

# YAYGIN OLARAK KULLANILAN BAZI SİHHİ TESİSAT ELEMANLARINDAKİ BASINÇ KAYIPLARININ KURAMSAL VE DENEYSEL OLARAK HESAPLANMASI

Hüseyin BULGURCU  
Güner ÖZMEN

## ÖZET

Basınç kayıpları faydalı enerjinin kaybı olduğundan, kayıpların en aza indirilmesi çok önemlidir. Ülkemizde sıhhi tesisat ve sulu sistem hesaplamalarında kullanılan yaklaşımları akışkanlar mekaniğinin temel prensiplerine tam olarak uymamakta, uygulamada ilk kuruluş maliyeti düşük ancak işletme esnasında çok fazla enerji tüketen projeler ortaya çıkmaktadır. Bu probleme çözüm olarak hesaplamalarda akışkanlar mekaniği prensiplerine uygun tasarımlar ortaya konması, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin optimize edilmesi gerekir. Bunun için yaygın olarak kullanılan sıhhi tesisat elemanlarının akış direnç katsayılarına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada piyasada kullanılan bazı sıhhi tesisat elemanlarının farklı akış debilerinde akış direnç katsayıları (K) bir deney düzeneği yardımıyla hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Basınç kayıpları, sıhhi tesisat, sulu sistemler.

## ABSTRACT

As the pressure loss means the loss of useful energy, it is very important to minimize such losses. The approach of calculations used in our country in plumbing and hydraulic systems does not fit exactly to the basic principles of fluid mechanics. In practice, the initial investment cost is low but too many energy-consuming projects arise. A solution to this problem is putting forward designs in these calculations in compliance with the principles of fluid mechanics and optimizing the initial investment and operating costs. For this, the flow resistances coefficients which are widely used in plumbing components are needed. In this study the flow resistance coefficients (K), which are commonly used in the sector, in different flow rates are calculated with the help of an experimental setup.

**Key Words:** Pressure drops, plumbing, water systems.

## 1. GİRİŞ

Akış kayıpları Bernoulli eşitliğine göre mSS biriminden enerji kaybı olarak tanımlanır. Akış kayıpları; sıvı veya gaz akışının olduğu ortamlarda kaçınılmaz bir durumdur. Ancak akış kayıpları azaltıldığında boru boyutları büyüyeceği için ilk yatırım maliyetleri artacaktır. Boru çapları küçük tutulmak istendiğinde ise işletme maliyetleri çok artmaktadır. Bu durumda ilk yatırım ve işletme maliyetleri arasında bir optimizasyon yapılması faydalı olacaktır.

### 1.1. Akış Kayıplarının Nedenleri

Enerjinin korunumu prensibi gereğince bir borudaki veya kontrol hacmindeki ideal akışlarda enerji kayıplarının olmaması gerekir. İdeal bir sıvı akışı halinde enerji dönüşümleri sadece bu farklı enerjiler arasında oluşur;

1. Akış işi (basınç yüksekliği)
2. Kinetik enerji (hız yüksekliği)
3. Potansiyel enerji (potansiyel yükseklik)

Bütün enerji formlarının hepsi kullanışlı olup kullanışlı bir enerji çıkışına dönüştürebilir veya basınçlı tanklar içinde depolanarak sıvı akışında kullanılabilir.

Gerçek sıvılar olması durumunda, sıvı akışı durumunda moleküller arasında sürtünme oluşur. Bu sürtünme iki ana nedenden dolayı ortaya çıkmaktadır.

1. Akışın akıntı dışı doğası
2. Sıvı viskozitesi sonucu sıvı sürtünmesi

Moleküller arasında akıntı sonucu gerçek sıvılarda enerjinin dördüncü bir biçimi ortaya çıkar, sıvıların iç enerjisinin transfer olan bir enerji olarak isimlendirilir. Sonuç olarak bu enerji sonucu sıvı ısınır. Bu enerji transferi genellikle denetlenmediğinden “kayıp” olarak kabul edilir. Çünkü sıvıdaki sıcaklık artışı çok küçüktür ve hızla yüzeylerden dağılır. Örnek olarak 10m’lik basınç kaybı su sıcaklığında sadece 0,023°C yükselmeye yol açar [1].

### 1.2. Basınç Kayıplarının En Aza İndirilmesi

Akış kayıpları faydalı enerjinin kaybı olduğundan, kayıpların en aza indirilmesi çok önemlidir. Buna rağmen borular, bağlantı elemanları ve tesisat üzerindeki akış kayıplarının en aza indirilmesi için oldukça büyük bir masraf yapılması kaçınılmaz olacaktır.

İdeal olanı enerji kayıplarının düşürülmesi ve sıvı akış sisteminin fiyatının artırılmasıdır. Ancak, birçok durumlarda, hatta büyük tesisatlarda bile mühendislik tecrübelerine dayanan çok ekonomik sistem tasarımı yapılmaz, geçmiş tecrübelerden dayanan pratik çözümlerden yararlanır. Bu durumda en ekonomik olarak tasarlanan sistem tasarımının ilk yatırım masrafı bir miktar azalabilecek iken işletme maliyetinin artması kaçınılmaz olur.

Akış kayıpları şu yollarla azaltılabilir:

1. Akış hızını düşürme. Çünkü basınç kayıpları, katmanlı (laminar) akışta hıza eşit olarak değişirken tedirgin akışta hızın karesiyle orantılı değişir. Akış hızı bir sistemde hız düşürülerek veya verilen bir debi için boru çapı büyütülerek düşürülür.
2. Sıvının viskozitesinin düşürülmesi. Bu genelde pratik bir uygulama değildir. Ancak fuel-oil gibi viskozitesi çok yüksek olan sıvılarda onları ısıtmak akışkanlıklarını artırır. Diğer bütün durumlarda basınç kayıplarının düşürülmesi ısıtma masraflarından ucuza gelecektir.
3. Girdap ve tedirginliklerin en aza indirilmesi. Bu, boru ve elemanlarında keskin köşelerden, ani kesit değişimlerinden pürüzlü iç yüzeylerden kaçınmak suretiyle dikkatli sistem tasarımıyla sağlanabilir. Buna rağmen, standart boru ve bağlantı elemanlarının kullanılması ekonomik olacaksa bunları basınç kayıplarını en aza indirecek şekilde seçmek gerekir [1].

### 1.3. Borularda Akış Kayıpları

Borularda akış kayıplarını hesaplamak için en kullanışlı formüllerden biri Darcy-Weisbach denklemidir (Darcy eşitliği olarak da bilinir).

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad (1.1.)$$

Burada;

$H_L$  = basınç kaybı (m akışkan akışı)  
 $L$  = borunun uzunluğu (m)  
 $u$  = ortalama anma akış hızı (m/s)  
 $g$  = yer çekim ivmesi ( $m/s^2$ )  
 $f$  = boyutsuz sürtünme faktörü

#### 1.4. Sürtünme Faktörünün Hesaplanması

Pratikte uygulamalarda sürtünme faktöründeki artış bilinmez ve akış hızları değiştiğinden dolayı sabit kabul edilemez. Sürtünme kaybının bulunması ile ilgili birçok tablo ve diyagramlar bulunmaktadır. Fakat EK-1’de gösterilen Moody diyagramı çok yaygın kullanıma sahiptir.

Moody diyagramı aslında sürtünme faktörü (sol y ekseninde) ve Reynolds sayısının (x ekseninde) logaritmik ölçekte çizimidir. Sağ taraftaki y eksenini şu şekilde tanımlanan bağıl pürüzlülük değerini verir:

$$\text{Bağıl pürüzlülük}(\epsilon_R) = \frac{\text{mutlak pürüzlülük}(\epsilon)}{\text{boru çapı}(d)}$$

Mutlak pürüzlülük yüzeydeki girinti çıkıntıların ortalama yüksekliğidir ve borunun malzemesine ve üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Tipik mutlak pürüzlülük değerleri Moody diyagramı içinde gösterilmiştir. Ekstrüzyonla üretilen (demir dışı) borular, cam ve plastik borular çok hassas yüzeye sahiptir ve tamamen sürtünmesiz olarak kabul edilebilir. En düşük sürtünme faktörü (verilen bir Reynolds sayısı ile) en aşağıdaki eğri “pürüzsüz borular”ı göstermektedir.

Reynolds sayısı 2000’in altında ise akış katmanlı (laminer)dır. Katmanlı akışta sürtünme faktörü, pürüzlülüğünden bağımsız olarak sadece Reynolds sayısına bağlıdır. Bu, diyagramın sol tarafında aşağıya doğru düz bir çizgi olarak gösterilmiştir. Sadece katmanlı akış için;

$$f = 64/Re$$

Bu değer Reynolds sayısı 2000 ile 4000 arasında olduğundan akış kararsız bir bölgededir ve diyagram kullanılamaz.

