

İçine Geçik Tip Damlatıcıya Sahip Damla Sulama Borularında Sürtünme Kayıplarını Tahminleme Modeli

Hüseyin YÜRDEM¹ Vedat DEMİR²
Adnan DEĞİRMENCİOĞLU³

Summary

Prediction Model of the Friction Losses in Drip Irrigation Laterals with In-Line Type Emitter

In this study, dimensional analysis was used to develop a prediction equation for the friction losses in drip irrigation laterals. Drip irrigation laterals having single type in-line emitters with long path in the 33, 40, 50, 60, 75 and 100 cm emitter spacing were considered in the study. The parameters affecting the variation in friction losses were defined as dimensionless terms using Buckingham's pi-theorem. In order to develop a model, experimental friction losses data from different emitter spacing were used. The model developed in this study accounted for 99.78 % of the variation in the data. The mathematical model may be used to determine the friction losses in drip irrigation laterals with emitters from 33 to 100 cm spacing.

Key Words: Drip irrigation, mathematical modeling, dimensional analysis

Giriş

Sulamada eş su dağılımının artırılması ve yüksek randımanlı bir sulamanın gerçekleştirilmesi için sulama sisteminin uygun bir şekilde projelendirilmesi, bunun için de sistemde yer alan sulama elemanlarına ait karakteristiklerin bilinmesi önemlidir. Özellikle damla sulama sisteminde önemli parçalar olan damlatıcılar ve bunların yer aldığı boruların özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Damla sulama yönteminin bir çok üstünlükleri olmasına rağmen, damlatıcı debilerinin basınca ve su sıcaklığına bağlı olarak değişimi, damlatıcı yapımının tek düze olmaması, damlatıcı dizaynı ve montajındaki faktörler, kısmen veya tamamen tıkanma, özellikle de damla sulama borularında damlatıcı aralığına bağlı olarak oluşan sürtünme kayıpları gibi nedenlerden dolayı hat boyunca eş bir su dağılımı sağlanamamaktadır.

¹ Dr., E.Ü.Z.F. Tarım Makinaları Bölümü, 35100 Bornova-İzmir, yurdem@ziraat.ege.edu.tr

² Yrd.Doç.Dr., E.Ü.Z.F. Tar. Mak. Böl., 35100 Bornova-İzmir, demir@ziraat.ege.edu.tr

³ Doç.Dr., E.Ü.Z.F. Tar. Mak. Böl., 35100 Bornova-İzmir, degirado@ziraat.ege.edu.tr

Damla sulama sistemlerinin projelendirilmesinde, lateral boyunca damlatıcı debilerinin eşit olduğu ve hidrolik bakımdan pürüzsüz ortamda türbülanslı akış koşullarının olduğu kabul edilerek uygun lateral uzunlukları belirlenmektedir (2,12). Damlatıcıların lateral içinde oluşturduğu kesit daralmaları, lateral iç yüzeylerinin pürüzlülüğü, lateral eğimi gibi faktörler sürtünme kayıplarını arttırmaktadır. Bu da lateral boyunca basıncın, dolayısıyla damlatıcı debilerinin düşmesine neden olmaktadır (7,14,17). Açıklanan bu sebeplerden dolayı damlatıcı debilerinin değişmesi sonucu, lateral boyunca oluşan sürtünme kayıplarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan Darcy-Weisbach ve Hazen-Williams gibi eşitlikler ile aynı koşullar için bulunan araştırma sonuçları arasında önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır (1,5,10). Bu nedenle bir çok araştırmacı, damla sulama sistemlerindeki laterallerin sürtünme kayıplarını laboratuvar çalışmalarıyla saptama ve sürtünme kayıp eşitliklerini belirleme yoluna gitmişlerdir (4,6,13,15).

Damla sulama borularında, ardsıra gelen damlatıcılar arasında kalan lateral bölümünde oluşan sürtünme kayıpları, çok sayıdaki araştırmacı tarafından kabul edilen ve Christiansen'in yağmurlama sulama lateralleri için geliştirdiği genel eşitlik yardımıyla belirlenebilmektedir (3).

$$H_f = K \Delta L \frac{Q^m}{D^{2m+n}}$$

Eşitlikte; H_f =damlatıcılar arasında kalan lateral bölümündeki sürtünme kaybı (m), K =lateralde oluşan akış rejimine ve iç çapa bağlı bir katsayı, ΔL =damlatıcı aralığı (m), Q = ΔL lateral bölümündeki debi (m^3/s), D =lateral iç çapı (m), m, n =lateraldeki akış rejimine bağlı katsayılardır.

