



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT FAKÜLTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**HİDROLİK LABORATUVAR
DENEYLERİ**

(5. Baskı)

**Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL
Prof. Dr. Esin ÇEVİK
Prof. Dr. Hayrullah AĞAÇCIOĞLU
Prof. Dr. M. Emin BİRPINAR
Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Ali COŞAR
Yrd. Doç. Dr. Tuba BOSTAN
Yrd. Doç. Dr. H. Anıl ARI
Yrd. Doç. Dr. Burak AYDOĞAN
Araş. Gör. Dr. Berna AYAT
Araş. Gör. Dr. Mehmet ÖZTÜRK**

ÖNSÖZ

Beşinci baskısı hazırlanan bu kitap İnşaat Mühendisliği ve Çevre Mühendisliği öğrencileri için Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik derslerinin laboratuvar uygulamaları ile daha anlaşılır hale getirilmesine yardımcı olacaktır.

Saygılarımla

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

15, Nisan, 2013
(5. Baskı)

ÖNSÖZ

Dördüncü baskısı hazırlanan bu kitabın genişletilmiş ve yeni ilave edilmiş bölümleri ile İnşaat Mühendisliği öğrencileri için Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik derslerinin laboratuvar uygulamaları ile daha anlaşılır hale getirilmesine yardımcı olmaktadır. Böylece Hidrolik ile Kıyı ve Liman mühendisliğinin esaslarına yönelik uygulamalara ait problemlerin fiziğini gözlemleyerek öğrenilmesini gerçekleştirmektedir.

Saygılarımla

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

17, Nisan, 2007
(4. Baskı)

ÖNSÖZ

Yeniden gözden geçirilerek üçüncü baskısı hazırlanan bu kitap İnşaat Mühendisliği öğrencileri için Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik derslerinin laboratuvar uygulamaları ile daha anlaşılır hale getirilmesini sağlamaktadır. Böylece Hidrolik mühendisliği uygulamalarına ait problemlerin fiziğini gözlemleyerek öğrenilmesini gerçekleştirmektedir.

Saygılarımla

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

01, Eylül, 2004
(3. Baskı)

ÖNSÖZ

Kısa zamanda tükenen bu kitap öğrencilerimize Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik derslerinde öğretilen konuların uygulamalı olarak anlatılmasına imkan sağlamaktadır. Böylece, öğrenciler işlenen fiziksel olayları görsel olarak izleyebildikleri gibi, ölçüm sonuçlarını değerlendirme fırsatını bulmaktadırlar.

Saygılarımla

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

16, Nisan, 2002

(2. Baskı)

ÖNSÖZ

İnşaat Mühendisliği eğitiminin temel konularından biri olan Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, bu mühendislik dalının uygulamalarına esas oluşturmaktadır. İnşaat Mühendisi baraj, liman, boru hattı, su temini, su alma yapısı, kanalizasyon sistemi, terfi merkezi gibi çok sayıda mühendislik yapısında görev almaktadır ve bunların her birinde, akışkanlar mekaniği ve hidrolik derslerinde işlenen temel bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Esas olarak akışkanların davranışını inceleyen akışkanlar mekaniği, akışkan davranışının ne kadar karmaşık bir fiziğe sahip olduğunu izah etmekte ve ayrıca bu davranışa etkili olan değişkenlerin oldukça fazla olduğunu da göstermektedir. Dolayısıyla akışkanlar mekaniğinde tanımlanan problemlere değişik yöntemlerle çözüm bulunulmaya çalışılmaktadır.

Ancak, tanımlanan bazı fiziksel problemlere matematiksel olarak dahi çözüm bulunamamakta, veya bulunsa da yetersiz kalabilmektedir. Diğer taraftan çözüm bulunulmaya çalışılan problemlerin fiziğinin de yeterince anlaşılması gerekmektedir. İşte bütün bunların üstesinden gelebilmek için laboratuvarlarda kurulan tesislerde göz önüne alınan akış olayları benzeştirilerek dikkatlice izlenmelidir.

Bu nedenle İnşaat Mühendisliğinde en yoğun laboratuvar kullanımı hidrolik bilim dalındadır. Hidrolik laboratuvarları yeterince hassas ve maliyeti yüksek ekipmanların kullanıldığı, büyük kapalı alanlarda kurulmaktadır. Yatırımlarında yüksek maliyet ve yetiştirilmiş eleman gereksinimi nedeniyle kuruluşları oldukça güç ve zahmetlidir.

Bu kitapta, Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik derslerinde lisans öğrencilerine işlenen temel akım problemleri ile ilgili bazı deneyler izah edilmektedir. Böylece İnşaat Mühendisliği öğrencilerinin bu derslerde işlenen konuları daha iyi öğrenmeleri sağlanmaktadır.

Saygılarımla

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

22, Eylül, 1998

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ		i
BÖLÜM 1	HİDROSTATİK BASINÇ MERKEZİNİN TAYİNİ	1
	1 Giriş	1
	1.1. Deney Sisteminin Tanımlanması	1
	2. Teori	2
	2.1. Basınç Merkezlerinin Tanımlanması	2
	2.2. Analizler	2
	3. Deneysel İşlemler	3
BÖLÜM 2	YERSEL YÜK KAYIPLARI	5
	1. Giriş	5
	2. Deney Sisteminin Tanımı	5
	3. Bir Boru Sistemindeki Toplam Yük Kayıplarının Ölçülmesi	6
	4. Dirseklerde ve Çap Değişimlerinde Akım Alanı	7
	5. Deney Sistemindeki Boruların ve Elemanların Boyutları	8
	6. Diferansiyel Piyezometre Ölçümleri ve Toplam Yük Kayıpları	8
	7. Kayıp Katsayısının (K) Hesabı	8
BÖLÜM 3	VENTURİMETRE	10
	1. Giriş	10
	2. Deney Sisteminin Tanımı	10
	3. Venturimetre Teorisi	11
	4. İdeal Basınç Dağılımı	13
	5. Ölçülmüş Basınç Dağılımı	13
	6. Venturimetre Katsayısının (C) Hesabı	14
BÖLÜM 4	AÇIK KANAL HİDROLİĞİ	17
	1. Giriş	17
	2. Keskin Kenarlı Savak ve Savak Katsayısının Tayini	18
	3. Kalın Kenarlı Savaklar ve Savak Katsayısının Tayini	19
	4. Kapak Altı Akımı ve Savak Katsayısının Tayini	20
	5. Venturi Akımı ve Debi Karakteristiklerinin Tayini	21
BÖLÜM 5	ÜNİFORM AKIM ŞARTLARINA SİLİNDİRİK CİSİMLER İÇİN DİRENÇ KATSAYISININ VE SİLİNDİR ETRAFINDAKİ BASINÇ DAĞILIMININ BELİRLENMESİ	23
	1. Giriş	23
	2. Deney Düzeneği	24
	3. Yöntem	25
	3.1 Doğrudan Ölçme Yönteminden	25
	3.2 Basınç Katsayısından	25
	3.3 Art-iz Bölgesindeki Hız Ölçümünden	25
	4. Tartışma	26

BÖLÜM 6	HAREKETLİ TABANLI KANAL	30
	1. Eşik ve Kum Dalgacıklarının İncelenmesi	30
	2. Katı Madde Hareketi Başlangıcı	31
	3. Sürüntü Malzemesi Taşınımında Katı Madde Boyutu ve Yoğunluğunun Etkisi	31
	4. Sürüntü Malzemesi Hareketi	31
	5. Askı Malzemesi Taşınımı	32
	6. Toplam Katı Madde Taşınımının Hesaplanması	32
	7. Yerel Erozyonun İncelenmesi	33
	8. Kıvrımlarda Sekonder Hareketin İncelenmesi	33
BÖLÜM 7	POMPALAR	34
	1 Giriş	34
	1.1. Hacim Tipi Pompalar	34
	1.1.1. Pistonlu Pompalar	35
	1.1.2. Dönen Pistonlu Pompalar	36
	1.2. Türbin Tipi Pompalar	38
	2 Temel Kavramlar	40
	3 Farklı Pompa Tiplerinin Hidroliği ile İlgili Deney Sistemi	50
	3.1. Deneyin Yapılışı	55
	4 Santrifüj Pompaların Hidroliği ile İlgili Deney Sistemi	57
	4.1. Deneyin Yapılışı	59
BÖLÜM 8	TÜRBİNLER	61
	1. Giriş	61
	2. Pelton Türbini	62
	3. Francis Türbini	64
	4. Kaplan Türbini	69
	5. Türbin Seçimi	70
BÖLÜM 9	HİDROLOJİ DENEY CİHAZI	71
	1. Giriş	71
	2. Deney Sisteminin Tanıtılması	71
	3. Deneylerin Yapılması	76
	3.1 Yağış-Akış İlişkisinin Belirlenmesi	76
	3.2 Kuyuya Gelen Akımın Belirlenmesi	79
BÖLÜM 10	YAĞIŞ HİDROGRAFI DENEY CİHAZI	84
	1. Giriş	84
	2. Hidrograf	84
	3. Deneysel Sistemin Tanıtılması	85
	3.1 Cihazın Teknik Özellikleri	85
	3.2 Doğru Akış Oranının Tesbiti	86
	3.3 Cihazın Çalıştırılması	88
	4. Deneyler	88

4.1 Geçirimsiz Su Toplama Havzasından Oluşan Akış	88
4.2 Tek Fırtınadan Doğan Akarsu Akışı Deneyi	89
4.3 Birçok Fırtınadan Oluşan Akarsu Akışı	89
4.4 Fırtına Hareketi Yönünün Etkisi Deneyi	89
BÖLÜM 11 SU DARBESİ	102
1 Giriş	102
2 Teori	103
2.1 Basit Denge Bacasının Sürtünme yük Kaybı Dikkate Alınmaksızın Analizi	103
2.2 Su Darbesi	106
3 Deneysel Çalışma	108
BÖLÜM 12 TÜRBUİANSİİ İET AKİMİ	113
1 Giriş	113
2 Hız Dağılımı ve Momentum Akısı	114
3 Deney Sisteminin Tanımı ve İşletim Sistemi	116
4 Sonuçlar ve Hesaplamalar	117
5 Sonuç	122
KAYNAKLAR	124

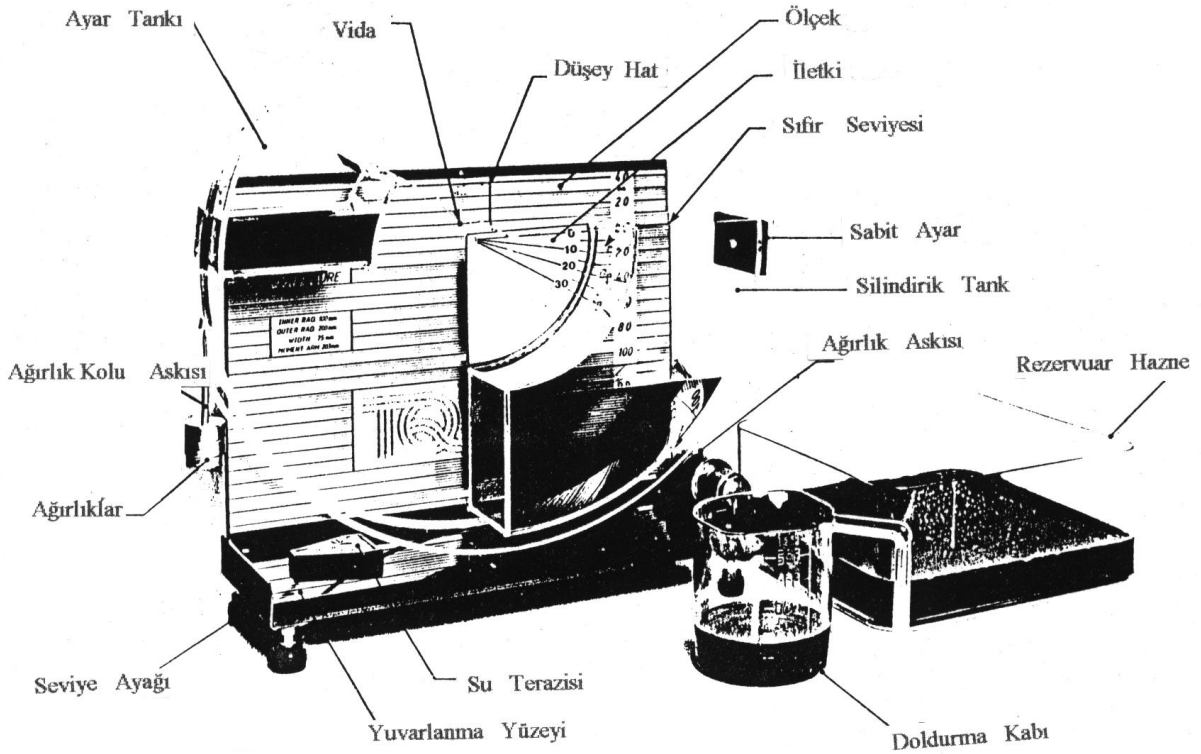
HİDROSTATİK BASINÇ MERKEZİNİN TAYİNİ

1. GİRİŞ

Düzenek, tamamen veya kısmi olarak batmış yüzeylere, akışkan etkisinden dolayı etkiyen momentin direkt olarak ölçülmesini ve teorik analiz ile kıyaslanmasını sağlar.

1.1 Deney Sisteminin Tanımlanması

Su, bir yüzey üzerinde yuvarlanabilen yarım daire şeklindeki pleksiglasın içinde bulunmaktadır. Çeyrek kısmın silindirik kenarlarının eksenleri tankın dönme eksenine ile çakıştırılır ve bu yüzden bu yüzeylere etkiyen toplam basınç merkeze göre moment oluşturmaz. Moment sadece düz yüzeye etkiyen akışkan basıncıyla oluşur. Bu moment deneysel olarak yarı dairesel sistemin üzerinde ve çeyrek tankın karşı tarafında bulunan ağırlık askısıyla, deneysel olarak bulunur. Ağırlık askısı ile aynı tarafta bulunan ikinci bir tank bir düzenleme sağlar ve sistemin değişik açılardaki dengesi ayarlanır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Aletin genel görünümü

$$M = \frac{\omega B \cos \theta}{3} (R_2^3 - R_1^3) - \frac{\omega B}{2} (R_2^2 - R_1^2) h \quad (1.3)$$

Bu eşitlik $y=mx+c$ formundadır. m 'in h 'a karşı çizimi, eğimi $-\frac{\omega B}{2}(R_2^2 - R_1^2)$ olan bir doğru grafiğidir ve böylece ω değeri hesaplanır.

II- Durum: Düzlem yüzeyin kısmen suya batmış hali:

Sınırlar R_2 ve $h \sec \theta$

$$M = \omega B \int_{h \sec \theta}^{R_2} (\cos \theta y^2 - hy) dy \quad (1.4)$$

$$M = \left[\frac{\omega B \cos \theta y^3}{3} - \frac{hy^2}{2} + c \right]_{h \sec \theta}^{R_2} \quad (1.5)$$

$$M = \frac{\omega B \cos \theta}{3} (R_2^3 - h^3 \sec^3 \theta) - \frac{\omega B h}{2} (R_2^2 - h^2 \sec^2 \theta) \quad (1.6)$$

$$M = \frac{\omega B \cos \theta R_2^3}{3} - \frac{\omega B \sec^2 \theta h^3}{3} - \frac{\omega B R_2^2 h}{2} + \frac{\omega B \sec^2 \theta h^3}{2} \quad (1.7)$$

$$M = \frac{\omega B \cos \theta R_2^3}{3} - \frac{\omega B R_2^2 h}{2} + \frac{\omega B \sec^2 \theta h^3}{6} \quad (1.8)$$

Yeniden düzenlersek:

$$M + \frac{\omega B R_2^2 h}{2} = \frac{\omega B \sec^2 \theta h^3}{6} + \frac{\omega B \cos \theta R_2^3}{3} \quad (1.9)$$

Birinci durumdan ω elde edilir ve $M + \frac{\omega B R_2^2 h}{2}$ eşitliğine karşılık h^3 çizilir. **Şekil 1.3**'de bu deneyden beklenen grafiklerin genel formu görülmektedir.

3. DENEYSEL İŞLEM

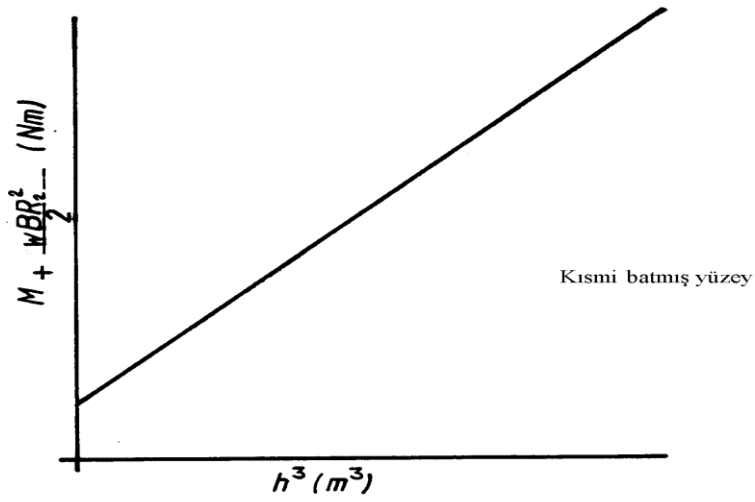
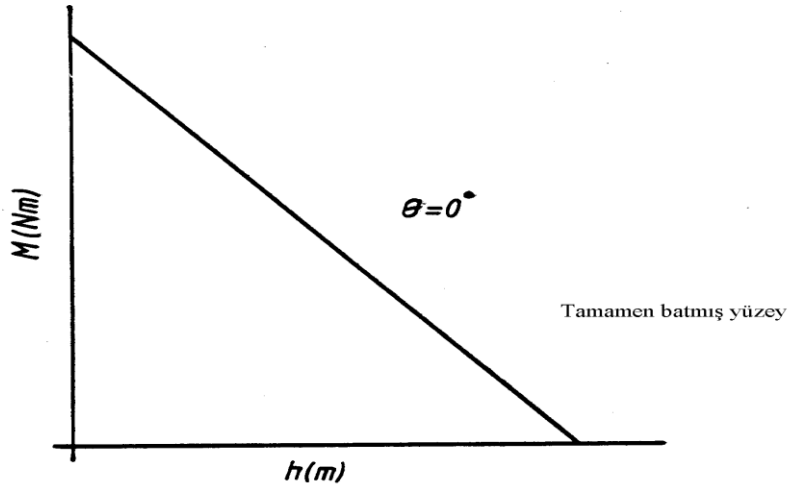
Deney sistemi kurulduktan sonra ağırlıklar askılara takılır. Düzeneğin batmış yüzeyini düşey konuma getirmek için dengelenmesi gerekir. Bu dengeleme, istenilen pozisyona ulaşılan kadar denge tankına yavaşça su doldurulmasıyla sağlanır. Tank sistemi üzerindeki açı ölçeği arkadaki ölçeğin sıfır çizgisine karşılık okunmalıdır. Suyun bir miktarının alınması gerektiğinde, tanka pipet yerleştirilir ve su hazneden çekilir. Önceden boyanmış su, tank düzeneğinin arka panelinde düşey çizgiyle birleşen yarıçap çizgisinin merkez seviyesinde olmalıdır. Ağırlık askısına 20 gram ağırlık asılır. Eğrisel tankta 0° dengesi yeniden sağlanana kadar çeyrek tanka su doldurulur. Ağırlık ve yüksekliği not edilir. 20 gramın katları olan ağırlıklarla işleme devam edilir. Her iki su tankı da boşaltılır. Ardından, sadece ağırlık varken 10° 'de dengeye ulaşıncaya kadar denge tankına su doldurulur. Ağırlıklar 20 gram aralıklarla artırılır ve 10 derece için her ağırlıkta h değerleri kaydedilir. Bu deney 20 ve 30 dereceler için tekrarlanabilir. Okumalar **Tablo 1.1**'de gösterildiği gibi tablo haline getirilip, ikinci bölümde verilen teori ile sonuçlar hesaplanmalıdır.

Adı Soyadı:
Numarası:

Grup No:
Tarih:

Tablo 1.1 Sonuç Tablosunun Formatı

ω (gm)	M (9.81WR ₃)/10 ³ (Nm)	h (mm)	h (m)	h ³ (m) ³	M+(ω BR ₂ ² h)/2 (Nm)	θ°



Şekil 1.3 Grafikler

YERSEL YÜK KAYIPLARI

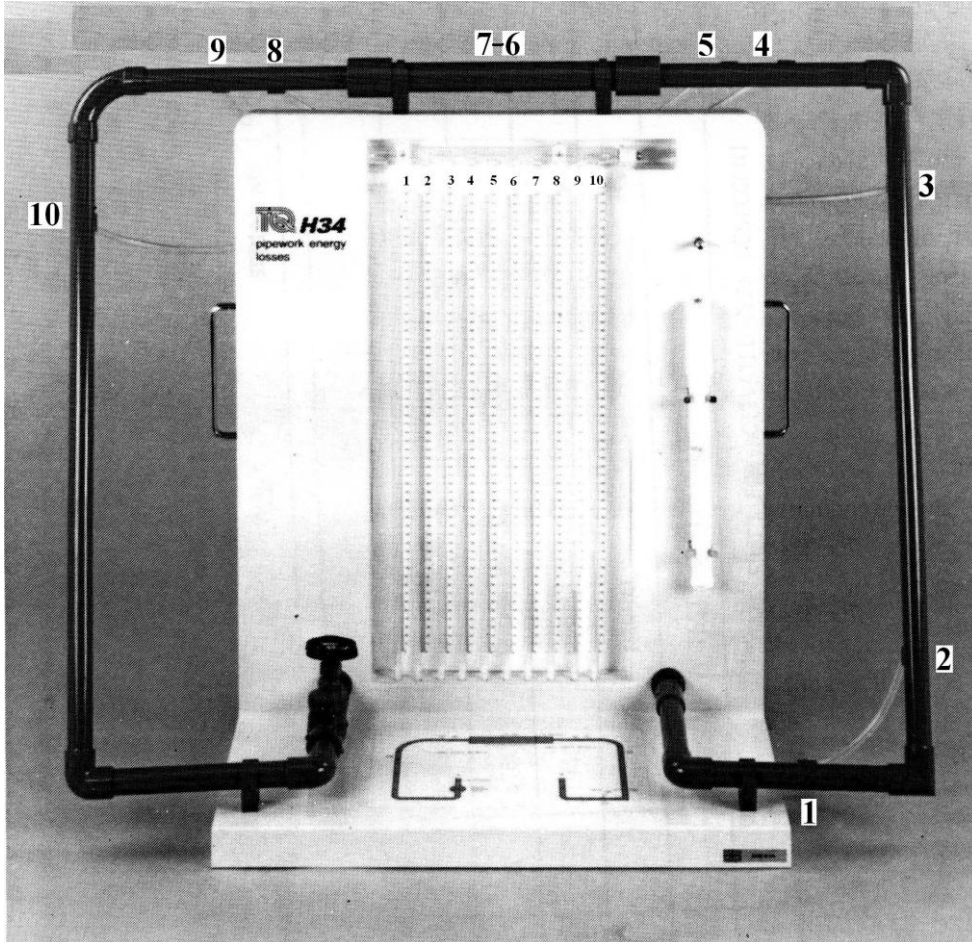
1. GİRİŞ

Boru sistemleri dirsek, vana gibi elemanlara sahip olabilmektedir. Akış doğrultusundaki daralmalar ve genişlemeler boru cidarındaki sürtünmeye ek bir dirence neden olurlar. Bu elemanlardan dolayı oluşan kayıplar boru sisteminde mevcut kayıplara önemli bir artış getirirler.

2. DENEY SİSTEMİNİN TANIMI

Şekil 2.1’de gösterilen deney sisteminde, boru boyunca aşağıdaki elemanlar bulunmaktadır.

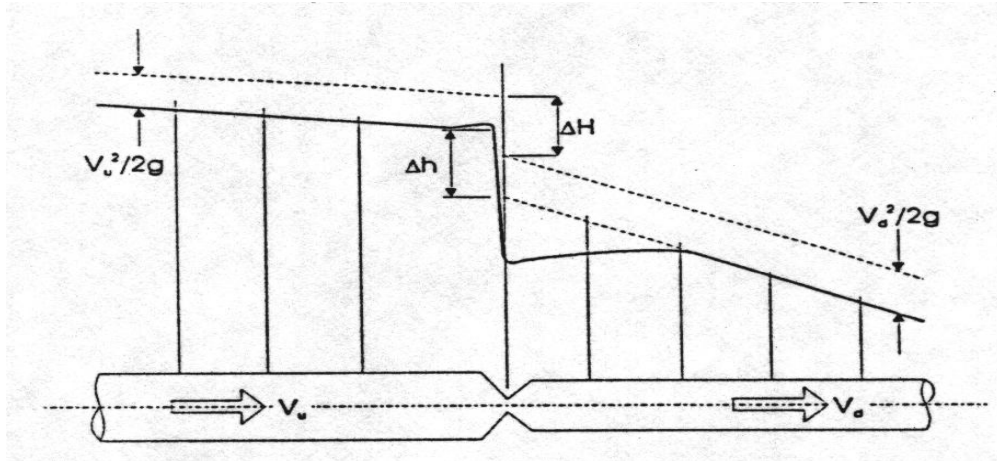
- 90°’lik keskin dirsek
- 90°’lik küçük yarıçaplı dirsek
- 90°’lik büyük yarıçaplı dirsek
- Boru çapında ani genişleme
- Boru çapında ani daralma



Şekil 2.1 Deney sisteminin şematik olarak gösterimi

Her elemanın menba ve mansabına piyezometre bağlantıları yerleştirilmiştir. Bir pompa ile enerji verilen sistemdeki elemanlar manometreye bağlanmıştır.

3. BİR BORU SİSTEMİNDEKİ TOPLAM YÜK KAYBININ ÖLÇÜLMESİ



Şekil 2.2 Bir boru sisteminde meydana gelen kayıplar

Şekil 2.2'de dirsek veya vana gibi elemanlara sahip D_u çapında bir boru boyunca, V_u hızında akan akışkan görülmektedir. Ancak burada kolay anlaşılması açısından akışın bir kesiti gösterilmiştir. Kesitte, mansapta V_d hızına sahip D_d çaplı diğer bir boru boyunca su akmaktadır. Şekil, boru cidarına yerleştirilmiş olan basınç tüpleri yardımıyla boru boyunca akış olması durumunda basınç yükünün değişimini göstermektedir. Su, herhangi bir elemandan geçerken (vana, dirsek, daralma, vb.) suyun hızındaki ve yönündeki ani değişimler nedeniyle, elemana yakın yersel rahatsızlıklar oluşur. Mansap bölgesinde bu rahatsızlıklar azalmaya başlar ve bununla birlikte piyezometre yükü hafif lineer bir eğime sahip olur. Lineer sürtünme gradyanının menba ve mansap hatları, eleman boyunca çizildiğinde, bu elemandan ileri gelen piyezometrik yük kaybı (Δh) bulunur. Buna karşılık gelen toplam yük kaybını (ΔH) elde etmek için boru boyunca menba ve mansap hız yüklerini de bulmak gerekir.

$$\Delta H = \Delta h + \frac{V_u^2}{2g} - \frac{V_d^2}{2g} \quad (2.1)$$

ΔH , borunun menba veya mansap hız yüküne bölünerek boyutsuz kayıp katsayısı (K) ile ifade edilebilir.

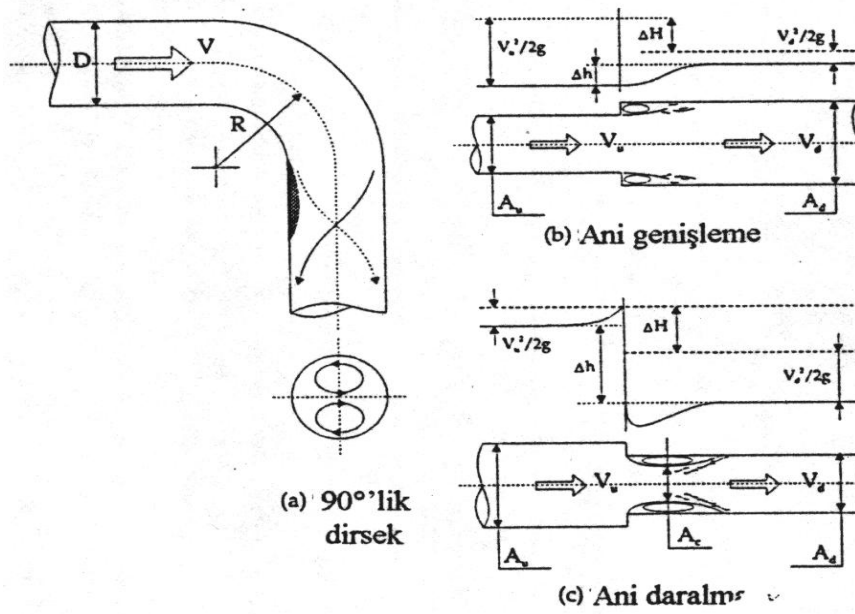
$$K = \frac{\Delta H}{V_u^2 / 2g} \quad K = \frac{\Delta H}{V_d^2 / 2g} \quad (2.2)$$

$D_u = D_d$ durumunda menba ve mansaptaki akış hızları aynıdır. Böylece tanım şu şekilde basitleştirilebilir.

$$K = \frac{\Delta H}{V^2 / 2g} \quad K = \frac{\Delta H}{V^2 / 2g} \quad (2.3)$$

Burada V , boru boyunca menba ve mansaptaki akış hızını göstermektedir.

4. DİRSEKLERDE VE ÇAP DEĞİŞİMLERİNDE AKIM ALANI



Şekil 2.3 Dirsekte, ani genişlemede ve ani daralmada akış

Şekil 2.3; 90°'lik bir dirsekteki, ani genişlemedeki ve ani daralmadaki akışları göstermektedir.

Ani genişlemede akış dar borunun çıkışında ayrılır, bir jet oluşturarak büyük çaplı borunun içinde yayılır ve mansapta belli bir mesafe sonra cidarla yeniden birleşir. Akışın ayrılması ve yeniden birleşmesi ile oluşan şiddetli türbülans yük kaybına neden olur. Genişlemedeki toplam yük kaybı aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\Delta H = (V_u - V_d)^2 / 2g \quad (2.4)$$

Piyezometrik yükteki artış şu şekildedir.

$$\Delta H = 2V_d (V_u - V_d) / 2g \quad (2.5)$$

Kayıp katsayısı K bu durumda menba tarafındaki hıza bağlıdır.

$$K = \frac{(V_u - V_d)^2 / 2g}{V_u^2 / 2g} = (1 - (V_d / V_u))^2 = (1 - (A_u / A_d))^2 \quad (2.6)$$

Ani daralmada ise, akışın daralan kesiti küçük çaplı boruya yönelirken cidardan ayrılır ve daralma bölgesinde daha küçük alana sahip bir jet oluşur. Jetin, mansap tarafındaki borunun cidarında dağılıp yeniden cidarla birleştiği bir türbülanslı bölge vardır. Kayıplar hemen hemen tümüyle bu türbülanslı bölgede meydana gelir. Daralmadaki toplam yük kaybı şöyledir.

$$\Delta H = (V_c - V_d)^2 / 2g \quad (2.7)$$

Kayıp katsayısı K şu hale gelmektedir.

$$K = [(V_c / V_d) - 1]^2 = [(A_c / A_d) - 1]^2 \quad (2.8)$$

5. DENEY SİSTEMİNDEKİ BORULARIN VE ELEMANLARIN BOYUTLARI

Küçük çaplı boru	$D_1=22.5 \text{ mm}$	$A_1=3.97 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Büyük çaplı boru	$D_2=29.6 \text{ mm}$	$A_2=6.88 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Keskin dirseğin merkez çizgisine yarıçap	$R_m=$	mm
Küçük yarıçaplı dirseğin merkez çizgisine yarıçap	$R_c=35.05 \text{ mm}$	
Büyük yarıçaplı dirseğin merkez çizgisine yarıçap	$R_b=69.08 \text{ mm}$	

6. DİFERANSİYEL PİEZOMETRE ÖLÇÜMLERİ VE TOPLAM YÜK KAYBI

Ölçülen akış debisi Q (lt/s) ise A_1 ve A_2 m² alanlı borular boyunca oluşan akım hızları (V_1 ve V_2) şöyledir.

$$V_1=10^{-3} Q/A_1 \text{ (m/s)} \quad V_2=10^{-3} Q/A_2 \text{ (m/s)} \quad (2.9)$$

Deneyler sırasında yapılan ölçümlerden elde edilen piyezometrik kotlar **Tablo 2.1**'deki gibi kaydedilir (genişlemede ölçümler negatif okunur).

Tablo 2.1 Çeşitli akım oranlarında piyezometrik yük kayıpları

Q_{ty}	Zaman	Q	Diferansiyel Piyezometre Okumaları (mm)				
			Keskin Dirsek	Küçük Yarıçaplı Dirsek	Genişleme	Daralma	Büyük Yarıçaplı Dirsek
(l)	(s)	(l/s)	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
35	80	0.44	140	60	-18	66	32

Daha sonra her bir akış debisinde hızlar ve hız yükleri hesaplanır. Toplam yük kaybı sadece genişleme ve daralma durumunda farklılık göstermektedir. Örneğin ani genişleme durumunda şu şekilde hesap yapılır (**Tablo 2.2** hazırlanır).

$$\Delta h = -18 \text{ mm} \quad (\text{piyezometrik yük artışı})$$

$$V_u^2 / 2g = 62.5 \text{ mm} \quad (\text{mansap tarafı hız yükü})$$

$$V_d^2 / 2g = 20.8 \text{ mm} \quad (\text{menba tarafı hız yükü})$$

Böylece;

$$\Delta H = \Delta h + \frac{V_u^2}{2g} + \frac{V_d^2}{2g} = -18 + 62.5 - 20.8 = 23.7 \text{ mm elde edilir.}$$

Tablo 2.2 Çeşitli akış debilerinde toplam yük kaybı

Q	V_1	V_2	$V_1^2/2g$	$V_2^2/2g$	Toplam Yük Kaybı (mm)				
					Keskin Dirsek	Küçük Yarıçaplı Dirsek	Genişleme	Daralma	Büyük Yarıçaplı Dirsek
(l/s)	(m/s)	(m/s)	(mm)	(mm)	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10
0.44	1.108	0.639	62.5	20.8	140	60	23.7	24.3	32

7. KAYIP KATSAYISININ (K) HESABI

Her bir elemanın kayıp katsayısını elde etmek için **Tablo 2.2**'de gösterilen toplam yük kaybı değerleri küçük çaplı borudaki hız yükü olan $V_1^2 / 2g$ değerlerine karşılık çizilmiştir. Orijinden geçen çizgilerin eğimleri her elemanın K değerini verir. Buna göre her bir elemanda toplam yük kaybına (ΔH) karşılık hız yükü $V_1^2 / 2g$ çizilerek K değerleri elde edilir.

			Diferansiyel Piyezometre Okumaları (mm)				
Q _{ty}	Zaman	Q	Keskin Dirsek	Küçük Yarıçaplı Dirsek	Genişleme	Daralma	Büyük Yarıçaplı Dirsek
(l)	(s)	(l/s)	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10

[illegible]

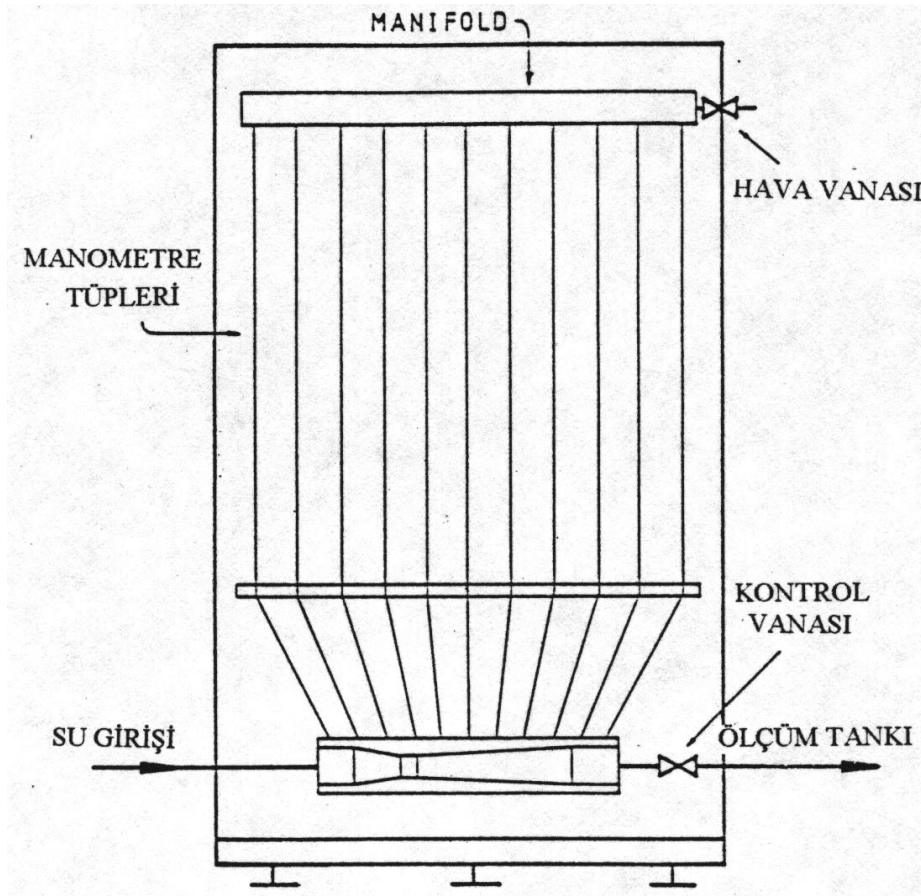
VENTURİMETRE

1. GİRİŞ

Venturimetre cihazı, bir boru içinden geçen debinin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Boru içinde akan akışkan tedricen daralan bir kesit boyunca mansap tarafındaki daha küçük çaplı bir boğaza yöneldiğinde, boğaz içindeki akışkanın hızı, boru içindeki hızdan daha büyük olur. Bu hız artışıyla basınçta düşüş görülür. Böylece basınç değişimi ölçülerek suyun debisi hesaplanır. Boğazın mansap tarafında akım hızı azalır ve hız düşerken basınç artar.

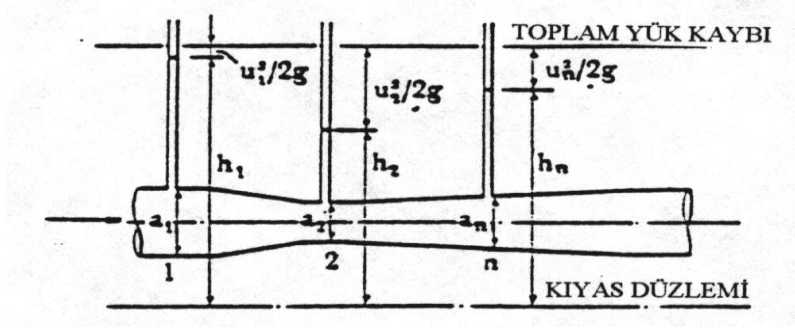
2. DENEY SİSTEMİNİN TANIMI

Şekil 3.1’de venturimetre şematik olarak görülmektedir. Venturi boyunca çeşitli noktalarda piyezometre tüpleri manometre tüpleri bağlanmıştır. Basınç muslukları sadece girişe ve boğaza yerleştirilmiştir. Bu iki yerde yapılan ölçüm debiyi belirlemek için yeterlidir.



Şekil 3.1 Venturimetrenin şematik olarak gösterimi

3. VENTURİMETRE TEORİSİ



Şekil 3.2 Bir venturimetrede ideal şartlar

Şekil 3.2’de, bir noktada birleşen/ayrılan boru boyunca sıkışamaz akışkan akışı görülmektedir. Mansap bölgesindeki 1. kesitin alanı a_1 , boğaz bölgesindeki 2. kesitin alanı a_2 ve herhangi bir başka kesitteki n. kesit alanı a_n ’dir. Bu kesitlerdeki piyezometre yükleri h_1 , h_2 ve h_n ’dir. Boru boyunca enerji kaybı olmadığı ve her bir kesitteki hız ve piyezometre yüklerinin sabit olduğu kabul edilirse, Bernoulli teoremi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{u_1^2}{2g} + h_1 = \frac{u_2^2}{2g} + h_2 = \frac{u_n^2}{2g} + h_n \quad (3.1)$$

burada u_1 , u_2 ve u_n , 1, 2 ve n kesitleri içindeki akış hızlarıdır. Süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılır.

$$u_1 a_1 = u_2 a_2 = u_n a_n = Q \quad (3.2)$$

burada Q debiyi göstermektedir. Denklem (3.2)’deki u_1 değeri denklem (3.1)’de yerine konulursa

$$\frac{u_2^2}{2g} \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2 + h_1 = \frac{u_2^2}{2g} + h_2$$

ifadesi elde edilir.

u_2 için bu denklemin çözümünden

$$u_2 = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2}}$$

elde edilir. Böylece denklem (3.2)’den debiyi şu şekilde yazabiliriz;

$$Q = a_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{a_2}{a_1} \right)^2}} \quad (3.3)$$

Pratikte 1 ve 2 kesitleri arasında bir miktar kayıp söz konusudur ve hız her iki kesitte de sabit değildir. Sonuç olarak debinin ölçülen değerleri genellikle denklem (3.3)'teki değerinden biraz daha küçüktür ve bu farklılık

$$Q = Ca_2 \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_2)}{1 - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2}} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada C deneyle elde edilen venturi debi katsayısıdır. Bir noktada birleşen/ayrılan boru boyunca ideal basınç dağılımı denklem (3.1)'den şu şekilde elde edilmiştir.

$$h_n - h_1 = \frac{u_1^2 - u_n^2}{2g}$$

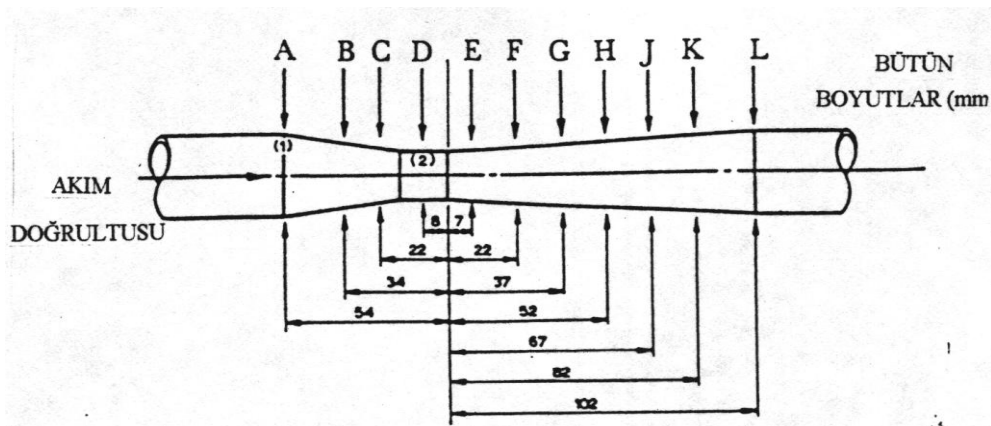
Teorik hesaplar ve bu hesap sonuçları ile deney sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla venturinin daralma bölgesindeki hız yükünün bir bölümünü ($h_n - h_1$) olarak söylemek mümkündür.

$$\frac{h_n - h_1}{u_2^2 / 2g} = \frac{u_1^2 - u_n^2}{u_2^2}$$

Süreklilik denkleminde hız oranları yerine sağ taraftaki kesit oranları konulursa ideal basınç dağılımı şöyle oluşur;

$$\frac{h_n - h_1}{u_2^2 / 2g} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 - \left(\frac{a_2}{a_n}\right)^2$$

Akım debisi, tartma tekniği ile ölçülür. Bu işlem devam ederken h_1 ve h_2 değerleri göstergeden okunur. ($h_1 - h_2$)'nin her değeri için uygun akım debisi ölçülmelidir. Ayarlanan tüm piyezometre tüplerinin okumaları yapılarak venturimetre boyunca basınç dağılımı belirlenir. Sayacın çapları ve piyezometre musluklarının durumları **Şekil 3.3**'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Piyezometre tüplerinin ve venturimetrenin durumu

4. İDEAL BASINÇ DAĞILIMI

Tablo 3.1 Daralma bölgesindeki ideal hız dağılımı

Piyezometre tüpü no, (n)	Kesitin Çapı, d_n (mm)	$\frac{d_2}{d_n}$	$\left(\frac{a_2}{a_n}\right)^2$	$\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 - \left(\frac{a_2}{a_n}\right)^2$
A (1)	26.00	0.615	0.144	0.000
B	23.20	0.690	0.226	-0.082
C	18.40	0.869	0.575	-0.431
D (2)	16.00	1.000	1.000	-0.856
E	16.80	0.953	0.830	-0.686
F	18.47	0.867	0.565	-0.421
G	20.16	0.787	0.400	-0.256
H	21.84	0.730	0.289	-0.145
J	23.53	0.680	0.215	-0.071
K	25.24	0.633	0.168	-0.024
L	26.00	0.615	0.144	0.000

5. ÖLÇÜLMÜŞ BASINÇ DAĞILIMI

Tablo 3.2 Venturi daralma bölgesi boyunca basınç dağılım ölçümleri

Piyezometre tüpü no (n)	$Q = 4.46 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$ $\frac{u^2}{2g} = 0.251 \text{ m}$			$Q = 2.96 \times 10^{-4} \text{ m}^3 / \text{s}$ $\frac{u^2}{2g} = 0.111 \text{ m}$		
	h_n (mm)	$h_n - h_1$ (m)	$\frac{h_n - h_1}{u_2^2 / 2g}$	h_n (mm)	$h_n - h_1$ (m)	$\frac{h_n - h_1}{u_2^2 / 2g}$
A (1)	247.5	0.0000	0.0	181.0	0.0000	0.000
B	228.5	-0.0190	-0.077	172.0	-0.0090	-0.081
C	140.5	-0.1075	-0.429	131.0	-0.0500	-0.450
D (2)	6.0	-0.2415	-0.461	69.5	-0.1115	-1.004
E	26.0	-0.2215	-0.880	77.0	-0.1045	-0.941
F	112.0	-0.1355	-0.540	115.5	-0.0655	-0.590
G	150.5	-0.0970	-0.388	134.0	-0.0475	-0.428
H	176.0	-0.0715	-0.297	145.0	-0.0360	-0.324
J	193.0	-0.0545	-0.216	152.0	-0.0290	-0.261
K	204.0	-0.0435	-0.173	157.5	-0.0240	-0.216
L	209.0	-0.0385	-0.153	159.0	-0.0220	-0.198

Tablo 3.1 ve **Tablo 3.2**'den $[(h_n - h_1)/(u^2/2g)]$ 'ye karşılık piyezometre tüplerinin başlangıç noktasına olan mesafeleri dikkate alınarak venturimetre boyunca ölçülmüş olan basınç değerleri ile ideal basınç değerleri aynı grafik üzerinde çizilir.

