

ISITMA SİSTEMİNDE BORU ÇAPI HESABI

6.1 BORULARDA ISILI AKIŞ

Merkezi ısıtma sistemlerinde kazanda 90°C'ta üretilen sıcak su, ısıtma yapılacak ortamlardaki ısıtıcılara su taşıyıcı borular ile ulaştırılır. Isıtıcılar, suyun sıcaklığının 90°C'tan 70°C'a düşmesi sonucunda açığa çıkan ısıyı ortama verecek şekilde tasarlanır ve seçilirler. Diğer bir deyişle sıcak sulu merkezi ısıtma sistemlerinde kazandan 90°C'ta çıkan su, kazana 70°C'ta geri döner. Su taşıyıcı boruların çap hesabında etkili olan parametrelerden bir tanesi, suyun sistemde sahip olduğu gidiş ve dönüş sıcaklık değerleridir (90/70°C veya 80/70°C gibi).

Boru çapı hesabında etkili olan diğer parametreler, boru içerisinde dolaşan ısıtıcı akışkanın taşımakta olduğu ısı yükü, akışkanın hızı ve boru iç yüzey pürüzlülüğüne bağlı olan özgül basınç düşümüdür. Borularda akış ile ilgili olarak Akışkanlar Mekaniği'nden bilinmektedir ki L uzunluğunda ve d çapındaki bir boru içerisinde V hızı ile akan bir akışkanda, boru iç yüzey sürtünmeleri nedeniyle ortaya çıkan basınç düşümü;

$$(\Delta P)_{\text{sürt.}} = \lambda \frac{L}{d} \frac{\rho V^2}{2} = RL \quad (\text{Pa}) \quad (6.1)$$

olarak ifade edilen ve *Darcy-Weisbach eşitliği* olarak bilinen bağıntı ile tanımlanır. Burada λ ; *Darcy sürtünme faktörü* olup, akışa ait Reynolds sayısı ve boru bağıl pürüzlülüğünün bir fonksiyonudur [13]. R ise *özgül basınç düşümü* olarak adlandırılır ve $[\lambda \rho V^2 / (2d)]$ teriminin yerine kısaltma amacıyla kullanılır. İçerisinden, kazandan çıkan ve ısıtıcıda gereken miktarda ısınıyı bırakarak tekrar kazana geri dönecek şekilde ısıtıcı akışkan geçen boru sistemi, sadece ısıtıcıda çevreyle ısı alış-verişi yapan Termodinamik bir açık sistem olarak göz önüne alındığında birinci yasa ifadesi;

$$Q = \dot{m}C\Delta T = \rho V(\pi d^2 / 4)C\Delta T \quad (\text{W}) \quad (6.2)$$

olarak ifade edilir. Burada ρ yoğunluk, V akışkan hızı, d boru iç çapı, C özgül ısı ve ΔT ise akışkanın sisteme giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farktır.

Isıtma sistemindeki herhangi bir boru devresi göz önüne alındığında; (6.1) ve (6.2) bağıntılarında yer alan değişkenlerin bilinmesi ve hesaplanması gerekmektedir. Bu bağıntılarda yer alan Q; ısıtma devresindeki ısı yükü olup, ilgili ortam için ısı gereksinim hesapları ile belirlenmiştir. L; ısıtma devresindeki boru boyu olup, mimari durum ve ısıtma tesisatının yapıdaki yerleşimine bağlı olarak yatay ve düşey kat planlarından ölçülerek alınan ve yine bilinen bir değerdir. ΔT ; ısıtıcı akışkanın gidiş ve dönüş sıcaklıklar farkı olup, çoğunlukla 20°C olarak alınır. ρ ve C ise akışkan fiziksel özellikleri olup, tablolardan okunurlar. Bu bağıntılarda yer alan $(\Delta P)_{\text{sürt.}}$, V ve d ise bilinmeyen üç adet büyüklük olup, d iç çapı dışında bir tanesinin serbest seçilmesi ile mevcut iki denklemden hesaplanırlar. (6.1) ve (6.2) bağıntılarında yer alan değişkenlerin özellikleri Tablo 6.1’de topluca görülmektedir.

Tablo 6.1 Isıtma tesisatındaki boru tasarımında göz önüne alınan ve hesaplanan büyüklükler

Seçilenler ve Tablolardan Alınanlar	Tesisat Projesinden Alınanlar	Serbest Seçilenler	Hesaplananlar
$\Delta T, \rho, C$	Q, L	$\Delta P_{\text{sürt.}} (R)$	$d(\lambda)$ ve $V(\lambda)$
		$V(\lambda)$	$d(\lambda)$ ve $\Delta P_{\text{sürt.}} (R)$

Tablo 6.1’den de açıkça görüldüğü gibi; ısıtma sistemindeki boru çapı hesabında sistemdeki basınç kaybı $(\Delta P)_{\text{sürt.}}$ (veya R) ya da boru içerisindeki akışkan hızı V uygun şekilde seçilerek gerekli boru çapları belirlenir. Deneyimlerden elde edilen verilere dayalı olarak, ısıtma sistemlerindeki boru parçalarında akışkan hızı ve özgül basınç düşümü için önerilen değerler Tablo 6.2’de görülmektedir. Pratikte, ısıtma sisteminde boru çapının belirlenmesinde, (6.1) ve (6.2) bağıntıları yerine bu bağıntılardan yola çıkılarak hazırlanmış çizelgeler veya diyagramlar kullanılır (Ek 2, Ek 3, Ek 4).

Tablo 6.2 Isıtma tesisatında boru tasarımında önerilen hız ve özgül basınç düşümleri [3]

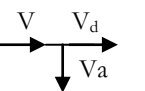
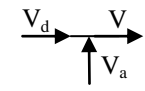
Uygulamanın Adı	V (m/s)	R (Pa/m)
Konutlarda; kol (bransman), kolon, radyatör	0,5÷0,7	50÷100
Konut ana dağıtım (kazan-kolon arası)	0,8÷1,5	100÷200
Bölge ısıtması dağıtım hattı	2,0÷3,0	200÷400
Endüstriyel bina içi	1,0÷2,0	100÷250
Endüstriyel bina dışı	2,0÷3,0	200÷400

Isıtma sistemlerindeki boru devreleri üzerinde çeşitli amaçlarla kullanılan ve ısı taşıyan akışkanda basınç düşümüne yol açan vana, dirsek, geçiş parçaları, toplayıcı, dağıtıcı vb. gibi özel direnç elemanları yer alır. Bu elemanlarda ortaya çıkan basınç düşümü;

$$(\Delta P)_{\text{özel}} = Z = \xi \frac{\rho V^2}{2} \quad (\text{Pa}) \quad (6.3)$$

ifadesi ile tanımlanır [13]. Burada ξ (kısı); özel direnç katsayısı olup birimsizdir. Tablo 6.3'te bazı tesisat elemanlarına ait ξ değerleri görülmektedir. Z değerinin belirlenmesi; (6.3) bağıntısının yanı sıra daha pratik bir şekilde Ek 5'te verilen çizelge kullanılarak da yapılabilir.

Tablo 6.3 Isıtma sistemlerindeki bazı elemanlar için özel direnç katsayıları [3,5]

90° Ayrılma	Kol							Giden Hat					
	V_a/V	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	2,0	V_d/V	0,5	1,0			
	ξ_a	12,0	7,0	3,5	2,5	2,0	1,0	ξ_d	0,5	0			
90° Birleşme	Kol					Gelen Hat							
	V_a/V	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	V_d/V	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
	ξ_a	-1	0,5	1	1,3	1,5	ξ_d	1,5	1,3	1,1	0,8	0,5	0
Eleman	Çap (")	3/8	3/4	1 1/4			Eleman					ξ	
		1/2	1	1 1/2	≥ 2								
Daralmalı şiber vana	1,0	0,5	0,3	0,3	Deve boynu (90°)					1,5			
Daralmasız şiber vana	0,4	0,3	0,2	0,2									
Düz vana	10,0	7,0	5,0	4,0	Kazan					3,0			
Eğik vana	3,5	3,0	2,5	2,0									
Düz radyatör vanası	8,5	6,0	5,0	4,0	Radyatör					3,0			
Köşe radyatör vanası	4,0	2,0	2,0	-									
							Toplayıcı giriş ve çıkış					0,5	

Isıtma sisteminde yer alan herhangi bir boru parçasında ortaya çıkan toplam basınç düşümü; (6.1) ve (6.3) bağıntıları ile verilmiş olan basınç düşümlerinin toplamı olan;

$$\Delta P = \sum RL + \sum Z \quad (\text{Pa}) \quad (6.4)$$

bağıntısı ile ifade edilir. ΔP basınç düşümü, öncelikle sistemde *kritik devre* olarak adlandırılan ve sistemdeki boru devrelerinden, içerisinde ısıtıcı akışkanın dolaşmakta en çok zorlanacağı devre için belirlenmelidir. Kritik devrede akışkanın dolaşabilmesi için gereken basınç, basınç dengelemesinin yapılması koşulu ile, akışkanın diğer boru devrelerinde de dolaşmasını sağlayacaktır. Sistemde kullanılacak olan ve akışkanın dolaşmasını sağlayacak olan basınç, ya sistemdeki sıcaklık farklarına bağlı olarak ortaya çıkan yoğunluk farkından doğan *etkin basınç* ile ya da sisteme eklenen bir dolaşım pompası aracılığı ile sağlanır. Bu yönü ile merkezi ısıtma sistemleri, *doğal dolaşım*lı ve *pompalı sistemler* olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

Isıtma sistemlerinde boru çapı hesabına başlarken; ΔP basınç düşümü içerisinde sürtünme ve özel dirençler nedeniyle ortaya çıkan basınç düşüm paylarının yaklaşık olarak bilinmesi önemli kolaylıklar sağlar. Deneyimlerden elde edilen veriler göstermektedir ki; çeşitli uygulamalarda sürtünme nedeniyle ortaya çıkan basınç düşümünün toplam basınç düşümü içerisindeki payı;

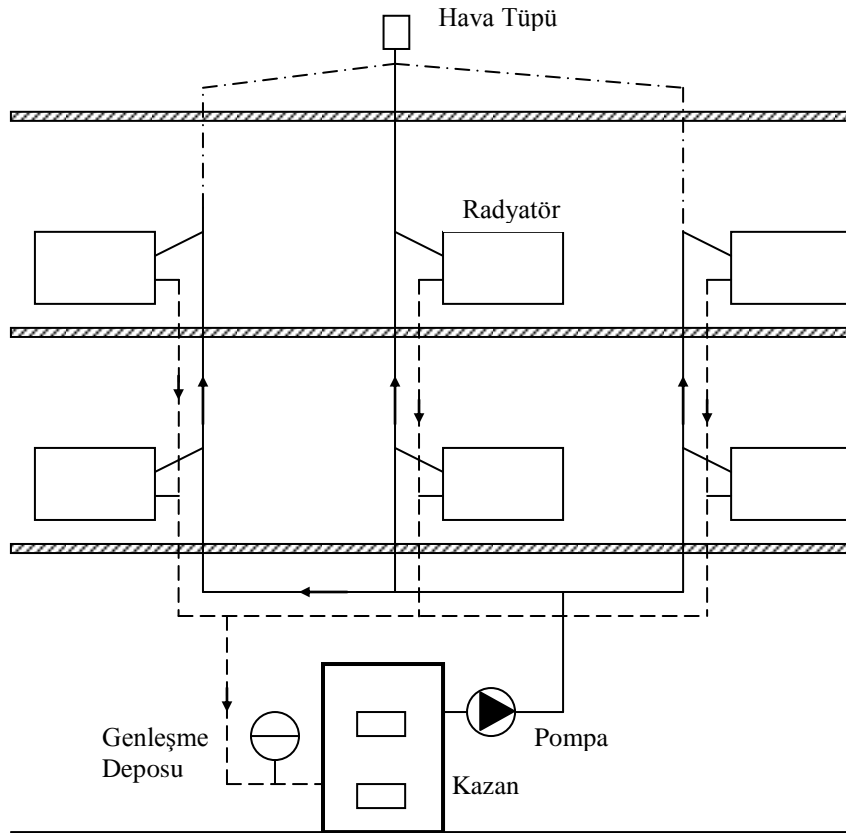
Doğal dolaşımli sistemlerde	%67
Pompalı sistemlerde	%50
Bölge ısıtma sistemlerinde	%80÷%90
Kazan dairesinde	%30÷%10

düzeyindedir [3].