Lateral boyunca oluşan sürtünme kayıpları ise her bir su çıkış noktası arasında kalan lateral bölümlerindeki sürtünme kayıplarının toplamına eşittir.

Wu ve Gitlin (15,16), damla sulama laterali boyunca yerleştirilen damlatıcıların aralıkları ile debilerinin eşit olduğu kabullenmesiyle enerji eğim hattının aşağıda verilen fonksiyon şeklinde olduğunu saptamışlardır.

$$R_i = 1 - (1 - i)^{m+1}$$

Eşitlikte; $R_i = \Delta H_i / \Delta H$, belirli bir uzunluk oranındaki (i) enerji düşüş oranı, ΔH =lateral boyunca meydana gelen toplam sürtünme kaybı (m), ΔH_i =belirli bir uzunluk oranındaki (i) toplam sürtünme kaybı (m), $i = l/L$ =uzunluk oranı, l =lateral başından ΔH_i sürtünme kaybının olduğu noktaya kadar olan uzaklık (m), L =lateral uzunluğu (m), m =lateraldeki akış rejimine bağlı katsayıdır.

Araştırmacılar, enerji eğim hattının bilinmesi halinde, ortalama damlatıcı debisini kullanarak lateral boyunca basınç dağılımının ortaya konabileceğini bildirmişlerdir.

Kang ve Nishiyama (8,9), sonlu elemanlar yöntemini kullanarak mikro sulama sistemlerinde kullanılan laterallerde hidrolik analizler yapmışlar ve ortalama damlatıcı debisini kullanarak uygun lateral uzunluklarını belirlemişlerdir.

Günümüzde yaygın olarak damla sulama boruları, içine geçik (in-line) tipte damlatıcılar kullanılarak, 33, 50, 75 cm gibi belirli damlatıcı aralıklarında imal edilmektedir. Bilindiği gibi damla sulama sistemlerinin projelendirilmesinde toprağın infiltrasyon değeri dikkate alınarak damlatıcı aralığı hesaplanmaktadır. Ancak toprağın infiltrasyon değerine göre belirlenen damlatıcı aralığı, imalatı yapılan damlatıcı aralığından farklı olabilmektedir. Bu durumda genellikle bir büyük damlatıcı aralığına sahip damla sulama borusu seçilerek projelendirilmiştir. Bu uygulama ise arazi üzerinde su dağılımını olumsuz yönde etkilemektedir.

İmalatçı firmalar, istenilen damlatıcı aralığında imalat yapabileceği özelliğine sahip olduklarından, çok geniş alanların projelendirilmesinde, bir büyük damlatıcı aralığını seçmek yerine toprağın infiltrasyon değerine göre belirlenen damlatıcı aralığındaki boruları imal etmek istemektedirler.

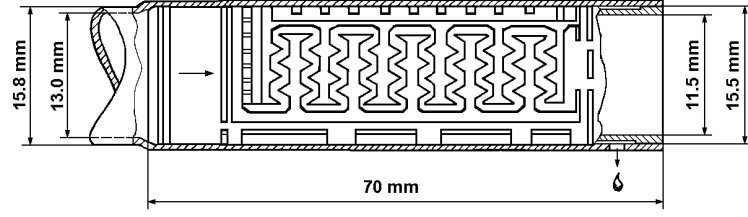
Projelemede önemli bir diğer konu da lateral uzunluklarının, eş su dağılımını sağlayan optimum lateral uzunluklarına uygun olmasıdır. Optimum lateral uzunlukları ise sürtünme kayıplarının laboratuvar denemeleriyle ölçülmesi sonucunda belirlenmektedir. Mevcut aralıkların dışında yeni imal edilecek her farklı damlatıcı aralığı için sürtünme kayıp değerlerini belirlemek ve optimum uzunluklarını ortaya koymak, çok sayıda laboratuvar denemelerini gerektirdiğinden imalatçı tarafından arzu edilmemektedir.

Bu çalışmada içine geçik (in line) tip damlatıcılara sahip damla sulama borularının, istenilen herhangi bir damlatıcı aralığında imal edilmesi durumunda, laterallerdeki sürtünme kayıplarının tahmininde kullanılabilecek bir matematiksel modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Çalışmada, yerli olarak imal edilen labirent kanallı enine uzun akış yollu içine geçik tek tip bir damlatıcının; 33, 40, 50, 60, 75 ve 100 cm aralıklarla yerleştirildiği, 15.8 mm dış çaplı (13.0 mm iç çap) polietilen (PE) damla sulama boruları kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada ele alınan boru ve damlatıcının genel görünüşü

Yöntem

Denemeler, E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü Pompa Deneme Laboratuvarında bulunan ölçüm düzeni kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Denemeye alınan damla sulama laterallerinde oluşan sürtünme kayıpları, eğimsiz olarak deneme düzenine yerleştirilen laterallerin belirli bir bölümünde, farklı su geçiş hızlarında 20 °C su sıcaklığında, piyezometre tüpleri yardımıyla ölçülmüştür.

