

**DAMLA SULAMADA DAİRESEL KESİTLİ
BORULARIN FARKLI DAMLATICI ARALIĞINA
GÖRE UZATMA MESAFELERİNİN
BELİRLENMESİ**

Yüksel KARACA
Yüksek Lisans Tezi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Lokman DELİBAŞ

2008

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DAMLA SULAMADA DAİRESEL KESİTLİ BORULARIN FARKLI DAMLATICI ARALIĞINA
GÖRE UZATMA MESAFELERİNİN BELİRLENMESİ**

Yüksel KARACA

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Lokman DELİBAŞ

TEKİRDAĞ-2008

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Lokman DELİBAŞ danışmanlığında, Yüksel KARACA tarafından hazırlanan bu çalışma 18/02/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından, Tarımsal Yapılar ve SULAMA Anabilim Dalı'nda .Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Lokman DELİBAŞ

İmza :

Üye: Doç. Dr. Ahmet İSTANBULLUOĞLU

İmza :

Üye: Yrd. Doç. Dr. İlker ÇELEN

İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Orhan DAĞLIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DAMLA SULAMADA DAİRESEL KESİTLİ BORULARIN FARKLI DAMLATICI ARALIĞINA GÖRE UZATMA MESAFELERİNİN BELİRLENMESİ

Yüksel KARACA

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Lokman DELİBAŞ

Bu çalışmada, ülkemizde yaygın olarak kullanılan in-line damlatıcıya sahip dairesel kesitli, damla sulama borusundaki en uygun lateral uzunluklarının belirlenmesi amacıyla, içine geçik labirent kanallı 20, 25, 33, 40 ve 50 cm damlatıcı aralıklı 15,2 mm (iç çap: 13,4 mm) dış çapa sahip damla sulama borusu incelenmiştir. Damlatıcı özellikleri saptanmış ve lateral boruda meydana gelen sürtünme kayıpları ölçülmüştür. Elde edilen basınç – debi verileri kullanılarak, hazırlanan bir bilgisayar programı yardımıyla 0,5, 1,0, 1,5 ve 2,0 bar çalışma basınçları ile eğimsiz koşullarda, eş su dağılımını (Cu) sağlayan optimum lateral uzunlukları bulunmuştur. Araştırma sonuçlarına göre, 4 L/h' lik debiyi verecek işletme basıncı 1 bar olduğu koşulda lateral uzunlukları; 20 cm damlatıcı aralığında 31 m, 25 cm damlatıcı aralığında 35 m, 33 cm damlatıcı aralığında 42 m, 40 cm damlatıcı aralığında 49 m ve 50 cm damlatıcı aralığında 59 m olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: İn-line damlatıcı, lateral uzunluğu, damlatıcı aralığı, eş su dağılımı, işletme basıncı, damla sulama.

ABSTRACT

MSc. Thesis

Determination of The Effect of Pipe on the Optimum Lateral Length of Circular Drip Irrigation Pipes With the Type of Different Emitter Spacing

Yüksel KARACA

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Main Science Division of Agricultural farm Structure and Irrigation Department

Supervisor : Prof. Lokman DELİBAS

In this study, the optimum lateral length of drip irrigation pipe with the emitter which is widely used in our country was examined. For this aim, the diameter (outside: 15,2 mm and inside: 13,4 mm) having the same in-line type emitter with 20, 25, 33, 40 and 50 cm emitter spacing were used, the technical properties of the emitter were determined and the frictional loss in this lateral was calculated from measured head loss and flow rate. The experimental pressure-flow rate and frictional loss equations were used to calculate the optimum lateral lengths to provide uniformity (namely, Christiansen uniformity constant) at 0,5, 1,0, 1,5 and 2,0 bar operating pressures under flat (non-sloppy) line condition using a computer program, which were made specially for this purpose . The variations of optimum lateral lengths with the diameter of pipes under various operating conditions were determined as a percentage. As a result, it was concluded that the optimum lengths of lateral were found to be 31 m for 20 cm dripper spacing, 35 m for 25 cm dripper spacing, 42 cm for 33 cm dripper spacing, 49 m for 40 cm dripper spacing and 59 m for 50 cm dripper spacing.

Keywords: In-line emitter, lateral length, emitter spacing, Christiansen uniformity constant, operating pressures, drip irrigation.

2008, 64 pages

TEŞEKKÜRLER

Tez konumun saptayarak, her aşamada tüm bilgi ve olanakları sağlayan, Sayın hocam Prof. Dr. Lokman DELİBAŞ'a, verilerin değerlendirip düzenlenmesinde ve her türlü yardımlarından dolayı Sayın Araş. Gör. Hakan OKURSOY ağabeyime, tez aşamasında her türlü destekte bulunan değerli arkadaşlarım, Serkan KAVALCIOĞLU, Ufuk ÇOBAN, Suat ÇATAK, Fatih TEZCANLI ve Elif ÇINAR'a ve beni bu günlere getiren ve her zaman yanımda olan AİLEM' e, sonsuz teşekkür eder saygılarımı ve şükranlarımı sunarım.

Yüksel KARACA

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

| | |
|--|-----------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT..... | ii |
| TEŞEKKÜRLER..... | iii |
| İÇİNDEKİLER..... | iv |
| SİMGELER DİZİNİ..... | vi |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması..... | 4 |
| 2.1. Damla sulama yöntemi..... | 5 |
| 2.1.1. Damla sulama sisteminin unsurları..... | 5 |
| 2.1.2. Pompa birimi..... | 5 |
| 2.1.3. Kontrol birimi..... | 5 |
| 2.1.4. Ana boru hattı..... | 6 |
| 2.1.5. Manifold boru hattı..... | 6 |
| 2.1.6. Lateral boru hattı | 6 |
| 2.1.7. Damlatıcılar..... | 6 |
| 2.1.8. Damlatıcılarda debi-basınç ilişkisi..... | 8 |
| 2.1.9. Damlama yeknesaklığı | 11 |
| 2.1.10. Christiansen yeknesaklık katsayısı | 12 |
| 2.1.11. İstatistiksel yeknesaklık..... | 14 |
| 2.1.12. Yapım farklılığı katsayısı..... | 15 |
| 2.1.13. Yük kayıplarının saptanması | 18 |
| 2.1.14. Sulama yeknesaklığının değerlendirilmesi..... | 24 |
| 2.1.15. Eş su dağılım etkenleri..... | 25 |
| 2.1.16. Optimum lateral uzunluğunun belirlenmesi | 26 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 27 |
| 3.1. Materyal | 27 |
| 3.1.1. Araştırma yeri | 27 |
| 3.1.2. Su kaynağı..... | 27 |
| 3.1.3. Hidrofor ve Pompa..... | 27 |
| 3.1.4. Test Düzeneği..... | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.5. Denetim Birimi..... | 30 |
| 3.1.6. Damlatıcılar..... | 31 |
| 3.1.7. Borular..... | 31 |
| 3.2. Yöntem..... | 32 |
| 3.2.1. Damlatıcı basınç – debi ilişkisinin belirlenmesi..... | 33 |
| 3.2.2. Yük kayıplarının laboratuvar denemeleri ile ölçülmesi..... | 34 |
| 3.2.3. Optimum lateral uzunluğunun belirlenmesi..... | 35 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 36 |
| 4.1. Damlatıcı özelliklerinin belirlenmesi..... | 36 |
| 4.2. Damlatıcılarda debi – basınç ilişkileri..... | 37 |
| 4.3. Yapım farklılığı katsayısı..... | 39 |
| 4.4. Damlatıcıların sulama yeknesaklığının değerlendirilmesi..... | 40 |
| 4.4.1. İstatistiksel yeknesaklık..... | 40 |
| 4.4.2. Damlama yeknesaklığı..... | 41 |
| 4.4.3. Christiansen yeknesaklık katsayısı..... | 42 |
| 4.5. Yapım farklılığı katsayısı ile sulama yeknesaklığı arasındaki ilişki..... | 43 |
| 4.6. Yapım farklılığı katsayısı ile Christiansen yeknesaklık katsayısı arasındaki ilişki..... | 44 |
| 4.7. Damla sulama lateralinde sürtünme kayıplarına ilişkin bulgular ve tartışma..... | 46 |
| 4.8. Optimum Lateral Uzunluğunun Belirlenmesi..... | 51 |
| 5. SONUÇ ve ÖNERİLER..... | 55 |
| 6. KAYNAKLAR..... | 57 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 64 |

SİMGELER DİZİNİ

| | |
|-----------------|---|
| % | : Yüzde |
| atm | : Atmosfer basıncı |
| bar | : İşletme basıncı |
| cm | : Santimetre |
| C | : Hazen – Williams pürüzlülük katsayısı |
| Cu | : Christiansen eşdağılım katsayısı (%) |
| Cv | : Yapım farklılık katsayısı (%) |
| D | : Boru iç çapı (m) |
| e | : Bitki başına damlatıcı sayısı |
| Eu ¹ | : Tarla testine dayalı damlama yeknesaklığı (%) |
| Eu | : Sistem damlama yeknesaklığı (%) |
| Eu _a | : Mutlak üniformite (%) |
| f | : Darcy – Weisbach sürtünme faktörü |
| g | : Yerçekimi ivmesi (m/s ²) |
| h | : Damlatıcı basıncı (m.s.s.) |
| h _f | : Yan boru toplam yük kayıpları |
| h _g | : Yan boru uçları arasındaki yükseklik farkı |
| h _o | : Ortalama damlatıcı basıncı (damlatıcı işletme basıncı, m) |
| K | : Lateralde oluşan akış rejimine ve iç çapa bağlı bir katsayı |
| k | : Damlatıcı boyutlarını karakterize eden katsayı |
| L | : Litre |
| ΔL | : Boru uzunluğu (m) |
| m,n | : Lateraldeki akış rejimine bağlı katsayılar |
| m | : Metre |
| mm | : Milimetre |
| n | : Damlatıcı sayısı (adet) |
| Q | : Toplam damlatıcı debisi (L/h) |
| q _a | : Tüm damlatıcı debilerinin ortalaması (L/h) |
| q | : Damlatıcı debisi (L/h) |
| Δq ₀ | : Her bir damlatıcı ya da lateral giriş debisinin ortalamadan olan mutlak sapmaların ortalaması |
| q ₀ | : Ortalama damlatıcı ya da lateral giriş debisi (L/h) |

- ν : Suyun kinematik viskozitesi (m^2/s)
- q_{max} : Maksimum damlatıcı debisi (L/h)
- q_{min} : Minimum damlatıcı debisi (L/h)
- qn^1 : Damlatıcılardan en düşük debili 1/4'ünün ortalaması (L/h)
- q_{ort} : Damlatıcıların ortalama debisi (L/h)
- q_{var} : Damlatıcı debi değişimi (%)
- q_x : Damlatıcı debilerinin en yüksek 1/8'inin ortalaması (L/h)
- r : Korelasyon katsayısı
- Re : Reynolds sayısı
- S : Damlatıcı debilerindeki standart sapma
- Us : İstatistiksel yeknesaklık (%)
- V : Boru içindeki suyun ortalama hızı (m/s)
- V_q : Damlatıcı debilerindeki toplam değişim
- x : Damlatıcının akış rejimini karakterize eden bir katsayı (damlatıcı akış rejimi katsayısı)
- x_i : Bir damlatıcı debisi (L/h)
- Δh_f : Damlatıcılar arasında kalan lateral bölümündeki sürtünme kaybı (m.s.s.)
- ΔL : Damlatıcı aralığı (m)
- V_q : Damlatıcı debilerindeki toplam değişim
- ΔQ : ΔL lateral bölümündeki debi (m^3/s)

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|---|-----------------|
| Şekil 2.1. Damla sulama sisteminin unsurları..... | 5 |
| Şekil 2.2. Çeşitli akış rejimlerine sahip damlatıcıların basınç-debi değişimi arasındaki ilişki..... | 9 |
| Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan su deposu | 28 |
| Şekil 3.2. Pompanın genel görünüşü | 28 |
| Şekil 3.3. Test düzeneğinin genel görünümü..... | 29 |
| Şekil 3.4. Hidroforun ana kumanda gövdesi..... | 30 |
| Şekil 3.5. Denemede kullanılan manometre | 30 |
| Şekil 3.6. Labirent kanallı damlatıcının kesiti..... | 31 |
| Şekil 3.7. Deneme düzeneği (Şematik olarak)..... | 32 |
| Şekil 3.8. Denemede kullanılan plastik beher..... | 33 |
| Şekil 3.9. Denemede kullanılan cam mezür | 34 |
| Şekil 3.10. Denemeye alınan laterallerin yük kayıplarının ölçülmesinde kullanılan deneme düzeni..... | 34 |
| Şekil 3.11. Hazırlanan bilgisayar programı akış şeması..... | 35 |
| Şekil 4.1. Damlatıcının basınç ile debi arasındaki korelasyon katsayısı ve analizi | 37 |
| Şekil 4.2. 4 L/h' lik debiye sahip damlatıcının basınç – debi eğrileri..... | 39 |
| Şekil 4.3. Damlatıcının basınç-yapım farklılığı katsayısı eğrileri..... | 40 |
| Şekil 4.4. Damlatıcının çalışma basıncı – Us eğrisi..... | 41 |
| Şekil 4.5. Damlatıcının çalışma basıncı – Eu eğrisi..... | 42 |
| Şekil 4.6. Damlatıcının çalışma basıncı – Cu eğrisi | 43 |
| Şekil 4.7. Damlatıcının damlama yeknesaklığı ve eş dağılım katsayısı ilişkisi..... | 44 |
| Şekil 4.8. Damlatıcının yapım farklılığı ile Christiansen yeknesaklık arasındaki ilişki..... | 45 |
| Şekil 4.9. Lateraldeki değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen Darcy – Weisbach sürtünme faktörü – Reynolds sayısı ilişkisi | 48 |
| Şekil 4.10. Lateraldeki değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen Hazen – Williams pürüzlülük katsayısının ortalama akış hızına göre değişimi | 50 |
| Şekil 4.11. Bilgisayar programında verilerin girişi..... | 51 |
| Şekil 4.12. Bilgisayar programındaki sonuçlar..... | 52 |
| Şekil 4.14. Damla sulama borusunun farklı damlatıcı aralıklarındaki değişik işletme koşullarında Christiansen yeknesaklık katsayısının ($Cu \geq 97.5$) sağlayan lateral uzunlukları arasındaki ilişki..... | 54 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

| | |
|--|----|
| Çizelge 2.1. Üniformite sınıflarının değerlendirilmesi | 12 |
| Çizelge 2.2. Yapım farklılık katsayısının önerilen sınırları | 17 |
| Çizelge 2.3. 20 °C sıcaklıkla ilişki olarak değişik debi üsleriyle, tipik uzun düz akış yollu damlatıcılar için debi düzeltme katsayıları | 19 |
| Çizelge 2.4. Reynolds Sayısı ile akış rejimleri arasındaki | 21 |
| Çizelge 3.1. Kullanılan suya ait özellikler | 28 |
| Çizelge 4.1. Deneme sonucunda elde edilen damlatıcının özellikleri..... | 36 |
| Çizelge 4.2.Damla sulama borusunun farklı damlatıcı aralıklarındaki değişik işletme koşullarında ortalama debi değerleri | 38 |
| Çizelge 4.3. Damlatıcının yapım farklılıkları (%) ve sınıflandırılması | 39 |
| Çizelge 4.4. Damlatıcının istatistiksel yeknesaklık (Us) değerleri (%) ve sınıflandırılması..... | 41 |
| Çizelge 4.5. Damlatıcının damlama türdeşliği değerleri (%) ve sınıflandırılması..... | 42 |
| Çizelge 4.6. Damlatıcının damlama türdeşliği değerleri (%) ve sınıflandırılması..... | 43 |
| Çizelge 4.7. Damlatıcının yapım farklılığı katsayısı ile damlama türdeşliği değerleri (%) | 44 |
| Çizelge 4.8. Damlatıcının yapım farklılığı katsayısı ile Christiansen yeknesaklık katsayısı değerleri, (Cu, %) | 45 |
| Çizelge 4.9. Lateraldeki değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen f-Re ilişkileri ve ilişkilerin korelasyon katsayıları (r)..... | 46 |
| Çizelge 4.10. Denemeye alınan damla sulama borularının sürtünme kayıp eşitlikleri..... | 47 |
| Çizelge 4.11. Değişik damlatıcı aralığında belirlenen sürtünme kayıp (hf) ve Hazen – Williams Pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri..... | 49 |
| Çizelge 4.12. Denemeye alınan damla sulama laterallerinde belirlenen Hazen – Williams pürüzlülük katsayısının (C) ortalama akış hızına göre (V) göre değişim değerleri..... | 50 |
| Çizelge 4.13. Damla sulama borusunun farklı damlatıcı aralıklarındaki değişik işletme koşullarında Christiansen yeknesaklık katsayısı ($Cu \geq 97.5$) sağlayan lateral uzunlukları..... | 53 |

1. GİRİŞ

Damla sulama, arındırılmış suyun ve gübrenin damlatıcılar aracılığıyla çok küçük fakat sürekli bir akış veya damlalar halinde toprak yüzeyine veya içerisine (bitki kök bölgesine) verildiği yöntemdir (Kanber 1999). Bu yöntem, sulama suyunun yüksek bir randıman uygulanarak büyük oranda su ekonomisi sağlanması, toprak neminin istenilen düzeyde tutulabilmesi ve bitki besin maddelerinin su ile birlikte verilmesine olanak sağlaması nedeniyle her geçen gün artan bir kullanım alanı bulmaktadır (Tüzel 1993).

Damla sulama yöntemi; yüksek sulama randımanı, su dağıtımı için düşük basınç gereksinimi, düz olmayan alanlarda tesviye çalışmaları gerekmeksizin su uygulaması, toprak suyundaki tuz kontrolü ve yüksek sulama frekansı devreleri yoluyla sürekli su verme olanağı gibi avantajları sayesinde; bitkilerin üst aksamalarının ıslatılması engellenir, hava nemi sulamadan dolayı çok fazla etkilenmez, bitki alanları arasında kalan toprak yüzeyi kuru kalır. Bu nedenle; toprakta kaymak tabakası oluşumu önlenir ve buharlaşma yoluyla oluşan su kayıpları azalır, otomatik kontrol olanağı doğar, düşük düzeyde işçilik gerektirir ve işletme masrafları düşük düzeydedir. Ancak, avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır; katı kirleticiler için süzme işlemi zorunludur, özel çözülmüş kimyasal kirleticiler için kimyasal su arıtma gereklidir, topraktaki suyun yatay hareket kapasitesi gereklidir, damlatıcıların oluşturduğu boru ağı makineli veya hasat çalışmalarını engelleyebilir ve ilk yatırım masrafı yüksektir (Şener ve ark. 1995).

Damla sulama yönteminde, diğer sulama yöntemlerine oranla, sulama suyu zamanında, daha denetimli ve düzgün bir dağılımla verilebilmektedir. Bu işlerin yerine getirilebilmesi, sistemin karşılaşılan koşullara uygun olarak tasarlanıp işletilmesine bağlıdır. Bu durum, diğer sistem unsurları yanında, özellikle yan boruların damlatıcı özelliklerinin de dikkate alınmasıyla istenilen düzeyde eş bir su dağılımını verecek biçimde boyutlandırılmasıyla gerçekleşir. Ancak, bu yöntemde de tam anlamıyla eş bir su dağılımının sağlanması henüz olası değildir. Bunun başlıca nedeni, damlatıcılara su ileten yan borularda oluşan yük kayıpları ve sulama alanının eğime bağlı olarak, yan borular boyunca damlatıcı basınç verdisinin değişmesidir (Korukçu ve Yıldırım 1984).

İdeal bir damla sulama, bütün damlatıcılardan eşit miktarda su çıkışının sağlanmasıyla mümkün olmaktadır. Böylece, sulama periyodu boyunca her bitkiye mümkün olduğunca eşit miktarda suyun ulaşması sağlanmaktadır. Damla sulamada eş su dağılımının yüksek olması, kök bölgesinden derine sızacak su miktarını da azaltmakta ve bitkinin

gereksinim duyduğu miktardaki suyun kök bölgesine verilmesini sağlamaktadır. Eş su dağılımının düşük olması durumunda ise aynı alanı sulamak için daha fazla sulama suyu gerekmektedir. Ayrıca her bitkiye düşen su miktarı farklı olacağından, verimde de farklılıklar ortaya çıkacaktır. Uygun şekilde projelendirilen bir damla sulama sistemi sayesinde, lateraller suyun eşit dağılımını gerçekleştirmekte ve bu da diğer sulama yöntemlerine göre önemli avantajlar sağlamaktadır.

Damla sulama sisteminde, lateral iç çapı, lateral iç yüzeylerinin pürüzlülüğü, damlatıcıların lateral içinde kalan kısımlarının kesit daralmasına etkisi, akış kesit alanının lateral boyunca aynı olmaması, lateral eğimi gibi nedenlere bağlı olarak oluşan sürtünme kayıpları, lateral boyunca basıncın, dolayısıyla damlatıcı debilerinin değişmesine neden olmaktadır. Bu nedenle hat boyunca eş bir su dağılımı sağlanamamaktadır (Demir 1991, Korukçu 1980, Tüzel 1993).

Damla sulama sisteminin etkin bir şekilde kullanılması ancak sistemin doğru olarak planlanmasıyla gerçekleştirilebilir. Sistemin randımanlı çalışmasında önemli etkiye sahip olan damlatıcılar, sistemin en önemli unsurlarıdır. Çünkü damla sulama sistemlerinde sulama randımanı damlatıcılardan çıkan debinin eşdeğerliğine bağlıdır. İdeal olarak, bir sistemde bulunan tüm damlatıcılar eşit miktarda su dağıtmalıdır (Özekici ve Bozkurt 1996). Damlatıcı debilerinin değişimi birçok etmeden kaynaklanmaktadır. Hidrolik değişim ile damlatıcı performansının değişimi temel etmenlerden ikisidir. Hidrolik değişim, yan ana boru ve lateral hatlarındaki arazi eğimi, boru çapı ve uzunluğa bağlı olarak damlatıcıların değişik basınçlar altında çalışması sonucu ortaya çıkar. Damlatıcı performansının değişimi, damlatıcılar arasındaki yapım farklılıkları, damlatıcılardaki tıkanıklılık, su sıcaklığındaki değişimler ve damlatıcıların yıpranmaları sonucudur. Bu nedenle, damla sulama sistemlerinden de sistem performansının en önemli göstergesi olan sulama yeknesaklığının belirlenmesinde anılan, her iki değişimin de bilinmesi gerekmektedir (Tüzel 1993). Sistem performansı üzerine önemli etkiye sahip olan damlatıcı yapım farklılıkları, özünde eşit debilere sahip olması gereken damlatıcılar arasındaki debi farklılıklarının görülmesine yol açan önemli bir etmendir (Özekici ve Bozkurt 1996).