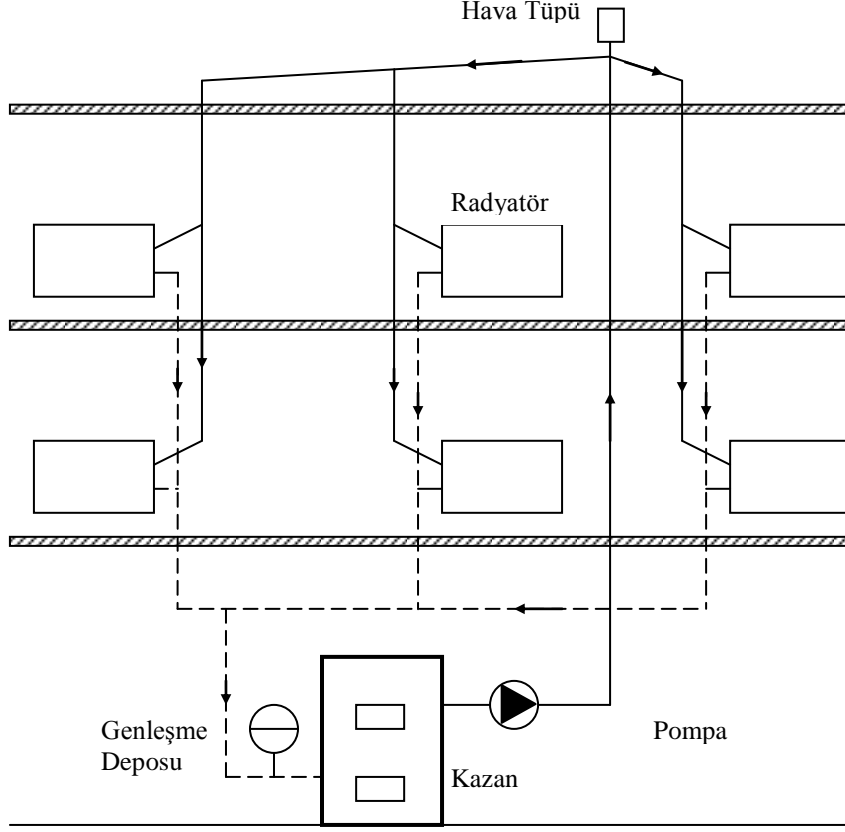
6.2 MERKEZİ ISITMA SİSTEMLERİ

Genel özellikleri Bölüm 1’de verilmiş olan merkezi ısıtma sistemlerinde suyun sistemdeki dolaşımı eski sistemlerde doğal olarak (pompasız) sağlanmakta iken, yeni sistemlerde ise daha ekonomik ve konforlu olduğu için dolaşım pompaları ile sağlanır. Dolaşım pompaları sistemde gidiş hattına monte edilmelidir. Sistemde mevcut suyun ısınması sırasında artan hacim, *genleşme deposu* adı verilen bir depoda toplanır. Genleşme deposunun sisteme bağlantısı, kazana dönüş hattına ve hemen kazan girişinden önce yapılır. Genleşme depoları atmosfere açık veya kapalı olabilirler. Açık genleşme depoları sistemin en üst seviyesinde yer alan çatı katlarına yerleştirilirler. Kapalı genleşme depoları ise; genellikle kazan dairesinde ve alçakta bulunur. Kapalı genleşme depoları içerisinde bir zar (membran) ile ayrılmış bölme içerisinde bulunan gaz (azot) ile ısıtma sistemine bir ön basınç sağlanır. Kapalı genleşme deposunun kullanılması bazı avantajlar sağlar. Bunlar arasında; sistemin hava ile temasının kesilmesi ve korozyon riskinin azalması, suyun buharlaşma ile olan kaybının ortadan kalkması, sistemde dengeli bir basınç dağılımı, açık genleşme deposu için çatıya kadar çekilen ve yalıtımlı olan borudan tasarruf edilmesi vb. sayılabilir.

Sıcak suyun sistemdeki dağıtım ve toplama şekline göre çeşitli uygulamalar mevcuttur. Bunlar; alttan dağıtım-alttan toplama (Şekil 6.1), attan dağıtım-üstten toplama, üstten dağıtım-alttan toplama (Şekil 6.2) ve üstten dağıtım-üstten toplama şeklindedirler.



Şekil 6.1 Kapalı genleşme depolu alttan dağıtım-alttan toplama sistemi [3].



Şekil 6.2 Kapalı genişleme deposu üstten dağıtma-alttan toplama sistemi [3].

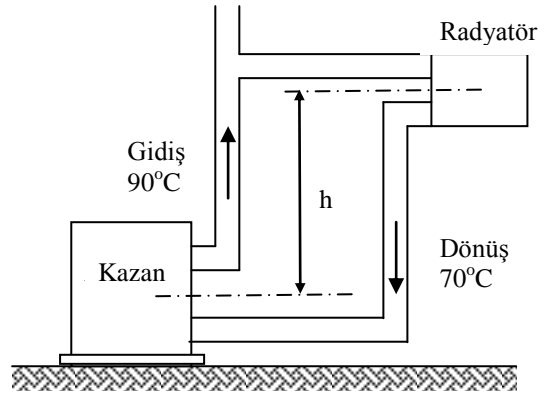
6.2.1 Doğal Dolaşımli Merkezi Isıtma Sistemlerinde Boru Çapı Hesabı

Doğal dolaşımli ıstıtmada suyun sistemdeki dolaşımı, suyun yoğunluğunda ortaya çıkan farka bağılı olarak doğan etkin basınç ile sağlanır. Şekil 6.3'te görülen 90°/70° C ıstıtma devresinde ortaya çıkan etkin basınç;

$$\Delta P_{et} = (\rho_{dönüş} - \rho_{gidiş}) gh \quad (\text{Pa}) \quad (6.5)$$

bağıntısı ile belirlenir. 70°C sıcaklıkta su için $\rho_{dönüş} = 976 \text{ kg/m}^3$ ve 90°C sıcaklıkta su için $\rho_{gidiş} = 965 \text{ kg/m}^3$ olduğu göz önüne alındığında etkin basınç için,

$$\begin{aligned} \Delta P_{et} &= (976 - 965) 9,81 h \\ \Rightarrow \Delta P_{et} &= 107,9 h \quad (\text{Pa}) \quad (6.6) \end{aligned}$$



Şekil 6.3 Doğal dolaşımli basit bir kazan-radyatör sistemi

elde edilir. Şekildeki radyatör devresinde dolaşacak olan akışkanın boru sürtünmesi ve

özel dirençleri yenmede kullanabileceği basınç, yukarıda belirlenen etkin basınç kadar olacağından, mevcut sistemdeki boru çapı hesabı bu koşulu sağlayacak şekilde yapılır. Buna göre öncelikle doğal dolaşımli ısıtma sisteminde kritik durumdaki devre belirlenir. Doğal dolaşımli ısıtma sistemlerinde kritik devre; kazana göre en alt düzeyde ve yatay doğrultuda en uzakta bulunan radyatöre ait devredir. Kritik devreye ait özgül basınç düşümü hesabı için etkin basıncın %67'sinin boru sürtünmelerinde kullanılacağı göz önüne alınarak, denge denklemi;

$$0,67(\Delta P_{et})_{krit} = \sum_{krit} (RL) \quad (6.7)$$

olarak ifade edilir. Buradan elde edilen R_{krit} değeri ile *boru çapı hesaplama çizelgesinin* (Çizelge 6.1) doldurulmasına geçilir. Çizelgenin başlık kısımları önceki çizelgelerde olduğu gibi doldurulur. Çizelgedeki ilk satıra devre adı, R değeri ve bu devrede kullanılacak etkin basınç değeri yazılır. İzleyen satırın ilk sütununa boru parça numaraları yazılır. Boru parçalarının numaralandırılmasında kazandan başlayarak sıralı bir şekilde radyatöre kadar gidip tekrar kazana dönecek şekilde bir sıra izlenmelidir. Aynı ısı yükünü taşıyan gidiş ve dönüş boruları için aynı satırda çap belirlenir. Bunu için boru numarası sütununa (a) "1-12" veya "2-11" şekline boru numaraları yazılır. Isı miktarı sütununa (b) boru parçalarının taşımakta olduğu ısı yükü yazılır. Boru parçası uzunluğu (d) sütununa yazılır. Boru hesabında *ilk seçilen çapa göre* olan sütunlara, çizelgelerden okunan veya hesaplanan değerler yazılır. (e) sütunundaki d çapı yerine; Ek 3'ten R özgül basınç düşümüne karşılık gelen ve en az boru ısı yükü kadar olan Q ısı yükünü bulunduran çap sütunundaki çap değeri yazılır. (e) çap sütununda, boru ısı yüküne en yakın Q değerine yaklaşmak üzere yukarı doğru çıkılarak ilgili hücre belirlenir. Bu hücreye ait V hızı ve R değeri ilk seçilen çapa göre bölümündeki ilgili sütunlara (f ve g) yazılır. (h) sütunu LR çarpımı ile doldurulur. (i) sütununa ilgili boru parçalarındaki özel direnç elemanlarına ait direnç katsayılarının toplamını yazmak üzere Çizelge 6.2'nin (ξ değerleri hesaplama çizelgesi) doldurulmasına geçilir. Çizelge 6.2'de yer alan çeşitli özel direnç elemanlarından, çapı belirlenmekte olan boru parçalarında yer alanlara ait katsayılar her bir satıra yazılarak son sütunda elde edilen toplam katsayı değeri Çizelge 6.1'deki (i) sütununa yazılır. (k) sütunu ise; Ek 5'te verilen çizelgeden, boru içerisindeki su hızı ve toplam kayıp katsayısının kesiştiği hücreden okunan özel direnç basınç düşümü (Z) ile doldurulur.

Göz önüne alınan devredeki diğer boru parçaları için de aynı işlemin yapılması ile diğer satırlar doldurulur ve toplam LR değeri ile toplam Z değerinin birbiri ile toplanması sonucunda elde edilen basınç düşümü değeri (ΔP), devredeki etkin basınç (ΔP_{et}), ile karşılaştırılarak bir değerlendirme yapılır. Eğer $\Delta P \geq \Delta P_{et}$ ise devredeki etkin basıncın mevcut çap düzenlemesi ile borularda suyun dolaşmasına yetmeyeceği anlaşılabilir, devrenin kazana en uzak boru parçalarından başlamak üzere boru parçalarının çapları kademeli olarak büyütülüp *değiştirilmiş boru çapına göre* sütunları doldurularak yeniden basınç denge kontrolü yapılır. Bu işlem $\Delta P < \Delta P_{et}$ koşulu sağlanıncaya kadar sırayla bütün boru parçalarına uygulanır. İlk seçilen çapa göre

Çizelge 6.2 Özel dirençler için direnç katsayısı (ξ) hesaplama çizelgesi [5]

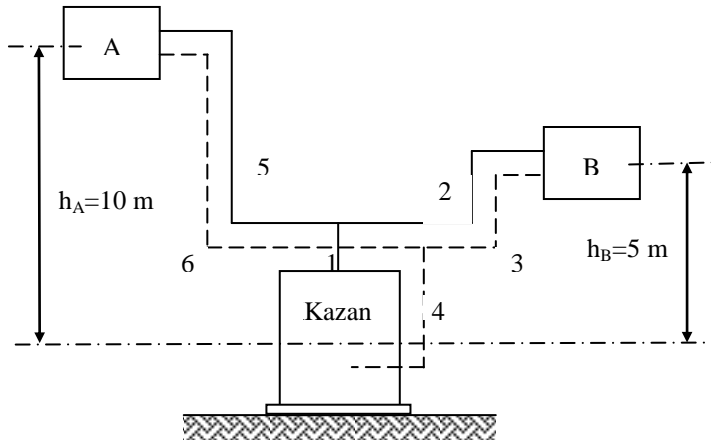
KTÜ-Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı		DİRENÇ KATSAYISI (ξ) DEĞERLERİ HESABI														Sayfa					
		Tesisin Adı:.....														Kat					
																Tarih					
Parça No	Boru Çapı	Kazan veya Radyatör	Kollektör Giriş ve Çıkışı	Pantolon Parçası	S Parçası	Çift Dirsek (Geniş)	Çift Dirsek (Dar)	T – Birleşme (Kol)	T – Ayrılma (Kol)	T- Karşıt Akım	T – Ayrılma (Giden hat)	T-Birleşme (Gelen hat)	Boru Çapları	Deve Boynu 90°	Dirsek	Şiber Vana	Kolon Vanası (Düz)	Kolon Vanası (Eğik)	Radyatör Vanası (Düz)	Radyatör Vanası (Köşe)	Toplam
		3,0	0,5	1,5	0,5	0,1	2,0	1,0	1,5	3,0	0,5	1,0	1/2"	1,5	2,0	1,1	17,0	3,0	8,5	5,0	
													3/4"	1,1	1,7	0,6	13,0	3,0	6,0	3,0	
													1"	0,9	1,3	0,5	12,0	3,0	6,0	2,0	
													11/4"	0,5	1,1	0,4	10,0	2,5	5,0	2,0	
													11/2"	0,4	1,0	0,3	8,0	2,5	--	--	
													≥2"	0,5	0,8	0,3	7,0	2,5	--	--	

yapılmış olan kontrol sonucunda $\Delta P < \Delta P_{et}$ olduğu görüldüğünde basınçlar arasındaki farkın büyüklüğüne bakılır. Eğer kullanılabilir bir düzeyde bir basınç farkı değeri varsa, bundan yararlanmak üzere bu kez sistemde ekonomik bir tasarım yapmak üzere çap küçültme yoluna gidilir. Bu işlem için yine *değiştirilmiş boru çapına göre* sütunlarında, kazandan en uzak boru parçalarından başlanarak kademeli olarak daha küçük çaplarda boru seçilerek yeni basınç düşüm değerleri hesaplanır ve *fark* sütunlarında (r ve s) önceki değerler ile olan farklar belirlenerek bu değerlerin toplamı, ilk seçilen çapa gören olan ΔP değerine eklenir. Elde edilen yeni ΔP değerinin devre için olan ΔP_{et} ile karşılaştırılması yapılarak aradaki farkın istenen düzeyde azaldığı kontrol edilerek diğer boru devrelerine ait çap hesaplarına geçilir.