Sürtünme Kayıplarının Boyutsal Analizi

Boyutsal analiz, değişik fiziksel sistemlere ilişkin tahminleme modellerinin geliştirilmesinde ve özellikle hidrolik alanında oldukça yaygın kullanım alanı bulan bir araçtır (11). Bu yöntemle herhangi bir fiziksel olaya etki ettiği düşünülen değişkenler saptanır ve sonrasında bu değişkenler, fiziksel olarak anlam ifade eden bir grup boyutsuz terime (π terimleri) indirgenir. Boyutsal analiz yöntemi kullanılarak yürütülen bu çalışmada, farklı damlatıcı aralığına sahip damla sulama borularında oluşan sürtünme kaybına etki ettiği düşünülen değişkenler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Farklı aralıklarla damlatıcıların yerleştirildiği damla sulama borularında meydana gelen yük kaybına etki eden değişkenler

Değişken tipi	Sembol	Değişken	Boyut	Birim
Bağımlı	H_f	Yük kaybı	L	m
Bağımsız	D	Boru iç çapı	L	m
	L	Boru uzunluğu	L	m
	ΔL	Damlatıcı aralığı	L	m
	g	Yerçekimi ivmesi	LT^{-2}	ms^{-2}
	V	Borudan akan suyun hızı	LT^{-1}	ms^{-1}
	μ	Suyun dinamik viskozitesi	$ML^{-1}T^{-1}$	$kgm^{-1}s^{-1}$
	ρ	Suyun özgül ağırlığı	ML^{-3}	kgm^{-3}

Verilen bu değişkenlere boyutsal analizinin uygulanması sonucunda elde edilen boyutsuz terimler (π terimleri) ve fiziksel anlamları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Boyutsuz terimler ve fiziksel anlamları

Boyutsuz terim (π terimi)	Fiziksel anlamı
H_f/L (π_1)	Birim uzunluktaki boruda meydana gelen yük kaybı
$VD\rho/\mu$ (π_2)	Atalet kuvvetinin sıvı kuvvetine oranı (<i>Reynolds sayısı</i> olarak bilinmektedir)
V^2/gD (π_3)	Boruda akan suyun hızı ile boru iç çapı arasındaki ilişkiyi veren boyutsuz bir terim (<i>Froude sayısı</i> olarak bilinmektedir)
$L/\Delta L$ (π_4)	Lateral uzunluğunun damlatıcı aralığına oranını ifade eden boyutsuz terim
$\Delta L/D$ (π_5)	Damlatıcı aralığı ile boru iç çapı arasındaki ilişkiyi veren, sulama sisteminin işletme şartlarını ve konstrüktif özelliklerini içeren boyutsuz terim

Çizelge 2’de verilen boyutsuz terimler uyarınca ΔL aralıklarında yerleştirilen damlatıcılara sahip L uzunluğundaki bir damla sulama borusunda meydana gelen sürtünme kaybı fonksiyonel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$H_f/L = f(VD\rho/\mu, V^2/gD, L/\Delta L, \Delta L/D)$$

Yukarıda yazılı fonksiyonel eşitlikte, Reynolds sayısını oluşturan değişkenlerden hız dışındaki diğer tüm değişkenler sabittir. Zira denemelerde tek bir damlatıcı tipi kullanılmış ve su iletimi 20 °C’de yapıldığından suyun viskozite özellikleri değişmemiştir. Hız değişkeni, Reynolds sayısı yanında Froude sayısında da içerildiğinden, bu iki boyutsuz terimi kullanarak sürtünme kaybı eşitliğini matematiksel bir forma getirmek mümkün değildir. Zira her iki boyutsuz terimle çözüm elde etmek amacıyla yapılacak regresyon analizinde, çözüm matrisi tekil olacağından hata verecektir. Bu nedenle, iki terimden birinin tercihi söz konusudur. Ancak seçilen ister Reynolds isterse Froude sayısı olsun, ulaşılabilecek model aynı formda olacaktır. Her iki terimi içeren bir modelin geliştirilmesi ancak farklı viskozite özelliklerini içeren denemelerden elde edilebilecek verilerle mümkündür. Bu nedenle, π_2 boyutsuz terimine modelde yer verilmemiştir.

