

16076

T.C.

EGE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TARIMSAL MEKANİZASYON ANABİLİM DALI

TÜRKİYE'DE KULLANIMI YAYGIN
OLAN DAMLA SULAMA BORULARI VE
DAMLATICILARININ
İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ
ÜZERİNDE BİR ARAŞTIRMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hazırlayan : Vedat DEMİR

Danışman : Prof.Dr. H.Ünal EVCİM

T. C.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

Bornova-İZMİR

1991

Ö N S Ö Z

Özellikle son yıllarda yağışların azlığı ve yeterli suyun bulunamaması, ülkemizde sulama suyunun daha dikkatli kullanımını gündeme getirmiştir. Böylece daha etkin sulama yaparak, su tasarrufu sağlayan mikro sulama yöntemleri içinde yer alan "damla sulama sistemi" ülkemizde de hızla yaygınlaşmaktadır. Bu sistem özellikle Ege ve Akdeniz Bölgesinde daha geniş kullanım alanı bulmuştur.

Damla sulama sistemini oluşturan elemanlar, ithal edildiği gibi ülkemizde de üretilmektedir. Sistemin kullanım özelliklerini belirlemek amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmasına karşın, bu çalışmalar sistemi oluşturan elemanlar üzerinde yeterli düzeye ulaşamamıştır.

Damla sulamada kaynaktan alınan suyun, tarım alanı üzerinde yerleştirilen lateral boyunca yeknesak bir şekilde ve bitki kök bölgesine denetimli olarak verilmesi amaçlanmaktadır. Bu nedenle sistemi oluşturan tüm elemanlar en iyi randımanı verecek şekilde projelendirilmelidir. Bunun için de özellikle sistemin en önemli elemanlarından biri olan damlatıcıların özelliklerinin ve bu damlatıcılardan yeknesak su dağılımını sağlayacak PE (Polietilen) laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesi gereklidir.

Bu araştırma, ülkemizde yaygın olarak kullanılan yerli ve yabancı yapım damlatıcıların özelliklerini ve bu damlatıcılardan yeknesak su dağılımını sağlayacak optimum lateral uzunluklarını belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Araştırmanın, yapımcı ve uygulayıcıların gelecekteki çalışmalarına ışık tutacağı kanısındayım.

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÇİZELGE LİSTESİ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	X
ABSTRAKT	XIII
ABSTRACT	XIII
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM	30
3.1 Materyal	30
3.1.1 Damlatıcılar	30
3.1.2 Lateraller	37
3.1.3 Laboratuvar Denemelerinde Kullanılan Araçlar	38
3.1.3.1 Pompa ve Tahrik Düzeni	38
3.1.3.2 Filtre, Manometre ve Piyezometre Tüpü	40
3.1.4 Deneme Yeri	41
3.2 Yöntem	42
3.2.1 Damlatıcı Basınç-Debi İlişkisinin Belirlenmesi	42
3.2.2 Damla Sulama Laterallerinde Sürtünme	
Kayıplarının Belirlenmesi	48
3.2.2.1 Sürtünme Kayıplarının Laboratuvar	
Denemeleri İle Belirlenmesi	48
3.2.2.2 Sürtünme Kayıp Eşitliklerinin Belirlenmesi	51
3.2.3 Lateral Uzunluklarının Belirlenmesi	58
3.2.3.1 Lateral Boyunca Basınç, Debi Dağılımı ve	
Christiansen Azaltma Faktörlerinin (F)	
Belirlenmesi	58

3.2.3.2 Basınç ve Debi Dağılımına Göre Lateral Uzunluklarının Belirlenmesi	62
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	64
4.1 Damlatıcı Basınç-Debi İlişkisine Ait Bulgular ve Tartışma	64
4.2 Damla Sulama Laterallerinde Sürtünme Kayıplarına İlişkin Bulgular ve Tartışma	71
4.3 Lateral Uzunlukları ve Christiansen Azaltma Faktörlerine (F) İlişkin Bulgular ve Tartışma	89
4.3.1 Lateral Boyunca Basınç,Debi Dağılımı ve Christiansen Azaltma Faktörlerine (F) İlişkin Bulgular ve Tartışma	89
4.3.2 Lateral Uzunluklarına İlişkin Bulgular ve Tartışma	99
4.3.2.1 Basınç Dengeleme Özelliği Bulunmayan Damlatıcılı Laterallerin Uzunluklarına İlişkin Bulgular ve Tartışma	99
4.3.2.2 Basınç Dengeleyici Özellikteki Damlatıcılı Laterallerin Uzunluklarına İlişkin Bulgular ve Tartışma	102
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	113
ÖZET	119
SUMMARY	125
LİTERATÜR LİSTESİ	130
TEŞEKKÜR	136
EK-1	137
EK-2	138
EK-3	139
EK-4	140

IV

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>ÇİZELGE NO</u>	<u>ÇİZELGE ADI</u>	<u>SAYFA NO</u>
1	Yapım farklılığı katsayılarına göre damlatıcıların sınıflandırılması	12
2	Denemeye alınan damlatıcılar ve genel özellikleri	30
3	Denemeye alınan PE (polietilen) boruların yapım özellikleri ve bu borular ile oluşturulan laterallerde yer alan damlatıcılar	31
4	A damlatıcısının 5 ve 10 (mSS) basınçlarında (h), ortalama damlatıcı debisi ($\bar{q}$) ve varyasyon katsayılarının hesaplanmasına ilişkin örnek program çıktısı	45
5	A damlatıcısına ait parametrelerin (k ve x), regresyon analizi ile belirlenmesine ilişkin örnek program çıktısı	47
6	Değişik su sıcaklıklarındaki kinematik viskozite (ν) değerleri	52
7	A damlatıcısının $\Delta L=0.60$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu lateralde ($\phi 16$), Darcy-Weisbach sürtünme faktörlerinin (f) ve Reynolds sayılarının (Re) hesaplanmasına ilişkin örnek program çıktısı	53

ÇİZELGE NOÇİZELGE ADISAYFA NO

8	A damlatıcısının $\Delta L=0.60$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu lateralde ($\phi 16$), $f-R_e$ ilişkisinin regresyon analizi ile belirlenmesine ilişkin örnek program çıktısı	55
9	Denemelerde kullanılan yerli ve yabancı yapım damlatıcılarının değişik çalışma basınçlarında (h) ölçülen debi değişim aralıkları ($q_{min} - q_{max}$), ortalama debi değerleri ($\bar{q}$) ve debi değişimlerine ilişkin varyasyon katsayısı (VK) değerleri	65
10	Denemeye alınan damlatıcıların basınç-debi ilişkisini ($q=k h^x$) veren damlatıcı parametreleri (k,x), bu ilişkinin korelasyon katsayısı (r) ve yapım farklılığı katsayısı (V_m) değerleri	68
11	I nolu laterallerde ($\phi 16$), damlatıcı yerleştirilmemiş durumda ve üzerine geçik A ve D damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen $f-R_e$ ilişkileri, ilişkilerin korelasyon katsayıları (r)	72
12	II nolu laterallerde ($\phi 15$), damlatıcı yerleştirilmemiş durumda ve üzerine geçik E ve F damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen $f-R_e$ ilişkileri, ilişkilerin korelasyon katsayıları (r)	74

ÇİZELGE NOÇİZELGE ADISAYFA NO

- 13 III nolu laterallerde (ø20), boylamasına geçik B damlatıcısının değişik damlatıcı aralıkları ve IV nolu lateralde (ø16) boylamasına geçik C damlatıcısının bir tek damlatıcı aralığında belirlenen $f-R_e$ ilişkileri, ilişkilerin korelasyon katsayıları (r) 76
- 14 I nolu laterallerde (ø16), damlatıcı yerleştirilmemiş düz durumda ve üzerine geçik A ve D damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen sürtünme kayıp (h_f) ve Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri 81
- 15 II nolu laterallerde (ø15), damlatıcı yerleştirilmemiş düz durumda ve üzerine geçik E ve F damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen sürtünme kayıp (h_f) ve Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri 82
- 16 III nolu laterallerde (ø20), boylamasına geçik B damlatıcısının değişik damlatıcı aralıkları ve IV nolu lateralde (ø16) boylamasına geçik C damlatıcısının bir tek damlatıcı aralığında belirlenen sürtünme kayıp (h_f) ve Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri 83

VII

ÇİZELGE NOÇİZELGE ADISAYFA NO

- 17 I nolu laterale (ø16) yerleştirilen "üzerine geçik" basınç dengeleyicisiz A damlatıcısının, $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yerleşik bulunduğu lateralin "% 2 aşağı eğimli" durumu için elde edilen program çıktısı 92
- 18 I nolu laterale (ø16) yerleştirilen üzerine geçik "basınç dengeleyicili" D damlatıcısının, $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yerleşik bulunduğu lateralin "eğimsiz" durumu için elde edilen program çıktısı 93
- 19 III nolu lateralde (ø20) yer alan "boylamasına geçik" basınç dengeleyicisiz B damlatıcısının, $\Delta L=0.90$ damlatıcı aralığında yer aldığı lateralin "% 2 yukarı eğimli" durumu için elde edilen program çıktısı 94
- 20 Farklı tip damlatıcıların, $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yer aldığı laterallerin eğimsiz koşulu için elde edilen Christiansen azaltma faktörü (F) değerleri (C damlatıcısı : $\Delta L=0.30$ m) 98
- 21 Yerli yapım üzerine geçik basınç dengeleyicisiz A damlatıcısının, değişik aralıklarla yerleştirildiği I nolu laterallerde (ø16), farklı lateral giriş basınçları için $C_u \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m) 104

ÇİZELGE NOÇİZELGE ADISAYFA NO

22	Yerli yapım boylamasına geçik basınç dengeleyicisiz B damlatıcısının, değişik aralıklarla yer aldığı III nolu laterallerde ($\phi 20$), farklı lateral giriş basınçları için $C_u \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m)	105
23	Yabancı yapım boylamasına geçik basınç dengeleyicisiz C damlatıcısının, $\Delta L=0.30$ m damlatıcı aralığında yer aldığı IV nolu lateralde ($\phi 16$), farklı lateral giriş basınçları için $C_u \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m)	106
24	Yabancı yapım üzerine geçik basınç dengeleyicili D damlatıcısının, değişik aralıklarla yerleştirildiği I nolu laterallerde ($\phi 16$), farklı lateral giriş basınçları için $h_1 \geq 5$ mSS veya $C_u \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m)	107
25	Yabancı yapım üzerine geçik basınç dengeleyicili E_1 damlatıcısının, değişik aralıklarla yerleştirildiği II nolu laterallerde ($\phi 15$), farklı lateral giriş basınçları için $h_1 \geq 5$ mSS veya $C_u \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m)	108

ÇİZELGE NOÇİZELGE ADISAYFA NO

- 26 Yabancı yapım üzerine geçik basınç dengeleyicili E_2 damlatıcısının, değişik aralıklarla yerleştirildiği II nolu laterallerde ($\phi 15$), farklı lateral giriş basınçları için $h_1 \geq 5$ mSS veya $Cu \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m) 109
- 27 Yerli yapım üzerine geçik basınç dengeleyicili F_1 damlatıcısının, değişik aralıklarla yerleştirildiği II nolu laterallerde ($\phi 15$), farklı lateral giriş basınçları için $h_1 \geq 5$ mSS veya $Cu \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m) 110
- 28 Yerli yapım üzerine geçik basınç dengeleyicili F_2 damlatıcısının, değişik aralıklarla yerleştirildiği II nolu laterallerde ($\phi 15$), farklı lateral giriş basınçları için $h_1 \geq 5$ mSS veya $Cu \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m) 111
- 29 Damlatıcıların, denemelerde elde edilen sonuçlara ve deneme anında yapılan gözlemlere dayanan bazı özellikleri 114

ŞEKİL LİSTESİ

ŞEKİL NO	ŞEKİL ADI	SAYFA NO
1	Damla sulama sisteminin genel görünüşü	3
2	Çeşitli akış rejimine (x) sahip damlatıcı- ların basınç-debi değişimi arasındaki ilişki	10
3	A Damlatıcısı : Spiral uzun akış yollu, lateral üzerine geçik damlatıcı (yerli yapım)	31
4	B Damlatıcısı : Spiral uzun akış yollu, laterale boylamasına geçik damlatıcı (yerli yapım)	32
5	C Damlatıcısı : Zig-Zag uzun akış yollu, laterale boylamasına geçik damlatıcı (yabancı yapım)	33
6	D Damlatıcısı : Kısa akış yollu basınç dengeleyicili (dikey membranlı), lateral üzerine geçik damlatıcı (yabancı yapım)	34
7	E ₁ -E ₂ Damlatıcıları: Kısa akış yollu basınç dengeleyicili (yatay membranlı), lateral üzerine geçik damlatıcı (yabancı yapım)	35
8	F ₁ -F ₂ Damlatıcıları: Kısa akış yollu basınç dengeleyicili (yatay membranlı), lateral üzerine geçik damlatıcı (yerli yapım)	36
9	Denemelerde su temin eden pompanın çalıştırılmasında kullanılan tahrik düzeni	39
10	Pompa ve su iletim düzeninin genel görünüşü	40
11	Denemelerde kullanılan filtrenin genel görünüşü	41

<u>ŞEKİL NO</u>	<u>ŞEKİL ADI</u>	<u>SAYFA NO</u>
12	Damlatıcı basınç-debi ilişkilerinin belirlenmesinde kullanılan deneme düzeni	43
13	Laterallerde sürtünme kayıplarının belirlenmesinde kullanılan deneme düzeni	49
14	Damla sulama laterallerinde oluşan basınç ve debi dağılımı	58
15	Uzun akış yollu, basınç dengeleyicisiz A, B ve C damlatıcılarının basınç-debi ilişkileri	66
16	Kısa akış yollu, basınç dengeleyicili D, E ₁ -E ₂ ve F ₁ -F ₂ damlatıcılarının basınç-debi ilişkileri	67
17	Denemelerde kullanılan damlatıcıların, tiplerine göre yapım farklılığı katsayıları (V_m)	69
18	I nolu laterallerde (ø16), damlatıcı yerleştirilmemiş (düz) durumda ve üzerine geçik A ve D damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen Darcy-Weisbach sürtünme faktörü-Reynolds sayısı ilişkileri	73
19	II nolu laterallerde (ø15), damlatıcı yerleştirilmemiş (düz) durumda ve üzerine geçik E ve F damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen Darcy-Weisbach sürtünme faktörü-Reynolds sayısı ilişkileri	75

ŞEKİL NO	ŞEKİL ADI	SAYFA NO
20	III nolu laterallerde (ø20), boylamasına geçik B damlatıcısının değişik damlatıcı aralıklarında ve IV nolu lateralde (ø16), boylamasına geçik C damlatıcısının bir tek damlatıcı aralığında belirlenen Darcy-Weisbach sürtünme faktörü-Reynolds sayısı ilişkileri	77
21	I nolu laterallerde (ø16), üzerine geçik A ve D damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen Hazen-Williams pürüzlülük katsayısının (C) ortalama akış hızına (V) göre değişimi	86
22	II nolu laterallerde (ø15), üzerine geçik E ve F damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen Hazen-Williams pürüzlülük katsayısının (C) ortalama akış hızına (V) göre değişimi	87
23	III nolu laterallerde (ø20), boylamasına geçik B damlatıcısının değişik damlatıcı aralıklarında ve IV nolu lateralde (ø16), boylamasına geçik C damlatıcısının bir tek damlatıcı aralığında belirlenen Hazen-Williams pürüzlülük katsayısının (C) ortalama akış hızına (V) göre değişimi	88
24	Basınç dengeleyicisiz A damlatıcısının $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu lateralin değişik eğim koşulları için q değişim ile Christiansen eşdağılım katsayısı (Cu) arasındaki ilişki	100

ABSTRAKT

Bu araştırma, Türkiye'de yaygın olarak kullanılan, yerli ve yabancı yapım damlatıcıların özelliklerini ve bu damlatıcılardan yeknesak su dağılımını sağlayacak optimum lateral uzunluklarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada yerli ve yabancı yapım sekiz ayrı damlatıcı ele alınmış, bu damlatıcıların basınç-debi ilişkileri ve yapım farklılığı özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca damlatıcıların yer aldığı laterallerde meydana gelen sürtünme kayıplarında laboratuvar denemeleri ile saptanarak sürtünme kayıp eşitlikleri geliştirilmiştir. Sonuç olarak, her bir damlatıcının yer aldığı laterallerin optimum uzunlukları ortaya konulmuştur.

ABSTRACT

This research has been carried out: a) to determine the properties of the emitters, manufactured in Turkey and in foreign countries, that are extensively used in Turkey; b) to determine the optimum lateral lengths that will provide uniform water distribution of these emitters. In this study, eight emitters of different types, consisting of foreign and home-made production were analysed. Then manufacturer variation properties and pressure-discharge relationships of these emitters were determined. Furthermore, friction losses existing in the laterals having emitters were found out through laboratory studies and friction losses equations were developed. In conclusion, optimum lengths of laterals on which each emitter is connected, were achieved.

1. GİRİŞ

Çağımızda hızlı nüfus artışı ve tarım alanlarının daha fazla genişleme olanağının kalmaması başta su, toprak ve enerji olmak üzere tüm doğal kaynakların ekonomik biçimde kullanımı konusunu gündeme getirmiştir. Öte yandan dünyadaki hızlı nüfus artışına paralel olarak büyüyen beslenme sorununun çözümünde tarımsal üretimin arttırılması önemli rol oynamaktadır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimdeki artışın sağlanması diğer girdilerin yanında "sulama" uygulamalarının bilinçli olarak yapılmasına bağlıdır.

Günümüzde sulamaya bitkisel üretim için eksik olan suyun tamamlanması yanında, kök bölgesinde kullanılabilir suyun en uygun düzeyde tutulması açısından da bakılmaktadır (29).

Sulama uygulamalarında enerji gereksinimi ile ilk yatırım ve işletme giderlerinin azaltılmasının yanı sıra suyun rasyonel kullanımının sağlanması da büyük önem taşımaktadır. Bunun içinde birim alandan elde edilen geliri arttıracak yeni tekniklerin geliştirilmesi ön planda tutulmaktadır. Mikro sulama adı altında toplanan bu yeni teknikler damla sulama, mikro jet ve mikro-sprinkler gibi küçük yağmurlayıcıların kullanıldığı sistemlerdir. Bu sistemlerin temel özellikleri; sulama suyunu dağıtan boru sisteminin daha küçük kesitlere sahip olması, düşük debili çıkışların bulunması, suyun yalnız belirli bir bölgeye verilmesi, normal sulama yöntemlerine kıyasla çok daha iyi bir su dağıtımının mümkün olması ve aynı zamanda enerjiden en etkin şekilde yararlanılması olarak özetlenebilir (42).

Son yıllarda hızla yaygınlaşmakta olan damla sulama yönteminin ilk uygulamaları 1860'lı yıllarda Almanya'da başlamış olmasına rağmen, yöntemin gerçek anlamda uygulanması ve yaygınlaşması ancak 1960'lı yıllardan sonra, plastik malzemelerin ekonomik olarak üretilmesi ve işleme teknolojisindeki gelişmeler sayesinde olmuştur (13,23,36).

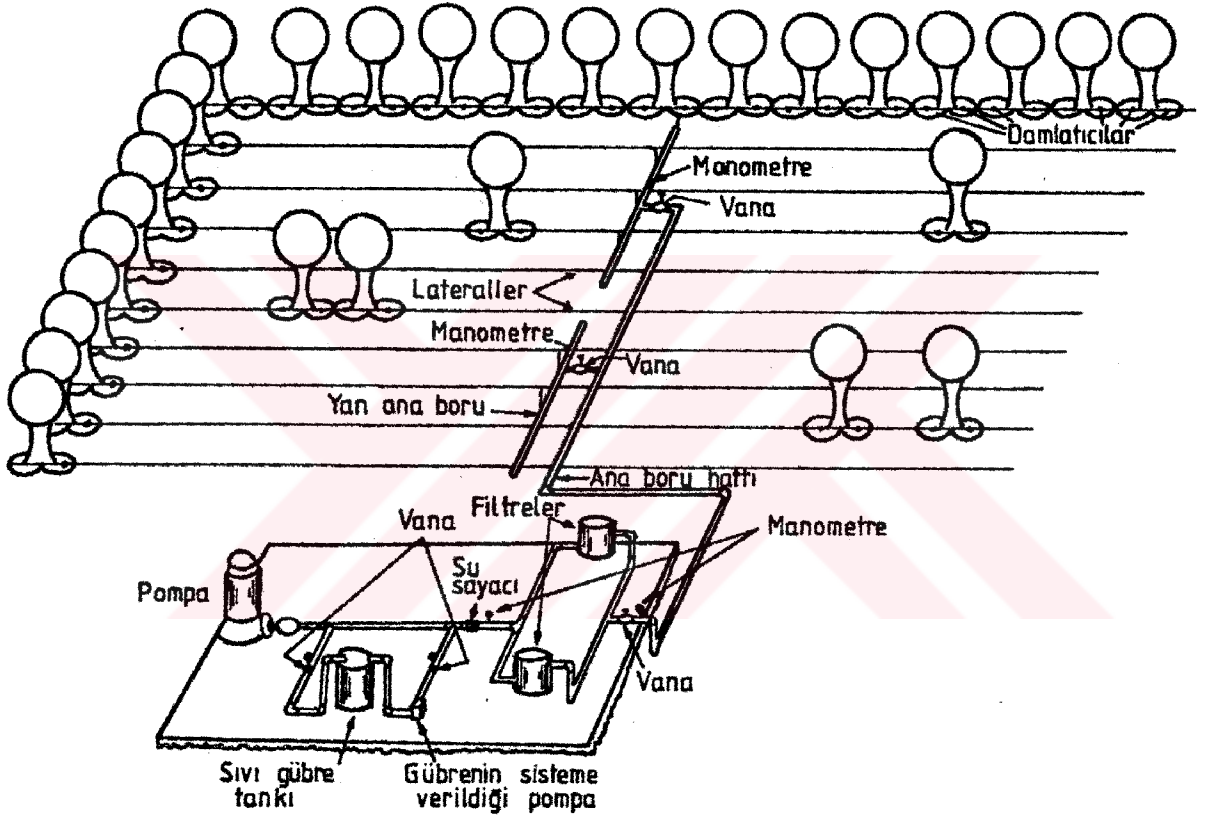
Bugün dünyada başta ABD ve İsrail olmak üzere yaklaşık 417 000 ha alan damla sulama yöntemi ile sulanmaktadır. Genel olarak yöntemin, seraların ve meyve bahçelerinin sulanmasında uygulandığı görülmektedir (2,12). Son yıllarda ülkemizde de özellikle Ege ve Akdeniz bölgesindeki seraların, bağların ve meyve bahçelerinin sulanmasında damla sulama yönteminin uygulanması hızlı bir şekilde yaygınlaşmaktadır.

Damla sulama yöntemi genel olarak; bitki gelişimi için gerekli olan suyun ana boru, yan ana boru ve laterallerden oluşan bir iletim sistemi vasıtasıyla taşınarak, lateral üzerine veya içine yerleştirilen özel yapıya sahip "damlatıcı"larla bitki kök bölgesi çevresine, kısa zaman aralıklarıyla düşük basınç altında verilmesi şeklinde tanımlanabilir (12,29,38).

Sözü edilen bu yöntem ile, toprağın suyun depolandığı alan olarak kullanılması düşüncesi terk edilmiş, günlük olarak buharlaşan su miktarının tekrar toprağa verilmesi düşüncesi geliştirilmiştir. Bu düşünceden hareketle damla sulama sistemi, topraktan buharlaşma yoluyla kaybolan suyu, toprağın infiltrasyon hızına yakın bir değerde tekrar geri vermek suretiyle, bitki gelişimi yönünden gerekli olan toprak suyunun istenilen seviyelerde tutulabilmesini, bitkide aşırı bir su isteği, dolayısıyla aşırı gerilim durumu oluşmamasını sağlar. Aynı zamanda bu sulama yöntemiyle, su ile birlikte bitki gelişimi için

gerekli olan bitki besin maddelerinin de bitkiye verilmesi sağlanabilmektedir.

Damla sulama yönteminin kendinden beklenen bütün işlevleri gerçekleştirebilmesi bir sistemle olmaktadır. Genel olarak bir damla sulama sistemi; su kaynağı, sistem denetim ünitesi, su iletim ünitesi ve damlatıcılardan oluşur (Şekil 1).



Şekil 1. Damla sulama sisteminin genel görünüşü

Sistem denetim ünitesini, sulama suyunun kalite ve miktar bakımından denetimli olarak iletilmesine olanak sağlayan pompa, su sayacı, filtreler, gübre uygulama ünitesi ile çeşitli vana ve bağlantı parçaları oluşturmaktadır. Ana boru, yan ana boru ve

üzerinde damlatıcıların yer aldıkları lateraller ise su iletim ünitesini oluşturmaktadır (1,7,12,23). Sistemin en önemli parçasını oluşturan damlatıcılar ise kendi aralarında "hat kaynaklı" ve "nokta kaynaklı" olmak üzere başlıca iki gruba ayrılırlar (12,23,37).

Damla sulama sistemi uygun bir şekilde dizayn edildiği zaman, sulama yeknesak bir şekilde olmakta ve diğer sulama yöntemlerine göre önemli avantajlar sağlamaktadır (33). İdeal bir damla sulama ise, sulama zamanında bütün damlatıcılardan eşit miktarda su çıkışının sağlanması ile oluşur. Böylece bir sulama periyodunda her bitkiye eşit miktarda suyun ulaşması sağlanacaktır.

Geleneksel sulama yöntemlerine göre, damla sulama yönteminin birçok üstünlükleri olmasına rağmen, yine de yeknesak bir su dağılımını sağladığı söylenemez.

Yeknesak su dağılımının sağlanamamasına neden olan faktörler değişik araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur. Genel olarak bu faktörleri, damlatıcı faktörleri ve hidrolik sistem faktörleri oluşturmaktadır. Damlatıcı faktörlerinin kapsamı; basınca ve su sıcaklığına karşılık damlatıcı debisinin değişimi, damlatıcı yapısının tek düze olmaması, damlatıcı konstrüksiyonu ve montajdaki değişim, damlatıcıların kısmen veya tamamen tıkanması ile kurulan tesiste yer alan damlatıcı sayısı olarak belirtilmektedir. Bir lateral hattaki sürtünme kayıplarının oluşturduğu değişimler, basınç regülatörleri, ana hattaki akış, laterallerin eğimi, lateralden laterale geçişteki basınç değişimleri ve su sıcaklığındaki değişimlerin sebep olduğu faktörler ise hidrolik sistem faktörlerinin kapsamına girmektedir (9,19,33,34).

Damla sulamadan beklenen yararlar, olanaklar ölçüsünde yeknesak su dağılımını sağlayan sistemin, karşılaşılan koşullara uygun biçimde tasarlanıp, işletilmesine bağlıdır. Bu da öncelikle lateral ve damlatıcı özelliklerinin dikkate alınarak, eşit bir su dağılımını sağlayacak laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesi ile gerçekleştirilmektedir (29).

Damlatıcılardan yeknesak su dağılımını elde etmek için damla sulama laterallerinde ve yan ana borularda oluşan sürtünme kayıpları doğru olarak belirlenmelidir. Çünkü damlatıcıların lateral içinde kalan kısımları ve lateral iç pürüzlülüğü sürtünme kayıplarını arttırarak damlatıcı debilerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle sözü edilen kayıpların doğru olarak belirlenmesi gereklidir (41). Ayrıca lateral boyunca oluşan sürtünme kayıplarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan Darcy-Weisbach ve Hazen-Williams gibi eşitliklerle aynı koşullar için elde edilen sonuçlar arasında önemli derecede farklılıklar ortaya çıkmaktadır (29,38). Bütün bu nedenlerden dolayı Wu ve Gitlin (43) damla sulama sistemlerinde yer alan laterallerin sürtünme kayıplarının laboratuvar çalışmaları ile saptanıp, sürtünme kayıp eşitliklerinin belirlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Ayrıca Dasberg ve Bresler (14)'de damlatıcıların basınç-debi ilişkilerinin laboratuvar koşullarında yapılacak çalışmalarla belirlenmesini ve buna bağlı olarak damlatıcı özelliklerinin ortaya konması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Damla sulama sistemlerinde istenilen düzeyde yeknesak su dağılımı elde edilmesi açısından lateraller, farklı yöntemlere göre dizayn edilirler (20,24,44). Fakat laterallerin amaca uygun bir şekilde tasarlanmasında en çok kullanılan yöntem, damlatıcı

özelliklerine göre seçilen bir lateral çapı için, lateral eğimi ve akış koşulları da dikkate alınarak, damlatıcı debilerindeki değişim izin verilen sınırı aşmayacak biçimde lateral uzunluğunu belirlemektir (21,24,25). Bu sistemlerde, genellikle lateral olarak 12-21 mm iç çaplarında üretilen polietilen (PE) borular kullanılmaktadır. Bu nedenle lateral hattın dizaynı, mevcut olan boru çapı için, lateral boyunca damlatıcı debilerinin yeknesaklığını kabul edilebilir sınırlar içerisinde devam ettirecek lateral uzunluklarını hesaplamak suretiyle yapılmaktadır (40).

Damla sulama laterallerinin dizaynında ana kriteri, kabul edilebilir damlatıcı debi değişimi veya Christiansen eşdağılım katsayısı elde etmek oluşturmaktadır. Bir dizaynın kabul edilip-edilmemesi veya tekrar gözden geçirilmesinde temel olarak damlatıcı debi değişimi kullanılmaktadır. Lateral üzerindeki debi değişiminin belirlenmesinde ise, sınırlı sayıda debinin dikkate alındığı bazı pratik yöntemler kullanılmakla beraber, değişik lateral eğim koşullarında en doğru sonuç, tüm damlatıcı debilerinin dikkate alınmasıyla elde edilebilmektedir (40).

Birçok özellikleri nedeniyle ülkemizde de bu yönetime olan ilginin artması üzerine çeşitli firmalar, damla sulama sistemini oluşturan parçalar ile değişik tip ve yapıdaki damlatıcıların gerek üretimine gerekse ithaline başlamışlardır. Bu konuda dünyada birçok araştırma yapılmasına rağmen, imal edilen veya ithal yoluyla ülkemize giren sistem unsurlarının teknik özellikleri konusunda çok az araştırma bulunmaktadır.

Ancak yöntemin diğer sulama yöntemleri ile karşılaştırılması ve tarımsal yönlerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmaların, çeşitli bitkiler üzerinde yapıldığı gözlenmektedir.

Bu araştırma, Türkiye'de yaygın olarak kullanılan yerli ve yabancı yapım damlatıcıların özelliklerini ve bu damlatıcılardan yeknesak su dağılımını sağlayacak optimum lateral uzunluklarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu maksatla, damlatıcı karakteristikleri ve damlatıcıların yer aldığı laterallerde meydana gelen sürtünme kayıpları saptanarak, sürtünme kayıp eşitlikleri belirlenmiştir. Damlatıcı karakteristikleri ve sürtünme kayıplarına bağlı olarak, değişik damlatıcıların yer aldığı çeşitli laterallerin optimum uzunlukları ortaya konulmuştur.

2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Damla sulama sisteminin en önemli elemanı olan damlatıcıların özellikleri, laterallerde oluşan sürtünme kayıpları ve lateral boyunca basınç dağılımı ile laterallerin projelendirilmesine ilişkin çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Damlatıcılar, iletim sisteminde belirli bir basınç altında bulunan suyun, basıncını kırmak suretiyle atmosfer basıncına eşit bir basınçla damlalar halinde veya sızıntı şeklinde sistem dışına çıkışını yani toprak yüzeyine akışını sağlayan araçlar olarak tanımlanmıştır (1,5). Damlatıcılarda aranılan en önemli özelliklerin; basınç farklılıklarından en az etkilenmek suretiyle düşük fakat yeknesak ve sabit bir debide su çıkışı sağlamaları, tıkanma problemlerini azaltmak için yeterli büyüklükte akış kesit alanına sahip olmaları, üretim, bakım ve lateral üzerine yerleştirilme işlemlerinin kolay yapılabilmesi ile düşük maliyetli olmaları gibi hususlar olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir (6,17,26,27). Bütün bu istenen özellikleri yerine getirebilmeleri için değişik tip ve yapıda birçok damlatıcı üretilmektedir (23).

Damlatıcılar farklı özelliklerine göre çeşitli gruplar altında sınıflandırılabilirler. Bunlar;

- suyun lateral üzerinden çıkış durumuna göre;
damlatıcının hat kaynaklı ve nokta kaynaklı oluşu,
- su çıkış ağzının durumu, sabit delikli oluşu, el ile ayarlanabilir ve su çıkış ağzı kendi kendine ayarlanabilir özelliğe sahip oluşu şeklinde ifade edilebilir.

- ayrıca akış rejiminin durumuna bağlı olarak, laminar, kısmi türbülans ve tam türbülans akış rejimli olması durumu,
- basıncın kırılmasına göre; uzun akış yollu, meme yada orifis kesitli olması ve ayrıca gözenekli borular,
- damlatıcının laterale bağlantı biçimine göre; boylamasına geçik, üzerine geçik ve yükselti ile üzerine geçik olarak bağlanma durumu,
- suyun dağıtımına göre; tek veya çok çıkışlı orifis ve uzun akış yollu damlatıcılar ile lateral boyunca dağıtımın sürekli olduğu gözenekli borular,
- akış kesit alanına göre; tıkanmaya karşı çok hassas, hassas ve az hassas olması,
- temizleme özelliklerine göre; kendi kendini temizleyebilme ve el ile temizlenebilme durumu,
- basınç dengeleme durumuna göre; tam basınç dengeleyicili, kısmi basınç dengeleyicili ve basınç dengeleyicisiz olması,
- yapım materyaline göre de; poli-vinil-klorid (PVC), polietilen (PE) ve akrilonitril-butadien-sitrin (ABS) şeklinde sınıflandırılmaktadır (17,18,26,37).

Howell ve ark. (23), damlatıcı debilerinin çalışma basıncının bir fonksiyonu olduğunu ve damlatıcı özelliklerinin (damlatıcı parametreleri, yapım farklılığı gibi) deneysel çalışmalarla en iyi şekilde ortaya konulabileceğini belirtmişlerdir.

Genel olarak damlatıcıların giriş basıncı ile damlatıcı debisi arasındaki ilişki;

$$q = k h^x \quad [1]$$

eşitliği ile belirlenmektedir (7,21,28,29). Eşitlikte;

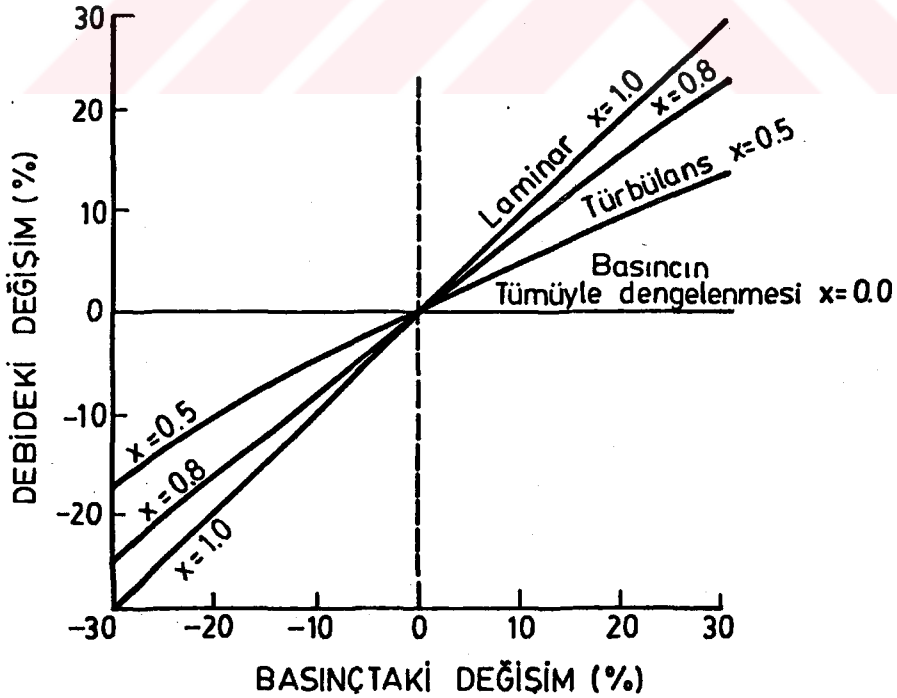
q : damlatıcı debisi (l/h)

k : damlatıcı boyutlarını karakterize eden katsayı

h : damlatıcı basıncı (mSS)

x : damlatıcının akış rejimini karakterize eden bir katsayı (damlatıcı akış rejimi katsayısı)

Eşitlikteki k katsayısının değeri, damlatıcı içindeki su geçiş yollarının fiziksel boyutlarına bağlıdır. Su dağılım yeknesaklığını etkilemesi nedeniyle sistem dizaynında en büyük önemi olan ve damlatıcıların akış rejimini karakterize eden x 'in değeridir (Şekil 2).



Şekil 2. Çeşitli akış rejimine (x) sahip damlatıcıların basınç-debi değişimi arasındaki ilişki.

Laminar akış rejimli damlatıcılarda $x = 1.0$, kısmi türbülans ve kararsız akış rejimli damlatıcılarda $0.5 < x < 1.0$; tam türbülans akış rejimli damlatıcılarda $x = 0.5$, kısmi basınç dengeleyicili damlatıcılarda $0.0 < x < 0.5$ ve tam (tümüyle) basınç dengeleyicili damlatıcılarda $x = 0.0$ dır (7,40).

Howell ve Hiler (21), üç farklı damlatıcı tipi ile yaptıkları çalışmada, her bir damlatıcı tipinin akış özelliklerini göstermişler ve akış özelliklerinin (x) farklı olduğunu belirtmişlerdir.