6. VENTURİMETRE KATSAYISININ (C) HESABI

Tablo 3.3 ve **Tablo 3.4** hazırlanarak venturimetre debi katsayısı bulunur. Bu sonuçlardan yararlanılarak Q ile $(h_1-h_2)^{1/2}$ 'nin ve Q ile C'nin değişimleri iki ayrı grafik üzerinde çizilir.

Tablo 3.3

$Q \times 10^4 \text{ (m}^3/\text{s)}$	$h_1 \text{ (mm)}$	$h_2 \text{ (mm)}$	$h_1-h_2 \text{ (m)}$	$(h_1-h_2)^{1/2} \text{ (m)}^{1/2}$
4.46	247.5	6.0	0.2415	0.492
4.34	246.0	13.0	0.2330	0.483
4.06	232.5	25.5	0.2060	0.454
3.74	215.5	41.0	0.1745	0.418
3.42	201.1	56.0	0.1450	0.381
2.96	181.0	69.5	0.1115	0.334
2.53	159.5	79.5	0.0800	0.283
1.78	136.5	97.0	0.0395	0.199
1.11	121.0	105.0	0.0160	0.126

Tablo 3.4 Münferit deney sonuçlarından hesaplanan C değerleri

$Q \times 10^4 \text{ (m}^3/\text{s)}$	$(h_1-h_2)^{1/2} \text{ (m)}^{1/2}$	C
4.46	0.492	0.940
4.34	0.483	0.938
4.06	0.454	0.920
3.74	0.418	0.930
3.42	0.381	0.938
2.96	0.334	0.928
2.53	0.283	0.930
1.78	0.199	0.932
1.11	0.126	0.925

Adı Soyadı :
Numarası :

Grup No :
Tarih :

İdeal Basınç Dağılımı

Tablo 1 Daralma bölgesindeki ideal hız dağılımı

Piyezometre tüpü no, (n)	Kesit Çapı, d_n (mm)	$\frac{d_2}{d_n}$	$\left(\frac{a_2}{a_n}\right)^2$	$\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2 - \left(\frac{a_2}{a_n}\right)^2$
A (1)	26.00	0.615	0.144	0.000
B	23.20	0.690	0.226	-0.082
C	18.40	0.869	0.575	-0.431
D (2)	16.00	1.000	1.000	-0.856
E	16.80	0.953	0.830	-0.686
F	18.47	0.867	0.565	-0.421
G	20.16	0.787	0.400	-0.256
H	21.84	0.730	0.289	-0.145
J	23.53	0.680	0.215	-0.071
K	25.24	0.633	0.168	-0.024
L	26.00	0.615	0.144	0.000

Ölçülmüş Basınç Dağılımı

Tablo 2 Venturi daralma bölgesi boyunca basınç dağılım ölçümleri

Piyezometre tüpü no, (n)	Q = $\frac{u^2}{2g} =$			Q = $\frac{u^2}{2g} =$		
	h_n (mm)	$h_n - h_1$ (m)	$\frac{h_n - h_1}{u_2^2 / 2g}$	h_n (mm)	$h_n - h_1$ (m)	$\frac{h_n - h_1}{u_2^2 / 2g}$
A (1)						
B						
C						
D (2)						
E						
F						
G						
H						
J						
K						
L						

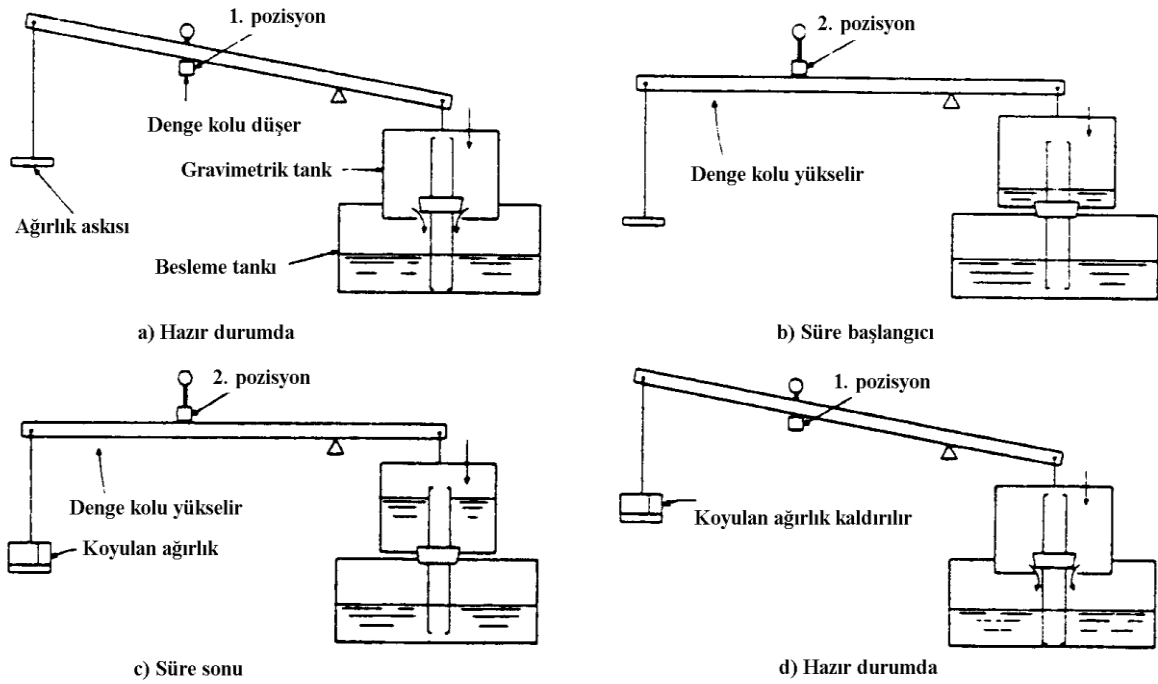
[illegible][illegible]

AÇIK KANAL HİDROLİĞİ

1.GİRİŞ

Deney sistemi olarak seçilen çok amaçlı bir deney kanalı, açık kanal akımının genel özelliklerini göstermek için kullanılmaktadır. Kanal kapalı bir su devresi şeklinde çalışmaktadır. Su, besleme tankından kanal girişine ön kontrol vanası yardımıyla sağlanmaktadır. Vana, kanal boyunca bir kontrol kolu tarafından ayarlanabilmektedir. Kanal çıkışından ağırlıklı ölçme tankına dökülen su tekrar besleme tankına dönmektedir.

Ağırlıklı ölçme tankındaki su tartılmak suretiyle debi ölçülmektedir. Denge koluna ağırlıklar asıldıktan sonra, vana açılarak su temini sağlanır. Tank denge konumuna gelinceye kadar zaman ölçülür. Böylece debi tayin edilir ($Q=V/t$). Bu durum **Şekil 4.1**'de görülmektedir.



Şekil 4.1 Debi tespitindeki çalışmalar

Debi ölçüm aralığı için 30-90 sn arası tavsiye edilir. Debi ölçmek için eklenen ağırlık bu dağılım içindeki bir aralıkta verilmelidir. Eğer mümkün olan maksimum ağırlık 30sn den daha az bir zaman üretirse, 30 sn ve tercihen 90 sn lik bir zaman üzerinden bir orta değer elde etmek için ard arda ölçümler yapılmalıdır.

Bu deneysel çalışma, keskin kenarlı savak, kalın kenarlı savak alt akımı ve venturi vasıtasıyla bir açık kanaldaki akım miktarının belirlenmesini kapsamaktadır.

2.KESKİN KENARLI SAVAK VE SAVAK KATSAYISININ TAYİNİ

Keskin kenarlı savaklar açık kanallardaki akım miktarının belirlenmesinde oldukça sık kullanılmaktadır (**Şekil 4.2**). Bu deneyde savak yükü ve debi arasındaki ilişki incelenecek ve savak katsayısı tayin edilecektir. Savak katsayısının hesabında,

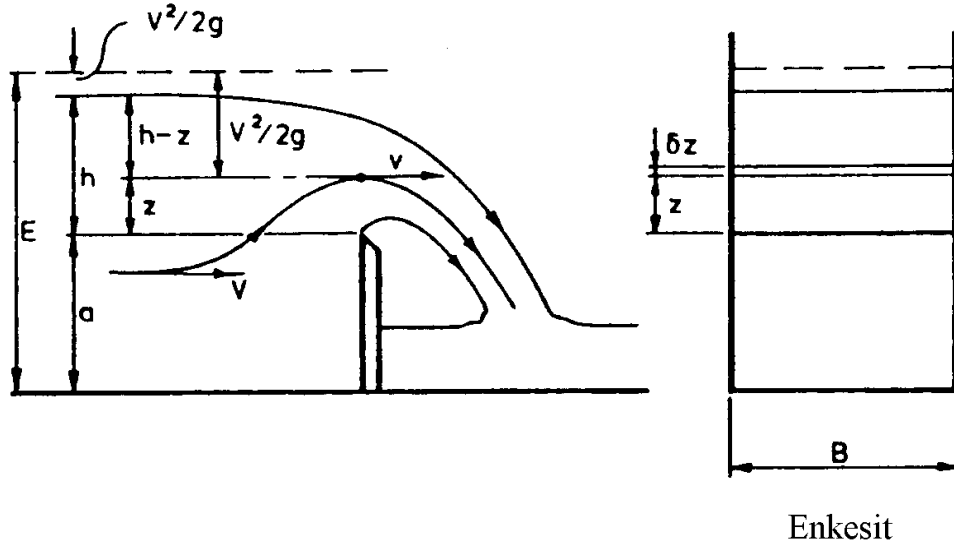
$$C=142.8Q/h^{3/2}$$

formülünden yararlanılacaktır. Burada;

Q =Debi (l/sn)

h =Savak üzerinde ölçülen su derinliği (mm)

olarak verilmektedir. Savak üzerindeki su derinliği olarak, savak tepesinden 0.3m menbadaki bir kesitteki derinlik esas alınacaktır. Bundan sonra deney dataları **Tablo 4.1** deki şekilde düzenlenecektir.



Şekil 4.2 Keskin kenarlı savak akım profili

Deney dataları vasıtasıyla yukarıdaki tablo oluşturulduktan sonra h - Q ve C - h/a eğrileri oluşturulacaktır. C - h/a eğrisinden keskin kenarlı savak debi katsayısı

$$C=a+b(h/a)$$

olarak formülize edilecektir.

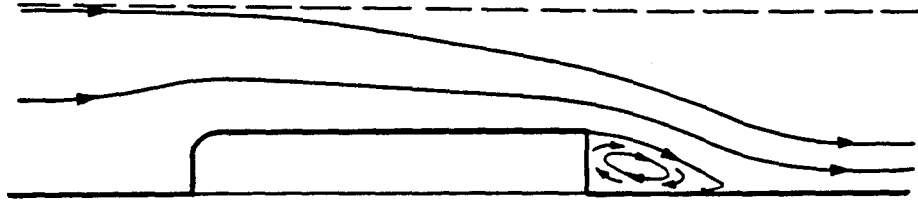
3. KALIN KENARLI SAVAKLAR VE SAVAK KATSAYISININ TAYİNİ

Kalın kenarlı savaklar da açık kanallardaki akım miktarını belirlemek için kullanılmaktadır. Bu deneyde, savak yükü ve debi arasındaki ilişki incelenecek ve C savak katsayısı tayin edilecektir (**Şekil 4.3**). Yukarıda da belirtildiği gibi, deneysel prosedür keskin kenarlı savaklar için yapılanla aynı olmasına rağmen, sonuçlar değerlendirilirken debi katsayısının hesaplanmasında hem toplam yük E, hem de statik yük h dan yararlanılır. Toplam yük E, savak katsayısının tayininde (E) ve (h)'a bağlı olarak kullanılacak formüller aşağıda verilmiştir.

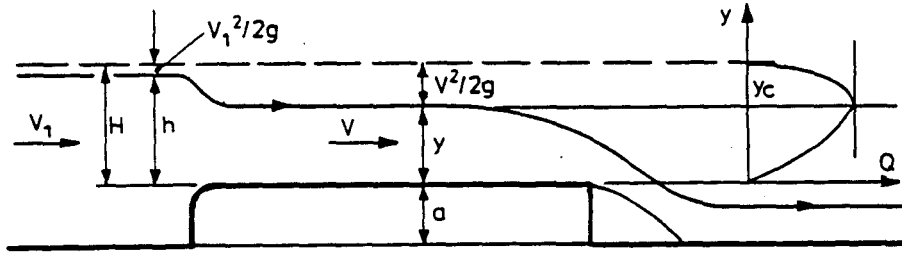
$$E = h + V^2/2g$$

$$Q = C(2/3)Bg^{0.5}E^{3/2}$$

$$Q = C(2/3)Bg^{0.5}h^{3/2}$$



a) Akımın genel karakteristiği



b) Analizde göz önüne alınan ideal koşullar

Şekil 4.3 Kalın eşikli savak üzerindeki akım

Yukarıdaki formüllerde üniformluluk sağlanmalıdır. Ayrıca, $L=120\text{mm}$, $b=75\text{mm}$ ve $a=25\text{mm}$ olarak verilmiştir. Elde edilen deney dataları **Tablo 4.2** deki gibi düzenlenecektir.

Tablo oluşturulduktan sonra $h-Q$ ve $C-h/a$, $C-E/a$ eğrileri çizilerek savak katsayıları tayin edilir.

Adı Soyadı:
Numarası:

Grup No:
Tarih:

Tablo 4.1

Yük h(mm)	Toplanan Ağırlık W(kg)	Süre t(sn)	Debi Q(l/sn)	Savak Katsayısı C	h/a

Tablo 4.2

Toplam Yük E(mm)	Statik Yük h(mm)	Toplanan Ağırlık W(kg)	Süre t(sn)	Debi Q(l/sn)	C E'e bağlı	C h'a bağlı	H/a	h/a

Tablo 4.3

Yük h(mm)	Toplam Ağırlık W(kg)	Süre t(sn)	Debi Q(l/sn)	Hız V(m/sn)	Özgöl Enerji E(mm)	Debi Katsayısı C

Tablo 4.4

Akım Yüksekliği y ₁ (mm)	Toplam Ağırlık W(kg)	Süre t(sn)	Debi Q(l/sn)	Menba Hızı V ₁ (m/sn)	Özgöl Enerji E(mm)	Savak Katsayısı C

ÜNİFORM AKIM ŞARTLARINDA SİLİNDİRİK CİSİMLER İÇİN DİRENÇ KATSAYISININ VE SİLİNDİR ETRAFINDAKİ BASINÇ DAĞILIMININ BELİRLENMESİ

1. GİRİŞ

Hidrodinamik ve aerodinamik bir akışkan içerisinde hareket eden herhangi bir cismin direncinin bilinmesinin teknik açıdan önemi büyüktür. Bu deneyde hava akımı içerisinde dairesel bir silindir yerleştirmek suretiyle cismin direnci çeşitli yöntemlerle ölçülecektir. Hareketsiz bir akışkan içerisinde hareket eden bir silindir yüzeyinde hidrodinamik kuvvete neden olan etkiler yaratılmaktadır. Silindir yüzeyinde seçilen herhangi bir A noktasında akışkanın etkisi yüzeye dik P basıncı ve yüzey boyunca τ kayma gerilmesi olmak üzere iki bileşene ayrılabilir.

U rahatsız edilmemiş akım hızı, ρ akışkanın özgül kütlesi, p_0 statik basınç, P_0 toplam basınç ise dinamik basınç,

$$\frac{1}{2}\rho U^2 = P_0 - p_0$$

şeklinde tarif edilmiştir.

P alet basıncı yani $P_i - p_0$ 'dır. Alet basıncının dinamik basınca bölünmesi ile boyutsuz basınç katsayısı, c_p , elde edilir (P_i , mutlak basınç).

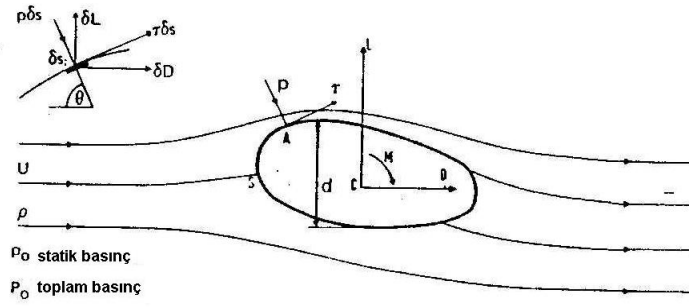
$$\text{Basınç katsayısı} \quad : c_p = \frac{P}{\frac{1}{2}\rho U^2} = \frac{P_i - p_0}{P_0 - p_0}$$

$$\text{Yüzey sürtünme katsayısı} \quad . c_f = \frac{\tau}{\frac{1}{2}\rho U^2}$$

Sıkıştırılmaz viskozitesiz (ideal akışkan için) bir akışkan için silindir etrafındaki c_p basınç katsayısı şu eşitlikte ifade edilmektedir:

$$c_p = 1 - 4\sin^2 \theta$$

Basınç ve kayma gerilmesinin silindir üzerindeki etkileri **Şekil 5.1**'den görüldüğü gibi hidrodinamik kuvvete neden olmaktadır. Seçilen herhangi bir C noktasına etki eden bu kuvveti şu bileşenlere ayırmak mümkündür.



Şekil 5.1 Silindir etrafındaki akımın şematik olarak gösterilmesi

U yönünde silindirin birim boyunda, F_D şiddetinde direnç kuvveti,
 U yönünde silindirin birim boyunda, F_L şiddetinde kaldırma kuvveti,
 C orijini etrafında silindirin birim boyunda, F_M şiddetinde moment.

Bu bileşenler direnç, kaldırma ve moment katsayıları olarak aşağıdaki boyutsuz terimlerle ifade edilirler:

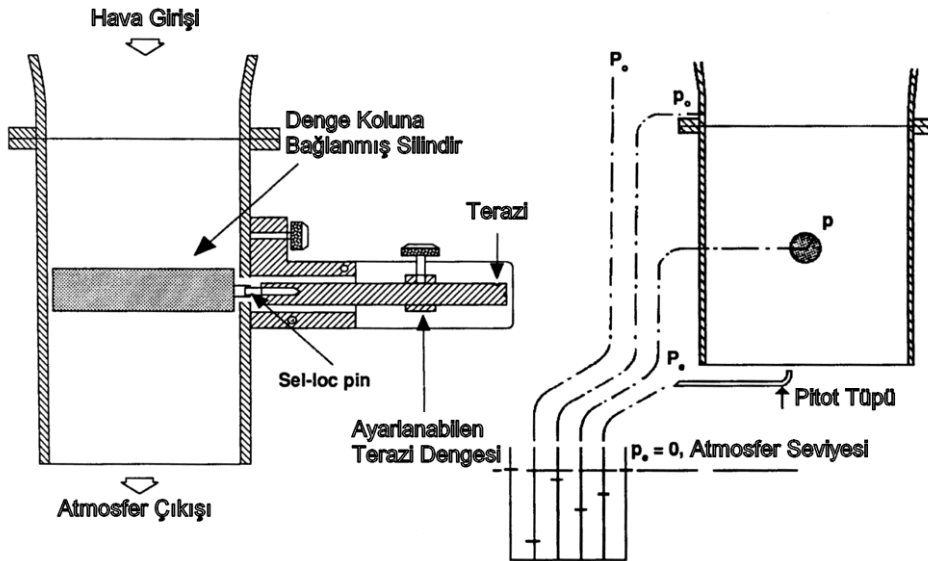
Direnç katsayısı : $C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho U^2 d}$

Kaldırma katsayısı : $C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2} \rho U^2 d}$

Moment katsayısı : $C_M = \frac{F_M}{\frac{1}{2} \rho U^2 d^2}$

Burada d silindirin büyüklüğünü karakterize eden uygun bir boyut olup (daireSEL silindir olduğundan silindirin çapıdır) U'ya diktir. Dairesel bir silindir için simetri dikkate alındığında $C_L=C_M=0$ yazılabilir.

2. DENEY DÜZENEGİ



Şekil 5.2 Deney sisteminin şematik olarak gösterilmesi

3. YÖNTEM

3.1 Doğrudan Ölçme Yöntemi ile Belirlenmesi

Dinamik basıncın kuvvetle değişiminden elde edilir. Dairesel bir silindirin deney sistemine monte edilip dengeye getirilmesi ile düzenek kurulur. Daha sonra terazi sabitlenerek hava akım hızı maksimum değerine getirilir. Daha sonra direnç kuvvetini ölçmek için terazinin gözüne ağırlıklar ilave edilir. Ancak dengenin tam olarak sağlanabilmesi için ağırlıklar yerine hava akım hızları ile ayarlama yapılması tavsiye edilmektedir. Bu yolla **Tablo 5.1** birkaç hız aralığı için uygun noktalardaki okumalarla doldurulur. Her akım hızında toplam basınç ve statik basınç kaydedilmelidir.

Silindirin L uzunluğu için farklı hızlarda elde edilen direnç kuvveti **Tablo 5.1**'e işlenir. Burada, direnç kuvvetinin birimi gram kuvvet'dir (1 gmf=9.81 dyn= 9.81*10⁻³).

Daha sonra **Tablo 5.1**'in birinci kolonuna karşılık dördüncü kolon değerleri grafik olarak çizilir. Böylece, ortaya çıkan doğru eğiminden şu ilişki elde edilir;

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho U^2 d} = \frac{DI}{\frac{1}{2} \rho U^2 dL}$$

3.2 Basınç Katsayısı ile Belirlenmesi

Yüzeyinde bir adet basınç prizi ile arkasında iletkei bulunan dairesele bir silindir hava tüneline yerleştirilmiştir. Bu basınç prizi manometreye bağlanır ve hava akım hızı maksimuma yakın uygun bir değere ayarlanır. Silindir kendi eksenine etrafında döndürölmek şartıyla yüzey basıncı p ölçölür. P₀ toplam ve p₀ statik basınçları zaman zaman okunmak suretiyle rüzgar hızı sabit tutulmaya çalışılır.

Okumalardan elde edilen değerlerle Tablo 5.2 oluşturulur. Tablo 5.2'nin birinci kolonuna karşılık üçüncü kolonu çizilerek silindir etrafındaki basınç dağılımı ve yine birinci kolonuna karşılık dördüncü kolonu çizilerek c_pcosθ dağılımı elde edilir. Bir planimetre kullanılarak c_pcosθ eğrisinin altındaki alanın hesaplanması ile C_D direnç katsayısı hesaplanır.

$$C_D = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} c_p \cos \theta d\theta$$

3.3 Art-iz Bölgesindeki Hız Ölçümü ile Belirlenmesi

Silindirin mansabına bir pitot tüpü yerleştirmek suretiyle dairesele silindirin mansabındaki hız dağılımı elde edilmektedir. Ancak belirli aralıklarla hava tüneline hızı kontrol edilerek akım şartlarının sabit tutulmasına çalışılmalıdır. Ancak art-iz bölgesindeki yüksek türbölans nedeniyle okumalar oldukça kararsızdır. Ölçümlerden elde edilen değerler ile **Tablo 5.3** oluşturulur.

$$P_0 - p_0 = \frac{1}{2} \rho U^2$$

$$P_e - p_e = \frac{1}{2} \rho u^2 \quad \Rightarrow \quad \frac{P_e - p_e}{P_0 - p_0} = \frac{u^2}{U^2} \quad \Rightarrow \quad \frac{u}{U}$$

elde edilir.

Elde edilen **Tablo 5.3**'den 3. kolona karşılık 4. ve 5. kolonlar çizilerek iki farklı eğri elde edilir. Direnç katsayısı $1-u^2/U^2$ eğrisinin altındaki alanın belirlenmesi ile şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$C_D = \frac{2h}{d} \frac{p_0 - p_e}{\frac{1}{2} \rho U^2} + \frac{2h}{d} \int_{-1}^1 \left(1 - \frac{u^2}{U^2}\right) d\eta$$

4. TARTIŞMA

- Silindir etrafındaki basınç dağılımını çiziniz. Eğri üzerindeki durgunluk ve ayrılma noktalarını belirleyiniz.
- Çalışmanın hangi Reynolds sayısında yapıldığını hesaplayınız ve diğer kaynaklardan faydalanarak C_D katsayısının Re sayısı ile değişimini araştırarak tartışınız.

Adı Soyadı:
Numarası:

Grup No:
Tarih :

Tablo 5.1 Doğrudan ölçme yöntemi ile direnç kuvveti

Direnç Kuvveti DI(gmf)	P_0 (N/m ²)	p_0 (N/m ²)	$P_0-p_0=1/2\rho U^2$ (N/m ²)

Hava sıcaklığı	$t^{\circ}\text{C} =$	K
Barometrik basınç	$m_b =$	N/m ²
Hava yoğunluğu	$\rho = p/RT =$	kg/m ³
Silindir çapı	$d =$	m
Silindir uzunluğu	$I =$	m
Çalışan kesitin yarı genişliği	$h =$	m
	$h/d =$	

Adı Soyadı:
Numarası:

Grup No:
Tarih :

Tablo 5.2 Dairesel silindir etrafındaki basınç dağılımı

θ (derece)	$P_i - p_0$ (N/m ²)	c_p $\frac{P_i - p_0}{\frac{1}{2}\rho U^2}$	$c_p \cos \theta$	θ (derece)	$P_i - p_0$ (N/m ²)	c_p $\frac{P_i - p_0}{\frac{1}{2}\rho U^2}$	$c_p \cos \theta$
0				0			
5				-5			
10				-10			
15				-15			
20				-20			
25				-25			
30				-30			
35				-35			
40				-40			
45				-45			
50				-50			
55				-55			
60				-60			
65				-65			
70				-70			
75				-75			
80				-80			
85				-85			
90				-90			
100				-100			
110				-110			
120				-120			
130				-130			
140				-140			
150				-150			
160				-160			
170				-170			
180				-180			

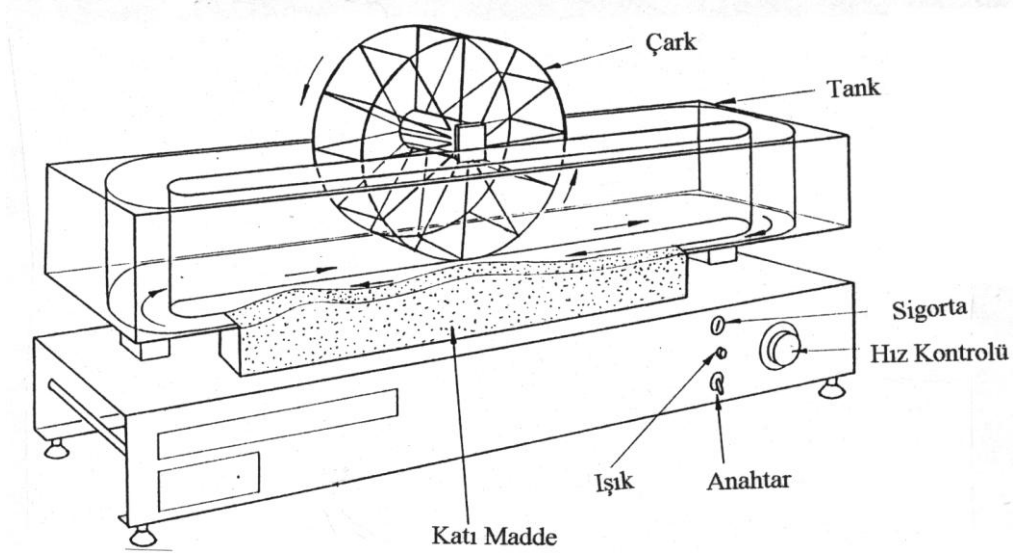
Adı Soyadı:
Numarası:

Grup No:
Tarih :

Tablo 5.3 Dairesel silindirin art-iz bölgesindeki hız ölçümü

y (mm)	y/h	$P_e - p_e$ $= \frac{1}{2} \rho U^2$ (N/m ²)	u/U	1-u/U	y (mm)	y/h	$P_e - p_e$ $= \frac{1}{2} \rho U^2$ (N/m ²)	u/U	1-u/U
0					0				
1					-1				
3					-3				
5					-5				
7					-7				
9					-9				
11					-11				
13					-13				
15					-15				
17					-17				
19					-19				
25					-25				
35					-35				
45					-45				
48					-48				
49					-49				
50					-50				

HAREKETLİ TABANLI KANAL



Şekil 6.1- Hareketli tabanlı kanalın genel görünümü

Kanallardaki katı madde hareketi ile ilgili deneyler (Şekil 6.1) :

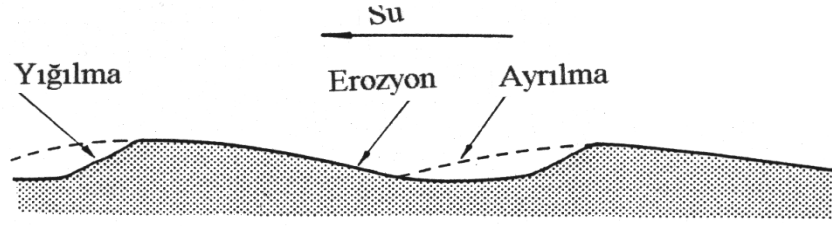
1. Eşik ve kum dalgacıklarının incelenmesi
2. Katı madde hareketi başlangıcı
3. Sürüntü malzemesi hareketinde katı madde boyutu ve yoğunluğunun etkisi
4. Sürüntü malzemesi taşınımı
5. Askı malzemesi taşınımı
6. Toplam katı madde taşınımının hesaplanması
7. Yerel erozyonunun incelenmesi
8. Kıvrımlarda sekonder hareketin incelenmesi

1. Eşik ve Kum Dalgacıklarının İncelenmesi

Bu deneyin amacı, su altında oluşan eşiklerin ve kum dalgacıklarının genel karakteri hakkında bilgi edinmektir (Şekil 6.2). Eşik profilleri oluştuğu zaman dış yüzeye aydınlatıcı kağıdı yerleştirilerek profiller çizilir.

İşlem Sırası:

- a- Alet, giriş kıvrımında 100mm derinlikte temiz su ile doldurulur.
- b- Su çarkının anahtarı açılır.
- c- Sistemi besleyecek hafif ağırlıkta katı madde ilave edilir, böylece giriş kısmında katı madde seviyesi taban seviyesinden 10mm yukarıda sabit tutulur.
- d- Çark hızı ayarlanarak ağır katı maddelerin askıya geçmesi engellenir.
- e- Akım çizgisinin ve sınır tabakasından ayrılmanın sonucu olarak eşik profillerinin gelişimi belirlenir.
- f- Değişik çark hızlarında katı madde taşınımı gözlenir.



Şekil 6.2 Kum eşiklerinin su altındaki profili

2. Katı Madde Hareketi Başlangıcı

Bu deneyin amacı, farklı katı madde ve akım şartları altında katı madde hareketinin başlangıç koşullarını belirlemektir.

İşlem Sırası:

- Farklı boyutta ve yoğunlukta katı maddeler seçilir.
- Çark, en düşük hızda çalıştırılır. Katı madde hareket edinceye kadar sistem boyunca çeşitli noktalarda hız artırılır ve buna göre akım hızı belirlenir.
- Farklı boyutta ve yoğunlukta katı maddeler için bu işlemler tekrarlanır.

3. Sürüntü Malzemesi Taşınımında Katı Madde Boyutu ve Yoğunluğunun Etkisi

Bu deneyin amacı, (1) deneyinden elde edilen bilgilerin daha da geliştirilmesidir. Yoğunlukları farklı iki katı madde kullanılır. Bu katı maddeler, elek analizi yapılarak büyüklüklerine göre sınıflandırılır. Deneyler aynı su seviyelerinde yapılırsa akım hızı, kontrol düzeneğinin çark hızı kullanılarak belirlenir. Deneye, her bir çark hızı ve katı madde sınıfı için bir taban formuna ulaşıncaya kadar devam edilir. Eşiğin dalga boyu (L), yüksekliği (H) ve eşik tepesinin ilerleme hızı (v) tanımlanır. Sürüntü malzemesi taşınımı hacimsel olarak (vHL) eşitliği ile ifade edilir ve bu parametrelerin değerleri aşağıdaki değişkenlere karşılık çizilir.

- Çark Hızı
- Katı madde yoğunluğu
- Katı madde boyutu

İşlem Sırası:

- Farklı boyutta ve yoğunlukta katı maddeler seçilir.
- Hareketin başlangıç hızından daha büyük bir hız oluşturmak için çark çalıştırılır ve eşik oluşturulur.
- Dalga boyu, tepe yüksekliği ve eşik ilerleme hızı ölçülür.
- Deney farklı hızlarda tekrarlanır.
- Farklı katı maddeler için b seçeneğinden itibaren aynı işlemler tekrarlanır.
- Farklı akım ve katı madde parametreleri için elde edilen sonuçlar karşılaştırılır.

4. Sürüntü Malzemesi Hareketi

Bu deneyin amacı, katı madde taşınımını (3) deneyinden daha kısa bir sürede elde etmektir. Sürüntü malzemesi taşınımı, ya eşik ilerleme miktarı ölçülerek ya da ölçümlerden bunların hacimleri tahmin edilerek belirlenir. Eşiğin dalga boyu (L), yüksekliği (H) ve eşik

tepesinin ilerleme hızı (v) ölçülür ve sürüntü malzemesi miktarı doğrudan (vHL) eşitliğinden hesaplanır. Sürüntü malzemesi miktarı, çark hızına veya akım hızına karşılık çizilir.

İşlem Sırası:

- a- Katı tane, boyutları 2mm'den büyük olmayacak şekilde seçilir.
- b- Hareketin başlangıç hızından daha büyük bir hız oluşturmak için çark çalıştırılır ve eşik oluşturulur.
- c- Dalga boyu, tepe yüksekliği ve eşik ilerleme hızı ölçülür.
- d- Deney farklı hızlarda tekrarlanır.
- e- Sürüntü malzemesi taşınımı (vHL) eşitliğinden hesaplanır ve çark hızı ile akım hızına karşılık çizilir.

5. Askı Malzemesi Taşınımı

Bu deneyin amacı, askı malzemesi konsantrasyonu ve debiyi ölçerek askı malzemesi taşınımını belirlemektir.

$$\text{Porozite} = (\text{boşluk hacmi} / \text{toplam katı madde hacmi}) \times 100\%$$

İşlem Sırası:

- a- Deneye başlandığında çark, askı malzemesi oluşturacak şekilde çalıştırılır.
- b- Akımdaki askı malzemesi konsantrasyonu, kanalda bilinen bir derinlikten katı madde içeren en az 1 litre su sifonlanarak belirlenir.
- c- Örneklerin toplam hacmi ölçülür. Daha sonra, katı maddenin büyük ölçüm silindiri içinde çökmesine izin verilir. Bu işlemin ardından aletin içine 0.8 litre su doldurulur, küçük camlı ölçüm silindirine katı madde üzerinde kalan su transfer edilerek çöken katı madde hacmi belirlenir.
- d- b ve c işlemleri farklı derinliklerde tekrar edilir.
- e- Çökelen katı madde miktarı hesaplanır ve bir akım için, örnek alma noktasının derinliğine karşılık çizilir. Toplam katı madde taşınımı debiye karşılık çizilir.

6. Toplam Katı Madde Taşınımının Hesaplanması

Bu deneyin amacı, taşınan toplam katı madde (sürüntü+askı) miktarının belirlenmesidir.

İşlem Sırası:

- a- Çalışma düzeneğinin ön yüzeyine aydınlatıcı kağıdı konur ve kağıdın üzerine taban şekli kopyalanarak çizilir.
- b- Askı hareketine izin verecek yükseklikteki çark düzeneği çalıştırılır.
- c- Çark durdurulur.
- d- Başka bir aydınlatıcı kağıda tabanın yeni profili kopyalanır.
- e- Taban eşiğinin çukurundan taşınan rölatif katı madde miktarı denge şartları oluşunca kanal yan yüzeyine yerleştirilerek kopyalanan şekil yardımıyla belirlenir veya bu işlem elde edilen iki şeklin karşılaştırılmasıyla yapılır.
- f- Bu deney farklı debiler için tekrar edilir ve toplam katı madde taşınımı farklı debiler için karşılaştırılır.

7. Yerel Erozyonun İncelenmesi

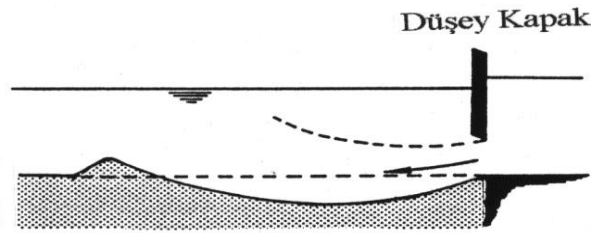
Hareketli tabanlı kanal sistemi, kanal daralmalarında ve mansapta yerel erozyon etkisini incelemek için de kullanılır.

Kapak altı akımı:

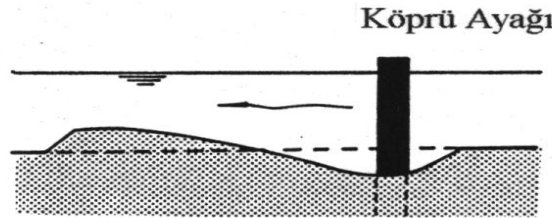
Sistemin dar bölümü iki boyutlu akıma uygun değildir. Savak kapağı **Şekil 6.3**'de görüldüğü gibi yerleştirilir. Çark, düşük bir hızda çalıştırılır. Oyulma çukuru profili ve boyutları kaydedilir.

Köprü ayağı etrafındaki akım:

Şekil 6.'deki gibi sistemde düşey olarak köprü ayağı ya da kazık vazifesi gören uzun bir tüp kullanılır. Bu bölgede derin bir oyulma çukuru oluşacakmış gibi, katı madde içine iyice yerleştirilmiş silindirin taban kısmı sağlamlaştırılır. Çark, oyulma çukuru büyüyene dek düşük hızda çalıştırılır. Katı maddenin toplam alanı ve oyulma çukuru genişliği ile derinliği kaydedilir.



Şekil 6.3 Savaşın mansabında oluşan erozyon



Şekil 6.4 Köprü ayağı etrafında oluşan erozyon

8. Kıvrımlarda Sekonder Hareketin İncelenmesi

Bu deneyde, kıvrımlı kanallarda ana akım doğrultusuna dik oluşan sekonder akım nedeniyle kıvrımların dış kıyısında meydana gelen oyulma, iç kıyısında meydana gelen yığılma incelenir.

İşlem Sırası:

- Çark, sürüntü malzemesi taşınımı için çalıştırılır.
- Kıvrım mansabında akım yönü gözlenir. Düşük seviyedeki akım çizgileri, tabandaki sürüntü malzemesi ve daha yukarıdaki akım çizgileri, askıdaki ince taneler dikkate alınarak gözlenir.

POMPALAR

1. GİRİŞ

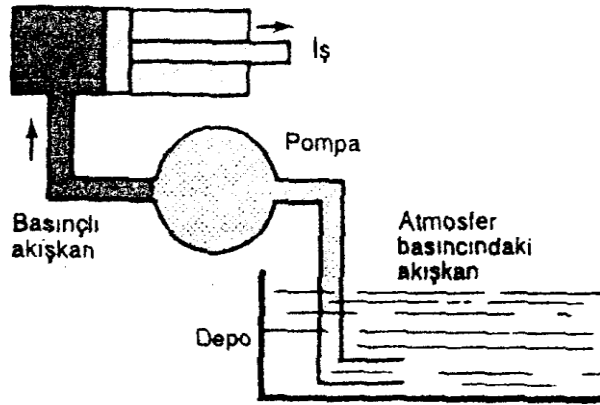
Dışarıdan bir tahrik motoru ile aldığı enerjiyi içinden sıvıya aktaran makinelere “tulumba” veya “pompa” denir (Şekil 7.1).

Pompanın milinin (veya pistonunun) bir tahrik makinesi ile tahrik edilmesi gerekir. Bunun için pompanın milinin (veya pistonunun) kendisine enerji sağlayan bir makineye bağlı olması gerekir. Bu makine bir elektrik veya benzin motoru olabilir. Bir pompa istasyonu esas olarak üç kısımdan meydana gelir.

- 1) Pompa (sıvıya enerji aktaran araçtır)
- 2) Motor (tahrik kuvveti sağlayan araçtır)
- 3) Bağlantılar

Pompaların sıvıya sağladığı enerjinin sürekli veya kesikli oluşuna göre iki ana grupta toplanması mümkündür.

- 1) Hacim tipi (alternatif) pompalar
- 2) Türbin tipi (turbo veya rotatif) pompalar



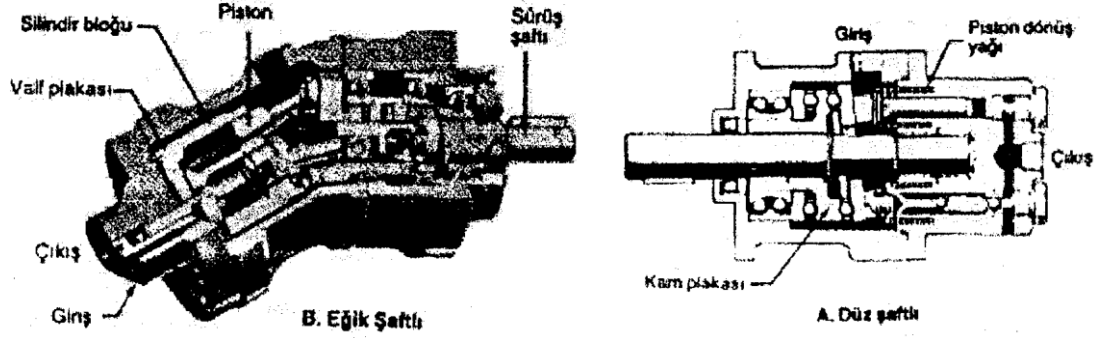
Şekil 7.1 Pompanın çalışması

1.1 Hacim Tipi Pompalar

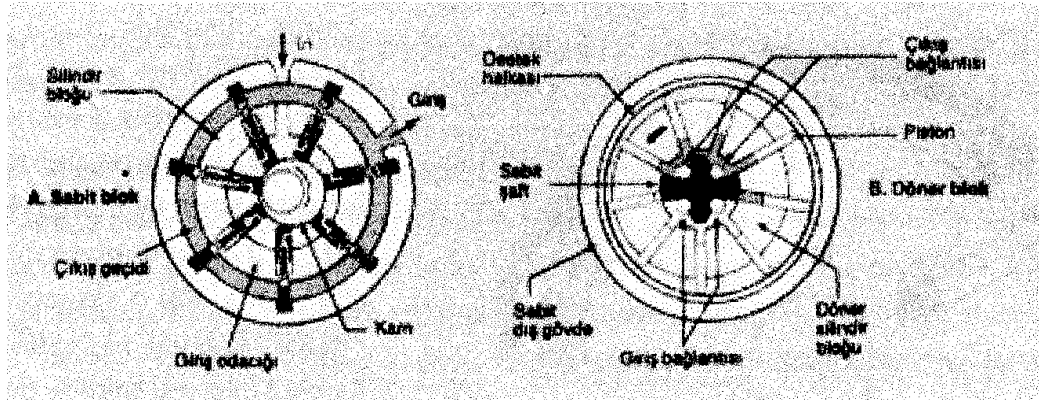
En önemli tipi pistonlu pompalardır. Bu tip pompalarda enerjinin sıvıya aktarılışı, sıvının belirli bir hacim içerisinde (silindir) alınıp bir yüzey (piston) tarafından bu hacim içerisindeki sıvıya bir basınç uygulanması ile olur. Enerjinin sıvıya aktarılması kesik kesik olur. Dolayısıyla basılan sıvı miktarı da kararsızdır. Hacim tipi pompaları, pistonun ileri-geri ve dönme hareketi yapmasına göre iki ana gruba ayırabiliriz (Şekil 7.1 ve 7.2).

1.1.1 Pistonlu Pompalar

İki ayrı tipte çalışma düzenleri vardır (Şekil 7.2). Pistonlu pompaların diğer bir tipi de diyaframli pompalardır (Küçük debilerde, tehlikeli sıvıların basılmasında kullanılır). Pistonlu pompaların devirleri fazla olmaz (max $n=100$ dev/dak). Emme yüksekliği 6-7 m'yi geçemez, aksi halde pompa derine indirilmelidir (derin kuyu pompası). Ayrıca bu tip pompalarda emme borusu su ile dolu olmalıdır. Bunun için emme borusu altına bir klapa konur.



Şekil 7.2 Eksenel Pistonlu Pompalar



Şekil 7.3 Radyal Pistonlu Pompalar

Bu pompalarda teorik debi aşağıdaki eşitlikten belirlenebilir.

$$Q = \lambda \frac{\pi D^2}{4} L \cdot n \quad (7.1)$$

Burada λ dolma derecesi (0.93-0.96), D silindirin çapı, $\frac{\pi D^2}{4}$ silindirin kesit alanı, L pistonun bir gidişinde aldığı mesafe (strok), n pistonun birim zamanda yapmış olduğu devir sayısıdır (pistonun bir gidiş gelişi veya çarkın tam dönüşü).