Damlatıcı akış değişimine neden olan etmenlerden yapım farklılıkları dışındaki diğer faktörler uygulayıcılar tarafından alınacak bazı önlemlerle kontrol altına alınabilir. Buna karşın, damlatıcı yapım farklılıkları ise damlatıcının üretimi sırasında meydana gelen yapım hataları olup, bunun kontrolü veya düzeltilme olanağı bulunmamaktadır. Bu nedenle, uygulayıcılar kullanacakları damlatıcıların yapım farklılıklarını dikkate alarak projelene

yapmalıdırlar. Yapım farklılıkları dikkate alınmadan projelene sistemlerde tüm etkenler optimum düzeyde sağlansa bile, sistemin su dağılım türdeşliği düşük değerlerle sonuçlanabilir. Buna bağlı olarak da arazideki bazı bitkilere gereğinden az, bazılarına ise gereğinden çok su uygulanmış olur (Bozkurt 1996).

Bu çalışmada, çiftçiler tarafından yaygın olarak kullanılmakta olan yerli yapım hat içi (in-line) damlatıcılarda, üretimden kaynaklanan yapım farklılıklarının, damlatıcıların sulama performanslarına olan etkileri araştırılmış, dairesel kesitli sulama borularının farklı damlatıcı aralıklarına göre uzatma mesafelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Kuramsal Temeller ve Kaynak Araştırması

2.1. Damla sulama yöntemi

Damla sulama yönteminde temel ilke, sık aralıkla ve her defasında az miktarda sulama suyu uygulamaktır. Yüksek toprak nemi düzeyinde sulamaya başlanır. Böylece, yetiştirilen bitkide, topraktaki nem eksikliğinden kaynaklanan bir gerilim yaratılmaz. Yalnızca, yeterli düzeyde bitki köklerinin gelişmesini sağlayacak ortama su verilir. Bu yöntemde genellikle, bitkinin günlük ya da birkaç günlük su gereksinimi karşılanır. Kaynaktan alınan sulama suyu, bir kontrol biriminde, kum, sediment, yüzücü cisimler ve çok küçük parçacıklardan arındırılır. Gerekğinde bitki besin elementleri sulama suyuna karıştırılır. Ayrıca, sistem debisi ve sistem basıncı denetlenir. Sulama suyu, basınçlı boru ağıyla bitki yakınına yerleştirilen damlatıcılara kadar iletilir. Düşük basınç altında ve düşük debide damlalar biçiminde toprak yüzeyine verilen su, buradan infiltrasyonla toprak içerisine girer, yerçekimi ve kapılar kuvvetlerin etkisi ile dağılır ve bitki kılcal köklerinin geliştiği toprak hacmi ıslatılır. Genellikle, bitki sıraları boyunca ıslak şerit elde edilir ve sıralar arasında ıslatılmayan kuru alan kalır. İyi bir tasarım ve uygulama ile derine sızma ya da yüzey akışı söz konusu olmaz. Böylece, mevcut su kaynağından etkin biçimde yararlanılır (Yıldırım 1996).

Tipik bir damla sulama sistemini oluşturan temel unsurlar, bitkiden su kaynağına doğru, sırasıyla, damlatıcılar, lateral boru hatları, manifold boru hatları, ana boru hattı, kontrol birimi ve pompa birimidir.

Kontrol birimi, pompadan ana boru hattına doğru olmak üzere, sırasıyla, hidrosiklon (kum ayırıcı), kum-çakıl filtre tankı, gübre tankı, elek filtre ve basınç düzenleyiciden (basınç regülatörü) oluşur. Ayrıca, çekvalf, vana, manometre, su sayacı, gübre enjeksiyon pompası gibi özel parçalar ve bu elemanları birbirine bağlayan, nipel, T, dirsek gibi bağlantı elemanları bulunur.

Damla sulama yönteminde, akarsu, keson ya da derin kuyu gibi her türlü su kaynağından yararlanılabilir. Sulama suyu bazen gölet, bent, havuz gibi su depolama yapılarından, alan içerisindeki sulama kanalları ya da basınçlı boru hatlarından (örneğin basınçlı su dağıtım ağı üzerinde bulunan ve o işletme için ayrılmış olan hidrattan) alınabilir. Ancak, suyun fazla miktarda sediment, yüzücü cisim gibi organik ve inorganik madde içermemesi gerekir. Sediment sorununa, akarsularda ve özellikle ilkbahar aylarında rastlanabilir.

2.1.1. Damla sulama sisteminin unsurları

Bir damla sulama sistemi sırasıyla, su kaynağı, pompa birimi, kontrol birimi, ana boru hattı, manifold boru hatları, lateral boru hatları ve damlatıcılardan oluşur (Şekil 2.1). Damla sulama yönteminde her türlü su kaynağından yararlanılabilir. Ancak suyun fazla miktarda kum, sediment ve yüzücü cisim içermemesi gerekir. Ayrıca, fazla miktarda kalsiyum ve magnezyum bileşikleriyle demir bileşiklerini içeren sular da damla sulama yöntemi için uygun değildir (Yıldırım 1996).

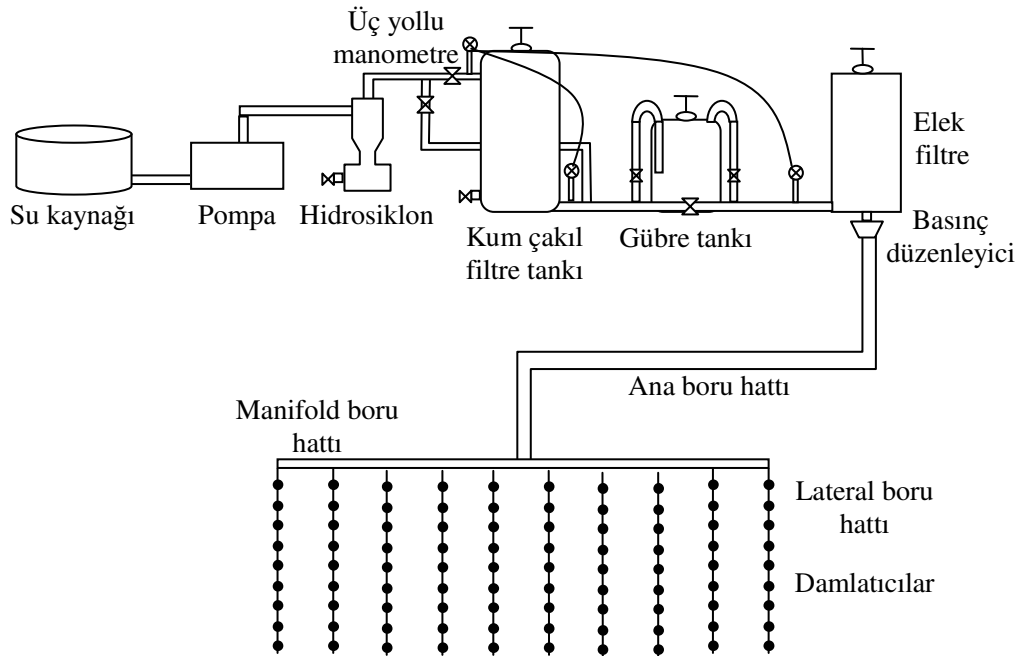
2.1.2. Pompa birimi

Su kaynağının yeteri kadar yüksekte olmadığı koşullarda, gerekli işletme basıncı pompa birimi ile sağlanır. Su kaynağının tipine bağlı olarak santrifüj, derin kuyu ya da dalgıç tipi pompalardan biri kullanılabilir. Pompanın elektrik motoru ile çalıştırılması tercih edilir.

2.1.3. Kontrol birimi

Damla sulamada, suyun çok iyi süzülükten sonra sisteme verilmesi gerekir. Aksi durumda damlatıcıların tıkanması sorunuyla karşılaşılır. Bunun sonucunda, damlatıcıların üniform bir şekilde çalışması imkansız hale gelir.

Kontrol biriminde; hidrosiklon, kum-çakıl filtre tankı, gübre tankı, elek filtre, basınç regülatörü, su ölçüm araçları, manometreler ve vanalar bulunur.



Şekil 2.1. Damla sulama sisteminin unsurları

2.1.4. Ana boru hattı

Suyu, kontrol biriminden manifold boru hatlarına iletir. Ana boru hattı tek hat olabildiği gibi, kollara da ayrılabilir (dallı ana boru hattı). Genellikle gömülüdür ve 6 atm işletme basınçlı sert PVC borulardan oluşturulur.

2.1.5. Manifold boru hattı

Bir işletme biriminde belirli sayıdaki lateral boruya, aynı anda su veren boru hattına manifold denir. Damla sulama sistemlerinde, her işletme birimine genellikle bir manifold boru hattı hizmet eder. Bu boru hatları, toprak yüzeyine serilebildiği gibi toprak altına da dönebilir (Yıldırım 1996).

2.1.6. Lateral boru hattı

Bitki sıraları boyunca döşenen ve üzerinde damlaticılar bulunan boru hatlarıdır. Çoğunlukla toprak yüzeyine serilirler ya da özellikle bağlarda olduğu gibi, bitki sıraları boyunca tesis edilen direkler üzerindeki en alt tele bağlanırlar. Lateral boru hatları, genellikle, 4 atm işletme basınçlı, güneşin ultraviyole ışınlarına dayanıklı esnek (yumuşak) PE borulardan oluşturulur. Boru dış çapları, 12–32 mm arasında değişebilir. Çok yaygın kullanılanları 16 mm ve 20 mm dış çaplı borulardır.

Lateral boru hatlarının başlangıcında T, dirsek ve nipel, sonunda ise kör tapa gibi sert PE'den yapılmış bağlantı elemanları kullanılır. Bu bağlantı elemanları, boru içerisine geçen yivli tipte olabildiği gibi, boruyu dıştan sıkarak bağlayan kilit ya da kaplin tipte de olabilir. Lateral boru hatlarının periyodik olarak yıkanmasına olanak sağlaması açısından, hat sonlarına yerleştirilen kör tapaların kolaylıkla sökülüp takılabilen özellikte olması istenir. Kör tapanın en basit biçimi, lateral boruyu bükerek bağlamaktır.

Lateral boru hatlarında kullanılmak üzere üretilen borular genellikle 16 mm ve 20 mm dış çapa sahip borulardır.

2.1.7. Damlaticılar

Damla sulama sistemlerinin en önemli unsuru olan damlaticılar, dağıtım sistemlerinde belirli bir basınç altında bulunan suyun toprak yüzeyine, atmosfer basıncına eşit bir basınçla akışını sağlayan araçlardır. Lateral boru hattı üzerine yerleştirilerek, suyu lateral boru hattından toprak yüzeyine verirler. Damlaticılar, damla sulama sisteminin etkinliğinin belirlenmesi ve sistemde çok sayıda yer alması (çoğunlukla 200 – 2000 adet/da) nedeniyle sistem maliyetinde oldukça yüksek paya sahip olduğundan, sistemin dikkatle seçilmesi

gereken unsurudur. Damlatıcılarda aranan en önemli özellikler şunlardır (Howell ve Hiller 1974);

1. Küçük basınç farklılıklarında, önemli düzeyde değişmeyen sabit ve düşük bir debiye sahip olmalı,
2. Tıkanmaların azaltılması bakımından, akış yolu kesit alanı nispeten büyük olmalı,
3. Ucuz ve sağlam olmalıdır.

Olanaklar ölçüsünde kesit alanı büyük olan, labirent ya da zigzag biçimindeki, uzun akış yollu damlatıcılar tercih edilmeli ve bu damlatıcılar zorunlu olmadıkça, en az 1 bar işletme basıncında çalıştırılmalıdırlar. Bu koşullarda, akış yolu boyunca yüksek akış hızı elde edilmekte ve böylelikle akış rejimi laminardan çok kısmi türbülanslı ya da tam türbülanslı akım olmakta, bunların sonucunda da özellikle kimyasal madde birikimi veya organik materyal oluşumunun neden olduğu tıkanma sorunu azalmakta; öte yandan akış yolu boyunca suyun basıncı kırıldığı için damla damla toprak yüzeyine verilmesi sağlanarak, yüzey akışı ve erozyon sorunu ortadan kaldırılmaktadır (Yıldırım 1996).

Damlatıcıların seçiminde, ASAE (2002)'de belirtildiği gibi yapımcı farklılığının ifadesinde kullanılan varyasyon katsayısı (Cv) en düşük olan damlatıcı tercih edilmelidir. Böylece damlatıcıların yapımından kaynaklanan kötü eş su dağılımı minimum düzeye indirilebilecektir.

Damlatıcılar, içindeki akış yolu boyunca ilerleyen suyun enerjisini sürtünme ile kırarak suyun damlalar halinde çok küçük debilerle toprağa infiltre olmasını sağlayan araçlardır. Damlatıcılar kullanışlarına göre iki gruba ayrılır (Keller ve Karmeli 1975; Dasberg ve Bresler 1985);

- 1 – Boruya içten geçik (in–line) damlatıcılar,
- 2 – Boruya üsten geçik (on–line) damlatıcılardır.

Laterale boyuna geçik (in–line) damlatıcılar, çoğunlukla üretim sırasında lateral içine sabit olacak biçimde yerleştirilir. Lateral üzerine geçik (on–line) damlatıcılarda ise boru, belirlenen damlatıcı aralığında, özel araçla delinir ve damlatıcı giriş kısmı delik üzerine yerleştirilerek, bu kısım boru çeperine geçinceye kadar bastırılır.

İn–line damlatıcılar, son yıllarda en yaygın biçimde kullanılan damlatıcı çeşididir. İn–line damlatıcılarda suyun bir kısmı, damlatıcının içinden geçerek toprağa ulaşmaktadır. İn–line damlatıcılar; çiçek, sebze, meyve bahçeleri, sera ve bağ sulamaları için idealdir.

Lateral üzerine geçik damlatıcılar ise, damlatıcı girişi lateral içinde, gövde ise borunun dışındadır. Bu tip damlatıcılar orifis girişli ve genellikle kısa akış yolludur. Suyun enerjisi, girişteki orifis ve akış yolu boyunca kırılmaktadır.

2.1.8. Damlatıcılarda debi–basınç ilişkisi

Howell ve ark. (1983), damlatıcı debilerinin çalışma basıncının bir fonksiyonu olduğunu ve damlatıcı özelliklerinin (damlatıcı parametreleri, yapım farklılığı vb.) deneysel çalışmalarla en iyi şekilde ortaya konulabileceğini belirtmişlerdir.

Genel olarak damlatıcıların giriş basıncı ile damlatıcı debisi arasındaki ilişki;

$$q = k \cdot h^x \quad (1)$$

eşitliği ile ifade edilir (Howell ve Hiller 1974). Eşitlikte;

q = Damlatıcı debisi (L/h),

k = Damlatıcı boyutlarını karakterize eden katsayı,

h = Damlatıcı basıncı (m.s.s.),

x = Damlatıcının akış rejimini karakterize eden bir katsayı (damlatıcı akış rejimi katsayısı)'dır.

Belirtilen, k ve x katsayıları, iki tarafı logaritmik bir kağıt üzerinde q ve h değerlerinin karşılıklı olarak işaretlenmesi ile belirlenebilir. Elde edilen doğrunun eğimi x değerini, doğrunun birim (h) değerine ($h=1$) karşılık düşey ekseni kestiği nokta k değerini verir (Yaşar ve Anaç 1989).

Kapdaşlı ve ark.(1997) k ve x katsayılarının bulunmasına ilişkin olarak benzer bir yol izleyerek aşağıdaki hesaplama yöntemini saptamışlardır. h_1 ve h_2 basınçlarında elde edilen debiler sırasıyla q_1 ve q_2 olacaktır. Bu durumda eşitlik 1'e göre;

$$q_1 = k \cdot h_1^x \quad (2)$$

ve

$$q_2 = k \cdot h_2^x \quad (3)$$

yazılabilir. Eşitliklerde, iki tarafın logaritması alınarak eşitlikler tekrar yazılırsa Eşitlik 4 ve Eşitlik 5 elde edilir.

$$\log q_1 = \log k + x \cdot \log h_1 \quad (4)$$

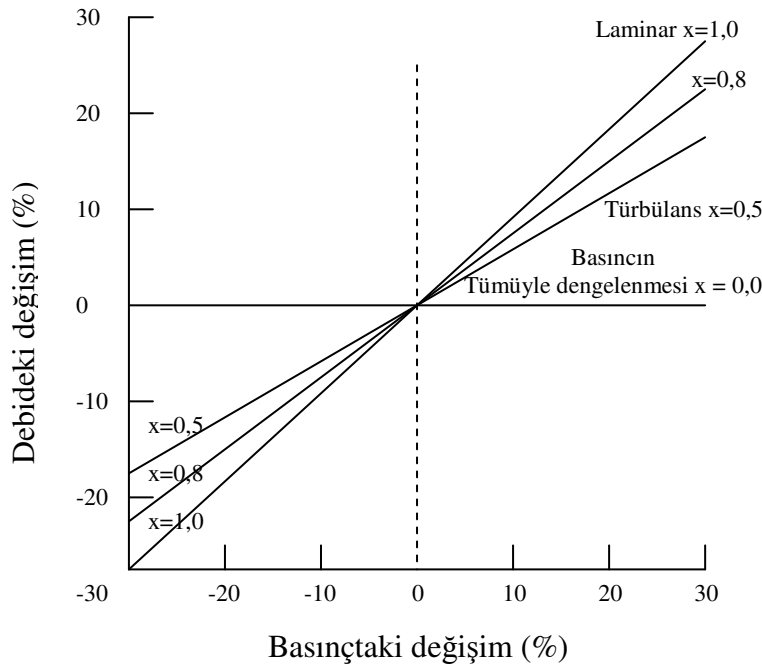
$$\log q_2 = \log k + x \cdot \log h_2 \quad (5)$$

Her iki denklem birbirinden çıkarılarak elde edilen sonuç x 'e göre çözümlerse şu eşitlik bulunur;

$$x = \frac{\log q_1 - \log q_2}{\log h_1 - \log h_2} \quad (6)$$

Burada x değeri, damlatıcılara bağlı olarak 0 ile 1 arasında değişebilir ve x katsayısının değeri, su uygulama yeknesaklığında büyük rol oynadığı için önemlidir. Bu değer ne kadar küçük ise basınç düzenleme özelliği de o derece yüksektir. Örneğin tam basınç düzenleyicili bir damlatıcıda x sifıra eşittir ve debi işletme basıncındaki değişimlere karşın, sabittir. Bu durumda teorik olarak sistem üniformitesi mükemmel düzeyde olacaktır. Şayet damlatıcılarda basınç düzenleme özelliği yoksa x değeri akış cinsine ve damlatıcının yapısına bağlı olarak değişik değerler alabilir (Baswell 1985). Farklı akıştaki damlatıcılarda debi-basınç ilişkileri Keller ve Karmeli (1975) ile Bralts (1986) tarafından Şekil 2.2'deki gibi verilmiştir.

Karmeli (1977), Zur ve Tal (1981), Von Bernuth ve Solomon (1986), Bralts ve ark. (1987), Warrick ve Yitayew (1988), x değerinin laminar akış rejimli damlatıcılarda 0,5 – 1,0 arasında, tam türbülans rejimli damlatıcılarda 0,5 ve damlatıcı akış kesit alanının basınca göre değiştiği yani basınç düzenleyicili damlatıcılarda, basınç düzenleme durumuna göre 0,0 – 0,5 arasında olduğunu belirtmişlerdir (Tüzel 1990).



Şekil 2.2. Çeşitli akış rejimlerine sahip damlatıcıların basınç-debi değişim arasındaki ilişki

Korukçu ve Yıldırım (1984), damlatıcılarda akış yolunun biçimine bağlı olarak akış rejiminin uzun akış yollu mikro tüplerde laminar, labirent ya da zigzag biçimindeki uzun akış yollu damlatıcılarda kısmi türbülanslı (laminara yakın), kısa akış yollu orifis damlatıcılarda türbülanslı veya kısmi türbülanslı (türbülanslıya yakın) olabileceğini belirtmişlerdir.

Teorik olarak x değeri, laminar akımda 1,0 ve türbülanslı akımda 0,5'dir. Damlatıcı basınç-debi ilişkisi, laboratuvar denemeleri ile farklı işletme basınçlarında damlatıcı debileri ölçülerek saptanmaktadır. Laboratuvarlarda deneysel olarak elde edilen gerçek değerler, çoğunlukla orifis damlatıcılarda 0,56–0,81 arasında değişmektedir. Basınç değişimindeki debi farklılığı, x değerinin 1,0'e yaklaşma düzeyi ile orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle, damlatıcılarda, x değerinin 0,5'e yakın olması istenen bir özelliktir (Yıldırım 1996).

Howell ve ark. (1983), damlatıcı debilerinin çalışma basıncının bir fonksiyonu olduğunu ve damlatıcı özelliklerinin (damlatıcı parametreleri, yapım farklılığı gibi) deneysel çalışmalarla en iyi şekilde ortaya konulabileceğini belirtmişlerdir.

Solomon (1979), 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.

Wu ve ark. (1986), damlatıcı akış rejimine bağlı katsayının $x = 0,5$ olması durumunda, orifis tip damlatıcılar için basınç değişimi % 20 iken damlatıcı debi değişiminin % 10 olduğunu belirtmişlerdir.

Çamoğlu (2004), her bir damlatıcı için elde edilen debi değerlerinden yararlanılarak; akış rejimi, akış rejimine bağlı katsayı (x), akış katsayısı (k), korelasyon katsayısı (r), damlama türdeşliği (E_u), Christiansen yeknesaklık katsayısı (C_u), istatistiksel yeknesaklık katsayısı (U_s) ve yapım farklılığı katsayısı (C_v) değerleri hesaplamıştır. Bu değerlerin basınca karşı değişimleri ve yapım farklılığı katsayısı ile sulama yeknesaklığı değerlendirme yöntemleri arasındaki ilişkiyi irdelemiştir. Denemeye aldığı 17 damlatıcının debileri basınçla artmış ve tam logaritmik doğrusal ilişki göstermiştir. Ele alınan hat içi damlatıcılardan yabancı yapım olanların x değerleri 0,4322 – 0,5339 arasında, k katsayıları 2,6053 – 2,8327 arasında ve korelasyon katsayıları da 0,9845 – 0,9977 arasında; yerli yapım damlatıcıların x

değerleri 0,4058 – 0,6276, k katsayıları 2,7166 – 3,2561 arasında, r değerleri 0,9908 – 0,9989 bulunmuştur.