Solomon (34,35) damlatıcı yapımı esnasında kullanılan ekipmanlar ile malzemenin, çeşitli çalışma faktörleri (kalıpların özellikleri, sıcaklık, yapım basıncı ve hızı, malzemenin soğuma hızı vb. gibi faktörler) tarafından etkilenmesi nedeniyle damlatıcıların, hacim, ağırlık, uzunluk ve yüzey şekli olarak değişim göstereceğini ileri sürmüştür. Bu nedenlerle aynı teknoloji ile üretilen iki damlatıcının sabit basınç ve sıcaklıkta debilerinin farklı olacağını bildirmiştir. Araştırmacı, damlatıcı yapım farklılığının belirlenmesinde varyasyon katsayısı kavramını kullanmış ve aşağıdaki formülle damlatıcı yapım farklılığı katsayısını hesaplamıştır.

$$V = s/m \quad [21]$$

V : yapım farklılığı katsayısı

s : bir çalışma basıncında, damlatıcılardan ölçülen debilerin standart sapması

m : damlatıcılardan ölçülen debilerin ortalaması

Solomon yaptığı çalışmada yapım farklılığı katsayısının 0.02-0.10 değerleri arasında değiştiğini fakat bazen bu sınırları aştığını belirtmiş ve yapım farklılığı katsayısına (V) göre damlatıcıları sınıflandırmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Yapım farklılığı katsayılarına göre damlatıcıların sınıflandırılması

Yapım farklılığı katsayısı (V)	Damlatıcıların sınıflandırılması
0.03 veya daha az	mükemmel
0.05-0.07	orta
0.08-0.10	sınırdı
0.11-0.14	yetersiz
0.15 veya daha fazla	çok kötü

Pitts ve ark. (33) ondört farklı tip damlatıcı ile yaptıkları çalışmada, bu damlatıcıların basınç-debi ilişkilerini ve yapım farklılığı katsayılarını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, damlatıcıların bütün çalışma basınçlarındaki varyasyon katsayılarının ortalamasını yapım farklılığı katsayısı (V_m) olarak almışlardır. Buldukları yapım farklılığı katsayılarını (V_m) Solomon'un yapım farklılığı katsayılarına (V) göre ortaya koyduğu sınıflandırma ile değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak bir tek damlatıcı hariç, diğer damlatıcıların korelasyon katsayılarının çok iyi olduğunu göstermişlerdir. Aynı damlatıcıda x değerinin negatif olduğunu, bununda küçük bir eğim ve sürekli olmayan akışın meydana getireceği ölçüm hatalarından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar damlatıcı sabitleri k ve x değerleri bilindiğinde, lateralde basınç değişimleri nedeniyle damlatıcı debilerinin değişimini ve lateraldeki akış oranlarını benzeşim yoluyla belirleyen bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir.

Mizyed ve Kruse (31) damlatıcı basınç-debi ilişkilerini ve yapım farklılıklarını belirlemek için laboratuvar çalışmaları yapmışlardır. Denemelerde 9 m uzunluğunda lateral kullanmışlar ve bunun da nedenini, ele alınan uzunluk boyunca oluşacak sürtünme kayıplarının çok düşük olması nedeniyle uygulanan basınçta % 1'den daha az değişim meydana geleceği şeklinde açıklamışlardır. Bu durumun, ölçümlerde sonuçları önemli derecede etkilemeyeceğini belirtmektedirler.

Sulama sistemlerinin projelenmesinde önemli yer tutan sürtünme kayıplarının belirlenmesi için çok sayıda araştırmacı çeşitli araştırmalar yapmışlardır.

Sulama sistemlerinin dizaynında, lateral boyunca oluşan sürtünme kayıplarını hesaplamak için çeşitli eşitlikler geliştirilmiş olmakla birlikte, yaygın olarak Darcy-Weisbach eşitliği;

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad [3]$$

ve Hazen-Williams ampirik eşitliği;

$$h_f = 6.784/C^{1.852} L V^{1.852}/D^{1.167} \quad [4]$$

kullanılmaktadır (4,39,41,43). Eşitliklerde ;

h_f : sürtünme kayıp yüksekliği (m)

L : boru uzunluğu (m)

D : boru iç çapı (m)

V : boru içindeki suyun ortalama hızı (m/s)

g : yerçekimi ivmesi (m/s²)

f : Darcy-Weisbach sürtünme faktörü

C : Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı

Wu ve Gitlin (43,44) damla sulama sistemlerindeki laterallerin hidrolik yönden pürüzsüz olduğu kabul edildiğinde, Darcy-Weisbach "f" sürtünme faktörünün, Reynolds sayısının (R_e) 3 000-100 000 sınır değerleri arasında geçerli olan;

$$f = 0.3164 R_e^{-0.25} \quad [5]$$

Blasius eşitliği ile hesaplanabileceğini belirtmişlerdir. Eşitlikteki Reynolds sayısı, akışkanın kinematik viskozitesine bağlı olarak değişmekle birlikte, 20°C su sıcaklığındaki $\nu = 1.01 \cdot 10^{-6}$ değeri için;

$$R_e = (V D) / \nu = (V D) / 1.01 \cdot 10^{-6} \quad [6]$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Eşitliklerde;

R_e = Reynolds sayısı

V = boru içindeki suyun ortalama hızı (m/s)

D = boru iç çapı (m)

ν = Kinematik viskozite (m^2/s)

Araştırmacılar, damla sulama laterallerinin önemli bir bölümünde akışın türbülanslı olmasına rağmen laterallerin son bölümlerinde akışın laminar olduğunu bildirmişlerdir. Laterallere damlatıcıların takılması halinde, damlatıcının tipine bağlı olarak lateral içinde kalan kısımlarının daha fazla sürtünmeye neden olması sonucu, sürtünme faktörünün belirlenmesinde Blasius eşitliği kullanımının bazı hatalara sebep olacağını ifade etmektedirler. Araştırmacılar bu hataları ortadan kaldıracı için farklı tip damlatıcılarla oluşturulan damla sulama laterallerinde, sürtünme faktörü (f) ile Reynolds sayıları (R_e) arasındaki ilişkilerin laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Howell ve Hiler (20), Darcy-Weisbach eşitliğinin türbülans akış rejiminden laminar akış rejimine kadar bütün akış koşulları için kullanılabileceği bildirmişler ve uygun lateral uzunluklarını belirlemek için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Programda Darcy-Weisbach eşitliğini kullanan araştırmacılar, lateral sonundaki basınçtan başlayarak her lateral bölümündeki basınç değişimlerini adımlama yoluyla hesaplamak suretiyle uygun lateral uzunluklarını belirlemişlerdir.

Damla sulama laterallerinde oluşan sürtünme kayıplarının belirlenmesinde kullanılan Hazen-Williams eşitliğindeki "C" pürüzlülük katsayısı için Keller ve Karmeli (27,28), plastik borularda yaygın olarak 150 değerinin alındığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar laterallerdeki sürtünme kayıplarının hesaplanmasında 150'den daha az pürüzlülük katsayısı değerleri için, belirledikleri ayarlama faktörleri ile eşitliğin çarpılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte araştırmacılar, damla sulama laterallerindeki sürtünme kayıplarının hesaplanmasında, damlatıcı bağlantıları sonucu oluştuğunu belirttikleri pürüzlülük nedeniyle $C = 120$ değerinin alınmasını tavsiye etmektedirler.

Howell ve Hiler (21), Hazen-Williams pürüzlülük katsayısını belirlemek amacıyla 30.48 m uzunluğunda, 14.7 ve 15.8 mm iç çapı olan iki farklı lateralde laboratuvar denemeleri yapmışlardır. Denemelerde lateralin başından ve sonundan 6.096 m bırakarak, ortada kalan 18.288 m'lik bölümünde civalı diferansiyel manometre yardımıyla değişik akış koşulları için sürtünme kayıplarını ölçmüşlerdir. Sonuç olarak, Hazen-Williams pürüzlülük katsayısını her iki lateral çapı için sırasıyla 129 ve 130 olarak bulmuşlar ve projelendirme için yapılacak

hesaplamalarda Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) için 130 değerinin alınmasının daha uygun olacağını bildirmişlerdir.

Watters ve Keller (41), düz borular için hazırlanmış olan Hazen-Williams sürtünme kayıp cetvellerinde C değerinin 150 alınmasının tavsiye edildiğini ancak, Hazen-Williams eşitliğinin genel olarak 100 000'den daha büyük Reynolds sayısı değerleri için geliştirildiğini belirtmişlerdir. Damla sulama sistemlerinde ise küçük çaplı borular ve lateraller kullanıldığını, bu nedenle Reynolds sayılarının, laminar akış rejimi bölgesinin üzerindeki değerlerden başlayarak yalnızca 20 000 ile 40 000 arasındaki değerlere kadar ulaşabileceğini ifade etmişlerdir. Araştırmacılar birçok damla sulama sisteminin hidrolik analizinde, laterallerdeki sürtünme kayıplarının laminar akış koşulları için önemsiz olduğunu ve hatta bu akış rejimi bölgesindeki hızların çok düşük olması, dolayısıyla düşük sürtünme kayıplarına sebep olması sonucu, genel olarak türbülans akış eşitliklerinin kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Reynolds sayılarının (R_e) 4 000-25 000 sınırları arasında kalan değerleri için yaptıkları çalışmada, Hazen-Williams pürüzlülük katsayılarının 130, 140, 150 değerleri ve değişik pürüzlülük koşulları için Darcy-Weisbach sürtünme faktörlerinin Reynolds sayıları ile olan ilişkilerini grafikler halinde vermişlerdir. Ayrıca damla sulama sistemlerinde kullanılan lateral çaplarına ve debilere uygun olarak Darcy-Weisbach eşitliğine dayanan basit eşitlikler geliştirmişlerdir.

Korukçu (29), 20 m uzunluğunda 14 mm iç çapa sahip PE düz boruda ve 1.50, 1.25, 1.00, 0.75, 0.50 m aralıklarda damlatıcı bulunan laterallerde meydana gelen sürtünme kayıplarını belirlemek amacıyla laboratuvar denemeleri yapmıştır. Araştırmacı, damlatıcı aralığına göre 4.50 ve 5.00 m

aralıklarda olmak üzere 4 noktadaki basınç yüksekliklerini yaylı manometre yardımıyla ölçmüş ve sürtünme kayıp eşitliklerini geliştirmiştir. Ayrıca üç farklı tip damlatıcıda basınç-debi ilişkilerini de belirlemiştir. Çalışmada, C katsayısının düz borularda 120 olduğunu, boru üzerine damlatıcı yerleştirilmesi halinde lateral iç pürüzlülüğünün artması nedeniyle C değerinin azaldığını ve her damlatıcı aralığı için C katsayılarının sırasıyla 115, 112, 105, 102 ve 97 değerlerini aldığını bildirmiştir. Araştırmacı, her bir C değerinin ortalama akış hızına göre önemli boyutlarda değiştiğini belirtmiş ve bir damla sulama lateralinde ortalama akış hızının lateral sonuna doğru azalması nedeniyle sürtünme kayıplarının hesaplanmasında sabit bir C pürüzlülük katsayısı olarak, Hazen-Williams eşitliğinin kullanımının sağlıklı olmayacağı sonucuna varmıştır. Bu nedenle sürtünme kayıp eşitliklerinin denemelerle geliştirilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Howell ve Barinas (22), damla sulama sistemlerinde akış yolu üzerinde bulunan bağlantıların oluşturduğu kayıpların önemsiz olarak tabir edildiğini fakat sistemlerde birçok bağlantı kullanıldığını, bu nedenle önemsiz olarak kabul edilen kayıpların önemli hale geldiğini belirtmişlerdir. Buradan hareketle düz boruda ve damlatıcıların lateral üzerinde bulunduğu oluşan sürtünme kayıplarını belirlemek amacıyla laboratuvar çalışmaları yapmışlardır. Çalışmada altı farklı üzerine geçik ve bir de boylamasına geçik tip damlatıcı ele almışlardır. Araştırmacılar, plastik borulardan oluşan sistemlerin dizaynında normal olarak suyun 1.5 m/s'lik hızı aşmadığını, bu nedenle Hazen-Williams eşitliğinde $C = 150$ kabul ederek denemelerde elde ettikleri sonuçlara göre, her bir damlatıcı tipi için, debi ile damlatıcı aralığındaki lateral uzunluk eşitliği

arasındaki ilişkileri belirlemişlerdir. Buradan sürtünme ve damlatıcı bağlantısı sonucu oluşan kayıpların ayrı ayrı hesaplandığı eşitlikler geliştirmişlerdir.

Braud ve Soom (11), sürtünme kayıplarının hesaplanmasında pürüzlülük katsayısı (C) değerinin önemli bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar denemeye aldıkları iç çapı 9.5, 14.7 ve 20.3 mm olan üç farklı lateral için Blasius eşitliği ve Hazen-Williams eşitliği ile (C için 80, 100, 130 ve 150 değerlerini kullanarak), her bir çap değeri için lateral uzunluklarını hesaplamışlardır. Hesaplamaları, C haricindeki bütün değerler sabit kalmak suretiyle yapmışlar ve sonuçları grafikler halinde göstermişlerdir. Araştırmacılar, farklı C değerleri ve Blasius eşitliği için lateral uzunluklarını gösterdikleri grafikler üzerinde, iki eşitliği mukayese etmişler ve C = 130 olduğunda her iki eşitlik arasında en iyi uyumun ortaya çıktığını ifade etmişlerdir.

Zoldoske ve Norum (48), damla sulama laterallerinde sürtünme kayıplarının belirlenmesinde klasik hidrolik formüllerin kullanıldığını fakat bunların kullanımı ile yapılacak değerlendirmelerden doğru sonuç alınamayacağını bildirmişlerdir. Bu nedenle, standart testlerin yapılarak deneysel sonuçların elde edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Örnek olarak genellikle C'nin 150 alındığını, fakat 15.75 mm iç çapa sahip düz laterallerde yaptıkları çalışmada C'nin hıza bağlı olarak 133 ile 145 arasında değerler aldığını göstermişlerdir. Aynı şekilde, Blasius eşitliğinin türbülanslı akış rejimi bölgesini en iyi şekilde karakterize ettiğini fakat yüzey pürüzlülüğünü dikkate almaması nedeniyle uygun dizayn koşullarının oluşturulamayacağını belirtmişlerdir. Bütün bu nedenler sonucu, damlatıcıların laterale bağlantısı halinde, damlatıcıların

geometrisine ve damlatıcı aralığına bağlı olarak meydana getirecekleri sürtünme kayıplarının deneysel çalışmalarla belirlenmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

Tüzel (38), 16 ve 20 mm dış çaplı yerli yapım düz PE borularda ve 1.50, 1.00, 0.75, 0.50 ve 0.25 m aralıklarda spiral uzun akış yollu üzerine geçik tip damlatıcı yerleştirilen laterallerde meydana gelen sürtünme kayıp yüksekliklerini ölçmüştür. Sürtünme kayıp yüksekliklerinin belirlenmesinde 30 m uzunluğundaki lateralın ortasında kalan 18 m'lik bölümünde, değişik akış koşulları için diferansiyel civalı manometre yardımıyla ölçüm yapmış ve her damlatıcı aralığı için sürtünme kayıp eşitliklerini geliştirmiştir. Aynı zamanda yerli yapım olan spiral uzun akış yollu üzerine geçik tip damlatıcı içinde basınç-debi ilişkisini ve çalışma basınçlarına göre yapım farklılığı katsayılarını ortaya koymuştur. Sürtünme kayıp eşitliklerinden faydalanmak suretiyle Hazen-Williams pürüzlülük katsayılarını (C), 16 mm dış çaplı laterallerde, 1.50-0.25 m damlatıcı aralığında 128-98 değerleri arasında belirlemiştir. C değerlerinin ortalama akış hızına bağlı değişimi nedeniyle sürtünme kayıplarının Hazen-Williams eşitliği ile belirlenmesinin hataya neden olabileceğini ifade etmiştir.

Anyoji (3), Darcy-Weisbach sürtünme kayıp eşitliğinin basit olduğunu fakat bilinen bir boru çapı ve akış rejimi için, sürtünme faktörünün belirlenmesinde güçlüklerle karşılaşılacağını, bu nedenle laterallerdeki sürtünme kayıplarının hesaplanması için genel olarak amprik eşitliklerin kullanıldığını belirtmiştir. Bütün amprik eşitlikler içinde damla sulama sistemleri için yaygın olarak Hazen-Williams eşitliğinin kullanıldığını ve bu eşitliğin Darcy-Weisbach eşitliğinden daha komplike olduğu ifade etmiştir. Ayrıca bilinen bir boru çapı için türbülanslı akış

rejiminde pürüzlülük katsayısının sabit olarak kabul edilmesinin eşitliğin kullanımı açısından önemli bir avantajı olduğunu belirtmiştir. Bununla birlikte Howell ve ark. (23), Hazen-Williams eşitliğinin yaygın olarak kullanılmasına rağmen viskozite için doğru olmayacağını bildirmişlerdir.

Watters ve Keller (41), Paraqueima'ya dayanarak, küçük çaplı bükülebilir borular kullanıldığında, bunların PVC'den farklı pürüzlülük davranışı göstermesi nedeniyle beklenmeyen sonuçların ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Beklenmeyen bu sonuçların nedenlerini de, lateralın su geçiş bölgesinin hafifçe oval olması ve akış kesit alanının lateral boyunca eksen çizgisinden sapma göstermesi ile açıklamışlardır. Ayrıca araştırmacılara göre, imalat esnasında lateral iç yüzeyinde meydana gelen küçük hacimli çeper boşlukları nedeniyle de eksen çizgisinden sapma görülmektedir. Bütün bu faktörlerden dolayı bükülebilir lateraller daha pürüzlü bir davranış göstermekte ve bunun bir sonucu olarakta $f-Re$ ilişkilerinin, birbirlerine göre paralel olmamasına ve değişik eğimler izlemesine neden olmaktadır. Bütün bu hataları ortadan kaldırabilmek için araştırmacılar, farklı tip damlatıcıların oluşturduğu damla sulama lateralleri için sürtünme faktörü ile Reynolds sayıları arasındaki ilişkilerin laboratuvar denemeleri ile belirlenerek, Darcy-Weisbach eşitliğinin kullanılmasını önermişlerdir.

Hidrolik olarak düz borularda meydana gelen sürtünme kayıpları, yukarıda verilen genel veya amprik eşitlikler yardımıyla hesaplanmaktadır. Ancak damla sulama lateralleri yalnızca düz bir borudan oluşmamakta, aynı zamanda üzerine veya içine değişik tipte damlatıcıların yerleştirildiği borulardan meydana gelmektedir. Bu durumda lateral üzerinde ardısıra gelen damlatıcılar arasında kalan lateral bölümündeki sürtünme

kayıpları, birçok araştırmacı tarafından kabul edilen Christiansen'in yağmurlama sulama lateralleri için geliştirdiği;

$$\Delta h_f = K (\Delta Q^m / D^{2m+n}) \Delta L \quad [7]$$

şeklindeki genel eşitlik yardımı ile belirlenmektedir. Lateral boyunca oluşan toplam sürtünme kayıpları ise, her damlatıcı aralığında kalan lateral bölümü için hesaplanan kayıpların toplamına eşit olmaktadır ve;

$$h_f = K (Q^m / D^{2m+n}) F L \quad [8]$$

genel eşitliği ile belirlenmektedir (21,29,45). Eşitliklerde;

Δh_f : Lateral üzerinde ardısıra gelen damlatıcılar arasında kalan lateral bölümünde sürtünme kayıpları (m)

K : Lateral çapı ve lateralde oluşan akış rejimine bağlı bir katsayı

ΔL : Ardısıra gelen damlatıcılar (veya yağmurlama başlıkları) arasındaki uzaklık (m)

ΔQ : ΔL lateral bölümünde oluşan debi (m^3/s)

D : Lateral iç çapı (m)

h_f : Lateral boyunca oluşan toplam sürtünme kayıpları (m)

L : Lateral uzunluğu (m)

Q : Lateraldeki debi (m^3/s)

F : Christiansen azaltma faktörü

m,n: Lateraldeki akış rejimine bağlı katsayılar

Eşitliklerde akış rejimini karakterize eden m değerleri laminar akış için 1.0, hidrolik yönden pürüzsüz borularda türbülanslı akış için 1.75, Hazen-Williams eşitliği kullanıldığında türbülanslı akış için 1.852 ve sürtünme kayıp katsayısının sabit olduğu tam türbülanslı akış için 2.0 olarak kabul edilmektedir (3,6,47).

Christiansen azaltma faktörü (F), lateral üzerindeki damlatıcı veya yağmurlama başlıklarının eşit aralıklarla yerleştirildiği ve her birinden akış olduğu durumda lateral boyunca oluşan gerçek toplam sürtünme kayıplarının (h_f), damlatıcı veya yağmurlama başlıklarında akış olmadığı ve lateral giriş debisinin lateral boyunca aynı miktarda kaldığı koşuldaki toplam sürtünme kayıplarına (h_s) oranı olup;

$$F = h_f / h_s \quad [9]$$

eşitliği ile belirlenmektedir (21,29,38). Lateral hattaki akış hidrolik olarak süreklidir. Buradan hareketle lateral üzerindeki tüm damlatıcı debilerinin eşit olduğu varsayımına göre " F " azaltma faktörünün tahmin edilmesinde;

$$F = (1/m+1) + (1/2N) + (\sqrt{m-1} / 6N^2) \quad [10]$$

eşitliğinden yararlanılmaktadır (22,29). Eşitlikte;

N : lateral üzerindeki damlatıcı sayısı

m : lateraldeki akış rejimini karakterize eden katsayıdır.

Keller ve Karmeli (27), damla sulama laterallerinin 20'den daha fazla damlatıcıya sahip olduğunu, bu nedenle F azaltma faktörünün bütün pratik amaçlar için $F=0.36$ olarak

kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca lateral başlangıcı için $F=1.0$, damlatıcı sayısı 5 olduğunda $F=0.40$, 5 ile 10 arasında iken $F=0.37$ ve damlatıcı sayısı 100'den fazla ise $F=0.35$ alınabileceğini ifade etmişlerdir. Howell ve Hiller (21)'de damlatıcısız ve çeşitli damlatıcı aralıkları için F değerlerini, geliştirdikleri bir bilgisayar programı yardımıyla hesaplamışlardır. Hesaplamalarda lateral sonu basıncı sabit kalmak koşulu ile lateral boyunca damlatıcılar arasında oluşan sürtünme kayıplarını kademeli olarak hesaplamışlar ve F değerlerini her kademedeki toplam debinin oluşturacağı sürtünme kayıplarına oranlıyarak belirlemişlerdir. Damlatıcıların lateral içinde kalan kısımlarının pürüzlülük yaratması nedeniyle, düz laterale oranla F değerlerini arttırdığını ve bu değer in damlatıcı aralığına, dolayısıyla damlatıcı sayısına ve az da olsa lateraldeki basınca bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, özellikle lateral içine boylamasına geçik tip damlatıcıya sahip laterallerde, F değerlerinin mutlak suretle hesaplanması gerektiğini belirtmişlerdir.

Korukçu (29) F azaltma faktörlerini farklı damlatıcı aralığı, lateral sonu basınç değerleri ve damlatıcı akış rejimine göre bir bilgisayar programı yardımıyla hesaplamıştır. Araştırmacı, lateraldeki belirli bir damlatıcı sayısından sonra F değerlerinin yukarıdaki kriterlerle önemli derecede değişmediğini ve damlatıcı sayısının 20'den fazla olması halinde sabit bir değerde ($F=0.36$) kaldığını belirlemiştir.

Tüzel (38) ise F değerlerinin damlatıcı sayısına bağlı olarak, lateral üzerindeki belirli bir damlatıcıdan sonra, değişik lateral çapları ve damlatıcı aralıklarında farklı değerler aldığını bildirmiştir.

İdeal bir damla sulama sisteminde yeknesak su dağılımının sağlanabilmesi için sistemde bulunan bütün damlatıcıların eşit miktarda su vermesi istenir. Fakat lateral boyunca su basıncında meydana gelen değişimler ile boru ve damlatıcıların yapım farklılıkları nedeniyle damlatıcı debilerinin etkilenmesi sonucunda yeknesak sulama isteğinin gerçekleşmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle lateraller, hat boyunca damlatıcı debilerindeki değişimin veya yeknesaklığın belirli bir sınırı aşmaması kuralına göre boyutlandırılırlar. Damlatıcı debilerinin yeknesaklığı ise lateral boyunca su basıncının dağılımına bağlıdır. Basınç değişimleri ise lateral hattın enerji ilişkilerinin değerlendirilmesi ile belirlenebilir. Lateral boyunca meydana gelen sürtünme, enerji (basınç) kaybına neden olurken lateral hattın eğimi yukarıya doğru olduğunda enerji (basınç) kaybına ve aşağıya doğru olduğunda enerji (basınç) artışına sebep olmaktadır (32, 44, 47).

Wu ve Gitlin (43), lateral hattaki debi değişimi nedeniyle enerji eğim hattının doğrusal olmayıp üstel bir fonksiyonun eğrisi şeklinde olduğunu ifade etmişler ve matematiksel eşitliklerle bunu açıklamışlardır. Araştırmacılar enerji eğim hattı bilindiğinde, ortalama damlatıcı debisi kullanmak suretiyle lateral boyunca basınç dağılımının kolaylıkla ortaya konabileceğini bildirmişler ve bu yaklaşımdan yararlanarak damlatıcı debi dağılımının belirlenebileceği matematiksel eşitlikler geliştirmişlerdir.

Wu ve Gitlin (45), damla sulama laterali boyunca tüm damlatıcıların eşit aralıklarla yerleştirildiğinde ve damlatıcı debilerinin eşit olduğu kabul edildiğinde boyutsuz enerji eğim hattının;

$$R_i = \Delta H_i / \Delta H = 1 - (1-i)^{m+1} \quad [11]$$

eşitliği ile belirlenebileceğini matematiksel olarak göstermişlerdir. Eşitlikte;

ΔH_i : belirli bir uzunluk oranındaki sürtünme kayıpları (m)

ΔH : lateral uzunluğunca sürtünme kayıpları (m)

$i = l/L$: uzunluk oranı

l : lateral başından ΔH_i sürtünme kaybının olduğu noktaya kadar olan uzaklık (m)

L : lateral uzunluğu (m)

m : sürtünme kayıp eşitliğindeki akış hızının üstel değeri

Damla sulama sistemlerinde istenilen düzeyde yeknesak su dağılımı sağlanması açısından lateraller başlıca üç yöneme göre dizayn edilmektedirler (24,25,47).

Sulanacak alan boyutlarına göre seçilen lateral uzunluğu ve sabit bir lateral çapında, istenilen düzeyde yeknesak su dağılımı sağlayacak damlatıcı boyu ve çapı hesaplanarak her bölümde değişik çap ve boyda damlatıcı kullanılarak laterallerin gerçekleştirilmesi birinci aşamayı oluşturmaktadır. Bu yöntemde değişik çap ve boyda yapılmış uzun akış yollu damlatıcıların kullanılması zorunluluğu bulunmaktadır (24).

Wu ve Gitlin (43) eşit debi dağılımını sağlayacak damlatıcı çapı, boyu ve damlatıcılar arasındaki mesafenin hesaplanmasında kullanılabilecek eşitlikler geliştirmişlerdir.

Lateral boyunca aynı özellikteki damlatıcıları kullanmak koşulu ile ve damlatıcı debilerindeki değişim izin verilen sınırı aşmayacak şekilde, lateralın sonuna doğru azalan boru çaplarının kullanılması, laterallerin gerçekleştirilmesinde ikinci yöntemi oluşturmaktadır (24, 25).

Wu ve Gitlin (46), çeşitli boru çapları kullanmak suretiyle laterallerin gerçekleştirilmesinde kullanılabilecek eşitlikler, ayrıca eğimli ve eğimsiz koşullarda laterallere ait uygun boru çaplarının belirlenmesinde kullanılabilecek basit grafikler geliştirmişlerdir.

Damla sulama laterallerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan üçüncü yöntemi ise iki yaklaşım oluşturmaktadır. Kabul edilebilir yeknesaklık sınırları içerisinde, belirli bir lateral uzunluğu ve damlatıcı özelliği için lateral çapını seçmek birinci yaklaşımdır. Uygulamada yaygın olarak kullanılan ikinci yaklaşımda ise, seçilen bir lateral çapı ve damlatıcı özelliği için lateral eğimi ve akış koşulları da dikkate alınarak, damlatıcı debileri arasındaki değişimin veya yeknesaklığın kabul edilen sınırları aşmayacak şekilde, lateral uzunluklarının belirlenmesidir (21,29,47).

Wu ve Gitlin (44), lateral boyunca damlatıcı debileri arasındaki değişim sınırının belirlenmesinde Christiansen'in yağmurlama sulama lateralleri için geliştirdiği ve lateral üzerindeki tüm damlatıcı debilerinin, ortalama damlatıcı debisinden sapmalarının değerlendirildiği;

$$C_u = 100 (1 - (\Delta q / \bar{q}))$$

[12]

eşitliği ile belirlenen Christiansen eşdağılım katsayısından yararlanılmasını önermişlerdir. Eşitlikte;

C_u : Christiansen eşdağılım katsayısı (%)

Δq : damlatıcı debilerinin ortalama damlatıcı debisinden mutlak değer olarak sapmalarının ortalaması (l/h)

$\bar{q}$: ortalama damlatıcı debisi (l/h).

Ayrıca lateral üzerindeki en yüksek ve en düşük damlatıcı debilerini alarak, $q_{\max}/q_{\min}$ ile Cu'nun değişik değerleri arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak göstermişlerdir. Lateral uzunluklarının belirlenmesinde debi değişimleri gözönüne alındığında, Cu değerinin 98 veya daha yüksek olmasını teklif etmişler ve bunun da $q_{\max}/q_{\min}$ oranında % 10'dan daha az bir değere karşılık geldiğini bildirmişlerdir. Ayrıca $q_{\max}/q_{\min}$ değişiminin % 20'den daha büyük değerleri veya Cu katsayısının 95'den daha küçük değerlerinin kabul edilemeyeceğini, 95-98 arasındaki Cu değerlerinin ise kabul edilebilir olduğunu ifade etmişlerdir.

Bralts ve Wu (8) ile Bralts ve ark.(10), lateral hattaki basınç değişimlerinin kullanılarak, damlatıcı debi değişiminin hesaplanabileceğini matematiksel olarak göstermişlerdir. Bu araştırmacılar, minimum ve maksimum damlatıcı debilerinin mukayese edilerek damlatıcı debi değişiminin belirlenebileceği ve genel olarak damla sulama lateralleri için kullanılan

$$q_{\text{değişim}} = (q_{\max} - q_{\min}) / q_{\max} \quad [13]$$

eşitliğini geliştirmişlerdir. Eşitlikte;

$q_{\text{değişim}}$: damlatıcı debi değişimi

$q_{\max}$: lateral boyunca oluşan en yüksek damlatıcı debisi (l/h)

$q_{\min}$: lateral boyunca oluşan en düşük damlatıcı debisi (l/h)

Ayrıca damlatıcı debi değişimi % 10 olduğunda Cu değerinin 98 dolaylarında olduğunu ve Cu değeri 95 civarında olduğunda da damlatıcı debi değişiminin % 20 olduğunu

belirtmişlerdir. Diğer taraftan benzer şekilde lateral boyunca basınç değişiminin de ;

$$H_{\text{değişim}} = (H_{\text{max}} - H_{\text{min}}) / H_{\text{max}} \quad [14]$$

eşitliği ile belirlenebileceğini ve damlatıcı debi değişimi ile basınç değişimi arasındaki ilişkiyi;

$$q_{\text{değişim}} = 1 - (1 - H_{\text{değişim}})^x \quad [15]$$

eşitliği ile açıklamışlardır. Eşitliklerde;

- $q_{\text{değişim}}$: damlatıcı debi değişimi
- $H_{\text{değişim}}$: damlatıcı basınç değişimi
- H_{max} : lateral boyunca oluşan en yüksek basınç (mSS)
- H_{min} : lateral boyunca oluşan en düşük basınç (mSS)
- x : akış rejimini karakterize eden bir katsayı

Wu ve ark.(47), damlatıcı akış rejimine bağlı katsayının $x=0.5$ olması durumunda, orifis tip damlatıcılar için basınç değişimi % 20 iken damlatıcı debi değişiminin % 10 olduğunu belirtmişlerdir.

Korukçu (29), 16 mm dış çaplı laterallerde maksimum ve minimum damlatıcı debilerinin ortalama damlatıcı debisine oranı yani $(q_{\text{max}} - q_{\text{min}}) / q_0$ boyutsuz parametresi ile C_u arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Araştırmacı $(q_{\text{max}} - q_{\text{min}}) / q_0 = 0.10$ değerinin $C_u=97.5$ değerine karşılık geldiğini göstermiş ve lateral uzunluklarının belirlenmesinde C_u katsayısına ilişkin alt sınırın $C_u=97.5$ alınmasını önermiştir. Ayrıca ele aldığı lateralın sonundaki damlatıcı basıncı ve damlatıcı aralığı ile eğimin

değişik değerlerinde $Cu \geq 97.5$ koşulunu sağlayan lateral uzunluklarını belirlemiştir.

Tüzel (38), lateral üzerindeki tüm damlatıcı debilerinin ortalamadan sapmalarına dayalı Cu katsayısını esas alarak, basınç dengeleyicisiz yerli yapım bir damlatıcının değişik aralıklarla yerleştirildiği laterallerin, farklı eğim dereceleri ve giriş basınçları için $Cu \geq 97.5$ koşulunu sağlayan lateral uzunluklarının belirlenebileceği grafikler hazırlamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Damlatıcılar

Araştırmada, ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olan farklı yapım özelliklerine sahip altı damlatıcı ve bu damlatıcıların sadece ikisinden, farklı debi değerlerindeki iki damlatıcı olmak üzere denemelerde toplam sekiz adet damlatıcı kullanılmıştır. Her bir damlatıcı tez içinde simgelerle ifade edilmiştir (Çizelge 2 ve 3).

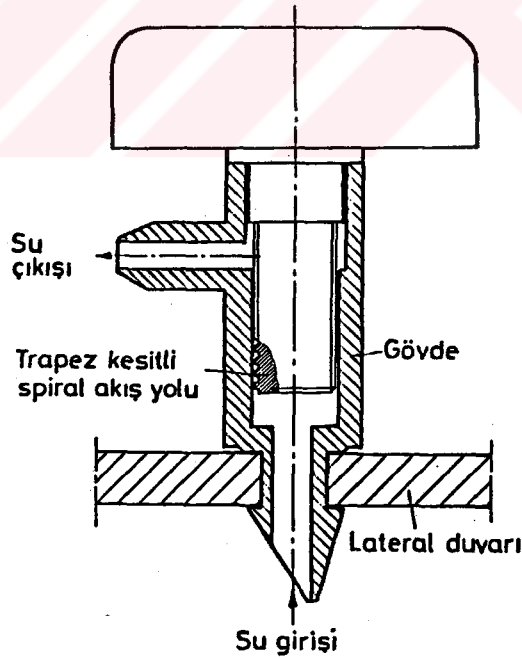
Çizelge 2. Denemeye alınan damlatıcılar ve genel özellikleri

Damlatıcı tipi	Damlatıcı özelliği	Lateral tipi	Laterale bağlantı şekli	Firma debisi (l/h)	Yapım yeri
A	Spiral uzun akış yollu	I	Üzerine geçik	2.6	Yerli
B	" " " "	III	boylamasına geçik	3.8	"
C	Zig-Zag uzun akış yollu	IV	" "	2.8	Yabancı
D	Basınç dengeleyicili	I	üzerine geçik	4.0	"
E ₁	" "	II	" "	2.0	"
E ₂	" "	II	" "	4.0	"
F ₁	" "	II	" "	2.0	Yerli
F ₂	" "	II	" "	4.0	"

Çizelge 3. Denemeye alınan PE (Polietilen) boruların
yapım özellikleri ve bu borular ile
oluşturulan laterallerde yer alan damlatıcılar

Lateral tipi	Boru ort. dış çapı(mm)	Boru ort. iç çapı(mm)	Boru ort. et kalınlığı(mm)	Lateralde yer alan damlatıcı	Damlatıcıların boru ile bağlantısı
I	16.0	13.40	1.30	A,D	Sistem kurulurken
II	15.0	12.20	1.40	E_1, E_2, F_1, F_2	" "
III	20.0	15.50	2.25	B	İmalat esnasında
IV	16.0	14.80	0.60	C	" "

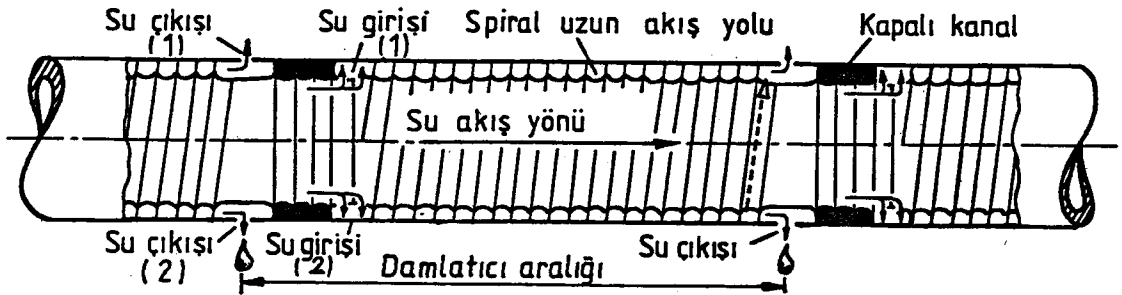
A Damlatıcısı : Yerli yapım olan A damlatıcısı, spiral uzun akış yollu ve lateral üzerine geçik bağlantı tipindedir (Şekil 3).



Şekil 3. A Damlatıcısı: Spiral uzun akış yollu, lateral üzerine
geçik damlatıcı (yerli yapım).

Damlatıcı, laterale bağlantıyı sağlayan ve üzerinde su girişine 90° lik tek bir çıkışı bulunan gövde ile, gövde içine girip çıkabilen üzerinde trapez kesitli akış yolu bulunan T biçimindeki iki parçadan oluşmaktadır. Tıkanma esnasında T parçası sökülerek damlatıcının temizlenmesi sağlanmaktadır. Damlatıcıya su girişini kolaylaştırmak için giriş ağzı eğik kesitli olarak imal edilmiş olup, su girişindeki akış yolunun çapı 2.5 mm, spiral akış yolunun genişliği 0.6 mm ve su çıkışındaki akış yolu 2.0 mm çapındadır. Damlatıcının laterale takılması için, özel olarak yapılmış zımba ile lateral üzerine delik açılmakta ve damlatıcı el ile bastırılarak laterale geçirilmektedir. Denemelerde damlatıcılar 0.90, 0.60, 0.30 ve 0.20 m damlatıcı aralığında I nolu düz (damlatıcısız) laterallere yerleştirilerek kullanılmıştır (Çizelge 2 ve 3).