Diğer devreler için çap hesabında kritik devre ve önceden hesaplanmış olan devreler ile ortak olan parçalarda ortaya çıkan basınç düşümleri göz önüne alınır. Sadece önceden çapı hesaplanmış boru parçaları dışında kalan ve göz önüne alınan devreye ait boru parçaları için çap hesabı yapılır. Bu durum; aşağıda verilmiş olan örnek hesaplardan da görüleceği gibi boru hesabı çizelgesi doldurulurken çizelge üzerine not edilir.

Örnek 6.1

Şekilde görülen $90^\circ/70^\circ$ C'lik doğal dolaşımli ısıtma sisteminde tabloda verilen değerleri esas alarak; 2, 3, 5, 6 nolu boru parçaları için R değerlerinin belirlenmesi.



Boru No	L (m)	R (Pa/m)	Z (Pa)
1-4	12	6	62
2-3	18	-	70
5-6	15	-	75

B radyatörüne ait devrede kullanılabilir etkin basınç;

$$\Delta P_{et} = (\rho_{70} - \rho_{90}) gh_B = (976 - 965) \times 9,81 \times 5 = 107,9 \times 5 = 539,6 \text{ Pa}$$

olarak hesaplanır. Bu miktar etkin basınç; bu devredeki boru sürtünmeleri ve özel dirençler nedeniyle ortaya çıkacak olan basınç düşümlerini yenmede kullanılacağından;

$$(\Delta P_{et})_B = \sum RL + \sum Z = (RL)_{1-4} + (RL)_{2-3} + Z_{1-4} + Z_{2-3}$$

$$539,6 = 6 \times 12 + R_{2-3} \times 18 + 62 + 70$$

$$\Rightarrow R_{2-3} = 18,6 \text{ Pa/m}$$

Benzer şekilde A radyatörü için etkin basınç hesaplanır ve denge denklemi yazılırsa;

$$(\Delta P_{et})_A = 107,9 \times 10 = 1079 \text{ Pa}$$

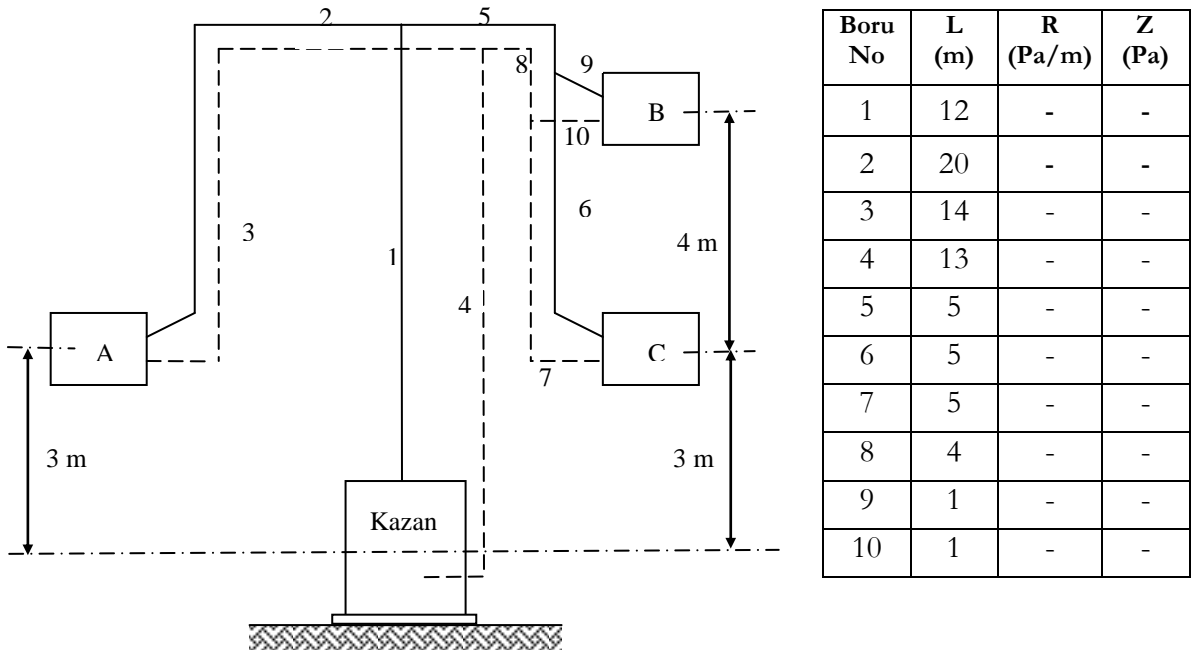
$$(\Delta P_{et})_A = \sum RL + \sum Z = (RL)_{1,4} + (RL)_{5,6} + Z_{1,4} + Z_{5,6}$$

$$1079 = 6 \times 12 + R_{5,6} \times 15 + 62 + 75$$

$$\Rightarrow R_{5,6} = 57,8 \text{ Pa/m}$$

Örnek 6.2

Şekilde görülen 90°/70° C 'lik doğal dolaşimli ısıtma sistemindeki her bir boru parçasındaki özel direnç basınç düşümü, boru parçasındaki sürtünme basınç düşümünün %60'ı kadar olduğu göz önüne alınarak tablodaki boş yerlerin doldurulması.



Sistemdeki kritik devre; yatay doğrultuda kazandan en uzak ve en alçak düzeydeki radyatöre ait devre olup, bu tanıma uyan A radyatörüne ait devredir. Kritik devrede kullanılabilen etkin basınç; $(\Delta P_{et})_A = 107,9 \times 3 = 323,7 \text{ Pa}$ 'dır. Bu devre için denge denklemi;

$$(\Delta P_{et})_A = \sum_A RL + \sum_A Z = \sum_A RL + 0,60 \sum_A RL = 1,60 \sum_A RL = 323,7 \text{ Pa}$$

$$\Rightarrow \sum_A RL = 0,625 \times 323,7 = 202,3$$

$$\Rightarrow R_A = R_{krit} = 202,3 / \sum_A L = 202,3 / (L_1 + L_2 + L_3 + L_4)$$

$$\Rightarrow R_{krit} = 202,3 / 59 \Rightarrow R_{krit} = 3,43 \text{ Pa/m}$$

Kritik devrede (A radyatörüne ait devre) yer alan bütün boru parçalarında 3,43 Pa/m değerinde özgül basınç düşümü ortaya çıkar. Buna göre;

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 3,43 \text{ Pa/m}$$

sonucu elde edilir. Öte yandan her bir boru parçası için $Z_n = 0,60R_nL_n$ olduğu verildiğinden;

$$Z_1 = 0,60 \times 3,43 \times 12 = 24,7 \text{ Pa}; \quad Z_2 = 0,60 \times 3,43 \times 20 = 41,2 \text{ Pa}$$

$$Z_3 = 0,60 \times 3,43 \times 14 = 28,8 \text{ Pa}; \quad Z_4 = 0,60 \times 3,43 \times 13 = 26,8 \text{ Pa}$$

B ve C radyatörleri tarafında daha kritik durumda olan C radyatör devresi için etkin basınç;

$$(\Delta P_{et})_C = 107,9 \times 3 = 323,7 \text{ Pa}$$

Bu değer %62,5'i bu devredeki boru sürtünmeleri için olan basınç düşümünü karşılayacağından denge denklemi olarak;

$$0,625 \times (\Delta P_{et})_C = \sum_C RL + O.D.(\text{Ortak Devre})$$

yazılır. Burada ortak devre kritik devre ile ortak kullanılan boru parçalarını ifade etmekte olup, devre şemasından 1 ve 2 no'lu borular olduğu görülür. Denklemin açık şekli yazılarak;

$$0,625 \times (\Delta P_{et})_C = \sum_5^8 RL + R_{krit}(L_1 + L_4)$$

$$0,625 \times (\Delta P_{et})_C = R_{5 \div 8}(L_5 + L_6 + L_7 + L_8) + R_{krit}(L_1 + L_4)$$

$$\Rightarrow R_{5 \div 8} = \frac{0,625 \times (\Delta P_{et})_C - R_{krit}(L_1 + L_4)}{L_5 + L_6 + L_7 + L_8}$$

$$\Rightarrow R_{5 \div 8} = \frac{0,625 \times 323,7 - 3,43 \times (12 + 13)}{5 + 5 + 5 + 4}$$

$$\Rightarrow R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = 6,13 \text{ Pa/m}$$

sonucu elde edilir. Bu boru devresinde yer alan özel dirençler için Z değerleri ise;

$$Z_5 = 0,60 \times 6,13 \times 5 = 18,4 \text{ Pa}; \quad Z_6 = 0,60 \times 6,13 \times 5 = 18,4 \text{ Pa}$$

$$Z_7 = 0,60 \times 6,13 \times 5 = 18,4 \text{ Pa}; \quad Z_8 = 0,60 \times 6,13 \times 4 = 14,7 \text{ Pa}$$

olarak elde edilir. B devresi için kullanılabilir etkin basınç ise;

$$(\Delta P_{et})_B = 107,9 \times 7 = 755,3 \text{ Pa}$$

olarak hesaplanır. Diğer devrelere benzer şekilde bu değerin %62,5'i bu devredeki boru sürtünmeleri için olan basınç düşümünü karşılayacağından;

$$0,625 \times (\Delta P_{et})_B = \sum_B RL + O.D.$$

$$0,625 \times (\Delta P_{et})_B = \sum_9^{10} RL + R_{krit}(L_1 + L_4) + R_{5+8}(L_5 + L_8)$$

$$\Rightarrow R_{9+10} = \frac{0,625 \times (\Delta P_{et})_B - R_{krit}(L_1 + L_4) - R_{5+8}(L_5 + L_8)}{L_9 + L_{10}}$$

$$\Rightarrow R_{9+10} = \frac{0,625 \times 755,3 - 3,43 \times (12 + 13) - 6,13 \times (5 + 4)}{1 + 1}$$

$$\Rightarrow R_9 = R_{10} = 165,57 \text{ Pa/m}$$

Bu devredeki 9 ve 10 no'lu borular için özel direnç basınç düşümleri ise;

$$Z_9 = 0,60 \times 165,57 \times 1 = 99,3 \text{ Pa}; \quad Z_{10} = 0,60 \times 165,57 \times 1 = 99,3 \text{ Pa}$$

olarak hesaplanır.

Örnek 6.3

Örnek 6.2'de verilen doğal dolaşimli ısıtma sisteminin her bir boru parçasına ait özel direnç katsayısı değerleri aşağıdaki tabloda verilmektedir. Radyatörlerin ısı yükleri; $Q_A=4650 \text{ W}$, $Q_B=4070 \text{ W}$, $Q_C=5234 \text{ W}$ olarak verildiğine göre, boru çapı hesaplama çizelgesinin doldurulması suretiyle sistemdeki boru çaplarının belirlenmesi.

Boru No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ξ	3,5	6,5	7,5	4,0	6,0	6,5	6,5	3,5	4,0	3,5

Not: Boru parçalarındaki basınç düşümünün %67'sinin boru sürtünmeleri, %33'ünün de özel dirençler nedeniyle ortaya çıktığı göz önüne alınacaktır.