2.1.9. Damlama yeknesaklığı (Eu)

Damlama yeknesaklığı, sabit basınç altında damlatıcılar arasındaki debi değişiminin ifadesinde kullanılmaktadır (Bozkurt 1996). İki şekilde hesaplanabilmektedir. Bunlardan ilki mevcut bir sistem için tarla ölçümlerinden elde edilen verilerden yararlanarak, diğeri ise sistem projelemesinin tahmin edilmesinden bulunabilmektedir (Keller ve Karmeli 1975).

Tarla testine dayalı damlama yeknesaklığı (Eu¹), tarla verilerinden elde edilen en düşük debili damlatıcıların 1/4'ünün ortalamasının, tüm damlatıcı debilerinin ortalamasına oranı olarak ifade edilir ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur (Keller ve Karmeli 1975).

$$Eu^1 = 100 \frac{q_n^1}{q_a^1} \quad (7)$$

Eşitlikte;

Eu¹ = Tarla testine dayalı damlama yeknesaklığı (%),

q_n¹ = Damlatıcılardan en düşük debili 1/4'ünün ortalaması (L/h),

q_a¹ = Tüm damlatıcı debilerinin ortalaması (L/h)'dir.

Bu eşitlik, yapım farklılık katsayısını (Cv) ve bitki başına damlatıcı sayısını da içine alacak şekilde düzenlenmiş ve tekrar tanımlanmıştır. Böylece, bir damla sulama sistemi tesisinde damlama yeknesaklığını tahmin etmek için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir (Bralts 1986).

$$Eu = 100 \left(1 - \frac{1,27Cv}{e^{0,5}}\right) \frac{q_{min}}{q_o} \quad (8)$$

Eşitlikte;

Eu = Sistem damlama yeknesaklığı (%),

Cv = Yapım farklılık katsayısı (%),

e = Bitki başına damlatıcı sayısı,

q_{min} = Minimum basınçta elde edilen minimum debi (L/h),

q_o = Damlatıcıların ortalama debisi (L/h)'dir.

Kapar (1991)'a göre bu eşitlik ile belirli yeknesaklık ve yapım farklılığı katsayısına göre izin verilebilir basınç değişimlerinin bulunmasında da kullanılabilirliğini belirtmiştir.

Keller ve Karmeli (1975) ve Bralts (1986) Eşitlik 8'i değiştirerek Eşitlik 9'u geliştirmişlerdir. Tarla üniformite tahmininde kullanılan bu eşitlik aşağıdaki gibidir.

$$Eu_a = 100 \left(\frac{q_{\min}}{q_{\text{ort}}} + \frac{q_o}{q_x} \right) \frac{1}{2} \quad (9)$$

Eşitlikte;

Eu_a = Mutlak üniformite (%),

q_x = Damlatıcı debilerinin en yüksek 1/8'inin ortalaması (L/h)'dır.

Kapdaşlı ve ark. (1997), ASAE standartlarını göz önüne alarak istatistiksel yeknesaklık (Us) ile damlama yeknesaklığının (Eu) karşılaştırmalı değerlerini Çizelge 2.1'de ki gibi vermişlerdir.

Çizelge 2.1. Üniformite sınıflarının değerlendirilmesi

| Kabul edilen sınıf | Us (%) | Eu (%) |
|--------------------|----------|----------|
| Mükemmel | 100 – 95 | 100 – 94 |
| İyi | 90 – 85 | 87 – 81 |
| Orta | 80 – 75 | 75 – 68 |
| Zayıf | 70 – 65 | 62 – 56 |
| Kabul edilemez | < 60 | < 50 |

2.1.10. Christiansen yeknesaklık katsayısı (Cu)

Korukçu ve Yıldırım (1984), lateral ve manifold boru hatlarında, yalnızca boru hattının uç noktaları arasındaki basınç yükleri arasındaki farklılığı (dolayısıyla uç noktalardaki debiler arasındaki farklılığı) dikkate alma yerine, boru hattı boyunca tüm damlatıcı ya da lateral giriş debileri arasındaki değişimi dikkate almak ve eş su dağılımı bakımından, bu değişim düzeyini kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalacak biçimde projellemenin yapılmasının uygun olacağını ve bu amaçla da yaygın olarak, Christiansen eşdağılım katsayısından yararlandığını belirtmişlerdir. Bu katsayı şu eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$Cu = 100 \left(1 - \frac{\Delta q_0}{q_0} \right) \quad (10)$$

Eşitlikte;

Cu = Christiansen eşdağılım katsayısı (%),

Δq_0 = Her bir damlatıcı ya da lateral giriş debisinin ortalamadan olan mutlak sapmaların ortalaması,

q_0 = Ortalama damlatıcı ya da lateral giriş debisi (L/h)'dir.

Yağmurlama sulama sistemlerinde eş bir su dağılımının sağlanması yönünden Cu katsayısının alt sınırı % 84 olarak belirlenmiştir (Korukçu ve Yıldırım 1981).

Wu ve Gitlin (1973a,b, 1974a,b) damla sulama lateralleri için $Cu \geq \% 95$ değerinin uygun olacağını belirtmişlerdir. Bunun nedeni yan boru üzerinde en yüksek ve en düşük damlatıcı debileri arasındaki farkın, ortalama debinin % 20'sine eşdeğer olduğunda eş dağılım katsayısının yaklaşık $Cu = 95$ değerini almasıdır (Korukçu ve Yıldırım 1984). Buna karşın, damla sulama yönteminin yaygın olarak topraktaki nem eksikliğine duyarlı bitkilerin sulanmasında kullanılması ve bitki besin maddelerinin sulama suyuna karıştırılarak uygulanması nedeniyle bu koşulun lateral boyunca yeterli düzeyde eş su dağılımı sağlanamayacağını savunan Perold (1977) $Cu \geq \% 98$ ve Korukçu (1980) $Cu \geq \% 97,5$ koşullarını önermişlerdir (Yıldırım ve Apaydın 1999). Bunun nedeni de yine aynı araştırmacılar tarafından belirtildiği gibi, en yüksek ve en düşük damlatıcı debileri arasındaki farkın ortalama debinin % 10'u olduğunda, eş dağılım katsayısının $Cu \geq \% 97,5$ olmasıdır.

Wu ve Gitlin (1974) lateral hattı boyunca tam anlamıyla eş bir su dağılımının, yani tüm damlatıcı debilerinin eşit olma olasılığının çok zor olduğunu belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılar, lateral üzerindeki tüm damlatıcı debilerini dikkate alarak Christiansen üniformaluluk katsayısının 0,95 ve üzerinde olması durumunda lateral uzunluğunca yeterli düzeyde eş su dağılımının elde edileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, geliştirdikleri bilgisayar programından yararlanarak $\Delta H/H$ ve $\Delta H^1/H$ boyutsuz parametrelerinin değişik kombinasyonları için lateral çapı, lateral uzunluğu, lateral giriş basıncı ve lateral giriş debisinin bir işlevi olarak, Cu eş dağılım katsayısının doğrudan bulunabileceği grafiksel bir yöntem kullanmışlardır. Yöntemin geliştirilmesinde damlatıcı akış rejimine ilişkin katsayıyı 0,5 almışlar ve lateral boyunca toplam sürtünme kayıplarını, damlatıcı debilerinin lateral başındaki damlatıcı debisine eşit olduğu varsayımından yararlanarak hesaplamışlardır.

Oğuzer ve Yılmaz (1991) yaptıkları bir araştırmada, denemeye alınan damlatıcıların % 33'ünde $Cu \geq 97,5$ koşulunun sağlandığını ve geriye kalan damlatıcıların ise yalnızca yapımcı farklılığından dolayı bu koşulun sağlanmadığını belirtmişlerdir.

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 göz önüne 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 büyük değerleri veya Cu katsayısının 95'den küçük değerlerinin kabul edilemeyeceğini, 95–98 arasındaki Cu değerlerinin ise kabul edilebilir olduğunu ifade etmişlerdir.

Korukçu (1980), 14 mm iç çaplı laterallerde maksimum ve minimum damlatıcı debilerinin ortalama damlatıcı debisine oranı yani $(q_{max}-q_{min})/q_o$ boyutsuz parametresi ile Cu arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Araştırmacı $(q_{max}-q_{min})/q_o = 0.10$ değerinin Cu = 97,5 değerine karşılık geldiğini göstermiş ve lateral uzunluklarının belirlenmesinde Cu katsayısına ilişkin alt sınırın Cu = 97,5 alınmasını önermiştir. Ayrıca ele aldığı lateralin sonundaki damlatıcı basıncı ve damlatıcı aralığı ile eğimin değişik değerlerinde Cu $\geq 97,5$ koşulunu sağlayan lateral uzunluklarını belirlemiştir.

Tüzel (1990), 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.

Çamoğlu ve Yavuz (2004) yaptıkları bir araştırmada, denemeye alınan yabancı yapım damlatıcıların Cu $\geq 97,41$ ve yerli yapım damlatıcılara ait Cu $\geq 97,62$ olarak bulmuşlardır.

2.1.11. İstatistiksel yeknesaklık (Us)

İstatistiksel yeknesaklık yaklaşımı, bir damla sulama sisteminde damlatıcı debilerinin belirlenerek, debilere ilişkin değişim katsayısının saptanmasına dayanmaktadır (Tüzel 1993).

İstatistiksel yeknesaklık kavramı, ilk olarak Wilkon ve Sulares tarafından yağmurlama sulama sistemlerinin değerlendirilmesi amacıyla tanımlanmış ve bu yaklaşım daha sonra damla sulama sistemlerinin değerlendirilmesinde de kullanılmıştır (Bralts ve Edwards 1986). Bu yaklaşımın kullanılması ile damlatıcı debi yeknesaklığı üzerine etkili olan hidrolik değişim ve damlatıcı performansının değişimi ayrı ayrı değerlendirilebilmekte ve değişime ilişkin güven sınırları belirlenebilmektedir (Bralts ve ark. 1985).

İstatistiksel yeknesaklık Bralts ve Kesner (1983) tarafından aşağıdaki eşitlik ile tanımlanmıştır;

$$U_s = 100 (1 - V_q) = 100 \left(1 - \frac{S}{q_o}\right) \quad (11)$$

Eşitlikte;

U_s = İstatiksel yeknesaklık (%),

V_q = Damlatıcı debilerindeki toplam değişim,

S = Damlatıcı debilerinin standart sapması,

q_o = Ortalama damlatıcı debisi (L/h)'dir.

İstatistiksel işlemlerin kullanımıyla damlatıcı yapım farklılığı, lateral hattı sürtünmeleri, kot farklılıkları ve damlatıcı tıkanıklığı gibi değişik etkenlerin tümü istatistiksel yeknesaklık kavramı içinde değerlendirilmiş olur (Bozkurt 1996).

Bralts ve ark. (1985), damla sulama sistemlerinin değerlendirilmesinde kabul edilen yeknesaklık katsayısı sınırlarını % 90 ve yukarısı için çok iyi, % 80–90 iyi, % 70–80 orta, % 60–70 zayıf, % 60 ve daha düşük değerler için kabul edilemez şeklinde kabul etmişlerdir. ASAE (1994) ise bu sınırları; % 95–100 mükemmel, % 85–90 iyi, % 75–80 orta, % 65–70 çok kötü, % 60 ve aşağısı kabul edilemez şeklinde bildirmiştir.

Bozkurt (1996), yaptığı bir araştırmada 12 damlatıcıyı ele almış ve bunlar üzerinde deneysel bir çalışma yürütmüştür. Test edilen damlatıcıların sadece birinin U_s değeri % 85–90 sınırı arasında kalarak iyi sınıfa girmiş, diğerleri ise % 95 ve üzeri ile mükemmel sınıfa girmiştir.

2.1.12. Yapım farklılığı katsayısı (C_v)

Yapım farklılık katsayısı, debideki standart sapmanın ortalama debiye oranı olarak tanımlanır (Solomon, 1979). Bu katsayı, damlatıcıların herhangi bir yerde kullanılmadan önce aynı büyüklük ve tipte olan damlatıcılarda oluşan debi değişikliğini ifade etmekte kullanılır ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur (ASAE 2002);

$$C_v = \frac{S}{q_o} \quad (12)$$

Eşitlikte;

q_o = Ortalama damlatıcı debisi (L/h),

S = Damlatıcı debilerindeki standart sapmadır. Standart sapma ise şu şekilde hesaplanabilir;

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (13)$$

Eşitlikte;

x_i = Bir damlatıcı debisi (L/h),

n = Damlatıcı sayısı (adet)'dir.

Eğer çizgi kaynaklı damlatıcılar kullanılırsa, damlatıcı lateralinin bir metrelik veya belirtilen uzunlukta oluşan bireysel debileri kullanılır (ASAE, 2002).

Her bir damlatıcı belli bir debiye sahip olmasına karşın, işletme basıncı ve yapım farklılık katsayısı tarafından etkilenmektedir. Yapım farklılığı katsayısı, spiral uzun yollu damlatıcılar için 0,02'a kadar değişebilmektedir. Bu katsayının, damla sulama sisteminde sulama randımanı üzerine önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir (Dasberg ve Bresler 1985).

Damlatıcılar imal edilirken basıncın ve ısının sabit tutulamaması, kullanılan maddelerin düzgün karışmaması gibi nedenlerden dolayı, aynı model iki damlatıcı arasında yapım farklılıkları görülür. Damla sulama sistemlerinde küçük debilerin kullanıldığı göz önüne alınırsa, her ne kadar damlatıcıların kritik iç akış yolu boyutlarında olabilecek değişme küçük olsa da bunun debilerde büyük bir sapmaya yol açacağı açıktır (Özekici ve Bozkurt 1996). Damlatıcıların sabit debilere sahip olabilmeleri için kullanım ömürleri süresince fiziksel özelliklerini korumaları ve doğa koşullarına dayanıklı olmaları gerekir. Basınç düzenleyicili damlatıcıların içinde basıncı düzenlemek ve içerisinde biriken maddeleri dışarıya atabilmek için elastomeric maddeler kullanılır. Bu parçaların sabit boyutlarda imalatının zor olmasının yanı sıra kullanıldıkça yıpranmaları yüzünden basınç değişmese bile debilerinde bir değişme görülür (Özekici ve Sneed 1995).

Yapım farklılıklarından dolayı aynı model damlatıcılar aynı basınç ve sıcaklıkta test edildiğinde debilerinde farklılık olabilir. Bu farklılıklar ortalama debi değerleri çevresinde normal dağılım gösterir ve yapım farklılığı katsayısı ile ifade edilir (Özekici ve Sneed 1995). Bu değer rastgele seçilen önceden kullanılmamış 50 adet damlatıcının aynı sıcaklık ve basınçta elde edilen debi değerlerinden yararlanılarak hesaplanır ve Çizelge 2.2'deki gibi sınıflandırılır (Decroix ve Malavel 1985).

Kapar (1991), yaptığı bir çalışmada, Ege Bölgesinde kullanımı yaygın olan yerli ve yabancı yapım olmak üzere toplam 8 damlatıcı ele almış ve bunların teknik özellikleri ile birlikte Cv değerinin aralıklarını belirleyerek sınıflandırmaya tabi tutmuştur. Buna göre, tüm damlatıcıların Cv değişim değerleri 0,015 ile 0,088 aralığında bulunmuştur. Ayrıca ASAE (2002)'ye göre yapılan sınıflandırmada 4 damlatıcının iyi, 2 damlatıcının iyi-orta, 2 damlatıcının da orta sınıfa girdiği tespit edilmiştir.

Çizelge 2.2. Yapım farklılık katsayısının önerilen sınırları

| Damlatıcı Tipi | Cv Aralığı | Sınıflandırma |
|----------------|-------------|-------------------------|
| Nokta Kaynaklı | <0,05 | Mükemmel |
| | 0,05 – 0,07 | İyi |
| | 0,07 – 0,11 | Sınırdadır |
| | 0,11 – 0,15 | Çok kötü |
| | >0,15 | Kabul edilemez |
| Çizgi Kaynaklı | < 0,10 | İyi |
| | 0,10 – 0,20 | Orta |
| | >0,20 | Orta – Kabul edilebilir |

Demir ve Yürdem (2000)'in, ülkemizde üretilen ve yaygın olarak kullanılan farklı yapım özelliklerine sahip damlatıcıların teknik özellikleri ve yapım farklılıklarını belirlemek amacıyla yapmış oldukları bir araştırmada, 32 adet damlatıcıyı ele almışlar ve karşılaştırmalı değerler vermişlerdir. Bu çalışmaya göre en yüksek Cv değeri 0,210 ve en düşük Cv değeri 0,010 bulunmuştur. Yapım farklılığı yönünden yapılan sınıflandırmada, yerli yapım olan 6 adet damlatıcının mükemmel sınıfa, 2 adet damlatıcının orta ve 1 adet damlatıcının da çok kötü sınıfında olduğu görülmüştür.

Ayyıldız ve Yaralı (1985) yağmurlama başlıklarında, yapım farklılıklarının eş su dağılım düzeyine etkisini belirlemek amacıyla, yapım firmalarının üretimlerinden tesadüfi ve yapım firmayı temsil edebilecek biçimde 10 adet yağmurlama başlığı almış ve bunları farklı meme çapı ile işletme kombinasyonlarında teste tutmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlarda lateral boyunca başlık verdikleri arasındaki farklılığın, yük kayıplarından çok yapım farklılığından kaynaklandığını görmüşlerdir. Sonuç olarak da, bu çalışma ile ülkemizde üretilen yağmurlama başlıklarında yapım farklılığı nedeni ile önemli debi değişiklikleri olduğunu, bu debi değişikliklerinin lateral boyunca toprak yüzeyine verilen suyun eş dağılım düzeyini önemli ölçüde düşürdüğünü saptamışlardır.

Pitts ve ark. (1986) 14 farklı tip damlatıcı ile yaptıkları çalışmada, bu damlatıcıların basınç–debi ilişkilerini ve yapım farklılığı katsayılarını belirlemişlerdir.

Mizyed ve Kruse (1989) 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 belirtmişlerdir.

2.1.13. Yük kayıplarının saptanması

Yan borularda, ele alınan damlatıcı aralıklarına ilişkin yük kayıplarının geliştirilmesinde; ilk aşamada Darcy–Weisbach f sürtünme faktörü ile Reynolds sayıları (Re) arasındaki ilişkilere ($f=aRe^b$) ait eşitlikler belirlenmiştir. Darcy–Weisbach f sürtünme faktörünün değerleri,

$$f = \frac{2g \cdot h_f \cdot D}{L \cdot V^2} \quad (14)$$

ve Hazen–Williams eşitliği;

$$h_f = \frac{5,038}{C^{1,852}} L \frac{V^{1,852}}{D^{1,852}} \quad (15)$$

eşitliğinden yararlanarak hesaplanmıştır. Eşitlikte;

f = Darcy–Weisbach sürtünme faktörü,

h_f = Hazen–Williams sürtünme kayıp eşitliği (m),

L = Boru uzunluğu (m),

D = Boru iç çapı (m),

V = Boru içindeki ortalama akım hızı (m/s),

g = Yerçekimi ivmesi (m/s^2),

C = Hazen–Williams sürtünme faktörüdür.

Reynolds sayısı değerleri 21 numaralı eşitlikte hesaplanmıştır. Hesaplamalarda boru iç çapı, denemeye alınan lateral borunun iç çapı olan $D = 0,0134$ m alınmıştır. Kinematik viskozite değerleri ise, deneme düzeninde ölçülen su aralıklarına göre Çizelge 2.3'de verilen değerlerden elde edilmiştir. Ölçülen su sıcaklıkları cetvelde verilen değerler arasında kaldığında, kinematik viskozite değerleri enterpolasyonla bulunmuştur.

Keller ve Karmeli (1975)'ye göre, eğer su sıcaklığı 10 °C'den 40 °C'ye çıkarsa aynı basınç değerinde debideki artış iki katına çıkar. Böyle bir sistemde su sıcaklığı oldukça önemlidir. Birçok uzun yollu damlatıcılar 20 °C civarındaki su sıcaklığı için kalibre edilir.

Çizelge 2.3. Değişik su sıcaklıklarında farklı akış katsayılarına göre viskozite değerleri

| Sıcaklık Düzeltme | | | |
|-------------------|---------|---------|---------|
| °C | x = 1,0 | x = 0,8 | x = 0,6 |
| 5 | 0,63 | 0,87 | 0,94 |
| 10 | 0,75 | 0,92 | 0,95 |
| 15 | 0,87 | 0,95 | 0,98 |
| 20 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 25 | 1,13 | 1,05 | 1,02 |
| 30 | 1,28 | 1,10 | 1,04 |
| 35 | 1,43 | 1,14 | 1,06 |
| 40 | 1,56 | 1,19 | 1,08 |
| 45 | 1,70 | 1,24 | 1,10 |
| 50 | 1,85 | 1,29 | 1,12 |

İkinci aşamada, Darcy – Weibach f sürtünme faktörleri ile Reynolds sayısı arasında belirli damlatıcı aralığı için elde edilen;

$$f = aRe^b = a \left(\frac{VD}{\nu} \right)^b \quad (16)$$

ilişkisi 16 numaralı Darcy – Weibach eşitliğinde yerine yazılarak;

$$hf = a \frac{V^b D^b}{\nu^b} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (17)$$

$$hf = \frac{a}{2g\nu^b} L \frac{V^{2+b}}{D^{1-b}} \quad (18)$$

$$\frac{a}{2g\nu^b} = K_1 = \text{sabit (20 } ^\circ\text{C su sıcaklığı için)}$$

$$2+b = m$$

$$1 - b = n$$

$$hf = K_1 L \frac{V^m}{D^n} \quad (19)$$

yük kaybı eşitliği elde edilmiştir (Wu ve Gitlin 1973 b).