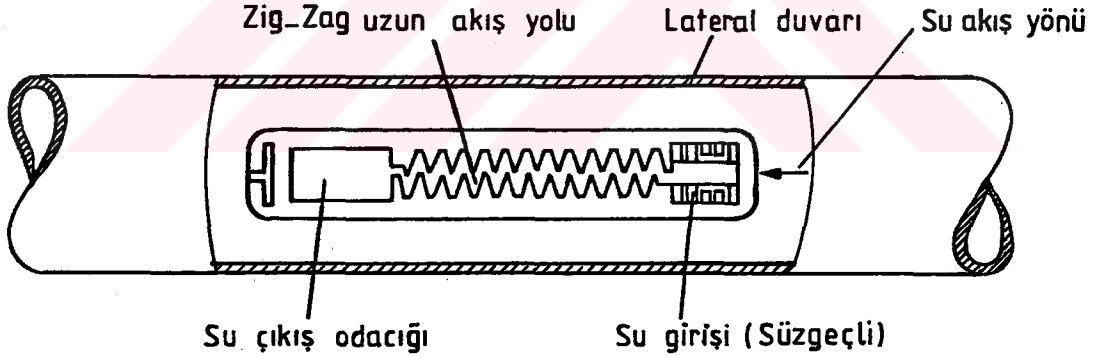
B Damlatıcısı : Yabancı patent ile ülkemizde üretilen B damlatıcısı lateral imalatı esnasında boylamasına yerleştirilmiş olan spiral uzun akış yolları, belirli aralıklarda bu akış yollarına su girişi ve çıkışı sağlayan delikler ile her damlatıcı aralığı sonunda su akışını keserek, dışarı akışı sağlamak amacıyla yerleştirilen kapalı kanallardan oluşur (Şekil 4).



Şekil 4. B Damlatıcısı: Spiral uzun akış yollu, laterale boylamasına geçik damlatıcı (yerli yapım)

Spiral su akış yolunu oluşturan kanallar lateral duvarının dış cidarı ile iç cidarı arasına imalat esnasında, lateralın bütün uzunluğu boyunca sadece su çıkış bölgesi haricinde kesintisiz olarak yerleştirilmiştir. Kanaldaki su akış yolu kesiti 1.5-1.8 mm² civarındadır. Su, iç boru cidarı üzerindeki iki noktadan spiral akış yoluna girer ve su akış yolunu geçtikten sonra, dış boru cidarı üzerinde karşılıklı iki noktadan dışarı çıkar. Bu tip damlatıcıda damlatıcı aralıkları yapım sırasında sabit olarak belirlendiğinden, denemelerde 0.90, 0.60, 0.30 ve 0.20 m damlatıcı aralığına sahip olan III nolu lateraller kullanılmıştır (Çizelge 2 ve 3).

C Damlatıcısı : Zig-Zag uzun akış yollu C damlatıcısı yabancı yapım olup, laterale boylamasına geçik bağlantı tipindedir (Şekil 5).

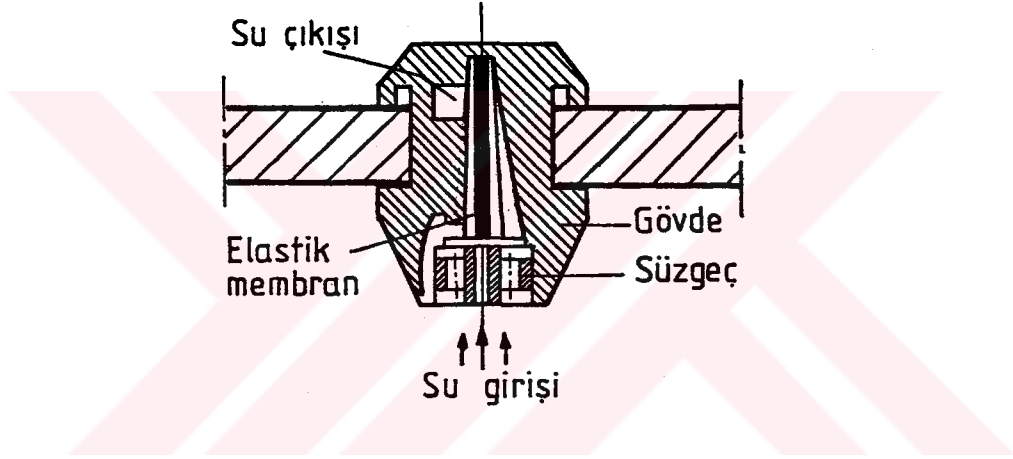


Şekil 5. C Damlatıcısı: Zig-Zag uzun akış yollu, laterale boylamasına geçik damlatıcı (yabancı yapım)

Lateralin iç duvarına imalat esnasında sıkıca monte edilen damlatıcı, tek parça olup üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda, su girişini sağlayan ve üzerinde süzgeç görevini yapan on küçük kanalın bulunduğu bölge yer almakta, gövde üzerinde bulunan zig-zag tip kanallar ikinci kısmı

oluşturmakta ve üçüncü kısımda da bir su çıkış odacığı yer almaktadır. Bu odacık üzerinde bulunan delik vasıtasıyla lateralden su çıkışı sağlanmaktadır. Denemelerde bu damlatıcı, 0.30 m damlatıcı aralığında yer aldığı IV nolu lateralde kullanılmıştır (Çizelge 2 ve 3).

D Damlatıcısı : Yabancı yapım olan D damlatıcısı, kısa akış yollu basınç dengeleyicili (dikey membranlı) ve lateral üzerine geçik bağlantı tipindedir (Şekil 6).

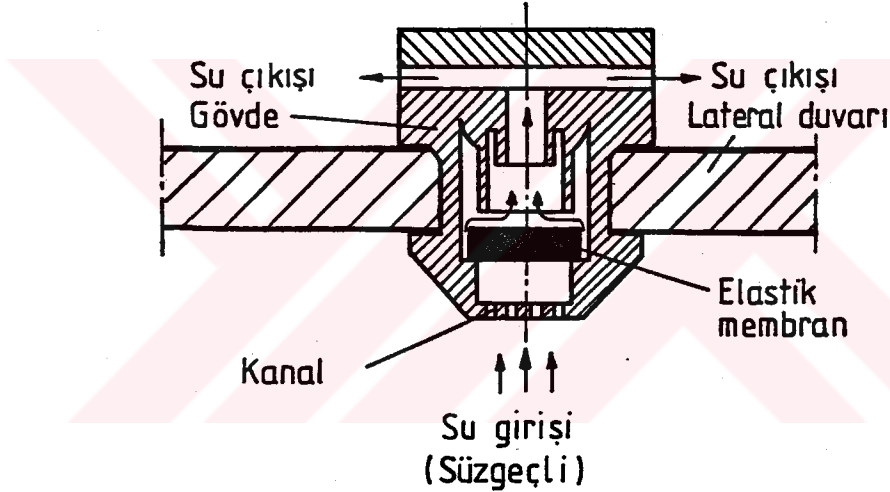


Şekil 6. D Damlatıcısı: Kısa akış yollu basınç dengeleyicili (dikey membranlı), lateral üzerine geçik damlatıcı (yabancı yapım)

Damlatıcı ana gövde, gövde içine dik olarak yerleştirilen 3.0x5.0 mm dikdörtgen kesitli elastik membran ile su girişine süzgeç olarak yerleştirilen 1 mm kalınlığında ve üzerinde 0.5 mm çaplı delikler bulunan bir plakadan oluşmaktadır. Bu plaka ve membran damlatıcı lateralden çıkarıldıktan sonra sökülüp takılabilmektedir. Gövde ile membran arasında kalan "V" şeklindeki kanal su akış yolunu oluşturmakta ve su çıkışı da akış yoluna dik olacak şekilde bulunan iki delikten olmaktadır.

Damlatıcının laterale takılması için, özel olarak yapılmış zımba ile lateral üzerine delik açılmakta ve damlatıcı el ile bastırılarak laterale geçirilmektedir. Denemelerde damlatıcılar, 0.90, 0.60, 0.30 ve 0.20 m damlatıcı aralığında I nolu düz (damlatıcısız) laterallere yerleştirilerek kullanılmıştır (Çizelge 2 ve 3).

E_1 - E_2 Damlatıcıları : Kısa akış yollu basınç dengeleyicili (yatay membranlı), lateral üzerine geçik tipteki yabancı yapım olan E_1 ve E_2 damlatıcıları, D damlatıcısıyla aynı prensibe göre çalışırlar (Şekil 7).

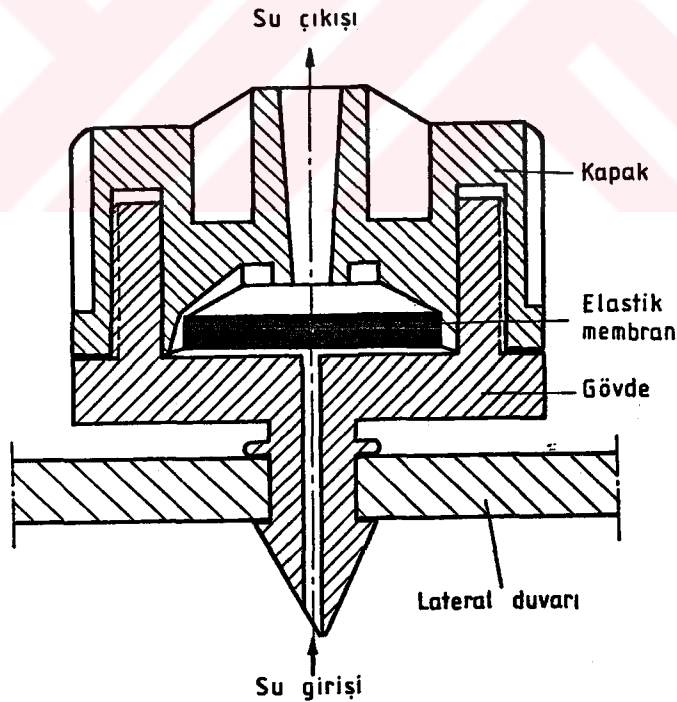


Şekil 7. E_1 ve E_2 Damlatıcıları : Kısa akış yollu basınç dengeleyicili (yatay membranlı), lateral üzerine geçik damlatıcı (yabancı yapım)

Bu damlatıcıda elastik membran gövde içerisine yatay bir konumda yerleştirilmiş ve damlatıcı elamanlarının hiçbirisi sökölüp takılacak durumda değildir. İmalatçı firma tarafından kompakt bir şekilde üretilen bu damlatıcının laterale yerleştirilmesi, özel olarak yapılmış bir zımba ile lateral üzerine açılan deliğe el ile bastırılarak gerçekleştirilmektedir.

Damlatıcı gövdesi üzerinde suyun girişinde süzgeç görevini yapan ince düz kanallar bulunmaktadır. Su çıkışı, gövde üzerindeki iki noktadan olmaktadır. E_1 ve E_2 damlatıcıları arasındaki farklılık ise yalnız su akış yolu kesitlerinin farklı olmasıdır. Bunlardan E_1 damlatıcısının çıkış debisi 2.0 l/h ve E_2 damlatıcısının da çıkış debisi 4.0 l/h olarak firma tarafından verilmektedir. Denemelerde damlatıcılar 0.90, 0.60, 0.30 ve 0.20 m damlatıcı aralığında II nolu düz laterallerde kullanılmıştır (Çizelge 2 ve 3).

F_1 - F_2 Damlatıcıları : Kısa akış yollu basınç dengeleyicili (yatay membranlı), lateral üzerine geçik tipteki F_1 ve F_2 damlatıcıları ülkemizde üretilmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. F_1 ve F_2 Damlatıcıları : Kısa akış yollu basınç dengeleyicili (yatay membranlı), lateral üzerine geçik damlatıcı (yerli yapım)

Damlatıcı; laterale bağlantıyı sağlayan gövde, su çıkışı ile elastik membranı üzerinde taşıyan ve gövdeye vidalanabilen kapaktan oluşmaktadır. Gövde ile kapağın, vidalı tip bağlantı ile birbirine takılıp sökülebilmesi sayesinde, tıkanma esnasında basıncı dengelemek amacıyla yerleştirilen elastik membran çıkartılarak damlatıcının temizlenmesi sağlanmaktadır. Damlatıcıya suyun girişi, A tipi damlatıcıda olduğu gibi eğik düzlemdeki yarıktan olmaktadır. Su giriş yolu çapı 1.0 mm olup membran 1.0 mm kalınlığında ve 12 mm çapındadır. F_1 ve F_2 damlatıcılarının aralarındaki fark ise su çıkış yolu kesitlerinin farklı olmasıdır. F_1 damlatıcısının çıkış debisinin 2.0 l/h ve F_2 damlatıcısının çıkış debisinin de 4.0 l/h olduğu firma tarafından belirlenmiştir. Denemelerde F_1 ve F_2 damlatıcıları ayrı ayrı 0.90, 0.60, 0.30 ve 0.20 m damlatıcı aralıklarında II nolu düz laterallerde kullanılmıştır (Çizelge 2 ve 3).

3.1.2 Lateraller

Araştırmada; Türkiye'de damla sulama sistemlerinde lateral olarak kullanılan farklı özelliğe sahip bükülebilir dört tip polietilen (PE) boru kullanılmıştır. Denemelerde, damla sulama sisteminin projelenmesi veya kurulmasında firmaların kullandıkları damlatıcılar ve lateral olarak seçtikleri borular birlikte ele alınmıştır.

Lateral olarak; denemeye alınan boruların yapım özellikleri ve bu borular ile oluşturulan laterallerde yer alan damlatıcılar Çizelge 3'de verilmiştir.

I ve II nolu lateral olarak denemeye alınan borular yerli yapım olup, farklı firmalar tarafından düz (damlatıcısız) olarak imal edilmektedirler. Denemelerde kullanılan lateraller

sistem kurulurken boru üzerine 0.90, 0.60, 0.30 ve 0.20 m lik damlatıcı aralıklarında üzerine geçik tipteki damlatıcılar yerleştirilerek oluşturulmuştur.

III nolu laterallerde damlatıcılar, lateral üzerine imalat esnasında 0.90, 0.60, 0.30 ve 0.20 m' lik damlatıcı aralıklarında yerleştirilmiştir. Bu nedenle III nolu lateralde damlatıcı aralıkları sabit olduğundan yukarıda açıklanan damlatıcı aralıklarındaki lateraller temin edilerek denemeye alınmıştır.

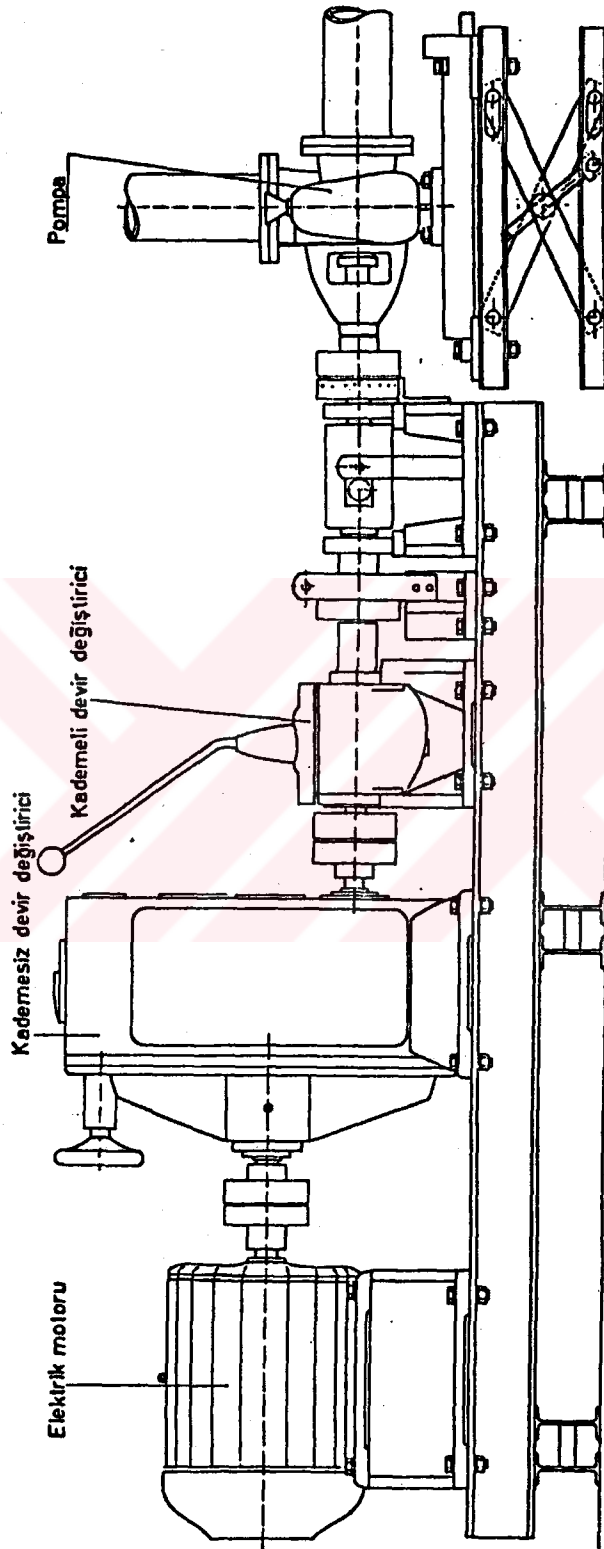
IV nolu lateralde de damlatıcılar, imalat esnasında laterale belirli aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu nedenle IV nolu lateralın sadece 0.30 m damlatıcı aralığındaki imalatı temin edilebildiğinden, denemelerde yalnız bu lateral kullanılmıştır.

3.1.3 Laboratuvar Denemelerinde Kullanılan Araçlar

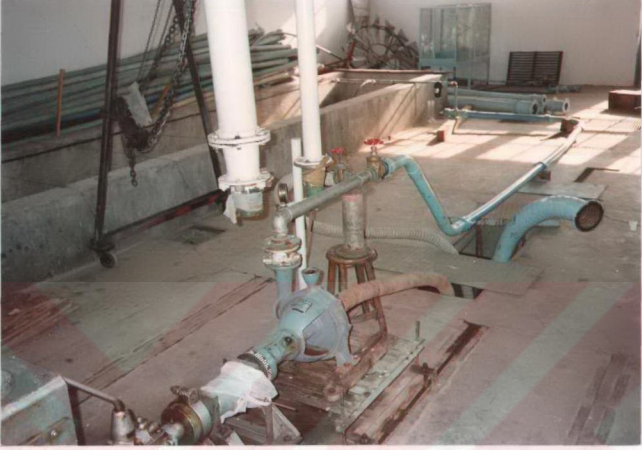
3.1.3.1 Pompa ve Tahrik Düzeni

Laboratuvarda yapılan denemeler için gerekli olan su, uygun kavramalarla birbirine bağlanmış elektrik motoru(18.5 kw) kademersiz ve kademeli (dişli kutusu) devir ayarlayıcısı ile emme ve basma borusu çapı 65 mm olan tek kademeli santrifüj pompanın bulunduğu bir düzenle sağlanmıştır (Şekil 9).

Pompa çıkışına 64 mm (2")'lik bir düz boru ve boru üzerine T dirsek yardımıyla 64 mm (2")'lik geri dönüş borusu bağlanmış olup, iki boru üzerine de vana yerleştirilmiştir. Sistemdeki suyun istenilen miktardan fazlası geri dönüş borusu ile tekrar su deposuna verilmiştir (Şekil 10 ve 12).



Şekil 9. Denemelerde su temin eden pompanın çalıştırılmasında kullanılan tahrik düzeni



Şekil 10. Pompa ve su iletim düzeninin genel görünüşü

3.1.3.2 Filtre, Manometre ve Piyezometre Tüpü

Denemelerde içerisinde 150 adet plaka (lamel) bulunan, giriş ve çıkış çapı 32 mm (1") olan 120 mesh (130 mikron) hassasiyetindeki ARKAL BEIT-ZERA marka filtre kullanılmıştır. Filtre, deneme düzeni içerisinde lateral ve manometreden önce bağlanmıştır (Şekil 11 ve 12).

Damlatıcı basınç-debi ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılan denemelerin basınç ölçümlerinde 0-6 kp/cm² lik yaylı manometre kullanılmıştır.



Şekil 11. Denemelerde kullanılan filtrenin genel görünüşü

3.1.4 Deneme Yeri

Denemeler, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümü Pompa Deneme Laboratuvarında amaca uygun olarak hazırlanan deneme düzenleri yardımıyla yapılmıştır (Şekil 12, 13).

Denemelerin amacına uygun olarak yapılabilmesi için, damlatıcıların bulunduğu laterallerin düz olarak durması, laboratuvarında bulunan eni 2 m ve boyu 12 m olan su kanalının iki duvarı arasına belirli aralıklarla teller gerilerek sağlanmıştır. Pompa yardımıyla temin edilen su, 75 mm (2 1/2") ve 32 mm (1")'lik borular vasıtasıyla laterallere kadar ulaştırılmıştır.

3.2 Yöntem

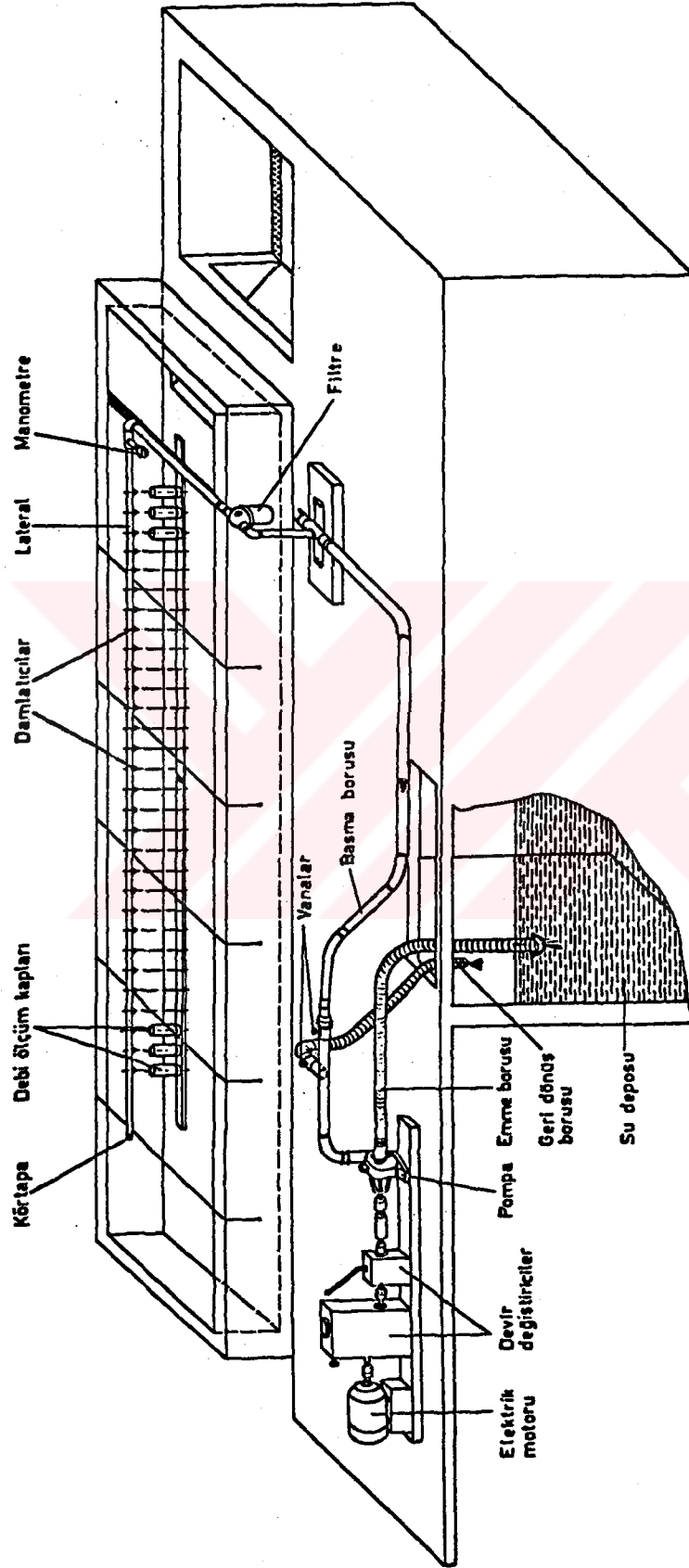
3.2.1 Damlatıcı Basınç-Debi İlişkisinin Belirlenmesi

Denemeye alınan yerli ve yabancı yapım damlatıcılarda basınç-debi ilişkilerinin belirlenmesi ve yapım farklılığı katsayılarının saptanması amacıyla Şekil 12'de gösterilen deneme düzeni kurulmuştur.

Basınç-debi arasındaki ilişkileri sağlıklı olarak belirleyebilmek için laterallerdeki sürtünme kayıplarının en düşük değerde tutulması gerekir. Bu nedenle laboratuvardaki düzende lateral boylarının kısa tutulması uygun olacaktır. Ancak damlatıcılardan sağlıklı değerler alınabilmesi için de damlatıcı sayısının fazla tutulması gerekmektedir. Bu suretle yalnız damlatıcı debi ölçümlerinde deneme düzeninde, üzerine geçik A, D, E_1, E_2, F_1 ve F_2 damlatıcıları için damlatıcı aralığı en düşük olan 0.20 m aralıktaki I nolu lateral kullanılmıştır. Üzerinde toplam 30 damlatıcının yerleştirildiği 6 m boyunda ve 16 mm dış çaplı lateraller, gergi telleri üzerine sırası ile eğim yapmayacak şekilde yerleştirilmiştir.

Boylamasına geçik damlatıcı bulunan III ve IV nolu laterallerde damlatıcı aralıkları imalat esnasında belirlenmiş olduğundan, B damlatıcısı için, damlatıcı aralığı 0.20 m olan 6 m'lik III nolu lateral ve C damlatıcısı için de damlatıcı aralığı 0.30 m olan 9 m uzunluktaki IV nolu lateral, gergi telleri üzerine eğim yapmayacak şekilde yerleştirilmiştir (35).

Elektrik motorunun tahrik ettiği pompadan elde edilen suyun istenilen miktarı, bir filtreden geçtikten sonra damlatıcılara kadar iletilmiştir. İstenilen çalışma basıncı, pompa mili devir sayısını veya su çıkış ve geri dönüş boruları



Şekil 12. Damlatıcı basınç-debi ilişkilerinin belirlenmesinde kullanılan deneme düzeni

üzerindeki vanaları ayarlamak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Deneme basıncı, sistem istenilen çalışma basıncında dengeye geldikten sonra manometreden okunmuştur.

Damlatıcı debilerinin ölçülmesi için, damlatıcıların altına gelecek şekilde her birinde 15'er adet 2000 ml'lik şeffaf plastik debi ölçü kabının yerleştirildiği iki lata oluşturulmuştur. Sistem istenilen çalışma basıncında sabit kaldıktan sonra, damlatıcıların altına ölçü kabı gelecek şekilde latalar kaydırılmıştır. Belirli bir basınç değerinde damlatıcılardan 360 saniye süre ile suyun akışı sağlanmış ve süre bitiminde latalar geri çekilmiştir. Her damlatıcının altındaki kaptaki toplanan su hacimleri 2 ml bölümlü ölçü silindiri yardımıyla ölçülmüştür. Çalışma anındaki su sıcaklığı da termometre ile belirlenmiştir. Debi ölçüm denemeleri 5 mSS basınçtan başlayarak 5 mSS'luk artışlarla, basınç 30 mSS'na gelinceye kadar altı farklı (5, 10, 15, 20, 25 ve 30 mSS) basınçta yapılmış ve her bir basınçtaki ölçümler üç kez tekrarlanmıştır. Bu işlem bütün damlatıcı tipleri için aynı şekilde uygulanmıştır.

Her bir çalışma basıncında aynı damlatıcı için yapılan üç tekrardan elde edilen debi değerleri SYMPHONY paket programına girilerek; damlatıcı debilerinin ayrı ayrı ortalamaları, 30 damlatıcı için elde edilen bu ortalama debilerin de ortalaması ($\bar{q}$), en düşük ($q_{\min}$) ve en yüksek ($q_{\max}$) damlatıcı debileri, debilerin standart sapması (s) ve bu değerlerden yararlanarak varyasyon katsayıları ($VK=s/\bar{q}$) IBM PS/2 Model 55 bilgisayar kullanılarak hesaplanmıştır. Bu şekilde A damlatıcısının 5 ve 10 mSS basınçlarında elde edilen program çıktıları, hesaplamalara ait bir örnek olması amacıyla Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. A damlatıcısının 5 ve 10 (mSS) basınçlarda (h),
ortalama damlatıcı debisi ($\bar{q}$) ve varyasyon katsayı-
larının hesaplanmasına ilişkin örnek program çıktısı

DAMLATICI TİPİ: A
DENEME SÜRESİ : 360 s

DENEME BASINCI: 5 mSS

DENEME BASINCI: 10 mSS

TEKRAR					TEKRAR				
NO	1 (ml)	2 (ml)	3 (ml)	$\bar{q}$ (ml)	NO	1 (ml)	2 (ml)	3 (ml)	$\bar{q}$ (ml)
1	157	162	160	159.667	1	263	261	265	263
2	169	168	166	167.667	2	277	280	275	277.333
3	175	179	177	177	3	292	291	290	291
4	169	168	166	167.667	4	273	275	274	274
5	158	161	160	159.667	5	264	269	267	266.667
6	168	166	163	165.667	6	271	270	270	270.333
7	160	164	161	161.667	7	270	270	270	270
8	169	172	171	170.667	8	278	282	279	279.667
9	161	164	162	162.333	9	282	294	289	288.333
10	162	166	165	164.333	10	277	274	280	277
11	153	156	155	154.667	11	254	258	256	256
12	164	168	165	165.667	12	276	283	278	279
13	165	170	167	167.333	13	278	285	276	279.667
14	158	163	160	160.333	14	261	265	260	262
15	165	168	167	166.667	15	273	279	272	274.667
16	167	170	169	168.667	16	289	283	280	284
17	171	175	174	173.333	17	285	291	289	288.333
18	158	161	160	159.667	18	263	270	265	266
19	179	184	181	181.333	19	293	298	294	295
20	150	154	152	152	20	263	276	270	269.667
21	152	155	153	153.333	21	253	260	250	254.333
22	164	168	167	166.333	22	273	277	272	274
23	165	169	168	167.333	23	279	285	279	281
24	160	165	163	162.667	24	264	270	261	265
25	148	150	148	148.667	25	243	248	244	245
26	167	171	168	168.667	26	279	284	277	280
27	170	174	172	172	27	282	288	283	284.333
28	170	175	173	172.667	28	284	289	285	286
29	172	175	174	173.667	29	287	291	288	288.667
30	153	155	155	154.333	30	254	260	257	257

$\bar{q}$ (l/h)= 1.6486

$\bar{q}$ (l/h)= 2.7423

qmin (l/h)= 1.48

qmin (l/h)= 2.43

qmax (l/h)= 1.84

qmax (l/h)= 2.98

s= 0.07601

s= 0.1211

VK (%)= 4.6106

VK (%)= 4.416

Program çıktısının incelenmesinden de anlaşılaacağı gibi, 10 mSS basınçta A damlatıcısının :

ortalama debisi; $\bar{q} = 2.7423$ (l/h)

en düşük damlatıcı debisi; $q_{\min} = 2.43$ (l/h)

en yüksek damlatıcı debisi; $q_{\max} = 2.98$ (l/h)

debilerin standart sapması; $s = 0.1211$

varyasyon katsayısı; $VK = 4.416$ (%)

olarak bulunmuştur (Çizelge 4 ve 9).

Ayrıca Pitts ve ark.(33)'na dayanarak aynı damlatıcının her bir çalışma basıncında elde edilen ve Çizelge 9'da verilen varyasyon katsayılarının ortalaması alınmış ve bu değerler yapım farklılığı katsayıları ($V=V_m$) olarak gösterilmiştir (Çizelge 10 ve Şekil 17).

Her bir damlatıcı tipi için, çalışma basınçları (h) ile damlatıcı debileri (q) arasındaki regresyon eşitlikleri, Düzgüneş ve ark.(16)'na dayanarak en küçük kareler yöntemi ile SPSS/PC+ paket programı yardımıyla IBM PS/2 Model 55 bilgisayar kullanılarak belirlenmiştir.

Basınç-debi arasındaki ilişkileri veren [1] numaralı eşitlik ($q=k h^x$), üstel bir eşitlik olması nedeniyle, basınç ve ortalama debi değerlerinin logaritma (ln) cinsinden hesaplanan değerleri programa girilmiştir. Bu durumda [1] numaralı eşitlik;

$$\ln q = \ln k + x \ln h$$

şeklini almaktadır. Program çıktılarına örnek olmak üzere, A damlatıcısının basınç-debi ilişkisinin belirlenmesi için Çizelge 9'da verilen $\bar{q}$ ve h değerleri programa girilerek elde edilen program çıktısı Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. A damlatıcısına ait parametrelerin (k ve x),
regresyon analizi ile belirlenmesine ilişkin örnek
program çıktısı

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. Q DEBI

Variable(s) Entered on Step Number
1.. H BASINC

Multiple R .99949
R Square .99897
Adjusted R Square .99871
Standard Error .01618

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	1.01635	1.01635
Residual	4	.00105	.00026

F = 3882.45405 Signif F = .0000

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. Q DEBI

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
H	x = .68039	.01092	.99949	62.309	.0000
(Constant) lnk=	-.57811	.03028		-19.094	.0000

End Block Number 1 All requested variables entered.

Program çıktısından da görüleceği gibi ;

korelasyon katsayısı ; $r = 0.99897$

damlatıcı akış rejimi katsayısı ; $x = 0.68039$

damlatıcı boyutları katsayısı ; $\ln k = -0.57811$

olarak bulunmuştur. Bu $\ln k$ değerinden, $k = 0.56095$ katsayısı hesaplanmıştır.

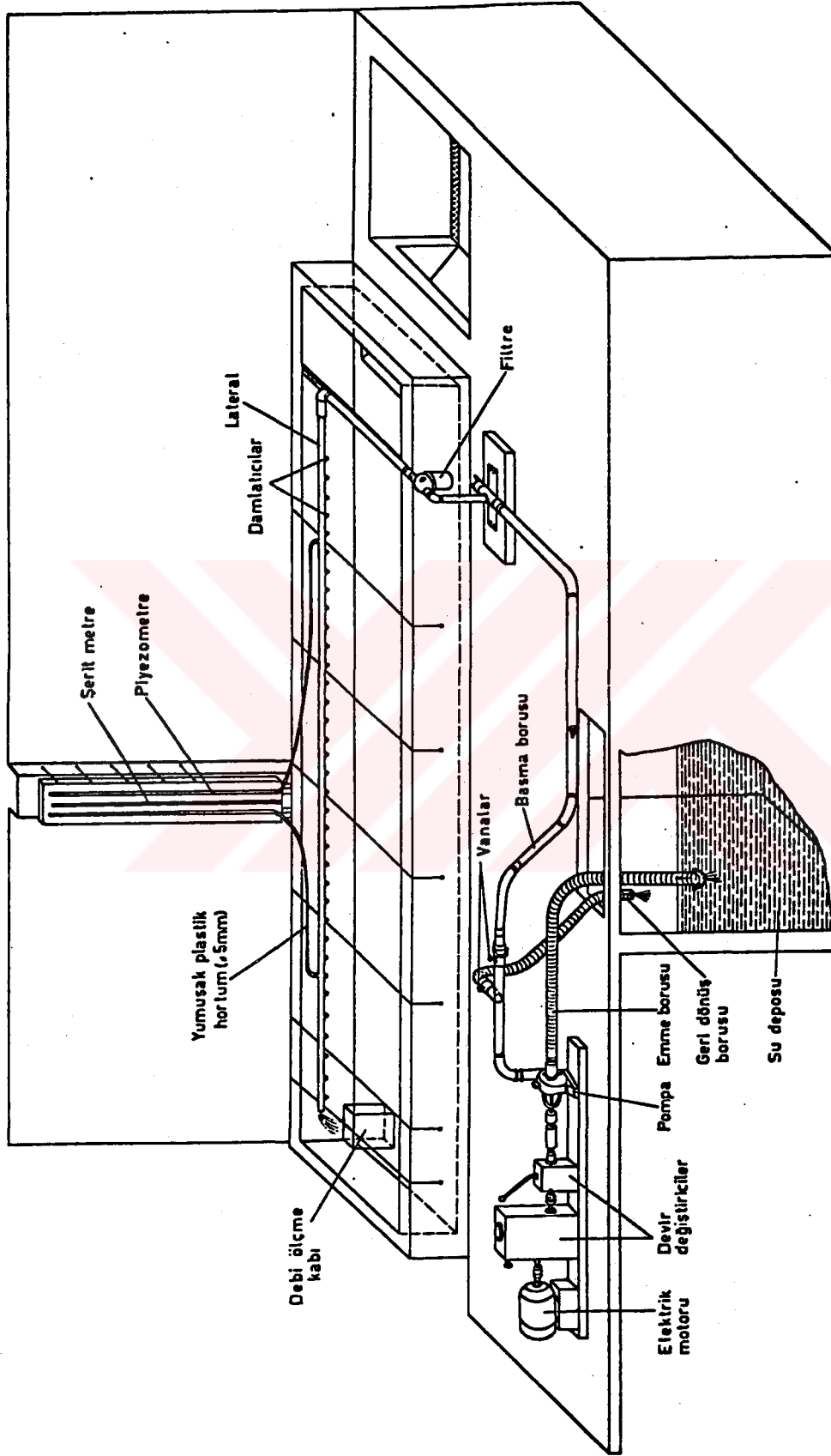
Diğer damlatıcı tipleri içinde aynı yöntem yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır (Çizelge 10). Ayrıca elde edilen sonuçlara göre basınç-debi ilişkilerine ait grafikler çizilmiştir (Şekil 15 ve 16).

3.2.2 Damla Sulama Laterallerinde Sürtünme Kayıplarının Belirlenmesi

3.2.2.1 Sürtünme Kayıplarının Laboratuvar Denemeleri ile Belirlenmesi

Denemeye alınan, farklı yapım özelliklerine sahip bükülebilir PE borulardan oluşturulan, damla sulama laterallerinde meydana gelen sürtünme kayıplarına ilişkin verilerin belirlenmesi amacıyla Şekil 13'de görülen deneme düzeninden yararlanılmıştır.

Deneme düzeninde, denemeye alınan farklı özellikteki üzerinde damlatıcı bulunan PE borular, 10 m uzunluğunda eğimsiz lateral oluşturacak şekilde su girişine bağlanmıştır. Su akış hızını belirlemek için lateral sonundan akan su miktarını ölçmek amacıyla lateral sonuna 10 l'lik debi ölçme kabı yerleştirilmiştir. Basınç ölçüm noktalarında, lateral üzerine 3 mm çapında düzgün ve çentiksiz delik açılmış ve bu delik üzerine çıkış çapı 5 mm olan sert PE bir çıkış parçası yerleştirilmiştir (15).



