

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK ALTI SULAMA SİSTEMLERİNİN HİDROLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Özlen ÖZKURT

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : SU MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 1999

TOPRAK ALTI SULAMA SİSTEMLERİNİN HİDROLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Özlen ÖZKURT
(501970151011)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31 Mayıs 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 1999

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sedat KAPDAŞLI
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Emin KARAHAN (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Yalçın YÜKSEL (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 1999

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Konunun kapsamı	1
1.2. Toprak altı sulama sistemleri	2
1.2.1. Tanım	2
1.2.2. Kullanım alanları	2
1.2.3. Toprak altı sulama sistemlerinin avantajları ve dezavantajları	4
1.2.3.1. Avantajlar	4
1.2.3.2. Dezavantajlar	7
1.2.4. Toprak altı sulama sistemlerinin esasları	8
1.3. Çalışmanın amacı	14
2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	15
2.1. Branşmanlı boru	15
2.2. Her noktadan üniform su çekilmesi	17
2.3. Yağmurlama sulama laterallerinin analizi ve dizaynı	19
2.4. Damlatma sulama laterallerinin analizi ve dizaynı	22
2.5. Sürtünme katsayısı ve üniformite katsayısı	25
2.6. Eşit aralıklarla yerleştirilmiş damlatıcılı ve dış akışlı borular için G faktörü	26
2.7. Direkt damlatmalı lateralin hidrolik hesabında analitik yaklaşım	30
2.8. Lateral boruların tasarımı	32
2.9. Sürekli yük kaybı ve lateral boyu hesabı	35
2.10. Lateral dizayn kriterleri	36
3. TEORİK YAKLAŞIM	37
3.1. Genel tanımlar	37
3.2. Poroze borularda değişken birim debi durumu	38
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	46
4.1. Deneyin amacı	46
4.2. Deney modelinin özellikleri	46
4.3. Deneyin yapılışı	47

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR	55
5.1. 10 m. uzunluğundaki poroz boru deneylerinin değerlendirilmesi	55
5.2. 32 m. uzunluğundaki poroz boru deneylerinin değerlendirilmesi	56
5.3. 50 m. uzunluğundaki poroz boru deneylerinin değerlendirilmesi	59
5.4. Genel değerlendirme ve sonuçlar	60
KAYNAKLAR	61
EKLER	63
ÖZGEÇMİŞ	90



ÖNSÖZ

Sulama konusunun çok önemli olduğu ülkemizde, toprak altı sulama sistemleri gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Doğal yaşam açısından taşıdıkları önem dolayısıyla üzerinde daha fazla araştırma yapılması gereken sistemlerdir. Bu yüksek lisans tezi kapsamında, toprak altı sulama sistemlerinin hidroligi incelenmiştir. Konu ile ilgili yapılan çok çalışma olmadığından toprak üstü sulama sistemlerinin hidroliginden yararlanarak teorik çalışma ve buna bağılı olarak deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Yüksek lisans tezimi hazırlarken benden yardımlarını esirgemeyip her konuda bana destek olan Hocam Sayın Prof. Dr. Sedat Kapdaşı'ya sonsuz minnetlerimi ve saygılarımı sunuyorum.

Saygılarımla,

Arnavutköy, Mayıs 1999

ÖZLEN ÖZKURT

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1. 10m. için sabit basınç altında farklı sürelerdeki debi değişimleri	56
Tablo 5.2. L = 32 m. için sabit zamanda farklı basınç altında debi değişimleri	57
Tablo 5.3. L = 32 m. için basınca bağlı ortalama debi değerleri	58
Tablo 5.4. L = 50 m. için sabit deney süresi ve basınç altında debi değişimleri	59
Tablo A.1. L = 10m., P = 0.5 bar, t = 910 s. için debi değerlerinin hesabı	63
Tablo A.2. L = 10m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için debi değerlerinin hesabı	63
Tablo A.3. L = 10m., P = 0.7 bar, t = 600 s. için debi değerlerinin hesabı	64
Tablo A.4. L = 10m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için debi değerlerinin hesabı	65
Tablo A.6. L = 10m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için debi değerlerinin hesabı	66
Tablo A.7. L = 10m., P = 1.0 bar, t = 600 s. için debi değerlerinin hesabı	67
Tablo A.8. L = 10m., P = 1.0 bar, t = 480 s. için debi değerlerinin hesabı	67
Tablo A.9. L = 10m., P = 1.0 bar, t = 420 s. için debi değerlerinin hesabı	68
Tablo A.10. L = 10m., P = 1.0 bar, t = 420 s. için debi değerlerinin hesabı	69
Tablo A.11. L = 10m., P = 1.5 bar, t = 460 s. için debi değerlerinin hesabı	69
Tablo A.12. L = 10m., P = 1.5 bar, t = 390 s. için debi değerlerinin hesabı	70
Tablo A.13. L = 10m., P = 1.5 bar, t = 390 s. için debi değerlerinin hesabı	71
Tablo A.14. L = 10m., P = 1.5 bar, t = 360 s. için debi değerlerinin hesabı	71
Tablo A.15. L = 10m., P = 1.75 bar, t = 535 s. için debi değerlerinin hesabı	72
Tablo A.16. L = 10m., P = 1.92 bar, t = 330 s. için debi değerlerinin hesabı	73
Tablo A.17. L = 10m., P = 1.87 bar, t = 300 s. için debi değerlerinin hesabı	73
Tablo A.18. L = 10m., P = 1.78 bar, t = 330 s. için debi değerlerinin hesabı	74
Tablo B.1. L = 32m., P = 0.75 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	75
Tablo B.2. L = 32m., P = 0.90 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	75
Tablo B.3. L = 32m., P = 1.00 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	76
Tablo B.4. L = 32m., P = 1.25 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	77
Tablo B.5. L = 32m., P = 1.50 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	77
Tablo B.6. L = 32m., P = 2.00 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	78
Tablo C.1. L = 50m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	79
Tablo C.2. L = 50m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	79
Tablo C.3. L = 50m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	80
Tablo C.4. L = 50m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	81
Tablo C.5. L = 50m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	81
Tablo C.6. L = 50m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	82
Tablo C.7. L = 50m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	83
Tablo C.8. L = 50m., P = 1.00 bar, t = 9 dak. için debi değerlerinin hesabı	83
Tablo C.9. L = 50m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	84
Tablo C.10. L = 50m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı ...	85

Tablo C.11.	$L = 50\text{m.}, P = 1.21 \text{ bar}, t = 15 \text{ dak.}$ için debi değerlerinin hesabı ...	85
Tablo C.12.	$L = 50\text{m.}, P = 1.21 \text{ bar}, t = 15 \text{ dak.}$ için debi değerlerinin hesabı ...	86
Tablo C.13.	$L = 50\text{m.}, P = 1.22 \text{ bar}, t = 15 \text{ dak.}$ için debi değerlerinin hesabı ...	87
Tablo C.14.	$L = 50\text{m.}, P = 1.21 \text{ bar}, t = 15 \text{ dak.}$ için debi değerlerinin hesabı ...	87
Tablo C.15.	$L = 50\text{m.}, P = 1.21 \text{ bar}, t = 15 \text{ dak.}$ için debi değerlerinin hesabı ...	88
Tablo C.16.	$L = 50\text{m.}, P = 1.21 \text{ bar}, t = 15 \text{ dak.}$ için debi değerlerinin hesabı ...	89



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Toprak üstü sulama sistemi ve toprak altı sulama sisteminin karşılaştırılması	5
Şekil 1.2 : Toprak altı sulama sisteminin dizaynı	9
Şekil 1.3 : Tipik bir toprak altı sulama sistemi düzeneği	9
Şekil 1.4 : Toprak altı sulama sisteminde boruların toprağın içine yerleştirilmesi	10
Şekil 1.5 : Toprak üstü sulama sistemindeki su çıkış birimlerine göre su dağılımı	11
Şekil 1.6 : Toprak altı nem verileri	11
Şekil 1.7a : Toprak üstü sulama sistemi optimum toprak potansiyel alanı ...	12
Şekil 1.7b : Toprak altı sulama sistemi optimum toprak potansiyel alanı	12
Şekil 1.8 : Toprak üstü sulama sistemi ve toprak altı sulama sisteminin akış çizgilerinin karşılaştırılması	13
Şekil 1.9 : Toprak üstü sulama sistemi (TUS) ve toprak altı sulama sisteminin (TAS) geometrik karakteristiklerinin karşılaştırılması	13
Şekil 2.1 : Branşmanlı borudan bir noktadan su çekilmesi durumu	15
Şekil 2.2 : Branşmanlı borudan birkaç noktadan su çekilmesi durumu	17
Şekil 2.3 : Her noktadan üniform su çekilmesi durumu.....	17
Şekil 2.4 : Yağmurlama sulama laterali	19
Şekil 2.5 : Damlatma sulama laterali	22
Şekil 2.6 : Eşit aralıklı yerleştirilmiş damlatıcı ve dış akışlı boru	27
Şekil 2.7 : Lateralde basınç değerleri	33
Şekil 3.1 : Sulama şebekesi	37
Şekil 3.2 : dx uzunluğundaki poroz borunun şematik gösterimi	38
Şekil 3.3 : Poroz borunun hidroliğinin şematik gösterimi	40
Şekil 3.4 : Poroz borudaki l uzaklığındaki iki noktasındaki hidroliğinin şematik gösterimi	41
Şekil 4.1 : Poroz boru	46
Şekil 4.2 : Şematik model düzeni	48
Şekil 4.3 : Hidrofor pompa, filtre ve manometrenin gösterimi	49
Şekil 4.4 : Filtrelerin yakın çekim fotoğrafı	50
Şekil 4.5 : PVC borularla çevrili poroz borulardan suyun bidona akması... ..	51
Şekil 4.6 : 32 m. uzunluğundaki poroz boru deneyinde sistemin gösterimi.. ..	52
Şekil 4.7 : PVC borudan akan suyun yakın gösterimi	53
Şekil 4.8 : Son basıncı okumak için borunun ucuna eklenen manometre.... ..	53
Şekil 5.1 : L = 10 m. için P = 1.0 bar uygulama basıncında debi değerlerinin boru boyunca zamana bağlı değişimi	56
Şekil 5.2 : L = 32 m. için t = dak. Uygulama süresinde debi değerlerinin boru boyunca farklı basınç değerlerine bağlı değişimi.....	57

Şekil 5.3	: L = 32 m. için ortalama debi – basınç değişimi	58
Şekil 5.4	: L = 50 m. için basınç ve sürenin sabit olması durumunda boru boyunca debinin değişimi	60
Şekil A.1	: L = 10 m., P = 0.5 bar, t = 910 s. için boru boyunca debi değişimi	63
Şekil A.2	: L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için boru boyunca debi değişimi	64
Şekil A.3	: L = 10 m., P = 0.5 bar, t = 600 s. için boru boyunca debi değişimi	64
Şekil A.4	: L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için boru boyunca debi değişimi	65
Şekil A.5	: L = 10 m., P = 0.5 bar, t = 540 s. için boru boyunca debi değişimi	66
Şekil A.6	: L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için boru boyunca debi değişimi	66
Şekil A.7	: L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 600 s. için boru boyunca debi değişimi	67
Şekil A.8	: L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 480 s. için boru boyunca debi değişimi	68
Şekil A.9	: L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 420 s. için boru boyunca debi değişimi	68
Şekil A.10	: L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 480 s. için boru boyunca debi değişimi	69
Şekil A.11	: L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 460 s. için boru boyunca debi değişimi	70
Şekil A.12	: L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 390 s. için boru boyunca debi değişimi	70
Şekil A.13	: L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 390 s. için boru boyunca debi değişimi	71
Şekil A.14	: L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 360 s. için boru boyunca debi değişimi	72
Şekil A.15	: L = 10 m., P = 1.75 bar, t = 350 s. için boru boyunca debi değişimi	72
Şekil A.16	: L = 10 m., P = 1.92 bar, t = 330 s. için boru boyunca debi değişimi	73
Şekil A.17	: L = 10 m., P = 1.87 bar, t = 300 s. için boru boyunca debi değişimi	74
Şekil A.18	: L = 10 m., P = 1.78 bar, t = 330 s. için boru boyunca debi değişimi	74
Şekil B.1	: L = 32 m., P = 0.75 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi	75
Şekil B.2	: L = 32 m., P = 0.90 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi	76
Şekil B.3	: L = 32 m., P = 1.00 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi	76
Şekil B.4	: L = 32 m., P = 1.25 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi	77
Şekil B.5	: L = 32 m., P = 1.50 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi	78

Şekil B.6	: L = 32 m., P = 2.00 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi	78
Şekil C.1	: L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	79
Şekil C.2	: L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	80
Şekil C.3	: L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	80
Şekil C.4	: L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	81
Şekil C.5	: L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	82
Şekil C.6	: L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	82
Şekil C.7	: L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	83
Şekil C.8	: L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 9 dak. için boru boyunca debi değişimi	84
Şekil C.9	: L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	84
Şekil C.10	: L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	85
Şekil C.11	: L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	86
Şekil C.12	: L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	86
Şekil C.13	: L = 50 m., P = 1.22 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	87
Şekil C.14	: L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	88
Şekil C.15	: L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	88
Şekil C.16	: L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi	89

SEMBOL LİSTESİ

A	: Lateralin en kesit alanı
a₁	: Türbülansa bağlı değişen K ifadesi çarpanı arasındaki mesafe
C	: Birim katsayı
c	: Bölgesel ve debi değişikliklerine bağlı damlatıcı katsayısı
C'	: William-Hazen pürüzlülük katsayısı
D	: Boru çapı debiler arasındaki fark yüzdesi
E, B, B'	: H ifadesinde basitleştirme amacıyla kullanılan katsayı ifadeleri
F	: Christiansen F faktörü
f₁	: 0 ve 1 noktaları arasındaki borudaki sürtünme katsayısı
f₂	: 1 ve 2 noktaları arasındaki borudaki sürtünme katsayısı
G	: G faktörü
H₀	: Lateralin çıkış kısmındaki basınç yüksekliği
h₁	: 0 ve 1 noktaları arasındaki toplam enerji kaybı
H₁	: İlk sprinkler çıkışındaki basınç yüksekliği
h₂	: 1 ve 2 noktaları arasındaki toplam enerji kaybı
H₂	: 2 noktasındaki basınç yüksekliği
H_{av}	: Ortalama basınç kaybı
H_d	: Lateralin sonundaki alt akımdaki basınç kaybı
HE	: Borunun eğime bağlı kot farkı
HF	: Borudaki yük kaybı
H_f	: Herhangi bir noktadaki basınç yüksekliği kaybı
H_{fk}	: k segmentine kadar sürtünmeden dolayı oluşan enerji kaybı
H_{fl}	: Toplam boru boyunca sürtünmeden dolayı oluşan enerji kaybı
H_i	: İnceleme altındaki damlatıcının lateral borudaki basınç
HN	: Lateral işletme basıncı
J_i	: i noktasındaki hidrolik eğim
K	: Pürüzlülük katsayısı
l	: İlgili boru bölümünün uzunluğu
L	: Lateral boyu
N	: Boru boyunca bulunan damlatıcı sayısı
n	: Yağmurlama ünitesi sayısı
p	: Lateralde istenilen üniformiteye bağlı minimum ve maksimum
q	: Birim genişlikten geçen debi
Q	: Borudan geçen debi
Q	: Boruya giriş debisi
Q₁, Q₂	: Lateral borunun 1 ve 2 noktalarındaki debi
q_{av}	: Damlatıcının ortalama debisi
q_i	: Bağımsız bir damlatıcının debisi
q_i	: Damlatıcı debisi
Q_o	: Boruya giriş debisi
R	: Reynolds sayısı
r	: Borunun çıkış debisinin toplam debiye oranı

S	: Çıkış noktaları arası uzaklık
s	: Yağmurlama ünitelerinin kendi aralarındaki mesafe
S₀	: Lateral boyunca üniform kabul edilen yüzey eğimi
s₁	: Ana boru veya ara boru girişi ile ilk yağmurlama üniteleri
UC	: Damlatıcı debisinin üniformitesini ifade eden Christiansen üniformluk katsayısı
v	: Suyun kinematik viskozitesi
V_i	: i noktasındaki hız
w_i	: İki kesit arasında su çıkışı olmaması durumundaki yük kaybının su çıkışı olması durumundaki kaybına oranını veren katsayı
y	: 0 ile 1 arasında değişen yayılma üssü yüksekliği
z₀, z₁	: 0 ve 1 noktalarının yükseltisi
β	: $\lambda / 2g\pi^2$ sabit terimi ifade eden katsayısı
γ	: Ampirik ifadesi üssü
λ	: Darcy-Weisbach katsayısı
ΔH	: Enerji kaybı
ΔH₁, ΔH₂	: Yersel yük kaybı
δQ	: Debi değişimi



TOPRAK ALTI SULAMA SİSTEMLERİNİN HİDROLİĞİ

ÖZET

Su mühendisliğinin başlıca uygulama alanlarında biri olan sulama konusu, günümüzde çok büyük önem taşımaktadır. Su kaynaklarının gün geçtikçe azalması, sulama konusunda ciddi problemlere yol açmaktadır. Bu da, sudan optimum şekilde yararlanılması amacına yönelik yeni sulama metotlarının incelenmesi ihtiyacını doğurmaktadır.

Bu tez kapsamında, yeni bir uygulama alanı olan “toprak altı sulama sistemlerinin hidroliği” incelenmektedir. Toprak üstü sulama sistemleri, günümüzde çok yaygın olarak kullanılmakta olan suyun toprağa kanallar, hortum, yağmurlama, damlatma sulama, yağış gibi yollarla verilmesidir. Toprak altı sulama sistemleri ise, suyun toprak altına yerleştirilmiş poroz borular vasıtası ile verilmesidir. Poroz borular, hurda otomobil lastiğinde elde edilebilen, %80’i kauçuk olan ve içinden geçen suyu bünyesindeki gözeneklerle ortama sızdıran ve daha çok terleyen hortum gibi davranan hidrolik yapılardır. Burada amaç sulama yapılan yerin su gereksinimini belirledikten sonra, gereken miktarda suyu direkt olarak köklere vererek, suyun optimum toprak potansiyel alanında kalmasını sağlamaktır. Böylelikle su kayıpları ve zararlı etkiler minimuma indirilmektedir. Kullanım alanları gitgide artan toprak altı sulama sistemleri, toprak üstü sulama sistemleri ile karşılaştırıldığı zaman avantajlarının çok daha fazla olduğu görülmektedir.

Poroz boruların hidroliği ile ilgili olarak doğrudan bu konuyu içeren bir çalışma henüz mevcut değildir. Bu nedenle bu tez çalışmasında, incelenen sisteme yakın hidrolik özellikler gösteren yağmurlama ve damlatma sulama sistemlerinin hidrolik çalışmaları temel alınmıştır. Buradan çıkarılan sonuçlar baz alınarak poroz borular için teorik yaklaşımlarda bulunup, sistem hidroliği çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçların doğruluğunu anlamak açısından laboratuarda bir deney düzeneği kurulmuştur.

Deney modeli; belirli uzunluktaki poroz borulara verilen, belli bir zamanda, belirli basınçlar altındaki debi değerlerini incelemek üzere kurulan bir düzendir. Debi değerlerini hesaplayabilmek için poroz boru boyunca 1,5 metrelik bölümler halinde yerleştirilen $\phi 10$ ’luk PVC boru sonunda toplanan su akıtılarak, toplama kovalarına aktarılmış ve toplanan su ağırlıkları deney süresine bölünerek o basınç altında birim boy debileri elde edilmiştir. Bu deney, farklı basınç, süre ve boru boylarında uygulanarak bir çok kez incelenmiş ve bu sonuçlara bağlı olarak tablolar oluşturulmuştur. Hazırlanan tablolar yardımı ile basınç-debi grafikleri elde edilmiş ve bu sonuçlar poroz boruların teorisi kısmında daha önce elde edilen formüller ile paralellik gösterip göstermediği kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve hakkında fazla bilgi sahibi bulunmayan poroz boruların incelenmesine bir giriş yapılmıştır.

THE HYDRAULICS OF SUBSURFACE IRRIGATION SYSTEMS

SUMMARY

Irrigation, being the primary application field of hydraulics engineering, is a very significant topic nowadays. The shortage in the water sources causes a serious problem about irrigation, consequently, ending in a demand for new irrigation methods which will be taking optimum advantage of the limited water.

In the content of this thesis, a new type of application field, called the hydraulics of subsurface irrigation systems, is investigated. Surface irrigation systems transfer the water, by the help of canals, pipes, sprinkler and trickle irrigation systems, and precipitation. Where, the subsurface irrigation systems do the transferring by the utilization of porous pipes settled underground. Porous pipes are manufactured from junk tires. They are 80% rubber and let water run through the pores on their surface, acting like a sweating pipe. The aim of this system is; to supply the roots with the necessary water, by no means but directly, after determining the amount of water necessity of the irrigation field, and making sure that the water stays in the optimum ground potential area. Thus, the water loss and the unwanted effects are minimized. When compared with the surface irrigation systems, the subsurface irrigation systems turn out to be more advantageous.

Yet, a specific study about the hydraulics of porous pipes has not been carried out. Therefore, in this thesis it will be referred to the studies about systems, which have similar hydraulic behaviour, namely, sprinkler and trickle irrigation systems. Depending on the results of the hydraulic analysis of the above mentioned systems, some theoretical approaches will be done in order to determine the system hydraulics. And the results about porous system analysis will be checked by running a relevant test in the laboratory.

The test model consists of a system studying the flow discharge in the porous pipes, which have specific lengths, during a given period and under predetermined pressures. The water coming out of the pores of the pipes are collected in PVC pipes of 10 mm. diameter and 1.5 m length, which cover the porous pipes and lead the collected water towards the water holding buckets. The collected water is, later on, weighed and dividing these weights by the test period, the flow discharge values are determined. This testing processes is repeated under different conditions having different pressures, periods and pipe lengths, and the results are submitted in the form of tables. By means of these tables, pressure vs. flow discharge graphs are drawn, and the results are compared with the formulas mentioned in the theory of porous pipes section, in order to check whether they are sensible or not. And as a conclusion, some comments on these results are submitted, in case this thesis is accepted to be an entry to the detailed investigation of the utilization of porous pipes.

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Kapsamı

Su mühendisliğinin başlıca uygulama alanlarında biri olan sulama konusu, büyük önem taşımaktadır. Su ihtiyacının gün geçtikçe artması, su rezervlerinin azalması, yağışların ısı değişimlerine bağlı olarak değişmesi sulama konusunda ciddi problemlere yol açmaktadır. Bu da, sudan maksimum şekilde yararlanmak amacıyla, yeni metotlarla sulama şekilleri ortaya çıkarmaktadır.

Sulama metotları içinde basınçlı sulama sistemlerini, basit olarak “toprak üstü” ve “toprak altı” sulama sistemleri olarak ikiye ayırabiliriz. Toprak üstü sulama sistemleri, hala yaygın olarak kullanılmakta olan, suyun toprağa kanallar, hortum, yağmurlama, damlatma sulama, yağış gibi yollarla verilmesiyle yapılmaktadır. Hortum ve kanallar yardımıyla sulamanın maliyeti diğer yöntemlere göre düşük olmakla beraber, boşa harcanan su da bir o kadar fazladır. Suyun toprağa gereğinden fazla verilmesi, hem ürünün faydalı sulanmamasına hem de ürün yapraklarının fazla ıslanarak zarara uğramasına ve hastalıklar kapmasına sebep olmaktadır. Yağmurlama ve damlatma sulama ise bu etkiyi azaltan toprak üstü sulama sistemleridir. Diğer metotlara göre daha pahalı olmakla beraber gübre ve ilaçların enjekte edilebilmesi faydalı etkileridir. Toprak altı sulama sistemleri ise suyu köklere direkt poroz (terleyen) borular ile gerektiği kadar vererek, su kayıplarını ve zararlı etkileri minimuma indirmeyi amaçlayan bir sistemdir. Toprak üstü sulama sistemlerine göre maliyeti yüksek olmasına rağmen, gelecekteki faydaları bu maliyeti fazlasıyla karşılamaktadır.

Toprak üstü sulama sistemleri oldukça yeni bir ürün olduğundan, hidrolik özellikleri ile ilgili olarak literatürde yeterli bilgi birikimi bulunmamaktadır. Bu nedenle önceden yapılmış benzer ürünlerle ilgili çalışmalardan faydalanılmalıdır. Branşmanlı borular, yağmurlama ve damlatma sulama sistemleri ile yapılmış çalışmalardan çıkan hidrolik özellikler, poroz boruların hidroliğini çıkartmada baz alınmıştır. Çıkartılan

hidrolik özelliklerin doğruluğunu incelemek için bir model deneyi sistemi laboratuarda kurulmuştur.

Kurulan deney sistemi sayesinde poroz boruların bazı temel hidrolik özellikleri araştırılarak, hidrolik performanslarını etkileyen ve/veya kontrol eden parametreler incelenmiştir. Deneyler değişik boru boyları için farklı basınçlar altında uygulanarak kontrol edilmek üzere tasarlanmıştır. Bu deneylerden çıkan sonuçlar tablolar halinde sunulmuş ve grafikler yardımıyla değerlendirme yapılabilmektedir.

1.2 Toprak Altı Sulama Sistemleri

1.2.1 Tanım

Toprak altı sulama sistemlerinde kullanılan poroz (terleyen) borular, ana maddesi kauçuk (hurda otomobil lastiği) olan, içinden geçen suyu bünyesindeki gözeneklerle ortama sızdırarak (terleyerek) veren bir yapıya sahiptir. %80 kauçuk (genellikle hurda otomobil lastiği), %20'si plastikten oluşmuş olduğundan borudan daha çok bir “terleyen hortum” gibi de davrandığı düşünülebilir. Bu ham maddeler birlikte ısıtıldığı zaman köpüğe dönüşürler ve sonrasında soğutulmuş ve katılaştırılmış esnek poroz boruya dönüşürler. Bu proses, yüzlerce faktörün dikkatlice kontrol edilmesi ve bilgisayar destekli üretimle gerçekleşmektedir.

Poroz borular, borunun gömülerek toprak içinde suyu sızdırması ve bitki kök hedefine ulaştırmasını sağlayacak şekilde sıra aralarına, üretimi yapılan bitki çeşidine göre değişik derinliklerde sistemin tesis edilmesi şeklinde kullanılmaktadır. Boruyu toprağa gömmeden, sadece bitkinin kök boğazı çevresinden geçirmek suretiyle serilmesi şeklinde de kullanılabileceği gibi borunun sağlayacağı faydanın çoğunun ortadan kalkması nedeniyle pek de önerilmeyen bir kullanım şeklidir (Micro-flo Industries, 1999).

1.2.2 Kullanım Alanları

a) Park ve Bahçe Düzenlemeleri, Belediyeler ve Karayollarında:

Günümüzde kentleşme ile kişi başına düşen yeşil alanın giderek azalması, park ve bahçe düzenlemesinin önemini ortaya çıkarmaktadır. Yaşadığı ve çalıştığı ortamda

yeşil bir çevre ile olacak beraberlik, kişileri bu konuda büyük harcamalara yöneltmektedir. Büyük masraf ve emekle oluşturulan mekanların korunması ve devamlı yeşil kalmasının sağlanması rontabl bir sulama ile mümkün olur. Özellikle büyük kentlerde suyun m³ fiyatı çok yüksektir. Bu sistemle peyzaj alanlarında en uygun sulama yapılabilir. Caddelerdeki ve karayollarındaki orta refüj, kaldırım ve göbek düzenlemelerinde bu sistemden başkası hiçbir zaman kullanışlı ve ekonomik olmamaktadır.

b) Örtüaltı Sebze ve Süs Bitkisi Yetiştiriciliğinde (Seracılık):

Türkiye'deki seracılık yaygın olarak yapılmakta ve toprak altı sulama ile verim çok daha artmaktadır.

c) Açık Alan Sebze ve Süsü Bitkisi Yetiştiriciliğinde:

Türkiye'de açık alan sebzeciliği hemen hemen her bölgede yapılmaktadır. Buralarda hala en klasik sulama şekli olan salma sulama metodu kullanılmaktadır.

d) Meyvecilikte:

Türkiye'de her bölgede yapılmakta olan meyvecilikte de sulama çok önemlidir. Özellikle meyvelerin fidan döneminde mutlaka sulama gereklidir. Poroz borunun, fidan taç izdüşümünün çevresinden geçirilmesi, çok uygun bir sulama sağladığı gibi buralardaki otlanmaya da engel olacaktır.

e) Bağcılıkta:

Türkiye önemli bir bağ merkezidir. Fidan asmalarının bu sistemle sulanması, çiftçi üretim girdilerini ve masraflarını azaltmakla birlikte kaliteyi artırıcı bir faktördür.

f) Fidan ve Fide Üretim Alanlarında:

Meyve ağacı, zeytin, turunçgil ve süs bitkisi fidanları ile sebze, çilek ve tütün fide üretiminde de kullanılan bu yöntem çok faydalar sağlamaktadır.

g) Futbol, Tenis, Golf Sahaları ve Geniş Çimlendirme Alanlarında:

Çimlendirilen geniş alanların dejenerasyonunun önlenmesi ve sararma olmaması için sulama hayati önem taşır. Türkiye'de bu alanlar yağmurlama (sprinkler) sistemi ile

sulanır. Özellikle sıcak bölgelerde bu sistemde çimlerde yanma oluşabilir. Aşırı buharlaşma olduğundan kök sistemi sağlam bir yapıya kavuşamaz. Bu durumları engellemek için her gün çok fazla sulama yapmak gerekir. Oysa poroz borular uygulanmış bir alanı yıllarca aynı kalitede korumak mümkündür. Avrupa’da bir çok klubün sahaları ve çok sayıda golf alanı bu sistem ile tesis edilmiştir.

h) Tatlı Su Balık ve Kerevit Üretiminde:

Poroz boruların bünyesinde çok sayıda gözenek olduğundan, su yerine hava verildiğinde buralardan hava geçişi olmaktadır. Suyun içine yerleştirilen borulardan çıkan bu hava, kabarcıklar halinde suya dağılıp ortamın oksijence zenginleşmesini sağlar. Böyle bir ortamda üretilen balık ya da kerevitler daha sağlıklı ve kısa zamanda daha sağlıklı gelişirler (Aquastar, 1999).