Kritik devre (A devresi):

$$(\Delta P_{et})_{krit} = 107,9 \times 3 = 323,7 \text{ Pa}$$

$$\Rightarrow \sum_A RL = 0,67 \times (\Delta P_{et})_{krit} = 0,67 \times 323,7 = 216,9$$

$$\Rightarrow R_{krit} = 216,9 / \sum_A L = 216,9 / (L_1 + L_2 + L_3 + L_4)$$

$$\Rightarrow R_{krit} = 216,9 / 59 \quad \Rightarrow R_{krit} = 3,68 \text{ Pa/m}$$

C devresi:

$$(\Delta P_{et})_C = 107,9 \times 3 = 323,7 \text{ Pa}$$

$$\sum_C RL = \sum_5^8 RL = 0,67 \times (\Delta P_{et})_C - \text{O.D.} = 0,67 \times (\Delta P_{et})_C - R_{krit} \times (L_1 + L_4)$$

$$\Rightarrow R_{5\div 8} = \frac{0,67 \times (\Delta P_{et})_C - R_{krit} (L_1 + L_4)}{L_5 + L_6 + L_7 + L_8}$$

$$\Rightarrow R_{5\div 8} = \frac{0,67 \times 323,7 - 3,68 \times (12 + 13)}{5 + 5 + 5 + 4}$$

$$\Rightarrow R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = 6,57 \text{ Pa/m}$$

B devresi:

$$(\Delta P_{et})_B = 107,9 \times 7 = 755,3 \text{ Pa}$$

$$\begin{aligned} \sum_B RL &= \sum_9^{10} RL = 0,67 \times (\Delta P_{et})_B - \text{O.D.} \\ &= 0,67 \times (\Delta P_{et})_B - R_{krit} (L_1 + L_4) - R_{5\div 8} (L_5 + L_8) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow R_{9\div 10} = \frac{0,67 \times (\Delta P_{et})_B - R_{krit} (L_1 + L_4) - R_{5\div 8} (L_5 + L_8)}{L_9 + L_{10}}$$

$$\Rightarrow R_{9\div 10} = \frac{0,67 \times 755,3 - 3,68 \times (12 + 13) - 6,57 \times (5 + 4)}{1 + 1}$$

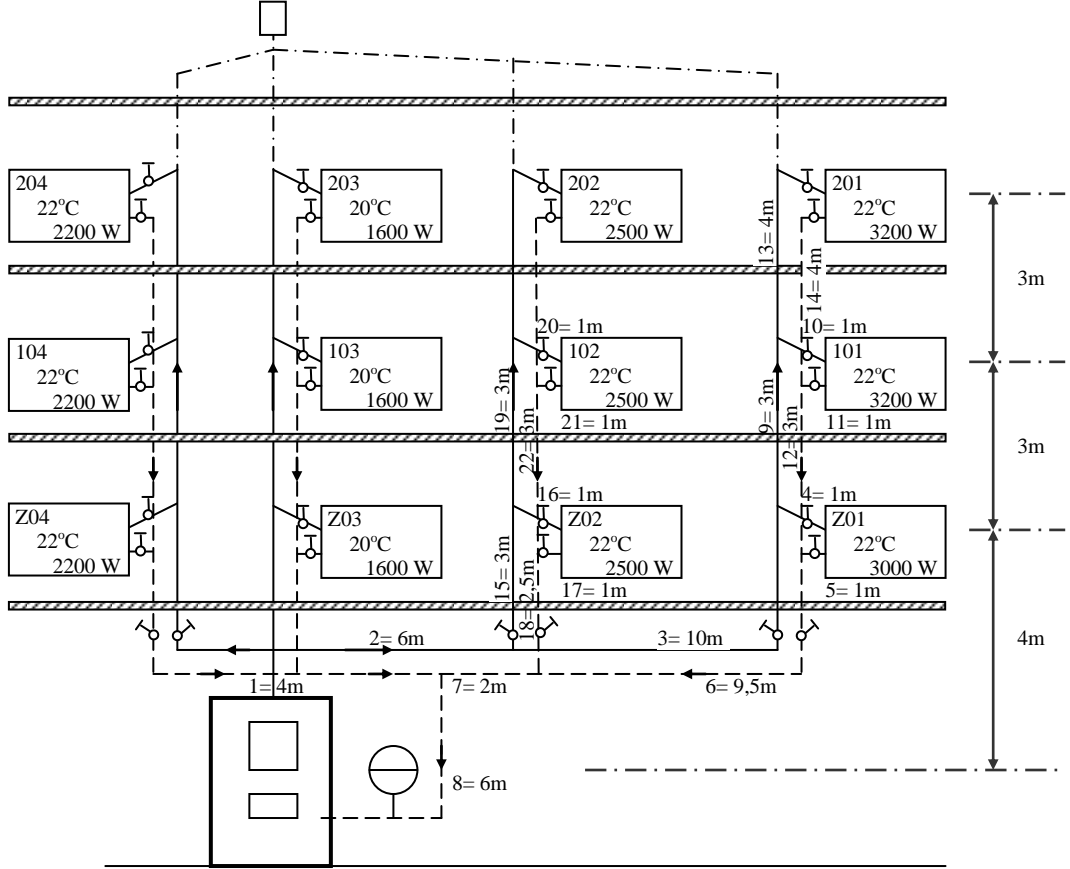
$$\Rightarrow R_9 = R_{10} = 177,46 \text{ Pa/m}$$

olarak hesaplanan değerler ile boru çapı hesaplama çizelgesinin doldurulmasına geçilir.

KTÜ-Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı			BORU ÇAPI HESAPLAMA ÇİZELGESİ													Sayfa	1
			Tesisin Adı:..... Örnek 6.3													Kat	-
																Tarih	10.11.2003
a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	b	q	r	s
Parçalar	Isı Miktarı	Sıcaklık farkı 10°C olduğuna göre miktarı	Boru parçası uzunluğu	İlk Seçilen Çapa Göre						Değiştirilmiş Boru Çapına Göre						Fark	
				d	V	R	LR	Σξ	Z	d	V	R	LR	Σξ	Z	LR	Z
No.	W	W	m		m/s	Pa/m	Pa		Pa		m/s	Pa/m	Pa		Pa	Pa	Pa
Kritik devre ; $R_{krit}=3,68 Pa/m$; $\Delta P_{et}=323,7 Pa$																	
1-4	13954		25	50	0,08	1,961	49	7,5	23,6	40	0,14	7,355	183,9	7,5	71,6	134,9	48
2-3	4650		34	11/4"	0,06	1,667	56,7	14	24,5	1"	0,1	6,865	233,4	14	68,6	176,7	44,1
115,7 + 48,2 = 163,9 < 323,7 Pa (Uygun)																	
C devresi; $R_C=6,57 Pa/m$; $\Delta P_{et}=323,7 Pa$																	
1-4'te kullanılan : 49 23,6																	
5-8	9304		9	11/4"	0,12	5,884	53	9,5	67,2								
6-7	5234		10	11/4"	0,07	2,158	21,6	13	31,4								
123,6 + 122,2 = 245,8 < 323,7 Pa (Uygun)																	
B devresi; $R_B=177,46 Pa/m$; $\Delta P_{et}=755,3 Pa$																	
1-4'te kullanılan : 49 23,6																	
5-8'de kullanılan : 53 67,2																	
9-10	4070		2	1/2"	0,26	73,55	147,1	7,5	247,7								
249,1 + 338,5 = 587,6 < 755,3 Pa (Uygun)																	

Örnek 6.4

Kolon şeması şekilde görülen 90°/70° C'lık alttan dağıtımli-alttan toplamalı doğal dolaşimli ısıtma sisteminde Z01 (kritik devre), 101, 201, Z02 ve 102 nolu radyatörlere ait devreler için boru çapı hesaplama çizelgesinin doldurularak boru çaplarının belirlenmesi.



Kritik Devre (Z01):

$$\sum_{Z01} (RL)_{\text{krit}} = 0,67 \times (\Delta P_{\text{et}})_{Z01} = 0,67 \times 107,9 \times 4 = 0,67 \times 431,6$$

$$\Rightarrow R_{\text{krit}} = \frac{0,67 \times 431,6}{\sum_{\text{krit}} L} = \frac{289,17}{L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_8} = \frac{289,17}{4 + 6 + 10 + 1 + 1 + 9,5 + 2 + 6}$$

$$\Rightarrow R_{\text{krit}} = \frac{289,17}{39,5}$$

$$\Rightarrow R_{\text{krit}} = 7,32 \text{ Pa/m}$$

101 Devresi:

$$\sum_{101} (RL) = 0,67 \times (\Delta P_{\text{et}})_{101} - \text{O.D.} = 0,67 \times 107,9 \times 7 - \text{O.D.}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow R_{101}(L_9 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) &= 0,67 \times 755,3 - R_{\text{krit}}(L_1 + L_2 + L_3 + L_6 + L_7 + L_8) \\ \Rightarrow R_{101} &= \frac{506,1 - 7,32(4 + 6 + 10 + 9,5 + 2 + 6)}{(3 + 1 + 1 + 3)} \\ \Rightarrow R_{101} &= 28,95 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

201 Devresi:






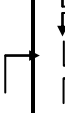

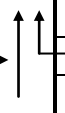
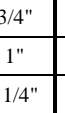
$$\begin{aligned} \sum_{201}(\text{RL}) &= 0,67 \times (\Delta P_{\text{et}})_{201} - \text{O.D.} = 0,67 \times 107,9 \times 10 - \text{O.D.} \\ \Rightarrow R_{201}(L_{13} + L_{14}) &= 0,67 \times 1079 - R_{\text{krit}}(L_1 + L_2 + L_3 + L_6 + L_7 + L_8) - R_{101}(L_9 + L_{12}) \\ \Rightarrow R_{201} &= \frac{722,93 - 7,32(37,5) - 28,95(6)}{4 + 4} \\ \Rightarrow R_{201} &= 34,34 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

Z02 Devresi:

$$\begin{aligned} \sum_{Z02}(\text{RL}) &= 0,67 \times (\Delta P_{\text{et}})_{Z02} - \text{O.D.} = 0,67 \times 107,9 \times 4 - \text{O.D.} \\ \Rightarrow R_{Z02}(L_{15} + L_{16} + L_{17} + L_{18}) &= 0,67 \times 431,6 - R_{\text{krit}}(L_1 + L_2 + L_7 + L_8) \\ \Rightarrow R_{Z02} &= \frac{289,17 - 7,32(4 + 6 + 2 + 6)}{3 + 1 + 1 + 2,5} \\ \Rightarrow R_{Z02} &= 21 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

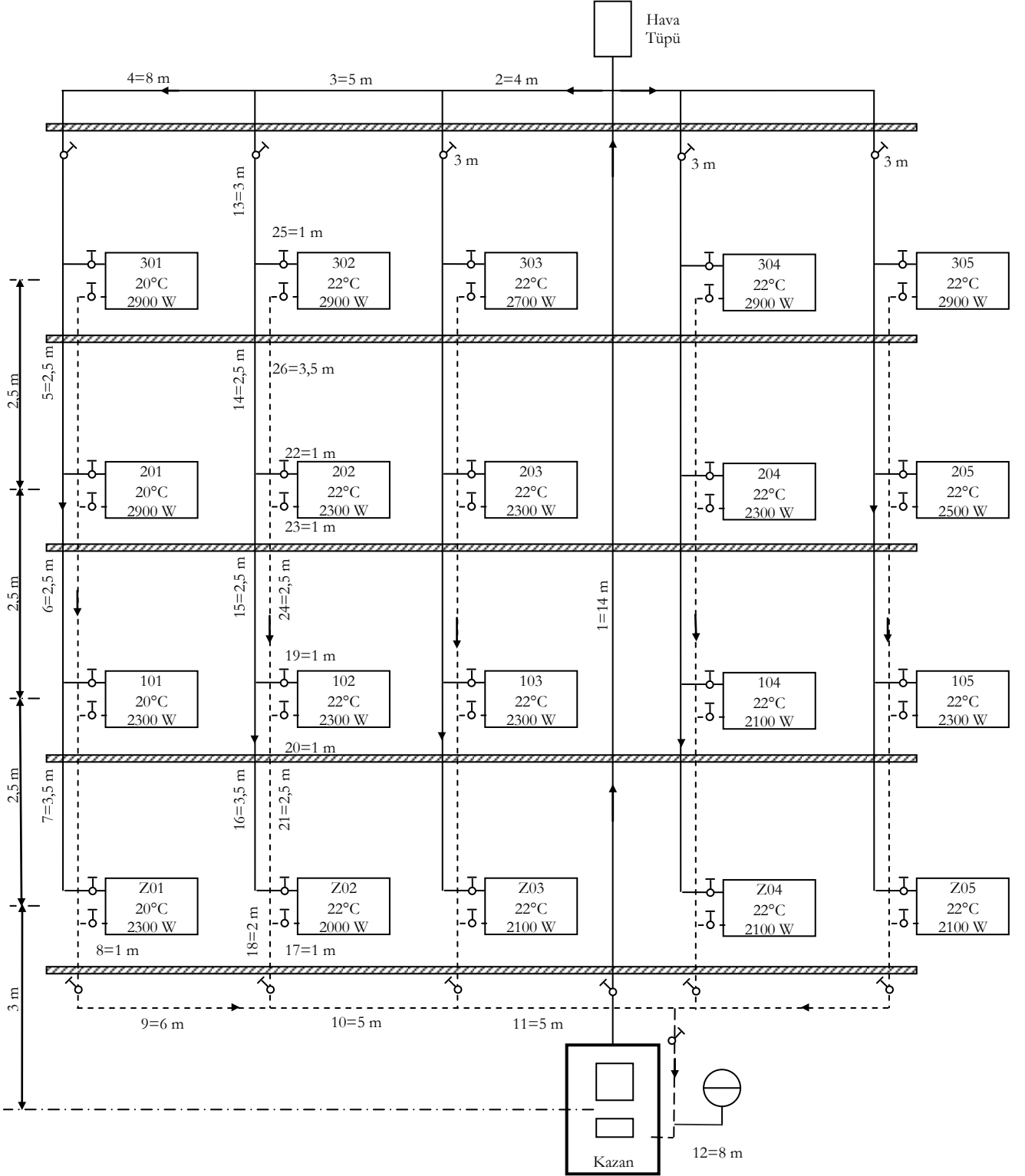
102 Devresi:

$$\begin{aligned} \sum_{102}(\text{RL}) &= 0,67 \times (\Delta P_{\text{et}})_{102} - \text{O.D.} = 0,67 \times 107,9 \times 7 - \text{O.D.} \\ R_{102}(L_{19} + L_{20} + L_{21} + L_{22}) &= 0,67 \times 755,3 - R_{\text{krit}}(L_1 + L_2 + L_7 + L_8) - R_{Z02}(L_{15} + L_{18}) \\ \Rightarrow R_{102} &= \frac{506,05 - 7,32 \times (4 + 6 + 2 + 6) - 21 \times (3 + 2,5)}{3 + 1 + 1 + 3} \\ \Rightarrow R_{102} &= 32,35 \text{ Pa/m} \end{aligned}$$