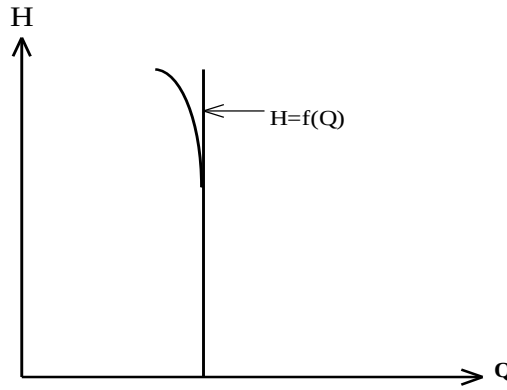
$$\left. \frac{Q(\text{lt/s})}{H(\text{m})} \right\} \frac{Q}{H} < \frac{1}{30} - \frac{1}{50} \text{ olduğunda bu pompalar ekonomik olur.}$$

Bu tip pompaların avantajları;

- 1) Ev tesisatlarında küçük debilerin basılmasında kullanılır.
- 2) Randımanları iyidir (0.60-0.90).
- 3) Devir sayısı ve buna bağlı olarak debi de kolaylıkla ayarlanır.
- 4) Her basma yüksekliğinde sabit debi verirler (istediğimiz debiyi istediğimiz yüksekliğe basarız). Basma yüksekliği debiye bağlı değildir.
- 5) Basma yüksekliği azaldığı zaman motora gelen yük azalır.
- 6) Emme yükseklikleri daha fazladır.

Dezavantajları;

- 1) Kesikli debi basarlar, bundan dolayı meydana gelen atalet kuvvetlerinden kaçınmak için hava kazanına ihtiyaç olabilir.
- 2) Büyük yer işgal ederler.
- 3) Sibop arızaları çok sık meydana gelir.
- 4) Daha pahalıdır.
- 5) Bastıkları debi küçüktür. Basma yüksekliği debi ile değişmez (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 Pistonlu pompanın karakteristiği

Şekil 7.4’de görülen sapma hattaki kaçaklardan meydana gelmektedir.

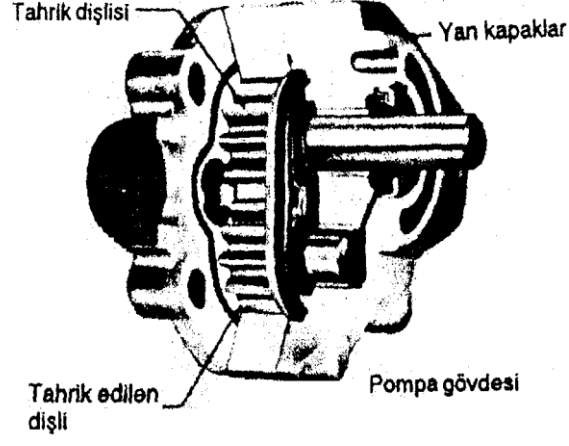
1.1.2 Dönen Pistonlu Pompalar

Buna en güzel örnek dişli pompalardır. Bunlar küçük debi basarlar (Şekil 7.3, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8). Dişli pompalarda teorik debi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

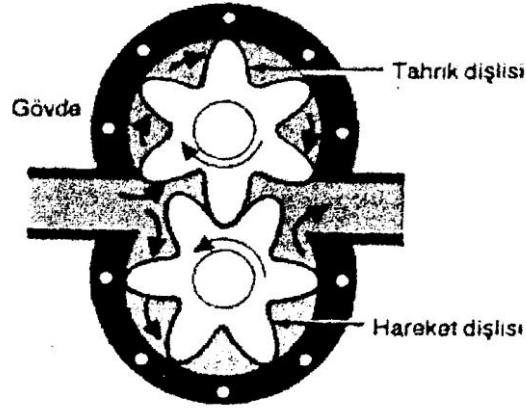
$$Q = \frac{2 A m n}{60} \eta_k \quad (7.2)$$

Burada m diş sayısı (bir dişlideki), n dişlinin devir sayısı, A gövde ve iki dişli arasındaki boşluğun hacmi, η_k gerçek debi ile iletilen arasındaki oran (kaçak katsayısı).

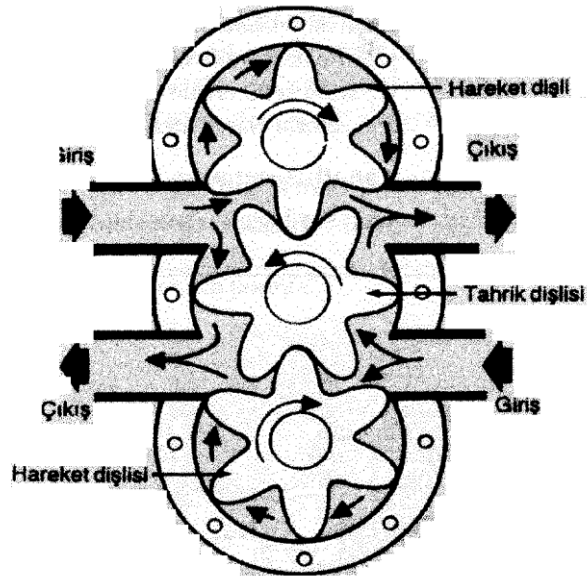
Eğer d_0 dişli ortalama çapı ($2r_0$), h diş yüksekliği, b diş genişliği ve boşlukla diş hacmi eşitse bu takdirde teorik debi $\left(A = \frac{\pi d_0 h b}{2m} \right)$ alınarak,



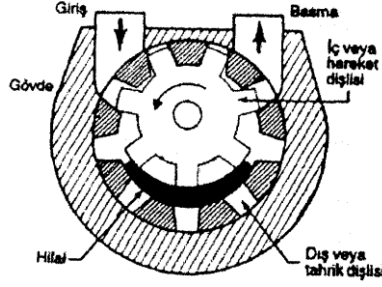
Şekil 7.5 Dişli Pompa Montajı



Şekil 7.6 Dıştan Dişli Pompanın Elemanları



Şekil 7.7 Üç Dişli Pompa



Şekil 7.8 İçten Dişli Pompa

$$Q = \frac{\pi d_0 h b n}{60} \eta_k \quad (7.3)$$

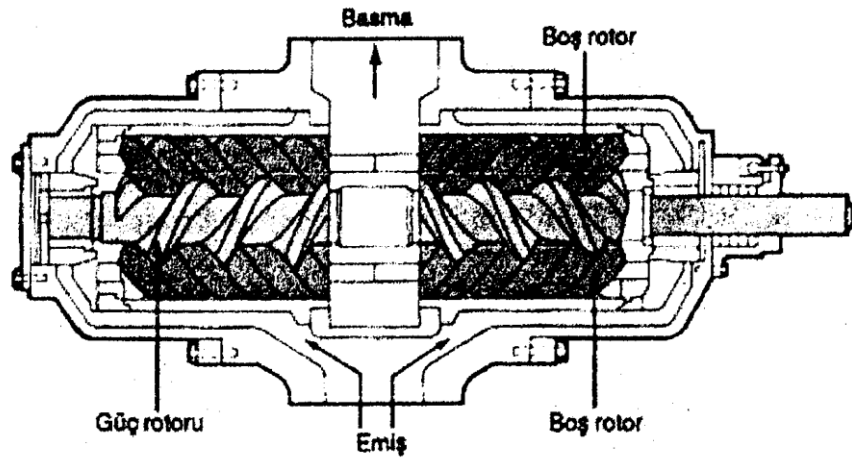
şeklinde elde edilir.

1.2 Türbin Tipi Pompalar

Akım hızı sabit olacak şekilde dizayn edilen veya belirli sınırlar içerisinde tedricen değişen su makinelerine turbo veya rotatif su makineleri denir. Bunların diğer tipten en büyük farkı debinin kesikli olmamasıdır. Sıvıya enerjinin iletilmesi kinetik enerji ile olur yani hızın arttırılmasıyla enerji iletilir. Bir önceki tipte ise basınç enerjisinin iletilmesiyle olmaktadır. Türbin tipi pompalar iki kısımdan meydana gelir (Şekil 7.9).

- 1) Dönen kısım (mil ve çark): Çarkın görevi sıvıya istenilen hızı dolayısıyla kinetik enerjiyi vermektedir.
- 2) Gövde (pompa muhafazası): Gövdenin vazifesi çarkı korumak, çarkın sıvıya verdiği kinetik enerjiyi basınç yüküne çevirmek ve aynı zamanda çarkın milinin yataklanmasını sağlamaktır.

Yüksek devirli pompalarda çarkın etrafında sabit olan, çarktan çıkan kinetik enerjiyi basınç enerjisine çeviren kanatlar mevcuttur. Bunlara difüzör (yayıcı) denir.



Şekil 7.9 Eksenel Pompa

Bu pompaları sıvının çıkışına göre üç ana grupta toplayabiliriz (Sıvı girişi daima eksene paraleldir).

- 1) Radyal pompa
- 2) Yarı eksenel pompa
- 3) Eksenel pompa

Santrifüj pompalar özellikle yüksek basma yüksekliklerinde kullanılır:

- | | |
|--------------------------------|--------------------|
| 1) $H_p > 60$ m | radyal pompa |
| 2) $20 \text{ m} < H_p < 60$ m | yarı eksenel pompa |
| 3) $20 \text{ m} > H_p$ | eksenel pompa |

Gövdenin şekline göre santrifüj pompalar iki kısma ayrılır:

- a) Salyangoz pompa: Çark ile gövde arasındaki hacim gittikçe artar, böylece basınca çevirme işlemi bu yoldan sağlanır.
- b) Difüzörlü pompa: Yayıcı kanatlar ihtiva eder. Çark ile gövde arasındaki hacim sabittir. Böylece kinetik enerjinin basınca çevrilmesi difüzör arasındaki kanatlarda meydana gelir.

Bazen pompaları sıvının pompaya girişine göre tek girişli veya çift girişli olarak sınıflandırabiliriz, bazen de milin durumuna göre düşey milli veya yatay milli olarak sınıflandırma yapılabilir.

Kademeli Pompalar

Bu tip pompalarda basma yüksekliği belirli bir yüksekliğe kadardır. Verilen bir devir hızında belirli bir debiyi ancak belli bir basma yüksekliğine basabilirler. Fakat daha yüksek basma yükseklikleri için aynı gövde içersinde aynı mil içerisine seri halde birden fazla çark kanatları monte edilebilir. Böylece sıvı bir çarktan belirli enerjiyi aldıktan sonra diğer bir çarka gider, böylece istenilen basma yüksekliğine erişilir. Bu tip pompalara kademeli pompalar denir. Bir mil üzerine tek çark yerleştirilmişse tek kademeli, iki çark yerleştirilmişse iki kademeli veya genel olarak çok kademeli pompa denir. Çok kademeli pompalarda basma yüksekliği bir çarkın basma yüksekliği ile çark sayısının çarpımına eşittir.

Turbo Pompaların Avantajları

- 1) Akım süreklidir, dolayısıyla bu pompalar çalışırken darbe sorunu yaratmazlar.
- 2) Yüksek devirlerde çalışabilirler, bu nedenle yüksek devirli elektrik veya dizel motorları yahut buhar türbinlerine doğrudan bağlanabilirler.
- 3) Pistonlu pompalara nazaran daha küçük yer işgal ederler.
- 4) Devirleri büyük olduğunda imalatı kolaydır.
- 5) Hafif olduklarından yerleştirmeleri kolaydır.
- 6) Yüksek devirlerde çalışabildiklerinden büyük debilerin basılmasına imkan verirler.
- 7) Fiyatları ucuzdur ve bakımları kolaydır. Yağlama istemezler, içinden akan sıvı akımı bir nevi yağlama etkisi yapar.
- 8) Değişik debilerde çalıştırılabilirler. Örneğin basma tarafındaki vana kapalı durumdayken yani su basılmazken pompa çalışabilir.
- 9) Geniş kullanma sahaları vardır.

Turbo Pompaların Dezavantajları

- 1) Basma yükseklikleri debi ile değişir.
- 2) Düşük debilerde ve büyük basma yüksekliklerinde verimleri %40'a kadar düşer.
- 3) Emme yükseklikleri pistonlulara göre düşüktür.
- 4) Emme borusu sıvı ile dolu olmadıkça sıvıyı basamazlar.

Salmastranın gevşek olması sıvı kaçağına, çok sıkıştırılması yük kaybının artmasına ve salmastra malzemesinin yanmasına neden olur. Aşınan salmastranın değiştirilmesinde dikkat edilmesi gerekli hususlar;

- 1) Eskimiş salmastra malzemesi çıkarıldıktan sonra mil ve salmastra kutusuna sıkışmış pislikler iyice temizlenmelidir.
- 2) Yeni malzeme yerine teker teker yerleştirilmeli ve kesik kısımlarının üst üste gelmemesine dikkat edilmelidir.
- 3) Salmastra mil ve çarkta sıkışıklık yapmayacak şekilde yerleştirilmelidir.

Turbo Pompanın Elemanları

- 1) Emme ağzı
- 2) Mil ve çark
- 3) Mevcut su yayıcı kanatlar
- 4) Gövde
- 5) Çıkış ağzı

Pompanın Basma Yüksekliği (H_p)

Pompanın içinden geçen birim ağırlıktaki (1 N'luk) sıvının pompa çıkışındaki toplam enerjisi (potansiyel, basınç ve hız yükü toplamı) ile pompanın emme tarafındaki (girişteki) toplam enerji arasındaki farka pompanın toplam basma yüksekliği denir.

Pompanın toplam basma yüksekliğinin değeri kararlı akıma ait enerji denkleminin uygulanmasıyla elde edilir. Pompanın emme ve basma tarafındaki uygun noktalar arasına bu denklemin uygulanmasıyla elde edilir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

Pompa debisi: Pompa içersinden birim zamanda geçen hacim, kütle veya ağırlık cinsinden sıvı miktarına denir.

Nominal debi: Pompanın maksimum randımanda çalışırken verdiği debidir.

Verim: $\eta_k = \frac{\text{Pompanın (herbirim ağırlıkta) sıvıya verdiği enerji}}{\text{Pompa miline verilen enerji}}$

Bu, mekanik kayıplar ve hidrolik kayıpların çarpımına eşittir.

Devir sayısı: Birim zamanda (dakikada) tam dönüşlerin sayısı (pistonluda tam gidip gelme).
n (dev/dak)

Pompanın manometrik basma yüksekliği: Pompanın giriş (1) ve çıkış (2) kısımlarındaki toplam enerjilerin farkı olarak ifade edilir.

$$H_1 = z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$H_2 = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$H_m = H_2 - H_1$$

(7.4)

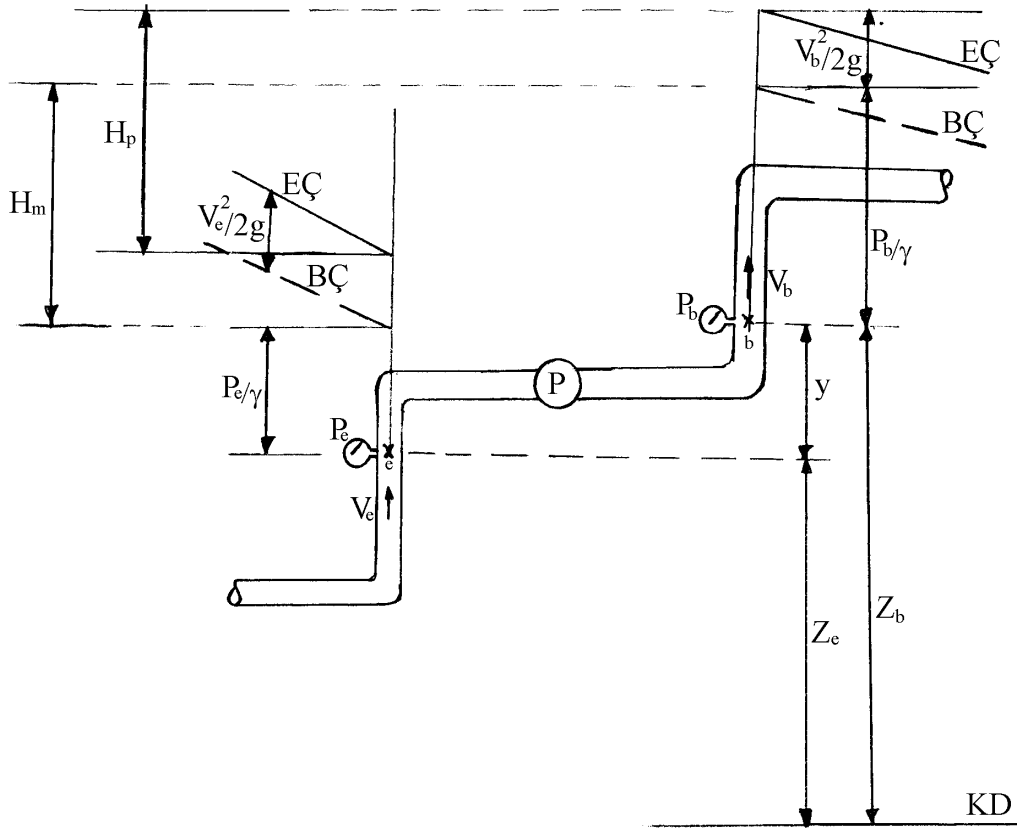
$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + H_m = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

Eğer $V_1=V_2$ ve $z_1=z_2$ ise

$$H_m = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_1}{\gamma}$$

(7.5)

H_p 'nin ölçülmesi ;



Şekil 7.10

$$H_b = z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g}$$

$$H_e = z_e + \frac{P_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g}$$

$$H_p = H_b - H_e \quad (7.6)$$

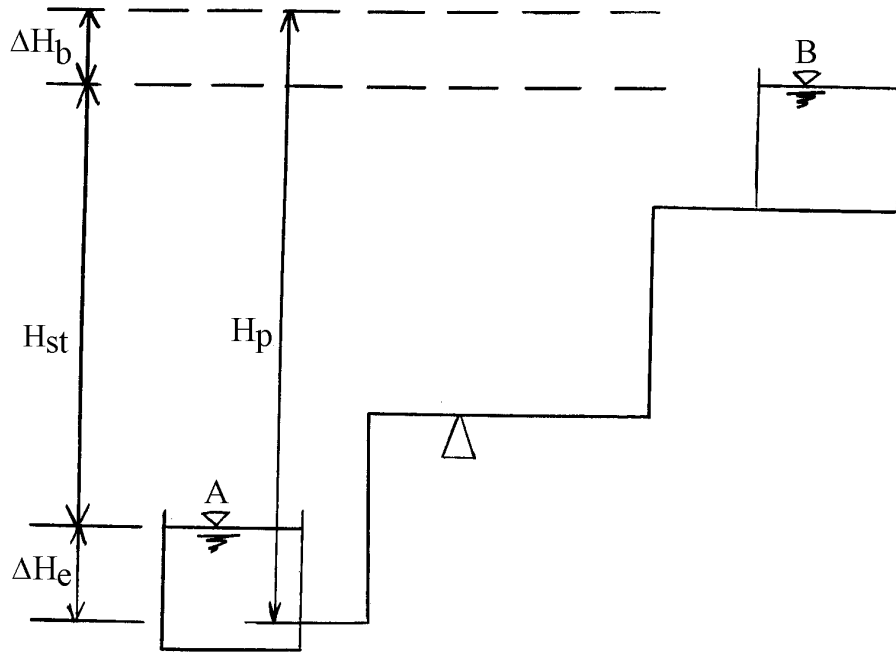
(H_m = manometrik yükseklik eğer $V_e=V_b$ ise $H_m=H_p$ dir.)

$$z_e + \frac{P_e}{\gamma} + \frac{V_e^2}{2g} + H_p = z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g}$$

$$H_p = (z_b - z_e) + \frac{P_b - P_e}{\gamma} + \frac{V_b^2 - V_e^2}{2g} \quad (7.7)$$

$$z_b - z_e = y$$

H_p 'nin Hesabı;



Şekil 7.11

$$\sum \Delta H_t = \Delta H_b + \Delta H_e$$

$$z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} + H_p = z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + \sum \Delta H_t$$

$$H_p = (z_b - z_a) + \frac{P_b - P_a}{\gamma} + \frac{V_b^2 - V_a^2}{2g} + \sum \Delta H_t$$

$$H_{st} = \left(z_b + \frac{P_b}{\gamma} \right) - \left(z_a + \frac{P_a}{\gamma} \right) \quad \text{Statik Yükseklik}$$

$$H_p = H_{st} + \frac{V_b^2 - V_a^2}{2g} + \sum \Delta H_t \quad (7.8)$$

a) İki Hazne Halinde;

$P_a = P_b = \text{Atmosfer Basıncı}$

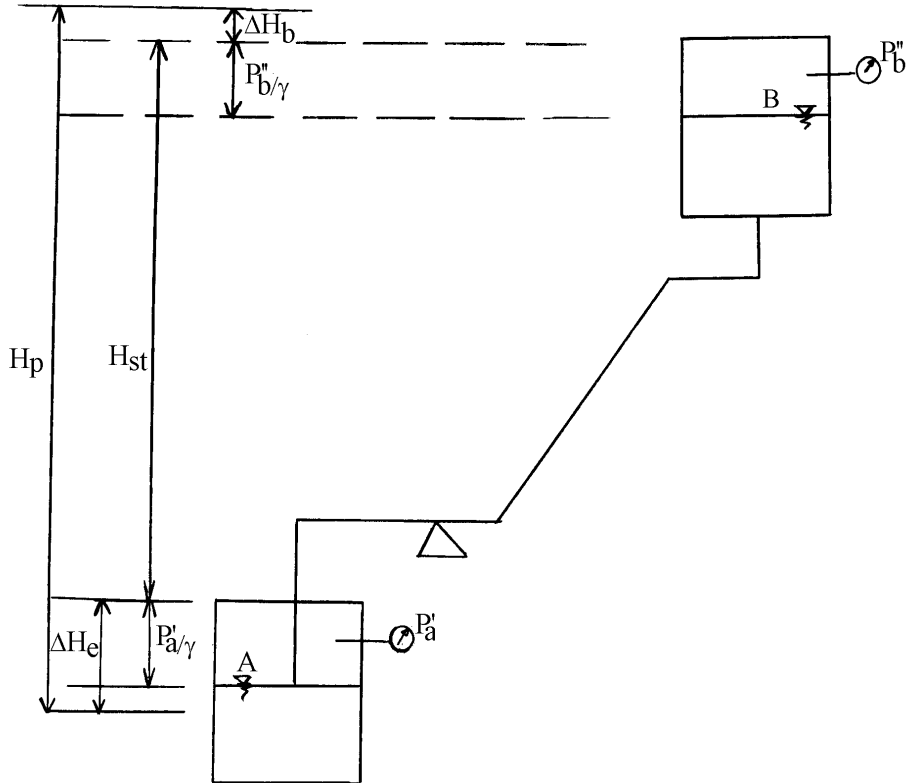
$$H_{st} = (z_b + z_a)$$

Eğer $V_b \approx V_a$ ise,

$$H_p = H_{st} + \sum \Delta H_t \quad (7.9)$$

b) Eğer iki hazne üzerinde P'_a ; P'_b gibi mutlak basınç değeri varsa

$$H_{st} = \left(z_b + \frac{P'_b}{\gamma} \right) - \left(z_a + \frac{P'_a}{\gamma} \right)$$



Şekil 7.12

$$H_p = (z_b - z_a) + \left(\frac{P'_b - P'_a}{\gamma} \right) + \frac{V_b^2 - V_a^2}{2g} + \sum \Delta H_t \quad (7.10)$$

Pompanın sıvıya verdiği güç

$$N_s = \gamma Q H_p \quad (\text{joule/sn}) = \text{watt} \quad N_s = \frac{\gamma Q H_p}{1000} \quad \text{kW} \quad (7.11)$$

Burada; γ (N/m^3) olarak sıvının özgül ağırlığı, Q (m^3/sn) pompanın bastığı gerçek debi, H_p (m) pompanın toplam basma yüksekliğidir.

$$N_s = \frac{\gamma Q H_p}{736} \quad \text{BG} \quad (7.12)$$

N_m = pompanın mile uyguladığı güç

N_s = pompanın çıkış tarafında sıvıya uyguladığı güç

N_{mot} = motorun pompaya uyguladığı teorik güç

(7.11) ve (7.12) bağıntıları, pompa verimleri yada randımanları dikkate alınarak aşağıdaki gibi yazılırlar.

$$N_m = \frac{\gamma Q H_p}{\eta} \quad N_m = \frac{\gamma Q H_p}{\eta 1000} \quad N_m = \frac{\gamma Q H_p}{\eta 736} \quad (7.13)$$

η = pompa randımanı grafikten alınır.

Eğer motor ve pompa birbirine direkt bağlanmamışsa mesela bir kasnak mevcutsa teorik güç %10 kadar artırılır. Bazen motorlarda elektrik enerjisinde voltaj düşmeleri veya bazı bağlantı hatalarından teorik güç bir randıman değeriyle artırılmalıdır. Bu da;

Büyük motorlarda % 10
Orta motorlarda % 15-25
Küçük motorlarda % 25-30

$$N_{\text{mot}} = \frac{\gamma Q H_p}{\eta \eta_{\text{mot}}} \quad N_m = \frac{\gamma Q H_p}{\eta \eta_{\text{mot}} 1000} \quad N_m = \frac{\gamma Q H_p}{\eta \eta_{\text{mot}} 736} \quad (7.14)$$

1 BG = 0.736 kW

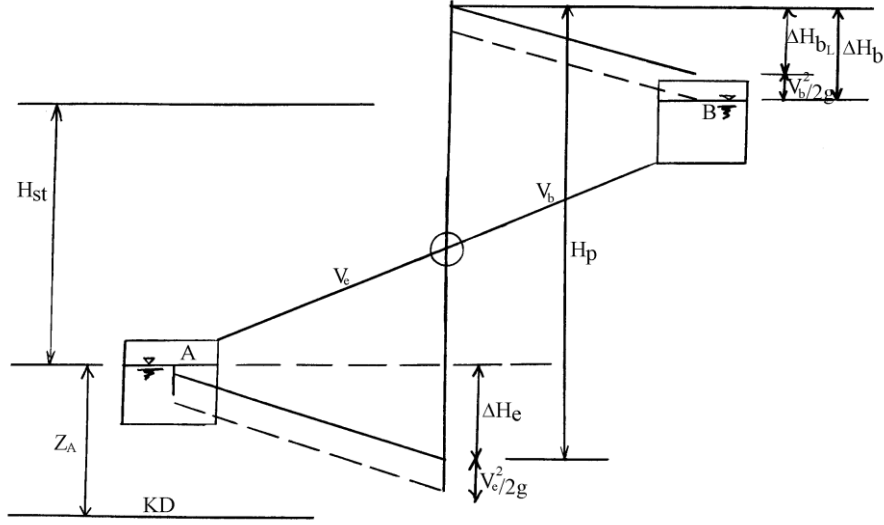
Tablo 7.1 Motor randımanları

KW	1-5	7.5-100	>100
η_{mot}	0.75-0.82	0.83-0.9	0.9-0.95
$\text{Cos } \varphi$	0.77-0.87	0.8-0.9	0.85-0.91

Pompaların Çeşitli Sistemlerde Çalıştırılmasına Ait Örnekler;

1) Pompanın hazneden hazneye su basması hali

a) Alt ve üst sıvı yüzeylerinde basınç aynı (Şekil 7.13) ;

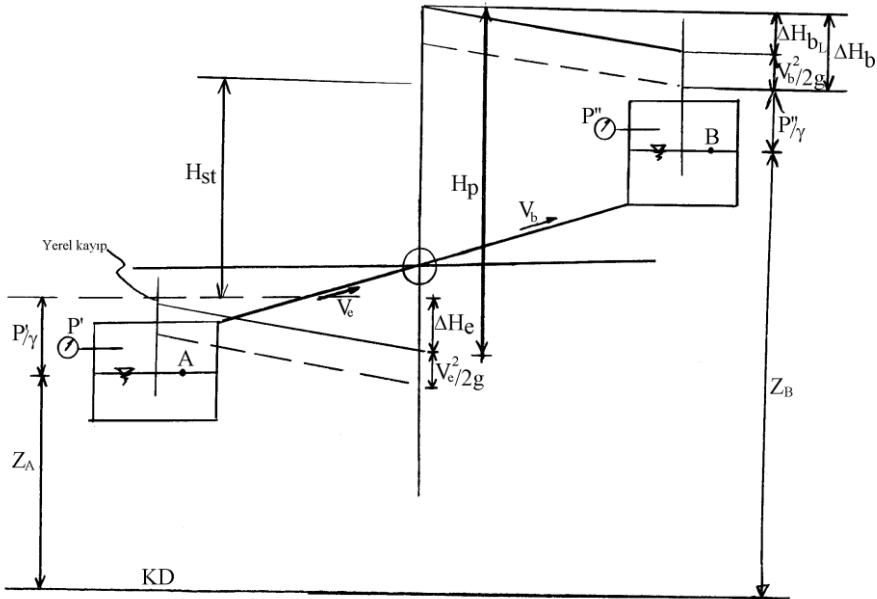


Şekil 7.13

$$z_a + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V_a^2}{2g} + H_p = z_b + \frac{P_b}{\gamma} + \frac{V_b^2}{2g} + \sum \Delta H_t$$

$$H_p = \left(z_b + \frac{P_b}{\gamma} \right) - \left(z_a + \frac{P_a}{\gamma} \right) + \frac{V_b^2 - V_a^2}{2g} + \sum \Delta H \quad (7.15)$$

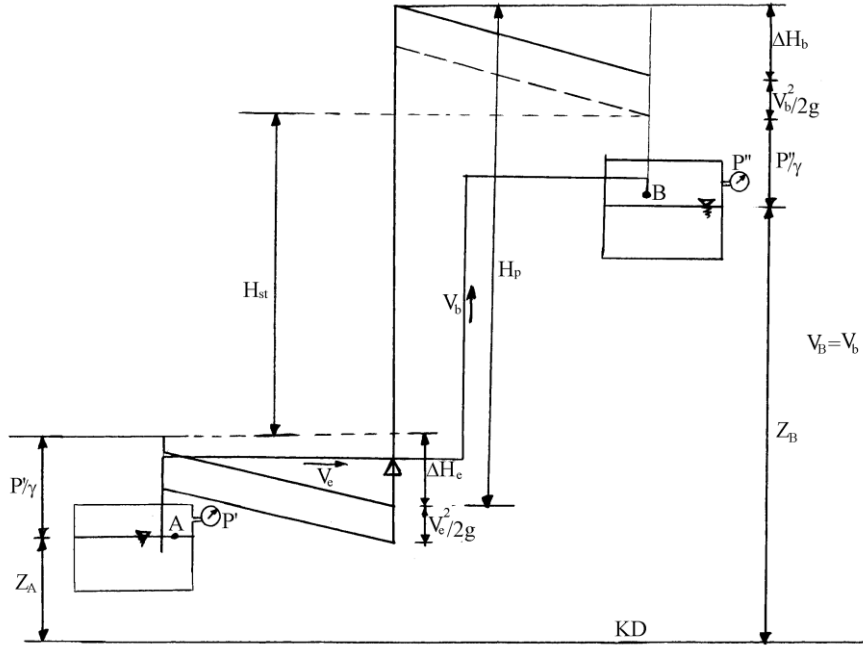
b) Üst sıvı yüzeyi ve alt sıvı yüzeyi basınçları farklı ise (Şekil 7.14);



Şekil 7.14

$$H_p = H_{st} + \sum \Delta H \quad (7.16)$$

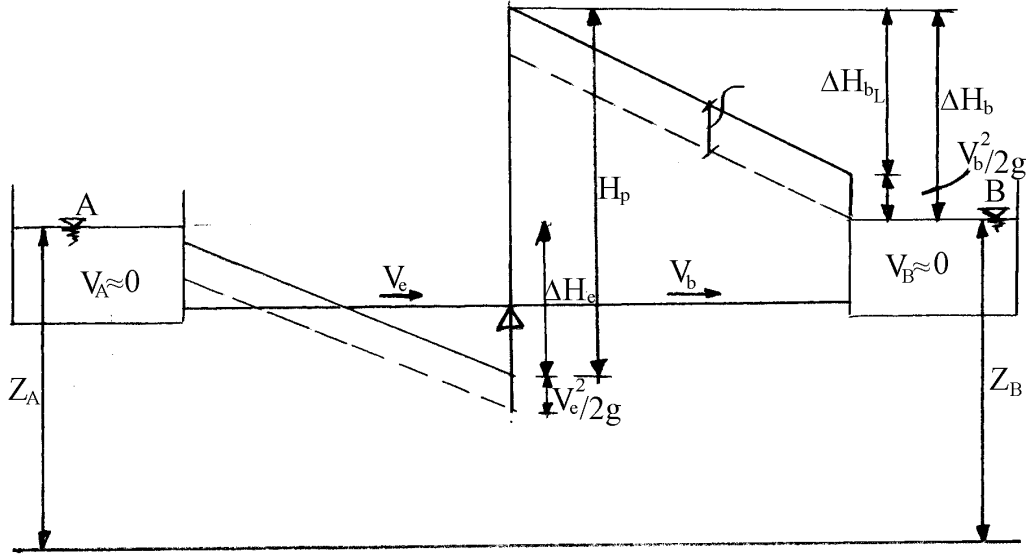
c) Basma borusu serbest uca sahipse (Şekil 7.15);



Şekil 7.15

$$H_p = H_{st} + \sum \Delta H + \frac{V_b^2}{2g} \quad (7.17)$$

d) Hazneler aynı seviyede ise (Şekil 7.16);



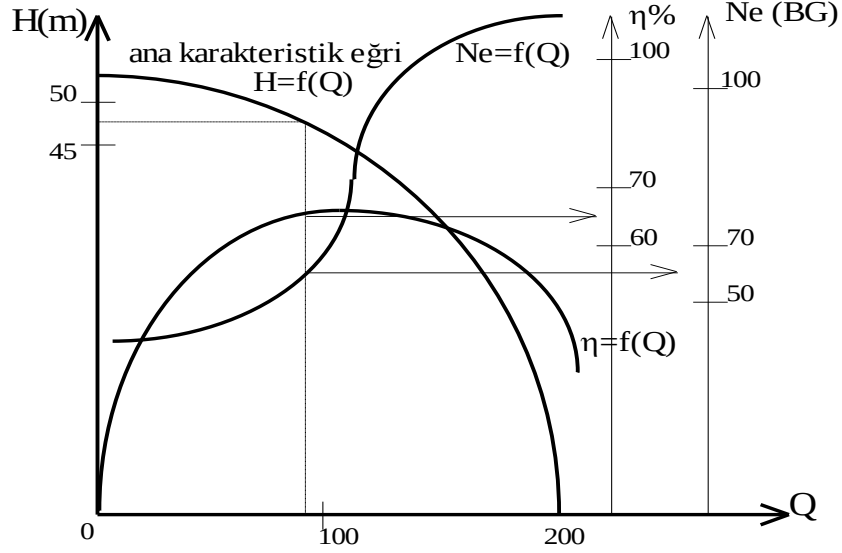
Şekil 7.16

$$H_{st} = 0 \quad H_{st} = \left(z_b + \frac{P_b}{\gamma} \right) - \left(z_a + \frac{P_a}{\gamma} \right) = 0$$

$$H_p = \sum \Delta H \quad (7.18)$$

Pompa Karakteristikleri

Bir pompanın belirli bir devir sayısı ile çekilen toplam basınç yükü (H_p), çektiği güç (N_e) ve randımanın (η) debi ile nasıl değiştiğini gösteren eğrilere “Karakteristik Eğriler” denir (Şekil 7.17).



Şekil 7.17

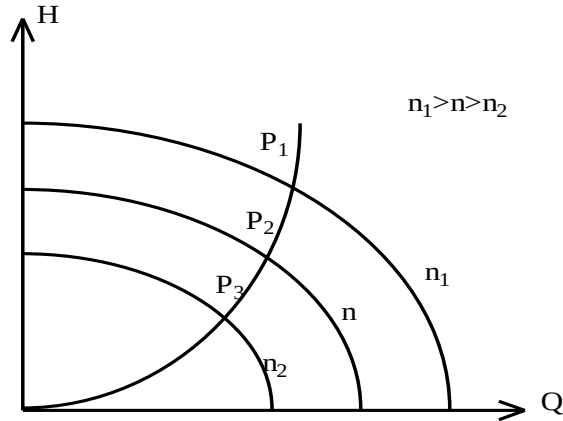
Pompa karakteristikleri her bir devir hızı için farklıdır (Şekil 7.18).

$H=f(Q)$ ana karakteristiktir. Genelde; $H_p = H_{st} + \sum \Delta H_L$ yazılır. H_{st} = sabit tir.

O halde H_p , $\sum \Delta H_L$ ile değişir. Eğer Darcy-Waisbach kullanılırsa;

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = K \frac{Q^2}{D^5} \quad (7.19)$$

elde edilir. Demek ki H_p , Q ile değişmektedir.



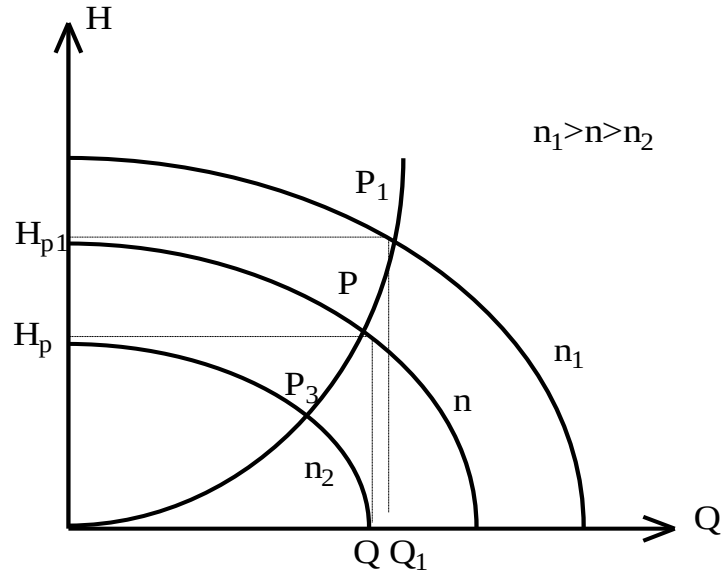
Şekil 7.18

Ana karakteristik eğrileri devir sayısı ile şekilde görülen P_1 , P_2 , P_3 parabolik eğrisi boyunca değişir (Şekil 7.18).

- 1) Debi, devir hızlarının oranının birinci kuvvetiyle
- 2) Basma yüksekliği devir hızlarının oranının karesiyle
- 3) N_e , devir hız oranlarının kübü ile orantılı olarak değişir.

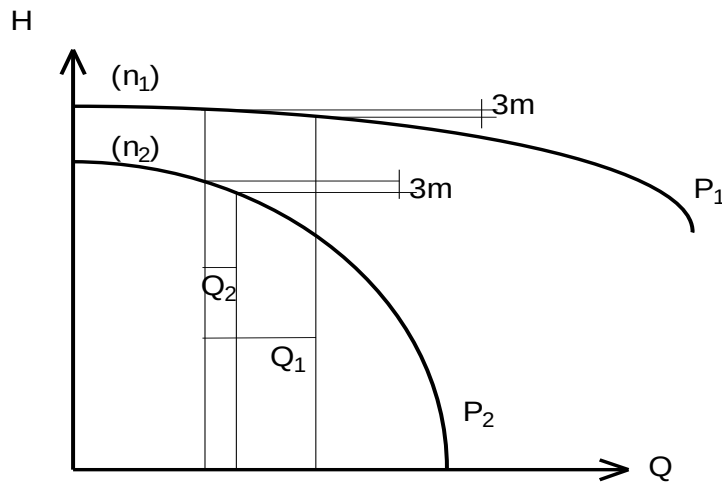
$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1} \quad \frac{H_p}{H_{p1}} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^2 \quad \frac{N_e}{N_{e1}} = \left(\frac{n}{n_1}\right)^3 \quad (7.20)$$

Bu bağıntılardan pompanın bilmediğimiz devrine ait karakteristiklerini çizebiliriz (Şekil 7.19).



Şekil 7.19

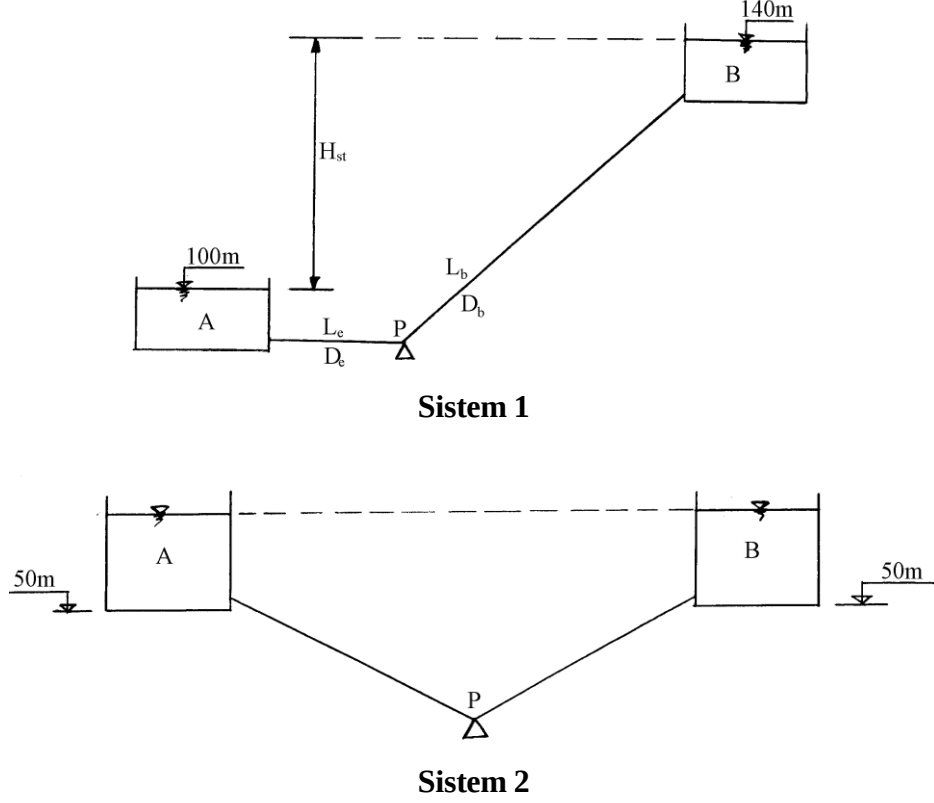
$\Delta Q_1 > \Delta Q_2$ Yatık karakteristikte debi daha çok değişir (Şekil 7.20).



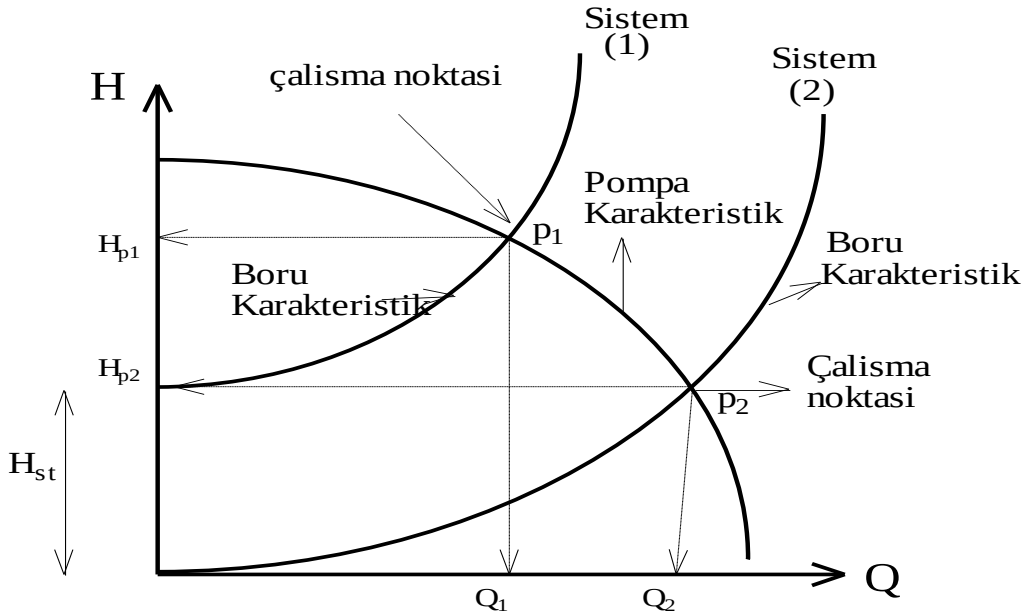
Şekil 7.20

Boru Karakteristik Eğrisi;

Verilen bir boru hattında yük kayıplarının debiyle nasıl değiştiğini gösteren eğriye denir. Bu eğri yük kaybını veren formüllerden faydalanılarak çizilir (Şekil 7.21, 7.22 ve 7.23).



