

JEOTERMAL BÖLGE ISITMASI DAĞITIM SİSTEMLERİNİN GENEL ESASLARI

Serhan KÜÇÜKA

ÖZET

Jeotermal bölge ısıtması dağıtım sistemlerinin tanıtımı yapılarak, yatırım ve işletme aşamasında gözönüne alınması gereken seçenekler belirtildi. Açık ve kapalı dağıtım devrelerinin ve bina içi kontrol sistemlerinin, jeotermal akışkanın kullanılabilirliğine olan etkileri tartışılmış ve sonuç olarak, işletme aşamasında bazı önlemlerin alınması ile mevcut sistemlerden daha üst kapasitelerde yararlanmanın olanaklı olduğu gösterilmiştir.

1. GİRİŞ

Jeotermal enerji yer kabuğu içindeki büyük miktarda enerjinin yeryüzeyine ulaşması ile açığa çıkan ısı enerjisidir. Yer kabuğunun derinliklerinden yeryüzeyine doğru büyük bir enerji akışı olmakla birlikte, teknik ve ekonomik sınırlamalar nedeniyle bu enerjinin ancak çok küçük bir bölümü kullanılabilir düzeydedir. Günümüzde yararlanılan jeotermal enerji kaynakları, yeryüzeyinden yaklaşık 2000 m derinliğe kadar olan bölgelerden su veya buhar üretimi ile sınırlıdır. Yer kabuğundaki her sıcak bölge, jeotermal enerji üretimi için uygun olmayıp, bu enerjinin yeryüzeyine ulaşması için taşıyıcı akışkan olarak suyun dolaşımını sağlayacak jeotermal koşulların oluşması gereklidir.

Bu şartları sağlayan jeotermal enerji sahaları yeryüzü üzerinde sınırlı bölgelerde bulunmaktadır. Ülkemiz bu açıdan zengin bir potansiyele sahip olup, yapılan araştırmalarda bugüne kadar toplam ısıtma kapasitesi 2420 MW olan 600'den fazla jeotermal kaynak belirlenmiştir. MTA'nın araştırmalarına göre ülkemizin muhtemel jeotermal potansiyeli 31500 MW'dır [1].

Yurdumuzda mevcut jeotermal kaynakların büyük bir kısmı, 150°C ve altındaki sıcaklıklarda su üretimi yapılan düşük entalpili sahalardır. Bu nedenle jeotermal enerjinin kullanımı başta bölge ısıtması, seracılık ve kaplıcalar olmak üzere elektrik üretimi dışındaki alanlarda yoğunlaşmıştır. Türkiye, toplam 820 MW kurulu kapasite ile, jeotermal enerjinin doğrudan kullanımında ABD, Çin ve İzlanda'dan sonra, dördüncü sırada gelmektedir. Bu kapasitenin 327 MW'ı, balneolojik (kaplıca) amaçla kullanılmaktadır. 493 MW'ı ise, konut ve sera ısıtılması kurulu kapasitesi olup, yıllık ortalama 0.44 kullanım oranı ile $1.9 \cdot 10^9$ kW-saat enerji üretilmektedir [2]. Bu miktar, Türkiye'nin genel enerji tüketimi içinde %0.1 gibi bir orana karşılık gelmektedir. Ancak sağladığı konfor, ucuzluk, yerli bir kaynak ve temiz enerji olması nitelikleri ile, jeotermal enerji bulunduğu yerlerde göz ardı edilmemesi gereken bir enerjidir.

2. ÜLKEMİZDE JEOTERMAL ENERJİNİN BÖLGE (ŞEHİR) ISITMASINDA KULLANIMININ MEVCUT DURUMU

Türkiye'de, jeotermal enerjinin konut ısıtılmasında kullanım durumu, tablo-1'de özetlenmiştir [2]. Tablonun incelenmesinden anlaşılacağı gibi, 57°C'a kadar düşük sıcaklıklı sahalarda, konut ısıtılmasında başarı ile kullanılmaktadır. Kırşehir uygulamasında, pik yük kazanının ısıtma sezonu süresinde yaklaşık 15 gün devrede kaldığı bildirilmiştir [3].

Tablo-1 Yurdumuzda Kurulu Jeotermal Bölge Isıtma Sistemleri [2]

Yer	İli	Kaynak Sıcaklığı	Kurul Tarihi	Bölge Gidiş/dön sıcaklığı ²	Ücret sist.	Konut Sayısı	Açıklamalar ³
Gönen	Balıkesir	80°C	1987	-		3400	çelik boru, 2 devreli 2 devreli CTP, sistem 3
Simav	Kütahya	120°C	1991	65/50°C		3200	devreli olarak çelik boru ile yenileniyor
Kırşehir ¹		54-57°C	1994	48/42°C		1800	Çelik boru, 2 devreli
Kızılcah. Balçova	Ankara	80°C	1995	-		2500	Çelik boru, 2 devreli
Kozaklı	İzmir	115°C	1996	85/60°C		10000	Çelik boru, 3 devreli
Afyon	Nevşehir	90°C	1996	-		1000	Çelik boru, 2 devreli
		95°C	1996	60/45°C	TL/m ² -yıl (sbt.üc.)	4500	Çelik boru, 3 devreli
Sandıklı ¹	Afyon	70°C	1998	70/40°C		1600	2 devre, jeoter. devre CTP, bölge devresi çelik
Diyadin	Ağrı	70°C	1999	-		400	Çelik boru, 3 devreli

¹ Pik yüklerde yardımcı ısıtma kazanı kullanılmaktadır.

² Bölge devresi gidiş/dönüş sıcaklıkları bilgisi ilgili işletmeden tıf'la alınmıştır. Ortalama bir değerdir.

³ 2 devreli sistemde, jeotermal ve bölge dağıtım devreleri, 3 devreli ise jeotermal, bölge ve bina dağıtım devreleri birbirinden ısı değiştirgeçleri ile ayrılmıştır.

3. JEOTERMAL BÖLGE ISITMASI DAĞITIM SİSTEMLERİ

3.1. Açık ve Kapalı Dolaşım Devreleri

Bölgesel ısıtma uygulamalarının büyük çoğunluğunda, jeotermal akışkanların korozif veya taş yapıcı özelliğinden dolayı, bölge ısıtma devresi bir ısı değiştirgeci yardımı ile jeotermal akışkandan ayrılmakta ve kapalı dolaşım devresi olarak kurulmaktadır. Ancak, jeotermal akışkanların doğrudan kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur. Jeotermal suyun özelliklerinin uygunluğu nedeniyle, İzlanda'daki ısıtma uygulamalarında, jeotermal su bölge ısıtmasında doğrudan kullanılmaktadır [4]. Yurdumuzda ise tipik bir örnek olarak, Haymana'da artezyen kaynaktan 43°C sıcaklığında elde edilen su, iki caminin ısıtılmasında kullanılmakta ve açık çeşmelerden kullanma suyu olarak akıtılmaktadır.