KTÜ-Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı		DİRENÇ KATSAYISI (ξ) DEĞERLERİ HESABI															Sayfa	1			
		Tesisin Adı:..... <i>Örnek 6.4</i>															Kat	-			
																	Tarih	13.11.2003			
Parça No	Boru Çapı	Kazan veya Radyatör	Kollektör Giriş ve Çıkışı	Pantolon Parçası	S Parçası	Çift Dirsek (Geniş)	Çift Dirsek (Dar)	T - Birleşme (Kol)	T - Ayrılma (Kol)	T- Karşıt Akım	T - Ayrılma (Giden hat)	T-Birleşme (Gelen hat)	Boru Çapları	Deve Boynu 90°	Dirsek	Şiber Vana	Kolon Vanası (Düz)	Kolon Vanası (Eğik)	Radyatör Vanası (Düz)	Radyatör Vanası (Köşe)	Toplam
																					
		3,0	0,5	1,5	0,5	0,1	2,0	1,0	1,5	3,0	0,5	1,0									
Kritik devre (Z01)																					
1	50	3,0																			3,0
2	50									3,0											3,0
3	1 1/4"														1,1			2,5			4,1
4	1"	3,0							1,5						1,3					2,0	7,8
5	1"							1,0							1,3					2,0	4,3
6	1 1/4"											1,0			1,1			2,5			4,6
7	50									3,0											3,0
8	50														0,8						0,8
101 devresi																					
9	1"										0,5										0,5
10	3/4"	3,0							1,5						1,7					3,0	9,2
11	3/4"							1,0							1,7					3,0	5,7
12	1"											1,0									1,0
201 devresi																					
13	3/4"	3,0													3,4					3,0	9,4
14	3/4"											1,0			3,4					3,0	7,4
Z02 devresi																					
15	1"								1,5									3,0			4,5
16	3/4"	3,0							1,5						1,7					3,0	9,2
17	3/4"							1,0							1,7					3,0	5,7
18	1"							1,0										3,0			4,0
102 devresi																					
19	3/4"										0,5										0,5
20	1/2"	3,0							1,5						2,0					5,0	11,5
21	1/2"							1,0							2,0					5,0	8,0
22	3/4"											1,0									1,0

Örnek 6.5

Kolon şeması şekilde görülen $90^{\circ}/70^{\circ}$ C'lik üstten dağıtmalı-alttan toplamalı doğal dolaşimli ısıtma sisteminde 302 nolu radyatöre ait devredeki boru parçaları için boru çapı hesaplama çizelgesinin doldurulması için boru çaplarının belirlenmesi.



Kritik Devre (Z01):

$$\sum_{\text{krit}} (\text{RL}) = 0,67 \times (\Delta P_{\text{et}})_{\text{Z01}} = 0,67 \times 107,9 \times 3 = 0,67 \times 323,7$$

$$R_{\text{krit}} = \frac{0,67 \times 323,7}{\sum_1^{12} L} = \frac{216,9}{L_1 + L_2 + \dots + L_{12}} = \frac{216,9}{14 + 4 + 5 + 8 + 2,5 + 2,5 + 3,5 + 1 + 6 + 5 + 5 + 8}$$
$$\Rightarrow R_{\text{krit}} = \frac{216,9}{64,5}$$

$$\Rightarrow R_{\text{krit}} = 3,36 \text{ Pa/m}$$

Z02 Devresi:

$$\sum_{\text{Z02}} (\text{RL}) = 0,67 \times (\Delta P_{\text{et}})_{\text{Z02}} - \text{O.D} = 0,67 \times 107,9 \times 3 - R_{\text{krit}} (L_1 + L_2 + L_3 + L_{10} + L_{11} + L_{12})$$

$$\Rightarrow R_{\text{Z02}} = \frac{0,67 \times 323,7 - R_{\text{krit}} (L_1 + L_2 + L_3 + L_{10} + L_{11} + L_{12})}{(L_{13} + L_{14} + L_{15} + L_{16} + L_{17} + L_{18})}$$

$$\Rightarrow R_{\text{Z02}} = \frac{216,9 - 3,36 \times (14 + 4 + 5 + 5 + 5 + 8)}{(3 + 2,5 + 2,5 + 3,5 + 1 + 2)} = \frac{79,14}{14,5}$$

$$\Rightarrow R_{101} = 5,46 \text{ Pa/m}$$

102 Devresi:

$$\sum_{102} (\text{RL}) = 0,67 \times (\Delta P_{\text{et}})_{102} - \text{O.D} = 0,67 \times 107,9 \times 5,5 - R_{\text{krit}} (L_1 + L_2 + L_3 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) - R_{\text{Z02}} (L_{13} + L_{14} + L_{15} + L_{18})$$

$$R_{102} = \frac{0,67 \times 593,5 - R_{\text{krit}} (L_1 + L_2 + L_3 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) - R_{\text{Z02}} (L_{13} + L_{14} + L_{15} + L_{18})}{(L_{19} + L_{20} + L_{21})}$$

$$\Rightarrow R_{102} = \frac{397,6 - 3,36 \times (14 + 4 + 5 + 5 + 5 + 8) - 5,46 \times (3 + 2,5 + 2,5 + 2)}{1 + 1 + 2,5} = \frac{205,2}{4,5}$$

$$\Rightarrow R_{102} = 45,6 \text{ Pa/m}$$

202 Devresi:

$$\sum_{202}(\text{RL}) = 0,67 \times (\Delta P_{\text{et}})_{202} - \text{O.D} = 0,67 \times 107,9 \times 8 - R_{\text{krit}}(L_1 + L_2 + L_3 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) \\ - R_{202}(L_{13} + L_{14} + L_{18}) - R_{102}L_{21}$$

$$R_{202} = \frac{0,67 \times 863,2 - R_{\text{krit}}(L_1 + L_2 + L_3 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) - R_{202}(L_{13} + L_{14} + L_{18}) - R_{102}L_{21}}{(L_{22} + L_{23} + L_{24})}$$

$$\Rightarrow R_{202} = \frac{578,3 - 3,36 \times (41) - 5,46 \times (3 + 2,5 + 2) - 45,6 \times 2,5}{1 + 1 + 2,5} = \frac{285,6}{4,5}$$

$$\Rightarrow R_{202} = 63,5 \text{ Pa/m}$$

302 Devresi:

$$\sum_{302}(\text{RL}) = 0,67 \times (\Delta P_{\text{et}})_{302} - \text{O.D} = 0,67 \times 107,9 \times 10,5 - R_{\text{krit}}(L_1 + L_2 + L_3 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) \\ - R_{202}(L_{13} + L_{18}) - R_{102}L_{21} - R_{202}L_{24}$$

$$R_{302} = \frac{0,67 \times 1133 - R_{\text{krit}}(L_1 + L_2 + L_3 + L_{10} + L_{11} + L_{12}) - R_{202}(L_{13} + L_{18}) - R_{102}L_{21} - R_{202}L_{24}}{(L_{25} + L_{26})}$$

$$\Rightarrow R_{302} = \frac{759,11 - 3,36 \times (41) - 5,46 \times (5) - 45,6 \times 2,5 - 63,5 \times 2,5}{1 + 3,5} = \frac{321,3}{4,5}$$

$$\Rightarrow R_{302} = 71,4 \text{ Pa/m}$$

KTÜ-Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı			BORU ÇAPI HESAPLAMA ÇİZELGESİ													Sayfa	1
			Tesisin Adı:..... Örnek 6.5													Kat	-
																Tarih	16.11.2003
a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	b	q	r	s
Parçalar	Isı Miktarı	Sıcaklık farkı 10°C olduğuna göre miktarı	Boru parçası uzunluğu	İlk Seçilen Çapa Göre						Değiştirilmiş Boru Çapına Göre						Fark	
				d	V	R	LR	Σξ	Z	d	V	R	LR	Σξ	Z	LR	Z
No.	W	W	m		m/s	Pa/m	Pa		Pa		m/s	Pa/m	Pa		Pa	Pa	Pa
Kritik devre ; $R_{krit}=3,36 Pa/m$; $\Delta P_{et}=323,7 Pa$																	
1-12	48500		22	80	0,11	1,96	43,1	8,8	53,0								
2-11	29300		9	60	0,12	2,75	24,8	6,0	42,2								
3-10	19900		10	57	0,1	2,35	23,5	1,5	7,4								
4-9	10400		14	11/2 »	0,1	3,53	49,4	8,1	39,2								
5	7500		2,5	11/2 »	0,07	1,96	4,9	0,5	1,5								
6	4600		2,5	11/4 »	0,06	1,67	4,2	0,5	1,0								
7-8	2300		4,5	1 »	0,05	1,86	8,37	12,4	14,7								
										158,3 + 159 = 317,3 Pa < 323,7 Pa (Uygun)							
Z02 devresi ; $R_{Z02}=5,46 Pa/m$; $\Delta P_{et}=323,7 Pa$																	
1-12'de kullanılan : 43,1 53,0																	
2-11'de kullanılan : 24,8 42,2																	
3-10'da kullanılan : 23,5 7,4																	
13-18	9500		5	11/4"	0,12	5,88	29,4	7,5	52,5	11/2 "	0,09	2,94	14,7	7,5	29,5	-14,7	-23,0
14	6600		2,5	11/4"	0,08	3,24	8,1	0,5	1,5								
15	4300		2,5	1 "	0,1	5,88	14,7	0,5	2,5								
16-17	2000		4,5	3/4"	0,08	4,9	22,4	15,6	50	1 "	0,045	1,47	6,6	15,6	15,7	-15,5	-34,3
										165,7 + 209,1 = 374,8 Pa > 323,7 Pa (Uygun değil)							
										- 87,5							
										287,3 Pa < 323,7 Pa (Uygun)							
102 devresi ; $R_{102}=45,6 Pa/m$; $\Delta P_{et}=593,5 Pa$																	
1-12'de kullanılan : 43,1 53,0																	
2-11'de kullanılan : 24,8 42,2																	
3-10'da kullanılan : 23,5 7,4																	
13-18'de kullanılan : 14,7 29,5																	
14'te kullanılan : 8,1 1,5																	
15'te kullanılan : 14,7 2,5																	
19-20	2300		2	1/2"	0,15	27,5	55	19,5	212,4	3/4»	0,08	5,88	11,8	19,5	61,3	-43,2	-151,1
21	7500		2,5	3/4"	0,26	49	122,5	1	33,3								
										306,4 + 381,8 = 688,2 Pa > 593,5 Pa (Uygun değil)							
										- 194,3							
										493,9 Pa < 593,5 Pa (Uygun)							

KTÜ-Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı			BORU ÇAPI HESAPLAMA ÇİZELGESİ													Sayfa	2
			Tesisin Adı:..... <i>Örnek 6.5</i>													Kat	-
																Tarih	16.11.2003
a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	b	q	r	s
Parçalar	Isı Miktarı	Sıcaklık farkı 10°C olduğuna göre miktarı	Boru parçası uzunluğu	İlk Seçilen Çapa Göre						Değiştirilmiş Boru Çapına Göre						Fark	
				d	V	R	LR	Σξ	Z	d	V	R	LR	Σξ	Z	LR	Z
No.	W	W	m		m/s	Pa/m	Pa		Pa		m/s	Pa/m	Pa		Pa	Pa	Pa
202 devresi ; R₂₀₂=63,5 Pa/m ; ΔP_{et}=863,2 Pa																	
1-12'de kullanılan : 43,1 53,0																	
2-11'de kullanılan : 24,8 42,2																	
3-10'da kullanılan : 23,5 7,4																	
13-18'de kullanılan : 14,7 29,5																	
14'te kullanılan : 8,1 1,5																	
21'de kullanılan : 122,5 33,3																	
22-23	2300		2	1/2»	0,15	25,5	50,1	19,5	213,3								
24	5200		2,5	3/4»	0,18	25,5	63,8	1	15,7								
350,6 + 395,9 =746,5 Pa < 863,2 Pa (Uygun)																	
302 devresi ; R₃₀₂=71,4 Pa/m ; ΔP_{et}=1133 Pa																	
1-12'de kullanılan : 43,1 53,0																	
2-11'de kullanılan : 24,8 42,2																	
3-10'da kullanılan : 23,5 7,4																	
13-18'de kullanılan : 14,7 29,5																	
24'te kullanılan : 63,8 15,7																	
21'de kullanılan : 122,5 33,3																	
25-26	2900		4,5	1/2»	0,19	39,2	176,4	21,5	377,6								
468,8 + 558,7 =1027,5Pa < 1133 Pa (Uygun)																	