Genel kayıp eşitliği;

$$\Delta h_f = K \Delta L \frac{\Delta Q^m}{D^{2+m}} \Rightarrow \Delta h_f = K \Delta L \frac{V^m}{D^n} \quad (20)$$

Eşitlikte;

Δh_f = Damlatıcılar arasında kalan lateral bölümündeki sürtünme kaybı (m.s.s.),

K = Lateralde oluşan akış rejimine ve iç çapa bağlı bir katsayı,

ΔL = Damlatıcı aralığı (m),

V = Su hızı (m/s),

ΔQ = ΔL lateral bölümündeki debi (m^3/s),

D = Lateral iç çapı (m),

Q = Toplam damlatıcı debisi (L/h),

a,b = Sürtünme akış katsayıları

m,n = Lateraldeki akış rejimine bağlı katsayılarıdır.

Yan borulardaki akış, lateral borularda olduğu gibi hidrolik yönden kararlı olup boru uzunluğunca giderek azalmaktadır. Suyun yan borudan laterallere geçişi boru uzunluğunca oluşan basınç dağılımının etkisindedir. Basınç dağılımı da boruda sürtünme kayıpları sonucu oluşan enerji azalması ve borunun topoğrafik eğimine bağlı olarak kazanılan veya kaybedilen enerji tarafından kontrol edilir. Bu nedenle, yeknesak sulama yönünden yan boru, boru uzunluğunca oluşan basınç değişiminin belirli bir sınır içerisinde kalmasını sağlayacak büyüklükte olmalıdır. Yan boruda izin verilebilir basınç değişimine ilişkin olarak, araştırmacılar tarafından farklı sınır değerleri kabul edilmekle birlikte değişimin, yan boru giriş basıncının % 20'sini aşmaması gerektiği belirtilmektedir (Tüzel 1994).

Damlatıcılarda debi-basınç ilişkisinde kullanılan Eşitlik 1'deki akış rejimine bağlı katsayının (x) küçük değerlere sahip olmasıyla olası basınç değişimlerinde debideki değişim en az düzeyde olmaktadır. Tam türbülanslı akışta $x = 0,5$, laminar akışta $x = 1,0$ ve basınç düzenleyicili damlatıcılarda $x = 0$ olmaktadır. Bu durumda, akış rejiminin bilinmesi debi değişim düzeyinin tahmin edilmesi açısından önemlidir.

Akış rejimi, atalet kuvvetinin viskoz kuvvetine oranı olan Reynolds sayısı (Re) ile karakterize edilir ve aşağıdaki eşitlikle tanımlanır (Von Bernuth ve Solomon 1986);

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (21)$$

Eşitlikte;

D = Borunun iç çapı (m),

V = Hız (m/s),

ν = Suyun kinematik viskozitesi (m^2/s)'dir.

Reynolds sayısından yararlanılarak akış rejimi Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Reynolds sayısı ile akış rejimleri arasındaki ilişki

| Akış rejimi | Reynolds sayısı (Re) |
|-----------------|------------------------|
| Laminar | $Re \leq 2000$ |
| Düzensiz | $2000 < Re \leq 4000$ |
| Kısmi Türbülans | $4000 < Re \leq 10000$ |
| Tam Türbülans | $Re > 10000$ |

Karmeli (1977)'ye göre; laminar akış koşullarında, sürtünme kayıpları ile Re ters orantılıdır. Yani Re artarken kayıplar azalır. Lateral ya da manifold borular içinde akan suyun sıcaklığının değişmesinden suyun viskozitesi etkilendiğinden Reynolds (Re) sayısı da değişir.

Düzensiz akış koşullarında sürtünme ve debi değerleri de düzensiz olmaktadır. Reynolds sayısının bu sınırlar arasındaki sürtünme katsayıları tam olarak kestirilemez. Bu katsayı, akış yolu çeperlerinde mineral depolaması ve tortular nedeniyle sertliğin değişmesiyle hissedilebilir bir şekilde değişebilir.

Kısmi türbülanslı akış koşullarında Reynolds sayısının değişimi düşüktür ve neredeyse sıcaklıktan bağımsızdır. Sürtünme katsayısı kullanılan borunun sertliğine bağlıdır. Bu durum Reynolds değeri 4000 ve 8000 arasında olduğunda daha belirgindir.

Tam türbülanslı akış rejiminde sürtünme katsayısı, kullanılan borunun sertlik değeri ile ilgili bir katsayıdır ve Re'den bağımsızdır (Bozkurt 1996).

Damla sulama sistemlerinde, lateral hattı hidroliğini temel alan damlatıcı debi değişimi şu eşitlik ile bulunabilir (Bralts ve ark. 1985);

$$q_{\text{değişim}} = 100 \left(1 - \frac{q_{\text{min}}}{q_{\text{max}}}\right) \quad (22)$$

Eşitlikte;

$q_{\text{değişim}}$ = Damlatıcı debi değişimi (%),

q_{max} = Maksimum damlatıcı debisi (L/h),

q_{min} = Minimum damlatıcı debisi (L/h)'dir.

Damlatıcı debileri, su sıcaklığı ile değişebilmektedir. Damlatıcı içerisindeki akış yolunda laminar akım olduğunda, debinin su sıcaklığına göre değişimi, oldukça önemli boyutlardadır. Ancak, kısmi türbülanslı veya tam türbülanslı akım koşullarında, su sıcaklığının her 1 °C değişmesine karşılık, debideki değişim % 1'i pek geçmemektedir. Bu nedenle, damlatıcı içerisindeki kısmi ya da tam türbülanslı akım koşullarında, damlatıcı

debisinin su sıcaklığına göre değişimi, damla sulama sistemlerinin tasarımında ihmal edilmektedir. Belirli işletme basıncındaki damlatıcı debisi, 20 °C su sıcaklığı için verilmektedir (Korukçu ve Yıldırım 1984).

Lateral boru hattı özellikle güneşteyse borudaki su ile havadaki su sıcaklığı farklı olmakta ve sistem boyunca hareket halinde ve sıcaklık değişiyorsa, laminar akımlı damlatıcı debisinin üniformitesi etkilenebilmektedir (Keller ve Karmeli 1975).

Parchomchuk (1976), sıcaklığın debi değişimine etkisini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada, mikro tüplerde akış türbülans oluncaya kadar 1 °C sıcaklık farkında % 1,4'lük bir debi değişikliğinin olduğunu ve bundan sonraki sıcaklık artışının akışı etkilemediğini tespit etmiştir. Ayrıca spiral uzun yollu damlatıcılarda 29 °C'ye kadar % 1,2 °C arttığını, sıcaklığın daha da yükselmesiyle debinin derece derece azaldığını (% 0,7 °C) görmüştür. Orifis tipli bir damlatıcı debisinin teorik olarak sıcaklıktan etkilenmediği, fakat değişik tipleri için 7–38 °C sıcaklık aralığında debideki artışın % 1–4 arasında olduğunu belirtmiştir. Aynı araştırmacı vorteks tipli damlatıcılar üzerine yaptığı çalışmada, 8–38 °C sıcaklık aralığında sıcaklık artışına karşın debide % 8'lik bir azalmanın olduğunu görmüştür. Bu azalmanın, viskozite azaldığında, vorteks hareketinin artmasıyla meydana geldiğini belirlemiştir

Dasberg ve Bresler (1985), sıcaklığın lateral boru boyuna etkilerini araştırmak için yaptıkları çalışmada; güneşli bir günde, 20–90 m uzunluğunda bir lateralın sonu ile başı arasındaki sıcaklık farkının 16 °C olduğunu bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar, böyle bir farklılığın, spiral uzun yollu damlatıcılarda % 11, mikro tüplerde % 22'lik bir debi artışına sebep olduğunu belirtmişlerdir.

Howell ve Hiler (1974), 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 lateralın başından ve sonundan 6,096 m bırakarak, arada 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 projelene için yapılacak hesaplamalarda Hazen–Williams pürüzlülük katsayısı (C) için 130 değerinin alınmasının daha uygun olacağını bildirmişlerdir.

Korukçu (1980), 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 yapmışlardır. Araştırmacı, damlatıcı

aralığına göre 4,50 ve 5,00 m aralıklarda olmak üzere 4 noktadaki basınç yüksekliklerini mekanik manometre yardımıyla ölçmüş ve sürtünme kayıp eşitliklerini çıkarmıştır. 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 laterallerinde 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 (1980), damla sulama sistemlerinde akış yolu üzerinde bulunan bağlantıların oluşturduğu kayıpların önemsiz olarak kabul edildiğini, fakat sistemlerde birçok bağlantı kullanıldığını, bu nedenle önemsiz olarak kabul edilen kayıpların önemli hale geldiğini belirtmişlerdir. Buradan hareketle düz borularda 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 planlanmasında 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 uzunluk eşitliği arasındaki ilişkileri belirlemiştir. Buradan sürtünme ve damlatıcı bağlantısı sonucu oluşan kayıpların ayrı ayrı hesaplandığı eşitlikler geliştirmişlerdir.

Zoldoske ve Norum (1985), damla sulama laterallerinde sürtünme kayıplarının belirlenmesinde klasik hidrolik formüllerin kullanıldığını fakat bunların kullanımı ile yapılacak değerlendirilmelerden 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 tasarım koşullarının oluşturulamayacağını belirtmişlerdir. Bütün bu nedenlerden dolayı, damlatıcıların laterale bağlantısı halinde, damlatıcıların geometrisine ve damlatıcı aralığına

bağlı olarak meydana getirecekleri sürtünme kayıplarının deneysel çalışmalarla belirlenmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

2.1.14. Sulama yeknesaklığının değerlendirilmesi

Üniform bir bitki gelişimini sağlamak için yeterli bir su uygulama yeknesaklığı gerekir (Howell ve ark. 1986).

Damla sulama sistemlerinin değerlendirilmesi, sistem tasarımı ve işletiminin ne ölçüde yeterli olduğunun ve sistemde onarılması veya yenileriyle değiştirilmesi gereken sistem unsurlarının saptanması amacıyla gerek mühendis, gerekse sistemi kullananlar yönünden önemlidir (Bralts ve ark. 1987).

Su dağılım yeknesaklığı, hemen hemen tüm sulama sistemlerinde projelene kistası olarak kullanılmaktadır. Yüzey sulama sistemleri için karık boyunca oluşan toplam infiltrasyonun yeknesaklığı, yağmurlama sulama sistemleri için örnek kaplarda toplanan suyun üniformitesi ve mikro sulama sistemlerde damlatıcı debilerinin yeknesaklığı en genel ölçümlerdir. Projelene sulama sistemlerinin amacı, tarlaya uygulanan sulama suyunun yeknesak bir şekilde dağılımını sağlamaktır (Wu ve Baragan 2000).

Aynı araştırmacılar, su uygulama yeknesaklığının gösterilmesinde birçok yöntemin bulunduğunu ifade etmişlerdir. Bunlardan ortalama sapmayı ve istatistiksel terimi değerlendiren üniformite katsayı (Cu) (Christiansen 1942) ve standart sapmayı değerlendiren varyasyon katsayısı (Cv) üniformitenin ifadesinde kullanılan en genel olanlarıdır. Hem Cu'nun hem de Cv'nin hesaplanmasında seçilmiş bazı örneklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlardan başka sıkça kullanılan "Dağılım Üniformitesi" (Us) (Merriam ve Keller 1978) ve damlama eş dağılımı (Eu) (Keller ve Karmeli 1974)'dır. Damlatıcı akış oranı (qr), minimum damlatıcı debisinin maksimum damlatıcı debisine oranı (q_{min}/q_{max}) (Howell ve Hiler 1974) ve damlatıcı debi değişimi $q_{değişim}$ ($1 - q_{min}/q_{max}$) (Wu ve Gitlin 1974) gibi maksimum ve minimum değerleri temel olan daha basit formları da kullanılmaktadır.

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 olduğundan enerji (basınç) artışına sebep olmaktadır (Wu, Gitlin, Solomon ve Saruwatari 1986).

2.1.15. Eş su dağılım etkenleri

Damla sulama yönteminin diğer yöntemlere kıyasla en önemli avantajlarından olan suyun araziye yeknesak olarak dağılımının sağlanabilmesi, damlatıcılardan çıkan suyun eşdeşliğine bağlıdır. Uygulanan suyun yeknesaklığının sağlanması ile sulama periyodu süresince suyun bitkilere eşit miktarlarda verilmesine olanak sağlanacaktır.

Yeknesak bir 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 yapımının üniform olmaması, damlatıcı konstrüksiyonu ve montajdaki değişim, damlatıcıların kısmen veya tamamen tıkanması ile kurulan tesiste yer alan damlatıcı sayısı olarak belirtilmektedir (Bralts ve ark. 1981; Giay ve Zelenka 1986; Pitts ve ark. 1986; Solomon 1977).

Benzer şekilde suyun yeknesak dağılımını etkileyen bazı damlatıcı özellikleri Keller ve Karmeli (1975) tarafından maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Yapımcı toleransı nedeniyle debideki değişimler,
2. Tasarım özelliklerine bağlı olarak basınç değişimlerindeki debi değişimleri,
3. Akış rejimine bağlı katsayı,
4. Uygun işletme basıncı aralığı,
5. Damlatıcıların laterallere bağlantısından kaynaklanan basınç kayıpları,
6. Tıkanmaya, siltasyona veya kimyasal madde birikimine olan hassasiyet,
7. Uzun periyotta debi-basınç dengesi.

Yine aynı araştırmacılar tarafından; bir lateral hattaki sürtünme kayıplarının oluşturduğu değişimler, basınç düzenleyiciler, ana hattaki akış, laterallerin eğimi, lateralden laterale geçişteki basınç değişimleri ve su sıcaklığındaki değişimlerin sebep olduğu faktörlerin hidrolik sistem faktörlerinin kapsamına girdiği belirtilmektedir.

2.1.16. Optimum lateral uzunluğunun belirlenmesi

Howell ve Hiler (1972), 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.

Demir ve Yürdem (2002)'de yaptıkları çalışmada, aynı damlatıcının yer aldığı farklı çaplı damla sulama borularındaki en uygun lateral uzunluklarını incelemişlerdir. Bu amaçla, içine geçik uzun akış yollu, 20, 25, 33, 40, 50, 60 ve 75 cm damlatıcı aralıklı, 14,8 mm (iç çap: 13,0 mm) ve 15,8 mm (iç çap: 14,0 mm) dış çapa sahip iki farklı damla sulama borusu ele almışlardır. Araştırmada, damlatıcı özellikleri belirlenmiş ve lateral borularda meydana gelen sürtünme kayıpları ölçülmüştür. Elde edilen basınç–debi ve sürtünme kayıp eşitlikleri kullanılarak, hazırlanan bir bilgisayar programı yardımıyla 1,0 ve 1,5 bar çalışma basınçları ile çeşitli eğim koşullarında, eş su dağılımı sağlayan lateral uzunluklarını ortaya koymuşlardır. Her iki çap için, çeşitli çalışma koşullarındaki en uygun lateral uzunluklarındaki sapmaları yüzde olarak belirlemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre; aynı tip damlatıcının küçük çaplı boruda kullanılması durumunda çeşitli çalışma koşullarında damlatıcı aralığına bağlı olarak lateral uzunluğunun % 3,07 – % 9,92 arasında daha kısa olacağını saptamışlardır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, araştırmada kullanılan materyal ile laboratuvar ve büro çalışmalarında uygulanan metotlar açıklanmıştır.

Araştırmada, ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılmakta olan aynı özelliklere sahip hat içi (in-line) damlatıcının, yapım farklılıklarının eş su dağılımına etkilerini belirlemek ve dairesel kesitli damla sulama borusunun, hazırlanan bir bilgisayar programı aracılığı ile farklı damlatıcı aralıklarına ve işletme basınçlarına göre uzatma mesafelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışma, 2006 – 2007 yıllarında yürütülmüştür.

3.1. Materyal

Bu kısımda, çalışmanın yürütüldüğü yer, su kaynağı, pompa birimi, test düzeneğı, denetim birimi, üzerinde damlatıcıların bulunduğu borular ile laboratuvar denemelerinde yararlanılan araçların özellikleri verilmiştir.

3.1.1. Araştırma yeri

Bu araştırma, Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Hidrolik Laboratuvarında kurulan damla sulama test düzeneğinde yapılmıştır.

3.1.2. Su kaynağı

Deneme süresince, damlatıcıların tıkanmaması için şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılan suya ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tekirdağ belediyesinden alınmış olup, Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Hidrolik laboratuvarında bulunan şehir şebeke suyu sağlayan musluktan 25 mm’lik çapa sahip sert PE boru aracılığıyla alınan su 2 ton kapasiteli su deposuna iletilmiş (Şekil 3.1) buradan pompa yardımıyla kurulan test düzeneğine verilmiştir.

3.1.3. Hidrofor ve Pompa

Sistem için gerekli olan su, depo ile lateral boru hattı arasına yerleştirilmiş hidroforlu pompa ile sağlanmıştır. Pompa 1,5 HP gücünde ve 4 m³/h maksimum debiye sahip olup, 48 mss manometrik yüksekliğe su basabilmektedir (Şekil 3.2). Hidrofor, dijital panolu frekans konvektörü basınç ve frekans ayarlı özelliklere sahiptir.

Çizelge 3.1. Kullanılan suya ait özellikler

| Özellik | Miktar | Özellik | Miktar |
|---------|--------|--------------------|-------------------------------|
| Tortu | Yok | EC micromhos/mm | 240 |
| pH | 8,50 | Sulama suyu sınıfı | T ₁ A ₁ |
| Renk | 0,03 | Na | 81,70 me/L |
| Sertlik | 10,0 | Bor | Yok |
| Krom | <2 | Kurşun | <2 |



Şekil 3.1. Araştırmada kullanılan su deposu



Şekil 3.2. Pompanın genel görünüşü

3.1.4. Test Düzenegi

Test düzenegi; 32 mm dış çapa sahip 150 cm uzunluğunda bir ana boru hattı, damlatıcıların üzerinde bulunduğu laterallerden ve eğimsiz olarak yerleştirilen tuğlalardan oluşmaktadır (Şekil 3.3).

Test düzeneginde, 20 x 30 cm boyutlarında delikli tuğlalar kullanılmıştır. Tuğlalar eğimsiz şekilde zemine yerleştirilmiştir. Üst deliklerinin arasından borular geçirilerek, laterallerin eğimsiz olması sağlanmış ve damlatıcılardan çıkan damlaların boru üzerinden süzülerek diğer damlatıcılarla birleşmesi önlenmiştir.

Ana boru hattı üzerinde, lateral hatların kontrolünde kullanılan vanalar ve sistem denetiminde kullanılan basınç ölçerler bulunmaktadır. Lateral boru hatları ise ana boru hattına nipel vasıtasıyla bağlanmıştır.

Ayrıca, bağlantı noktalarında yüksek basınç değişimlerinden dolayı oluşabilecek su çıkışlarını önlemek amacıyla da teflon bant ve kelepçeler kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Test düzeneginin genel görünümü

3.1.5. Denetim Birimi

Denetim birimi olarak, ayarlanabilen basınç değişimli elektrikli hidrofor kullanılmıştır. İşletme basıncını ayarlamak için dijital pano kullanılmış ve 0,001 bar hassas ayarlı basınç debi dzenleyici dzenegı kullanılmıştır (şekil 3.4).



şekil 3.4. Hidroforun ana kumanda gıvdesi

Basınç ılımlerinde 3 adet basınçılıler kullanılmış, bunlardan ikisi yan boru hattı girişi ve ıkışına diğeri ise gezici olarak lateral hatların sonuna yerleştirilmiştir. Denemede kullanılan basınç ılıler Pakkens marka ve 0 – 6 bar kapasiteye sahiptir (şekil 3.5).



şekil 3.5. Denemede kullanılan manometre

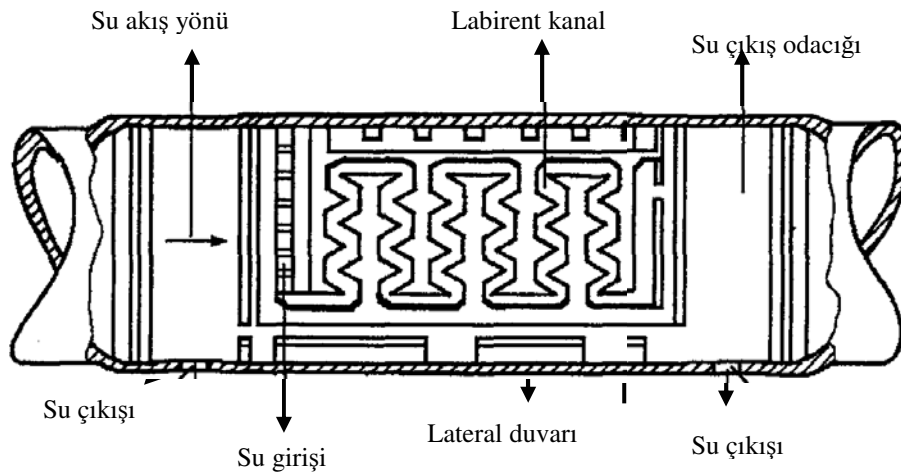
3.1.6. Damlatıcılar

Denemede ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan hat içi (in-line) damlatıcı tipi ele alınmıştır.

Denemede bir adet yerli yapım hat içi damlatıcı kullanılmıştır. Kullanımı yaygın olduğundan 4 L/h'lik debiye sahip hat içi damlatıcı tercih edilmiştir. Lateralin iç duvarını saracak şekilde imalat esnasında laterale sıkıca monte edilen damlatıcı, tek parça olup üç kısımdan oluşmaktadır. Damlatıcıya suyun girişi gövde üzerinde yer alan ve üzerinde süzgeç görevini yapan iki farklı su girişi sağlayan toplam 12 adet küçük kanallardan olmakta ve bu bölge birinci kısmı oluşturmaktadır. İkinci kısım, gövde üzerinde enine olacak şekilde su geçişine izin veren labirent kanalları, üçüncü kısım ise damlatıcı su çıkış odacığının bulunduğu bölgedir. Su çıkış odacığı üzerinde, lateral çevresine eşit aralıklarla açılmış dört adet su çıkış deliği yer almaktadır. Bu delikler yardımıyla lateralden su çıkışı sağlanmaktadır. Bu damlatıcıda su çıkış bölümü su girişinin yanından olmaktadır (Şekil 3.6).