Bölge devresinin kapalı olması durumunda, ısı değiştirgeçleri kullanılarak jeotermal akışkanın enerjisi bölge dolaşım suyuna aktarılmaktadır. Düşük sıcaklık farkları elde edilebilmesi ve bakım kolaylıkları nedeniyle, jeotermal uygulamalarda genellikle plakalı ısı değiştirgeçleri kullanılmaktadır.

Ancak kapalı devre uygulamalarında, ısı değiştirgecinde oluşan sıcaklık farkı, jeotermal akışkan dönüş sıcaklığının kullanım suyu dönüş sıcaklığından daha yüksek kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, jeotermal akışkanın enerjisinden yararlanma oranını azaltmaktadır. Bunun yanısıra, ısı değiştirgeci kullanılması, jeotermal ve tatlı su devrelerinde ek basınç kaybına neden olmaktadır. Özellikle düşük sıcaklıklı (60°C-65°C) kaynaklardan beslenen ısıtma sistemlerinde, jeotermal akışkanın dönüş sıcaklığının düşürülmesi, ilk yatırım ve işletme giderleri açısından önemlidir. Bu nedenlerle, jeotermal akışkanın doğrudan kullanıma uygun olması durumunda, kapalı devre uygulamasına gidilmemelidir. Bir bölge ısıtılması uygulamasında, jeotermal akışkanın doğrudan ısıtma devresinde dolaştırılması ile dönüş sıcaklığı düşürülmüş ve kapalı devrede 75 000 m² olan ısıtma yüzey alanının 95 000 m² ye yükseltildiği bildirilmiştir [5]. Aynı uygulamada, dolaşan akışkan debisi de azaltılarak elektrik giderlerinden %26 tasarruf sağlanmıştır. Bu uygulamada, jeotermal ısıtma devresinde korozyon önleyici katkıları kullanılmıştır.

Bina içi dağıtımda, bölge dağıtım sisteminde dolaşan sıcak akışkan doğrudan kullanılmakta veya bir ısı değiştirgeci yardımı ile bina içinde kapalı ısıtma devresi kurulmaktadır. Bina içi dağıtımda bölge devresi akışkanının kullanıldığı açık sistem uygulamalarında, ısı değiştirgeci kullanılmaması bina bağlantı maliyetini azaltmaktadır. Daha önemlisi bölge dönüş hattı sıcaklığı düşerek dağıtım sisteminden daha yüksek oranda yararlanılmış olmaktadır.

Açık sistem uygulamasında dikkat edilmesi gereken bir husus, geniş alana yayılmış ve kot farklarının fazla olduğu dağıtım bölgelerinde, dağıtım şebekesinde oluşacak basınç farklarıdır. Genellikle, bölge dağıtım hatları 1.2 Mpa basınca uygun olarak tasarlanır. Bina içi ısıtma elemanlarında ise, basıncın 0.7-0.8 Mpa'ı aşması istenmez. Bina içi basınç en uç ve yüksek radyatörde vakum olmayacak ve en düşük kotlu radyatörde ise izin verilen değeri aşmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Kot farklarının fazla olması durumunda, ısıtma bölgesi dağıtım zonlarına ayrılabilir.

3.2. Dağıtım Hatları

Jeotermal bölge ısıtmasında, jeotermal kuyuların açılması dışındaki ilk yatırım maliyetinin, sistemin özelliklerine bağlı olarak ~%70 kadar bir oranı boru hatlarına yapılan yatırımdır [3]. Ayrıca şehir içi hatlarının montaj ve bakımında karşılaşılan zorluklar gözönüne alınırsa, dağıtım hatlarının planlama ve seçiminin bölge ısıtma yatırımındaki önemi ortaya çıkar.

Jeotermal ısıtma sistemlerinde, asbest çimentolu, daktil döküm, çelik, PVC, Polietilen (PE), polipropilen (PP), cam takviyeli plastik (CTP) gibi çok çeşitli borular kullanılmıştır [6]. Boru hatları, yerüstünden veya gömülü, ısı yalıtımlı veya yalıtımsız (gömülü hatlar için) şekilde olabilir. Boru birleştirmeleri kaynaklı veya geçmeli tipte olabilir. Geçmişte, asbest çimentolu borular, dağıtım sistemlerinde geniş ölçüde kullanılmalarına rağmen, asbestli boru üretimindeki sınırlamalar nedeniyle günümüzdeki genel eğilim çelik ve CTP borulara yönelmiş durumdadır.

3.2.1. Çelik Borular

Çelik borular, yüksek sıcaklıklarda kullanıma uygunluğu ve endüstrideki yaygın kullanımları nedeni ile, jeotermal sahalarda da kullanım yeri bulmuşlardır. Ancak suda çözünmüş muhtelif gazların, oksijenin ve kimyasalların korozif etkisine karşı hassastırlar. Ayrıca boruların su dolu olarak, ancak akış olmadan bekletilmesi, özellikle oyuk korozyonunu hızlandırır. Jeotermal akışkanın doğrudan bölge ısıtma devresinde dolaştırıldığı açık sistemlerde, kullanımı sınırlıdır.

Bunun yanı sıra, çelik boruların toprak altı korozyonuna karşı da korunması gerekir. Toprağın cinsi, nemliliği, yakından geçen enerji hatları nedeniyle indüksiyon akımları oluşması, korozyon hızını artırır. Dış korozyona karşı kullanılan bitüm ve polietilen kaplamaların kullanım sıcaklıkları sırası ile 40°C ve 50°C olarak sınırlıdır. Dolayısı ile bu kaplamalar toprak altı boruda ancak ısı yalıtımı üzerinde kullanılabilir.

Dışı ısı yalıtımlı borular kullanıldığı zaman, su yalıtımı da yapılmış olur. Koruyucu kaplama veya ısı yalıtımı, genellikle önceden hazırlanır. Ancak saha montajının tamamlanmasından sonra, boru ek yerlerinin su yalıtımı dikkatli bir şekilde tamamlanmalıdır. Yalıtım malzemesi üzerinde kullanılan ceket borusunda veya ek yerlerinde olabilecek bir sızıntı, boru yüzeyine işleyerek yalıtımı ve taşıyıcı boruyu etkileyecektir. Bir örnek olarak, Balçova bölge ısıtmasında, boru yüzeylerine ısı merkezinden kontrol edilen nem algılayıcıların yerleştirildiği belirtilmiştir.

