



bu bir MMO
yayıdır

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

Isı Tekniğiyle İlgili Tesislerde Optimum Boru Çapının Belirlenmesi

Arif HEPBAŞLI

Ege Üniversitesi
Güneş Enerjisi Ens. ve Müh. Fak. Mak. Müh. Böl.

ISI TEKNİĞİYLE İLGİLİ TESİSLERDE OPTİMUM BORU ÇAPININ BELİRLENMESİ

Arif HEPBAŞLI

ÖZET

Boru hatlarının malzeme ve montaj giderleri, toplam tesis giderlerinin önemli bir kısmını oluşturur. Bu yüzden, boru çaplarının seçiminin özenle yapılması zorunluluğu ortaya çıkar. Birçok boru hattı için en uygun çapın seçimi, yatırım ve iletim (pompalama) enerjisi giderleriyle belirlenir. Kimyasal ve güç tesislerindeki boru hatları için genelde "ekonomik hız" yöntemi kullanılır. Bu yöntemle, çeşitli diyagram veya tablolardan değişik işletme koşulları için hızlar seçilir. Ancak bu yöntem, uygun değerlerin literatürde genellikle bulunamaması, çoğu tasarım değerlerinin göz önüne alınamaması gibi nedenlerden ötürü, hassas değildir ve çoğunlukla sorun doğurur.

Bu çalışmada açıklanan yöntemin izlenmesiyle, oldukça basit bir şekilde, ekonomik açıdan optimum boru çapını belirlemek mümkündür. Böylece, kütleli debi, yoğunluk ve borunun uzunluğu yanında, boru malzemesi, montaj ile enerji giderleri, yıllık işletme saati, faiz ve amortisman oranları göz önüne alınır.

1. GİRİŞ

Boru hatlarının malzeme ve montaj giderleri, ısı tekniğiyle ilgili tesislerin önemli bir kısmını oluşturur. Boru hatlarının payı, toplam tesis giderlerinin % 30'u üzerindedir ve boyutların seçimi özenle yapılmalıdır [1,2]. Boru çapının doğru olarak seçilmesi, tesisin ekonomikliliği bakımından büyük önem taşır. Tesis işletmecisi planlama esnasında boru çapının ekonomik olarak optimize edilmesine dikkat etmelidir. Çünkü, imalatçı doğal olarak, enerji giderleri açıkca artmadığı sürece, malzeme ve montaj giderlerini minimize etmek ister.

Boru çapının amaca uygun olarak belirlenmesinde, aşağıda belirtilen kriterlerin göz önünde tutulması büyük önem kazanır [3].

a) Mevcut basınç düşüşü proses koşullarıyla öngörülür.

Bazı sistemlerin genişleme hatlarındaki enerji kayıpları proses koşullarıyla belirlenir ve boru çaplarından etkilenmez. Bu durumda optimum boru çapı, daha az yatırımlarla yapılan çaptır. Sistemin ayarlanabilirliği gerçekleştirilsin diye, basınç düşüşünün bir kısmı genişleme vanasında azaltılmalıdır. Geri kalanı hattaki sürtünme kayıpları için mevcut olur. Hattaki akış hızının, erozyon tehlikesi veya izin verilen gürültü emisyonları nedeniyle sınırlı olabileceği göz ardı edilmemelidir.

b) İzin verilen basınç kaybı belirli bir üst değere kadar sınırlıdır.

Pompaların emme hatları, özellikle akışkanların kaynama noktasına yakın taşındığı hatlar, pompa pervanesi girişinde hiçbir kavitasyon oluşmayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Pompanın basma hattındaki basınç kaybı; proses koşulları, pompanın yapım şekli ve tesisin yerleşimiyle öngörülen değeri aşmamalıdır. En uygun boru çapı, makina donanımı ve boru hattı için yapılacak yatırımların optimize edilmesiyle bulunabilir. İzin verilen basınç kaybına göre ölçülendirilen hatlara başka bir örnek olarak, emniyet vanasının hatları gösterilebilir.

c) Akış hızı sınırlıdır.

Çok fazla akışlarda akış hızı, genellikle boru çapının belirlenmesi için önemli bir unsurdur. Katı madde iletiminde çok az akış hızı boru içinde yığılmalara, çok fazla akış hızı ise, fazla aşınmaya yol açar. Gaz-sıvı akışlarda, çok az akış hızı kararsız akışa neden olur. Çok yüksek hızda hat, sıvı koçuyla etkilenir veya zarara uğrayabilir. Tüm boru hatlarında akış hızı izin verilen gürültü emisyonlarıyla sınırlıdır.

d) Boru çapı, yatırım ve madde iletiminin toplam giderlerinin minimize edilmesiyle belirlenebilir.

Bu projelendirme koşulu, ısı tekniği ile ilgili tesislerdeki boru hatlarının çoğuna uygulanabilir.

Bu çalışmada, öncelikle çeşitli akışkan hatları için hız sınırlamaları belirtilecek ve daha sonra boru çapının belirlenmesinde uygulanan değişik yöntemler üzerinde durulacaktır. Son olarak, ekonomik açıdan optimum boru çapının belirlenmesi için Schmitt [3] tarafından önerilen yöntem açıklanacak ve bir örnek verilecektir.

2. BORU HATLARINDA HIZ SINIRLAMALARI

Gürültü, erozyon ve montaj ile işletme giderlerinin hepsi, borulama sistemlerindeki maksimum ve minimum hızları sınırlayan önemli unsurlardır. Şayet boru çapı çok küçük ise, gürültü ve erozyon düzeyleriyle pompalama giderleri kaçınılmaz olabilir. Bunun aksi olarak, boru çapı çok büyük seçildiği zaman, montaj giderleri önemli ölçüde artar. Bundan ötürü boru çapları, yüksek hızların istenmeyen etkilerinden kaçınırken, ilk yatırımı minimum düzeyde tutacak şekilde seçilir. Aşağıda, söz konusu hız sınırlamaları ve etkileri kısaca açıklanacaktır [4].

2.1. SU HIZIYLA İLGİLİ SINIRLAMALAR

Borulama sistemlerinin tasarımında, su hızı ve/veya basınç düşüşünün üst limitlerinin bir birleşimi kullanılır. Çapı 50 mm veya daha az olan borular için 1.2 m/s'lik bir hız limiti ve çapı 50 mm'yi aşan borular için 400 Pa/m'lik bir basınç düşüşü limiti önerilir. Bunun dışındaki durumlar için, Tablo 1 ve 2'de gösterildiği gibi, kullanım tipi veya yıllık işletme saatleri göz önüne alınır.

Tablo 1. Kullanım Türüne Göre Su Hızları [4]

Kullanım Türü	Su Hızı, m/s
Genel kullanım	1.2-3.0
Şehir suyu	0.9-2.1
	0.6-1.5
Kazan besisi suyu	1.8-4.6
Pompa emme ve boşaltma hatları	1.2-2.1

Bu sınırlamalarında, ya boru ile vana gürültülerinin, erozyon ve su koçu basıncının kontrolünün sağlanmasının yada ekonomik nedenlerin önemli etkisi vardır. Carrier, herhangi bir durumda hızın 4.6 m/s'yi aşmamasını öneriyor.

Tablo 2. Erozyonu Minimum Yapmak İçin Maksimum Su Hızı [4]

Normal İşletme Saati, h/yıl	Su Hızı, m/s
1 500	4.6
2 000	4.4
3 000	4.0
4 000	3.7
6 000	3.0

Borulama sistemlerinde hızın neden olduğu gürültü, dört kaynağın herhangi birinden veya hepsinden olur. Bunlar; türbülans, kavitasyon, sürüklenen havanın serbest kalması ve su koçudur. 3-5 m/s türündeki hızların konut ve ticari yapılar için izin verilen gürültü düzeyleri aralığında kaldığı belirtilmektedir. Genel olarak, bir sistemde kullanılan boru uzunluğu ile boru bağlantı parçası ve vana sayısı ne kadar artarsa, sistem de o kadar gürültülü olur. Ayrıca, şayet kavitasyon veya sürüklenen havanın serbest kalması söz konusu ise, bir boru sistemindeki sıvı akışıyla elde edilen gürültü şiddetle artar. Bunun yanı sıra, Ball ve Webster, düz bir boruda kavitasyonun 14 m/s'lik maksimum bir hızda oluşmadığını, iki dirsekli düzenekler kullanılarak, 7 m/s'ye kadar soğuk su hızları ile kavitasyona neden olunmadığını ve kavitasyonun 1:8 alan oranlı (orifis akış alanı, boru akış alanının 1/8'dir) orifislerde 1.5 m/s'de ve 1:4 alan oranı için 3 m/s'de olduğunu buldu [4].

Boru sistemlerindeki erozyon, borunun iç yüzeyine çarpan su kabarcıkları, kum veya diğer katı maddelerle oluşur. Genel olarak, 30 m/s' den daha düşük hızlarda, kavitasyon olmadığı sürece, erozyon önemli değildir. Katı madde yüksek hızlarda bir akışkan içinde sürüklendiği zaman, erozyon özellikle dirseklerde hızlı olur. Bundan ötürü, kum veya diğer katı maddelerin taşındığı sistemlerde yüksek hızlar seçilmemelidir [4].

Herhangi bir hareket eden akışkan (sadece su değil), bir vana aniden kapatıldığı zaman, birdenbire durdurulursa, büyük basınçlar oluşur. Su koçuyla ortaya çıkan basınç artışı (p_k),

$$p_k = \rho c_s w \quad (N/m^2) \quad (1)$$

bağıntısından bulunabilir [4].