Şekil 13 Laterallerde sürtünme kayıplarının belirlenmesinde kullanılan deneme düzeni

Çıkış parçaları ile sabit olarak yerleştirilen cam piyezometre tüpleri (ø11 mm) arasındaki bağlantı, 5 mm iç çaplı yumuşak plastik hortumlarla sağlanmıştır. Basınç yüksekliklerini ölçmek için piyezometre tüpleri arasına şerit metre yerleştirilmiştir.

Denemelerde, firmaların kullandıkları boru ve damlatıcılar birlikte ele alınmış ve lateraller buna göre düzenlenmiştir (Çizelge 2 ve 3). Düzenleme işlemi; üzerine geçik A ve D damlatıcıları I nolu laterallere ve aynı şekilde üzerine geçik E_1-E_2 ve F_1-F_2 damlatıcıları da II nolu laterallere, 0.20, 0.30, 0.60 ve 0.90 m damlatıcı aralıklarında yerleştirilerek yapılmıştır. Ayrıca I ve II nolu laterallerin damlatıcı yerleştirilmemiş (düz) lateral halinde de denemeler gerçekleştirilmiştir. Boylamasına geçik B damlatıcısı için aynı damlatıcı aralıklarındaki III nolu lateraller kullanılmıştır. C damlatıcısı için ise temin edilebilen yalnız 0.30 m damlatıcı aralığındaki IV nolu lateral denemeye alınmıştır.

Damlatıcılardan su akışı, akış yolu damlatıcı tipine uygun olarak tıkanmak suretiyle önlenmiştir. Lateralin başı ve sonunda oluşabilecek olumsuz akış şartlarından korunmak için su girişi ve çıkışında 2 m'lik lateral uzunluğu boş bırakılmış ve ortada kalan 6 m'lik bölümde oluşan sürtünme kayıpları ölçülmüştür. Ancak 0.90 m damlatıcı aralığında 6.3 m'lik bölümde ölçümler yapılmıştır.

Denemelerde basınç yükseklikleri ölçümü, uygun aralıklar ile pompa çıkışındaki vanalar yardımıyla ayarlanan 20 değişik su miktarında yapılmıştır. Her su miktarı (debi), 10 l'lik debi ölçme kabının dolma zamanı kronometre ile ölçülerek belirlenmiş, akış hızları (V) ve Reynolds sayıları (R_e) hesaplanmıştır. Bulunan Reynolds sayısı değerlerinin 4 000 ile 20 000 arasında olduğu görülmüştür. Tüzel (38) tarafından bu çalışmaya benzer

yapılan araştırmada da Reynolds sayıları bu değerler arasında tutulmuştur. Diğer taraftan her debideki ilk ve son ölçüm noktalarında oluşan basınç yükseklikleri piyezometre tüpleri arasındaki şerit metre yardımıyla ölçülmüştür. İlk ve son basınç değerleri arasındaki fark hesaplanarak ele alınan lateral bölümündeki sürtünme kaybı (h_f) mSS olarak belirlenmiştir. Her bir denemedeki su sıcaklığı değerleri ise termometre ile ölçülmüştür.

3.2.2.2 Sürtünme Kayıp Eşitliklerinin Belirlenmesi

Denemeye alınan ve değişik damlatıcı aralıklarında oluşturulan laterallerdeki sürtünme kayıp eşitliklerinin saptanması için ilk aşamada, Darcy-Weisbach sürtünme faktörü (f) ile Reynolds sayısı (R_e) arasındaki ilişkiler belirlenmiştir ($f=aR_e^b$).

Bu amaçla önce eşitlikteki Darcy-Weisbach sürtünme faktörü [3] numaralı eşitliğin düzenlenmesi ile;

$$f = (h_f / 2g D) / (L V^2) \quad [16]$$

olarak bulunur. Eşitlikte " h_f " değerleri olarak yapılan ölçmelerde belirlenen sürtünme kayıp yükseklik değerleri, " L " boru uzunluğu olarakta ölçüm noktaları arasındaki mesafe ve akış hızı (V) değerleri olarak yukarıda açıklanan 20 değişik su miktarındaki hızlar alınmıştır.

Reynolds sayıları ise [6] numaralı eşitlik ($R_e = V D / \nu$) yardımıyla 20 değişik akış hızı için hesaplanmıştır. Hesaplamalarda boru iç çapı (D) olarak ölçüm yapılan lateral için Çizelge 3'de verilen değerler alınmış ve kinematik

viskozite (ν) değerleri olarak denemelerde ölçülen su sıcaklıklarına göre Çizelge 6'da verilen değerlerden alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 6. Değişik su sıcaklıklarındaki kinematik viskozite (ν) değerleri (Daugherty ve Franzini (15))

Su sıcaklığı (°C)	Kinematik viskozite ν ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)
4	1.57
8	1.38
10	1.31
14	1.17
16	1.11
18	1.06
20	1.01

Denemelerde elde edilen ölçüm sonuçlarına göre Darcy-Weisbach sürtünme faktörleri ve Reynolds sayıları SYMPHONY paket programı yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalar için veri girişi ve sonuçların elde edilmesine örnek olması amacıyla A damlatıcısının $\Delta L = 0.60 \text{ m}$ damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu laterale (ø16) ilişkin program çıktısı Çizelge 7'de verilmiştir.

Değişik damlatıcı aralıkları ve lateral çapları için elde edilen f ve R_e değerleri arasındaki regresyon eşitlikleri, basınç-debi ilişkilerinin belirlenmesinde yararlanılan esaslar izlenerek SPSS/PC+ paket programı yardımıyla belirlenmiştir.

Çizelge 7. A damlatıcısının $\Delta L=0.60$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu lateralde ($\phi 16$), Darcy-Weisbach sürtünme faktörlerinin (f) ve Reynolds sayılarının (R_e) hesaplanmasına ilişkin örnek program çıktısı

LATERAL TİPİ : I LATERAL ÖLÇÜM UZUNLUĞU : 6.0 m
 DAMLATICI TİPİ : A LATERAL İÇ ÇAPI : 0.0134 mm
 DAMLATICI ARALIĞI: 0.60 m SU SICAKLIĞI : 20 °C
 ÖLÇÜ KABI HACMİ : 10 l KİNEMATİK VİSKOZİTE : $1.01 \cdot 10^{-6}$ m²/s

NO	t (s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Re	İLK (mmSS)	SON (mmSS)	FARK (mSS)	f
1	229.92	0.00004349	0.3086	4094.297	200	80	0.12	0.055213
2	174.87	0.00005718	0.4057	5382.556	305	106	0.199	0.052977
3	126.3	0.00007917	0.5617	7452.483	505	152	0.353	0.049022
4	113.1	0.00008841	0.6272	8322.262	610	176	0.434	0.048331
5	104.27	0.00009590	0.6803	9027.031	700	198	0.502	0.047515
6	95.27	0.00010496	0.7446	9879.793	810	222	0.588	0.046462
7	88.67	0.00011277	0.8000	10615.18	920	250	0.67	0.045860
8	80.16	0.00012475	0.8850	11742.11	1090	278	0.812	0.045423
9	75.48	0.00013248	0.9399	12470.16	1210	316	0.894	0.044341
10	73.09	0.00013681	0.9706	12877.93	1275	325	0.95	0.044182
11	67.33	0.00014852	1.0536	13979.62	1490	378	1.112	0.043886
12	64.37	0.00015535	1.1021	14622.47	1610	396	1.214	0.043792
13	63.16	0.00015832	1.1232	14902.60	1680	425	1.255	0.043585
14	58.64	0.00017053	1.2098	16051.30	1895	475	1.42	0.042509
15	56.73	0.00017627	1.2505	16591.72	2000	503	1.497	0.041942
16	54.9	0.00018214	1.2922	17144.78	2100	528	1.572	0.041248
17	52	0.00019230	1.3643	18100.92	2285	555	1.73	0.040725
18	50.6	0.00019762	1.4020	18601.74	2410	585	1.825	0.040679
19	48.64	0.00020559	1.4585	19351.32	2600	635	1.965	0.040472
20	47.3	0.00021141	1.4998	19899.54	2730	663	2.067	0.040260

Darcy-Weisbach sürtünme faktörü "f" ve Reynolds sayısı " R_e " arasındaki ilişki;

$$f = a R_e^b \quad [17]$$

şeklindeki üstel bir eşitlik olması nedeniyle bütün f ve R_e değerleri logaritma (ln) cinsinden programa girilmiştir. Bu durumda eşitlik;

$$\ln f = \ln a + b \ln R_e$$

şeklini almaktadır. Program çıktılarına örnek olması amacıyla A damlatıcısının $\Delta L = 0.60$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu lateral (ø16) için elde edilen program çıktısı Çizelge 8' de verilmiştir.

Program çıktısından da görüleceği gibi;

Korelasyon katsayısı ; $r = 0.99078$

İlişkinin katsayıları ; $b = -0.20217$, $\ln a = -1.20616$

olarak bulunmuştur. Bu $\ln a$ değerinden, $a = 0.29934$ olarak hesaplanmıştır. Böylece A damlatıcısının $\Delta L = 0.60$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu lateral için regresyon eşitliği; $f = 0.2993 R_e^{-0.2022}$ olarak bulunur (Çizelge 11).

Üzerine geçik tip damlatıcıların (A, D, E_1, E_2, F_1, F_2) yerleştirildiği I ve II nolu laterallerin de üzerine damlatıcı yerleştirilmeden önceki $f-R_e$ ilişkileri aynı yolla belirlenmiştir.

Denemeye alınan diğer damlatıcılı lateraller için de aynı yöntem yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır (Çizelge 13).

Çizelge 8. A damlatıcısının $\Delta L=0.60$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu lateralde ($\phi 16$), $f-R_e$ ilişkisinin regresyon analizi ile belirlenmesine ilişkin örnek program çıktısı

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. F SÜRTÜNME

Variable(s) Entered on Step Number
1.. RE REYNOLDS

Multiple R .99538
R Square .99078
Adjusted R Square .99027
Standard Error 8.685016E-03

Analysis of Variance

	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	1	.14597	.14597
Residual	18	.00136	.00008

F = 1935.12666 Signif F = .0000

* * * * MULTIPLE REGRESSION * * * *

Equation Number 1 Dependent Variable.. F SÜRTÜNME

----- Variables in the Equation -----

Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
RE	b= -.20217	4.59589E-03	-.99538	-43.990	.0000
(Constant)	lna= -1.20616	.04324		-27.891	.0000

End Block Number 1 All requested variables entered.

Ayrıca I, II, III ve IV nolu laterallerde elde edilen $f-R_e$ ilişkilerine ait regresyon doğruları tam logaritmik kağıt üzerinde gösterilmiştir (Şekil 18, 19 ve 20). Aynı şekiller üzerinde diğer bulunan sonuçlar ile kıyaslama yapabilmek amacıyla [5] numaralı Blasius eşitliğine ($f=0.3164 R_e^{-0.25}$) ait regresyon doğruları da verilmiştir.

İkinci aşamada; denemeye alınan damlatıcı tipine ve lateral çapına göre elde edilen $f-R_e$ ilişkisindeki f değeri ($f=aR_e^b = a(VD/\Psi)^b$), [3] numaralı eşitlikte yerine konarak ;

$$h_f = (a (VD/\Psi)^b) (L/D) (V^2/2g)$$

$$h_f = (a/(2g\Psi^b)) L (V^{2+b} / D^{1-b})$$

bu eşitlikte;

$$2+b = m$$

$$1-b = n$$

$$a/(2g\Psi^b) = K = \text{sabit (20°C su sıcaklığı için) alındığında;}$$

$$h_f = K L (V^m/D^n) \quad [18]$$

şeklindeki genel sürtünme kayıp eşitlikleri elde edilmiştir. Hesaplamalara örnek olması açısından A damlatıcısının $\Delta L=0.60$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu ($\phi 16$) lateral için bulunan;

$$f = 0.2993 R_e^{-0.2022}$$

eşitliği [3] numaralı Darcy-Weisbach eşitliğinde yerine konulduğunda;

$$m = 2+b = 2 + (-0.2022) = 1.7978$$

$$n = 1-b = 1-(-0.2022) = 1.2022$$

$$K = a/(2g\Psi^b) = 0.2993/(2 \cdot 9.81 + (1.01 \cdot 10^{-6})^{-0.2022}) = 9.3558 \cdot 10^{-4}$$

$$h_f = 9.3558 \cdot 10^{-4} L (V^{1.7978}/D^{1.2022})$$

bulunur. Böylece A damlatıcısının $\Delta L = 0.60$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu laterale (öl6) ait genel sürtünme kayıp eşitliği elde edilmiştir (Çizelge 14). Diğer deneme koşulları için de elde edilen sonuçlar aynı şekilde hesaplanmıştır (Çizelge 15 ve 16).

Ayrıca önceden belirlenen [18] numaralı genel sürtünme kayıp eşitliği ile [4] numaralı Hazen-Williams sürtünme kayıp eşitliği birbiri ile karşılaştırılarak, denemeye alınan damlatıcıların yer aldığı laterallerde, değişik damlatıcı aralıklarına ilişkin Hazen-Williams "C" pürüzlülük katsayıları belirlenmiştir. Örnek olarak ele alınan A damlatıcısının $\Delta L = 0.60$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu lateral için bulunan;

$$h_f = 9.3558 \cdot 10^{-4} L V^{1.7978} / D^{1.2022} \quad (18 \text{ numaralı eşitliğe göre hesaplanan})$$

eşitliği ile,

$$h_f = 6.784/C^{1.852} L V^{1.852} / D^{1.167} \quad [4]$$

Hazen-Williams eşitliği birbiri ile eşitlendiğinde;

$$9.3558 \cdot 10^{-4} L (V^{1.7978} / D^{1.2020}) = 6.784/C^{1.852} L (V^{1.852} / D^{1.167})$$

I nolu lateral iç çapı $D=0.0134$ m ve damlatıcı aralığı $L=\Delta L=0.60$ m değerleri yerine konulduğunda pürüzlülük katsayısı,

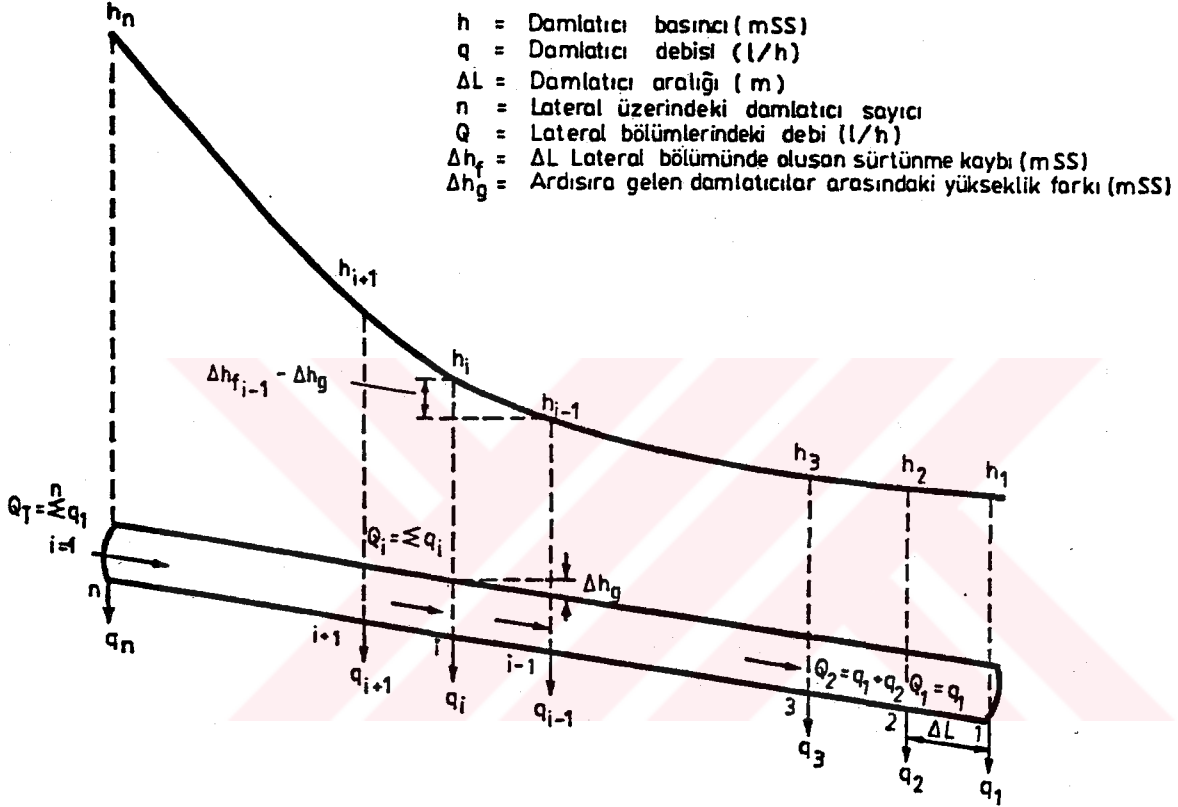
$$C = 111.906 V^{0.0293}$$

bulunur. Böylece her bir damlatıcısının yerleşik bulunduğu laterallerdeki değişik damlatıcı aralıklarına ait pürüzlülük katsayısı "C" hesaplanmış ve çizelgeler halinde verilmiştir (Çizelge 14,15 ve 16). Elde edilen Hazen-Williams pürüzlülük katsayıları (C)'nin ortalama akış hızına (V) göre değişimleri, grafikler halinde gösterilmiştir (Şekil 21,22 ve 23).

3.2.3 Lateral Uzunluklarının Belirlenmesi

3.2.3.1 Lateral Boyunca Basınç, Debi Dağılımı ve Christiansen Azaltma Faktörlerinin (F) Belirlenmesi

Damla sulama laterallerinde basınç ve debi dağılımı ile bu dağılıma neden olan etmenler Şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 14. Damla sulama laterallerinde oluşan basınç ve debi dağılımı

Şekil 14'den de görüleceği gibi lateralin herhangi bir bölümündeki i. damlatıcısının bulunduğu yerdeki basınç;

$$h_i = h_{i-1} + \Delta h_{f_{i-1}} \mp \Delta h_g \quad [19]$$

burada; $\Delta h_{f_{i-1}}$: i. damlatıcıdaki sürtünme kaybı (lateraldeki sürtünme kaybının hesaplanmasında lateralin sonu başlangıç noktası alınmıştır), Δh_g : meyilden dolayı oluşan kayıp yüksekliği yani ardisıra gelen damlatıcılar arasındaki yükseklik farkıdır.

Hesaplamalarda bu değer yukarı doğru eğimde pozitif (+) ve aşağı doğru eğimde negatif (-) olarak alınmıştır. Eğimsiz durumda ise dikkate alınmamıştır. Yine Şekil 14 izlenerek i. damlatıcı debisi ([1] numaralı eşitlikten);

$$q_i = k h_i^x \quad [20]$$

ve i.lateral bölümündeki debi;

$$Q_i = \sum_{i=1}^n q_i \quad [21]$$

şeklindedir (29,30,43). Ayrıca belirli bir lateral çapı ve damlatıcı aralığı için belirlenen [18] numaralı genel sürtünme kayıp eşitliğinin damlatıcı aralıklarına göre düzenlenmesiyle;

$$\Delta h_{f_{i-1}} = K \Delta L (V_i^m / D^n)$$

şeklindeki eşitlik bulunur. Bu eşitlikte V_i yerine süreklilik denklemindeki $V_i = Q_i / A = Q_i / (3.6 \cdot 10^6 \pi D^2 / 4) (l/h)$ değeri konduğunda;

$$\Delta h_{f_{i-1}} = K \Delta L (Q_i^m / ((3.6 \cdot 10^6 \pi D^2 / 4)^m D^n)) \quad [22]$$

bulunur. Denemeye alınan her bir lateral için damlatıcı aralığı ve lateral çapı belirli olduğundan;

$$(K \Delta L) / ((3.6 \cdot 10^6 \pi D^2 / 4)^m D^n) = K_1 = \text{sabit}$$

olacaktır. Her lateral bölümündeki yani ardısıra gelen damlatıcılar arasındaki sürtünme kayıpları için de;

$$\Delta h_{f_{i-1}} = K_1 Q_i^m \quad [23]$$

bulunur. Böylece her bir damlatıcı aralığında debiye bağlı olarak sürtünme kayıp eşitlikleri elde edilmiştir (Çizelge 14,15 ve 16).

Bu bölümdeki bütün hesaplamalar, BASIC programlama dilinde hazırlanan bir bilgisayar programı yardımıyla IBM PS/2 Model 55 bilgisayar kullanılarak yapılmıştır. Hesaplamalar için hazırlanan bilgisayar programı Ek-1'de verilmiştir. Programın girdileri sırası ile şu şekildedir;

- Damlatıcı basınç-debi ilişkileri için denemelerle belirlenen k ve x değerleri (Çizelge 10)
- Her bir lateral ve damlatıcı aralığı için bulunan K_1 ve m katsayıları (Çizelge 14,15 ve 16)
- Lateral sonu basınç değerleri (h_1); 10,15,20,25 ve 30 mSS değerleri)
- Lateralin eğimsiz, düzgün aşağı eğimli ve düzgün yukarı eğimli olmak üzere % 2, % 4, % 6, % 8 ve % 10 eğim (E) değerleri.

Programın çalıştırılması ile ardısıra gelen her damlatıcı (i) için elde edilen çıktılar; damlatıcının bulunduğu yerdeki lateral basıncını (h_i), damlatıcı debilerini (q_i), her lateral bölümündeki toplam debiyi (Q_i), Christiansen eşdağılım katsayılarını (Cu), damlatıcı debi değişimlerini ($q_{\text{değişim}} = (q_{\text{max}} - q_{\text{min}}) / q_{\text{max}}$) ve Christiansen azaltma faktörlerini (F) içine almaktadır (Çizelge 17,18 ve 19).

Eşdağılım katsayısının alt sınır için programa istenilen sınır değer girilebilmektedir. Çeşitli araştırmacılar, eşdağılım katsayısının $Cu \geq 97.5$ alınmasını önermişlerdir (29,38). Fakat hesaplamalarda değişimi görebilmek amacıyla basınç dengeleme özelliği bulunmayan (basınç dengeleyicisiz) A, B ve C damlatıcılarının yer aldığı lateraller (I,III ve IV) için alt sınır $Cu \geq 90$, basınç dengeleyicili D,E₁,E₂,F₁ ve F₂ damlatıcılarının bulunduğu lateraller (I ve II) için de alt sınır $Cu \geq 95$ alınmıştır.

Yapılan hesaplamalara örnek olması amacıyla iç çapı $D=0.0134$ m olan I nolu laterale, damlatıcı aralığı $\Delta L=0.60$ m olarak yerleştirilen A damlatıcısı ele alındığında, bu damlatıcı için belirlenen genel sürtünme kayıp eşitliğinde (Çizelge 14);

$$h_f = 9.3558 \cdot 10^{-4} \Delta L (V^{1.7978} / D^{1.2022}),$$

olarak bulunmuştur. Bu eşitlikteki K,m,n değerleri [22] numaralı eşitlikte yerine konursa;

$$h_f = [(9.3558 \cdot 10^{-4} \cdot 0.60 \cdot Q_i^{1.7978}) / (13.6 \cdot 10^6 \cdot (0.0134)^2 / 4)^{1.7978} (0.0134)^{1.2022}],$$

$$h_f = 1.3712 \cdot 10^{-6} Q_i^{1.7978}$$

bulunur. Böylece debiye bağlı sürtünme kayıp eşitliği elde edilmiştir (Çizelge 14).

Denemeye alınan değişik tipteki damlatıcıların yer aldığı laterallerde, farklı damlatıcı aralıkları için lateraldeki basınç, debi ve sürtünme kayıpları [19],[20],[21] ve [23] numaralı eşitlikler kullanılarak, ardısıra gelen damlatıcılarda adımlama yolu ile hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, Howell ve Hiler (20), Korukçu (29) ve Tüzel (38) tarafından belirtilen esaslardan yararlanmak suretiyle yapılmıştır. Söz konusu değerler, lateral sonundaki belirli bir damlatıcı basınç değerinden başlayarak, damlatıcı debisi, ardısıra gelen damlatıcılar arasında kalan lateral bölümündeki debi ve lateral sürtünme kayıpları, farklı lateral eğimleri de dikkate alınarak belirlenmiştir.

Aynı zamanda, her hesaplama kademesinde damlatıcı debilerinde oluşan değişimi belirlemek için Christiansen eşdağılım katsayıları (Cu) [12] numaralı eşitlik ve damla sulama laterallerinde toplam sürtünme kayıplarının belirlenmesinde yararlanılan Christiansen azaltma faktörleri (F)'de [9] numaralı eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır..

3.2.3.2 Basınç ve Debi Dağılımına Göre Lateral Uzunluklarının Belirlenmesi

Yerli ve yabancı yapım damlatıcıların yer aldığı lateralere ilişkin, optimum lateral uzunluklarının belirlenmesinde, basınç ve debi dağılımının hesaplanmasında kullanılan programdan yararlanılarak bir alt program hazırlanmıştır (Ek-2). Bu programın girdileri olarak 3.4.1 bölümünde alınan girdiler aynen alınmış, yalnız hazırlanan program, lateral giriş basıncı (h_i) olarak alınan değerlere göre hesap yapacak şekilde düzenlendiği için, 10,15,20,25 ve 30 mSS değerleri, lateral giriş basıncı (h_i) olarak alınmıştır. Program çıktı değerlerinden optimum lateral uzunlukları belirlenerek, çizelgeler halinde verilmiştir. Çizelgeler, laterallerde yer alan damlatıcı (basınç dengeleyicisiz ve dengeleyicili) tipine göre aşağıda belirtildiği gibi oluşturulmuştur.

- Basınç dengeleme özelliği bulunmayan (basınç dengeleyicisiz) A, B ve C damlatıcılarının yer aldığı I, III ve IV nolu laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesi için ilk aşamada $q_{\text{değişim}}$ ile Christiansen eşdağılım katsayısı (C_u) arasındaki ilişki belirlenmiştir (Çizelge 17 ve Şekil 24). Buna göre, damlatıcı debi değişiminin ($q_{\text{değişim}}$) lateral değişik eğim derecelerinde damlatıcı debilerindeki değişimi tam olarak göstermemesi nedeniyle bu tip damlatıcılı laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesinde Christiansen eşdağılım katsayısı kullanılarak, katsayıya ilişkin alt sınırın damlatıcı debi değişiminin $q_{\text{değişim}} = 0.10$ değerine karşılık gelen $C_u = 97.5$ alınmasına karar verilmiştir. İkinci aşamada, denemelerle belirlenen ve Korukçu (29), Tüzel (38) tarafından önerilen Christiansen eşdağılım katsayısının $C_u > 97.5$ değeri esas alınarak Ek-2'de verilen program yardımıyla çizelgeler oluşturulmuştur (Çizelge 21, 22 ve 23). Çizelgelerin oluşturulmasına

örnek olması amacıyla, I nolu laterale $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığı ile yerleştirilen basınç dengeleyicisiz A damlatıcısına ait program çıktısı Ek-3'te verilmiştir. Bu örnekte lateral giriş basıncı $h_1=10$ mSS olarak program çalıştırıldığında, $Cu \geq 97.5$ değerinde program duracaktır. Bu durumdaki damlatıcı $i=98$ ile damlatıcı aralığı $\Delta L=0.90$ m çarpılarak, optimum lateral uzunluğu $L=98 \cdot 0.90 = 88.20$ m bulunmuştur. Bu işlem diğer damlatıcı tipi ve aralıkları için de aynı şekilde yapılmıştır.

- Basınç dengeleme özelliği bulunan (basınç dengeleyicili) D, E₁, E₂, F₁ ve F₂ damlatıcılarının yerleştirildiği I ve II nolu laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesinde Ek-2' de verilen bir alt programdan yararlanılmıştır. Bu tip damlatıcılarda, basınç dengeleme görevini yapan membran üzerinde bir basınç olmadığı veya çok düşük basınç olması halinde membran serbest halde kalmaktadır. Bunun sonucu membran ile gövde arasında bulunan su akış kanalından su rahatça geçebilmekte ve damlama yerine sızıntı şeklinde bir su akışı olmaktadır. Bu durumda, membran yapım özelliği nedeniyle çok düşük basınçlarda basınç dengeleme görevini tam olarak yerine getirememekte, dolayısıyla damlatıcı randımanlı olarak çalışmamaktadır. Bu nedenle lateral sonundaki basıncın (h_1) çok düşük olmaması istenir. Denemelerde kullanılan en düşük basınçta ($h=5$ mSS) bu tip damlatıcının basınç dengelemesi yapması nedeniyle, söz konusu değer lateral sonu basıncı olarak kabul edilmiştir. Basınç dengeleyicili damlatıcıların yerleştirildiği laterallerin optimum uzunlukları, lateral sonu basıncı $h_1 \geq 5$ mSS ve $Cu \geq 97.5$ koşulları birlikte kontrol edilerek belirlenmiş ve sonuçlar çizelgeler halinde verilmiştir (Çizelge 24,25,26,27 ve 28). I nolu laterale $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığı ile yerleştirilmiş basınç dengeleyicili D damlatıcısına ait program çıktısı Ek-4'te verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Damlatıcı Basınç-Debi İlişkisine Ait Bulgular ve Tartışma

Denemeye alınan ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan farklı özellikteki yerli ve yabancı yapım damlatıcılarının, değişik çalışma basınçlarında ve her bir çalışma basıncında aynı özellikteki 30 damlatıcının debi değerleri ölçülmüştür. Her damlatıcı tipine ilişkin ölçüm sonuçları yöntem bölümünde açıklandığı şekilde değerlendirilerek, damlatıcıların basınç-debi ilişkileri ve yapım özellikleri incelenmiştir.

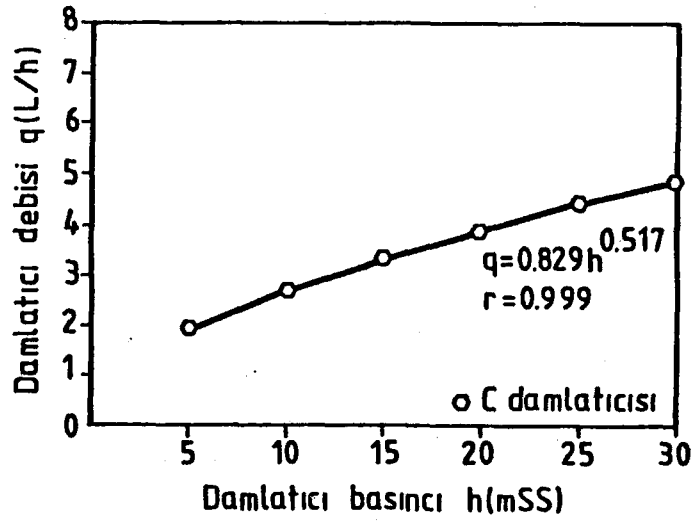
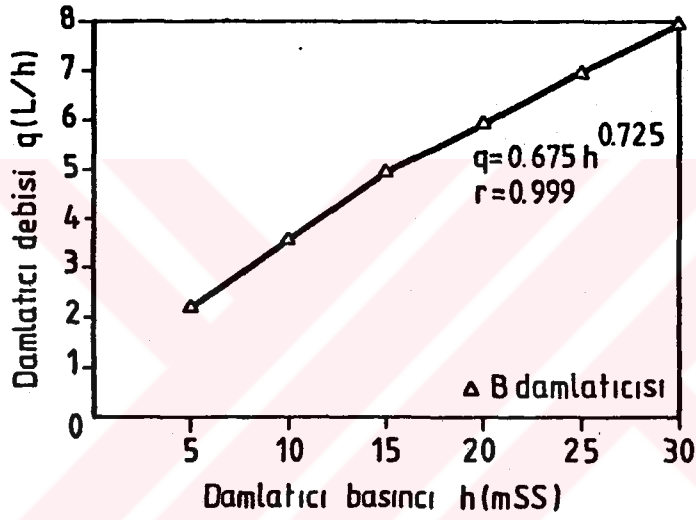
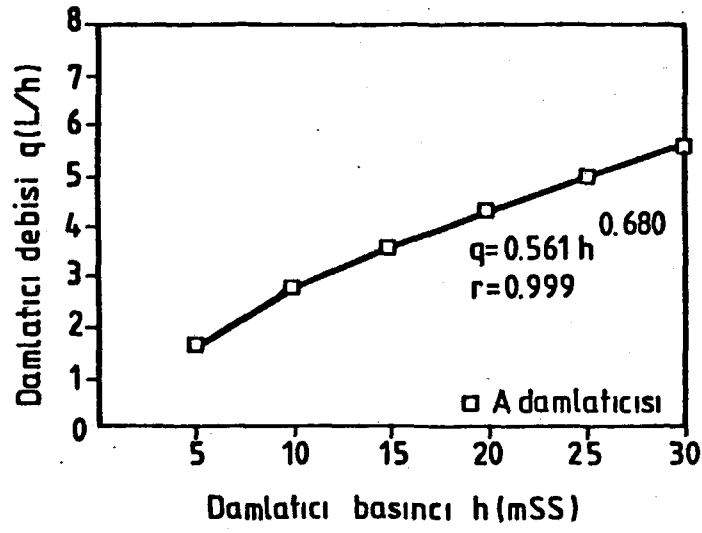
Araştırmaya konu olan ve simgelerle ifade edilen damlatıcıların ($A, B, C, D, E_1, E_2, F_1$ ve F_2) değişik çalışma basınçlarında (h) ölçülen debi değişim aralıkları ($q_{min} - q_{max}$), ortalama debi değerleri ($\bar{q}$) ve debi değişimlerine ilişkin varyasyon katsayısı (VK) değerleri Çizelge 9'da verilmiştir.

Ayrıca uzun akış yollu, basınç dengeleme özelliği bulunmayan (basınç dengeleyicisiz) A, B ve C damlatıcıları için basınç-debi ilişkileri Şekil 15'de ve kısa akış yollu basınç dengeleme özelliğindeki (basınç dengeleyicili) D, E_1-E_2 ve F_1-F_2 damlatıcıları için basınç-debi ilişkileri Şekil 16'da gösterilmiştir.

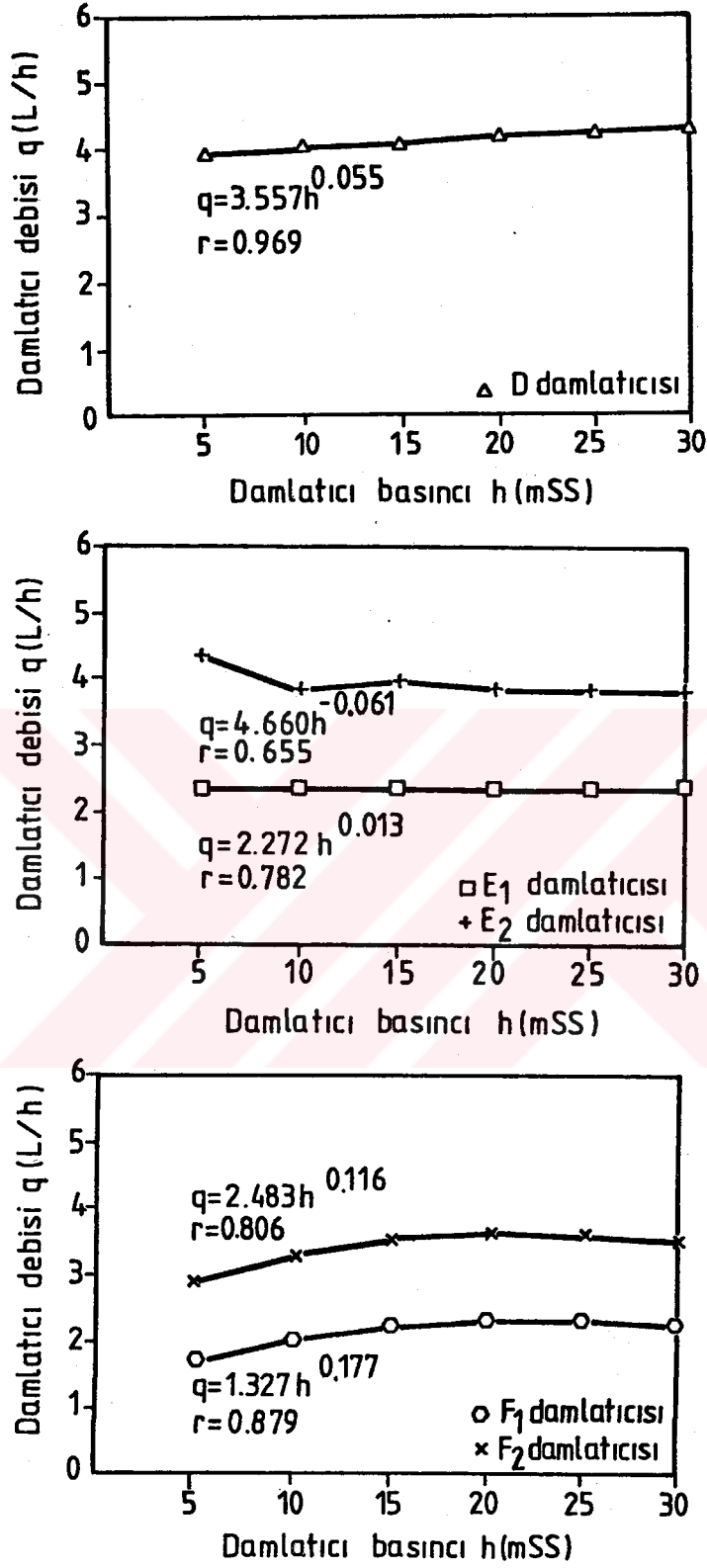
Çizelge 9 ve Şekil 15'in incelenmesinden de görüleceği gibi denemeye alınan uzun akış yollu A, B ve C damlatıcılarının debileri basınçla artmaktadır. Buradan hareketle A, B ve C damlatıcılarının basıncı dengeleme özelliğinin bulunmadığı söylenebilir. Fakat bu damlatıcılar haricinde kalan kısa akış yoluna sahip D, E_1-E_2 ve F_1-F_2 damlatıcılarının debileri, basınç artışı ile önemli oranda değişmemektedir (Şekil 16).

