

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇATI OLUKLARINDA OLUŞAN DEĞİŞİK**  
**AKIMLARIN DENEYSEL VE TEORİK**  
**ARAŞTIRILMASI**

**Ferit Serkan AKDOĞAN**

**Ağustos, 2008**  
**İZMİR**

**ÇATI OLUKLARINDA OLUŞAN DEĞİŞİK  
AKIMLARIN DENEYSEL VE TEORİK  
ARAŞTIRILMASI**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Hidrolik, Hidroloji, Su Kaynakları Anabilim Dalı**

**Ferit Serkan AKDOĞAN**

**Ağustos, 2008  
İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**FERİT SERKAN AKDOĞAN**, tarafından **PROF. DR. M. ŞÜKRÜ GÜNEY** yönetiminde hazırlanan “**ÇATI OLUKLARINDA OLUŞAN DEĞİŞİK AKIMLARIN DENEYSEL VE TEORİK ARAŞTIRILMASI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

---

Prof. Dr. M. Şükrü GÜNEY

---

Yönetici

---

Prof. Dr. Davut ÖZDAĞLAR

---

Jüri Üyesi

---

Yrd. Doç. Dr. Birol KAYA

---

Jüri Üyesi

---

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Yabancıysa olmadığım bir çalışma ortamına yıllar sonra dönüp deneysel çalışma yapmak keyifli oldu. Benim yapmam gereken bir çok işi benim için yapan üstün teknisyen İsa ÜSTÜNDAĞ'a teşekkür ediyorum. İsa'nın elinden gelmeyen iş yok ama her zaman yol göstericimiz Turhan Hocamızın tecrübesi olmasa işlerimiz bu kadar kolay ve hızlı bitmezdi. Emeklilik rehavetinden uzak hocamız Sayın Prof. Dr. Turhan ACATAY'a teşekkür ediyorum. Her zaman desteğini eksik etmeyen Davut Hocam olmasa ben zaten yüksek lisans sınavına bile girmemiştim. Desteği için Sayın Prof. Dr. Davut ÖZDAĞLAR'a teşekkür ediyorum. Zihnini çift çekirdekli işlemci gibi kullanabilen, çok hızlı düşünen ve hızlı odaklanan danışmanım Şükrü Hocamın istediği düzeyde çalışkan olamadım özür dilerim. Anlayışı ve desteği için Sayın Prof. Dr. M. Şükrü GÜNEY'e teşekkür ediyorum.

Pahalı bir yatırım gerektiren deney düzeneğini Hidrolik Laboratuvarına kazandıran, parçaların teminini, imalatını ve montajını sağlayan Okyanus Grup şirketine, başta yönetici Sayın İnş. Müh. Reha Emin GÜRGÜN'e ve emeği geçen tüm mesai arkadaşlarına teşekkür ediyorum.

Ferit Serkan AKDOĞAN

# ÇATI OLUKLARINDA OLUŞAN DEĞİŞİK AKIMLARIN DENEYSEL VE TEORİK ARAŞTIRILMASI

## ÖZ

Büyük kapalı alanlarda yağmur suyunun çatı oluklarında toplanıp yer altı sistemine ulaştırılırken estetik hususlara ilave olarak yağmur suyu toplama sisteminin güvenilir olması da önemlidir. Son yıllarda Türkiye’de yaygın olarak uygulanan sifonik yağmur suyu drenaj sistemleri oldukça büyük debileri çok az düşey iniş borusuyla kanalizasyon sistemlerine ulaştırmaktadır.

Sifonik yağmur suyu sistemlerinin tasarımında kullanılacak parametrelerin belirlenmesi için deneysel çalışmaların yapılması ve bu çalışmaların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu tür sistemlerde genellikle basınçlı akım oluşmakta ancak zaman zaman sisteme hava karışarak akım şartları bozulmaktadır. Bu durum teorik hesap yapmayı imkansız hale getirebilmekte ve bazı kabuller yapılmasını gerektirmektedir. Bu kabuller deneysel gözlemlere dayanmalıdır.

Bu çalışmada Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında tesis edilen bir deney sisteminde değişik akım şartları oluşturularak yağmur suyu sisteminin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Farklı iki boru hattında değişik debi değerleri için basınç ölçümleri gerçekleştirilmiş ve akım türleri belirlenmiştir. Diğer taraftan boru hatlarında oluşan sürekli ve yersel enerji kayıpları ölçülmüş, sürtünme katsayısı ve yersel enerji kayıp katsayıları belirlenmiştir. Deneysel olarak belirlenen katsayılar kullanılarak hesaplanan teorik değerler ölçülen değerler ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Sifonik akım, yağmur suyu toplama sistemi, sürtünme katsayısı, yersel enerji kayıp katsayıları, çatı olukları.

# EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF VARIOUS FLOWS ALONG ROOF FLUMES

## ABSTRACT

In the closed large areas, when the rain water is collected to transmit it from roof flumes into the underground system, it is important that the collection system is safe in addition to aesthetic considerations.

The siphonic rain water drainage systems which are spreadly applied in Turkey, convey quite large discharges to the canalization system by using only a few number of vertical descending pipes.

It is necessary to carry out and evaluate experimental studies in order to determine the parameters used in designing of the siphonic rain water drainage system. In such systems, generally the pressurized flow occurs, but from time to time the flow conditions are perturbed because air entertainment. This situation makes the theoretical calculation impossible and some assumptions are required. These assumptions must be based on experimental observations.

In this study, it is intended to observe the rain water drainage system for different flow conditions in the experimental system established in the Hydraulic Laboratory within the Civil Engineering Department of Dokuz Eylül University. The pressure measurements are performed on two different pipe layouts and the types of flow are identified. On the other hand, the friction and local head losses are measured, so friction factor and local head loss coefficients are determined experimentally. The measured pressure heads are compared with the theoretical ones calculated by means of the friction factor and local head loss coefficients determined experimentally.

**Keywords:** Siphonic flow, rain water drainage system, friction factor, local head loss coefficient, roof flumes.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı.....	1
1.2 Daha Önce Yapılmış Çalışmalar .....	1
1.3 Çalışmanın Kapsamı .....	2
<b>BÖLÜM İKİ - MEVCUT YAĞMUR SUYU TOPLAMA SİSTEMLERİ.....</b>	<b>3</b>
2.1 Klasik Yağmur Suyu Toplama Sistemleri .....	3
2.2 Sifonik Yağmur Suyu Sistemleri .....	5
<b>BÖLÜM ÜÇ - DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI .....</b>	<b>8</b>
3.1 Deney Düzenegi .....	8
3.2 Ölçüm Cihazları .....	15
3.2.1 Üçgen Savak .....	15
3.2.2 Basınç Ölçümü .....	16
<b>BÖLÜM DÖRT - DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>18</b>
4.1 Deneysel Çalışmalar.....	18
4.2 Mansap Giriş Elemanı Üzerinde Yapılan Deneyler.....	18
4.2.1 Deney No: 1 .....	19

4.2.2	Deney No: 2 .....	20
4.2.3	Deney No: 3 .....	20
4.2.4	Deney No: 4 .....	21
4.2.5	Deney No: 5 .....	23
4.2.6	Deney No: 6 .....	23
4.2.7	Deney No: 7 .....	24
4.2.8	Deney No: 8 .....	25
4.2.9	Deney No: 9 .....	26
4.2.10	Deney No: 10 .....	27
4.2.11	Deney No: 11 .....	28
4.2.12	Deney No: 12 .....	30
4.2.13	Deney No: 13 .....	32
4.2.14	Deney No: 14 .....	32
4.2.15	Sonuç Özet Tablosu .....	33
4.3	Memba Giriş Elemanı Üzerinde Yapılan Deneyler .....	34
4.3.1	Deney No: 1 .....	35
4.3.2	Deney No: 2 .....	36
4.3.3	Deney No: 3 .....	37
4.3.4	Deney No: 4 .....	38
4.3.5	Deney No: 5 .....	40
4.3.6	Deney No: 6 .....	41
4.3.7	Deney No: 7 .....	42
4.3.8	Deney No: 8 .....	43
4.3.9	Deney No: 9 .....	43
4.3.10	Deney No: 10 .....	44
4.3.11	Deney No: 11 .....	45
4.3.12	Sonuç Özet Tablosu .....	47
4.4	Mansap ve Memba Giriş Elemanı Birlikte Çalıştırılarak Yapılan Deneyler .....	48
4.4.1	Deney No: 1 .....	48
4.4.2	Deney No: 2 .....	50
4.4.3	Deney No: 3 .....	52



4.4.4	Deney No: 4 .....	53
4.4.5	Deney No: 5 .....	54
4.4.6	Deney No: 6 .....	55

**BÖLÜM BEŞ - BORU VE BAĞLANTI ELEMANLARINDA OLUŞAN  
ENERJİ KAYIPLARI ..... 57**

5.1	Sürekli Kayıplar .....	57
5.2	Yersel Kayıplar .....	58
5.3	Deneysel Bulgular .....	58
5.3.1	Sürtünme Katsayısı $\lambda$ .....	61
5.3.2	Dirseklerde Oluşan Yersel Kayıplar .....	64
5.3.3	Giriş Elemanlarında Oluşan Yersel Kayıplar .....	65

**BÖLÜM ALTI - SİFONİK SİSTEMDE YAPILAN DENEYLERDE ÖLÇÜLEN  
BASINÇ YÜKSEKLİKLERİNİN TEORİK DEĞERLERLE  
KARŞILAŞTIRILMASI ..... 69**

6.1	I Numaralı Boru Hattında Yapılan Deneyler .....	69
6.1.1	2 numaralı noktadaki basınç yüksekliği .....	70
6.1.2	3 numaralı noktadaki basınç yüksekliği .....	70
6.1.3	4 numaralı noktadaki basınç yüksekliği .....	70
6.1.4	5 numaralı noktadaki basınç yüksekliği .....	71
6.1.5	6 numaralı noktadaki basınç yüksekliği .....	71
6.1.6	Boru çıkışı C noktasındaki basınç yüksekliği .....	71
6.1.7	Sonuç Özet Tablosu .....	72
6.2	II Numaralı Boru Hattında Yapılan Deneyler .....	74
6.2.1	7 numaralı noktadaki basınç yüksekliği .....	74
6.2.2	8 numaralı noktadaki basınç yüksekliği .....	74
6.2.3	Boru çıkışı C noktasındaki basınç yüksekliği .....	75
6.2.4	Sonuç Özet Tablosu .....	76

<b>BÖLÜM YEDİ - SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>77</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>79</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>80</b>

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Çalışmanın Amacı

Yağmur suyunu çatıdan yağmur suyu drenaj sistemine ulaştırarak klasik yağmur suyu toplama sistemine alternatif olarak ortaya çıkan ve özellikle büyük çatı alanlarında kullanılan, tam dolu akış özelliklerinden yararlanarak büyük debileri tahliye edebilen sifonik yağmur suyu sistemlerinin nasıl ve hangi şartlarda çalıştığı deneyler ile gözlenerek, elde edilen sonuçların teorik bilgiler ışığında değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

### 1.2 Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Yurtiçi ve yurtdışı kaynaklar taranarak daha önce yapılmış çalışmalara ulaşılmaya çalışılmıştır.

Son yıllarda ülkemizde, yurtdışı kaynaklı bazı kuruluşların temsilciliklerini alan ticari firmaların sifonik yağmur suyu tahliye sistemleri tasarladıkları ve bu konu ile ilgili bir çok broşür yayınladıkları dikkati çekmektedir. Ancak ticari amaçlarla hazırlanan bu broşürlerde, oluşan akım ile ilgili teorik bilgiler yer almamakta, yalnızca sistemin olumlu yanlarından bahsedilip, projelendirme aşamasının detayları verilmemektedir.

Meslek kuruluşları tarafından düzenlenen sempozyumlarda birkaç bildiriye rastlanmıştır. Bu bildirilerde pratik uygulamaya yönelik sayısal ipuçları verilmektedir.

### 1.3 Çalışmanın Kapsamı

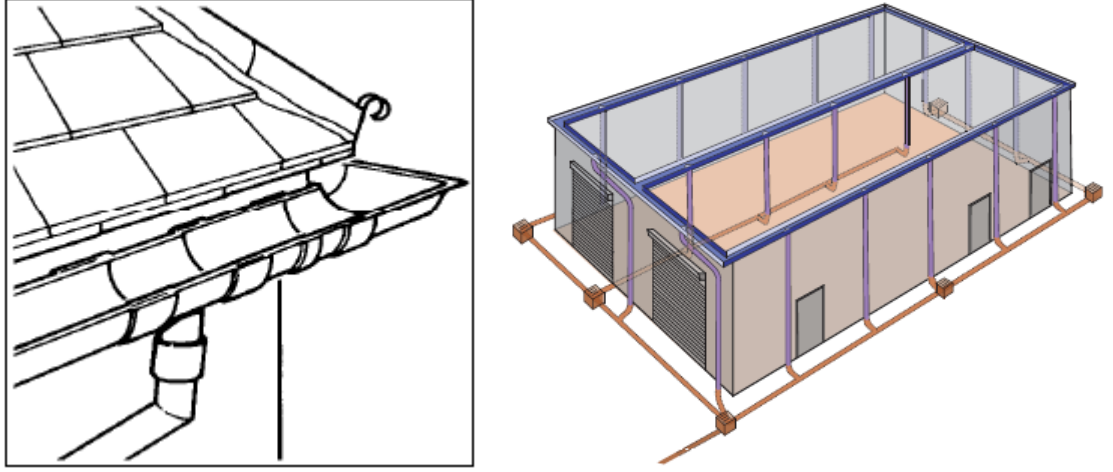
Hazırlanan deney düzeneğinde yağmur etkisi oluşturulmuştur. Değişik debilerin oluşturulduğu çatı oluğunu temsil eden dikdörtgen kanaldaki akış incelenmiştir. Bu debilerin, kanalın memba ve mansabına yerleştirilen giriş elemanları ile toplama sistemindeki etkileri gözlenmiştir. Giriş elemanlarının sifonik akış şartlarını nasıl etkilediği, hangi durumlarda sisteme hava karıştığı hangi durumlarda sistemde tam dolu akışın olduğu araştırılmıştır. Değişik debilerde giriş ağızlığı, dirsek ve boru boyunca oluşan yersel ve sürekli kayıpları hesaplamak üzere piyezometre okumaları gerçekleştirilmiştir. Sistem üzerinde yapılan deneylerde ölçülen basınçlar, deneylerle bulunan sürekli ve yersel kayıplara ait katsayılar yardımıyla hesaplanan teorik değerlerle karşılaştırılmıştır.

## BÖLÜM İKİ

### MEVCUT YAĞMUR SUYU TOPLAMA SİSTEMLERİ

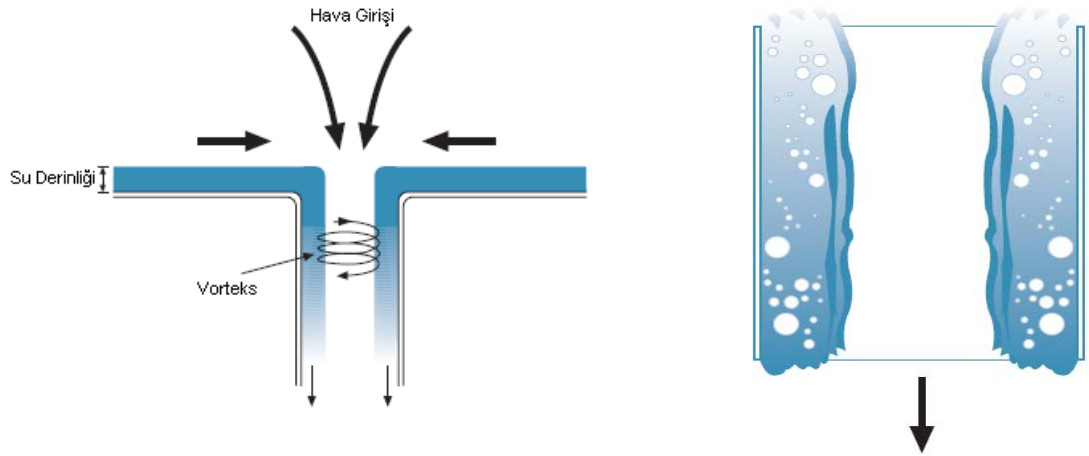
#### 2.1 Klasik Yağmur Suyu Toplama Sistemleri

Klasik yağmur suyu toplama sistemlerinde toplanan su, çatı oluğuna bağlı bir çok iniş borusu ile yere indirilir. Eğer kanalizasyona bağlanacaksa ayrıca yer altında toplanarak kanalizasyona bağlanır. (Şekil 2.1)



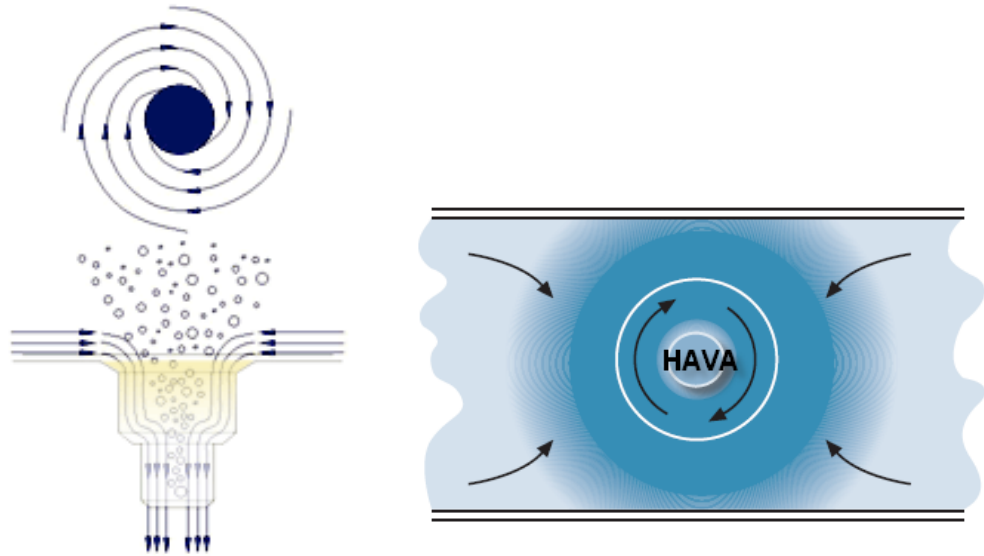
Şekil 2.1 Klasik yağmur suyu toplama sistemi. (Fullflow Kataloğu)

Klasik yağmursuyu toplama sisteminde akış, çatı oluklarından gelen suyun iniş borusuna hava ile karışarak girmesi ve kendi ağırlığı ile düşmesi ile oluşmaktadır. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2 Klasik yağmur suyu sisteminde düşey akış. (Fullflow Kataloğu)