Bulgular ve Değerlendirme

Reynolds sayısı dışındaki diğer boyutsuz terimler kullanılarak ileriye doğru seçim esasına dayalı çoklu regresyon analizi sonucunda aşağıda verilen matematiksel model elde edilmiştir.

$$H_f/L = 0.05206 (V^2/gD)^{0.877} (\Delta L/D)^{-0.195}$$

Geliştirilen modelin serbestlik derecesi 127' olup, modele ilişkin çoklu regresyon analizi sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere $L/\Delta L$ boyutsuz terimi regresyon analizi sonucunda, %95 seviyesinde önemli bulunmadığından modelde yer almamıştır. Buna karşın V^2/gD değişkeni sürtünme kaybı değişiminin %89.06'sını tek başına açıklayabilmektedir. Oluşturulan modelin tahminleme katsayısı ise %99.78 olarak bulunmuş olup modelde yer alan bağımsız değişkenlerin herbiri %95 seviyesinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 3. Çoklu regresyon analizi sonuçları

Birim boru uzunluğundaki sürtünme kaybı (H_f/L)			
	Üstel terim	Standart hata	R ² (%)
Log (sabit)	-1.283428352	0.0125155	
V^2/gD	0.87712263	0.00368491	89.06
$\Delta L/D$	-0.19513999	0.00763616	99.78

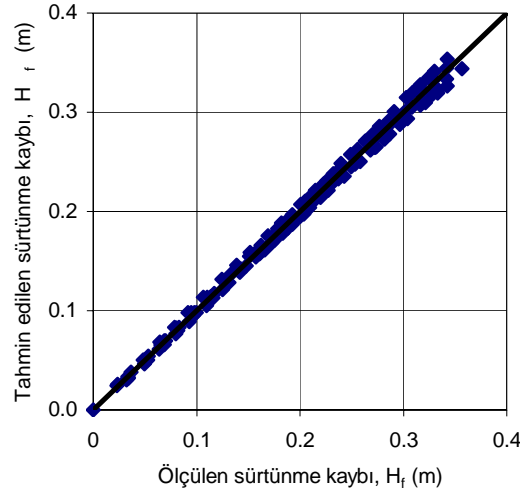
Model, su hızı (V) yerine $Q/(\pi D^2/4)$ ve yerçekimi ivmesi (g) için 9.81 ms^{-2} alındığında aşağıdaki formda verilebilir:

$$H_f = 0.010735 Q^{1.754} D^{-4.19} \Delta L^{-0.195} L$$

Denemelerde kullanılan boru iç çapının $D=0.013 \text{ m}$ ve boru uzunluğunun $L = 1 \text{ m}$ alınması durumunda model aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$H_f = 2.71409 \cdot 10^{-6} Q^{1.754} \Delta L^{-0.195}$$

Çalışmada ele alınan damla sulama borularının, değişik damlatıcı aralıklarında ölçülen tüm sürtünme kayıp (H_f) değerleri ile geliştirilen model yardımıyla bulunan sürtünme kayıp değerlerinin karşılaştırılması Şekil 2'de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere ölçülen ve tahmin edilen sürtünme kaybı değerleri birbirlerine oldukça yakındır.



Şekil 2. Ölçülen ve geliştirilen model yardımıyla tahmin edilen sürtünme kayıp (H_f) değerlerinin karşılaştırılması

Yukarıda verilen model, 20 °C su sıcaklığı (kinematik viskozite, $\nu=1.01 \times 10^{-6}$) ve Şekil 1'de konstrüktif özellikleri verilen damlatıcıların, 33 - 100 cm sınırları arasındaki her bir damlatıcı aralığı için sürtünme kayıp değerlerinin tahminlemesi amacıyla kullanılabilir. Böylece projemelerde elde mevcut bulunan bir damlatıcı aralığındaki boru yerine, toprağın infiltrasyon değerine göre belirlenen damlatıcı aralığındaki boruların üretilerek kullanımı mümkün olacaktır.

Ülkemizde, farklı konstrüktif özelliklere sahip içine geçik tip damlatıcılı yerli ve yabancı yapım damla sulama boruları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip damlatıcılara sahip laterallerdeki sürtünme kayıplarını içeren daha genel bir tahminleme modelinin geliştirilmesi konusundaki çalışmalara devam edilmektedir.