3.1.7. Borular

Denemede, damla sulama yan borularında kullanılan yerli yapım 15,2 mm dış çapında, 0,9 mm et kalınlığında, iç çapı 13,4 mm olan bükülebilir PE (polietilen) borular kullanılmıştır. Denemede yalnızca bu boruların tercih edilmesinin nedeni, damla sulama yan borularında geniş bir kullanım alanı bulması ve fabrika satış bilgilerine göre en çok talep edilen borulardan olmasıdır.



Şekil 3.6. Labirent kanallı damlatıcının kesiti

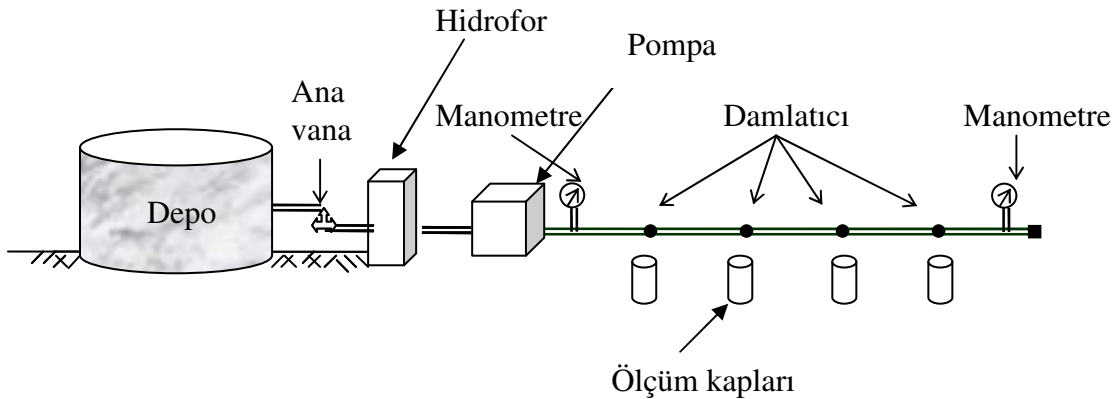
3.2. Yöntem

Bu bölümde, denemeye alınan 15,2 mm dış çaplı PE borularda, çalışmanın ilk aşaması olarak ele alınan damlatıcının 30 adedinin debileri, 0,5, 1,0, 1,5 ve 2,0 bar çalışma basınçlarında üç tekrarlı olarak ölçülmesi için test düzeneği hazırlanmıştır (Şekil 3.7). Ölçümlerin her bölümünde, rejim teşekkülü ve basıncın sabitlenmesi için 2–5 dakika serbest akış beklendikten sonra ölçümlere başlanmıştır (Kapdaşlı ve ark. 1997).

Damlatıcılardan 300 saniyelik bir süreyle su akıtılmış ve bu sürenin sonunda damlatıcıların altında bulunan kaplarda biriken su hacimleri ölçülmüştür. Daha sonra belirli bir deneme basıncındaki her damlatıcının debisi hacimsel olarak hesaplanmıştır (Korukçu 1980).

Her bir damlatıcı için elde edilen debi değerlerinden yararlanılarak, Eşitlik 1 yardımıyla; akış rejimine bağlı katsayı (x), akış katsayısı (k), korelasyon katsayısı (r) Eşitlik 7 yardımıyla; damlama türdeşliği (E_u) Eşitlik 10 yardımıyla; Christiansen yeknesaklık katsayısı (C_u) Eşitlik 11 yardımıyla; istatistiksel yeknesaklık katsayısı (U_s) ve Eşitlik 12 yardımıyla yapım farklılığı katsayısı (C_v) değerleri; Eşitlik 12 ile yük kayıpları katsayıları ve eşitliklerini, Eşitlik 19 yardımıyla hesaplanmıştır.

Bu değerlerin basınca karşı değişimleri ve yapım farklılığı katsayısı ile sulama yeknesaklığı değerlendirme yöntemleri arasındaki ilişkiler irdelenmiştir.



Şekil 3.7. Deneme düzeneği (Şematik olarak)

3.2.1. Damlatıcı basınç – debi ilişkisinin belirlenmesi

Damlatıcı basınç–debi ilişkisinin belirlenmesi amacıyla her bir damlatıcı tipi için 30 adet damlatıcı seçilmiş ve 3 tekrarlı olarak debileri ölçülmüştür (Decroix ve Malavel 1985).

Elde edilen debi ve basınç değerlerinin logaritmaları ile Excel programında doğrusal regresyon analizi yapılmış ve elde edilen doğrunun eğimi x üs değerini, doğrunun birim (h) değerine (h=1) karşılık düşey eksenini kestiği noktada k değerini vermiştir. Ayrıca regresyon katsayısı da yine aynı program vasıtasıyla bulunmuştur.

Damlatıcı debilerinin ölçülmesi için damlatıcıların altına gelecek şekilde her birinde 2000 ml lik şeffaf plastik debi ölçme kapları yerleştirilmiştir (Şekil 3.8). Sistemde istenilen işletme basıncı sabit kaldıktan sonra, damlatıcıların altına ölçü kapları kaydırılmıştır. Belirli bir basınç altında damlatıcılardan 300 saniye süre ile suyun akışı sağlanmış ve süre bitiminde kaplar geri çekilerek 500 ml $\pm 2,5$ ml hacimli kapasiteye sahip cam mezür yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 3.9). Çalışma anındaki su sıcaklığı da termometre ile belirlenmiştir. Debi ölçüm denemeleri 0,5 bar basınçtan başlayarak 0,5 bar'lık artışlarla, 2,0 bara gelinceye kadar 4 farklı (0,5, 1,0, 1,5 ve 2,0 bar) basınçta yapılmış ve her bir basınçtaki ölçümler 3 kez tekrarlanmıştır. Her bir çalışma basıncında aynı damlatıcı için yapılan 3 tekrardan elde edilen debi değerleri hazırlanan bilgisayar programına girilerek; damlatıcı debilerinin ayrı ayrı ortalamaları, 30 damlatıcı için elde edilen bu ortalama debilerin de ortalaması (q_0), en düşük (q_{min}) ve en yüksek (q_{max}) damlatıcı debileri (q), debilerin standart sapması (S) ve bu değerlerden yararlanarak varyasyon katsayıları hesaplanmıştır.



Şekil 3.8. Denemede kullanılan plastik beher



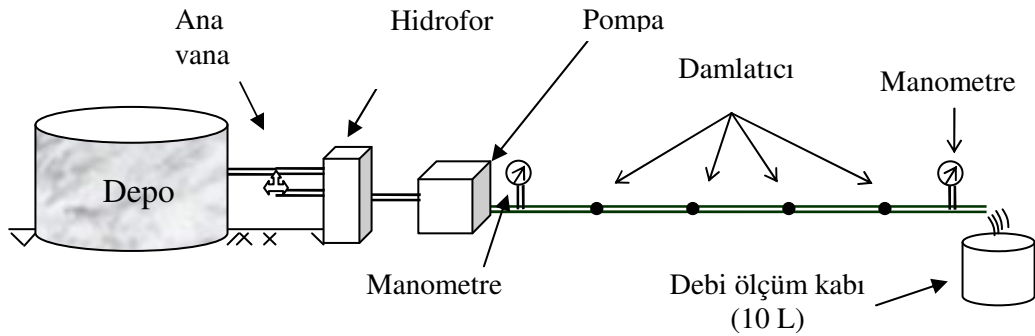
Şekil 3.9. Denemede kullanılan cam mezür

3.2.2. Yük kayıplarının laboratuvar denemeleri ile ölçülmesi

Denemeye alınan 15,2 mm dış çaplı PE borularda oluşan yük kayıplarına ilişkin deneysel verilerin elde edilmesi amacıyla Şekil 3.10'da görülen deneme düzeninden yararlanılmıştır.

Test düzeneğinde, denemeye alınan, 0,20 m damlatıcı aralığı için 6 m, 0,25 m için 7,5 m, 0,33 m için 10 m, 0,40 m için 12 m ve 0,50 m için ise 15 m lateral boru kullanılmıştır. Bu suretle, farklı damlatıcı aralıklarına sahip olan laterallerin üzerindeki damlatıcı sayısı 30 adet olması sağlanmıştır.

Su akış hızını belirlemek için lateral sonundan akan su miktarını ölçmek amacıyla lateral sonuna 10 litrelik kap yerleştirilmiştir (Demir 1991). Basınç ölçüm noktalarına, lateral üzerine manometreler yerleştirilmiştir. Her debideki ilk ve son ölçüm noktalarında oluşan basınç değerleri manometreler sayesinde sürtünme kayıpları ölçülmüştür.



Şekil 3.10. Denemeye alınan laterallerin yük kayıplarının ölçülmesinde kullanılan deneme düzeni

Denemelerde basınç değerleri ölçümü, 10 değişik işletme koşulunda yapılmıştır. Her su miktarı (debi), 10 litrelik kabın dolma zamanı kronometre ile ölçülerek belirlenmiş, akış hızları (V) ve Reynolds sayıları (Re) hesaplanmıştır. İlk ve son basınç değerleri arasındaki fark hesaplanarak ele alınan lateral bölümündeki sürtünme kaybı (h_f) belirlenmiştir.

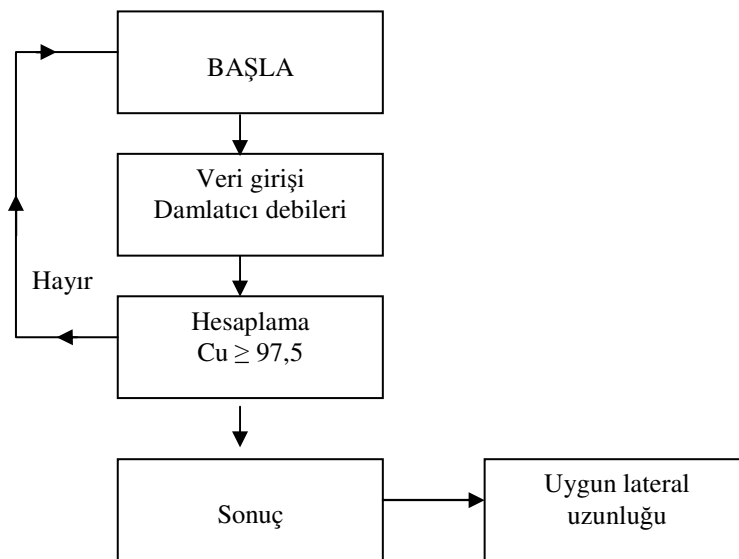
Reynolds sayıları Eşitlik 21 yardımıyla bulunup sürtünme kayıp eşitlikleri elde edilmiştir. Ayrıca, her denemenin ortasında, boru sonundaki su sıcaklığı termometre ile ölçülmüştür.

3.2.3. Optimum lateral uzunluğunun belirlenmesi

Optimum lateral uzunluğunun saptanabilmesi için $Cu \geq 97,5$ koşulunu sağlayan sonuç en uygun lateral uzunluğu (optimum uzatma mesafesi) olarak belirlenmiştir (Korukçu 1980).

Bu amaçla Şekil 3.10'da akış şeması verilen bir bilgisayar programı hazırlanarak adımlama yoluyla hesaplanmış olup, bilgisayar çıktılarından yararlanılarak $Cu \geq 97,5$ koşulunu sağladığı anda işleme son verilmiş ve farklı damlatıcı aralıklarında ve değişik işletme basınçlarında optimum lateral uzunlukları saptanmıştır.

Bilgisayar programının akış şemasından görüleceği gibi farklı damlatıcı aralıklarına sahip lateraller ölçüm yapılarak $Cu \geq 97,5$ değerine yaklaşan ilk uzunluk alınmış, daha sonra damlatıcı debilerinden yararlanılarak eş su dağılım katsayıları (Cu) hesaplanmıştır. Programda belirlenen lateral uzunluklarında $Cu \geq 97,5$ değerini sağlamadığı takdirde, adımlama yöntemiyle 1'er metre kısaltılarak tekrar ölçüm yapılmış ve Cu değerini sağlayana kadar lateral boruları kısaltılmış ve ölçümler üç tekerrürlü olarak yapılarak, ortalamalarından $Cu \geq 97,5$ ve üzeri bir değer bulunduğu denemeye son verilmiştir.



Şekil 3.10. Hazırlanan bilgisayar programı akış şeması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu kısımda, denemeye alınan boruların, yapım farklılığı katsayısı, damlama eş dağılımı ve Christiansen yeknesaklık katsayıları ile arasındaki ilişki belirlenmiştir. Ayrıca, sürtünme kayıpları ve eşitlikleri hesaplanmış olup, hazırlanan bir bilgisayar programı aracılığı ile farklı damlatıcı aralıklarına ve işletme koşullarına göre uzatma mesafeleri saptanmıştır.

4.1. Damlatıcı özelliklerinin belirlenmesi

Basınç ile debinin birlikte değişim ölçüsü olan korelasyon katsayısı -1 ile $+1$ arasında değer almaktadır. Burada r olarak gösterilen korelasyon katsayısının işareti ilişkinin yönünü belirlemektedir. Pozitif korelasyon katsayısı basınç artışına karşılık debi değerinin de arttığını, negatif korelasyon katsayısı basıncın artmasına karşılık debinin azaldığını gösterir. $r = 0$ olduğunda bu iki değişken arasında bir ilişkinin olmadığı anlaşılır (Püskülcü ve İkiz 1986).

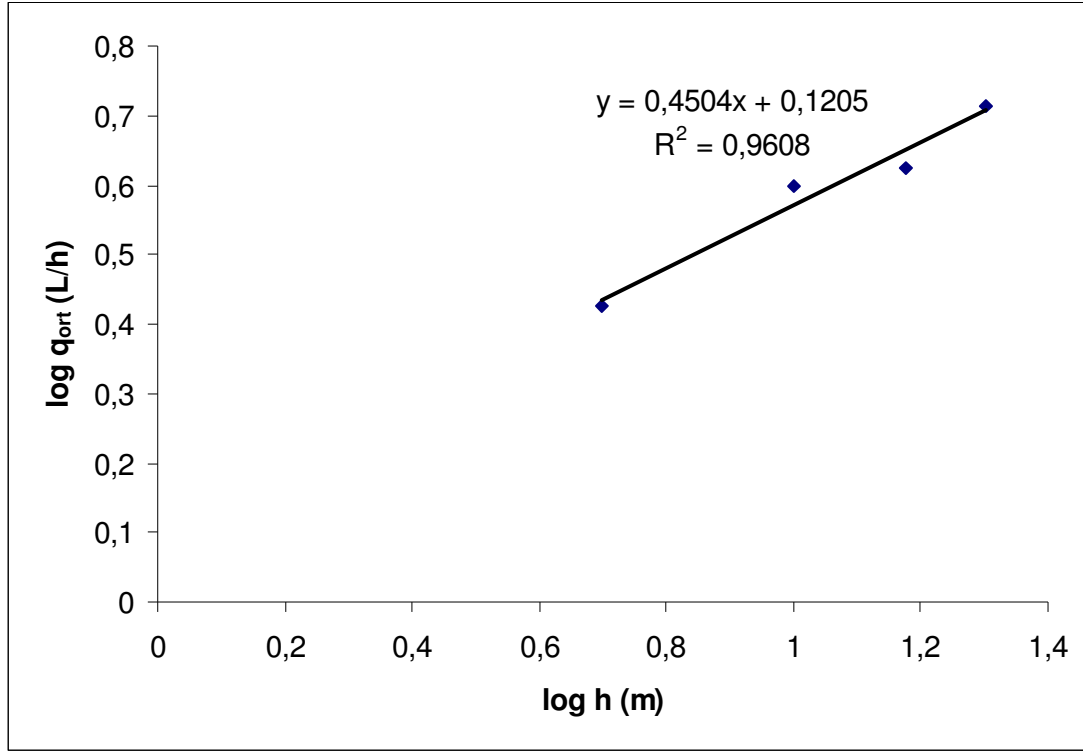
Denemeye alınan damlatıcıların test sonucu elde edilen akış cinsi, x , k ve r değerleri Çizelge 4.1’de özetlenmiştir. Anılan değerlerin bulunması amacıyla da basınç ile debi arasında korelasyon analizleri yapılmış ve Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneme sonucunda elde edilen damlatıcının özellikleri

| Çalışma basıncı h (bar) | Ortalama damlatıcı debisi q (L/h) | Damlatıcı parametreleri ($q = kh^x$) | | Korelasyon katsayısı r | Yapım farklılığı katsayısı C_v |
|---------------------------------|--|---|--------|-----------------------------|-------------------------------------|
| | | k | x | | |
| 0,5 | 2,67 | | | | |
| 1,0 | 3,98 | 3,6483 | 0,4504 | 0,98 | 0,035 |
| 1,5 | 4,20 | | | | |
| 2,0 | 5,17 | | | | |

Bir popülasyona veya bir örneğe ait x veya y ile gösterilen iki özellik arasındaki ilişkinin derecesi, yönü ve istatistik açıdan önemli olup olmadığı, korelasyon katsayısı ve korelasyon analizi yardımıyla bulunur (Güneş ve Arıkan 1988).

Çizelgeden görüldüğü gibi x değeri 0,4504, k katsayısı 3,6483 ve korelasyon katsayısı (r) 0,98 bulunmuştur. x değeri 0,5’e çok yakın olduğundan akış cinsi tam türbülanslı olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.1. Damlatıcının basınç ile debi arasındaki korelasyon katsayısı ve analizi

Şekil 4.1'in incelenmesinden görüleceği gibi denemeye alınan damlatıcının debileri basınçla artmakta ve tam logaritmik doğrusal ilişki göstermektedir. Karmeli (1977), Von Bernuth ve Solomon (1986), damlatıcı debilerinin çalışma basıncına bağlı olarak tam logaritmik bir ilişki içerisinde artmasını, birçok araştırmacı tarafından da belirtilmişlerdir (Kapar 1991).

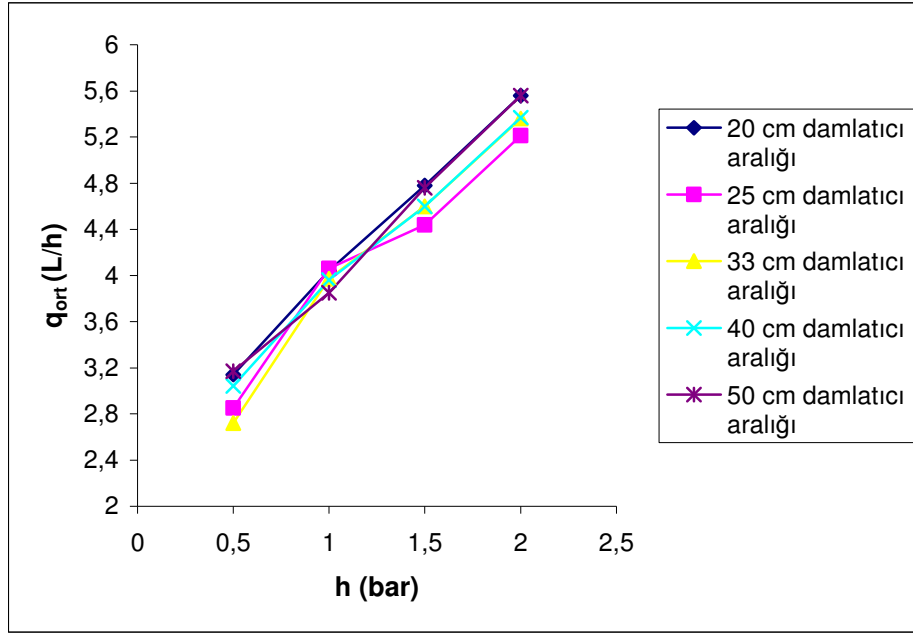
4.2. Damlatıcılarda debi – basınç ilişkileri

Denemeye alınan damlatıcının farklı damlatıcı aralıklarındaki debileri 4 farklı basınçta 3 tekrarlı olarak ölçülmüş ve ortalamaları Çizelge 4.2 ve birbirleriyle ilişkileri Şekil 4.2'de verilmiştir. Elde edilen debi değerleri lateral boyunca geliştiği güzel seçilen 30 adet damlatıcıdan 3 tekrarlı olarak alınan verilerle bulunmuştur.

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2'den görüleceği gibi farklı damlatıcı aralıklarına sahip boru hattında değişik işletme basınçlarında elde edilen debi değerleri arasında bir fark görülmemiştir. Bu sonuçlara göre, yapımçı verileriyle test sonucu elde edilen veriler karşılaştırıldığında her hangi bir fark görülememiştir.

Çizelge 4.2. Damla sulama borusunun farklı damlatıcı aralıklarındaki değişik işletme koşullarında ortalama debi değerleri

| Damlatıcı aralığı ΔL (cm) | Çalışma basıncı h (bar) | Ortalama damlatıcı debisi q_0 (L/h) |
|---|-------------------------------|---|
| 20 | 0,5 | 3,14 |
| | 1,0 | 4,04 |
| | 1,5 | 4,78 |
| | 2,0 | 5,56 |
| 25 | 0,5 | 2,85 |
| | 1,0 | 4,06 |
| | 1,5 | 4,44 |
| | 2,0 | 5,21 |
| 33 | 0,5 | 2,72 |
| | 1,0 | 3,97 |
| | 1,5 | 4,60 |
| | 2,0 | 5,36 |
| 40 | 0,5 | 3,04 |
| | 1,0 | 3,96 |
| | 1,5 | 4,60 |
| | 2,0 | 5,37 |
| 50 | 0,5 | 3,17 |
| | 1,0 | 3,85 |
| | 1,5 | 4,76 |
| | 2,0 | 5,56 |



Şekil 4.2. 4 L/h'lik debiye sahip damlatıcının basınç–debi eğrileri

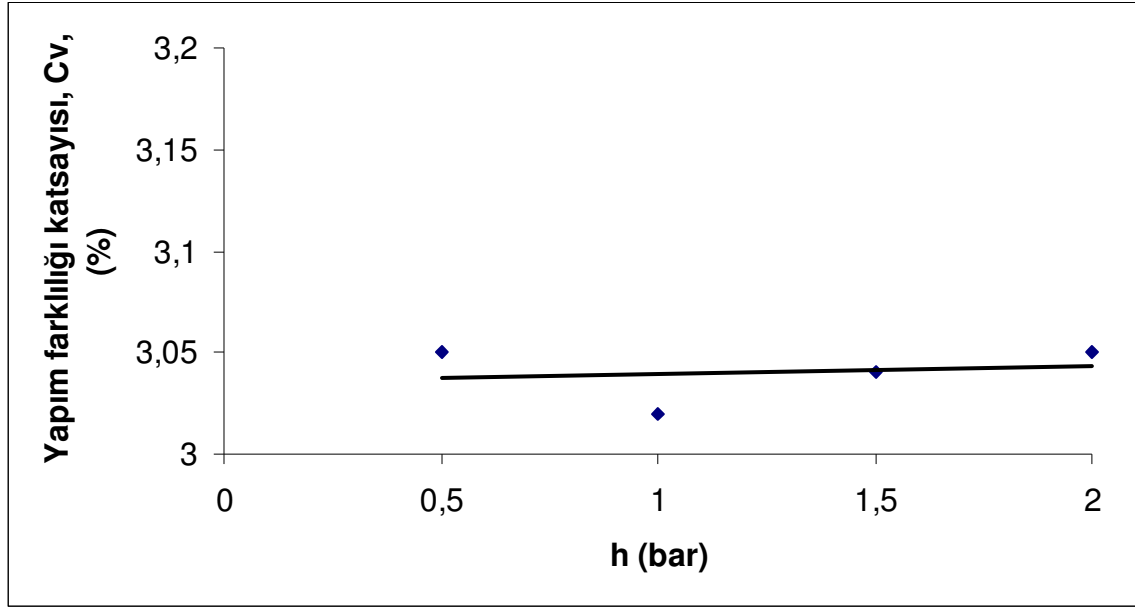
4.3. Yapım farklılığı katsayısı (C_v)

Test sonucunda elde edilen yapım farklılığı katsayıları eşitlik 19 yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.3'de verilmiştir. Çizelgenin incelenmesinden de anlaşılacağı gibi basınçla birlikte C_v değerlerinin değişim oranları çok düşük bir düzeyde (% 1 civarında) kalmıştır. Damlatıcıda basınçla birlikte yapım farklılığı katsayılarının değişim oranları önemsenmeyecek düzeydedir.