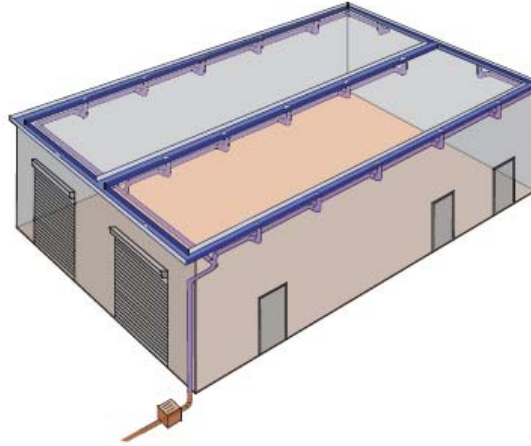
Su – hava karışımı oluşan vorteks nedeniyle boru içinde spiral hareket ederek yere ulaşır. Su – hava karışımı ile oluşan çift fazlı akışı sağlamak için düşeyde çapı, yatayda ise eğimi arttırmak gerekmektedir. Oldukça düşük kapasiteyle çalışan klasik sistemde büyük debileri tahliye etmek için çok sayıda düşey iniş borusuna ihtiyaç duyulmaktadır. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Klasik yağmur suyu sisteminde vorteks oluşumu. (Fullflow Kataloğu)

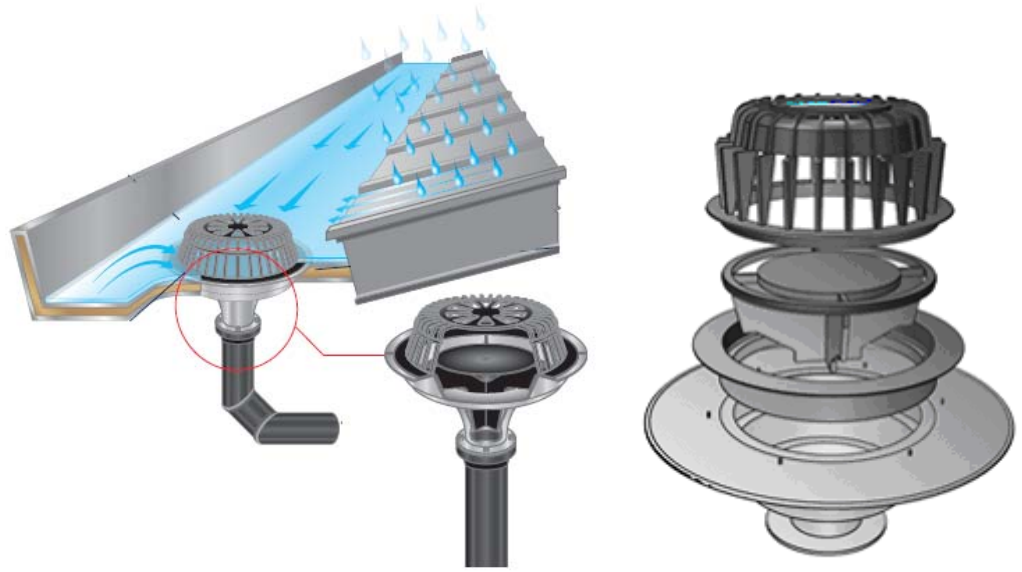
## 2.2 Sifonik Yağmur Suyu Sistemleri

Sifonik yağmur suyu sistemleri olarak adlandırılan yağmur suyu toplama sistemlerinde; çatı oluklarında toplanan yağmur suyu, özel tasarlanmış patentli giriş ağızlıkları ile vorteks oluşturmada dolayısıyla hava ile karışmadan toplama borusuna girer. Sifon etkisi ile çatı oluklarında biriken yağmur suyu oldukça hızlı bir şekilde tahliye edilir. Toplama sisteminde tam dolu akış sağladığı sürece büyük debiler klasik sisteme oranla daha küçük çaplar ile tahliye edilebilmektedir. 1960'lı yıllardan günümüze uygulanan sifonik sistemde yağmur suyu çatı altında askılanan yatay toplama sistemi ile toplanmakta ve çoğu kez bir adet düşey iniş borusu ile kanalizasyona bağlanabilmektedir. (Şekil 2.4) Bu sayede sifonik yağmur suyu toplama sistemi yapının görselliğini bozmadan yağmur suyunu tahliye ettiği söylenebilir. Yatırım maliyetleri açısından ise fayda maliyet analizi yapılmalıdır. Bu çalışma kapsamında yatırım maliyeti konusunda bir inceleme yapılmamıştır.

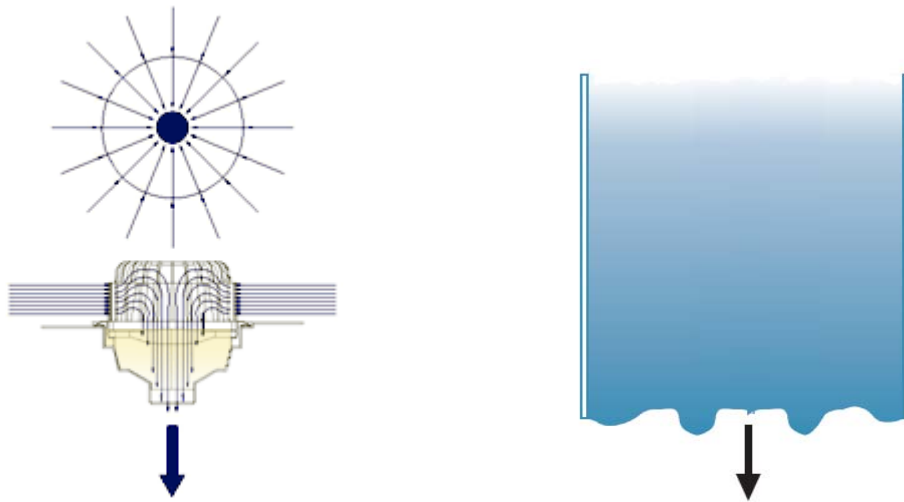


Şekil 2.4 Sifonik yağmur suyu toplama sistemi.  
(Fullflow Kataloğu)

Tam dolu akışı sağlamak için yağmur suyunun çatı oluklarından boruya girişinde örneğin Şekil 2.5'te gösterilen patenti Fullflow şirketine ait özel giriş ve bağlantı elemanlarından birini kullanmak gerekmektedir. Değişik şirketler tarafından da üretilen bu özel giriş ve bağlantı elemanları boru girişinde oluşacak vorteksi engelleyerek toplama sistemine hava girişini zorlaştırmaktadır. (Şekil 2.6) Klasik sistemde ise çevrıntiler ile ilgili bir önlem alınmamaktadır.



Şekil 2.5 Sifonik yağmur suyu sisteminde çatı oluğu ve giriş elemanı. (Fullflow Kataloğu)



Şekil 2.6 Giriş elemanı ve vorteks oluşumunun engellenmesi. (Fullflow Kataloğu)

Sifonik yağmur suyu sistemlerinde boru çapları klasik sisteme oranla daha küçüktür. Bu nedenle toplama sistemi içine girecek yabancı maddeler akımı zorlaştıracak ve tıkanmalara yol açacaktır. Giriş yapılarında vorteksi engelleyecek eleman ile birlikte yabancı maddeleri tutacak ama suyun girişini engellemeyecek şekilde süzgeç yada ızgara benzeri bir eleman gereklidir. (Şekil 2.7)





Şekil 2.7 Fullflow patentli Giriş elemanı detay parçaları. (Fullflow Kataloğu)

## BÖLÜM ÜÇ

### DENEY DÜZENEĞİ VE ÖLÇÜM CİHAZLARI

#### 3.1 Deney Düzenegi

Deney düzenegi performans egrileri Ek-1’de verilen bir pompa ile beslenmektedir. Pompa emme havuzu su kotu ile yağmur suyu borusu arasında 4 metre kot farkı vardır. 10 metrelik dikdörtgen kanal üzerindeki bu boruda yağmur oluşturmak için yaklaşık 10 cm aralıklarla delikler açılmıştır. (Şekil 3.1)



Şekil 3.1 Yağmur suyu besleme borusu.

Çatı oluğunu temsil etmek üzere 30 cm derinliğinde, 20 cm genişliğinde ve 10 metre uzunluğunda dikdörtgen kesitli yatay bir kanal kullanılmıştır. Kanalın tabanı ve bir yüzeyi metal, diğer yan yüzeyi oluşan akımı gözlemleyebilmek için plexyglass’tan imal edilmiştir. (Şekil 3.2)



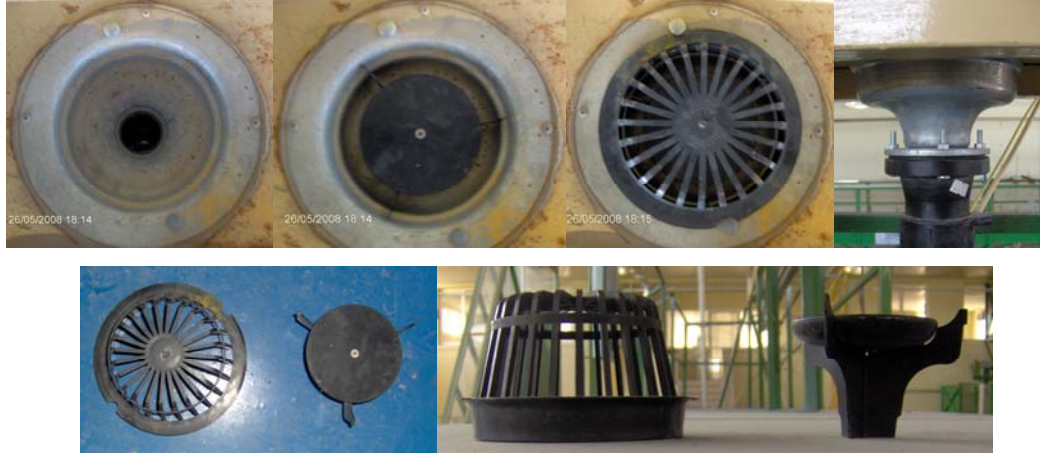
Şekil 3.2 Yağmur suyu toplama kanalı.

Debinin artması ile deliklerden yüksek hızda çıkan suyun, oluk içindeki akımı rahatsız etmesini önlemek için kanalın üstüne saç ızgara ve bu ızgara üzerine plastik paspas malzemesi döşenmiştir. (Şekil 3.3)

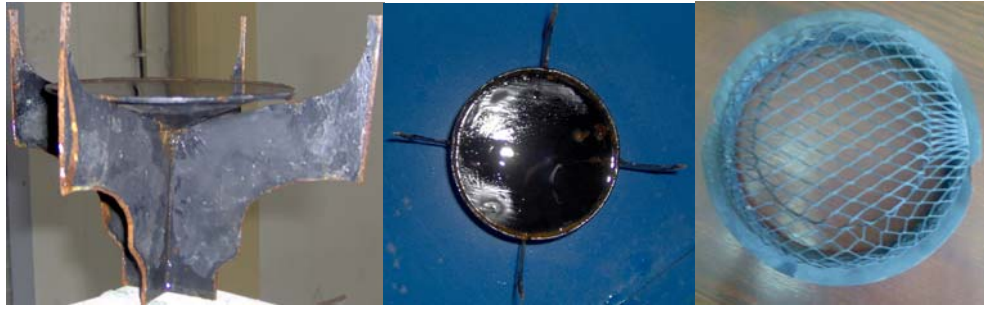


Şekil 3.3 Sakinleştirme malzemesi.

Kanalın iki ucuna özel giriş elemanları monte edilmiştir. (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5)



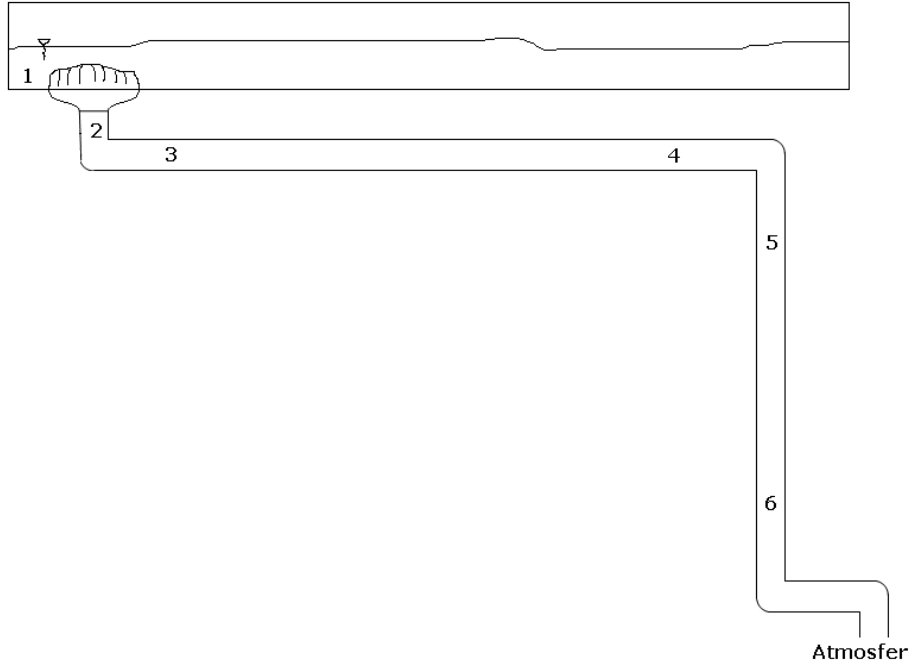
Şekil 3.4 Kanal memba ucundaki giriş elemanı ve detay parçaları.



Şekil 3.5 Kanal mansap ucundaki giriş elemanı detay parçaları.

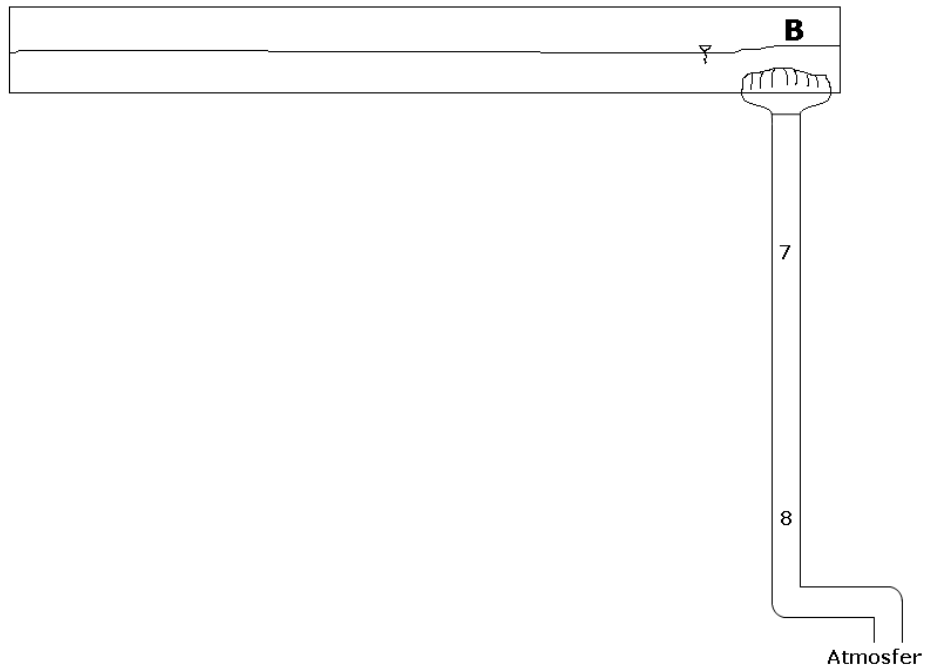
Giriş elemanlarından birisi toplama kanalı altında, kanal boyunca uzanan 75 mm dış çaplı, 2,9 mm et kalınlıklı HPDE toplama borusuna bağlantı elemanı ile bağlanmıştır. I numaralı bu hat 90° dirsek sonrasında 9,40 metre yatay olarak gitmektedir. Yatay boru sifonik yağmur suyu sistemlerinde olduğu gibi askı aparatları kullanılarak deney düzeneğinde dikdörtgen kanal altına askılanmıştır. Boru 90° dirsek ile düşey bir boruya bağlanmıştır. 2,94 metre düşey inen boru yine 90° dirsek sonrasında 2 metre yatay giderek 90° dirsek ile atmosfere açılmaktadır.

(Şekil 3.6, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9)



Şekil 3.6 I numaralı hat.

II numaralı diğer hat ise direkt olarak aşağı inen bir boruya bağlantı elemanı ile bağlanmıştır. 2,84 metre düşey mesafe kat ettikten sonra  $90^\circ$  dirsek sonrasında 1,80 metre yatay giderek  $90^\circ$  dirsek ile atmosfere açılmaktadır. (Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9)



Şekil 3.7 II numaralı hat.





Şekil 3.8 I ve II numaralı hatlar.



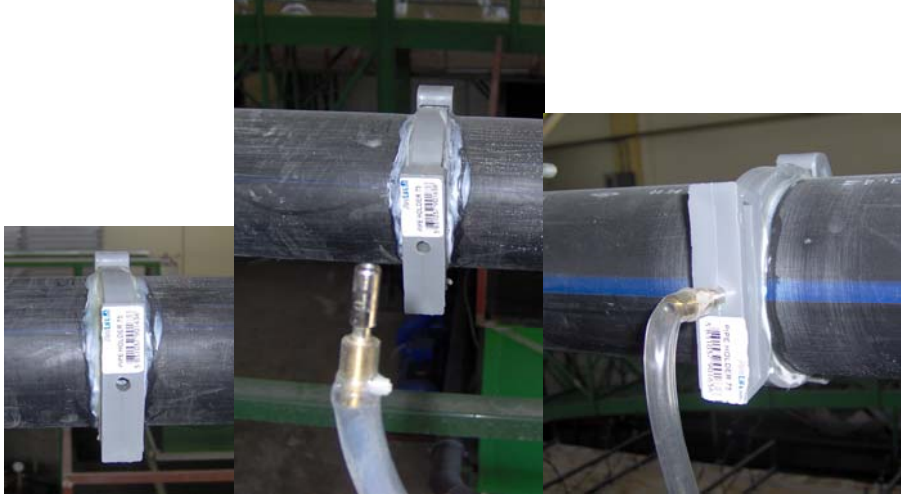
Şekil 3.9 Deney düzeneği genel görünümü.