KTÜ-Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı		DİRENÇ KATSAYISI (ξ) DEĞERLERİ HESABI														Sayfa	1				
		Tesisin Adı:.....Örnek 6.5.....														Kat	-				
																Tarih	16.11.2003				
Parça No	Boru Çapı	Kazan veya Radyatör	Kollektör Giriş ve Çıkışı	Pantolon Parçası	S Parçası	Çift Dirsek (Geniş)	Çift Dirsek (Dar)	T - Birleşme (Kol)	T - Ayrılma (Kol)	T - Karşıt Akım	T - Ayrılma (Giden hat)	T - Birleşme (Gelen hat)	Boru Çapları	Deve Boynu 90°	Dirsek	Şiber Vana	Kolon Vanası (Düz)	Kolon Vanası (Eğik)	Radyatör Vanası (Düz)	Radyatör Vanası (Köşe)	Toplam
													1/2"								
		3,0	0,5	1,5	0,5	0,1	2,0	1,0	1,5	3,0	0,5	1,0	1/2"	1,5	2,0	1,1	17,0	3,0	8,5	5,0	
													3/4"	1,1	1,7	0,6	13,0	3,0	6,0	3,0	
													1"	0,9	1,3	0,5	12,0	3,0	6,0	2,0	
													1 1/4"	0,5	1,1	0,4	10,0	2,5	5,0	2,0	
													1 1/2"	0,4	1,0	0,3	8,0	2,5	--	--	
													≥2"	0,5	0,8	0,3	7,0	2,5	--	--	
Kritik devre																					
1	80	3,0																		2,5	5,5
2	60									3,0											3,0
3	57										0,5										0,5
4	50										0,5			0,8				2,5			3,8
5	1/2"										0,5										0,5
6	1/4"										0,5										0,5
7	1"	3,0									0,5				2,6					2,0	8,1
8	1"							1,0							1,3					2,0	4,3
9	50											1,0			0,8			2,5			4,3
10	57											1,0									1,0
11	60									3,0											3,0
12	80														0,8			2,5			3,3
Z02 devresi																					
13	1/4"								1,5									2,5			4,0
14	1/4"									0,5											0,5
15	1"									0,5											0,5
16	3/4"	3,0								0,5					3,4					3,0	9,9
17	3/4"							1,0							1,7					3,0	5,7
18	1/4"							1,0										2,5			3,5
102 devresi																					
19	1/2"	3,0							1,5						2,0					5,0	11,5
20	1/2"							1,0							2,0					5,0	8,0
21	3/4"											1,0									1,0
202 devresi																					
22	1/2"	3,0							1,5						2,0					5,0	11,5
23	1/2"							1,0							2,0					5,0	8,0
24	3/4"											1,0									1,0
302 devresi																					
25	1/2"	3,0							1,5						2,0					5,0	11,5
26	1/2"											1,0			4,0					5,0	10,0

6.2.2 Pompalı Merkezi Isıtma Sistemlerinde Boru Çapı Hesabı

Pompalı ısıtma sistemlerinde, doğal dolaşımli sistemlerden farklı olarak; ısıtıcı akışkanın sistemdeki dolaşımını bir dolaşım pompası ile sağlanır. Böylece sistemin daha kısa sürede ısıtma yapması sağlanır ve basınç düşümünün daha etkili bir şekilde karşılanması nedeniyle daha küçük çaplı borulardan oluşan bir sistem elde edilir. Pompalı sistemlerde pompa seçimi ve boru çapı hesabı birbiri ile ilişkili konular olup, birlikte ele alınırlar. Sistemde kullanılacak olan dolaşım pompası, sistemde dolaşacak olan su debisini dolaştırabilecek kadar basıncı sisteme sağlamalıdır. Pompalı sistemlerde boru çapı hesabında iki temel yöntemden bir tanesi uygulanır [3]:

1. Sistemde boru çapları belirlenerek (boru parçalarında hız seçimi yapılarak), elde edilen toplam basınç düşümü değerine göre pompa seçimi yapılır.
2. Sistemdeki toplam basınç düşümü belirlenerek (boru parçalarında özgül basınç düşümü seçimi yapılarak) seçilen pompanın sağlayacağı basınca uygun boru çapları hesaplanır.

Her iki yöntem ile elde edilecek sonuç birbirine benzer olup, parametre seçiminde dikkatli olmak koşulu ile aynı özellikte sistem tasarımı yapılmış olur. Bu ders notu kapsamında daha az deneyim isteyen ve uygulanması göreceli olarak daha kolay olan ikinci yöntem kullanılacaktır.

Pompalı sistemler için boru çapı hesabında da öncelikle sistemde yer alan ve suyun dolaşımının en zor olduğu kritik durumdaki devre belirlenmelidir. Pompalı sistemlerde ısıtıcı akışkanın yoğunluk farkı nedeniyle ortaya çıkan etkin basınç göz önüne alınmadığından, kritik devre; yatay ve düşey yönde kazandan en uzakta bulunan radyatöre ait devredir.

Pompalı sistemin kritik devresinde ortaya çıkan toplam basınç düşümü ;

$$\Delta P_{\text{krit}} = \sum_{\text{krit}} (RL) + \sum_{\text{krit}} Z \quad (6.8)$$

değerinde olacaktır. Pompalı sistemlerde toplam basıncın %50'sinin boru sürtünmelerinde kullanılacağı göz önüne alındığında, denge denklemi;

$$0,50\Delta P_{\text{krit}} = \sum_{\text{krit}} (RL) \quad (6.9)$$

şeklinde ifade edilir. Pompalı sistemdeki kritik devreyi oluşturan boru parçaları için Tablo 6.2'den uygun bir R değeri seçilir ve proje üzerinden kritik devre toplam uzunluğu belirlenerek;

$$\Delta P_{\text{krit}} = \sum_{\text{krit}} (RL) / 0,50 \quad (6.10)$$

olarak sistemin kritik devresinde ortaya çıkacak toplam basınç düşümü belirlenir.

Sistemde kullanılacak olan dolaşım pompasının seçiminde (6.10) bağıntısı ile belirlenen değer ve sistemde dolaşacak ısıtıcı akışkan debisi esas alınır. Dolaşım pompası basıncının

belirlenmesinde; eğer basınç düşümü hesaplarında kazan dairesi dirençleri (kazan, toplayıcı-dağıtıcı, pompa vb) göz önüne alınmışsa, kritik devre için hesaplanan ΔP_{krit} değeri %10 artırılarak pompa basıncı belirlenir. Diğer durumda (kazan dairesi kayıplarının göz önüne alınmadığı) ise ΔP_{krit} değeri 2950÷7850 Pa aralığında bir değer kadar artırılarak pompa basıncı belirlenir. Dolaşım pompasının debisinin belirlenmesi için, kazan bir açık sistem olarak göz önüne alındığında Termodinamiğin birinci yasası ifadesinden yararlanılarak;

$$\dot{V} = \frac{Q}{\rho_{ort} C_{ort} (T_{gidış} - T_{dönüş})} \quad (m^3/s) \quad (6.11)$$

ile sistemde dolaşan akışkan debisi belirlenir. İlgili üretici firma kataloglarından, hesaplanmış olan basınç ve debi değerlerinin, karakteristik eğrisi üzerinde kesiştiği bir pompa seçilir. Seçilen bu pompa basıncı esas alınarak sistemin kritik devresinde yeniden özgül basınç düşümü hesaplanarak *boru çapı hesaplama çizelgesinin* (Çizelge 6.1) doldurulmasına geçilir.

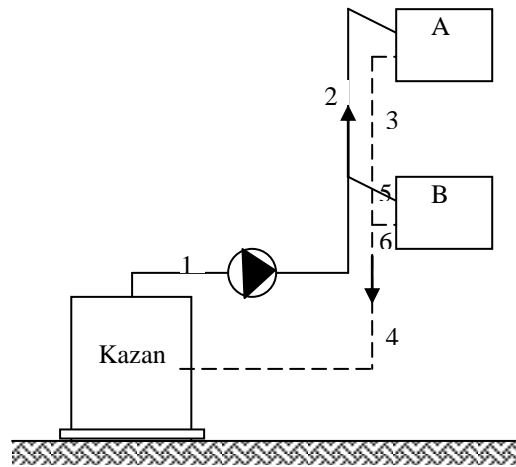
Çizelgenin doldurulması doğal dolaşimli sistemler için verilen şekilde yapılır. Ancak boru çapı okuma çizelgeleri olarak Ek 2 (10°C sıcaklık farkı için) veya Ek 4 (20°C sıcaklık farkı için) kullanılır. Kritik devredeki boru parçaları için belirlenen LR değerlerinin ve Z değerlerinin toplanması ile elde edilen kritik devre toplam basınç düşümü değeri ΔP , pompa basıncı ile karşılaştırılarak daha küçük olduğunun görülmesi durumunda çap hesabının uygun olduğuna karar verilir ve çizelgeye not edilir. Kritik devreden sonra diğer devrelerin çap hesabına geçilir. Bu işleme geçilmeden önce; çap hesabı yapılacak olan devre ile kritik devrenin ortak olmayan kısımlarında ortaya çıkan basınç düşümleri birbirine eşitlenerek, göz önüne alınan devre için özgül basınç düşümü değeri belirlenir. Bu değer kullanılarak o devre için çap hesaplama çizelgesinin doldurulmasına geçilir. Örneğin şekilde görülen basit bir pompalı sistemdeki B radyatörüne ait devre için R_B değeri;

$$\sum_5^6 (RL + Z) \leq \sum_2^3 (RL + Z) \quad (6.12)$$

eşitsizliğini sağlayacak şekilde

$$R_B = \frac{0,50 \sum_2^3 (RL + Z)}{\sum_5^6 L} \quad (6.13)$$

bağıntısı ile belirlenir ve bu değer ile B devresinde çap hesabına geçilir.

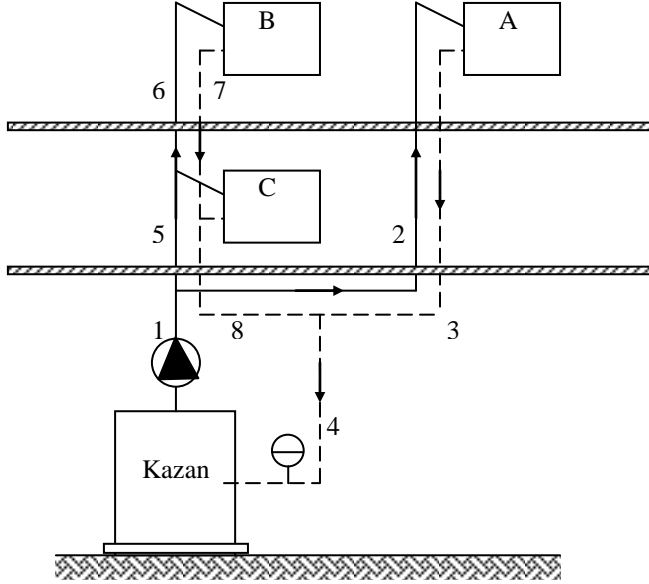


Şekil 6.4 Pompalı basit bir ısıtma sistemi

Örnek 6.6

Kolon şeması şekilde görülen alttan-dağıtmalı-alttan toplamalı basit bir pompalı ısıtma sisteminde tabloda verilen bilgiler ışığında;

- Pompa basıncının,
 - 6-7 no'lu borulardaki özel direnç değerlerinin hesaplanması
- (Not: 1-4 hattında kazan dairesi kayıplarının göz önüne alındığı varsayılacaktır)



Boru No	L (m)	R (Pa/m)	Z (Pa)
1-4	20	65	600
2-3	20	110	500
5-8	10	130	200
6-7	10	110	?

$$\begin{aligned}
 \text{a) } \Delta P_A &= \sum_1^4 (RL + Z) = 65 \times 20 + 600 + 110 \times 20 + 500 = 4600 \text{ Pa} \\
 \Rightarrow \Delta P_{\text{pompa}} &= \Delta P_A + (10/100)\Delta P_A = \sum_1^4 (RL + Z) + 0,1 \sum_1^4 (RL + Z) = 4600 + 0,1 \times 4600 \\
 \Rightarrow \Delta P_{\text{pompa}} &= 5060 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

- B ve C radyatörlerinin bulunduğu kolonda, kritik devre ile ortak kullanılmayan kısımda ortaya çıkan toplam basınç düşümünün, kritik devrenin 2 ve 3 no'lu boru parçalarında ortaya çıkan toplam basınç düşümünden daha az olması gerektiğinden;