Bozkurt (1996), yaptığı çalışmada C_v değerlerinin basınçla birlikte değiştiğini, ancak basınç gideren damlatıcıların değişim oranlarının gidermeyenlere göre daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Benzer şekilde basınç düzenleyicisiz damlatıcılarda C_v değişim aralıklarını % 1 civarında bulmuştur.

Çizelge 4.3. Damlatıcının yapım farklılıkları ve sınıflandırılması

| Basınç h (bar) | Yapım farklılığı katsayısı C_v (%) | Sınıfı |
|----------------------|---|----------|
| 0,5 | 3,05 | Mükemmel |
| 1,0 | 3,02 | Mükemmel |
| 1,5 | 3,04 | Mükemmel |
| 2,0 | 3,05 | Mükemmel |



Şekil 4.3. Damlatıcının basınç–yapım farklılığı katsayısı eğrileri

Buna göre damlatıcının Cv katsayıları basınçla birlikte istikrarlı bir yol izlemiştir. Damlatıcının % 5’lik sınır çizgisinin çok altında kalarak “mükemmel” sınıfa girdiği görülmektedir.

4.4. Damlatıcıların sulama yeknesaklığının değerlendirilmesi

Denemeye alınan damlatıcının değerlendirilmeleri yöntem kısmında açıklandığı şekilde yapılmıştır. Bu kısımda test edilen damlatıcıya ait istatistiksel yeknesaklık (Us), damlatıcı eş dağılımı (Eu) ve Christiansen yeknesaklık katsayısı (Cu) değerleri saptanmıştır. Önerilen işletme basıncında (1,0 bar) elde edilen istatistiksel yeknesaklık değerlerine göre ASAE (1994)’nin önerdiği % 95 değerinin üzerinde kalarak “mükemmel” sınıfında yer almıştır.

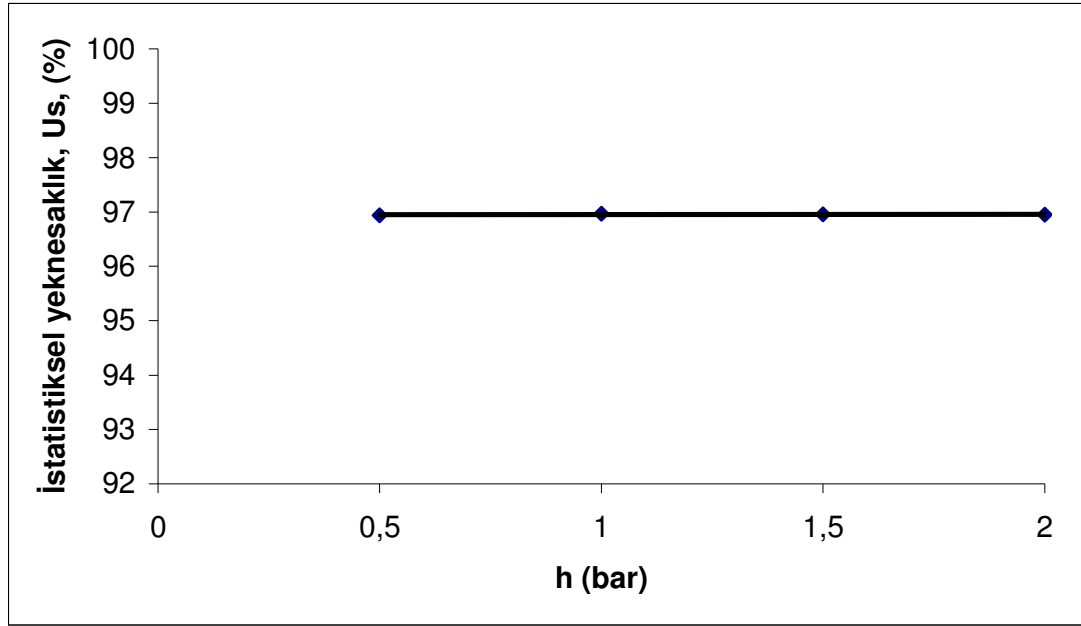
4.4.1. İstatistiksel yeknesaklık (Us)

Damlatıcıya ait Us değerleri eşitlik 11 yardımıyla belirlenmiştir. Bulunan değerler Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği gibi damlatıcının basınçla birlikte Us değerlerindeki değişim yüzdeleri % 0,1’in altında kalarak önemli bir değişiklik göstermediği görülmektedir.

Şekil 4.4’ün incelenmesiyle damlatıcının istikrarlı bir yol izleyerek tüm basınç değerlerinde neredeyse sabit kaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.4. Damlatıcının istatistiksel yeknesaklık değerleri ve sınıflandırılması

| Basınç (bar) | Us (%) | Sınıfı |
|-----------------|-----------|----------|
| 0,5 | 96,94 | Mükemmel |
| 1,0 | 96,97 | Mükemmel |
| 1,5 | 96,96 | Mükemmel |
| 2,0 | 96,96 | Mükemmel |



Şekil 4.4. Damlatıcının çalışma basıncı – Us eğrisi

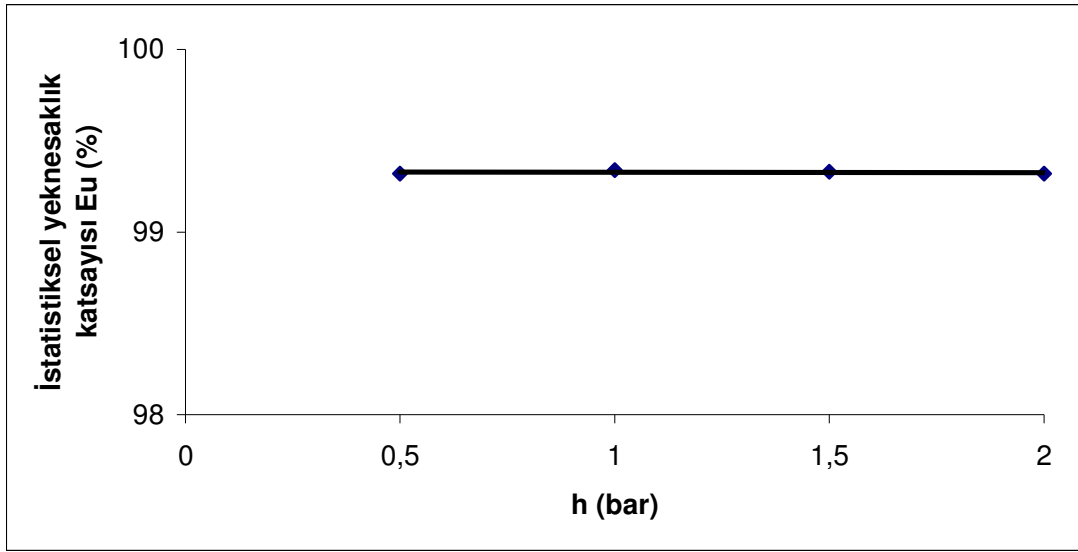
Sonuçta damlatıcının % 95 seviyesinin üzerinde kalarak “mükemmel” sınıfa girdiği görülmektedir. Bu değerler Bozkurt (1996) yaptığı çalışmada, ele aldığı 12 adet hat içi damlatıcıdan sadece biri dışında diğerlerinin istatistiksel yeknesaklık katsayılarını % 95’in üzerinde bulmasıyla örtüşmektedir.

4.4.2. Damlama yeknesaklığı (Eu)

Eşitlik 7 ile elde edilen damlama yeknesaklığı Çizelge 4.5’de verilmiştir. Bu değerlere göre 0,5 atm basınçtan 2,0 atm basınç değerine kadar Eu değerlerinde hiçbir fark görülmemiştir ve kalite olarak mükemmel sınıfındadır. Bozkurt (1996) yaptığı çalışmada basınç düzenleyicisiz damlatıcılarda basınca karşılık Eu’daki değişim oranının % 1 civarında olduğunu belirtmiştir. Benzer sonuçlar bu çalışmada elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Damlatıcının damlama türdeşliği değerleri ve sınıflandırılması

| Basınç (bar) | Eu (%) | Sınıfı |
|--------------|--------|----------|
| 0,5 | 99,32 | Mükemmel |
| 1,0 | 99,34 | Mükemmel |
| 1,5 | 99,33 | Mükemmel |
| 2,0 | 99,32 | Mükemmel |



Şekil 4.5. Damlatıcının çalışma basıncı – Eu eğrisi

Şekil 4.5'in farklı basınçlardaki damlama yeknesaklığı (Eu) değişimleri aralıkları incelendiğinde damlatıcının istikrarlı bir yol izleyerek tüm basınç değerlerinde % 1'i değişim oranını geçmemiştir.

4.4.3. Christiansen yeknesaklık katsayısı (Cu)

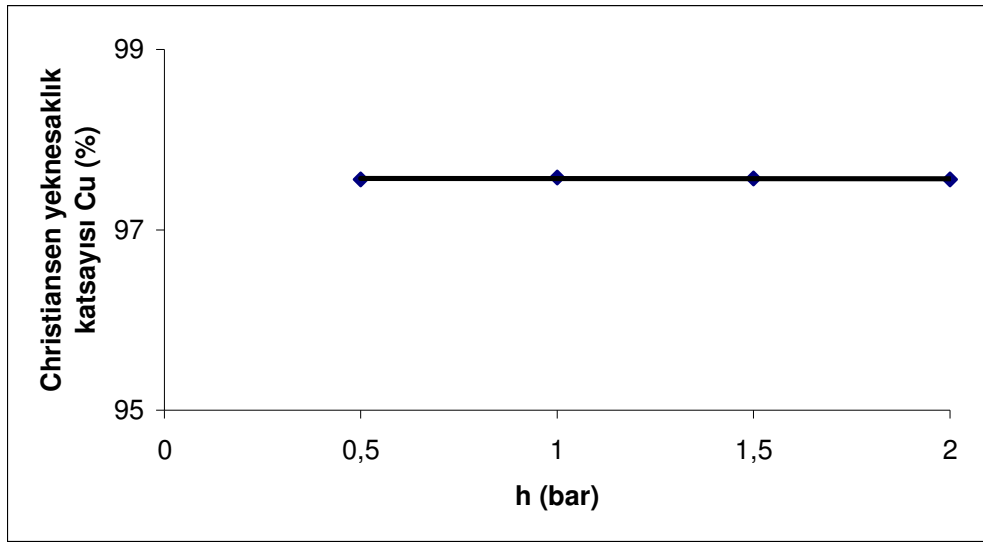
Yapılan çalışmada damlatıcıya ait elde edilen Christiansen yeknesaklık katsayıları (Cu) Çizelge 4.6 ve grafiksel ifadesi Şekil 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6'den görüleceği gibi damlatıcının basınçla birlikte Cu değerleride yaklaşık % 1'lik değişimler göstermiş ve mükemmel sınıfına girmiştir.

Şekil 4.5 incelendiğinde damlatıcının istikrarlı bir yol izleyerek tüm basınç değerlerinde sabit kaldığı görülmektedir. Çamoğlu (2004), yaptığı araştırmada 2 L/h debiye sahip damlatıcıya ait değişik basınçla birlikte, Cu değerlerinde yaklaşık % 1'lik değişimler gösterdiğini bulmuştur.

Çizelge 4.6. Damlatıcının damlama türdeşliği değerleri ve sınıflandırılması

| Basınç (bar) | Cu (%) | Sınıfı |
|--------------|--------|----------|
| 0,5 | 97,56 | Mükemmel |
| 1,0 | 97,58 | Mükemmel |
| 1,5 | 97,57 | Mükemmel |
| 2,0 | 97,56 | Mükemmel |



Şekil 4.6. Damlatıcının çalışma basıncı – Cu eğrisi

4.5. Yapım farklılığı katsayısı ile sulama yeknesaklığı arasındaki ilişki

Bu kısımda, damlatıcıya ait yapım farklılığı katsayısı ile eş su dağılımını belirleme yöntemlerindeki ilişkiler belirlenmiş olup E_u ve C_v arasında korelasyon analizi yapılmış ve arasındaki ilişkiyi gösteren eşitlikler bulunmuştur (Çizelge 4.7).

Çizelgeden görüleceği gibi değişik basınçlarda yapım farklılığı katsayısı en düşük % 1 deeriyle artar iken E_u değerleri de doğru orantılı şekilde ilerlemiştir. C_v ile E_u arasındaki ilişki düzeyini belirlenerek Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

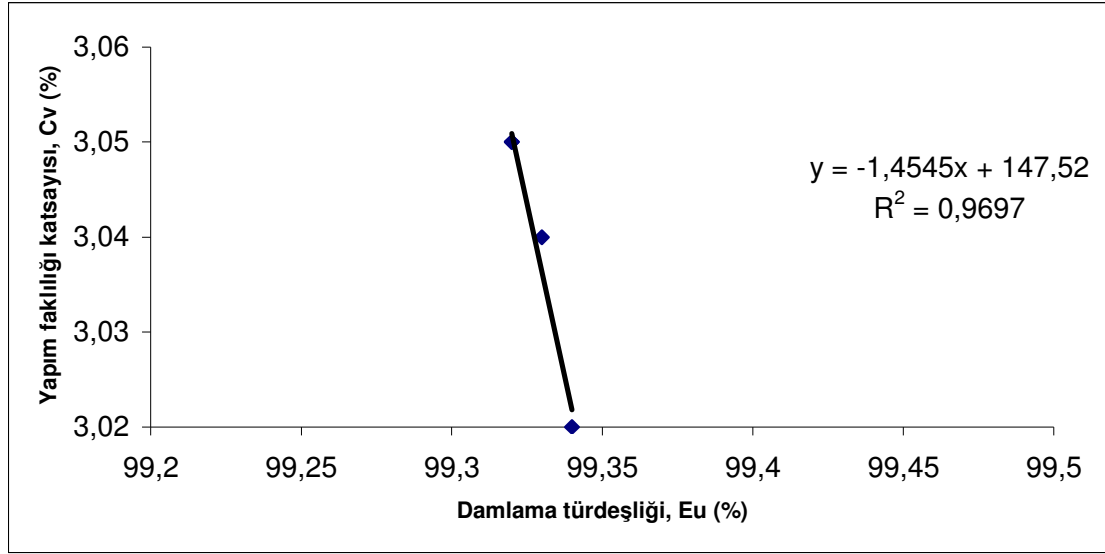
Korelasyon analizi sonucunda aşağıda verilen eşitlik elde edilmiştir.

$$C_v = -1,4545 E_u + 147,52$$

Korelasyon katsayısı 0,9697 olarak bulunmuş ve aralarında kuvvetli bir ilişkinin olduğu kanısına varılmıştır. Çamoğlu (2004) yaptığı araştırmada korelasyon katsayısını 0,9933 olarak bulmuş ve aralarında kuvvetli bir ilişkinin olduğu kanısına varmıştır.

Çizelge 4.7. Damlatıcının yapım farklılığı katsayısı ile damlama türdeşliği değerleri

| Basınç (bar) | Cv (%) | Eu (%) |
|-----------------|-----------|-----------|
| 0,5 | 3,05 | 99,32 |
| 1,0 | 3,02 | 99,34 |
| 1,5 | 3,04 | 99,33 |
| 2,0 | 3,05 | 99,32 |



Şekil 4.7. Damlatıcının damlama yeknesaklığı ve eş dağılım katsayısı ilişkisi

Sonuç olarak, yukarıdaki eşitlik kullanılarak damlama türdeşliğinin % 94'den büyük olması koşulunun sağlanabilmesi için Cv değerinin % 5'den küçük olması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu değer, ASAE (2002)'nin belirlediği, mükemmellik alt sınırındır.

4.6. Yapım farklılığı katsayısı ile Christiansen yeknesaklık katsayısı arasındaki ilişki

Yapım farklılığı katsayısı ile Christiansen yeknesaklık katsayısı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla damlatıcıların tüm basınçlardaki Cv ve Cu değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir. Ayrıca aralarındaki ilişki düzeyini belirlemek için korelasyon analizi yapılmış ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge incelendiğinde değişik işletme koşullarında yapım farklılığı katsayısı en düşük % 1 değeriyle artar iken Cu değerleri de doğru orantılı şekilde sabit kalmıştır. Cv ile Cu arasındaki ilişki düzeyini belirlenerek Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Korelasyon analizi sonucunda aşağıda verilen eşitlik elde edilmiştir.

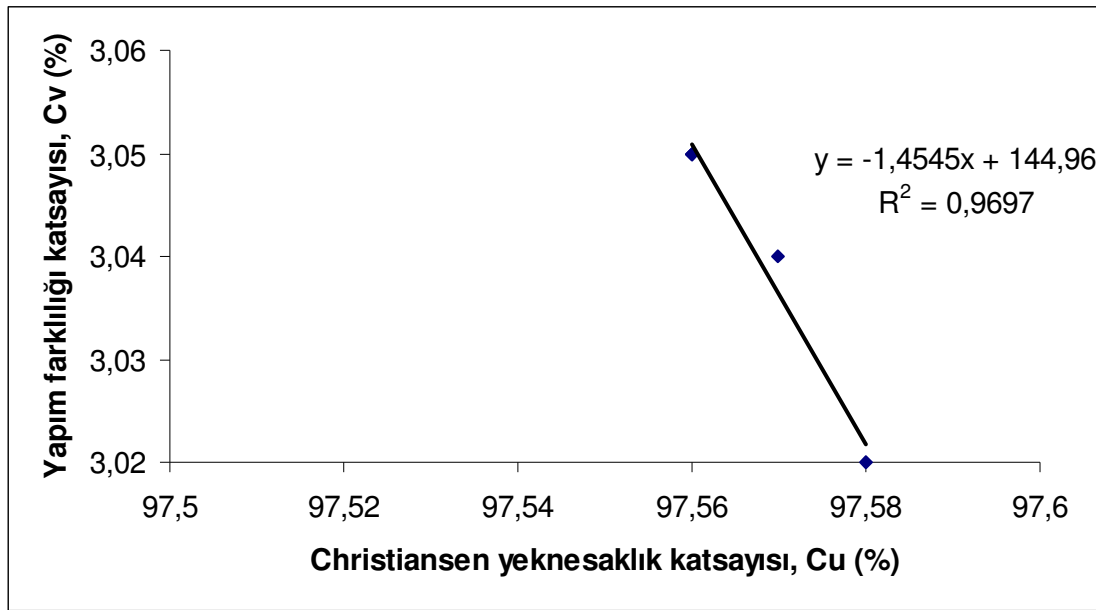
$$C_v = -1,4545 C_u + 144,96$$

Korelasyon katsayısı 0,9697 olarak bulunmuş ve aralarında kuvvetli bir ilişkinin olduğu kanısına varılmıştır.

Eşitliğe göre, $C_u \geq \% 97,5$ koşulunun sağlanabilmesi için C_v değerinin alt sınırının $\% 3,12$ olması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.8. Damlatıcının yapım farklılığı katsayısı ile Christiansen yeknesaklık katsayısı değerleri

| Basınç (bar) | C_v (%) | C_u (%) |
|--------------|-----------|-----------|
| 0,5 | 3,05 | 97,56 |
| 1,0 | 3,02 | 97,58 |
| 1,5 | 3,04 | 97,57 |
| 2,0 | 3,05 | 97,56 |



Şekil 4.8. Damlatıcının yapım farklılığı ile Christiansen yeknesaklık arasındaki ilişki

Buna göre Korukçu (1980)'nin önerdiği bu koşulunun sağlanabilmesi için üretici firmaların damlatıcı yapımında bunu dikkate alarak üretim yapmaları gerektiği anlaşılmaktadır.

Benzer şekilde Yılmaz (1988) yaptığı araştırmada, $C_v \leq 0,03$ koşulunu sağlayacak şekilde damlatıcı üretimine yönelmesi gerektiğini belirtmiştir.

4.7. Damla sulama lateralinde sürtünme kayıplarına ilişkin sonuçlar

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan in-line (hat içi) damlatıcının bulunduğu dairesel kesitli boru seçilerek, farklı damlatıcı aralıklarındaki laterallerde yapılmıştır. Her denemeye ilişkin Darcy-Weisbach sürtünme faktörleri (f) ile Reynolds sayıları (Re), yöntem bölümünde açıklandığı şekilde hesaplanmıştır. Reynolds sayıları Eşitlik 21 nolu eşitlik yardımıyla 10 değişik akış hızı için hesaplanmıştır. Ayrıca sürtünme kayıpları hesaplanmış ve bunların Reynolds katsayıları ile ilişkileri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Buna bağlı olarak elde edilen katsayılar ve sürtünme kayıp eşitliklerine bağlı katsayılar Çizelge 4.10'da verilmiştir. Hesaplamalarda boru iç çapı (D) olarak ölçüm yapılan lateralin iç çapı ele alınmıştır. Kinematik viskozite değerleri ise denemelerde ölçülen su sıcaklığına göre Çizelge 2.3'de verilen değerlerden alınarak yapılmıştır. Önceden belirlenen genel sürtünme kayıp eşitliği ile Hazen-Williams sürtünme kayıp eşitliği birbiri ile karşılaştırılarak, denemeye alınan damlatıcının yer aldığı lateralde, değişik damlatıcı aralıklarına ait Hazen-Williams pürüzlülük katsayıları (C) belirlenerek Çizelge 4.11'de verilmiştir. Ayrıca bu ilişkiler bir grafik üzerinde gösterilerek aralarındaki ilişkiler belirlenmiştir (Şekil 4.9).

Çizelge 4.9'un incelenmesinden de anlaşılacağı gibi her aynı çapta kullanılan farklı damlatıcı aralığı değerleri için farklı regresyon eşitlikleri elde edilmiştir. Lateral içine geçik damlatıcı ile yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar, Demir (1991)'in aynı koşullar için yaptığı çalışmada elde ettiği sonuçlar (örneğin 16 mm lik 30 cm damlatıcı aralığında; $f = 0,9642 Re^{-0,3114}$) ile benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.9. Lateraldeki değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen f-Re ilişkileri ve ilişkilerin korelasyon katsayıları

| Damlatıcı aralığı (m) | f - Re ilişkisi ($f = aRe^b$) | Korelasyon katsayısı |
|-----------------------|---------------------------------|----------------------|
| 0,20 | $f = 0,8514 Re^{-0,2772}$ | 0,958 |
| 0,25 | $f = 0,8005 Re^{-0,2743}$ | 0,980 |
| 0,33 | $f = 0,7885 Re^{-0,2819}$ | 0,963 |
| 0,40 | $f = 0,4529 Re^{-0,2350}$ | 0,975 |
| 0,50 | $f = 0,4570 Re^{-0,2470}$ | 0,975 |

Çizelge 4.10'da farklı damlatıcı aralıklarına sahip damla sulama borularının, sürtünme kayıp eşitlikleri belirlenmiştir.

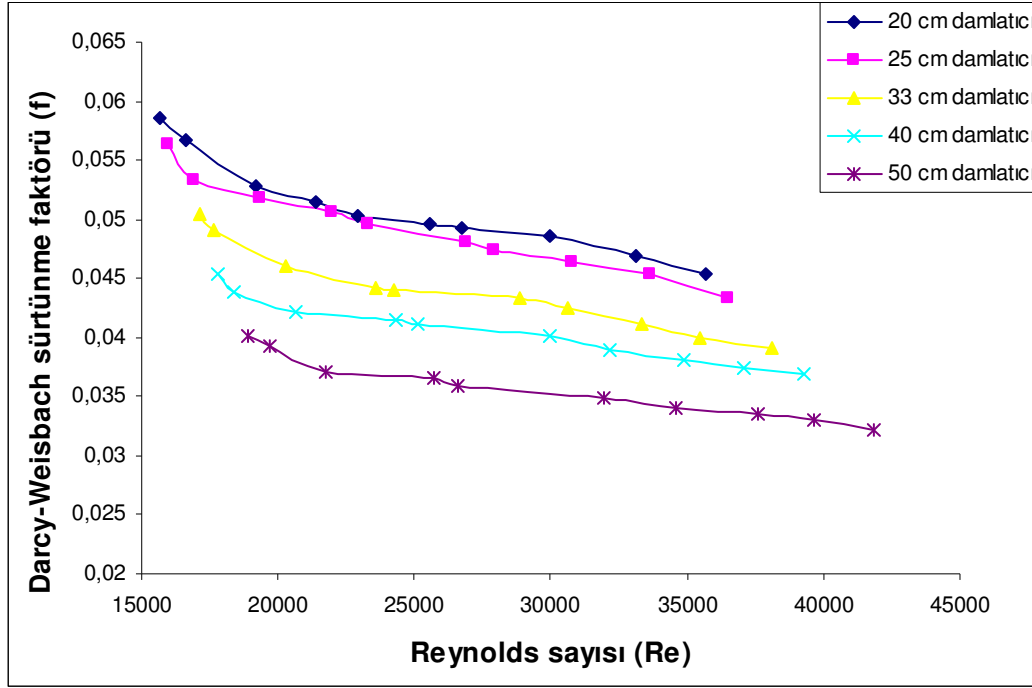
Çizelge 4.10. Denemeye alınan damla sulama borularının sürtünme kayıp eşitlikleri

| Dış (iç) çap (mm) | Damlaticı aralığı ΔL (m) | f-Re İlişkisi ($f = aRe^b$) | | | Sürtünme kayıp eşitlikleri $\Delta h_f = K\Delta L \frac{V^m}{D^n}$, $\Delta h_f = K_1 Q^m$ | | | |
|--------------------------------|---|----------------------------------|---------|------|---|--------|--------|-------------------------|
| | | a | b | r | K | m | n | K_1 |
| 15,2 (13,4) | 0,20 | 0,8514 | -0,2772 | 0,96 | $9,4500 \times 10^{-4}$ | 1,7228 | 1,2772 | $6,2337 \times 10^{-7}$ |
| | 0,25 | 0,8005 | -0,2743 | 0,98 | $9,2480 \times 10^{-4}$ | 1,7257 | 1,2743 | $7,3817 \times 10^{-7}$ |
| | 0,33 | 0,7885 | -0,2819 | 0,96 | $8,2020 \times 10^{-4}$ | 1,7181 | 1,2819 | $9,4106 \times 10^{-7}$ |
| | 0,40 | 0,4529 | -0,2350 | 0,97 | $9,0015 \times 10^{-4}$ | 1,7650 | 1,2350 | $7,3964 \times 10^{-7}$ |
| | 0,50 | 0,4570 | -0,2470 | 0,97 | $7,6963 \times 10^{-4}$ | 1,7353 | 1,2470 | $9,0443 \times 10^{-7}$ |

Denemeye alınan in-line damlaticının bulunduğu lateral için f-Re ilişkilerinin Şekil 4.9'dan izleneceği gibi f-Re doğrularının birbirlerine göre paralel olmadıkları ve farklı eğim değerlerinde oldukları görülmektedir. Bu durum, Watters ve Keller (1978), Zoldoske ve Norum (1985) ve Tüzel (1990)'in belirttiği gibi damlaticının lateral içinde kalan kısımların 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. Ayrıca farklı damlaticı aralıklarında sürtünme faktörleri birbirinden farklı bulunmuştur. Bunun nedeni ise damlaticı aralıklarının artmasıyla sürtünme katsayısının azalması olarak değerlendirilmektedir.

Değişik damlaticı aralıkları için belirlenen pürüzlülük faktörleri arasındaki farklılıkların ise, damlaticı yapımına bağlı olarak lateral içinde kalan kısımların farklı pürüzlülük yaratması ve lateral iç çapları ile laterallerin yapım farklılıklarından ortaya çıktığına varılmıştır. Korukçu (1980) yaptığı çalışmada benzer sonuçlar elde etmiştir.

Denemelerden elde edilen Hazen-Williams pürüzlülük katsayılarının ortalama akış hızına bağlı olarak farklı değerler alması, Korukçu (1980) ve Tüzel (1990)'in de açıkladığı gibi, denemelerde belirlenen ve Çizelge 4.10'da verilen sürtünme kayıp eşitliğindeki μ (m) değerlerinin (en yüksek $m = 1,7650$ ve en düşük $m = 1,7181$), birbirinden farklı olması ile açıklanabilir.



Şekil 4.9. Lateraldeki değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen Darcy – Weisbach sürtünme faktörü–Reynolds sayısı ilişkisi

Damlatıcıların değişik damlatıcı aralıklarında belirlenen sürtünme kayıp (h_f) ve Hazen–Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri Çizelge 4.11’de verilmiştir. Çizelgede ki verilen eşitliklerin incelenmesinden de görüleceği gibi Hazen–Williams pürüzlülük katsayıları, damlatıcı aralığına bağlı olarak farklı değerler almıştır. Elde edilen eşitlikler Demir (1991)’in, yaptığı çalışmadaki sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

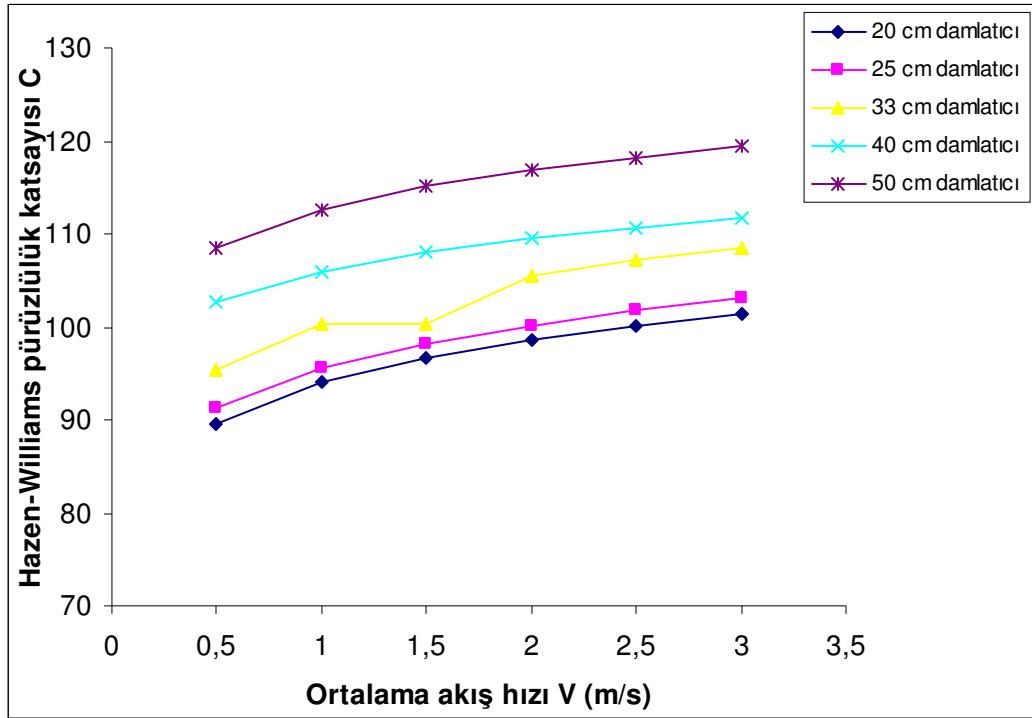
Çizelge 4.12’de verilen Hazen–Williams pürüzlülük katsayıları eşitlikler yardımıyla, lateralde değişik ortalama akış hızlarında (0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 ve 3,0 m/s) hesaplanmıştır. Bu değerlerden pürüzlülük katsayısı ile hız arasındaki ilişkiler belirlenmiş ve elde edilen bulgular Şekil 4.10’da verilmiştir. Şeklin incelenmesinden de görüleceği gibi damlatıcı aralığı azaldıkça, lateral boruda oluşan yük kayıpları artmakta ve doğal olarak C sürtünme faktörü değerleri de azalmaktadır. Denemeye alınan damlatıcının belirli aralıklarda pürüzlülük katsayıları ortalama akış hızına göre çok az bir artış göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, Demir (1991) ve Korukçu (1980)’nunda yaptıkları çalışmalarda sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Çizelge 4.11. Değişik damlatıcı aralığında belirlenen sürtünme kayıp (hf) ve Hazen – Williams Pürüzlülük katsayısı (C) eşitlikleri

| Damlatıcı aralığı ΔL (m) | Sürtünme kayıp eşitlikleri (hf) | | Hazen – Williams pürüzlülük katsayısı (C) eşitliği |
|-------------------------------------|---|---|--|
| | Genel ($hf = K L (V^m / D^n)$) | Damlatıcı aralığında debiye bağlı olarak ($Q=L/h$) | |
| 0,20 | $hf = 9,4500 \cdot 10^{-4} L (V^{1,7228} / D^{1,2772})$ | $hf = 6,2337 \times 10^{-7} Q^{1,7228}$ | $C = 93,67 V^{0,069}$ |
| 0,25 | $hf = 9,2480 \cdot 10^{-4} L (V^{1,7257} / D^{1,2743})$ | $hf = 7,3817 \times 10^{-7} Q^{1,7257}$ | $C = 95,18 V^{0,068}$ |
| 0,33 | $hf = 8,2020 \cdot 10^{-4} L (V^{1,7181} / D^{1,2819})$ | $hf = 9,4106 \times 10^{-7} Q^{1,7181}$ | $C = 99,82 V^{0,072}$ |
| 0,40 | $hf = 9,0015 \cdot 10^{-4} L (V^{1,7650} / D^{1,2350})$ | $hf = 7,3964 \times 10^{-7} Q^{1,7650}$ | $C = 105,74 V^{0,047}$ |
| 0,50 | $hf = 7,6963 \cdot 10^{-4} L (V^{1,7530} / D^{1,2470})$ | $hf = 9,0443 \times 10^{-7} Q^{1,7530}$ | $C = 112,13 V^{0,053}$ |

Çizelge 4.12. Denemeye alınan damla sulama laterallerinde belirlenen Hazen – Williams

| Damlaticı aralığı (m) | Hazen – Williams pürüzlülük katsayısı eşitliği | Ortalama akış hızları için pürüzlülük katsayıları (C) | | | | | |
|-----------------------|--|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | Ortalama akış hızı (m/s) | | | | | |
| | | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| 20 | $C = 93,67 V^{0,069}$ | 89,30 | 93,67 | 96,33 | 98,26 | 99,78 | 101,05 |
| 25 | $C = 95,18 V^{0,068}$ | 90,80 | 95,18 | 97,84 | 99,77 | 101,30 | 102,56 |
| 33 | $C = 99,82 V^{0,072}$ | 94,96 | 99,82 | 102,78 | 104,93 | 106,63 | 108,04 |
| 40 | $C = 105,74 V^{0,047}$ | 102,35 | 105,74 | 107,77 | 109,24 | 110,39 | 111,34 |
| 50 | $C = 112,13 V^{0,053}$ | 108,09 | 112,13 | 114,57 | 116,33 | 117,71 | 118,85 |



Şekil 4.10. Lateraldeki değişik damlaticı aralıklarında belirlenen Hazen–Williams pürüzlülük katsayısının ortalama akış hızına göre değişimi

4.8. Optimum Lateral Uzunluğunun Belirlenmesi

Optimum lateral uzunluğunun saptanabilmesi için $Cu \geq 97,5$ koşulunu sağlayan sonuç en uygun lateral uzunluğu olarak belirlenmiştir (Korukçu 1980).

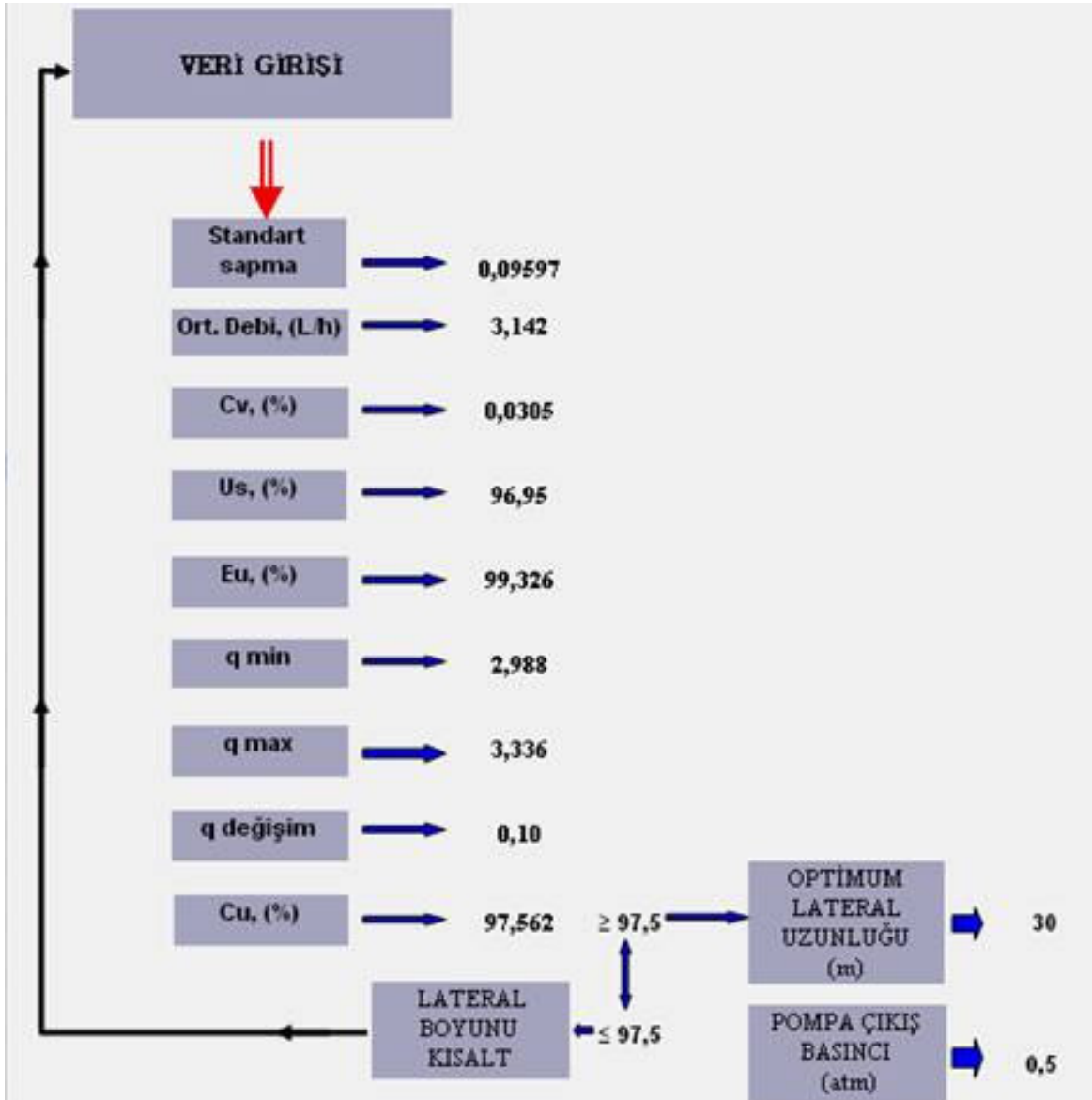
Bu amaçla, yöntemde açıklandığı gibi hazırlanan bilgisayar programı sayesinde eğimsiz koşullarda optimum lateral uzatma mesafeleri saptanmıştır.

Örnek teşkil etmesi amacıyla, 20 cm damlatıcı aralığına sahip lateralde, 3 tekerrürlü olacak şekilde ölçülen debi değerleri bilgisayar programına yazılmış olup Şekil 4.11 ve sonuçları Şekil 4.11’de verilmiştir.

Şekil 4.11 incelendiğinde 3 tekrarlı olarak girilen debi değerlerinden faydalanılarak hesaplanan veriler Şekil 4.12’de görülmektedir. Sonuçta, hazırlanan bilgisayar programından faydalanılarak, değişik damlatıcı aralıklarına sahip borularda $Cu \geq 97,5$ değerini sağlayan optimum uzatma mesafeleri belirlenmiştir. Değişik damlatıcı aralıklarında ve farklı basınçlarda ölçülen laterallerin uzatma mesafeleri ve Cu katsayıları Çizelge 4.13’de verilmiştir. Bunların kendi aralarındaki ilişkileri grafiksel olarak Şekil 4.14’de verilmiştir.

| Sıra No | Kap No | Başlangıca Olan Uzaklık (m) | q1(ml/5dk) | q2(ml/5dk) | q3(ml/5dk) | qort (ml/5dk) | Debi (L/h) |
|---------|--------|-----------------------------|------------|------------|------------|---------------|------------|
| 1 | 1 | 1,00 | 276 | 277 | 281 | 278,000 | 3,34 |
| 2 | 2 | 2,00 | 272 | 268 | 270 | 270,000 | 3,24 |
| 3 | 3 | 3,00 | 277 | 273 | 275 | 275,000 | 3,30 |
| 4 | 4 | 4,00 | 281 | 276 | 277 | 278,000 | 3,34 |
| 5 | 5 | 5,00 | 261 | 259 | 260 | 260,000 | 3,12 |
| 6 | 6 | 6,00 | 264 | 262 | 263 | 263,000 | 3,16 |
| 7 | 7 | 7,00 | 259 | 260 | 255 | 258,000 | 3,10 |
| 8 | 8 | 8,00 | 259 | 263 | 264 | 262,000 | 3,14 |
| 9 | 9 | 9,00 | 260 | 256 | 258 | 258,000 | 3,10 |
| 10 | 10 | 10,00 | 262 | 255 | 254 | 257,000 | 3,08 |
| 11 | 11 | 11,00 | 264 | 262 | 263 | 263,000 | 3,16 |
| 12 | 12 | 12,00 | 253 | 251 | 252 | 252,000 | 3,02 |
| 13 | 13 | 13,00 | 268 | 266 | 267 | 267,000 | 3,20 |
| 14 | 14 | 14,00 | 258 | 259 | 257 | 258,000 | 3,10 |
| 15 | 15 | 15,00 | 250 | 255 | 254 | 253,000 | 3,04 |
| 16 | 16 | 16,00 | 273 | 272 | 271 | 272,000 | 3,26 |
| 17 | 17 | 17,00 | 268 | 272 | 270 | 270,000 | 3,24 |
| 18 | 18 | 18,00 | 260 | 265 | 264 | 263,000 | 3,16 |
| 19 | 19 | 19,00 | 253 | 248 | 249 | 250,000 | 3,00 |
| 20 | 20 | 20,00 | 255 | 255 | 255 | 255,000 | 3,06 |
| 21 | 21 | 21,00 | 267 | 262 | 266 | 265,000 | 3,18 |
| 22 | 22 | 22,00 | 269 | 270 | 271 | 270,000 | 3,24 |
| 23 | 23 | 23,00 | 259 | 260 | 255 | 258,000 | 3,10 |
| 24 | 24 | 24,00 | 257 | 259 | 258 | 258,000 | 3,10 |
| 25 | 25 | 25,00 | 262 | 260 | 258 | 260,000 | 3,12 |
| 26 | 26 | 26,00 | 262 | 267 | 266 | 265,000 | 3,18 |
| 27 | 27 | 27,00 | 248 | 249 | 250 | 249,000 | 2,99 |
| 28 | 28 | 28,00 | 251 | 255 | 253 | 253,000 | 3,04 |
| 29 | 29 | 29,00 | 254 | 253 | 249 | 252,000 | 3,02 |
| 30 | 30 | 30,00 | 263 | 264 | 259 | 262,000 | 3,14 |

Şekil 4.11. Bilgisayar programında verilerin girişi



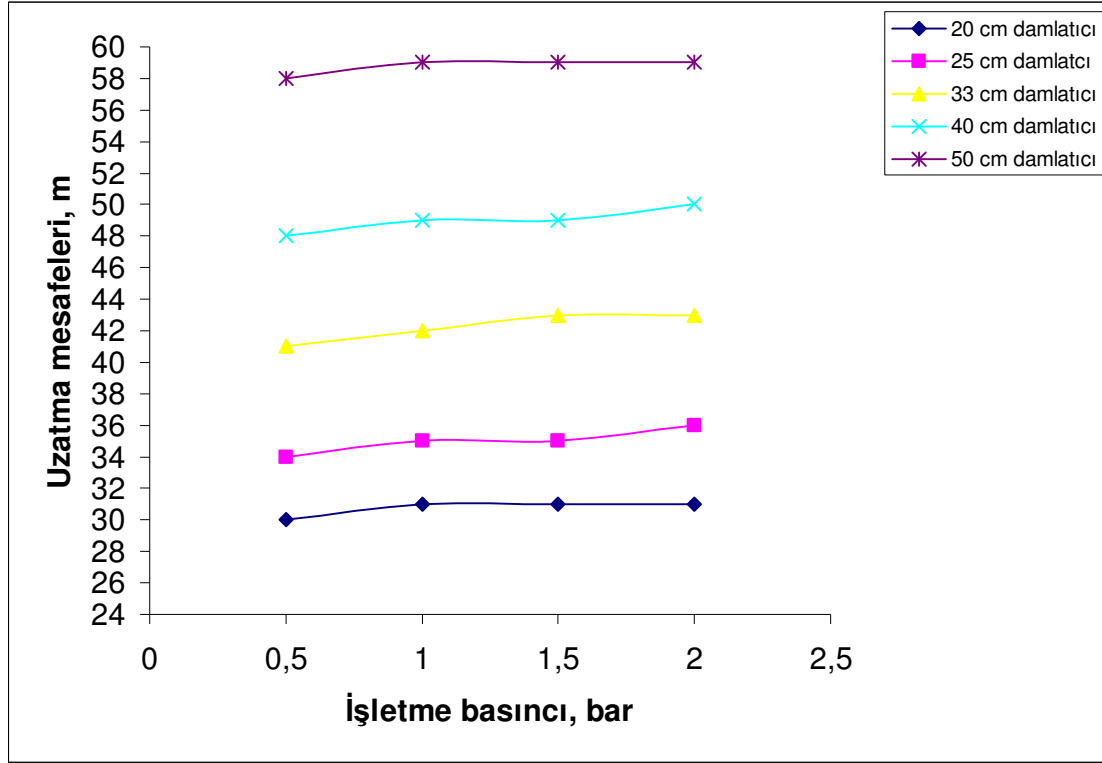
Şekil 4.12. Bilgisayar programındaki sonuçlar

Çizelge 4.13. Damla sulama borusunun farklı damlatıcı aralıklarındaki değişik işletme koşullarında Christiansen yeknesaklık katsayısı ($Cu \geq 97,5$) sağlayan lateral uzunlukları

| Damlatıcı aralığı, ΔL (cm) | Çalışma basıncı, h (bar) | Lateral uzunluğu (m) | Cu (%) |
|---------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------|
| 20 | 0,5 | 30,0 | 97,56 |
| | 1,0 | 31,0 | 97,58 |
| | 1,5 | 31,0 | 97,57 |
| | 2,0 | 31,0 | 97,56 |
| 25 | 0,5 | 34,0 | 97,56 |
| | 1,0 | 35,0 | 97,56 |
| | 1,5 | 35,0 | 97,56 |
| | 2,0 | 36,0 | 97,56 |
| 33 | 0,5 | 41,0 | 97,56 |
| | 1,0 | 42,0 | 97,54 |
| | 1,5 | 43,0 | 97,55 |
| | 2,0 | 43,0 | 97,55 |
| 40 | 0,5 | 48,0 | 97,55 |
| | 1,0 | 49,0 | 97,54 |
| | 1,5 | 49,0 | 97,55 |
| | 2,0 | 50,0 | 97,54 |
| 50 | 0,5 | 58,0 | 97,55 |
| | 1,0 | 59,0 | 97,53 |
| | 1,5 | 59,0 | 97,52 |
| | 2,0 | 59,0 | 97,54 |

Çizelgeden görüleceği gibi, bilgisayar programının çıktılarından yararlanılarak elde edilen lateral uzunlukları, damlatıcı aralığına göre farklılık göstermektedir. Şekil 4.14'den görüleceği gibi damla sulama borusunun farklı damlatıcı aralıklarındaki değişik işletme koşullarında Christiansen yeknesaklık katsayısını ($Cu \geq 97,5$) sağlayan lateral uzunlukları birbirlerine paralel bir yol izlemekte ve damlatıcı aralığı arttıkça uzatma mesafeleri

artmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi 15,2 mm dış çapa sahip boruda örneğin 1 bar basınç altında, 20, 25, 33, 40 ve 50 cm damlatıcı aralıklarında $Cu \geq 97,5$ koşulunda optimum uzatma mesafeleri sırasıyla 31, 35, 42, 49 ve 59 m olarak bulunmuştur. Bulunan bu sonuçlar Demir ve Yürdem (2002)'in, aynı damlatıcının kullanıldığı damla sulama borularında buldukları sonuçlarla benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.14. Damla sulama borusunun farklı damlatıcı aralıklarındaki değişik işletme koşullarında Christiansen yeknesaklık katsayısını ($Cu \geq 97,5$) sağlayan lateral uzunlukları arasındaki ilişki

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Denemeye alınan damlatıcının yapım farklılıklarının, eş su dağılımına etkisi, yük kayıplarının saptanması ve optimum lateral uzunluğunun belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmaya ait sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

Yapımcı firmadan alınan debi değerleriyle, deneme sonucu elde edilen veriler karşılaştırıldığında, önemli düzeyde farka rastlanılmamıştır.

Damlatıcıların basınçla birlikte yapım farklılığı katsayısı (C_v) değerlerinin değişim oranları çok düşük bir düzeyde (%1 civarında) kalmıştır. Damlatıcıda basınçla birlikte yapım farklılığı katsayılarının değişim oranları önemsenecek düzeyde olduğu saptanmıştır.

Damlatıcının istatistiksel yeknesaklık (U_s) değerleri incelendiğinde % 95 seviyesinin üzerinde kalarak “mükemmel” sınıfa girdiği görülmektedir.

Farklı basınçlardaki damlama yeknesaklığı (E_u) değişimleri aralıkları incelendiğinde damlatıcının istikrarlı bir yol izleyerek tüm basınç değerlerinde % 1 değişim oranını geçmemiştir.

Damlatıcının basınçla birlikte Christiansen yeknesaklık (C_u) değerleri, % 1'lik değişim göstermiş ve mükemmel sınıfına girmiştir.

Hazen–Williams pürüzlülük katsayısı (C) damlatıcı aralığına göre farklı değerler almıştır. C değerleri farklı damlatıcı aralığına göre artmaktadır. Bunun nedeni ise damlatıcı sayısının ve lateraldeki sürtünme kayıplarının azalmasının neden olduğu gözlenmiştir.

Değişik damlatıcı aralıkları için belirlenen pürüzlülük faktörleri arasındaki farklılıkların, damlatıcı yapımına bağlı olarak, lateral içinde kalan kısımların farklı pürüzlülük yaratması ve laterallerin yapım farklılıklardan dolayı ortaya çıktığı saptanmıştır.

Damlatıcıdan istenilen 4 L/h lik debiyi elde edebilmek için 1 bar işletme koşulunda çalıştırılması gerektiği saptanmıştır.

Hazırlanan bilgisayar programı sonuçlarından faydalanılarak, değişik işletme koşullarında farklı damlatıcı aralıklarına sahip laterallerin eğimsiz koşullarda optimum uzatma mesafeleri belirlenmiştir. Buna göre, 1 bar işletme koşulunda, 20, 25, 33, 40 ve 50 cm

damlatıcı aralıklarında $Cu \geq 97,5$ koşulunu sağlayan optimum uzatma mesafeleri sırasıyla 31, 35, 42, 49 ve 59 m olarak bulunmuştur.

Arazideki bazı bitkilere gereğinden az, bazılarına ise gereğinden çok su uygulanmış olma olasılığı göz önünde bulundurulursa, damla sulama sistemi kurulmadan ve işletilmeden önce firmaların ürettikleri damlatıcı ve boruların karakteristik özellikleri, mutlaka üniversitelerin ilgili anabilim dallarında test edilmelidir. Bu suretle, merdiven altı diye tabir edilen işletmelerin sayısının azalacağı ve damla sulama üretimi ve işletiminde kalitenin yükseleceği açıktır.

6. KAYNAKLAR

- ASAE (1994). Design and Installation of Microirrigation Systems. ASAE EP405.1 Dec.93, p.724–727.
- ASAE (2002). Design and Installation of Microirrigation Systems. ASAE EP405.1 Dec.01, p.903–907.
- Ayyıldız M, Yaralı E (1985). Yağmurlama Başlıklarında Yapımcı Farklılıklarının Eş Su Dağılım Düzeyine Etkisi. Doğa Bilim Dergisi, Seri: D2, Cilt: 9, Sayı: 2, s.204–211, Ankara.
- Baswell MJ (1985). Design characteristics of line–source drip tubes. Proc. Third. Inter'l. Drip/Trickle Irrig. Cong., Drip/Trickle Irrigation in Action, ASAE St.Joseph, Michigan, p.307–308.
- Bozkurt S (1996). İçten Geçik (In–Line) Damlatıcılarda Yapım Farklılıklarının Eş Su Dağılımına Etkileri. Ç.Ü. Fen Bil. Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, s.20, Adana.
- Bralts VF, Wu IP (1979). Emitter Flow Variation and Uniformity for Drip Irrigation. ASAE Paper No.79–2099. ASAE, St.Joseph, Michigan, 49085.
- Bralts VF, Wu IP, Gitlin HM (1981). Manufacturing Variation and Drip Irrigation Uniformity. Transactions of the ASAE 24(1), p.113–119.
- Bralts VF, Kesner CD (1983). Drip Irrigation Field Uniformity Estimation. Transactions of the ASAE 26(5), p.1369–1374.
- Bralts VF, Edwards DM, Kesner CD (1985). Field Evaluation of Drip/Trickle Irrigation Submain Units. Third International Drip/Trickle Irrigation Congress, Fresno California, U.S.A., p.274–280.
- Bralts VF (1986). Operational Principles–Field Performance and Evaluation In: Trickle Irrigation for Crop Production (ed. F. S. Nakayama, D. A. Bucks), Elsevier Science Publisher, B. V. The Netherlands, p.216–223.

- Bralts VF, Edwards DM (1986). Field Evaluation of Drip Irrigation Subnain Units, Transactions of the ASAE 29(6), p.1659–1664.
- Bralts V, Edwards DM, Wu IP (1987). Drip Irrigation Design and Evaluation Based on the Statistical Uniformity Concept. Advaces in Irrigation, Vol. 4, p.72.
- Christiansen JE (1942). Hydraulic of Springling Systems for Irrigation. Trans. ASCE 107, p.221–239.
- Çamoğlu G (2004). Farklı Yapımcı Ve Yapım Özelliklerine Sahip Damlatıcılarda Eş Su Dağılımının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çamoğlu G, Yavuz MY (2004). Yerli ve Yabancı Yapım Damlatıcıların Sulama Performansları Yönünden Karşılaştırılması. Uludağ Ün. Ziraat Fakültesi Dergisi, Cilt No:18, Sayı:1, Bursa
- Dasberg S, Bresler E (1985). Irrigation engineering. International irrigation information center (IIC), P.O.B. 49, Volcani Center, 50250 Bet Dagan, Israil, p.17–21, 20–26.
- Decroix M, Malavel A (1985). Laboratory Evaluation of Trickle Irrigation Equipment for Field system Design. Proc.Third.Inter'l.Drip/Trickle Irrig.Cong., Drip/Trickle Irrigation in Action, ASAE St. Joseph, Michigan, p.325.
- Demir V (1991). Türkiye’de Kullanımı Yaygın Olan Damla Sulama Boruları ve Damlatıcıların İşletme Karakteristikleri Üzerinde Bir Araştırma. Ege Ün. Fen Bil. Ens. Tarımsal Mekanizasyon Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, s.4, İzmir.
- Demir V, Yürdem H (2000). Türkiye’de Üretilen ve Yaygın Olarak Kullanılan Farklı Yapım Özelliklerine Sahip Damlatıcıların Teknik Özellikleri ve Yapım Farklılıkları. Ege Ün. Ziraat Fak. Der. Cilt:37, No:2–3, s.85–92, İzmir.
- Demir V, Yürdem H (2002). Aynı Damlatıcıya Sahip Damla Sulama Borularında Boru Çapının En Uygun Boru Uzunluğuna Etkisi. Ege Ün. Ziraat Fak. Der. 39 (3):120–127 ISSN 1018–8851

- Giay MA, Zelenka RF (1986). Uniformity of Discharge of Different Types of Emitters in Comparison to the Pressure Compensated HB–Emitter. In: Petrasovits, I., Ligetvari, Güneş T, Arıkan R (1988). Tarım Ekonomisi İstatistiği. A.Ü.Z.F. Yayın No: 1049, Ders Kitabı: 305, s.203, Ankara.
- Howell TA, Hiler EA (1972). Trickle Irrigation System Design. ASAE Paper No.72–221. ASAE, St. Joseph, Michigan, 49085.
- Howell TA, Hiler EA (1974). Trickle irrigation system design. Transactions of ASAE 15 (4): 902–908.
- Howell TA, Barinas FA (1980). Pressure Losses Across Trickle Irrigation Fittings and Emitters. Transactions of the ASAE 23(4): 928–933.
- Howell TA, Aljibury FK, Gitlin HM, Wu IP, Warrick AW, Raats PAC (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.
- Howell TA, Bucks DA, Goldhamer DA, Lima JM (1986). Management Principles–Irrigation Scheduling In: Trickle Irrigation for Crop Production (ed. F. S. Nakayama, D. A. Bucks), Elsevier Science Publisher, B. V. The Netherlands.
- Kanber R (1999) . Sulama. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Genel yayın no: 174. 530 s. ADANA.
- Kapar A (1991). Ege Bölgesinde Uygulanan Damla Sulama Sistemlerinde Kullanılan Damlatıcıların Bazı Teknik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Ege Ün. Fen Bil. Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, s.5–7, 21–24,İzmir.
- Kapdaşlı S, Mutlu T, Fer İ (1997). Marmara Plastik Damla Sulaması Boruları Hidrolik Deneyleri. İ.T.Ü. İnşaat Fak. Yayınları, Cilt 1, İstanbul.
- Karmeli D (1977). Classification and Flow Regime Analysis of Drippers. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol.22, p.168.

- Keller J, Karmeli D (1974). Trickle Irrigation Design Parameters. Transactions of the ASAE 17(4), p.678–684.
- Keller J, Karmeli D (1975). Trickle irrigation design. Rain Bird sprinkler manufacturing corporation glendora, California, U.S.A. p.1–5, 17–18, 46–49.
- 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.
- Korukçu A, Yıldırım O (1981). Yağmurlama Sistemlerinin Projelenmesi. Toprak Su Yayınları, s.69–132, Ankara.
- Korukçu A, Yıldırım O (1984). Damla Sulamasında Su Dağılımı Açısından Yan Boru Uzunluklarının Saptanması. I.Ulusal Kültürteknik Kongresi, Ç.Ü.Z.F, s.16–39, Adana.
- Merriam JL, Keller J (1978). Farm Irrigation System Evaluation, 3rd Ed. Logan, Utah: Agricultural and Irrigation Eng. Dept., Utah State University.
- Mizyed N, Kruse EG (1989). Emitter Discharge Evaluation of Subsurface Trickle Irrigation Systems. Transactions of the ASAE 17 (2): 282–285.
- Oğuzer V, Yılmaz E (1991). Damla Sulama Sistemlerinde Kullanılan Yerli ve Yabancı Kökenli Bazı Damlatıcıların Hidrolik Özellikleri Üzerine Bir Çalışma. Doğa Bilim Dergisi, Cilt: 15, Sayı: 1, s.121–128, Ankara.
- Özekici B, Sneed RE (1995). Manufacturing Variation for Various Trickle Irrigation On–Line Emitters. Applied Engineering in Agriculture 11(2), p.235–240.
- Özekici B, Bozkurt S (1996). Boru İçi (In–Line) Damlatıcıların Hidrolik Performanslarının Belirlenmesi.Tr. J. of Agriculture and Forestry 23 (1999) Ek Sayı 1, s.19–24, Tübitak.
- Parchomchuk P (1976). Water Temperature Effect on Emitter Discharge Rates. Transactions of the 19, p.690–692.

- Perold RP (1977). Design of Irrigation Pipe Laterals. Journal of the Irrigation Drainage Division, ASCE, Vol.103, No. IR2, Proc. Paper 12978, p.179–195.
- Pitts DJ, Ferguson JA, Wright RE (1986). Trickle Irrigation Lateral Line Design by Computer Analysis. Transactions of the ASAE 29(5), p.1320–1324.
- Püskülcü H, İkiz F (1986). İstatistiğe Giriş. Ege Ün. Mühendislik Fak. Ders Kitapları Yayın No: 1, s.234, İzmir.
- Solomon K (1977). Manufacturing Variation of Emitters in Trickle Irrigation Systems. ASAE Paper No: 77–2009. ASAE, St.Joseph, Michigan, 49085.
- Solomon K (1979). Manufacturing Variation of Trickle Emitters. Transactions of the ASAE 22(5), p.1034–1043.
- Şener S, Ertaş R, Öğretir K, Aran A (1995). Türkiye de Sulanan Bitkilerin Sulama Teknikler,, Köy Hizmetleri Hen. Müd. APK Daire Başk. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Şb.Müd. Yayını No: 89. Menemen–İzmir.
- Tüzel İH (1990). Yerli Yapım Damla ve Düşük Basıncılı Yağmurlama Sistemlerinin Bazı Teknik Özellikleri ve Projelendirme Kriterleri Üzerinde Bir Araştırma. Ege Ün. Fen Bil. Ens. Kültürteknik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, s.3–17, İzmir.
- Tüzel İH (1993). Damla Sulama Sistemlerinde Sulama Yeknesaklığının Değerlendirilmesi. Ege Ün. Ziraat Fak. Der. Cilt: 30, No: 1–2, s.119–126, İzmir.
- Tüzel İH (1994). Damla Sulama Sistemlerinde Yan Ana Boru Büyüklüklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Ege Ün. Ziraat Fak. Der. Cilt: 31, No: 1, s.121–128, İzmir.
- Von Bernuth RD, Solomon KH (1986). Design Principles–Emitter Construction In: Trickle Irrigation for Crop Production (ed. F. S. Nakayama, D. A. Bucks), Elsevier Science Publisher, B. V. The Netherlands, p.27–52.
- Warrick AW, Yitayew M (1988). Trickle Lateral Hydraulics. I:Analytical Solution. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 114, No.2, p231.

- Watters GZ, Keller J (1978). Trickle Irrigation Tubing Hydraulics. ASAE Paper No. 782015. ASAE, St. Joseph, Michigan, 49085.
- Wu IP, Gitlin HM (1973a). Hydraulics and Uniformity for Drip Irrigation. Journal of the Irrigation Drainage Division, ASCE, Vol. 99, No. IR2, Proc. Paper 9786, p.157–168.
- Wu IP, Gitlin HM (1973b). Design of Pressure, Length of a Drip Irrigatin Line. ASAE, Paper, No. PR 73–10, St. Joseph, Michigan 49085, p.21.
- Wu IP, Gitlin HM (1974). Drip Irrigation Design Based on Uniformity. Transactions of the ASAE 17 (3): 429–432.
- Wu IP, Gitlin HM (1974a). Drip Irrigation Design Based on Uniformity. Transactions of the ASAE 17(3), p.157–168.
- Wu IP, Gitlin HM (1974b). Design of Drip Irrigation Lines. Hawaii Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin No. 96, University of Hawaii, p.29.
- Wu IP, Gitlin HM, Solomon KH, Saruwatari CA (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.
- Wu IP, Barragan J (2000). Design Criteria for Microirrigation Systems. Transactions of the ASAE 43(5), p.1145–1154.
- Yaşar S, Anaç S (1989). Damla sulama sistemlerinin hidrolöği. E.Ü. Ziraat Fakültesi Dergi, Cilt. 26, No.2, s.253, İZMİR.
- Yıldırım O (1996). Sulama Sistemleri II. A.Ü. Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1449, Ders Kitabı: 429, s.229–239, Ankara.
- Yıldırım O, Apaydın H (1999). Damla Sulamada Lateral ve Manifold Boru Çaplarının Belirlenmesinde Grafiksel Yöntem. A.Ü.Z.F. Tarım Bilimleri Dergisi, Cilt: 5,Sayı:1, s.24–32, Ankara.

Yılmaz E (1988). Damla Sulama Sistemlerinde Kullanılan Yerli ve Yabancı Kökenli Damlatıcıların Özellikleri Üzerine Bir Çalışma. Ç.Ü. Fen Bil. Ens. Kùltürteknik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, s.19–26, Adana.

Zoldoske DF, Norum EM (1985). Drip Irrigation Systems Component Performance Standards. Proc. Third. Inter'l. Drip/Trickle Irrig. Cong., Drip/Trickle Irrigation in Action, ASAE St.Joseph, Michigan, p.315.

Zur B, Tal S (1981). Emitter Discharge. Sensivity to Pressure and Temperature Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE Vol. 107, No.IR1, p.2.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında, Erzincan–Refahiye ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul’da tamamladı. 2000 yılında Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümünde eğitime devam edip, 2004 yılında mezun oldu. 2005 yılında yüksek lisans eğitimine başladı. Halen İstanbul’da özel bir damla sulama firmasında proje mühendisi ve pazarlama müdürü olarak çalışmaktadır.