Kaynaklı çelik borular için üzerinde durulması gereken bir husus, gerekli uzama payının genleşme parçaları veya dönüşlerle karşılanması ve uygun noktalarda, beton sabitleyiciler kullanılmasıdır. Bu durum, ilk yatırım maliyetini %10-20 oranında etkilemektedir [3].

3.2.2. Cam Takviyeli Plastik (CTP) Borular

CTP borular, epoksi veya polyester katkı olarak imal edilmektedirler. Kullanım sıcaklığı, epoksi katkı kullanılanlarda 150°C, polyester katkı kullanılanlarda 93°C'a kadar yükselmektedir. Dağıtım hattı içinde olabilecek buharlaşma, malzeme dokusuna zarar vermektedir. Dağıtım hattı basıncı, her noktada buhar basıncının üstünde kalmalıdır. CTP boruların birleştirilmesinde konik geçmeli, dişli veya flanşlı çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan bir yöntem konik geçmeli ve

yapıştırımlı bağlantıdır. Yapıştırma için gerekli sürenin, 10°C için 24 saat, 38°C için 12 saat ve 93°C için 45 dakika olduğu belirtilmiştir. Dolayısı ile, montajın sağlıklı bir şekilde tamamlanması için ek yerlerinin uygun bir ısıtıcı ile sarılarak yeterli bir süre ısıtılması önerilmektedir.

CTP boruların sıcaklıkla uzama katsayısı, çelik boruların iki misline ulaşmaktadır. Ancak, düşük elastisite modülünden dolayı, uzamadan doğan kuvvetler, aynı servisteki çelik borunun %3-%5'i mertebesinde dir. Toprağa gömülü hatlarda, toprağın sıkıştırması uzama kuvvetlerini karşılar ve ayrıca önlem almaya gerek kalmaz [3, 6].

3.2.3. Diğer Plastik Borular

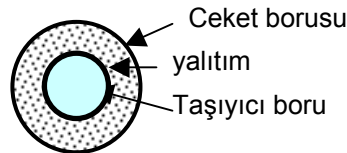
CTP dışında yaygın olarak kullanılan plastikler polietilen(PE) ve polipropilen(PP) borulardır. İzlanda'da yapılan uygulamalarda, 4" ve altındaki çaplarda, 85°C'a kadar olan sıcaklıklar için plastik boruların geniş oranda kullanıldığı bildirilmiştir [4]. Çelik borulara göre uygulama kolaylıkları ve ucuz olmalarının yanısıra, korozyona dirençleri yüksektir. Ancak, sıcaklığın artması ile birlikte basınca dayanımları hızla azalır. Ayrıca, polipropilen borularda olabilecek oksijen difüzyonu, dağıtım şebekesindeki çelik boruların korozyonunu hızlandıracaktır. Jeotermal akışkanlarda kullanılan plastik boruların özellikleri ile ilgili özet bilgi, ilgili kaynakta verilmiştir [6].

3.3. Isı Yalıtımlı ve Yalıtımsız Hatlar

Jeotermal bölge ısıtmasında, ısı yalıtımlı dağıtım hatlarının yanısıra, yatırım maliyetlerinin azaltılması amacı ile özellikle dönüş hatlarının yalıtımsız olarak toprağa gömülmesi uygulamalarda karşılaşılan bir durumdur. Yalıtımlı ve yalıtımsız hatların genel özellikleri aşağıda karşılaştırılmıştır.

3.3.1. Isı Yalıtımlı Hatlar

Jeotermal akışkanların dağıtımında kullanılan borular, genellikle önceden hazırlanmış ısı yalıtımı ile paket olarak temin edilirler.



Şekil 1. Isı yalıtımlı dağıtım borusu

Taşıyıcı ve ceket boruları farklı malzemelerden olabilmektedir. Taşıyıcı olarak çelik, CTP, daktil döküm borular, ceket olarak ise CTP, PVC veya Polietilen borular sıklıkla kullanılmaktadır. PVC ve PE ceketlerde, yalıtımın nemden korunması için her iki ucun sızdırmazlığı sağlanmalıdır. PVC ceket borusu için en az 3 mm ve PE boru için 3.2 mm kalınlık önerilmiştir [6]. CTP ceket ise, uçlarda konik şekil verilerek taşıyıcı boru ile birleştirilmektedir.

Toprağa gömülü borularda ısı yalıtım malzemesi olarak 32 kg/m³ yoğunluk ve 180 kPa basınçta hazırlanan poliüretan köpük yaygın olarak kullanılmaktadır. Anılan şartlardaki poliüretan köpüğün ısı iletim katsayısı 65°C için 0.026 W/mK alınabilir. Yalıtım kalınlığı, 30 veya 50 mm seçilebilir. Boru birleştirme yerlerinin yalıtımı, montaj sonrası yapılabileceği gibi, yalıtımsız bırakılabilir. Birleştirme yerlerindeki yalıtımın sonradan yapılması halinde, neme karşı sızdırmazlığın sağlanması için gerekli özen gösterilmelidir.

3.3.2. Yalıtımsız hatlar

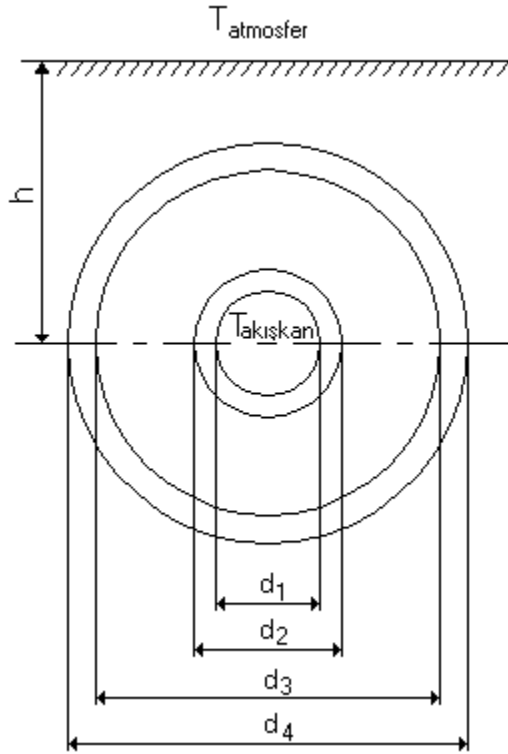
Bölge ısıtma hatlarının yalıtımsız kullanılması, boru maliyetini %50 veya daha fazla oranda azaltmaktadır. Isı yalıtımsız olan hatlardaki enerji kaybı, pompalanan akışkan miktarının artırılması ile dengelenir. Hat çapı büyüdükçe, taşınan akışkan miktarının artması nedeni ile, akışkan sıcaklığındaki azalma küçülmekte ve boruların yalıtımsız yapılması ekonomik olabilmektedir.