Reynolds sayısı arttığında akış tedirgin (türbülanslı) olmaya başlar. Diyagramda sağa yatay olarak tamamen tedirgin bölgeye gelindiğinde, sürtünme faktörü Reynolds sayısından bağımsız hale gelir. Bu bölge diyagramda kesikli çizgiler halinde ayrılmıştır. Sadece bu bölge için sürtünme faktörü hızın değişmesi ile değişmez ve basınç kayıpları eğrisi doğru bir parabol olacaktır.

**Tablo 1.** Ticari Borular İçin Tavsiye Edilen İç Yüzey Pürüzlülükleri [3]

Malzeme	Durum	Mutlak Pürüzlülük, $\epsilon$ (mm)	Belirsizlik (%)
Çelik	Levha metal, yeni	0,05	$\pm 60$
	Paslanmaz, yeni	0,002	$\pm 50$
	Ticari, yeni	0,046	$\pm 30$
	Perçinli	3,0	$\pm 70$
	Paslı	2,0	$\pm 50$
Demir	Döküm, yeni	0,26	$\pm 50$
	Bükümlü, yeni	0,046	$\pm 20$
	Galvaniz kaplı, yeni	0,15	$\pm 40$
	Asfalt döküm	0,12	$\pm 50$
Pirinç	Çekme, yeni	0,002	$\pm 50$
Plastik	Çekme boru	0,0015	$\pm 60$
Cam	-	Parlak	
Beton	Parlak	0,04	$\pm 60$
	Pürüzlü	2,0	$\pm 50$
Kauçuk	Parlak	0,01	$\pm 60$
Ahşap	Fıçı tahtası	0,5	$\pm 40$

### 1.5. Bağlantı Elemanlarındaki Basınç Kayıpları

Bağlantı elemanlarındaki basınç kayıpları sıklıkla “ikincil kayıplar” olarak adlandırılırsa da yanlış kullanım olduğunda bağlantı elemanlarından kaynaklanan basınç kayıpları boruların kendisinden kaynaklanan kayıpları geçebilir.

Bağlantı elemanlarındaki kayıpların hesaplanmasında çeşitli yöntemler kullanılabilir, en yaygın ve geniş kullanım “K faktörü” yöntemidir. K faktörü 1.2 eşitliğinde tanımlanmaktadır.

$$H_L = K \frac{u^2}{2g} \quad (1.2.)$$

Burada;

- $H_L$  = bağlantı elemanlarındaki basınç kayıpları (m akışkan akışı)
- $u$  = ortalama veya anma akış hızı (m/s)
- $g$  = yer çekim ivmesi ( $m/s^2$ )
- $K$  = boyutsuz bağlantı kayıp faktörü

K değerinin bulunması için birçok tablo ve diyagramlar elde edilebilir ki o pratikte şunlara bağlıdır:

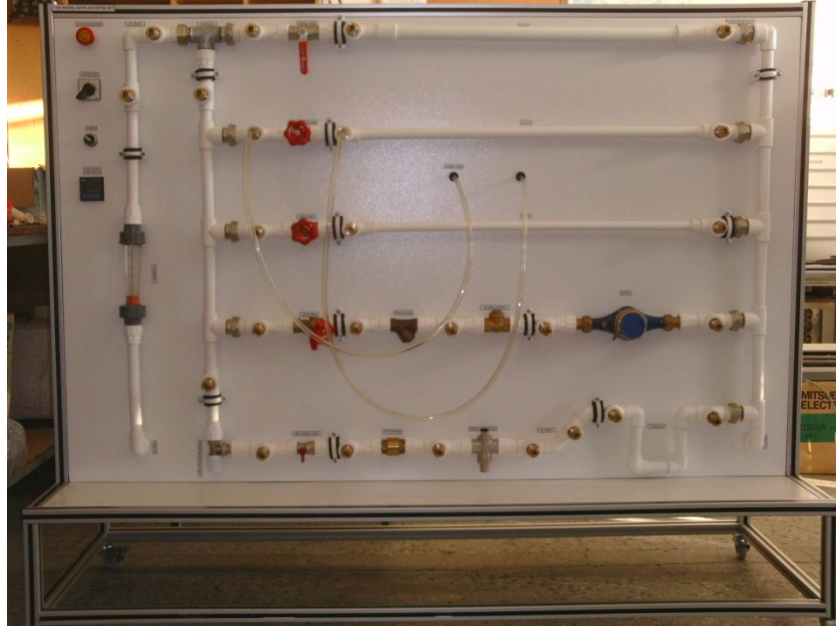
1. Bağlantı elemanının malzemesi ve üretim yöntemi
2. Bağlantı elemanının boyutu
3. Akışkanın doğası (durumu) (karakteri)

Buna rağmen K faktörünün hesabında yüksek hassasiyet gerektirmeyen durumlar için EK-2'deki ortalama değerleri birçok durumlarda kullanılabilir.

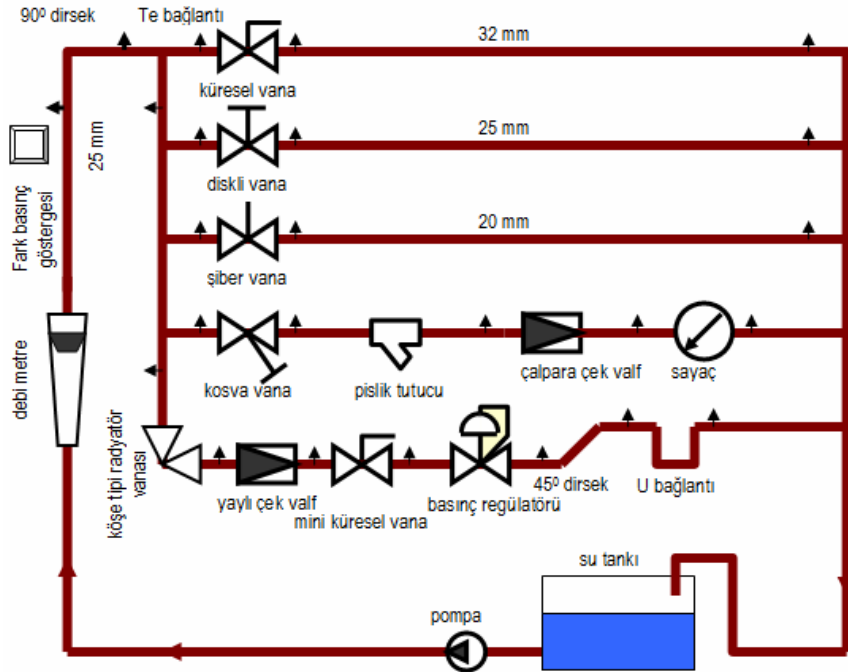
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Deney düzeneği olarak bir firmanın üretmiş olduğu T-420 basınç kayıpları eğitim seti kullanılmıştır [2]. Bu set üzerinde şamandıralı debimetre, sayısal fark basınç dönüştürücü ve göstergesi, çeşitli çaplarda (20, 25 ve 32 mm) PPRC borular, PPRC bağlantı elemanları, vanalar, çek valfler, pislik tutucu, su

sayacı, basınç düşürücü ve U parçası gibi elemanlar bulunmaktadır. Ölçüm yapılacak her elemanın giriş ve çıkışında çek valfli kontrol girişleri bulunmaktadır. Bu set üzerinde basma yüksekliği 40 m, debisi 2500 L/h olan bir pompa kullanılmıştır.



Şekil 1. Basınç Kayıpları Deney Seti [2]



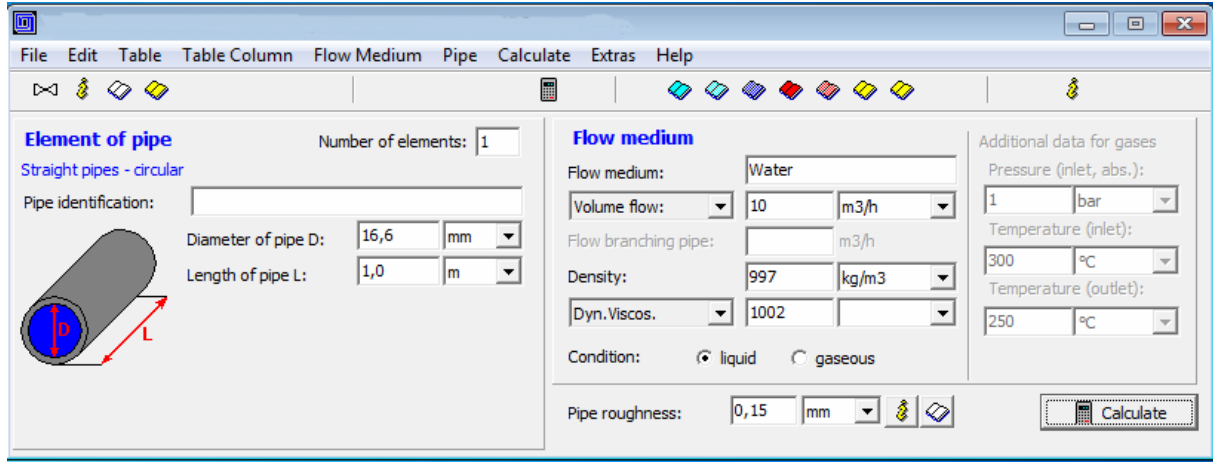
Şekil 2. Basınç Kayıpları Deney Setinin Şeması [2]

Kuramsal hesaplamalar için SF Pressure Drop 7.0 yazılımı kullanılmıştır [3]. Yazılım akış halindeki sıvı ve gazlardaki basınç kayıplarının hesaplanması için kullanılmaktadır (katmanlı ve tedirgin akış). Ayrıca bu yazılımla yükseklik farkından kaynaklanan ve kinetik enerjiye neden olan (dinamik basınç değişimleri) basınç değişimlerini de hesaplamak mümkündür.

SF Pressure Drop 7.0 ayrıca boru bağlantı elemanlarındaki, vanalardaki ve körüklerdeki basınç kayıplarını da hesaplayabilir. Farklı elemanlardaki basınç kayıplarını toplamını da hesaplamak mümkündür.

Basınç kayıplarını hesaplayabilmek için borulardaki pürüzlülük değerlerine ve akış ortamının yoğunluk, viskozite gibi değişkenlerine ihtiyaç vardır. Bu değişkenler çeşitli veri tabanlarından alınabilir. Ayrıca bu verileri kullanıcı tanımlı veri tabanı olarak kaydetmeniz mümkündür.

Aşağıdaki Şekil 3'te bu yazılıma ait ara yüz görülmektedir.



Şekil 3. SF Pressure Drop 7.0 Basınç Kayıpları Hesaplama Yazılımı Ara Yüzü

## 2.1 Sürekli Kayıpların Ölçümü

Sürekli kayıplar için 20 mm, 25mm ve 32 mm anma PPRC boru çapları için üç farklı uygulama yapılabilmektedir. Hesaplamalarda iç çap kullanıldığı için aşağıdaki Tablo 2'de dış çap- iç çap değerleri verilmiştir. Ölçümlerde 250, 500, 750, 1000, 1250, ve 1500 L/h akış debileri kullanılmıştır. Basınç kayıpları sayısal göstergeli fark basınç dönüştürücü [4] yardımıyla ölçülmüştür.

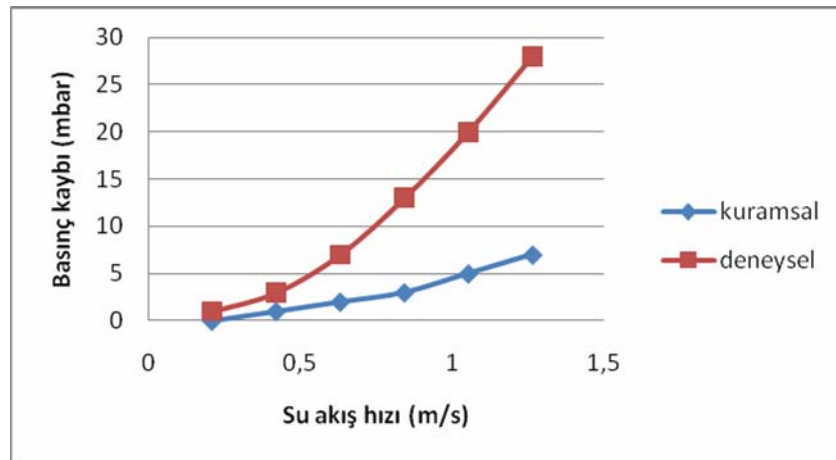
Deneylerde 25 mm PPRC boru bağlantısı sökülerek sırasıyla 3/4" siyah demir boru ve 3/4" galvaniz kaplı demir boru bağlanmış, sürekli basınç kayıpları ölçülmüştür. Özellikle PPRC borular ve demir borular arasındaki basınç kaybı farklarının görülmesi için bu ölçüm sonuçları çok önemlidir. Sürekli kayıplar için yapılan deney sonuçları Tablo 3'de gösterilmiştir.

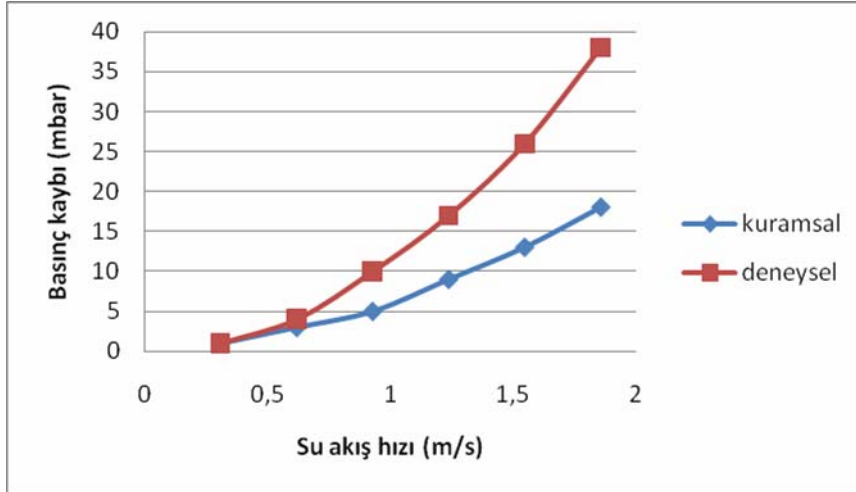
Tablo 2. Deneylerde Kullanılan Boruların Çap ve Kesit Değerleri

Boru dış çapı [mm]	32	25	20	3/4" galvanizli demir boru, 27	3/4" siyah demir boru, 26,5
Boru iç çapı [mm]	20,5	16,9	13,4	22,00	20,02
Kesit [m <sup>2</sup> ]	3,2989x10 <sup>-4</sup>	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,4095x10 <sup>-4</sup>	4,84x10 <sup>-4</sup>	4,008x10 <sup>-4</sup>

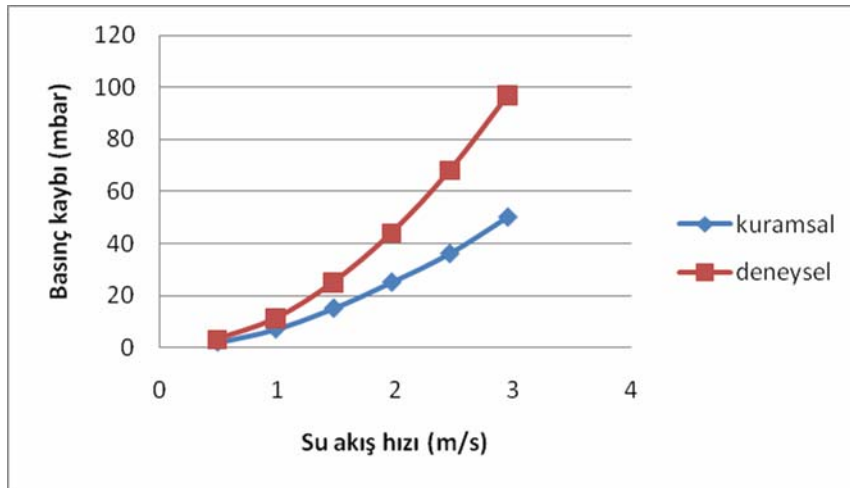
**Tablo 3.** Sürekli Basınç Kayıpları İçin Yapılan Deney Sonuçları

ÖLÇÜM	DEBİ L/h	Hız [m/s]	Reynolds sayısı, Re	Sürtünme faktörü, $f$	$L$ Uzunluk	$H_s$ [mbar]	$\Delta P$ [mbar]
PPRC boru, 32 mm	1500	1,263	25780	0,024	0,70	7	28
	1250	1,052	21480	0,025	0,70	5	20
	1000	0,842	17190	0,027	0,70	3	13
	750	0,631	12890	0,029	0,70	2	7
	500	0,421	8594	0,032	0,70	1	3
	250	0,210	4297	0,039	0,70	0	1
PPRC boru, 25 mm	1500	1,857	31270	0,023	0,76	18	38
	1250	1,547	26060	0,024	0,76	13	26
	1000	1,238	20800	0,026	0,76	9	17
	750	0,928	15640	0,028	0,76	5	10
	500	0,619	10400	0,031	0,76	3	4
	250	0,309	5212	0,037	0,76	1	1
PPRC boru, 20 mm	1500	2,955	39400	0,022	0,70	50	97
	1250	2,462	32870	0,023	0,70	36	68
	1000	1,970	26300	0,024	0,70	25	44
	750	1,477	19720	0,026	0,70	15	25
	500	0,985	13100	0,029	0,70	7	11
	250	0,492	6573	0,035	0,70	2	3
Siyah demir boru, ¾"	1500	1,039	26400	0,037	0,76	12	11
	1250	0,865	22000	0,037	0,76	9	6
	1000	0,692	17600	0,038	0,76	6	3
	750	0,519	13200	0,039	0,76	3	1
	500	0,346	8800	0,041	0,76	2	1
	250	0,173	4400	0,046	0,76	0	0
Galvaniz demir boru, ¾"	1500	0,860	24200	0,036	0,76	8	12
	1250	0,717	20020	0,037	0,76	5	10
	1000	0,573	16200	0,038	0,76	3	7
	750	0,430	12010	0,039	0,76	2	4
	500	0,286	8080	0,041	0,76	1	2
	250	0,143	4040	0,046	0,76	0	0

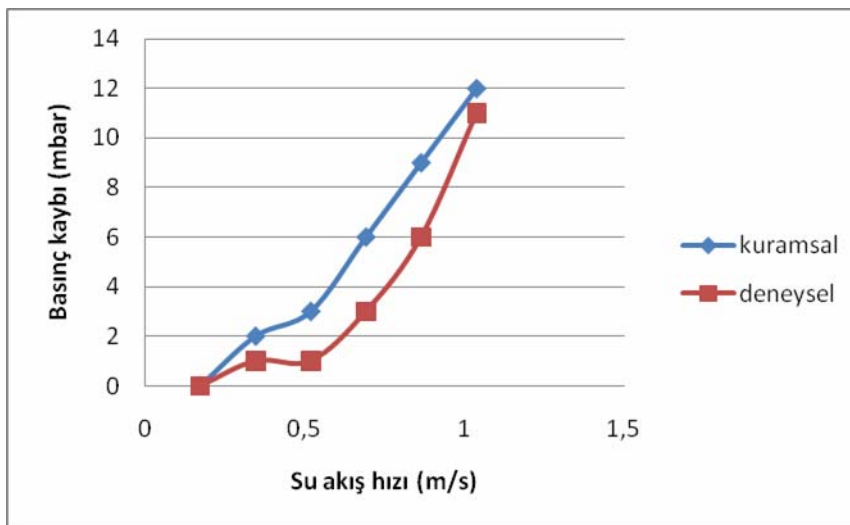
**Şekil 4.** PPRC boruda (32 mm) Hesaplanan ve Ölçülen Basınç Kayıpları



Şekil 5. PPRC Boruda (25 mm) Hesaplanan ve Ölçülen Basınç Kayıpları

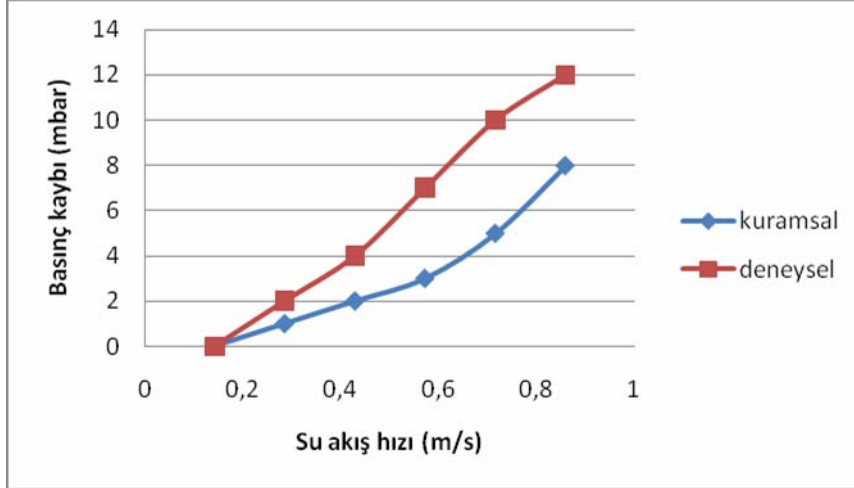


Şekil 6. PPRC Boruda (20 mm) Hesaplanan ve Ölçülen Basınç Kayıpları

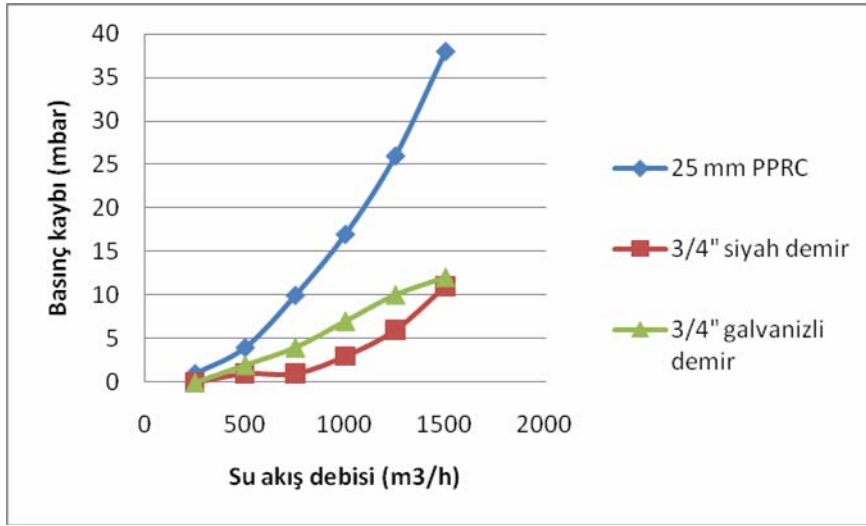


Şekil 7. 3/4" Siyah Demir Borudaki Kuramsal ve Deneysel Basınç Kayıpları





Şekil 8. 3/4" Galvaniz Demir Borudaki Kuramsal ve Deneysel Basınç Kayıpları



Şekil 9. 25 mm PPRC, 3/4" Siyah ve Galvanizli Demir Borulardaki Kayıplarının Karşılaştırılması

## 2.2. Yerel Kayıpların Ölçümü

Yerel kayıplar olarak deney düzeneğinde tam ve yarım dirsek, U bağlantı, galvaniz ve PPRC içten dışı Te, farklı vanalar ve çek valfler, basınç düşürücü, su sayaçları, pislik tutucular, vb. bağlantı elemanları kullanılmıştır. Su akış debileri olarak 250, 500, 750, 1000, 1250 ve 1500 L/h değerleri kullanılmış olup deneysel değerler Tablo 4'de listelenmiştir. Deneysel ve kuramsal hesaplama sonuçlarına ait grafikler Şekil 10 ila Şekil 18 arasında gösterilmiştir. Yine bu elemanlara ait akış direnç katsayılarındaki (K) deneysel ve kuramsal değerler arasındaki değişimler Tablo 5'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Yerel Kayıplar İçin Deneysel Ölçüm Değerleri

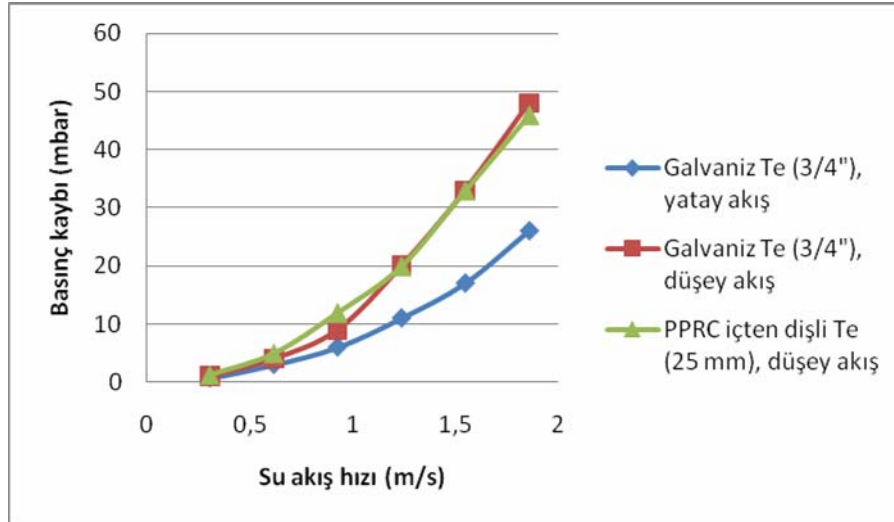
ÖLÇÜM	Debi [L/h]	Kesit [m <sup>2</sup> ]	Hız [m/s]	ΔP [mbar]	K
Dirsek, PPRC, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	36	2,08
	1250		1,547	25	2,08
	1000		1,238	16	2,08
	750		0,928	9	2,08
	500		0,619	4	2,08
	250		0,309	1	2,08
Ortalama					2,08
Te, galvaniz, ¾" (yatay akış)	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	26	1,50
	1250		1,547	17	1,42
	1000		1,238	11	1,43
	750		0,928	6	1,39
	500		0,619	3	1,56
	250		0,309	0,7	1,46
Ortalama					1,46
Te, galvaniz, ¾" (düşey akış)	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	48	2,78
	1250		1,547	33	2,75
	1000		1,238	20	2,60
	750		0,928	9	2,09
	500		0,619	4	2,08
	250		0,309	1	2,09
Ortalama					2,39
Küresel vana, pirinç, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	791	45,87
	1250		1,547	1472	123,01
	1000		1,238	2031	265,03
	750		0,928	2674	621,00
	500		0,619	3136	1636,90
	250		0,309	3619	7580,56
Sürgülü vana, pirinç, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	731	42,39
	1250		1,547	1418	118,50
	1000		1,238	2034	265,42
	750		0,928	2621	608,69
	500		0,619	3141	1639,51
	250		0,309	3644	7632,93
Diskli vana, pirinç, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	636	36,88
	1250		1,547	1278	106,80
	1000		1,238	1994	260,20
	750		0,928	2608	605,67
	500		0,619	3110	1623,33
	250		0,309	3649	7643,40

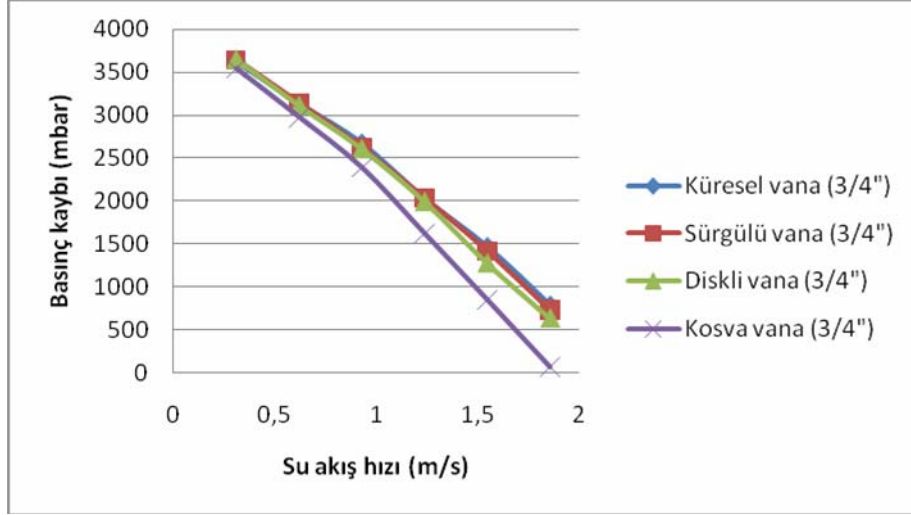
**Tablo 4.** (Devam)

ÖLÇÜM	Debi [L/h]	Kesit [m <sup>2</sup> ]	Hız [m/s]	ΔP [mbar]	K
Kosva vana, piriç, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	70	4,06
	1250		1,547	853	71,28
	1000		1,238	1623	211,79
	750		0,928	2390	555,05
	500		0,619	2975	1552,87
	250		0,309	3540	7415,04
Ortalama					
Pislik tutucu, piriç, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	41	2,37
	1250		1,547	21	1,75
	1000		1,238	7	0,91
	750		0,928	5	1,16
	500		0,619	4	2,08
	250		0,309	1	2,09
Ortalama					1,72
Çalpara çek valf, piriç, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	23	1,33
	1250		1,547	16	1,33
	1000		1,238	10	1,30
	750		0,928	7	1,62
	500		0,619	5	2,60
	250		0,309	1	2,09
Ortalama					1,71
Su sayacı, metal, ¾"	1400	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	278	16,12
	1250		1,547	227	18,97
	1000		1,238	180	23,48
	750		0,928	129	29,95
	500		0,619	90	46,97
	250		0,309	47	98,44
Ortalama					38,98
Radyatör vana, piriç, ½"	1500	1,4095x10 <sup>-4</sup>	2,955	457	10,19
	1250		2,462	1203	39,69
	1000		1,970	1873	96,52
	750		1,477	2587	237,17
	500		0,985	3073	633,46
	250		0,492	3599	2953,59
Ortalama					
Mini küresel vana, piriç, ¾"	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	393	22,79
	1250		1,547	1200	100,28
	1000		1,238	1845	240,76
	750		0,928	2564	595,45
	500		0,619	3094	1614,98
	250		0,309	3600	7540,76
Ortalama					
Yaylı çek valf, piriç, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	89	9,58
	1250		1,547	63	5,26
	1000		1,238	45	5,87
	750		0,928	32	7,43
	500		0,619	21	10,96
	250		0,309	12	25,13
Ortalama					10,70

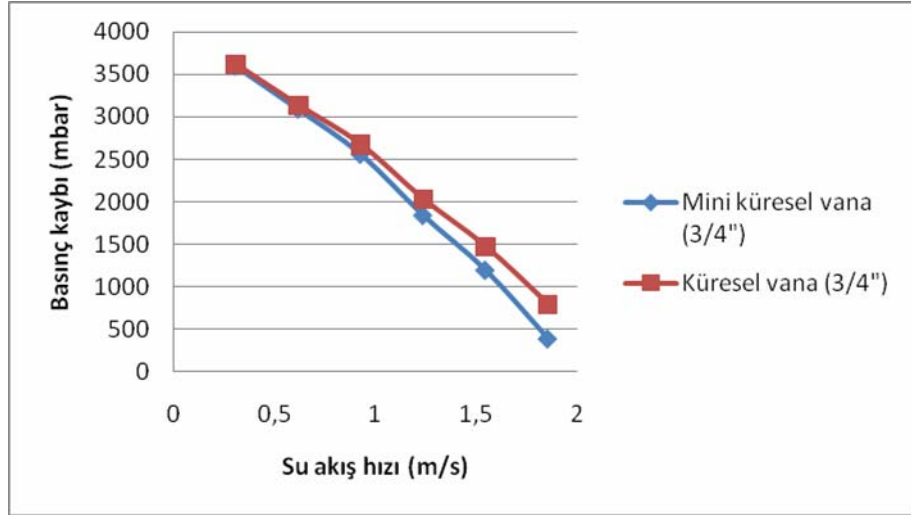
**Tablo 4.** (Devam)

ÖLÇÜM	Debi [L/h]	Kesit [m <sup>2</sup> ]	Hız [m/s]	ΔP [mbar]	K
Basınç regülatörü, pirinç, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	479	27,78
	1250		1,547	346	28,91
	1000		1,238	223	29,10
	750		0,928	126	29,26
	500		0,619	56	29,23
	250		0,309	15	29,32
	Ortalama				28,93
Yarım dirsek, 45°, PPRC, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	29	1,68
	1250		1,547	19	1,58
	1000		1,238	12	1,56
	750		0,928	7	1,62
	500		0,619	3	1,56
	250		0,309	0,8	1,67
	Ortalama				1,61
U parçası (4'lü dirsek), PPRC, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	68	3,94
	1250		1,547	46	3,84
	1000		1,238	29	3,78
	750		0,928	16	3,71
	500		0,619	7	3,65
	250		0,309	1,8	3,77
	Ortalama				3,78
İçten dişli Te, PPRC, 25 mm	1500	2,2420x10 <sup>-4</sup>	1,857	46	2,66
	1250		1,547	33	2,75
	1000		1,238	20	2,61
	750		0,928	12	2,78
	500		0,619	5	2,61
	250		0,309	1,3	2,72
	Ortalama				2,68

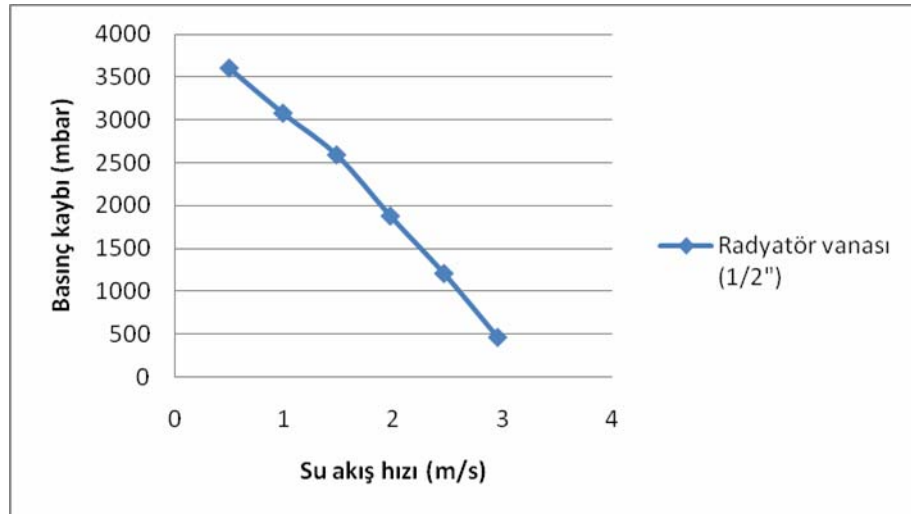
**Şekil 10.** Galvaniz Te ve İçten Dişli Te Bağlantı Elemanlarında Ölçülen Basınç Kayıpları



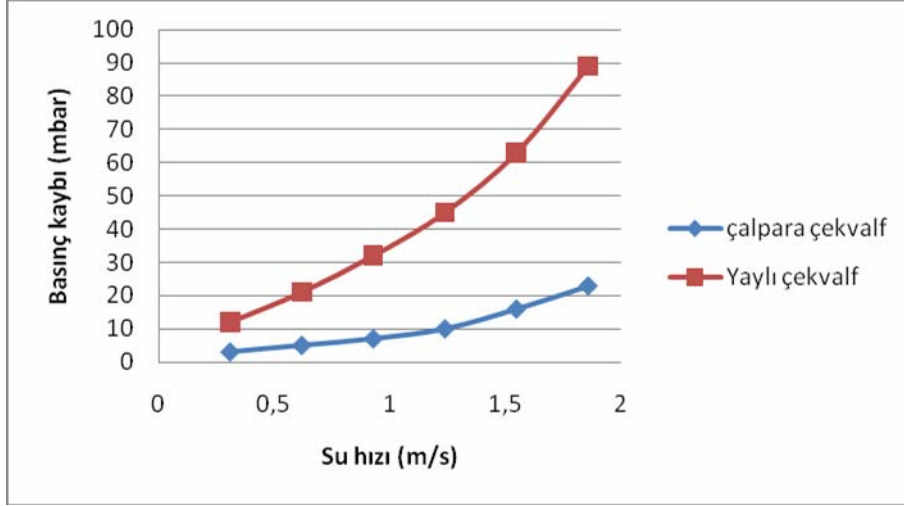
Şekil 11. Küresel, Sürgülü, Diskli ve Kosva Vanada Ölçülen Basınç Kayıpları



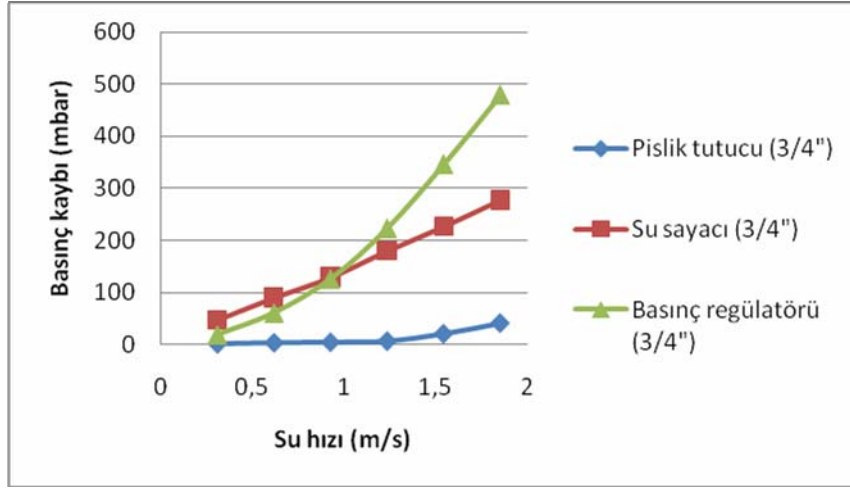
Şekil 12. Farklı Küresel Vanalarda Ölçülen Basınç Kayıpları



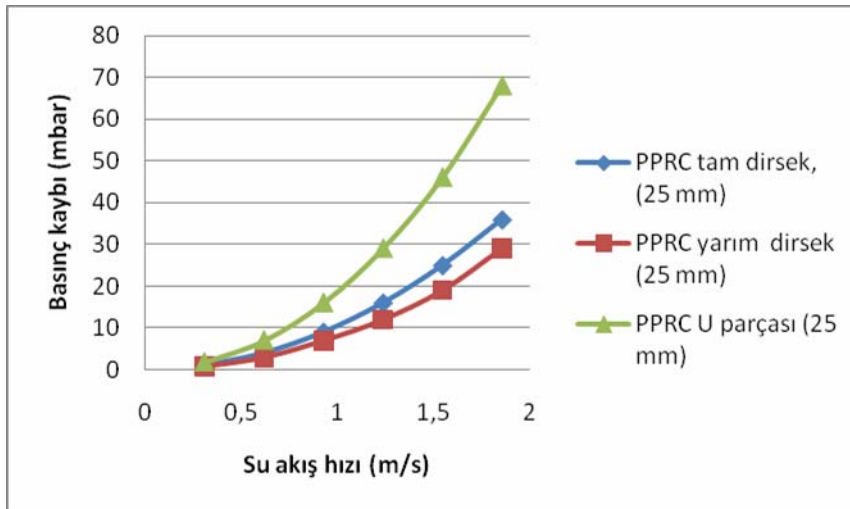
Şekil 13. Radyatör Vanasında Ölçülen Basınç Kayıpları



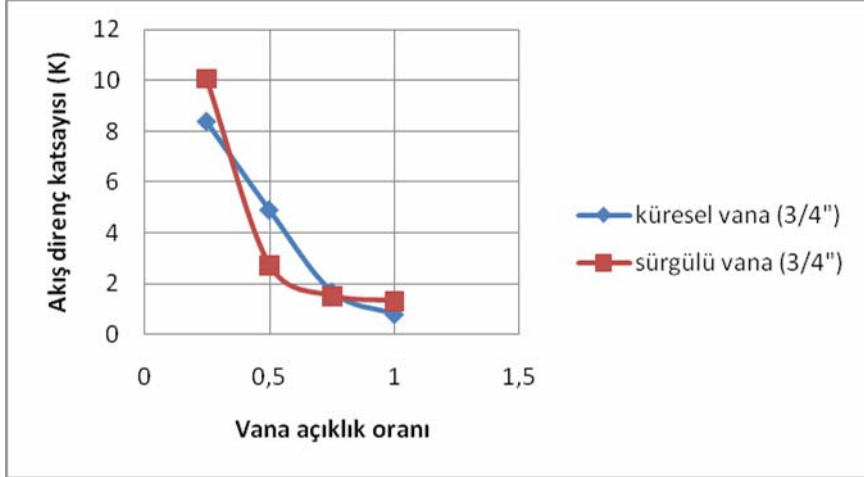
Şekil 14. Çalpara Çek Valf ve Yaylı Çek Valfte Ölçülen Basınç Kayıpları



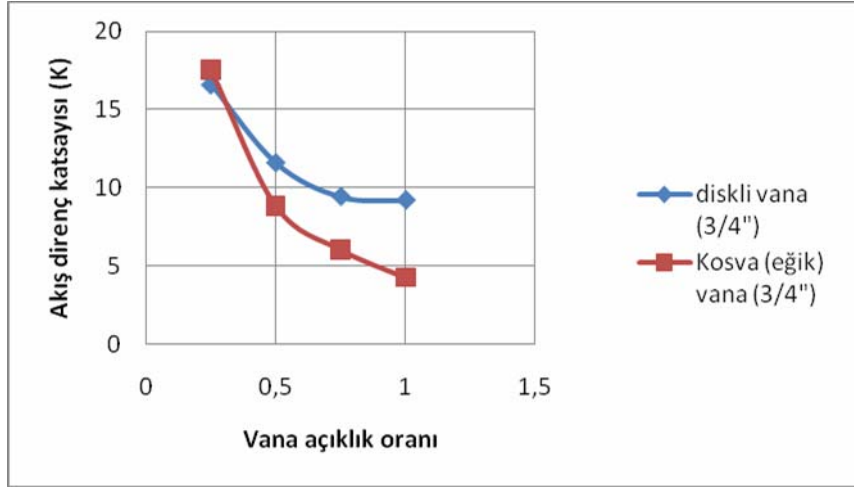
Şekil 15. Pislik Tutucu, Su Sayacı ve Basınç Regülatöründe Ölçülen Basınç Kayıpları



Şekil 16. Tam Dirsek, Yarım Dirsek ve U Parçasında Ölçülen Basınç Kayıpları



Şekil 17. Küresel Vana ve Sürgülü Vanadaki Açıklık Oranlarına Göre K Değerleri



Şekil 18. Diskli ve Kosva Vanalardaki Açıklık Oranlarına Göre K Değerleri

### 3. DENEY SONUÇLARI

Basınç Kayıpları Deney Cihazında yapılan ölçümlerde sıhhi tesisat işlemlerinde kullanılan çeşitli piring, galvanizli demir ve PPRC boru ve bağlantı elemanlarındaki basınç kayıpları ve K akış direnç katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre;

- 32 mm, 25 mm ve 20 mm PPRC borularda hesaplanan ve ölçülen basınç kayıpları incelendiğinde (Şekil 4, 5 ve 6) akış hızı arttıkça basınç kayıplarının da arttığı, ölçülen ile hesaplanan basınç kayıpları arasında çok önemli farklar olduğu ortaya çıkmıştır. Bu farkların ek yerlerinde oluşan çap daralmalarından kaynaklandığı sanılmaktadır.
- 3/4" siyah demir ve 3/4" galvanizli demir borulardaki deneysel ve kuramsal basınç kayıpları karşılaştırıldığında (Şekil 7 ve Şekil 8) siyah demir borularda kuramsal kayıp değerlerinin, galvanizli boruda ise deneysel değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir.
- 25 mm PPRC, 3/4" siyah demir ve 3/4" galvanizli demir boruda oluşan deneysel basınç kayıpları karşılaştırıldığında (Şekil 9) PPRC borunun diğerlerinden üç kat fazla basınç kaybı oluşturduğu, siyah demir borunun ise en az kayıp oluşturduğu görülmektedir.

- Galvaniz Te ve içten dışlı PPRC Te'lerde yapılan ölçümlerde düşey akış (kol akış) konumunda her iki tip Te'de benzer kayıp karakteristiklerinin olduğu görülmüştür (Şekil 10). Yatay akış sadece galvaniz Te için yapılmış olup kol akış durumuna göre kayıpların yarı yarıya azaldığı görülmüştür.
- Küresel, sürgülü, diskli ve eğik (kosva) vanalarda yapılan basınç kaybı ölçümlerine göre sanılanın aksine en yüksek basınç kaybı küresel vanada, daha sonra sırasıyla sürgülü, diskli vanalarda ve en düşük basınç kaybı kosva vanada ortaya çıkmıştır (Şekil 11).
- Mini ve normal küresel vanalarda yapılan karşılaştırmada düşük hızlarda her iki vananın da benzerlik gösterdiği ancak yüksek hızlarda mini küresel vananın daha avantajlı olduğu görülmüştür (Şekil 12).
- Radyatör vanasında yapılan deneylerde bu vananın benzer akış hızları için diğer vanalara göre daha yüksek basınç kayıpları oluşturduğu görülmüştür (Şekil 13).
- Çalpara ve yaylı çek valflerde yapılan deneylerde (Şekil 14) yaylı çek valfin diğerine göre dört kat daha fazla basınç kaybı oluşturduğu görülmüştür. Bu durumda yaylı çek valfin su tesisatlarında kullanılmasının ciddi basınç problemlerine yol açacağı önemli bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Pislik tutucu, su sayacı ve basınç regülatörü ile yapılan deneylerde pislik tutucunun çok az kayba neden olduğu, su sayacının kayıplarının ise 1,857 m/s'de bile 280 mbar (yani 2,8 mSS) basınç kaybı oluşturduğu ve doğrusal bir değişim gösterdiği görülmüştür (Şekil 15). Hâlbuki su sayacının basınç kaybı tesisat hesaplarında 5 mSS olarak alınmaktadır. Basınç regülatörü beklendiği gibi akış hızına bağlı olarak parabolik yükselen bir kayıp grafiği oluşturmuştur.
- PPRC yarım, tam dirsek ve U parçalarında yapılan deneylerde (Şekil 16) yarım dirseğin düşük basınç kaybı oluşturduğu, tam dirseğin ondan biraz daha fazla kayıp oluşturduğu, U parçasının ise çok ciddi basınç kaybı oluşturduğu (yarım dirseğin iki katı) saptanmıştır.
- Ayrıca farklı bağlantı elemanı ve vanalar için literatürde verilen akış kayıp katsayıları ile deneylerimizde elde edilen K değerleri Tablo 4'te karşılaştırılmıştır.

#### 4. SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen basınç kayıpları ve yerel direnç kayıp katsayıları genellikle kuramsal hesaplamalardan daha yüksek çıkmaktadır. Ülkemizde üretilmekte olan tüm tesisat boruları için deneysel sürtünme faktörlerine (f), bağlantı elemanları ve vanalar için akış direnç katsayılarına (K) ihtiyaç bulunmaktadır.

Isıtma ve sıhhi tesisatta yaygın olarak kullanılan PPRC borularda cidar kalınlıklarının yüksekliği nedeniyle aynı anma çapına sahip demir borulara göre iç çapları çok düştüğü için demir borulara göre basınç kayıplarının üç kat arttığı görülmüştür. Yine bu borular füzyon kaynağı ile birleştirilirken fazla sıkıştırıldıklarında ek yerlerinde çap daralmalarına yol açmaktadır. Dolayısıyla tesisatlarda PPRC boru kullanıldığında demir borulara benzer kayıpları oluşturması için bir üst çapı seçmek gerekmektedir.

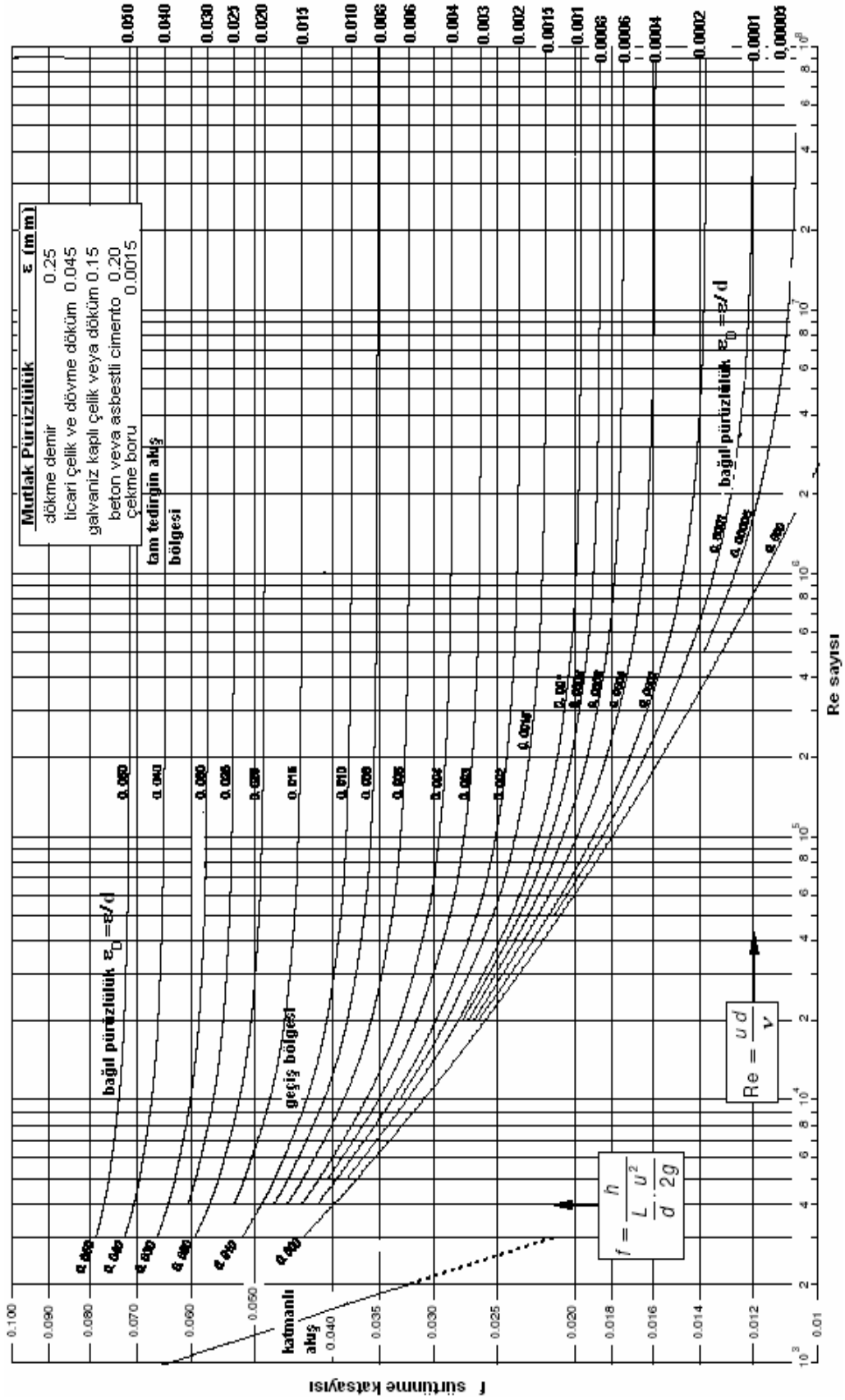
Günümüzde sıhhi tesisatta hesaplamalarında kullanılan "temiz su yükleme birimi" yerine debiye dayalı akış hızlarını esas alan akışkanlar mekaniği prensiplerinin uygulandığı hesaplama yöntemlerini tercih etmemiz gereklidir. Yine sulu sistem hesaplarında kullanılan R ve  $\xi$  (ksi) değerleri yerine f ve K değerlerini esas alan hesaplamalar kullanılmalıdır. Yine büyük binalarda ilk yatırım ve işletme maliyetlerini optimize edebilen yazılımlar kullanmak enerjinin verimli kullanılması için çok önemlidir.



**Tablo 5.** Ölçülen ve Kuramsal Olarak Verilen Yerel Kayıp Katsayıları (K Değerleri)

BAĞLANTI ELEMANI	ÖLÇÜLEN K	TABLO K
Dirsek, PPRC, 25 mm	2,08	1,75
Te, galvaniz, 3/4" (yatay akış)	1,46	0,90
Te, galvaniz, 3/4" (düşey akış)	2,39	2,1
Pislik tutucu, pirinç, 25 mm	1,72	3,19
Su sayacı, metal, 3/4"	38,98	98
Çalpara çek valf, pirinç, 25 mm	1,71	4,0
Yaylı çek valf, pirinç, 25 mm	10,70	
Basınç regülatörü, pirinç, 25 mm	28,93	
Yarım dirsek, 45°, PPRC, 25 mm	1,61	0,35
U parçası (4'lü dirsek), PPRC, 25 mm	3,78	1,75
İçten dişli Te, PPRC, 25 mm (düşey akış)	2,68	2,1
Küresel vana, pirinç, 3/4"	(tam açık)	0,05
	(3/4 açık)	0,69
	(1/2 açık)	4,0
	(1/4 açık)	17,06
Sürgülü vana, pirinç, 3/4"	(tam açık)	0,2
	(3/4 açık)	0,9
	(1/2 açık)	5,0
	(1/4 açık)	24
Diskli vana, pirinç, 3/4"	(tam açık)	10,0
	(3/4 açık)	11,0
	(1/2 açık)	12,5
	(1/4 açık)	50,0
Kosva vana, pirinç, 3/4"	(tam açık)	4,3
	(3/4 açık)	
	(1/2 açık)	
	(1/4 açık)	
Mini küresel vana, pirinç, 3/4"	(tam açık)	
	(3/4 açık)	
	(1/2 açık)	
	(1/4 açık)	

Ek 1. Moody Diyagramı



**Ek 2. Bağlantı Elemanları İçin Tipik K Faktörleri [4]**

	Nominal iç çap, (parmak)									
	Dişli bağlantı				Flanşlı bağlantı					
	1/2"	1"	2"	4"	1	2	4	8	20	
Vanalar (tam açık)										
Küresel	14	8,2	6,9	5,7	13	8,5	6,0	5,8	5,5	
Sürgülü	0,3	0,24	0,16	0,11	0,80	0,35	0,16	0,07	0,03	
Çalpara çek valf	5,1	2,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
Kosva	9,0	4,7	2,0	4,5	4,5	2,4	2,0	2,0	2,0	
Dirsekler										
45°	0,39	0,32	0,30	0,29						
45° uzun radyüslü					0,21	0,20	0,19	0,16	0,14	
90°	2,0	1,5	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21	
90° uzun radyüslü	1,0	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10	
180°	2,0	1,5	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20	
180° uzun radyüslü					0,40	0,30	0,21	0,15	0,10	
Te										
Paralel (düz) akış	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07	
Düşey (kol) akış	2,4	1,8	1,4	1,1	1,0	0,80	0,64	0,58	0,41	

**Ek 3. TS 301'e Göre Çelik Boru Ölçüleri**

Delik anma çapı [mm] [inç]		Dış çapı [mm]	Hafif TS 301/1		Orta ağır TS 301/2		25 mm'deki dış sayısı
			Et kalınlığı [mm]	İç çap [mm]	Et kalınlığı [mm]	İç çap [mm]	
15	1/2	21,3	2,35	16,6	2,65	16	14
20	3/4	26,9	2,35	22,2	2,65	21,6	14
25	1	33,7	2,90	27,9	3,25	27,2	11
32	1 1/4	42,4	2,90	33,6	3,25	35,9	11
40	1 1/2	48,3	2,90	42,5	3,25	41,8	11
50	2	60,3	3,25	53,8	3,65	53,0	11
65	2 1/2	76,1	-	-	3,65	68,8	11
80	3	88,9	-	-	4,05	80,8	11
100	4	114,3	-	-	4,5	105,3	11
125	5	139,7	-	-	4,85	130	11
150	6	165,1	-	-	4,85	155,4	11

**Ek 4. Doymuş Suyun Farklı Sıcaklıklardaki Viskozite ve Yoğunluk Değişimleri**

Sıcaklık, T [°C]	Yoğunluk, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Dinamik viskozite, $\mu$ [N.s/m <sup>2</sup> ]	Kinematik viskozite, $\nu$ [m <sup>2</sup> /s]
0	1000	1,788	1,788
10	1000	1,307	1,307
20	998	1,003	1,005
30	996	0,799	0,802
40	992	0,657	0,662
50	988	0,548	0,555
60	983	0,467	0,475
70	978	0,405	0,414
80	972	0,355	0,365
90	965	0,316	0,327
100	958	0,283	0,295

## KAYNAKLAR

- [1] KINSKI, R, “Applied Fluid Mechanics”, Mc-Grav Hill, 1992.
- [2] BULGURCU, H., “T-420 Basınç Kayıpları Eğitim Seti-Deney Föyleri”, Deneysan Eğitim Cihazları San. Ve Tic. Ltd. Şti. 2010 BALIKESİR
- [3] <http://www.pressure-drop.com> (15.10.2010 tarihinde erişildi).
- [4] WHITE, Frank M., “Fluid Mechanics”, Fourth Edition, Mc Graw Hill 2001.
- [5] <http://ordel.com.tr/tr/proses-kontrol-cihazlari/fark-basinc-kontrol-cihazlari> (15.10.2010 tarihinde erişildi).

## ÖZGEÇMİŞ

### Hüseyin BULGURCU

1962 yılında İzmir Kınık'ta doğdu. 1984 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makine Enerji dalından lisans, 1989 yılında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünden yüksek lisans, 1994 yılında aynı enstitüden doktora dereceleri aldı. 1986–1989 yılları arasında Kartal Teknik Lisesinde, 1989–1995 yılları arasında Çankırı Meslek Yüksekokulunda öğretim elemanı olarak çalıştı. 1994 yılında YÖK-Dünya Bankası Endüstriyel Eğitim Projesi kapsamında İngiltere'de mesleki araştırmalarda bulundu. 1995 yılından bu yana Balıkesir Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programında Yardımcı Doçent olarak çalışmakta, deney setleri üreten bir firmada danışmanlık yapmaktadır. Evli ve iki çocukludur.

### Güner ÖZMEN

Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü - 1983, Yüksek Lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü - 1986, Doktora, Glasgow Üniversitesi, İngiltere, Gemi İnşaatı Bölümü - 1995. Yrd. Doç. Dr. Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz İşletmeciliği ve Yönetimi Yüksekokulu Makine Bölümü- 2009