Çizelge 9. Denemelerde kullanılan yerli ve yabancı yapılm damlatıcıların değişik çalışma basınçlarında (h) ölçülen, debi değişim aralıkları ($q_{\min} - q_{\max}$), ortalama debi değerleri ($\bar{q}$) ve debi değişimlerine ilişkin varyasyon katsayısı (UK) değerleri

	A Damlatıcısı			B Damlatıcısı			C Damlatıcısı			D Damlatıcısı		
Çalışma Basıncı h (mSS)	Debi (l/h)			Debi (l/h)			Debi (l/h)			Debi (l/h)		
	$q_{\min} - q_{\max}$	$\bar{q}$	(%)	$q_{\min} - q_{\max}$	$\bar{q}$	(%)	$q_{\min} - q_{\max}$	$\bar{q}$	(%)	$q_{\min} - q_{\max}$	$\bar{q}$	(%)
5	1.48 - 1.84	1.649	4.611	2.04 - 2.29	2.163	2.035	1.88 - 2.00	1.923	1.286	3.60 - 4.21	3.909	4.246
10	2.43 - 2.98	2.742	4.416	3.40 - 3.75	3.562	2.053	2.63 - 2.78	2.702	0.986	3.49 - 4.59	4.018	5.438
15	3.14 - 3.93	3.588	4.827	4.65 - 5.15	4.890	2.219	3.25 - 3.40	3.318	1.030	3.56 - 4.95	4.082	7.086
20	3.85 - 4.68	4.301	4.846	5.63 - 6.20	5.928	2.158	3.78 - 3.99	3.870	1.072	3.57 - 4.78	4.204	6.228
25	4.40 - 5.50	5.001	4.903	6.68 - 7.29	6.939	2.016	4.32 - 4.55	4.418	0.842	3.71 - 4.85	4.261	6.734
30	4.93 - 6.13	5.602	5.162	7.60 - 8.28	7.919	2.086	4.70 - 4.95	4.836	1.084	3.68 - 4.86	4.302	6.844
	E_1 Damlatıcısı			E_2 Damlatıcısı			F_1 Damlatıcısı			F_2 Damlatıcısı		
5	1.98 - 2.70	2.325	6.633	3.50 - 5.10	4.359	9.441	1.39 - 2.00	1.694	8.963	2.15 - 3.70	2.896	10.773
10	2.00 - 2.60	2.338	4.535	3.45 - 4.20	3.838	4.891	1.50 - 2.39	2.042	11.159	2.32 - 4.10	3.299	13.618
15	2.14 - 2.61	2.342	5.052	3.65 - 4.55	3.971	4.895	1.55 - 2.78	2.246	13.806	2.48 - 4.70	3.533	16.706
20	2.15 - 2.53	2.344	4.373	3.50 - 4.28	3.941	4.312	1.58 - 3.15	2.337	16.309	2.52 - 4.88	3.646	17.004
25	2.17 - 2.60	2.377	4.404	3.45 - 4.24	3.851	4.374	1.51 - 3.12	2.333	17.778	2.35 - 4.90	3.592	18.562
30	2.18 - 2.60	2.379	4.247	3.40 - 4.22	3.855	4.896	1.45 - 3.10	2.279	20.139	2.32 - 4.90	3.491	20.339



Şekil 15. Uzun akış yolu, basınç dengeleyicisiz A,B ve C damlatıcılarının basınç-debi ilişkileri



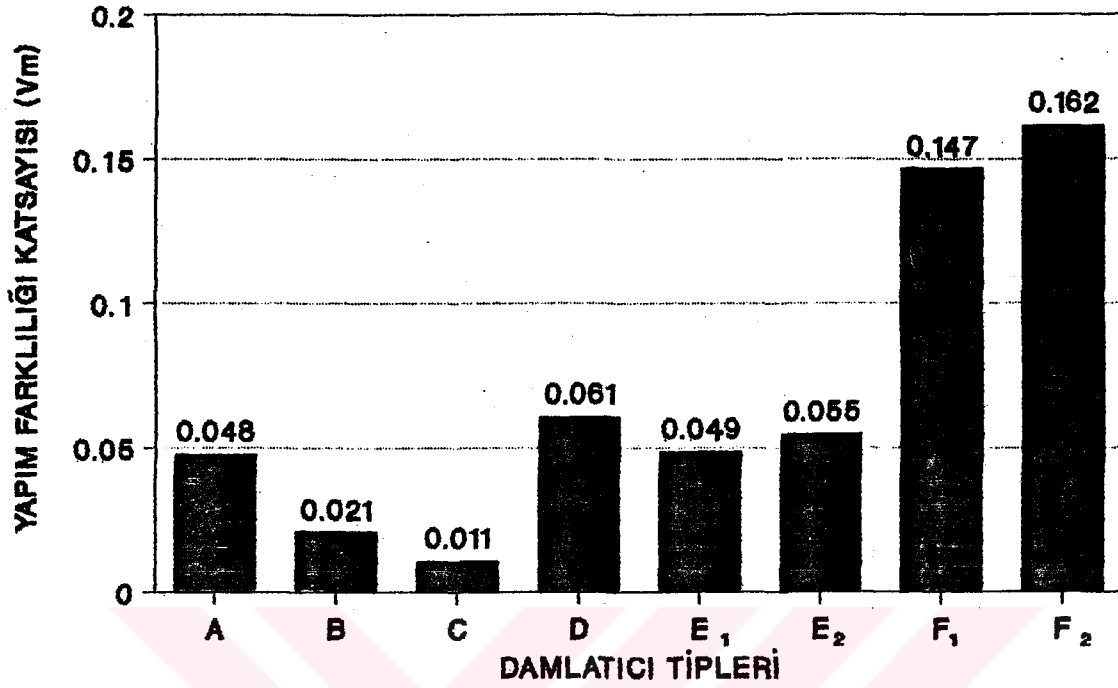
Şekil 16. Kısa akış yollu, basınç dengeleyicili D, E₁-E₂ ve F₁ - F₂ damlatıcılarının basınç-debi ilişkileri

Basınç-debi ilişkisini veren [1] eşitliğindeki damlatıcı boyutlarını karakterize eden "k" ve akış rejimini karakterize eden (akış üssü) "x" parametreleri ve ilişkilerin korelasyon katsayısı (r) ile Pitts ve ark. (33)'nın belirttiği şekilde her bir damlatıcı için bütün çalışma basınçlarında elde edilen varyasyon katsayılarının ortalaması olan yapım farklılığı katsayısı (V_m) değerleri Çizelge 10 da verilmiştir.

Çizelge 10. Denemeye alınan damlatıcıların basınç-debi ilişkisini ($q=k h^x$) veren damlatıcı parametreleri (k,x), bu ilişkinin korelasyon katsayısı (r) ve yapım farklılığı katsayısı (V_m) değerleri

Damlatıcı tipi	Damlatıcı parametreleri		r	Yapım farklılığı katsayısı V_m
	k	x		
A	0.561	0.680	0.999	0.048
B	0.675	0.725	0.999	0.021
C	0.829	0.517	0.999	0.011
D	3.557	0.055	0.969	0.061
E ₁	2.272	0.013	0.782	0.049
E ₂	4.660	-0.061	0.655	0.055
F ₁	1.327	0.177	0.879	0.147
F ₂	2.483	0.116	0.806	0.162

Ayrıca denemelerde kullanılan damlatıcıların, tiplerine göre yapım farklılığı katsayıları (V_m) Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17. Denemelerde kullanılan damlatıcıların, tiplerine göre yapım farklılığı katsayıları (V_m)

Çizelge 10'un incelenmesinden de görüleceği gibi akış üssü değerleri, B damlatıcısı için bulunan en yüksek $x=0.725$ değeri ile E₂ damlatıcısı için bulunan en düşük $x=-0.061$ değeri arasında bulunmuştur. Akış üssü değerinin negatif olması, basınç artışına karşılık debinin azalmasını göstermektedir (33). Ayrıca Çizelge 10 ve Şekil 17'den görüleceği gibi yapım farklılığı katsayıları en yüksek $V_m = 0.162$ (F₂ damlatıcısı) ile en düşük $V_m = 0.011$ (C damlatıcısı) değerleri arasında bulunmuştur.

Uzun akış yollu basınç dengeleyicisiz A, B ve C damlatıcılarının akış üssü değerleri Çizelge 10'dan da görüleceği gibi $x > 0.5$ olduğundan, bu damlatıcılarda oluşan akış rejiminin türbülanslı (Şekil 2) olduğu sonucuna

varılmıştır. Bu sonuçlar Korukçu (29) ve Tüzel (38)'in [1] numaralı eşitliği kullanarak, uzun akış yollu basınç dengeleyicisiz damlatıcılarla yaptıkları çalışmanın sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Kısa akış yollu basınç dengeleyicili D, E_1, E_2, F_1 ve F_2 damlatıcılarından F_1 ve F_2 haricindeki damlatıcıların akış üssü değerleri $x=0.0$ koşuluna (Şekil 2) oldukça yakındır (Çizelge 10). D ve E_1 damlatıcıları 5-30 mSS, E_2 damlatıcısı da 7-30 mSS basınç değişim aralığında hemen hemen tümüyle basınç dengeleme özelliği göstermektedir (Şekil 16). Yani bu basınç değişim bölgesinde, damlatıcı debilerinin değişimi önemsiz sayılacak kadar azdır. Bu durum damlatıcıların tümüyle (tam) basınç dengeleme koşuluna (Şekil 2) uyum sağladığını göstermektedir (7,23).

Kısa akış yollu olan E_2 damlatıcısının akış üssü değeri negatif (-0.061) olarak bulunmuştur (Çizelge 10). Bunun nedenini Pitts ve ark.(33)'nın da belirttiği gibi, yapılan ölçümler sırasında sürekli olmayan akış ve lateral eğiminden kaynaklanan ölçüm hataları oluşturmaktadır. Bu da ilişkinin korelasyon katsayısının düşüklüğü (Çizelge 10) ve varyasyon katsayılarının yüksekliği ile açıkça görülmektedir (Çizelge 9).

Yerli yapım olan kısa akış yollu F_1 ($x=0.177$) ve F_2 ($x=0.116$) damlatıcılarında akış üssü değerleri birbirine yakın olup $x=0.0$ koşuluna D, E_1 ve E_2 damlatıcıları kadar yakın olmamakla beraber kısmen de olsa basıncı dengeleme özelliğine sahiptirler (Şekil 16). Fakat söz konusu damlatıcıların tam olarak basıncı dengeleme özelliği göstermemeleri nedeniyle, damlatıcı debileri basınç değişimlerinden az da olsa etkilenecektir. Bu durum, F_1 ve F_2 damlatıcılarının yerleştirildiği laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesinde dikkate alınmalıdır.

F_1 ve F_2 damlatıcılarında görülen bu farklılık Çizelge 10 ve Şekil 17'nin incelenmesiyle anlaşılabileceği gibi, damlatıcıların üretimi esnasında meydana gelen hataların oluşturduğu yapım farklılığı katsayılarının yüksek olması ile açıklanabilir. Ayrıca F_1 ($V_m = 0.147$) ve F_2 ($V_m = 0.162$) damlatıcıları, Solomon (33,34) tarafından, Çizelge 1'de belirtilen sınıflandırmaya göre çok kötü sınıfa girmektedir. Denemeye alınan diğer damlatıcılardan A,D,E₁ ve E₂ damlatıcılarının orta sınıfa ve yerli yapım olan B ile yabancı yapım olan C uzun akış yollu damlatıcılarının da mükemmel sınıfa girdiği sonucu çıkarılabilir.

4.2 Damla Sulama Laterallerinde Sürtünme Kayıplarına İlişkin Bulgular ve Tartışma

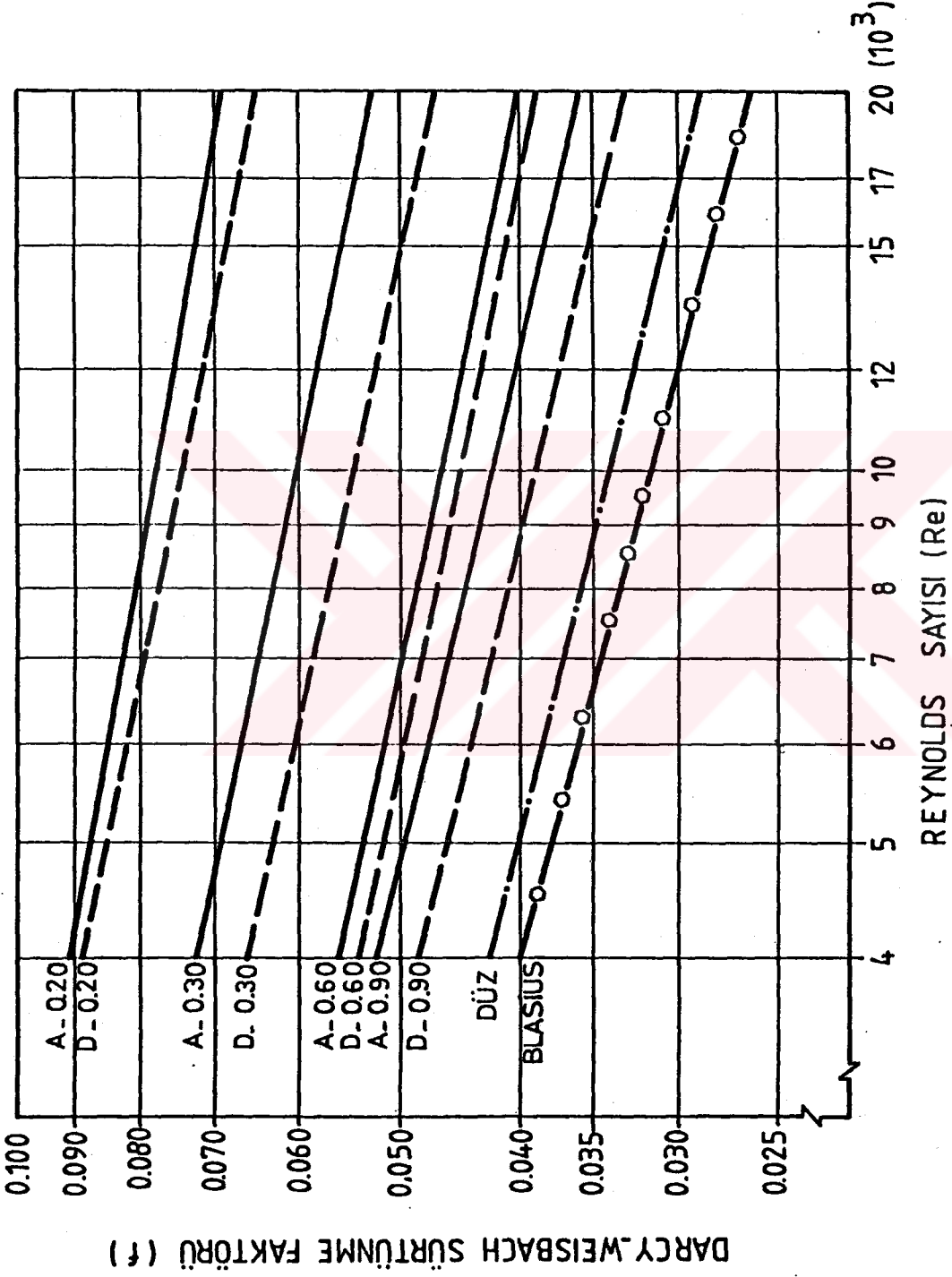
Ülkemizde yaygın olarak kullanılan yerli ve yabancı yapım damlatıcıların yerleştirildiği veya yer aldığı düz boru (lateral) tipi seçilerek, damlatıcısız ve farklı damlatıcı aralıklarındaki laterallerde denemeler yapılmıştır. Her denemeye ilişkin Darcy-Weisbach sürtünme faktörleri (f) ile Reynolds sayıları (R_e), yöntem bölümünde açıklandığı şekilde hesaplanmıştır. Her bir lateralde, değişik damlatıcı aralıkları için elde edilen Reynolds sayıları ile bu sayılara karşılık gelen Darcy-Weisbach sürtünme faktörleri arasındaki ilişkiler belirlenmiş ve $f-R_e$ ilişkileri çizelgeler halinde (Çizelge 11,12 ve 13) verilmiştir. Ayrıca bu ilişkiler tam logaritmik kağıt üzerinde regresyon doğruları halinde gösterilmiştir (Şekil 18,19 ve 20). Şekiller üzerinde karışıklığa neden olmamak amacıyla damlatıcılar simgelerle ve yanlarına damlatıcı aralıkları belirtilerek gösterilmiştir. Ayrıca bütün şekiller üzerinde [5]

numaralı Blasius eşitliğine göre elde edilen $f-R_e$ ilişkisine ait regresyon doğrusu da gösterilmiştir.

Farklı damlatıcı aralıklarında üzerine geçik A ve D damlatıcılarının yerleştirildiği I nolu laterallere ait $f-R_e$ ilişkileri ile korelasyon katsayıları (r) Çizelge 11'de ve aynı $f-R_e$ ilişkilerine ait regresyon doğruları Şekil 18'de verilmiştir.

Çizelge 11. I nolu laterallerde (ø16), damlatıcı yerleştirilmemiş durumda ve üzerine geçik A ve D damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen $f-R_e$ ilişkileri, ilişkilerin korelasyon katsayıları (r)

Damlatıcı tipi	Damlatıcı aralığı (m)	$f-R_e$ ilişkisi ($f = a R_e^b$)	r
Damlatıcı yerleştirilmemiş lateral (düz)		$f=0.3237 R_e^{-0.2442}$	0.989
A	0.90	$f=0.3456 R_e^{-0.2280}$	0.990
	0.60	$f=0.2993 R_e^{-0.2022}$	0.991
	0.30	$f=0.3683 R_e^{-0.1961}$	0.978
	0.20	$f=0.3886 R_e^{-0.1746}$	0.984
D	0.90	$f=0.3382 R_e^{-0.2348}$	0.987
	0.60	$f=0.2759 R_e^{-0.1973}$	0.986
	0.30	$f=0.3545 R_e^{-0.2035}$	0.983
	0.20	$f=0.4809 R_e^{-0.2029}$	0.996

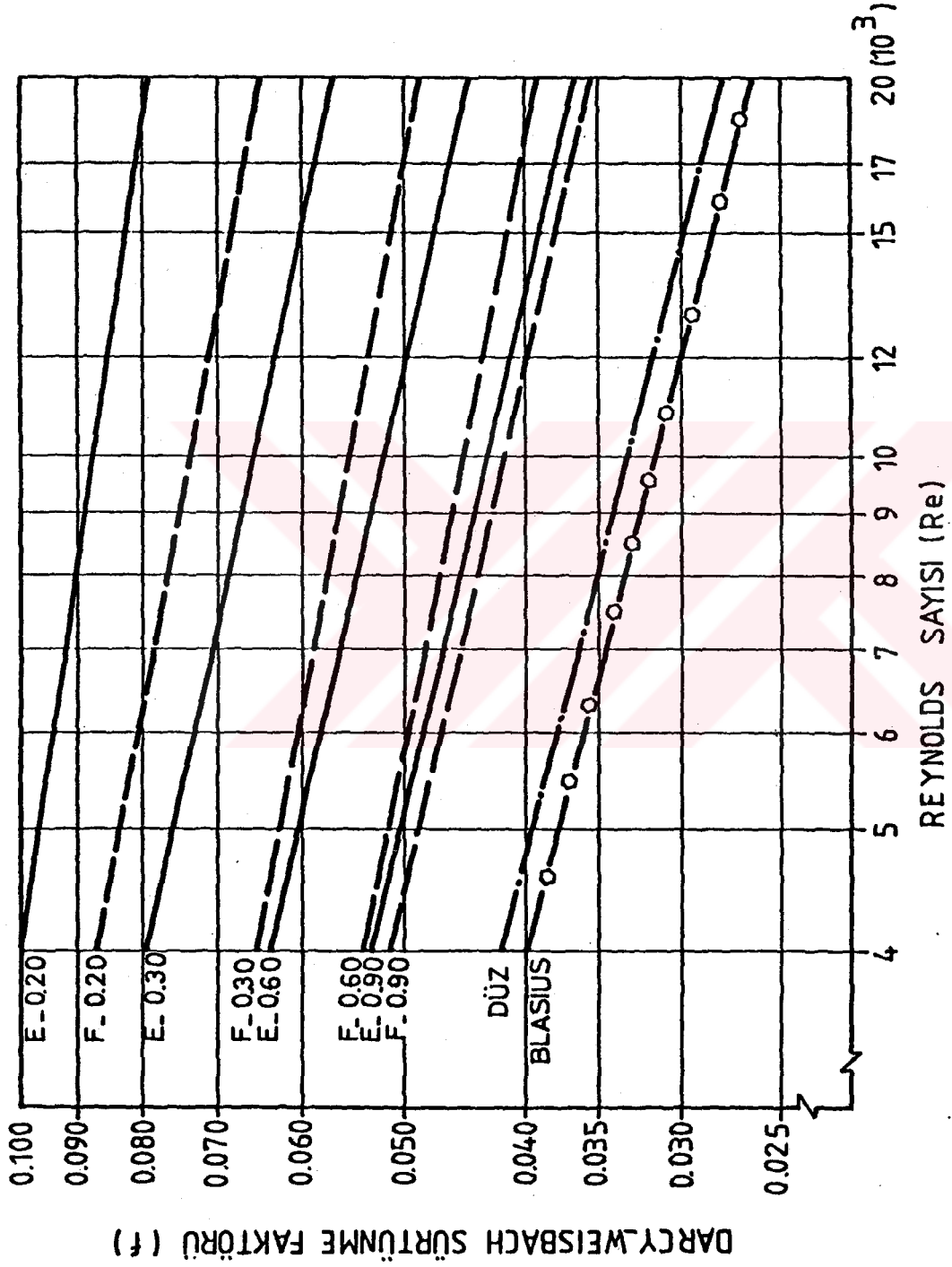


Şekil 18. I nolu laterallerde ($\phi 16$), damlatıcı yerleştirilmemiş (düz) durumda ve üzerine geçik A ve D damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen Darcy-Weisbach sürtünme faktörü-Reynolds sayısı ilişkileri

Lateral içinde kalan kısımlarının aynı olması nedeniyle üzerine geçik E_1-E_2 damlatıcıları E ve F_1-F_2 damlatıcıları F olarak simgelenmiştir ve bu damlatıcıların yerleştirildiği II nolu laterallere ait $f-R_e$ ilişkileri ile korelasyon katsayıları (r) Çizelge 12'de ve aynı ilişkilere ait regresyon doğruları Şekil 19'da verilmiştir.

Çizelge 12. II nolu laterallerde (ø15), damlatıcı yerleştirilmemiş durumda ve üzerine geçik E ve F damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen $f-R_e$ ilişkileri, ilişkilerin korelasyon katsayıları (r)

Damlatıcı tipi	Damlatıcı aralığı (m)	$f-R_e$ ilişkisi ($f = a R_e^b$)	r
Damlatıcı yerleştirilmemiş lateral (düz)		$f=0.3368 R_e^{-0.2514}$	0.990
E	0.90	$f=0.3687 R_e^{-0.2330}$	0.987
	0.60	$f=0.4075 R_e^{-0.2236}$	0.995
	0.30	$f=0.4421 R_e^{-0.2066}$	0.990
	0.20	$f=0.6436 R_e^{-0.2132}$	0.991
F	0.90	$f=0.3441 R_e^{-0.2290}$	0.990
	0.60	$f=0.2812 R_e^{-0.1989}$	0.993
	0.30	$f=0.3036 R_e^{-0.1848}$	0.994
	0.20	$f=0.3868 R_e^{-0.1797}$	0.977



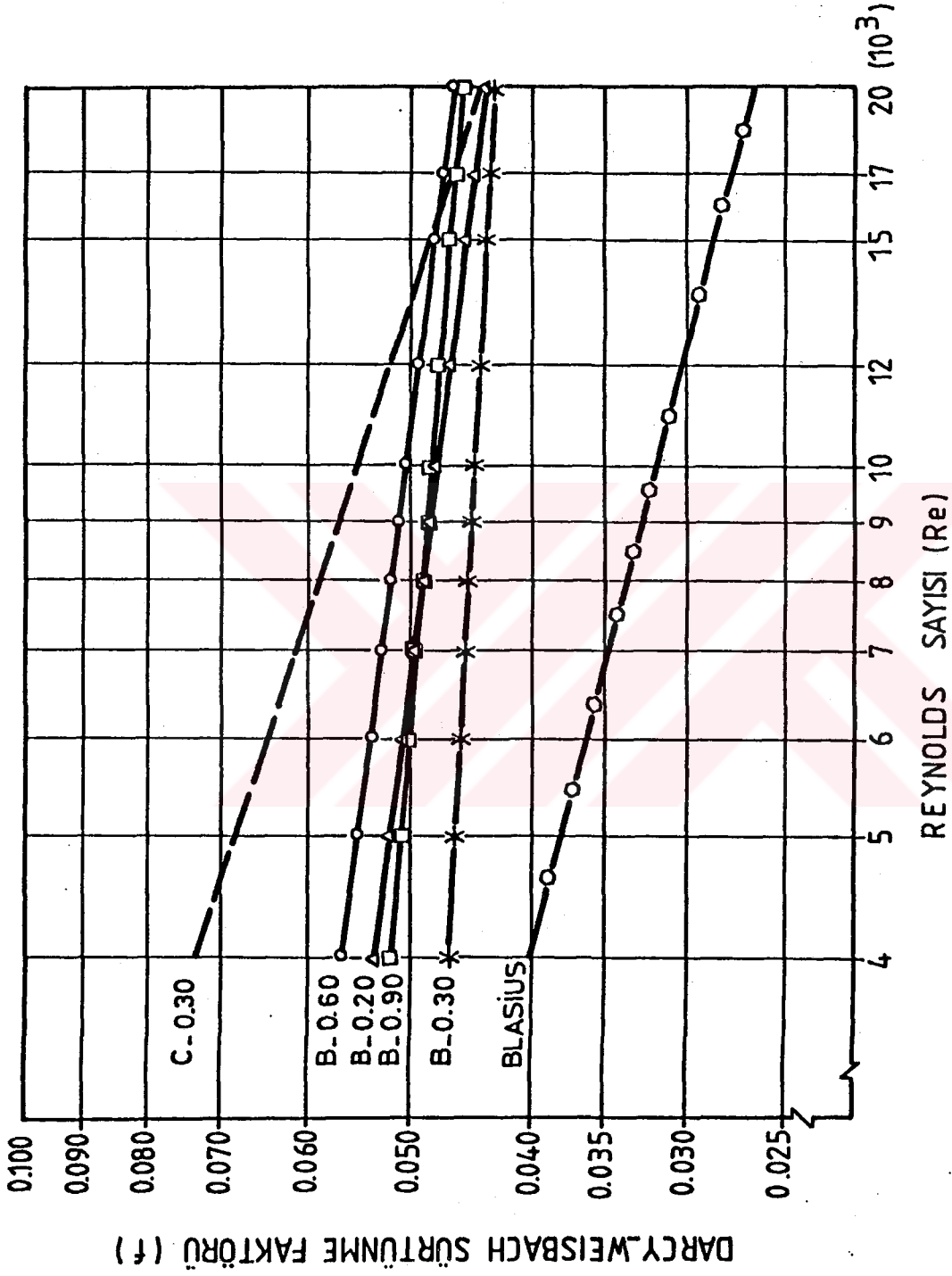
Şekil 19. II nolu laterallerde ($\phi 15$), damlatıcı yerleştirilmemiş (düz) durumda ve üzerine geçik E ve F damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen Darcy-Weisbach sürtünme faktörü-Reynolds sayısı ilişkileri

Boylamasına geçik B damlatıcısının yer aldığı III nolu laterallere ve yine boylamasına geçik C damlatıcısının yer aldığı IV nolu laterale ait $f-R_e$ ilişkileri ile korelasyon katsayıları (r) Çizelge 13'de ve aynı ilişkilere ait regresyon doğruları Şekil 20'de verilmiştir.

Çizelge 13. III nolu laterallerde (ø20), boylamasına geçik B damlatıcısının değişik damlatıcı aralıkları ve IV nolu lateralde (ø16) boylamasına geçik C damlatıcısının bir tek damlatıcı aralığında belirlenen $f-R_e$ ilişkileri, ilişkilerin korelasyon katsayıları (r)

Damlatıcı tipi	Damlatıcı aralığı (m)	$f-R_e$ ilişkisi ($f = a R_e^b$)	r
B	0.90	$f=0.0977 R_e^{-0.0772}$	0.943
	0.60	$f=0.1563 R_e^{-0.1230}$	0.990
	0.30	$f=0.0697 R_e^{-0.0491}$	0.947
	0.20	$f=0.1449 R_e^{-0.1220}$	0.883
C	0.30	$f=0.9642 R_e^{-0.3114}$	0.991

Denemeye alınan lateral çapları ve damlatıcı aralıkları ile düz boru (damlatıcısız) koşulları için elde edilen Darcy-Weisbach sürtünme faktörü-Reynolds sayısı ilişkileri Watters ve Keller (41), Korukçu (29) ve Tüzel (38) tarafından da belirtildiği gibi;



Şekil 20. III nolu laterallerde ($\phi 20$), boylamasına geçik B damlatıcısının değişik damlatıcı aralıklarında ve IV nolu lateralde ($\phi 16$), boylamasına geçik C damlatıcısının bir tek damlatıcı aralığında belirlenen Darcy-Weisbach sürtünme faktörü-Reynolds sayısı ilişkileri

$$f = a R_e^b$$

eşitliği şeklindeki tam logaritmik doğrusal ilişki biçiminde bulunmuştur. Çizelge 11, 12 ve 13'ün incelenmesinden de anlaşılacağı gibi her bir lateral çapı ile aynı çapta kullanılan farklı damlatıcı tiplerinde değişik damlatıcı aralığı değerleri için farklı regresyon eşitlikleri elde edilmiştir. I nolu lateralde üzerine geçik spiral uzun akış yollu A damlatıcısı ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, Tüzel (38)'in aynı koşullar için yaptığı çalışmada elde ettiği sonuçlar (örneğin damlatıcısız (düz) lateralde; $f = 0.3215 R_e^{-0.2496}$) ile benzerlik göstermektedir (Çizelge 11).

Denemeye alınan üzerine geçik A ve D damlatıcılarının yerleştirildiği I nolu lateraller için $f-R_e$ ilişkilerinin doğrular halinde gösterildiği Şekil 18 ile üzerine geçik E ve F damlatıcılarının yerleştirildiği II nolu lateraller için $f-R_e$ ilişkilerinin doğrular halinde gösterildiği Şekil 19 incelendiğinde, $f-R_e$ doğrularının birbirlerine göre paralel olmadığı ve farklı eğim değerlerinde oldukları görülmektedir. Bu durum, boylamasına geçik B damlatıcısının bulunduğu III nolu lateraller ve C damlatıcısının bulunduğu IV nolu lateral için verilen Şekil 20'de daha açık bir şekilde görülmektedir. Bunun nedeni, Watters ve Keller (41), Zoldoske ve Norum (48) ve Tüzel (38)'in de belirttiği gibi damlatıcıların lateral içinde kalan kısımlarının ve imalat esnasında lateral iç yüzeyinde meydana gelen küçük hacimli çeper boşluklarının, lateral boyunca değişik bölümlerde farklı seviyede pürüzlülük yaratması ve akış kesit alanının lateral eksen çizgisinden sapma göstermesi ile açıklanabilir.

I ve II nolu laterallerdeki f -Re ilişkileri incelendiğinde, damlatıcı aralığının azalmasına bağlı olarak Darcy-Weisbach f sürtünme faktörlerinin arttığı görülmektedir (Şekil 18 ve 19). Buna neden olarak, damlatıcı aralığının azalması ile belirli uzunluktaki lateralde damlatıcı sayısının artması gösterilebilir. Öte yandan damlatıcı yerleştirilmemiş düz lateraldeki sürtünme faktörü değerlerinin, üzerinde damlatıcı bulunan laterallerdeki f değerlerinden düşük oluşu da bunu kanıtlamaktadır. Söz konusu durum Braud ve Soom (11), Howell ve Barinas (22) tarafından da belirtildiği gibi damlatıcıların lateral içine geçik bölümlerinin ek sürtünme kayıplarına neden olduğu görüşünü doğrulamaktadır. Ayrıca farklı damlatıcı tiplerinin de sürtünme faktörleri birbirinden farklı bulunmuştur. Söz konusu farkın, damlatıcıların yapım özellikleri (boyutları) nedeniyle lateral içinde kalan kısımlarının farklı büyüklükte olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Spiral uzun akış yollu boylamasına geçik B damlatıcısının bulunduğu III nolu lateralde ise I ve II laterallerdeki durumun aksine damlatıcı aralığının azalmasına bağlı olarak f değerlerinin artması gibi bir eğilim görülmemektedir (Şekil 20). Damlatıcının ve lateralin yapım özelliği nedeniyle, lateral boyunca bulunan spiral su kanallarının belirli bir pürüzlülük yaratmasına karşılık, bu kanalların su giriş ağızlarının lateral içinde herhangi bir çıkıntı yaratmaması sonucu bu bölgelerde pürüzlülük büyük değerlerde değildir. Söz konusu nedenle, damlatıcı aralığına bağlı olarak f değerinin azaldığı veya arttığı şeklinde bir yorum yapılamamaktadır. Bu sonucun damlatıcı ve lateralin yapım özelliğine bağlı olduğu söylenebilir.

Şekil 18 ve 19'da gösterilen [5] numaralı Blasius eşitliğine göre belirlenen doğrudaki f değerinin, I nolu (ø16) ve II nolu (ø15) damlatıcısız (düz) lateral ve ele alınan damlatıcılı laterallerdeki f değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. Uygulamalarda genel olarak Blasius eşitliği yardımıyla f değerlerinin hesaplaması yapılmaktadır. Yukarıdaki sonuçlar göstermiştir ki; hesaplamalarda, denemeler sonucu ortaya çıkan f değerlerinin kullanılması daha gerçekçi olacaktır.

Denemeye alınan farklı tipteki damlatıcıların yer aldığı laterallerin, değişik damlatıcı aralıklarında düzenlenmesiyle elde edilen ve Çizelge 11,12 ve 13'de verilen Darcy-Weisbach sürtünme faktörü (f)-Reynolds sayısı (R_e) ilişkileri, Darcy-Weisbach eşitliğinde yerine yazılarak 20°C su sıcaklığı için genel sürtünme kayıp eşitlikleri (h_f) yöntem bölümünde açıklanan şekilde elde edilmiştir (Çizelge 14, 15 ve 16). Ayrıca ardısıra gelen damlatıcı aralıklarında debiye bağlı sürtünme kayıp eşitlikleri de saptanmıştır. Bu sürtünme kayıp eşitlikleri ile Hazen-Williams eşitliği karşılaştırılarak, Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) ile ortalama akış hızı (V) arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur (Çizelge 14,15 ve 16).

I nolu laterallerde (ø16), damlatıcı yerleştirilmemiş (düz) durumda ve üzerine geçik A ve D damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen sürtünme kayıp (h_f) ve Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri Çizelge 14'de verilmiştir. Aynı şekilde II nolu laterallerde (ø15), damlatıcı yerleştirilmemiş (düz) durumda ve üzerine geçik E ve F damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen sürtünme kayıp (h_f) ve Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri Çizelge 15'de verilmiştir.

Çizelge 14. I nolu laterallerde (ø16), damlatıcı yerleştirilmemiş(düz) durumda ve üzerine geçik A ve D damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen sürtünme kayıp (h_f) ve Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri

Damlatıcı tipi	Damlatıcı aralığı ΔL (m)	Sürtünme Kayıp Eşitlikleri (h_f)		Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitliği
		Genel ($h_f = K L^m (V^n/D^n)$)	Damlatıcı aralığında debiye bağılı olarak ($Q=l/h$)	
A	Damlatıcı yerleştirilmemiş lateral (düz)	$h_f = 5.6663 \times 10^{-4} L (V^{1.7558}/D^{1.2442})$	—	$C = 133.037 V^{0.0519}$
	0.90	$h_f = 7.5659 \times 10^{-4} L (V^{1.7720}/D^{1.2280})$	$h_f = 2.1831 \times 10^{-6} Q^{1.7720}$	$C = 118.184 V^{0.0432}$
	0.60	$h_f = 9.3558 \times 10^{-4} L (V^{1.7978}/D^{1.2022})$	$h_f = 1.3712 \times 10^{-6} Q^{1.7978}$	$C = 111.906 V^{0.0293}$
	0.30	$h_f = 1.2524 \times 10^{-3} L (V^{1.8039}/D^{1.1961})$	$h_f = 8.6060 \times 10^{-7} Q^{1.8039}$	$C = 96.968 V^{0.0260}$
	0.20	$h_f = 1.7781 \times 10^{-3} L (V^{1.8254}/D^{1.1746})$	$h_f = 6.4936 \times 10^{-7} Q^{1.8254}$	$C = 84.369 V^{0.0144}$
D	0.90	$h_f = 6.7405 \times 10^{-4} L (V^{1.7652}/D^{1.2348})$	$h_f = 2.0895 \times 10^{-6} Q^{1.7652}$	$C = 123.814 V^{0.0469}$
	0.60	$h_f = 9.2280 \times 10^{-4} L (V^{1.8027}/D^{1.1973})$	$h_f = 1.2844 \times 10^{-6} Q^{1.8027}$	$C = 114.034 V^{0.0266}$
	0.30	$h_f = 1.0884 \times 10^{-3} L (V^{1.7965}/D^{1.2035})$	$h_f = 8.0859 \times 10^{-7} Q^{1.7965}$	$C = 102.815 V^{0.0299}$
	0.20	$h_f = 1.4888 \times 10^{-3} L (V^{1.7971}/D^{1.2029})$	$h_f = 7.3270 \times 10^{-7} Q^{1.7971}$	$C = 86.938 V^{0.0296}$

Çizelge 15. II nolu laterallerde (ø15), damlatıcı yerleştirilmemiş(düz) durumda ve üzerine geçik E ve F damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen sürtünme kayıp (h_f) ve Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri

Damlatıcı tipi	Damlatıcı aralığı ΔL (m)	Sürtünme Kayıp Eşitlikleri (h_f)		Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitliği
		Genel ($h_f = K L (V^m/D^n)$)	Damlatıcı aralığında debiye bağılı olarak ($Q=l/h$)	
Damlatıcı yerleştirilmemiş lateral (düz)		$h_f = 5.3378 \times 10^{-4} L (V^{1.7486}/D^{1.2514})$	—	$C = 134.537 V^{0.0558}$
	0.90	$h_f = 7.5332 \times 10^{-4} L (V^{1.7670}/D^{1.2330})$	$h_f = 3.5836 \times 10^{-6} Q^{1.7670}$	$C = 116.699 V^{0.0459}$
	0.60	$h_f = 9.4797 \times 10^{-4} L (V^{1.7764}/D^{1.2236})$	$h_f = 2.7252 \times 10^{-6} Q^{1.7764}$	$C = 105.410 V^{0.0408}$
	0.30	$h_f = 1.3005 \times 10^{-3} L (V^{1.7934}/D^{1.2066})$	$h_f = 1.5651 \times 10^{-6} Q^{1.7934}$	$C = 92.534 V^{0.0316}$
	0.20	$h_f = 1.7284 \times 10^{-3} L (V^{1.7868}/D^{1.2132})$	$h_f = 1.4857 \times 10^{-6} Q^{1.7868}$	$C = 78.124 V^{0.0352}$
F	0.90	$h_f = 7.4298 \times 10^{-4} L (V^{1.7710}/D^{1.2290})$	$h_f = 3.3898 \times 10^{-6} Q^{1.7710}$	$C = 118.697 V^{0.0437}$
	0.60	$h_f = 9.1997 \times 10^{-4} L (V^{1.8011}/D^{1.1989})$	$h_f = 2.0431 \times 10^{-6} Q^{1.8011}$	$C = 113.615 V^{0.0275}$
	0.30	$h_f = 1.2067 \times 10^{-3} L (V^{1.8152}/D^{1.1848})$	$h_f = 1.1564 \times 10^{-6} Q^{1.8152}$	$C = 101.480 V^{0.0199}$
	0.20	$h_f = 1.6495 \times 10^{-3} L (V^{1.8203}/D^{1.1797})$	$h_f = 9.9918 \times 10^{-7} Q^{1.8203}$	$C = 86.766 V^{0.0171}$

Cizelge 16. III nolu laterallerde ($\phi 20$), boylamasına geçik B damlatıcısının değişik damlatıcı aralıklarında ve IV nolu lateralde ($\phi 16$), boylamasına geçik C damlatıcısının bir tek damlatıcı aralığında belirlenen sürtünme kayıp (h_f) ve Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri

Damlatıcı tipi	Damlatıcı aralığı ΔL (m)	Sürtünme Kayıp Eşitlikleri (h_f)		Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitliği
		Genel ($h_f = K L^m (V/D)^n$)	Damlatıcı aralığında debiye bağılı olarak ($Q=1/h$)	
B	0.90	$h_f = 1.7153 \times 10^{-3} L (V^{1.9228} / D^{1.0772})$	$h_f = 4.9305 \times 10^{-7} Q^{1.9228}$	$C = 107.166 \sqrt[0.0382]{V}$
	0.60	$h_f = 1.4581 \times 10^{-3} L (V^{1.8770} / D^{1.1230})$	$h_f = 4.5587 \times 10^{-7} Q^{1.8770}$	$C = 105.534 \sqrt[0.0135]{V}$
	0.30	$h_f = 1.8036 \times 10^{-3} L (V^{1.9509} / D^{1.0491})$	$h_f = 1.2799 \times 10^{-7} Q^{1.9509}$	$C = 111.105 \sqrt[0.0534]{V}$
	0.20	$h_f = 1.3706 \times 10^{-3} L (V^{1.8780} / D^{1.1220})$	$h_f = 1.4132 \times 10^{-7} Q^{1.8780}$	$C = 109.368 \sqrt[0.0140]{V}$
C	0.30	$h_f = 6.6744 \times 10^{-4} L (V^{1.6886} / D^{1.3114})$	$h_f = 9.7049 \times 10^{-7} Q^{1.6886}$	$C = 104.95 \sqrt[0.0882]{V}$

Ayrıca III nolu laterallerde (ø20) boylamasına geçik B damlatıcısının değişik damlatıcı aralıklarında ve IV nolu lateralde (ø16), boylamasına geçik C damlatıcısının bir tek damlatıcı aralığındaki sürtünme kaybı (h_f) ve Hazen-Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri Çizelge 16'da verilmiştir.