Şekil 3.9’da genel görünümü verilen deney düzeneğinde her iki hattan gelerek atmosfere açılan borular, tahliye ettikleri suyu debinin ölçüldüğü üçgen savak haznesine boşaltmaktadır. Üçgen savak üzerindeki su yükü bir piyezometre borusu ile okunmaktadır. (Şekil 3.10)



Şekil 3.10 Üçgen savak haznesi

Borular üzerinde piyezometre okumaları yapmak üzere 8 mm'lik delikler açılmıştır. Bu delikler 75 mm'lik kelepçeler ile piyezometre hortumlarına bağlanmıştır. (Şekil 3.11)



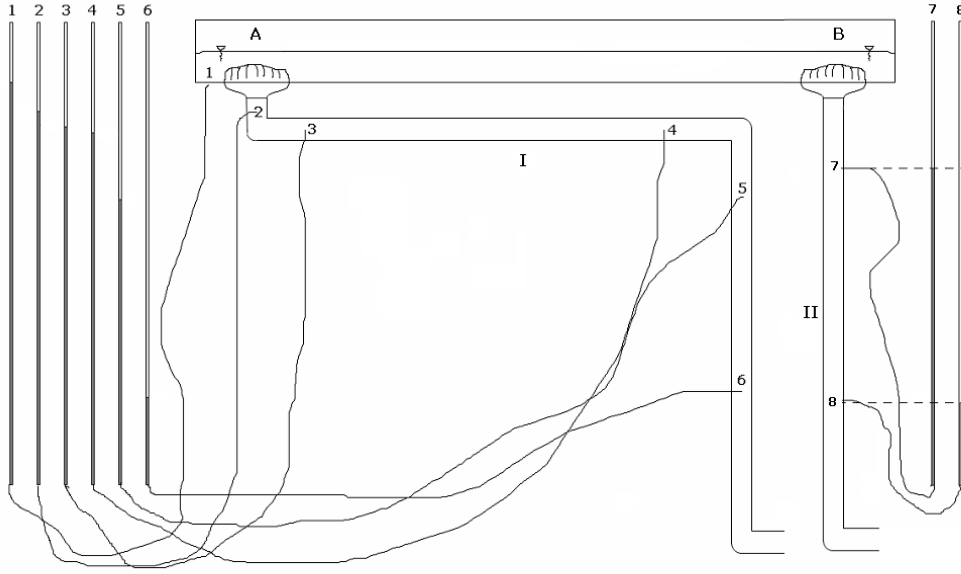
Şekil 3.11 Piyezometre bağlantısı

Yağmur suyu toplama kanalını ve kanal yanında uzanan platformu bir iskele taşımaktadır. Platform üzerinde piyezometre okumaları yapılabilmekte ve değişik şartlarında oluşan su yüzü profilleri ile giriş elemanları etrafında oluşan akım gözlemlenebilmektedir. (Şekil 3.12 ve Şekil 3.13)



Şekil 3.12 Deney düzeneği ve platformu.





Şekil 3.13 Deney düzeneği üzerindeki ölçüm noktaları.

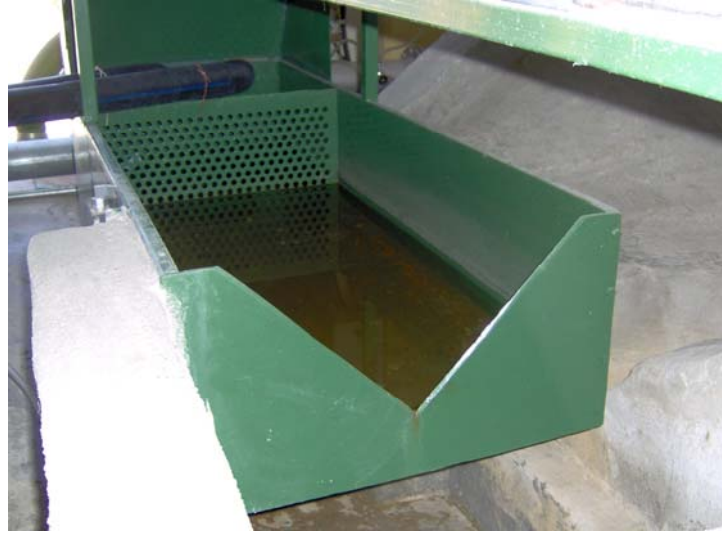
## 3.2 Ölçüm Cihazları

### 3.2.1 Üçgen Savak

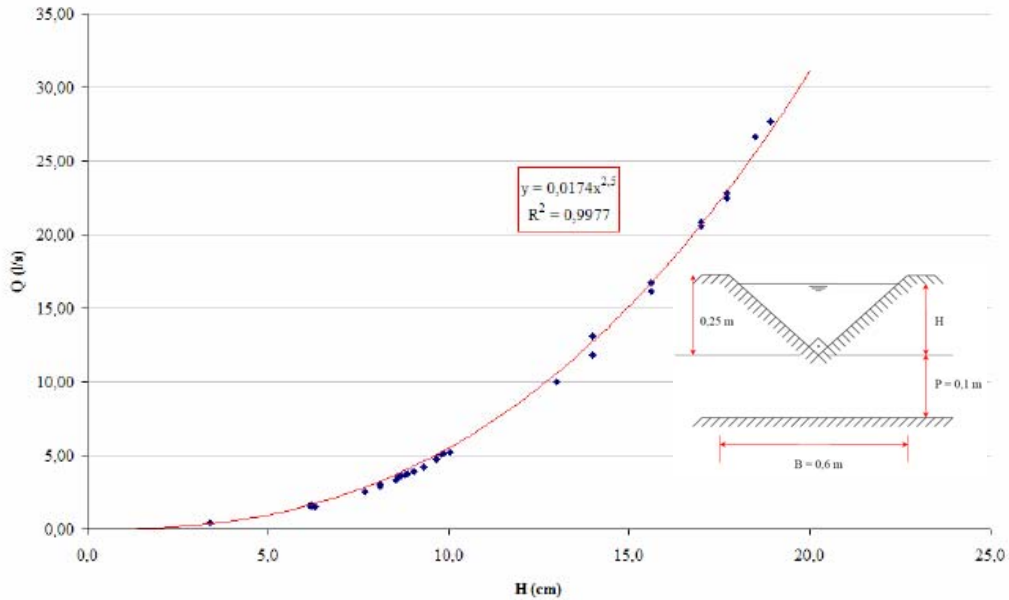
Sistemde debi değiştirilerek değişik akım şartları oluşturulmuştur. Şekil 3.14'te verilen vana ile ayarlanan debi üçgen savak ile ölçülmektedir. (Şekil 3.15) Yapılan kalibrasyon sonucunda, debi ile üçgen savak yükü  $H$  arasında  $Q = C \times H^{5/2}$  formuna uyan bir ilişki elde edilmiştir.  $Q = 0,0174 \times H^{5/2}$  (Şekil 3.16)



Şekil 3.14 Debiyi değiştirmek için kullanılan vana.



Şekil 3.15 Üçgen savak ve debi ölçümü.



Şekil 3.16 Debi – savak yükü arasındaki ilişki.

### 3.2.2 Basınç Ölçümü

Hem I ve II numaralı hat üzerinde, giriş ve bağlantı elemanlarında ve dirseklerde oluşan yersel kayıpları ölçmek hem de değişik akım şartlarında ilgili noktalarda basıncı ölçmek amacıyla giriş elemanı sonrası, dirseklerin öncesi ve sonrasına monte edilen piyezometre boruları ile bu noktalardaki basınçlar ölçülmüştür. Piyezometre ölçümü için kullanılan şeffaf boruların basınç ölçümü yapılacak boruya bağlanacağı noktalara 8 mm'lik delikler açılmıştır. Daha önce Şekil 3.11'de verildiği gibi, deliklerin olduğu noktalara 75 mm'lik kelepçeler takılmış ve yapıştırılmıştır. Bu

noktalara bağlanan şeffaf borular milimetrik kağıt yapıştırılmış pano üzerine sabitlenmiştir. (Şekil 3.17)



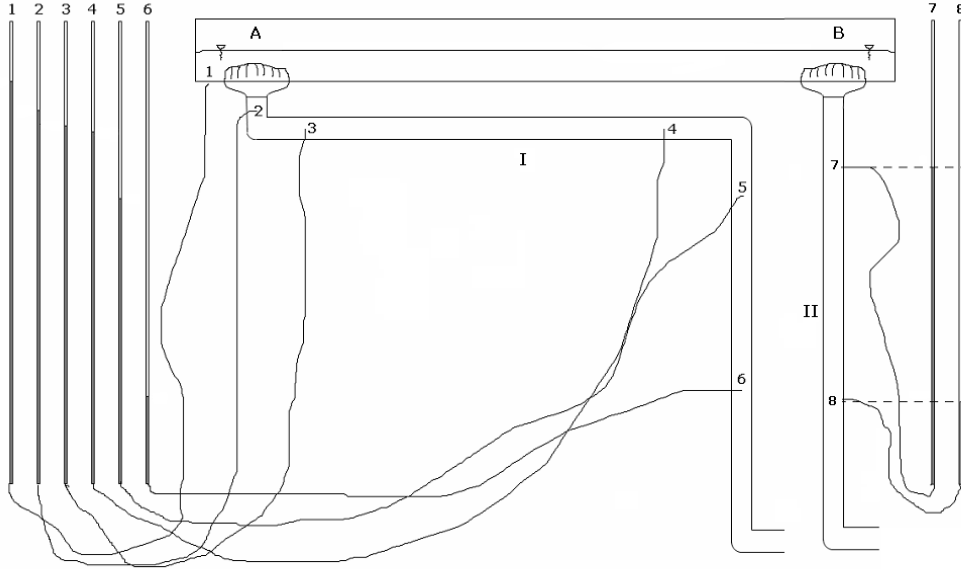
Şekil 3.17 Piyezometre borularının yer aldığı pano.

## BÖLÜM DÖRT

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1 Deneysel Çalışmalar

Deney düzeneği, sifonik yağmur suyu sisteminin farklı debilerde nasıl çalıştığını gözlemlemeye olanak vermektedir. Gerçekleşen olayların sistematigi için farklı noktalarda piyezometre okumaları yapılmıştır. Kanalin membasında (A noktası) bulunan giriş elemanının bağlı olduğu I numaralı hat ve kanalın mansabında (B noktası) bulunan elemanın bağlı olduğu II numaralı hat birbirinden bağımsız ve birlikte çalıştırılarak oluşan hidrolik olaylar anlaşılmaya çalışılmıştır. Kanaldaki su derinliği için membada  $y_A$  mansapta  $y_B$  notasyonları kullanılmıştır. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 I ve II numaralı hat.

#### 4.2 Mansap Giriş Elemanı Üzerinde Yapılan Deneyler

Kanalın mansabında bulunan ve özel olarak imal edilmiş giriş elemanının yer aldığı II numaralı hatta yapılan deneysel çalışmalarda sifon etkisinin başladığı ve

sifon etkisinin yetersiz kaldığı debi değerleri ile II numaralı hat üzerinde piyezometre seviyeleri çıkış ağızları karşılaştırma düzlemi olacak şekilde okunan piyezometre kotlarından ölçüm noktalarının geometrik kotu çıkarılarak  $P/\gamma$  elde edilmiştir. Deneyle ilgili akım parametreleri ve bulguları aşağıda özetlenmektedir.

#### 4.2.1 Deney No: 1

$$Q = 6,52 \text{ l/s}$$

$$y_A = 7,5 \text{ cm}$$

$$y_B = 3 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -40 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 24 \text{ cm}$$

Ölçülen 6,52 l/s debi değerinde sifonik akış oluşmamaktadır. Giriş elemanı üzerinde sisteme hava girişini engelleyecek su seviyesi olmadığı için sistem klasik yağmur suyu sistemi gibi çalışmaktadır. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 Q = 6,52 l/s debisinde gözlenen akım.

#### 4.2.2 Deney No: 2

$$Q = 8,32 \text{ l/s}$$

$$y_A = 8,5 \text{ cm}$$

$$y_B = 3,5 \text{ cm} \rightarrow 0 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = - 52 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 60 \text{ cm}$$

Kanaldaki su seviyesi mansap giriş elemanı üzerinde 3,5 cm'den neredeyse 0 cm mertebesine kadar azalmaktadır. Ancak bu derinlik zaman zaman hava girişini engellemeye yetmemektedir. Dolayısıyla piyezometre seviyeleri, boru içindeki akıma hava karıştığı için bozulmaktadır. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3  $Q = 8,32 \text{ l/s}$  debisinde gözlenen akım.

#### 4.2.3 Deney No: 3

$$Q = 9,05 \text{ l/s}$$

$$y_A = 9 \text{ cm}$$



$$y_B = 4 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 0 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -58 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 76 \text{ cm}$$

Giriş elemanı üzerinde 4 cm'den 0 cm civarına azalan su yüksekliği ölçülmektedir. Bu seviye periyodik olarak 4 cm civarına yükselmekte ve sifon etkisi başlamaktadır. (Şekil 4.4)



Şekil 4.4  $Q = 9,05 \text{ l/s}$  debisinde gözlenen akım.

#### 4.2.4 Deney No: 4

$$Q = 10,6 \text{ l/s}$$

$$y_A = 9,5 \text{ cm}$$

$$y_B = 4,5 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 1 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -52 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 100 \text{ cm}$$

Giriş elemanı üzerinde sisteme hava girişini engelleyecek mertebede su seviyesi mevcuttur. Giriş elemanının hemen sonrasında su seviyesi 1 cm mertebesine kadar azalmakta ancak sistem için olumsuz bir durum oluşturmamaktadır. (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6)



Şekil 4.5 Q = 10,6 l/s debisinde gözlenen akım.



Şekil 4.6 Q = 10,6 l/s debisinde gözlenen akım.



#### 4.2.5 Deney No: 5

$$Q = 11,01 \text{ l/s}$$

$$y_A = 10 \text{ cm}$$

$$y_B = 6 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -59 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 115 \text{ cm}$$

Şekil 4.7'de mansap giriş elemanı üzerindeki su seviyesi görülmektedir. Giriş elemanı sonrasında su seviyesi belirgin bir biçimde artmış ve yaklaşık giriş elemanı öncesi su derinliği kadar ölçülmüştür.



Şekil 4.7  $Q = 11,01 \text{ l/s}$  debisinde gözlenen akım.

#### 4.2.6 Deney No: 6

$$Q = 11,20 \text{ l/s}$$

$$y_A = 11 \text{ cm}$$

$$y_B = 4,5 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -62 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 105 \text{ cm}$$

Debinin 11,20 l/s olarak ölçüldüğü bu deneyde giriş elemanı üzerindeki su derinliği fotoğraf olarak gözlenmiştir.(Şekil 4.8) Fotoğraf yardımıyla elde edilen su derinliği 4,5 cm olarak kullanılmıştır.



Şekil 4.8  $Q = 11,2$  l/s debisinde gözlenen akım.

#### 4.2.7 Deney No: 7

$$Q = 11,44 \text{ l/s}$$

$$y_A = 11,5 \text{ cm}$$

$$y_B = 4,5 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -45 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 115 \text{ cm}$$

Giriş elemanı bölgesinde oluşan akım Şekil 4.9'da verilmektedir. Ölçülen su derinliğinde vorteks oluşmadığı dolayısıyla sisteme hava karışmadığı gözlenmiştir.



Şekil 4.9  $Q = 11,44$  l/s debisinde gözlenen akım.

#### 4.2.8 Deney No: 8

$$Q = 11,87 \text{ l/s}$$

$$y_A = 11,5 \text{ cm}$$

$$y_B = 5,5 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -64 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 131 \text{ cm}$$

Daha düşük debilerde yapılan deneylerde giriş elemanının üzerinde oluşan su seviyesi giriş elemanı öncesinde ve sonrasında bir miktar farklılık göstermektedir. Şekil 4.10'da da görüleceği gibi bu seviye ölçülen debi değerinde artık aynı mertebededir.



Şekil 4.10  $Q = 11,87$  l/s debisinde gözlenen akım.

#### 4.2.9 Deney No: 9

$$Q = 12,09 \text{ l/s}$$

$$y_A = 12,0 \text{ cm}$$

$$y_B = 4,5 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -44 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 125 \text{ cm}$$

Şekil 4.11'de giriş elemanı üzerinde oluşan akım görülmektedir. Fotoğrafta vorteks oluşmadığı sisteme hava karışmadığı görülmektedir.



Şekil 4.11  $Q = 12,09$  l/s debisinde gözlenen akım.

#### 4.2.10 Deney No: 10

$$Q = 12,3 \text{ l/s}$$

$$y_A = 12,5 \text{ cm}$$

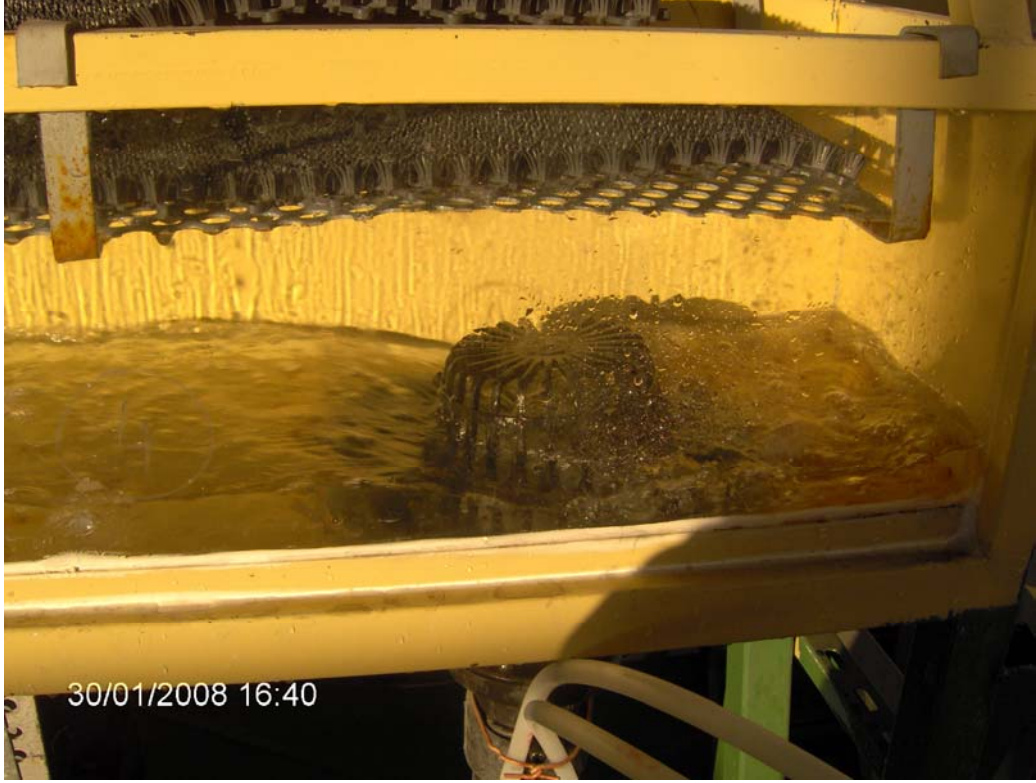
$$y_B = 4,5 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -57 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 85 \text{ cm}$$

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi su derinliği 30 cm yüksekliğindeki bir kanal için taşma riski taşımamaktadır.