Özet

Bu çalışmada, içine geçik ve uzun akış yollu tip bir damlatıcının farklı aralıklarla yerleştirildiği damla sulama laterallerinde oluşan sürtünme kayıplarını tahminlemede kullanılacak bir matematiksel modelin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Matematiksel modelin geliştirilmesinde Boyutsal Analiz kullanılmıştır. Sürtünme kayıplarının değişimine neden olan parametreler Buckingham Pi-teoremi uyarınca boyutsuz terimler olarak tanımlanmış ve söz konusu damlatıcının 33, 40, 50, 60, 75 ve 100 cm aralıklarla yerleştirildiği borulara ilişkin deneysel yük kayıp verileri kullanılmıştır. Yapılan çoklu regresyon analizleri sonucunda geliştirilen matematiksel modelin, denemede kullanılan damla sulama borularında meydana gelen sürtünme kayıplarındaki varyasyonun %99.78'ini açıklayabildiği saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Damla sulama, matematiksel modelleme, boyutsal analiz

Kaynaklar

1. Allen, R.G. 1996. Relating the Hazen-Williams and Darcy-Weisbach Friction Loss Equations for Pressurized Irrigation Systems. Applied Eng.in Agric. 12(6):685-693
2. Bralts,V.F. and I.Pai.Wu. 1979. Emitter Flow Variation and Uniformity for Drip Irrigation. ASAE Paper No.79-2099. Pg.34 ASAE, St.Joseph, MI, 49085.
3. Christiansen,J.E. 1942. Irrigation by Sprinkling. Bulletin 670. pp.124. College of Agricultural Experiment Station, University of California, Berkeley,USA.
4. Demir,V. 1991. Türkiye'de Kullanımı Yaygın Olan Damla Sulama Boruları ve Damlatıcılarının İşletme Karakteristikleri Üzerinde Bir Araştırma. 13. Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, Bildiriler Kitabı, s.502-513, Konya.
5. Demir,V. and E.Uz. 1995. Damla Sulama Sistemlerinde Optimum Lateral Uzunlukları-nın Belirlenmesinde Kullanılan Sürtünme Kayıp Eşitliklerinin Karşılaştırılması.16. Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, s.441-450, Bursa.
6. Demir, V. ve H.Yürdem. 2002. Aynı Damlatıcıya Sahip Damla Sulama Borularında Boru Çapının En Uygun Boru Uzunluğuna Etkisi. E.Ü.Z.F. Dergisi, 39 (3), s.120-127, Bornova-İzmir
7. Howell,T.A. and F.A.Barinas. 1980. Pressure Losses Across Trickle Irrigation Fittings and Emitters. Transactions of the ASAE 23 (4): 928-933.
8. Kang,Y. and S.Nishiyama. 1995. Hydraulic Analysis of Microirrigation Submain Units. Transactions of the ASAE 38(5): 1377-1384.
9. Kang,Y. and S.Nishiyama. 1996. Analysis of Microirrigation Systems Using a Lateral Discharge Equation. Transactions of the ASAE 39(3): 921-929.
10. Korukçu,A. 1980. Damla Sulamasında Yan Boru Uzunluklarının Saptanması Üzerinde Bir Araştırma. A.Ü.Z.F.Yayınları:742. A.Ü.Basımevi, Ankara.
11. Langhaar,H.L. 1987. Dimensional Analysis and Theory of Models. Robert E. Kreiger Publishing Company. p.166. Malabar, Florida
12. Pitts,D.J., J.A.Ferguson and R.E.Wright. 1986.Trickle Irrigation Lateral Line Design by Computer Analysis. Transactions of the ASAE 29 (5):1320-1324
13. Tüzel,İ.H. 1990. Yerli Yapım Damla ve Düşük Basıncılı Yağmurlama Sistemlerinin Bazı Teknik Özellikleri ve Projelendirme Kriterleri Üzerinde Bir Araştırma. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, p.95
14. Watters,G.Z. and J.Keller, 1978. Trickle Irrigation Tubing Hydraulics. ASAE Paper No.78-2015, Pg.18. ASAE, St.Joseph, Michigan, 49085.
15. Wu,I.Pai. and H.M.Gitlin. 1973. Hydraulics and Uniformity for Drip Irrigation. Proc.Am.Soc.Civ.Engr. J.of Irrig. and Drainage Div. ASCE 99 (IR2): 157-168.
16. Wu,I.Pai. and H.M.Gitlin. 1975. Energy Gradient Line for Drip Irrigation Laterals. Proc.Am.Soc.Civ.Engr.,J.of Irrig.and Drainage Div. ASCE 101 (IR4): 321-326.
17. Wu,I.Pai, J.Feng and K.Yabusaki. 1989. Emitter Spacing and Uniformity of Irrigation Application. ASAE Paper No.89-2080. Pg.16, St.Joseph,MI.49085.