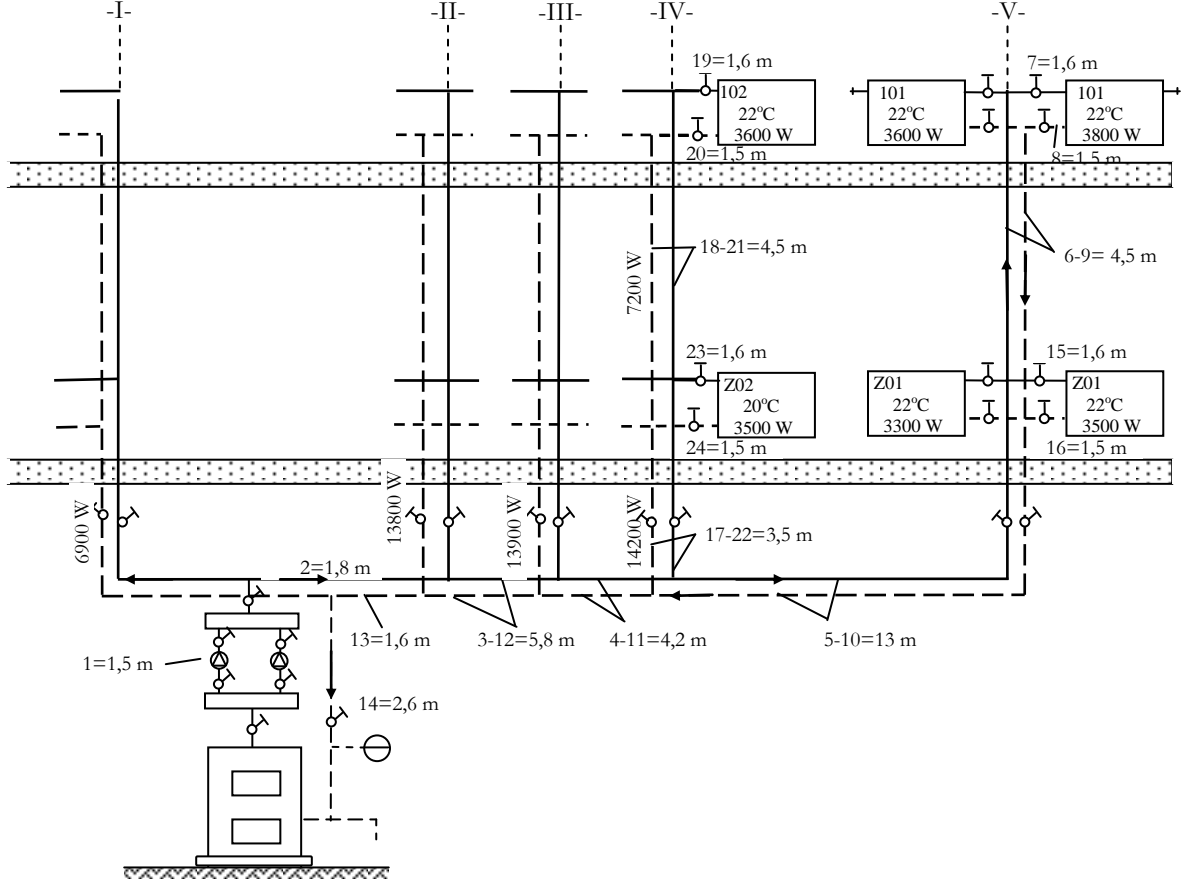
$$\sum_5^8 (RL + Z) \leq \sum_2^3 (RL + Z)$$

koşulu sağlanacak şekilde Z_{6-7} değeri hesaplanır. Buna göre;

$$\begin{aligned}
 (RL+Z)_{5-8} + (RL+Z)_{6-7} &\leq (RL+Z)_{2-3} \\
 \Rightarrow 130 \times 10 + 200 + 110 \times 10 + Z_{6-7} &= 110 \times 20 + 500 \\
 \Rightarrow Z_{6-7} &= 100 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Örnek 6.7

Kolon şeması şekilde görülen 90°/70° C'lik alttan dağıtmalı-alttan toplamalı pompalı ısıtma sisteminde; pompa basıncı ve debisi ile, 101 (kritik devre), Z01, 102 ve Z02 nolu radyatörlere ait devreler için boru çapı hesaplama çizelgesinin doldurulması için boru çaplarının belirlenmesi.



Pompa basıncı:

Kazan dairesindeki kayıplar göz önüne alındığından;

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 1,1 \Delta P_{\text{krit}} = 1,1 x \left[\sum_{\text{krit}} (RL) + \sum_{\text{krit}} Z \right]$$

bağıntısı kullanılmalıdır. Toplam basıncın %50'sinin boru sürtünmelerinde kullanılacağı varsayımı göz önüne alınarak;

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 1,1 x \left[\sum_{\text{krit}} (RL) / 0,50 \right] = 1,1 x \left[R_{\text{krit}} (L_1 + L_2 + L_{3-12} + \dots + L_7 + L_8 + \dots + L_{14}) / 0,50 \right]$$

R değeri için Tablo 6.2'den $R_{\text{krit}} = 100 \text{ Pa/m}$ değeri seçilir ve yerine yazılırsa;

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 1,1 \times [100 \times (1,5 + 1,8 + 5,8 + 4,2 + 13 + 4,5 + 1,6 + 1,5 + 1,6 + 2,6) / 0,50]$$

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 1,1 \times [100 \times (38,1) / 0,50]$$

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 8382 \text{ Pa}$$

Pompa debisi:

(6.11) bağıntısından pompa debisi için ($\rho_{80^\circ\text{C}} = 972 \text{ kg/m}^3$, $C_{80^\circ\text{C}} = 4,198 \text{ kJ/kgK}$)

$$\dot{V} = \frac{Q}{\rho_{\text{ort}} C_{\text{ort}} (T_{\text{gidiş}} - T_{\text{dönüş}})} = \frac{63000}{972 \times 4,198 \times (90 - 70)}$$

$$\Rightarrow \dot{V} = 0,772 \text{ m}^3 / \text{s}$$

değeri hesaplanır. Hesaplanan pompa basıncı ve debisine göre mevcut firma kataloglarından uygun bir pompa seçimi yapılır. Seçimi yapılan pompanın yeni basınç ve debi değerleri esas alınarak sistemde çap hesabına geçilir. Buradaki örnekte seçilen pompaya ait karakteristik eğri üzerinde (ΔP - \dot{V} eğrisi) $\dot{V} = 0,772 \text{ m}^3 / \text{s}$ değerine karşılık gelen $\Delta P_{\text{pompa}} = 8915 \text{ Pa}$ değeri okunur ve çap hesabında bu basınç esas alınır.

Kritik devre için R değeri hesabı:



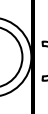

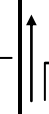
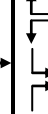


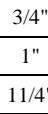
Sistemde yukarıda belirlenen değerlerde basınç sağlayan pompanın kullanılacağı göz önüne alınarak kritik devre için R değeri;

$$R_{\text{krit}} = \frac{0,50 \times \Delta P_{\text{pompa}}}{\sum_{\text{krit}} L} = \frac{0,50 \times 8915}{38,1}$$

$$\Rightarrow R_{\text{krit}} \cong 117 \text{ Pa/m}$$

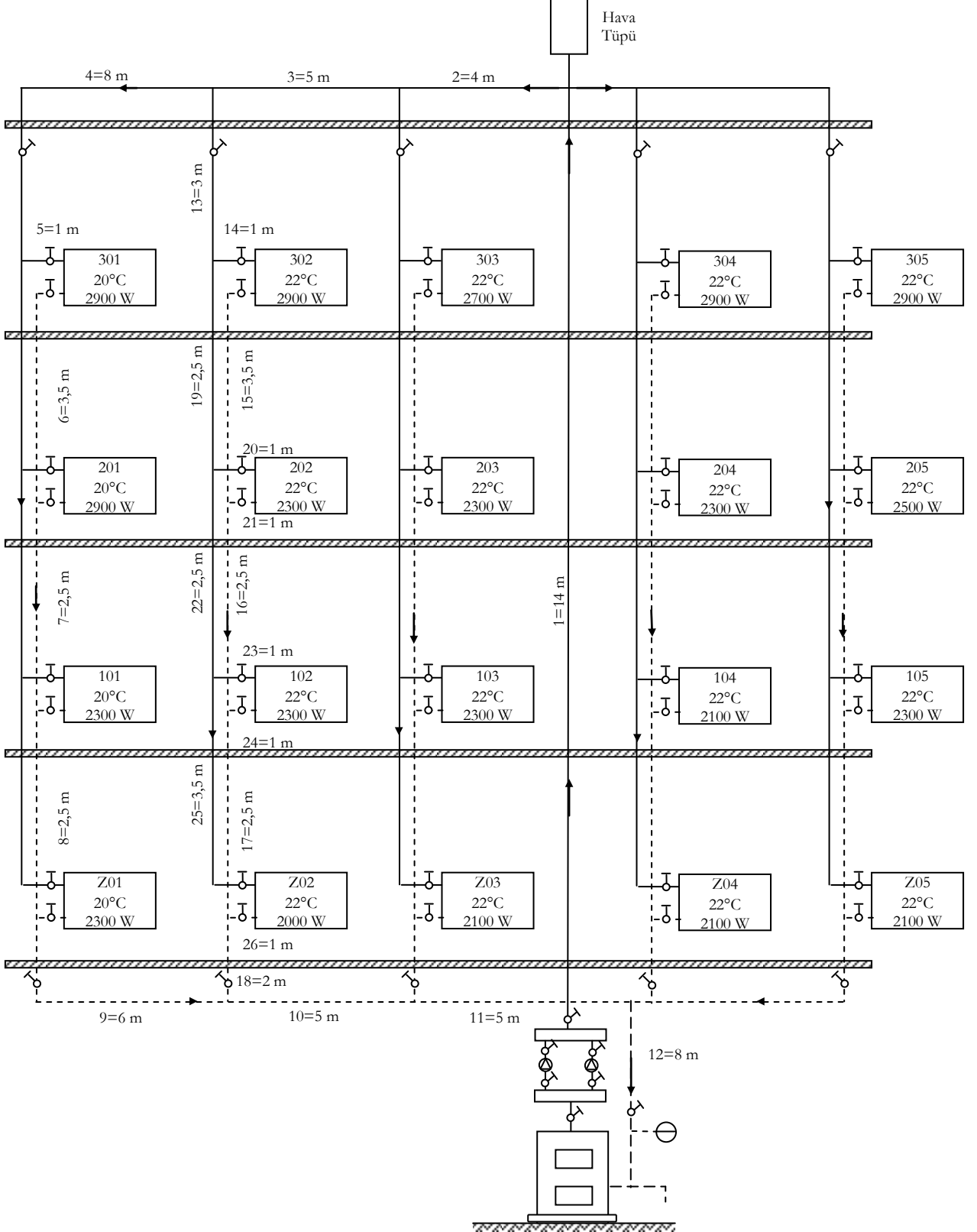
olarak belirlenir ve bu değer ile boru çapı hesaplama çizelgesinin doldurulmasına geçilir.

KTÜ-Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı			BORU ÇAPI HESAPLAMA ÇİZELGESİ											Sayfa	1		
			Tesisin Adı:..... <i>Örnek 6.7</i>											Kat	-		
														Tarih	22.11.2003		
a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	b	q	r	s
Parçalar	Isı Miktarı	Sıcaklık farkı 10°C olduğuna göre miktarı	Boru parçası uzunluğu	İlk Seçilen Çapa Göre						Değiştirilmiş Boru Çapına Göre						Fark	
				d	V	R	LR	Σξ	Z	d	V	R	LR	Σξ	Z	LR	Z
No.	W	W	m		m/s	Pa/m	Pa		Pa		m/s	Pa/m	Pa		Pa	Pa	Pa
Kritik devre ; $R_{krit}=117 Pa/m$; $\Delta P_{pompa}=8915 Pa$																	
1-14	63000		4,1	11/2"	0,6	98,1	402	18,5	3089								
2-13	56100		3,4	11/2"	0,55	78,5	267	6,0	873								
3-12	42300		5,8	11/4"	0,55	98,1	567	1,5	221								
4-11	28400		4,2	11/4"	0,36	44,1	185	1,5	95								
5-10	14200		13	1"	0,3	49,0	637	10,1	441								
6-9	7400		4,5	3/4"	0,26	49,0	221	1,5	50								
7-8	3800		3,1	1/2"	0,24	63,7	197	23,0	647								
										2476	+	5416	= 7892 Pa < 8915 Pa (Uygun)				
Z01 devresi																	
$\sum_{6}^{9} (RL + Z) = 221 + 50 + 197 + 647 = 1115 Pa$						$\geq \sum_{15}^{16} (RL + Z) \Rightarrow R_{Z01} = 0,50 \times 1115 / \sum_{15}^{16} L$											
$\Rightarrow R_{Z01} = 0,50 \times 1115 / (3,1) \Rightarrow R_{Z01} = 180 Pa/m$																	
15-16	3500		3,1	1/2"	0,22	53,9	167	19,5	458								
										167	+	458	= 625 Pa < 1115 Pa (Uygun)				
Z02 devresi																	
$\sum_{5}^{10} (RL + Z) = 637 + 441 + 221 + 50 + 197 + 647 = 2193 Pa$						$\geq \sum_{17}^{22} (RL + Z) \Rightarrow R_{Z02} = 0,50 \times 2193 / \sum_{17}^{22} L$											
$\Rightarrow R_{Z02} = 0,50 \times 2193 / (11,1) \Rightarrow R_{Z02} = 99 Pa/m$																	
17-22	14200		3,5	1"	0,3	49,0	172	8,5	375								
18-21	7400		4,5	3/4"	0,26	49,0	221	1,5	50								
19-20	3800		3,1	1/2"	0,24	58,8	182	23,0	647								
										575	+	1072	= 1647 Pa < 2193 Pa (Uygun)				
Z02 devresi																	
$\sum_{18}^{21} (RL + Z) = 221 + 50 + 182 + 647 = 1100 Pa$						$\geq \sum_{23}^{24} (RL + Z) \Rightarrow R_{Z02} = 0,50 \times 1100 / \sum_{15}^{16} L$											
$\Rightarrow R_{Z02} = 0,50 \times 1100 / (3,1) \Rightarrow R_{Z02} = 177 Pa/m$																	
23-24	3500		3,1	1/2"	0,22	53,9	167	19,5	458								
										167	+	458	= 625 Pa < 1100 Pa (Uygun)				