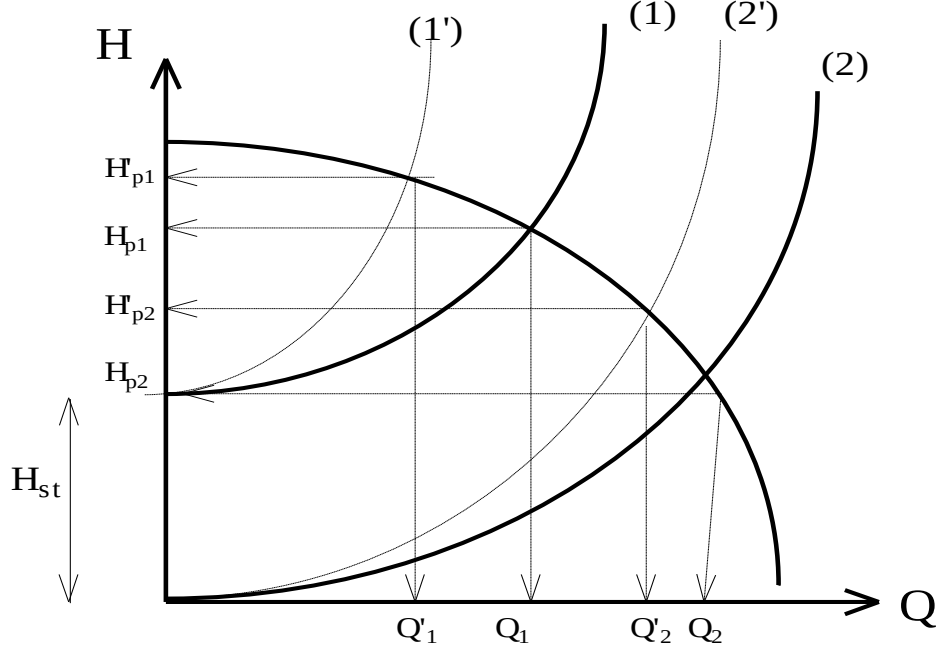
Şekil 7.21 İki farklı hazne boru sistemi



Şekil 7.22 Sistem 1 ve 2'ye ait boru karakteristikleri ve ana karakteristik eğrisi

Sistem 2 için $Q=0$, $h=0$ (yani $H_{st}=0$). Bu durum emme ve basma seviyelerinin aynı olduğunu veya boru hattının yatay olduğunu gösterir.

Borunun daraltılması veya vana ile sistemin kaybının artırılması halinde **Şekil 7.23**'teki durum elde edilir.



Şekil 7.23

3. FARKLI POMPA TİPLERİNİN HİDROLİĞİ İLE İLGİLİ DENEY SİSTEMİ

Bu ekipmanla rotatif ve pozitif yer değıştirmeli pompalar için kapsamlı deneyler yapılmaktadır. Deney setinde genel olarak iki ayrı dinamo tarafından tahrik edilen iki ayrı grup pompa vardır. Bunlar; üst rafa yerleştirilmiş olan hacimsel (pozitif yer değıştirmeli) (**Şekil 7.24**) ve alt rafa yerleştirilmiş olan rotatif pompalardır (**Şekil 7.25**). Sistemde hacimsel pompa olarak dişli ve pistonlu, rotatif pompa olarak da santrifüj ve eksenel pompa mevcuttur.

Sistemin çalıştırılabilmesi için setin solunda bulunan ana şalterin açık konuma getirilmesi gerekir. Daha sonra hangi pompa grubu çalıştırılacaksa kumanda tablosu üzerinde bulunan anahtarın konumunun belirlenmesi gerekir. Anahtar sayesinde rotatif veya hacimsel pompa gruplarından sadece biri çalıştırılabilir. Konum seçici anahtarın üzerinde bulunan kırmızı ve yeşil ikaz lambaları dinamonun harekete geçip geçmediğini gösterir. Burada normalde kırmızı yanarken dinamonun harekete geçmesi için yeşil butona basılması yeterlidir. Ayrıca tabloda dinamonun torkunu ve hızını okuyabilmek için iki adet analog gösterge bulunmaktadır. Bunlardan solda bulunan gösterge dinamo çıkış torkunu ölçmek içindir. Seçilen pompadaki dinamo çıkış torku yükleme hücre aletiyle ölçülür. Burada 0-3 Nm'lik gösterge rotatif pompalar, 0-6 Nm'lik gösterge pozitif yer değıştirmeli pompalar için kullanılabilir. Tablonun sağındaki gösterge pompa dönüş hızını analog takometre yardımıyla ölçmektedir. Burada 0-30 dev/sn'lik ölçek pozitif yer değıştirmeli pompaları, 0-60 dev/sn'lik ölçek rotatif pompalar için kullanılmaktadır. Kumanda tablosunun sol tarafında pompa deney setinin şematik planı verilmiştir (**Şekil 7.26**)

Şematik planın üstünde pompa deney setinde üst rafa yerleştirilmiş hacimsel pompalar ve onları tahrik eden dinamo yer almaktadır. Dinamonun solundaki pompa dişli pompa, sağındaki pompa ise pistonlu pompadır. Şemanın altında ise pompa deney setinde alt rafa yerleştirilmiş rotatif pompalar ve onları tahrik eden dinamo bulunmaktadır. Burada pompanın solunda santrifüj, sağında ise eksenel pompa yer almaktadır. Şemadan da anlaşılacağı gibi dinamo ile pompalar arasındaki bağlantı sabit değildir. Pompa ile dinamo arasındaki bağlantı açılıp kapanabilen bir dişli sistem ile sağlanır. Deney sırasında hangi pompa çalıştırılacaksa onun tahrik dişlisi takılır. Burada dikkat edilmesi gereken aynı anda iki pompanın da çalışmaması için bir pompanın dişlisi takılı iken, aynı gruptaki diğer pompanın dişlisinin açık olmasıdır.

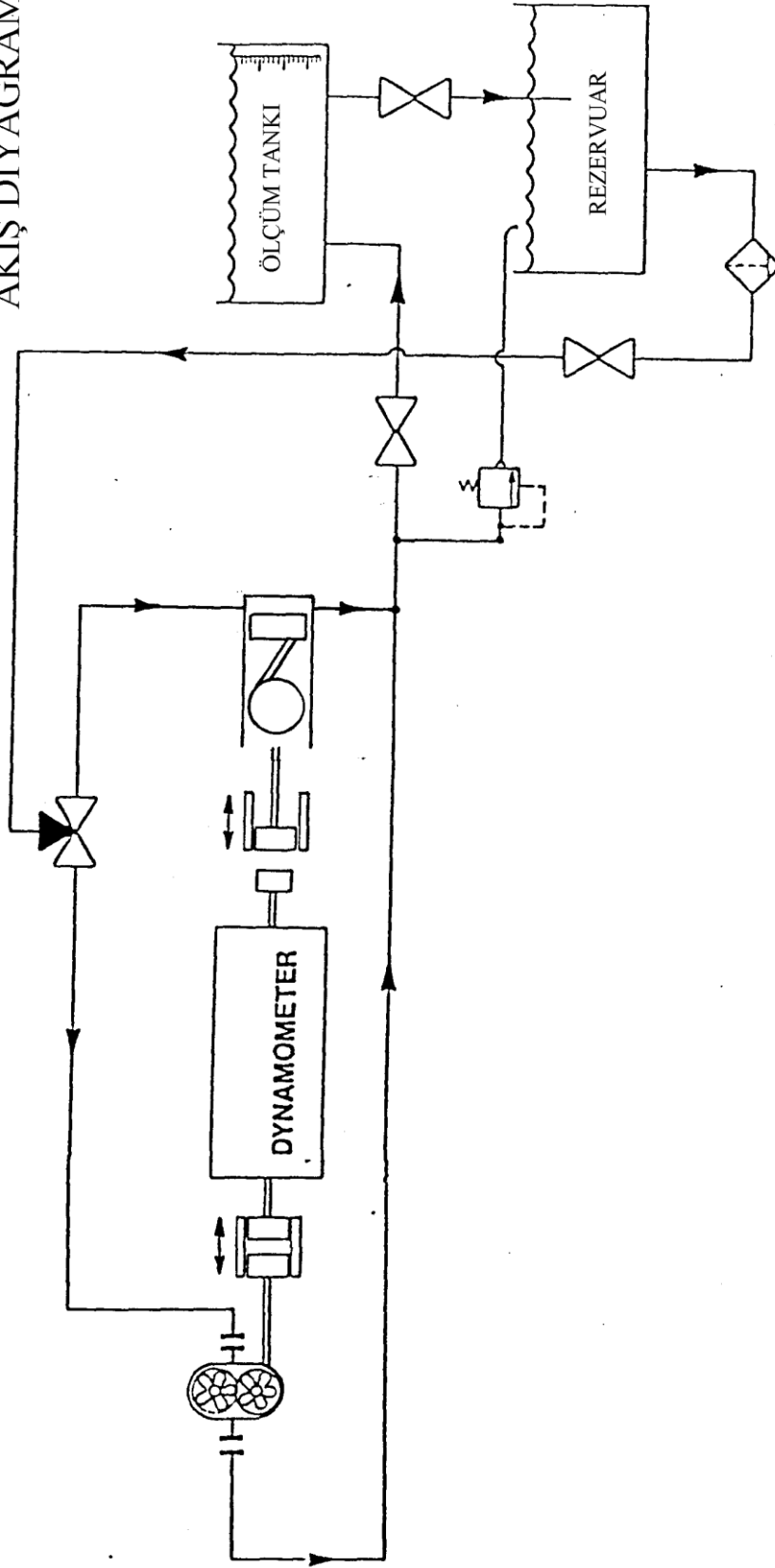
Şematik planın sağında bulunan ölçüm tankı ve rezervuar pompaların beslenmesinde ve pompa debilerinin ölçümünde kullanılır. Ölçüm tankı içindeki su hacmi okunabilecek şekilde dışarıdan litre olarak kalibre edilmiştir.

Sistemde ayrıca farklı yerlerde 6 adet vana bulunmaktadır. Bunlar sistemde su akışını kontrol ederler. Vanaların görevleri aşağıda belirtilmiştir.

- 1- Emme düzenleme vanası; rezervuarın hemen çıkışında bulunur.
- 2- Dağıtım düzenleme vanası; ölçüm tankına su girişini kontrol eder. Ayrıca sistemde çıkış yükünü artırıp azaltmak gibi önemli bir görevi üstlenir.
- 3- Emme tercih vanası; sadece santrifüj pompanın beslemesini kontrol eder.
- 4- Hacimsel tercih vanası; bu vana sayesinde hacimsel pompalara sırası ile su yönlendirilir. Hangi pompa çalışıyorsa vananın o pompaya su ulaştıracak konumda olmasına dikkat edilir.

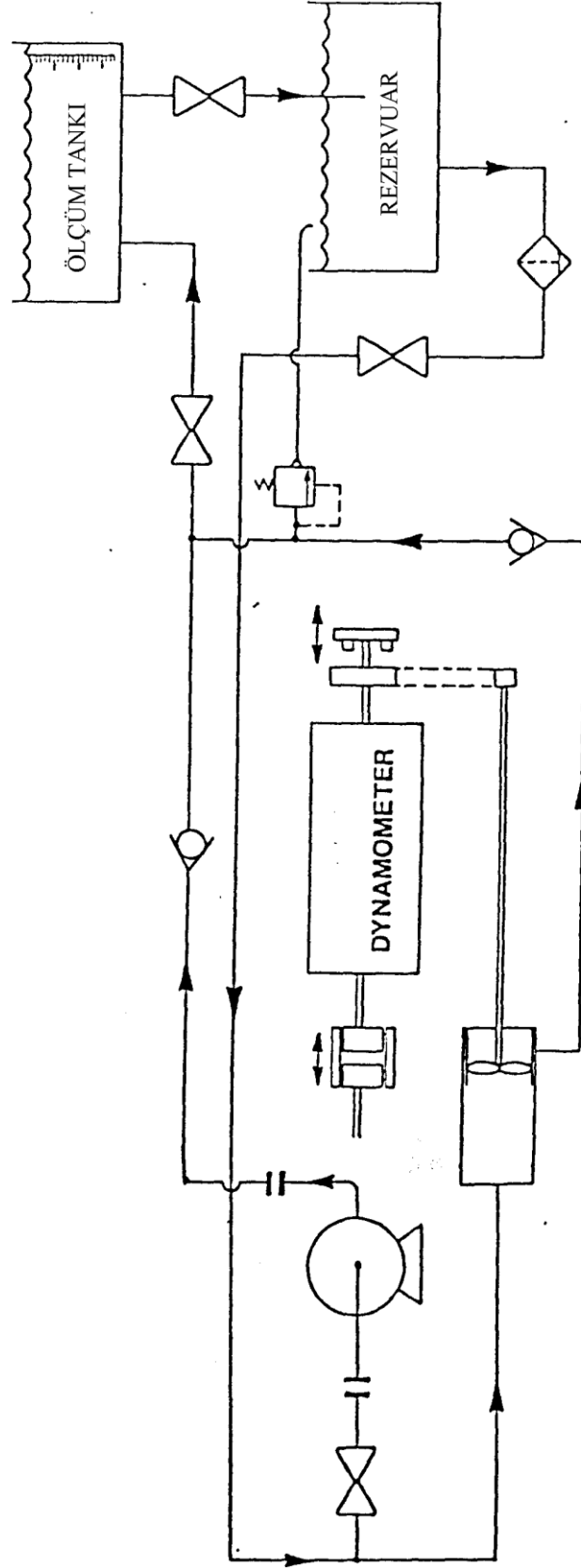
Bunların haricinde ölçüm tankının altındaki vana dolan tankın tekrar rezervuara boşaltılması için kullanılır. Ayrıca rezervuarın altında suyun tahliyesi için bir vana daha vardır.

AKIŞ DİYAGRAMI



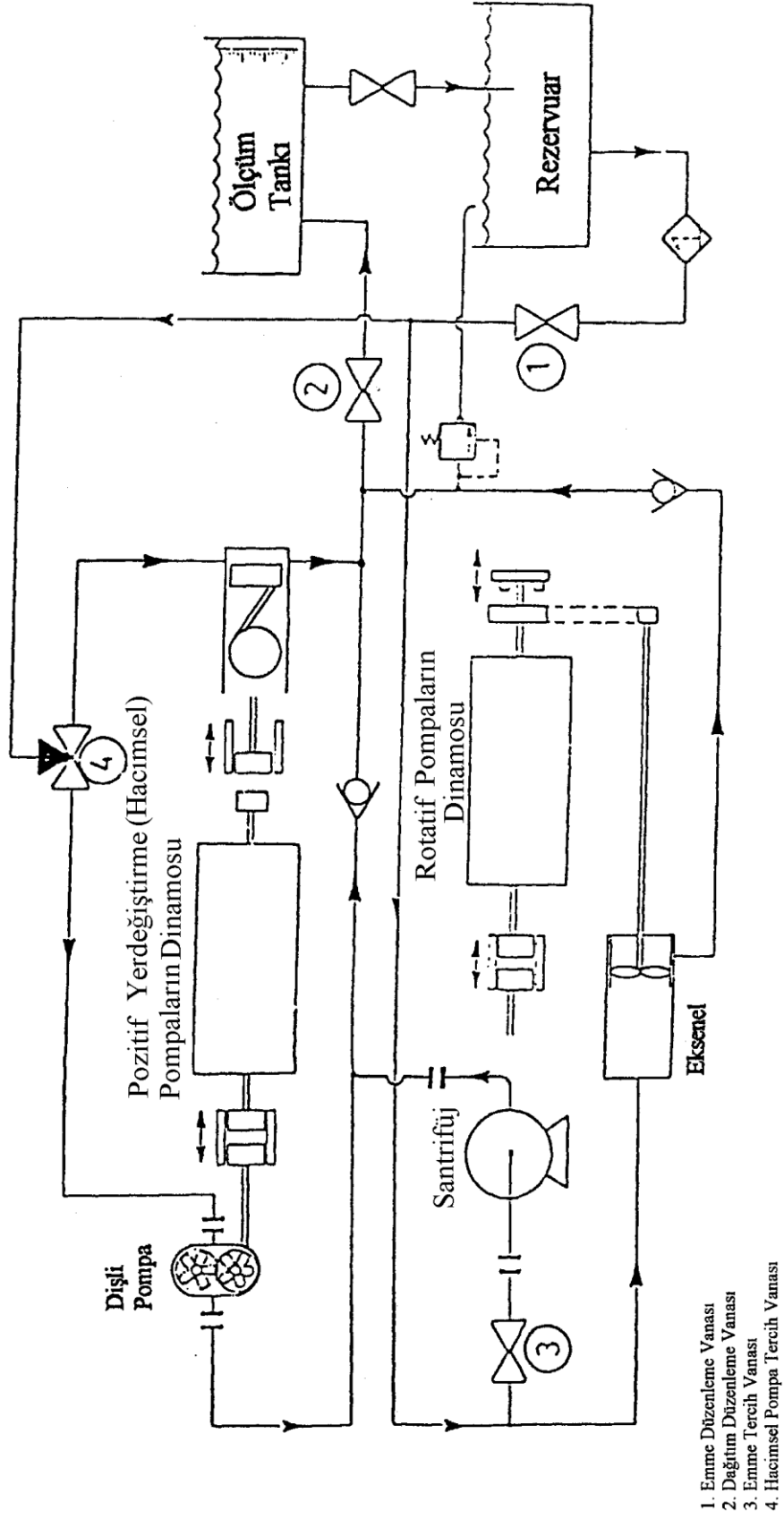
Şekil 7.24 Hacimsel pompa seti

AKIŞ DİYAGRAMI



Şekil 7.25 Rotatif pompa seti

Akış Diagramı



Şekil 7.26 Pompa deney seti

Sistemde emme ve basma yüklerini ölçmek için tezgaha monte edilmiş manometreler kullanılmaktadır. Manometreler hangi pompa çalışıyorsa o pompanın giriş ve çıkışına bağlanmalıdır. Basma yükünü ölçmek için biri 0-2 bar diğeri 0-6 bar arası çalışan iki manometre kullanılmaktadır. Emme basıncı içinse 0-0.5 bar arası çalışan manometre kullanılmaktadır.

3.1 Deneyin Yapılışı

Deneyisel çalışmada her bir pompa tek tek çalıştırılarak emme ve basma yükleri, debi, devir, hız ve dinamo torku okunarak tablodaki gibi düzenlenecektir. Bu verilerden hareketle her pompa için H (Yük)-Q (Debi) ve N (Güç)-Q (Debi) eğrileri birlikte çizilecektir.

Deneye başlamadan önce rezervuarın suyla dolu olmasına dikkat edilmelidir. Hangi pompa grubu ile çalışılacaksa anahtar o konuma getirilir. Ayrıca pompalar teker teker çalıştırılabildiği için her iki pompanın da dinamo ile olan bağlantıları kontrol edilmeli, sadece üzerinde ölçüm yapılacak pompanın, dişlisi takılarak tahrik edilmesi sağlanmalıdır.

Emme ve basma yüklerini okuyabilmek için manometreler seçilen pompanın giriş ve çıkışına bağlanır. Vanaların konumları pompaya su girecek şekilde düzenlenir. Bütün bu işlemlerden sonra dinamo çalıştırılabilir. Ölçüm yapmaya başlamadan önce her bir devirde farklı bir H-Q ve N-Q grafiği elde edileceği için dinamo hızı, kontrol panelindeki devir sayısını gösteren analog göstergeden bakılarak belirli bir değere sabitlenir ve ölçüm boyunca değiştirilmez.

Ölçümler sırasında her bir çıkış yüküne karşı değerler okunacağı için çıkış yükünün tarafımızdan kontrol edilmesi gerekir. Bu iş için dağıtım düzenleme vanası kullanılır. Bu vana ölçüm tankının hemen girişindedir. Vana kapatıldıkça çıkış yükünün arttığı pompanın çıkışına bağlanan manometreden okunabilir. Vana tam kapalı iken okunan değer kapalı vana değeridir. Bu sırada ölçüm tankına hiç su ulaşmaz ve debi sıfırdır. Çıkış basıncı maksimumdur (pompanın basabileceği maksimum yükseklik).

Deney sırasında dağıtım düzenleme vanası açık konumdan tam kapalı konuma kadar yavaş yavaş kapatılır ve her bir konumda deney setinden ölçümler okunarak tabloya kaydedilir (**Tablo 7.2**).

Ölçümlerin her aşamasında dinamo torku, giriş ve çıkış basınçları göstergelerden okunur. Dinamo hızı deney boyunca sabit olduğu için her seferinde okunmasına gerek yoktur. Debilerin okunması için ise volümetrik tanktan yararlanılır. Bunun için başlangıçta tankın altındaki vana açılarak tankın içindeki suyun tamamen boşalması sağlanır. Daha sonra kronometre çalıştırıldığı anda vana kapatılır ve belirli bir hacmin tanka dolum süresi okunur ve kaydedilir. Bu şekilde ayarlanan çıkış yükü altında pompanın bastığı debi hesaplanır. Çıkış yükü değiştirildiği zaman volümetrik tank tekrar boşaltılarak aynı işlemler tekrarlanır.

Kaydedilen bu değerlere göre H-Q ve N-Q grafikleri çizilebilir. Bu grafiklerden faydalananarak pompanın hangi debiyi hangi yüksekliğe bastığı kolayca bulunabilir.

Deney sırasında dinamo dönüş hızı farklı değerlere ayarlanarak farklı H-Q ve N-Q eğrileri elde edilir. Dönüş hızı arttırılırsa pompanın basma debisi artacağından bu eğri bir önceki eğrinin üstünde yer alacaktır. Aynı şekilde dönüş hızı düşürülerek pompa debisi azalacağından çizilen H-Q eğrisi yataya daha yaklaşacaktır.

Tablo 7.2 Deney Veri Tablosu

P6250 UNIVERSAL POMPA TEST SETİ SONUÇ ÇİZELGESİ

Tarih:

Pompa Tipi:

Dinamo/Pompa Hız Oranı:

Teorik Yer Değiştirme (1/devir):

[illegible]

4. SANTRİFÜJ POMPALARIN HİDROLİĞİ İLE İLGİLİ DENEY SİSTEMİ

Bu bölümdeki pompa deney seti (**Şekil 7.27**), performans testini yapmak için gerekli olan tankları ve boru sistemini içerir. Ana rezervuar tankı 1.36m x 0.66m x 0.53m boyutlarında yapılmıştır ve bu tanka bir boşaltma musluğu yerleştirilmiştir. Bu tankın üzerinde, gösterge seviyeli ve ölçekli bir volümetrik ölçüm tankı bulunmaktadır. Hızlı işlem yapan boşaltma valfi, bypass sistemi ile birlikte düzenlenmiştir ve elle çalıştırılan saptırıcı da vardır. Böylece pompa ile çekilen su doğrudan pompaya veya ölçüm tankına döndürülebilir. Akış ölçümünü yapmak için bir kronometrenin kullanılması gereklidir. Bu sistem, seviyelerin sabit olduğu suda ölçüm yapılmasını sağlar ve böylece akış ölçümlerinin doğruluk oranını artırır.

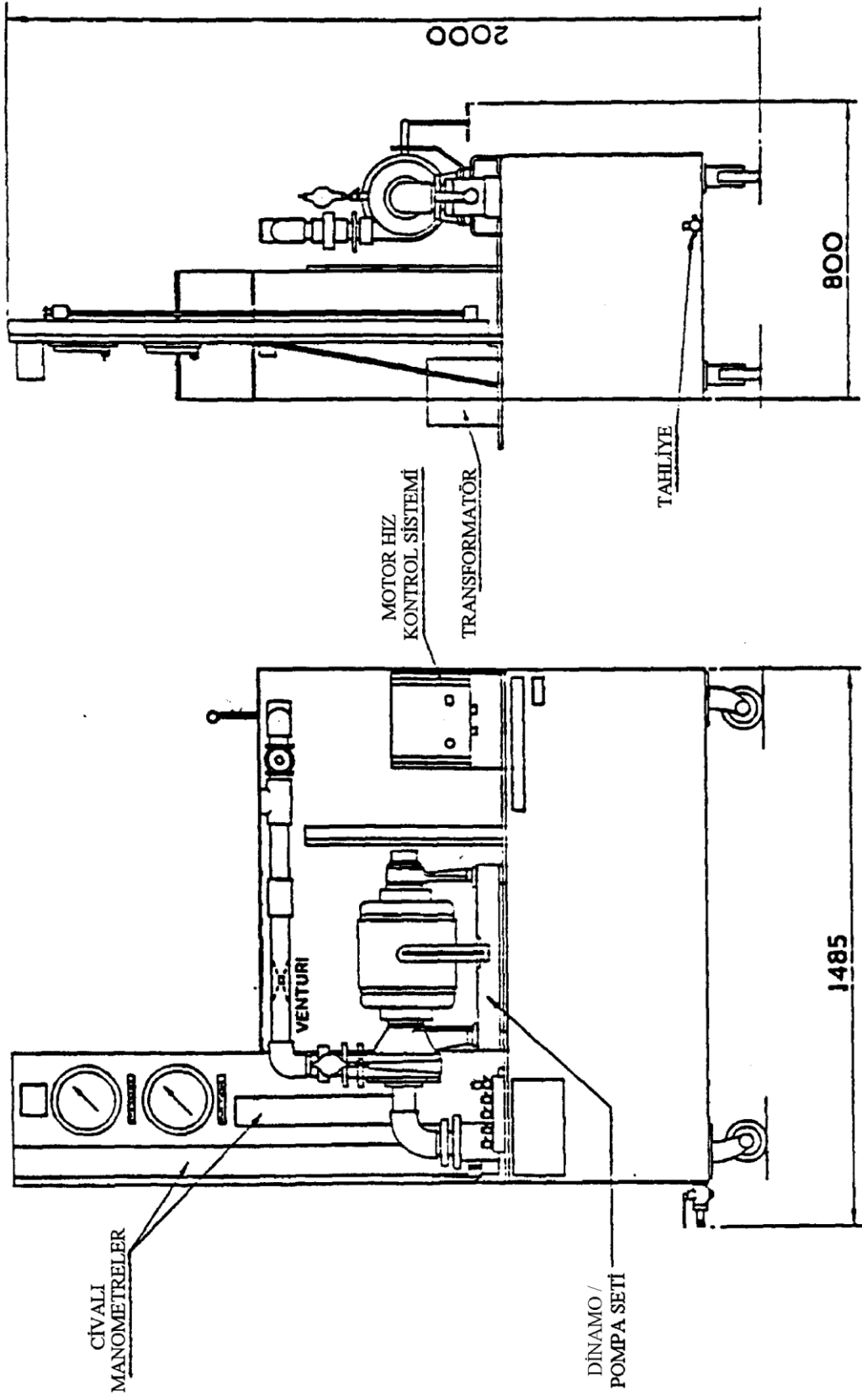
Pompa boru sistemi çekvalf ile birlikte yapılmıştır. Basınç ve emme ölçüm cihazları, bir çok basınç ölçümünü yapmak için küçük bir boru sistemi ve musluğu ile birlikte teçhiz edilmiştir.

Perspex malzemeden imal edilmiş olan venturi (**Şekil 7.28**) de pompa çıkışından ölçüm tankına giden boru sistemi üzerinde düzenlenmiştir. Bu venturi, 1.5" giriş çapına ve 1.28" boğaz çapına sahiptir. Venturi, plastik tüplerle bağlı olduğu 0.5m civalı manometreyi çalıştırır. Bu, cihaz kalibre edildikten sonra pompadan 5lt/s'lik bir debinin geçmesini sağlar.

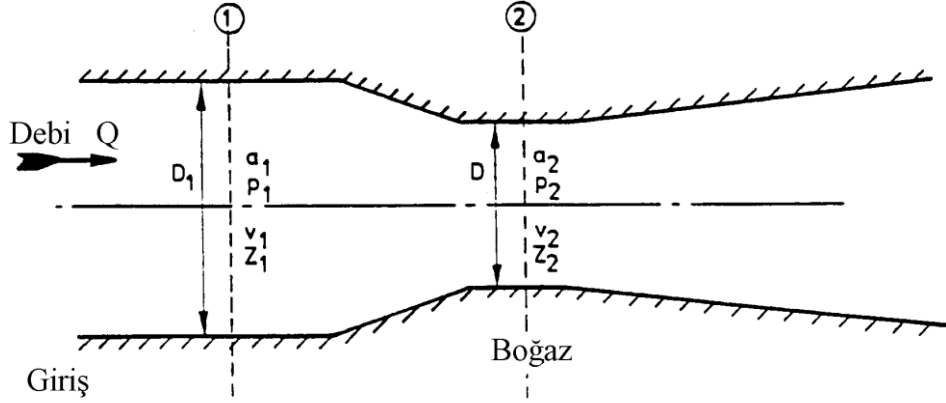
1 m civalı manometre sistem üzerine monte edilmiş olup pompa tarafından verilen su basıncının 10m'ye kadar ölçülmesine imkan sağlar. Pompanın üzerinde ayırım kolları mevcut olup tüm bu kollar plastik bağlama tüplerine bağlıdır. Bu tüpler bağlı olduğu noktalardaki basınçların ölçülmesini sağlar.

Motor statörü üzerindeki reaksiyon ölçülerek belirlenir. Statör, 200 mm çaptaki bir ağırlık askısı ile düzenlenmiştir. Dengeli şartlar temin edilene kadar ağırlıklar buna eklenir ve böylece reaksiyon momenti direk olarak belirlenir. Test işlemi başlamadan önce statör doğru bir şekilde dengelenmelidir. Arka levhaya monte edilen elektronik takometre, motorun şaftına temas etmeyen sensör ile belirlenen pompa hızını gösterir.

Debi akış ölçme tankı ve çevirici sistem yoluyla volümetrik olarak belirlenir. Bu akış, biriktirme tankına çevrilir ve volümetrik ölçme tankındaki boşaltma valfi kapanır ve ilk seviye sonucunu almak için yeterli miktarda su gelmesi sağlanmalıdır. Sabit ve durağan şartlar elde edildiğinde su, volümetrik ölçme tankına yöneltilir. Son okuma seviyesi alınır ve böylece su hacmi, tank alanı ve ortaya çıkan seviye artışı ölçülerek hesaplanır. Eğer daha doğru akış ölçümleri gerekiyorsa o zaman volümetrik ölçüm tankı kalibre edilebilir ve hacim ile skala okuması arasındaki ilişkiyi, gösteren bir eğri hazırlanır. Venturimetresi kalibre edilmiş bir cihazdır ve bu nedenle direk akış ölçümü içi kullanılmadan önce, volümetrik ölçüm tankı kullanılarak bunun kalibrasyonu yapılmalıdır.



Şekil 7.27 R2-11 Santrifüj Pompa Seti



Şekil 7.28 Venturimetre

4.1 Deneyin Yapılışı

Deneye başlamadan önce rezervuarın su ile dolu olmasına dikkat edilmelidir. Pompa çalıştırılmadan önce pompa üstündeki tapa açılarak su doldurularak havası alınmalıdır. Daha sonra elektrik kontrol paneli üzerindeki anahtar açık konuma getirilerek sisteme elektrik gitmesi sağlanmalıdır.

Deneye başlarken önce ölçüm tankının boşaltım vanası kapatılmalı ve üst kısımdaki yönlendirme kolu rezervuara yapılmalıdır. Daha sonra pompa çalıştırılarak ölçüm tankının doluş süresi kronometre ile ölçülmeli ve bu sürede dolan su tankın volümetrik skalasından okunmalıdır. Bu ölçümler her defasında ayrı ayrı yapılabileceği gibi başlangıçta ölçümler yapılarak grafikte çizilebilir.

Pompa çalıştırılarak motor hız kontrol sistemi üzerindeki devir ayar düğmesi belli bir devir sayısına getirilerek pompanın devir sayısı sistem üzerindeki devir sayısını gösteren ibreden okunur ve değiştirilmez. Sabit devir sayısında ölçüm tankına giden vana tamamen kapalı konuma getirilerek pompanın maksimum basma yüksekliği elde edilir. Bu durumda basılan debi sıfırdır. Daha sonra vana yavaş yavaş açılarak suyun ölçüm tankına dolması sağlanır. Pompa tarafından basılan debi ölçüm tankından, pompa giriş ve çıkış basınçları ayrı ayrı manometrelerden veya giriş ve çıkış basınçları arasındaki fark 1 m'lik manometrelerden okunabilir. Ayrıca 0.5 m'lik manometrelerden de ventürimetrenin geniş ve dar kesitleri arasındaki basınç farkı okunarak sistemden geçen debi ve hızlar bulunabilir.

Ölçümden elde edilen değerler tabloya kaydedilir (**Tablo 7.3**) ve bu kaydedilen değerlere bağlı olarak N-Q ve H-Q grafikleri çizilebilir.

Tablo 7.3 Deney Veri Tablosu

POMPA TEST LİSTESİ

Sabitler:

Pompa Çıkışında Manometre Basıncı:

Manometre Bağlantısındaki Boru Çapı:

Pompa Girişinde Manometre Basıncı:

Manometre Bağlantısındaki Boru Çapı:

Dinamo kolu Yarıçapı:

Volumetrik Tank Alanı:

Test Devir Hızı:

Gün:

Test No:

Sayfa No:

[illegible]

TÜRBİNLER

1. GİRİŞ

Türbinler hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye çeviren makinelerdir. Bunlar elektrik jeneratörünü çalıştırmada kullanılır. İlk su çarkı 15. yüzyılda Leonardo da Vinci tarafından dizayn edilmiş ve yapılmıştır. Su çarkları basit, kaba ve yüksek verime sahiptir. Bununla beraber bunlar ağırdır ve bundan dolayı pahalıdır.

Kanatlara suyun etkisi bakımından türbinler aksiyon ve reaksiyon türbinleri olarak sınıflandırılır. Aksiyon türbini olan Pelton çarkında atmosferik şartlar altında yüksek hızlı su jeti kanatlara çarpar. Reaksiyon türbinlerinde su türbinden basınç altında çıkar, burada su basınç ve kinetik enerjinin her ikisine de sahiptir.

Türbinden elde edilen güç;

$$N_e = \frac{\gamma Q H_0 \eta_g}{75} \quad (BG) \quad (8.1)$$

formülünden hesaplanabilir.

Türbinler değişik özelliklere göre sınıflandırılabilir;

- 1) Su enerjisinden yararlanma durumuna göre;
 - a) Aksiyon Türbinleri (Kinetik Enerji) (PELTON)
 - b) Reaksiyon Türbinleri (Su basıncı + Kinetik Enerji) (FRANCİS)
- 2) Suyun akış durumuna göre;
 - a) Radyal Akışlı (FRANCİS)
 - b) Eksenel Akışlı (KAPLAN, FRANCİS)
 - c) Teğetsel Akışlı (PELTON)
 - d) Karmaşık Akışlı (OSSBERGER)
- 3) Türbin milinin durumuna göre;
 - a) Düşey Eksenli
 - b) Yatay Eksenli
- 4) Özgül devir sayısına göre;

$$n_s = n \frac{N_e^{1/2}}{H_0^{5/4}} \quad (8.2)$$

H_0 = Düşü yüksekliği

n = Türbin devir sayısı

N_e = Türbin milinden çekilen güç

n_s değerlerine göre;

8 - 30	Pelton
30 - 60	Çok püskürtmeli Pelton
60 - 125	Yavaş Francis
125 - 225	Orta Francis
225 - 400	Hızlı Francis
400 - 1100	Kaplan

2. PELTON TÜRİNİ

Pelton Türbini bir aksiyon türbinidir. Tesir türbinleri olarak da isimlendirilir. Özgül devir sayıları düşük, net düşüleri büyüktür. Akışkanın sadece kinetik enerjisinden faydalanılarak çalışan türbinlerdir. Çalışma prensibi, önce yüksek basınçlı suyu atmosfer basıncına püskürtmek ve bu suretle elde edilen yüksek hızlı su jetinin kinetik enerjisini kepçeler ihtiva eden bir çark vasıtasıyla türbin miline iletmektir. Çark kepçelerinin verim üzerine tesiri büyüktür. Verim %91'e kadar artırılabilir. Bu türbinler 2 d/d ila 30 d/d arasında çalışır. Açığa çıkan güç aşağıdaki formülle verilebilir.

$$N = \frac{QrH}{1000} \eta \quad (8.3)$$

Burada η randımandır ve

$$\eta = \eta_h \eta_m \quad (8.4)$$

ile ifade edilir. η_h hidrolik randımandır.

$$\eta_h = 2\phi_1(1-\phi_1)(1-\cos\phi_1) \quad (8.5)$$

ϕ_1 = çıkıştaki rölatif hız doğrultusu ile çarpan jet doğrultusu arasındaki açı

V_1 = jet hızı

v = çevrim hızı

Diğeri η_m mekanik randıman ise;

$$\eta_m = \frac{\text{şafittaki hazırgüç}}{Q\rho(1-\cos\phi_1)(V_1-v)v} \quad (8.6)$$

dür. Pelton çarkı için η_h %84-90 ve η_m %94-98 arasında değişir.

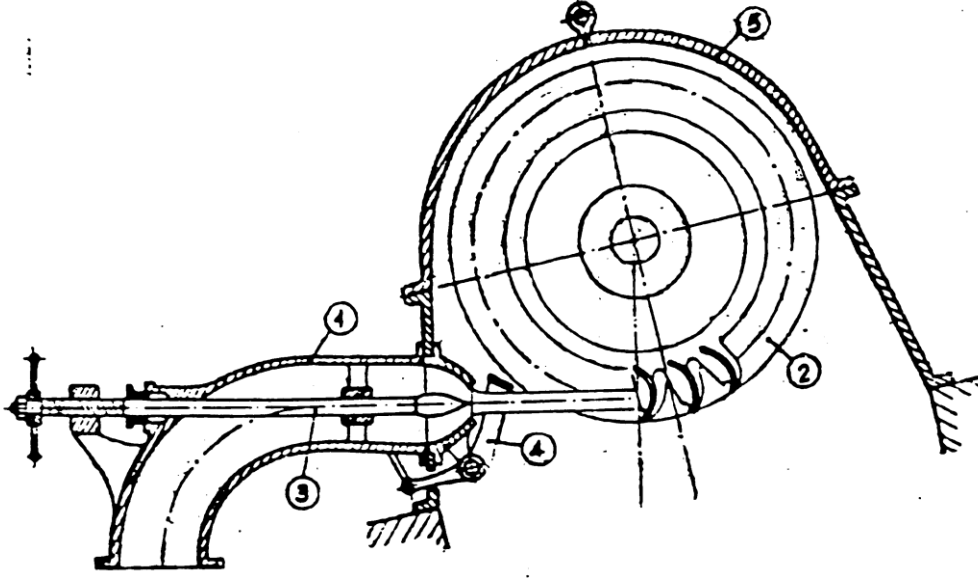
N_s (özgül devir sayısının) in D/d oranı ile değişimi aşağıdaki tabloda verildiği gibidir. (D=çark çapı, d=jetin çapı)

$$N_s = N \sqrt{\frac{P}{H^{3/4}}} \quad (8.7)$$

Tablo 8.1 N_s (özgül devir sayısının) in D/d oranı ile değişimi

N_s	35	32	24	10
D/d	6.5	7.5	10	20

Suyun akış yönüne göre türbin ana parçaları püskürtücü ve iğne, saptırıcı, türbin çarkı ve çark üzerindeki kepçeler ile türbin-boşaltma kanalı arasındaki boş hacimdir. Enerji iletimindeki parçalar ise püskürtücü ağız, iğne ve kepçelerdir.



Şekil 8.1 Tek püskürtücülü pelton türbininin ana elemanları.

Ana Elemanlar :

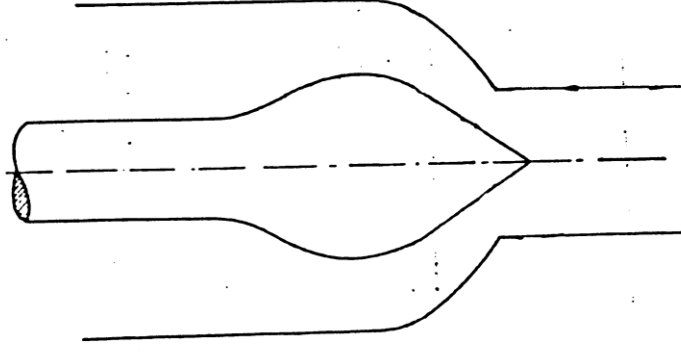
1) Püskürtücü: Görevi cebri boru vasıtasıyla yüksek basınç ve düşük hız altında türbine gönderilen suyun basıncını atmosfer basıncına indirerek su hızının yükselmesini sağlayarak bir su jeti meydana getirmek ve bu su jetinin türbin çarklarına uygun bir şekilde yönelmesini sağlamaktır.

2) Kepçeler: Her bir kepçe çark devri sırasında bir su jetinin önünden bir defa geçmekte ve takriben 60° kadar bir dönüş süresince su jetinin etkisine maruz kalmaktadır. Genel olarak hidrolik enerjinin mekanik enerjiye çevrildiği kısım burasıdır.

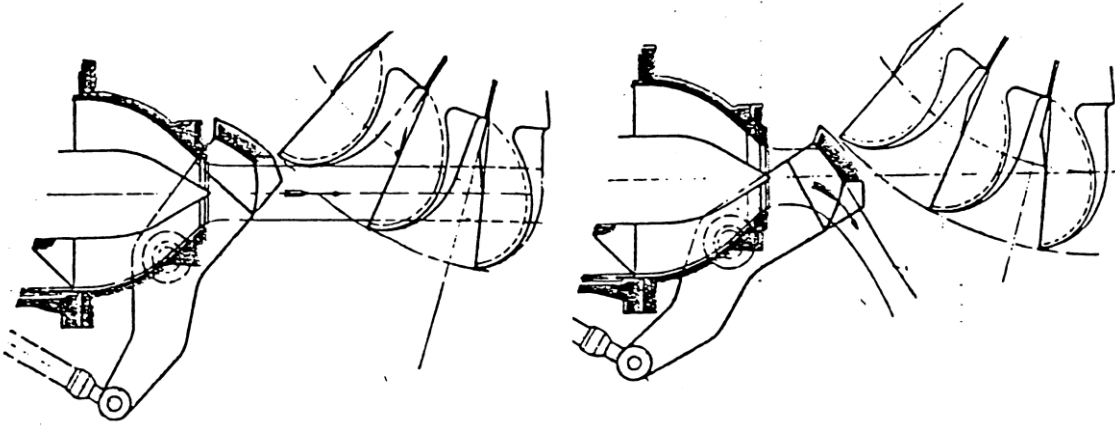
3)İğne: Pelton türbinlerinde püskürtücü içerisinde iğne bulunur. Bu iğnenin doğrusal hareketi sonucu su huzmesinin çapı değişmekte ve türbin debisi ayarlanmaktadır. Püskürtücü ile iğne arasından suyun geçmesi, akışkan akımının daha üniform bir hız dağılımına sahip olmasını sağlar.

4)Deflektör: Diğer adı saptırıcıdır. bu eleman normal çalışma süresinde bir vazife görmez. Ancak türbine iletilen debinin azaltılması istendiğinde püskürtücü ile kepçe arasına girerek gerektiği kadar suyun kepçelere iletilmesini sağlar. Modern su türbinlerinde bu işlem için hız regülatörü kullanılır.

5) Gövde: Dökme demir veya kaynaklı sacdan yapılan bu eleman boşaltma kanalı üzerinde yer alır ve içerisinde çarkı ve kepçeleri barındırır.



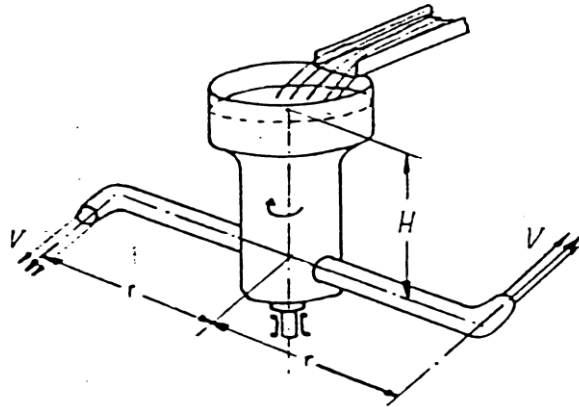
Şekil 8.2 Pelton iğnesinin kapalı pozisyonu.



Şekil 8.3 a)Deflektör normal çalışma konumu b)Deflektörün suyu tam saptırmış konumu

3. FRANCIS TÜRBİNİ

İçeri karışık akışlı bir reaksiyon türbinidir. Suyun basıncından ve kinetik enerjisinden faydalanarak çalışır. Parker çarkı reaksiyon türbinlerinin esasını teşkil eder. Burada içeri akış radyal, dışarı akış ise akseneldir. Bu çarkta ters yönde çalışan iki huzmenin doğurduğu reaksiyon kuvvetleri bir moment oluşturur.



Şekil 8.4 Parker çarkı.

Huzmenin mutlak hızı V_1 ise;

$$F = \rho \frac{Q}{2} V_1 \quad (8.8)$$

Moment ise ;

$$M = F r = \rho \frac{Q}{2} V_1 r \quad (8.9)$$

olarak elde edilir. İki huzme için;

$$M = \rho Q V_1 r \quad (8.10)$$

dir. Sistem ω açısal hızı ile dönmekte ise hidrolik güç;

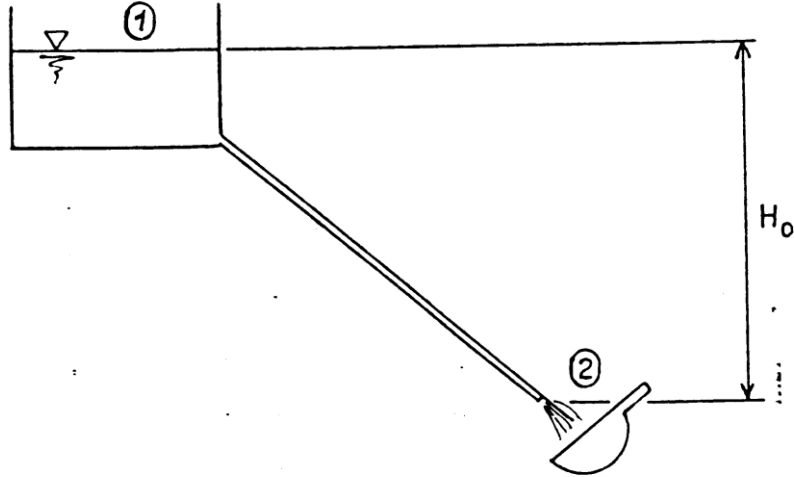
$$N_h = M\omega, \quad \omega = \frac{U_1}{r} \text{ olduğuna göre,}$$

$$N_h = \rho Q V_1 U_1 \quad (8.11)$$

olur.

$$N_h = \frac{\rho Q V_1 U_1}{75(102)} \quad \text{BB (kW)} \quad (8.12)$$

olarak bulunur.