Çizelge 14,15 ve 16'da verilen eşitliklerin incelenmesinden de görüleceği gibi Hazen-Williams pürüzlülük katsayıları (C), damlatıcı tipine, aralığına ve lateral çapına göre farklı değerler almıştır. Hazen-Williams pürüzlülük katsayıları yapılan bütün denemeler sonucunda damlatıcı bulunmayan (düz) laterallerde, dış çap 16 mm (I nolu lateral) için $C=133.037^*$ ve dış çap 15 mm (II nolu lateral) için $C=134.537$ olarak belirlenmiştir. Üzerine geçik A,D,E ve F damlatıcılarının yerleştirildiği laterallerde (I ve II), C değerleri yukarıdaki değerlere göre azalma göstermektedir. Bu azalma, damlatıcıların lateral içinde kalan kısımlarının farklı olması ve buna bağlı sürtünme kayıplarının farklı olarak artması nedeniyle oluşmaktadır. C değerlerinin azalması ise [4] numaralı Hazen-Williams eşitliğinden de görüleceği gibi lateraldeki sürtünme kayıplarının (h_f) artmasına neden olmaktadır. Ayrıca damlatıcı aralığının azalışı dolayısıyla damlatıcı sayısının artışına bağlı olarak C değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu pürüzlülük katsayıları, I nolu lateralde (ø16), üzerine geçik D damlatıcısının $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında $C=123.814$ ile en yüksek ve II nolu lateralde (ø15), üzerine geçik E damlatıcısının $\Delta L=0.20$ m damlatıcı aralığında $C=78.124$ ile en düşük değerleri arasında bulunmuştur.

Çizelge 14, 15 ve 16'da verilen Hazen-Williams pürüzlülük katsayıları (C) eşitlikleri yardımıyla, laterallerin değişik ortalama akış hızlarında (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 ve 3.0 m/s)

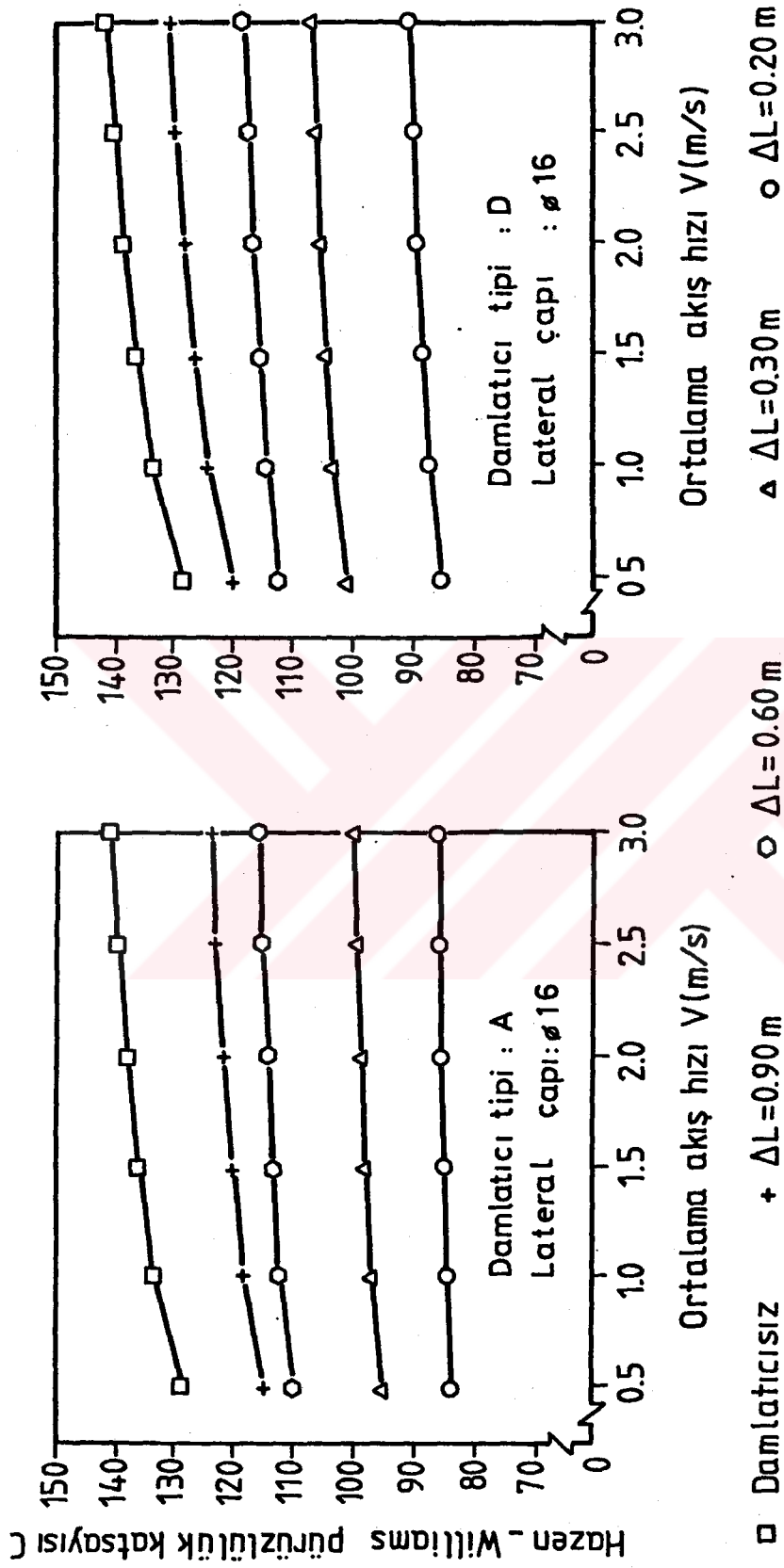
*) $C = 133.037 V^{0.0519}$ dır. Hız (V) değerlerinin 1'e çok yakın olması nedeniyle C değerleri olarak yalnız birinci çarpan verilmiştir.

pürüzlülük katsayıları hesaplanmıştır. Bu değerlerden pürüzlülük katsayısı (C) ile hız (V) arasındaki ilişkiler belirlenmiş ve elde edilen bulgular, üzerine geçik damlatıcıların yerleştirildiği I nolu lateral için Şekil 21'de, II nolu lateral için Şekil 22'de ve boylamasına geçik damlatıcıların yer aldığı III ve IV nolu lateral için Şekil 23'de gösterilmiştir.

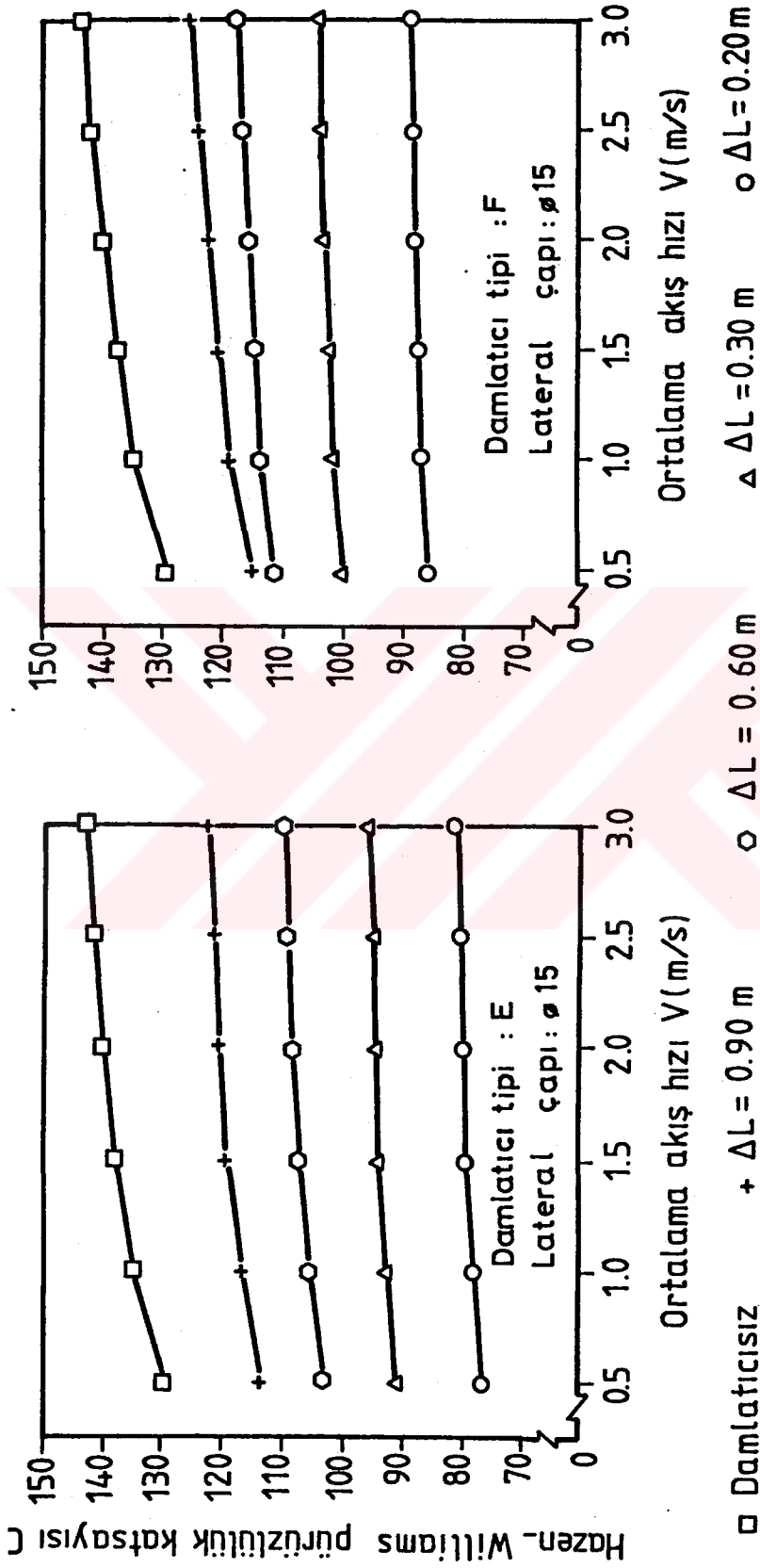
Şekil 21 ve 22'nin incelenmesinden de görüleceği gibi denemeye alınan damlatıcısız (düz) ve belirli aralıklarda damlatıcı yerleştirilen I ve II nolu laterallerde, Hazen-Williams pürüzlülük katsayıları (C) ortalama akış hızına (V) göre çok az bir artış göstermektedir. Bu artış damlatıcısız (düz) lateralde daha belirgin olarak görülmektedir.

Şekil 23'de gösterilen boylamasına geçik B ve C damlatıcılarının yer aldığı III ve IV nolu laterallerden, B damlatıcısının yer aldığı III nolu lateralde ($\phi 20$) pürüzlülük katsayısı değerleri önemli ölçüde değişmemiş ve 0.90-0.20 m damlatıcı aralıkları için 111.105-105.534 değerleri arasında kalmıştır (Çizelge 16). Pürüzlülük katsayılarının boylamasına geçik B damlatıcısında önemli ölçüde değişmemesi, damlatıcının yapım özelliği nedeniyle lateral içinde herhangi bir çıkıntı oluşturmaması ve su geçiş yolunu oluşturan spiral kanalların lateral sonuna kadar aynı özellikte olması ile açıklanabilir (Şekil 4).

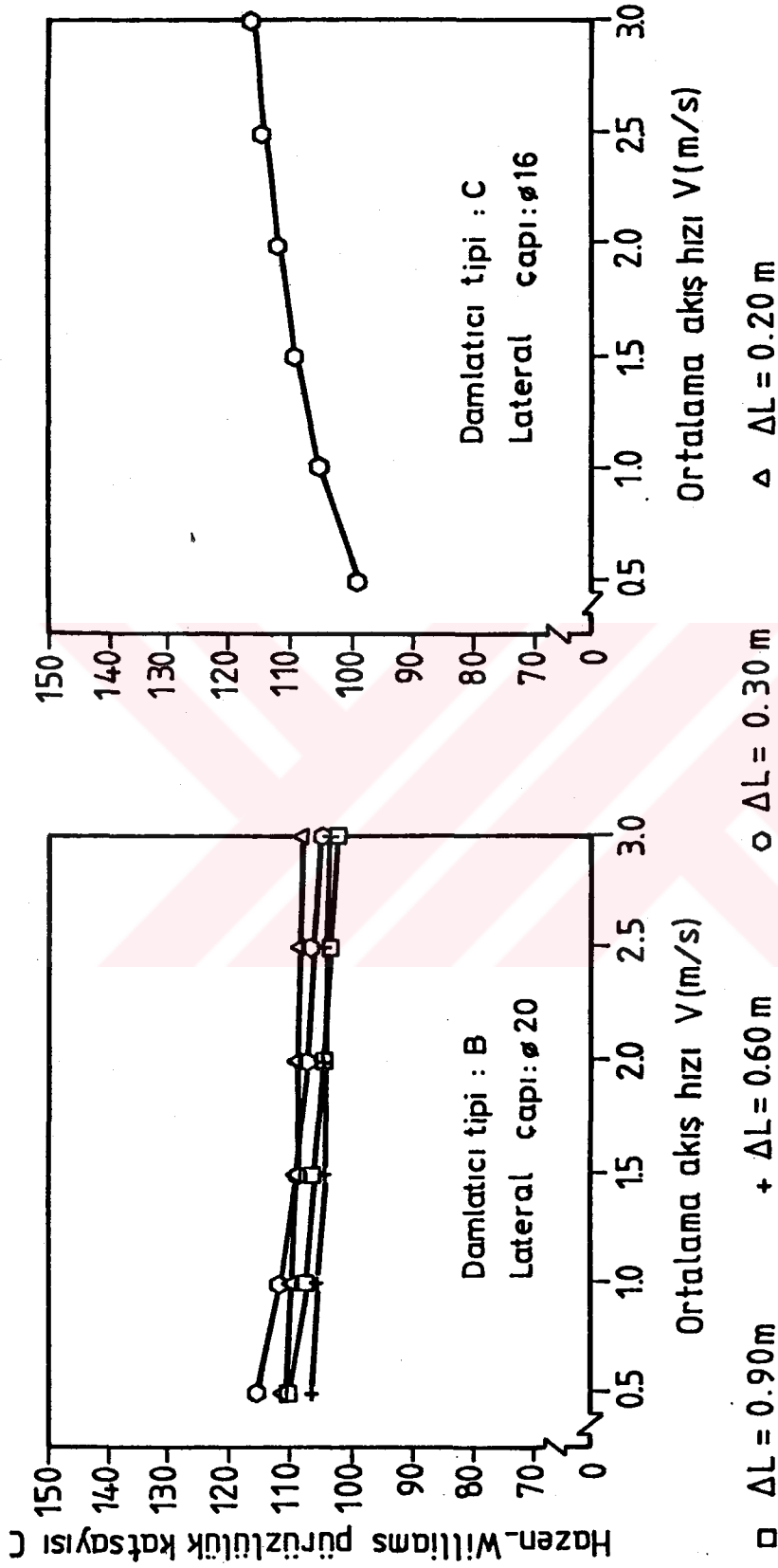
Denemelerden elde edilen Hazen-Williams pürüzlülük katsayılarının ortalama akış hızına bağlı olarak farklı değerler alması (Şekil 21,22 ve 23), Korukçu (29) ve Tüzel (38)'in de ifade ettiği gibi, denemelerde belirlenen ve Çizelge 14, 15 ve 16'da verilen sürtünme akış üssü (m) değerlerinin (en yüksek $m=1.9509$ ve en düşük $m=1.6886$), Hazen-Williams



Şekil 21. I nolu laterallerde ($\phi 16$) üzerine geçik A ve D damlatıcılarının değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen Hazen-Williams pürüzlülük katsayısının (C) ortalama akış hızına (v) göre değişimi



Şekil 22. II nolu laterallerde (ø15) üzerine geçik E ve F damplaticılarının değişik damplaticı aralıklarında belirlenen Hazen-Williams pürüzlülük katsayısının (C) ortalama akış hızına (V) göre değişimi



Şekil 23. III nolu laterallerde ($\phi 20$), boylamasına geçik B damlatıcısının değişik damlatıcı aralıklarında ve IV nolu lateralde ($\phi 16$), boylamasına geçik C damlatıcısının bir tek damlatıcı aralığında belirlenen Hazen-Williams pürüzlülük katsayısının (C) ortalama akış hızına (V) göre değişimi

eşitliğindeki $m=1.852$ olan akış üssü değerinden farklı olması ile açıklanabilir.

Değişik damlatıcı aralıkları için belirlenen pürüzlülük faktörleri arasındaki farklılıkların ise, damlatıcı yapısına bağlı olarak lateral içinde kalan kısımlarının farklı pürüzlülük yaratması ve lateral iç çapları ile laterallerin yapım farklılıklardan ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır.

Bütün elde edilen sonuçlarda göstermiştir ki, değişik faktörler tarafından etkilenen Hazen-Williams pürüzlülük katsayısının (C) sabit bir değerinin alınarak, lateral boyunca oluşan sürtünme kayıplarının hesaplanmasında [4] numaralı Hazen-Williams eşitliğinin kullanılması hataya neden olacaktır. Bu nedenle Zoldoske ve Norum (48), Korukçu (29)'nun da belirttiği gibi, lateral uzunluklarının belirlenmesinde kullanılacak sürtünme kayıp eşitliklerinin, denemelere dayalı çalışmalarla ortaya konması daha doğru olacaktır.

4.3 Lateral Uzunlukları ve Christiansen Azaltma

Faktörlerine (F) İlişkin Bulgular ve Tartışma

4.3.1 Lateral Boyunca Basınç, Debi Dağılımı ve

Christiansen Azaltma Faktörlerine (F) İlişkin

Bulgular ve Tartışma

Denemeye alınan sekiz damlatıcının değişik aralıklarla yerleştirildiği laterallerde oluşan basınç ve debi dağılımı, her tip lateral, damlatıcı aralığı ve değişik eğim koşullarına bağlı olarak yöntem bölümünde açıklanan bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır. Lateral uzunluğunun belirlenmesi

için tüm damlatıcı basınç ve debileri ile her lateral bölümündeki Christiansen eşdağılım katsayıları Cu adımlama yoluyla aynı bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır. Denemelerde kullanılan değişik lateral ve sekiz ayrı damlatıcıya ait program çıktıları, sayılarının çok fazla olması nedeniyle bu bölümde verilememiştir. Ancak bu çıktı değerlerinin tümünden lateral uzunluklarının belirlenmesi için yararlanılmıştır. Bu bölümde ise belirgin özellik göstermeleri nedeniyle yalnız; I nolu lateralde "üzerine geçik" olarak yerleştirilen basınç dengeleyicisiz A damlatıcısı, yine I nolu lateralde üzerine geçik olarak yerleştirilen "basınç dengeleyicili" D damlatıcısı ve III nolu lateralde "boylamasına geçik" olarak yer alan basınç dengeleyicisiz B damlatıcısına ait program çıktıları örnek olması amacıyla çizelgeler halinde verilmiştir (Çizelge 17, 18 ve 19). Ayrıca eğim sonucu lateral boyunca yer alan damlatıcıların debilerindeki değişimi görebilmek amacıyla, değişik eğimdeki (% 2 Aşağı, Eğimsiz ve % 2 Yukarı) laterallere ait çıktı değerleri bu çizelgeler içinde yer almıştır.

I nolu laterale (ø16) yerleştirilen "üzerine geçik" basınç dengeleyicisiz A damlatıcısının, $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yerleşik bulunduğu lateralın, "% 2 aşağı eğimli" durumu için elde edilen program çıktısı Çizelge 17'de verilmiştir. Bu çizelgenin oluşumunda, lateral boyunca basınç ve debi dağılımını belirlemek için lateral sonundaki damlatıcı basıncı $h_1=10$ mSS olarak kabul edilerek, damlatıcı parametreleri (k ve x) olarak Çizelge 10'da verilen $q=0.561 h^{0.680}$ damlatıcı basınç-debi ilişkisindeki $k=0.561$ ve $x=0.680$ değerleri, Çizelge 14'de verilen damlatıcı aralığı $\Delta L=0.90$ m için elde edilen

$h_f = 2.1831 \cdot 10^{-6} Q^{1.7720}$ sürtünme kayıp eşitliğindeki
 $K_1 = 2.1831 \cdot 10^{-6}$ ve $m=1.7720$ katsayıları program girdisi olarak alınmıştır.

Diğer yandan yine I nolu laterale (ø16) yerleştirilen üzerine geçik fakat "basınç dengeleyici" özellikteki D damlatıcısının $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yerleşik bulunduğu lateralin, "eğimsiz" durumu için elde edilen program çıktısı Çizelge 18'de verilmiştir. Bu çizelgenin oluşumunda lateral sonundaki damlatıcı basıncı $h_1=10$ mSS olarak kabul edilerek, damlatıcı parametreleri olarak $k=3.557$ ve $x=0.055$ değerleri (Çizelge 10), damlatıcı aralığı $\Delta L=0.90$ m için sürtünme kayıp eşitliğindeki $K_1=2.0895 \cdot 10^{-6}$ ve $m=1.7652$ katsayıları (Çizelge 14) program girdisi olarak alınmıştır.

III nolu lateralde (ø20) yer alan "boylamasına geçik" basınç dengeleyicisiz B damlatıcısının, $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yer aldığı lateralin, "% 2 yukarı eğimli" durumu için elde edilen program çıktısı Çizelge 19'da verilmiştir. Bu çizelgenin oluşumunda lateral sonundaki damlatıcı basıncı $h_1=10$ mSS olarak kabul edilerek, damlatıcı parametreleri olarak $k=0.675$ ve $x=0.725$ değerleri (Çizelge 10), damlatıcı aralığı $\Delta L=0.90$ m için sürtünme kayıp eşitliğindeki $K_1=4.9305 \cdot 10^{-7}$ ve $m=1.9228$ katsayıları (Çizelge 16) program girdisi olarak alınmıştır.

Çizelge 17,18 ve 19 ilk aşamada, lateral eğiminin, lateral boyunca yer alan damlatıcıların debilerine olan etkisini ortaya koymak amacıyla incelenmiştir.

Çizelge 17 incelendiğinde, % 2 aşağı eğimli I nolu laterale yerleştirilen "üzerine geçik" basınç dengeleyicisiz A damlatıcısının, $Cu \geq 90$ değeri için en yüksek damlatıcı debisi, $q_{max}=3.7937$ değeri ile suyun laterale ilk girişteki yani lateralin

Çizelge 17. I nolu laterale (ø16) yerleştirilen "üzerine geçik" basınç dengeleyicisiz A damlatıcısının, $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yerleşik bulunduğu lateralin "% 2 aşağı eğimli" durumu için elde edilen program çıktısı

Damlatıcı sıra no i	Lateraldeki basınç h_i (m SS)	Damlatıcı debisi q_i (l/h)	Lateral bölümlerindeki debi θ_i (l/h)	Christiansen eşdağılım katsayısı C_u (%)	Damlatıcı debi değişimi Q değişim	Christiansen azaltma faktorü F
1	10.000000	2.6851	2.6851	100.0000	0.0000	1.000
5	9.920287	2.6705	13.3891	99.8367	0.0041	0.467
10	9.822299	2.6526	26.6878	99.6610	0.0108	0.413
15	9.727411	2.6351	39.8980	99.4974	0.0173	0.396
20	9.636786	2.6184	53.0232	99.3354	0.0236	0.388
25	9.551484	2.6026	66.0674	99.1828	0.0296	0.384
30	9.472474	2.5880	79.0361	99.0384	0.0351	0.381
35	9.400673	2.5746	91.9353	98.9040	0.0402	0.379
40	9.336946	2.5627	104.7720	98.7820	0.0447	0.377
45	9.282124	2.5525	117.5543	98.6735	0.0487	0.376
50	9.237003	2.5440	130.2906	98.5794	0.0520	0.376
55	9.202364	2.5375	142.9905	98.5010	0.0545	0.375
60	9.178964	2.5332	155.6642	98.4393	0.0563	0.374
65	9.167552	2.5310	168.3227	98.3956	0.0573	0.374
70	9.168870	2.5313	180.9775	98.3708	0.0575	0.373
75	9.183658	2.5340	193.6412	98.3645	0.0575	0.372
80	9.212657	2.5395	206.3266	98.3775	0.0575	0.372
85	9.256619	2.5477	219.0475	98.4098	0.0575	0.371
90	9.316309	2.5589	231.8184	98.4601	0.0575	0.371
95	9.392502	2.5731	244.6541	98.5283	0.0575	0.370
100	9.486001	2.5905	257.5704	98.5833	0.0575	0.369
105	9.597631	2.6112	270.5835	98.5931	0.0575	0.368
110	9.728249	2.6353	283.7103	98.5607	0.0575	0.367
115	9.878748	2.6629	296.9682	98.4879	0.0575	0.366
120	10.050060	2.6942	310.3753	98.3747	0.0584	0.365
125	10.243160	2.7293	323.9503	98.2205	0.0702	0.363
130	10.459090	2.7683	337.7124	98.0241	0.0831	0.362
135	10.698910	2.8113	351.6815	97.7832	0.0969	0.360
140	10.963780	2.8585	365.8779	97.4956	0.1116	0.359
145	11.254910	2.9099	380.3228	97.1587	0.1271	0.357
150	11.573590	2.9657	395.0378	96.7699	0.1433	0.355
155	11.921180	3.0259	410.0451	96.3266	0.1602	0.353
160	12.299130	3.0908	425.3676	95.8249	0.1776	0.351
165	12.708980	3.1605	441.0290	95.2626	0.1956	0.349
170	13.152380	3.2351	457.0533	94.6369	0.2140	0.346
175	13.631080	3.3147	473.4655	93.9631	0.2327	0.344
180	14.146950	3.3995	490.2913	93.2549	0.2517	0.341
185	14.701980	3.4896	507.5570	92.5130	0.2709	0.339
190	15.298310	3.5853	525.2898	91.7379	0.2902	0.336
195	15.938200	3.6866	543.5176	90.9311	0.3096	0.333
200	16.624080	3.7937	562.2695	90.0936	0.3290	0.330

Çizelge 18. I nolu laterale (ø16) yerleştirilen üzerine geçik "basınç dengeleyicili" D damlatıcısının, $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yerleşik bulunduğu lateralin "eğimsiz" durumu için elde edilen program çıktısı

Damlatıcı sıra no i	Lateraldeki basınç h_i (m SS)	Damlatıcı debisi q_i (l/h)	Lateral bölümlerindeki debi $\bar{Q}_i$ (l/h)	Christiansen eşdağılım katsayısı C_u (%)	Damlatıcı debi değişimi q değişim	Christiansen azaltma faktorü F
1	10.000000	4.0372	4.0372	100.0000	0.0000	1.000
5	10.000560	4.0372	20.1862	99.9999	0.0000	0.496
15	10.014430	4.0376	60.5599	99.9979	0.0001	0.398
25	10.061570	4.0386	100.9404	99.9914	0.0003	0.383
35	10.158690	4.0407	141.3371	99.9782	0.0008	0.376
45	10.320890	4.0443	181.7625	99.9566	0.0016	0.373
55	10.562260	4.0494	222.2320	99.9250	0.0029	0.371
65	10.896270	4.0563	262.7626	99.8822	0.0045	0.369
75	11.335900	4.0652	303.3730	99.8276	0.0066	0.368
85	11.893780	4.0759	344.0823	99.7606	0.0092	0.367
95	12.582310	4.0886	384.9095	99.6812	0.0122	0.366
105	13.413700	4.1030	425.8730	99.5898	0.0157	0.365
115	14.400060	4.1190	466.9898	99.4869	0.0195	0.364
125	15.553410	4.1365	508.2751	99.3735	0.0236	0.364
135	16.885750	4.1553	549.7424	99.2506	0.0280	0.363
145	18.409050	4.1750	591.4029	99.1194	0.0325	0.362
155	20.135290	4.1957	633.2661	98.9811	0.0373	0.361
165	22.076470	4.2170	675.3395	98.8369	0.0421	0.361
175	24.244610	4.2387	717.6286	98.6881	0.0470	0.360
185	26.651770	4.2609	760.1376	98.5358	0.0520	0.359
195	29.310050	4.2832	802.8690	98.3811	0.0569	0.359
205	32.231560	4.3057	845.8245	98.2247	0.0619	0.358
215	35.428490	4.3281	889.0046	98.0676	0.0667	0.357
225	38.913050	4.3505	932.4089	97.9104	0.0715	0.357
235	42.697490	4.3728	976.0365	97.7539	0.0763	0.356
245	46.794100	4.3949	1019.8860	97.5984	0.0809	0.356
255	51.215200	4.4167	1063.9550	97.4446	0.0855	0.355
265	55.973160	4.4384	1108.2410	97.2926	0.0899	0.354
275	61.080390	4.4597	1152.7430	97.1429	0.0943	0.354
285	66.549300	4.4808	1197.4560	96.9957	0.0986	0.353
295	72.392390	4.5016	1242.3780	96.8511	0.1027	0.353
305	78.622120	4.5221	1287.5080	96.7094	0.1068	0.352
315	85.251040	4.5423	1332.8400	96.5705	0.1108	0.352
325	92.291700	4.5621	1378.3720	96.4346	0.1147	0.351
335	99.756700	4.5817	1424.1010	96.3018	0.1185	0.351
345	107.658600	4.6009	1470.0240	96.1720	0.1222	0.350
355	116.010100	4.6199	1516.1380	96.0452	0.1258	0.350
365	124.823900	4.6385	1562.4390	95.9215	0.1293	0.350
375	134.112500	4.6569	1608.9250	95.8008	0.1327	0.349
385	143.888800	4.6749	1655.5940	95.6831	0.1361	0.349
395	154.165500	4.6927	1702.4410	95.5683	0.1394	0.348
405	164.955200	4.7102	1749.4640	95.4564	0.1426	0.348
415	176.270900	4.7274	1796.6610	95.3473	0.1457	0.348
425	188.125300	4.7444	1844.0290	95.2410	0.1487	0.347
435	200.531100	4.7611	1891.5650	95.1375	0.1517	0.347
445	213.501300	4.7775	1939.2660	95.0365	0.1547	0.346

Çizelge 19. III nolu lateralde (ø20) yer alan "boylamasına geçik"
 basınç dengeleyicisiz B damlatıcısının, $\Delta L=0.90$ m damlatıcı
 aralığında yer aldığı lateralın "% 2 yukarı eğimli" durumu
 için elde edilen program çıktısı

Damlatıcı sıra no i	Lateraldeki basınç h_i (m SS)	Damlatıcı debisi q_i (l/h)	Lateral bölümlerindeki debi $\bar{Q}_i$ (l/h)	Christiansen eşdağılım katsayısı C_u (%)	Damlatıcı debi değişimi q değişim	Christiansen azaltma faktorü F
1	10.000000	3.5835	3.5835	100.0000	0.0000	1.000
5	10.080160	3.6043	17.9693	99.8263	0.0043	0.448
10	10.181430	3.6305	36.0692	99.6381	0.0115	0.393
15	10.284940	3.6572	54.3016	99.4574	0.0187	0.374
20	10.391800	3.6847	72.6698	99.2688	0.0260	0.365
25	10.503110	3.7133	91.1786	99.0780	0.0334	0.359
30	10.619980	3.7432	109.8342	98.8791	0.0411	0.355
35	10.743520	3.7747	128.6441	98.6725	0.0490	0.352
40	10.874870	3.8081	147.6171	98.4570	0.0573	0.350
45	11.015170	3.8437	166.7635	98.2288	0.0659	0.347
50	11.165600	3.8817	186.0948	97.9886	0.0750	0.345
55	11.327360	3.9224	205.6241	97.7347	0.0844	0.344
60	11.501680	3.9660	225.3656	97.4656	0.0944	0.342
65	11.689830	4.0130	245.3352	97.1795	0.1049	0.340
70	11.893140	4.0634	265.5500	96.8752	0.1159	0.339
75	12.112950	4.1177	286.0285	96.5518	0.1274	0.337
80	12.350680	4.1762	306.7908	96.2081	0.1394	0.335
85	12.607810	4.2390	327.8585	95.8429	0.1521	0.334
90	12.885890	4.3066	349.2545	95.4552	0.1652	0.332
95	13.186530	4.3792	371.0034	95.0440	0.1789	0.330
100	13.511420	4.4572	393.1312	94.6081	0.1931	0.329
105	13.862380	4.5408	415.6658	94.1467	0.2078	0.327
110	14.241290	4.6305	438.6365	93.6593	0.2230	0.325
115	14.650160	4.7265	462.0744	93.1451	0.2387	0.323
120	15.091120	4.8292	486.0122	92.6037	0.2547	0.321
125	15.566440	4.9390	510.4848	92.0345	0.2711	0.319
130	16.078530	5.0563	535.5286	91.4364	0.2879	0.317
135	16.629970	5.1814	561.1824	90.8093	0.3050	0.315
140	17.223530	5.3149	587.4865	90.1534	0.3223	0.312

başında (damlatıcı sıra no: 200) ve en düşük damlatıcı debisinin ise $q_{\min} = 2.5310$ değeri ile 65. damlatıcıda bulunduğu görülür. Bu durum şu şekilde açıklanabilir. Düzgün aşağı eğimli laterallerin belirli bir bölümünde, her damlatıcı aralığında sürtünme nedeniyle oluşan basınç kaybı yüksekliği, eğimden ileri gelen yükseklik farkı nedeniyle kazanılan basınç yüksekliğine yakın olmaktadır. Hatta lateralin belirli bir bölümünde, aşağı eğim nedeniyle kazanılan basınç, sürtünme nedeniyle oluşan basınç kaybindan daha fazla olmaktadır. Bu nedenle aşağı eğimli laterallerin belirli bir bölümünde damlatıcının bulunduğu yerdeki basınç, kabul edilen lateral sonu basıncından ($h_1=10$ mSS) daha düşük (örneğin, $h_{65}=9.167552$) olmaktadır (Çizelge 17). Aynı zamanda basınç düşüşüne bağlı olarak damlatıcı debilerinin de bir önceki debiden daha düşük değerler aldığı görülmektedir. Bu sonuçların Korukçu (29)'nun % 1 aşağı eğimde ve Tüzel (38)'in % 2 aşağı eğimde buldukları sonuçlara benzediği görülmektedir.

Eğimsiz ve düzgün yukarı eğimli lateraller için bu durum incelendiğinde:

- Çizelge 18 incelendiğinde, eğimsiz I nolu laterale yerleştirilen üzerine geçik "basınç dengeleyici" özellikteki D damlatıcısının $Cu > 95$ değeri için en yüksek damlatıcı debisi, $q_{\max} = 4.7775$ değeri ile lateralin başında (damlatıcı sıra no:445) ve en düşük damlatıcı debisi, $q_{\min} = 4.0372$ değeri ile lateralin sonunda (damlatıcı sıra no:1) bulunmuştur. Burada dikkat edildiğinde; D damlatıcısı basınç dengeleme özelliğine sahip olmasına rağmen damlatıcı debileri arasında, az da olsa bir değişim meydana geldiği görülmektedir. Halbuki tam basınç dengeleyicili damlatıcılarla oluşturulan laterallerde, damlatıcı debilerinde bir değişim olmaması gerekir. Buradaki değişim ise

D damlatıcısına ait akış rejimi katsayısı (x) değerinin, tam basınç dengeleyicili damlatıcıyı karakterize eden $x=0$ değerinden farklı olarak denemelerde $x=0.055$ bulunması ile açıklanabilir (40).