1.2.3 Toprak Altı Sulama Sistemlerinin Avantajları ve Dezavantajları

1.2.3.1 Avantajlar

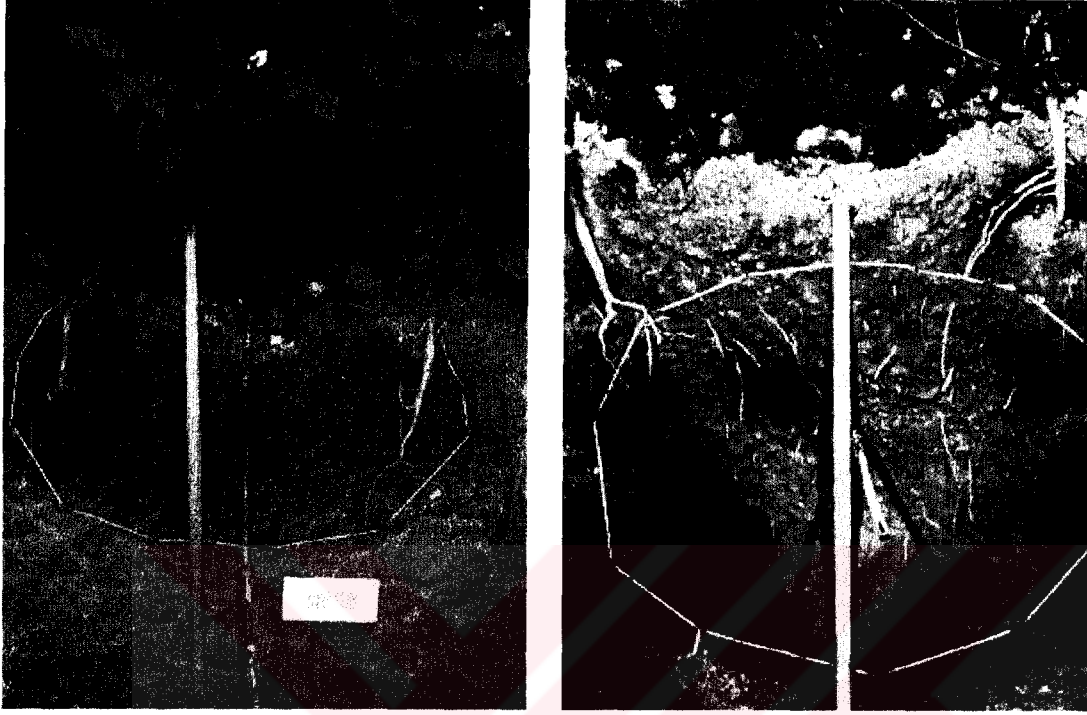
a) Su Tasarrufu Sağlanması:

Sistem toprak altına döşenmiş olduğundan, güneş ile temas olmamakta ve buharlaşma yoluyla kayıp minimuma düşmektedir. Ayrıca su toprak altında hedeflenen yere, yani köke direkt verildiğinden, bitki ihtiyacı az bir su ile karşılanmaktadır. Toprak altı sulama rüzgar veya diğer çevre etkilerinden de etkilenmez. Aşırı sulama ile toprağın bitki besin maddelerinin yıkanmasının ve kalker oluşumunun da önüne geçilmektedir. Poroz borular ile optimum sulama diğer sulama sistemlerine göre en az %50 tasarruf sağlar.

b) Üretim Artışı Sağlanması:

Poroz borular toprak içinde su sızdırmak suretiyle kendi etrafında su ile doymuş bir alan meydana getirir. Bu bölgedeki bitki besin maddeleri, diğer sistemlerdeki gibi yıkanıp alt katmanlara gitmeyip o alanda kalırlar ve su ile ideal bir erime gösterirler. Gelişen bitki kökleri su arayışına girmeden kendilerine gerekli erimiş besin maddelerini rahatlıkla bulurlar. Kökler aşırı yönelme ve dallanma göstermeden ideal formlarını oluştururlar. Bu da bitkinin güçlü olmasını ve besin iletiminin sağlıklı

olmasını sağlar. Kökleri bu şekilde gelişmiş ve besin transferlerinin tam olduğu bitkide doğal olarak bu durum verimliliğe ve üretim artışına yansır. Şekil 1.1’de, sulama şekline bağlı olarak üretim farkları gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Toprak üstü sulama sistemi ve toprak altı sulama sisteminin karşılaştırılması (Ruskin, 1995)

c) Kireç Tıkanmalarının Olmaması:

Günümüzde en yaygın kullanıma sahip olan “damlatma sulama sistemi”nin en önemli dezavantajı kılcal boruların 1-2 sene içinde kireç oluşumuyla tıkanmasıdır. Üretici ya tüm sistemi değiştirmekte ya da sistemdeki tüm tıkanıkları tek tek takozlama tabir edilen metotla açma yoluna gitmektedir. Kireçlenme, kılcal borudan çıkan damarların hava ve güneşe maruz kalınca suyun buharlaşarak su bünyesindeki kalkerin yoğunlaşıp serbest hale geçmesiyle oluşmaktadır. Poroz borular toprak içinde tesis edildiğinden ve çeperinde milyonlarca gözenek bulunduğu için kireçlenme yolu ile bir tıkanması söz konusu olmadığından damlatma sulama sisteminden daha avantajlı konumdadır.

d) Yabancı Otların Gelişmemesi:

Yabancı otlar her zaman üreticilerin en büyük problemlerindendir. Bu sorunu çözmek için çok fazla işçilik ve ilaçlama gereklidir. Doğadaki yabancı otların en çok

taşınması sulama suları ile olur. Klasik sulama ile ot problemi çözmek çok zahmetlidir. Diğer bütün sulama sistemlerinde de toprak yüzeyi ıslanacağından mevcut otların tohumlarının tamamına yakını çimlenir. Poroz borular toprak altına tesis edildiğinden toprak yüzeyi sürekli kuru olacağından bu istenmeyen tohumlar çimlenme şansını bulamazlar. Ancak daha derine ulaşan az miktardaki tohum çimlenebilir ki bu otlar kolayca elimine edilebilir. Bu da üreticiye işçilikten ve ot öldürücü ilaçlardan yaklaşık %35’lik tasarruf sağlar.

e) Bitki Hastalık ve Zararlarının Daha Az Etkili Olması:

Poroz borular dışındaki tüm sulama sistemlerinde toprak yüzeyi mutlaka ıslanır. Özellikle damlatma sulama sistemlerinde su direkt olarak bitkinin kök boğazına bırakılır. Birçok hastalık etmenlerinin (fungus, protozoa) sporlarının çimlenebilmeleri için mutlaka neme gereksinimleri vardır. Toprak altı sulama ile toprak yüzeyi kuru olacağından hastalık sporlarının pek çoğu çimlenemez. Diğer sulama sistemleri ile yapılan sulamada buharlaşma yolu ile ortam nemi fazla olacağından, bitki zararlısının yumurta ve pupalarının açılım oranları fazla olur. Poroz borular ile birlikte bu oran azalmakta ve uygulanan ilaçlama sayısında düşme olmakta, beraberinde de az ilaçlanmış daha sağlıklı ürünler elde edilmektedir.

e) Gübrelemenin Etkisinin Arttırılması:

Aşırı veya bilinçsiz gübreleme birçok olumsuzlukları ortaya çıkarır. Bitkinin yanması (fitotoksite), toprak ve yeraltı suyu kirlenmesi önemli problemlerdir. Özellikle likid gübreler sulama suyunu ideal oranlarda karıştırılmak suretiyle toprakaltı sulama sistemi ile verilerek tam köküne ulaştırılır. Bitki böylece gübreyi su ile birlikte rahatça alır. Bitkinin ihtiyacı kadar gübreyi ayarlamak mümkün olduğundan büyük ölçüde gübre tasarrufu da sağlanır.

g) Sistemin Çalışmasındaki ve Tesisatındaki Kolaylık:

Sistem çok düşük basınçla çalışır. Günde 24 saat, haftada 7 gün çalışacak şekilde dizayn edilmiştir. Günde birkaç saatlik musluk suyu basıncı sulama için yeterli olmaktadır. Ayrıca tesisatı çok kolaydır.

h) Dayanıklılığı:

Toprak altındaki boru her türlü mekanik basınçlara dayanıklıdır. Özellikle işçilerin basması gibi zararlardan etkilenmez. Dondan ve kemirgen hayvanların saldırısından zarar görmez.

ı) Çevreye Olan Yararı:

Poroz boruların tesis edildiği alanlarda zirai mücadele ilaçlarının ve kimyasal gübrelerin daha az kullanımları sonucunda toprak ve yeraltı suyu kirliliği daha az olmaktadır. Ayrıca hurda otomobil lastiğinden üretildiği için geri dönüşüm sağlamaktadır. Birçok yönü ile çevre dostu bir sistemdir.

1.2.3.2 Dezavantajlar

a) Partiküler Tıkanma:

Sistemde hiçbir şekilde kireç tıkanması mümkün değildir. Ancak sulama suyundaki kum, çamur, tohum, bitki parçaları gözeneklerin tıkanmasına neden olabilir. Bunu önlemek için sisteme verilecek sulama suyunun çok temiz olması gerekmektedir. Bu da iyi bir süzmeyi sağlayacak filtre sistemi ile mümkündür.

b) Boru Çevresindeki Kovan Oluşumu:

Aşırı kalkerli topraklarda poroz borudan çıkan su nedeni ile eriyen kalker zaman içerisinde boru çevresinde bir kovan oluşturabilmektedir. Bu da suyun naklini kısmen engeller. Bu durum ortaya çıkarsa borular yeraltından çıkarılır, toprak sürüldükten sonra tesis gene aynı hortumla döşenerek yeniden yapılır.

c) Bitki Köklerinin Hortumu Sarması:

Sistemin herhangi bir bölgesinde su iletiminin yeterli olmaması nedeniyle terlemenin az olduğu kısımlarda meydana gelir. Doğal olarak arayış içinde olan bitki kökü suya yöneleceğinden bu bölge etrafını sarar ve içeri girme eğilimi gösterir. Çok ender olarak borunun tahribatına bile neden olabilirler. Bunun önlenmesi için geliştirilmiş bazı kimyasallar kullanılabilmektedir.

d) Çok Engebeli Arazide Basınç Ayar Güçlüğü:

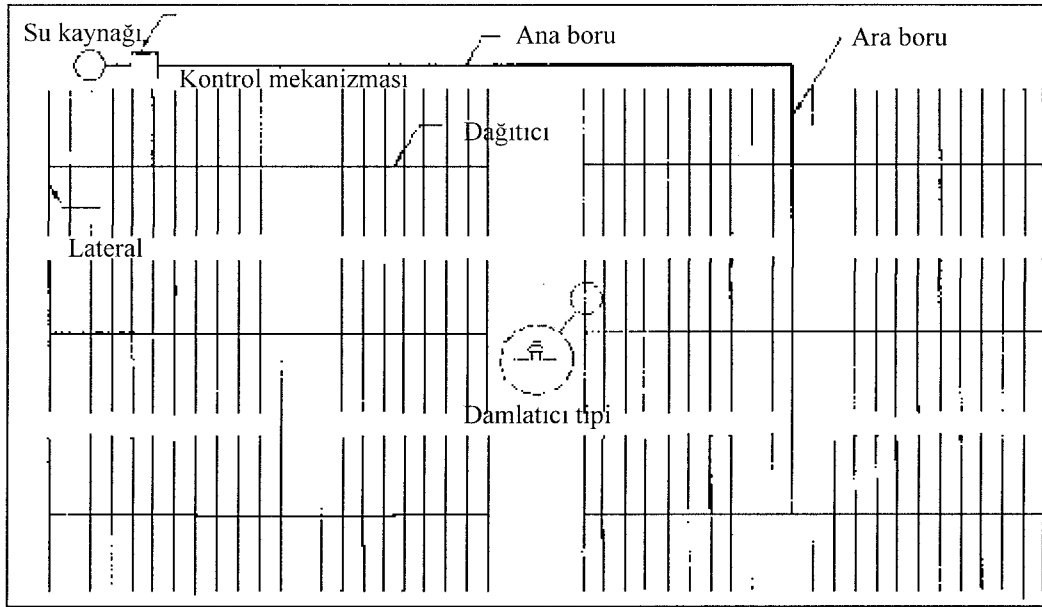
Özellikle dağlık kesimde açık alanda yapılan ziraatte arazinin çok engebeli olması durumunda yapılacak tesisat hatası ile suyun borunun ucuna iletiminde aksamalar olabilir (Aquastar, 1999; Haman ve Izuno, 1989)

1.2.4 Toprak Altı Sulama Sistemlerinin Esasları

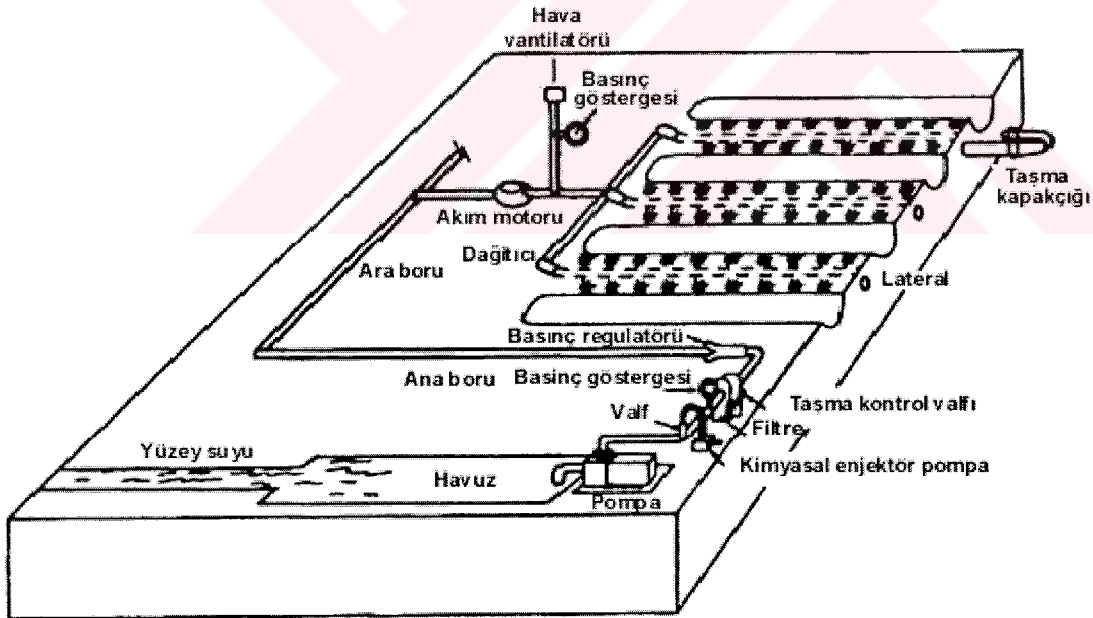
Toprak altı sulama sistemi düzeneğinde olması gereken başlıca birimler şunlardır:

- a) Sabit havuz (olanak varsa)
- b) Pompa üitesi
- c) Hidroklon ayırıştırıcı (havuz pürüzlü maddeleri ayırmakta yeterli olmadığı zamanlarda)
- d) Kimyasal enjekte üitesi
- e) Geri-taşıım kontrol valfleri ile donanımlı filtrasyon üitesi
- f) Dağıtıcıdaki hava deliğı
- g) Alana suyu taşımak için kullanılan boru düzeneğı

Taşııma sistemi, uzunlamasına boruların eklendiğı, ana boru, ara boru ve dağıtıcı üitelerinden oluşur. Pompa kapatıldığı zaman kolay drenaj olması açısından dağıtıcıda hava bırakıcı/vakum kırıcı valf eklemek faydalıdır. Bu düzeneğın basit bir şekli, Şekil 1.2’de, daha detaylı durumu ise Şekil 1.3’te gösterilmiştir (Alam, 1999; Haman ve Izuno, 1989)



Şekil 1.2 Toprak altı sulama sisteminin dizaynı



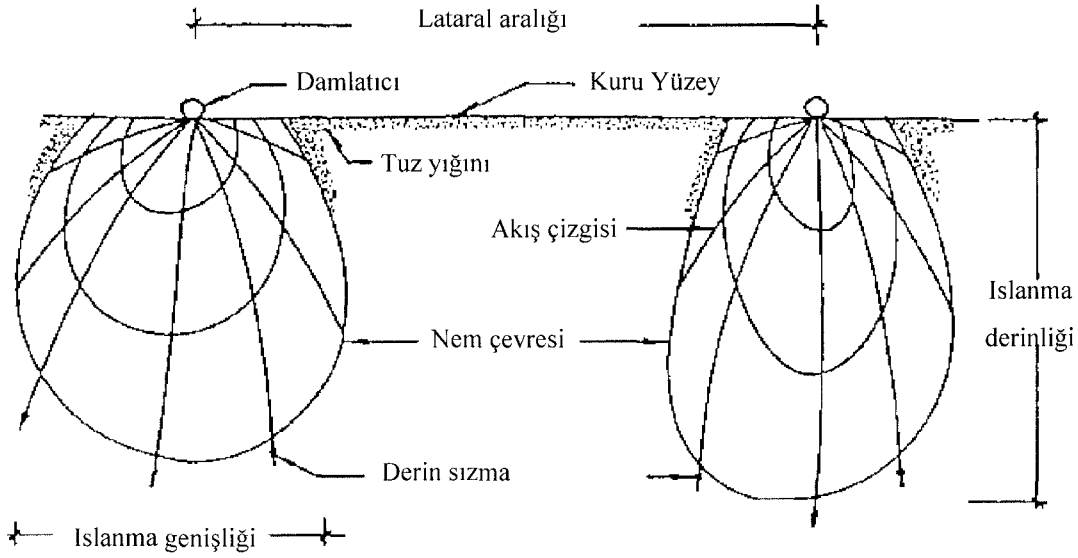
Şekil 1.3 Tipik bir toprak altı sulama sisteminin düzeneği

Poroz borular toprağın altına traktöre eklenmiş bir alet kullanılarak veya özel makinelerle serilir. Yerleştirme derinliği, bitki türüne bağlı olarak 15-60 cm. arasında değişebilir. Borunun çeperindeki suyun çıktığı deliklerin, tesisat yapıldığı zaman yukarıya dönük olması dikkat edilecek hususlardan bir tanesidir. Şekil 1.4'te boruların traktör yardımıyla toprağın içine yerleştirilmesi verilmiştir. (Zoldoske ve Jorgensen, 1995)



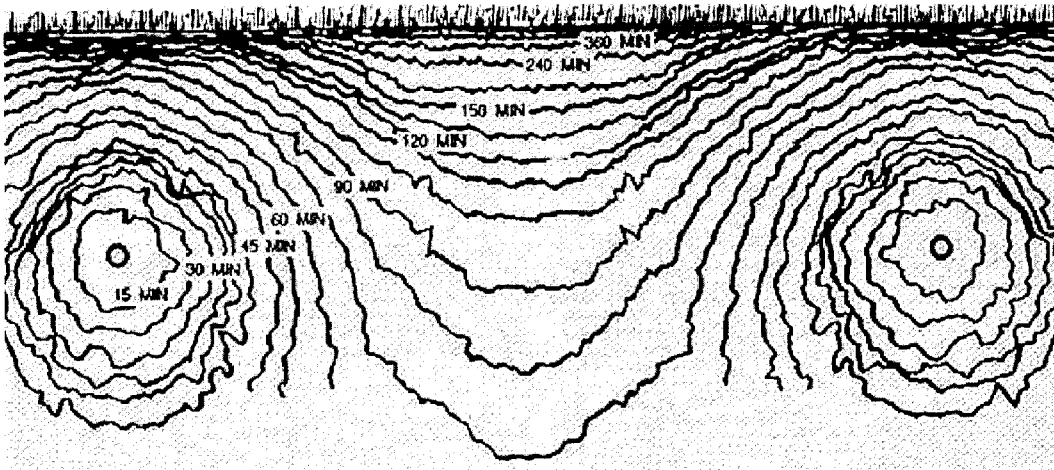
Şekil 1.4 Toprak altı sulama sisteminde boruların toprağın içine yerleştirilmesi

Toprak üstü sulama sisteminde su çıkış birimi yerleşim planına göre, toprak yüzeyinin ve kök alanının sadece bir kısmın su verebilmektedir. Su çıkış biriminden akan suyun dağılımı, yerçekimi ve kılcal kuvvetler tarafından belirlenir ve “soğan zarı”na benzeyen eşyükselti eğrilerini andırır. Islanan hacmin ve nem dağılımının kesin şekli, toprağın yapısı, toprağın iç nemi, aç, uygulanan suyun miktarı gibi etmenlere bağlı olarak değişir. Şekil 1.5'te damlatıcılardan çıkan suyun, toprak altındaki dağılımını görmekteyiz.



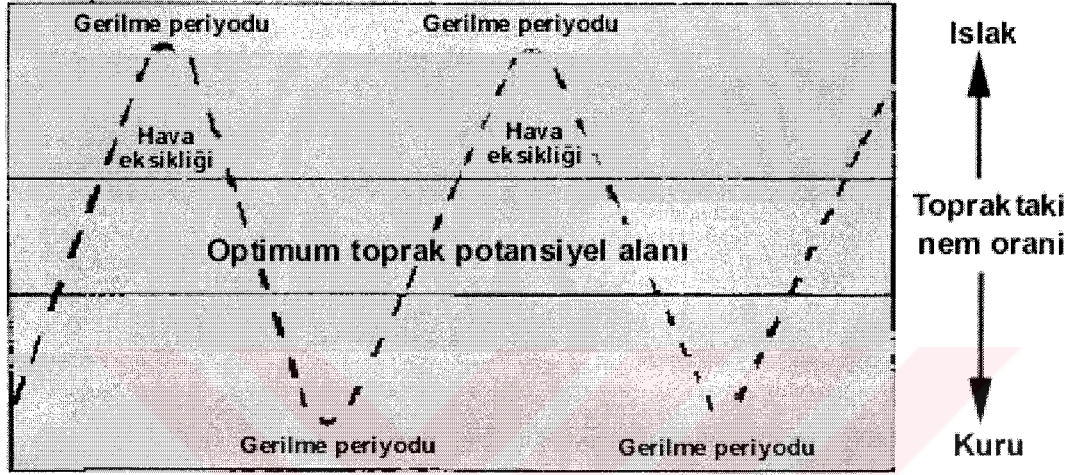
Şekil 1.5 Toprak üstü sulama sistemindeki su çıkış birimlerine göre su dağılımı

Toprak altı sulama sistemlerinde su, yaygın hidrolik boru ağı kullanılarak bitkinin kaynağından nakledilerek dağıtılır. Sulama sistemindeki dış akış, laterallere yerleştirilmiş su çıkış birimleri ile sağlanır. Poroz boruların çeperlerinin her metresinde birbiriyle bağlı binlerce kanal bulunmaktadır. Çok düşük kullanım basınçları altında, suyun tüpün içinden dışarıya ilerlemesi, ince kanallar vasıtasıyla, kapilarite (yüzey gerilimi) ile sağlanır. Boru toprak altı sistemin bir parçası olduğu zaman, Şekil 1.6'da gösterildiği gibi, kanalları su toplama kanalları ile toprak içinde birleşip sürekli bir sistem oluşturur. Su bu şebekede, yerçekimi ve diğer kuvvetlere rağmen aslında kapilariteye göre hareket eder. (Micro-flo Industries, 1999)

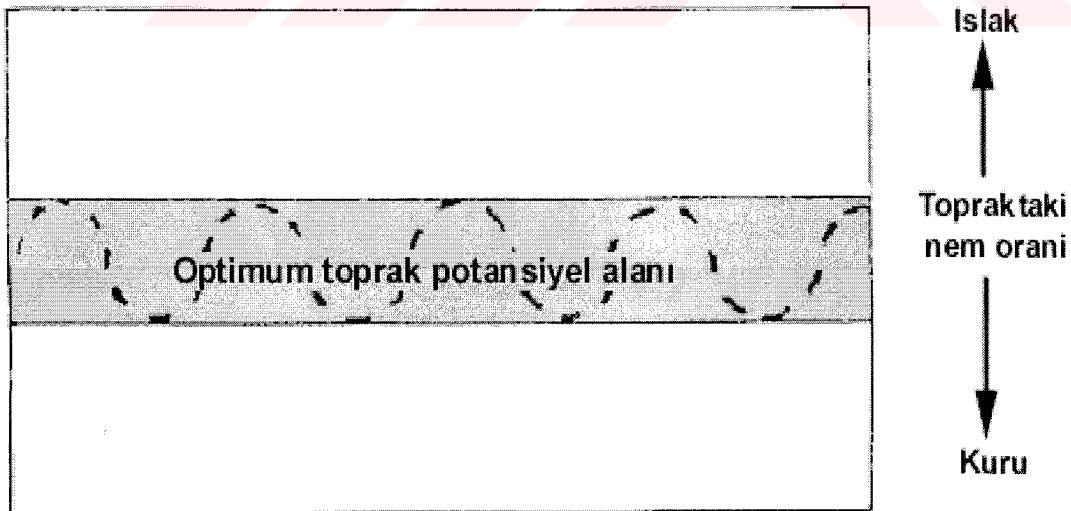


Şekil 1.6 Toprak altı nem verileri

Su gerilmesi, bitki tarafından kaybedilen suyun tutulan sudan fazla olması durumunda oluşur. Poroz borular, bitkinin gerilme periyotlarına girmesini sürekli su, oksijen ve besleyiciler sağlayarak önler. Şekil 1.7a’da toprak üstü sulama sistemi yapıldığı zaman, buharlaşma, sızma ve terleme ile nemin optimum alandan geçip gerilme alanına devam etmesini göstermektedir. Şekil 1.7b’de ise poroz borular kullanıldığı zaman, nemin hep optimum alanda kaldığı gösterilmiştir. (Micro-flo Industries, 1999)

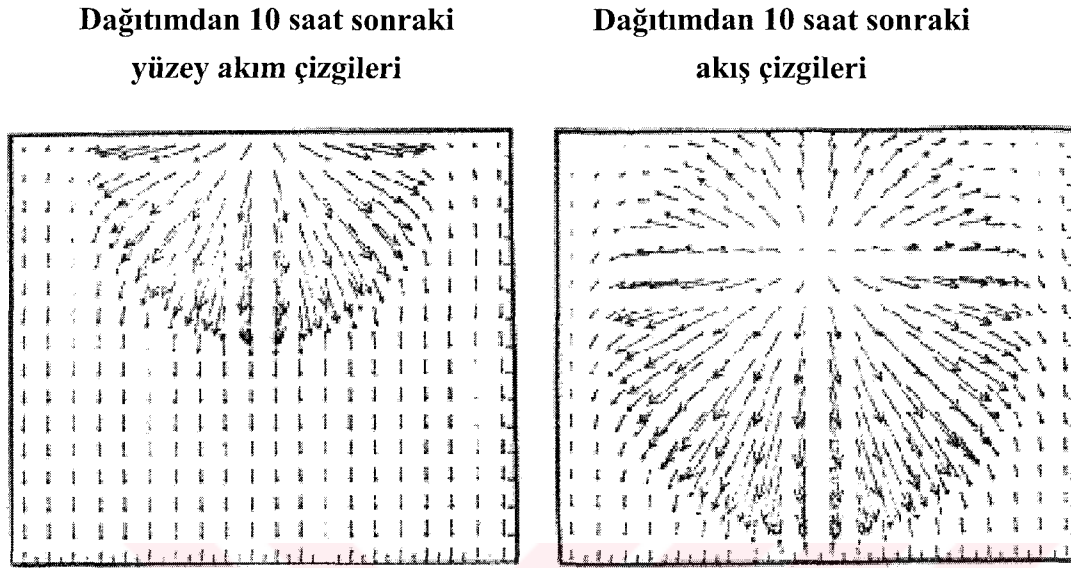


Şekil 1.7a Toprak üstü sulama sistemi optimum toprak potansiyel alanı

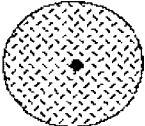


Şekil 1.7b Toprak altı sulama sistemlerindeki optimum toprak potansiyel alanı

Toprak üstü sulama sisteminde akış çizgilerinin dağılımı, toprak altı sulama sisteminin dağılımına oranla Şekil 1.8’de de gösterildiği üzere daha doğrusaldır. Şekil 1.9’da ise toprak üstü sulama sistemleri ile toprak altı sulama sistemlerinin geometrik özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir (Ruskin, 1995).



Şekil 1.8 Toprak üstü sulama sistemi ve toprak altı sulama sisteminin akış çizgilerinin karşılaştırılması

	TUS	TAS
		
	Farklar	
		%
Yarıçap:	0.40 m	0.36 m -10
Alan:	1.005 m ²	1.629 m ² +62
Hacim:	0.134 m ³	0.195 m ³ +46

Şekil 1.9 Toprak üstü sulama sistemi (TUS) ve toprak altı sulama sisteminin (TAS) geometrik karakteristiklerinin karşılaştırılması (Ruskin, 1995)

1.3 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı daha önceki bölümlerde de kısaca belirtildiği gibi poroz boruların hidrolik özelliklerinin incelenmesidir. Yeni bir uygulama alanı olmasından dolayı kaynak ve bilgi birikimi sıkıntısı olmasına rağmen, gelecekte temel alınması açısından yararlı bir adım atılmıştır. Bu çalışma temel olarak şu amaçları edinmiştir:

- Yapılan kaynak yayın araştırması ile konuyla ilgili temel bilgi birikimini arttırmak
- Boruların belli işletme koşulları altında hidrolik açıdan davranışlarını teorik açıdan ele alarak araştırmak
- Teorik yaklaşımlarla aydınlatılmayan ve çözümlenemeyen etkenleri deneysel olarak incelemek
- Poroz boruların genel hidrolik özelliklerini sistematik olarak ortaya koymak

Bu amaçları elde etmek için öncelikle kaynak araştırmasına gidilmiştir. Yeni bir uygulama alanı olmasından dolayı kaynak araştırması sıkıntılı olmuştur. İnternet aracılığıyla yabancı yayın araştırması yapılarak bilgiler elde edilmiştir. Elde edilen bu bilgiler dikkatle araştırılarak faydalı olabilecekler incelenmiştir. Bunun neticesinde poroz borular hakkında genel bir bilgi edinilmiştir. Fakat poroz boruların hidroliği hakkında pek bilgi bulanamamıştır. Bu yüzden önceden yapılmış diğer çalışmalar incelenmiş, yararlı olabilecek ve temel alınabilecek formüller, poroz boruların hidroliğini oluşturmada kullanılmıştır. Bu sayede poroz boruların hidroliği teorik açıdan ele alınmıştır. Kurulan deney modeli sayesinde ise teorik açıdan ele aldığımız poroz borularının hidroliğinin geçerli olup olmadığını kontrol ve karşılaştırma şansını elde etmiş olunur.

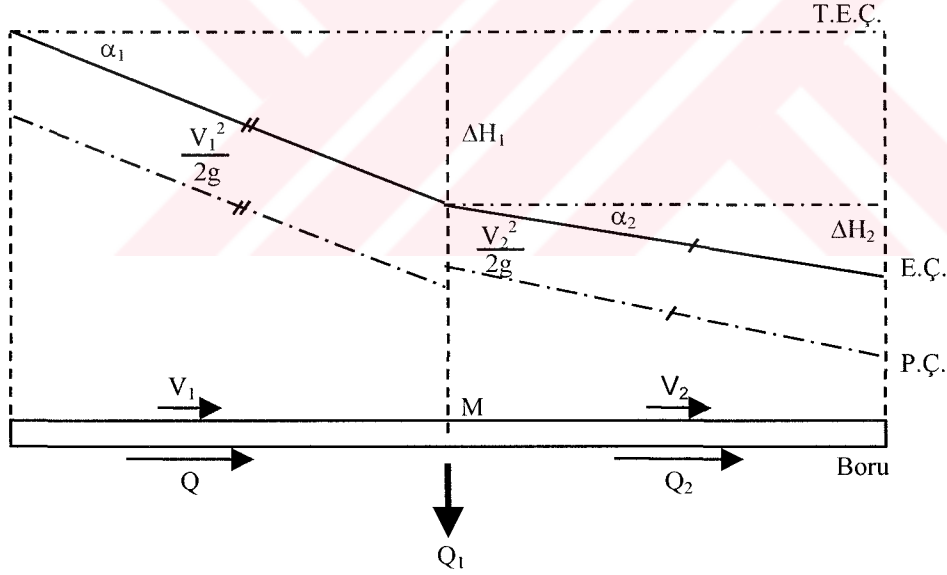
Sulama konusu, su rezervlerinin azaldığı şu günlerde gitgide önem kazanarak, bu konu hakkında daha efektif yaklaşılmasını ve yeni çözümlerin oluşmasını gerektirmektedir. Bu çalışma da bunu sağlamak açısından önemli bir araştırma ve bir başlangıç olması açısından çok faydalı olmuştur.

2. KONU İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Poroz boruların hidroliği ile ilgili olarak doğrudan bu konuyu içeren bir çalışma henüz mevcut değildir. Oldukça yeni olması nedeniyle, araştırmaya çok açık olan bu konuya yakın hidrolik özellikler taşıyan yağmurlama ve damlatma sulaması çalışmalarından yararlanmak mümkün görünmektedir. Bu bölümde, poroz boru hidroliğine ışık tutacak temel bilgiler ve yapılan çalışmalar ele alınacaktır.

2.1 Branşmanlı Boru

Kesiti sabit bir borunun, herhangi bir M noktasından, dışarıya su alınmış olsun.



Şekil 2.1 Branşmanlı borudan bir noktadan su çekilmesi durumu

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, baş taraftaki debi Q , M’den çekilen debi Q_1 ve M’den sonraki debi Q_2 olduğuna göre:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (2.1)$$

eşitliği yazılabilmektedir. Buna göre, M’den önceki hidrolik eğim,

$$J_1 = \frac{\beta Q^2}{D^5} \quad (2.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu formülde J = hidrolik eğimi, D = boru çapını, Q = giriş debisini, $\beta = \lambda/2g\pi^2$ sabit terimini ifade eden bir katsayıdır.

M'den sonraki hidrolik eğim ise,

$$J_2 = \frac{\beta Q_2^2}{D^5} \quad (2.3)$$

olmaktadır. M'e kadar enerji kaybı,

$$\Delta H_1 = l_1 J_1 \quad (2.4)$$

şeklinde, M'den sonra enerji kaybı da,

$$\Delta H_2 = l_2 J_2 \quad (2.5)$$

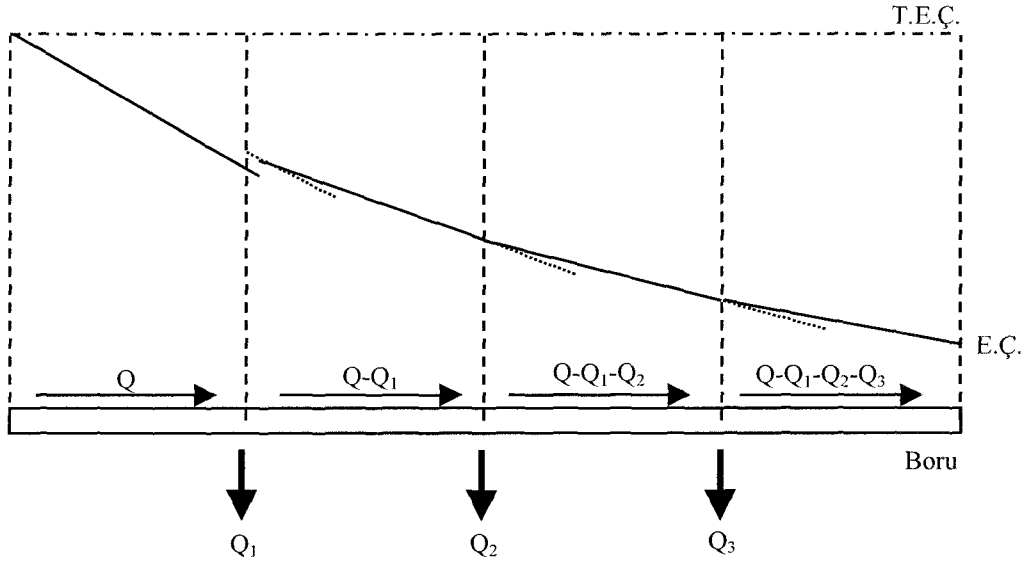
şeklinde yazılabilir. Buna bağlı olarak da toplam enerji kaybı şu şekilde olur:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (2.6)$$

Enerji çizgisi, debi değerinin azalmasından, buna bağlı olarak da hidrolik eğimlerin azalmasından dolayı, M'de kırılan bir kırık doğru şeklindedir.

Enerji kaybı çizgisinden $V_1^2/2g$ ve $V_2^2/2g$ değerleri çıkarılarak piyezometre çizgisi bulunur. $V_1 > V_2$ olduğundan, piyezometre çizgisinde bir yükselme vardır.

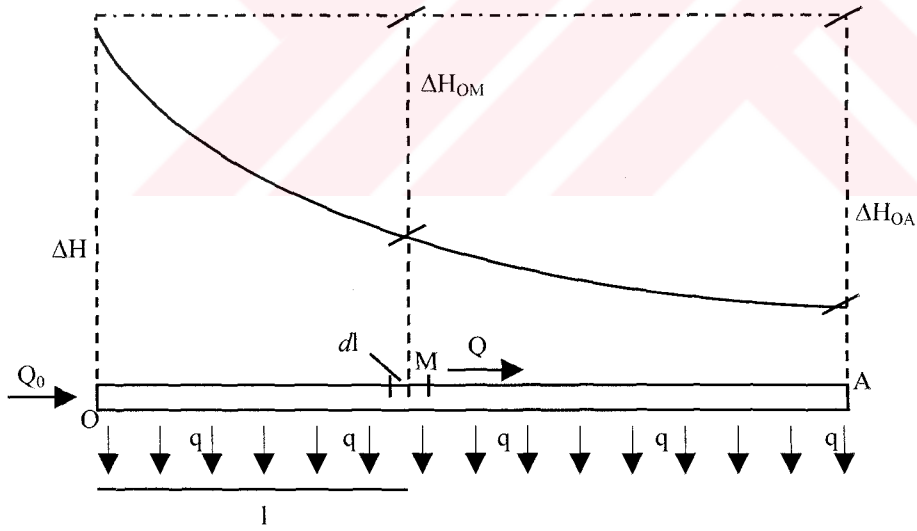
Şekil 2.2'de olduğu gibi, eğer su çekme olayı birkaç noktadan yapılırsa, yukarıdaki çözüm aynen uygulanarak, enerji çizgisinin su çekim noktalarında kırılan, ve eğimi gittikçe küçülen kırık doğru parçalarından meydana geleceği görülür (Özerengin, 1972).



Şekil 2.2 Branşmanlı borudan birkaç noktadan su çekilmesi durumu

2.2 Her Noktadan Üniform Su Çekilmesi ($q=sbt$)

Branşmanlı borunun her noktasından üniform su çekildiği zaman hidrolik eğim değerleri boru boyunca sürekli değişecektir.



Şekil 2.3 Her noktadan üniform su çekilmesi durumu

Şebeke hesapları yapılırken, borunun birim uzunluğundaki her parçasından bir q debisinin çekildiği farz edilir.

Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, O noktasından boruya Q_0 debisi girsin. Herhangi bir M noktasında borudan geçen debi Q ise, bu noktadaki hidrolik eğim,

$$J = \frac{\beta Q^2}{D^5} \quad (2.7)$$

şeklinde olacaktır. M noktasında, çok küçük bir dl parçasında enerji kaybı,

$$d(\Delta H) = Jdl \quad (2.8)$$

olur. O noktasından M noktasına kadar olan enerji kaybı ise,

$$\Delta H = \int_0^l Jdl \quad (2.9)$$

formülüyle hesaplanır. Diğer taraftan M noktasındaki debinin değeri,

$$Q = Q_0 - \int_0^l qdl = Q_0 - ql \quad (2.10)$$

olacaktır. Buradan da,

$$\Delta H_{OM} = \int_0^l \frac{\beta}{D^5} (Q_0 - ql)^2 dl \quad (2.11)$$

hesaplanır. Bu formülü açtığımız zaman,

$$\Delta H_{OM} = \frac{\beta}{D^5} \int_0^l (Q_0^2 - 2Q_0ql + q^2l^2) dl \quad (2.12)$$

ve (2.12) formülünün integralini aldığımız zaman,

$$\Delta H_{OM} = \frac{\beta}{D^5} (Q_0^2 l - Q_0 ql^2 + \frac{1}{3} q^2 l^3) \quad (2.13)$$

ifadelerini elde ederiz. (2.13) denkleminde anlaşılabileceği üzere, üniform debi akışı durumunda enerji çizgisinin denklemi, üçüncü dereceden bir parabol şeklindedir (Özerengin, 1972).

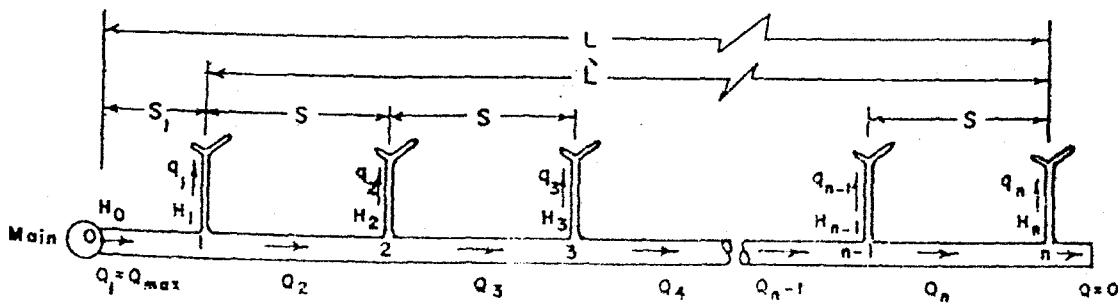
2.3 Yağmurlama Sulama Laterallerinin Analizi ve Dizaynı

Yağmurlama sulama sistemlerinin tasarımı bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. İlk araştırmacılar bazılarını, Christansen (1942), McCulloch (1945), Grey ve diğ. (1954), Jensen ve Franzini (1957), Bittinger ve Longenbaugh (1962), ve Heerman ve diğ. (1974) olarak sayılabilir.

Uzun bir süre boyunca yağmurlama sulama lateralleri için, yaklaşık bir metot kullanılmaktaydı (Sprinkler 1975, Schwab ve diğ. 1981, ve Sivanappan 1987) Bu metotta, yağmurlama ünitelerinin varlığını göz önüne almayarak, lateraldeki yük kaybını tahmin etmek için genellikle Hazen-Williams veya Scobey denklemleri kullanılmıştır. Tahmini yük kaybı, daha sonra lateraldeki yağmurlama ünitesi sayısına bağlı olarak değişen bir düzeltme katsayısı ile çarpılır.

Son zamanlarda, Haghighi ve diğ. (1988) ve Saldivia ve diğ. (1990) yağmurlama sulama ağını analiz etmek için sonlu elemanlar metodunu uygulamışlardır. Sürtünme enerji kaybını tahmin etmek için Hazen-Williams denklemlerini kullanmışlardır. Bu metotta sürtünme katsayısını değerini tanımlamak için , en doğru ve güvenilir metot olduğu düşünülen Darcy-Weisbach sürtünme denklemi kullanılmıştır.

Yağmurlama sulama lateralinde, yağmurlama üniteleri genellikle özdeş ve eşit aralıklıdır. Şekil 2.4'de belirtildiği gibi ana boru veya ara boru giriş ile ilk yağmurlama ünitelerinin arasındaki mesafe, s_1 , yağmurlama ünitelerinin kendi aralarındaki mesafeden, s , daha farklıdır ve genellikle çoğu dizaynda $s/2$ kadardır. (Hathoot ve diğ., 1994)



Şekil 2.4 Yağmurlama sulama laterali

Yağmurlama lateralinde, eşit s aralıklı n tane yağmurlama ünitesi olduğundan, bunlar arasında $n-1$ kadar aralık sayısı olacaktır. Buna göre lateral boyu,

$$L = s_1 + s(n-1) \quad (2.14)$$

şeklinde olacaktır. Lateralin iç kısmındaki basınç yüksekliği H_0 , ilk sprinkler çıkışındaki basınç yüksekliği H_1 arasındaki ilişki ise şu şekilde hesaplanır:

$$H_0 + z_0 = H_1 + z_1 + \Delta H_1 \quad (2.15)$$

Buradaki z_0 ve z_1 , 0 ve 1 numaralı noktaların yükseltisi, ΔH_1 ise bu noktalar arasındaki toplam enerji kaybıdır. (2.15) denklemini H_1 'e göre düzenlersek,

$$H_1 = H_0 + (z_0 - z_1) - \Delta H_1 \quad (2.16)$$

elde ederiz. Eğer lateral borunun üniform bir eğimi varsa,

$$z_0 - z_1 = \pm s_1 S_0 \quad (2.17)$$

denklemini ile ifade edilir. Bu değeri, (2.16) denkleminde yerine koyarsak,

$$H_1 = H_0 \pm s_1 S_0 - \Delta H_1 \quad (2.18)$$

ifadesini elde ederiz. Von Bernuth (1990), boru sürtünme enerji kaybını bulmakta daha basit yöntemler bulunduğu halde, daha kompleks olan ve daha çok kabul edilen Darcy-Weisbach denklemini kullanmıştır. (2.18) denkleminde ΔH_1 yerine değeri yazılırsa,

$$H_1 = H_0 \pm s_1 S_0 - \frac{8f s_1 Q_1^2}{\pi^2 g D^5} - h_1 \quad (2.19)$$

formülü elde edilir. Bu formülde,

$f_1 = 0$ ve 1 noktaları arasındaki borudaki sürtünme katsayısı,

$Q_1 =$ Lateral borunun iç kısmındaki debi

$g =$ Yerçekimi ivmesi

D = Lateral çapı

$h_1' =$ Yersel yük kaybı

Şimdi enerji denklemini 1 ve 2 noktaları arasına uygularsak,

$$H_1 + \frac{Q_1^2}{2gA^2} + z_1 = H_2 + \frac{Q_2^2}{2gA^2} + z_2 + \Delta H_2 \quad (2.20)$$

formülünü elde ederiz. Bu formülde, Q_1 ve $Q_2 = 1$ ve 2 noktalarına gelen debi değerleri, $H_2 = 2$ noktasındaki basınç yüksekliği, $A =$ Lateralin enkesit alanı, $\Delta H_2 = 1$ ve 2 noktaları arasındaki toplam enerji kaybını göstermektedir.

Q_2 lateral debisi şu şekilde hesaplanabilir,

$$Q_2 = Q_1 - q_1 \quad (2.21)$$

q_1 , burada ilk yağmurlama ünitesindeki debi değeridir.

(2.21) ve (2.17) formüllerini (2.20) formülünde yerine koyup, tekrar düzenleyip basitleştirdiğimizde elde edeceğimiz formül şu şekilde olacaktır.

$$H_2 = H_1 + \frac{Q_1^2}{2gA^2} - \frac{(Q_1 - q_1)^2}{2gA^2} \pm sS_0 - \frac{8f_2s(Q_1 - q_1)^2}{\pi^2 gD^5} - h_2' \quad (2.22)$$

(2.22) formülündeki $f_2 = 1$ ve 2 noktaları arasındaki borudaki sürtünme katsayısı, $h_2' =$ yersel yük kaybı değerleridir. Kolaylık açısından, (2.22) formülü şu şekilde de yazılabilir:

$$H_2 = H_1 + B[Q_1^2 - (Q_1 - q_1)^2] - Ef_2(Q_1 - q_1)^2 - h_2' \pm sS_0 \quad (2.23)$$

(2.23) formülünde,

$$B = \frac{1}{2gA^2} \quad (2.24)$$

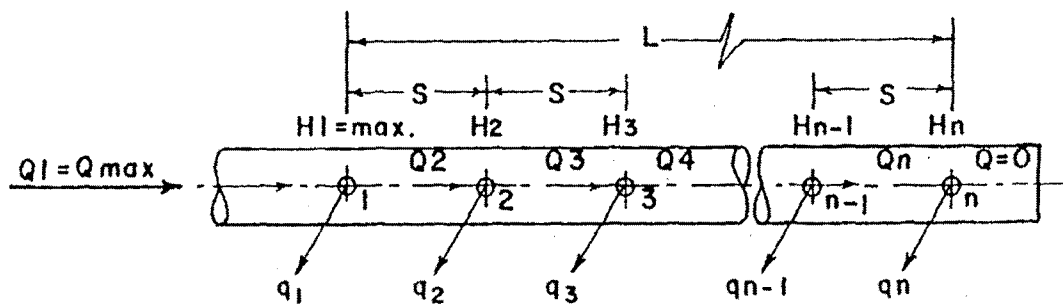
$$E = \frac{8s}{\pi^2 g D^5} \quad (2.25)$$

değerleridir. Eğer 2 ardışık yağmurlama ünitesini göz önüne alırsak, (2.23) formülü şu genel forma döner:

$$H_i = H_{i-1} + B[Q_{i-1}^2 - (Q_{i-1} - q_{i-1})^2] - Ef_i(Q_{i-1} - q_{i-1})^2 - h_i' \pm sS_0 \quad (2.26)$$

2.4 Damlatma Sulama Laterallerinin Analizi ve Dizaynı

Damlatma sulama laterallerindeki akış sabit ve alt akışa doğru azalan damlatıcı dış akımıyla mekana bağlı bir akımdır. Damlatma sulama problemine araştırmacılar arasında en yakın çözümü bulanlar Gellespie ve diğ. (1979); Khatri ve diğ. (1979); Watters ve Keller (1978); Watters ve Keller (1978); ve Perold (1977) olarak sayılabilir. Bu analizlerinde, genellikle hız yüksekliğindeki değişimi göz ardı ederek iç üniform damlatıcı dış akışı olduğunu varsaydılar. Hathoot ve diğ. (1991) lateral boyunca hız yüksekliğinde ve Reynolds sayısındaki değişikliği de hesaba katarak üniform dış akışa bağlı bir çözüm üretmiştir. Lateralin, ana tüp ve uzunlamasına boruların homojen sistemi gibi davrandığını varsayan Warrick ve Yitayew, temel çözümün bir parçası olarak, mekana bağlı değişebilen debi fonksiyonunu alternatif bir çözüm olarak sundular. Yitayew ve Warrick (1986), borunun alt akımındaki laminer akımı göz ardı ederek ve hidrolik düzgün bir akış olduğunu varsayarak, hız yüksekliğinin damlatma sulama boruları dizaynı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermişlerdir. Daha ileri giderek, borunun üst akımında oluşabilecek tam türbülanslı akımı da göz ardı etmişlerdir. (Hathoot ve diğ., 1993)



Şekil 2.5 Damlatma Sulama Laterali

Damlatma sulama laterallerinde, damlatıcılar eşit aralıklar ile yerleştirilmişlerdir. Damlatıcı debisi, basınç yüksekliğine bağlıdır ve denklemi şu şekildedir:

$$q_i = cH_i^y \quad (2.27)$$

Burada, q_i = damlatıcı debisi, H_i = inceleme altında bulunan damlatıcının lateral borudaki basınç yüksekliği ve c = bölgesel ve debi değişikliklerine bağlı olan damlatıcı katsayısıdır. Lateral için genelde c sabit alınır. y üssü ise akım rejimi tipine göre, genellikle 0 ile 1 arasında değişir.

Şekil 2.5'deki laterali göz önüne alırsak, lateral boyunca s eşit aralıklı n tane damlatıcı olduğu zaman, $(n-1)$ tane aralık olur. Buna göre lateral boyu,

$$L = s(n-1) \quad (2.28)$$

şeklinde yazılabilir. H_1 iç basınç yüksekliği, Q_1 iç lateralın üst akımdaki debisi, q_1 ise ilk damlatıcının debisi olduğu zaman Q_2 debisi,

$$q_1 = cH_1^y \quad (2.29)$$

$$Q_2 = Q_1 - q_1 \quad (2.30)$$

olacaktır. İkinci damlatıcıdaki basınç yüksekliği, H_2 , H_1 basınç yüksekliğine bağlı olarak şu denklemle ifade edilir:

$$H_1 + \frac{Q_1^2}{2gA^2} + z_1 = H_2 + \frac{Q_2^2}{2gA^2} + z_2 + \Delta H_2 + h'_2 \quad (2.31)$$

Bu denklemde, A = lateralın enine kesit alanı, z_1 ve z_2 = 1 ve 2 numaralı damlatıcıların geometrik kotları, g = yerçekimi ivmesi, ΔH_2 = 1 ve 2 numaralı damlatıcıların arasındaki yük kaybı yüksekliği, h'_2 = debinin Q_1 'den Q_2 'ye düşmesinden oluşan momentum etkisidir.

(2.31) formülünden H_2 'i çekersek,

$$H_2 = H_1 + \frac{Q_1^2}{2gA^2} - \frac{Q_2^2}{2gA^2} + (z_1 - z_2) - \Delta H_2 - h_2' \quad (2.32)$$

ifadesini elde ederiz. Eğer lateral borunun, S_0 gibi üniform bir eğimi varsa, 1 ve 2 noktaları arasındaki kot farkı,

$$z_0 - z_1 = \pm s_1 S_0 \quad (2.33)$$

şeklinde olur. Watters ve Keller (1978), Darcy-Weisbach denkleminin, pürüzsüz damlatma sulama laterallerinde yük kaybını hesaplamakta kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

$$\Delta H_2 = \frac{8f_2 s Q_2^2}{\pi^2 g D^5} \quad (2.34)$$

Bu formülde,

$f_2 = 1$ ve 2 noktaları arasındaki borudaki sürtünme katsayısı,

$Q_2 =$ Lateral borunun iç kısmındaki debi

$g =$ Yerçekimi ivmesi

$D =$ Lateral çapı

Momentum değişikliğine bağlı olarak basınç yüksekliği ise şu şekilde hesaplanır:

$$h_2' = \frac{(Q_2^2 - Q_1^2)}{gA^2} \quad (2.35)$$

(2.30), (2.33), (2.34) ve (2.35) denklemlerini (2.32) denkleminde yerine koyarsak,

$$H_2 = H_1 + \frac{3}{2gA^2} [Q_1^2 - (Q_1 - q_1)^2] - \frac{8f_2 s (Q_1 - q_1)^2}{\pi^2 g D^5} \pm s S_0 \quad (2.36)$$

formülünü elde ederiz. Kolaylık açısından, (2.36) formülü şu şekilde yazılabilir:

$$H_2 = H_1 + B' [Q_1^2 - (Q_1 - q_1)^2] - Ef_2 (Q_1 - q_1)^2 \pm sS_0 \quad (2.37)$$

(2.37) formülünde,

$$B' = \frac{3}{2gA^2} \quad (2.38)$$

$$E = \frac{8s}{\pi^2 g D^5} \quad (2.39)$$

olur. Eğer 2 ardışık iç damlatıcıyı göz önüne alırsak, (2.37) formülü şu genel forma döner:

$$H_i = H_{i-1} + B' [Q_{i-1}^2 - (Q_{i-1} - q_{i-1})^2] - Ef_i (Q_{i-1} - q_{i-1})^2 \pm sS_0 \quad (2.40)$$

2.5 Sürtünme Katsayısı ve Üniformite Katsayısı

Laterallerdeki akım genellikle türbülanslıdır, $3000 < R < 10^5$. Bazen lateralın sonundaki üst akımda, akım tam türbülanslı, $10^5 < R < 10^7$, akım hızının azaldığı alt akımda da laminar akıma dönüşür, $R < 2000$. Laminar akım için ($R < 2000$), sürtünme katsayısı şu şekildedir: (Hathoot ve diğ., 1993-1994)

$$f = \frac{64}{R} = \frac{64\nu}{VD} \quad (2.41)$$

Formülü açarsak eğer,

$$f_i = \frac{16\pi D \nu}{Q_i} \quad (2.42)$$

şeklinde genel bir formül elde ederiz. Burada ν = suyun kinematik viskozitesi, D = lateralın çapı, Q_i = i noktasındaki suyun debisidir. Türbülanslı akım için ($3000 < R < 10^5$) ise Blasius denklemi kullanılabilir:

$$f = 0,316R^{-0,25} \quad (2.43)$$

Bu denklemin de genel hali şu şekilde olur:

$$f_i = 0,316 \left(\frac{\pi D v}{4 Q_i} \right)^{0,25} \quad (2.44)$$

Tam türbülanslı akım hali için ise ($10^5 < R < 10^7$), Watters ve Keller (1978) denklemi kullanılabilir:

$$f = 0,130 R^{-0,172} \quad (2.45)$$

Başka bir şekilde,

$$f_i = 0,130 \left(\frac{\pi D v}{4 Q_i} \right)^{0,172} \quad (2.46)$$

genelleştirilebilir.

Damlaticıları tek tek göz önüne aldığımızda, sistemdeki minimum ve ortalama damlaticı debisi arasındaki ilişkiye bağlı olan yayılma üniformitesi ifadesini incelememiz gerekir. Christiansen Üniformluk Katsayısı (UC) damlaticı debisinin üniformitesini ifade etmek için kullanılan bir denklemdir.

$$UC = 1 - \left[\frac{1}{n q_{av}} \right] \sum_{i=1}^n |q_i - q_{av}| \quad (2.47)$$

Bu denklemde, q_{av} = damlaticının ortalama debisidir.

2.6 Eşit Aralıklı Yerleştirilmiş Damlaticılı ve Dış Akışlı Borular için G Faktörü

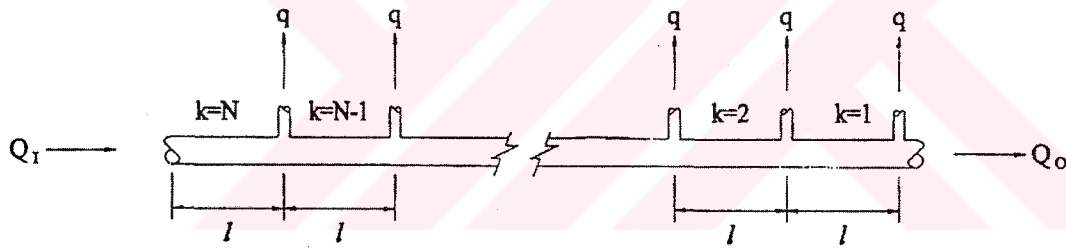
Boru uzunluğu boyunca çok çıkışlı bir borunun sürtünmeden kaynaklanan enerji yüksekliği, boru boyunca debinin azalmasından dolayı, çıkışsız bir borununkinden daha az olur. Christiansen (1942), külfetli basamak analizlerini gözardı ederek, “F faktörü” adında sürtünme faktörünü bulmuştur. Bütün boru boyunca bütün debiyi düşünerek hesaplanan enerji yüksekliğini F faktörü ile çarparak, çok çıkışlı tek-çaplı

bir borunun enerji kaybının yaklaşık hesaplanabileceğini belirtmiştir. F faktörünü kullanabilmek için gerekli bazı şartlar şunlardır:

- Borunun alt çıkışında hiç dış akım olmamalı,
- Bütün damlatıcılar eşit aralıklı yerleştirilmeli,
- Bütün damlatıcılar aynı debiye sahip olmalı,
- Boru girişi ile ilk damlatıcı arasındaki uzaklık, diğer damlatıcılar arasındaki aralığa eşit olmalıdır.

Bu şartları sağlayan borularda F faktörü kullanılmaktadır. Scaloppi (1988) ise, diğer şartları sağlayan, sadece boru girişi ile ilk damlatıcı arasındaki uzaklığın herhangi bir uzaklıkta olabildiğinde kullanılmak üzere, ayarlanmış F faktörünü, F_a , hesaplamıştır.

Buradan yola çıkarak, G faktörü ortaya atılmıştır. Bu faktörde ise, borunun alt çıkışında dış akım olabileceği üzerinde durulmuştur. (Anwar, 1999)



Şekil 2.6 Eşit aralıklı yerleştirilmiş damlatıcılı ve dış akışlı boru

Christiansen'in F faktörü şu şekilde yazılabilir:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{(m-1)^{0.5}}{6N^2} \quad (2.48)$$

Burada, F = Christiansen'in F faktörü, m = sürtünmeden meydana gelen enerji yüksekliğini saptamakta kullanılan formüldeki hız üssü, N = boru boyunca bulunan damlatıcı sayısıdır. Şekil 2.6'yı göz önüne aldığımızda, boruya giren akışı şu şekilde ifade edebiliriz:

$$Q_1 = Nq + Q_0 \quad (2.49)$$

Q_1 = Giriş debisi, N = boru boyunca bulunan damlatıcı sayısı, q = her damlatıcının debisi ve Q_0 = Borunun sonundaki çıkış debisidir.

Borunun çıkış debisi ile damlatıcıların toplam debisinin oranını “ r ” ile gösterirsek, r

$$r = \frac{Q_0}{Nq} \quad (2.50)$$

şeklinde ifade edilebilir ve $r \geq 0$ olacağı aşikardır. Buradan yola çıkarak, çıkış debisini de şu şekilde gösterebiliriz:

$$Q_0 = rNq \quad (2.51)$$

(2.51) formülünü, (2.49) formülünde yerine koyarsak,

$$Q_1 = Nq(1+r) \quad (2.52)$$

veya başka bir şekilde,

$$q = \frac{Q_1}{N(1+r)} \quad (2.53)$$

denklemleri yazılabilir. Herhangi verilen bir k bölümündeki debi ise,

$$Q_k = kq + rNq \quad (2.54)$$

ifadesini alır. Burada Q_k = boruda verilen herhangi bir k bölümündeki debi değeridir.

Christiansen’e göre verilen bir k bölümündeki enerji yüksekliği ise aşağıda verilen formül ile hesaplanabilir.

$$H_{fk} = \frac{CKQ_k^m l}{D^{2m+n}} \quad (2.55)$$

Burada H_{fk} = k bölümüne kadar olan sürtünmeden dolayı oluşan enerji kaybı, C = birim katsayısı, K = kullanılan sürtünme denklemine bağlı olan sürtünme

faktörü, Q_k = verilen k bölümündeki debi değerini, l = her boru bölümün uzunluğu, D = lateralın iç çapı, m ve n = kullanılan sürtünme denklemine bağlı olarak değişen borunun içindeki ortalama akım hızının üssü ifadeleridir.

(2.54) formülünü, (2.55) formülünde yerine koyarsak şu ifadeyi elde ederiz:

$$H_{fk} = \frac{CK}{D^{2m+n}} [q(k + Nr)]^m l \quad (2.56)$$

Her boru bölümünün uzunluğu ise,

$$l = \frac{L}{N} \quad (2.57)$$

şeklinde ifade edilebilir. (2.57) formülündeki l değerini ve (2.53) formülündeki q değerini (2.56) formülünde yerine koyarsak,

$$H_{fk} = \frac{CK}{D^{2m+n}} \left(\frac{Q_r}{N(1+r)} \right)^m (k + Nr)^m \frac{L}{N} \quad (2.58)$$

şeklinde yeni bir formül elde ederiz ve bunu düzenlediğimiz zaman ise,

$$H_{fk} = \frac{CKQ_r^m L}{D^{2m+n}} \frac{1}{N^{m+1}(1+r)^m} (k + Nr)^m \quad (2.59)$$

ifadesini elde ederiz. L uzunluğu boyunca yük kaybını ise şu şekilde hesaplarız:

$$H_{fL} = \sum_{k=1}^N H_{fk} = \frac{CKQ_r^m L}{D^{2m+n}} \frac{1}{N^{m+1}(1+r)^m} \sum_{k=1}^N (k + Nr)^m \quad (2.60)$$

Formülü daha basitleştirdiğimizde,

$$H_{fL} = \sum_{k=1}^N H_{fk} = \frac{CKQ_r^m L}{D^{2m+n}} G \quad (2.61)$$

şeklinde bir denklem elde ederiz ki buradaki G, G faktörüdür ve,

$$G = \frac{1}{N^{m+1}(1+r)^m} \sum_{k=1}^N (k + Nr)^m \quad (2.62)$$

ifadesine eşittir. G faktörünün açılımı, Euler-Maclaurin Toplam formülü ile yapılmaktadır ama genellikle m, r ve N değerlerine göre hazırlanmış tablolar yardımıyla doğrudan bulunabilmektedir.

2.7 Direkt Damlatmalı Lateralin Hidrolik Hesabında Analitik Yaklaşım

Bu yaklaşımda her damlatıcının dış akışının değişken olduğunu ve debinin basınç yüksekliği ile yakından ilgisi olduğu kabul edilmiştir. Buna göre,

$$q_e = cH^y \quad (2.63)$$

şeklinde bir formül yazılabilir. Burada q_e = bağımsız bir damlatıcının debisi, c = verilen damlatıcı için yayılma katsayısı sabiti, H = basınç yüksekliği, y = 0 ile 1 arasında değişen yayılma üssüdür (Valiantzas, 1998).

Dış akışın lateral boyunca sürekli olarak değiştiği düşünürsek (damlatıcı sayısı çok fazla), lateralın birim boyundaki dış akışı şöyle tarif edilebilir:

$$q(x) = \frac{cH^y(x)}{s} \quad (2.64)$$

Burada $q(x)$ ve $H(x)$, x'in yani uzaklığın bir fonksiyonu, s ise damlatıcılar arasındaki uzaklıktır.

Bu analizin ilk basamağı olarak, damlatıcı dış akışının lateral boyunca sabit olduğunu düşünelim.

$$q(x) = \frac{q_{av}}{s} = \frac{Q_{in}}{L} \quad (2.65)$$

Q_{in} = lateralın toplam debi değeri, q_{av} = ortalama damlatıcı debisi ve L = lateralın boyudur. Bu formülün, 0 ve x sınırları arasında integralini alırsak şu eşdeğerini elde ederiz:

$$Q(x) = Q_m \left(\frac{x}{L} \right) \quad (2.66)$$

Bu formülde $Q(x)$ = x noktasındaki lateralden geçen toplam debi değeridir. Enerji gradyanı çizgisinin sürtünme eğimini, Darcy-Weisbach formülünü kullanarak yaklaşık olarak hesaplayabiliriz.

$$\frac{dH_f(x)}{dx} = S_f(x) = K \frac{Q_m^m(x)}{D^{m+3}} \quad (2.67)$$

$H_f(x)$ = herhangi x noktasındaki basınç yüksekliği kaybı, S_f = sürtünme eğimi, K = pürüzlülük katsayısı ($K = a_1 v^{2m} (4/\pi)^m / 2g$), v = kinematik viskozite, D = iç çap, m = ampirik üst, a_1 = türbülansa bağlı değişen K ifadesi çarpanıdır. Laminer akım için ($R < 2000$) $m = 1$ ve $a_1 = 64$, türbülanslı akım için ($3000 < R < 10^5$) $m = 1,75$ ve $a_1 = 0,316$, tam türbülanslı akım için ($R > 10^5$) $m = 1,828$ ve $a_1 = 0,13$ şeklindedir.

(2.67) formülünü 0 ve x limitleri arasında entegre edersek,

$$H_f(x) = \frac{H_{f0}}{(m+1)} \left(\frac{x}{L} \right)^{m+1} \quad (2.68)$$

şeklinde bir formül elde ederiz ve buradaki H_{f0} ifadesi ise şu şekildedir:

$$H_{f0} = \frac{K Q_m^m L}{D^{m+3}} \quad (2.69)$$

Damlatmalı lateral boyunca toplam enerjide hız kaybı oranının çok düşük olacağını düşünerek, herhangi bir x noktasındaki H basınç kaybı değeri şu şekildedir:

$$H(x) = H_d + H_f(x) - S_0 x \quad (2.70)$$

Bu formülde, H_d = lateralin sonundaki alt akımdaki basınç kaybı, S_0 = lateral boyunca üniform olduğu kabul edilen yüzey eğimidir.

Ortalama basınç kaybı, H_{av} , (2.70) formülünün 0 ve L limitleri arasında entegre edilmesi ve L'ye bölünmesiyle hesaplanır.

$$H_{av} = H_d + \frac{H_{f0}}{(m+1)(m+2)} - \frac{S_0 L}{2} \quad (2.71)$$

(2.70) formülünde, damlatıcılardan çıkan suyun debisinin sabit olduğu varsayılmıştır. Bir başka yaklaşımda, damlatıcıların debisinin değişken olabileceği gözönüne alınmıştır. Buna göre, (2.66) formülünü kullanmak yerine daha genel bir formül kullanılır.

$$Q(x) = Q_m \left(\frac{x}{L} \right)^\gamma \quad (2.72)$$

Bu formülde tanımlanan γ = ampirik ifade üssüdür ve buna bağlı olarak da lateral boyunca damlatıcı dış akışının sabit olmadığı, x bağlı değiştiği gösterilmiştir. (2.72) formülünün diferansiyelini alırsak,

$$q(x) = \frac{aQ_{av}}{s} \left(\frac{x}{L} \right)^{\gamma-1} \quad (2.73)$$

şeklinde genel bir formül elde ederiz.

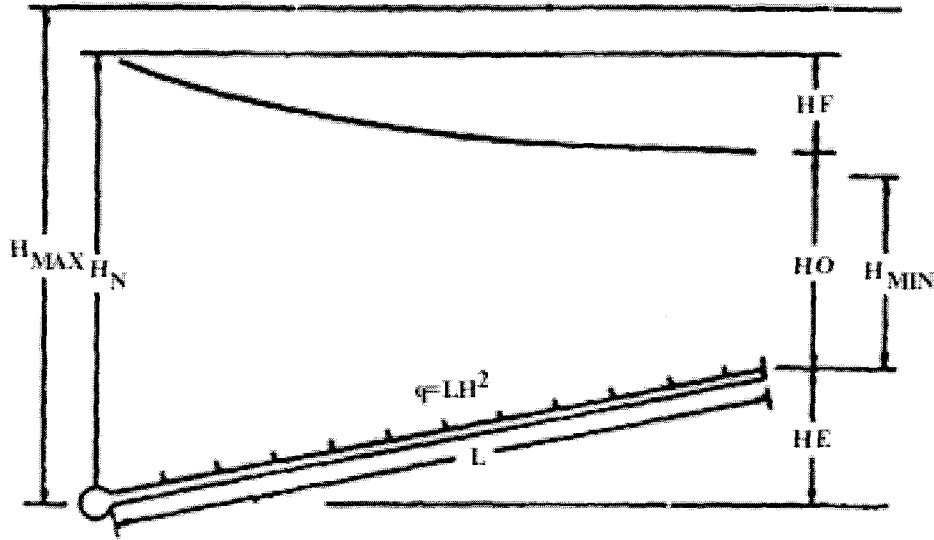
2.8 Lateral Boruların Tasarımı

Damlatıcı debisini doğrudan basınç yüksekliğine bağlı olması nedeniyle;

- İstenilen debi değerine göre bir işletme basıncı
- İstenilen boru boyuna veya üniformiteye göre minimum basınç değeri

tanımlanarak lateral boruların tasarımı gerçekleştirilmelidir. Laterallerde de her hidrolik yapıda olduğu şekilde boru boyunca sürekli yük kayıplarının meydana

gelmesi doğaldır. Başka bir ifade ile L boyunda döşenmiş bir lateralde başlangıçtan son noktaya kadar basınçta sürekli düşme olacağından damlatıcı debi değerlerinde de giderek bir azalma olacaktır (Kapdaşlı, 1997).



Şekil 2.7 Lateralde basınç değerleri

Şekil 2.7’de gösterildiği şekilde döşenmiş bir lateralde işletme basıncı H_N , borudaki yük kaybı HF , boru sonundaki basınç H_O ve arazi eğiminden dolayı ortaya çıkan kot farkı HE ise;

$$H_N = H_O + HF + HE \quad (2.74)$$

eşitliği yazılabilir. Burada HE arazi eğiminin yukarı veya aşağı olması durumuna göre (+) veya (-) olarak ifadede yer alacaktır. Buna göre boyutsuz olarak yukarıdaki eşitlik aşağıdaki şekli alır.

$$\frac{H_O}{H_N} = 1 - \left(\frac{HF}{H_N} + \frac{HE}{H_N} \right) \quad (2.75)$$

Damlatıcı debisi ifadesinden,

$$H = (q/c)^{1/y} \quad (2.76)$$

eşitliği türetilebilir. Bu noktada lateralde istenilen üniformiteye bağlı olarak maksimum ve minimum debiler arasındaki farkın yüzdesinin $\pm p$ olduğu kabulü yapılırsa borudaki ortalama debi q ise kabul edilen debi $\pm q(p/100)$ kadar olacaktır. Buna göre,

$$HN = \frac{1}{c} \left(q + q \frac{p}{100} \right)^{1/y} \quad (2.77a)$$

$$HN = \frac{1}{c} \left[q \left(1 + \frac{p}{100} \right) \right]^{1/y} \quad (2.77b)$$

$$Ho = \frac{1}{c} \left[q \left(1 - \frac{p}{100} \right) \right]^{1/y} \quad (2.78)$$

olarak kabul edilebilir. Buna bağlı olarak;

$$\frac{Ho}{HN} = \left(\frac{1 - \frac{p}{100}}{1 + \frac{p}{100}} \right)^{1/y} \quad (2.79)$$

şeklinde ifade edilebilir. Lateral botunca basınç kaybının ifadesi ise aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$HF = HN \left(1 - \left(\frac{1 - p/100}{1 + p/100} \right)^{1/y} - \frac{HE}{HN} \right) \quad (2.80)$$

Yukarıdaki eşitlik yardımıyla borudaki yük kaybı ile kabul edilen debi değişim oranı arasında ilişki sağlanmış olmaktadır. (Braud ve Soom, 1981)

2.9 Sürekli Yük Kaybı ve Lateral Boyu Hesabı

Lateral borularında sürekli yük kaybı (HF) için değişik formüller kullanmak mümkün olmakla birlikte genellikle aşağıda verilen William-Hazen eşitliği kullanılmaktadır.

$$HF = 3.169 \times 10^3 D^{-4.817} F \left(\frac{g}{c.s} \right)^{1.852} L^{2.852} \quad (2.81)$$

(2.82) formülüne, William-Hazen tarafından sunulan hız eşitliğinden hareketle varılmaktadır. Buna göre,

$$V = 0.85 C' R^{0.63} J^{0.54} \quad (2.82a)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} = 0.85 C' \left(\frac{D}{4} \right)^{0.63} \left(\frac{HF}{L} \right)^{0.54} \quad (2.82b)$$

ifadesinden hareket edildiğinde lateraller için önemli nokta her s, damlatıcı aralığında q kadar debi çıkışı nedeniyle lateral debisinde azalma olmasıdır. Bu nedenle Q toplam debiden q kadar azalmaların dikkate alınması için F katsayısı formüle girmektedir.

(2.80) formülü yardımıyla, belli bir işletme basıncı altında ve kabul edilen bir debi üniformitesine bağlı “gerekli boru sonu basıncı” kullanılarak sulama borusunun dönebileceği en uzun boy,

$$L = 0.059 D^{-1.708} F^{-0.51} \left[\frac{cs}{q} \right]^{0.649} \left[HN \left(1 - \frac{Ho}{HN} - \frac{HE}{HN} \right) \right]^{0.351} \quad (2.83)$$

ifadesi ile hesaplanır. Bu ifadede Ho terimini bulunması, lateral tasarımında boru son noktasındaki basıncın öngörülmesi gerektiğini göstermektedir. Burada,

D = Boru çapı,

F = Bir katsayı,

C' = William-Hazen pürüzlülük katsayısı,

S = Çıkış noktaları arası uzaklık,

q ; = Ortalama birim boy debisi,

H_N = İşletme basıncı,

H_o = Boru sonu basıncı,

H_E = Borunun eğimine bağlı kot farkıdır.

2.10 Lateral Dizayn Kriterleri

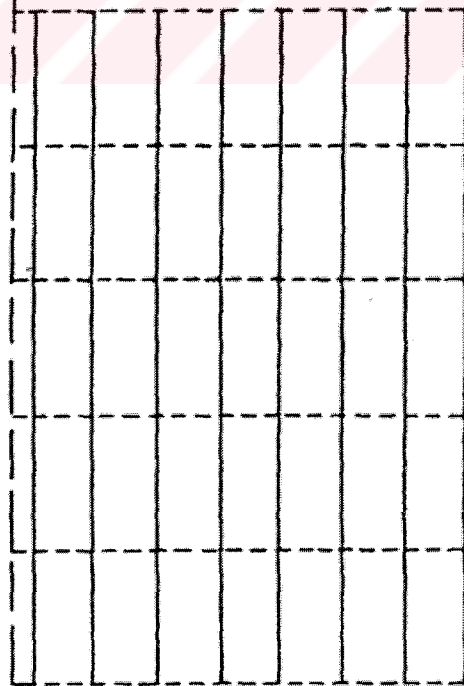
Damlatma sulama sistemindeki laterallerin dizaynında genellikle kullanılan kriter, hortum başlarındaki debi farklarının $\pm\%10$ 'dan daha az olmamasıdır. Bu da hortum ağızlarındaki operasyon basıncının maksimum farkının $\pm\%20$ 'dan az olmamasına karşılık gelir (Cuenca, 1989). Akışın üniform olmasını sağlamak için, herhangi bir dizaynın maksimum hız kriterine göre kontrol edilmesi gereklidir. Yüksek yük kaybını önlemek için lateral içindeki basıncın 1.5 m/s 'i aşmaması gerekir. Sonuç olarak, Üniformite Katsayısı en az 0.95 kadar olmalıdır (Hathoot ve diğ., 1994).

3. TEORİK YAKLAŞIM

Poroz borular ile ilgili tam olarak kesin hidrolik bilgiler elimizde bulunmamaktadır. Buna bağlı olarak, önceden yapılmış olan çalışmalardan ve araştırmalardan yararlanarak teorik yaklaşımla poroz boruların hidroliği ile ilgili bilgiler elde etmeye çalışacağız.

3.1 Genel Tanımlar

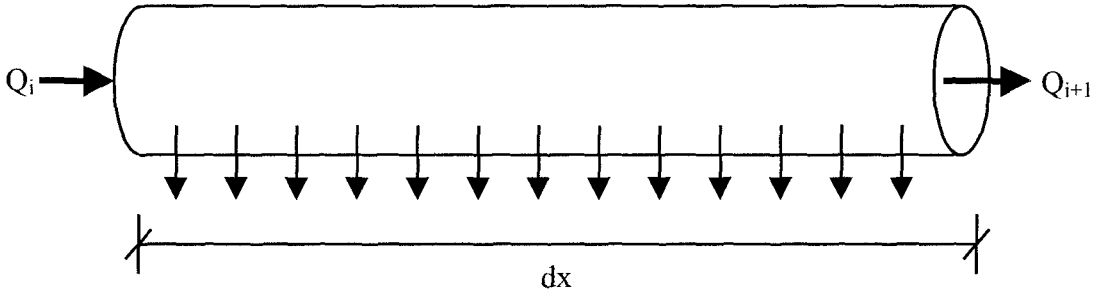
Damlatma sulamasında kullanılan dağıtım sistemi genel olarak bir basınçlı giriş noktasından başlamakta ve sulama suyunu bitkilere veren lateral boruları ile sona ermektedir (Şekil 3.1). Damlatma sulamasında verimin arttırılması bitkilere öngörülen kadar debiyi istenilen zaman dilimi içinde sabit ve düzenli olarak vermek ile mümkün olduğundan dağıtım sisteminin hidrolik olarak iyi tasarlanması gerekmektedir. Hidrolik açıdan iyi tasarımda ise en önemli etken laterallerin düzenlenmesidir.



Şekil 3.1 Sulama şebekesi

3.2 Poroz Borularda Değişken Birim Debi Durumu

Poroz borulardaki sistem incelendiğinde, borunun giriş debisi Q_i ve dx kadar olan boru uzunluğu boyunca damlatıcılardan su çıkışı olduğu zaman, borunun çıkış debisi Q_{i+1} olan sistem şu şekilde gösterilebilir:



Şekil 3.2 dx uzunluğundaki poroz borunun şematik gösterimi

Şekil 3.2’i temel alarak süreklilik denklemini yazmamız mümkündür:

$$Q_{i+1} = Q_i - \frac{\partial Q}{\partial x} dx \quad (3.1)$$

Bu denklemde çıkış debisini, giriş debisinden dx uzunluğu boyunca olan debi değişimini çıkararak elde edebiliriz. dx uzunluğu boyunca ortalama debi için ise,

$$\frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} = \frac{2Q_i - \left(\frac{\partial Q}{\partial x} dx \right)}{2} \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Denklemi biraz sadeleştirmeye çalışırsak,

$$\frac{\partial Q}{\partial x} dx = q(x) \quad (3.3)$$

şeklindeki terim aslında bize poroz boruda birim boy debisi olan $q(x)$ debisini vermektedir. Bu değeri (3.2) denkleminde yerine yazarsak,

$$\frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} = \frac{2Q_i - q(x)}{2} \quad (3.4)$$

ifadesini elde ederiz. Buradaki ifadede $q(x)$ değeri Q_i debi değerine oranla çok küçük kalmaktadır. Bu yüzden (3.4) formülünü yaklaşık olarak şu şekilde yazabiliriz:

$$\frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \cong Q_i - q(x) \quad (3.5)$$

Herhangi bir x noktasındaki debi değerinde ise, Q_i değeri $Q(x)$ değerine eşit olacaktır. Bu durumda ortalama debi formülü şu şekilde hesaplanabilir:

$$\frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \cong Q(x) - q(x) \quad (3.6)$$

Borudaki basınç yüksekliği hesabı için Christiansen'in F faktörünü hesaplamak için kullandığı genel yük kaybı formülü yazılabilir. Buradaki dx uzunluğundaki boru için basınç yüksekliği değişimi,

$$dH_f = \frac{CK}{D^{2m+n}} Q^m dx \quad (3.7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada C = Birim katsayısı, K = kullanılan sürtünme denklemine bağlı olan sürtünme faktörü, D = lateralin iç çapı ve Q = dx uzunluğundaki borudaki ortalama debi değeri, m = ise kullanılan sürtünme denklemine bağlı olarak değişen borunun içindeki ortalama akım hızının üs değeri olup Darcy-Weisbach için 2, Hazen-Williams için 1,85'dir. Bu formülde Q değeri yerine (3.6) formülünde hesapladığımız ortalama debi değeri ifadesini koyarsak,

$$dH_f = \frac{CK}{D^{2m+n}} (Q(x) - q(x))^m dx \quad (3.8)$$

şeklindeki dx uzunluğundaki borunun basınç kaybı yüksekliğini elde etmiş oluruz. Bütün boru boyunca olan basınç yüksekliğini hesaplamak için ise (3.8) formülünün integralini almamız gerekir. Bu durumda,

$$\int_0^{H_f} dH_f = \int_0^L \frac{CK}{D^{2m+n}} (Q(x) - q(x))^m dx \quad (3.9a)$$

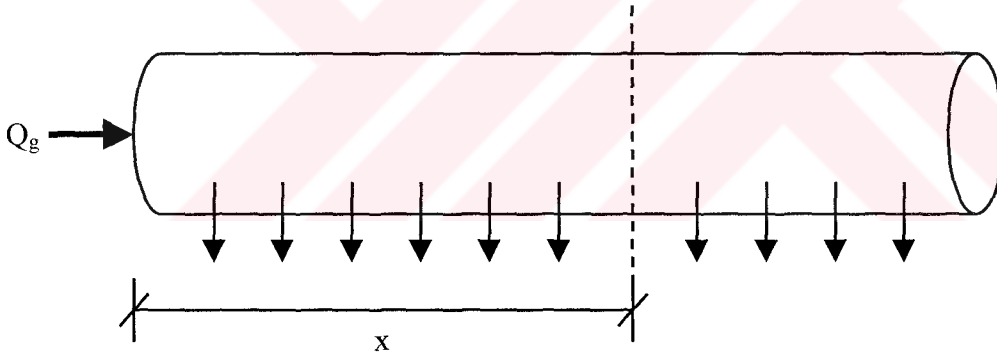
$$H_f = \frac{CK}{D^{2m+n}} \int_0^L (Q(x) - q(x))^m dx \quad (3.9b)$$

ifadelerini elde etmiş oluruz. (3.9b) formülünde kesikli değişken kabulü uygulandığında şu genel ifadeyi elde ederiz:

$$H_f = \frac{CK}{D^{2m+n}} \Delta x \sum_{i=1}^N (Q_i - q_i)^m \quad (3.10)$$

Bu formül sayesinde borunun herhangi bir Δx uzaklığındaki basınç yüksekliğini hesaplayabiliriz.

Başka bir bakış açısıyla yaklaştığımızda poroz borunun başlangıç koşulları kullanılarak yine benzer bir ifade elde edilebilmektedir.



Şekil 3.3 Poroz borunun hidroliğinin şematik gösterimi

Şekil 3.3'ü göz önüne aldığımızda, poroz boruya Q_g değerinde bir giriş debisi verildiği zaman x mesafesindeki basınç yüksekliği değeri hesaplanmaya çalışılmıştır. Borudaki basınç yüksekliği ifadesi şu şekilde yazılabilir:

$$H_f = \frac{CK}{D^{2m+n}} \int_{x=0}^L (Q(x))^m dx \quad (3.11)$$

Bu ifadedeki $Q(x)$ değeri x mesafesindeki basınç değeridir. Bu değeri de giriş debisinden x uzunluğu boyunca damlatıcı debilerinin toplam değerini çıkartarak hesaplayabiliriz. Denklem olarak ifadesi ise şu şekildedir:

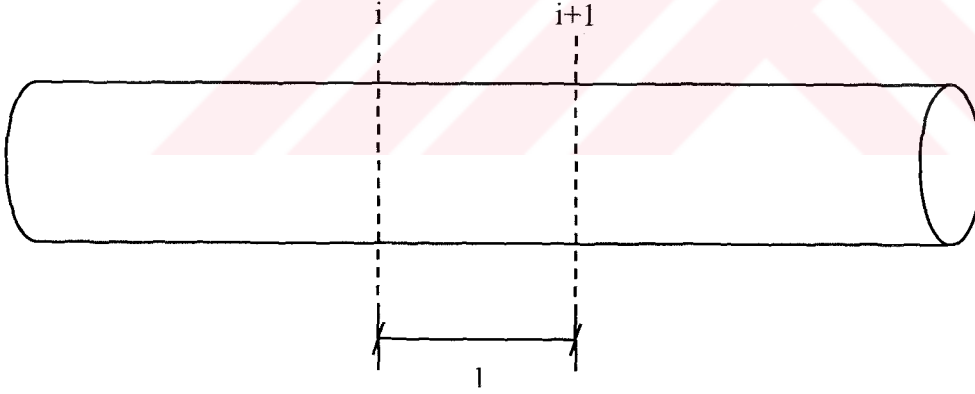
$$Q(x) = Q_g - \int_0^x q(x)dx \quad (3.12)$$

(3.12) ifadesini (3.11) formülünde yerine koyarsak,

$$H_f = \frac{CK}{D^{2m+n}} \int_0^L \left[Q_g - \int_0^x q(x)dx \right]^m dx \quad (3.13)$$

şeklinde basınç yüksekliğini hesaplayabileceğimiz genel bir formül elde etmiş oluruz. Bu formül de (3.9b) formülünün bir benzeridir.

Poroz borulardaki birim boy çıkış debisini bulmak için ise, damlatıcı debisinin basınç yüksekliğine bağlı olduğunu gösteren orifis denkleminin geçerli olduğunu kabul ederek kullanabiliriz.



Şekil 3.4 Poroz borudaki l uzaklığındaki 2 noktanın hidroliğinin şematik gösterimi

Şekil 3.4'deki $i+1$ noktasındaki damlatıcı debisini hesaplamak için kullanılan denklem şu şekildedir:

$$q_{i+1} = cH_{i+1}^y \quad (3.14)$$

Bu formülde q_{i+1} = inceleme altında bulunan damlatıcının debisi, c = bölgesel ve debi değişikliklerine bağlı olan damlatıcı katsayısı, H_{i+1} = inceleme altında bulunan damlatıcının lateral borudaki basınç yüksekliği, y = akım rejimi tipine göre 0 ile 1 arasında değişen üssüdür. Bu formülü kullanabilmemiz için öncelikle basınç yüksekliğini belirlememiz gerekir. Bunun için önce hidrolik eğimi bulmamız gereklidir. Darcy-Weisbach hidrolik eğim denklemi,

$$J = \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (3.15)$$

şeklindedir. Bu denklemi debi cinsinden ifade edersek, (3.15) denklemi şu ifadeye döner:

$$Q = VA \quad (3.16a)$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi D^2} \quad (3.16b)$$

$$J = \frac{\lambda}{D} \frac{\left(\frac{Q}{\pi D^2}\right)^2}{2g} = \frac{\lambda}{2g\pi^2} \frac{Q^2}{D^5} \quad (3.16c)$$

(3.16c) formülünde $\lambda/2g\pi^2$ sabit terimini β gibi bir katsayı ile gösterirsek, formül şu şekli alır:

$$J = \beta \frac{Q^2}{D^5} \quad (3.17)$$

Bu formül, eğer hiç su çıkışı olmasaydı boru boyunca sabit hidrolik eğimi vermektedir. Ancak debi x mesafesine bağlı olarak değişeceği için, buna bağlı olarak hidrolik eğim de değişecektir. Bu da formülün, hem Q hem J değerlerinin x mesafesine bağlı değişmesi gerektiğini gösterecek şekilde olmalıdır.

$$J(x) = \frac{\beta}{D^5} Q(x)^2 \quad (3.18)$$

(3.18) formülünün diferansiyelini alırsak,

$$\frac{dJ(x)}{dx} = \frac{\beta}{D^5} \frac{dQ(x)^2}{dx} \quad (3.19a)$$

$$\frac{dJ(x)}{dx} = \frac{\beta}{D^5} 2Q(x) \frac{dQ(x)}{dx} \quad (3.19b)$$

(3.19b) formülündeki $dQ(x)/dx$ terimi bize damlatıcı debisinin değerini verir. Bu değeri (3.19b) formülünde yazarsak formül şu şekli alır:

$$\frac{dJ(x)}{dx} = \Delta J = \frac{2\beta}{D^5} Q(x)q(x) \quad (3.20)$$

ifadesini elde ederiz. ΔJ , 2 damlatıcı arasındaki hidrolik eğim farkıdır.

Hidrolik eğim değerini hesapladıktan sonra basınç yüksekliği değerini hesaplayabiliriz. $i+1$ noktasındaki basınç yüksekliği ifadesini veren denklemi şöyle yazabiliriz:

$$H_{i+1} = H_i - J_{i+1}l \quad (3.21a)$$

$$H_{i+1} = H_i - (J_i - \Delta J_{i+1})l \quad (3.21b)$$

J_i ve ΔJ_{i+1} değerlerini yerine koyarsak,

$$H_{i+1} = H_i - \left[\frac{\beta}{D^5} Q_i^2 - \frac{2\beta}{D^5} Q_i q_i \right] l \quad (3.22a)$$

$$H_{i+1} = H_i - \left[\frac{\beta}{D^5} Q_i (Q_i - 2q_i) \right] l \quad (3.22b)$$

şeklinde basınç yüksekliğini ifade eden formülü elde etmiş oluruz. (3.14) formülünde, (3.22b) formülünden elde ettiğimiz değeri yazarsak,

$$q_{i+1} = c \left[H_i - \left[\frac{\beta}{D^5} Q_i (Q_i - 2q_i) l \right] \right]^y \quad (3.23)$$

damlatıcı debisi genel ifadesini elde etmiş oluruz.

Ardışık iki kesitteki basınç yükseklikleri sırasıyla H_i ve H_{i+1} ise bu iki kesit arasındaki yük kaybı,

$$H_i - H_{i+1} = \Delta H_{i+1} \quad (3.24)$$

formülüyle ifade edilebilir. Bilindiği gibi yük kaybı birim boydaki enerji kaybının uzunlukla çarpılması ile ifade edilir.

$$H_{i+1} = J_l l \quad (3.26)$$

(3.22) formülü yardımıyla,

$$\Delta H_{i+1} = \frac{\beta}{D^5} Q_i (Q_i - 2q_i) l \quad (3.27)$$

şeklindeki eşitlik yazılabilir. Bu iki kesit arasında hiç su çıkışı olmasaydı eğer yük kaybı,

$$\Delta H'_{i+1} = \frac{\beta}{D^5} Q_i^2 l \quad (3.28)$$

olarak Darcy-Weisbach eşitliğiyle yazılabilecekti. O halde, su akışı nedeniyle daha az bir yük kaybı meydana gelmektedir. Başka bir ifade ile enerji çizgisinin eğimi daha düşüktür. Bu değişimin oranı aşağıdaki şekilde w_i gibi bir orantı katsayısı ile ifade edilebilir:

$$w_i = \frac{\Delta H'_{i+1}}{\Delta H_{i+1}} = \frac{Q_i}{(Q_i - 2q_i)} \quad (3.29)$$

Buradan;

$$(Q_i - 2q_i) = \frac{Q_i}{w_i} \quad (3.30)$$

yazılabilir. Buna göre poroz borularda olduğu gibi sürekli su akışının olduğu basınçlı borularda herhangi bir i parçasında birim boydaki enerji kaybı,

$$J_i = \frac{\beta}{D^5} \frac{Q_i^2}{w_i} \quad (3.31)$$

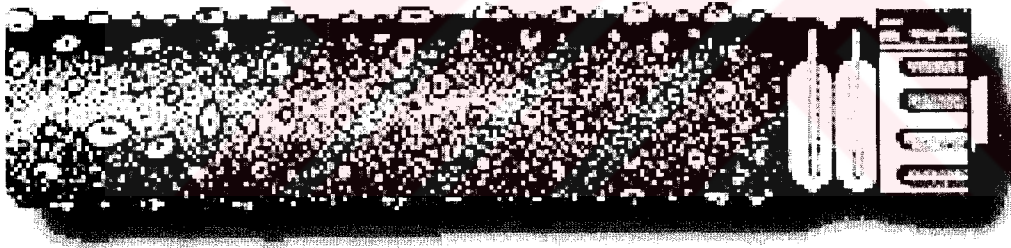
ifadesi ile verilebilir. Bu ifadede w_i orantı katsayısının birim boydaki su çıkışına bağlı olarak boru boyunca değişken olması nedeniyle boru cinsini de karakterize eden bir katsayı olduğu görülebilmektedir. Orantı katsayısının boru boyuna bağlı olarak değişimi deneysel olarak elde edilmelidir.



4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Deneyin Amacı

Deneylerde kullanılan poroz boruların en büyük özelliği, giriş bölümünde de belirtildiği gibi, üzerinde bir çok delik bulundurması ve suyu bu delikler vasıtası ile dağıtmasıdır. Poroz borularda yapılan deneylerde öncelikli olarak amaç, farklı uzunluklardaki boruların değişik sabit basınçlar altındaki verimi ve homojenitesini belirlemektir. Bunu tespit etmek için, ilk iş olarak laboratuarda bir deney modeli hazırlanmıştır. Deneyler değişik uzunlukta poroz borular için farklı sabit basınçlar altında yapılmış ve buna bağlı olarak debi değerleri hesaplanmıştır. Şekil 4.1’de deneylerde kullanılacak poroz borunun şekli verilmiştir.



Şekil 4.1 Poroz boru

4.2 Deney Modelinin Özellikleri

Poroz boruların denenmesi amacıyla laboratuarda bir model kurulmuştur. Kurulan model aşağıdaki özelliklere sahiptir (Kapdaşlı, 1998):

- Viskozite değişkenliğini tespit için su sıcaklığı ölçülmüş ve deney sırasında sabit tutulmuştur.
- Su basıncı, $\pm 1\%$ hassasiyetle ölçülmüştür.

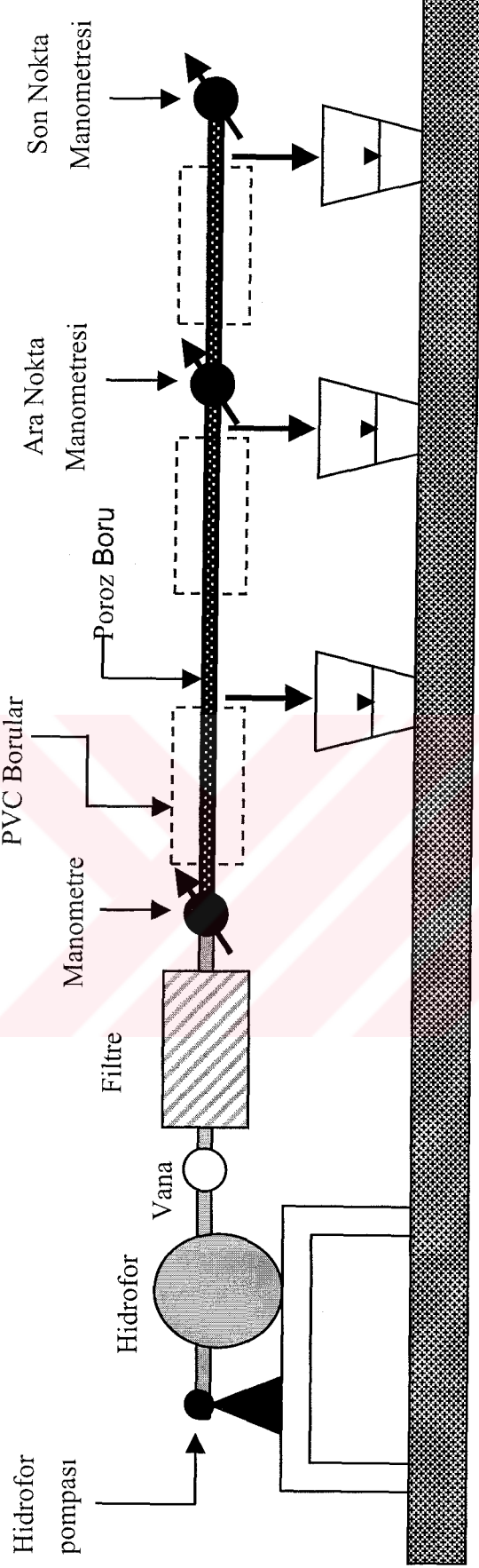
- Su basıncı deney sırasında sabit tutulmuştur.
- Giriş suyu basıncı ve boru sonundaki basınç ölçülmüştür. Ayrıca borunun ortasındaki basıncı kontrol etmek amacıyla bir manometre yerleştirilmiştir.
- 10 m., 32 m. ve 50 m. uzunluğundaki poroz borularla yapılan deneylerde farklı test basınçları uygulanmıştır. Bu basınç değerleri 0.5 bar ile 2.0 bar arasındaki değerlerdir.
- Borular sıfır eğim ile düzenlenmiştir. Boruları sıfır eğimle düzenlemek için borular duvara tutturulan kancalara geçirilen tellerin üzerine geçirilmiştir.
- Damlatıcıların debilerini belirlemek amacıyla boru uzunluğuna göre 10 veya 15 dakika sürelerle ölçüm yapılmıştır.
- Ölçümleri yaparken, rejim teşekkülü için iki dakika serbest akış beklendikten sonra ölçüm yapılmıştır.
- Ölçümler kurulan tertibat vasıtası ile bütün deliklerde aynı anda başlamış ve bitirilmiştir.
- Ölçümlerde “ağırlık tespiti” suretiyle debiler belirlenmiştir. Ağırlık tespiti için terazi kullanılmıştır.

Şekil 4.1’de bu özellikleri sağlayan deney modelinin şematik gösterimi verilmiştir.

4.3 Deneyin Yapılışı

Öncelikle deney düzeneği laboratuarda hazırlanmıştır. Deney düzeneğini ilk başta kapalı bir laboratuvar odasında gerçekleştirilmiştir. 10 m. ve 50 m. deneyleri burada yapılmıştır. 50 m. deneylerinde alan kısıdından dolayı boruda dönüşler olmak zorunda kalmıştır. Daha sonra tüm deney düzeneği başka bir alana taşınarak 32 m.lik deneylerde dönüşler yapılmaksızın düz boruda incelemelerde bulunma imkanı sağlanmıştır.

Deneyler Şekil 4.2’de şematik gösterilen model üzerinde yapılmıştır. İlk olarak suyun depolanabileceği ve buradan da pompalanabileceği bir depo sağlanmıştır.



Şekil 4.2 Şematik model düzeni

Buraya sürekli su akışı sağlanmıştır. Bu depodan da su hidrofora bir hortum ile hidrofor pompa vasıtası ile aktarılmıştır.

Hidrofor kazana su geldikten sonra, vanayı çevirerek boruya su gitmesini sağlıyoruz. Suyun borulara gitmeden önce temizlenmesi gereklidir. Poroz boruların çok küçük olan delikleri eğer pis su verilirse tıkanabilir ve verimi düşebilir. Bunu önlemek amacıyla, vanadan hemen sonra bir filtre sistemi koyarak suyun burada temizlenip borulara gitmesini sağlayabiliyoruz. Deneydeki uygulama basıncını ayarlamak için de, filtrelerden hemen sonra yerleştirdiğimiz manometredeki basınç değerini vanayı çevirerek değiştirebiliyoruz. Bu sistemin fotoğrafını Şekil 4.3’de ayrıntılı bir biçimde görebiliyoruz.



Şekil 4.3 Hidrofor pompa, filtre ve manometrenin gösterimi

Şekil 4.3’de görüleceği üzere hortumdan su kazana pompa vasıtası ile aktarılmakta, filtrelerden geçerek temizlenmiş halde poroz boruya istenilen basınçta verilmektedir.

Şekil 4.4’de filtrelerin yakın bir fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 4.4 Filtrelerin yakın çekim fotoğrafı

Deneyi uyguladığımız poroz boru uzunluğu boyunca, 1,5 m. uzunluğunda PVC boruları belirli aralıklarla yerleştiriyoruz. PVC borular arasındaki uzaklık hep aynı tutulmuştur. Poroz boru çevresine geçirilen PVC borulara küçük bir eğim vererek yerleştiriyoruz. Bu boruların altına ise, bidon ve kova yerleştiriyoruz. PVC borulara eğim verilmesinin amacı, PVC boruda toplanan suyun bidon ve kovalara akmasını sağlamaktır.

Filtrelerden geçen su her delikten akmaya başlıyor. Basıncın sabit değere gelmesi için birkaç dakika bekledikten sonra, belirlediğimiz deney süresini kronometre ile başlatıyoruz. Başlattığımız andan itibaren numaralandırdığımız kovaları veya bidonları PVC boruların altına yerleştiriyoruz. Deney süresi boyunca PVC boruların kaplı olduğu kısımlarda poroz boruların o bölümünden fişkıran sular, PVC borularla çevrili olduğundan toplanarak eğime göre hareket etmekte ve kova veya bidona akarak toplanmaktadır. Deney süresi bittiği zaman kovaları veya bidonları PVC

boruların altından alıyoruz. Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de bu sistemin fotoğrafları verilmiştir.



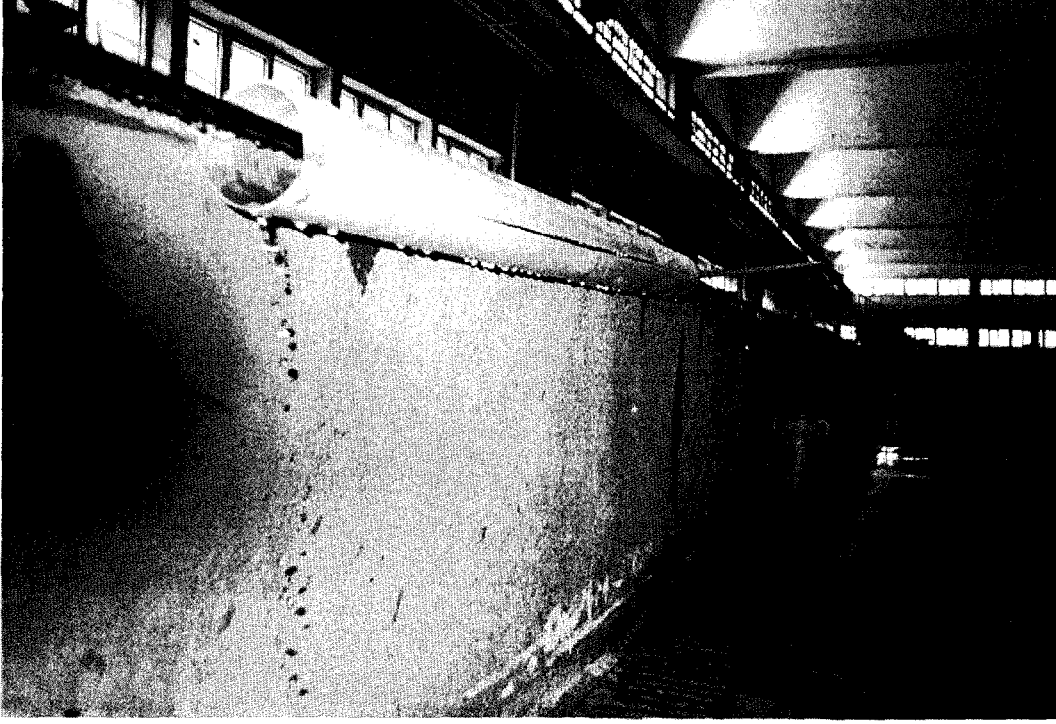
Şekil 4.5 PVC borularla çevrili poroz borulardan suyun bidona akması

Şekil 4.5’de gösterildiği gibi su poroz borudan geçerek dışarıya delikleri vasıtası ile akarken, etrafına geçirilen PVC boru o kısımdaki deliklerden akan suyu toplamaya yarıyor ve toplanan su verilen eğim vasıtası ile numaralanmış boruya deney süresi boyunca akıyor.



Şekil 4.6 32 m. uzunluğundaki poroz boru deneyinde sistemin gösterimi

Şekil 4.6’da gösterilmeye çalışıldığı gibi sistem sürekli bir şekilde devam etmektedir. PVC borular arasındaki uzaklık değişik uzunluktaki deney sistemi için sabittir. Mesela 32 m. uzunluğundaki poroz boru deneylerinde PVC borular arasındaki uzaklık 2,5 metre alınmıştır. Her PVC borunun sonunda da suyun toplandığı kova veya borular görülmektedir.



Şekil 4.7 PVC borudan akan suyun yakın gösterimi

Şekil 4.7’de ise kovaya veya bidona akan suyun yakın çekilmiş bir fotoğrafı verilmektedir. Bu sayede kova veya bidonda su toplanabilmektedir.



Şekil 4.8 Son basıncı okumak için borunun ucuna eklenen manometre

Deneyi yaparken ayrıca hem borunun orta kısmına hem de en sonuna eklenen manometreler yardımıyla borudaki basınç değişimini gözlemlemek imkanını bulabiliyoruz. Şekil 4.8’de borunun en sonuna eklenen manometrenin fotoğrafını görmekteyiz.

PVC boruların altından aldığımız kova veya bidonları içleri dolu olarak hassas terazide teker teker tartıyoruz. Deney başlamadan önce kova veya bidonların daralarını tarttığımız için, bulduğumuz toplam ağırlıktan daralarını çıkarttığımız zaman elde ettiğimiz değer bize net su ağırlığını vermektedir. Net su ağırlığını da deney süresine böldüğümüz zaman o basınçtaki debi değerini elde etmiş oluruz.

Bu deneyi farklı sürelerde bir çok kez yenileyerek, poroz borulardaki su akışı hakkında bilgi sahibi olmaya çalıştık. Bulunan değerleri tablolar yardımıyla düzenli hale getirip, bu değerlerin açıklayıcı olması için grafikler çizdik.

Yapılan işlemleri maddeler halinde özetlersek,

1. Modele sabit basınçlı su bir hidrofor kanalıyla verilmektedir.
2. Hidroforun çıkışında bir basınç ve debi ayarlayıcı vana yerleştirilmiştir.
3. Vanadan sonra model borusundan önce suyun içindeki askıda katı maddeyi tutmak amacıyla bir filtre bulunmaktadır.
4. Filtre çıkışında ise boru girişindeki başlangıç işletme debisini ölçmek amacıyla manometre yerleştirilmiştir.
5. Deneylerde boru sonundaki basıncı da ölçmek amacıyla son nokta manometresi de bulunmaktadır ve boru ucu tıkalıdır.
6. Boru boyunca 1.5 metrelik bölümler halinde deney borusu kapalı $\phi 10$ luk PVC boru içine alınmış olup, her bir bölümün sonunda bu bölümden çıkan suların akıtılarak toplandığı su toplama kovaları bulunmaktadır.
7. Her bir kovanın boş ağırlığı önceden belirlendiğinden toplanan su hacmi hassas terazide tartılmak suretiyle belirlenmektedir.
8. Su hacimleri deney süresine bölünerek birim boy debileri elde edilmektedir.

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu bölümde farklı uzunluklardaki poroz borular için farklı basınç ve deney sürelerinde elde edilen sonuçları tablolar halinde verip daha sonra bu tablolardaki değerlerden yararlanarak grafikler çizip sonuçları değerlendirmeye çalışacağız.

5.1 10m. Uzunluğundaki Poroz Boru Deneylerinin Değerlendirilmesi

Deney düzeneği kurulduktan sonra başlatılan deneylerde, öncelikli olarak kısa uzunluktaki borular denenmiştir. Bu deneylerde 10 m.lik boru üzerine 7 tane PVC borusu yerleştirilmiş ve bu PVC boruların altına yerleştirilen kova ve bidonlara akan suyla birlikte tartılmıştır. Önceden hesapladığımız kova ve bidonların daralarını bu değerlerden çıkararak net su ağırlığı hesaplanmış ve bu değerler deney süresine bölünerek o basınçtaki debi değerleri bulunmuştur. Bu deneyler farklı basınçlarda ve farklı sürelerde yapılmış ve bu deneylerin tabloları ve grafikleri Ek-A bölümünde verilmiştir. Bu bölümdeki tablolarda deney süresi, giriş basıncı ve son basınç değerleri verilmiştir. Kova numaraları, kovaların ağırlıkları, toplam ağırlık ve en son olarak da debi değerleri tabloda bulunan bilgilerdir. Bu debi değerlerine bağlı olarak boru boyunca debi değişimini veren grafiği çizmek için de, her bir PVC borunun orta noktasının borunun başından itibaren uzaklığı alınmış ve bu uzaklıktaki debi değeri için o PVC borusuna dökülen suyun debisi alınmıştır.

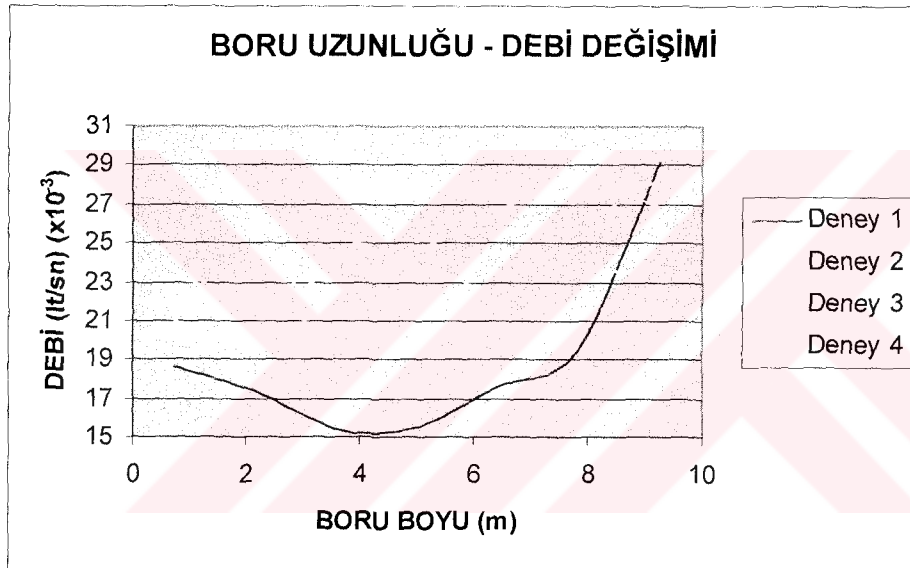
Kısa uzunluktaki poroz boru deneylerinde grafikler ve tablolar yardımıyla fark edilen sonuç, başlangıçta dış akışla azalan debi, daha sonraları dış akış olmasına rağmen artmaktadır. Bunun sebebi boru ucu kapalı olduğundan dolayı basıncın etkisi ile suyun uç tarafta birikmesi ve bundan dolayı kova veya bidonlara daha fazla su dolarak debinin artmasına sebep olmasıdır.

Tablo 5.1’de ise Ek-A’da verilen tablolar yardımıyla, aynı basınç altında fakat farklı sürelerdeki poroz borunun, boru boyunca debi değişimi verilmektedir. Bu verilerden yararlanarak Şekil 5.1’de Tablo 5.1’de 4 deney sonunda hesaplanan debi değerleri

verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi daha uzun sürelerde uygulanan basınç altında poroz borunun debisinin başlangıçta azalması ve daha sonra suyun uç tarafta birikmesinden dolayı diğer kısa zamanlara oranla büyük bir artış göstermesidir.

Tablo 5.1 L = 10 m. için sabit basınç altında farklı sürelerdeki debi değişimleri

BASINÇ(bar)	1.00	0.95					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
t=600sn.Q(lt/s)(x10 ⁻³)	18.633	17.333	15.367	15.500	17.550	19.450	29.167
t=480sn.Q(lt/s)(x10 ⁻³)	23.542	22.083	23.500	24.698	26.125	26.083	28.292
t=420sn.Q(lt/s)(x10 ⁻³)	23.500	21.905	24.595	25.595	26.810	27.833	26.881
t=480sn.Q(lt/s)(x10 ⁻³)	20.938	19.771	21.802	21.938	23.563	23.604	23.604



Şekil 5.1 L = 10 m. için P = 1.0 bar uygulama basıncında debi değerlerinin boru boyunca zamana bağlı değişimi

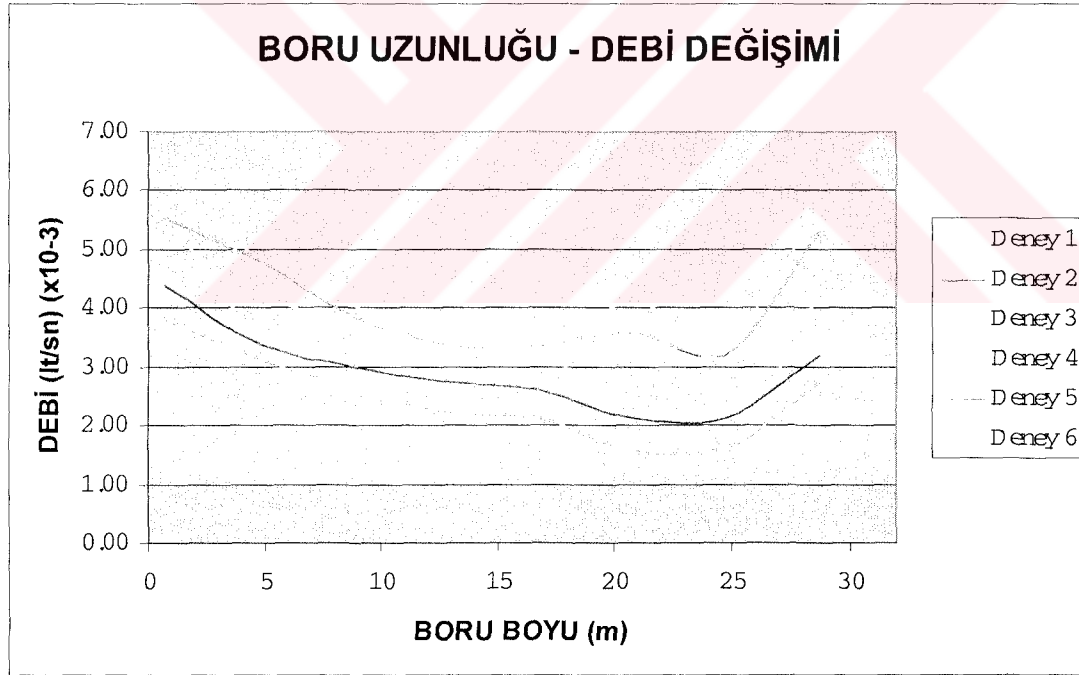
5.2 32 m. Uzunluğundaki Poroz Boru Deneylerinin Değerlendirilmesi

Deney düzeneği ilk başta laboratuarda bir deney odasında sürdürülüyordu. 10 m. de hiçbir sorun yaşanmazken, daha uzun olan 30 m. ve 50 m. deneylerinde poroz borularda dönüşler meydana geldiğinden ötürü deney düzeneği laboratuarda hiç dönüş olmaksızın düz şekilde serilebileceği bir yere taşınmıştır ve 32 m. olarak tekrar yapılmıştır.

32 m. deneylerinde deney süresi sabit alınarak farklı basınçlar uygulanarak debi değerleri incelenmiştir. Yapılan deneylerin tabloları ve grafikleri Ek-B’de verilmiştir. Bu kısımda incelenmek için aynı süreli değişik basınçlı deneylerden elde edilen debi değerleri toplu bir şekilde karşılaştırma yapabilmek amacıyla verilmiştir. Buradaki grafik çiziminde de PVC boruların orta noktaların başlangıca olan uzaklığı alınarak o PVC borunun altında biriken suyun debi değeri kullanılmıştır.

Tablo 5.2 L = 32 m. için sabit zamanda farklı basınç altında debi değişimleri

SÜRE (dak.)	10.00							
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8
P=0.75bar.Q(lt/s)(x10 ⁻³)	3.817	3.139	2.611	2.233	2.122	1.567	1.622	2.739
P=0.90bar.Q(lt/s)(x10 ⁻³)	4.367	3.383	2.983	2.733	2.600	2.111	2.122	3.178
P=1.00bar.Q(lt/s)(x10 ⁻³)	4.750	3.789	3.289	3.144	3.178	2.333	2.311	3.611
P=1.25bar.Q(lt/s)(x10 ⁻³)	5.317	4.244	3.744	3.167	3.189	3.389	3.200	4.100
P=1.50bar.Q(lt/s)(x10 ⁻³)	5.533	4.800	3.878	3.400	3.367	3.578	3.222	5.289
P=2.00bar.Q(lt/s)(x10 ⁻³)	5.717	4.878	4.067	3.167	3.244	4.089	3.456	5.722



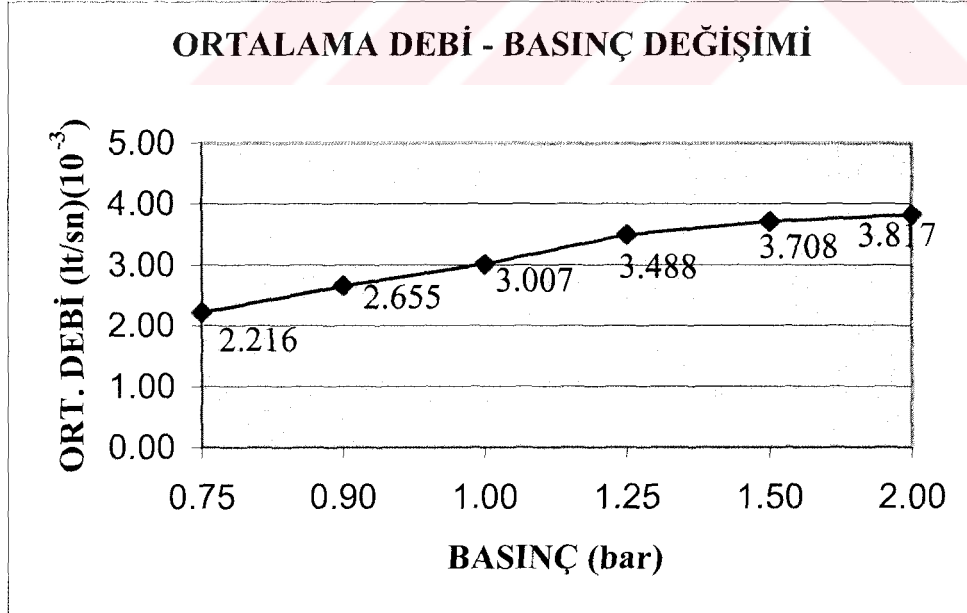
Şekil 5.2 L = 32 m. için t = 10 dak. uygulama süresinde debi değerlerinin boru boyunca farklı basınç değerlerine bağlı değişimi

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi farklı basınçlar altındaki debi değişim grafikleri hemen hemen benzer bir şekilde çıkmıştır. Debinin son kısımlarda artmasının sebebi ise yine boru ucunun kapalı olmasından kaynaklanan su birikimi ve buna bağlı olarak kovalarda fazla su birikiminden kaynaklanan yüksek debi değerleridir.

Ek-B'deki tablolardan faydalanarak ortalama debi-basınç değişimini incelemek için öncelikli olarak, fiziksel şartlardan dolayı ilk ve son kovadan elde edilen debi değerlerin hesaba katmayarak, diğer debi değerlerinin her basınç değeri için ortalamasını alıyoruz. Yani 6 kovanın debi değerlerini o basınç için topluyoruz ve kova sayısı olan 6'ya bölüyoruz. Elde ettiğimiz bu ortalama değerlerini Tablo 5.3'de verilmektedir. Daha sonra bu tablodan elde ettiğimiz değerler, bir grafik üzerinde gösterilmektedir.

Tablo 5.3 L =32 m. için basınca bağlı ortalama debi değerleri

BASINÇ (bar)	ORTALAMA DEBİ (lt/sn)(10 ⁻³)
0.75	2.216
0.90	2.655
1.00	3.007
1.25	3.488
1.50	3.708
2.00	3.817



Şekil 5.3 L = 32 m. için ortalama debi – basınç değişimi

Şekil 5.3'teki grafikten görüleceği gibi basınç arttıkça debi değerleri de buna bağlı olarak artmakta ve daha yüksek basınçlarda artış başlangıçtaki küçük basınçlara göre daha az olmaktadır.

5.3 50 m. Uzunluğundaki Poroz Boru Deneylerinin Değerlendirilmesi

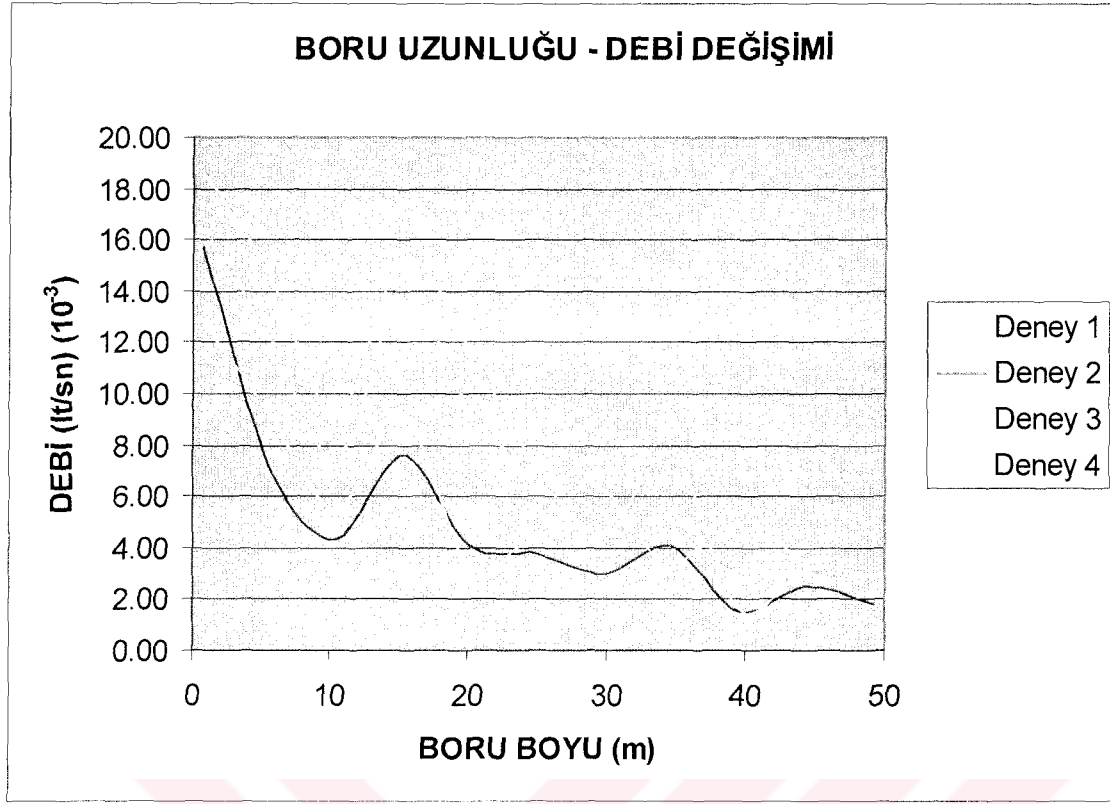
50 m. uzunluğundaki poroz boru deneyleri laboratuardaki deney odasında dönüşlerin etkisini incelemek amaçlı yapılmıştır. Deney süresi ve basınç değerleri değiştirilerek deney tekrarlanmıştır. Bu deneyin tabloları ve grafikleri Ek-C'de verilmiştir. Bu tabloları ve grafiklerin hazırlanmasındaki sistemde, diğer deneylerle aynı şekildedir. Burada da amaç debi değerlerini, toplam ağırlıktan kova veya bidonun darasını çıkartarak net su ağırlılığını süreye bölerek elde etmektir. PVC boruların orta noktalarının boru başlangıç noktalarına uzaklığı hesap edilerek, o PVC borunun altındaki kova veya bidona dökülen suyun debi değerleri kullanılarak, boru boyunca debi değişimi grafiklerde verilmiştir.

Buna bağlı olarak aynı basınç ve aynı deney süresinde yapılan 4 deney sonuçlarının nasıl değiştiğini görmek amaçlı Tablo 5.4 hazırlanmış ve bu tablodaki değerler kullanılarak Şekil 5.4'deki grafik çizilmiştir. Tablo 5.4'deki verilerden anlaşılabileceği gibi aynı şartlar altında yapılan deneylerde bile farklılıklar olmaktadır. Bunun sebebi, fiziksel şartların ve dönüşlerin etkisidir.

Tablo 5.4 L = 50 m. için sabit deney süresi ve basınç altında debi değişimleri

SÜRE (dak)	15											
BASINÇ (bar)	1.00	0.00										
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	16.506	12.183	7.489	13.828	9.383	6.678	4.356	4.689	2.956	3.144	2.267	
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	15.667	7.011	4.289	7.556	4.056	3.722	3.000	4.083	1.483	2.478	1.833	
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	12.822	9.133	5.467	9.067	3.256	4.400	4.244	7.700	1.589	3.122	2.856	
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	18.656	14.500	9.144	15.289	11.700	7.189	6.267	3.211	5.778	3.233	2.111	

Şekil 5.4'deki grafikte borudaki dönüşlerin etkisi belli olmaktadır. Yaklaşık olarak 17 m. ve 34 m.lerdeki iki dönüşün etkilerini kıyaslarsak, birinci dönüşün debiye etkisinin ikinci dönüşten daha fazla olduğunu basıncın etkisinin başlarda daha fazla etkili olmasından kaynaklandığını belirtebiliriz. Ayrıca 50 m. deneylerinde uç basınç sıfır olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 5.4 L = 50 m. için basınç ve sürenin sabit olması durumunda boru boyunca debinin değişimi

5.4 Genel Değerlendirme ve Sonuçlar

Poroz borular üzerinde yapılan deneylerde amaç, hidroliği hakkında pek bilgi olmayan bu boruların davranışını incelemektir. Bunu incelemek için de kısa ve uzun boylardaki poroz borular üzerinde farklı basınçlar ve deney sürelerinde deneyler yapılarak debi değişimleri tablolar ve grafikler yardımıyla incelenmiş ve bazı sonuçlar elde edinilmeye çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonunda, 10m. uzunluğundaki poroz boru deneylerinde boru ucu kapalı olmasından dolayı debi boru sonlarına doğru artmakta; 32 m. uzunluğundaki poroz boru deneylerinde debi boru sonlarına doğru yine ucu kapalı olmasından dolayı 10m. uzunluğundakine göre daha az da olsa artmakta ve 52 m. uzunluğundaki poroz boru deneylerinde de dönüşlerin etkisi ile debi dönüş olan yerlerde artmakta, ancak sonlara doğru basıncın etkisinin azalmasıyla düşmektedir. Ayrıca 32 m. deneylerinden elde ettiğimiz ortalama debi - basınç grafiği de poroz boruların basınç değişimlerine karşı debi verimlerini lineer kabul edebileceğimizi göstermektedir Dolayısıyla boru hidrolik açıdan son derece belirgin bir davranışa sahiptir ve uygulamada büyük kolaylık getirecektir.

KAYNAKLAR

Alam, M., 1999. Internet üzerinden araştırma, *www.colostate.com*

Anwar, Arif A., 1999. Factor G for Pipelines with Equally Spaced Multiple Outlets and Outflow, *Journal of Irrigation and Draniage Engineering Vol. 125, No. 1*, pp. 34-38, USA.

Aquastar el kitabı, 1999. Poroz boruların tesisatını yapan firmanın el kitabı, İstanbul.

Braud, Harry J. ve Soom, Amin M., 1981. Trickle Irrigation Design on Slooping Fields, *Transactions of the ASAE Paper No. 79-2571*, pp. 941-945, USA.

Haman, Dorota Z. ve Izuno, Forrest T., 1989. Principles of Micro Irrigation, *University of Florida, Institute of Food and Agricultural Science*, USA.

Hathoot, Helmi M. ve diğ., 1993. Analysis and Design of Tirckle-Irrigation Laterals, *Journal of Irrigation and Draniage Engineering Vol. 119, No. 5*, pp. 756-767, USA.

Hathoot, Helmi M. ve diğ., 1994. Analysis and Design of Sprinkler Irrigation Laterals, *Journal of Irrigation and Draniage Engineering Vol. 120, No. 3*, pp. 534-549, USA.

Kapdaşı, Sedat ve diğ., 1997. Marmara Plastik Damla Sulaması Boruları Hdrolık Deneyleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuvarı, İstanbul .

Kapdaşı, Sedat, 1998. Alaz Sulama Boruları Hidrolik Deneyleri (Birinci Gelişme Raporu), İstanbul Teknik Üniversitesi Geliştirme Vakfı AR-Ge İşletmesi, İstanbul.

Kapdaşı, Sedat, 1999. Kişisel görüşme, İstanbul.

Micro-flo Industries, 1999. Internet üzerinden araştırma, *www.micro-flo.com*

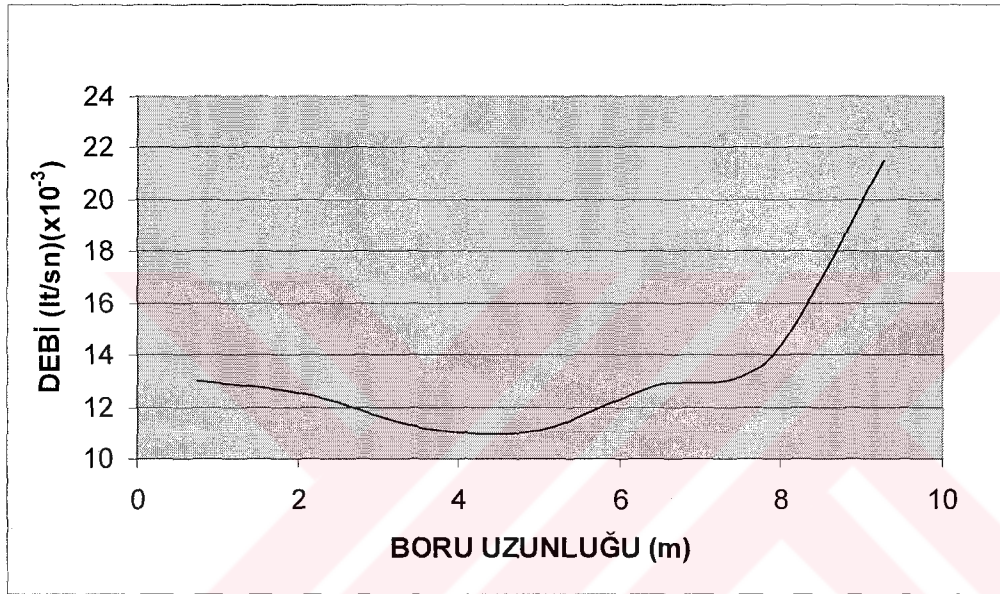
- Özerengin, Faruk**, 1972. Akışkanlar Mekaniği kitabı, İstanbul Devlet Mühendislik Mimarlık Akademisi Yayınları, sf. 219-223, İstanbul.
- Rodney Ruskin**, 1995. Subsurface Drip Irrigation and Yields, Internet üzerinden araştırma, *www.geoflow.com*
- Valiantzas, John D.**, 1998. Analytical Approach for Direct Drip Lateral Hydraulic Calculation, *Journal of Irrigation and Draniage Engineering Vol. 124, No. 6*, pp. 300-305, USA.
- Zoldoske D. F., ve Jorgensen, G. S**, 1995. Subsurface Drip Irrigation (SDI) on Turfgrass, A University Experience, CATI Irrigation Notes, California State University, USA.



EK-A 10 M. UZUNLUĞUNDAKİ POROZ BORUNUN DENEY SONUÇLARI

Tablo A.1 L = 10 m., P = 0.5 bar, t = 910 s. için debi değerlerinin hesabı

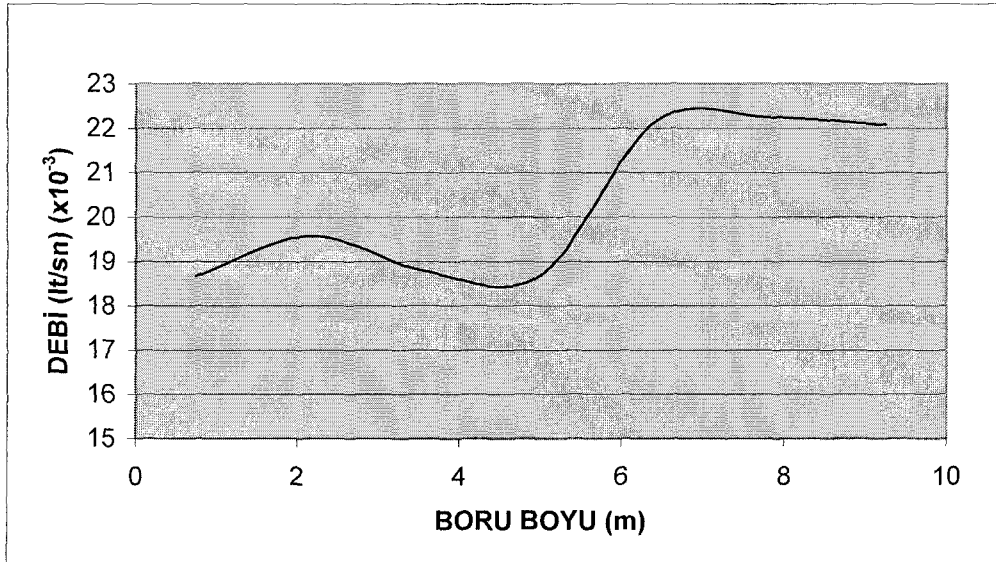
SÜRE(s)	910						
BASINÇ(bar)	0.50	0.50					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	12800	12240	11110	11030	12130	13030	20000
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	11850	11310	10150	10090	11660	12580	19560
DEBİ(lt/s)($\times 10^{-3}$)	13.0220	12.4286	11.1538	11.0879	12.8132	13.8242	21.4945



Şekil A.1 L = 10 m., P = 0.5 bar, t = 910 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.2 L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için debi değerlerinin hesabı

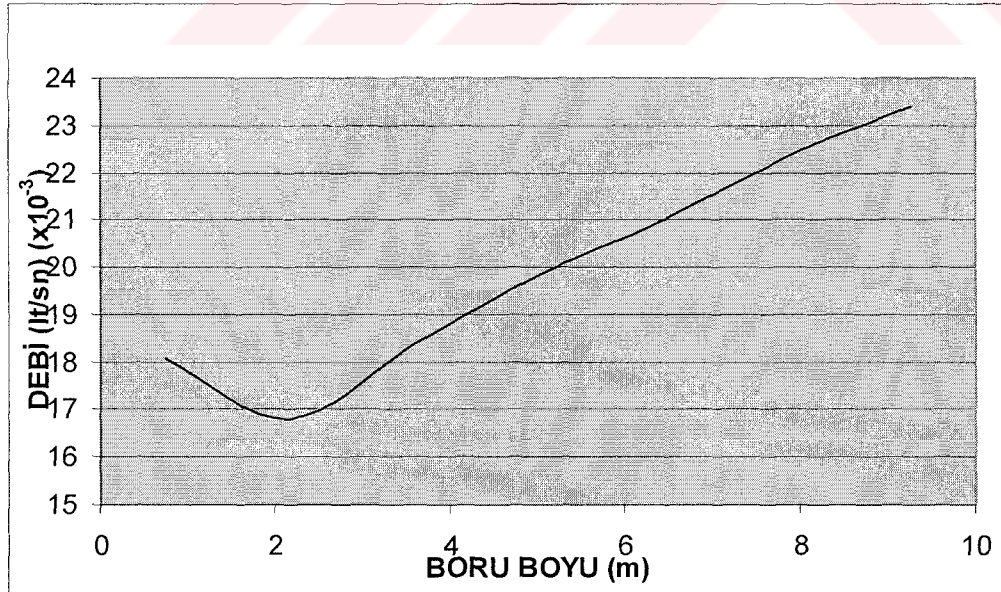
SÜRE(s)	540						
BASINÇ(bar)	0.70	0.65					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11030	11500	11100	11030	12430	12460	12360
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10080	10570	10140	10090	11960	12010	11920
DEBİ(lt/s)($\times 10^{-3}$)	18.6667	19.5741	18.7778	18.6852	22.1481	22.2407	22.0741



Şekil A.2 L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.3 L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 600 s. için debi değerlerinin hesabı

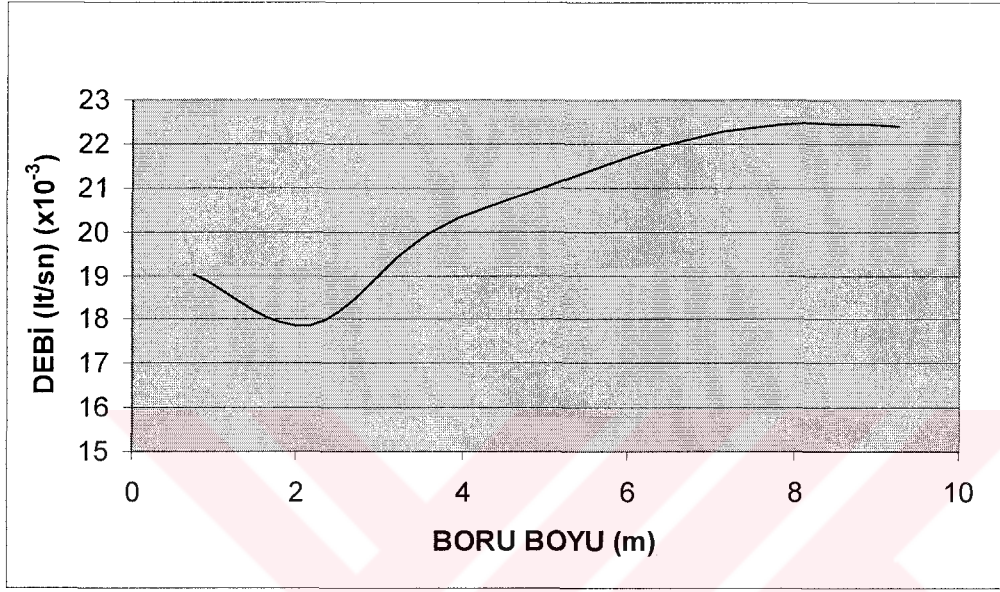
SÜRE(s)	600						
BASINÇ(bar)	0.70	0.65					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11795	11005	11970	12835	13045	13835	14480
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10845	10075	11010	11895	12575	13385	14040
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	18.0750	16.7917	18.3500	19.8250	20.9583	22.3083	23.4000



Şekil A.3 L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 600 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.4 L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için debi değerlerinin hesabı

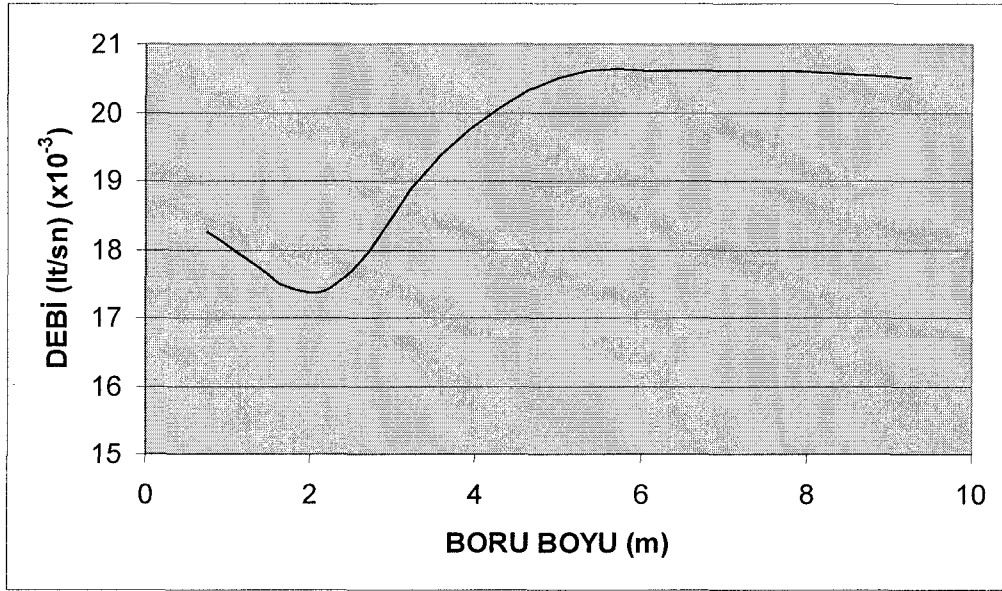
SÜRE(s)	540						
BASINÇ(bar)	0.70	0.65					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11220	10580	11730	12300	12330	12560	12535
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10270	9650	10770	11360	11860	12110	12095
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	19.0185	17.8704	19.9444	21.0370	21.9630	22.4259	22.3981



Şekil A.4 L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.5 L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için debi değerlerinin hesabı

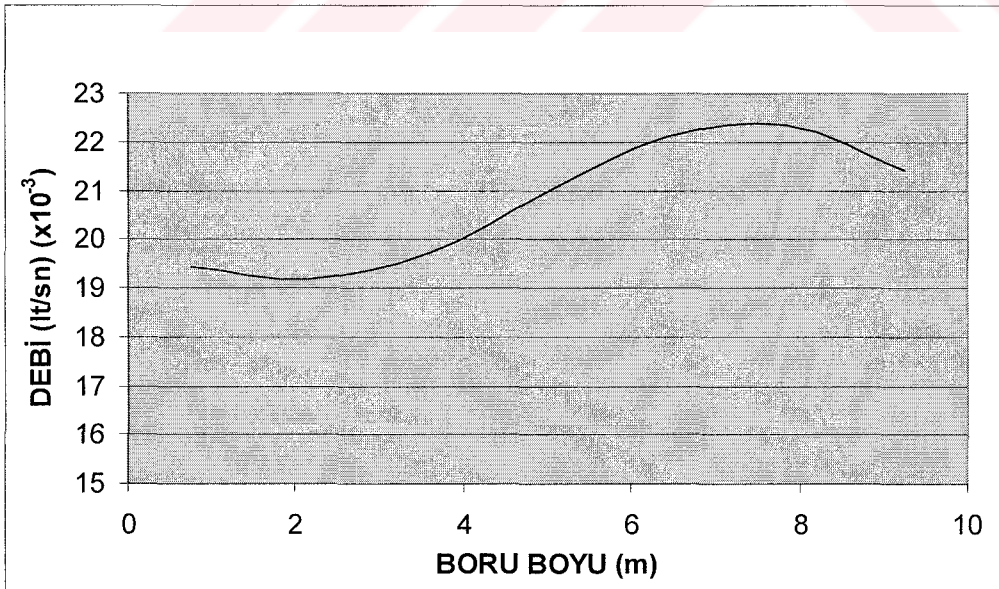
BASINÇ(bar)	0.70	0.65					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	10810	10320	11430	12010	11600	11580	11510
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	9860	9390	10470	11070	11130	11130	11070
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	18.2593	17.3889	19.3889	20.5000	20.6111	20.6111	20.5000



Şekil A.5 L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.6 L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için debi değerlerinin hesabı

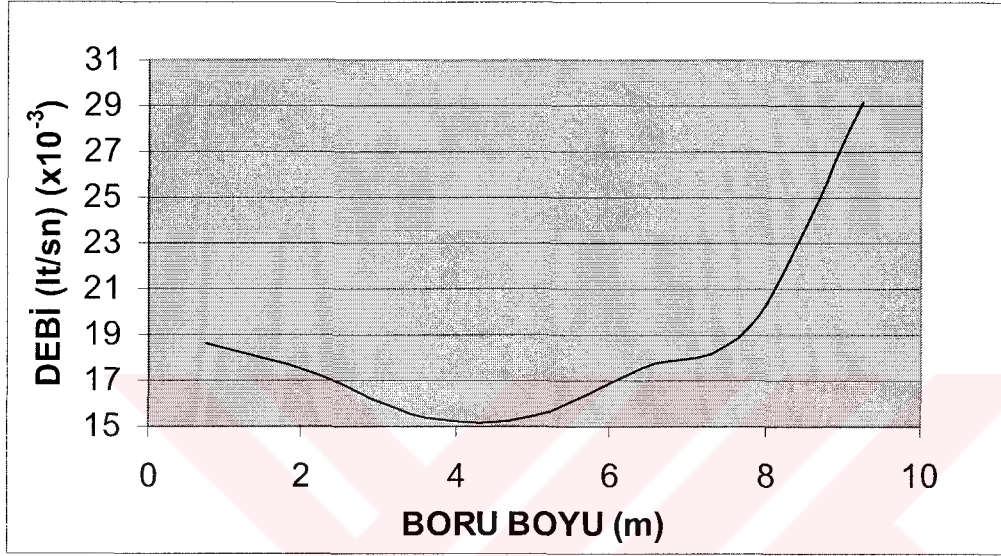
SÜRE(s)	540						
BASINÇ(bar)	0.70	0.65					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11450	11285	11615	12265	12410	12520	12000
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10500	10355	10655	11325	11940	12070	11560
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	19.4444	19.1759	19.7315	20.9722	22.1111	22.3519	21.4074



Şekil A.6 L = 10 m., P = 0.7 bar, t = 540 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.7 L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 600 s. için debi değerlerinin hesabı

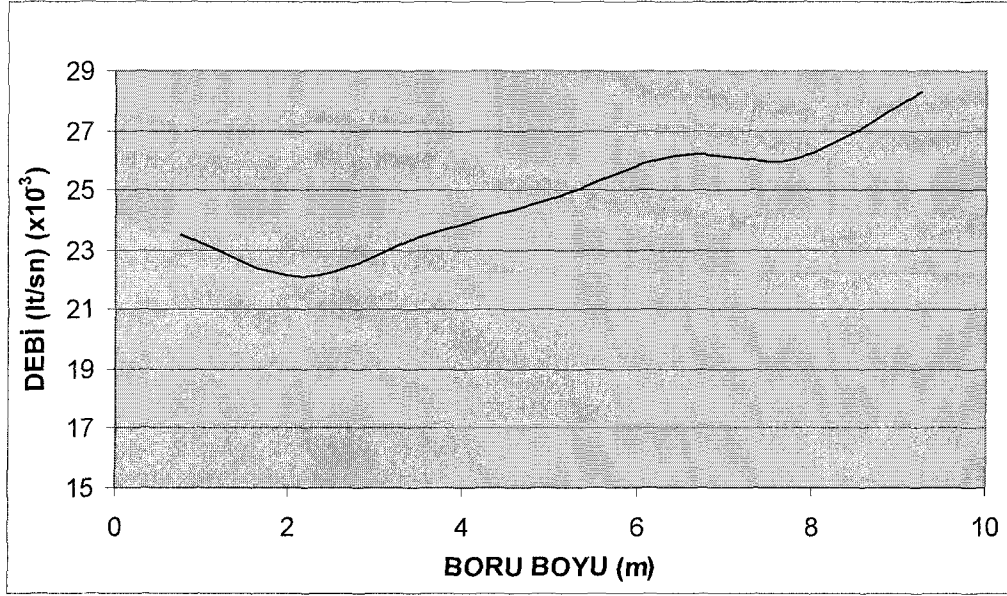
SÜRE(s)	600						
BASINÇ(bar)	1.00	0.95					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	12130	11330	10180	10240	11000	12120	17910
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	11180	10400	9220	9300	10530	11670	17470
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	18.6333	17.3333	15.3667	15.5000	17.5500	19.4500	29.1167



Şekil A.7 L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 600 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.8 L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 480 s. için debi değerlerinin hesabı

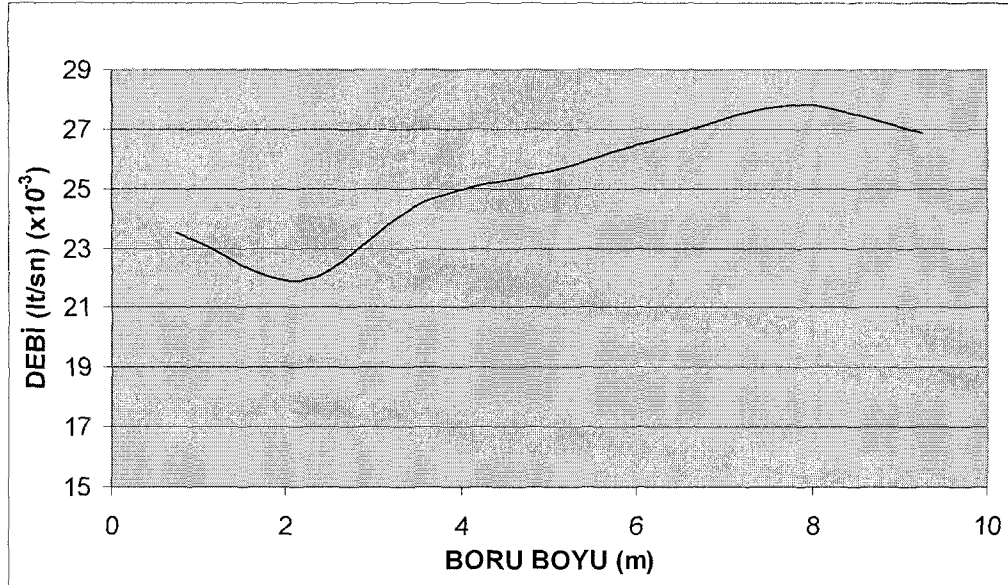
SÜRE(s)	480						
BASINÇ(bar)	1.00	0.90					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	12250	11530	12240	12795	13010	12970	14020
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	11300	10600	11280	11855	12540	12520	13580
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	23.5417	22.0833	23.5000	24.6979	26.1250	26.0833	28.2917



Şekil A.8 L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 480 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.9 L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 420 s. için debi değerlerinin hesabı

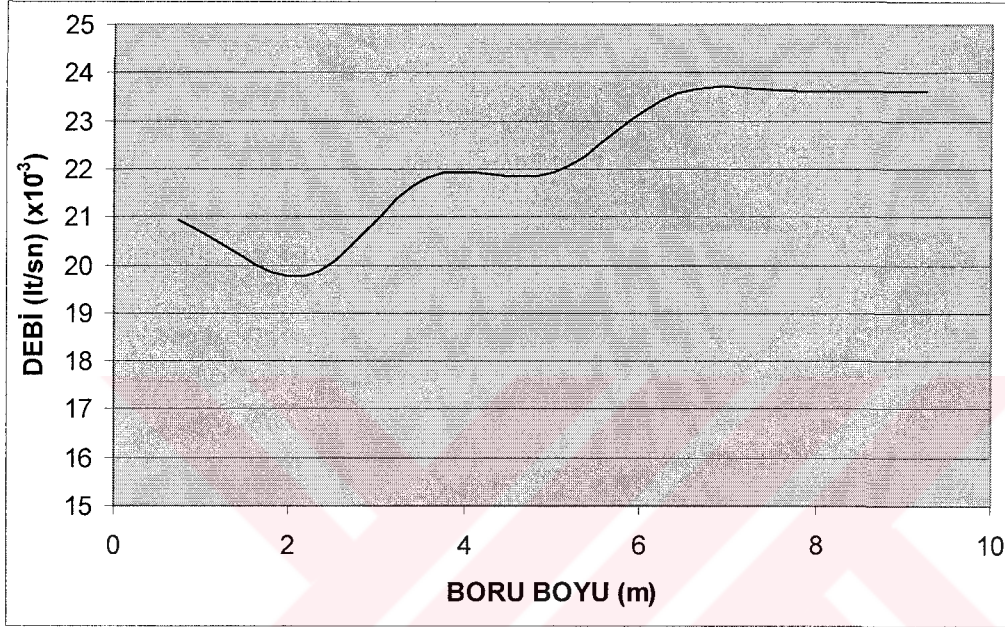
SÜRE(s)	420						
BASINÇ(bar)	1.00	0.90					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	10820	10130	11290	11690	11730	12140	11730
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	9870	9200	10330	10750	11260	11690	11290
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	23.5000	21.9048	24.5952	25.5952	26.8095	27.8333	26.8810



Şekil A.9 L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 420 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.10 L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 420 s. için debi değerlerinin hesabı

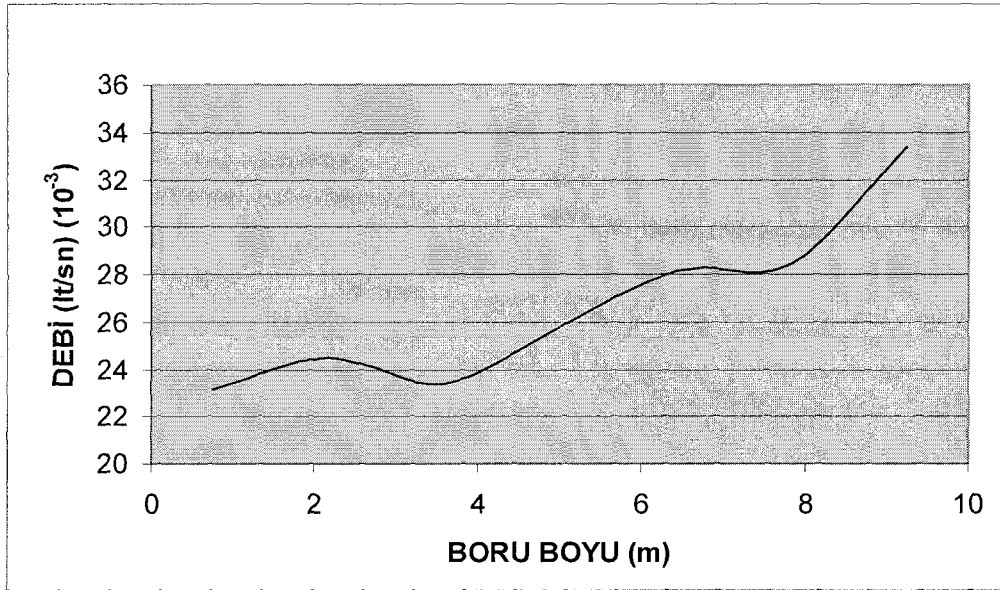
SÜRE(s)	480						
BASINÇ(bar)	1.00	0.90					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11000	10420	11425	11470	11780	11780	11770
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10050	9490	10465	10530	11310	11330	11330
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	20.9375	19.7708	21.8021	21.9375	23.5625	23.6042	23.6042



Şekil A.10 L = 10 m., P = 1.0 bar, t = 480 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.11 L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 460 s. için debi değerlerinin hesabı

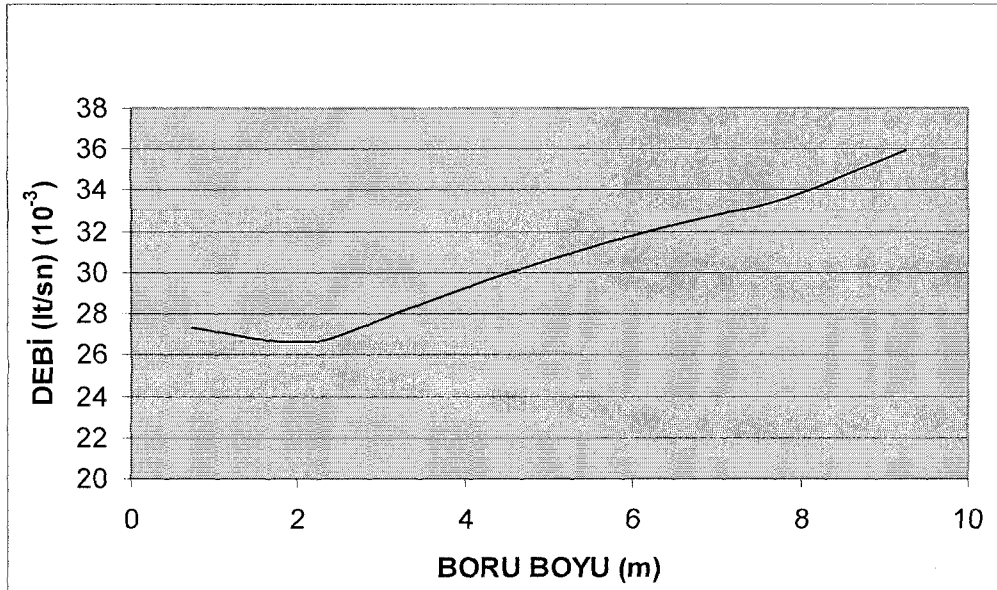
SÜRE(s)	460						
BASINÇ(bar)	1.50	1.30					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11580	12190	11720	12790	13430	13550	15780
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10630	11260	10760	11850	12960	13100	15340
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	23.1087	24.4783	23.3913	25.7609	28.1739	28.4783	33.3478



Şekil A.11 L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 460 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.12 L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 390 s. için debi değerlerinin hesabı

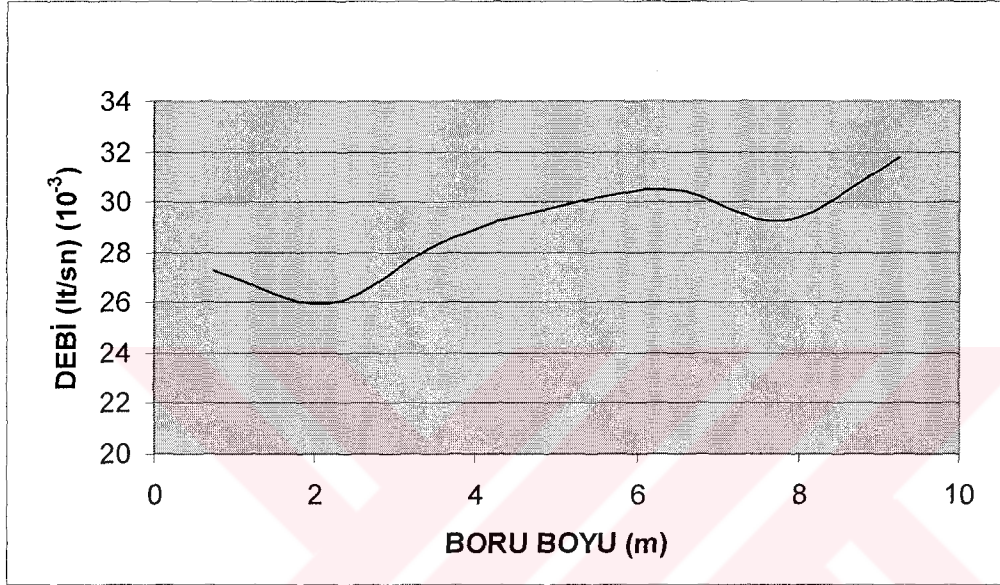
SÜRE(s)	390						
BASINÇ(bar)	1.50	1.30					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11590	11310	12110	12860	13050	13570	14460
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10640	10380	11150	11920	12580	13120	14020
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	27.2821	26.6154	28.5897	30.5641	32.2564	33.6410	35.9487



Şekil A.12 L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 390 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.13 L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 390 s. için debi değerlerinin hesabı

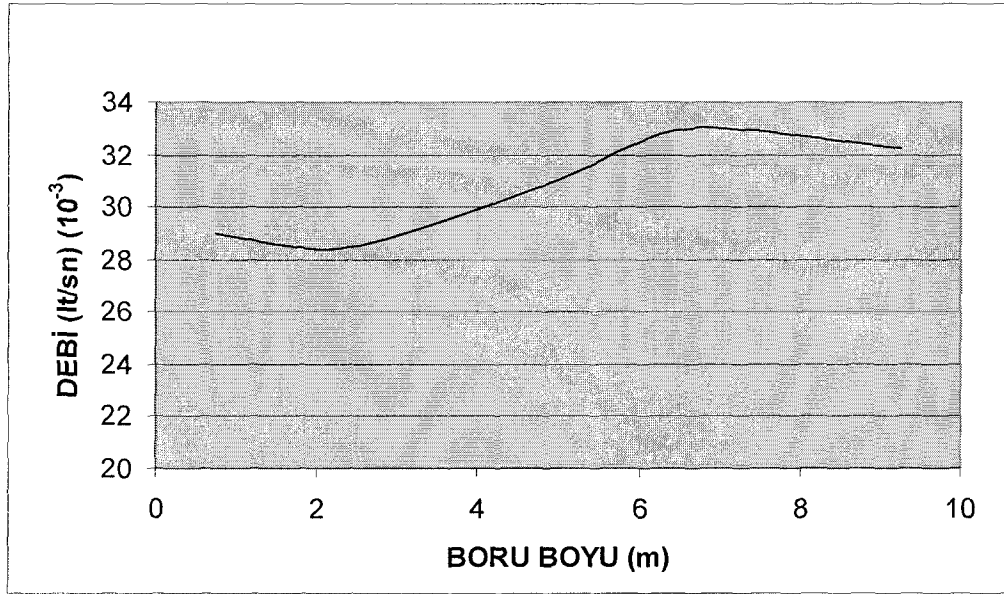
SÜRE(s)	390						
BASINÇ(bar)	1.50	1.35					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11590	11045	12030	12560	12360	11840	12820
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10640	10115	11070	11620	11890	11390	12380
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	27.2821	25.9359	28.3846	29.7949	30.4872	29.2051	31.7436



Şekil A.13 L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 390 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.14 L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 360 s. için debi değerlerinin hesabı

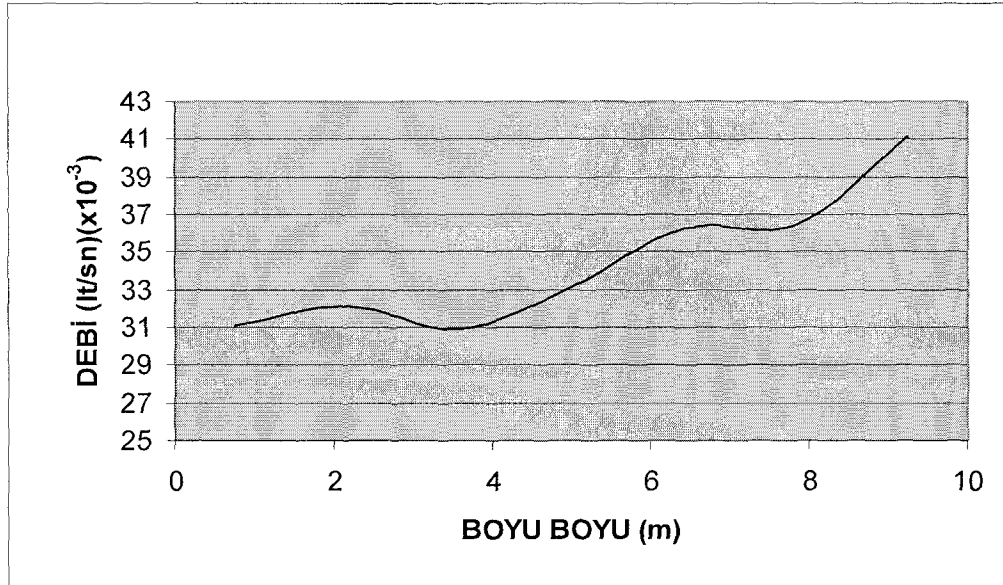
SÜRE(s)	360						
BASINÇ(bar)	1.50	1.30					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11380	11150	11580	12120	12330	12240	12050
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10430	10220	10620	11180	11860	11790	11610
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	28.9722	28.3889	29.5000	31.0556	32.9444	32.7500	32.2500



Şekil A.14 L = 10 m., P = 1.5 bar, t = 360 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.15 L = 10 m., P = 1.75 bar, t = 350 s. için debi değerlerinin hesabı

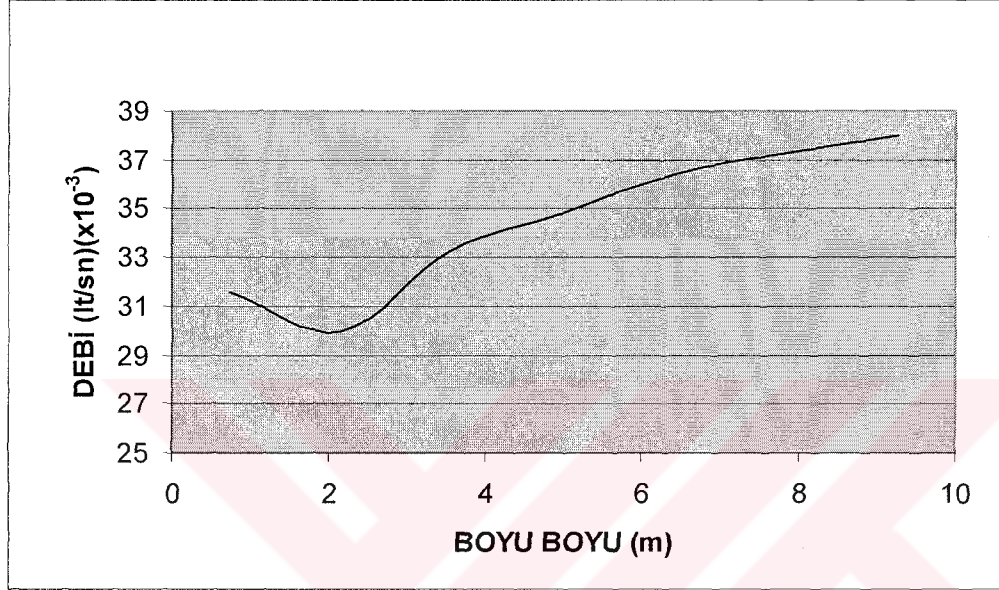
SÜRE(s)	350						
BASINÇ(bar)	1.75	1.45					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11830	12180	11770	12550	13160	13190	14840
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10880	11250	10810	11610	12690	12740	14400
DEBİ(lt/s)(10^{-3})	31.0857	32.1429	30.8857	33.1714	36.2571	36.4000	41.1429



Şekil A.15 L = 10 m., P = 1.75 bar, t = 350 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.16 L = 10 m., P = 1.92 bar, t = 330 s. için debi değerlerinin hesabı

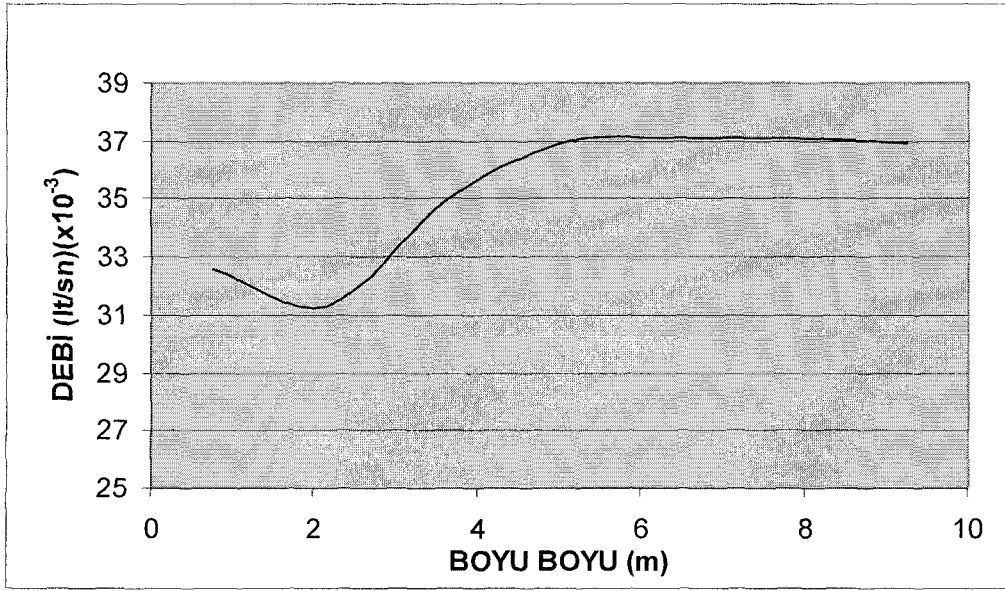
SÜRE(s)	330						
BASINÇ(bar)	1.92	1.60					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11360	10815	11940	12420	12475	12750	12970
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10410	9885	10980	11480	12005	12300	12530
DEBİ(lt/s)(10^{-3})	31.5455	29.9545	33.2727	34.7879	36.3788	37.2727	37.9697



Şekil A.16 L = 10 m., P = 1.92 bar, t = 330 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.17 L = 10 m., P = 1.87 bar, t = 300 s. için debi değerlerinin hesabı

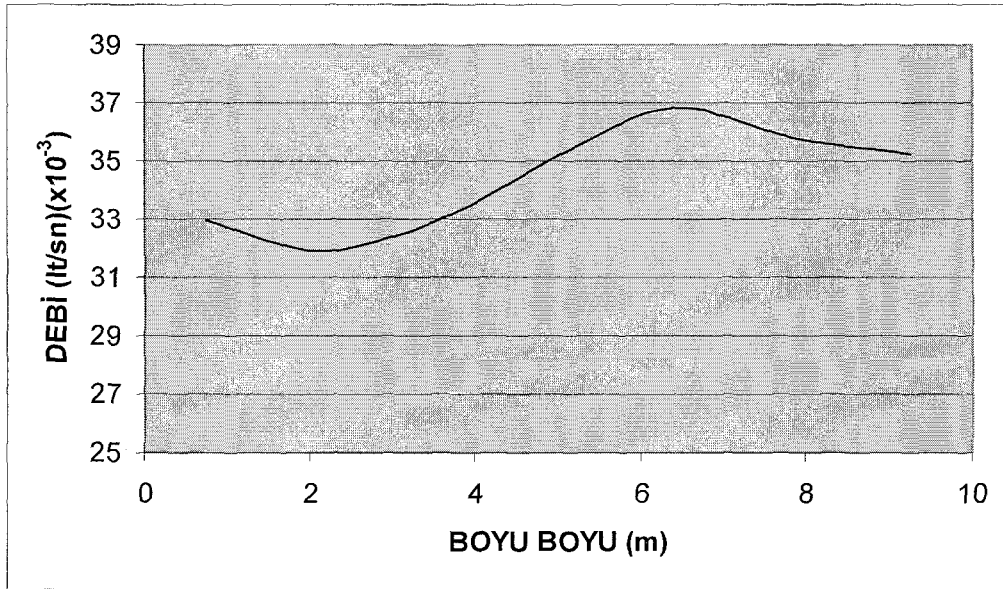
SÜRE(s)	300						
BASINÇ(bar)	1.87	1.55					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	10730	10320	11430	12010	11600	11580	11510
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	9780	9390	10470	11070	11130	11130	11070
DEBİ(lt/s)(10^{-3})	32.6000	31.3000	34.9000	36.9000	37.1000	37.1000	36.9000



Şekil A.17 L = 10 m., P = 1.87 bar, t = 300 s. için boru boyunca debi değişimi

Tablo A.18 L = 10 m., P = 1.78 bar, t = 330 s. için debi değerlerinin hesabı

SÜRE(s)	330						
BASINÇ(bar)	1.78	1.55					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	950	930	960	940	470	450	440
TOPLAM AĞIRLIK(gr)	11820	11470	11850	12560	12610	12265	12080
SUYUN AĞIRLIĞI(gr)	10870	10540	10890	11620	12140	11815	11640
DEBİ(lt/s)(10 ⁻³)	32.9394	31.9394	33.0000	35.2121	36.7879	35.8030	35.2727

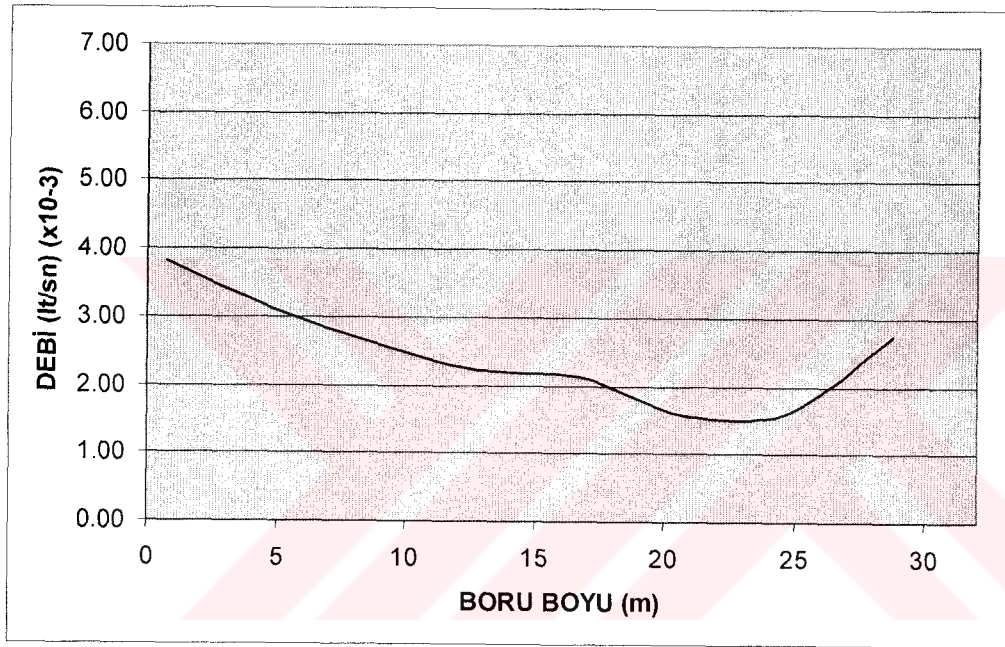


Şekil A.18 L = 10 m., P = 1.78 bar, t = 330 s. için boru boyunca debi değişimi

EK-B 32 M. UZUNLUĞUNDAKİ POROZ BORUNUN DENEY SONUÇLARI

Tablo B.1 L = 32 m., P = 0.75 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı

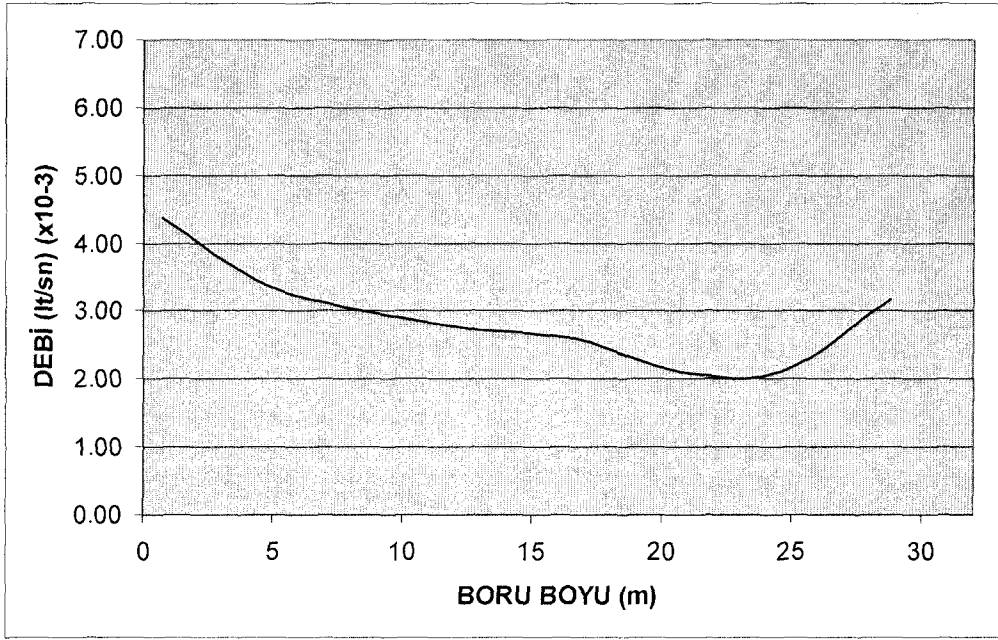
SÜRE(dak)	10							
BASINÇ(bar)	0.75	0.68	0.60					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	2970	3295	3310	2460	2350	1810	1860	3405
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	2290	2825	2350	2010	1910	1410	1460	2465
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	3.817	3.139	2.611	2.233	2.122	1.567	1.622	2.739



Şekil B.1 L = 32 m., P = 0.75 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo B.2 L = 32 m., P = 0.90 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı

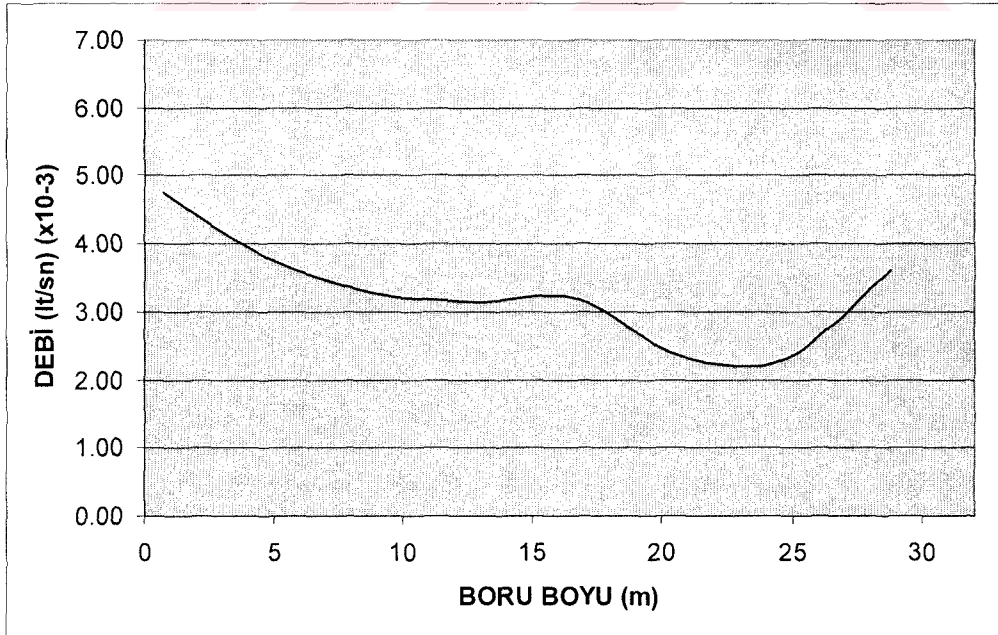
SÜRE(dak)	10							
BASINÇ(bar)	0.90	0.85	0.80					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	3300	3515	3645	2910	2780	2300	2310	3800
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	2620	3045	2685	2460	2340	1900	1910	2860
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	4.367	3.383	2.983	2.733	2.600	2.111	2.122	3.178



Şekil B.2 L = 32 m., P = 0.90 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo B.3 L = 32 m., P = 1.00 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı

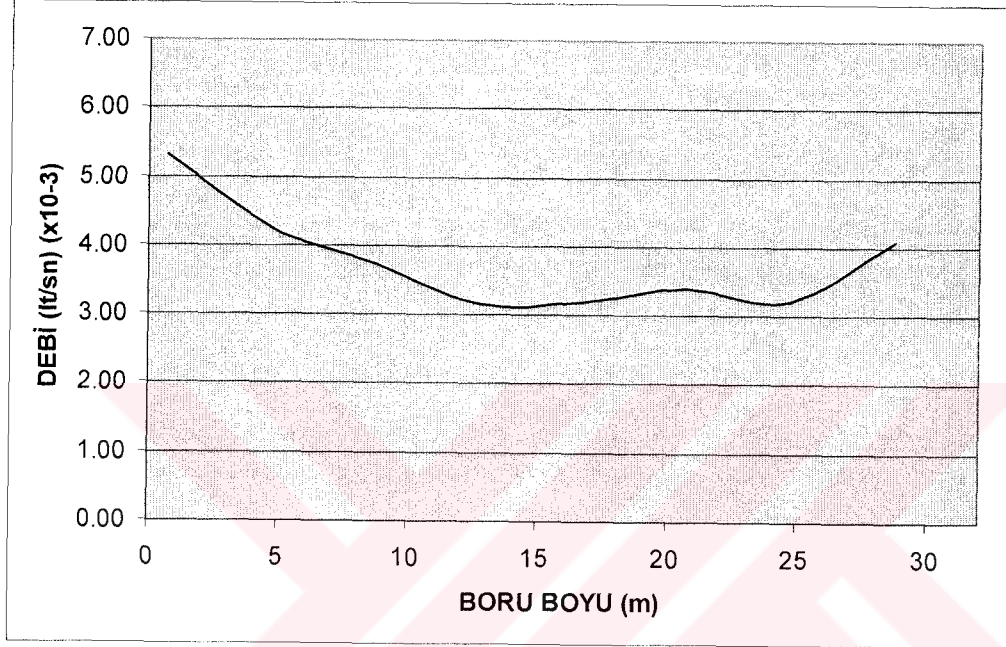
SÜRE(dak)	10							
BASINÇ(bar)	1.00	0.90	0.80					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	3530	3880	3920	3280	3300	2500	2480	4190
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	2850	3410	2960	2830	2860	2100	2080	3250
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	4.750	3.789	3.289	3.144	3.178	2.333	2.311	3.611



Şekil B.3 L = 32 m., P = 1.00 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo B.4 L = 32 m., P = 1.25 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı

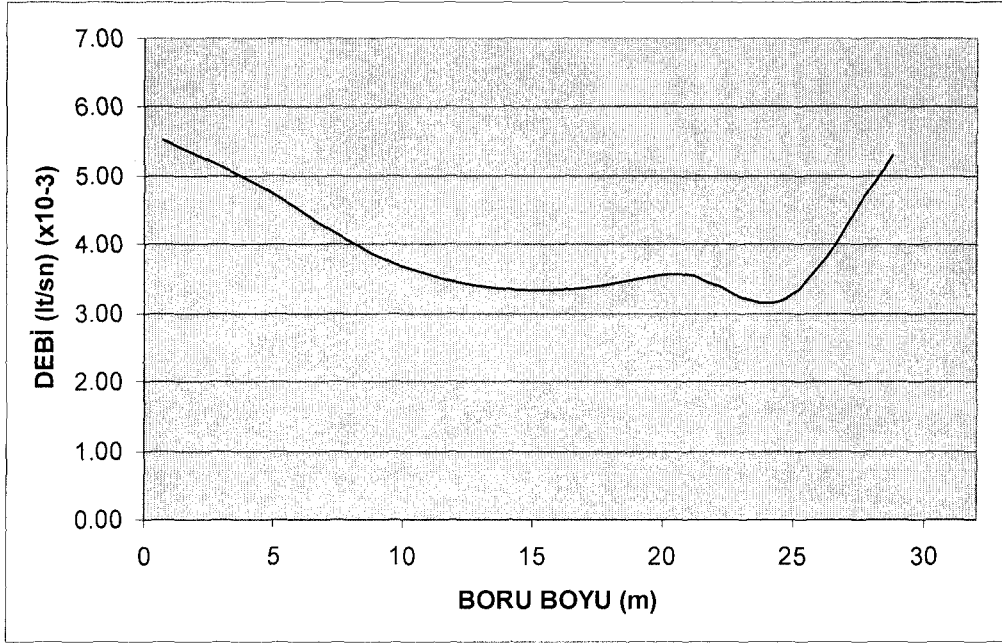
SÜRE(dak)	10							
BASINÇ(bar)	1.25	1.15	1.05					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	3870	4290	4330	3300	3310	3450	3280	4630
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	3190	3820	3370	2850	2870	3050	2880	3690
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	5.317	4.244	3.744	3.167	3.189	3.389	3.200	4.100



Şekil B.4 L = 32 m., P = 1.25 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo B.5 L = 32 m., P = 1.50 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı

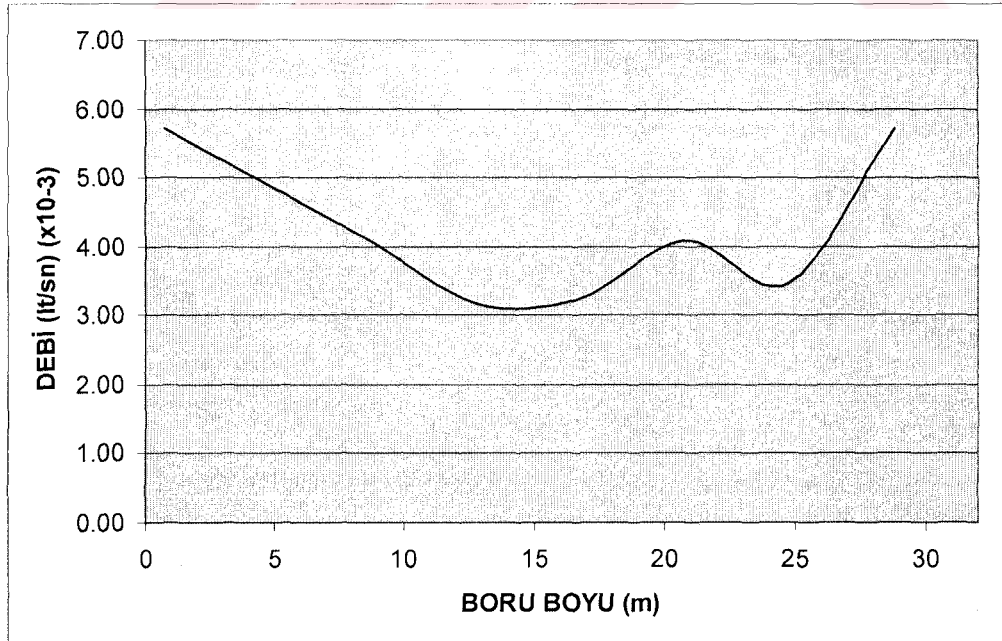
SÜRE(dak)	10							
BASINÇ(bar)	1.50	1.40	1.30					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	4000	4790	4450	3510	3470	3620	3300	5700
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	3320	4320	3490	3060	3030	3220	2900	4760
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	5.533	4.800	3.878	3.400	3.367	3.578	3.222	5.289



Şekil B.5 L = 32 m., P = 1.50 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo B.6 L = 32 m., P = 2.00 bar, t = 10 dak. için debi değerlerinin hesabı

SÜRE(dak)	10							
BASINÇ(bar)	2.00	1.85	1.80					
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	4110	4860	4620	3300	3360	4080	3510	6090
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	3430	4390	3660	2850	2920	3680	3110	5150
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	5.717	4.878	4.067	3.167	3.244	4.089	3.456	5.722

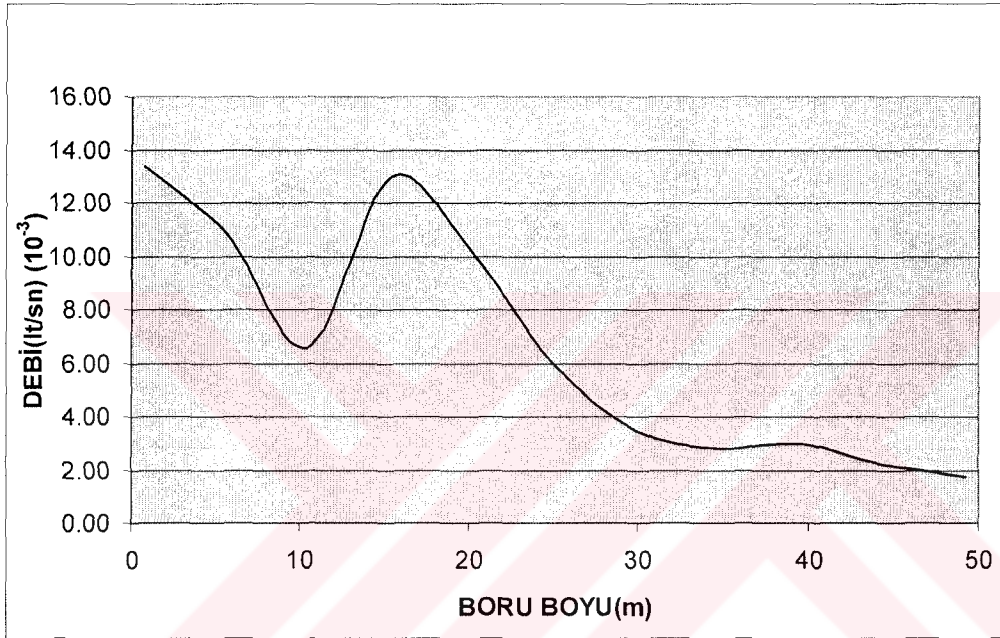


Şekil B.6 L = 32 m., P = 2.00 bar, t = 10 dak. için boru boyunca debi değişimi

EK-C 50 M. UZUNLUĞUNDAKİ POROZ BORUNUN DENEY SONUÇLARI

Tablo C.1 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

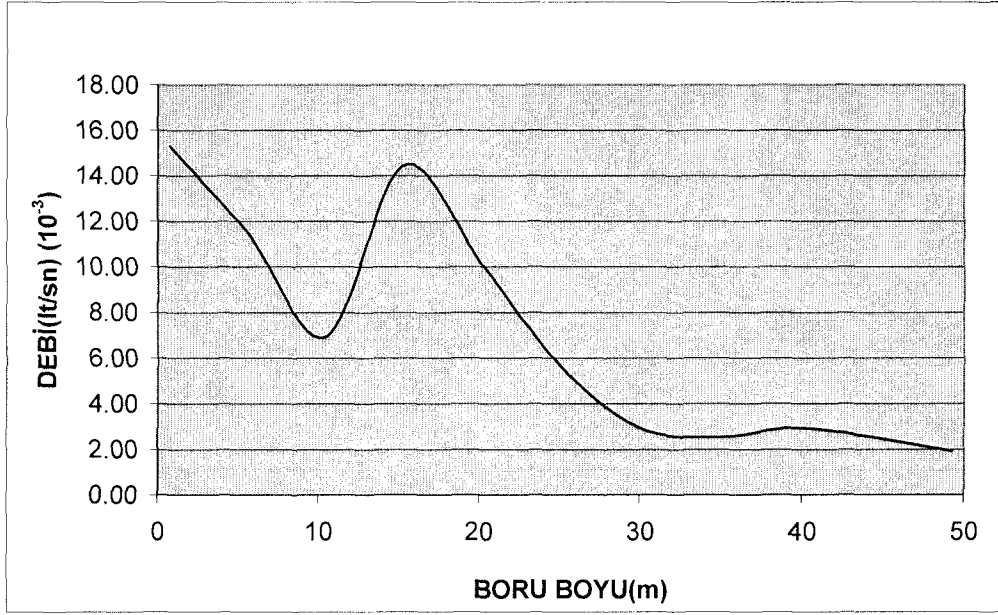
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	0.50	0.10	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	12690	10190	6880	12130	9620	5780	3520	3470	3620	2390	2520
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	12010	9720	5920	11680	9180	5380	3120	2530	2690	2000	1570
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	13.344	10.800	6.578	12.978	10.200	5.978	3.467	2.811	2.989	2.222	1.744



Şekil C.1 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.2 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

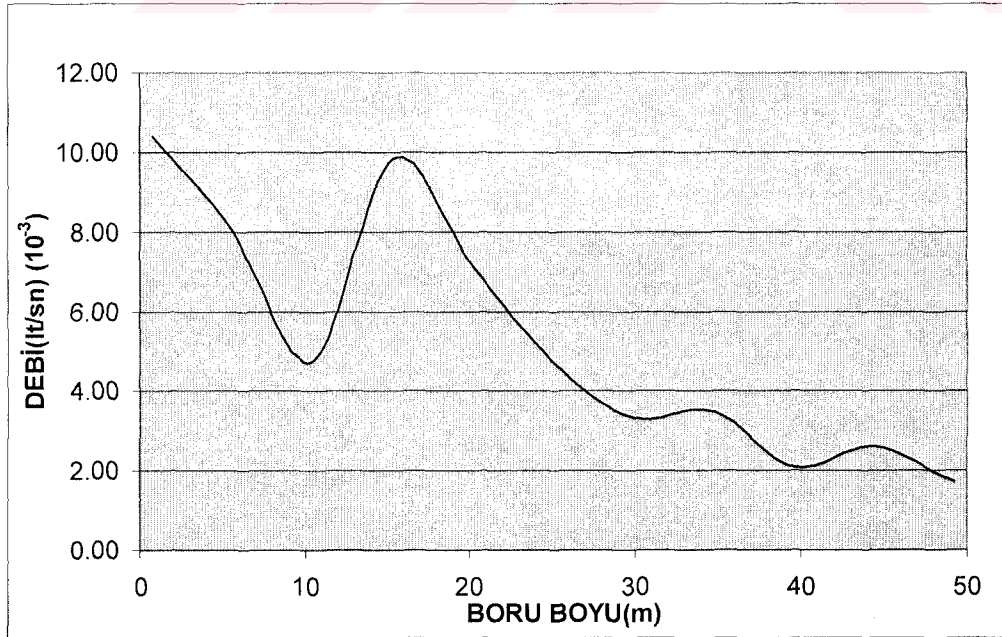
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	0.50	0.20	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	14460	10790	7190	13450	9560	5510	3080	3210	3570	2660	2680
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	13780	10320	6230	13000	9120	5110	2680	2270	2640	2270	1730
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	15.311	11.467	6.922	14.444	10.133	5.678	2.978	2.522	2.933	2.522	1.922



Şekil C.2 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.3 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

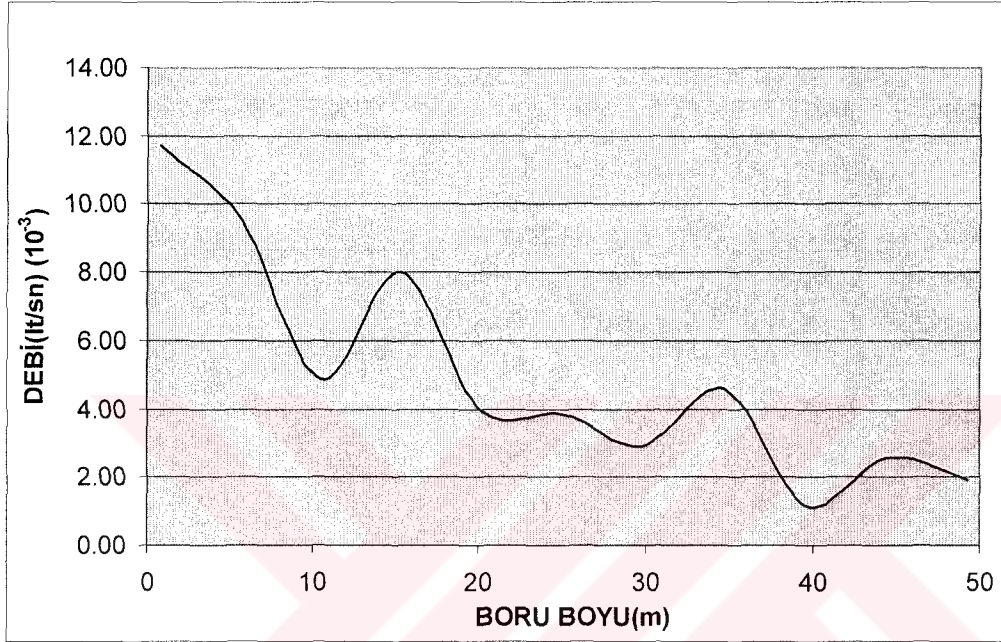
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	0.50	0.15	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	10020	7700	5215	9310	6870	4680	3380	4095	2820	2740	2520
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	9340	7230	4255	8860	6430	4280	2980	3155	1890	2350	1570
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	10.378	8.033	4.728	9.844	7.144	4.756	3.311	3.506	2.100	2.611	1.744



Şekil C.3 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.4 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

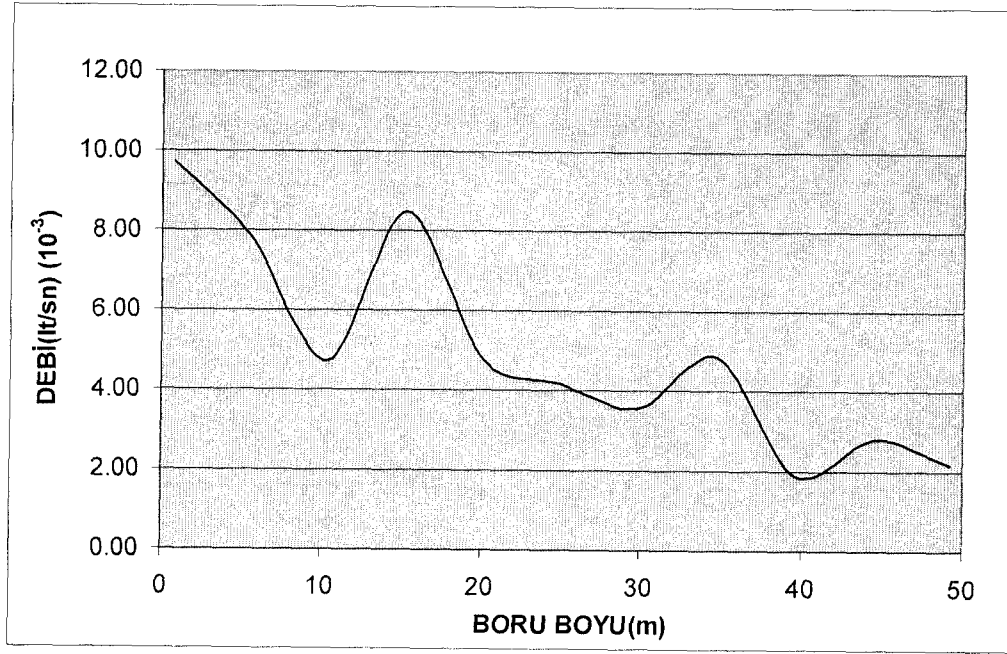
SÜRE(dak)	15											
BASINÇ(bar)	0.50	0.20	0.00									
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950	
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	11220	9100	5325	7660	3970	3870	3030	5070	2000	2700	2670	
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	10540	8630	4365	7210	3530	3470	2630	4130	1070	2310	1720	
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	11.711	9.589	4.850	8.011	3.922	3.856	2.922	4.589	1.189	2.567	1.911	



Şekil C.4 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.5 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

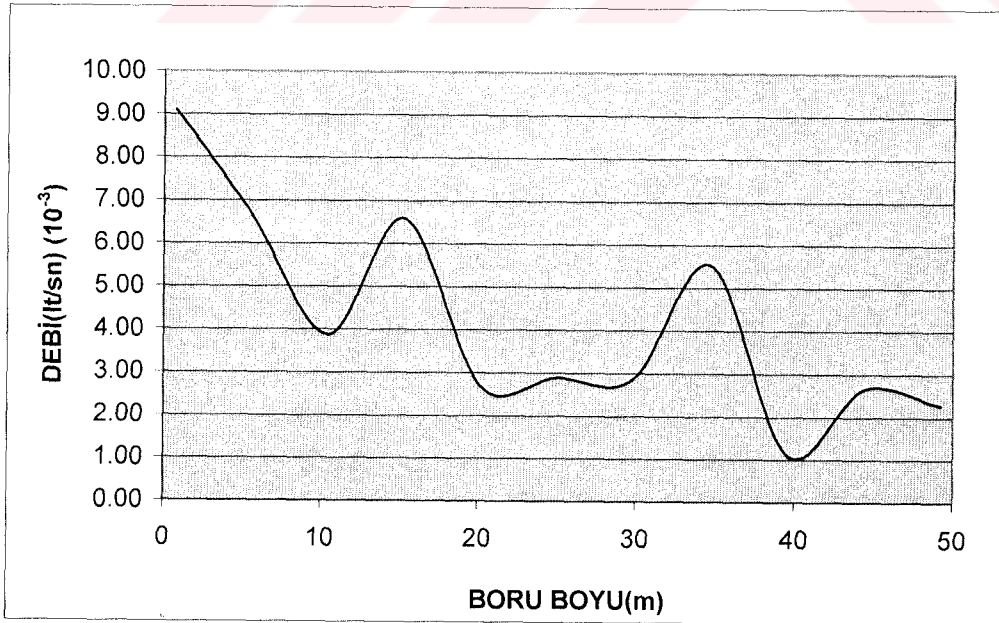
SÜRE(dak)	15											
BASINÇ(bar)	0.50	0.20	0.00									
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950	
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	10010	7510	5200	8090	4720	4150	3590	5280	2610	2920	2900	
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	9330	7040	4240	7640	4280	3750	3190	4340	1680	2530	1950	
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	9.719	7.822	4.711	8.489	4.756	4.167	3.544	4.822	1.867	2.811	2.167	



Şekil C.5 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.6 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

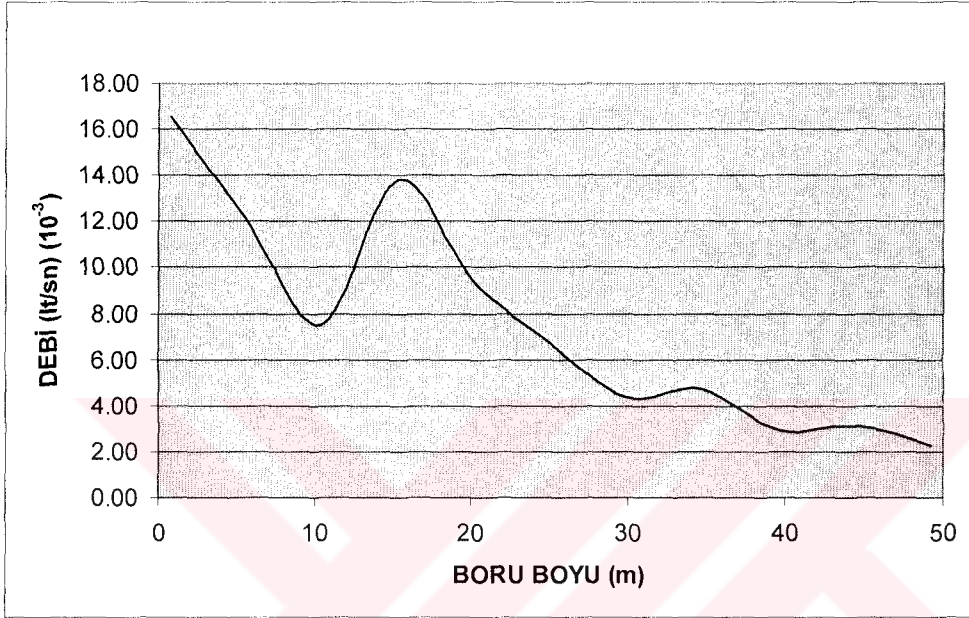
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	0.50	0.20	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	8870	6450	4450	6370	2860	3000	2980	5920	1920	2780	3000
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	8190	5980	3490	5920	2420	2600	2580	4980	990	2390	2050
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	9.100	6.644	3.878	6.578	2.689	2.889	2.867	5.533	1.100	2.656	2.278



Şekil C.6 L = 50 m., P = 0.50 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.7 L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

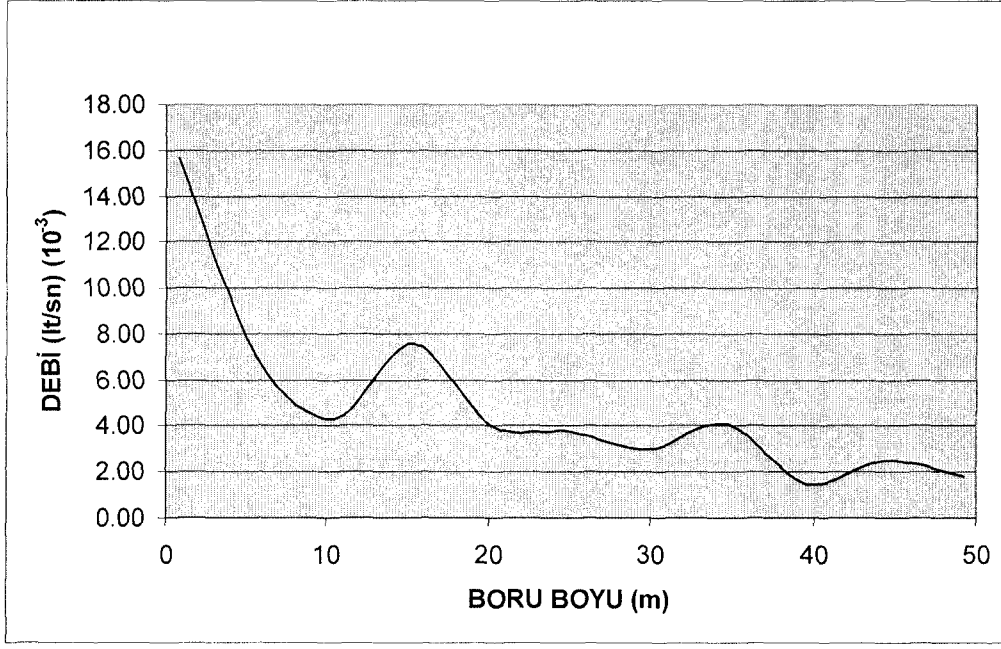
SÜRE(dak)	15											
BASINÇ(bar)	1.00	0.30	0.00									
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950	
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	15535	11435	7700	12895	8885	6410	4320	5160	3590	3220	2990	
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	14855	10965	6740	12445	8445	6010	3920	4220	2660	2830	2040	
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	16.506	12.183	7.489	13.828	9.383	6.678	4.356	4.689	2.956	3.144	2.267	



Şekil C.7 L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.8 L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 9 dak. için debi değerlerinin hesabı

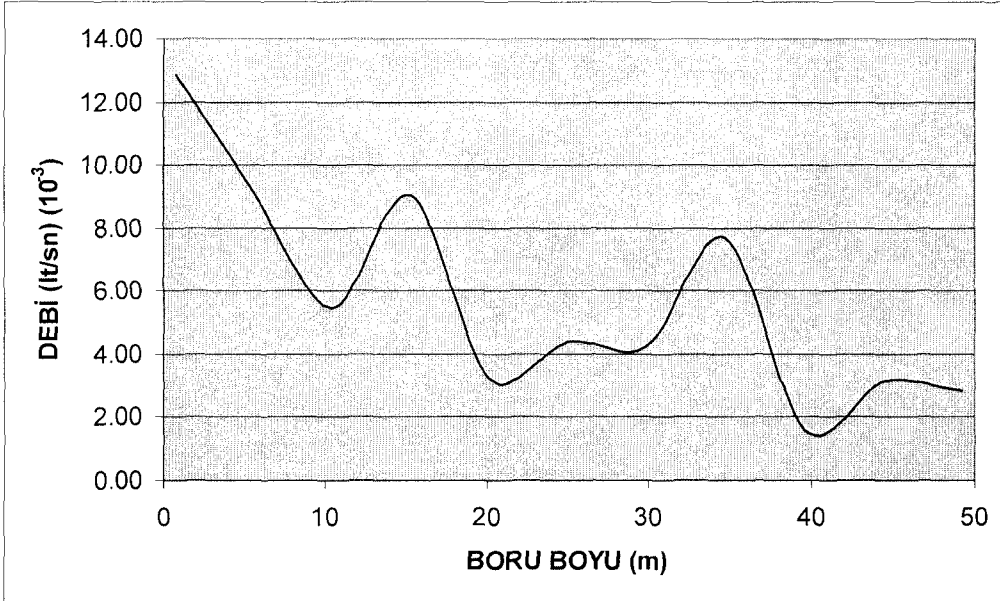
SÜRE(dak)	9											
BASINÇ(bar)	1.00	0.37	0.00									
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950	
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	9140	6780	4820	7250	4090	3750	3100	4615	2265	2620	2600	
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	8460	6310	3860	6800	3650	3350	2700	3675	1335	2230	1650	
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	15.667	7.011	4.289	7.556	4.056	3.722	3.000	4.083	1.483	2.478	1.833	



Şekil C.8 L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 9 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.9 L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

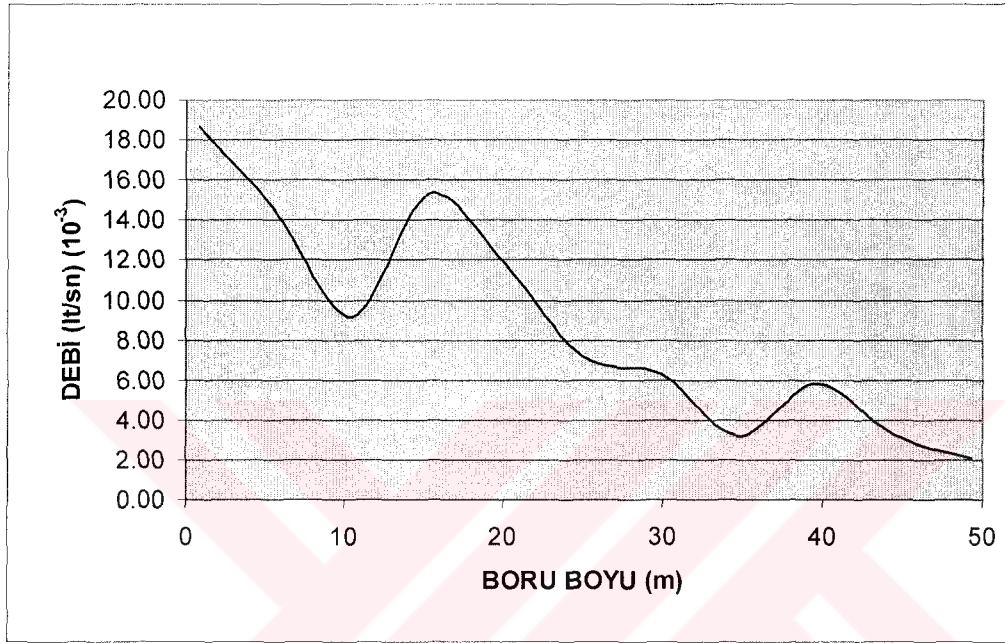
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	1.00	0.40	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	12220	8690	5880	8610	3370	4360	4220	7870	2360	3200	3520
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	11540	8220	4920	8160	2930	3960	3820	6930	1430	2810	2570
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	12.822	9.133	5.467	9.067	3.256	4.400	4.244	7.700	1.589	3.122	2.856



Şekil C.9 L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.10 L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

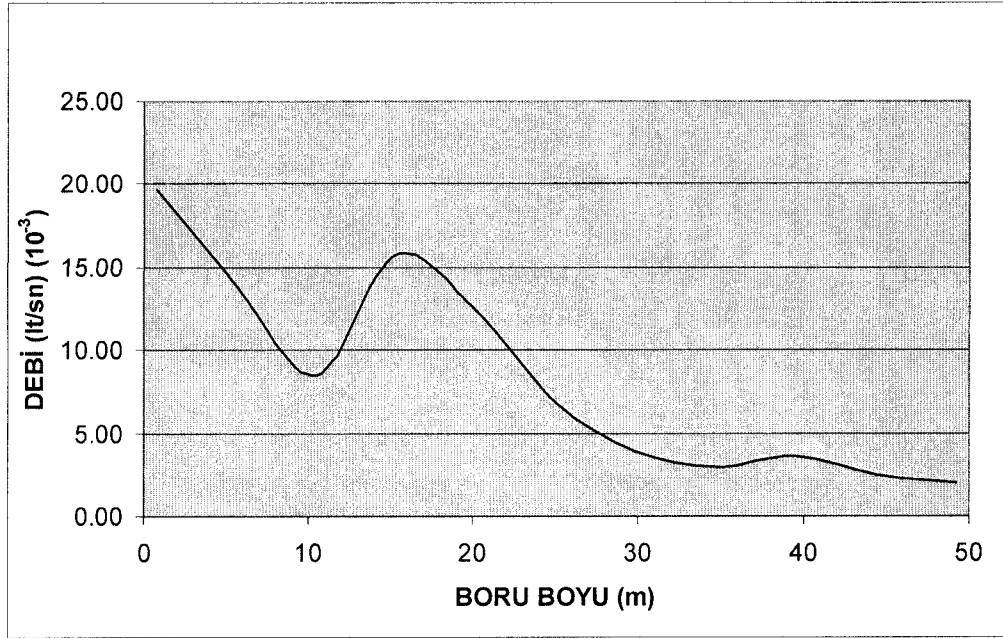
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	1.00	0.25	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	17470	13520	9190	14210	10970	6870	6040	3830	6130	3300	2850
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	16790	13050	8230	13760	10530	6470	5640	2890	5200	2910	1900
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	18.656	14.500	9.144	15.289	11.700	7.189	6.267	3.211	5.778	3.233	2.111



Şekil C.10 L = 50 m., P = 1.00 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.11 L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

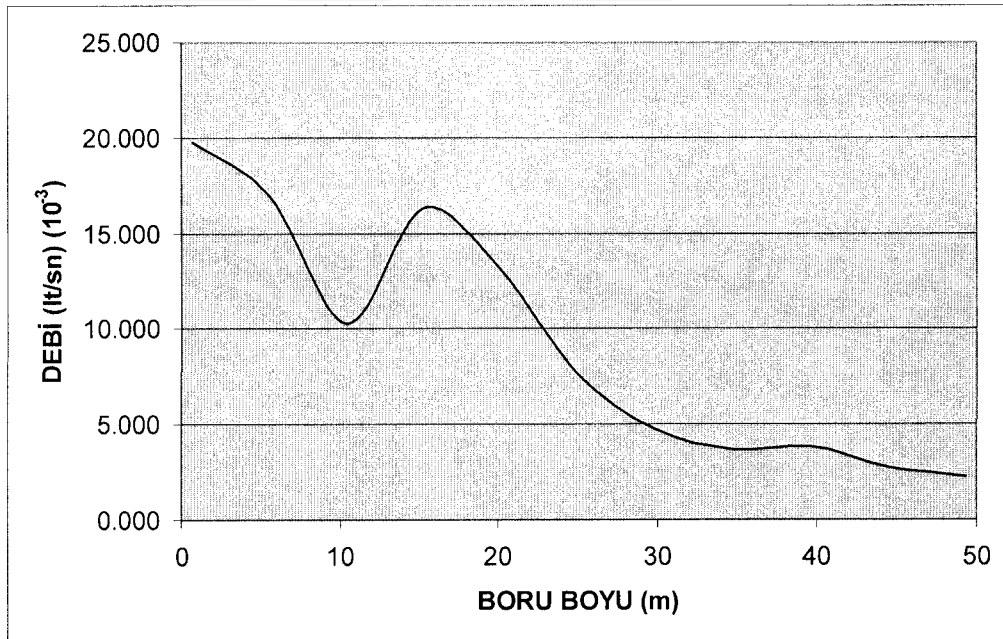
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	1.21	0.22	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	18350	13020	8575	14600	11580	6570	3910	3600	4170	2580	2755
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	17670	12550	7615	14150	11140	6170	3510	2660	3240	2190	1805
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	19.633	13.944	8.461	15.722	12.378	6.856	3.900	2.956	3.600	2.433	2.006



Şekil C.11 L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.12 L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

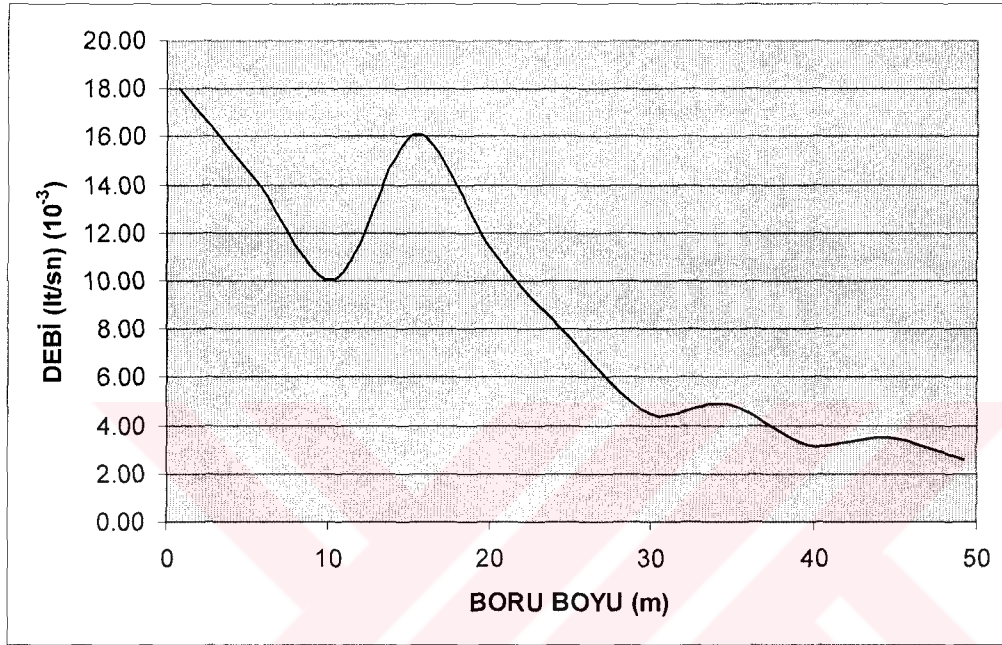
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	1.21	0.30	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	18450	15650	10180	15100	12200	7240	4720	4240	4370	2840	2970
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	17770	15180	9220	14650	11760	6840	4320	3300	3440	2450	2020
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	19.744	16.867	10.244	16.278	13.067	7.600	4.800	3.667	3.822	2.722	2.244



Şekil C.12 L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.13 L = 50 m., P = 1.22 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

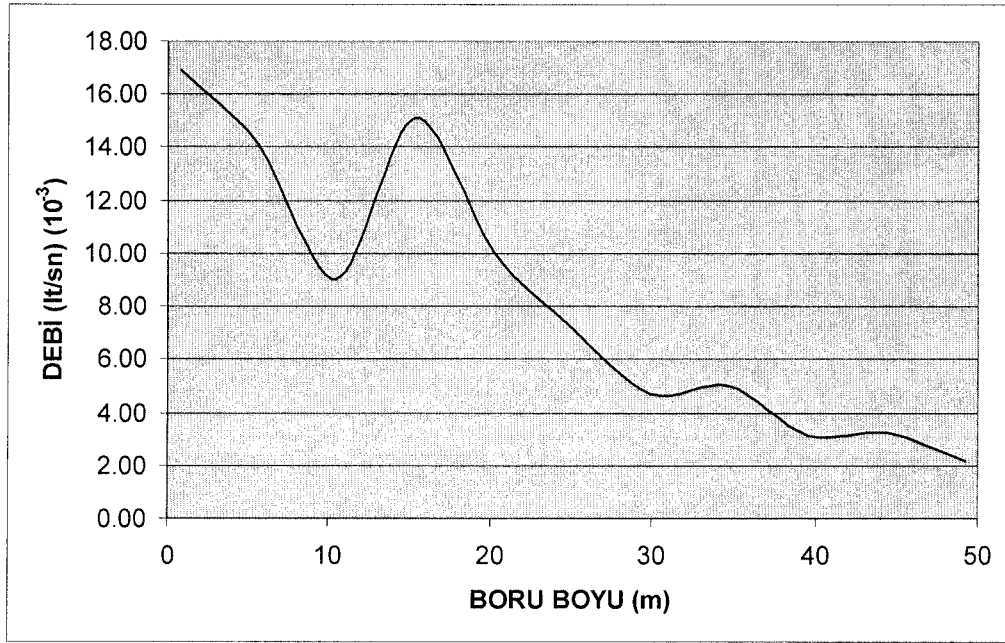
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	1.22	0.40	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	16880	13170	9990	14920	10570	7165	4445	5360	3800	3520	3250
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	16200	12700	9030	14470	10130	6765	4045	4420	2870	3130	2300
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	18.000	14.111	10.033	16.078	11.256	7.517	4.494	4.911	3.189	3.478	2.556



Şekil C.13 L = 50 m., P = 1.22 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.14 L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

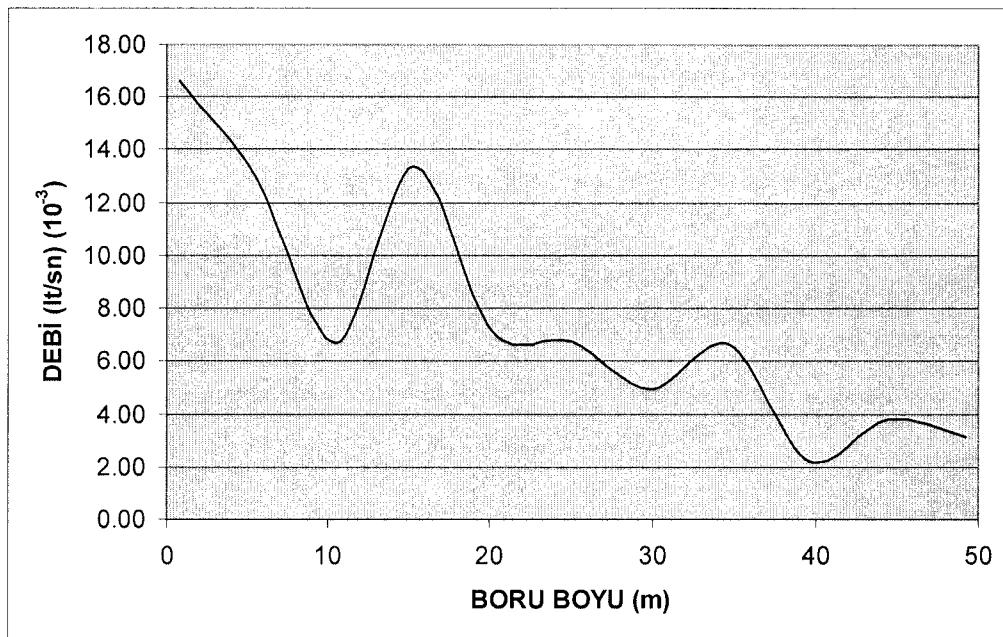
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	1.21	0.40	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	15920	13150	9065	14050	9550	6825	4610	5410	3730	3340	2900
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	15240	12680	8105	13600	9110	6425	4210	4470	2800	2950	1950
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	16.933	14.089	9.006	15.111	10.122	7.139	4.678	4.967	3.111	3.278	2.167



Şekil C.14 L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.15 L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

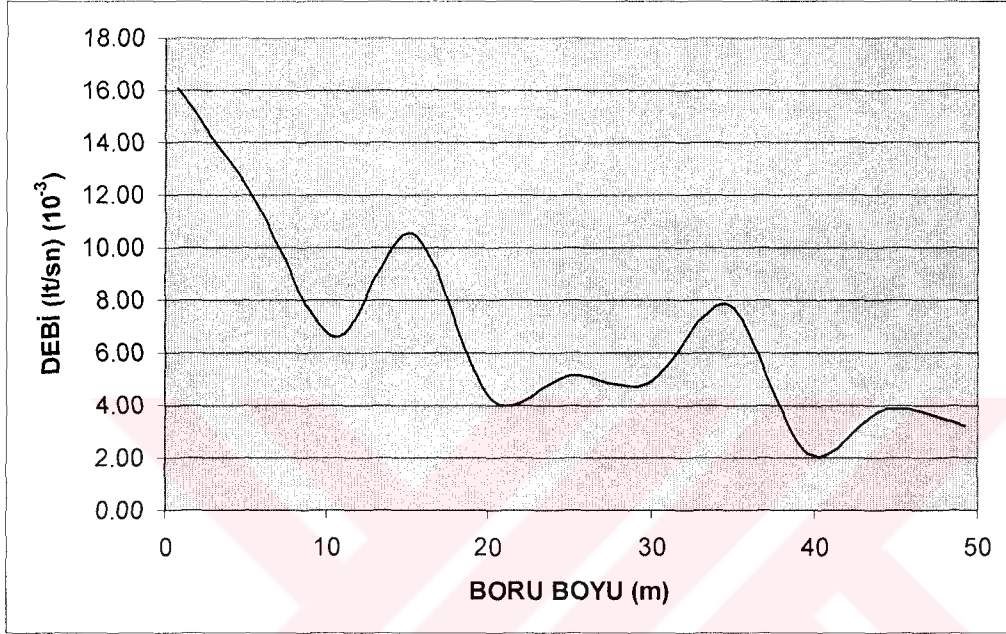
SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	1.21	0.41	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	15640	12040	6990	12485	6830	6460	4830	6885	2950	3800	3750
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	14960	11570	6030	12035	6390	6060	4430	5945	2020	3410	2800
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	16.622	12.856	6.700	13.372	7.100	6.733	4.922	6.606	2.244	3.789	3.111



Şekil C.15 L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

Tablo C.16 L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için debi değerlerinin hesabı

SÜRE(dak)	15										
BASINÇ(bar)	1.21	0.42	0.00								
KOVA NO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KOVA AĞIRLIĞI(gr)	680	470	960	450	440	400	400	940	930	390	950
TOPLAM AĞIRLIĞI(gr)	15130	11050	6910	9930	4270	5060	4750	7980	2880	3900	3820
NET SU AĞIRLIĞI(gr)	14450	10580	5950	9480	3830	4660	4350	7040	1950	3510	2870
DEBİ(lt/sn)(x10 ⁻³)	16.056	11.756	6.611	10.533	4.256	5.178	4.833	7.822	2.167	3.900	3.189



Şekil C.16 L = 50 m., P = 1.21 bar, t = 15 dak. için boru boyunca debi değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Ben Özlen Özkurt, 03.11.1975 yılında Erzincan'da doğdum. İlkokulu Balıkesir Mehmetçik İlkokulu'nda bitirdim. Daha sonra Balıkesir Sırrı Yırcalı Anadolu Lisesi'nden 1993 yılında mezun oldum. 1993 yılında girdiğim ÖYS sınavında, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazanarak İstanbul'a yerleşmiş oldum. 1997 yılında mezun olduğum bu bölümde, aynı sene yüksek lisans yapmaya başladım. 1999 yılının 31 Mayıs günü tezimi vermiş bulunmaktayım.