Şekil 8.5

Türbinin giriş ve çıkış noktaları arasında Bernoulli denklemi yazılırsa ;

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + H_0 \quad (8.13)$$

$$H_0 = (z_1 - z_2) + \left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} \right) + \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

--- Potansiyel – Basınç --- Hız
 --- Enerjisi --- Enerjisi --- Enerjisi

(8.14)

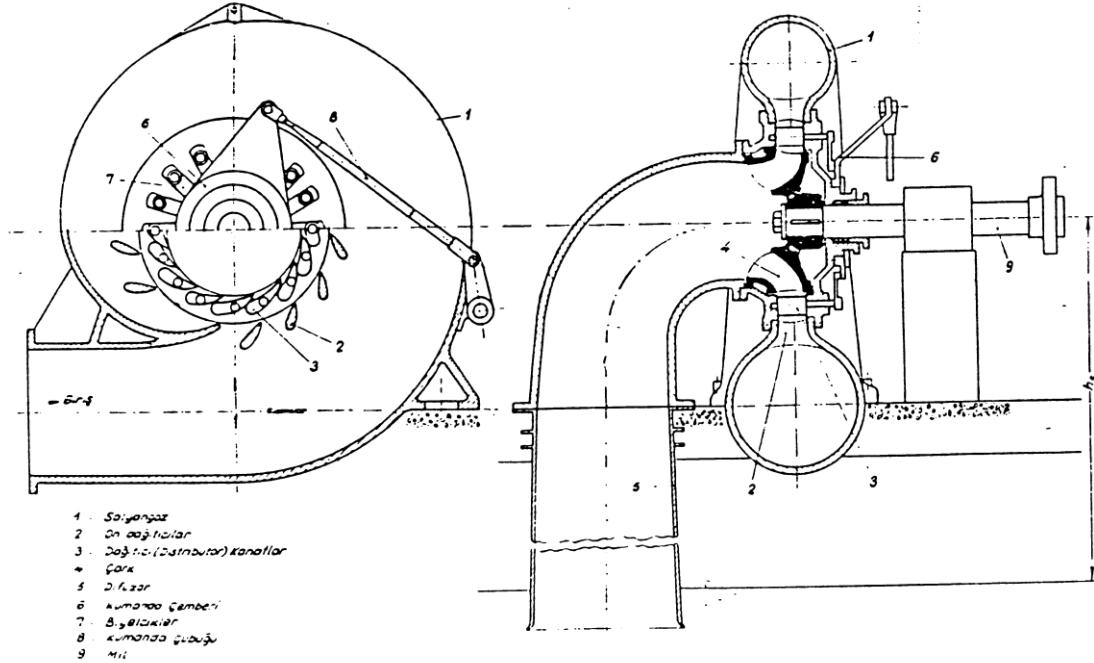
Reaksiyon türbinlerinde giriş ve çıkıştaki basınçlar aynı olduğundan dolayı basınç enerjisinden faydalanılmaz. Reaksiyon türbinlerinde akışkanın birim ağırlığı başına kullanılan potansiyel enerji farkı h ile gösterilirse;

$$H_0 = h + \left(\frac{V_1^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g} \right)$$
(8.15)

olur.

Francis türbinleri orta düşülü türbinlerdir. 10m.den 600m.ye kadar olan düşülerde çalışırlar. Özgül devir sayıları ise 60 ila 400 d/d arasındadır. Düşey ve yatay eksenli olarak imal edilirler. Yüksek güçlerde düşey, düşük güçlerde ise yatay eksenli olarak kullanılır.

İki tipi mevcuttur. Bunlar salyangozlu francis türbini ve açık su odalı francis türbinidir.

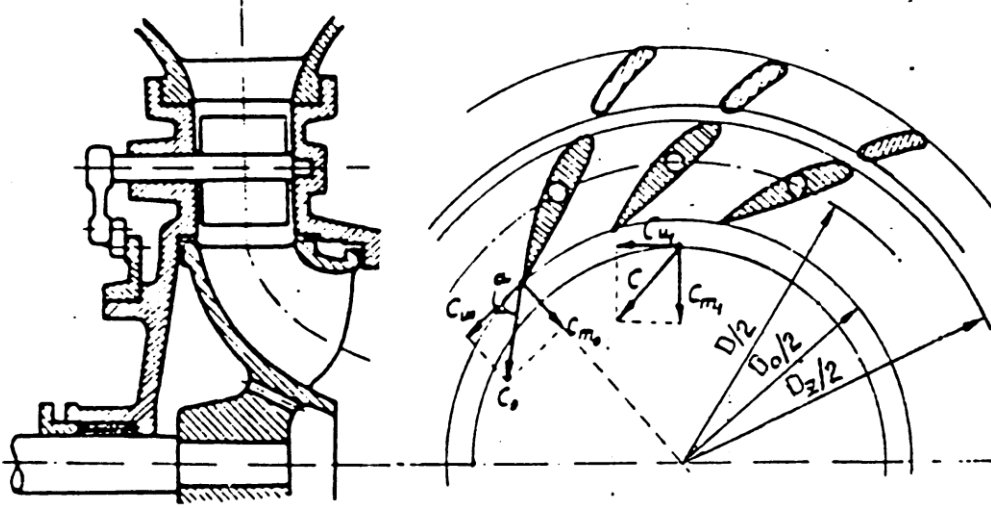


Şekil 8.6 Salyangozlu Francis türbini

Francis türbininin parçaları;

1)Distribütör: Dağıtıcı olarak da adlandırılan bu parça mevcut kanatları üzerinde taşır ve distribütör muylusu ile kumanda çemberine bağlanır. Distribütör kanatlarının konumlarını değiştirmek suretiyle suyun debisi, dolayısıyla türbinin gücü ayarlanmış olur.

2)Difüzör: Reaksiyon türbinlerinde difüzörün görevi çok önemlidir. Türbinin istenilen seviyeye monte edilmesini sağlar, bu düşüyü artırır, düşünün artması da verimin artmasına etki eder. Difüzör olması durumunda suyun çıkış basıncı atmosfer basıncından küçüktür. Bu da suyun boşaltım kanalına daha kolay boşalmasını sağlar. Olmaması durumunda ise basınç atmosfer basıncına eşit olur ve boşalma olmaz. Ancak verimi yükseltmek için çıkış basıncı istenildiği kadar küçültülemez. Bu değer kavitasyon faktörü ile sınırlandırılmıştır.

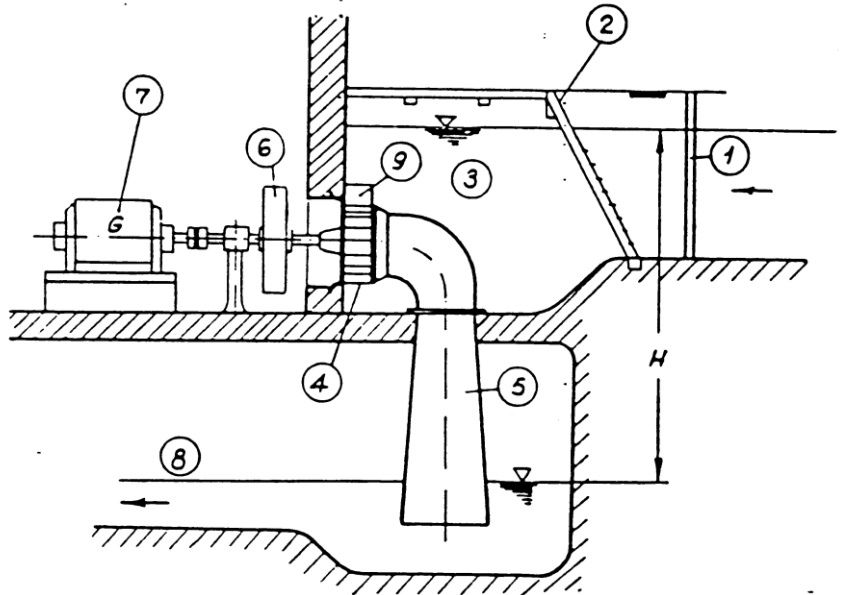


Şekil 8.7

3)Yükleme Odası: Türbinin su banyosu içerisinde yer aldığı durumlarda suyun geldiği kısımdır. Salyangozlu francis türbininde yükleme odası salyangozdur. Salyangoz ise, cebri borudan gelen suyu türbin çevresi boyunca taşıyan ve distribütöre ileten bir kılıftır.

4)Boşaltma Kanalı: Türbinden çıkan suyun daha iyi konumda akımını sağlayan kısımdır.

5)Çark: Kanatları taşıyan ve hidrolik enerjisinin mekanik enerjiye çevrildiği kısımdır.



Şekil 8.8 Açık su odalı Francis türbini.

Francis türbin çarklarının gerekli elemanlarının dizaynında aşağıdaki adımlar izlenebilir. P, H bilinenler ve N jeneratör hızı.

i) Kabul edilen η ve η_h (η_h %85 den %95 e ve η %80 den %90 a kadar değişir)

ii) $P = \frac{Q\gamma H}{1000}$, Buradan Q bulunur.

iii) $n = \frac{b_1}{D_1}$ Burada n 0.1 den 0.3 e kadar değişir. b_1 girişteki açılma genişliğidir.

iv) $V_{f_1} = \psi_1 \sqrt{2gH}$ Burada ψ_1 0.15 den 0.35 e kadar değişir.

v) $\frac{Q}{\pi D_1 b_1 k} = V_{f_1}$ Burada $k=0.95$ dir ve pervane kanadı kalınlığı için hesaplanır

vi) Yukarıda sözü edilen değerler b_1 ve D_1 tayin edilir.

vii) N bilindiğinden $\vartheta_1 = \frac{\pi D_1 N}{60}$ eşitliğinden ϑ_1 tayin edilir.

Diğeri ise $\vartheta_1 = \phi_1 \sqrt{2gH}$, burada $\phi_1 = 0.6$ ila 0.8 arasındadır.

viii) $\eta_h = \frac{V_{\omega_1} \vartheta_1}{gH}$ Buradan η_h , H ve ϑ_1 bilindiğinden V_{ω_1} bulunur.

ix) $\tan \alpha = \frac{V_{f_1}}{V_{\omega_1}}$

x) $\tan \theta = \frac{V_{f_1}}{(V_{\omega_1} - \vartheta_1)}$

xi) Çıkıştaki radyal deşarj bilindiğinden. Buradan $\beta = 90^\circ$

xii) $D_2 = 0.5 D$ bilindiğinden $V_2 = \frac{\pi D_2 N}{60}$ bilinir.

xiii) $V_{f_1} = V_{f_2}$ ile $\tan \phi = \frac{V_{f_2}}{\vartheta_2}$

xiv) Aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi kılavuz pervane kanat sayısı z_g , N_s ve D_1 ile ilişkilidir.

Tablo 8.2

Z_g	8	10	12	14	16	18	20	24
$N_s < 200 D_1$	200 ün	250	400	600	800	1000	1250	1700 den
(mm)	altında	400	600	800	1000	1250	1700	büyük
$N_s > 200 D_1$	300 ün	300	450	750	1050	1350	1700	2100 den
(mm)	altında	450	750	1050	1350	1700	2100	büyük

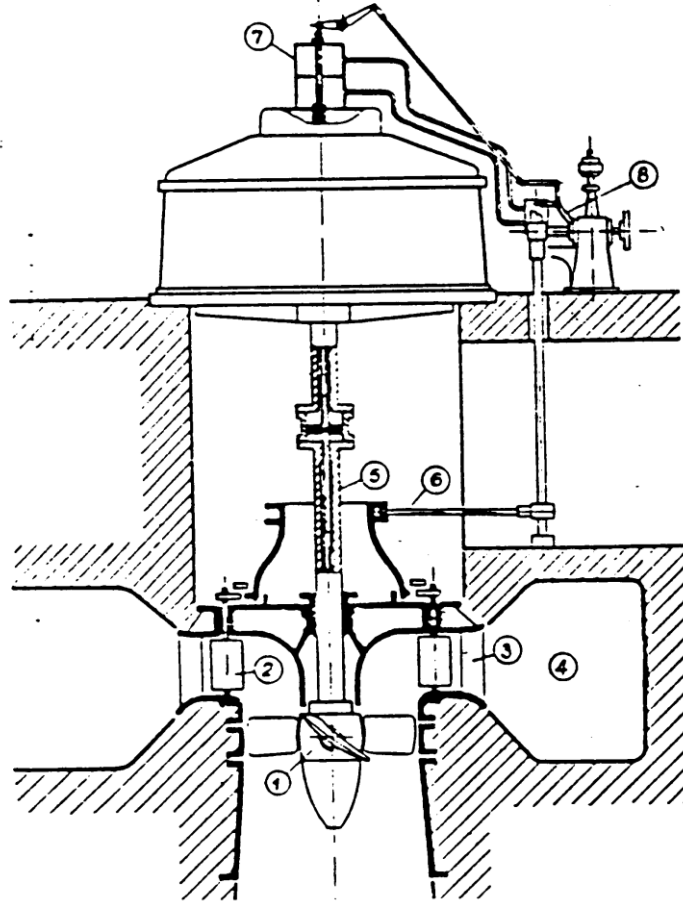
4. KAPLAN TÜRİNİ

Bir reaksiyon türbini olan kaplan türbinlerinde özgül devir sayıları oldukça yüksektir. Net düşüşün küçük olduğu (maksimum 88 m) ve eksenel akışın söz konusu olduğu durumlarda kullanılır. Kaplan türbinlerinde kanatlar pala olarak isimlendirilir ve adedi 3 ila 8 arasındadır. Aynı düşü ve aynı debi için daha büyük bir hız sağlandığından dolayı türbin ve jeneratör boyutları küçüktür. Ancak kavitasyon direncinin düşük olması nedeniyle bu türbinlerde kullanılabilecek net düşü sınırı düşüktür.

Francis türbininden akışın eksenel olması dolayısıyla çarkın aldığı form ve kanatların ayar mekanizması yönlerinden farklıdır. Kaplan türbinleri için konstrüktif değerler aşağıda verilmiştir.

Tablo 8.3

n_s	H_o (mss)	z (Pala Sayısı)
400-500	>25	7-8
500-600	25-16	6
600-800	16-10	5
800-950	10-3	4
950-1100	3-2	3



Şekil 8.9 Kaplan türbini

Kaplan Türbinin ana parçaları;

1)Çark: Üzerinde palalar taşır. Genel olarak hidrolik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürüldüğü kısımdır.

2)Distribütör

3)Ön Distribütör: Distribütörün mukavemetini artırmak için konulmuştur. Formları distribütöre gidecek akışı bozmayacak şekildedir.

4)Salyangoz

5)Türbin Mili: İçi oyuktur. Kanat ayar tertibatına ait çubuk içerisinde yer alır.

6)Distribütör kumanda çemberi ve ayar mekanizması

7)Difüzör

8)Ortak Ayar Mekanizması: Distribütör ve pala ayarı arasındaki bağlantıyı sağlayan mekanizmadır.

Kaplan türbinlerinde çark üzerindeki palalar sabit ise bu tip türbinlere Uskur Türbinleri denir.

Türbin için kavitasyon karakteristiği Thomas sayısı σ ile verilir.

$$\sigma = \frac{\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - h_s}{H} \quad (8.16)$$

Burada h_s = Türbin çıkış suyu ile çalışma merkezi arasındaki düşey mesafe

H = Türbinin çalışma yükü

P_a = Atmosfer basıncı

P_v = Suyun buhar basıncı

Thomas sayısının minimum değeri σ_c aşağıdaki eşitlikle verilmiştir.

$$\sigma_c = 3.17 \cdot 10^{-6} N_s^2 \quad (\text{Francis Türbini}) \quad (8.17)$$

$$\sigma_c = 0.30 + 0.0024 \left(\frac{N_s}{100} \right)^{2.73} \quad (\text{Propeller ve Kaplan Türbini})$$

5. TÜRBİN SEÇİMİ

Türbin seçiminde göz önüne alınması gereken temel değerler Q , H ve N dir. Q ve H bilindir. P ise η nün uygun değerleri kabul edilerek ($\eta = 0.80$ ila 0.95) tayin edilebilir. P , N ve H bilindiğine göre N_s hesaplanabilir.

Türbin seçiminde göz önüne alınan değerleri veren tablo aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 8.4

H (m)	N_s	Türbin	η
7 - 70	300 - 1100	KAPLAN	90 - 95
30 - 300	100 - 400	FRANCIS	80 - 95
> 100	15 - 60	PELTON	85 - 90

HİDROLOJİ DENEY CİHAZI

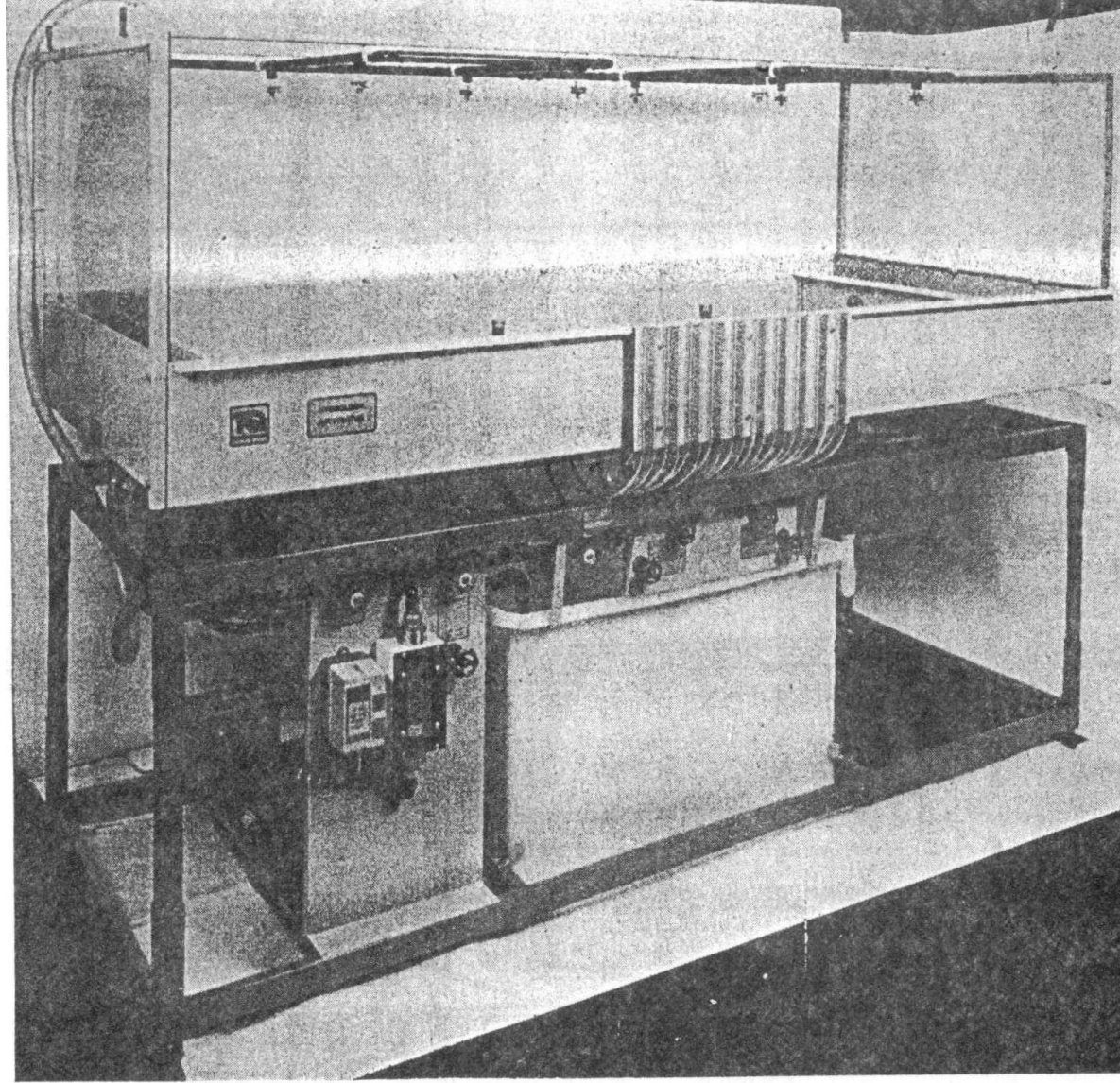
1. GİRİŞ

Hidroloji yerküresinde (yeryüzünde, yeraltında ve atmosferde) suyun çevrimini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir. Suyun kullanılması, miktar ve kalitesinin belirlenmesi amacı ile su kaynaklarının geliştirilmesi çalışmalarında hidrolojinin büyük önemi vardır. Bu deney sistemi hidrolojinin doğadaki uygulamasının küçük bir örneğidir. Burada hidrolojinin en önemli konularından biri olan yeraltı sularından elde edilebilecek su miktarının belirlenmesinde kullanılan teorik formüllerin laboratuvar koşullarında denenmesi işlemi yapılacaktır.

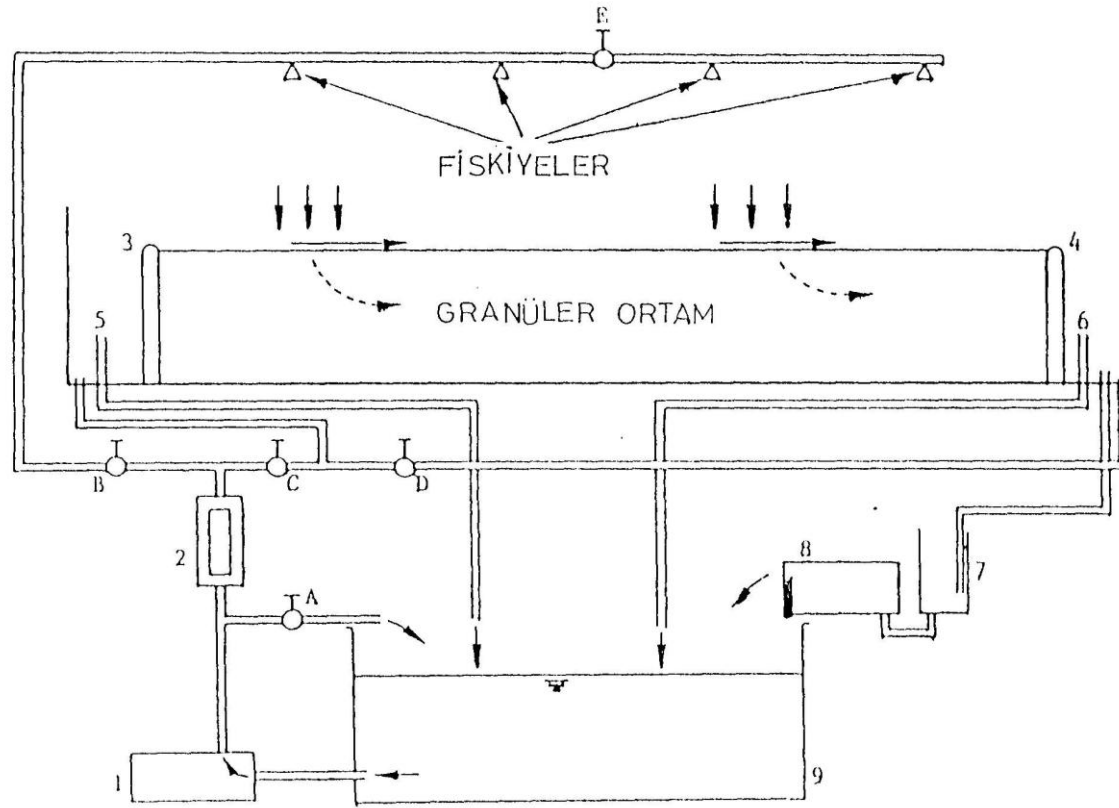
2. DENEY SİSTEMİNİN TANITILMASI

Şekil 9.1’de deney düzeneğinin genel bir görünümü verilmiştir. Bu şematik gösterimin daha anlaşılır olabilmesi için Şekil 9.2 ve Şekil 9.3 verilmiştir.

Elektrik pompasını çalıştırmak için elektrik kaynağı gereklidir. Cihazın boyutları takriben 2.4 m (uzunluk), 1.0 m (genişlik) ve 1.8 m (yükseklik) dir. Şekil 9.2’de görülen A vanasının açık olması ve diğer vanaların kapalı olması halinde pompa haznedeki suyu tanktan alıp tekrar tanka vererek sirküle eder. B vanası açık ise su rotametreden geçerek (max. 22 l/dak) yukarıdaki fiskiyeye ulaşır ve yağmurlama işleminin başlamasını sağlar. A ve B vanalarının açılma miktarı ile yağmur miktarı ayarlanabilir. Şekil 9.3’de görüldüğü gibi haznenin iç kısmı uygun bir granüler malzeme ile kaplanarak model havzası oluşturulmuştur. Havzanın iki kenarında savak vardır. E vanasının açılmasıyla su bütün havzaya üniform bir şekilde dağılmaktadır. E vanasının kapatılması ise yağışın sadece havzanın üst kısmında oluşmasını sağlayacaktır. Böylece yağışın simülasyonu önce E vanasının kapalı olması ve sonra da açık olması hallerinde uygulanabilir. Yağış sırasında etrafa suyun sıçramasını önlemek amacıyla cihazın dört bir tarafı şeffaf bir fleksiglas malzemeden yapılmış levhalarla çevrilmiştir. Ayrıca cihazda havza eğimini ayarlamaya yarayan bir mekanizma bulunmaktadır. Şekil 9.4’de görülen savak havzadan geçen akışın debisini ölçmeye yaramaktadır. Şekil 9.5’de görülen ve havzanın her iki ucunda bulunan savaklardan hareket edebilir ana girişler vardır.



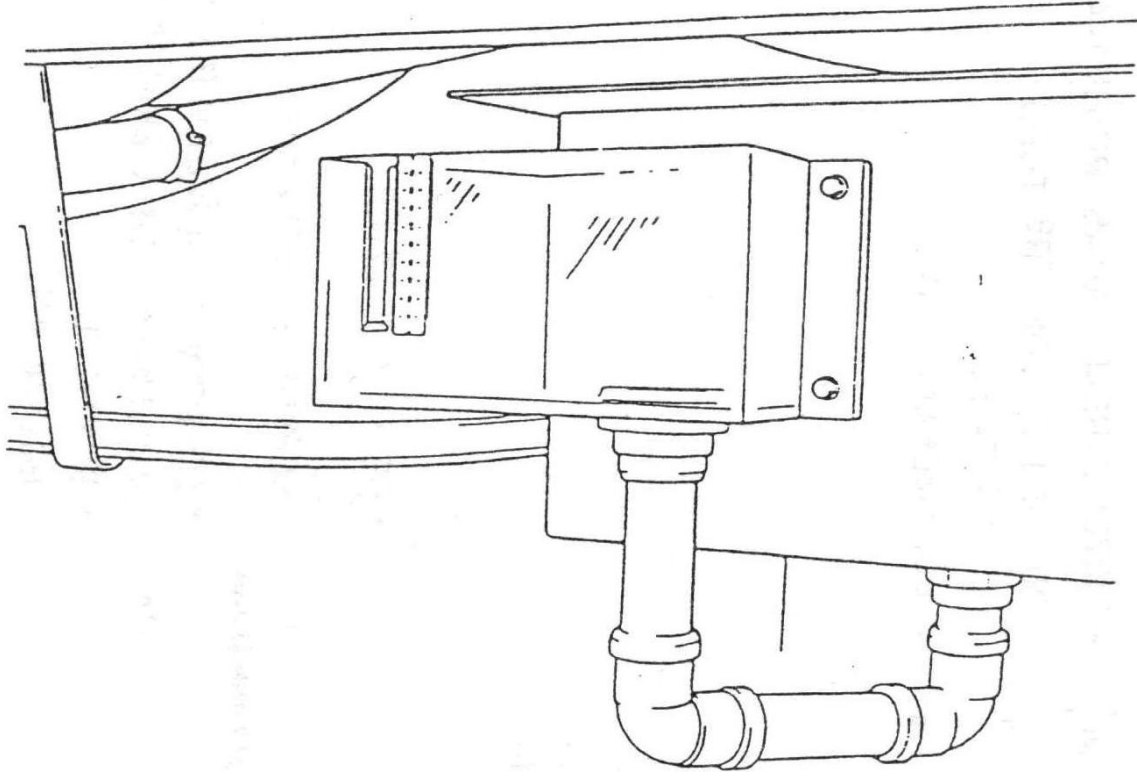
Şekil 9.1 Cihazın genel görünümü



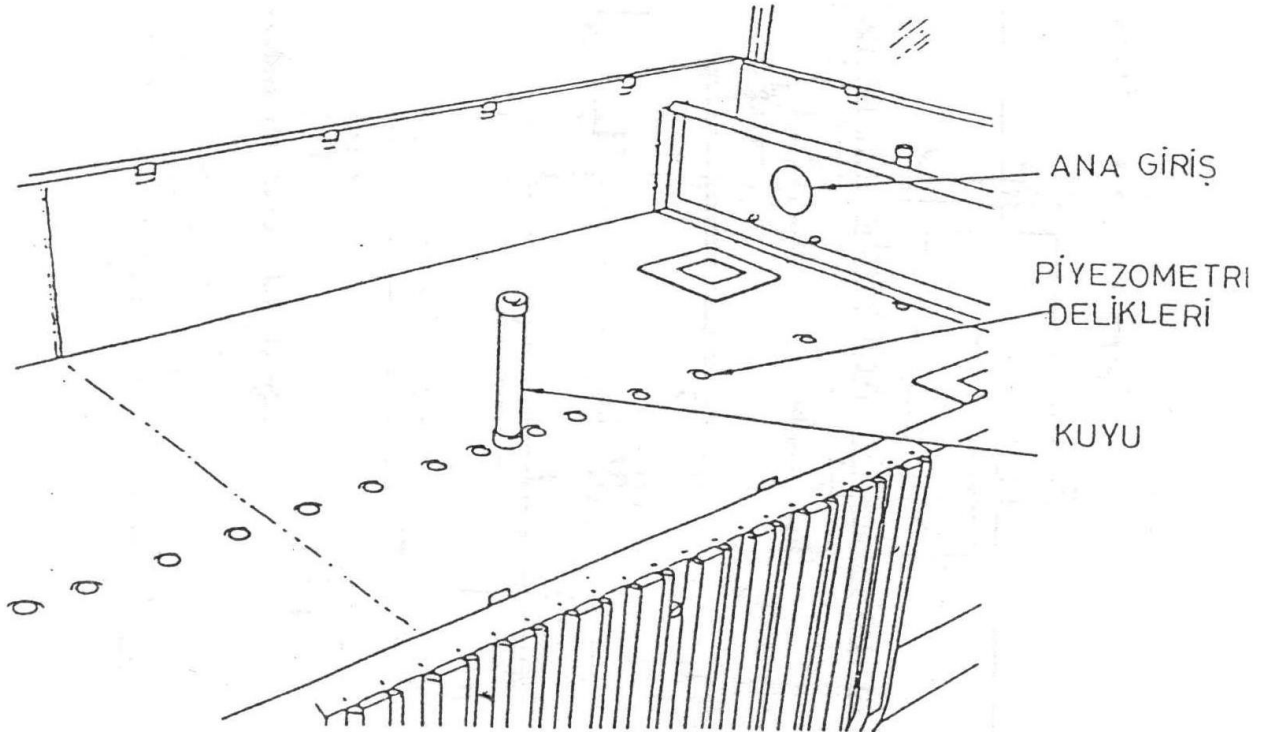
- A, B, C, D, E - VALFLER
 1 - POMPA
 2 - ROTAMETRE
 3, 4 - SAVAKLAR
 5, 6 - AYARLANABİLEN TAŞKIN AKIŞI
 7 - TÜRBÜLANSI DÜŞÜREN BÖLÜM
 8 - KESKİN KENARLI SAVAK
 9 - DEPOLAMA TANKI

Şekil 9.2 Cihazın yandan görünümü

Şekil 9.3 Cihaz üzerindeki kuyular ve piyezometreler



Şekil 9.4 Keskin kenarlı dikdörtgen savak



Şekil 9.5 Kuyu, piyezometreler ve ana giriş

Cihazda şayet B vanası kapalı ve C ve D vanaları açık ise, su rotametreten geçerek cihazın her iki tarafında bulunan savakların arkasındaki iç bölmeye ulaşır. Bu sistem normalde kuyu akışları ile birlikte kullanılmaktadır. Su, savakların ana girişleri (port holes) yardımıyla havzadaki granüler malzemeli ortama girer ve yeraltı su seviyesi her iki uçta bulunan ve su seviyesini yükseltip düşürebilen savaklar vasıtasıyla kontrol edilebilir. Böylece, su cihazda kuyular tarafından drene edilmektedir. Şayet kuyulardan çekilen debi ölçülmek isteniyor ise G ve I vanaları açılarak dikdörtgen savak vasıtasıyla su seviyesi okunabilir. Ancak kuyudan gelen su ölçülmek istenmiyorsa, o halde F ve H vanaları açık tutularak suyun direk olarak depoya drene edilmesi sağlanabilir.

B ve D vanaları kapalı, C vanası açık iken, deney düzeneğinin sadece üst kısmındaki kenarına (membasına) su akacaktır. Bu durumda F, G, H ve I vanaları kapalı tutarsa (kuyular çalıştırılması), membadan mansaba doğru bir akış olacaktır. Bu akış, havzanın kenarındaki taşkın akışı boruları ile tanka veya ölçmek üzere keskin kenarlı savağa verilebilir.

B, C, D, E, F ve H vanalarının açık olması durumunda, yağış sonrası oluşan sızma ve kuyudan su çekilmesi simule edilir. Bu, etrafı su ile çevrili bir ada durumuna karşı gelmektedir.

Model havza, 2 m uzunluğunda, 1 m genişliğinde ve 180 mm derinliğinde granüler malzemeden oluşmuştur.

Cihaz üzerinde bulunan dikdörtgen savağın Q-h standart kalibrasyon eğrileri hem normal hem de logaritmik olarak Şekil 9.6 ve 9.7’de verilmişlerdir. Logaritmik savak kalibrasyonunda debinin (Q), savak yükü (h) ile arasında $Q \propto h^{1.5}$ şeklinde bir ilişki olduğu görülebilir.

Kullanıcıların savak kalibrasyon eğrilerinin yeniden belirlenmeleri önerilebilir. Savaktan geçen debi ve savak yükü değerlerinden yararlanarak kalibrasyon yapılabilir. Debi, belli bir sürede ölçekli bir kapta toplanan hacim kullanılarak belirlenebilir. Düşük debi değerlerinde ölçekli silindirik bir kap, büyük debilerde ise 10-12 litre hacimli bir kap kullanılması önerilebilir. Böylece, savak kalibrasyon eğrisi oluşturulabilir.

3. DENEYLERİN YAPILMASI

3.1 Yağış-Akış İlişkisinin Belirlenmesi

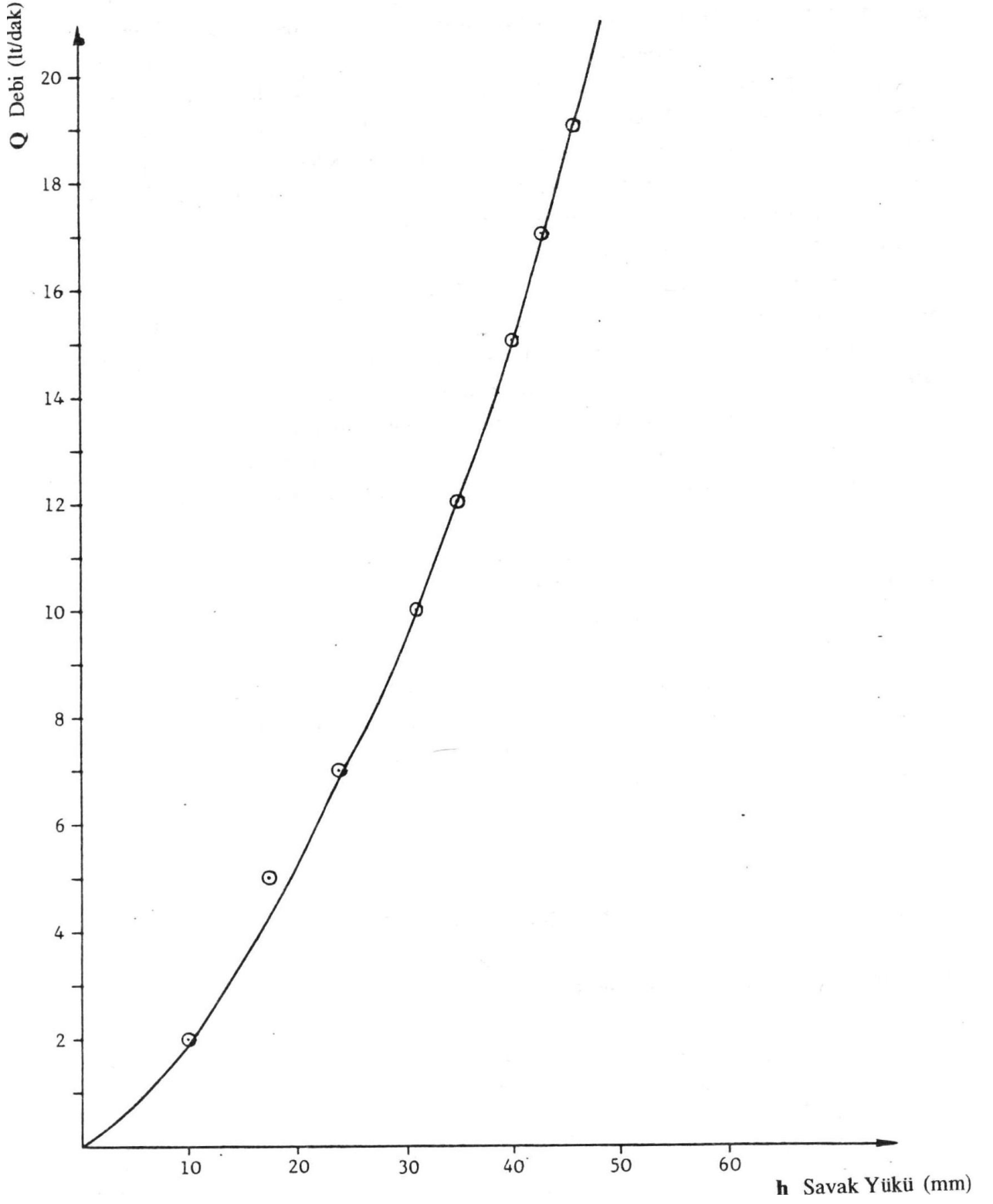
Yağış ile akış arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için öncelikle kuyulara kumanda eden F, G, H ve I vanalarının kapatılması gerekmektedir. Ayrıca A, B ve E vanaları açık ve C ve D vanalarının da kapalı olmasına dikkat edilmelidir. Cihazın her iki ucunda bulunan ayarlanabilir savaklar su girişinin önlenmesi amacıyla su seviyesinden yukarıya çıkartılmalıdır. Bütün bu işlemlerin amacı, havzadan gelen akışın tamamen dikdörtgen savaktan geçmesini sağlayarak ölçümlerin yapılabilmesidir.

Daha sonra pompa çalıştırılır ve B vanası (gerekirse A vanası da) üstteki fiskiyelelerden havzaya su verecek şekilde ayarlanır. Rotametreten geçen su miktarı okunur. Yağışın başlamasından itibaren kronometre ile belirlenen yağış süresi boyunca dikdörtgen savaktan geçen su miktarı 0.5 veya 1 dakikalık aralıklarla gözle okunur ve belli bir süre sonra B vanası kapatılarak yağış durdurulur. Yağışın durması akışın bitmesi anlamına gelmediği

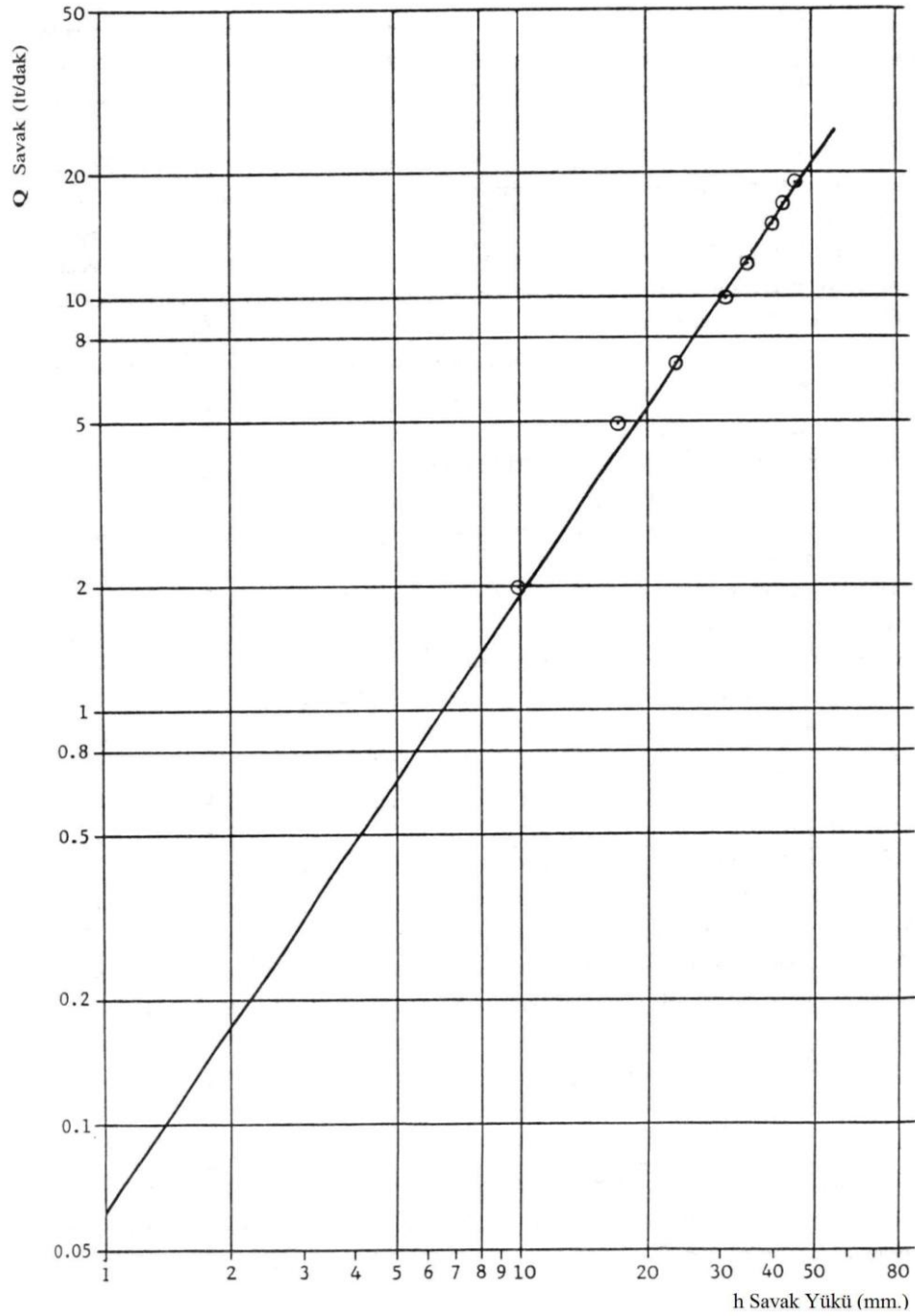
için dikdörtgen savaktaki seviye ölçümlerine havzadan gelen su bitinceye kadar devam edilir. Yağış süresi genellikle 5-10 dakika arasında seçilmelidir. Yağışın bitmesinden sonra pompanın çalışması da durdurulabilir. Dikdörtgen savaktan geçen ve belirli zaman aralıklarıyla ölçülen su seviyeleri Q-h kalibrasyon eğrileri yardımıyla akışa dönüştürülerek Tablo 9.1 doldurulur. Elde edilen tablo yardımıyla zaman absise, akış ordinata yazılarak akış hidrografı elde edilmiş olur. Akış hidrografının altında kalan alan da toplam akış hacmini verecektir. Deneylerin bitiminde B, C ve D vanaları kapatılmalıdır.

Tablo 9.1 Yağış-Akış Deney Sonuçları

Zaman (dak)	Savak Seviyesi (mm)	Debi (lt/dak)
0		
1.0		
2.0		
2.5		
3.0		
3.5		
4.0		
4.5		
5.0		
5.5		
6.0		
6.5		
7.0		
7.5		
8.0		
8.5		
9.0		
9.5		
10.0		
10.5		
11.0		
11.5		
12.0		
13.0		
14.0		
15.0		
16.0		
20.0		
24.0		



Şekil 9.6 Tipik savak kalibrasyonu



Şekil 9.7 Logaritmik savak kalibrasyonu

3.2 Kuyuya Gelen Akımın Belirlenmesi

Kuyuya gelen akımın ölçümlerinin yapılabilmesi için deney cihazını tam yatay hale getirmek gerekir. Ayrıca sistemin her iki ucunda bulunan kapaklar havzaya su girişini sağlayacak şekilde kaldırılmalıdır. Havzanın her iki ucunda bulunan ayarlanabilir savaklar, kum içerisinde su seviyesini kontrol edecek biçimde uygun bir seviyeye (genellikle kum üst seviyesinin biraz altında) ayarlanmalıdır. Bundan sonra B vanası kapatılır ve A, C ve D vanaları açılır. Tek bir kuyu ile çalışılıyorsa G ve F vanaları da kapatılmalıdır. Sonra I vanası açıldığı takdirde havzadan gelen su tek bir kuyu vasıtasıyla deşarj edilecektir. Deşarj edilen su dikdörtgen savak vasıtasıyla ölçülebilir.

Pompa çalıştırılır, yukarıda anlatıldığı gibi akım oluşmaya başlar. Piyezometreler vasıtasıyla kuyu etrafındaki su seviyeleri okunabilir. Bu su seviyeleri zamanla sabit bir değere ulaşacaktır. Bu durum dengeli akımın oluştuğunu gösterecektir. Bu durumda dikdörtgen savaktan geçen su seviyesi, dolayısıyla kuyudan çekilen debi değeri belirlenmiş olacaktır. Ayrıca 20 adet olan piyezometre tüplerinden su seviyeleri ayrı ayrı okunarak Tablo 9.2 oluşturulmalıdır. Bu tabloda bulunan hesaplanmış su yükseklikleri ise dengeli akım halinde tek kuyu için kullanılan aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanarak yazılacaktır. Bu formül;

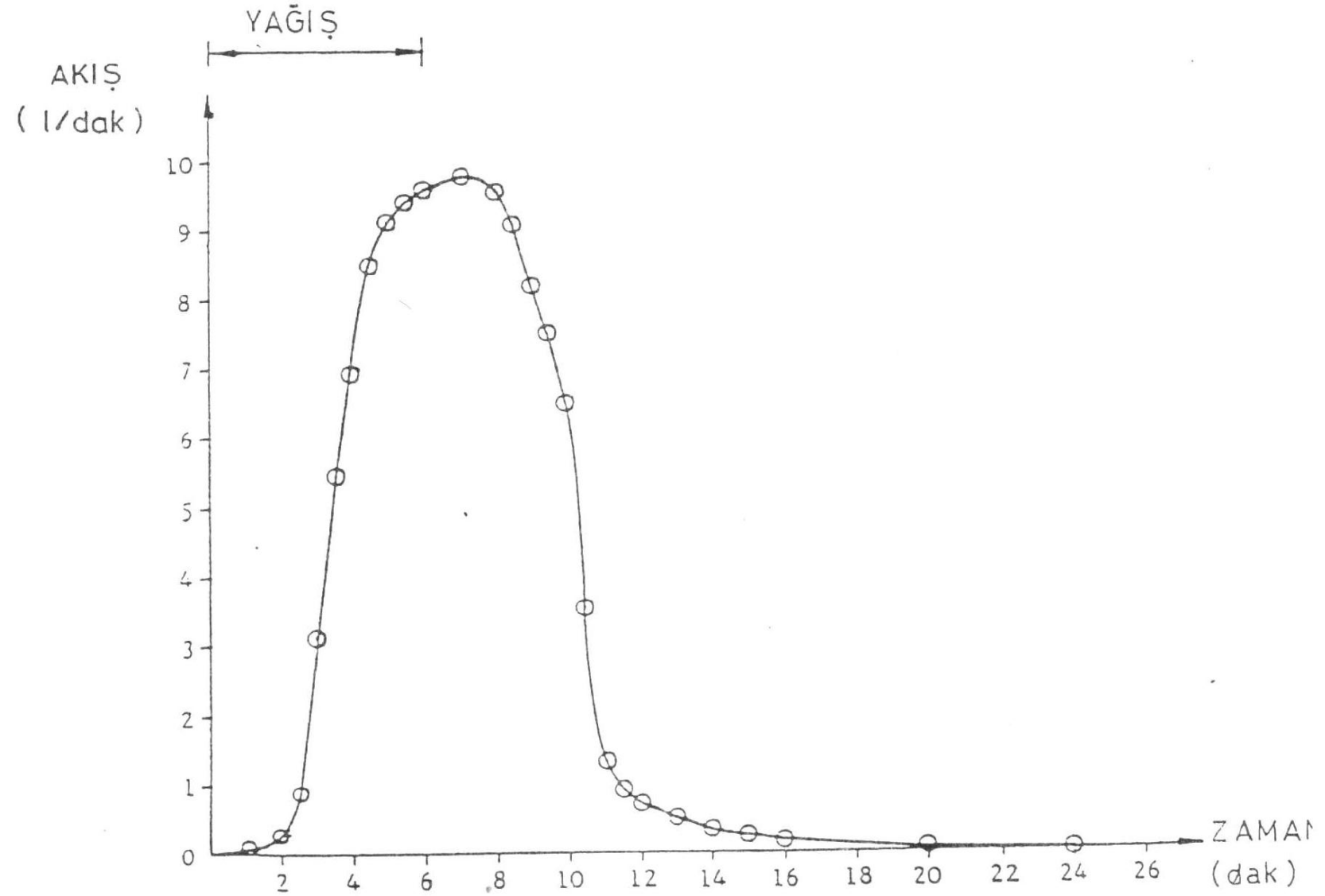
$$Q = \frac{\pi k (h_2^2 - h_1^2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (1)$$

şeklindedir. Burada Q, kuyudan çekilen debiyi, h_2 havzadaki sabit su yüksekliğini, h_1 ölçümün yapıldığı yerdeki su seviyesini göstermektedir. Ayrıca r_1 ve r_2 değerleri de piyezometrelerin konumlarını göstermektedir.

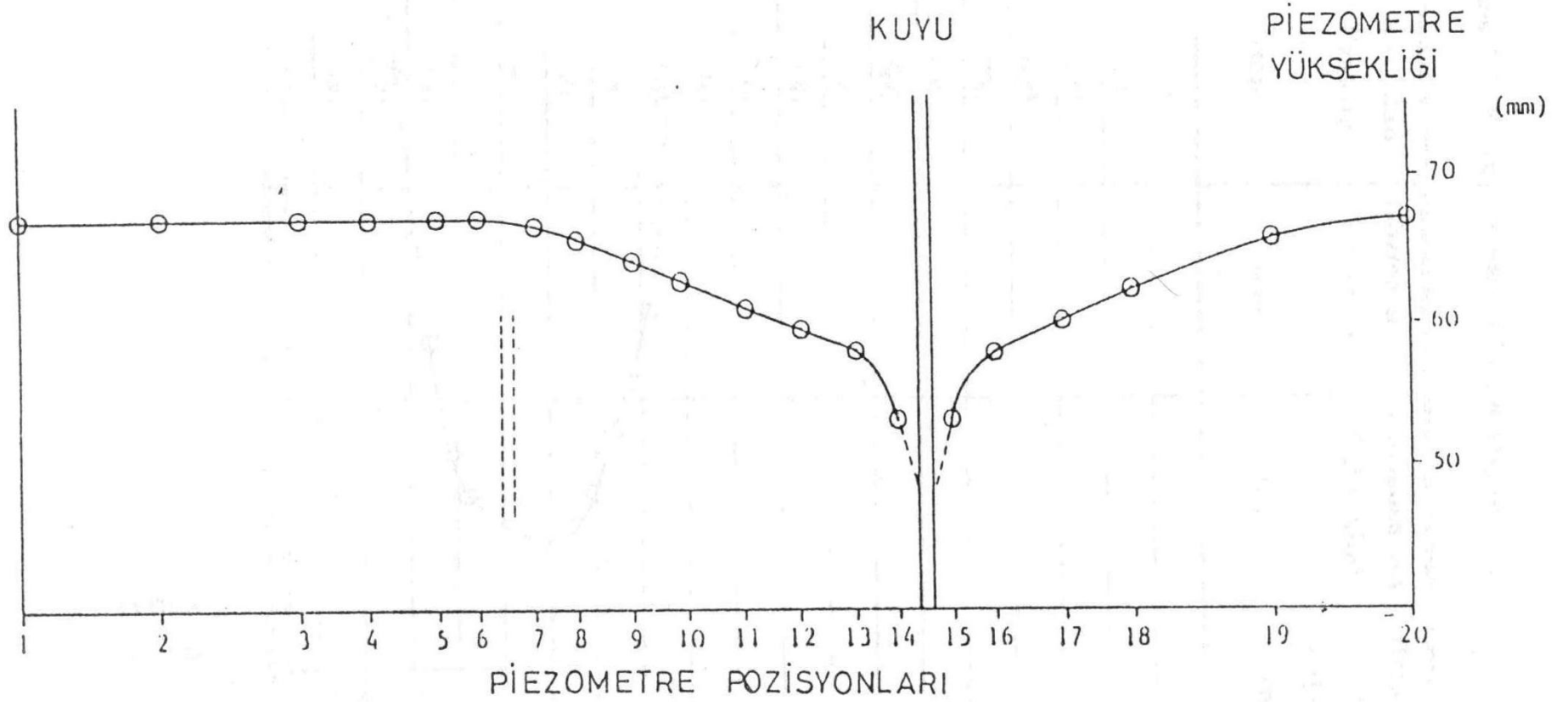
Yukarıdaki formül yardımıyla öncelikle kumun permeabilitesi belirlenmelidir. Daha sonra ise bulunan permeabilite değeri yardımıyla okunan piyezometre seviyelerine karşı hesaplanan su yükseklikleri yine yukarıdaki formül yardımıyla belirlenecektir. Bütün ölçülen ve hesaplanan değerler grafik üzerinde gösterilecektir.

Tablo 9.2 Kuyuya Gelen Akımın Hesabı

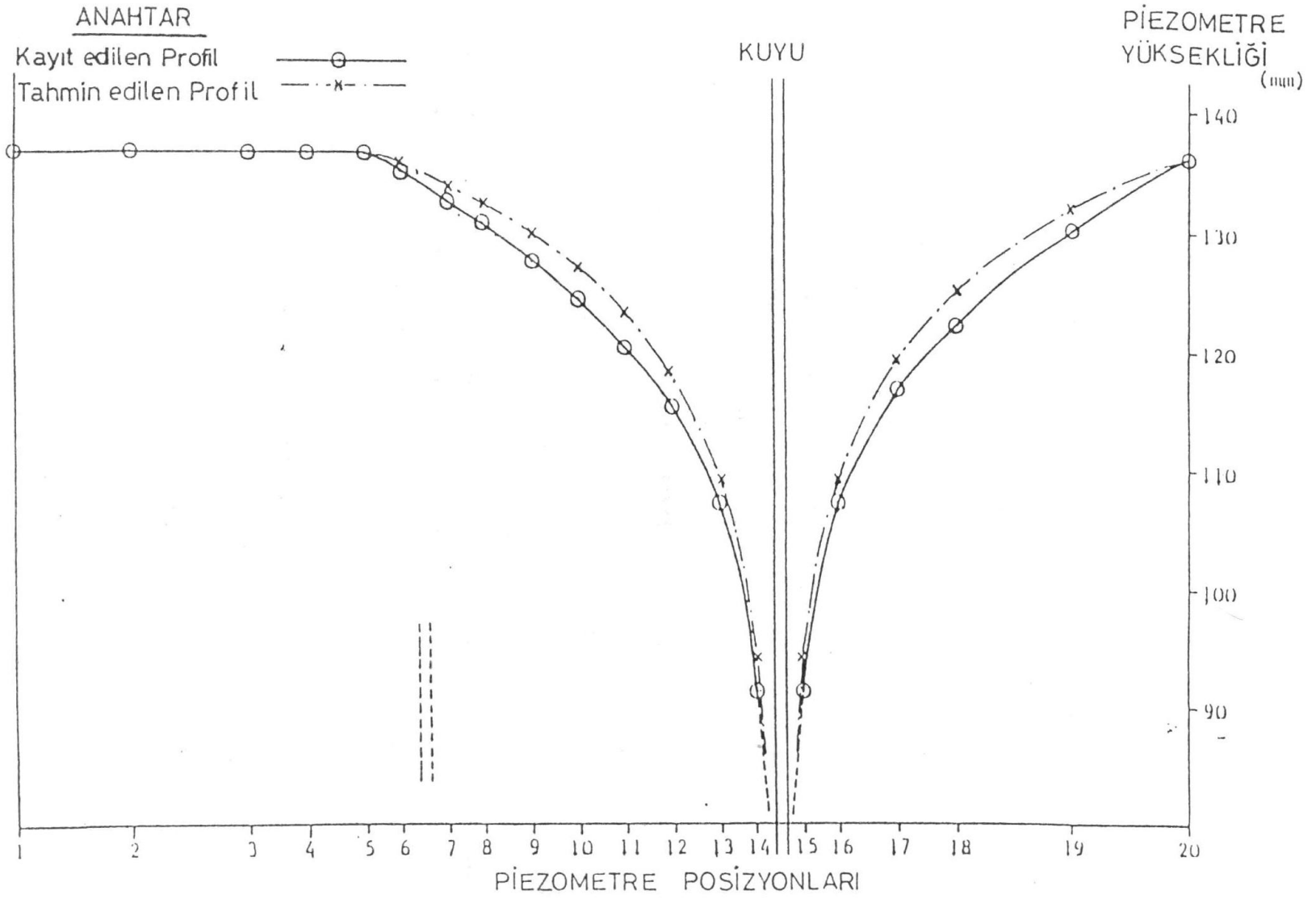
Piyezometre No.	Kuyudan Uzaklık (mm)	Gözlenen Su Yüksekliği (mm) (1)	Gözlenen Su Yüksekliği (mm) (2)	Hesaplanan Su Yüksekliği (mm)
1	1300			
2	1100			
3	900			
4	800			
5	700			
6	640			
7	560			
8	500			
9	420			
10	340			
11	260			
12	180			
13	100			
14	40			
15	40			
16	100			
17	200			
18	300			
19	500			
20	700			



Şekil 9.8



Şekil 9.9



Şekil 9.10

YAĞIŞ HİDROGRAFI DENEY CİHAZI

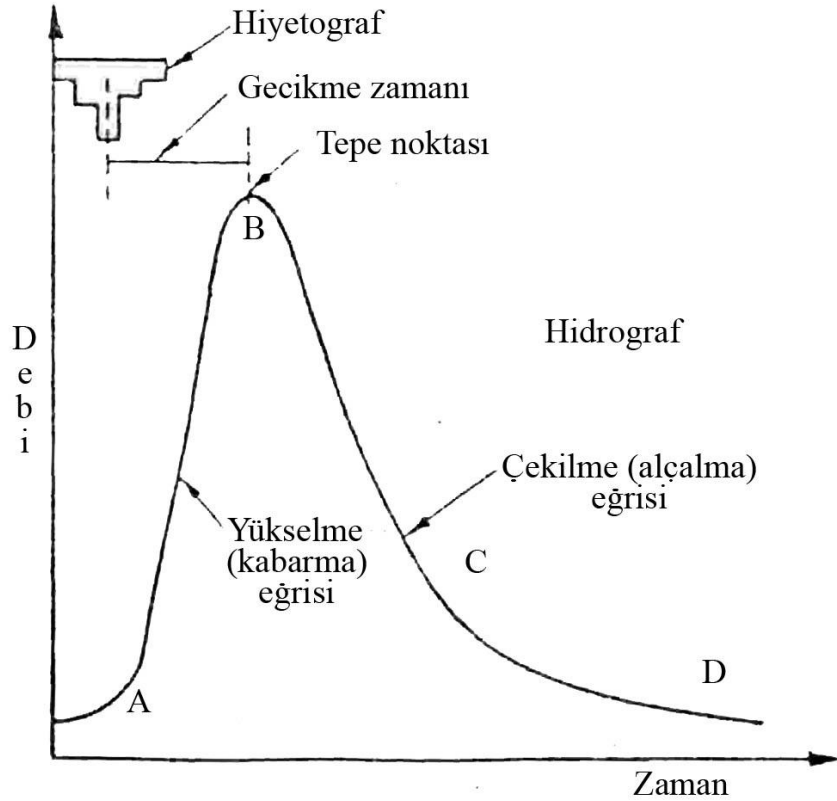
1. GİRİŞ

Yağış ile akış arasındaki ilişki inşaat mühendisliğinde önemli bir yer tutar, belirli bir yağışın nasıl bir akış oranı oluşturacağı oldukça önemlidir. Eğer bu oran önceden deneylerle saptanabilirse, oluşabilecek problemlere daha önceden çözümler getirmek mümkün olabilecektir. Bu sebepten burada, **S-10 Yağmur Hidrografları** deney seti yardımıyla yapılabilecek Yağış-Akış ilişkisine yönelik deneyler üzerinde durulacaktır.

2. HİDROGRAF

Hidrografla onu meydana getiren yağışın hiyetograf arasındaki ilişkinin belirlenmesi için akarsu havzasına yağışı akışa çeviren bir sistem gözüyle bakabiliriz.

Hidrograf, bir akarsu kesitindeki akış miktarının (debinin) zamanla değişimini gösteren bir grafikdir. Aşağıda **Şekil 10.1**'de üniform bir yağış neticesinde oluşmuş tipik bir hidrograf gösterilmiştir. **Şekil 10.1** üzerinde görülen hidrograf, üç ana bölüm üzerinde incelemek gerekecektir.



Şekil 10.1 Tipik Bir Hidrograf

1) *Yükselme Eğrisi*: AB eğrisi boyunca debi zamanla artmaktadır. Bu eğri oldukça dik olup, şekli yağışın özelliklerine (zaman ve yer içindeki dağılımına, süresine), yağış öncesi şartlarına (zemin nemi, bitki örtüsü) ve havza özelliklerine göre değişir. Bu eğri genellikle yukarıya doğru konkavdır. Bunun sebebi yağışın başlangıcından itibaren zaman ilerledikçe havzanın yukarı kısımlarından gelen suların katkısının artışıdır. Genellikle çıkış noktasından uzaklaştıkça iki ardışık izokron arasında kalan alan büyüdüğünden yükselme eğrisinin eğimi de büyür.

2) *Tepe Noktası (pik)*: Genellikle hidrografın belirli bir tepe noktası vardır. Bu noktada debi maksimum değerden geçer. Eğer yağış şiddeti en az geçiş süresine eşit bir süre boyunca değişmezse debi belirli bir süre sabit kalsa da havza biçiminin ve yağış dağılımının düzensizliği bu durumda bile debinin sabit kalmasını önler. Sabit değerlere ancak kar erimelerinde ve çok uzun süreli yağışlardan sonra rastlanabilir. Çok küçük olmayan havzalarda fırtına yağışlarının belirli bir piki olduğu görülür.

Tepe noktası ile hiyetografin ağırlık merkezi arasındaki zaman aralığına gecikme zamanı denir. Gecikme zamanı yağışın havza üzerinde ve zaman içinde dağılışı şekline bağlıdır. Havza üzerinde üniform dağılmış bir yağış halinde tepe noktası yağışın bitmesinden sonra görülür. Havza üzerinde tabaka halinde tutulan yağışın etkisiyle tepe noktası ileriye kayar, maksimum debi azalır. Debi havza üzerinde üniform dağılmamışsa yağış merkezi çıkış noktasına yaklaştıkça tepe noktası öne gelir. Yağış şiddetinin zamanla değişmesi halinde ise şiddetli yağışlar başlangıçta görüldüğünde tepe noktası öne gelir, pik debi azalır. Havza üzerinde yağışın membadan mansaba ilerlemesi halinde maksimum debi (akış piki) artar, tepe noktası daha geç görülür.

Gecikme zamanı ve pik debi üzerinde havza biçimi ve akarsu ağının özelliklerinin de etkisi vardır. Havzanın genişliği membaya doğru arttığında gecikme zamanı büyür. Akarsu ağının iyi dallanmış olması halinde pik debi yükselir, tepe noktası gecikir.

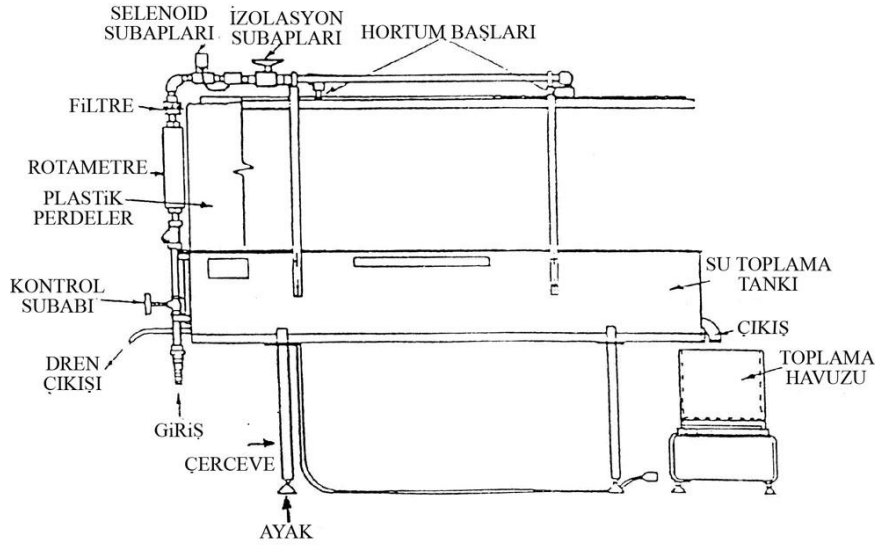
3) *Çekilme (Alçalma) Eğrisi*: BD eğrisi boyunca debi zamanla artmaktadır. Yükselme eğrisine göre çok daha yatık olan bu eğrinin şekli özellikle havzanın karakterine bağlıdır.

3. DENEYSEL SİSTEMİN TANITILMASI

Bu bölümde **Şekil 10.2 ve Şekil 10.3'** de görülen yağış hidrografi deney setine ait bazı teknik özellikler ve çalışma şekli üzerinde durulacaktır.

3.1 Cihazın Teknik Özellikleri

Şekil 10.3 üzerinde görülen cihazda su toplama havzası (1) yumuşak çelikten yapılmıştır. Su toplama havzası sonunda yumuşak çelikten yapılmış ve drenle (3) beslenen akış çıkışı (2) bulunmaktadır. Su toplama havzası tankı çelik çerçeve üzerine (4) oturtulmuştur. Bu çelik çerçeve de dört adet ayarlanabilir ayağın (5) üzerine oturtulmuştur. Su, iki hortum başı (6) bulunan havadan serpiştirilen yağmurlama sistemi ile sağlanmaktadır. Ve akışmetre (7) tarafından debi değeri okunmaktadır. Akış kontrol subabı (8) ve selenoid sübapları da (9) akış kontrolünü sağlarlar. Her iki hortum başı da kendi ızalasyon sübaplarına (10) sahiptir ve çelik bir çerçeveye (11) oturtulmuşlardır. Cihazın çevresine hortum başlarından çıkan suyun toplanması amacıyla saydam perdeler (12) konulmuştur.



Şekil 10.2 Cihazın yandan görünümü

Toplama tankı (15) 17 bölümden oluşmuş ve raylı bir sistem (14) tarafından hareket ettirilmektedir. 17 bölümün iki ucunda fazla akışı bertaraf etmek üzere delikli iki bölüm bulunmaktadır. Bu bölümler yardımıyla akıtılan su toplama sisteminin altındaki orta drenaj sistemi (17) yardımıyla istenilen uygun bir yere drene edilmektedir.

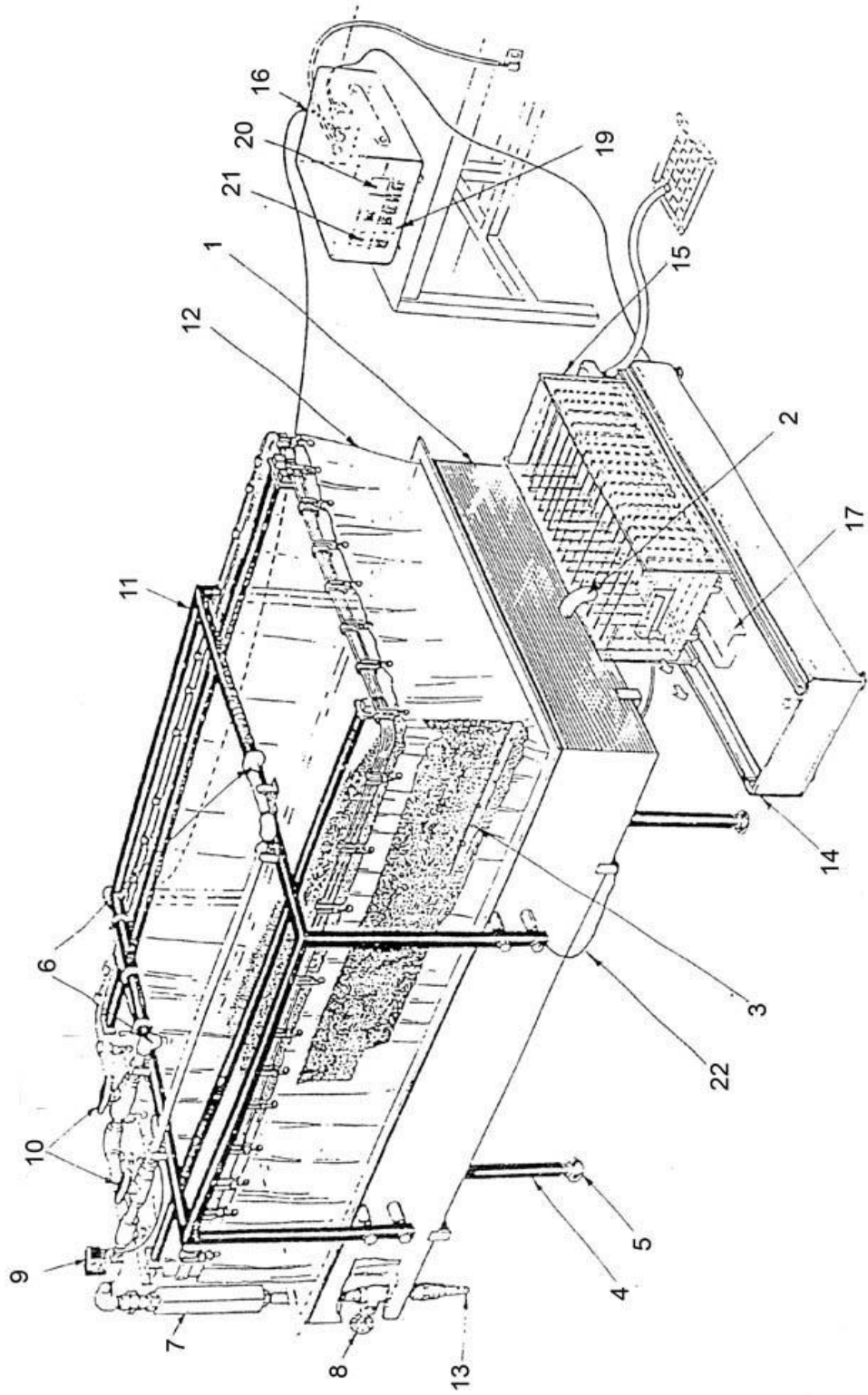
Bir kontrol paneli toplama ve ölçme ünitesine ve selenoid sübaplarına bağlanmıştır. Elektronik kronometre (21) yağmur süresini ölçmeye yarar ve yağmur başlama düğmesine (19) bağlıdır. Elle ayarlanabilir kronometre (20) toplama tankının bölmelerinin hareket sürelerini ayarlamaya yarar.

Cihazın çalışması esnasında sisteme sürekli olarak 4.41 lt/dak su verebilecek bir kaynağın bulunması gereklidir. Havzada kullanılacak kum 2-5 mm çapında olmalıdır. Cihazda kullanılacak kum yaklaşık 150 kg'dır.

3.2 Doğru Akış Oranının Tesbiti

Deneylere başlamadan önce doğru akış oranını (Debi) belirlemek için öncelikle kontrol sübabı yan açıklığa getirilip, toplama tankı ayarlama saati 15 sn'ye getirildikten ve izolasyon sübapları da açıldıktan sonra, RAIN düğmesine basılır ve toplama tankı incelemeye alınır.

Toplama tankının bölümlerinden herhangi birinin 15 sn'lik zaman dilimi içinde tam olarak dolduran akış oranı (Debi) debi olarak seçilebilir. Kontrol sübabını biraz kapatıp açarak bu ideal debi elde edilmeye çalışılmalıdır. Dikkat edilmesi gereken şey, bu elde edilen debi değerinden sonra kontrol sübabına deneylerin sonuna kadar bir daha dokunulmamalıdır.



Şekil 10.3 Cihazın genel görünümü

3.3 Cihazın Çalıştırılması

Cihaz ilk olarak çalıştırıldığında cihazın içinde kum olmaması tercih sebebidir.

1. **SUPPLY** düğmesine basınız.

2. Su toplama tankının kendisini taşıyan raylar üzerine tam oturup oturmadığını kontrol ediniz. Eğer tam oturduysa cihazın düğmeleri çalışacaktır. Eğer oturmadıysa, toplama tankını hareket ettirecek motor harekete geçmeyecektir ve bunun neticesinde **RAIN** ve **COLLECTION START** düğmeleri aktif olmayacaktır.

3. Su toplama tankının her bölümü için geçecek süreyi elle ayarlanabilen saati uygun bir süreye tercihen 15-20 sn.'ye ayarlayınız.

4. **RESET** düğmesine basınız. Bu dijital saati sıfırlayacaktır.

5. Hortum başı izolasyon sübaplarının açık olup olmadığını kontrol ediniz. Akış kontrol subabını ve ana su girişini açınız. (Musluğa bağlandıysa musluğu açınız)

6. **RAIN** düğmesine basınız. Selenoid sübaplarının açık olup olmadığını kontrol ediniz (eğer açık ise bir "tık" sesi duyulacaktır) ve iki hortum başından su akmaya başlayacaktır. Bundan sonra dijital saatin çalışıp çalışmadığını kontrol ediniz ve akışmetrede debiyi 4.4 lt/dak oranına getiriniz.

7. **COLLECTION START** düğmesine basınız. Bu toplama tankını harekete geçirecektir.

8. İstedığınız yağmur süresini elde ettiğinizde **RAIN STOP** düğmesine basınız. Bu, selenoid sübabını kapatıp yağmuru durduracaktır.

9. Toplama tankı rayın sonuna geldiğinde otomatik olarak toplama tankını hareket ettiren motoru ve dijital saati durduracaktır.

4. DENEYLER

Bu bölümde yağış-akış ilişkisi, deneyler yardımıyla incelenecektir. Bu deneyleri dört ana gruba ayırmak mümkündür.

- 1 . Geçirimsiz su toplama havzasından oluşan akarsu akışı deneyi
- 2 . Tek fırtınadan oluşan akarsu akışı deneyi
- 3 . Birçok fırtınadan oluşan akarsu akışı deneyi
- 4 . Fırtına hareketi yönünün etkisi deneyi

4.1 Geçirimsiz Su Toplama Havzasından Oluşan Akış

Bu deneyin cihaza kumu yerleştirmeden yapılması ve böylece geçirimsiz bir tabaka elde edilmesine yardımcı olması sebebiyledir. Bu deneyde iki izolasyon sübabı açık tutularak önceki bölümde belirlenen debi oranına da dikkat edilerek yağmur süresi 1 dakika 40 saniye olarak seçilebilir. Yağmur kesildikten sonra akış toplama işine toplama tankı durana kadar devam edilmelidir. Bu işlem sonucunda toplama tankının üzerindeki 17 bölmedeki su yükseklikleri ölçülerek ve bir grafik üzerinde Su yüksekliği (mm)- Zaman (sn) şeklinde

işaretlenerek bar şeklinde bir grafik elde edilmelidir. Buradan da yaklaşık bir eğri geçirilerek istenilen hidrograf elde edilmiş olur. Burada elde edilen hidrograf hakkında gerekli yorumlar da yapılmalıdır.

4.2 Tek Fırtınadan Doğan Akarsu Akışı Deneyi

Bu deneyde öncelikle üçüncü bölümde anlatılan özelliklerde 150 kg.lık kum cihaza yerleştirilmelidir ve daha sonra bir profil tahtasıyla kumun üst yüzeyi düzgün bir hale getirilmelidir. Kum havadan serpiştirilen yağmurlama sistemi yardımıyla bütün boşlukları doluncaya kadar yağmur altında tutulmalıdır. Suyun tamamen drene olması için 1 saat bekledikten sonra iki izolasyon sübabı da açık olacak şekilde havadan serpiştirilen yağmurlama sistemiyle 60 sn. yağmur fırtınası tatbik edilir ve 60 sn. sonunda izolasyon sübabları kapatılarak akış toplama işlemine devam edilmelidir. Bu işlem sonucunda toplama tankının üzerindeki 17 bölmedeki su yükseklikleri ölçülerek bir grafik üzerinde su yüksekliği (mm)- Zaman (sn) şeklinde işaretlenerek bar şeklinde bir grafik elde edilmelidir. Buradan da yaklaşık bir eğri geçirilerek istenilen hidrograf elde edilmiş olur. Burada elde edilen hidrograf hakkında gerekli yorumlar da yapılmalıdır.

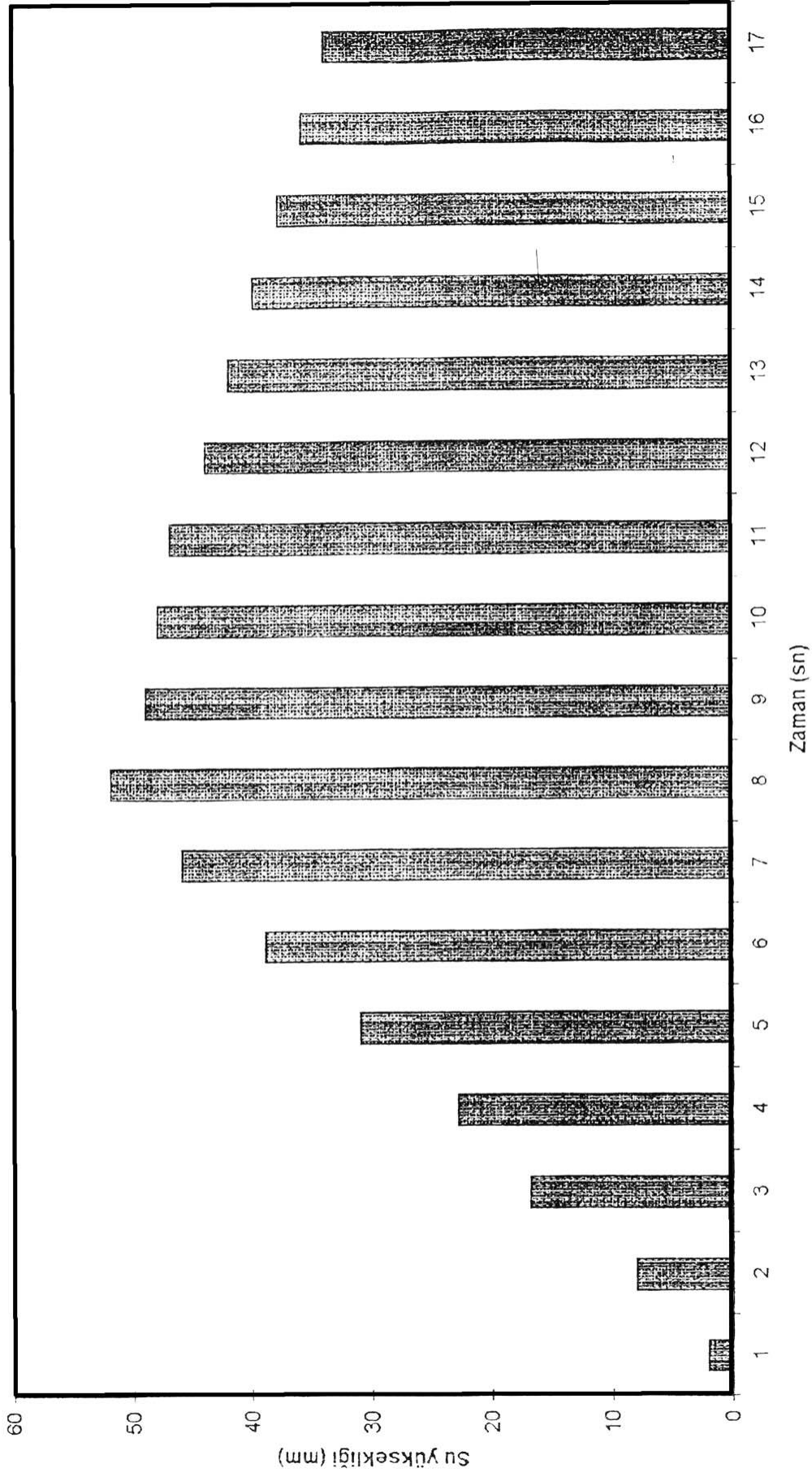
4.3 Birçok Fırtınadan Oluşan Akarsu Akışı

Kum yatağı tamamen drene edildikten sonra 2 no.lu deneyde seçilen fırtına süresinden daha az bir fırtına süresi ayarlanarak deneye başlanmalıdır. Öncelikle iki izolasyon sübabı da açılarak 35 sn. lik bir ilk fırtına oluşturulmalı ve bunu takiben yine aynı süre yağmur fırtınasına ara verilmelidir. Fakat bu ara erişte toplama tankı işlemine devam etmelidir. 35 sn.lik arayı takiben ilk yağmur fırtınasıyla aynı zamanlı ikinci bir yağmur fırtınası uygulanmalıdır. İkinci yağmur fırtınası bittikten sonra toplama tankı işlemine devam etmelidir. Bu işlem sonucunda toplama tankının üzerindeki 17 bölmedeki su yükseklikleri ölçülerek bir grafik üzerinde Su yüksekliği (mm)- Zaman (sn) şeklinde işaretlenerek bar şeklinde bir grafik elde edilmelidir. Buradan da yaklaşık bir eğri geçirilerek istenilen hidrograf elde edilmiş olur. Burada elde edilen hidrograf hakkında gerekli yorumlar da yapılmalıdır.

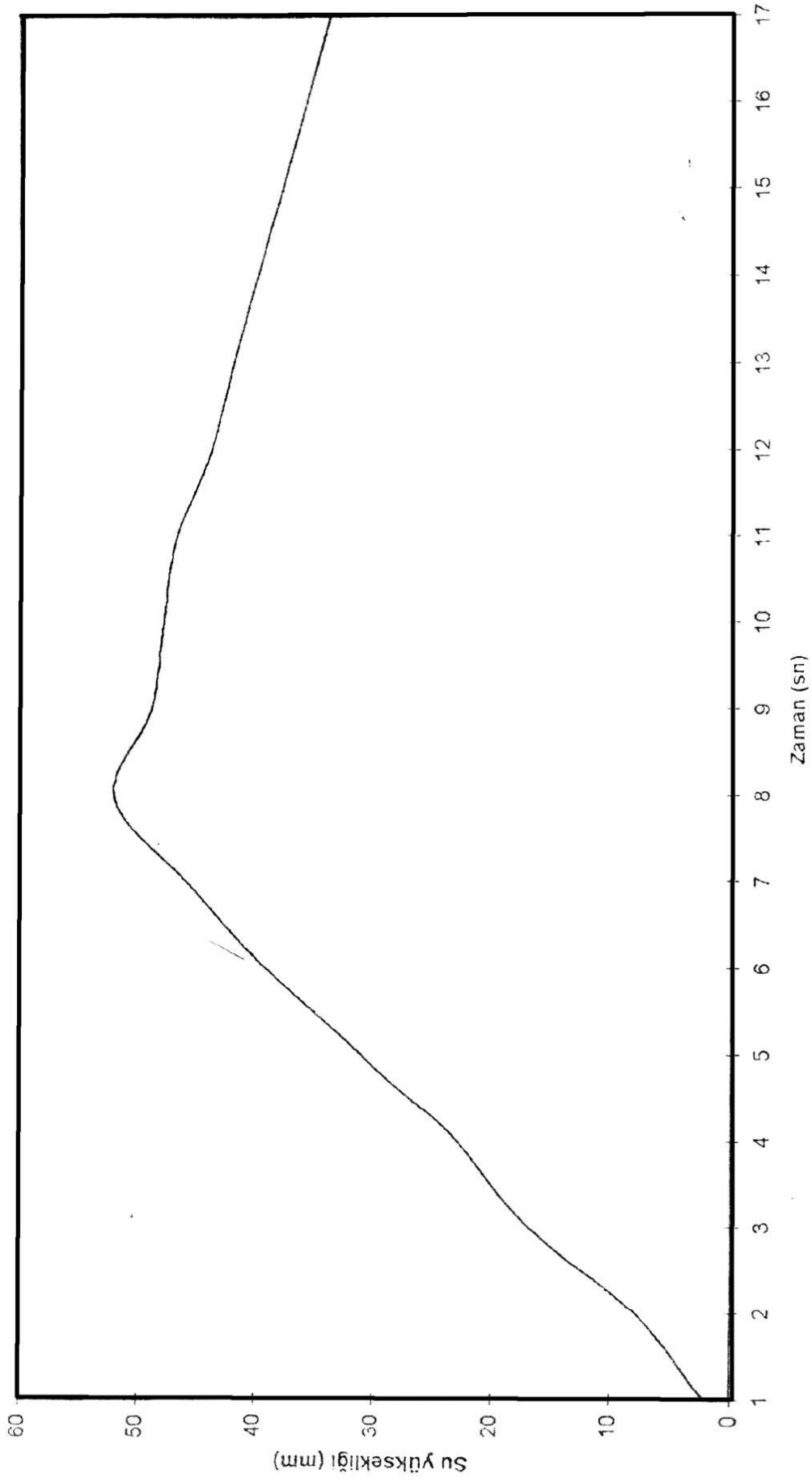
4.4 Fırtına Hareketi Yönünün Etkisi Deneyi

Eğer fırtına su toplama havzasında hareket ederse, hareketin yönü akış hidrografının şekli üzerine bir etkisi olur. Bu etki cihazda birbirinden bağımsız olarak hareket edebilen iki hortum başı ile araştırılacaktır.

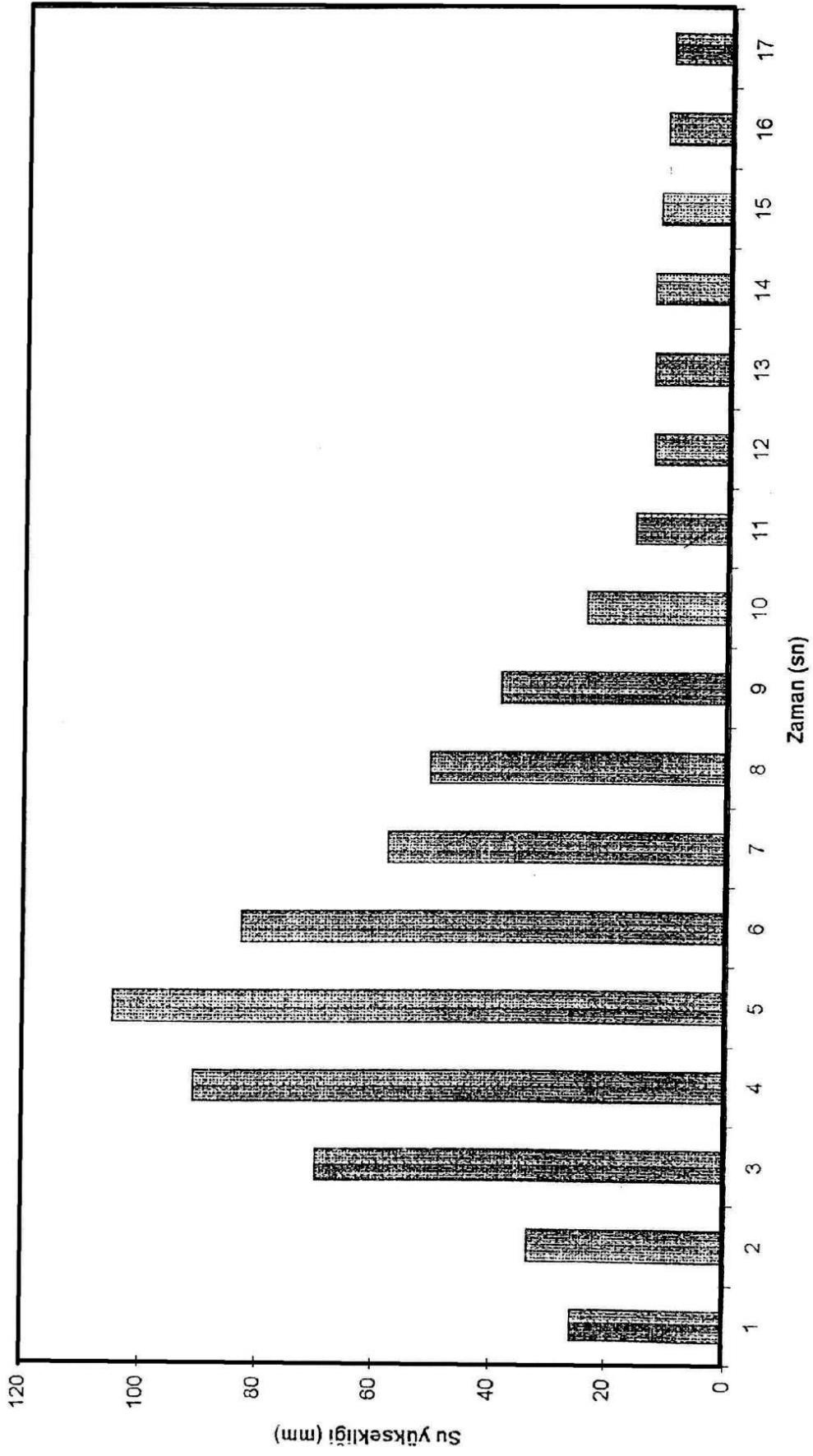
İki hortum başının da aynı anda çalışmasıyla toplama tankına 17 bölümüne uydurulabilecek ve hidrografi belirleyebilecek bir yağmur fırtınası oluşturulur. Daha sonra toplama tankının su yükseklikleri ölçülerek hidrograf oluşturulur. Su tankını drene edebilecek yeterli zaman verildikten sonra ilk fırtınayla aynı zamanlı bir başka fırtına gerçekleştirilir. Bu fırtınada ilk fırtına yağmur süresinin yarısında, bir hortum başı açık iken, diğer hortum başı kapalı tutulur. Yağmur fırtınasının diğer yarısında açık tutulan hortum başı kapatılırken diğeri açılır. Bu işlem sonucunda toplama tankının üzerindeki 17 bölmedeki su yükseklikleri ölçülerek bir grafik üzerinde Su yüksekliği (mm)- Zaman (sn) şeklinde işaretlenerek bar şeklinde bir grafik elde edilmelidir. Buradan da yaklaşık bir eğri geçirilerek istenilen hidrograf elde edilmiş olur. Burada elde edilen hidrograf hakkında gerekli yorumlarda yapılmalıdır.