-Çizelge 19 incelendiğinde, % 2 yukarı eğimli III nolu lateralde yer alan "boylamasına geçik" basınç dengeleyicisiz B damlatıcısının $Cu \geq 90$ değeri için en yüksek damlatıcı debisi $q_{\max} = 5.3149$ değeri ile lateralin başında, en düşük damlatıcı debisi $q_{\min} = 3.5835$ değeri ile lateralin sonunda bulunmuştur.

Elde edilen bu sonuçlarda göstermiştir ki, eğimsiz ve düzgün yukarı eğimli laterallerde, en yüksek ve en düşük damlatıcı debileri lateralin başında ve sonunda olmaktadır.

Buna karşın, düzgün aşağı eğimli laterallerde en yüksek damlatıcı debisi lateralin başında olmakta, fakat en düşük damlatıcı debisi lateralin herhangi bir yerinde olabilmektedir.

İkinci aşamada basınç dengeleyici ve dengeleyicisiz özellikteki damlatıcıların yer aldığı laterallerdeki basınç dağılımı incelenmiştir.

Basınç dengeleyici özellikteki D damlatıcısının yerleştirildiği I nolu lateral için verilen Çizelge 18 incelendiğinde; $Cu \approx 95$ değeri için en yüksek damlatıcı debisi 445. damlatıcıda $q_{\max} = 4.7775$ olarak bulunmuştu. Lateralin başındaki damlatıcıdan bu debi değerini sağlayan lateral basıncının ise $h_{445} = 213.5013$ mSS (≈ 21.35 kp/cm²) olduğu görülmektedir. Söz konusu basınç oldukça yüksek bir basınçtır. Halbuki yapım özellikleri, ekonomiklik gibi nedenlerden dolayı, bir sistemi bu basınçla çalıştırmamız mümkün değildir.

Basınç dengeleme özelliği bulunmayan A damlatıcısının yerleştirildiği I nolu lateralde, $Cu \approx 95$ değeri için $h_{165} = 12.7089$ mSS (Çizelge 17) ve yine basınç dengeleme özelliği bulunmayan B

damlatıcısının yer aldığı III nolu lateralde, $Cu \approx 95$ değeri için $h_{95} = 13.1865$ mSS (Çizelge 19) bulunmuştur. Basınç dengeleme özelliği olmayan bu tip damlatıcılarla oluşturulan bir sistemi, bu gibi düşük basınçlarla çalıştırmak mümkündür.

Damla sulama laterallerinde toplam sürtünme kayıplarının belirlenmesinde yöntem bölümünde açıklandığı gibi hesaplanan Christiansen'in azaltma faktörü (F) değerinden yararlanılmaktadır. Denemeye alınan farklı tip damlatıcıların, $\Delta L = 0.90$ m (C damlatıcısı: $\Delta L = 0.30$ m) damlatıcı aralığında yer aldığı laterallerin eğimsiz koşulu için damlatıcı sayısına bağlı olarak elde edilen F değerleri Çizelge 20'de verilmiştir.

Çizelge 20 incelendiğinde lateral üzerine geçik A,D,E ve F damlatıcılarının yer aldığı I ve II nolu laterallerde, lateral üzerindeki ilk 20 damlatıcıya kadar olan F değerlerinde, birinci sıradaki $F=1$ değerine göre büyük bir azalma görülmektedir. 20'den sonraki damlatıcı sayılarının F değerlerindeki azalma ise birbirine benzerdir. Ayrıca bu damlatıcıların yer aldığı laterallerin F değerleri birbirleri ile kıyaslandığında, bu değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. 20'den fazla üzerine geçik damlatıcı (A,D,E ve F) bulunan laterallerde (I ve II), F değerleri ortalama olarak $F=0.36$ bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, Keller ve Karmeli (27), Korukçu (29) ve Tüzel (38) gibi araştırmacıların da üzerine geçik damlatıcılı lateraller için belirledikleri $F=0.36$ değeri ile aynı bulunmuştur.

Boylamasına geçik B damlatıcısının yer aldığı III nolu lateralde ve yine boylamasına geçik C damlatıcısının yer aldığı IV nolu lateralde, lateral üzerindeki ilk 10 damlatıcıya kadar olan F değerlerinde birinci sıradaki $F=1$ değerine göre büyük bir azalma görülmektedir (Çizelge 20).

Çizelge 20. Farklı tip damlatıcıların, $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yer aldığı laterallerin eğimsiz koşulu için elde edilen Christiansen azaltma faktörü (F) değerleri (C damlatıcısı: $\Delta L=0.30$ m)

Damlatıcı sayısı	Damlatıcıların yer aldığı lateral tipleri					
	I		II		III	IV
	A	D	E	F	B	C
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.646	0.647	0.647	0.647	0.632	0.655
3	0.543	0.544	0.544	0.544	0.527	0.554
4	0.495	0.496	0.495	0.495	0.477	0.505
5	0.467	0.467	0.467	0.467	0.449	0.477
7	0.435	0.436	0.436	0.435	0.417	0.446
10	0.412	0.413	0.413	0.412	0.394	0.423
12	0.403	0.404	0.404	0.404	0.385	0.415
15	0.395	0.396	0.395	0.395	0.376	0.406
17	0.391	0.392	0.391	0.391	0.372	0.402
20	0.386	0.387	0.387	0.387	0.367	0.397
30	0.377	0.378	0.378	0.378	0.359	0.389
40	0.373	0.374	0.374	0.374	0.354	0.384
50	0.369	0.371	0.371	0.371	0.351	0.382
60	0.367	0.370	0.370	0.369	0.349	0.380
70	0.365	0.368	0.368	0.368	0.346	0.378
80	0.362	0.367	0.368	0.366	0.344	0.377
90	0.360	0.366	0.367	0.365	0.342	0.376
100	0.357	0.365	0.366	0.364	0.339*	0.375
110	0.354	0.365	0.366	0.363	0.336	0.374
120	0.351	0.364	0.365	0.362	0.333	0.373
130	0.347	0.363	0.365	0.361	0.329	0.372
140	0.343*	0.362	0.365	0.360	0.325	0.371
150	0.339	0.362	0.364	0.359	0.320	0.369
160	0.334	0.361	0.364	0.358	0.316	0.368
170	0.329	0.360	0.364	0.356	0.310	0.367*
180	0.324	0.360	0.363	0.355	0.305	0.365
190	0.318	0.359	0.363	0.354	0.299	0.364
200	0.313	0.358**	0.363	0.352	0.294	0.362

* Cu $\geq$ 97.5

** $h_i \geq 30$ mSS

Aynı tip damlatıcılı laterallerin F değerleri 10. damlatıcıdan sonra da az da olsa azalmaya devam etmiştir. Bu iki damlatıcının yer aldığı lateraller için elde edilen F değerleri birbirleri ile karşılaştırıldığında sayısal olarak farklılık görülmektedir. Bu durum, Howell ve Hiler (21)'in boylamasına geçik damlatıcılı laterallerde F değerlerinin mutlak suretle belirlenmesi gerektiği görüşünü doğrulamaktadır.

Ayrıca üzerine geçik damlatıcılı lateraller (I ve II) için bulunan F değerleri ile boylamasına geçik damlatıcılı lateraller (III ve IV) için bulunan F değerleri, birbirleri ile karşılaştırıldıklarında da aralarında sayısal olarak benzerlik görülmemiştir.

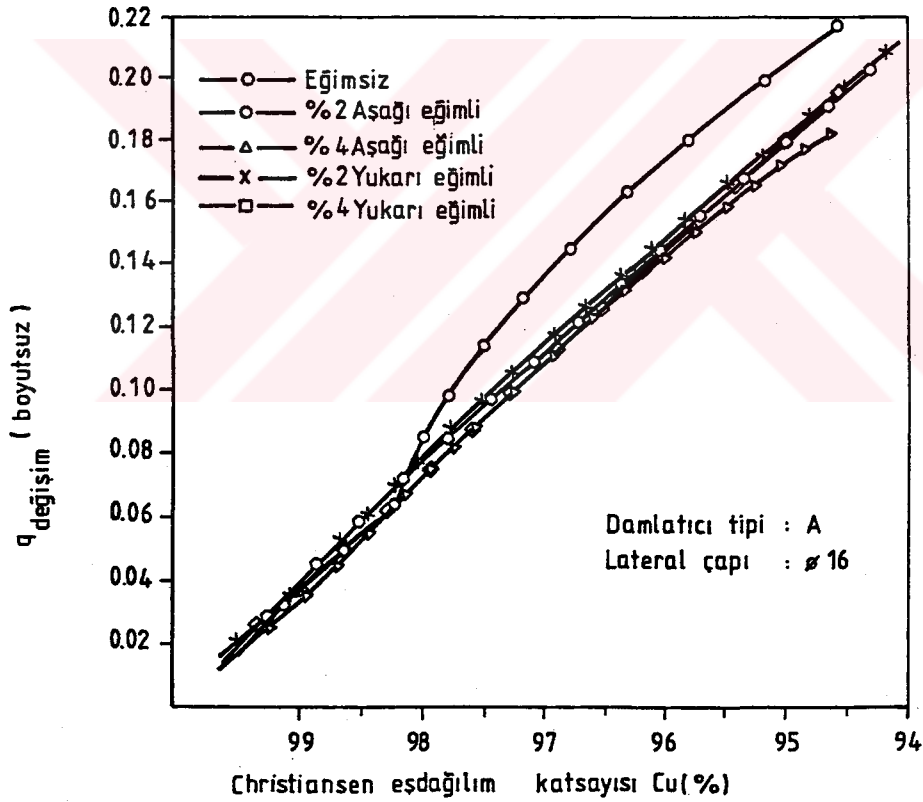
4.3.2 Lateral Uzunluklarına İlişkin Bulgular ve Tartışma

4.3.2.1 Basınç Dengeleme Özelliği Bulunmayan Damlatıcılı Laterallerin Uzunluklarına İlişkin Bulgular ve Tartışma

Damla sulama sistemlerinde basınç dengeleme özelliği bulunmayan (basınç dengeleyicisiz) damlatıcılı laterallerde, yeterli düzeyde yeknesak su dağılımı sağlayan lateral uzunluklarının belirlenmesinde, yaygın olarak damlatıcı debi değişimi $(q_{\text{değişim}} = (q_{\text{max}} - q_{\text{min}}) / q_{\text{max}})$ veya Christiansen eşdağılım katsayısı (C_u) ([12] numaralı eşitlik) kullanılmaktadır. Uygulamada basınç dengeleyicisiz damlatıcılı (akış rejimi katsayısı $x=0.5$ için) laterallerde, lateral boyunca damlatıcı debi değişiminin üst sınırı olarak $q_{\text{değişim}} = 0.10$ veya buna karşılık gelen Christiansen eşdağılım katsayısının alt

sınırı $Cu=97.5$ değerleri, sınır değerler olarak kabul edilmektedir (29,47).

Bu maksatla basınç dengeleyicisiz damlatıcılı lateraller için elde edilen bilgisayar programı çıktılarından yararlanarak, iki eşitlik ($q_{\text{değişim}} - Cu$) arasındaki ilişki belirlenmiştir. Örnek olması amacıyla, basınç dengeleyicisiz A damlatıcısının $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu lateralin, değişik eğim koşulları (eğimsiz (düz), % 2 ve % 4 aşağı, % 2 ve % 4 yukarı için $q_{\text{değişim}}$ ile Christiansen eşdağılım katsayısı (Cu) arasında belirlenen ilişki Şekil 24'te verilmiştir.



Şekil 24. Basınç dengeleyicisiz A damlatıcısının $\Delta L=0.90$ m damlatıcı aralığında yerleştirildiği I nolu lateralin, değişik eğim koşulları için $q_{\text{değişim}}$ ile Christiansen eşdağılım katsayısı (Cu) arasındaki ilişki

Şekil 24'den de görüleceği gibi eğimsiz ve düzgün yukarı eğimli lateralde, $q_{\text{değişim}}$ parametresinin $q_{\text{değişim}} = 0.10$ değeri, Christiansen eşdağılım katsayısının $Cu \approx 97.4$ değerine karşılık gelmektedir. Bulunan bu sonuç, Wu ve ark.(47)'nin belirlediği $Cu = 97.5$ değeri ile aynı bulunmamıştır. Söz konusu durum, damlatıcı akış rejimine bağlı katsayının $x=0.5$ alınmayıp, basınç dengeleyicisiz A damlatıcısı için denemelerle bulunan $x=0.680$ alınarak bilgisayar programının çalıştırılması ile açıklanabilir (Çizelge 10).

Lateralin düzgün aşağı eğimli olması halinde (% 2 aşağı) ise $q_{\text{değişim}}$ -Cu arasındaki ilişkide eğimsiz veya düzgün yukarı eğimli duruma göre sapmalar meydana gelmektedir (Şekil 24). Bir önceki bölümde de (4.3.1) belirtildiği gibi düzgün aşağı eğimli laterallerde, yükseklik farkı (eğim) nedeniyle damlatıcı debi değişimi ($q_{\text{değişim}}$) lateralın belirli bir bölümünde sabit olarak kalmakta (Çizelge 17; Damlatıcı sıra no: 60-120) fakat belirli bir damlatıcıdan ($i = 120$) itibaren sürtünmenin artması sonucu $q_{\text{değişim}}$ ani olarak yükselmektedir ve bu nedenle sapmalar oluşmaktadır. Çizelge 17 ve Şekil 24'den de görüleceği gibi, A damlatıcısının yerleşik bulunduğu I nolu lateralın % 2 düzgün aşağı eğimli durumu için $q_{\text{değişim}} \approx 0.10$ değerinin $Cu=97.783$ değerine karşılık gelmesi, $Cu \approx 97.4$ değerine göre sapmalara örnek olarak gösterilebilir.

Elde edilen bu sonuçlar göstermiştir ki lateral boyunca en düşük ve en yüksek damlatıcı debilerinin yeri değişmektedir. Ayrıca lateralın belirli bir bölgesinde damlatıcı debileri (q) değişmesine rağmen damlatıcı debi değişimi ($q_{\text{değişim}}$) sabit olarak kalmaktadır. Bu durumda optimum lateral uzunluklarının

Y. Ç.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

belirlenmesinde, damlatıcı debi değişimi ($q_{\text{değişim}}$) parametresinin kullanılması uygun olmayacaktır. Bu nedenle basınç dengeleme özelliği bulunmayan (basınç dengeleyicisiz) damlatıcılı laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesinde, Wu ve ark. (47), Korukçu (29) ve Tüzel (38) tarafından da en doğru yöntemlerden birisi olarak belirtilen ve lateral üzerindeki her bir damlatıcı debisinin dikkate alındığı Christiansen eşdağılım katsayısının (C_u) kullanılması daha doğru olacaktır.

Araştırmada eşdağılım katsayısının alt sınırı olarak, çeşitli araştırmacılar tarafından da önerilen $C_u=97.5$ değeri esas alınmıştır.

Basınç dengeleme özelliği bulunmayan A, B ve C damlatıcılarının değişik aralıklarla yer aldığı I, III ve IV nolu laterallerde, farklı lateral giriş basınçları (h_1) ve eğim dereceleri için $C_u \geq 97.5$ koşulunu sağlayan lateral uzunlukları, yöntem bölümünde açıklandığı gibi hazırlanan çizelgeler halinde verilmiştir (Çizelge 21, 22 ve 23).

4.3.2.2 Basınç Dengeleyici Özellikteki Damlatıcılı

Laterallerin Uzunluklarına İlişkin Bulgular ve Tartışma

Basınç dengeleyici özellikteki damlatıcıların debileri, 4.3.1 bölümünde de açıklandığı gibi damlatıcının basınç dengeleme özelliği nedeniyle değişmemekte ya da çok küçük oranlarda azalmakta veya çoğalmaktadır. Bu nedenle, lateral üzerinde $C_u \geq 97.5$ koşulunun sağlanabilmesi çok yüksek giriş basınçlarını gerektirmektedir (Çizelge 18). Bazen ekonomik, bazen de teknik nedenler bu kadar yüksek giriş basınçlarının elde edilmesine imkan vermemektedir. Bunun sonucu olarak,

basınç dengeleyici özellikteki damlatıcılı laterallerin optimum uzunluklarının $Cu \geq 97.5$ koşuluna göre belirlenmesi hatalı olacaktır.

Genel olarak ekonomik ve teknik nedenlerden dolayı bir damla sulama sistemi 5-30 mSS basınç değerleri arasında çalışmaktadır. Bu nedenle basınç dengeleyici özelliğe sahip damlatıcıların yerleştirildiği laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesinde, Christiansen eşdağılım katsayısının (Cu) yanında, en düşük (h_{min}) ve en yüksek (h_{max}) lateral basınçları da dikkate alınmalıdır.

Araştırmada, basınç dengeleyici özellikteki D, E_1, E_2, F_1 ve F_2 damlatıcılarının değişik aralıklarla yerleştirildiği I ve II nolu laterallerde, farklı lateral giriş basınçları (h_i) ve eğim dereceleri için, lateral sonu basıncı $h_1 \geq 5$ mSS veya $Cu \geq 97.5$ koşulunu sağlayan lateral uzunlukları Çizelge 24, 25, 26, 27 ve 28'de verilmiştir.

Çizelgelerin (21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 ve 28) tümünden de görüleceği gibi eğimsiz laterallere oranla yukarı eğimli laterallerin uzunlukları, eğimin derecesine bağlı olarak önemli oranda azalmaktadır. Fakat aşağı eğimli laterallerin uzunlukları damlatıcı özelliğine bağlı olarak artmakta veya belirli bir eğim derecesinden sonra önemli oranda azalmaktadır.

Söz konusu durumlar şu şekilde açıklanabilir:

Yukarı eğimli laterallerde, eğim ve lateral boyunca oluşan sürtünme kayıplarının birlikte etkisi sonucunda lateral boyunca basınç azalacaktır.

- Basınç dengeleme özelliği bulunmayan damlatıcılı laterallerde basıncın azalması, damlatıcı debilerinin de azalmasına neden olacaktır. Bunun sonucunda damlatıcı

Çizelge 22. Yerli yapım boylamasına geçik basınç dengeleyicisiz B damlatıcısının, değişik aralıklarla yer aldığı III nolu laterallerde (ø20), farklı lateral giriş basınçları için $Cu > 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m)

Lateral eğimi (%)	Lateral giriş basıncı h_a (mSS)															
	10				15				20				30			
	Damlatıcı aralığı ΔL (m)															
	0.20	0.30	0.60	0.90	0.20	0.30	0.60	0.90	0.20	0.30	0.60	0.90	0.20	0.30	0.60	0.90
Eğimsiz	34.00	45.60	68.40	91.80	32.40	43.20	64.80	86.40	31.20	41.40	62.40	83.70	29.60	39.00	59.40	79.20
Yukarı eğimli																
2	12.40	18.30	34.20	49.50	16.80	24.30	42.60	60.30	19.60	27.90	46.80	64.80	22.40	30.90	49.80	67.50
4	6.60	9.90	19.20	28.80	9.60	14.10	27.00	39.60	12.20	18.00	33.60	47.70	16.40	23.40	40.80	56.70
6	4.40	6.60	13.20	19.80	6.60	9.60	19.20	28.80	8.60	12.60	24.60	36.00	12.20	17.70	33.00	46.80
8	3.40	5.10	10.20	15.30	5.00	7.50	14.40	21.60	6.60	9.60	19.20	28.80	9.40	14.10	27.00	38.70
10	2.80	4.20	8.40	12.60	4.00	6.00	12.00	18.00	5.20	7.80	15.60	23.40	7.80	11.40	22.20	33.30
Aşağı eğimli																
2	16.60	26.40	93.60	123.30	44.20	57.60	84.60	109.80	41.20	52.80	76.80	99.90	36.20	46.50	68.40	89.10
4	7.60	11.40	23.40	36.00	11.80	18.00	42.60	117.00	17.40	30.90	85.20	111.60	40.20	51.60	76.20	98.10
6	5.00	7.50	15.00	23.40	7.60	11.40	23.40	36.00	10.40	15.60	34.80	61.20	18.20	52.50	81.00	104.40
8	3.80	5.70	11.40	17.10	5.60	8.40	17.40	26.10	7.60	11.40	23.40	36.00	12.00	18.30	81.00	107.10
10	3.00	4.50	9.00	13.50	4.60	6.90	13.80	20.70	6.00	9.00	18.60	27.90	9.20	14.10	30.60	49.50

Çizelge 23. Yabancı yapım boylamasına basınç dengeleyicisiz C
damlatıcısının $\Delta L=0.30$ m damlatıcı aralığında yer aldığı
IV nolu lateralde ($\phi 16$), farklı lateral giriş basınçları için
 $C_u \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m)

Lateral eğimi (%)	Lateral giriş basıncı h_i (mSS)			
	10	15	20	30
Eğimsiz	50.70	51.60	52.20	53.40
Yukarı eğimli				
2	23.40	30.60	35.40	41.40
4	13.20	18.90	23.70	31.20
6	9.00	13.20	17.10	23.70
8	6.90	9.90	13.20	18.90
10	5.40	8.10	10.50	15.60
Aşağı eğimli				
2	74.40	71.70	68.70	65.10
4	16.80	28.50	76.80	74.70
6	11.10	16.80	23.70	78.30
8	8.10	12.30	16.80	27.90
10	6.60	9.90	13.20	20.70

Çizelge 24. Yabancı yapım üzerine geçik basınç dengeleyicili D damlatıcısının, değişik aralıklarla yerleştirildiği I nolu laterallerde (ø16), farklı lateral giriş basınçları için $h_1 \geq 5$ mSS veya $C_u \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m)

Lateral eğimi (%)	Lateral giriş basıncı h_1 (mSS)															
	10				15				20				30			
	Damlatıcı aralığı ΔL (m)															
	0.20	0.30	0.60	0.90	0.20	0.30	0.60	0.90	0.20	0.30	0.60	0.90	0.20	0.30	0.60	0.90
Eğimsiz	32.80	47.40	79.80	108.00	41.40	60.00	100.80	137.70	47.40	68.70	115.20	157.50	56.20	81.60	136.20	187.20
Yukarı eğimli																
2	25.60	37.20	65.40	90.00	35.60	51.90	88.80	112.40	42.20	61.50	105.00	144.90	51.80	75.30	127.80	176.40
4	19.40	28.50	52.20	73.80	30.00	44.10	78.00	108.90	37.20	54.60	94.80	132.30	47.60	69.30	119.40	165.60
6	15.00	22.20	42.00	60.30	25.20	37.20	67.80	95.40	32.80	48.00	85.80	120.60	43.40	63.60	111.00	154.80
8	11.80	17.70	34.20	50.40	21.20	31.50	58.80	84.60	28.60	42.30	76.80	108.90	39.60	58.20	103.20	144.90
10	9.80	14.70	28.80	42.30	18.20	27.00	51.60	74.70	25.20	37.20	69.00	99.00	36.00	53.10	95.40	135.00
Aşağı eğimli																
2	40.40	58.20	94.20	126.90	47.40	68.70	112.20	152.10	52.80	76.20	125.40	171.00	60.60	87.60	144.60	198.00
4	47.60	68.40	108.60	145.80	53.40	76.80	124.20	167.40	58.00	83.40	135.60	183.60	65.00	93.90	153.60	208.80
6	54.40	78.00	122.40	162.90	59.20	84.90	135.60	181.80	63.00	90.60	145.80	197.10	69.40	99.90	162.00	220.50
8	60.60	86.70	135.60	180.00	64.60	92.70	146.40	196.20	68.00	97.50	155.40	209.70	73.60	105.90	170.40	231.30
10	66.40	94.80	147.60	195.30	69.80	99.90	156.60	209.70	72.60	104.10	165.00	221.40	77.80	111.60	178.80	241.20

Çizelge 28. Verli yapıım üzerine geçik basınç dengeleyicili F_2 damlatıcısının, değişik aralıklarla yerleştirildiği II nolu laterallerde (s15), farklı lateral giriş basınçları için $h_1 \geq 5$ mSS veya $Cu \geq 97.5$ koşulunu sağlayan optimum lateral uzunlukları (m)

Lateral eğimi (%)	Lateral giriş basıncı h_1 (mSS)															
	10				15				20				30			
	Damlatıcı aralığı ΔL (m)															
	0.20	0.30	0.60	0.90	0.20	0.30	0.60	0.90	0.20	0.30	0.60	0.90	0.20	0.30	0.60	0.90
Eğimsiz	32.20	46.50	78.00	103.50	40.00	57.60	96.60	128.70	43.40	62.40	105.00	140.40	48.60	69.90	117.60	157.50
Yukarı eğimli																
2	25.20	36.90	64.20	87.30	34.00	49.20	85.20	115.20	38.00	55.20	94.80	127.80	44.20	63.90	109.20	146.70
4	19.40	28.50	51.60	72.00	28.40	41.40	73.80	101.70	33.00	48.00	84.60	115.20	39.80	57.90	100.20	136.80
6	15.00	22.20	42.00	59.40	23.40	34.50	63.60	89.10	28.20	41.40	75.00	103.50	35.60	51.90	91.80	126.00
8	11.80	17.70	34.20	49.50	19.60	28.80	54.60	77.20	24.20	35.70	66.00	92.70	31.80	46.50	84.00	117.00
10	9.80	14.70	28.80	42.30	14.60	24.60	46.80	67.50	21.00	30.90	58.20	83.70	28.20	41.70	76.80	107.10
Aşağı eğimli																
2	39.40	56.10	91.80	120.60	45.60	65.40	108.00	142.20	48.40	69.60	115.20	152.10	52.80	75.90	126.60	167.40
4	46.00	65.40	105.60	136.80	50.80	72.60	118.20	154.80	53.40	76.50	125.40	164.70	57.00	81.60	135.00	178.20
6	52.00	73.80	118.20	152.10	55.80	79.50	128.40	167.40	58.00	82.80	134.40	176.40	61.00	87.30	142.80	188.10
8	57.40	81.60	129.60	166.50	60.40	86.10	138.00	179.10	62.20	88.80	143.40	187.20	65.00	92.70	150.60	198.00
10	61.40	87.60	139.80	180.00	64.00	91.20	147.60	190.80	65.80	93.90	151.80	198.00	68.40	97.80	158.40	207.00

debileri arasındaki fark hızla artacaktır. Böylece lateral uzunlukları, eğimin derecesine ve sürtünme kayıplarına bağlı olarak azalacaktır.

- Basınç dengeleyici özellikteki damlatıcılı laterallerde, damlatıcının özelliği nedeniyle basıncın azalması sonucu debiler arasında önemli derecede fark olmamaktadır. Fakat lateraldeki basınç, eğim ve sürtünme nedeniyle belirlenen sınır basınca daha çabuk gelecektir. Böylece lateral uzunlukları eğimin derecesine ve sürtünme kayıplarına bağlı olarak azalacaktır.

Aşağı eğimli laterallerde ise 4.3.1 bölümünde de açıklandığı gibi eğim nedeniyle kazanılan basınç, sürtünme nedeniyle kaybolan basıncı belirli bir lateral uzunluğunca dengelemektedir. Bu nedenle aşağı eğimli laterallerin boyları daha uzun olarak bulunmuştur. Yalnız basınç dengeleme özelliği bulunmayan damlatıcılı (A,B ve C) laterallerde (I, III ve IV), aşağı eğimin derecesi arttığında, eğimin derecesi nedeniyle oluşan basınç farkları damlatıcı debileri arasındaki farklılığı arttırarak eşdağılım katsayısının (C_u) hızla düşmesine neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak da basınç dengeleyicisiz damlatıcılı laterallerin uzunlukları, belirli bir aşağı eğim derecesinden sonra ani olarak düşmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan yerli ve yabancı yapım damlatıcılarının özelliklerini ve bu damlatıcılardan yeknesak su dağılımını sağlayacak optimum lateral uzunluklarını belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, bu sonuçlara ve deneme anında yapılan gözlemlere dayanan öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Denemeye alınan değişik tipteki damlatıcılardan, basınç dengeleme özelliği bulunmayan (basınç dengeleyicisiz) uzun akış yollu, üzerine geçik A ve boylamasına geçik B ve C damlatıcılarının debileri, basınç artışına bağlı olarak artmaktadır. Söz konusu damlatıcıların yer aldığı yerli yapım I ve III, yabancı yapım IV nolu laterallerde, lateral boyunca sürtünmelerden dolayı kaybolan basınç nedeniyle, damlatıcı debileri değişecektir. Bu nedenle A,B ve C damlatıcılarının yer aldığı damla sulama sistemlerinin projelendirilmesi esnasında, damlatıcı debilerindeki değişim dikkate alınarak optimum lateral uzunlukları belirlenmelidir.

Bununla birlikte basınç dengeleme özelliği bulunan (basınç dengeleyicili) üzerine geçik D, E_1, E_2, F_1 ve F_2 damlatıcılarının debileri basınca bağlı olarak önemli oranda değişmemektedir. Söz konusu damlatıcılarda debi, belirli bir basınç değişim aralığında (5-30 mSS) hemen hemen sabit olarak kalmaktadır. Bu durumda lateral boyunca sürtünmelerden dolayı oluşacak basınç değişimlerinden, basınç dengeleyicili bu tip damlatıcıların debileri değişmeyecek veya çok az değişime uğrayacaktır. Bu nedenle basınç dengeleyici özellikteki damlatıcıli laterallerin, damlatıcı debi değişimine göre

uzunluklarının belirlenmesi hatalı olacaktır. Basınç dengeleyicili tip damlatıcılarda, damlatıcının basınç dengelemesi yaptığı basınç değişim bölgesinin, alt ve üst sınırlarının, yapılacak denemelerle dikkatle ortaya konması gerekmektedir.

Denemeye alınan yerli ve yabancı yapım farklı tipteki damlatıcıları birbirleri ile karşılaştırabilmek ve etkinlikleri hakkında bilgi vermek amacıyla damlatıcıların denemelerde elde edilen sonuçlara ve deneme anında yapılan gözlemlere dayanan bazı özellikleri Çizelge 29'da verilmiştir.

Çizelge 29.Damlatıcıların, denemelerde elde edilen sonuçlara ve deneme anında yapılan gözlemlere dayanan bazı özellikleri

Damlatıcı tipi		Yapım farklılığı	Basınç dengeleme	Laterale yerleştirme
Basınç d.yisiz	Basınç d.yicili	özelliliği (V_m)*	özelliliği	kolaylığı
A ⁺		orta	-	zor değil
B ⁺		mükemmel	-	imalat esnasında yerleşik
C		mükemmel	-	imalat esnasında yerleşik
	D	orta	çok iyi	çok zor
	E ₁	orta	çok iyi	çok zor
	E ₂	orta	iyi	çok zor
	F ₁ ⁺	çok kötü	orta	zor değil
	F ₂ ⁺	çok kötü	orta	zor değil

+ : Yerli yapım damlatıcılar

* : Solomon (34,35) tarafından belirtilen yapım farklılığı katsayısı

Yerli yapım olan A ve B ile yabancı yapım olan C damlatıcılarının basınç dengeleme özelliğinin bulunmaması nedeniyle lateral boyunca damlatıcılardan eşit su dağılımının sağlanamaması, bu damlatıcılar için bir dezavantaj kabul edilebilir. Ancak boylamasına geçik B ve C damlatıcıları, laterale yerleştirme kolaylığının bulunması ve yapım farklılığı özelliğinin mükemmel sayılacak kadar iyi olması nedeniyle avantaj sağlamaktadır.

Yabancı yapım D, E_1 ve E_2 damlatıcılarında basınç dengeleme özelliğinin bulunması nedeniyle lateral boyunca damlatıcılardan eşit su dağılımının sağlanması bu damlatıcılar için bir avantaj olarak kabul edilebilir.

Diğer taraftan bu damlatıcıların yapım farklılığı özellikleri de kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Ancak söz konusu D, E_1 ve E_2 damlatıcılarının boyutlarının çok küçük olması nedeniyle, lateral üzerine el ile yerleştirilmeleri oldukça zor ve zaman alıcı olmaktadır. Ayrıca yerleştirme işleminin el ile yapılması esnasında deliklerin dikkatli bir şekilde delinmemesi, damlatıcı ile boru arasından su sızıntısına sebep olmaktadır. Bu nedenler sonucunda, özellikle boyutları küçük olan damlatıcılar ile tüm üzerine geçik damlatıcıların, laterale kolay yerleştirilebileceği alet veya ekipmanların geliştirilerek, yerleştirme işleminin bunlar ile yapılması daha uygun olacaktır.

Yerli yapım olan ve basınç dengeleme özelliği bulunan F_1 ve F_2 damlatıcıları ise yine yerli yapım olan A ve B damlatıcılarından ve yabancı yapım olan C, D, E_1 ve E_2 damlatıcılarından daha kötü bir yapım özelliğine sahiptir. Ayrıca F_1 ve F_2 damlatıcılarının basınç dengeleme özelliği yönünden de yabancı yapım basınç dengeleyicili D, E_1 ve E_2 damlatıcılarına göre de çok iyi oldukları söylenemez.

Denemeye alınan farklı tipteki laterallerde yer alan damlatıcıların, lateral içinde kalan kısımlarının büyük oranda pürüzlülük yaratması sonucu ek sürtünme kayıpları önemli derecede artmıştır. Bu artış belirli bir lateral bölümündeki damlatıcı sayısının artması yani damlatıcı aralığının azalması sonucu daha belirgin hale gelmektedir. Ayrıca lateral olarak kullanılmak amacıyla üretilen boruların yapı m özellikleri nedeniyle de farklı sürtünme kayıpları oluşmaktadır.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, üzerinde damlatıcıları ile birlikte damla sulama laterali olarak üretilen veya düz boru üzerine değişik aralıklarla damlatıcı yerleştirilerek damla sulama laterali olarak düzenlenen değişik lateral tipleri ve damlatıcı aralıklarına ilişkin sürtünme kayıpları laboratuvar denemeleri ile belirlenmelidir. Ayrıca bu verilere dayalı sürtünme kayıp eşitliklerinin geliştirilmesine gerek vardır.

Lateral boyunca oluşan toplam sürtünme kayıplarının hesaplanmasında kullanılan Christiansen azaltma faktörlerinin (F) de, lateral ve lateralde yer alan damlatıcı tipine göre belirlenmesi için laboratuvar çalışmaları önem taşımaktadır. Denemelerden de belirlendiği gibi boylamasına geçik B ve C damlatıcılarının yer aldığı III ve IV nolu lateraller için belirlenen F değerleri, üzerine geçik A, D, E₁, E₂, F₁ ve F₂ damlatıcılarının yerleştirildiği I ve II nolu lateraller için genel olarak belirlenen F=0.36 değerinden farklı bulunmuştur. Bu da özellikle boylamasına geçik damlatıcıların yer aldığı laterallerde F azaltma faktörü değerlerinin belirlenmesinin gerekli olduğunu göstermektedir.

Damla sulama sistemlerinin projelendirilmesinde önemli bir aşamayı oluşturan laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesi, damlatıcı debileri arasındaki değişimin belirli bir sınırı aşmaması yani lateral boyunca kabul edilebilir yeknesaklıkta su dağılımı sağlanması kuralına göre yapılmaktadır. Ancak denemeler de göstermiştir ki, günümüzde üretilen basınç dengeleyici özellikteki damlatıcılar, amacına uygun olarak yapıldıklarında, damlatıcı debileri basınç değişimlerinden hiç etkilenmemekte veya çok az etkilenmektedir. Yalnız tam basınç dengeleme özelliği göstermeyen fakat yine de basınç dengelemesi yapan bazı damlatıcılar (Örneğin F_1 ve F_2) ile oluşturulan laterallerde, lateral boyunca damlatıcı debileri arasındaki değişim, eğimin değişik derecelerine bağlı olarak önemli hale gelebilmektedir.

Yukarıda açıklanan nedenler sonucunda:

- Basınç dengeleme özelliği bulunmayan damlatıcıları laterallerin uzunlukları, damlatıcı debileri arasındaki değişimin kabul edilebilir sınırı ($C_u > 97.5$) aşmaması kuralına göre belirlenmelidir.

- Basınç dengeleyici özellikteki damlatıcılar ile oluşturulan laterallerin uzunlukları ise, damlatıcının basınç dengelemesi yaptığı basınç değişim sınırları ve damlatıcı debileri arasındaki değişim birlikte dikkate alınarak belirlenmelidir. Basınç değişim sınırlarının belirlenmesi için bu tip damlatıcıların basınç-debi ilişkilerinin laboratuvar denemeleri ile dikkatle saptanması önem taşımaktadır.

Son yıllarda damla sulama sistemi, Ege ve Akdeniz bölgeleri başta olmak üzere, ülkemizde meyve bahçelerinin, özellikle seraların ve bağların sulanmasında yaygın bir

kullanım alanı bulmuştur. Fakat sistemi oluşturan elemanların ülkemizde üretimi henüz yeterli kalite ve çeşitliliğe ulaşamamıştır. Bu nedenle sistemi oluşturan damlatıcılar, özellikle basınç dengeleme özelliği bulunan damlatıcılar, filtreler, gübre uygulama ekipmanları gibi elemanlar ithal yoluyla ülkemize girmektedir. Bu da sistemin ilk kuruluş maliyetinin yüksek olmasına neden olmakta, dolayısıyla sistemin yaygınlaşmasını olumsuz yönde etkilemektedir.

Ancak sistemi oluşturan elemanların (damlatıcı, filtre, gübre uygulama elemanları, vb.) ülkemizde üretimine başlanması, üretimin gerek hammadde gerekse teknik yönden yapım farklılığını en aza indirecek düzeyde yapılması ve üretim anında kalite kontrolünün yapılarak piyasaya sunulması, damla sulama sisteminin, ülkemiz topraklarının sulanmasında kullanım olanakları bakımından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca sistemi oluşturan elemanlardan filtreler, gübre uygulama ekipmanları üzerinde de araştırmaların yapılması, sistemin bir bütün olarak projelendirilmesi amacıyla önem taşımaktadır.

ÖZET

Özellikle son yıllarda yağışların azlığı ve yeterli suyun bulunamayışı ülkemizde sulama suyunun daha etkin kullanımını gündeme getirmiştir. Bu amaca uygun sulama yaparak su tasarrufu sağlayan mikro sulama yöntemleri içinde yer alan "damla sulama sistemi" ülkemizde hızla yaygınlaşmaktadır. Sistem, özellikle Ege ve Akdeniz Bölgesinde yaygın kullanım alanı bulmuştur.