3.3.3. Isı kaybı ve sıcaklık düşümünün hesaplanması

Toprak altındaki bir borudan olan ısı kaybı, toprağın ısı iletim katsayısına, sıcaklığına ve borunun gömüldüğü derinliğe bağlıdır. Borudan olan ısı kaybının tamamının toprak üzerinden atmosfere ulaştığı kabul edilerek, kararlı durumdaki ısı kaybı için aşağıdaki eşitlik yazılmıştır [6].

$$Q = \frac{2\pi L(T_{akışkan} - T_{atmosfer})}{\frac{1}{k_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{k_2} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{k_3} \ln \frac{d_4}{d_3} + \frac{1}{k_4} \ln \left[\frac{2h}{d_4} + \left(\frac{2h}{d_4} - 1 \right)^{-2} \right]} \quad (1)$$

Kullanılan değişkenler şekil(2)'de tanımlanmışlardır. Bu ifadede boru içindeki taşınım direnci ve yeryüzü ile atmosfer arasındaki ısı geçiş dirençleri ihmal edilmiş, ayrıca borunun gömülü olduğu toprak homojen bir kütle olarak gözönüne alınmıştır. Elde edilen sonuçların kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu belirtilmiştir.



- Q: Boru hattından çevreye olan ısı kaybı, W
 $T_{akışkan}$: Boru içinde taşınan akışkanın sıcaklığı, °C
 $T_{atmosfer}$: Dış ortam sıcaklığı, °C
 k_1 : Taşıyıcı boru ısı iletim katsayısı, W/mK
 k_2 : Isı yalıtımı malzemesi ısı iletim katsayısı, W/mK
 k_3 : Ceket borusu ısı iletim katsayısı, W/mK
 d_1 : Taşıyıcı boru iç çapı, m
 d_2 : Taşıyıcı boru dış çapı, m
 d_3 : Ceket borusu iç çapı, m
 d_4 : Ceket borusu dış çapı, m
 h : Boru ekseninden ölçülen gömme derinliği, m
 L : Boru uzunluğu, m

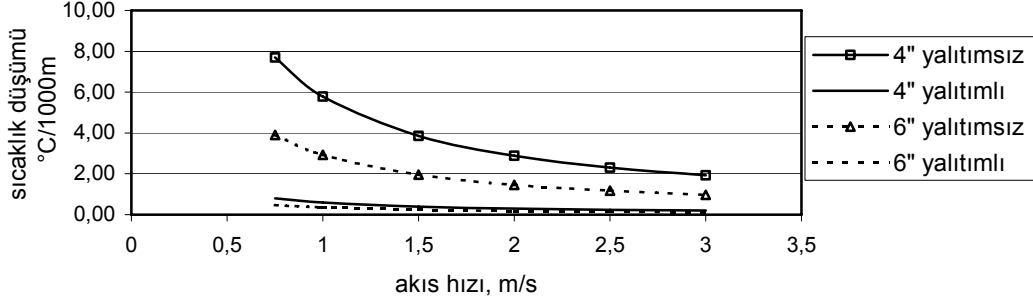
Şekil 2. Toprağa gömülü dağıtım hattı ısı kayıpları [6].

Isı kaybından dolayı olan sıcaklık düşümü ise, boru içindeki akışkanın kütleli debisi m (kg/s), özgül ısı C_p (J/kgK) olmak üzere

$$\Delta T_{su} = Q / \dot{m} C_p \quad (2)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

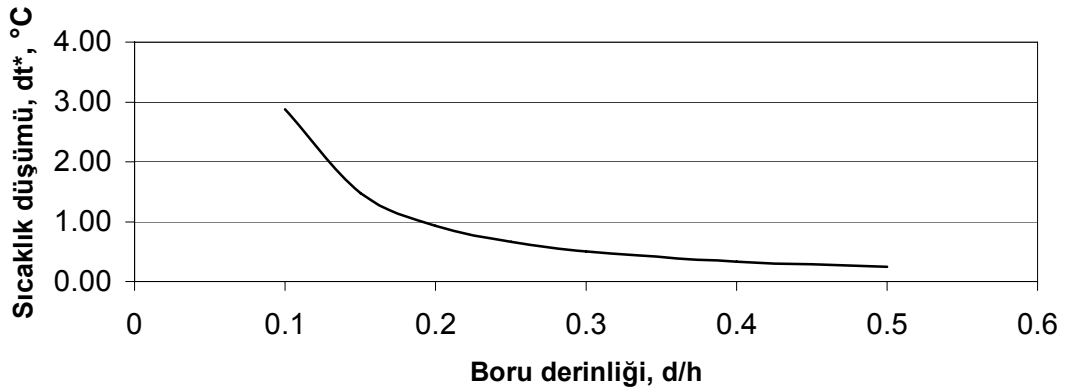
Tipik bir değer olarak, 80°C akışkan sıcaklığı ve 10°C çevre sıcaklığı için, 4" ve 6" yalıtımlı ve yalıtımsız çelik borulardan olan sıcaklık düşümü, şekil-3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Yalıtımlı ve yalıtımsız hatlarda sıcaklık düşümü

Şekil-3' te verilen örnekte, yalıtım olarak kullanılan poliüretanın kalınlığı 30 mm, ısıl iletkenlik katsayısı 0.025 W/mK ve toprağın ısıl iletkenlik katsayısı 1.5 W/mK seçilmiştir. Borunun gömüldüğü derinlik toprak yüzeyinden 1 m aşağıdadır.

Boru direncinin ihmal edildiği durumlar için, toprağa gömülü yalıtımsız hatlarda olan sıcaklık düşümünün genelleştirilmiş grafiği, şekil-4'te verilmiştir.



Şekil 4. Yalıtımsız hatlarda sıcaklık düşümü genelleştirilmiş grafiği

Genelleştirilmiş sıcaklık düşümü dt^* değerinden, boru hattı sıcaklık düşümü dt aşağıdaki bağıntı ile elde edilir.

$$dt = dt^* * \frac{k_{toprak}}{1.5} * \frac{2}{V} * \frac{1}{h^2} * \frac{T_{akiskan} - T_{atmosfer}}{60} \quad (3)$$

Bu ifadede, dt , 1000 m uzunluğundaki boru hattında olan sıcaklık düşümünü ($^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$), k_{toprak} toprağın ısı iletkenliğini (W/mK), V boru içindeki akış hızını (m/s) ve h borunun gömüldüğü derinliği (m) göstermektedir.

Örnek:

Toprağın ısı iletkenliğinin $1.65 \text{ Wm}/\text{K}$ olduğu bir bölgede, 250 mm çapında boru hattı eksenini toprak yüzeyinden 1250 mm derinde kalmak üzere gömülüyor. Hat içindeki akışkan (su) sıcaklığı 90°C , akış hızı $1.5 \text{ m}/\text{s}$, dış ortam (hava) sıcaklığı 10°C olarak verilmiştir. 1000 m uzunluğundaki bir hat içinde akışkanın sıcaklık kaybını hesaplayın.

Çözüm:

Şekilden $d/h=0.2$ için $dt^ = 0.93$ okunur. Sıcaklık düşümü ise (3) numaralı bağıntıdan, $dt=0.93*(1.65/1.5)*(2/1.5)*(1/1.25^2)*(90-10)/60 = 1.16^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$ olarak hesaplanacaktır.*

Yukarıdaki verilerin incelenmesinden anlaşılacağı gibi, ilk yatırım maliyetinin sınırlandırılması amacı ile, şehir dağıtım hatlarının ısı yalıtımsız olarak tesis edilmesi gözönünde tutulması gereken bir seçenektir. Bu konuda belirleyici olan noktalara aşağıda değinilmiştir.

- Sistem yük faktörü: Sistemin öngörülenden düşük kullanıcı sayısında veya sınırlı yüklerde çalışması durumunda, akışkan debisinin sınırlandırılması, kullanıcıya ulaşan su sıcaklığının öngörülenin altında kalmasına yol açabilir.
- Pompalama gideri: Dağıtım sıcaklığının düşmesinden dolayı, pompalanması gereken akışkan miktarı artacaktır. Bu ise işletme giderlerini arttıracaktır.
- Çevre hatlar: Dağıtım hatlarının yakınından geçen telefon, elektrik ve soğuksu hatları sıcaklıktan etkilenebilir.
- Boru malzemesi: Çelik boru kullanılan dağıtım hatlarında, ısı yalıtımı aynı zamanda korozyona karşı koruyucu olarak görev yapmaktadır. Isı yalıtımı yapılmaması halinde, korozyona karşı alınacak tedbirler ek giderlere yol açacaktır.
- Toprak karakteri: Boru hattının geçeceği toprağın özellikleri, ısı kayıpları ve korozyon yönünden önemlidir. Toprağın nemli olması, ısı iletkenliğini arttırmakta ve elektrik direncinin azalmasına neden olmaktadır. Toprağın elektrik direncinin azalması, korozyon etkisini arttırmaktadır.
- Boru çapı: Büyük çaplı ana dağıtım hatlarında, sıcaklık düşümü kabul edilebilir seviyelerde kalmaktadır.
- Dağıtım uzaklığı: Kısa mesafeler arasında gerçekleştirilen dağıtımlarda, sıcaklık düşümü kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır.

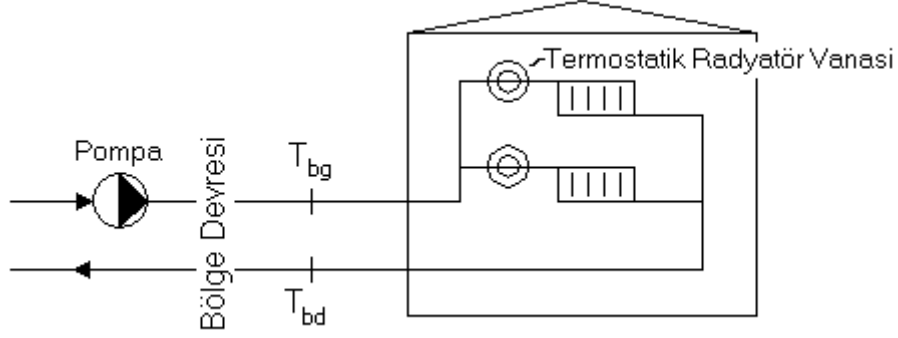
Sonuç olarak, 6" ve üzerindeki ana dağıtım hatları ile dönüş hatlarında, ısı yalıtımsız boruların kullanılmasının uygunluğu, ekonomik analiz aşamasında araştırılmalıdır.

4. BİNA İÇİ SICAKLIK KONTROLÜ

Jeotermal ısıtma sistemlerinde, bölge dağıtım sisteminin (ısı değiştirgeçleri, pompalar ve boru hatları) kurulması için harcanan ilk yatırım giderleri, yüksek rakamlara ulaşmaktadır. İşletme giderlerinin ise yarıdan daha fazlası, jeotermal akışkanın kuyulardan çıkarılması, geri basılması ve bölge devresi su dolaşımını sağlamak için pompalarda tüketilen elektrik enerjisinden ileri gelmektedir. Bölge devresindeki akışkanın (tatlı su veya jeotermal su) enerjisinden geniş ölçüde yararlanılması, ilk yatırım ve işletme giderlerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, ısıtma sisteminin tasarımında, bina içi konforun sağlanması ile birlikte, bölge devresi dönüş suyu sıcaklığının düşük tutulması amaçlanır. Bina içi sıcaklık kontrolü, bina içi ısıtma devresinin bölge devresinden beslenen açık devre veya bölge devresinden bir ısı değiştirgeci ile ayrılmış kapalı devre olmasına göre iki ayrı şekilde ele alınmıştır.

4.1. Açık Devre Sıcaklık Kontrolü

Açık devre uygulamalarında, bina içi ısıtma elemanlarından geçen akışkan debisinin kontrolü, konfor için yeterli koşulları sağlamaktadır. Dış ortam sıcaklığının yüksek olduğu günlerde, ısıtma elemanlarından geçen debinin kısılması, dönüş sıcaklığının düşük olmasını temin edecektir .

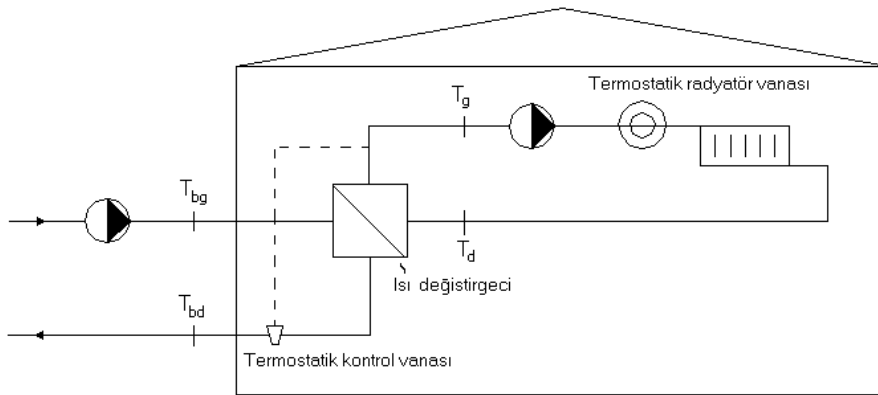


Şekil 5. Bina içi açık devre dağıtım sistemi basitleştirilmiş akış diyagramı

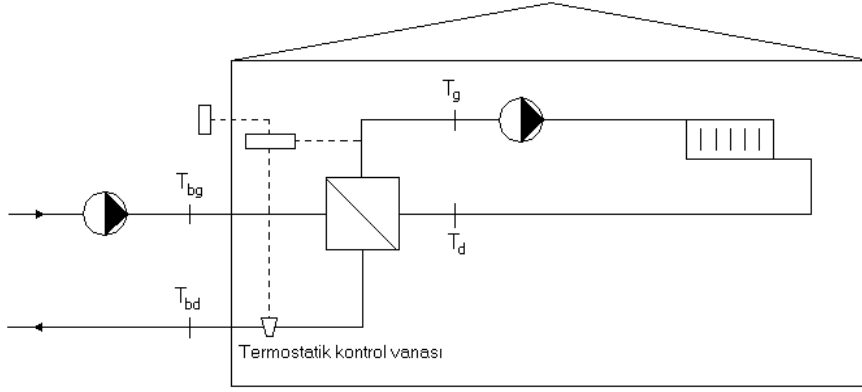
4.2. Kapalı Devre

Kapalı devre ısıtmada yapılan yaygın bir hata, akışkan enerjisinden yüksek ölçüde yararlanmak üzere bölge devresi dönüş sıcaklığının kontrol edilmesidir. Oysa, ısıtıcı elemanların ısıtma kapasitesi, yaklaşık olarak bina içi devresi su gidiş ve dönüş sıcaklığının ortalaması ile değişmektedir. Bina içi dolaşım devresi su gidiş sıcaklığının yüksek tutulması, dönüş sıcaklığının düşük olmasını sağlar. Yapılan bir çalışmada, bölge devresi besleme su sıcaklığının 80°C olması durumu için, bina içi gidiş su sıcaklığının ~71°C' da sabit tutulmasının, bütün bir ısıtma sezonu gözönüne alındığında en düşük su tüketimini sağladığı hesaplanmıştır [7]. Çalışma yapılan bölgede (Rejkavik, İzlanda), ısıtma sistemi dış ortam tasarım sıcaklığı -15°C dır. Gidiş sıcaklığının sabit tutulduğu sistem, bina içi ısıtıcı elemanlarında termostatik vana kullanılarak debinin kontrol edilmesini öngörmektedir (Şekil-6.a).

Bu çalışmada, alternatif bir öneri olarak, bina içi dağıtım debisinin sabit tutulduğu ve gidiş sıcaklığının dış ortam sıcaklığı ile değiştirildiği durum incelenmiştir (Şekil-6.b).



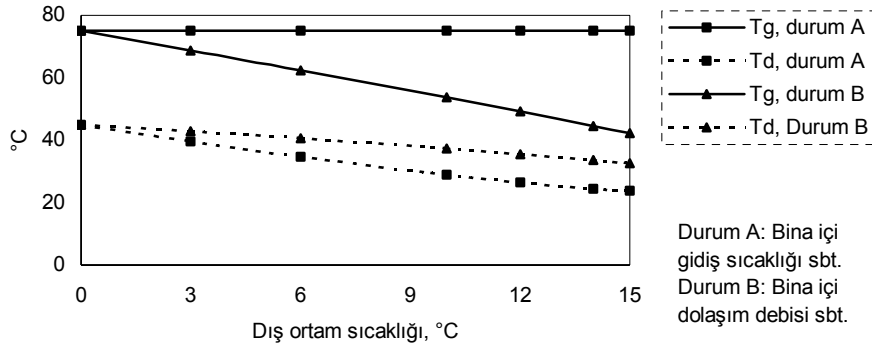
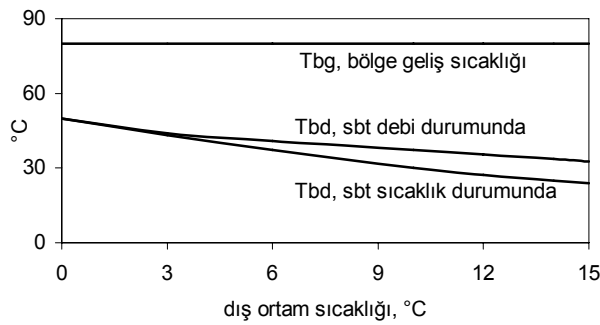
a) Bina içi sabit gidiş sıcaklığı



b) Bina içi sabit dolaşım debisi

Şekil 6. Bina içi kapalı devre dolaşım sistemi basitleştirilmiş akış diyagramı

Şekillerde sırası ile bölge devresi binaya giriş (besleme) sıcaklığı T_{bg} , dönüş sıcaklığı T_{bd} , bina içi devresi radyatörlere giriş (besleme) sıcaklığı T_g , bina içi dönüş sıcaklığı T_d ile gösterilmiştir. Bina içi dolaşımında sabit debi veya sabit sıcaklık kontrolü yapılmasına bağlı olarak, bölge devresi dönüş su sıcaklığının hesaplama yöntemi EK-1'de verilmiştir. Örnek bir durum için, bina içi ve bölge devresi su sıcaklıklarının değişimi şekil-7 ve şekil-8'de gösterilmiştir.

**Şekil 7.** Bina içi dolaşım devresi sıcaklıkları**Şekil 8.** Bölge dönüş sıcaklıklarının dış ortam sıcaklığı ile değişmesi

Şekil-7'de, iç ortam sıcaklığının 22°C, dış ortam tasarım sıcaklığının 0°C ve tasarım noktasında bölge geliş ve dönüş sıcaklıklarının sırası ile 80°C/50°C, bina içi dolaşım gidiş ve dönüş sıcaklıklarının 75°C/45°C olduğu bir mahal için, dış ortam sıcaklığına bağlı olarak hesaplanan dolaşım sıcaklıkları gösterilmektedir. Şekil-8'de ise, aynı mahal için bölge devresi dönüş sıcaklıkları verilmiştir. Bölge devresi dönüş sıcaklığının, bina içi gidiş sıcaklığı sabit seçilen sistemde daha düşük olduğu görülmektedir. Dış ortam sıcaklığının 6°C olduğu bir gün için, bölge devresi dönüş sıcaklığının, bina içi gidiş sıcaklığının 75°C seçildiği durum için 37.16°C, debinin sabit ve bina içi gidiş sıcaklığının 62.43°C seçildiği durum için, 40.76°C olduğu görülmektedir. Sabit debili durumda, bölge devresinde dolaşan akışkanın enerjisinden %8.5 oranında daha az yararlanılmış olmaktadır.

4.3. Abone Sistemi

Jeotermal bölge ısıtmasında abonelik için yaygın olarak kullanılan iki ayrı sistem, sabit ücret veya sayaç sistemleridir. Sabit ücret sisteminde, abone ısıtma sezonu için sabit bir ücret ödemektedir. Sayaç sisteminde ise, bölge ısıtma sisteminden alınan bransman üzerine sayaç kurularak, dolaştırılan su miktarı üzerinden ücret alınmaktadır. Bu durumda, abone dolaşımdaki su miktarını azaltmaya ve aynı enerjiyi kullanabilmek üzere dönüş sıcaklığını düşürmeye teşvik edilmiş olmaktadır. Yapılan araştırmalar, bu öngörüğü genel olarak doğrulamıştır [7]. Ancak yararlanılan kaynaklar, sayaç sistemine geçilmesi ile su tüketimindeki azalma oranını net bir rakam olarak vermemişlerdir. İki sistem arasında, benzer koşullardaki konutlar için yıllık su tüketimi farkının yurdumuz koşullarında karşılaştırılması gerekmektedir. Abonenin kullandığı enerji miktarına göre ödeme yapması ise, jeotermal kaynaklı bölge ısıtmaları için önerilmemektedir.

5. BALÇOVA BÖLGE ISITMA SİSTEMİ

Yukarıda anlatılan genel bilgiler doğrultusunda, yurdumuzda mevcut en geniş kapasiteli jeotermal ısıtma sistemi olan Balçova ısıtma sistemi incelenmiştir. Balçova ısıtma merkezi, İl Özel İdaresine ait olan Balçova Jeotermal A.Ş. tarafından işletilmektedir.

Bölgede halen, toplam 7 kuyudan elde edilen jeotermal akışkanın sıcaklığı 81°C-138°C arasında değişmektedir [9]. Ortalama akışkan sıcaklığı 115°C olarak kabul edilmektedir. Sistemde jeotermal devre, bölge dağıtım devresi ve bina içi devresi birbirlerinden ısı değiştirgeçleri ile ayrılmıştır (şekil-9). Bölge devresi dolaşım debisi dış hava koşullarına göre değişmekle birlikte, soğuk aylar ortalama değeri 800 m³/saat alınabilir. Bölge devresi gidiş dönüş sıcaklıkları 85/60°C ve buna karşılık gelen ısıtma kapasitesi 22 MW'dır. Dış hava sıcaklığının 18°C'ın altına düştüğü günlerde ısıtma yapılmaktadır. Meteorolojik verilere göre, yıllık ısıtma sezonu 193 gün olarak hesaplanmıştır. Jeotermal devre ve bölge dolaşım devresindeki akışkan debisi ısı talebine bağlı olarak değiştirilmektedir. Her iki devrede değişken frekanslı pompalar kullanılarak, debi ayarının optimum şekilde yapılması ve pompalama için kullanılan elektrik enerjisinin en düşük oranda tutulması amaçlanmıştır. Bölge dağıtım hatlarında poliüretan malzeme ile ısı yalıtımı yapılmış çelik borular ve üzerinde koruyucu olarak CTP boru kullanılmaktadır.

Bina içi dağıtımları, bina altlarında monte edilen plakalı ısı değiştirgeçleri üzerinden yapılmaktadır. Bu sistemde, bina içi aboneler (daireler), bina altında aynı ısı değiştirgeçinden beslenmektedir. Bina içi dolaşım ve kullanım sıcak suyu hazırlama devreleri bütün daireler için ortaktır. Bina içi ısı değiştirgeçinde termostatik kontrol vanası kullanılarak, bölge devresi dönüş suyu sıcaklığının ısıtma sezonu boyunca sabit ve 42°C olması planlanmıştır. Mevsimlik sıcaklık değişimlerine göre, abonelerin ısıtıcı elemanlardan geçen su debisini ayarlamaları beklenmektedir.

Bölge ısıtma sistemi 1996 senesinden beri başarı ile işletilmekte olup, halen 5000'in üzerinde aboneye bağlantı yapılmıştır. Ancak proje aşamasında bölge hattı ısı merkezine dönüş sıcaklığı 42°C olarak öngörülmesine karşın, uygulamada bu değere ulaşılammıştır. Abone bağlantılarının artırılması ve yeni üretim kuyuları açılması ile sistemin genişletilmesi planlanmaktadır. Yapılan genişletme

- Bina altı ısı değiştirgeçeri kaldırılarak, açık devre uygulamasına geçilmelidir. Buna paralel olarak, bina içi ısıtıcı elemanların (radyatörler), tamamının termostatik vanalarla donatılması gerekmektedir.
- Kapalı devre uygulamasının devam edeceği abonelerde, dönüş suyu sıcaklığının sabit tutulması uygulamasından vazgeçilmelidir. Bu yöntem, yukarıda açıklandığı gibi konfor koşullarını sağlamamaktadır. Uygulamada istenilen dönüş sıcaklığı elde edilememiştir. Bunun yerine, abone gidiş sıcaklığının sabit veya dış sıcaklığa göre ayarlandığı sistemlerden biri seçilmelidir.
- Sabit ücret sistemi bırakılarak, sayaç sistemine dönülmelidir.
- Bölge ısıtma sisteminde yeni tesis edilecek dönüş hatlarının, yalıtımsız olarak tesis edilmesinin ekonomikliği incelenmelidir.

Bina içi devresinin bölge devresi ile birleştirilerek açık devre uygulamasına geçilmesi halinde, bölge devresi dönüş sıcaklığının 5°C düşmesi beklenmektedir. Bu durum sistem kapasitesinin mevcut uygulamaya göre ek bir yatırım yapılmadan %20 oranında artması anlamına gelmektedir. Sayaç sistemine geçilmesi durumunda tüketicinin tasarruf eğiliminde olabilecek artma, bu hesaplamada gözönüne alınmamıştır.

SONUÇ

Bu çalışmada, jeotermal kaynaklı bölgesel ısıtmada kullanılan dağıtım ve kontrol sistemleri tanıtılmıştır. İşletme ve tasarım aşamasında yapılabilecek düzenlemelerle, mevcut bir jeotermal kaynağın kapasitesinden daha etkin olarak yararlanılması ve buna paralel olarak yatırım ve işletme giderlerinin düşürülmesi mümkündür. Jeotermal enerji kullanılan bölge ısıtma sistemleri, yurdumuzun çeşitli yörelerinde ciddi bir ısınma alternatifi durumuna gelmiştir. Tasarım aşamasında farklı seçeneklerin titizlikle incelenmesi, bu temiz, ucuz ve dışa bağımlı olmayan enerji kaynağımızın etkin kullanımı ve yaygınlaştırılması için gerekli görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] DRAHOR, M.G., KUMLUTAŞ D., GÖKTÜRKLER G., Dünyada ve Türkiye’de Jeotermal Enerji ve Kullanımı, YEKSEM 2001 Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyum Bildirileri, sayfa:61-68, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir, 18-21 Ocak 2001.
- [2] BATIK, H., KOÇAK, A., AKKUŞ, İ., ŞİMŞEK, Ş., MERTOĞLU, O., DOKUZ, İ., BAKIR, N., Geothermal Energy Utilization and Development in Turkey, Proceedings of World Geothermal Congress, p:85-91, Japonya, 2000.
- [3] MERTOĞLU, O., CANLAN, A., BAKIR, N., DOKUZ, İ., KAYA, T., Geothermal Direct Use Applications in Turkey: Technology and Economics, Proceedings of World Geothermal Congress, p:3505-3509, Japonya, 2000.
- [4] RAGNARSSON, A., Geothermal Energy in Iceland, Geo-Heat Center Bulletin, v.18 n.1 Oregon, ABD, 1996.
- [5] QING, R.G., ZHOU, W.H., Engineering and Technology for Direct Utilization of Low Enthalpy Geothermal Energy, Proceedings of World Geothermal Congress, p:3551-3553, Japonya, 2000
- [6] RAFFERTY, K. D., Piping, “Geothermal Direct-use Engineering and Design Guidebook”, p: 241-259, 3rd. ed., ed.: Lund. J.W., Geo-Heat Center, Oregon, ABD, 1998.
- [7] KARLSSON, T., RAGNARSSON, A., Use of Very Low Temperature Geothermal Water in Radiator Heating Systems, Proceedings of World Geothermal Congress, p:2193-2201, Florence, Italy, 1995 .
- [8] Demirdöküm panel radyatör katalogları, 1998
- [9] ÇANAKÇI, C., Makina Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Kişisel görüşme ve notlar, 2001

EK- 1 BÖLGE ISITMA SİSTEMİ ISI YÜKÜ VE DÖNÜŞ SICAKLIĞININ DIŞ ORTAM SICAKLIĞI İLE DEĞİŞİMİ

Bölge ısıtma sistemlerinde ısı yükü, akışkan debisi ve dönüş sıcaklıkları, dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmektedirler. Farklı kontrol modellerine göre debi ve sıcaklıkların hesaplanması aşağıda gösterilmiştir.

Konutların ısı yükünün, dış ortam sıcaklığı ile doğrusal olarak değiştiği kabul edilir.

$$Q = Q_0 \cdot (T_{iç} - T_{dış}) / (T_{iç} - T_{dış,0}) \quad (1)$$

Burada Q_0 ve $T_{dış,0}$ tasarım noktasındaki dış hava sıcaklığını ($^{\circ}C$) ve karşılık gelen ısı yükünü (W) göstermektedir.

Konut ısıtmasında en yaygın kullanılan ısıtıcı eleman olan radyatörlerin kapasitesi ise, radyatör sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki farkın üstel bir fonksiyonudur. Radyatör ve ısıtılan mahal arasındaki logaritmik ortalama sıcaklık farkı sıcak akışkanın radyatöre gidiş ve radyatörden dönüş sıcaklığına bağlı olarak

$$\Delta T_{lm} = \frac{T_g - T_d}{\ln \left[\frac{T_g - T_{iç}}{T_d - T_{iç}} \right]} \quad (2)$$

şeklinde tanımlanır.

Tasarım noktasında logaritmik sıcaklık farkı $\Delta T_{lm,0}$ ve radyatör kapasitesi ise Q_0 olarak verilsin. Çalışma noktasındaki kapasite

$$Q/Q_0 = (\Delta T_{lm} / \Delta T_{lm,0})^n \quad (3)$$

şeklinde gösterilir. n üssü, firma kataloglarında radyatör tipine bağlı olarak 1.25-1.35 arasında değişik değerler almaktadır [8]. DIN- 4703 standartında ortalama bir değer olarak $n=1.3$ alınmıştır.

Değişen ısı yüklerinde radyatöre gidiş ve dönüşteki sıcaklık farkı ise,

$$T_g - T_d = Q / m C \quad (4)$$

ifadesinden hesaplanmaktadır. Bu bağıntıda m radyatör su debisi (kg/s), C ise özgül ısı (W/mK) olarak kullanılmıştır.

Bina içi dolaşım devresini ısıtmak için kullanılan ısı değiştiricide logaritmik sıcaklık farkı

$$\Delta T_{lm,isi\ deg} = \frac{(T_{gb} - T_g) - (T_{db} - T_d)}{\ln \left[\frac{T_{gb} - T_g}{T_{db} - T_d} \right]} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Aktarılan ısı ise, ısı değiştiricinin toplam taşınım katsayısı U (W/m^2K) ve yüzey alanı A (m^2) olmak üzere

$$Q = UA \Delta T_{lm,isi\ deg} \quad (6)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Isı değiştirgeci toplam taşınım katsayısı U, geçen akışkanların debisine bağlıdır. Ancak bir ilk yaklaşım olarak, taşınım katsayısının debi ile değişmediği kabul edilir ve ısı değiştirgecinde aktarılan ısı logaritmik sıcaklık farkına bağlı olarak

$$Q/Q_0 = \Delta T_{lm,isi\ deg} / \Delta T_{lm,isi\ deg,0} \quad (7)$$

şeklinde yazılır.

Bu ifadeler kullanılarak, farklı ısı yükleri için radyatör ve bölge devresi dönüş su sıcaklıkları hesaplanabilir.

Durum – A Radyatöre geliş sıcaklığının sabit tutulması: Radyatör geliş sıcaklığının (Tg) sabit tutulması durumunda, dönüş sıcaklığının (Td) değeri değişen ısı yüküne bağlı olarak (1), (2) ve (3) bağıntılarından hesaplanır. Bölge devresi dönüş sıcaklığı ise, ısı değiştiricinin yüküne bağlı olarak (5) ve (7) ifadelerinden hesaplanmaktadır.

Durum – B Radyatör su debisinin sabit tutulması: Radyatör su debisinin sabit tutulması durumunda, önceki durumdan farklı olarak radyatör giriş sıcaklığının da hesaplanması gerekmektedir. (1), (2), (3) ve (4) numaralı bağıntılar kullanılarak, istenilen değerler hesaplanır. Bölge devresi dönüş sıcaklığı da A durumuna benzer şekilde hesaplanır.

ÖZGEÇMİŞ

Serhan KÜÇÜKA

1960 yılı İzmir doğumludur. 1983 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği bölümünü bitirdi. Aynı bölümden 1985 yılında Yüksek Lisans, 1993 yılında Doktora derecelerini aldı. 1990-1998 yılları arasında TÜPRAŞ İzmit ve İzmir rafinerilerinde proje mühendisi olarak çalıştı. Halen DEÜ Makina Mühendisliği Bölümünde Yrd. Doç. olarak çalışmaktadır.