Şekil 4.12  $Q = 12,3$  l/s debisinde gözlenen akım.

#### 4.2.11 Deney No: 11

$$Q = 12,76 \text{ l/s}$$

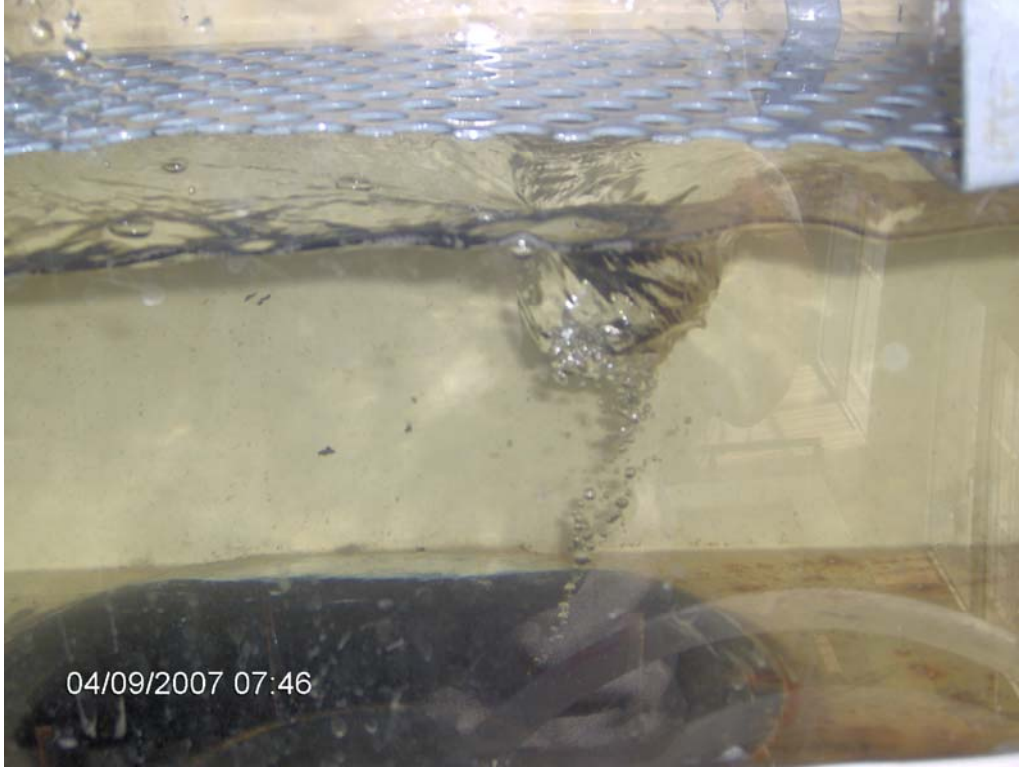
$$y_A = 13,0 \text{ cm}$$

$$y_B = 4,5 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -37 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 137 \text{ cm}$$

Şekil 4.13'te giriş elemanı üzerinde çok kısa süreli devam eden ve zaman zaman kendini tekrar eden vorteks ve Şekil 4.14'te giriş elemanı üzerinde oluşan akım görülmektedir.



Şekil 4.13  $Q = 12,76$  l/s debisinde gözlenen akım.



Şekil 4.14  $Q = 12,76$  l/s debisinde gözlenen akım.

#### 4.2.12 Deney No: 12

$$Q = 12,99 \text{ l/s}$$

$$y_A = 24,0 \text{ cm}$$

$$y_B = 23,0 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -44 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 154 \text{ cm}$$

Kararlı akım debisi 12,99 l/s olarak okunmaya başladığında kanalda su seviyeleri A ve B noktalarında sırasıyla 24 cm ve 23 cm olarak ölçülmüştür. (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16) Mansap giriş elemanı üzerinde zaman zaman vorteks oluşumları gözlenmiştir. (Şekil 4.17 ve Şekil 4.18)



Şekil 4.15 Mansap giriş elemanı üzerindeki su yükü.

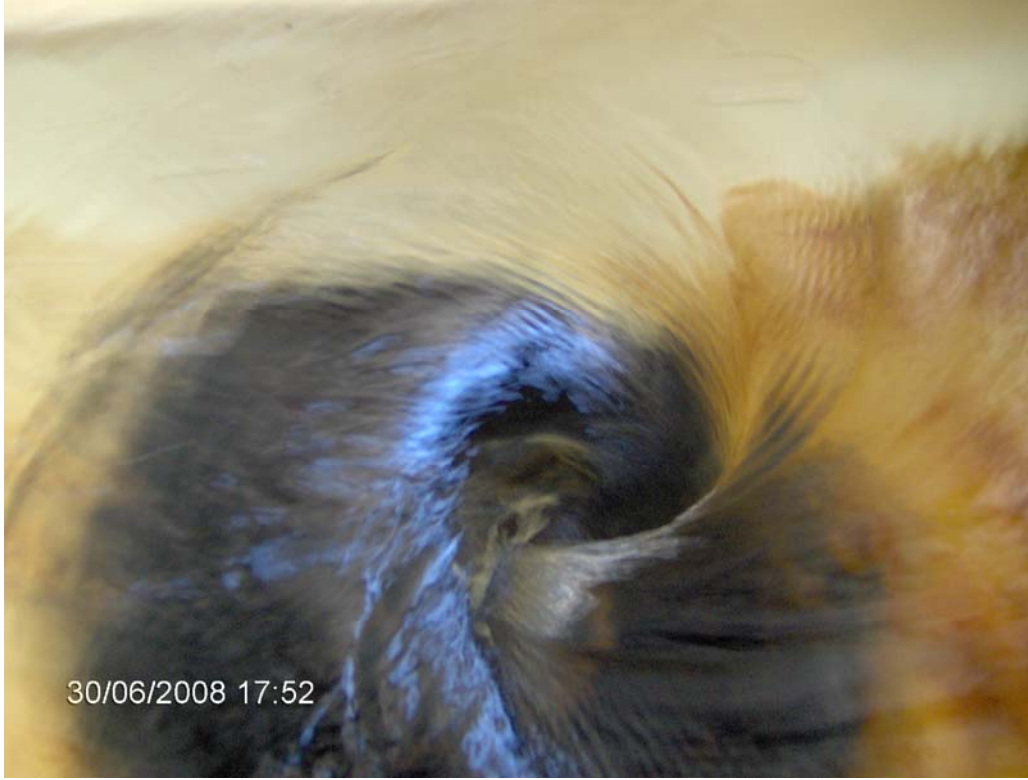




Şekil 4.16  $Q = 12,99$  l/s.



Şekil 4.17 Mansap giriş elemanı üzerinde oluşan vorteks.



Şekil 4.18  $Q = 12,99$  l/s.

#### 4.2.13 Deney No: 13

$$Q = 13,2 \text{ l/s}$$

$$y_A > 30 \text{ cm}$$

$$y_B > 30 \text{ cm}$$

$$P_7/\gamma = -45 \text{ cm}$$

$$P_8/\gamma = 169 \text{ cm}$$

Kanal su seviyesi hızla 30 cm üzerine ulaşmıştır. Kısa süreli piyezometre okumaları yapılabilmektedir. Deney piyezometre okumaları ile hesaplamalarda kullanılmıştır.

#### 4.2.14 Deney No: 14

$$Q = 15,16 \text{ l/s}$$

$$y_A > 30 \text{ cm}$$

$$y_B > 30 \text{ cm}$$

Üçgen savak okuması dışında deneysel gözlem yapmaya olanak sağlayacak şekilde sistem dengeye ulaşmamıştır. Kanal su derinliği çok hızlı bir şekilde 30 cm üzerine çıkarak sistemin tahliye edebileceği değerin aşıldığı görülmüştür. Piyezometre okumaları bu gözlem sırasında yapılamamıştır.

#### 4.2.15 Sonuç Özet Tablosu

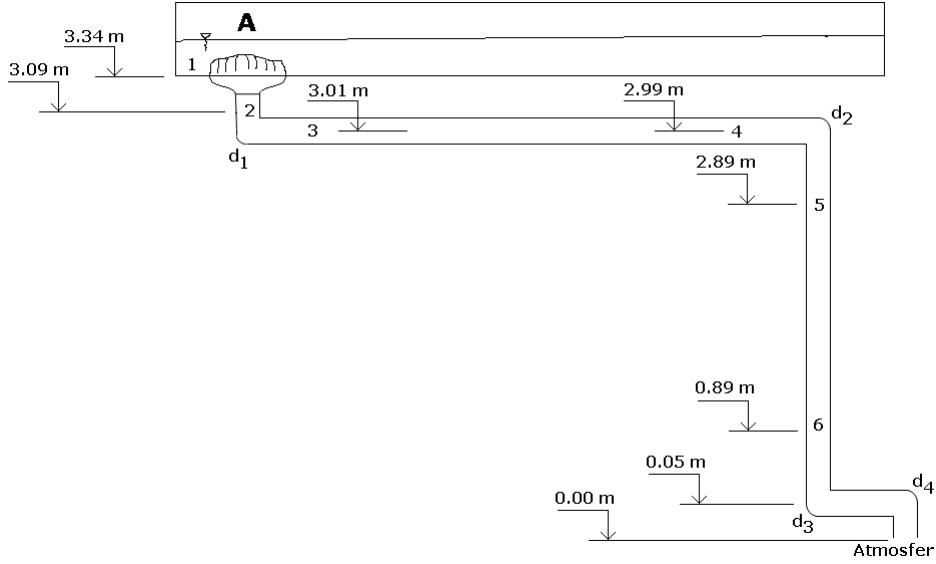
II nolu hat üzerinde yapılan deneylerde ölçülen değerler ve yapılan gözlemler özet olarak Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1 II numaralı hat üzerinde yapılan deneylerin özet sonuçları.

Deney No	Q l/s	V m/s	$\frac{V^2}{2g}$ cm	$y_A$ cm	$y_B$ cm	$\frac{P_7}{\gamma}$ cm	$\frac{P_8}{\gamma}$ cm	Akış
1	6,52	1,73	15	7,5	3,0	-40	24	Klasik
2	8,32	2,21	25	8,5	3,5	-52	60	Sifonik
3	9,05	2,41	30	9,0	4,0	-58	76	Sifonik
4	10,60	2,82	41	9,5	4,5	-52	100	Sifonik
5	11,01	2,93	44	10,0	6,0	-59	115	Sifonik
6	11,20	2,98	45	11,0	4,5	-62	105	Sifonik
7	11,44	3,04	47	11,5	4,5	-45	115	Sifonik
8	11,87	3,16	51	11,5	5,5	-64	131	Sifonik
9	12,09	3,22	53	12,0	4,5	-44	125	Sifonik
10	12,30	3,27	55	12,5	4,5	-57	85	Sifonik
11	12,76	3,39	59	13,0	4,5	-37	137	Sifonik
12	12,99	3,45	61	24,0	23,0	-44	154	Sifonik
13	13,20	3,51	63	> 30 Taşma		-45	169	Sifonik
14	15,16	4,03	83	> 30 Taşma		-	-	Sifonik

### 4.3 Memba Giriş Elemanı Üzerinde Yapılan Deneyler

Şekil 4.19’da verilen memba giriş elemanının yer aldığı I numaralı hat ile ilgili gözlemlerde resim yerine video kayıtları kullanılmıştır.



Şekil 4.19 I numaralı hat.

Mansap giriş elemanından farklı olarak sistem farklı akım şartları oluşturmakta ve bu akım şartları belli debi değerleri altında kendisini tekrarlamaktadır. Video kayıtları ile gözlem yapılmasının amacı bu tekrarlı süreçleri yakalamak ve değerlendirmektir. Memba giriş elemanı mansap giriş elemanına oranla daha düşük debileri tahliye edebilmektedir. Belli debi değerlerinde sistem klasik yağmur suyu toplama sistemi gibi basınçsız ve tam dolu olmayan şekilde çalışmaktadır. Ancak aynı debi değerlerinde kanal içerisindeki su yüksekliğinin belli bir seviyeye kadar yükseldiği ve sifonik akım şartlarını oluşturduğu ortaya çıkmaktadır. Bu kısımdaki deneyler artan debi değerleri ile yapılmıştır ve video kayıtları ek olarak sunulmaktadır. Deneylerdeki gözlemler listelenmiş olup yine kısım sonunda tablo halinde verilmektedir.

5,92 l/s değerinden küçük debilerde kararlı akım oluşmamış, klasik akım zamanla sifonik akıma dönüşmüştür. Bu dönüşüm periyodik olarak kendini tekrar etmiştir. Özet tablosunda kararsız – klasik veya kararsız – sifonik olarak tanımlanamayan bu akım türleri video kayıtlarında ayrıntılı bir şekilde görülmektedir.

#### 4.3.1 Deney No: 1

Q = 2,42 l/s	Q = 4,00 l/s	Video Kayıtları
$y_A = 2,1$ cm	$y_A = 3,0$ cm	1-1
$P_2/\gamma = -3,5$ cm	$P_2/\gamma = -34,5$ cm	1-2
$P_3/\gamma = -22,7$ cm	$P_3/\gamma = -40,7$ cm	1-3
$P_4/\gamma = -17,5$ cm	$P_4/\gamma = -49,5$ cm	1-4
$P_5/\gamma = 22,0$ cm	$P_5/\gamma = 0,0$ cm	1-5
$P_6/\gamma = 0,0$ cm	$P_6/\gamma = 10,0$ cm	1-6

Yapılan deneyler sırasında kararlı bir akım oluşmadığı, giriş elemanı üzerinde zamanla artan bir su seviyesi ve buna paralel değişen piyezometre okumaları ve hat çıkışında değişken debi değeri gözlenmiştir. Okumalar en az ve en çok değerleri kaydedilerek yapılmıştır. Örneğin üçgen savakta okunan en düşük değere karşılık gelen debi 2,42 l/s ve en yüksek okumaya karşılık gelen debi değeri 4 l/s olarak hesaplanmış ve not edilmiştir. En düşük değerde gerçekleşen akım klasik yağmur suyu sistemine uygun hava ile karışık akımdır. Ancak sistem giriş elemanı üzerindeki su seviyesinin kısa bir süre sonra artmasıyla sifonik yağmur suyu sistemi olarak çalışmaya başlamaktadır. Şekil 4.20'de giriş elemanı üzerinde oluşan farklı su derinlikleri ile Şekil 4.21'de hat çıkışında oluşan farklı akımlar görülmektedir.



Şekil 4.20 Memba giriş elemanı üzerinde gözlenen akım.

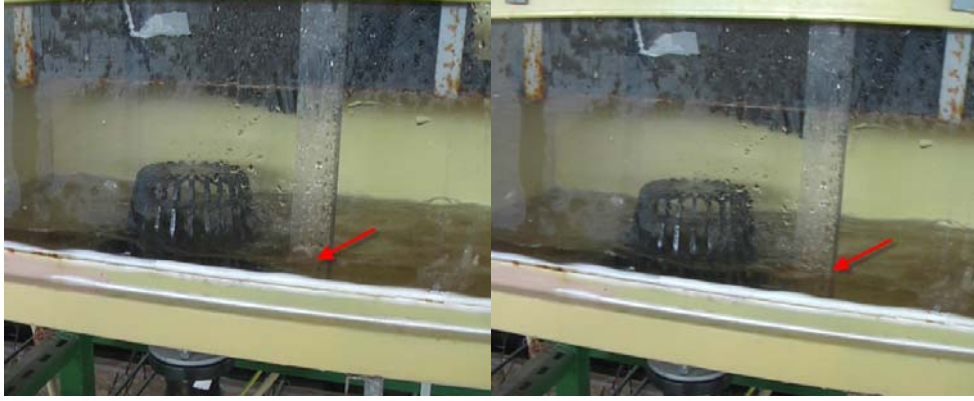


Şekil 4.21 I numaralı hat çıkışında gözlenen akım.

#### 4.3.2 Deney No: 2

Q = 3,05 l/s	Q = 4,35 l/s	Video Kayıtları
$y_A = 2,8$ cm	$y_A = 3,0$ cm	2-1
$P_2/\gamma = -1,5$ cm	$P_2/\gamma = -46,5$ cm	2-2
$P_3/\gamma = -2,7$ cm	$P_3/\gamma = -58,7$ cm	2-3
$P_4/\gamma = -7,5$ cm	$P_4/\gamma = -67,5$ cm	2-4
$P_5/\gamma = 14,0$ cm	$P_5/\gamma = -23,0$ cm	2-5
$P_6/\gamma = 0,0$ cm	$P_6/\gamma = 45,0$ cm	

Debi artırılarak tekrarlanan deneyde yine iki farklı akım türü gözlenmiştir. 10 – 12 saniye süreyle devam eden klasik akım aniden sifonik akıma dönmekte ve bu olay kendini tekrarlamaktadır. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te farklı akımlarda giriş elemanı ve hat çıkışında gözlenen olaylar görülmektedir.



Şekil 4.22 Memba giriş elemanı üzerinde gözlenen akım.



Şekil 4.23 I numaralı hat çıkışında gözlenen akım.

### 4.3.3 Deney No: 3

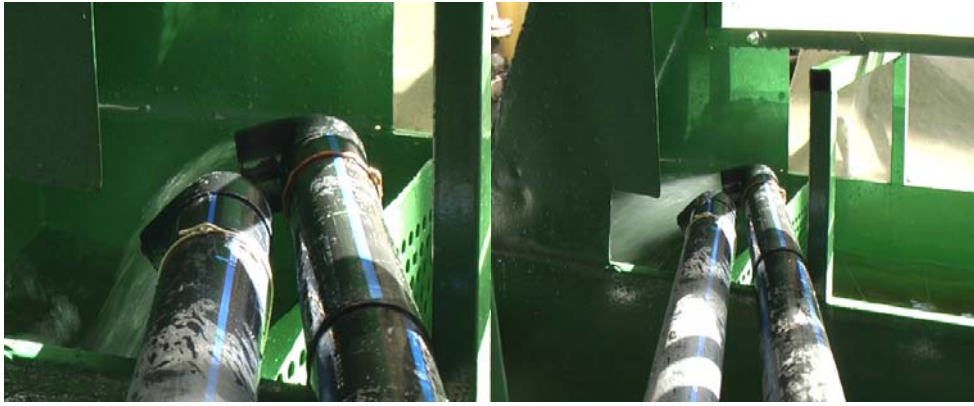
Şekil 4.24 ve Şekil 4.25

$Q = 3,77 \text{ l/s}$	$Q = 5,64 \text{ l/s}$	Video Kayıtları
$y_A = 3,5 \text{ cm}$	$y_A = 4,0 \text{ cm}$	3-1
$P_2/\gamma = 1,5 \text{ cm}$	$P_2/\gamma = -62,0 \text{ cm}$	3-2
$P_3/\gamma = 10,3 \text{ cm}$	$P_3/\gamma = -68,7 \text{ cm}$	3-3
$P_4/\gamma = -17,5 \text{ cm}$	$P_4/\gamma = -103,5 \text{ cm}$	3-4
$P_5/\gamma = 14,0 \text{ cm}$	$P_5/\gamma = -85,0 \text{ cm}$	3-5
$P_6/\gamma = 0,0 \text{ cm}$	$P_6/\gamma = 53,0 \text{ cm}$	3-6





Şekil 4.24 Memba giriş elemanı üzerinde gözlenen akım.



Şekil 4.25 I numaralı hat çıkışında gözlenen akım.

#### 4.3.4 Deney No: 4

$Q = 4,23 \text{ l/s}$	$Q = 5,64 \text{ l/s}$	Video Kayıtları
$y_A = 3,7 \text{ cm}$	$y_A = 4,5 \text{ cm}$	4-1
$P_2/\gamma = -0,5 \text{ cm}$	$P_2/\gamma = -75,0 \text{ cm}$	4-2
$P_3/\gamma = -5,7 \text{ cm}$	$P_3/\gamma = -77,7 \text{ cm}$	4-3
$P_4/\gamma = -15,5 \text{ cm}$	$P_4/\gamma = -114,5 \text{ cm}$	4-4
$P_5/\gamma = 14,0 \text{ cm}$	$P_5/\gamma = -92,0 \text{ cm}$	4-5
$P_6/\gamma = 0,0 \text{ cm}$	$P_6/\gamma = 22,0 \text{ cm}$	4-6

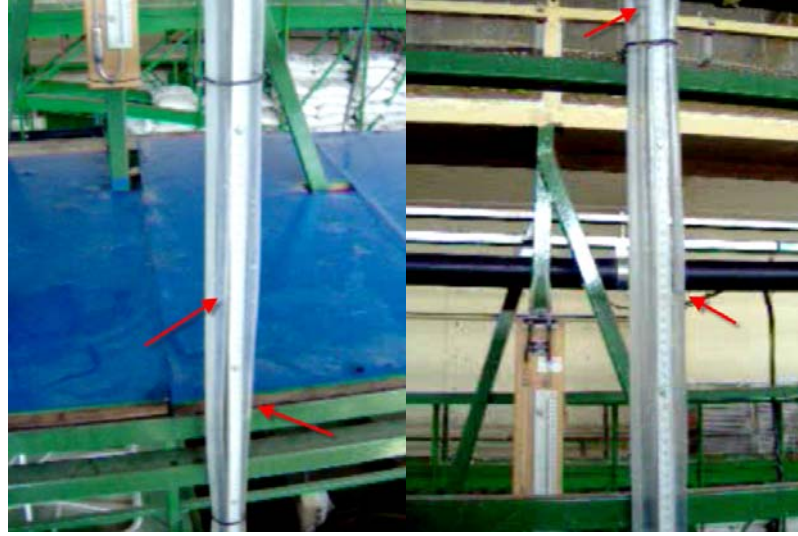
Debi vana ile arttırıldıktan belli bir süre sonra gözlemlere başlanarak debinin kararlı hale gelmesi beklenmektedir. I numaralı hat üzerinde yapılan bu gözlem sonucunda sistemin 10 – 12 saniye süre ile farklı akım şartları oluşturduğu



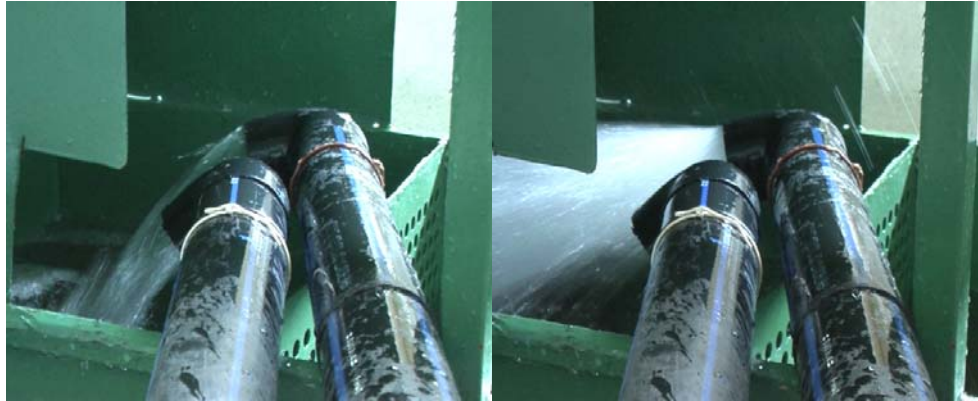
görülmüştür. Bu süreçte üçgen savak üzerinde iki farklı su seviyesi dolayısıyla iki farklı debi değeri okunmaktadır. Maksimum ve minimum olmak üzere bu değerler not alınmıştır. Sistem 4,23 l/s değerinde klasik yağmur suyu sistemi gibi çalışırken giriş elemanı üzerindeki su seviyesinin 3,7 cm civarında olduğu belirlenmiştir. Bu su seviyesi ölçülen en düşük değerdir. bu değer sabit kalmamakta ve 4.5 cm mertebesine yükselmektedir. Şekil 4.26'da giriş elemanı üzerinde oluşan farklı su derinlikleri görülmektedir. 4,5 cm su yüksekliği giriş elemanına hava girişini engellemekte böylece sistemin tam dolu ve sifonik olarak çalışmasını sağlamaktadır. Sifonik yağmur suyu sisteminin tahliye ettiği debi 5,64 l/s değerine ulaşmaktadır. Bu durum uzun sürmemekte sisteme giren debi bu mertebede olmadığı için kanal su yüksekliği yeniden azalmaktadır. Şekil 4.27'de piyezometre yüksekliklerinde gözlenen değişim görülmektedir. Sistemin kararsız olduğu piyezometre okumalarından anlaşılmaktadır. Ancak daha düşük debilerde gözlenen sistemin kendini tekrar etmesi daha hızlı gerçekleşmektedir. Video kayıtları izlendiğinde bu sürenin 10 saniye altına düştüğü söylenebilir. Hat çıkışında gözlenen farklı akımlar Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.26 Memba giriş elemanı üzerinde gözlenen akım.



Şekil 4.27 Piyezometre yüksekliklerindeki değişim.



Şekil 4.28 I numaralı hat çıkışında gözlenen akım.

#### 4.3.5 Deney No: 5

$$Q = 5,92 \text{ l/s}$$

$$y_A = 4,0 \text{ cm}$$

$$P_2/\gamma = -60,5 \text{ cm}$$

$$P_3/\gamma = -65,7 \text{ cm}$$

$$P_4/\gamma = -93,5 \text{ cm}$$

$$P_5/\gamma = -47,0 \text{ cm}$$

$$P_6/\gamma = 0,0 \text{ cm}$$

$$P_2/\gamma = -64,0 \text{ cm}$$

$$P_3/\gamma = -71,7 \text{ cm}$$

$$P_4/\gamma = -103,5 \text{ cm}$$

$$P_5/\gamma = -60,0 \text{ cm}$$

$$P_6/\gamma = 9,0 \text{ cm}$$

Video Kayıtları

5-1

5-2

5-3

5-4

5-5

5-6

Kanal su seviyesi memba giriş elemanı üzerinde sabit kalmaktadır. Piyezometre okumaları ise birbirini tekrar eden değerler etrafında salınımlar göstermektedir. Debi değerinin değişmediği gözlenmektedir. (Şekil 4.29)



Şekil 4.29 Giriş elemanı ve hat çıkışında gözlenen kararlı akım.

#### 4.3.6 Deney No: 6

$$Q = 6,52 \text{ l/s}$$

$$y_A = 4,5 \text{ cm}$$

$$P_2/\gamma = -62,5 \text{ cm}$$

$$P_3/\gamma = -70,7 \text{ cm}$$

$$P_4/\gamma = -100,5 \text{ cm}$$

$$P_5/\gamma = -59,0 \text{ cm}$$

$$P_6/\gamma = 2,0 \text{ cm}$$

Video Kayıtları

6-1

6-2

6-3

6-4

6-5

$$P_2/\gamma = -67,5 \text{ cm}$$

$$P_3/\gamma = -75,7 \text{ cm}$$

$$P_4/\gamma = -108,5 \text{ cm}$$

$$P_5/\gamma = -73,0 \text{ cm}$$

$$P_6/\gamma = 20,0 \text{ cm}$$

Piyezometre kotlarındaki salınımlar dışında sistemin önceki deneyde olduğu gibi kararlı olduğu ve sifonik olarak çalıştığını söylemek mümkündür. (Şekil 4.30)



Şekil 4.30 Giriş elemanı ve hat çıkışında gözlenen kararlı akım.

#### 4.3.7 Deney No: 7

$Q = 6,98 \text{ l/s}$	Video Kayıtları
$y_A = 4,7 \text{ cm}$	7-1
$P_2/\gamma = -65,5 \text{ cm}$	7-2
$P_3/\gamma = -78,2 \text{ cm}$	7-3
$P_4/\gamma = -115,5 \text{ cm}$	7-4
$P_5/\gamma = -82,0 \text{ cm}$	7-5
$P_6/\gamma = 23,0 \text{ cm}$	7-6

Bu debi değerinde memba giriş elemanı üzerinde su seviyesi, piyezometre okumaları ve üçgen savakta okunan değer kararlıdır. Sistem sifonik olarak çalışmaktadır. Şekil 4.31’de giriş elemanı ve hat çıkışındaki akım görülmektedir.



Şekil 4.31 Giriş elemanı ve hat çıkışında gözlenen kararlı akım.

#### 4.3.8 Deney No: 8

$Q = 7,47 \text{ l/s}$	Video Kayıtları
$y_A = 5,0 \text{ cm}$	8-1
$P_2/\gamma = -58,5 \text{ cm}$	8-2
$P_3/\gamma = -75,7 \text{ cm}$	8-3
$P_4/\gamma = -119,5 \text{ cm}$	8-4
$P_5/\gamma = -87,0 \text{ cm}$	8-5
$P_6/\gamma = 27,0 \text{ cm}$	

Gözlemler Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32 Giriş elemanı ve hat çıkışında gözlenen kararlı akım.

#### 4.3.9 Deney No: 9

$Q = 8,32 \text{ l/s}$	Video Kayıtları
$y_A = 6,5 \text{ cm}$	9-1
$P_2/\gamma = -50,9 \text{ cm}$	9-2
$P_3/\gamma = -73,9 \text{ cm}$	9-3
$P_4/\gamma = -122,9 \text{ cm}$	9-4
$P_5/\gamma = -85,0 \text{ cm}$	
$P_6/\gamma = 30,0 \text{ cm}$	

Gözlemler Şekil 4.33’te verilmiştir.



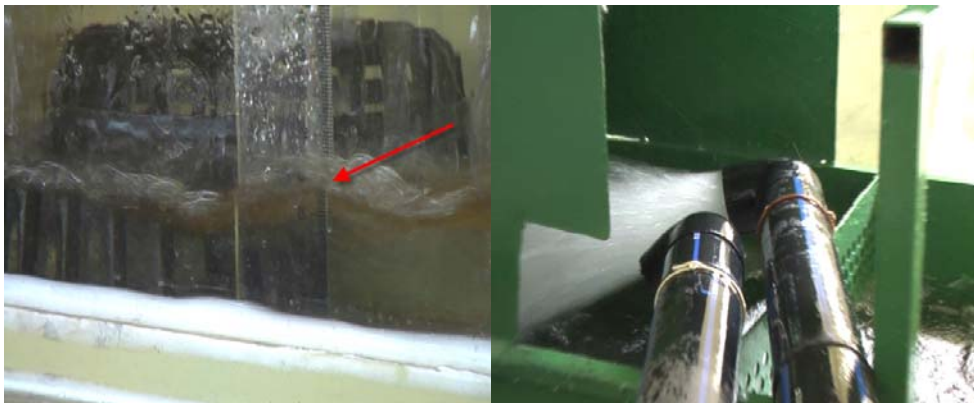


Şekil 4.33 Giriş elemanı ve hat çıkışında gözlenen kararlı akım.

#### 4.3.10 Deney No: 10

$Q = 8,68 \text{ l/s}$	Video Kayıtları
$y_A = 6,5 \text{ cm}$	10-1
$P_2/\gamma = -51,5 \text{ cm}$	10-2
$P_3/\gamma = -76,7 \text{ cm}$	10-3
$P_4/\gamma = -124,5 \text{ cm}$	10-4
$P_5/\gamma = -73,0 \text{ cm}$	
$P_6/\gamma = 38,0 \text{ cm}$	

Önceki gözlemlerde dikkat çeken piyezometre salınımları önemsenmeyecek düzeyde azalarak sifonik yağmur suyu sistemi hava karışmadan kararlı bir şekilde çalışmaktadır. (Şekil 4.34)



Şekil 4.34 Giriş elemanı ve hat çıkışında gözlenen kararlı akım.

#### 4.3.11 Deney No: 11

$Q = 8,86 \text{ l/s}$	Video Kayıtları
$y_A = 20,0 \text{ cm}$	11-1
$P_2/\gamma = -42,5 \text{ cm}$	11-2
$P_3/\gamma = -67,7 \text{ cm}$	11-3
$P_4/\gamma = -118,5 \text{ cm}$	11-4
$P_5/\gamma = -73,0 \text{ cm}$	11-5
$P_6/\gamma = 45,0 \text{ cm}$	

Bir önceki deneyde kararlı akım şartları oluştuğunda giriş elemanı üzerinde 6,5 cm olarak ölçülen su seviyesi, debide meydana gelen çok küçük bir değişim sonucunda büyük oranda artarak 20 cm'ye ulaşmıştır. Şekil 4.35'te giriş elemanı üzerindeki su derinliği görülmektedir. Şekil 4.36'da hat çıkışında sifonik akışın etkisi gözlenmektedir. Piyezometre okumaları da kararlı bir şekilde gözlenmiştir.



Şekil 4.35 Giriş elemanı üzerinde gözlenen kararlı akım.





Şekil 4.36 Hat çıkışında gözlenen kararlı akım.

### 4.3.12 Sonuç Özet Tablosu

Farklı debilerde memba giriş elemanı üzerindeki su yüksekliği ve hat üzerindeki piyezometre okumalarının piyezometre sıfırları çıkarılarak hesaplanan  $P/\gamma$  değerleri Tablo 4.2’de görülmektedir. Tabloyu değerlendirme kolaylığı açısından tablo artan debi değerlerine göre hazırlanmıştır.

Tablo 4.2 I numaralı hat üzerindeki noktaların piyezometre okumaları.

Deney No	Q l/s	$y_A$ cm	$\frac{P_2}{\gamma}$	$\frac{P_3}{\gamma}$	$\frac{P_4}{\gamma}$	$\frac{P_5}{\gamma}$	$\frac{P_6}{\gamma}$	Q l/s	$y_A$ cm	$\frac{P_2}{\gamma}$	$\frac{P_3}{\gamma}$	$\frac{P_4}{\gamma}$	$\frac{P_5}{\gamma}$	$\frac{P_6}{\gamma}$
			cm	cm	cm	cm	cm			cm	cm	cm	cm	cm
Klasik Kararsız Akım								Sifonik Kararsız Akım						
1	2,42	2,1	-3,5	-22,7	-17,5	22	0	4	3,0	-34,5	-40,7	-49,5	0	10
2	3,05	2,8	-1,5	-2,7	-7,5	14	0	4,35	3,0	-46,5	-58,7	-67,5	-23	45
3	3,77	3,5	1,5	10,3	-17,5	14	0	5,64	4,0	-62	-68,7	-103,5	-85	53
4	4,23	3,7	-0,5	-5,7	-15,5	14	0	5,64	4,5	-75,5	-77,7	-114,5	-92	22
								Sifonik Kararlı Akım						
5								5,92	4,0	-64	-71,7	-103,5	-60	9
6								6,52	4,5	-67,5	-75,7	-108,5	-73	20
7								6,98	4,7	-65,5	-78,2	-115,5	-82	23
8								7,47	5,0	-58,5	-75,7	-119,5	-87	27
9								8,32	6,5	-50,9	-73,9	-122,9	-85	30
10								8,68	6,5	-51,5	-76,7	-124,5	-73,3	38
11								8,86	20	-42,5	-67,7	-118,5	-73	45

#### 4.4 Mansap ve Memba Giriş Elemanı Birlikte Çalıştırılarak Yapılan Deneyler

Önceki deneylerde giriş elemanları birbirinden bağımsız olarak sisteme bağlanmıştır. Pratikte aynı çatı oluşu üzerinde birden fazla giriş elemanı bulunacağı düşünülerek, kanalın mansap ve membasında bulunan giriş elemanları aynı anda sisteme bağlanarak gözlemler yapılmıştır.

Başlangıç olarak vana sonuna kadar açılmıştır. Ancak üçgen savak haznesinin yetersiz kalması nedeniyle debi azaltılmak zorunda kalınmıştır. Sistemin yaklaşık 25 l/s debiyi sifonik olarak tahliye ettiği kanalda yaklaşık 20 cm su seviyesinin sabit olarak kaldığı gözlenmiştir.

##### 4.4.1 Deney No: 1

$$Q = 20,13 \text{ l/s}$$

$$y_A = 10 \text{ cm}$$

$$y_B = 8 \text{ cm} \rightarrow 1 \text{ cm}$$

Memba giriş elemanı üzerinde sabit 10 cm mertebesinde su yüksekliği bulunmakta ve vorteks oluşturmadan sistem çalışmaktadır. (Şekil 4.37.) Mansap giriş elemanı üzerinde su yüksekliği sabit olmayıp hemen öncesinde 8 cm ölçülmekte ekseninde ise su derinliği 4 cm olarak gözlenmektedir. Giriş elemanı sonrasında su derinliği ölçülemeyecek kadar azdır. (Şekil 4.38)



Şekil 4.37  $Q = 20.13$  l/s memba giriş elemanı  $y_A = 10$  cm.



Şekil 4.38  $Q = 20.13$  l/s mansap giriş elemanı  $y_B = 8$  cm.

$Q = 20,13$  l/s değerini tahliye eden I ve II numaralı hatların üçgen savak haznesine etkisi aşağıda görülmektedir. (Şekil 4.39)



Şekil 4.39  $Q = 20,13$  l/s üçgen savak haznesi.

#### **4.4.2 Deney No: 2**

$$Q = 17,82 \text{ l/s}$$

$$y_A = 7 \text{ cm}$$

$$y_B = 4 \text{ cm} \rightarrow 0 \text{ cm}$$

Su seviyesi sisteme hava girmesini engelleyecek düzeyde ancak zaman zaman mansap giriş elemanı üzerinde vorteks oluşmakta ve sistemde hava – su karışımı bulunmaktadır. (Şekil 4.40 ve Şekil 4.41)





Şekil 4.40  $Q = 17,82$  l/s memba giriş elemanı  $y_A = 7$  cm.



Şekil 4.41  $Q = 17,82$  l/s mansap giriş elemanı  $y_B = 4$  cm.

#### 4.4.3 Deney No: 3

$$Q = 16,19 \text{ l/s}$$

$$y_A = 6 \text{ cm}$$

$$y_B = 4 \text{ cm} \rightarrow 0 \text{ cm}$$

Gözlemler Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te verilmiştir.



Şekil 4.42  $Q = 16,19 \text{ l/s}$  memba giriş elemanı  $y_A = 6 \text{ cm}$ .



Şekil 4.43  $Q = 16,19 \text{ l/s}$  mansap giriş elemanı  $y_B = 4 \text{ cm}$ .



#### 4.4.4 Deney No: 4

$$Q = 14,91 \text{ l/s}$$

$$y_A = 5,5 \text{ cm}$$

$$y_B = 3,5 \text{ cm} \rightarrow 0 \text{ cm}$$

Gözlemler Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'te verilmiştir.



Şekil 4.44 Q = 14,91 l/s memba giriş elemanı  $y_A = 5,5$  cm.



Şekil 4.45 Q = 14,91 l/s mansap giriş elemanı  $y_B = 3,5$  cm.

#### 4.4.5 Deney No: 5

$Q = 13,69 \text{ l/s}$ ,  $12,09 \text{ l/s}$ ,  $10,60 \text{ l/s}$ ,  $9,81 \text{ l/s}$  debilerinde tekrarlanan deneylerde akım derinliklerinin değişmediği gözlemlenmiş olup bu durumun daha kapsamlı deneylerle kontrol edilip araştırılması uygun olacaktır. (Şekil 4.46 ve Şekil 4.47)

$$y_A = 4,5 \text{ cm}$$

$$y_B = 3,5 \text{ cm}$$



Şekil 4.46 Memba giriş elemanı  $y_A = 4,5 \text{ cm}$ .



Şekil 4.47 Mansap giriş elemanı  $y_B = 3,5 \text{ cm}$ .

#### 4.4.6 Deney No: 6

$$Q = 7,64 \text{ l/s} \quad \rightarrow \quad 10,60 \text{ l/s}$$

$$y_A = 3,5 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 5 \text{ cm}$$

$$y_B = 3,5 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 4 \text{ cm}$$

Debi, vana kapatılarak azaltılmaya devam edildiğinde sistemin kararsız olmaya başladığı gözlemlendi. Giriş elemanları üzerinde su seviyesi kısa bir süre yükselip sisteme hava girişi kesildiğinde sifon etkisinin başladığı ancak kısa bir süre sonra yine klasik sistem gibi hava – su karışımı ile akışa döndüğü gözlemlenmiştir. Bu süre yaklaşık 10 – 12 saniye mertebesindedir. Bu debi değerinden daha küçük değerlerde ise sistem klasik yağmur suyu toplama sistemi gibi çalışmaya başlamaktadır. Klasik sistem gibi çalışma esnasında üçgen savaktan geçen debi 7,64 l/s (Şekil 4.48) iken sifon etkisi başladığında 10,60 l/s (Şekil 4.49) değerine ulaşmaktadır. Yaklaşık %50 civarında kapasite artışı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.48  $Q = 7,64 \text{ l/s}$  klasik sistem.



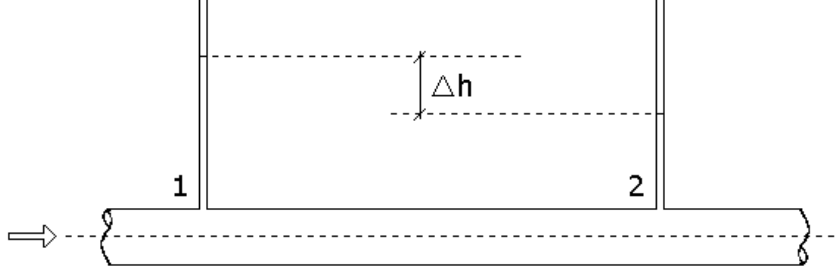


Şekil 4.49  $Q = 10,60$  l/s sifonik sistem.

## BÖLÜM BEŞ

### BORU VE BAĞLANTI ELEMANLARINDA OLUŞAN ENERJİ KAYIPLARI

#### 5.1 Sürekli Kayıplar



Şekil 5.1 L uzunluklu ve sabit D çaplı borudaki enerji kaybı.

Şekil 5.1’de verilen L uzunluklu ve sabit D çaplı bir boruda akışkanın viskozitesi ve akımın türbülans özelliği nedeniyle oluşan kayıplar;

$$h_k = \lambda \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g} L \quad (5.1)$$

şeklinde yazılan Darcy – Weisbach formülü ile ifade edilebilmekte olup burada V kesitsel ortalama hız, g yerçekimi ivmesi ve  $\lambda$  sürtünme katsayısıdır.

Re sayısı ve göreceli pürüzlülüğün  $k/D$  (k cidar pürüzlülük yüksekliği) fonksiyonu olarak değişen  $\lambda$  sürtünme katsayısı uygulamada Moody diyagramından veya ilgili bağıntılardan hesaplanabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında  $\lambda$  sürtünme katsayısının laboratuarda doğrudan ölçümle belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 5.2 Yersel Kayıplar

Dirsek, vana, genişleme, daralma vb. bağlantı elemanlarında, geometrisi nedeniyle oluşan çevrintilerin neden olduğu ölü bölgeler oluşmakta, çevrintilerin oluşturduğu sürtünme vs. nedenleriyle oluşan yersel enerji kayıpları geleneksel olarak,

$$h_{ky} = K \frac{V^2}{2g} \quad (5.2)$$

şeklinde yazılmakta olup, K yersel kayıp katsayısı olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada K yersel kayıp katsayılarının deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 5.3 Deneysel Bulgular

Laboratuarda mevcut 6 metre yüksekliğe yerleştirilmiş 2m x 2m x 2m boyutlarındaki hazneye özel bağlantı elemanı ile 63 mm anma çapında 3 mm et kalınlığı olan boru bağlanmıştır (Şekil 5.2). Hazneden üçgen savak haznesine düşey olarak inen bu boru ucuna ölçümlerin yapıldığı AB borusu monte edilmiştir (Şekil 5.3). AB borusu üzerindeki 1 ve 2 no'lu ölçüm noktaları arasında düşey dirsek, 3 ve 4 no'lu ölçüm noktaları arasında ise yatay dirsek yer almaktadır.

Enerji kayıplarını ölçmek için oluşturulan deney düzeneği şematik olarak Şekil 5.4'te verilmektedir. Sonuçlar Tablo 5.1'de verilmektedir. Ayrıca Bölüm 4'te elde edilen deney sonuçları kullanılarak giriş elemanlarında oluşan yersel kayıplar ve kayıp katsayıları hesaplanmıştır.

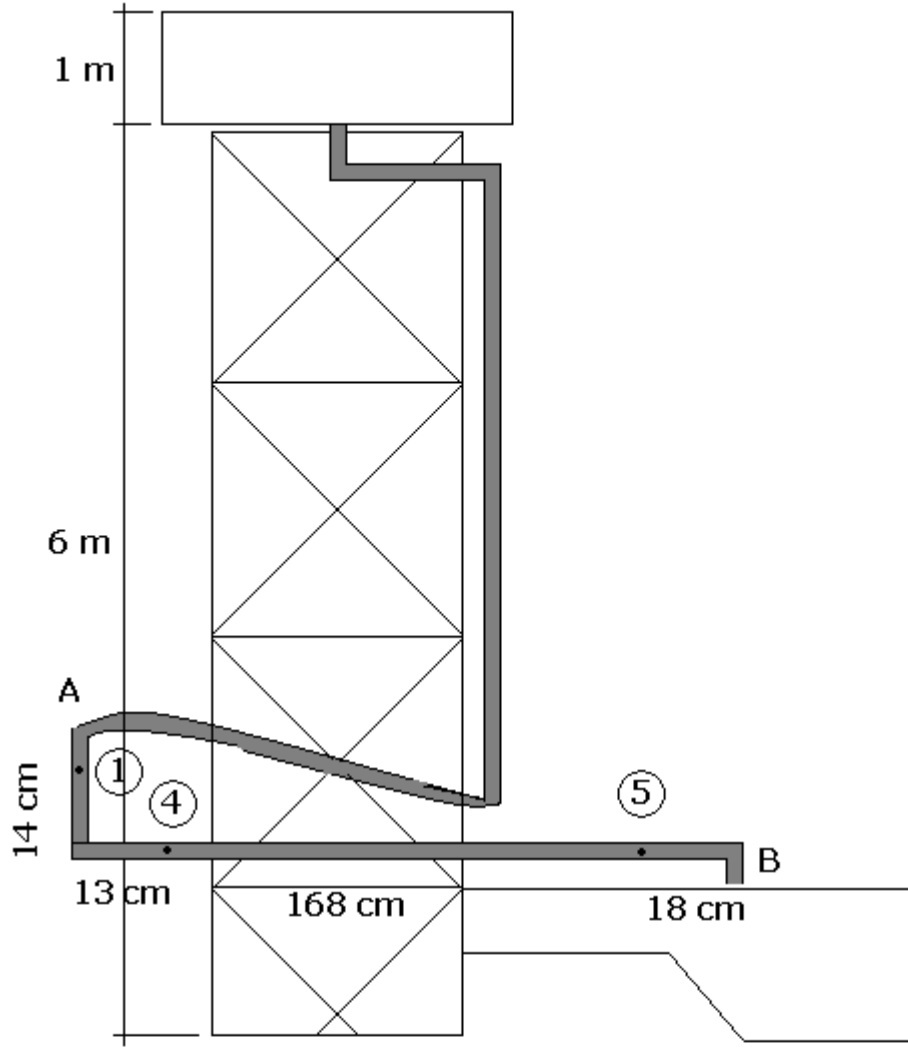




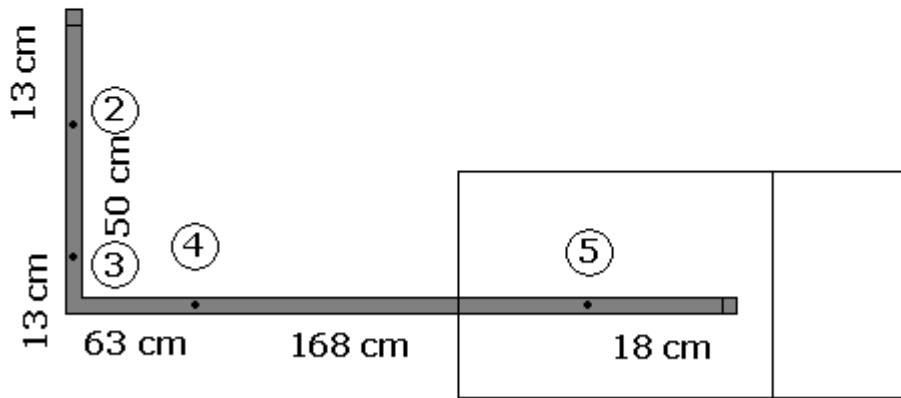
Şekil 5.2 Mevcut deney düzeneği.



Şekil 5.3 Kayıp katsayılarını belirlemek üzere oluşturulan deney düzeneği.



Karşıdan görünüm



Üstten görünüm

Şekil 5.4 Kayıp katsayılarını belirlemek üzere oluşturulan deney düzeneği.

Tablo 5.1 Ölçüm sonuçları.

Q	V	$\frac{V^2}{2g}$	$\frac{P_1}{\gamma} + z_1$	$\frac{P_2}{\gamma} + z_2$	$\frac{P_3}{\gamma} + z_3$	$\frac{P_4}{\gamma} + z_4$	$\frac{P_5}{\gamma} + z_5$
l/s	m/s	cm	cm	cm	cm	cm	cm
4,47	1,75	15,64	123	92	89	53	43
4,71	1,85	17,36	130	97	94	57	46
4,84	1,90	18,34	138	102	99	59	49
4,97	1,95	19,33	142	105	102	61	50
5,10	2,00	20,36	147	109	106	63	52
5,23	2,05	21,41	150	112	109	66	54
5,37	2,10	22,57	152	114	111	66	55

### 5.3.1 Sürtünme Katsayısı $\lambda$

2 – 3 ve 4 – 5 numaralı noktalar arasındaki sürekli kayıpların ve kayıp katsayısının belirlenmesi için bu noktalar arasında yazılan enerji denklemi kullanılabilir. Örneğin 2 ve 3 numaralı noktalar arasındaki ifade şöyledir.

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + z_3 + h_{k2-3} \quad (5.3)$$

$V_2 = V_3$  ve  $z_2 = z_3$  olduğundan 2 ve 3 numaralı noktalar arasındaki enerji kaybı piyezometre okumalarından elde edilen basınç yükseklikleri kullanılarak,

$$h_{k2-3} = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{P_3}{\gamma} \quad (5.4)$$

hesaplanabilir. İki nokta arasındaki kayıp ifadesi Darcy-Weisbach formülünden,

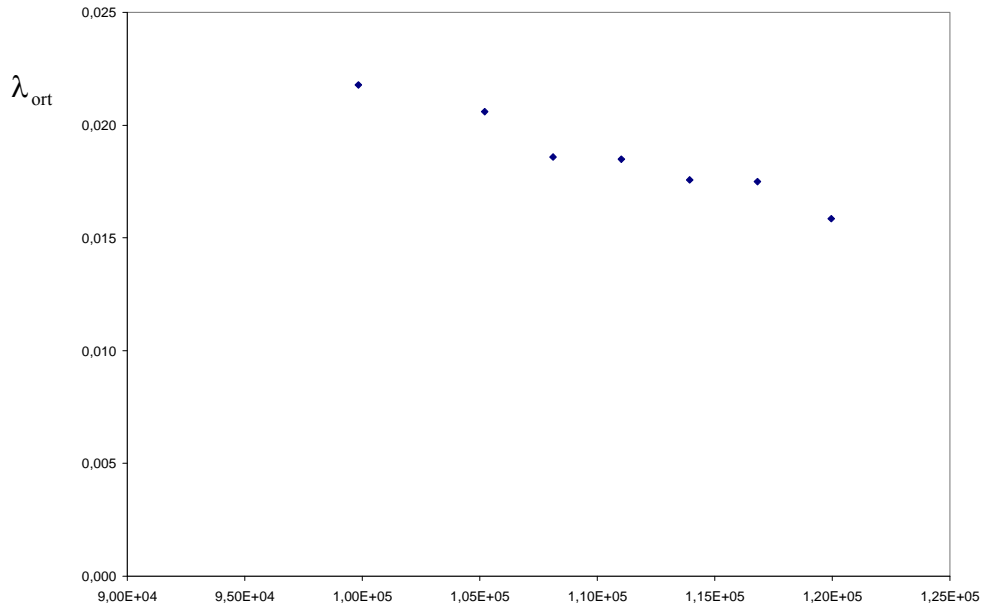
$$h_{k2-3} = \lambda \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g} L_{2-3} \quad (5.5)$$

$\lambda$  sürtünme katsayısı Denklem 5.4 ve Denklem 5.5 birlikte çözülerek hesaplanabilir. Hesaplanan sürtünme katsayısı değerleri Tablo 5.2'e verilmektedir.

Tablo 5.2 Sürekli enerji kayıpları ve sürtünme katsayısı

Q	V	$\frac{V^2}{2g}$	Re	$h_{k2-3}$	$\lambda_{2-3}$	$h_{k4-5}$	$\lambda_{4-5}$	$\lambda_{ort}$
l/s	m/s	cm		cm		cm		
4,47	1,75	15,64	9,98E+04	3	0,022	10	0,022	0,022
4,71	1,85	17,36	1,05E+05	3	0,020	11	0,021	0,021
4,84	1,90	18,34	1,08E+05	3	0,019	10	0,019	0,019
4,97	1,95	19,33	1,11E+05	3	0,018	11	0,019	0,018
5,10	2,00	20,36	1,14E+05	3	0,017	11	0,018	0,018
5,23	2,05	21,41	1,17E+05	3	0,016	12	0,019	0,017
5,37	2,10	22,57	1,20E+05	3	0,015	11	0,017	0,016

Tablo 5.2’de hesaplanan  $\lambda$  sürtünme katsayısının Reynolds Sayısına bağlı olarak değişimi Şekil 5.5’te verilmiştir.

Şekil 5.5 Sürtünme katsayısının ( $\lambda_{ort}$ ) Reynolds Sayısı (Re) ile değişimi.

Re

Ek-2’de verilen Moody diyagramı göz önüne alındığında hidrolik cilalı cidar kabulü yapılırsa deneysel gözlemlerin yapıldığı aralıkta Re sayısının  $4 \times 10^4$  ile  $1,2 \times 10^5$  değerleri arasında,  $\lambda$  sürtünme katsayısının yaklaşık olarak 0,018 ile 0,019 değerleri arasında değiştiği görülmektedir.

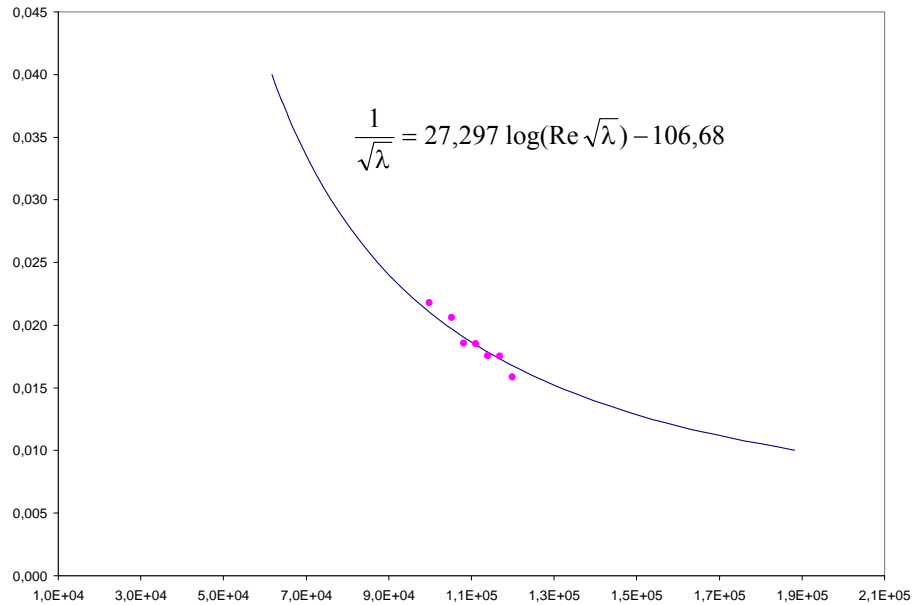
Diğer taraftan HPDE borularda pürüzlülük yüksekliğinin 0,007 mm ile 0,5 mm arasında değiştiği hesaba katılarak Moody diyagramındaki geçiş hali cidarı durumunda  $\lambda$  sürtünme katsayısının 0,012 ile 0,038 arasında değiştiği görülmektedir. Ölçülen değerlerin biraz farklı olmasıyla beraber merteye farkının küçük olduğu düşünülerek hidrolik cilalı cidar için verilen bağıntıya benzer bir ampirik ifadeye regresyon yolu ile ulaşılmaya çalışılmıştır.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = A \log(\text{Re} \sqrt{\lambda}) + B$$

Şeklinde ifade edilen bağıntıya uygun olan katsayılar regresyon analiziyle bulunduğu denklem şu şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 27,297 \log(\text{Re} \sqrt{\lambda}) - 106,68$$

Re sayısı ile  $\lambda$  sürtünme katsayısının değişimi bu analitik ifade ile grafik olarak Şekil 5.6'da verilmektedir. Aynı şekil üzerinde ölçülen değerler de noktasal olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.6  $\lambda$  sürtünme katsayısı için elde edilen ampirik bağıntı ve ölçülen değerler.

### 5.3.2 Dirseklerde Oluşan Yersel Kayıplar

1 – 2 ve 3 – 4 numaralı noktalar arasındaki dirseklerde oluşan yersel enerji kayıpları ve kayıp katsayılarının belirlenmesi için bu noktalar arasında yazılan enerji denklemini kullanılabilmekte olup, örneğin 1 ve 2 numaralı noktalar arasındaki ifade şöyledir.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{ky1-2} \quad (5.6)$$

$V_1 = V_2$  ve  $z_1 - z_2 = 14$  cm olduğu göz önüne alınarak enerji kaybı piyezometre okumalarından elde edilen basınç yükseklikleri kullanılarak,

$$h_{ky1-2} = \left( \frac{P_1}{\gamma} + z_1 \right) - \left( \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \right) \quad (5.7)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Yersel enerji kayıpları  $V^2/2g$  değerinin fonksiyonu olarak aşağıdaki formda ifade edilmektedir.

$$h_{ky1-2} = K_{dd} \frac{V^2}{2g} \quad (5.8)$$

Denklem 5.7 ve Denklem 5.8 birlikte çözülerek bulunan yersel kayıp katsayısı K değerleri Tablo 5.3'te verilmektedir.





$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{kyA-2} \quad (5.9)$$

$P_A = P_{atm} = 0$ ,  $V_A \cong 0$ ,  $z_1 - z_2 = 25$  cm ve  $z_A = z_1 + y_A$  olduğu kabul edilerek ve 2 numaralı noktada yapılan piyezometre okuması  $P_2/\gamma + z_2$  olarak formülde kullanıldığında A ve 2 numaralı noktalar arasındaki enerji kaybı Denklem 5.10'da olduğu gibi yazılabilmektedir.

$$h_{kyA-2} = z_A - \left( \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \right) \quad (5.10)$$

Yersel enerji kayıpları  $V^2/2g$  değerinin fonksiyonu olarak Denklem 5.11'de ifade edilmektedir.

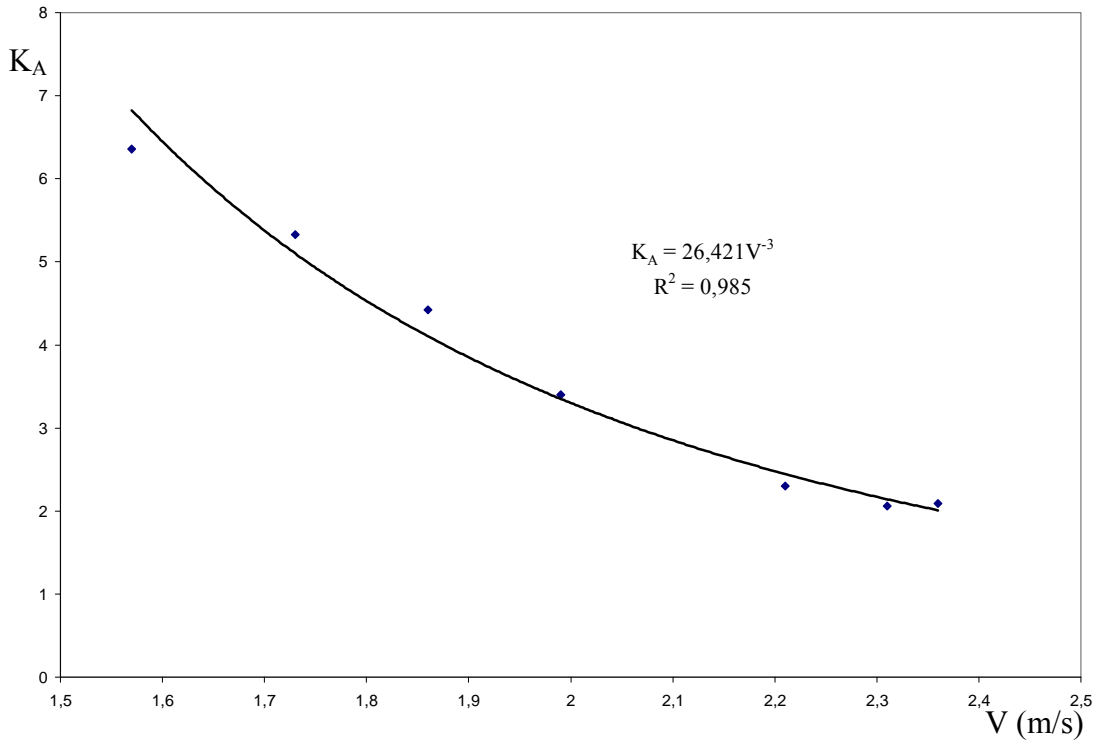
$$h_{kyA-2} = K_A \frac{V^2}{2g} \quad (5.11)$$

Denklem 5.10 ve Denklem 5.11 birlikte çözülerek bulunan yersel kayıp katsayısı K değerleri Tablo 5.4'te, kesitsel ortalama hıza bağlı olarak değişimi ise Şekil 5.8'de verilmektedir. Regresyon analizi sonucunda elde edilen analitik bağıntı ve eğrisi şekil üzerinde verilmektedir.

Benzer yaklaşımla B ve 7 noktaları arasında yazılan enerji denkleminde gerekli sayısal uygulamalar yapıldığında giriş elemanına ait  $K_B$  yersel enerji kayıp katsayısı hesaplanabilmektedir. Hesaplanan katsayılar Tablo 5.5'te, kesitsel ortalama hıza bağlı olarak değişimi ise Şekil 5.9'da verilmektedir.

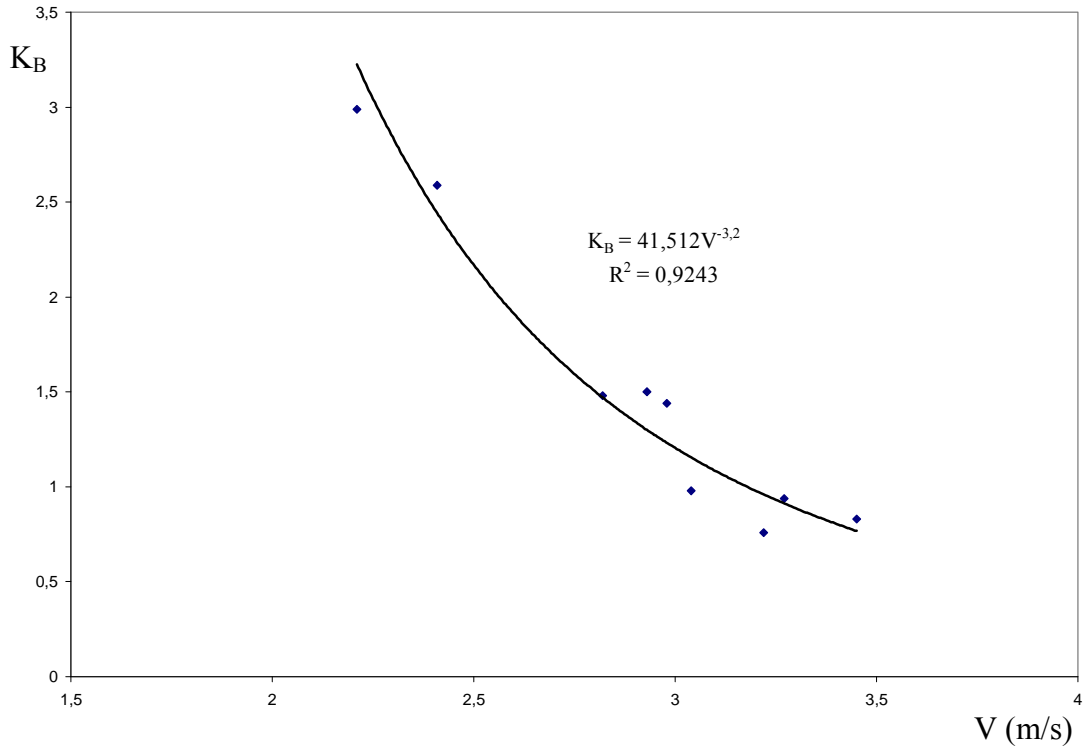
Tablo 5.4 I nolu hat girişinde hesaplanan yersel kayıplar.

Q	V <sub>2</sub>	y <sub>A</sub>	$\frac{P_2}{\gamma}$	$\frac{V_2^2}{2g}$	h <sub>kyA-2</sub>	K <sub>A</sub>
l/s	m/s	cm	cm	cm	cm	
5,92	1,57	4,0	-64	12,63	80,37	6,36
6,52	1,73	4,5	-67,5	15,32	81,68	5,33
6,98	1,86	4,7	-65,5	17,56	77,64	4,42
7,47	1,99	5,0	-58,5	20,11	68,39	3,40
8,32	2,21	6,5	-50,9	24,94	57,46	2,30
8,68	2,31	6,5	-51,5	27,15	55,85	2,06
8,86	2,36	20,0	-42,5	28,29	59,21	2,09

Şekil 5.8 Yersel kayıp katsayısının (K<sub>A</sub>) hıza (V) bağlı olarak değişimi.

Tablo 5.5 II nolu hat girişinde hesaplanan yersel kayıplar.

Q	V <sub>7</sub>	y <sub>B</sub>	$\frac{P_7}{\gamma}$	$\frac{V_7^2}{2g}$	h <sub>kyB-7</sub>	K <sub>B</sub>
l/s	m/s	cm	cm	cm	cm	
8,32	2,21	3,5	-52	24,94	74,56	2,99
9,05	2,41	4,0	-58	29,51	76,49	2,59
10,60	2,82	4,5	-52	40,49	60,01	1,48
11,01	2,93	6,0	-59	43,68	65,32	1,50
11,20	2,98	4,5	-62	45,20	65,30	1,44
11,87	3,16	5,5	-64	50,77	62,73	1,24
12,09	3,22	4,5	-44	52,67	39,83	0,76
12,30	3,27	4,5	-57	54,51	50,99	0,94
12,76	3,39	4,5	-37	58,67	26,83	0,46
12,99	3,45	23,0	-44	60,80	50,20	0,83

Şekil 5.9 Yersel kayıp katsayısının (K<sub>B</sub>) hıza (V) bağlı olarak değişimi.



denklem ile  $P_6/\gamma$  hesaplanmıştır. Tüm hesaplarda 5. Bölümde deneysel olarak belirlenen sürekli ve yersel kayıp katsayı değerleri göz önüne alınmıştır.

### 6.1.1 2 numaralı noktadaki basınç yüksekliği

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + z_A = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_{kyA-2}$$

$$P_A = P_{atm} = 0, V_A \cong 0 \text{ ve } z_A = z_1 + y_A$$

$$h_{kyA-2} = K_A \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = z_A - \left( \frac{V_2^2}{2g} + z_1 + y_A + K_A \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

### 6.1.2 3 numaralı noktadaki basınç yüksekliği

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + z_3 + h_{kyd1}$$

$$V_2 = V_3 = V$$

$$h_{kyd1} = K_{dd} \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{P_3}{\gamma} = \left( \frac{P_2}{\gamma} + z_2 \right) - \left( z_3 + K_{dd} \frac{V^2}{2g} \right)$$

### 6.1.3 4 numaralı noktadaki basınç yüksekliği

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + z_3 = \frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} + z_4 + h_{k3-4}$$

$$V_3 = V_4$$

$$h_{k3-4} = \frac{\lambda}{D} \frac{V_3^2}{2g} L_{3-4}$$



$$\frac{P_4}{\gamma} = \left( \frac{P_3}{\gamma} + z_3 \right) - \left( z_4 + \frac{\lambda}{D} \frac{V_3^2}{2g} L_{3-4} \right)$$

#### 6.1.4 5 numaralı noktadaki basınç yüksekliği

$$\frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} + z_4 = \frac{P_5}{\gamma} + \frac{V_5^2}{2g} + z_5 + h_{kyd2}$$

$$V_4 = V_5 = V$$

$$h_{kyd2} = K_{dd} \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{P_5}{\gamma} = \left( \frac{P_4}{\gamma} + z_4 \right) - \left( z_5 + K_{dd} \frac{V^2}{2g} \right)$$

#### 6.1.5 6 numaralı noktadaki basınç yüksekliği

$$\frac{P_5}{\gamma} + \frac{V_5^2}{2g} + z_5 = \frac{P_6}{\gamma} + \frac{V_6^2}{2g} + z_6 + h_{k5-6}$$

$$V_5 = V_6$$

$$h_{k5-6} = \frac{\lambda}{D} \frac{V_6^2}{2g} L_{5-6}$$

$$\frac{P_6}{\gamma} = \left( \frac{P_5}{\gamma} + z_5 \right) - (z_6 + h_{k5-6})$$

#### 6.1.6 Boru çıkışı C noktasındaki basınç yüksekliği

$$\frac{P_6}{\gamma} + \frac{V_6^2}{2g} + z_6 = \frac{P_C}{\gamma} + \frac{V_C^2}{2g} + z_C + h_{kyd3} + h_{kyd4} + h_{d3-d4}$$

$$V_6 = V_B = V$$

$$h_{kyd3} = K_{dd} \frac{V^2}{2g} \text{ ve } h_{kyd4} = K_{dd} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{kd3-d4} = \frac{\lambda V^2}{D 2g} L_{d3-d4}$$

$$\frac{P_C}{\gamma} = \left( \frac{P_6}{\gamma} + z_6 \right) - \left( \frac{V_C^2}{2g} + z_C + 2K_{dd} \frac{V^2}{2g} + \frac{\lambda V^2}{D 2g} L_{d3-d4} \right)$$

### 6.1.7 Sonuç Özet Tablosu

Deneyler esnasında I numaralı hat üzerindeki noktalarda ölçülen basınç yükseklikleri ile 5. Bölümde belirlenen  $\lambda$  sürtünme katsayıları Tablo 6.1'de verilmiştir.  $\lambda$  sürtünme katsayıları ve K yersel kayıp katsayıları kullanılarak elde edilen teorik basınç yükseklikleri Tablo 6.2'de verilmektedir.

Tablo 6.1 I numaralı hattın Re sayıları ve  $\lambda$  sürtünme katsayıları.

Q	V	$\frac{V^2}{2g}$	$y_A$	Re	$\lambda$
l/s	m/s	cm	cm		
4	1,06	5,77	3,0	$7,3 \times 10^4$	0,031
4,35	1,16	6,82	3,0	$8,0 \times 10^4$	0,028
5,64	1,50	11,46	4,0	$1,0 \times 10^5$	0,02
5,64	1,50	11,46	4,5	$1,0 \times 10^5$	0,02
5,92	1,57	12,63	4,0	$1,1 \times 10^5$	0,019
6,52	1,73	15,32	4,5	$1,2 \times 10^5$	0,016
6,98	1,86	17,56	4,7	$1,3 \times 10^5$	0,015
7,47	1,99	20,11	5,0	$1,4 \times 10^5$	0,014
8,32	2,21	24,94	6,5	$1,5 \times 10^5$	0,013
8,68	2,31	27,15	6,5	$1,6 \times 10^5$	0,012
8,86	2,36	28,29	20	$1,6 \times 10^5$	0,012

Tablo 6.2 I numaralı hatta ait noktalarda ölçülen ve hesaplanan basınç yükseklikleri.

$\frac{P_2}{\gamma}$		$\frac{P_3}{\gamma}$		$\frac{P_4}{\gamma}$		$\frac{P_5}{\gamma}$		$\frac{P_6}{\gamma}$		$\frac{P_C}{\gamma}$	
cm		cm		cm		cm		cm		cm	
teorik	ölçüm	teorik	ölçüm	teorik	ölçüm	teorik	ölçüm	teorik	ölçüm	teorik	ölçüm
-34,5	-34,5	-38	-40,7	-57	-49,5	-58	0	137	10	197	0
-46,5	-46,5	-52	-58,7	-72	-67,5	-76	-23	119	45	175	0
-62,0	-62,0	-77	-68,7	-101	-103,5	-114	-85	79	53	116	0
-75,5	-75,5	-90	-77,7	-115	-114,5	-128	-92	66	22	102	0
-64,0	-64,0	-81	-71,7	-107	-103,5	-122	-60	71	9	102	0
-67,5	-67,5	-90	-75,7	-116	-108,5	-137	-73	56	20	76	0
-65,5	-65,5	-93	-78,2	-121	-115,5	-146	-82	46	23	57	0
-58,5	-58,5	-91	-75,7	-121	-119,5	-151	-87	40	27	41	0
-50,9	-50,9	-93	-73,9	-128	-122,9	-168	-85	22	30	2	0
-51,5	-51,5	-98	-76,7	-133	-124,5	-178	-73,3	13	38	-16	0
-42,5	-42,5	-91	-67,7	-128	-118,5	-175	-73	15	45	-19	0



$$V_7 = V_8 = V$$

$$h_{7-8} = \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g} L_{7-8}$$

$$\frac{P_8}{\gamma} = \left( \frac{P_7}{\gamma} + z_7 \right) - \left( z_8 + \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g} L_{7-8} \right)$$

### 6.2.3 Boru çıkışı C noktasındaki basınç yüksekliği

$$\frac{P_8}{\gamma} + \frac{V_8^2}{2g} + z_8 = \frac{P_C}{\gamma} + \frac{V_C^2}{2g} + z_C + h_{kyd5} + h_{kyd6} + h_{kd5-d6}$$

$$P_C = P_{atm} = 0 \text{ ve } V_8 = V_C = V$$

$$h_{kyd5} = K_{dd} \frac{V^2}{2g} \text{ ve } h_{kyd6} = K_{dd} \frac{V^2}{2g}$$

$$h_{kd5-d6} = \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g} L_{d5-d6}$$

$$\frac{P_C}{\gamma} = \left( \frac{P_8}{\gamma} + z_8 \right) - \left( z_C + 2K_{dd} \frac{V^2}{2g} + \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g} L_{d5-d6} \right)$$

### 6.2.4 Sonuç Özet Tablosu

Deneyle esnasında II numaralı hat üzerindeki noktalarda ölçülen basınç yükseklikleri ile 5. Bölümde belirlenen  $\lambda$  sürtünme ve K yersel kayıp katsayıları kullanılarak elde edilen teorik basınç yükseklikleri Tablo 6.3'te verilmektedir.