Damla sulama sisteminde, kaynaktan alınan suyun, lateral boyunca yeknesak bir şekilde ve bitki kök bölgesine denetimli olarak verilmesini sağlamak amaçlanmaktadır. Bu nedenle sistemi oluşturan tüm elemanlar en iyi randımanı verecek şekilde tasarlanmalıdır. Özellikle sistemin en önemli elemanlarından biri olan damlatıcıların özelliklerinin ve bu damlatıcılardan yeknesak su dağılımını sağlayacak PE (Polietilen) laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesi gereklidir.

Bu araştırma, Türkiye'de yaygın olarak kullanılan, yerli ve yabancı yapım damlatıcıların özelliklerini ve bu damlatıcılardan yeknesak su dağılımını sağlayacak optimum lateral uzunluklarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Araştırma, E.Ü.Ziraat Fakültesi Tarımsal Mekanizasyon Bölümü Pompa Deneme Laboratuvarında yürütülmüştür.

Araştırmada damlatıcı materyali olarak ülkemizde yaygın olarak kullanılan farklı yapım özelliklerine sahip altı damlatıcı (A,B,C,D,E ve F) ve bu damlatıcıların yalnızca ikisinin farklı debi değerlerindeki iki damlatıcısı (E_1, E_2 ve F_1, F_2) ele alınmıştır. Böylece denemelerde toplam sekiz adet damlatıcı kullanılmıştır (Çizelge 2).

Lateral materyalini ise farklı özellikteki dört tip Polietilen (PE) boru (lateral) oluşturmaktadır (Çizelge 3). Bu lateraller şu şekildedir:

- I ve II nolu lateraller, üzerine geçik damlatıcıları (A, D, E_1, E_2, F_1 ve F_2) yerleştirmek amacıyla üretici firmaların kullandıkları yerli yapım iki farklı düz borudan ($\phi 16$ ve $\phi 15$ mm dış çap) oluşturulmuştur.

- III ve IV nolu lateraller ise, boylamasına geçik damlatıcıların (B ve C) belirli aralıklarla imalat esnasında yerleştirildiği iki farklı lateralden ($\phi 20$ ve $\phi 16$ mm dış çap) meydana gelmiştir.

İlk aşamada; denemeye alınan damlatıcıların özelliklerini (k, x, V_m gibi) belirleyebilmek amacıyla laboratuvarında oluşturulan deneme düzeninden yararlanılmıştır (Şekil 12). Bu amaçla aynı tipten 30 damlatıcının debileri 5 mSS basınçtan 30 mSS basınca kadar 5 mSS basınç artışlarıyla, toplam altı farklı basınçta ölçülmüştür. Her bir basınçtaki debi ölçümleri, üç tekrarlı olarak sekiz damlatıcı için de ayrı ayrı yapılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak, damlatıcıların basınç-debi ilişkileri ($q=kh^x$) ve yapım farklılıkları (V_m) belirlenmiştir (Çizelge 9, 10).

İkinci aşamada, damlatıcıların yer aldığı bütün laterallerde oluşan sürtünme kayıpları ve damlatıcıların oluşturduğu ek sürtünme kayıplarını belirleyebilmek amacıyla laboratuvarında kurulan ikinci bir deneme düzeninden yararlanılmıştır (Şekil 13). Bu amaçla üzerine geçik damlatıcıların (A, D, E_1, E_2, F_1 ve F_2) 0.90, 0.60, 0.30, 0.20 m damlatıcı aralıklarında yerleştirildiği laterallerde (I ve II)

basınç yükseklikleri ölçümleri yapılmıştır. Boylamasına geçik bir damlatıcı tipi (B) için aynı aralıklardaki laterallerde (III) diğer tip damlatıcı (C) için de temin edilebilen 0.30 m damlatıcı aralığındaki lateralde (IV) ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre değişik lateraller, damlatıcılar ve damlatıcı aralıklarına ilişkin sürtünme kayıp eşitlikleri belirlenmiştir (Çizelge 14, 15 ve 16).

Üçüncü aşamada, denemeye alınan farklı özellikteki lateraller boyunca değişik damlatıcı aralıkları ve çeşitli eğim derecelerindeki basınç ve debi dağılımları adımlama yoluyla hesaplanmıştır (Çizelge 17, 18 , 19). Hesaplamalarda BASIC programlama dilinde hazırlanan bilgisayar programından yararlanılmıştır (Ek-1 ve Ek-2). Böylece her bir damlatıcının yer aldığı laterallerin optimum uzunlukları ortaya konulmuştur.

Araştırmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. Denemeye alınan basınç dengeleyicisiz A,B ve C damlatıcıları debilerinin, yapım özelliğine göre basınca bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir (Şekil 15). Buna karşın basınç dengeleyicili diğer damlatıcıların (D, E_1, E_2, F_1 ve F_2) debileri, basınca bağlı olarak önemli düzeyde değişmemiştir (Şekil 16).
2. Damlatıcıların yapım farklılığı katsayıları (V_m) incelendiğinde, yerli yapım A ve B damlatıcılarının V_m değerleri ile yabancı yapım C,D, E_1 ve E_2 damlatıcılarının V_m değerleri birbirine benzer bulunmuştur (Çizelge 10). Ancak yerli yapım F_1 ve F_2 damlatıcılarının V_m değerlerinin yüksek olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 17).

3. Denemeye alınan farklı özellikteki laterallerde değişik damlatıcı aralıkları için belirlenen Darcy-Weisbach sürtünme faktörü (f) ile Reynolds sayısı (R_e) ilişkisi incelendiğinde, lateral üzerindeki damlatıcıların ek sürtünme kayıplarına neden olduğu görülmektedir. Ayrıca lateral üzerindeki damlatıcı sayısının artmasına bağlı olarak sürtünme kayıplarının da arttığı ortaya çıkmıştır (Şekil 18, 19 ve 20). Bu nedenle her lateral tipi ve damlatıcı aralığı için sürtünme kayıp eşitlikleri belirlenmiştir.
4. Deneme sonuçları, Hazen-Williams pürüzlülük katsayısının (C), ortalama akış hızına ve damlatıcı aralığına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir (Şekil 21, 22 ve 23). Bu nedenle, damla sulama laterallerinde sürtünme kayıplarının hesaplanmasında kullanılan Hazen-Williams eşitliğindeki pürüzlülük katsayısının değişik koşullar için tek bir değer olarak (Örneğin genel olarak kullanılan $C=130$ gibi) alınması projelirmede hatalara neden olacaktır. Hesaplamalarda, denemeler sonucu ortaya konan pürüzlülük katsayılarının kullanılması uygun olacaktır.
5. Toplam sürtünme kayıplarının hesaplanmasında yararlanılan Christiansen azaltma faktörü (F) değerleri, üzerine geçik damlatıcılı (A , D , E_1 , E_2 , F_1 ve F_2) lateraller (I ve II) için, lateral üzerindeki belirli bir damlatıcı sayısından ($i=20$) sonra sayısal olarak büyük oranda değişmemiştir. Azaltma faktörü, üzerine geçik damlatıcı bulunan laterallerde ortalama olarak $F=0.36$ bulunmuştur. Fakat boylamasına geçik damlatıcılı (B ve C) laterallerin (III ve IV) F değerleri,

damlatıcı tipine ve sayısına bağlı olarak farklı değerler almıştır (Çizelge 20). Bu nedenle boylamasına geçik damlatıcılı laterallere ilişkin F değerinin kesinlikle denemelerle belirlenmesi gerekmektedir.

6. Laterallerde yer alan damlatıcı tipine, aralığına ve lateral giriş basıncına bağlı olarak, değişik eğim koşullarında yeknesak su dağılımını sağlayacak optimum lateral uzunluklarının belirlenmesinde iki yol izlenmiştir.

a) Basınç dengeleme özelliği bulunmayan (basınç dengeleyicisiz) A, B ve C damlatıcılarının yer aldığı I, III ve IV nolu laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesi : Bu amaçla, lateralin , eğimsiz ve değişik eğim koşulları için $q_{\text{değişim}} = (q_{\text{max}} - q_{\text{min}}) / q_{\text{max}}$ ile Christiansen eşdağılım katsayısı (C_u) arasındaki ilişki belirlenmiştir (Şekil 24). Buna göre basınç dengeleyicisiz damlatıcılarla oluşturulan laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesinde, Christiansen eşdağılım katsayısı (C_u) kullanılarak, bu katsayıya ilişkin alt sınırın $C_u=97.5$ alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Denemeye alınan basınç dengeleyicisiz damlatıcılı laterallerin optimum uzunlukları da $C_u \geq 97.5$ koşuluna göre belirlenmiş ve sonuçlar çizelgeler halinde verilmiştir (Çizelge 21, 22 ve 23).

b) Basınç dengeleme özelliği bulunan (basınç dengeleyicili) D, E_1 , E_2 , F_1 ve F_2 damlatıcılarının yerleştirildiği I ve II nolu laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesi : Bu tip damlatıcıların debileri, damlatıcının basınç dengeleme özelliği nedeniyle değişmemekte veya çok az değişmektedir.

Bu nedenle optimum lateral uzunluklarının yalnız damlatıcı debilerine bağlı eşdağılım katsayısı ($C_u \geq 97.5$) kullanılarak belirlenmesinin hatalı olacağı görülmüştür (Çizelge 18). Buradan hareketle basınç dengeleyicili tip damlatıcıların yer aldığı laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesinde, damlatıcının basınç dengelemesi yaptığı basınç değişim bölgesinin, denemelerle belirlenen alt ve üst sınırlarının dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır. Denemeye alınan basınç dengeleyicili damlatıcıların yerleştirildiği laterallerin optimum uzunlukları, lateral sonu basıncı $h_1 \geq 5$ mSS ve $C_u \geq 97.5$ koşulları birlikte kontrol edilerek belirlenmiş ve sonuçlar çizelgeler halinde verilmiştir (Çizelge 24, 25, 26, 27 ve 28).

SUMMARY

The shortage of rain and the lack of sufficient water supplies in recent years have put on the agenda that in our country the irrigation water should be used more effective. Therefore, "trickle irrigation system" which is one of the micro-irrigation methods that save water by effective irrigation is rapidly spreading throughout the our country. This system is particularly used in Aegean and Mediterranean regions widely.

It is aimed in trickle irrigation system that the water is applied in a controlled way to the plant's root zones in a uniform way along the lateral. To do that, what has to be determined is optimum lateral lengths that the emitter will provide equal distribution of the irrigation water and the characteristics of emitters that are one of the important elements of the system.

This research has been carried out; a) to determine the properties of the emitters, manufactured in Turkey and in foreign countries that are extensively used in Turkey; b) to determine the optimum lateral lengths that will provide uniform water distribution of these emitters.

This research was carried out in Pump Testing Laboratory of Department of Agricultural Mechanization of Agricultural Faculty of Ege University.

In this research totaly eight emitters have been examined as the emitter material extensively used in our country: six different type emitters (A,B,C,D,E and F) and only two of these emitters (E_1, E_2 and F_1, F_2) at the different discharge values (Table 2).

The lateral material is composed of four Polyethylene (PE) pipes (or laterals) in different characteristics (Table 3). Description of these laterals are given below:

-The laterals I and II are consisted of two different straight pipes (outside diameter: $\phi 16$ and $\phi 15$ mm) which are used by manufacturer in order to locate the on-line emitters.

-The laterals III and IV are consisted of two different laterals (outside diameter: $\phi 20$ and $\phi 16$ mm) which the in-line emitters located in the certain spacings at the pipe during the production.

At the first step; the experiment design organized in the laboratory to determine the properties of emitters (k, x, V_m etc.) being tested was used (Fig.12). For this reason, the flow rates of 30 emitters of the same type, from 5 mSS pressure to 30 mSS pressure by 5 mSS pressure increases were measured in total six different pressures. Flow rates of emitters at the each pressure were measured three replication for all emitters. According to the results of measurement, pressure-discharge relationships of emitters ($q = kh^x$) and manufacturer variations of emitters (V_m) were determined (Table 9 and 10).

Set in the laboratory, a second experiment design was used at the second step to specify the friction losses in the all of laterals on which the emitters are located and the additional friction losses that the emitters will cause (Fig 13). To do so, the laterals (I and II) on which the on-line emitters (A,D,E₁,E₂, F₁ ve F₂) are located in 0.90, 0.60, 0.30 and 0.20 m emitter spacings, friction losses were measured. For an in-line emitter type (B), friction loss measurements were made in the laterals (III) which the same emitter spacings; and for the other in-line

type emitter (C), the lateral (IV) in 0.30 m emitter spacing which can be provided from market. According to the results of measurement, friction loss equations related to various lateral, emitters and emitter spacings were determined (Table 14, 15 and 16).

In the third step, along the experimented laterals of different properties, pressure and discharge distributions at various slope degrees and different emitter spacings were calculated step by step. A computer programme written in BASIC language was used in calculations (Appendix-1 and Appendix-2). So, optimum lengths of laterals on which each emitter is located, were put forward.

The results achieved in the research were summarized as follows:

1. It has been determined that the discharge values of the non-pressure compensating emitters (A, B and C) changed depending on the pressure, according to the manufacture properties of the emitters (Fig.15). However, the discharge values of the other pressure compensating emitters (D, E_1 , E_2 , F_1 ve F_2) did not change mostly depending on the pressure (Fig.16).
2. When the coefficients of manufacturing variation (V_m) of the emitters analyzed, V_m values of the domestic production A and B emitters and the foreign production C, D, E_1 ve E_2 emitters were found the same results (Table 10). But, it is decided that values of V_m for the home-made production F_1 and F_2 emitters were high (Fig.17).
3. When the relationship between Darcy-Weisbach friction factor and (f)-Reynolds number (R_e) was analysed for various emitter

spacings on the experimented laterals of different properties, the emitters on the lateral caused additional friction losses was determined. Moreover, it was observed that the more emitters on the lateral are caused to the more friction losses. As a result of this, for each lateral type and emitter spacing, friction loss equations were identified.

4. Experimentation results have exhibited that Hazen-Williams roughness coefficient (C) changed in connection with the average flow velocity and emitter spacing (Fig.21, 22 and 23). Accordingly it was concluded that using a single value of the roughness coefficient for different conditions ($C=130$) in the Hazen-Williams equation used to calculate the friction losses in the trickle irrigation laterals would be erroneous. In the calculations using the values of the roughness coefficient that was achieved in the result of the experiments will be appropriated.
5. Christiansen reduction factor (F) values used to calculate the total friction losses of laterals (I and II) having on-line emitters (A, D, E_1, E_2, F_1 and F_2) did not change largely after having a certain emitter number ($i=20$). Reduction factor for laterals having on-line emitters was found. But reduction factor has been taken different values depend on the number and type of the emitters for laterals (III and IV) having in-line emitters (B and C) were obtained (Table 20). On this occasion, value of F relating to the laterals having in-line emitters can be determined by the laboratory experiments.
6. Depending on lateral input pressure, the type and the spacing of the emitter connected to the laterals; two ways were followed to determine the optimum lateral lengths that would

supply uniform water distribution in various slope conditions.

a. The determination of the optimum lengths of laterals (I, III and IV) having non-pressure compensating emitters (A, B and C). For this aim, the relationship between $q_{\text{variation}} = (q_{\text{max}} - q_{\text{min}}) / q_{\text{max}}$ and Christiansen's uniformity coefficient (C_u) in horizontal and various slope conditions of laterals was determined (Fig.24). In order to determine the optimum lengths of laterals that having non-pressure compensating emitters it was hence proposed that using of the Christiansen's uniformity coefficient (C_u) and that lower limit related to this coefficient is taken as $C_u = 97.5$. The optimum lengths of laterals having non-pressure compensating emitters were determined in accordance with the condition $C_u \geq 97.5$, and the results were given in tables (Tables 21, 22 and 23).

b. The determination of the optimum lengths of laterals (I and II) having compensating emitters (D, E_1, E_2, F_1 and F_2) pressure. The discharges of this type emitters did not change or very little changed due to pressure compensating properties of emitter. On this occasion, determining of optimum lateral lengths that using with coefficient of uniformity ($C_u \geq 97.5$) depending on emitter discharges would be erroneous (Table 18). So, in the determination of the optimum lengths of laterals having pressure compensating emitters, it should be noted that the minimum and maximum limits of the pressure variation section determined with the experiments. The optimum lengths of laterals having pressure compensating emitters were determined by controlling the lateral and pressure $h_1 \geq 5$ mSS and $C_u \geq 97.5$ conditions together, and the results were given in tables (Table 24, 25, 26, 27 and 28).

LİTERATÜR LİSTESİ

1. ANONİM,1986. Design, Installation and Performance of Trickle Irrigation Systems. ASAE Standarts: EP 405, ASAE, St.Joseph,Michigan, p.510-513.
2. ANONİM,1988. Irrigation and Drip Irrigation World Wide. Drosbach Plastic-Industry. Rainer Isolierrohrfabrik Am Walburgastein. 7,P.O.Box 12 20 D 8852 Rain (Lech),Bayern, Germany.
3. ANYOJI,H.,1986. Comprehensive Design of Drip Irrigation Lines in a Submain Unit. Bulletin of the National Research Institute of Agricultural Engineering. No.25, Japan.
4. BALCI,A., 1975. Damla Sulamasının Projelenmesine İlişkin Esaslar (Çeviri). E.Ü.Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt 12, Sayı 3, İzmir.
5. BENAMI,A. and A.OFEN, 1984. Irrigation Engineering. Irrigation Engineering Scientific Publications, Hafia, Israel.
6. BOSWELL,M.J., 1986. Hydraulic Theory (Ed) Micro-Irrigation Design Manual. James Hardie Irrigation, 1588 N. Marshall Avenue P.O.Box "X" El Cajon, CA 92022-2246, U.S.A.
7. BRALTS,V.F., 1986. Operational Principles-Field Performance and Evaluation. In: Nakayama,F.S. and D.A.Bucks (Ed.), Trickle Irrigation for Crop Production. Elsevier Science Publishers B.V., P.O.Box 211,1000 AE Amsterdam,Netherland.
8. BRALTS,V.F. and I.P.WU, 1979. Emitter Flow Variation and Uniformity for Drip Irrigation. ASAE Paper No.79-2099. ASAE, St.Joseph,Michigan, 49085.

9. BRALTS,V.F., I.P.WU and H.M.GITLIN, 1981. Manufacturing Variation and Drip Irrigation Uniformity. Transactions of the ASAE 24(1): 113-119.
- 10.BRALTS,V.F., I.P.WU and H.M.GITLIN, 1982. Emitter Plugging and Drip Irrigation Lateral Line Hydraulics. Transactions of the ASAE 25 (5): 1274-1281.
- 11.BRAUD,H.J. and A.M.SOOM, 1981. Trickle Irrigation Lateral Design on Sloping Fields. Transactions of the ASAE 24 (4): 941-944, 950.
- 12.BUCKS,D.A. and S.DAVIS, 1986. Introduction-Historical Development. In: Nakayama F.S. and D.A.Bucks (Ed.), Trickle Irrigation for Crop Production. Elsevier Science Publishers B.V., P.O.Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherland.
- 13.BUCKS,D.A.,F.S.NAKAYAMA and A.W.WARRICK, 1982. Principles, Practices and Potentialities of Trickle (Drip) Irrigation. In: Hillel,D.(Ed.), Advances in Irrigation 1:219-298, Academic Press, New York.
- 14.DASBERG,S. ve E.BRESLER, 1985. Drip Irrigation Manual. International Irrigation Information Center (IIIC), P.O.B. 49, Volcani Center, 50250 Bet Degan, Israel.
- 15.DAUGHERTY,R.L.and J.B.FRANZINI, 1965. Fluid Mechanics with Engineering Applications. McGraw-Hill, New York, 574 pp.
- 16.DÜZGÜNEŞ,O., T.KESİCİ, O.KAVUNCU, F.GÜRBÜZ, 1987. Araştırma ve Deneme Metodları (İstatistik Metodları-II) A.Ü.Ziraat Fakültesi Yayınları, 1021, Ders Kitabı: 295, A.Ü. Basımevi, Ankara.
- 17.FINKEL,H.J. CRC Handbook of Irrigation Technology vol.1.CRC. Press, Inc.,Boca Raton,Florida.

18. GIAY, M.A. and R.F. ZELENKA, 1985. Experiences with the New ISO-Test Method on Pressure Compensated HB-System Emitters. Proc. Third. Inter'l. Drip/Trickle Irrig. Cong., Drip/Trickle Irrigation in Action, ASAE St. Joseph, Michigan, p. 318-324.
19. GIAY, M.A. and R.F. ZELENKA, 1986. Uniformity of Discharge of Different Types of Emitters in Comparison to the Pressure Compensated HB-Emitter. In: Petrasovits, I. and F. Ligetvari (Ed.), International Round-Table Conference on Microirrigation, Vol. II., Budapest, Hungary.
20. HOWELL, T.A. and E.A. HILER, 1972. Trickle Irrigation System Design. ASAE Paper No. 72-221. ASAE, St. Joseph, Michigan, 49085.
21. HOWELL, T.A. and E.A. HILER, 1974. Trickle Irrigation Lateral Design. Transactions of the ASAE 15 (4): 902-908.
22. HOWELL, T.A. and F.A. BARINAS, 1980. Pressure Losses Across Trickle Irrigation Fittings and Emitters. Transactions of the ASAE 23(4): 928-933.
23. HOWELL, T.A., F.K. ALJIBURY, H.M. GITLIN, I.P. WU, A.W. WARRICK and P.A.C. RAATS, 1983. Designing and Operation of Trickle (Drip) Systems. In: Jensen, M.E. (Ed.), Design and Operation of Farm Irrigation Systems. ASAE Monograph, No. 3, 2950 Niles Road, St. Joseph, Michigan, 49085, U.S.A.
24. JOBLING, G.A., 1974. Trickle Irrigation Design Manual-Part 1. New Zealand Agricultural Engineering Institute, Lincoln College, Canterbury, New Zealand, 68 pp.
25. JOBLING, G.A., 1974. Trickle Irrigation Design Manual-Part 2. New Zealand Agricultural Engineering Institute, Lincoln College, Canterbury, New Zealand, 20 pp.

26. KARMELI, D. and J. KELLER, 1975. Construction and Characteristics of Emitters. In: Trickle Irrigation Design. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation. Glendora, California.
27. KELLER, J. and D. KARMELI, 1973. Trickle Irrigation Design Parameters. ASAE Paper No. 73-234. ASAE, St. Joseph, Michigan, 49085.
28. KELLER, J. and D. KARMELI, 1974. Trickle Irrigation Design Parameters. Transactions of the ASAE 17 (3): 678-684.
29. KORUKÇU, A., 1980. Damla Sulamasında Yan Boru Uzunluklarının Saptanması Üzerinde Bir Araştırma. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 742, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 432, A.Ü. Basımevi, Ankara.
30. KORUKÇU, A. ve O. YILDIRIM, 1981. Yağmurlama Sistemlerinin Projelenmesi. Topraksu Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
31. MIZYED, N. and E. G. KRUSE, 1989. Emitter Discharge Evaluation of Subsurface Trickle Irrigation Systems. Transactions of the ASAE 32 (4): 1223-1228.
32. PIRA, E. S. and K. S. PUROHIT, 1974. Chamber Method of Subsurface and Drip Irrigation. Transactions of the ASAE 17(2): 282-285.
33. PITTS, D. J., J. A. FERGUSON and R. E. WRIGHT, 1986. Trickle Irrigation Lateral Line Design by Computer Analysis. Transactions of the ASAE 29 (5): 1320-1324.
34. SOLOMON, K., 1977. Manufacturing Variation of Emitters in Trickle Irrigation Systems. ASAE Paper No: 77-2009. ASAE, St. Joseph, Michigan, 49085.
35. SOLOMON, K., 1979. Manufacturing Variation of Trickle Emitters. Transaction of the ASAE 22 (5): 1034-1038, 1043.

36. TOBEY, S., 1989. Drip Irrigation What, Why and How. Salco Products, Inc. Irrigation Systems. 4463 W. Rosecrans Ave., Hawthorne, CA 90250, U.S.A.
37. TOBEY, S. and O.F. KUHLMAN, 1985. Drip Irrigation, Advances in the Past Decade. Proc. Third Inter'l. Drip/Trickle Irrig. Cong., Drip/Trickle in Action, ASAE St. Joseph, Michigan, p.603-608.
38. TÜZEL, İ.H., 1990. Yerli Yapım Damla ve Düşük Basıncılı Yağmurlama Sistemlerinin Bazı Teknik Özellikleri ve Projelendirme Kriterleri Üzerinde Bir Araştırma. E.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bornova, İzmir.
39. UZ, E., 1976. Pompaj ve Yağmurlama Sulama Tekniği. E.Ü.Ziraat Fakültesi Yayınları, 268, E.Ü.Matbaası, Bornova, İzmir.
40. VON BERNUTH, R.D. and K.H. SOLOMON, 1986. Design Principles- Emitter Construction. In Nakayama, F.S. and D.A. Bucks (Ed.), Trickle Irrigation for Crop Production. Elsevier Science Publishers B.V., P.O.Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherland.
41. WATTERS, G.Z. and J. KELLER, 1978. Trickle Irrigation Tubing Hydraulics. ASAE Paper No.78-2015. ASAE, St. Joseph, Michigan, 49085.
42. WOLFF, P., 1987. On the Development Status of Micro-Irrigation. 3. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon ve Enerji Simpozyumu. S.261-274, İzmir.
43. WU, I.P. and H.M. GITLIN, 1973. Hydraulics and Uniformity for Drip Irrigation. Proc. Am. Soc. Civ. Engr., Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE 99 (IR2):157-168.

44. WU, I.P. and H.M. GITLIN, 1974. Drip Irrigation Design Based on Uniformity. Transactions of the ASAE 17 (3): 429-432.
45. WU, I.P. and H.M. GITLIN, 1975. Energy Gradient Line for Drip Irrigation Laterals. Proc. Am. Soc. Civ. Engr., Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE 101 (IR4): 321-326.
46. WU, I.P. and H.M. GITLIN, 1977. Design of Drip Irrigation Lines with Varying Pipe Sizes. Proc. Am. Soc. Civ. Engr., Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE 103 (IR4): 497-503.
47. WU, I.P., H.M. GITLIN, K.H. SOLOMON and C.A. SARUWATARI, 1986. Design Principles-System Design. In: Nakayama, F.S. and D.A. Bucks (Ed.), Trickle Irrigation for Crop Production. Elsevier Science Publishers B.V., P.O. Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherland.
48. ZOLDOSKE, D.F. and E.M. NORUM, 1985. Drip Irrigation Systems Component Performance Standarts. Proc. Third Inter'l. Drip/Trickle Irrig. Cong., Drip/Trickle Irrigation in Action, ASAE St. Joseph, Michigan, p. 313-317.

T E Ş E K K Ü R

"Türkiye'de Kullanımı Yaygın Olan Damla Sulama Boruları Ve Damlatıcılarının İşletme Karakteristikleri Üzerinde Bir Araştırma" konulu tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde önemli düzeyde yardımlarını gördüğüm kıymetli hocalarım Prof.Dr.Erdoğan UZ ve Prof.Dr.Ünal EVCİM'e, Bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan değerli hocam Bölüm Başkanı Prof.Dr.Numan SUNGUR'a, yine çalışmalarım sırasında her konuda yardımcı olan Prof.Dr.İsmet ÖNAL ve çeşitli konularda yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör.R.Cengiz AKDENİZ ile diğer mesai arkadaşlarıma, araştırmada kullanılan deneme materyallerini sağlayarak çalışmalarımı destekleyen konuyla ilgili firmalardaki meslekdaşlarıma, tezimde yer alan şekilleri titizlikle çizen Teknik Ressam Necla UZ ve Emine DÖKMAN'a ve tezin yazımını büyük bir özveriyle gerçekleştiren Bölüm Sekreteri Öğten GÜRER'e sonsuz teşekkürler ederim.

EK-1

Basınç ve debi dağılımının belirlenmesi amacıyla BASIC dilinde
hazırlanan bilgisayar programı

```

1 CLS
10 DIM HF(1000),Q(1000),CU(1000),G(1000),QN(1000)
20 DIM H(1000),HZ(1000),FCR(1000),HT(1000)
30 INPUT "LATERAL SONU BASINCI h1 (mSS)";HF(1)
40 INPUT "LATERAL HAT EGİMİ(%);E
50 INPUT "LATERAL EGİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)";A$
60 READ KK,X1,K2,M
70 DATA 0.561,0.680,2.1831,1.7720:CLS
90 PRINT"D.NO GİR.BAS.D.DEBİSİ LAT.DEBİ CU(%) QDEĞ FCR"
100 PRINT" i hi qi Qi Cu Qdeg F "
110 N=0:Q=10:Q1=0
120 QN(1)=0
130 H(1)=0
140 FCR(1)=1
150 HT(1)=0
160 E1=(E)/100
170 FOR I=1 TO 1000
180 QMN=0
190 Q(I)=KK*(HF(I)^X1)
200 B=Q(I)
210 IF Q<=B THEN 240
220 L=B:B=Q:Q=L
230 Q=Q(I)
240 K=Q(I)
250 IF Q1>=K THEN 270
260 Y=K:K=Q1:Q1=Y
270 QN(I+1)=QN(I)+Q(I)
280 QORT=QN(I+1)/I
290 G(I+1)=((Q1-Q)/Q1)
300 FOR II=1 TO I
310 QMUT=ABS(Q(II)-QORT)
320 QMN=QMN+QMUT
330 NEXT II
340 QMORT=QMN/I
350 CU(I)=100*(1-((QMORT/QORT)))
360 H(I+1)=((K2*(10^(-6)))*(QN(I+1)^M))
370 HT(I+1)=HT(I)+H(I+1)
380 HF(I+1)=H(I+1)+HF(I)
390 HZ(I)=H(I+1)*I
400 FCR(I+1)=HT(I+1)/HZ(I)
410 IF E<>0 THEN 420 ELSE 450
420 IF A$="Y" THEN 440
430 HF(I+1)=H(I+1)+HF(I)-E1:GOTO 450
440 HF(I+1)=H(I+1)+HF(I)+E1
450 F1$="###.###.####.###.####.####.####.###.###.###.###"
460 PRINT USING F1$;I;HF(I);Q(I);QN(I+1);CU(I);G(I+1);FCR(I+1)
470 IF CU(I)<=90 THEN 485
480 NEXT I
485 LPRINT USING F1$;1;HF(1);Q(1);QN(2);CU(1);G(2);FCR(1)
490 FOR J=5 TO 1000 STEP 5
500 LPRINT USING F1$;J;HF(J);Q(J);QN(J+1);CU(J);G(J+1);FCR(J+1)
510 NEXT J
600 END

```

```

1 CLS
10 DIM HF(1000),Q(1000),CU(1000),G(1000),QN(1000)
20 READ KK,X1,K2,M,S
30 DATA 3.557,0.055,2.0895,1.7652,0.9
40 PRINT "DAMLATICI ARALIGI (m)";S
60 PRINT "LATERAL HAT EGIMI(%);E
65 FOR E=0 TO 10 STEP 2
70 IF E=0 THEN 100
80 PRINT "LATERAL HAT EGIMI(%);E
90 A$="Y"
100 PRINT"LATERAL EGIMI:ASAGI(A)-YUKARI(Y)=";A$
110 PRINT"D.NO L.SON.BAS.D.DEBİ LAT.DEBİ CU(%) QDEĞ GİR.BAS. L"
115 PRINT" i h1 q1 Qi Cu Qdeg hi L"
120 FOR P=10 TO 30 STEP 5
130 HF(1)=P
140 N=0
150 Q=P:Q1=0
160 QN(1)=0
170 E1=(E)/100
180 FOR I=1 TO 1000
190 QMN=0
200 Q(I)=KK*(HF(I)^X1)
210 B=Q(I)
220 IF Q<=B THEN 250
230 L=B:B=Q:Q=L
240 Q=Q(I)
250 K=Q(I)
260 IF Q1>=K THEN 280
270 Y=K:K=Q1:Q1=Y
280 QN(I+1)=QN(I)+Q(I)
290 QORT=QN(I+1)/I
300 G(I)=((Q1-Q)/Q1)
310 FOR II=1 TO I
320 QMUT=ABS(Q(II)-QORT)
330 QMN=QMN+QMUT
340 NEXT II
350 QMORT=QMN/I
360 CU(I)=100*(1-((QMORT/QORT)))
370 IF E<>0 THEN 390
380 HF(I+1)=HF(I)-(((K2*(10^(-6)))*(QN(I+1)^M)):GOTO 420
390 IF A$="Y" THEN 410
400 HF(I+1)=HF(I)-((((K2*(10^(-6)))*(QN(I+1)^M))+E1:GOTO 420
410 HF(I+1)=HF(I)-((((K2*(10^(-6)))*(QN(I+1)^M))-E1
420 SS=S*I
430 IF HF(I+1)<=5 OR CU(I)<=97.5 THEN 450
440 NEXT I
450 F1$="### ###.### ##.### #####.##### ###.### ##.### ##.## ###.##"
460 PRINT USING F1$;I;HF(I);Q(I);QN(I+1);CU(I);G(I);HF(1);SS
470 NEXT P
480 NEXT E
500 END

```


Ek-3

Basınç dengeleyicisiz damlatıcılı laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesinde yararlanılan örnek program çıktısı
(I nolu lateral, A damlatıcısı, $\Delta L=0.90m$)

DAMLATICI ARALIĞI (m) .9

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 0

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
98	8.556	2.415	256.0242	97.469	0.101	10.00	88.20	
95	12.841	3.183	327.0077	97.477	0.100	15.00	85.50	
93	17.123	3.871	389.2923	97.477	0.100	20.00	83.70	
92	21.348	4.497	448.0104	97.436	0.102	25.00	82.80	
90	25.719	5.104	496.4448	97.497	0.099	30.00	81.00	

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 2

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=A

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
135	8.866	2.474	370.1875	97.477	0.125	10.00	121.50	
122	12.885	3.190	431.2250	97.427	0.122	15.00	109.80	
113	17.131	3.872	481.6843	97.432	0.115	20.00	101.70	
107	21.420	4.507	528.5568	97.458	0.110	25.00	96.30	
103	25.685	5.100	574.3258	97.457	0.108	30.00	92.70	

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 4

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=A

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
44	11.551	2.962	124.5801	97.476	0.093	10.00	39.60	
134	14.040	3.382	494.8834	97.498	0.113	15.00	120.60	
128	17.539	3.934	560.1074	97.421	0.128	20.00	115.20	
120	21.670	4.543	603.9544	97.498	0.122	25.00	108.00	
115	25.717	5.104	650.0391	97.404	0.122	30.00	103.50	

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 6

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=A

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
28	11.573	2.966	79.1912	97.424	0.095	10.00	25.20	
44	17.304	3.899	164.0908	97.496	0.093	15.00	39.60	
131	19.343	4.205	594.6495	97.499	0.103	20.00	117.90	
128	22.575	4.671	660.1205	97.476	0.122	25.00	115.20	
123	26.346	5.189	708.1508	97.475	0.125	30.00	110.70	

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 8

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=A

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
20	11.502	2.953	56.4157	97.498	0.091	10.00	18.00	
31	17.297	3.898	115.3976	97.493	0.092	15.00	27.90	
45	23.104	4.745	204.2538	97.471	0.093	20.00	40.50	
129	24.560	4.947	685.2699	97.464	0.099	25.00	116.10	
127	27.697	5.368	747.6269	97.497	0.117	30.00	114.30	

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 10

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=A

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
16	11.490	2.951	45.1107	97.483	0.090	10.00	14.40	
25	17.344	3.905	93.1110	97.431	0.094	15.00	22.50	
34	23.111	4.746	154.0861	97.461	0.094	20.00	30.60	
45	28.856	5.520	237.6833	97.484	0.093	25.00	40.50	
66	34.499	6.233	396.6974	97.493	0.091	30.00	59.40	

Ek-4

Basınç dengeleyicili damlatıcılı laterallerin optimum uzunluklarının belirlenmesinde yararlanılan örnek program çıktısı
(I nolu lateral, D damlatıcısı, L=0.90 m)

DAMLATICI ARALIĞI (m) .9

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 0

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
120	5.108	3.891	480.3297	99.182	0.036	10.00	108.00	
153	5.044	3.888	623.6960	98.766	0.058	15.00	137.70	
175	5.160	3.893	723.2109	98.539	0.072	20.00	157.50	
193	5.127	3.892	806.1508	98.363	0.083	25.00	173.70	
208	5.125	3.892	876.5689	98.237	0.093	30.00	187.20	

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 2

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=Y

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
100	5.087	3.890	399.0498	99.150	0.036	10.00	90.00	
136	5.153	3.893	552.8727	98.748	0.057	15.00	122.40	
161	5.076	3.889	663.4605	98.483	0.073	20.00	144.90	
180	5.105	3.891	749.9486	98.316	0.084	25.00	162.00	
196	5.079	3.890	824.0403	98.187	0.093	30.00	176.40	

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 4

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=Y

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
82	5.077	3.889	326.5502	99.119	0.037	10.00	73.80	
121	5.054	3.888	490.6130	98.689	0.058	15.00	108.90	
147	5.085	3.890	604.3400	98.441	0.073	20.00	132.30	
167	5.153	3.893	694.2670	98.279	0.083	25.00	150.30	
184	5.094	3.890	771.9545	98.145	0.093	30.00	165.60	

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 6

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=Y

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
67	5.083	3.890	266.4993	99.099	0.037	10.00	60.30	
106	5.146	3.892	429.0915	98.673	0.057	15.00	95.40	
134	5.024	3.887	549.7280	98.388	0.073	20.00	120.60	
155	5.055	3.889	642.9993	98.220	0.084	25.00	139.50	
172	5.196	3.894	720.3242	98.116	0.092	30.00	154.80	

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 8

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=Y

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
56	5.020	3.887	222.5451	99.069	0.037	10.00	50.40	
94	5.021	3.887	379.8776	98.617	0.058	15.00	84.60	
121	5.142	3.892	495.7077	98.373	0.072	20.00	108.90	
143	5.102	3.891	592.2513	98.187	0.084	25.00	128.70	
161	5.124	3.891	673.0356	98.064	0.093	30.00	144.90	

LATERAL HAT EĞİMİ(%) 10

LATERAL EĞİMİ:AŞAĞI(A)-YUKARI(Y)=Y

D.NO	L.SON.	BAS.D.	DEBİ	LAT.DEBİ	CU(%)	QDEĞ	GİR.BAS.	L
i	h1	qi	Qi	Cu	Qdeğ	hi	L	
47	5.045	3.888	186.7250	99.065	0.037	10.00	42.30	
83	5.007	3.887	335.0847	98.591	0.059	15.00	74.70	
110	5.074	3.889	449.9965	98.329	0.073	20.00	99.00	
132	5.078	3.890	545.8836	98.147	0.084	25.00	118.80	
150	5.198	3.895	626.1931	98.036	0.092	30.00	135.00	

T. C.

Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi