85 USD/konut-yıl seviyesindedir. Bir jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin uygulama kararının verilmesinde ve işletme politikalarının tayininde alternatif enerji fiyatları kadar

- Bölgesel ısıtma alışkanlıkları
- Bölgenin fert ve aile başına yıllık geliri
- Bölgenin kültür ve eğitim yapısı
- Jeotermal teknoloji ve donanımlarının varlığı ve rekabet ortamı

da önemle göz önünde tutulması gereken kriterlerdir.

Alternatif enerji fiyatları ne kadar teşvik edici olursa olsun, sosyo-ekonomik yapısı zayıf, lokal ısıtma alışkanlıklarını benimsemiş ve yeterli jeotermal teknoloji üretimi ve rekabet ortamı oluşmamış bölgelerde bölgesel ısıtma sisteminin uygulanması mümkün değildir.

Alternatif enerji üretimi ülkemizde olduğu gibi tüm dünyada da fosil yakıtlardan üretilmektedir. Petrol türevi yakıtlardan üretilen enerjinin maliyeti göz önüne alındığında, jeotermal enerji kullanımının çok cazip ve teşvik edici olduğu görülecektir. Kısaca özetlenirse, merkezi ısınma alışkanlığını benimsemiş, sosyo ekonomik yapısı yeterli, jeotermal teknoloji ve rekabet ortamının olduğu bir bölgede sistemin ilk yatırım maliyetinin yarısına (1250 USD/Konut) katkıda bulunan bir konut, yaptığı bu yatırımı, enerjiyi %40 ucuza almak(Kalorifer yakıtına göre), ve yaptığı ilk yatırıma %8 yıllık faiz uygulanmak koşulu ile 5 yılda yatırımını geri almakta ve sistemin geriye kalan ekonomik ömrü boyunca enerjiyi %40 ucuza kullanmaya devam etmektedir. Öte yandan konut başına 1250 USD ön ödeme, (5000 konut ve üzeri uygulamalarda), ve enerjinin kalorifer yakıtına göre tüketiciye %40 ucuza satılması durumunda bölgesel ısıtma sistemi yine yıllık %8 faiz ödemek koşuluyla kendini yaklaşık 20 yılda geri ödemektedir.

Görüleceği üzere şartlar uygun olduğunda jeotermal bölgesel ısıtma için hem mikro hem makro ekonomik hem de çevre sağlığı ve korunması açısından çok uygun çözümler üretmek mümkündür.

Ancak yukarıda belirtilen alternatif enerji maliyetinin dışındaki kriterler uygun olmadığında uygulamalar umulanın çok dışında sonuçlar doğurabilmektedir.

Bu durumu şimdi bir örnekle açıklayalım. Ülkemizdeki en önemli uygulamalardan birisi İzmir-Balçova bölgesel ısıtma sistemidir. Sistem halihazırda 5500 konuta hizmet vermekte ve sistemin tevsi çalışmaları devam etmektedir.

İzmir-Balçova bölgesi, iklimin genelde mutedil, ısıtma sezonunun kısa (Ortalama 120 gün) genelde lokal ısıtma alışkanlığının yaygın, fert başına yıllık gelirin ortalama 4500 USD/yıl olduğu bir bölgedir.

Bölge sakinleri Jeotermal enerjiye ve merkezi ısıtmaya ilgi duymaktadır. Mevcut durumda 5500 konutun 1250 USD katılım payı ödeyerek sisteme abone olması bunun bir kanıtıdır. Ancak Jeotermal enerjinin konutlara satışı kalorifer yakıtına göre %75 ucuza (146 USD/yıl) yapılmakta, lokal ısıtma alışkanlıkları, politik nedenler, işletme maliyetinin yüksekliği gibi sebepler, jeotermal enerji birim satış fiyatının arttırılmasını engellemektedir.

Ülkemizde henüz maalesef jeotermal teknoloji ve donanımları konusunda yeterli bilgi oluşmamış ve yapımçı firmalar arasında bir rekabet ortamı oluşmamıştır. İzmir-Balçova Jeotermal ısıtma sisteminin yapımını üstlenen firma III.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi<sup>2</sup> ne (Bkz. Cilt II, S.619) sunduğu tebliğde Balçova için konut başına ilk yatırımı 1500 USD, yine konut başına yıllık işletme giderini 44 USD/Konut olarak belirtirken, söz konusu bölgede bugün 5500 konut için işletmeye alınmış örnekte konut başına ilk yatırım 3000 USD olarak gerçekleşmiş, İşletme giderleri ise konut başına yıllık 85 USD olarak tahsil edilmektedir.

Görülebileceği üzere gerek ilk yatırım ve gerekse İşletme açısından öngörülenle gerçekleşen arasında önemli fark vardır. Ve bu durum henüz Ülkemizde yeterince oluşmamış bilgi, teknoloji ve rekabet ortamı eksikliğinin bir sonucudur.

## **B-TASARIM PARAMETRELERİ:**

### **B1-Kuyu başı ve kuyu içi ünitelerin seçimi:**

Jeotermal bir bölgesel ısıtma sisteminin en önemli ve en kritik bileşeni kuyular ile kuyu içi ve başı üretim üniteleridir. Jeotermal ısıtmada kuyu içi ve kuyu başı üniteleri denilince akla sırasıyla; pompalar, vanalar, ısı değiştirgeçleri ve borular gelmektedir.

Kuyu tasarımı ısıtma mühendisinin ilgi alanı dışında ayrı bir ihtisas konusudur. Ancak, kuyuların bölgesel ısıtma sisteminin önemli bir bileşeni olması nedeniyle ısıtma mühendisinin kuyu terminolojisi ile ilgili bazı temel bilgileri bilmesi sağlıklı bir tasarımın gerçekleştirilebilmesi açısından önem taşır.

Jeotermal kuyularla ilgili ilk tespit edilecek parametre, kuyudan çekilecek maksimum ve minimum debilerde jeotermal akışkanın kuyu içindeki statik su seviyesinin tespitidir. Kavitasyon riskini azaltmak için pompa çarkı minimum statik su seviyesinin en az 5 m altına yerleştirilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Bilindiği gibi jeotermal akışkanlar genelde bünyelerinde barındırdığı karbonat iyonları nedeniyle yüksek kabuklaşma riski olan akışkanlardır. Bu sebeple kuyu içine yerleştirilen pompa çarkını saran emme süzgecine suyun giriş hızı 0.03 m/s nin altına düşürülmemelidir.

Jeotermal bir kuyuya yerleştirilen pompanın toplam basma yüksekliği, kuyu içi suyun statik yükseltilmesi, pompa kolonu sürtünme kayıpları, kuyu dışı boru, eşanjör vb. sistemlerdeki kayıplar ve jeotermal suyun yeniden jeotermal kaynağa enjekte edilmesi sonucu oluşan toplam kaybı karşılayacak seviyede olmalıdır. Jeotermal akışkanın korozyon ve kabuklaşma etkileri zayıf, kuyu konstrüksiyonunun düzgün ve kuyu içi kum üretiminin düşük olduğu durumlarda teorik hesaplara güvenilebilirken aksi durumlarda toplam pompa basma yüksekliğinin %30-60 büyük seçilmesi tavsiye edilen bir durumdur.

Jeotermal kuyularda kullanılan pompaları dikey milli ve dalgıç pompalar olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür. Dikey milli pompalar özellikle düşük derinlikli jeotermal uygulamalarda uzun yıllardan beri güvenle kullanılmaktadır. Prensip olarak kuyu başı elektrik motoru, kuyu içine indirilen mili ve kuyu dibi pompa çarkından ibaret olan dikey milli pompalar, mekanik konstrüksiyon açısından basit, ilk yatırım açısından avantajlıdır.

Azami uygulama derinliği 240 m olan dikey milli pompalar, düşük devirli (1750 rpm) olması nedeniyle geniş kuyu debi haznesi isterler.

Dikey milli pompaların pompa milinin pompa kolon borusuna 1.5-3 m aralıklarla yüksek toleransta dikey yataklanması pompa verimi açısından önemlidir. Dikey milli pompa uygulamalarında yatak malzemesi olarak kızıl bronz veya elastomer bileşenli malzemeler, mekanik salmastralı paslanmaz çelik pompa mili, ve dökme demir pompa çarkı tavsiye edilen malzemelerdir.

Dalgıç pompalar son yıllarda jeotermal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Petrol endüstrisinde uzun yıllardan beri kullanılmakta olmakla birlikte bu tip uygulamalarda ekonomik ömürün nispeten kısa olması nedeniyle jeotermal uygulamalardaki ekonomik ömürleri ile ilgili henüz sağlıklı data mevcut değildir. Dalgıç pompalar yüksek sıcaklığa dayanıklı bir derinlik limitinin olmaması, daha küçük çaplı kuyu dibi haznesi talepleri ile avantaj, buna karşın genellikle yüksek devirli (3600 rpm) olmaları nedeniyle erozyonu ve kum üretimi yüksek kuyularda dezavantaja sahiptirler.

Gerek dikey milli ve gerekse dalgıç pompaların değişik yük taleplerine cevap verebilmeleri için frekans kontrollü değişken devirli motorlarla tahrik edilmesi bölgesel ısıtma tasarımında göz önünde tutulması gereken bir diğer önemli kriterdir.

Jeotermal akışkanla temas eden vanalar, seçimde dikkat edilmesi gereken bir diğer donanımdır. Özellikle büyük çaplarda (>65 mm), iç gövdesi plastik kaplamalı kelebek vanalar jeotermal uygulamalar için en uygun açma-kapama elemanıdır. Valf milinin paslanmaz çelik, valf diskinin ise paslanmaz çelik veya bronz malzemededen imal edilmesi ayrıca tercih sebebidir. Sürgülü vanalar jeotermal uygulamalarda uzun yıllardan beri kullanılmakta olan bir diğer elemandır. Ancak uzun dönem kullanımda gerek kabuklaşma ve gerekse kaçak problemleri kaçınılmaz olmakta ayrıca vanaların %100 kapama işlemini yapmaları imkansız hale gelmektedir.

Jeotermal ısıtma sistemlerinde kuyu başı ve kuyu içinde, plakalı, boru-kovan ve firkete tipi (U tipi) olmak üzere uygulamaya bağlı olarak üç değişik tiple ısı değiştirgeci kullanılabilir. Düşük sıcaklıkta ve yüksek kapasiteli jeotermal ısıtma sistemleri için plakalı ısı değiştirgeçleri en uygun çözümdür. Gerek temizleme ve gerekse kapasite arttırım kolaylıklarının yanı sıra plakalı ısı değiştirgeçlerinde primer (jeotermal) akışkanla sirkülasyon akışkanı arasındaki sıcaklık farkını 2 °C kadar düşürmek mümkün olmaktadır. Plakalı ısı değiştirgeçleri için en uygun malzeme 316 tip paslanmaz çelik ve Buna-N tipi contalardır. Su-su tipi uygulamalarda toplam ısı transfer katsayısının 5,7 kW/m<sup>2</sup> K seviyesinde olması, çok büyük yüklerin çok küçük hacimlerde transfer edilmesini mümkün kılmaktadır. Literatürde sadece jeotermal akışkanla havuz ısıtmasının yapılması durumunda dikkatli olunmasını tavsiye eden notlar mevcuttur. Havuz suyunda mevcut yüksek klor konsantrasyonu genellikle çok ince olan plakalarda delinmelere sebebiyet verebilmektedir.(3)

Çok sınırlı olmakla beraber, özellikle yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklarda boru-kovan tipi ısı değiştirgeçleri ile daha ekonomik çözümler elde etmek mümkün olabilmektedir. Bu tip çözümlerde kabuklaşma ve korozyon riskine karşı kovanın yumuşak çelikten kaplamalı, boruların ise bakır veya silikonlu bronz malzemededen imal edilmesi, temizlik amacıyla boruların iki ayna arasına düz bağlanması tavsiye edilmektedir.

Jeotermal uygulamalarda kullanılan bir diğer ısı değiştirgeci firkete(u tipi) tipi ısı değiştirgeçleridir. Düşük ve orta sıcaklıklardaki pek çok uygulamalarda kullanılan bu tip ısı değiştirgeçlerinin en büyük avantajı kuyu içi donanımına gerek duymaması, bir başka deyişle jeotermal akışkanı kaynaktan yeryüzüne çıkarılma zorunluluğunu ortadan kaldırmasıdır. Öte yandan en büyük dezavantajı ise jeotermal kaynaktan transfer edilecek enerjinin kaynağın hidrolik iletkenliğine bağlı ve sınırlı olmasıdır. Bununla beraber küçük ölçekli uygulamalar için U-tipi ısı değiştirgeçler en ekonomik çözüm yoludur. Bu tip ısı değiştirgeçlerinde boru malzemesi olarak döküm, siyah çelik, ve cam yünü takviyeli epoksi borular tavsiye edilmektedir.

Jeotermal akışkanın yüksek riskli doğası gereği Jeotermal uygulamalarda jeotermal akışkanla direk temasta olan boruların seçimi ve tasarımı çok önemlidir. Kısmen bazı uygulamalarda çelik borular kullanılsa da, Jeotermal akışkanla direk temas için en uygun malzeme cam yünü takviyeli

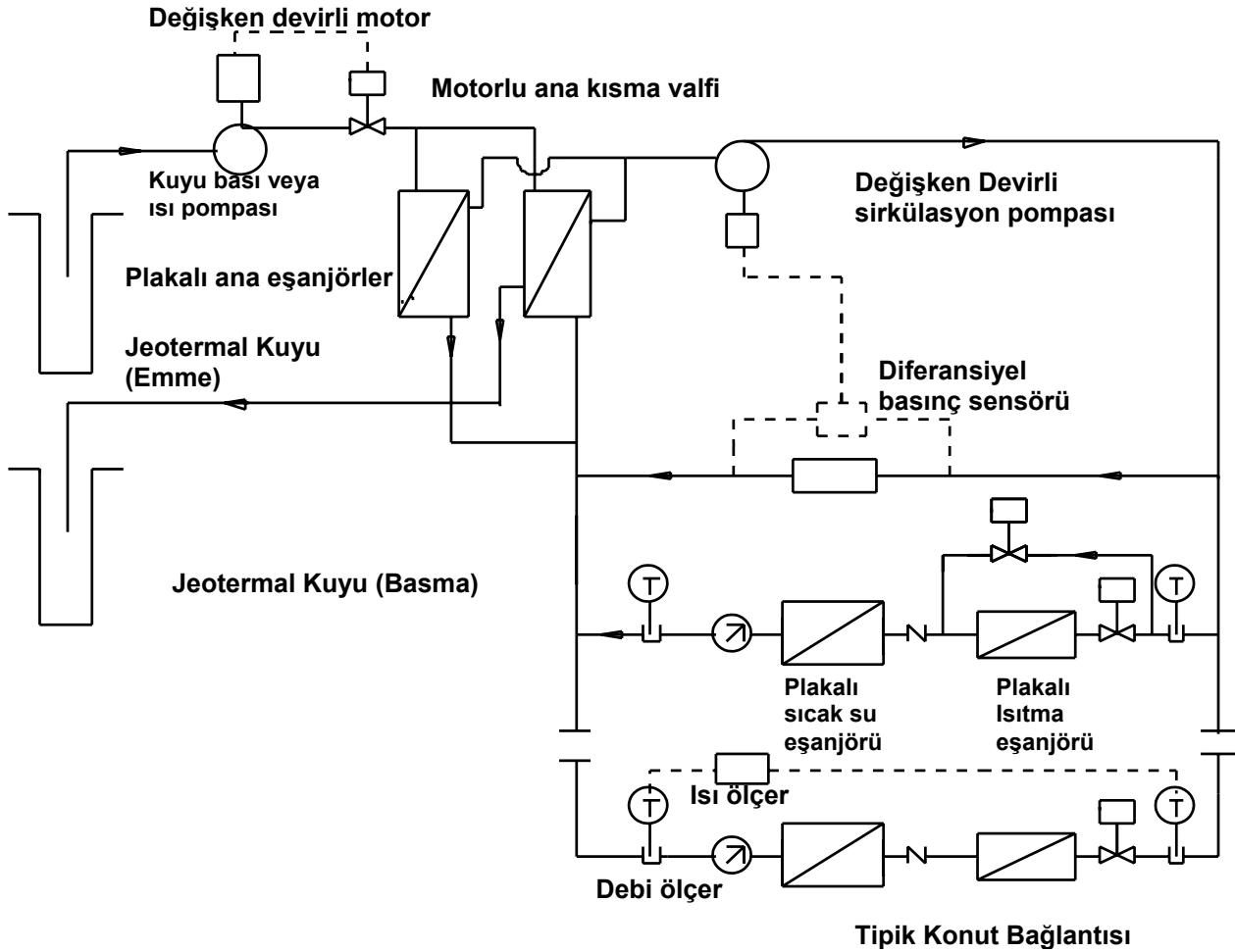
polibutilen(FRP) borulardır. FRP boruların birleşme noktalarında epoksi yapıştırıcılarla "spigot" türü bağlantılar en yaygın kullanılan örneklerdir.

Metal boruların aksine FRP borular daha hafif ve iç yüzeylerinin düzgünlüğünden dolayı daha az basınç kaybı yaratırlar. 150°C sıcaklığa kadar güvenle kullanılabilen FRP boruların, çeliğe nazaran hacimsel genişmesi iki misli olmasına rağmen, genişmeden doğan gerilme kuvveti çeliğin %3-5'i mertebesindedir. Bu sebeple tasarımda genel olarak kompenzasyona gerek duyulmaz. Ancak büyük çaplarda birleşme elemanı(fittings) maliyetinin toplam malzeme maliyetinin önemli bir kısmını oluşturacağı göz ardı edilmemelidir.

Jeotermal uygulamalarda kullanılan bir diğer boru tipi Polietilen (PE) borulardır. FRP borulara nazaran maliyetleri daha düşük, yine birleşme noktalarında kompenzasyona ihtiyaç duymamalarına karşın genelde maksimum uygulama sıcaklığı 60-65 °C'dir. Ancak Avrupa'da jeotermal temelli pek çok yeni merkezi ısıtma sisteminde çapraz atkılı polietilen boruların (PEX) yaygın olarak 82 °C sıcaklığa ve 700 kpa basınca kadar güvenle kullanıldığı son yıllarda literatüre geçen bir başka uygulamadır.

## B2-Jeotermal dağıtım sistemi:

Jeotermal temelli bir bölgesel ısıtma sisteminin şematik gösterimi aşağıda (Şekil 1)'de gösterilmiştir.

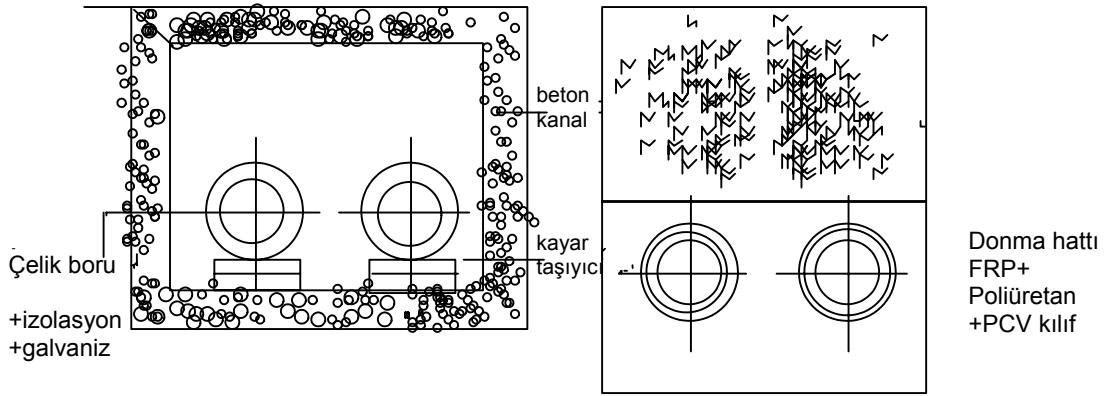


Şekil 1. Kapalı jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin şematik gösterimi

Bölgesel dağıtım boruları çelik veya FRP olabilir. Her iki tasarımda boru çaplarının 20 mmss/m ortalama basınç düşümüne göre tayin edilmesi uygun olacaktır. Çelik boru uygulaması halinde boruların camyünü veya poliüretan izolasyon-Alüminyum veya galvaniz koruma ve kompenzasyon hücreleri bırakılarak zemin kotunda beton kanallar içinde kayar taşıyıcılar üzerinde montajın yapılması gerekir. FRP borular ise poliüretan izolsayon+PVC koruma kılıfı ile beton kanal gereksinimi olmadan donma hattının altına kompenzasyon hücresi bırakılmadan gömülebilirler.(Şekil 2) Genelde uygun bir rekabet ortamı içinde FRP boruların ilk yatırım maliyeti çelik borulara nazaran düşük iç ve dış korozyon mukavemeti ise yüksektir.

Kuyu başından yükün bölgeye dağıtım esnasında bölgenin yükte eşdeğer zonlara ayrılması verimli bir işletme için gereklidir. Zonlar arası toplam basınç düşümündeki farklılık, mutlaka zonların ana hatları üzerine yerleştirilecek motorlu kısma valfleri ile dengelenmelidir. Aksi takdirde basınç düşümü düşük zonlar planlanandan daha çok enerji çekerken diğerleri yeterli enerjiyi alamayacaklardır.

Sistem asgari zon bazında periodik veya sürekli kaçak kontrolünü yapacak diferansiyel basınç sensörleri ile donatılmalıdır.



**Şekil 2.** Çelik ve FRP borular için kanal tasarımı.

Dağıtım sisteminde kullanılacak pompaların değişken devirli frekans kontrollü motorlarla tahrik edilerek kapasite talebinin debi ayarı ile bağlanması verimli bir işletme için ayrıca gereklidir.

Enerjinin efektif kullanılabilmesi ve verimliliğin artırılması için kullanıcıdan sabit bir ücret almak yerine son kullanıcı ısı değiştirgeçlerine monte edilecek bir ısı ölçerle kullanılan enerjinin bedelinin alınması, gereksiz enerji kullanımını azaltarak kaynaktan daha çok kişinin daha verimli olarak faydalanmasını sağlayacaktır.

### **B3-Sıcaklık düşümü ( $\Delta T$ ):**

Jeotermal temelli bir bölgesel ısıtma sistemi tasarımında birbirine bağlı üç farklı sıcaklık düşümünün tasarım için tayini gerekir.

#### **a. Kuyu başı sıcaklık düşümü ( $\Delta T_1$ )**

Jeotermal akışkanla kapalı merkezi devre akışkanı (sıcak su) arasındaki sıcaklık düşümü jeotermal temelli bir bölgesel ısıtma sisteminde tayin edilecek ilk sıcaklık düşümüdür. Jeotermal kuyudan çekilecek akışkan debisi sabit olduğuna göre kuyudan çekilecek enerji direk olarak jeotermal akışkanın sıcaklık düşümü ile doğru orantılıdır. Ekonomik bir tasarım için jeotermal akışkanın dönüş

sıcaklığı 45°C sabitlenerek ( $\Delta T1$ ) tayin edilmelidir. Dünyada uygulanan çeşitli projelerde ( $\Delta T1$ ) 17-56 K arasında değişmektedir.

#### **b. Merkezi dağıtım sisteminde sıcaklık düşümü ( $\Delta T2$ )**

Jeotermal bölgesel ısıtma sisteminde taşıyıcı akışkanda meydana gelecek sıcaklık düşümü ( $\Delta T2$ ) direk olarak ( $\Delta T1$ )'e bağlıdır. ( $\Delta T2$ ) sıcaklık düşümü ( $\Delta T1$ ) in 2-5 K altında seçilmelidir.