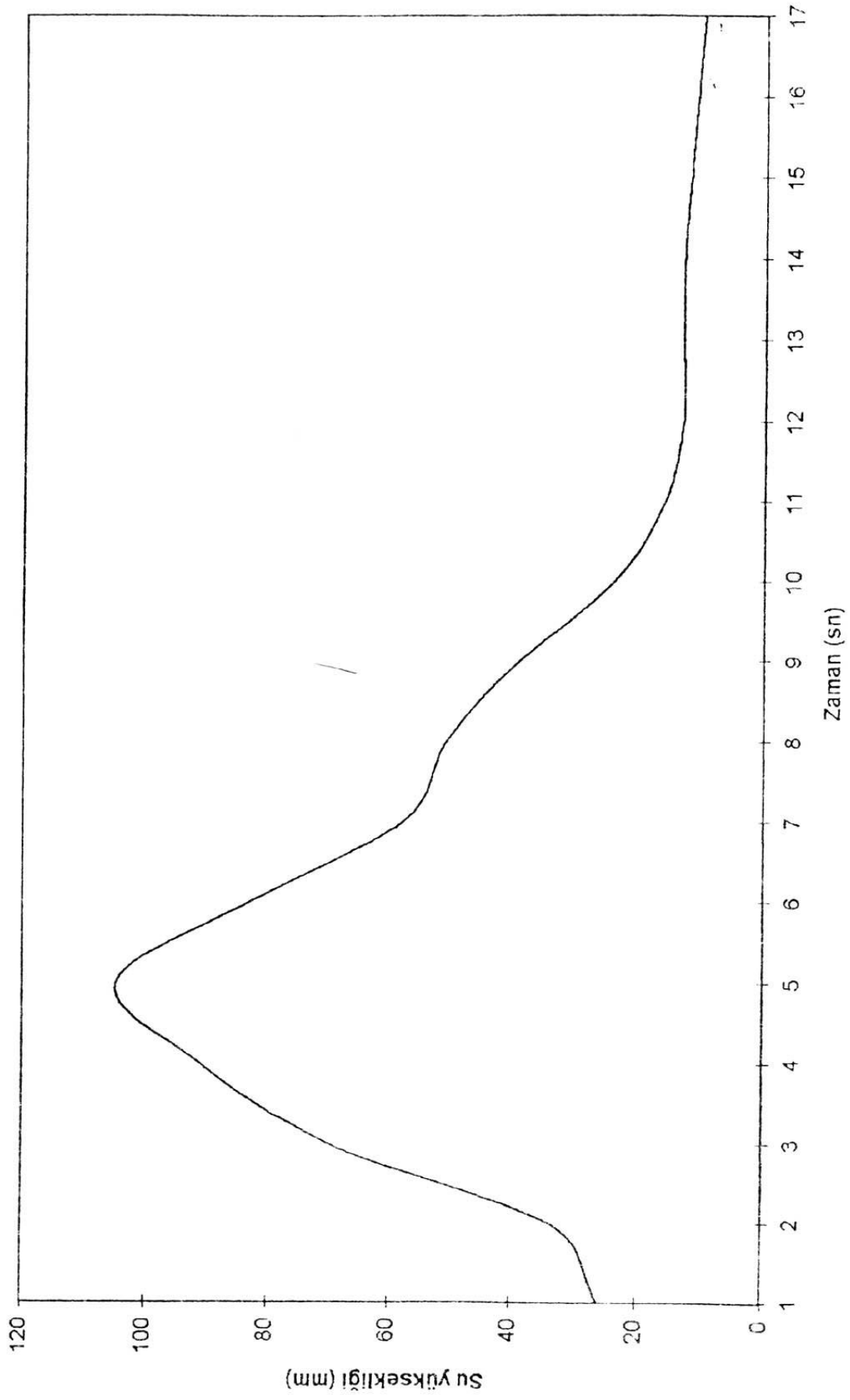
Şekil 10. 4 Geçirimsiz su toplama havzasından oluşan akarsu akışı deneyi hidrografi



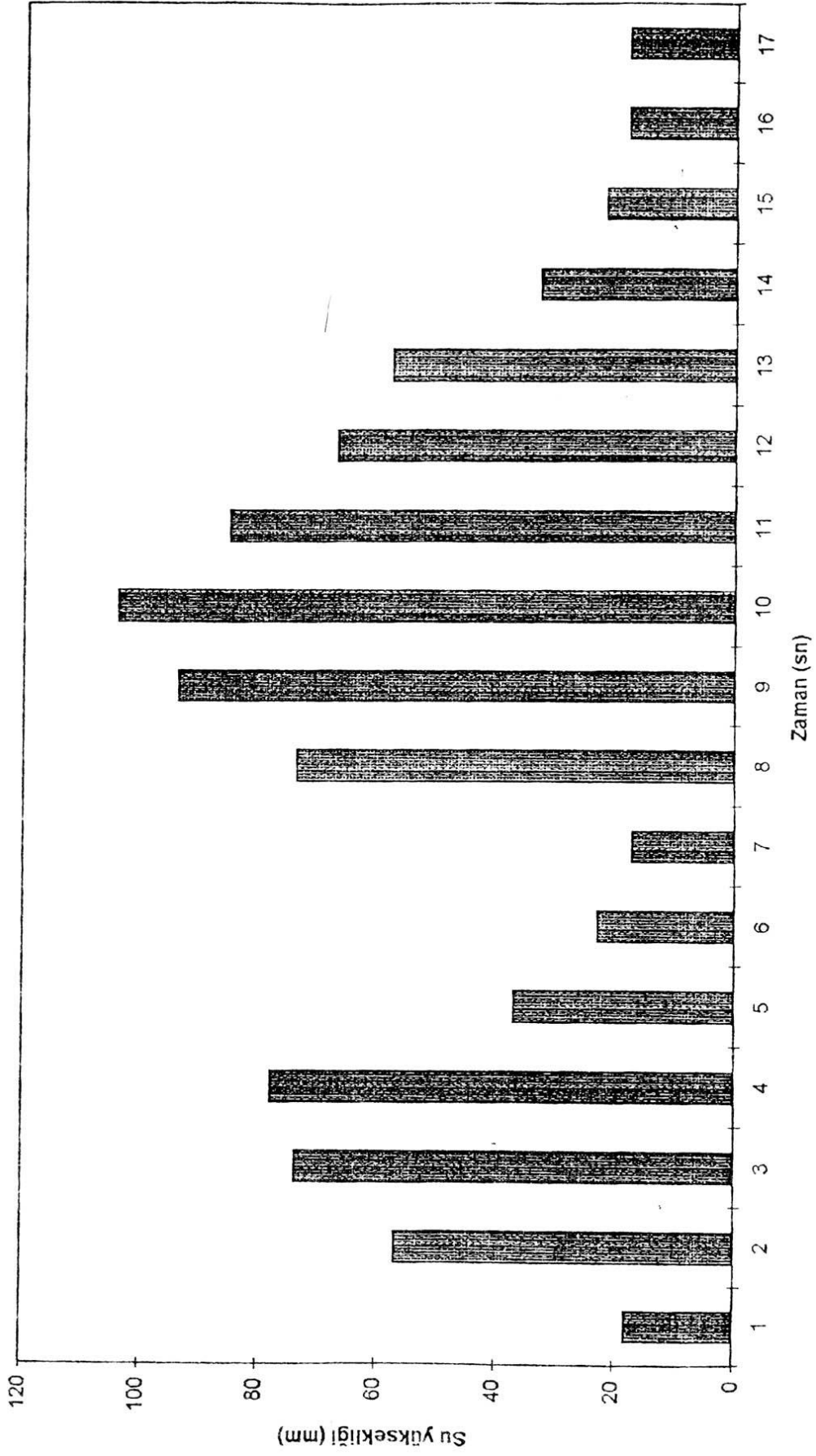
Şekil 10. 5 Geçirimsiz su toplama havzasından oluşan akarsu akışı deneyi hidrografi



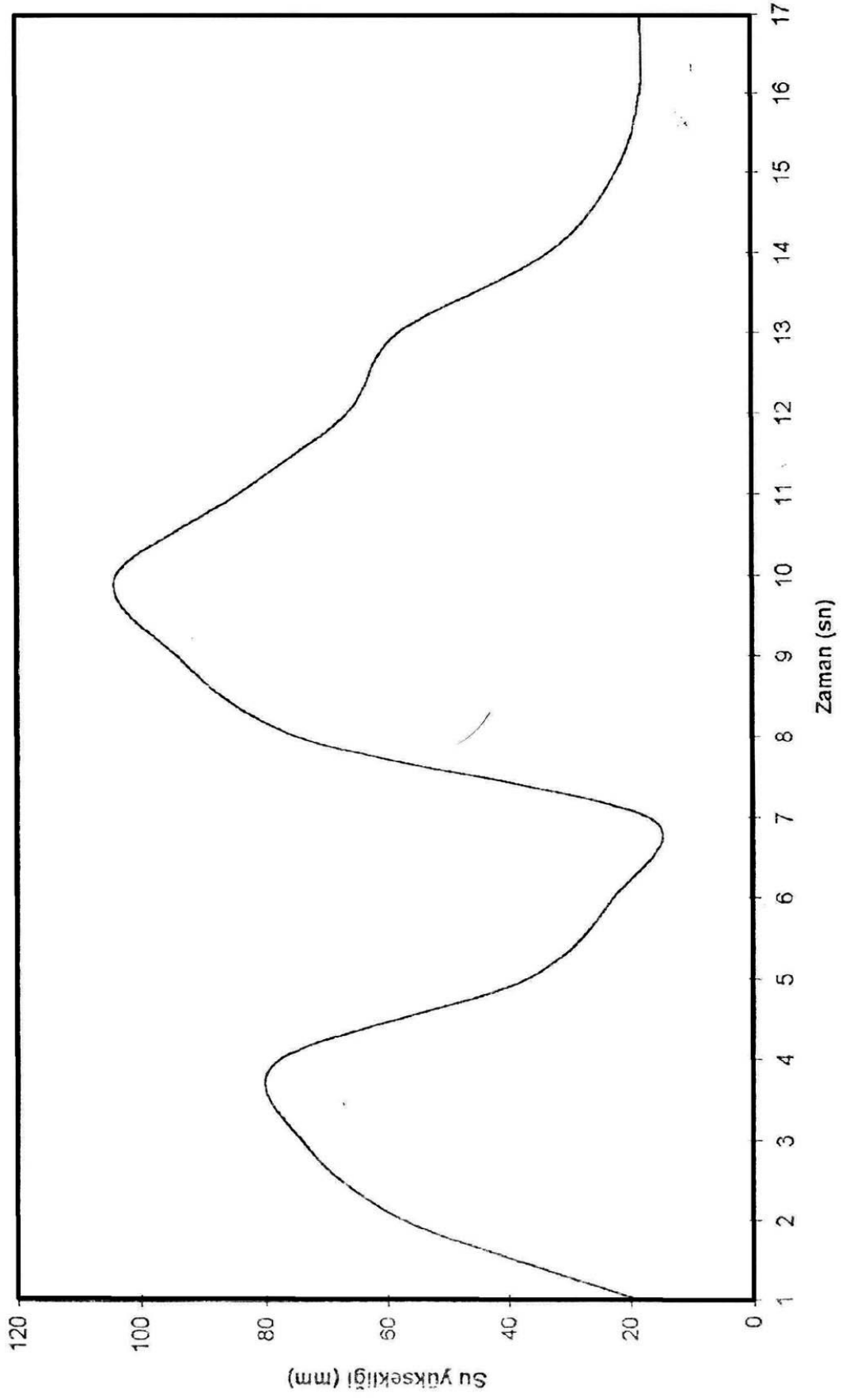
Şekil 10. 6 Tek fırtınadan oluşan akarsu akışı deneyi hidrografi



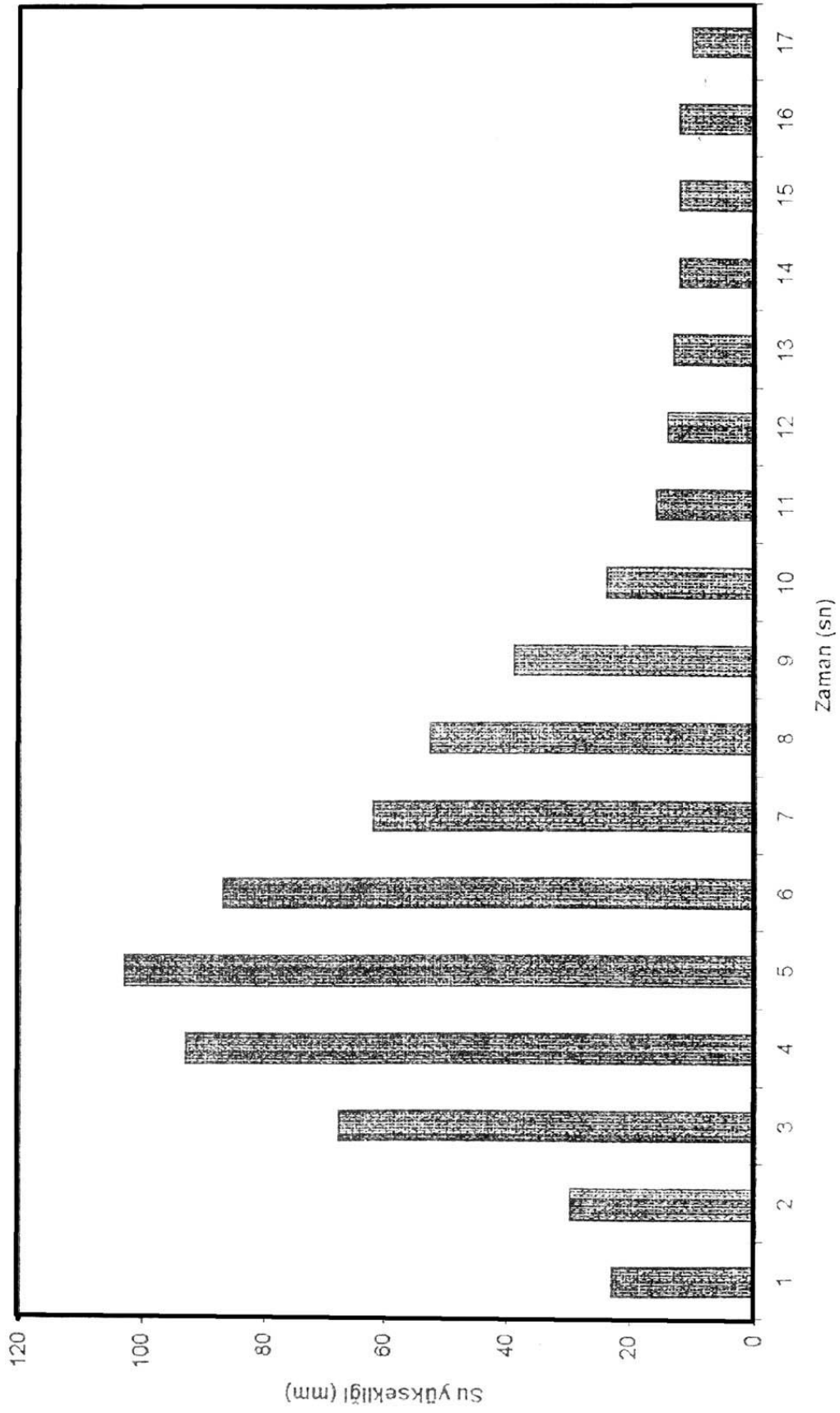
Şekil 10. 7 Tek fırtınadan oluşan akarsu akışı deneyi hidrografi



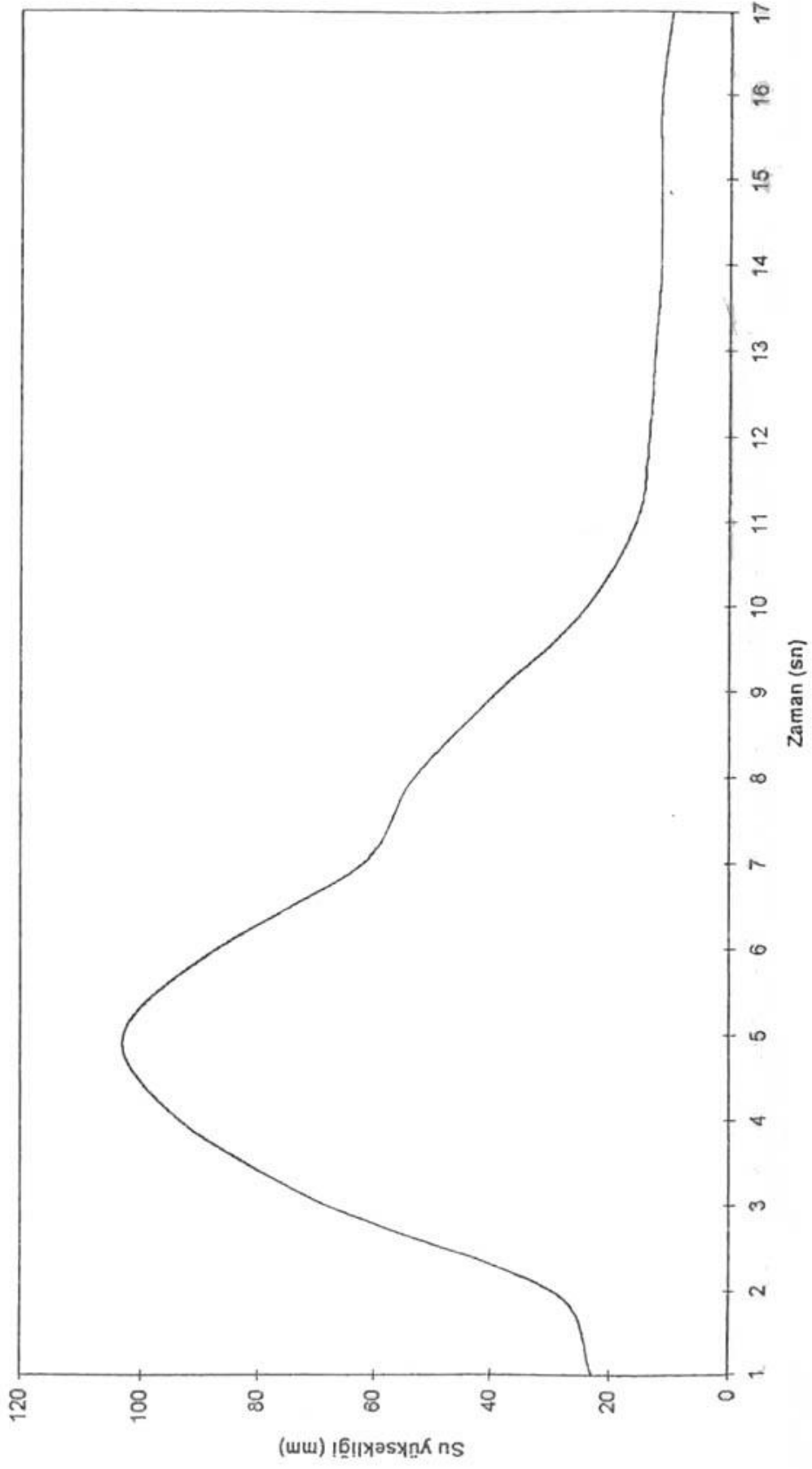
Şekil 10. 8 Bir çok fırtınadan oluşan akarsu akışı deneyi hidrografi



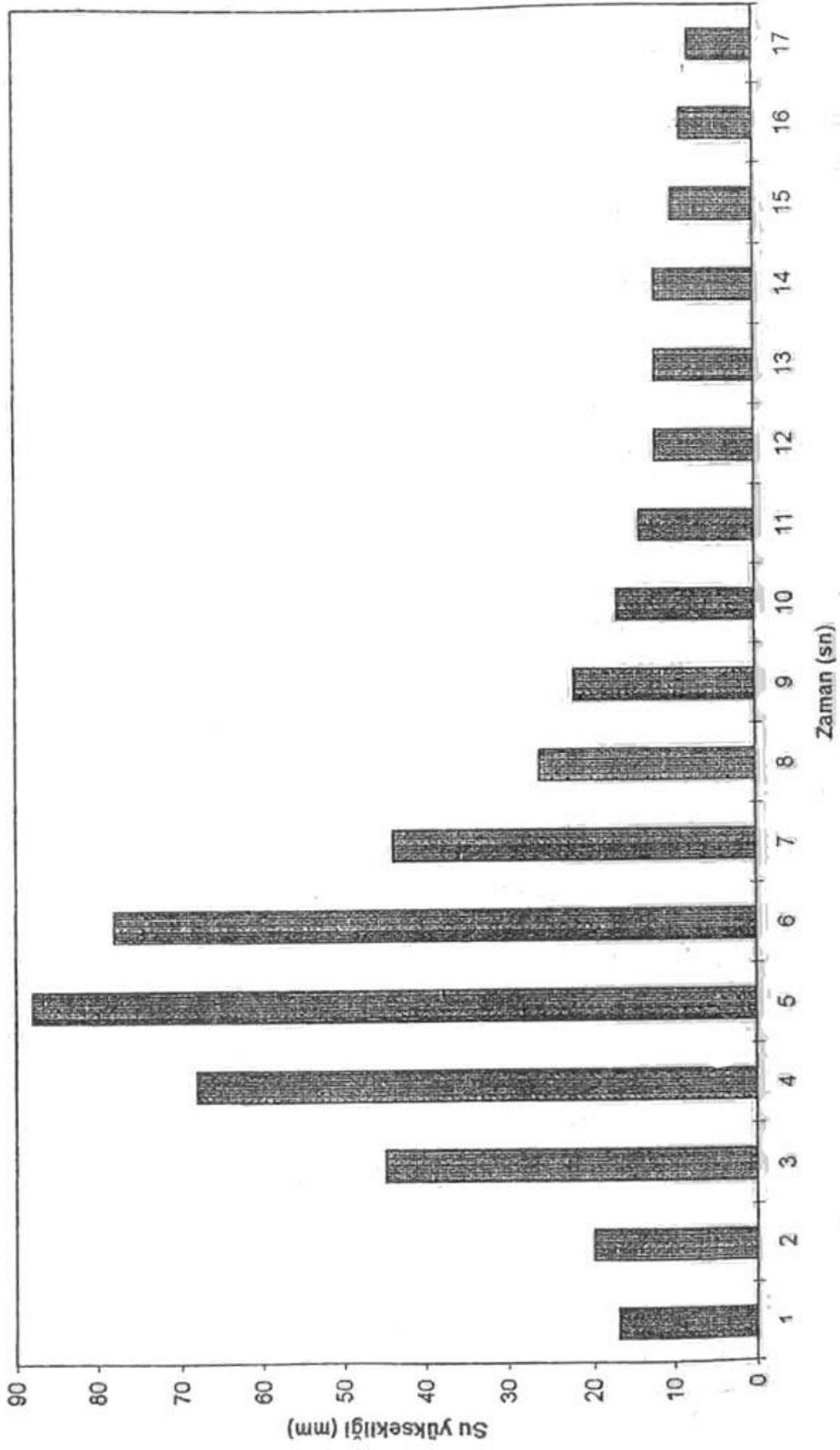
Şekil 10.9 Bir çok fırtınadan oluşan akarsu akışı deneyi hidrografi



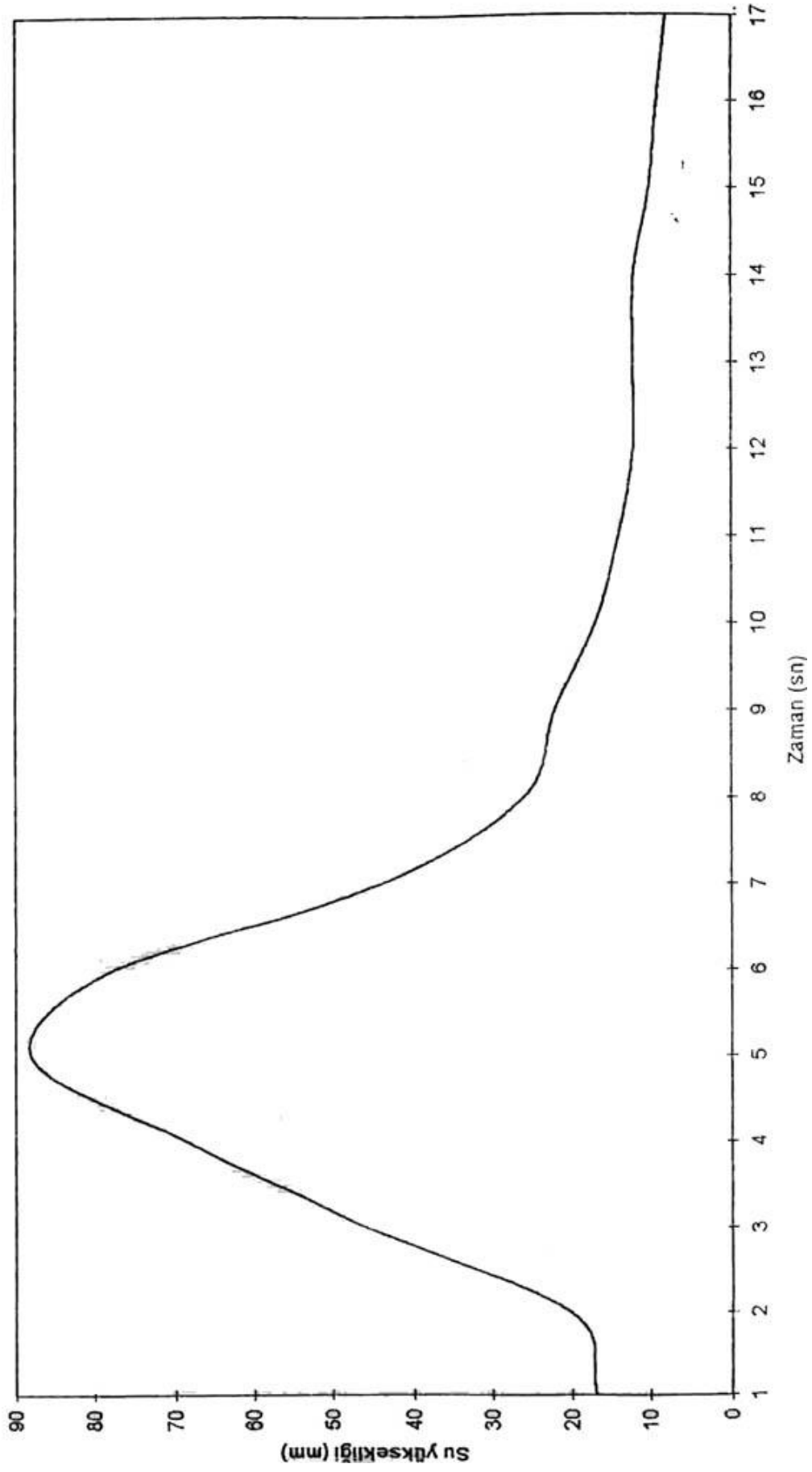
Şekil 10. 10 Fırtına hareketi etkisi deneyi (iki hortum başı açıkken)



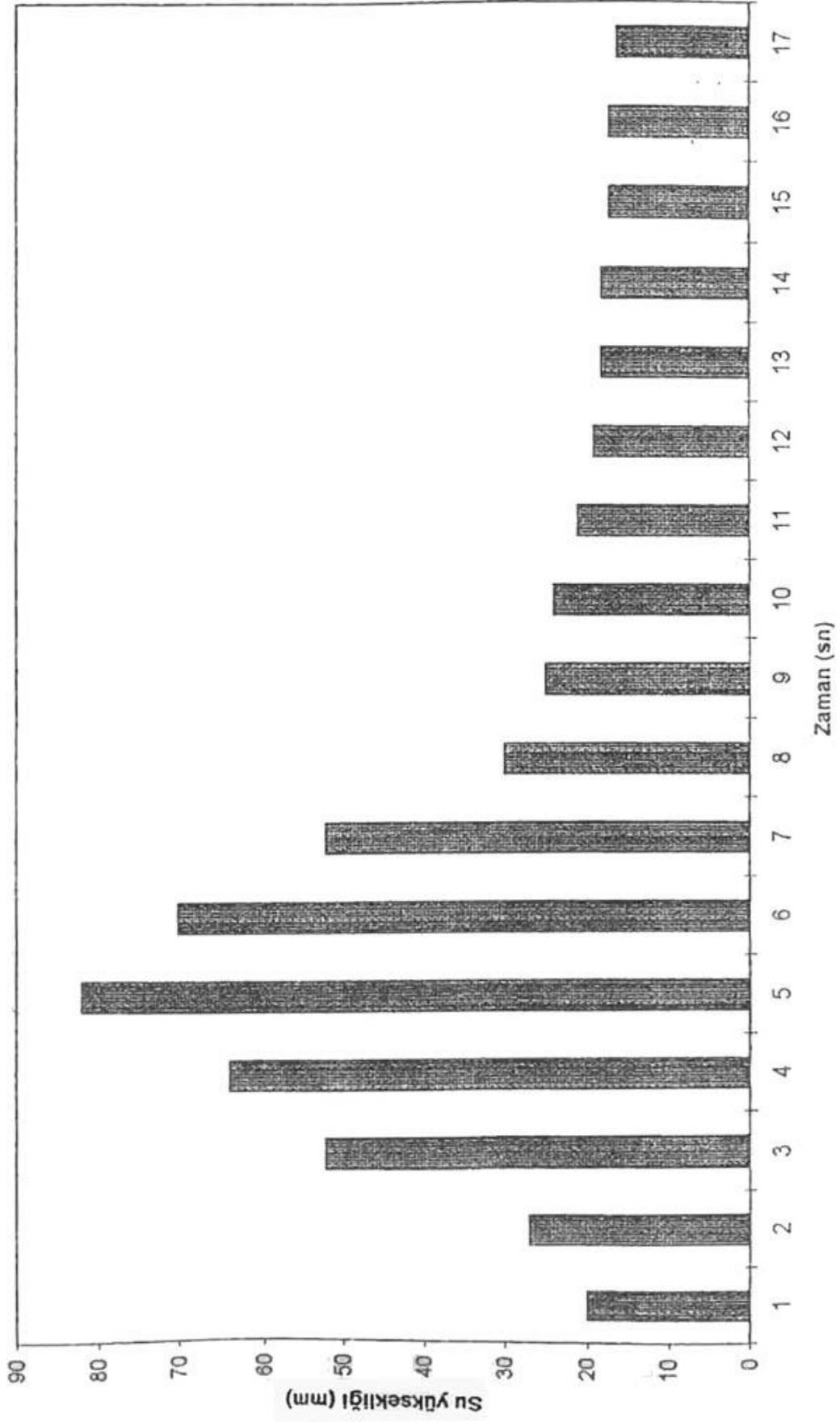
Şekil 10. 11 Fırtına hareketi etkisi deneyi (iki hortum başı açıkken)



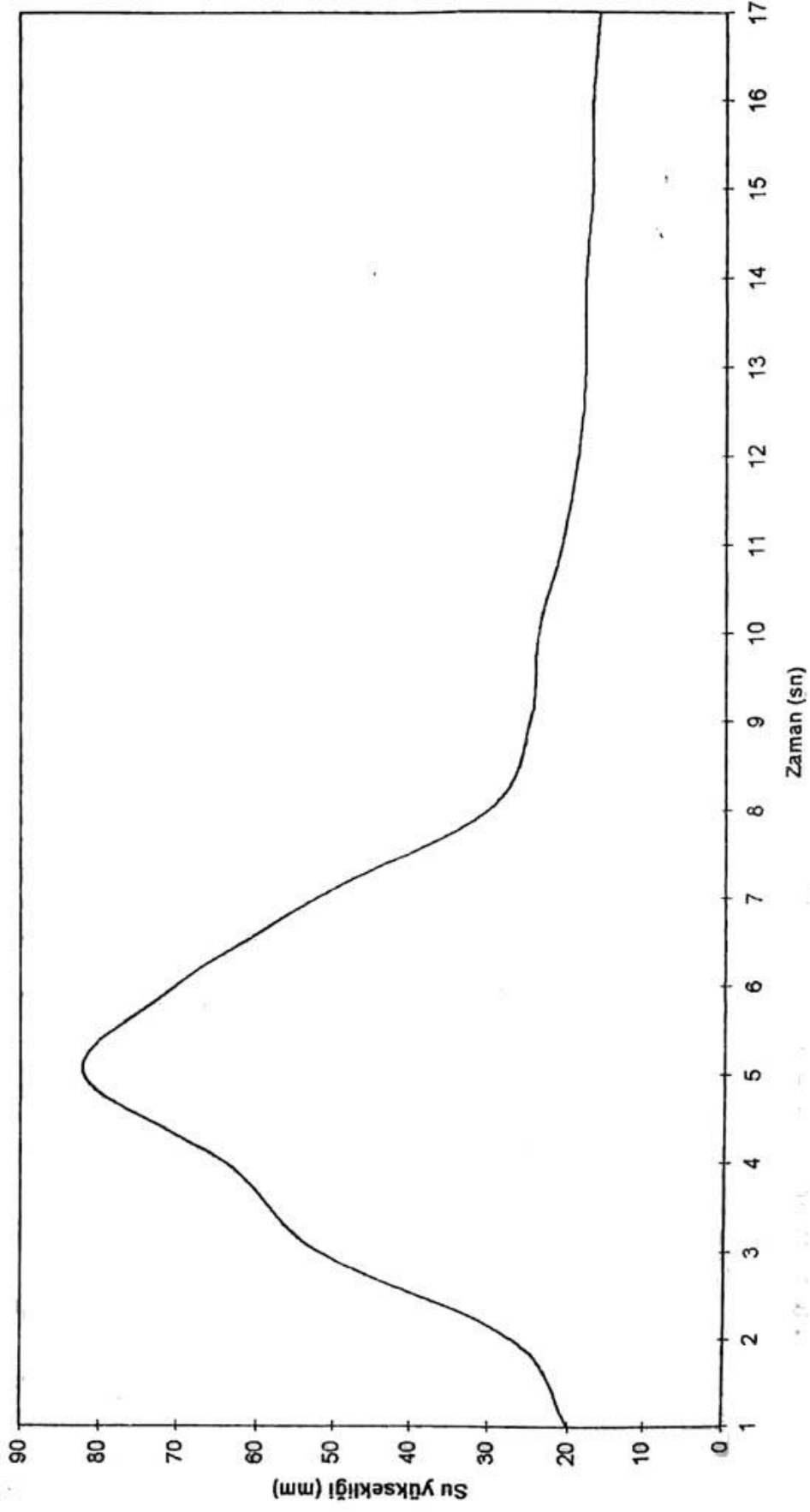
Şekil 10. 12 Fırtına hareketi etkisi deneyi (ilk olarak çıkış noktasına uzak olan hortum başı açıkken)



Şekil 10. 13 Fırtına hareketi etkisi deneyi (ilk olarak çıkış noktasına uzak olan hortum başı açıkken)



Şekil 10. 14 Fırtına hareketi etkisi deneyi (ilk olarak çıkış noktasına yakın olan hortum başı açıkken)



Şekil 10. 15 Fırtına hareketi etkisi deneyi (ilk olarak çıkış noktasına yakın olan hortum başı açıkken)

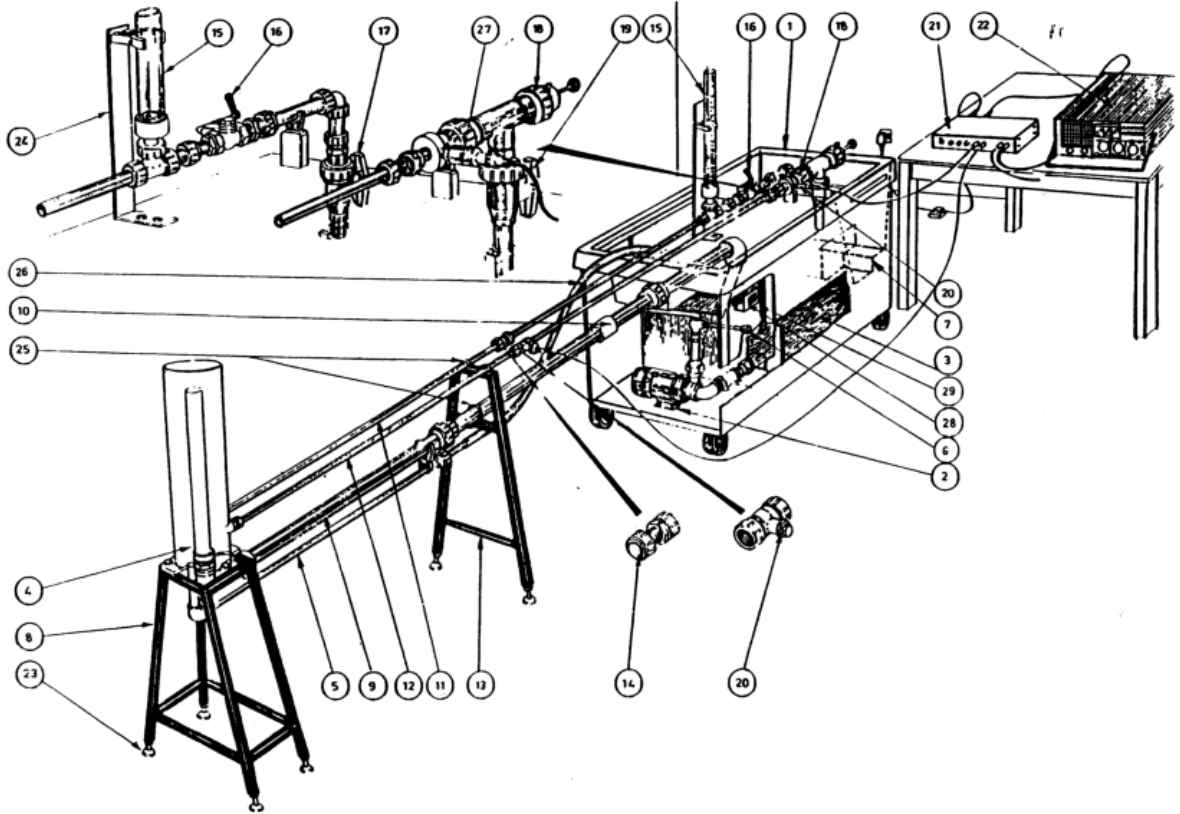
SU DARBESİ

1. GİRİŞ

Bir boru hattının sonunda bulunan vananın kısılması durumunda debideki azalmayla kinetik enerjide de azalma meydana gelecektir. Boru hattı boyunca kinetik enerjideki azalma ile artacak basınç boruya zarar verici bir seviyeye ulaşabilmektedir. Örneğin bir hidroelektrik tesise su akışını sağlayan borunun kırılmasına veya mansabında bulunan vananın zarar görmesine neden olabilmektedir. Daha küçük hidrolik sistemlerde akımı kesecek şekilde vananın hızlı kapanması, basınçta kararlı akım halindeki basıncın birkaç katı olacak şekilde salınımlar meydana getirmektedir ve bu salınım menbaya doğru ses hızıyla yayılır. Bu etki ile birlikte sistemde meydana gelecek titreşim ve gürültü “su darbesi” olarak bilinmektedir.

Bu enerji kaybının zararsız bir şekilde ortadan kaldırılması sistemin mansabına denge bacası yerleştirilerek gerçekleştirilebilir. Bu olayın daha iyi anlaşılabilmesi için bir vananın hızlı kapanmasıyla ortaya çıkacak şok dalgalarından dolayı oluşacak su darbesini gösteren deney sistemi burada esas alınmıştır.

Deney sistemi aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi dizayn edilmiştir.

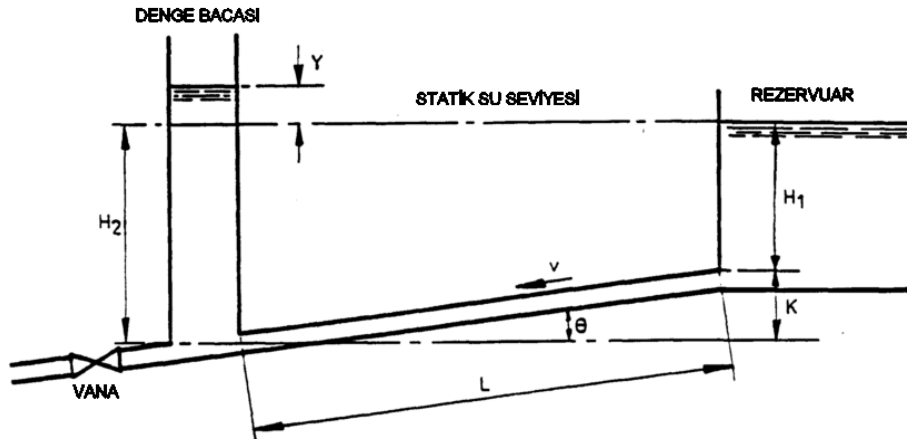


Şekil 11.1 Deney sistemi

- 1- Servis modülü
- 2- Santrifüj pompa
- 3- Su deposu (su üst kotu tankın üst kenarından 80 mm aşağıda olmalıdır.)
- 4- Sabit yük tankı
- 5- Su basma borusu
- 6- Kontrol vanası
- 7- Hacimsel debi ölçüm kanalı
- 8- Destek ayağı
- 9- Geri dönüş borusu
- 10- Perspeks gözleme kesiti
- 11- Su darbesi test borusu (3 m)
- 12- Su darbesi test borusu (3 m)
- 13- Destek ayağı
- 14- Basınç birimi
- 15- Perspeks denge bacası
- 16- Sürgülü vana
- 17- Akım kontrol vanası
- 18- Ani etki vanası
- 19- Kontrol vanası
- 20- Basınç prizi
- 21- Amplifikatör
- 22- Osiloskop
- 23- Ayar ayağı
- 24- Destek
- 25- Boru bağlantısı
- 26- Bağlantı hortumu
- 27- Basınç transducerı
- 28- Güç anahtarı
- 29- Su seviye ölçüm çizelgesi

2. TEORİ

2.1 Basit Denge Bacasının Sürtünme Yük Kaybı Dikkate Alınmaksızın Analizi



Şekil 11.2

Bu kesitte;

a : Borunun enkesit alanı

A : Denge bacası enkesit alanı

u : Boruda vanadaki değişimi takip eden bir t anında akım hızı

y : Denge bacasında statik seviyenin üzerindeki seviye

q : Vanadan geçen debi

$\frac{dy}{dt}$: Denge bacasında seviyenin yükselme veya alçalma hızı

Suyun hareketine Newton' un 2. hareket kanunu uygulanırsa;

kütle $\times$ ivme = mansaptaki basınç farkından dolayı oluşan kuvvet + suyun ağırlık bileşeni - sürtünme kuvveti

$$\rho a L \frac{du}{dt} = \rho g a H_1 - \rho g a (H_2 + y) + \rho g a L \sin \theta - \rho g a h_f$$

Eğer θ küçükse :

$$L \sin \theta = K=0 \quad \text{ve} \quad H_2 = H_1 + K$$

$$\frac{L}{g} \frac{du}{dt} + y + h_f = 0 \quad (h_f \text{ borudaki yük kaybı}) \quad (11.1)$$

Süreklilik bağıntısı;

Borudan geçen akım = Denge bacasındaki akım + Vanadan geçen akım

$$a V = A \frac{dy}{dt} + q$$

$$V = \frac{A}{a} \frac{dy}{dt} + \frac{q}{a} \quad (11.2)$$

(11.2) ifadesi (11.1) ifadesinde yerine konulursa ;

$$\frac{L}{g} \frac{d}{dt} \left[\frac{A}{a} \frac{dy}{dt} + \frac{q}{a} \right] + y + h_f = 0 \quad (11.3)$$

Bu genel ifadedir, burada ;

$$h_f = F V^u \quad \text{ve} \quad q = f(y),$$

dir ve tam çözümü yoktur. Basitleştirilmiş çözüm $q = 0$ için bulunur (yani vanadan hiç akım geçmemektedir) ve sürtünme yük kaybı ihmal edilirse ($h_f = 0$), (3) ifadesi aşağıdaki hali alır.

$$\frac{A}{a} \frac{L}{g} \frac{d^2 y}{dt^2} + y = 0$$

veya

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{g a}{L A} y = 0 \quad (11.4)$$

Bu sönümlenmemiş su darbesi hareketidir.

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \Omega^2 y = 0$$

Burada

$$\Omega = \sqrt{\frac{g a}{L A}}$$

Salınım periyodu

$$T_0 = \frac{2\pi}{\Omega}$$

veya

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L A}{g a}} \quad (11.5)$$

dır. Maksimum genlik y ise $u = y\Omega$ den bulunur, burada u su darbesi için yörüngesel hızdır. Bu durumda

$$u = \frac{a V_0}{A}$$

dır, burada V_0 borudaki kararlı akım hızıdır.

$$y = \frac{u}{\Omega} = \frac{\frac{a V_0}{A}}{\sqrt{\frac{g a}{L A}}}$$

böylece maksimum genlik

$$y = V_0 \sqrt{\frac{L a}{g A}} \quad (11.6)$$

dır. Daha önce bahsedildiği gibi bu durumda sürtünme etkisi dikkate alınmamaktadır. Eğer sürtünme dikkate alınırsa vananın anlık kapanma hali için aşağıdaki yaklaşık çözümler uygulanabilir:

$$\text{Maksimum denge bacası yükselmesi} = y - 0.55h_{f0} \quad (11.7)$$

$$\text{Maksimum denge bacası yükselmesi} = y \left(1 - \frac{h_{f0}}{3y} \right) \quad (11.7a)$$

2.2 SU DARBESİ

Bir boruda sıvının hareketli kolonunun sahip olacağı kinetik enerji, eğer bu kolon vananın kapanmasıyla ani olarak sakin hale geliyorsa basınç şeklinde potansiyel enerjiye dönüşür. Bu taktirde ;

kinetik enerji kaybı = potansiyel enerji kazanımı; yani

$$\frac{1}{2} \rho \frac{\pi}{4} d^2 L V^2 = \frac{1}{2} \frac{P_2}{K} \frac{\rho}{4} d^2 L$$

veya

$$P = V \sqrt{(K\rho)} \quad (11.8)$$

Ancak borudaki dalga yayılma hızı aşağıdaki gibi verilir:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (11.9)$$

(11.8) ifadesinde K yerine konulursa

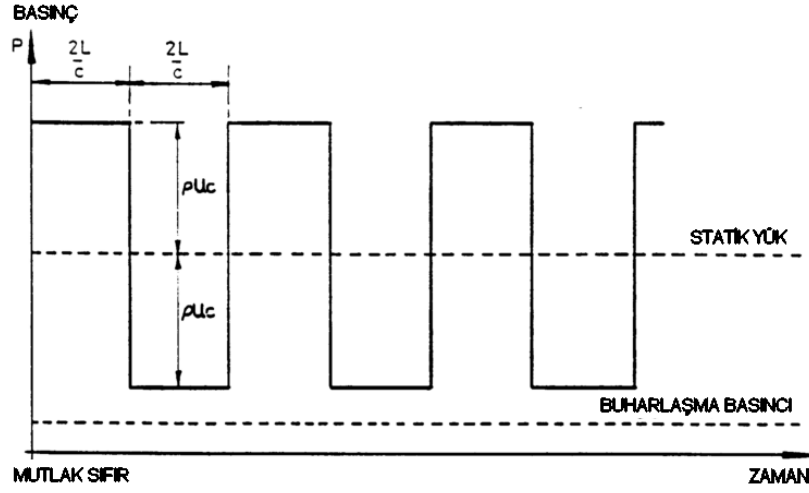
$$P = V \sqrt{(\rho c^2 \rho)} = \rho V c \quad (11.10)$$

Bu ani basınç yükselmesi vanadan rezervuara doğru ses hızı ile ilerlemekte ve tekrar vanaya doğru geri yansımaktadır. Burada yansıma sonucu alçak basınç dalgaları oluşmakta ve vanadan tekrar rezervuara geri yansımaktadır. Bu durumda tekrarlanan eden yansıma işlemi meydana gelmektedir ve bu olay **Şekil 11.3** ve **11.4** de gösterilmiştir. Son şekil enerji kaybını dikkate almaktadır. Boru boyunca tekrarlanan bu işlemin ideal hali **Şekil 11.5** de gösterilmiştir.