Burada:

- ρ : Akışkanın yoğunluğu , kg/m³
- w : Akış hızı, m/s'dir.
- c_s : Akışkandaki ses hızı, m/s (Borunun elastikiyeti etkin değeri azaltmasına rağmen, su için 1 438 m/s'dir.)

2.2. BUHAR HIZIYLA İLGİLİ SINIRLAMALAR

Bir buhar ısıtmasındaki belirli bir yük için boru çapının belirlenmesi şu etkenlere bağlıdır [4]:

- Başlangıç (ilk) basıncı ve besleme kaynağı (örneğin; kazan) çıkışı ile dönüş sisteminin en sonu arasında izin verilen toplam basınç düşüşü,
- Kondens akışının yönünü de gözönünde bulundurarak, sistemin tam ve emniyetli işletilebilmesi için izin verilen maksimum buhar hızı,
- Kazan veya buhar besleme kaynağından en uzaktaki ısıtıcı üniteye kadar olan hattın eşdeğer uzunluğu

Başlangıç basıncı ve hattın sonundaki gerekli basınç gibi aşağıdaki bazı etkenler gözönüne alınmalıdır:

- Toplam basınç düşüşü sistemin başlangıç basıncını aşmamalıdır. Uygulamada, başlangıç basınç değerinin yarısını asla aşmamalıdır.
- Basınç düşüşü aşırı hızlara neden olacak kadar fazla olmamalıdır.
- Değişen ilk basınca göre tasarlanan sistemler (normal olarak kısmi vakum kontrolü altında işletilen sistemler) hariç olmak üzere, sabit bir başlangıç basıncı sağlanmalıdır.

Uygun işletme için buhar hızı 40 ile 60 m/s arasında olmalı ve 75 m/s'yi aşmamalıdır. Hız ne kadar düşükse, sistem de o kadar uygundur. Tablo 3'de, değişik çaptaki buhar hatları için maksimum hız değerleri verilmiştir.

Tablo 3. Zıt Yönlere Akan Buhar ve Kondens İçin Farklı Boru Eğiminde Buhar Hatlarının Kapasitelerinin Kıyaslanması [4]

Boru Eğimi (mm/m)	Nominal Boru Çapı, DN							
	20		25		32		40	
	Kapasite (kg/h)	Maks. Hız (m/s)	Kapasite (kg/h)	Maks. Hız (m/s)	Kapasite (kg/h)	Maks. Hız (m/s)	Kapasite (kg/h)	Maks. Hız (m/s)
20	1.5	2.4	3.1	2.7	5.4	3.4	9.0	3.7
40	1.9	3.4	4.1	3.7	6.8	4.3	11.7	4.9
80	2.6	4.0	5.3	4.6	9.0	5.2	15.0	5.8
120	2.9	4.3	5.8	5.2	11.2	6.1	17.0	6.7
170	3.2	4.9	6.7	5.8	12.2	6.7	19.1	7.3
250	3.8	5.2	7.8	6.7	14.2	7.6	21.2	7.9
350	4.5	6.7	8.7	7.3	15.2	7.9	23.0	8.5
420	4.8	6.7	9.3	7.6	17.3	9.4	26.9	10.1

2.3. GAZ HATLARIYLA İLGİLİ SINIRLAMALAR

Gaz cihazlarının hatları yeterli boyutta olmalıdır ve besleme kaynağı (sayaç) ile cihaz arasında aşırı kayıp olmadan maksimum ihtiyacı karşılayacak şekilde yapılmalıdır. Gerekli gaz borusunun çapı; maksimum gaz tüketimine, borunun uzunluğuna ve boru birleştirme parçalarının sayısına, sayaç çıkışından cihaza kadar olan mesafede izin verilen basınç düşüşüne ve gazın yoğunluğuna bağlıdır.

Atmosfer basıncının 10 kPa üstündeki basınçtan daha az olan basınçlar için kapasite (hacimsel veya kütleli debi) değerleri NFPA Standard 54-1988 [4] tarafından verilen

$$Q = 0.0001 \cdot D_i^{2.623} \cdot (\Delta p / C \cdot L)^{0.541} \quad (l/s) \quad (2)$$

Burada:

- Q : Hacimsel debi (15 °C ve 101 kPa'da), l/s
- D_i : Boru iç çapı, mm
- Δp : Basınç düşüşü, N/m²
- T : Sıcaklık, K
- s : Gazın yoğunluğunun 15 °C ve 101 kPa'da havanın yoğunluğuna oranı
- μ : Gazın viskozitesi, μPa.s (doğal gaz için 12, propan için 8)
- L : Boru uzunluğu, m
- C : Viskozite, yoğunluk ve sıcaklık faktörü

Viskozite, yoğunluk ve sıcaklık faktörü, C, aşağıdaki bağıntı kullanılarak bulunabilir:

$$C = 0.00223 (T + 273) s^{0.848} \mu^{0.152} \quad (3)$$

Yapılarda gaz servisi genellikle atmosfer basıncının 1.5 kPa üstündeki düşük basınç aralığında gerçekleşir. Bu basınçta borulama sisteminde izin verilen maksimum basınç düşüşü 0.125 kPa'dır. Ancak, yerel yapı, sıhhi tesisat ve gaz cihazı kodları göz ardı edilmemelidir [4].

3. BORU ÇAPININ BELİRLENMESİNDE UYGULANAN YÖNTEMLER

Boru çaplarının belirlenmesinde mühendisler tarafından çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Hatta, bazen doğru dürüst hesap yapılmadan, boru çapı seçilmektedir. Böylece, bir yandan ekonomik olmayan tasarım gerçekleşmekte, öte yandan da boru hattından istenen kapasitenin sağlanmasında önemli riskler ortaya çıkmaktadır. Aşağıda, uygulanan ve önerilen bazı yöntemler kısaca açıklanacaktır.

3.1. EKONOMİK HIZ DEĞERLERİNE GÖRE BORU ÇAPININ SEÇİMİ

Tesis planlamalarında genelde "ekonomik" akış hızının standard değerleri veya izin verilen basınç gradyanlarından yola çıkılır. Tablo 4' den 7'ye kadar değişik akışkanlar için akış hızının seçimiyle ilgili önerilen değerler gösterilmiştir. Bu tablo değerleri [3,5,6] veya çeşitli diyagramlar [7,8,9,10] kullanılarak, boru çapı hesaplanabilir. Ek 1'de, söz konusu bazı diyagramlar sunulmuştur. Başka bir deyişle, mühendislerin, ayrıntılı boyutlandırmaya başlamadan önce, ilk analizlerinde bu değerleri kullanması ve daha sonraki projelendirme aşamasında ise, ekonomik açıdan optimum boru çapının belirlenmesi yöntemini seçmesi yerinde olur. Ancak, uygulamada durumun böyle olmadığı, boru çaplarının, çoğunlukla geniş kapsamlı bir çalışma yapılmadan (hattaki basınç kaybının bile hesaplanmadan) belirlendiği de bir gerçektir.

Akış hızının çok yüksek seçilmesi, basınç kaybının ve böylece işletme giderlerinin artmasına yol açar. Bu, tesisin kullanımı boyunca önemli bir harcama demektir. Diğer bir deyişle, şayet akış hızı az seçilirse, daha büyük çaplı bir boru kullanılacaktır. Bu durum, malzeme, yalıtım, imalat, montaj ve boru taşıtırma giderlerinin önemli ölçüde artması demektir.

Tablo 4. Buhar Hatları İçin Önerilen Ekonomik Hız Değerleri [3,5,6]

AÇIKLAMA	HIZ (m/s)	REF. NO.
Düşük basınç < 10 bar	15-20	[3]
Orta basınç 10-40 bar	20-40	
Yüksek basınç 40-125 bar	30-60	
Buhar hattı (Türbo pompalar)	10-15	
Kızgın buhar hatları	25-45	[5]
Doymuş buhar hatları	20-30	
Vakum hatları	45-70	
Düşük basınç < 10 bar	15-20	[6]
Orta basınç (buhar makinaları) 10-15 bar	15-20	
Orta basınç (genel) 10-40 bar	20-40	
Yüksek basınç 40-125 bar	30-60	
Degazör hattı	10-30	
Çürük buhar hattı	15-30	

Tablo 5. Su Hatları İçin Önerilen Ekonomik Hız Değerleri [3,5,6]

AÇIKLAMA	HIZ (m/s)	REF. NO.
Besi suyu (santrifüj pompalarda pistonlu pompalarınkinden daha yüksek değerlere izin verilir)	1.5-3.0	
<u>Pompa emme hatları</u>		
Normal emme hattı	1	
Emme hattı (uzunluğu > 40-50 m)	0.75	
Santrifüj pompalarda emme hattı	1.5-2	
<u>Su kuvvet tesisleri</u>		
Basınç hattı (uzun ve düz)	1-3	
Basınç hattı (eğimli ve çapı küçük)	2-4	
Basınç hattı (eğimli ve büyük çaplı)	3-7	[3]
<u>Kullanma suyu hattı</u>		
Ana su hattı	1-2	
Bölgesel sistem ana su hattı	<3	
Yerel şebeke hattı	0.6-0.8	
Basınçlı su hattı (uzun)	<15	
Basınçlı su hattı (kısa)	20-30	
<u>Soğuk su</u>		
Pompa emme hattı (iç çap 25 mm)	1.1	
(iç çap 100 mm)	1.6	
(iç çap 200 mm)	1.9	
(iç çap 500 mm)	2.3	
Pompa basma hattı (iç çap 25 mm)	1.4	
(iç çap 100 mm)	2.0	
(iç çap 200 mm)	2.4	
(iç çap 500 mm)	2.9	
Besi suyu basınç hattı	1.5-2.5	[5]
Kondens basınç hattı	1.5-2.5	
Soğutma suyu basınç hattı	1.5-2.5	
Bölgesel sistem su hatları	1.0-3.0	
Kızgınsu hatları	0.5-1.0	
Bölgesel sistem ısıtma sıcak su hatları	0.8-2.5	
Bölgesel sistem kızgınsu hatları	0.8-2.5	
Endüstriyel kızgınsu ısı dağıtım hatları	0.8-2.5	
İçme ve kullanma suyu bölgesel dağıtım hattı	< 3	
İçme ve kullanma suyu ana dağıtım hattı	< 2	
İçme ve kullanma suyu yerel şebeke hattı	0.6-0.7	
Soğutma suyu emme hattı	0.7-1.5	
Soğutma suyu basınç hattı	1.0-3.0	
Kondens emme hattı	0.5-1.0	
Kondens basınç hattı	1.5-3.0	
Sıcak ve kızgın su bölgesel dağıtım hattı	1.0-2.5	
Sıcak ve kızgın su yerel şebeke hattı	0.8-2.0	
<u>Su türbini hatları</u>		[6]
Uzun ve düz	1.0-3.0	
Küçük çaplı ve eğimli	2.0-4.0	
Büyük çaplı ve eğimli	4.0-7.0	
<u>Basınçlı su hattı</u>		
Uzunluğu > 100. DN (Nominal Çap)	<15	
Uzunluğu < 100. DN (Nominal Çap)	20-30	
Sıvı kimyasal ürünler	3.0-5.0	
Blöf hattı	1.0-2.0	

Tablo 6. Hava / Gaz Hatları İçin Önerilen Ekonomik Hız Değerleri [3,5,6]

AÇIKLAMA	HIZ (m/s)	REF. NO.	
Gaz hatları (15 °C ve 1 bar'da)			
<u>Bölgesel dağıtım hatları</u>			
Yüksek basınç >40 bar	40-60	[3]	
Orta basınç 5-20 bar	25-40		
Düşük basınç < 5 bar	15-25		
Düşük basınç < 1 bar	10-15		
Düşük basınç > 1 bar	5-10		
Ev tesisatı hatları	1		
Yerel şebeke ana hatlar	< 5		
Yanmalı motorların egzoz hatları	< 25		
Basıncılı hava hatları (15 °C ve 1 bar'da)			
Yüksek basınç 50-100 bar	30		
Orta basınç 10-50 bar	20-25		
Düşük basınç 10 bar'a kadar	15-20		
Düşük basınç gaz hatları (yerel şebekelerde)			
Kok gazı hatları (tüm basınçlar)	< 15	[5]	
Doğal gaz bölgesel hatlar	< 20		
Basıncılı hava hatları	10-15		
Basıncılı oksijen hatları (30 bar)	< 20		
Şehir gazı yerel şebekesi			
Ev tesisatı bağlantıları < 0.02 bar	< 1	[6]	
Düşük basınç hattı < 0.05 bar	3-8		
Orta basınç hattı < 1 bar	5-10		
Yüksek basınç hattı > 1 bar	10-25		
Sıvı gazı			
Düşük basınçlı hatlar < 1 bar	3-20		
Orta basınçlı hatlar < 2 bar	5-25		
Yüksek basınçlı hatlar > 2 bar	20-60		
Gaz ve gaz karışımları (basınç tesisleri) < 700 bar			
Duman gazı kolektörü emme hattı	5-8		
Duman gazı kolektörü basma hattı	15-25		
	20-30		
Sıvı kimyasal ürünler			
Hidrojen < 20 bar	3-5		
Basıncılı hava hattı (şebeke)	12-15		
	15-25		
Pistonlu kompresörlerin emme hattı			
(Emme kapasitesi < 2000 m ³ /h)	< 12		
Pistonlu kompresörlerin emme hattı			
(Emme kapasitesi > 2000 m ³ /h)	< 20		
Pistonlu kompresörlerin basma hattı			
(Emme kapasitesi < 2000 m ³ /h)	< 20		
Pistonlu kompresörlerin basma hattı			
(Emme kapasitesi > 2000 m ³ /h)	< 30		
Vakum pompası emme hattı	10-35		
Taneli maddeler için pnömatik taşıma hattı	> 20		
Tozlu maddeler için pnömatik taşıma hattı	> 15		

Tablo 7. Yağ Hatları İçin Önerilen Ekonomik Hız Değerleri [3,5,6]

AÇIKLAMA	HIZ (m/s)	REF. NO.
Bölgesel hatlar Fabrika hatları (viskozitesi düşük) Fabrika hatları (viskozitesi yüksek)	1.5-2.0 1.0-1.5 0.5-1.0	[3]
Yağ hatları Bölgesel dağıtım yağ hatları Viskoz akışkan (zift gibi) hatları	0.8-1.0 1.0-2.5 1.0-2.0	[5]
Ağır yakıt yağı (emme hattı, ısıtılmış) Ağır yakıt yağı (basma hattı, ısıtılmış) Bölgesel yağ hattı (orta yağ)	0.5-0.8 1.0-1.5 1.0-2.0	[6]
Yağlama yağı (basınç hattı) Yağlama yağı (boşaltma hattı)	1.5-2.0 < 1.0	
Benzin, gaz yağı (emme hattı) Benzin, gaz yağı (basma hattı)	0.5-0.8 1.0-1.25	

3.2. HIZLI HESAPLAMA YÖNTEMİNE GÖRE BORU ÇAPININ BELİRLENMESİ

Literatürde [4,5,7,8,9,10,11], basınç kaybının hesaplanması için sayısız çalışmalar ve hatta büyük tesisler için önemli bir çabanın gerektiği her bir hesaplama şekli için çeşitli hesaplama yöntemleri mevcuttur. Bununla beraber, gerçek uygulamada deneyimli tasarım mühendisi boru hattının boyutlandırılması için, büyük tesisler için bile, kısa bir çalışma yapar. Bu çalışmanın hızı, hesaplarda bulunan bir karakteristikten, başka bir deyişle basınç kaybının (Δp), iç çapın (D_i) beşinci üssüyle orantılı olmasından dolayı kısadır [2]. Şöyleki [7]:

$$\Delta p = 0.811 \lambda . L . (m)^2 / \rho . (D_i)^5 \quad (\text{N/m}^2) \quad (4)$$

Burada:

- λ : Sürtünme katsayısı
- L : Boru uzunluğu, m
- m : Kütleli debi, kg/s
- ρ : Yoğunluk, kg/m³
- D_i : Boru iç çapı, m

Böylece, belirli herhangi bir borulama sistemindeki bir çap için basınç kaybı belirlendiği zaman, bu basınç kaybını beşinci üssün oranıyla diğer çaplara eşit olarak dağıtmak mümkündür. Sürtünme katsayısındaki (λ) değişiklikler, çeşitli standard boru çapları için ihmal edilebilir. Ancak, tam iç çaplar kullanılmalıdır. Tablo 8'de, DIN 2448' e göre [9] nominal kalınlıktaki bazı dikişsiz borular için iç çapların beşinci üsleri gösterilmiştir.

Tablo 8'den, basınç kaybına göre boru çapının seçiminin gerçekten sınırlı olduğu açıkça görülmektedir. Eşdeğer koşullar için, DN 20'lik bir boru sisteminden olan basınç kaybı, DN 40'lık olan bir sistemdekine yaklaşık olarak 27 katı; DN 50'lik bir sistemdeki DN 80'dekinin 8 katı ve DN 200'lük bir sistemdeki ise, DN 250'dekinin 3 katıdır.

Tablo 8. DIN 2448'e Göre Bazı Dikişsiz Boru Çaplarının Beşinci Üssü

Nominal Çap	Boru İç Çapı (D _i), mm	(D _i) ⁵ , mm ⁵
DN 20	22.3	5 514 731
DN 25	28.5	18 802 877
DN 40	43.1	148 725 813
DN 50	54.5	480 819 986
DN 80	82.5	3 821 815 723
DN 100	107.1	14 091 179 730
DN 200	207.3	382 821 667 300
DN 250	260.4	1 197 3052 85 000

3.3. OPTİMUM BORU ÇAPININ BELİRLENMESİ

Boru çapının belirlenmesinde "ekonomik hız yöntemi"nin kullanılmasında, aşağıda sözü geçen sorunlarla sık sık karşı karşıya kalınır:

- Mevcut projelendirme durumu için uygun referans değerleri bulmak genellikle mümkün değildir.
- Kullanılan tablo ve diyagramlarda esas alınan kabuller çoğunlukla belirtmemiştir.
- Malzeme, işçilik ve enerji giderleri arasında ilişki son yıllarda önemli ölçüde değişmiştir. Geçmişten elde edilen değerler kolaylıkla kabul edilemez.
- Giderlere kısmen büyük etkisi olan projeye özel birçok etki unsurları tablo ve diyagramlarda gözönüne alınmayabilir. Böyle etki büyüklüklerine örnek olarak, yıllık işletme saatleri, yerel enerji fiyatı (özellikle dış ülkeyle yapılan işlerde), tesisin beklenen ömrü ve amortisman değerleri sayılabilir.

Optimum boru çapının hesaplanmasında, değişik hesaplama şekilleri mevcuttur. Bunlar arasında, yaşam süresi maliyet yöntemi izlenerek adım adım hesaplama şekli ve optimizasyon yöntemine dayalı biraz daha fazla matematiksel hesaplama şekli sayılabilir.

Ekonomik yalıtım kalınlığının belirlenmesinde kullanılan benzer yöntem izlenerek [13], optimum boru çapını bulmak mümkündür. Aşağıda, bu hesaplama şekli adım adım açıklanacaktır [1,14]:

1. Adım: İlgili standard, kod veya kural, örneğin ASME, AD-Merkblaetter [15,16] kullanılarak, boru et kalınlığı hesaplanır.
2. Adım: Her boru çapı seçeneği için basınç kaybı, literatürde verilen basınç kaybı bağıntıları kullanılarak hesaplanır.
3. Adım: Her bir durum için basınç düşüşüyle ilgili ilave pompalama (iletim) gücü (N),

$$N = \Delta p \cdot m / \rho \cdot \eta \cdot 10^{-3} \quad (\text{kW}) \quad (5)$$

bağıntısından ve daha sonra yıllık işletme gideri veya başka bir deyişle enerji gideri (K_E),

$$K_E = N \cdot z \cdot C_E \quad (\text{TL/yıl}) \quad (6)$$

kullanılarak bulunur.

4. Adım: İşletmenin yatırım maliyeti (K_O),

$$K_O = K_E \cdot F \quad (\text{TL/yıl}) \quad (7)$$

ile hesaplanabilir. Burada; F, yıllık yatırım maliyet faktörüdür.

Bu faktör, yıllık faiz oranı (i), yıllık enflasyon oranı (e) ve yıl olarak tesisin ömrü (t) kullanılarak, aşağıdaki bağıntıdan bulunabilir.

$$F = \frac{1+e}{1+i} \frac{1-t \frac{1+e}{1+i}}{1 - \frac{1+e}{1+i}} \quad (8)$$

Borulama sisteminin toplam yatırım maliyeti (K_C), işletmenin yatırım maliyeti (K_O) ile sabit giderlerin (K_F) toplamından oluşur. Yani;

$$K_C = K_O + K_F \text{ dir.} \quad (9)$$

Yukarıda açıklanan yaşam süresi maliyet yöntemi izlenerek, elde edilen sayısal değerler bir tablo halinde listelenir. Burada en düşük yaşam süreci maliyetini veren boru çapı seçilir.

Ekonomik hız yönteminin kullanılmasında sözü geçen olumsuzlukların çoğunun giderildiği en uygun boru çapının hesaplama yöntemi, Nolte (17) tarafından verilmiştir. Bu yöntemde, çelikten yapılan "tipik" boru hattının birim uzunluğuna dayalı tüm giderler ele alınmıştır. Buradan sapan malzemeler, nominal basınç değerleri ve hattın karmaşıklılığı, bazı kaba düzeltme faktörleriyle dikkate alınır. Aşağıda, Schmitt [3] tarafından önerilen yöntem açıklanacaktır. Bu yöntem, daha önceki Nolte [17] yöntemindeki benzer düşüncelere dayanır. Ancak, istenilen malzemelerin kullanılabilmesi, hattın gerçek uzunluğunun ve karmaşıklığının optimizasyon hesabının içinde yer alması, bu yöntemin önemli özelliklerini oluşturur.

Hesaplama Formüllerinin Çıkarılması:

Yıllık maliyetler (K), malzeme ve montaj tutarları (K_M) ile kullanılacak iletim (pompalama) enerjisi tutarları (K_E) nin toplamından oluşur:

$$K = K_M + K_E \quad (\text{TL/yıl}) \quad (10)$$

Malzeme ve montaj tutarları (K_M);

$$K_M = b \sum n_i \cdot k_{oi} \cdot (D / D_o)^m \quad (\text{TL/yıl}) \quad (11)$$

bağıntısından bulunabilir.

Burada:

- b : Yatırım maliyet faktörü (faiz, amortisman ve yatırımla ilgili diğer tutarlar)
- n : Mevcut birimlerin sayısı (örneğin; boru uzunluğu, boru bağlantı parçası, armatürler, kaynak dikişleri, ve benzerleri)
- k : Birim başına maliyet
- D : Boru çapı, m
- m : Maliyet üssü
- "o" indisi : Referans (isteğe göre seçilen) değerleri gösteriyor.
- "i" indisi : Herbir boru hattı elemanın değerlerini gösteriyor.

Enerji tutarları (K_E) ise;

$$K_E = (\Delta p \cdot m \cdot z \cdot C_E \cdot / \rho \cdot \eta) \cdot 10^{-3} \quad (\text{TL/yıl}) \quad (12)$$

kullanılarak hesaplanabilir.

Burada:

- Δp : Basınç kaybı, N/m²
 m : Kütleli debi, kg/s
 ρ : Yoğunluk, kg/m³
 C_E : Enerjinin fiyatı, TL/kWh
 z : Yıllık işletme saati, h/yıl
 η : İletim düzeneğinin verimi

Basınç kaybı (Δp),

$$\Delta p = \frac{\rho w^2}{2} \left(\frac{\lambda L}{D} + \sum \xi \right) \quad (\text{N/m}^2) \quad (13)$$

ve hızın (w),

$$w = Q / A = 4 \cdot m / \pi \cdot \rho \cdot D^2 \quad (\text{m/s}) \quad (14)$$

bilinen formüllerinin kullanılmasıyla,

$$\Delta p = \frac{0.81 m}{\rho \cdot D^4} \left(\frac{\lambda L}{D} + \sum \xi \right) \quad (\text{N/m}^2) \quad (15)$$

elde edilir.

Enerji tutarları ve basınç kaybı hesapları sabit yoğunluk koşuluna dayanır ve böylece sadece sıvı akışkanlar için geçerlidir. Bununla beraber, şayet basınç düşüşü toplam basınca göre küçükse, gazlar ve buharlar için de kullanılabilir. Bu, proses ve enerji tekniği tesislerindeki hemen hemen tüm hatlar için ortaya çıkar. Sadece çok düşük basınç aralığında (vakum) dikkatli olmak gereklidir. Yoğunlukla, tahmin edilen ortalama gaz yoğunluklarını hesaba katmak yeterlidir.

(12) ve (15) no'lu bağıntıların kullanılmasıyla,

$$K_E = 0.81 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{m^3}{\rho^2 \cdot D^4} \cdot \frac{z C_E}{\eta} \left(\frac{\lambda L}{D} + \sum \xi \right) \quad (\text{TL/yıl}) \quad (16)$$

ve referans çap, D_o 'nun (16) bağıntısına konulmasıyla,

$$K_E = 0.81 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{m^3}{\rho^2 \cdot D_o^4} \cdot \left(\frac{D}{D_o} \right)^4 \cdot \frac{z C_E}{\eta} \left(\frac{\lambda L}{D_o} \cdot \frac{D_o}{D} + \sum \xi \right) \quad (\text{TL/yıl}) \quad (17)$$

bulunur.

(11) ile (17) bağıntıları, (10)'da yerine konulur ve toplam tutarları minimum yapan,

$$\frac{\sum K}{\sum (D/D_o)} = 0 = b \sum n_i k_{oi} m_i (D/D_o)^{m_i-1} +$$

$$0.81 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{\rho^2 \cdot D_o^4} \frac{z C_E}{\eta} \sum - 5 \frac{\lambda L}{D_o} (D/D_o)^{-6} - 4 \sum \xi (D/D_o)^{-5} \sum$$
(18)

bağıntısı elde edilir. Bu bağıntı sayısal olarak çözülebilir. Burada, eşitliğin kapalı çözümünü elde edebilmek için, boru hattının tüm elemanlarının ortalama gider üssü (m_o) kullanılacaktır.

(18) bağıntısının toplam ifadesi,

$$\sum n_i k_{oi} m_i (D/D_o)^{m_i - m_o + m_o - 1} = (D/D_o)^{m_o - 1} \sum n_i \cdot m_i \cdot k_{oi} (D/D_o)^{m_i - m_o}$$

şeklinde yazılır ve (D/D_o) olarak düzenlenirse,

$$\left(\frac{D}{D_o} \right)^{m_o + 4} = \frac{0.81 \cdot 10^{-3} \cdot m^3 \cdot z C_E \sum - 5 \frac{\lambda L}{D} + 4 \sum \xi \sum}{\eta \cdot \rho^2 \cdot D_o^4 \cdot b \sum n_i \cdot m_i \cdot k_{oi} \cdot (D/D_o)^{m_i - m_o}}$$
(19)

bulunur ve hattın optimum çapı,

$$D_{opt} = \sqrt[m_o + 4]{\frac{0.81 \cdot 10^{-3} \cdot m^3 \cdot z C_E \sum - 5 \frac{\lambda L}{D} + 4 \sum \xi \sum}{\eta \cdot \rho^2 \cdot D_o^4 \cdot b \sum n_i \cdot m_i \cdot k_{oi} \cdot (D/D_o)^{m_i - m_o}}}$$
(20)

olarak elde edilir. (D) çapı, (20) bağıntısının sağ tarafında da görülmektedir. Bundan ötürü hesaplama için bu çapın tahmin edilmesi gerekmekte olup, bununla ilgili açıklamalar ilerideki bölümde verilecektir.

Maliyet Faktörü ve Maliyet Üssünün Bulunması:

Kullanılan boru elemanlarının maliyet faktörleri (k_{oi}) ve maliyet üssleri (m_i) yapılan ve daha sonra hesaplanan tesislerin değerlendirilmesiyle bulunabilir. Bu arada, malzeme ve montaj tutarlarının ayrı ayrı göz önüne alınması amaca uygundur. Çünkü, bunların herikisi için farklı maliyet üssleri geçerlidir. Burada, Fischer [3] tarafından bazı malzemeler için maliyet faktörleri kullanılacaktır. Fischer'in değerlendirilmelerine dayanarak, aşağıdaki hesaplamalar için DN 200 ($D_o = 0.2$ m) referans nominal çapı ve ortalama gider üssü (m_o) 1.6 olarak seçildi.

Pratik Hesaplama Formülünün Çıkarılması:

Pratik hesaplama için (20) no'lu formül;

$$\text{işletme karakteristik katsayısı, } B = \frac{z \cdot m^3}{\eta \cdot \rho^2} \quad (21a)$$

$$\text{kayıp karakteristik katsayısı, } \sum V = 0.5 \frac{\lambda L}{D} + 4 \sum \xi \quad (21b)$$

$$\text{eleman sayıları, } E_i = n_i \cdot m_i \cdot k_{oi} \cdot (D / 0.2)^{m_i - 1.6} \quad (21c)$$

$$\text{ve sabitler } 0.177 = 0.2 \sqrt[5.6]{\frac{0.81 \cdot 10^{-3}}{(0.2)^4}} \quad (21d)$$

olmak üzere,

$$D_{opt} = 0.177 \sqrt[5.6]{\frac{C_E \cdot B \cdot \sum V}{b \cdot \sum E}} \quad (m) \quad (22)$$

olarak yazılabilir.

Örnek :

Şekil 1'de izometrik olarak gösterilen basit bir boru hattı göz önüne alınsın. Aşağıda verilen değerler için boru hattının optimum çapı bulunsun.

Borunun malzemesi	: Alaşımsız çelik
Kütleli debi (m)	: 500 kg/s
Yoğunluk (ρ)	: 1 000 kg/m ³
Yıllık işletme saati (z)	: 8 000 h/yıl
Hesaplanan enerji fiyatı (C_E)	: 10 000 TL/kWh
Hesaplanan yatırım maliyeti faktörü (b)	: 20 000 TL /TL-yıl

Çözüm:

Kabuller:

- Burada, Şekil 2'den 5'e kadar verilen maliyet diyagramları (k ve m değerleri için) kullanılacaktır .
- Makinaların karşı flanşları, boru hattının taşıtırılması, armatürler, yalıtım ve diğer boru hattı elemanları burada göz önüne alınmayacaktır (Aslında, şayet varsa, alınması önerilir).

$w = 2.5 \text{ m/s}$ hız değeri için boru çapı $D = 0.5 \text{ m}$ olarak tahmin edilsin. İşletme kayıp katsayısı, B ,

$$B = \frac{z \cdot m^3}{\eta \cdot \rho^2} = \frac{8000 \cdot 500^3}{1 \cdot 1000^2} = 1\ 000\ 000$$

olarak elde edilir. Kayıp katsayısı ve eleman sayılarının toplamı Tablo 9' da gösterildiği gibi, kolayca hesaplanabilir.

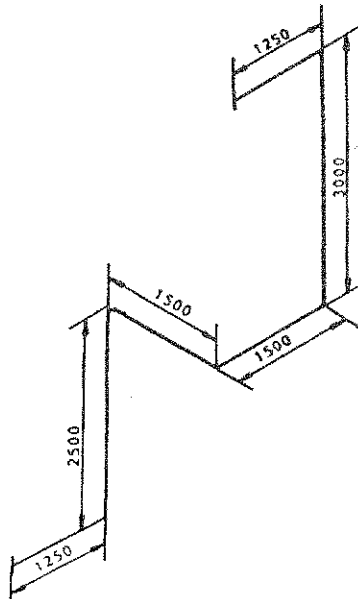
Tablo 9. Hesaplama Örneği İçin Kayıp Karakteristik Katsayısı (V) ve Eleman Karakteristik Katsayılarının (ΣE) Toplamı

Boru Hattı Elemanı (i)	Miktar	Maliyet Faktörü ($k_{0.2i}$) x 10^5	Maliyet Üssü (m_i)	$(D/0.2)^{m_i-1.6}$	Eleman Karak. Sayısı (E_i)x 10^5	$\lambda L / D$ $\Sigma \xi$	Kayıp Karak. Katsayısı (V_i)
Boru malzemesi	11	55	1.9	1.32	1513	0.44	2.2
Boru montajı		59.4	0.95	0.55	342	--	--
Dirsek malzemesi	5	94	2.6	2.50	3055	1.5	6.0
Dirsek montajı		27	2.02	1.47	401	--	--
Flanş malzemesi	2	89	1.8	1.20	385	--	--
Flanş montajı		19.8	1.4	0.83	46	--	--
Kaynak dikişi	12	120	1.35	0.80	1546	--	--
Diğerleri	--	--	--	--	--	--	--
					$\Sigma E = 7288$ $x10^5$	$\Sigma V =$	8.2

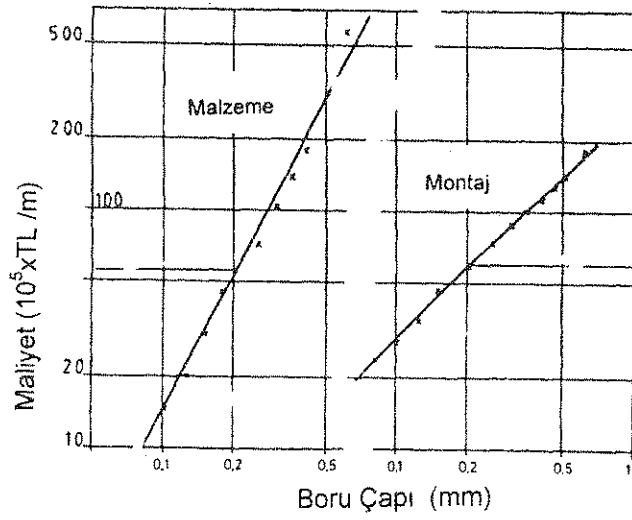
Optimum boru çapı, D_{opt} , (22) no'lu formülden ,

$$D_{opt} = 0.177 \sqrt[5.6]{\frac{10\ 000 \times 1\ 000\ 000 \times 8.2}{20\ 000 \times 7\ 288}} = 0.548 \text{ m}$$

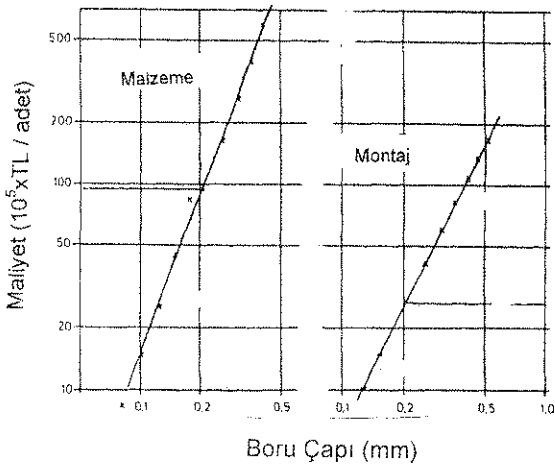
olarak hesaplanır.



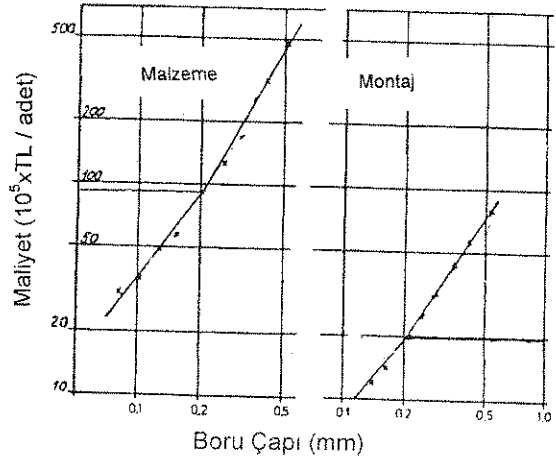
Şekil 1. Örnek Hesaplamadaki Boru Hattının İzometrik Çizimi



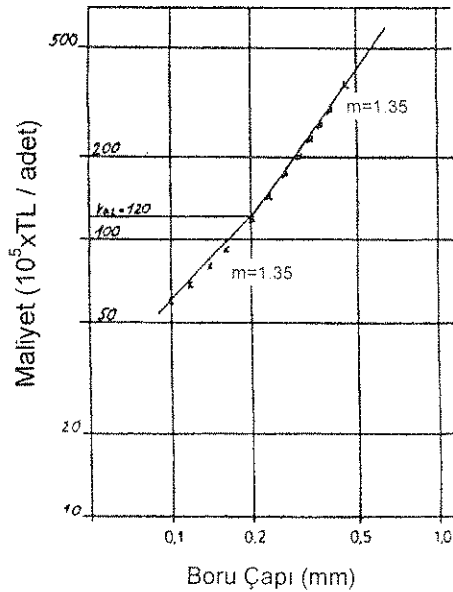
Şekil 2. Boru Malzemesi ve Montajı için Maliyet Faktörü (k) ve Maliyet Üssü (m) (malzeme : alaşımsız çelik)



Şekil 3. Dirsek Malzemesi ve Montajı için Maliyet Faktörü (k) ve Maliyet üssü (m)



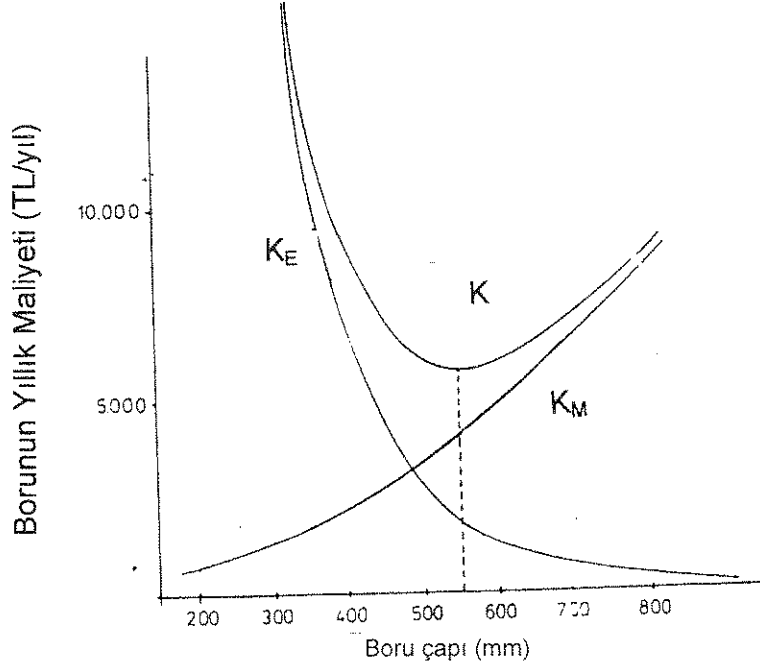
Şekil 4. Flanş Malzemesi ve Montajı için Maliyet Faktörü (k) ve Maliyet üssü (m)



Şekil 5. Kaynak Dikişleri için Maliyet Faktörü (k) ve Maliyet üssü (m)

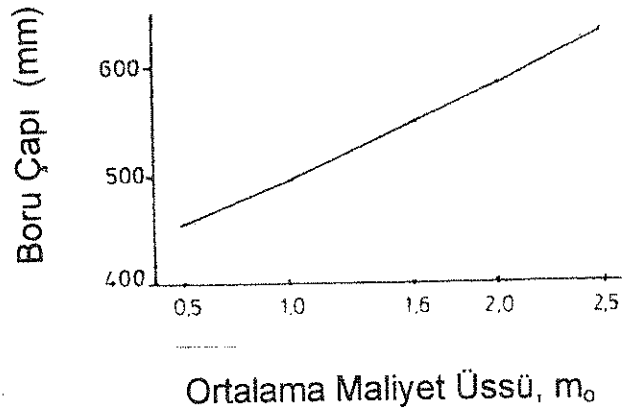
Hesaplama Yönteminin Denenmesi

Hesaplama yönteminin denenmesi için bir kıyaslama hesabı yapıldı. Sonuçlar Tablo 10 ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Sonradan yapılan hesaplamalar, bunun, optimizasyon sonucuyla uyum içinde olduğu ortaya koymuştur.



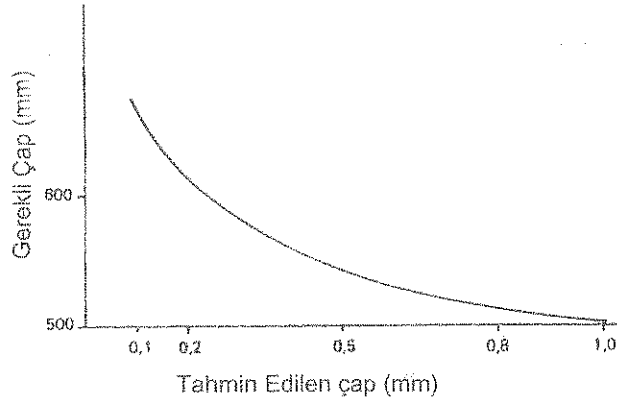
Şekil 6. Kullanılan Çapa Bağlı Olarak Boru Hattının Toplam Maliyetleri

Hesapların çıkarılmasında, değeri Fischer tarafından $m_0 = 1.6$ olarak verilen gelişigüzel seçilen ortalama maliyet üssü kullanıldı. Hesaplama yönteminin geçerliliğini denemek için, Şekil 7'de gösterildiği gibi, bu değer 0.5 ile 2.5 arasında değiştirildi.



Şekil 7. Boru Çapına Bağlı Olarak Ortalama Maliyet Üssünün Değişimi

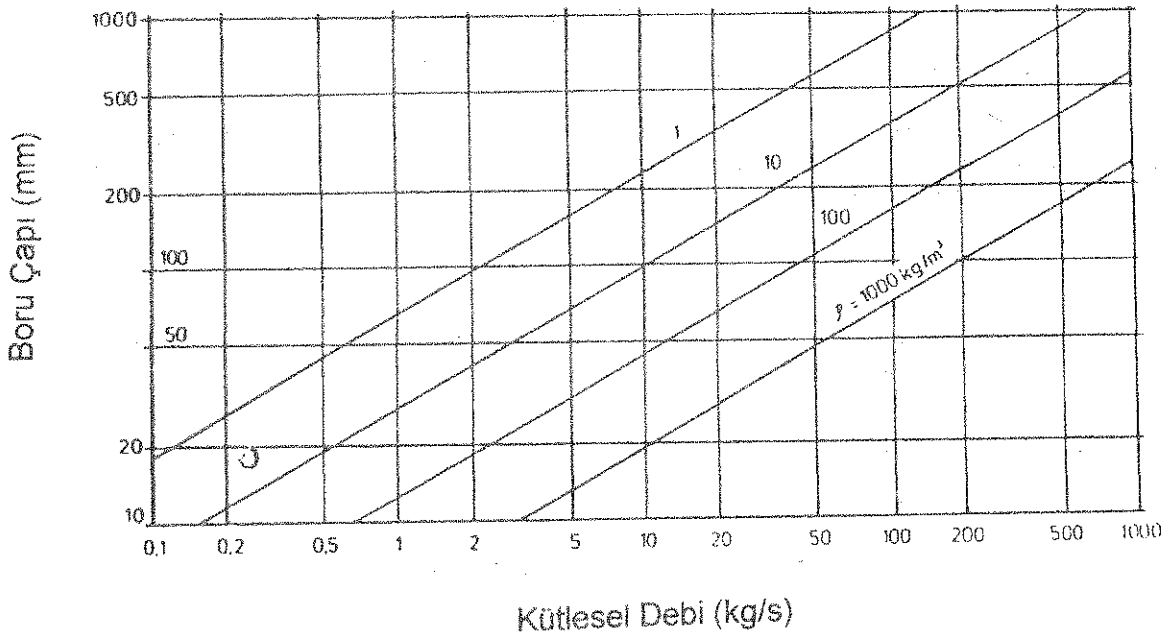
Boru çapı, boru sürtünme kayıpları ve malzeme tutarları hesaplanmadan önce tahmin edilmelidir. Tahmin edilen çapın optimizasyon sonucuna olan etkisi Şekil 8'de gösterilmiştir. Tahmin, genel olarak yeterli düzeyde olunca, hiçbir iterasyon işlemi gerekli olmayacaktır. Ayrıca, boru çapının çok büyük tahmin edilmesiyle daha küçük optimum çap değerlerinin elde edileceği Şekil 8'den görülmektedir. Gerçek optimum değer ise, tahmin ile hesaplama sonucu arasında kalmaktadır.



Şekil 8. Tahmin Edilen Boru Çapının Değişimi

Optimizasyon Parametrelerinin Etkisi

Beklendiği gibi, akışkanın kütleli debisi ve yoğunluğu veya durumu hesaplama sonucuna en fazla etkiyi göstermektedir (Şekil 9). Bu diyagramdaki değerler, örnek problemde ele alınan boru hattını, verilen malzeme ve proses koşulları içermektedir. Diğer optimizasyon parametrelerinin etkisi, Şekil 10a'dan f 'ye kadar gösterilmiştir.



Şekil 9. Kütleli Debi ve Akışkanın Yoğunluğunun Değişimi

Şekil 10a'da, başka bir malzeme veya basınç sınıfının kullanılması durumundaki optimizasyon sonucu gösterilmiştir. Bu arada, tüm boru hattı elemanlarının malzeme tutarlarının aynı oranda değiştiği kabul edildi. Montaj fiyatları ise, malzemeden bağımsız olarak incelendi.

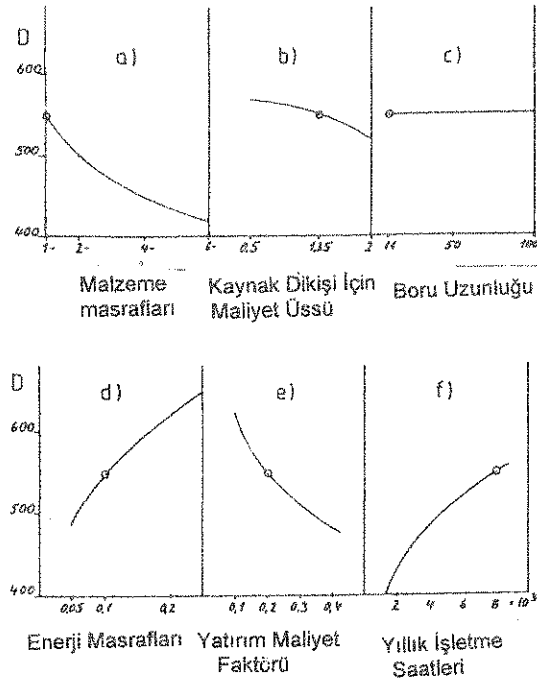
Şayet boru hattı elemanı için maliyet üssünün hiçbir değeri bulunamazsa, bu değer bir tahmine dayanmalıdır. Kaynak dikişleri için maliyet üssüne örnek olarak, Şekil 10b'de optimizasyon sonucunun kabul edilen değerleri gösterilmiştir.

Geometrik olarak benzer hatta gerçek boru uzunluğunun tam olmayan tahmininin sonuca çok az etkisi vardır (Şekil 10c). Enerji maliyetlerindeki değişikliklerin ve yatırımların etkileri birbirlerini önemli ölçüde dengeliyor.

Şekil 10d'den açıkça görüldüğü gibi, enerji fiyatı, optimizasyon sonucunu önemli ölçüde etkilemektedir. Bundan ötürü, hesaplarda kullanılan değerlerin her proje için tam olarak uygun olduğu kontrol edilmelidir.

Yatırım maliyet faktörünün (tüm yatırım ile orantılı maliyetlerin, örneğin bakım maliyetleri, göz önünde bulundurulmasıyla) aynı zamanda büyük bir etkisi vardır. Bu faktör, optimum çap değerinin enerji fiyatının aksine kaydırılmasına neden oluyor. Bundan ötürü, projeye özgü değerlerin kullanılması önerilir (Şekil 10e).

Yıllık işletme saatlerinin azalmasında, optimum daha küçük çaptaki boruya kayıyor. Çünkü, enerji giderlerinin etkisinin daha az önemi oluyor.



Şekil 10. Optimizasyon Parametrelerinin Etkisi

3. SONUÇ

Boru hatlarının malzeme ve işçilik giderlerinin, proses ve enerji tekniğine dayalı tesislerin toplam giderlerindeki payı göz ardı edilmeyecek düzeydedir. Bu, bizi, boru hatlarının tasarımında klasik yöntemler (ekonomik hız yöntemi gibi) yerine, daha geniş kapsamlı bir hesaplama yönteminin kullanılmasına zorlamaktadır. Bir başka deyişle, burada sunulan optimum boru çapının belirlenmesi yöntemi gibi, mühendisliğe yakışır optimum çözümlerin kullanılmasıdır. Zaten mühendislik de, optimum çözümlerin bulunması demek değil midir?

Boru çaplarının belirlenmesinde optimum hesaplama yönteminin kullanılmasında, göz önüne alınan boru hattının tüm elemanları için maliyet faktörlerinin ve maliyet üslerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu değerlerin bulunması, bir yandan önemli ölçüde zaman gerektirmekte, öte yandan da maliyet faktörlerinin de fiyat değişimine paralel olarak güncelleştirilmesi (bu durum, özellikle ülkemizde büyük önem taşımaktadır) zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Bundan ötürü, bu tür değerlendirilmelerin merkezi bir yerde yapılması ve ilgili tasarım değerlerinin bu konuda çalışan mühendislerin hizmetine sunulması yararlı olacaktır.

GÖSTERİMLER

- A_i : Borunun kesit alanı, m^2
 B : İşletme karakteristik katsayısı
 b : Yatırım maliyet faktörü (faiz, amortisman ve yatırım ile ilgili diğer tutarlar)
 C : Viskozite, yoğunluk ve sıcaklık faktörü
 C_E : Enerjinin fiyatı, TL/kWh
 c_s : Akışkandaki ses hızı, m/s
 D : Boru çapı, m
 D_i : Boru iç çapı, m
 D_o : Referans çap, m
 D_{opt} : Optimum boru çapı, m
 e : Yıllık enflasyon oranı
 E_i : Eleman sayısı
 F : Yıllık yatırım maliyet faktörü
 i : Yıllık faiz oranı
 K : Yıllık maliyetler, TL/yıl
 k : Birim başına maliyet (maliyet faktörü)
 K_C : Toplam yatırım maliyeti, TL
 K_E : Enerji gideri, TL/yıl
 K_F : Sabit giderler, TL/yıl
 K_M : Malzeme ve montaj tutarları, TL/yıl
 K_o : İşletmenin yatırım maliyeti, TL
 L : Boru uzunluğu, m
 m : Kütleli debi, kg/s
 m : Maliyet üssü
 N : İletim gücü, kW
 n : Mevcut birimlerin sayısı (örneğin; boru uzunluğu, boru bağlantı parçası, armatürler, kaynak dikişleri, ve benzerleri)
 p_k : Su koçuyla ortaya çıkan basınç artışı, N/m^2
 Q : Hacimsel debi ($15^\circ C$ ve 101 kPa 'da), l/s
 s : Gazın yoğunluğunun $15^\circ C$ ve 101 kPa 'da havanın yoğunluğuna oranı
 T : Sıcaklık, K
 t : Tesisin ömrü, yıl
 V : Kayıp karakteristik katsayısı
 w : Hız, m/s
 z : Yıllık işletme saati, h/yıl

- ξ : Direnç katsayısı
 ρ : Yoğunluk, kg/m^3
 Δp : Basınç kaybı, N/m^2
 η : İletim düzeneğinin verimi
 μ : Akışkanın viskozitesi, $\mu Pa \cdot s$
 ρ : Akışkanın yoğunluğu, kg/m^3
 λ : Sürtünme katsayısı

"o" indisi : Referans (isteğe göre seçilen) değerleri gösteriyor.

"i" indisi : Herbir boru hattı elemanın değerlerini gösteriyor.

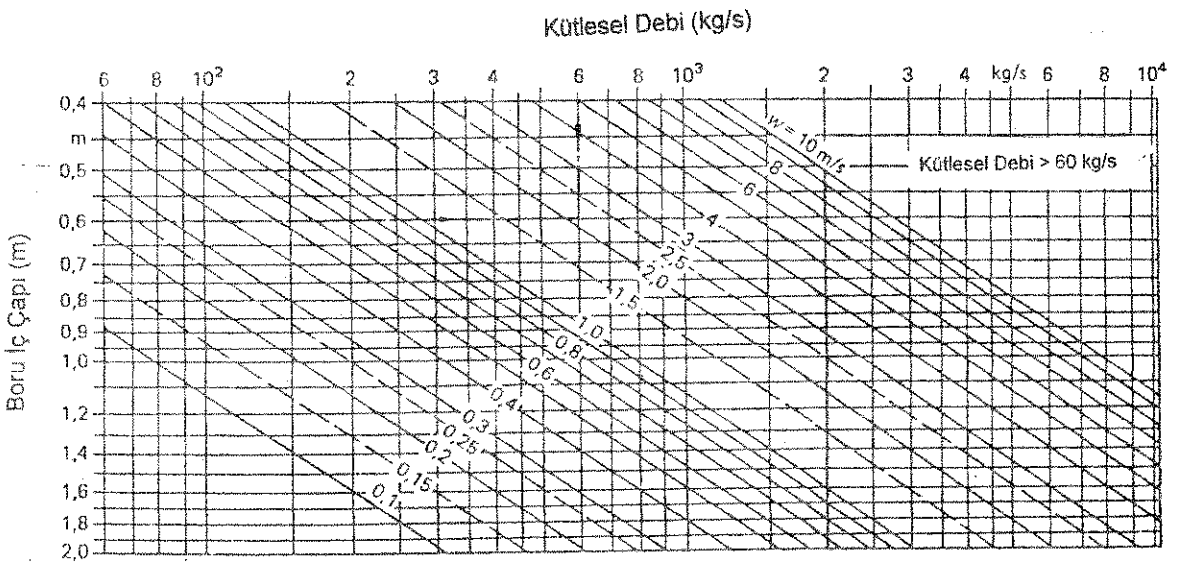
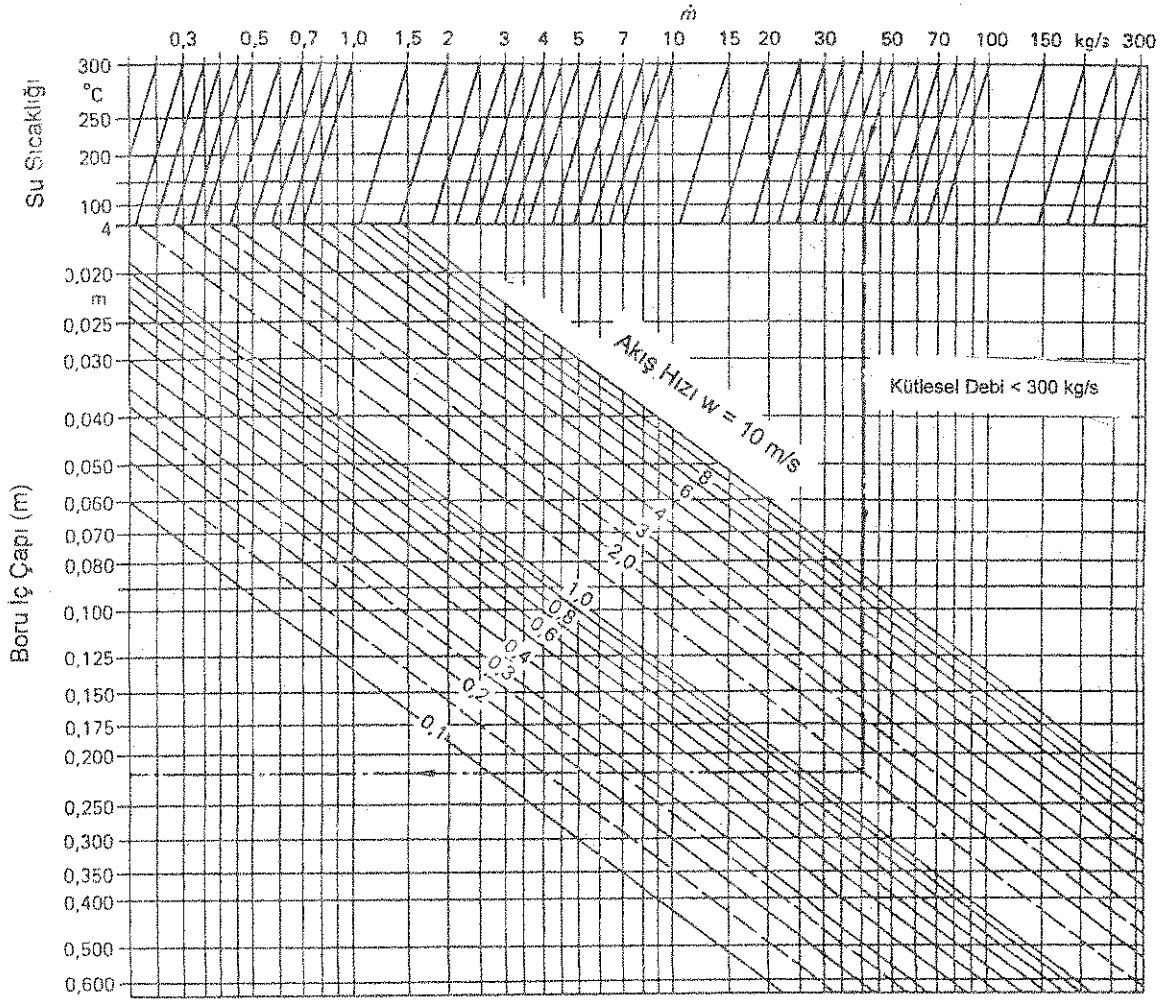
KAYNAKLAR

- [1] Ganapatthy, V. Selecting Optimum Steam Line Size Using Life Cycle Costing Methods. Nomograms for Steam Generation and Utilization. The Fairmont Press, Inc. USA. S. 128-130. 1985.
- [2] Chemical Engineering. Fast Way to Choose Pipe Diameters. Calculation and Shortcut Deskbook. Mc Graw Hill Company. S. 70.
- [3] Schmitt, W. Ermittlung des wirtschaftlich optimalen Durchmessers von Rohrleitungen in verfahrenstechnischen Anlagen. S.13-19.
- [4] ASHRAE Handbook. Fundamentals. Pipe Sizing. Chapret 33. 1993.
- [5] CALIQUA Waermegesellschaften. Handbuch der Heisswassertechnik. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf. S.230. 1974.
- [6] SKG STANDARDKESSEL . Durchflussgeschwindigkeiten. Richtlinien TGL 27-26000. 7 Haziran 1978.
- [7] WAERMETECHNISCHE ARBEITSMAPPE. Druckverlust durch Einzelwiderstaende in wasserdurchstroemten Rohren. Verlag des Verein Deutscher Ingenieure. Bölüm 9.8. 1988.
- [8] RECKNAGEL/SPRENGER. Taschenbuch fuer Heizung und Klima Technik. 81/82.
- [9] STEINMULLER Taschenbuch. Dampferzeugertechnik. Druckabfall. S.106-114. 1974.
- [10] WAERMEATLAS.
- [11] Onat, K., O. Genceli ve A. Arısoy. Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları. Teknik Yayıncılık Tanıtım A.Ş. S. 159-171. 1996.
- [12] HYDRA Handbook. Metal Bellows. Seamless Steel Tubes According To DIN 2448. S. 206. 1980.
- [13] ENERGY EFFICIENCY OFFICE /İngiltere. The Economic Thickness of Insulation for Hot Pipes. Fuel Efficiency Booklet 8. 1994.
- [14] Ganapatthy, V. How to Evaluate Heat-Exchanger Bids Using Life Cycle Costing Methods. The Fairmont Press, Inc. USA. S. 126-127. 1985.
- [15] ASME Section VIII. Division 1. Rules of Construction of Pressure Vessels. 1995.
- [16] AD-MERKBLAETTER. Technical Rules for Pressure Vessel. 1996.
- [17] Nolte, C. B. Optimum Pipe Size Selection. Clausthal, Trans. Tech. Publications. 1978.

ÖZGEÇMİŞ

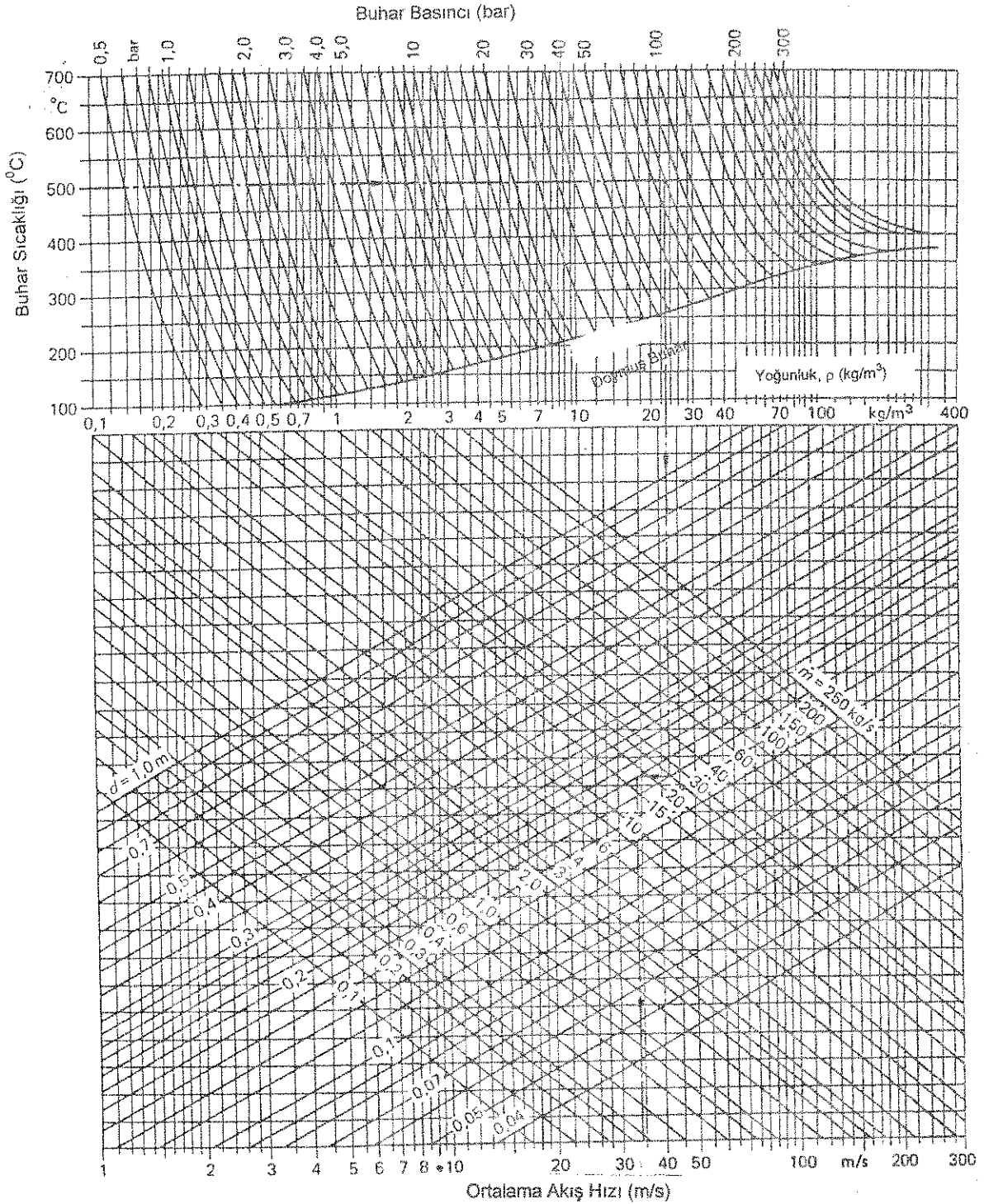
1958 yılında İzmir' de doğdu. İzmir Motor Teknik Lisesi' ni bitirdikten sonra (1976), yüksek öğrenimini sırasıyla; Lisans : Selçuk Üniversitesi (1980), Y.Lisans (ve Y.Dil Hazırlık Sınıfı): İ.T.Ü. (1985) ve Doktora (aynı zamanda DESA A.Ş.' de çalışarak): S.Ü. (1990)' nde tamamladı. İş hayatında ise; S.Ü.' nde Araş. Gör. (1982-1986), DESA A.Ş.' de (Demir, Kazan ve Makina Sanayii) Proje Başmühendisi ile Planlama ve Kalite Sağlama Md. Yard. (1986-1992) ve AKZO-KEMİPOL A.Ş.' de (Boya Fabrikası) Mühendislik ve Yatırımlar Md. Yard. (1992-1993) ve SIMPLOT ve BEŞİKÇİOĞLU A.Ş.' de (Dondurulmuş Parmak Patates Fabrikası) Bakım-Onarım Müdürü (1993-1995) görevlerinde bulundu. Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nin Makina ve Gıda Mühendisliği Bölümlerinde dersler verdi (1995-1996). 1996 yılından beri, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü ve Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. Evli olup, Almanca ve İngilizce bilmektedir.

EK-1 (1/2)



Şekil E1. İçinden Su Geçen Borularda Akış Hızı ve Boru Çapı [7]

EK-1 (2/2)



Şekil E2. içinden Buhar Geçen borularda Akış Hızı