#### **c. Son kullanıcı sıcaklık düşümü ( $\Delta T3$ )**

Jeotermal bölgesel ısıtma sistemindeki son sıcaklık düşümü ( $\Delta T3$ ), son kullanıcının ısıtıcı ünitelerinde meydana gelecektir. ( $\Delta T3$ )'de direk olarak ( $\Delta T2$ )'ye bağlıdır ve ( $\Delta T2$ ) nin 2-5 K altında seçilmelidir.

### **B4-Sistem yük faktörü ve toplam yükü:**

Bölgesel Jeotermal ısıtma sistemlerinde yük faktörü Jeotermal sistem kapasitesinin bölgenin tasarım yüküne oranı olarak tarif edilmektedir. Ekonomik bir çözüme ulaşabilmek için Jeotermal ısıtma sistemlerinde yük faktörü 0,6 civarında seçilmelidir. Bir başka deyişle jeotermal ısıtma sisteminin kapasitesi bölgenin hesaplanmış maksimum yük talebinin %60'ı kadar olmalıdır. Böyle bir tasarımda jeotermal sistem bölgenin yıl bazında ısı yük talebinin %85-90'ını karşılayabilecektir. Kritik günlerde ek enerji talebini karşılayabilmek için bir enerji deposu veya konvensiyonel ısı kaynağı ilave edilebilir. Ancak maliyeti arttırıcı olması nedeniyle genelde jeotermal ısıtma sistemlerinde enerji deposu ve ek ısı kaynağı uygulamaları son derece nadirdir.

### **B5-Son kullanıcı üniteleri, ısıtıcılar:**

Jeotermal ısıtma sistemlerinde kullanılan ısıtıcılar konvensiyonel ısıtma sistemlerinden farklı değildir. Ancak her tip ısıtıcı ile ekonomik çözüm elde etmek mümkün değildir.

Genelde jeotermal kuyu debisi sabit olduğundan maksimum enerjiyi çekebilmek için sıcaklık düşümü ( $\Delta T1$ ) mümkün olduğunca büyük seçilir. Bu durum doğal olarak gerek merkezi ( $\Delta T2$ ) ve gerekse bina içi sıcaklık düşümlerinin ( $\Delta T3$ ) konvensiyonel tasarımlardaki sıcaklık düşümlerinden daha küçük olmasına yol açar.

Jeotermal uygulamalarda bina içi ısıtıcılar için en uygun tip tek veya çift sıra kanatlı zorlanmış dolaşımli konvektörlerdir. (fan-coil) Bu tip ısıtıcılarla ortalama 38-50°C su sıcaklığında ekonomik çözümler elde etmek mümkündür.

Jeotermal ısıtma için bir diğer uygun tasarım döşeme altından panel ısıtmasıdır. Bu durumda döşeme üstü kaplamaya bağlı olarak ( halı vs.) 35-50° C ortalama su sıcaklığında uygun çözümler elde edilebilir.

Diğer tip ısıtıcılar genellikle jeotermal ısıtma için uygun değildirler. Toplam ısı transfer katsayıları ortalama su sıcaklığına bağlı olarak çok etkilendiğinden düşük sıcaklıkta eş değer ısıtma yükleri için ekonomik sınırların dışında ısıtma yüzeylerine gereksinim duyarlar.

### **B6-Uygun malzeme seçimi:**

Bilindiği gibi Jeotermal akışkanlar kimyasal kompozisyonu nedeniyle genellikle yüksek düzeyde korozyon ve kabuklaşma riski olan akışkanlardır.



Jeotermal akışkanda bulunabilen serbest oksijen yüksek seviyede korozyona, klor iyonları ile birlikte yüksek sıcaklıkta eriyik halde paslanmaz çelik alaşımlarda gerilme korozyonu ve çatlak oluşumuna, akışkanda mevcut hidrojen iyonları özellikle düşük ph değerlerinde sülfid iyonları ile birlikte gerilme çatlaklıklarına, hidrojen sülfid özellikle bakır ve nikel malzemelerde yüksek korozyona, çözülmüş amonyak ve amonyak iyonları, bakırlı alaşımlarda gerilmeye bağlı çatlaklara, klor iyonları her türlü metal malzeme üzerinde nokta ve bölgesel korozyon, gerilmeye bağlı çatlak oluşumuna yol açabilirler. Jeotermal akışkanda eriyik halde mevcut karbonat ion ve eriyikleri ciddi kabuklaşma riski taşırlar.