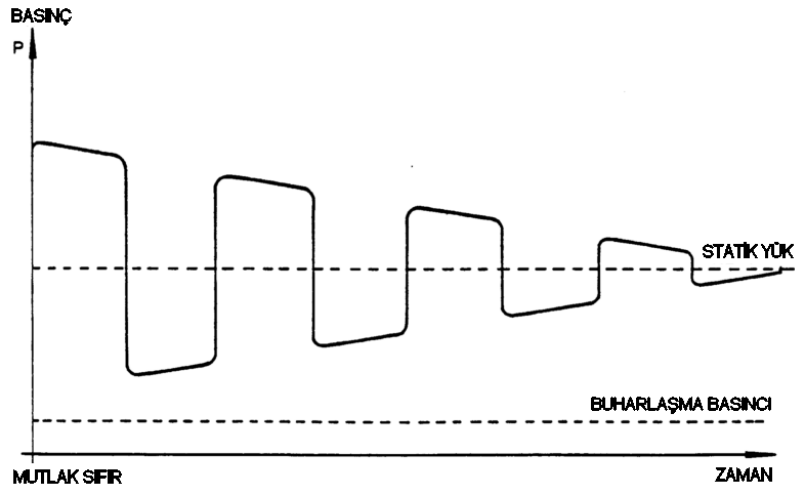
Boru boyunca birinci basınç salınımının transducer'a varması için geçen zaman gecikmesi d/c 'dir. Bu zaman farkının ölçümü su/boru sistemindeki ses hızının belirlenmesiyle mümkün olur. Burada d ise transducer' lar arası mesafedir. Ses hızı aşağıdaki teorik ifadeden bulunabilir;

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho \left(1 + \frac{KD}{t_p E} \right)}}$$

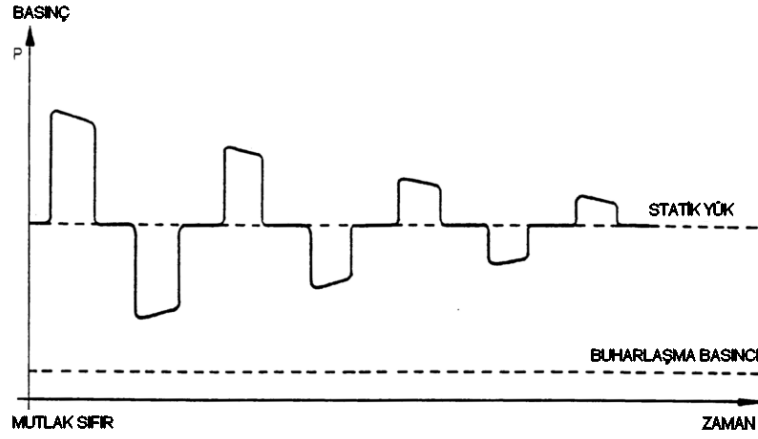
Borudaki normal yük düşük olduğunda **Şekil 11.3**, **11.4** ve **11.5** 'deki teorik basınç dalgaları modifiye edilmelidir. Su darbesinin yarattığı negatif basınç dalgaları, sistemde basıncın azalarak sıvının buharlaşma basıncına ulaşmasına neden olabilmektedir. Armfield su darbesi cihazı bunun için özel olarak dizayn edilmiştir ve gerçek durumu benzeştirmektedir. Vanadaki ideal basınç dalgası **Şekil 11.6** da görülmektedir. Burada başlangıç basınç salınımı **Şekil 11.3**' e benzer olarak beklenebilir. Ancak takip edecek olaylar daha farklı olacaktır. İlk alçak basınç dalgası sıvının buhar basıncına düşerek gaz ve/veya hava baloncukları üretmekte ve baloncuklar patlayınca kadar burada kalmaktadır.



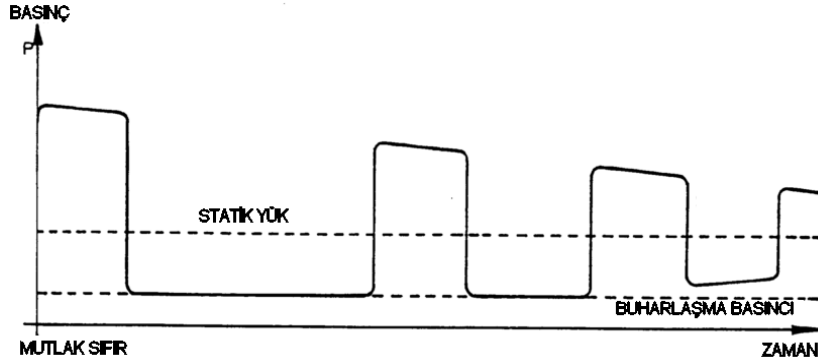
Şekil 11.3 İdeal bir sistemde vanada su darbesi basınç dalgaları



Şekil 11.4 Gerçek bir sistemde vanada teorik su darbesi basınç dalgaları



Şekil 11.5 Gerçek bir sistemde boru boyunca bir nokta vanada teorik su darbesi basınç dalgaları



Şekil 11.6 Düşük statik yük ile gerçek bir sistemde vanada su darbesi basınç dalgaları.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Veriler:

ρ = Özgül kütle

1000 kg/m³

L = Boru boyu

3.0 m

d = Boru çapı

22 mm

K = Hacimsel elastiklik modülü

2.05 GN/m²

t_p = Boru et kalınlığı

0.9 mm

E = Young modülü

215 GN/m²

a = Boru enkesit alanı

$0.3204 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

A = Denge bacası enkesit alanı

$1.521 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

q = Debi

l/sn

u = Akım hızı

m/sn

y = Denge bacasında statik seviyenin üzerindeki seviye

mm

T_0 = Salınım periyodu

sn

T_d = Dalga süresi

sn

T_s = Birbirini takip eden okumalar arasında geçen zaman

sn

t = Zaman

sn

V = Hacim

l

c = Ses hızı

m/sn

P = Basınç

N/m

1. DENEY

Deneyin amacı:

- Basınç dalgalarının demonstrasyonu
- Denge bacası salınım karakteristiklerinin belirlenmesi
- Rezervuar ve denge bacası arasında sürtünme yük kaybının demonstrasyonu.

Teori:

Denge bacası kesitindeki hız yükü :

$$h_f = h_s - h_v$$

h_s : statik yük (akış yokken denge bacasındaki yükseklik)

h_v : denge bacasındaki hidrolik yük (akım varken denge bacasındaki yükseklik)

Salınım periyodu:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L A}{g a}}$$

Referans düzleminin üzerinde denge bacasının üzerindeki seviye:

$$y_{\max} = V \sqrt{\frac{L a}{g A}}$$

Deneyin yapılışı:

Su darbesi devresinde akımı kontrol eden vanayı kapatınız. Suyun temin edildiği kontrol vanasını, su darbesi devresindeki sürgülü vanayı ve borudaki akımı kontrol eden vanayı kapatın. Pompayı çalıştırın. Suyu temin eden vanayı açın. Sabit yük tankının suyla dolmasına müsaade edin. Sürgülü vanayı ve akımı kontrol eden vanayı açın, kararlı hal elde edilinceye kadar suyu temin eden vanayı ayarlayın. Sürgülü vanayı tamamen kapatın, denge bacasındaki salınımlar duruncaya kadar not alın. Volümetrik tanktan debiyi ölçün. Sürgülü vanayı çabucak kapatın. Denge maksimum yükselmeyi ve geçen zamanı not edin. Ayrıca ilk salınım sonuna yaklaşılnca vana süresini kaydedin. Salınım sönümlenmesiyle referans düzlemini kontrol edin.

Sonuç ve tartışma:

Hacim (V)(lt)=

Zaman (t)(sn)=

Debi $Q=V/t=$

Hız (m/sn)= $Q/a=$

$h_s=$

$h_v=$

$h_f=h_s-h_v=$

Vananın kapanmasından sonra denge bacasındaki yükseklikler;

$h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6, h_7, h_8, h_9, h_{10}$

Yükseklik okumaları arasında geçen süre;

T_s

Referans seviyesinin üzerinde maksimum yükselme;

$$Y = h_x - h_s$$

Salınım periyodu;

$$T_0 = 2 T_s$$

Teoriden;

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L A}{g a}}$$

$$y = V \sqrt{\frac{L a}{g A}} - 0.55 h_f$$

Sonuçlar:

Salınım periyodu ve denge bacasında ulaşılan yüksekliklerde yapılan gözlemler yukarıda verilen ifadelerden elde edilen teorik sonuçlar ile uyum göstermelidir.

Daha hassas bir analiz sürtünme etkileri gözönüne alınarak diferansiyel denklemlerin adım adım çözümünden elde edilecek sonuçlarla denge bacasındaki hareketler tariflenir. Sürtünme etkisi deney gözlemleriyle ne kadar önemli olduğu olduğu belirlenmelidir.

Deney sırasında daha kolay çalışabilmek ve deneyde bulunan sonuçlarla teorik sonuçların karşılaştırılabilmesi için **Tablo 11.1, 11.2 ve 11.3** hazırlar.

2. DENEY

Deneyin amacı:

Su darbesi karakteristiklerinin belirlenmesi

Teori:

Ses hızı	$c = \sqrt{\frac{K}{\rho \left(1 + \frac{K D}{t_p E} \right)}}$
----------	--

Basınç	$P = \rho V c$
--------	----------------

İlk salınım sinyalinin süresi	$T_d = \frac{2L}{c}$
-------------------------------	----------------------

Deneyin yapılışı:

Borudaki akım kontrol vanasını kapatın. Su temin vanasını kapatın. Siyah tokmak şeklindeki ani etki vanasını iterek açın. Su darbesi devresindeki kontrol vanasını açın. Güç anahtarını açın. Su temini vanasını yavaşça açın. Sabit yük tankının dolmasına izin verin. Kararlı hal elde edilinceye kadar su temini vanasını ayarlayın. Osiloskop ayarlarını yapın, ani etki vanasının düğmesine basın. Basınç dalgasını osiloskopun hafızasına kaydedin. Basınç dalgasının değişimi için Volts/DIV ve SEC/DIV kontrollerini kullanın. Dalga formunun ortalama genlik ve yükselme zamanını kaydedin.

Sonuç ve tartışma:

Osiloskoptaki voltaj değerlerinin basınç değerine çevrilmesi gerekir. Bunun için
 $\text{Basınç (Bar)} = N_v \cdot A \cdot C$

Burada,

N_v : Osiloskop üzerinde ayarlanan referanstan düşey olarak okunan bölümlerin sayısı (divs)

A : Volt ayarı / Div kontrol (mV/div) ayarı

C : Transducerin kalibrasyon sabiti (0.1378)

Örneğin;

$$N_v = 4 \text{ divs} \quad A = 20 \text{ mV/div} \quad C = 0.1378$$

$$\text{Basınç} = (4 \times 20 \times 0.1378) = 11.24 \text{ Bar}$$

Benzer olarak, basınç sinyalinin süresi belirlenmelidir (veya sinyaller arası)

$$\text{Sinyal (msn)}' \text{nin süresi} = N_h \cdot T$$

Burada;

N_h : Sinyalin başlangıcından bitimine (veya birinci sinyalin başlangıcından ikinci sinyalin başlangıcına) yatay bölümlerin sayısı.

T : Zaman kontrol ayarı (msn/div)

Örneğin;

$$N_h = 1.1 \text{ div} \quad T = 1 \text{ msn/div}$$

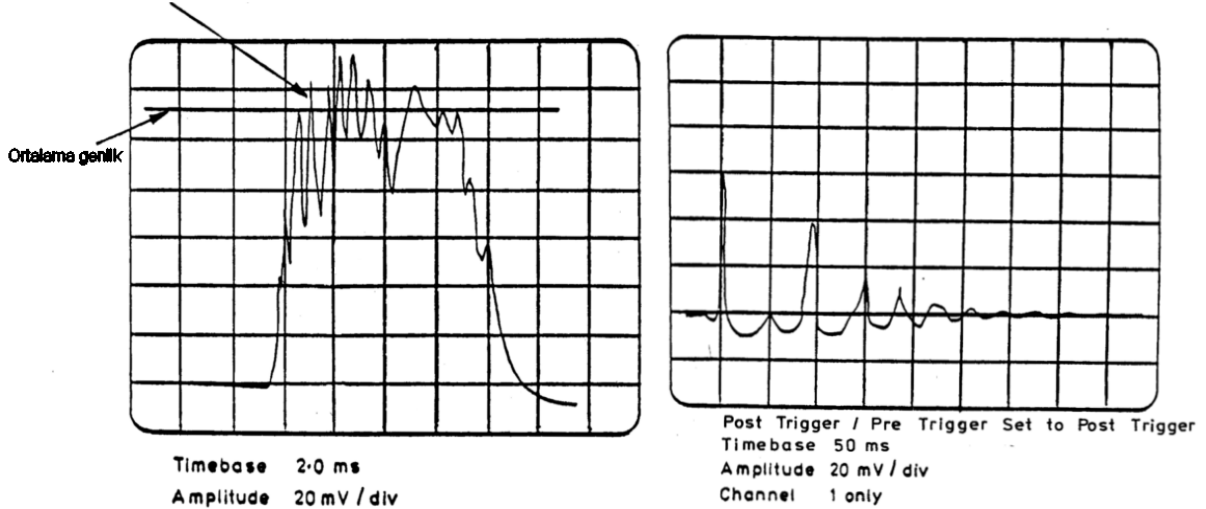
$$\text{Zaman süresi} = 1.1 \times 1 = 1.1 \text{ msn}$$

Not: Basınç dalgasından kaynaklanan yük sistemde (yani boru, pompa vs.) meydana gelen titreşimlerin sebep olduğu kare dalga şeklinde salınımlar süperpoze edilerek elde edilirler.

Sonuç:

İzlerden basınç transducerına varan ilk basınç sinyalinden önce zaman gecikmesi belirlenebilir. Burada teoriden elde edilen değerlerle şekilden elde edilenler karşılaştırılır. Her ikisinin doğruluğu karşılaştırılır.

Vibrasyondan dolayı oluşmuş salınımların dalga formu üzerine süperpozisyonu



Şekil 11.7

Adı Soyadı :
Numarası :

Grup No :
Tarih :

Tablo 11.1

Hacim (lt)	
Zaman (sn)	
Debi (m^3/sn)	
Hız (m/sn)	

Tablo 11.2

h_s (m)	
h_v (m)	

Tablo 11.3

Sıra	Toplam su sütunu	Statik seviyeye göre salınım
h_1		
h_2		
h_3		
h_4		
h_5		
h_6		
h_7		
h_8		
h_9		
h_{10}		

DeneySEL Sonuçlar:

İki salınım arasında geçen zaman : $T_s =$

Periyod: $T =$

Teorik sonuçlar:

Periyod:

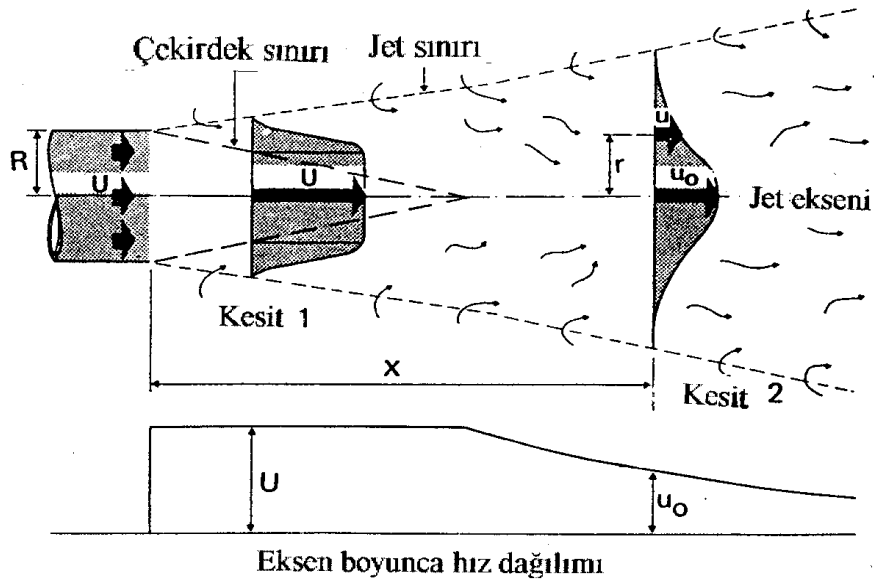
TÜRBÜLANSLI JET AKIMI

1. GİRİŞ

Birçok mühendislik probleminde karşılaşılabilen jet akımlarının davranışı, burada deneysel olarak ele alınacaktır. Buradaki türbülanslı jet, hava akımı oluşturarak izah edilecektir. Hava akımından oluşan bu tip jetler, etrafındaki hava ile karışımından dolayı “batık jet” olarak isimlendirilirken, su jetinin atmosfere fışkırması gibi farklı bir akışkan ortamına dahil olan jetler “serbest jet” olarak adlandırılmaktadır.

Eğer batık jetin Reynolds Sayısı (başlangıç hızı ve jet çapına bağlıdır) yeterince küçük ise jet akımı, çapının 100 katı veya daha fazla bir mesafede laminer karaktere sahip olmaktadır. Bu durumda etrafındaki akışkan ile jet arasında oldukça küçük bir karışım sözkonusu olmaktadır.

Dairesel türbülanslı jetin karakteristikleri Şekil 12.1’de görülmektedir. R yarıçaplı tüpten çıkan U hızlı jet, alıcı ortamı oluşturan büyük hacimli akışkan kütlelerinin içerisine girmektedir. Tüpün kenarlarında, ani hız değişimine bağlı olarak gelişen süreksizlik türbülanslı kayma tabakasını oluşturmaktadır.



Şekil 12.1 Dairesel türbülanslı jetin şematik gösterimi

Şekil 12.1’den de görüldüğü gibi kayma tabakasının kalınlığı mansap doğrultusunda artmaktadır. Jetin tüp kenarlarından ayrılması ile oluşan kayma tabakası, kısa bir mesafe için jet enkesiti boyunca sabit kalmaktadır. Bu durum, Şekil 12.1 Kesit 1’de görülen U hızı ile hareket eden akışkan çekirdeği ile tanımlanmaktadır. Bu hız kayma tabakasının dış kenarında sıfırdan başlayarak, tam ekseninde U değerine kadar artmaktadır. Mansaba doğru gidildikçe kayma tabakası enkesit boyunca genişlemekte ve jet eksenindeki u_0 hızı karışım sürdüğü müddetçe azalmaktadır. Bu azalma jet hareketi sonlanıncaya kadar devam etmektedir.

Türbülansın oluşturduğu karışım, jet ile etrafındaki akışkan arasında kütle taşınımına neden olmaktadır. Böylece mansap doğrultusunda, jet içerisindeki kütle akışı artmaktadır. Statik basıncın jet boyunca sabit kaldığı kabul edilmektedir. Böylece bir basınç gradyanı mevcut olmadığından, jet doğrultusunda herhangi bir kuvvetten de söz edilemez. Jetin kinetik enerjisi, türbülansın sönmölendirici etkisi nedeniyle mansap doğrultusunda azalmaktadır. **Şekil 12.1**'de gösterilen hız profilleri ortalama hız dağılımlarıdır. Jetteki şiddetli türbülansın etkisiyle ortalamadan önemli miktarda sapan anlık hız profilleri oluşmaktadır.

2. HIZ DAĞILIMI ve MOMENTUM AKISI

Şekil 12.1'deki jeti göz önüne alalım. Eğer akım yapısı Reynolds sayısından bağımsız olsaydı, jet eksenindeki akım hızı konuma bağlı olarak, aşağıdaki boyutsuz formda ifade edilebilirdi:

$$\frac{u_0}{U} = f\left(\frac{x}{R}\right) \quad (12.1)$$

Jetin çekirdeğinde:

$$\frac{u_0}{U} = 1$$

Mansaba doğru çekirdeğin uzunluğu boyunca sahip olunan etkiler korunamadığından, x doğrultusunda eksenel hızdaki azalma teorik olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (deneylerle uyumludur):

$$\frac{u_0}{U} = \frac{c}{x} \quad (12.2)$$

Burada c bir sabittir.

Jetin herhangi bir (r, x) konumundaki hızı aşağıdaki boyutsuz formda yazılabilir:

$$\frac{u}{u_0} = g\left(\frac{x}{R}, \frac{r}{x}\right) \quad (12.3)$$

Mansaba doğru gidildikçe x/R oranı artmaktadır. x/R oranının oldukça büyük olduğu bir kesit boyunca hız dağılımına bakıldığında, jetin tüpten çıkış kesitindekinden farklı ve bağımsız bir hız dağılımının olduğu görülecektir. Bu gözleme dayanılarak, x/R 'nin akım yapısı üzerindeki etkisi ihmal edilerek, mansap kesiti için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\frac{u}{u_0} = g\left(\frac{r}{x}\right) \quad (12.4)$$

Bir parametreye bağlı hız oranları için hız profilleri genellikle “benzer hız” olarak isimlendirilmektedir. Böylece hangi kesitte olursa olsun hız karakteristikleri için bir tek ifade

kullanılmaktadır. Türbülans yapısına dair birtakım yaklaşımlar kullanılarak, (12.4) ifadesi aşağıdaki şekilde verilebilmektedir:

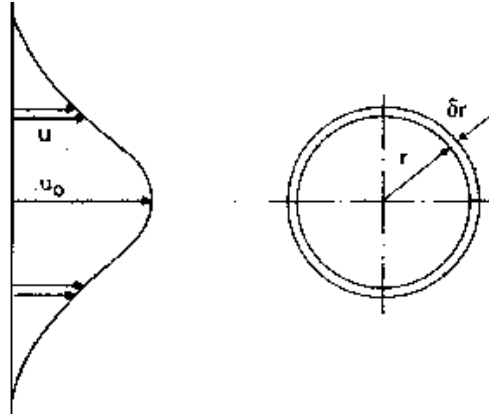
$$\frac{u}{u_0} = \frac{1}{\left\{1 + 0.25 \left(\frac{\lambda r}{x}\right)^2\right\}^2} \quad (12.5)$$

Burada λ deneylerle belirlenen bir sabittir. u/u_0 boyutsuz değerleri, **Tablo 12.1**'de bu ifadeden hesaplanarak verilmiştir:

Tablo 12.1 Dairesel jetin hesaplanmış hız profili

$\lambda r/x$	u/u_0
0	0
0.2	0.980
0.4	0.925
0.6	0.842
0.8	0.743
1.0	0.640
1.287	0.500
1.4	0.450
1.6	0.372
1.8	0.305
2.0	0.250
2.25	0.195
2.5	0.152
3.0	0.095
4.0	0.040

$\lambda r/x=1.287$ için $u/u_0=0.5$ 'dir. Deneyel sonuçlarla karşılaştırma yapılabilmesi açısından bu değer hesaplaması önemlidir.



Şekil 12.2 Dairesel jetin halka elemanı

Kütle, momentum ve enerji akısına bakacak olursak; **Şekil 12.2**'de görüldüğü gibi özgül kütlesi ρ olan jetin bir halka elemanı u hızıyla hareket etmektedir. Bu elemanın alanı:

$$\delta A = 2\pi r \delta r$$

dır. O halde bu alanda meydana gelecek kütle akısı;

$$\delta m = 2\pi \rho u r \delta r$$

olacaktır. Jetin kesiti boyunca toplam kütle akısı;

$$m = 2\pi\rho \int_0^{\infty} urdr \quad (12.6)$$

dır. Bu kesit boyunca J momentum akısı da benzer şekilde bulunur:

$$J = 2\pi\rho \int_0^{\infty} 1/2u^3 r dr \quad (12.7)$$

E kinetik enerji akısı:

$$E = 2\pi\rho \int_0^{\infty} 1/2u^3 r dr \quad (12.8)$$

olur. Tüpün çıkışında bu parametreler:

$$m_0 = \pi\rho UR^2$$

$$J_0 = \pi\rho U^2 R^2$$

$$E_0 = 1/2\pi\rho U^3 R^2$$

olacaktır. Bu sonuçlarla birlikte:

$$\frac{m}{m_0} = 2 \int_0^{\infty} \left(\frac{u}{U}\right) \left(\frac{r}{R}\right) d\left(\frac{r}{R}\right) \quad (12.9)$$

$$\frac{J}{J_0} = 2 \int_0^{\infty} \left(\frac{u}{U}\right)^2 \left(\frac{r}{R}\right) d\left(\frac{r}{R}\right) \quad (12.10)$$

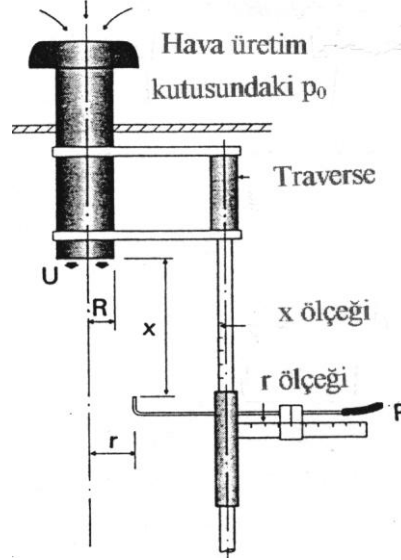
$$\frac{E}{E_0} = 2 \int_0^{\infty} \left(\frac{u}{U}\right)^2 \left(\frac{r}{R}\right) d\left(\frac{r}{R}\right) \quad (12.11)$$

3. DENEY SİSTEMİNİN TANIMI ve İŞLETİM SİSTEMİ

Deney sistemi **Şekil 12.3**'de görülmektedir. Hava üretici yardımıyla dairesel kesitli hava jeti oluşturulmaktadır. Tüpün girişinde yerleştirilmiş bir dağıtıcı ile üniform hız dağılımı elde edilmektedir. Jetin istenilen konumunda ölçüm yapılabilmesi için pitot tüpü, tüp etrafında dönebilen bir sistem (travers) ile yine tüp üzerine monte edilmiştir. Ölçümler bir düzlem üzerinde yapılmaktadır.

Pitot tüpü öncelikle jetin çıkış kesitine getirilir ve ölçek okumaları not edilir. Pitot tüpü bu kesitte x eksenel ve r radyal konumun sıfır olduğu yere yerleştirilir. Ardından önce tüpün

bir kenarında ve sonra tüpün diğer kenarında olmak üzere ortalama okumalar elde edilir. Hava üreticinin içindeki P_0 basıncı uygun değere getirilir ve travers jetin uzunluğu boyunca aksel istasyonlara getirilir.



Şekil 12.3 Deney sistemi

Toplam basınç P okumaları türbülansın dolaylı şiddetli salınımlar göstermekte ve bir miktar sönümlenme gerektirmektedir. Ancak aşırı sönümlenme kullanılmamalıdır. P toplam basıncı r yarıçapına karşılık çizilir. Kritik bölgelerde yeterli sayıda okuma yapılmalıdır.

4. SONUÇLAR ve HESAPLAMALAR

Jet tüpünün çapı, D	51.6 mm
Jet Tüpünün yarıçapı, R	25.8 mm
Hava üretici içerisinde basınç, P_0	900 N/m ²
Hava sıcaklığı	22°C=295°K
Barometrik basınç	1025 mb=1.025×10 ⁵ N/m ²
Havanın özgül kütlesi	$\rho=1.025 \times 10^5 / 287.2 \times 295 = 1.210$ kg/m ³
Dinamik viskozite	$\mu=1.82 \times 10^{-5}$ kg/ms
Kinematik viskozite	$\nu=\mu/\rho=1.50 \times 10^{-5}$ m ² /s
Tüp çıkışında hız U	$1/2\rho U^2=870$ N/m ²
	$U = \sqrt{\frac{2 \times 870}{1.210}} = 37.9$ m/s
Tüp çıkışında Reynolds Sayısı	$Re=UD/\nu=(37.9 \times 0.0516 / 1.5) \times 10^5$
	$Re=1.3 \times 10^5$

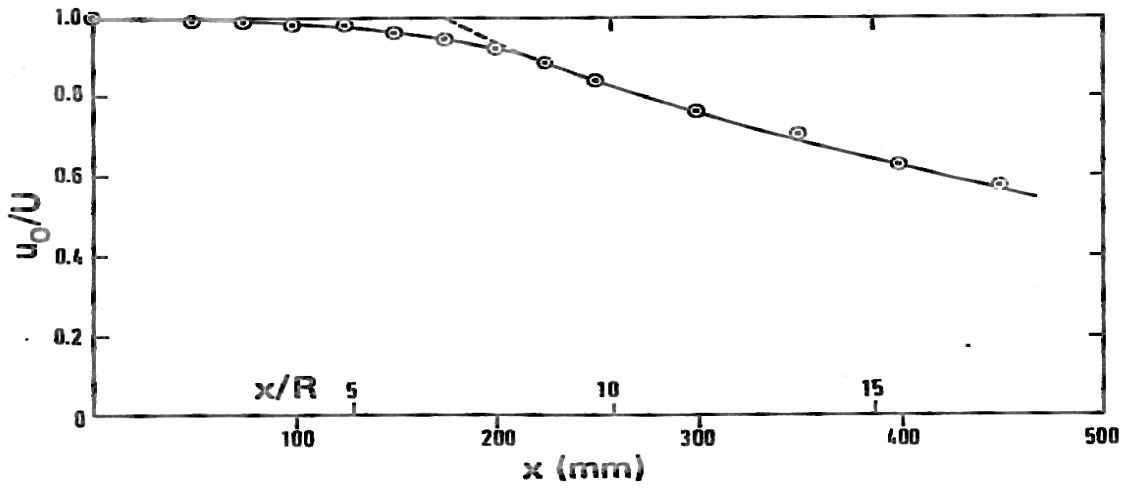
Jetin eksen boyunda hız travers mekanizması yardımıyla bulunmuş ve sonuçlar **Tablo 12.2** ve **Şekil 12.4**'de verilmiştir.

Başlangıçta u_0 merkez hattındaki hız hemen hemen sabittir ve mansaba doğru kayma tabakası genişledikçe hızla azalmaktadır. **Şekil 12.4**'de görülen $u_0/U=1$ 'e asimptot olan eğrinin ekstrapolasyonu ile çekirdek uzunluğu aşağıdaki gibi bulunur.

$$x_c=175 \text{ mm veya } x_c/R=6.8$$

Tablo 12.2 Jet eksenî boyunca hız dağılımı

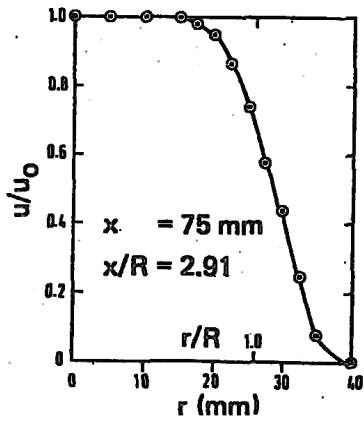
x (mm)	P (N/m ²)	$\frac{u_0}{U}$
0	870	1.00
50	860	0.99
75	845	0.99
100	835	0.98
125	830	0.98
150	810	0.96
175	775	0.94
200	730	0.92
225	675	0.88
250	620	0.84
300	505	0.76
350	430	0.70
400	340	0.63
450	280	0.57



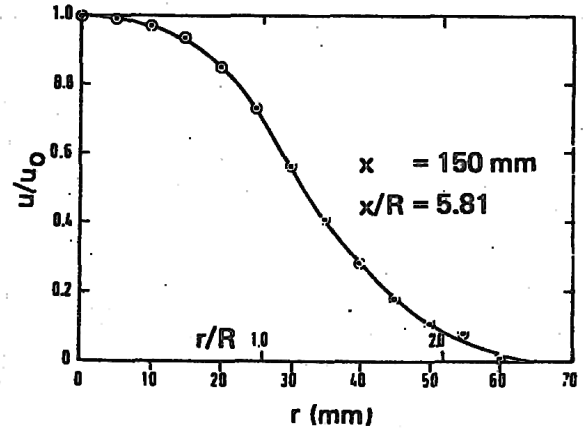
Şekil 12.4 Jet boyunca eksendeki hız

Tablo 12.3 Jetin değişik kesitlerinde hız dağılımı

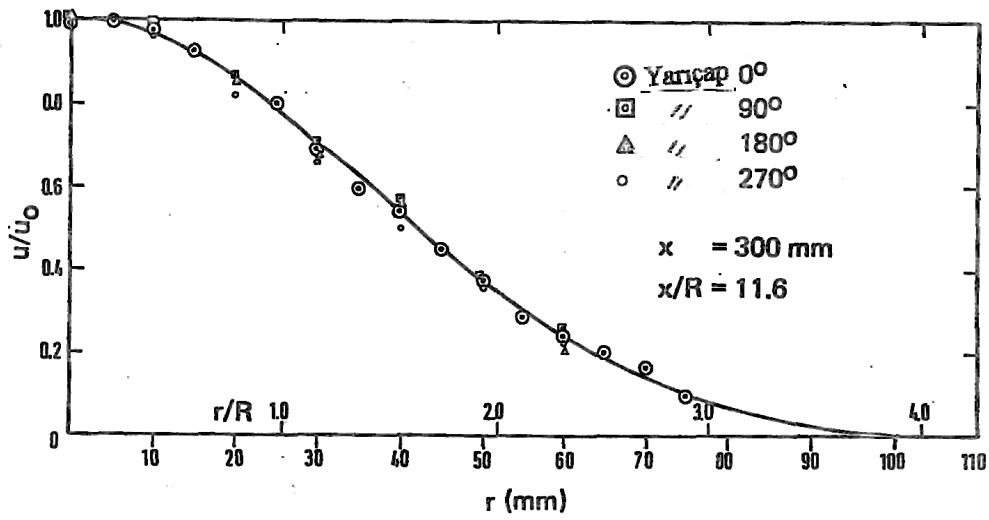
[illegible]



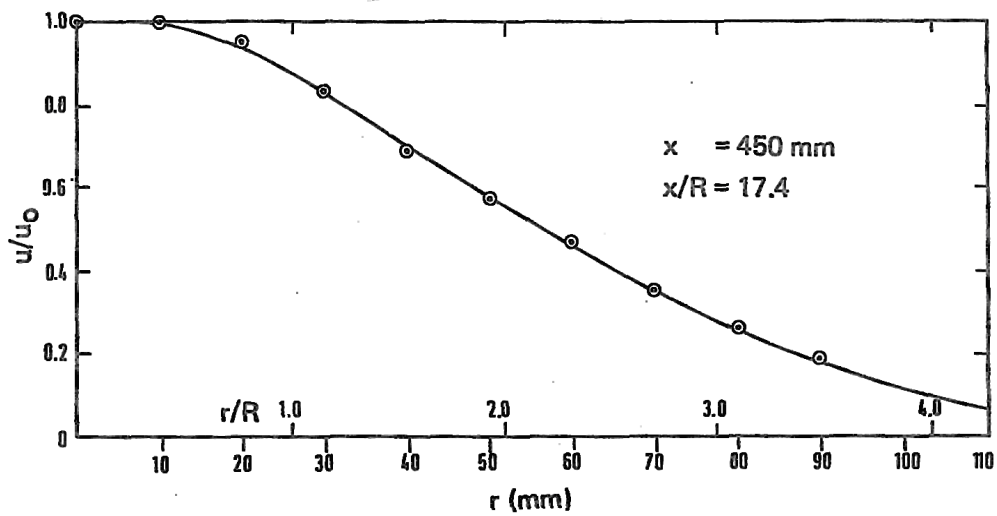
(a)



(b)



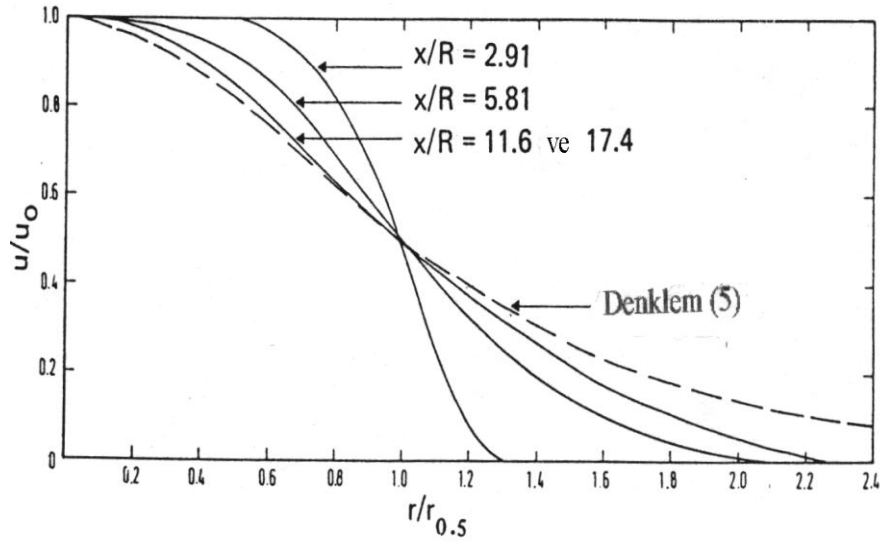
(c)



(d)

Şekil 12.5 (a)-(d) Mansaptan değişik mesafelerde jetteki hız profilleri

x 'in değişik değerleri için elde edilen sonuçlar **Tablo 12.3** ve **Şekil 12.5 (a)-(d)**'de gösterilmiştir. $x=300$ mm için eksen etrafında hız dağılımının simetrik olup olmadığı kontrol edilmiş ve kesitin şeklinde önemli bir değişimin olmadığı belirlenmiştir. $x=75$ mm'deki profil çekirdekte sabit hıza sahip ayrı bir bölge vardır ve $x=150$ mm'de profilin yatay olarak kaldığı sabit bir bölge mevcuttur. Bu bölge mansaba doğru ilerledikçe yokolmaktadır. **Şekil 12.6**'da profillerin $r/r_{0.5}$ boyutsuz parametresine göre karşılaştırılması yapılmıştır. Bu boyutsuz parametrede $r_{0.5}$, hız oranının 0.5 olduğu yerdeki r değeridir. $x=300$ mm ve $x=450$ mm için eğrilerin birbirinden ayırt edilmesi nerdeyse olanaksızdır. Profiller arasındaki bu benzerliğin anlamı daha önce tartışılmıştır. Tüp çıkışındaki kare profilden geçiş bu şekil üzerinde profillerin benzeşimi ile kolaylıkla ispatlanabilmektedir. Denklem (12.5)'den hesaplanan eğride (**Tablo 12.1**'de görülen değerler), bu şekil üzerine işlenmiştir. Jetin eksenini yakınında benzer profille iyi bir uyum vardır. Ancak denklem (12.5) jetin tüpten ayrıldığı kenarlarda u/u_0 için daha büyük değerler vermektedir.



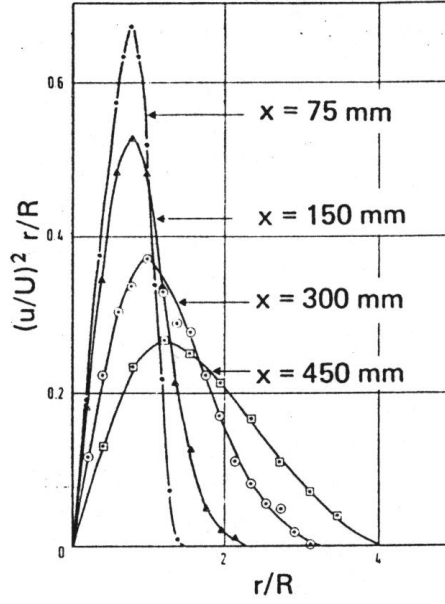
Şekil 12.6 Jetteki boyutsuz hızlar

Denklem (12.10) kullanılarak momentumun korunumu kontrol edilebilir. **Şekil 12.7**'de r/R 'nin fonksiyonu olarak radyal traversin konumuna karşılık $(u/U)^2(r/R)$ eğrileri çizilmiştir. Bu eğrilerin altındaki alanlar aşağıdaki integral formda ifade edilebilmektedir:

$$\int_0^{\infty} \left(\frac{u}{U} \right)^2 \left(\frac{r}{R} \right) d\left(\frac{r}{R} \right)$$

Böylece momentum akısı da hesaplanabilmektedir. Bu alanlar planimetre ile de ölçülebilir. Hesaplanan değerler **Tablo 12.4**'de gösterilmiştir.

Beklentilere uygun olarak, değerler 1.0'da sabit kalmayıp, jetteki gelişmeyle önemli bir artış eğilimi göstermektedir. Jet doğrultusunda herhangi bir kuvvet etkimediğinden, momentum akısının artması mümkün değildir. Dolayısıyla mevcut artış deneysel hatadan kaynaklanmaktadır.



Şekil 12.7 Jetteki momentum akısı

Tablo 12.4 Jette ölçülmüş momentum akısı

x (mm)	x/R	$2 \int \left(\frac{u}{U}\right)^2 \left(\frac{r}{R}\right) d\left(\frac{r}{R}\right)$
75	2.91	1.01
150	5.81	1.10
300	11.6	1.15
450	17.4	1.13

5. SONUÇ

Atmosfer tarafından çevrelenen türbülanslı hava jetinin difüzyonu, eksen boyunca ve farklı radyal konumlarda travers yardımıyla hızın ölçülmesi ile gözlemlenebilmektedir. Jetin çıkış kısmında, merkezi çekirdek bölgesinde hız sabittir ve $x_c=6.8R$ 'ye kadar bu durum devam etmektedir. Mansaba doğru gidildikçe ekseninde hız azalmaktadır. Hız profili benzer eğilimler göstererek mansaba doğru küçülmektedir. Böylece bir profil tek bir r/x parametresiyle karakterize edilebilmektedir. Sabit atmosfer basıncı altında, jetteki momentum akısı sabit olmalıdır. Oysa burada eksen boyunca %14 artış göstermiştir. Bu artış ölçüm hatalarından kaynaklanmaktadır.

ÖRNEK:

Kullanılan sıvının özgül ağırlığı= $10\,000\text{ N/m}^3$

Hava kutusundaki P_0 basıncı $\Rightarrow h=8.3\text{ cm}$ iken $P_0=830\text{ N/m}^3$

Hava sıcaklığı= 25°C

x=75 mm				
r (mm)	h (cm)	P (N/m ²)	U (m/s)	u/u ₀
0	8.2	820	36.8	1
5	8.0	800	36.4	0.99
10	7.9	790	36.1	0.98
15	7.8	780	35.9	0.98
17.5	7.6	760	35.4	0.96
20	6.6	660	33	0.90
22.5	4.9	490	28.5	0.77
25	2.2	220	19.1	0.52
27.5	0.9	90	12.2	0.33
30	0.2	20	5.8	0.16
32.5	0	0	0	0

Havanın özgül kütlesi, $\rho=1.210 \text{ kg/m}^3$

$$\frac{1}{2} \rho U^2 = P$$

$$u_0 = \sqrt{\frac{2 \times 820}{1.210}} = 36.8 \text{ m/s}$$

KAYNAKLAR

- TQ, 1995, “Hld Volumetric Hydraulic Bench”, Nottingham, England
- TQ, 1995, “H34 Losses in Pipe Fittings”, Nottingham, England
- TQ, 1995, “H5 Venturimeter”, Nottingham, England
- TQ, 1995, “H313 Hydrology Apparatus”, Nottingham, England
- TQ, 1995, “H11 Mk II Centre of Pressure Apparatus”, Nottingham, England
- TQ, 1995, “H12 Mk II 5 Metres Inclinal Flow Channel”, Nottingham, England
- TQ, 1995, “A First Course in Air Flow”, Nottingham, England
- Armfield, 1993, “H34 Rainfall Hydrographs S10”, Issue 3
- Armfield, 1993, “Hydraulics Bench and Accessories F1-00”, Issue 12A
- Armfield, 1993, “Hydraulics Bench and Accessories F1-00”, Issue 12A
- Armfield, 1992, “Sediment Transport Channel S8, Issue 4
- Armfield, 1993, “Centrifugal Pump Test Rig R2-11”, Issue 7
- Cussons Technology, Instruction Manual, 1994, “Pump Test Sets; P6250-Universal, P6260-Positive Displacement, P6270-Rotodynamic”, Issue 5
- Yüksel, Y., 1995, “Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik Ders Notları”
- Yüksel, Y., 1996, “Su Darbesi”, YTÜ
- Yumurtacı, Z., 1988, “Hidrolik Türbinlerde Kullanılan Hız Ayar Elemanlarının Optimizasyonu”, Y.T.Ü., Yüksek Lisans Tezi