Tablo 6.3 II numaralı hatta ait noktalarda ölçülen ve hesaplanan basınç yükseklikleri.

Q	V	$\frac{V^2}{2g}$	$y_B$	Re	$\lambda$	$\frac{P_7}{\gamma}$		$\frac{P_8}{\gamma}$		$\frac{P_C}{\gamma}$	
						cm		cm		cm	
l/s	m/s	cm	cm			teorik	ölçüm	teorik	ölçüm	teorik	ölçüm
8,32	2,21	24,94	3,5	$1,5 \times 10^5$	0,013	-52	-52	139	60	118	0
9,05	2,41	29,51	4,0	$1,7 \times 10^5$	0,011	-58	-58	133	76	94	0
10,60	2,82	40,49	4,5	$2,0 \times 10^5$	0,015	-52	-52	130	100	40	0
11,01	2,93	43,68	6,0	$2,0 \times 10^5$	0,015	-59	-59	122	115	17	0
11,44	3,04	47,16	4,5	$2,1 \times 10^5$	0,009	-45	-45	143	115	31	0
11,87	3,16	50,77	5,5	$2,2 \times 10^5$	0,009	-64	-64	123	131	-4	0
12,09	3,22	52,67	4,5	$2,2 \times 10^5$	0,009	-44	-44	142	125	7	0
12,30	3,27	54,51	4,5	$2,3 \times 10^5$	0,008	-57	-57	130	85	-11	0
12,76	3,39	58,67	4,5	$2,3 \times 10^5$	0,008	-37	-37	149	137	-10	0
12,99	3,45	60,80	23,0	$2,4 \times 10^5$	0,008	-44	-44	142	154	-26	0
13,20	3,51	62,78	30,0	$2,4 \times 10^5$	0,008	-45	-45	140	169	-36	0



## BÖLÜM YEDİ

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde tesis edilen özgün bir deney düzeneği ile sifonik akım sağlayan çatı yağmur suyu drenaj sistemlerinde oluşan akımlar deneysel olarak araştırılmıştır. Üzerinde çalışılan deney düzeneğinde iki farklı giriş elemanı, yağmur suyu oluşunu temsil eden dikdörtgen kesitli bir kanalın iki ucuna monte edilmiştir. Sifonik yağmur suyu toplama sistemi 75 mm dış çapındaki HPDE boru ile tasarlanmıştır ve detay parçalar bu çapa uygundur. Farklı iki güzergah üzerinde basınç ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Enerji kayıpları ile ilgili sürtünme katsayısı ve yersel kayıp katsayıları belirli debiler için ölçülmüş ve deneylerde oluşturulan debi değerlerini kapsayacak şekilde ekstrapolasyon yapılmıştır. Bu katsayılar kullanılarak yapılan teorik hesaplamalar ile bulunan basınç değerleri ölçülen basınç değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Farklı debiler için gözlenen akımlar fotoğraflarla beraber kısaca anlatılmıştır. Akımın klasik akım türünden sifonik akım türüne geçtiği debi değerleri belirlenmiştir.

Boruda oluşan sürekli kayıplar ve dirseklerde oluşan yersel kayıplar 63 mm çaplı HPDE boru ile hazırlanan deney düzeneğinde ölçülmüştür. Deney düzeneğinde dar bir hız aralığında çalışıldığından farklı akım türlerinde sonuçlar elde edilememiştir. Hesaplanan sürtünme katsayıları literatürde HPDE borular için verilen genel değerlerden biraz farklı olup deneyin yapıldığı boruya özgü değerler olarak göz önüne alınmalıdır. 90°'lik dirsekler için elde edilen değerler de literatürde rastlanan aralıklarda olup kullanılan boru için geçerli olmak üzere belirlenmiştir.

Sifonik akımın şeffaf borularla gözlemlenmesi, basınçlı akım olarak kabul edilen sistemin tam olarak anlaşılmasını ve özellikle düşük debilerde oluşan farklı akım türlerinin ayırt edilmesini sağlayacaktır.

Basınç yüksekliği ölçümlerinde gözle yapılan piyezometre okumaları yerine akım parametrelerini elektronik cihazlar kullanılması uygun olacaktır. Böylece enerji kayıpları ile ilgili katsayılar daha sağlıklı belirlenebilecektir.

Sürtünme katsayısı ve yerel kayıp katsayıları değerlerinin daha geniş bir debi aralığında ölçülmesini sağlayacak bir deney sistemi geliştirilmesi uygun olacaktır. Böylece ekstrapolasyon yapılmasına gerek kalmayacak ölçülen değerler hesap yapılarak daha güvenilir sonuçlar elde edilecektir.

Sonuç olarak mevcut laboratuvar imkanları ile yapılan deneylerde giriş elemanı ve devamında oluşturulan I ve II numaralı hatlar için sistemin çalışma aralığı belirlenmiştir. I numaralı hat için sistemin taşıyabileceği debi değeri 8,86 l/s, II numaralı hat için sistemin taşıyabileceği debi değeri 12,99 l/s'dir. Bu değerler benzer bir sistem için tasarım kriteri olarak kullanılabilir.

**KAYNAKLAR**

Bombar G. (2004). *Basamaklı dolusavaklar boyunca oluşan akımların teorik ve deneysel araştırılması*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Yöneten: Güney, M. Ş.).

Fullflow (2007). Fullflow siphonic drainage explained.  
<http://www.fullflow.com/pages/syphonic-explained/>

Gençgel, F. T. (2005). *Çatılardaki yağmur sularının negatif basınç sistemi ile drenajı ve hesaplama yöntemleri*. İstanbul: VI. Ulusal Tesisat Kongresi.

Güney, M. Ş. (2006). *Laboratuar uygulamalı hidrolik*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.

TSE (2005). *TS EN 1253-2 Süzgeçler - binalarda kullanılan Bölüm 2: Deney metotları*.

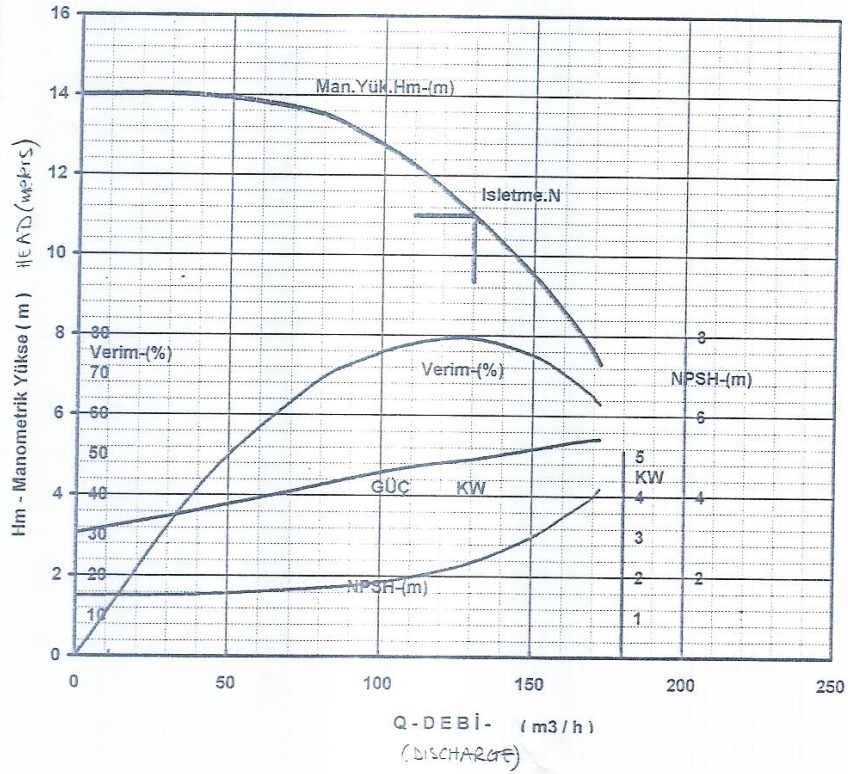
Ünsal, İ. (1978). *Değişken akımların hidroliği*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.

## EKLER

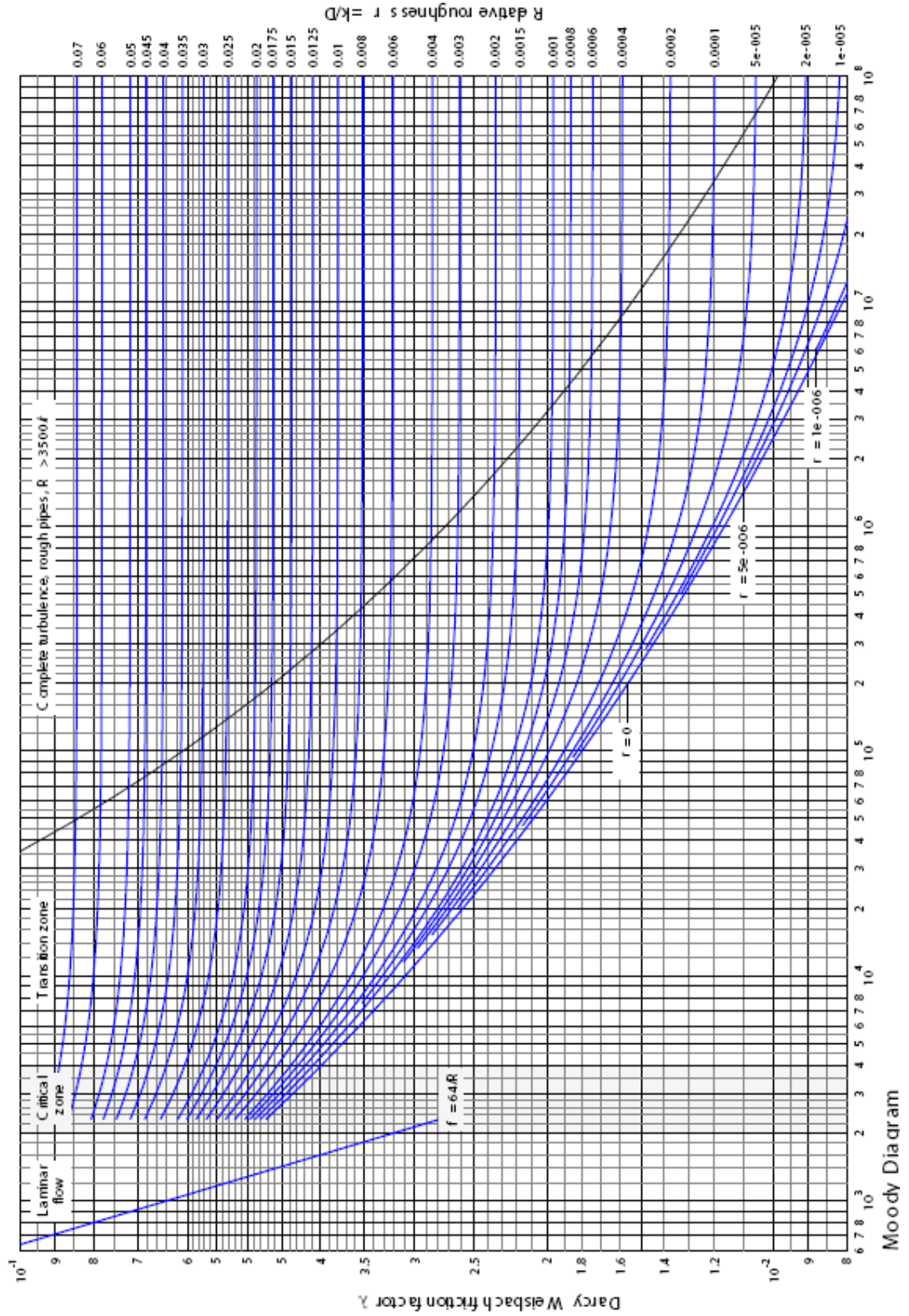
## EK-1: POMPA TEKNİK ÖZELLİKLERİ

<b>Standart</b> Pompa ve Makina San.Tic.A.Ş.		<b>SNK 100-200</b>	
POMPA TEKNİK ÖZELLİKLERİ		1450 d / d	
Sayın:		Tarih:	SNK 30.01.2004
Unite No:			
Pompa Tipi.....:	SNK 100-200	Debi.(Q).....:	130,0 m <sup>3</sup> /h
Emme Ağız Çapı...:	125 mm	Man.Yük.....:	11,0 m
Basma Ağız Çapı...:	100 mm	Pompa Verimi.....:	79,30 %
Çark Çapı.....:	210 mm	Eff.GUÇ.....:	4,91 KW
Devir Sayısı.....:	1450 d/d	Max.Eff.GUÇ.....:	5,43 KW
MOTOR Gücü.....:	5,5 KW	Hm.Max.(Q=0).....:	14,00 m
Pompanin Ağırlığı:	80 Kg	NPEYG.(NPSH)Rq:	2,35 m

## KARAKTERİSTİK EĞRİLER



## EK-2: MOODY DİYAGRAMI



Moody Diagram

**EK-3: I NUMARALI HATTA HESAPLANAN VE ÖLÇÜLEN  
PİEZOMETRE YÜKSEKLİKLERİ**

Q	V	$\frac{V^2}{2g}$	yA	Re	$\lambda$	$\frac{P_2 + Z_2}{\gamma}$		h <sub>emsek.</sub>	$\frac{P_3 + Z_3}{\gamma}$		L=8m	$\frac{P_4 + Z_4}{\gamma}$		h <sub>emsek.</sub>	$\frac{P_5 + Z_5}{\gamma}$		L=2m	$\frac{P_6 + Z_6}{\gamma}$		2xhd <sub>emsek.</sub> L=2m	$\frac{P_c + Z_c}{\gamma}$	
						em	ölçüm		em	ölçüm		em	ölçüm		em	ölçüm		em	ölçüm		em	ölçüm
4	1,06	5,77	3,0	$7,3 \times 10^4$	0,031	274,5	274,5	11,5	263	260	21	242	250	11	231	289	5	226	99	29	197	0
4,35	1,16	6,82	3,0	$8,0 \times 10^4$	0,028	262,5	262,5	13,6	249	242	22	227	232	14	213	266	5	208	134	33	175	0
5,64	1,50	11,46	4,0	$1,0 \times 10^5$	0,020	247	247	22,9	224	232	26	198	196	23	175	204		168	142	52	116	0
5,64	1,50	11,46	4,5	$1,0 \times 10^5$	0,020	233,5	233,5	22,9	211	223	27	184	185	23	161	197	6	155	111	53	102	0
5,92	1,57	12,63	4,0	$1,1 \times 10^5$	0,019	245	245	25,3	220	229	28	192	196	25	167	229	7	160	98	58	102	0
6,52	1,73	15,32	4,5	$1,2 \times 10^5$	0,016	241,5	241,5	30,6	211	225	28	183	191	31	152	216	7	145	109	69	76	0
6,98	1,86	17,56	4,7	$1,3 \times 10^5$	0,015	243,5	243,5	35,1	208	223	30	178	184	35	143	207	8	135	112	78	57	0
7,47	1,99	20,11	5,0	$1,4 \times 10^5$	0,014	250,5	250,5	40,2	210	225	32	178	180	40	138	202	9	129	116	88	41	0
8,32	2,21	24,94	6,5	$1,5 \times 10^5$	0,013	258,1	258,1	49,9	208	227	37	171	176	50	121	204	10	111	119	109	2	0
8,68	2,31	27,15	6,5	$1,6 \times 10^5$	0,012	257,5	257,5	54,3	203	224	37	166	175	55	111	216	9	102	127	118	-16	0
8,86	2,36	28,29	20	$1,6 \times 10^5$	0,012	266,5	266,5	56,6	210	233	39	171	181	57	114	216	10	104	134	123	-19	0

**EK-4: II NUMARALI HATTA HESAPLANAN VE ÖLÇÜLEN  
PİYEZOMETRE YÜKSEKLİKLERİ**

Q	v	$\frac{V^2}{2g}$	y <sub>B</sub>	Re	$\lambda$	$\frac{P_7 + z_7}{\gamma}$		L=2m	$\frac{P_8 + z_8}{\gamma}$		2xhdirekt L=2m	$\frac{P_c + z_c}{\gamma}$	
						teorik	ölçüm		teorik	ölçüm		teorik	ölçüm
8,32	2,21	24,94	3,5	1,5x10 <sup>5</sup>	0,013	237	237	9,4	228	149	109	118	0
9,05	2,41	29,51	4,0	1,7x10 <sup>5</sup>	0,011	231	231	9,4	222	165	128	94	0
10,60	2,82	40,49	4,5	2,0x10 <sup>5</sup>	0,015	237	237	17,6	219	189	179	40	0
11,01	2,93	43,68	6,0	2,0x10 <sup>5</sup>	0,015	230	230	18,9	211	204	194	17	0
11,44	3,04	47,16	4,5	2,1x10 <sup>5</sup>	0,009	244	244	12,3	232	204	201	31	0
11,87	3,16	50,77	5,5	2,2x10 <sup>5</sup>	0,009	225	225	13,2	212	220	216	4	0
12,09	3,22	52,67	4,5	2,2x10 <sup>5</sup>	0,009	245	245	13,7	231	214	224	7	0
12,30	3,27	54,51	4,5	2,3x10 <sup>5</sup>	0,008	232	232	12,6	219	174	230	11	0
12,76	3,39	58,67	4,5	2,3x10 <sup>5</sup>	0,008	252	252	13,6	238	226	248	10	0
12,99	3,45	60,80	23,0	2,4x10 <sup>5</sup>	0,008	245	245	14,1	231	243	257	26	0
13,20	3,51	62,78	30,0	2,4x10 <sup>5</sup>	0,008	244	244	14,5	229	258	265	36	0