Yukarıdaki açıklamaların ışığında, jeotermal akışkanla temasın söz konusu olduğu durumlarda;

- a. Eriyik oksijen miktarı >30 mg/kg alkali oran >210 ppm Jeotermal akışkanlarda karbon çelikleri kullanılmamalıdır.
- b. Hidrojen sülfid ihtiva eden jeotermal akışkanlarda Bakır ve Bakır alaşımları kullanılmamalıdır.
- c. Alüminyum hiç bir koşulda jeotermal uygulamalar için uygun değildir.
- d. Paslanmaz çelik jeotermal tasarımda uygun malzemeler arasındadır. Ancak T304 sınıfı paslanmaz çelikler yüksek klor konsantrasyonuna (>210 ppm) karşı zayıftırlar. Yüksek klor riski durumunda T306 sınıfı paslanmaz çelikler tercih edilmelidir.
- e. Titanyum korozyon mukavemeti açısından en iyi malzemeler arasındadır. Düşük sıcaklıkta eriyik oksijen konsantrasyonuna bağlı olmaksızın en iyi sonucu verirler. Ancak montajda ve işletmede özellikle asitle yapılan yıkama ve temizleme işlemlerinde özel bir dikkat isterler. Ayrıca montaj ve demontaj işlemlerinde çelik takım ve anahtarlarla zorlanmamalıdır.
- f. Chlorinated Polyvinly chloride (CPVC) ve Fiber Reinforced Plastic (FRP) jeotermal tasarımlarda bugün en yaygın olarak kullanılan yeni nesil malzemelerdir. Korozyon ve kabuklaşmaya karşı yüksek mukavemet gösterirler. Fiziksel özellikleri sıcaklığa ve zamana bağlı çok değiştiğinden bu malzemelerin imalatçı tarafından önerilen uygulama limitleri asla aşılmamalıdır. En büyük sorunları operasyon esnasında bağlantı yerlerinde meydana gelen çatlak ve kaçaklardır. Bu malzemelerin bağlantı yerlerinde özellikle düşük sıcaklıkta fluoreelastomer ve Buna-N tipi malzemelerin kullanımı uygun olmaktadır. Bağlantı yerlerinde doğal lastikler, Neo-prene türü malzemeler iyi sonuç vermemektedir. Son yıllarda bağlantılarda kullanılan Ethylene-propylene terpolymer (EPDM) türü malzemelerin iyi sonuç verdiği literatürde belirtilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ellis P.(1989) "Material Selection Guidelines."
- [2] Oregon Institute of Technology Geo-Heat Center, Kalamatn Falls, OR, USA
- [3] "III. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı", MMO Yayın No:2303/2, 1997
- [4] Rafferty, K. 1989 a, "A materials and equipment review of selected v.s. Geothermal district heating systems", Oregon Institute of Technology Geo-Heat Center, Kalamatn Falls, OR,
- [5] ASHRAE, App. (1982-91-99) American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Eng. 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329

## ÖZGEÇMİŞ

### Ali Çetin GÜRSES

1970 E.Ü.D.M.M.A. Makina Bölümü mezunudur. 1974 yılında E.Ü.M.B.F. Endüstri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans çalışmalarını, 1969 yılında E.Ü. Makina Fakültesi'nde Doktora çalışmasını tamamlayan yazar, 1988 yılında Üniversite doçenti ünvanını almış, 1980/95 döneminde Kanada ve İtalya'da pek çok bilimsel araştırmaya katılmış, proje yöneticiliği yapmıştır. 1992 yılında prof. ünvanı alan ve 1997 yılında emekli olarak üniversiteden ayrılan yazar halen Cimentaş Eğitim ve Sağlık Vakfı Genel Sekreterliği görevini sürdürmekte olup evli ve 1 çocuk babasıdır.