KTÜ-Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı				DİRENÇ KATSAYISI (ξ) DEĞERLERİ HESABI													Sayfa	1																																
				Tesisin Adı:..... <i>Örnek 6.7</i>													Kat	-																																
																	Tarih	22.11.2003																																
Parça No	Boru Çapı	Kazan veya Radyatör	Kollektör Giriş ve Çıkışı	Pantolon Parçası	S Parçası	Çift Dirsek (Geniş)	Çift Dirsek (Dar)	T - Birleşme (Kol)	T - Ayrılma (Kol)	T - Karşıt Akım	T - Ayrılma (Giden hat)	T - Birleşme (Gelen hat)	Boru Çapları	Deve Boynu 90°	Dirsek	Şiber Vana	Kolon Vanası (Düz)	Kolon Vanası (Eğik)	Radyatör Vanası (Düz)	Radyatör Vanası (Köşe)	Toplam																													
													1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	≥2"	1,5	1,1		0,9	0,5	0,4	0,5	1,5	1,7	1,3	1,1	1,0	0,8	1,1	1,3	0,5	17,0	13,0	12,0	10,0	8,0	7,0	3,0	3,0	3,0	6,0	6,0	8,5	5,0	5,0	3,0	2,0
Kritik devre																																																		
1	1/2"	3,0	2,0																		10,0	15,0																												
2	1/2"									3,0												3,0																												
3	1/4"										0,5											0,5																												
4	1/4"										0,5											0,5																												
5	1"										0,5				1,3						3,0	4,8																												
6	3/4"										0,5											0,5																												
7	1/2"	3,0								3,0					2,0						5,0	13,0																												
8	1/2"									3,0					2,0						5,0	10,0																												
9	3/4"											1,0										1,0																												
10	1"											1,0			1,3						3,0	5,3																												
11	1/4"											1,0										1,0																												
12	1/4"											1,0										1,0																												
13	1/2"									3,0												3,0																												
14	1/2"														1,0						2,5	3,5																												
Z01 devresi																																																		
15	1/2"	3,0								1,5					2,0						5,0	11,5																												
16	1/2"									1,0					2,0						5,0	8,0																												
102 devresi																																																		
17	1"									1,5											3,0	4,5																												
18	3/4"										0,5											0,5																												
19	1/2"	3,0								3,0					2,0						5,0	13,0																												
20	1/2"									3,0					2,0						5,0	10,0																												
21	3/4"											1,0										1,0																												
22	1"									1,0											3,0	4,0																												
Z02 devresi																																																		
23	1/2"	3,0								1,5					2,0						5,0	11,5																												
24	1/2"									1,0					2,0						5,0	8,0																												

Örnek 6.8

Kolon şeması şekilde görülen 90°/70° C 'lık üstten dağıtmalı-alttan toplamalı pompalı ısıtma sisteminde; pompa basıncı ve debisi ile, Z02 nolu radyatöre ait devre için boru çapı hesaplama çizelgesinin doldurulurak boru çaplarının belirlenmesi.



Pompa basıncı:

Kazan dairesindeki kayıplar göz önüne alındığından;

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 1,1 \times \Delta P_{\text{krit}} = 1,1 \times \left[\sum_{\text{krit}} (RL) + \sum_{\text{krit}} Z \right]$$

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 1,1 \times \left[\sum_{\text{krit}} (RL) / 0,50 \right] = 1,1 \times [R_{\text{krit}} (L_1 + L_2 + \dots + L_{12}) / 0,50]$$

R değeri için Tablo 6.2'den $R_{\text{krit}} = 100 \text{ Pa/m}$ değeri seçilir ve yerine yazılırsa;

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 1,1 \times [100 \times (14 + 4 + 5 + 8 + 1 + 3,5 + 2,5 + 2,5 + 6 + 5 + 5 + 8) / 0,50]$$

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 1,1 \times [100 \times (64,5) / 0,50]$$

$$\Rightarrow \Delta P_{\text{pompa}} = 14190 \text{ Pa}$$

Pompa debisi:

(6.11) bağıntısından pompa debisi için ($\rho_{80^\circ\text{C}} = 972 \text{ kg/m}^3$, $C_{80^\circ\text{C}} = 4,198 \text{ kJ/kgK}$)

$$\dot{V} = \frac{Q}{\rho_{\text{ort}} C_{\text{ort}} (T_{\text{gidiş}} - T_{\text{dönüş}})} = \frac{48500}{972 \times 4,198 \times (90 - 70)}$$

$$\Rightarrow \dot{V} = 0,594 \text{ m}^3 / \text{s}$$

değeri hesaplanır. Hesaplanan pompa basıncı ve debisine göre mevcut firma kataloglarından uygun bir pompa seçimi yapılır. Seçimi yapılan pompanın yeni basınç ve debi değerleri esas alınarak sistemde çap hesabına geçilir. Buradaki örnekte seçilen pompaya ait karakteristik eğri üzerinde ($\Delta P - \dot{V}$ eğrisi) $\dot{V} = 0,594 \text{ m}^3 / \text{s}$ değerine karşılık gelen $\Delta P_{\text{pompa}} = 14500 \text{ Pa}$ değeri okunur ve çap hesabında bu basınç esas alınır.

Kritik devre için R değeri hesabı:

Sistemde yukarıda belirlenen değerlerde basınç sağlayan pompanın kullanılacağı göz önüne alınarak kritik devre için R değeri;

$$R_{\text{krit}} = \frac{0,50 \times \Delta P_{\text{pompa}}}{\sum_{\text{krit}} L} = \frac{0,50 \times 14500}{64,5} \Rightarrow R_{\text{krit}} \cong 112 \text{ Pa/m}$$

olarak belirlenir ve bu değer ile boru çapı hesaplama çizelgesinin doldurulmasına geçilir.

KTÜ-Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı			BORU ÇAPI HESAPLAMA ÇİZELGESİ													Sayfa	1
			Tesisin Adı: Örnek 6.8													Kat	-
																Tarih	05.12.2003
a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	m	n	o	b	q	r	s
Parçalar	Isı Miktarı	Sıcaklık farkı 10°C olduğuna göre miktarı	Boru parçası uzunluğu	İlk Seçilen Çapa Göre						Değiştirilmiş Boru Çapına Göre						Fark	
				d	V	R	LR	Σξ	Z	d	V	R	LR	Σξ	Z	LR	Z
No.	W	W	m		m/s	Pa/m	Pa		Pa		m/s	Pa/m	Pa		Pa	Pa	Pa
Kritik devre ; $R_{krit}=112 Pa/m$; $\Delta P_{pompa}=14500 Pa$																	
1-12	48500		22	11/4"	0,6	118	2596	18,6	3254								
2-11	29300		9	11/4"	0,38	49	441	6,0	422								
3-10	19900		10	1"	0,44	98	980	1,5	141								
4-9	10400		14	3/4"	0,38	98	1372	10,9	775								
8	8100		2,5	3/4"	0,3	59	148	1,0	44								
7	5800		2,5	3/4"	0,22	32	80	1,0	24	1/2"	0,38	137	343	1	70,6	263	47=310
5-6	2900		4,5	1/2"	0,19	39	176	21,5	379								
										$5793 + 5039 = 10832 Pa < 14500 Pa$ (Uygun)							
302 devresi																	
$\sum_{4}^{9} (RL + Z) = 1372 + 775 + 148 + 44 + 80 + 24 + 176 + 379 = 2998 Pa \geq \sum_{13}^{18} (RL + Z) \Rightarrow R_{302} = 0,50 \times 2998 / 13 \Rightarrow R_{302} = 115 Pa/m$																	
$\Rightarrow R_{302} = 0,50 \times 2998 / (14,5) \Rightarrow R_{302} = 103 Pa/m$																	
13-18	9500		5	3/4"	0,34	78	390	8,5	481								
17	7500		2,5	3/4"	0,26	49	123	1,0	33								
16	5200		2,5	3/4"	0,18	25	63	1,0	16								
14-15	2900		4,5	1/2"	0,19	39	176	21,5	379								
										$752 + 909 = 1661 Pa < 2998 Pa$ (Uygun)							
202 devresi																	
$\sum_{14}^{15} (RL + Z) = 176 + 379 = 555 Pa \geq \sum_{19}^{21} (RL + Z) \Rightarrow R_{202} = 0,50 \times 555 / 19 \Rightarrow R_{202} = 14,6 Pa/m$																	
$\Rightarrow R_{202} = 0,50 \times 555 / (4,5) \Rightarrow R_{202} = 62 Pa/m$																	
19	6600		2,5	3/4"	0,24	39	98	0,5	14								
20-21	2300		2	1/2"	0,15	25	50	19,5	213								
										$148 + 227 = 375 Pa < 555 Pa$ (Uygun)							
102 devresi																	
$\sum_{20}^{21} (RL + Z) + (RL + Z)_{16} = 50 + 213 + 63 + 16 = 342 Pa \geq \sum_{22}^{24} (RL + Z) \Rightarrow R_{102} = 0,50 \times 342 / 22 \Rightarrow R_{102} = 7,7 Pa/m$																	
$\Rightarrow R_{102} = 0,50 \times 342 / (4,5) \Rightarrow R_{102} = 38 Pa/m$																	
22	4300		2,5	3/4"	0,15	19	48	0,5	5								
23-24	2300		2	1/2"	0,15	25	50	19,5	213								

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

KTÜ-Müh.-Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı			DİRENÇ KATSAYISI (ξ) DEĞERLERİ HESABI														Sayfa	1						
Parça No		Boru Çapı	Kazan veya Radyatör	Kollektör Giriş ve Çıkışı	Pantolon Parçası	S Parçası	Çift Dirsek (Geniş)	Çift Dirsek (Dar)	T - Birleşme (Kol)	T - Ayrılma (Kol)	T - Karşıt Akım	T - Ayrılma (Giden hat)	T - Birleşme (Gelen hat)	Boru Çapları	Deve Boynu 90°	Dirsek	Şiber Vana	Kolon Vanası (Düz)	Kolon Vanası (Eğik)	Radyatör Vanası (Düz)	Radyatör Vanası (Köşe)	Toplam		
			3,0	0,5	1,5	0,5	0,1	2,0	1,0	1,5	3,0	0,5	1,0	1/2"	1,5	2,0	1,1	17,0	3,0	8,5	5,0			
			3,0	0,5	1,5	0,5	0,1	2,0	1,0	1,5	3,0	0,5	1,0	3/4"	1,1	1,7	0,6	13,0	3,0	6,0	3,0			
			3,0	0,5	1,5	0,5	0,1	2,0	1,0	1,5	3,0	0,5	1,0	1"	0,9	1,3	0,5	12,0	3,0	6,0	2,0			
			3,0	0,5	1,5	0,5	0,1	2,0	1,0	1,5	3,0	0,5	1,0	1 1/4"	0,5	1,1	0,4	10,0	2,5	5,0	2,0			
			3,0	0,5	1,5	0,5	0,1	2,0	1,0	1,5	3,0	0,5	1,0	1 1/2"	0,4	1,0	0,3	8,0	2,5	--	--			
			3,0	0,5	1,5	0,5	0,1	2,0	1,0	1,5	3,0	0,5	1,0	≥2"	0,5	0,8	0,3	7,0	2,5	--	--			
<i>Kritik devre</i>																								
1	1/4"	3,0	2,0																			10,0	15,0	
2	1/4"										3,0													3,0
3	1"											0,5												0,5
4	3/4"											0,5				1,7			3,0					5,2
5	1/2"	3,0								1,5						2,0							5,0	11,5
6	1/2"												1,0			4,0							5,0	10,0
7	1/2"												1,0											1,0
8	3/4"												1,0											1,0
9	3/4"												1,0			1,7				3,0				5,7
10	1"												1,0											1,0
11	1/4"										3,0													3,0
12	1/4"															1,1			2,5					3,6
<i>302 devresi</i>																								
13	3/4"									1,5										3,0				4,5
14	1/2"	3,0								1,5						2,0							5,0	11,5
15	1/2"												1,0			4,0							5,0	10,0
16	3/4"												1,0											1,0
17	3/4"												1,0											1,0
18	3/4"									1,0										3,0				4,0
<i>202 devresi</i>																								
19	3/4"												0,5											0,5
20	1/2"	3,0								1,5						2,0							5,0	11,5
21	1/2"									1,0						2,0							5,0	8,0
<i>102 devresi</i>																								
22	3/4"												0,5											0,5
23	1/2"	3,0								1,5						2,0							5,0	11,5
24	1/2"									1,0						2,0							5,0	8,0
<i>Z02 devresi</i>																								
25	1/2"	3,0											0,5			4,0							5,0	12,5
26	1/2"									1,0						2,0							5,0	8,0

