

YÜZEYALTI DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNDE DAMLATICI DEBİ DEĞİŞİMLERİNİN TARLA KOŞULLARINDA SU UYGULAMA EŞDAĞILIMI AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLEREK MODELLENMESİ*

Safiye Pınar TUNALI¹, Necdet DAĞDELEN¹

Özet

Bu çalışmada yüzeyaltı damla sulama sisteminde kullanılan lateral hatlarında bulunan damlatıcılardaki debi değişimleri incelenmiştir. Öncelikle, tarla koşullarında bitki materyali bulunmaksızın, farklı özelliklere sahip damlatıcılara ait akış değişimini gösteren debi değişim katsayısı (CV_q) değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla, toprak yüzeyine ve toprağın 30 cm derinliğine yerleştirilen basınç ayarlı ve basınç ayarlı olmayan damlatıcılar kullanılmıştır. Buna ek olarak, toprağın 30 cm derinliğine gömülen lateral hatlarında bulunan damlatıcılara ait negatif basınç değerlerinin değişim katsayıları (CV_{hs}) ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler yardımıyla HYDRUS 2D programı kullanılarak toprakta bulunan su tutma eğrisi parametreleri olan α ve k_s değerleri belirlenmiştir. Daha sonra ise aynı koşullar için yüzey ve yüzeyaltı damla sulama sisteminde kullanılan lateralleri simüle etmek amacıyla MATLAB programlama dili yardımıyla hazırlanan bir simulasyon programı kullanılmıştır. Basınç ayarlı olmayan damlatıcılar yüzeyaltı damla sulamada kullanıldığında yüzey damla sulamaya oranla daha fazla eş su dağılımı göstermişlerdir. Basınç ayarlı damlatıcılardaki eş dağılım ise hem yüzey ve hem de yüzeyaltı damla sulamada birbirleriyle benzerlik göstermiştir. Yüzeyaltı damla sulamada meydana gelen negatif basınç değerleri kabul edilen maksimum değere eşit veya bu değerin altında kalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüzeyaltı damla sulama sistemleri, performans analizi, su uygulama eş dağılımı

Effect of Emitter Discharge Variability of Subsurface Drip Irrigation on Water Application Uniformity Under Field Conditions

Abstract

In this study, the variation in emitter discharge in subsurface drip irrigation laterals is examined. First, coefficient of variation of the emitter (CV_q) was measured in field conditions without plant material with different drippers. For this purpose, compensating and non - compensating dripper models are used in 30 cm depth. Additionally, the soil pressure coefficient of variation CV_{hs} was measured in buried emitters. By the help of the measured values in the soil, water retention curve parameters α and k_s were determined with HYDRUS 2D program. Then, the irrigation uniformity was simulated with a MATLAB program in surface and subsurface drip irrigation laterals under the same conditions. Non-compensating emitters resulted in a greater values of the irrigation uniformity of SDI than surface drip irrigation. The uniformity with pressure-compensating emitters would be similar in both cases, provided the overpressures in SDI are less than or equal to the compensation range lower limit.

Key Words: Subsurface drip irrigation systems, performance analysis, water application uniformity

GİRİŞ

Yüzeyaltı damla sulama yöntemi genel bir ifadeyle, suyun nokta veya çizgi kaynaklı damlatıcılar aracılığı ile toprak yüzeyinin hemen altına verildiği yöntem olarak tanımlanır. Sulamada kullanılan debi, genellikle, damla sulamadaki ile aynıdır (Kanber 2002).

Otomatik bir yüzeyaltı damla sulama sisteminin en büyük avantajlarından biri bitkinin ihtiyaç duyduğu besinleri sulama yardımıyla çok sık aralıklarla uygulama yeteneğidir. Pamukta ihtiyaç duyulan pozitif verim artışı, sık sulama sayesinde elde etmek mümkündür (Bordovsky ve ark 1992, Radin ve ark 1992). Bununla birlikte, iyi tasarlanmış bir yüzeyaltı damla sulama sistemin eş su dağılımı avantajlarının çok sık sulama yüzünden azalabildiği unutulmamalıdır (Bordovsky ve Porter 2006).

Toprağın hidrolik özellikleri yüzeyaltı damla

sulama sistemindeki damlatıcı debilerini etkileyebilmektedir. Sulama sırasında, negatif basınç toprakta noktasal kaynaklı damlatıcı akış koşullarını oluşturan bir yüzeyaltı damlatıcısının yakınlarında meydana gelebilmektedir (Philip 1992). Toprak koşullarının yarattığı negatif basınç etkileri yüzeyaltı damla sulama sistemlerinin performansını etkileyebilmektedir. Sulama süresi ve miktarı normalde nominal damlatıcı debisine bağlı olarak belirlenmektedir. Damlatıcı debilerinde meydana gelen değişim, sulama süresi ve miktarında çeşitli hatalara neden olabilmektedir. Buna ek olarak, damlatıcı debi değişim değeri tarlada ya da tarlanın belirli yerlerinde eş dağılımda farklılıklara yol açabilmektedir. Geleneksel olarak, bir lateral boyunca meydana gelen damlatıcı debilerindeki değişim sistemin hidrolik özelliklerine ve damlatıcıların üretim özelliklerine bağlıdır (Dasberg ve Or, 1999). Ayrıca, toprağın heterojenliği ve toprak hidrolik

*Bu makale yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

¹Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü AYDIN

özelliklerine bağlı olarak damlatıcı debi değerlerinde üniformite bozulabilmektedir. Bununla birlikte, seçilen sulama uygulamalarına bağlı olarak da, damlatıcılarda farklı basınç değerleri gözlemlenmektedir (Warrick ve Shani 1996, Ben Gal ve ark. 2004).

Bu çalışmanın ana amacı, toprak hidrolik özelliklerinin, damla sulamanın özelliklerinin ve sistem basıncının yüzeyaltı damla sulama laterallerinde damlatıcı debi eşdağılımı üzerine etkilerinin değerlendirilmesidir. Bu amaçla, tarla koşullarında yüzey ve yüzeyaltı damla sulamadaki damlatıcı akış değişimleri incelenerek, iki yöntem arasında karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca, damlatıcı çıkış noktasındaki toprak basıncı değişimleri de ölçülüp, karşılaştırılmıştır. Toprak altına yerleştirilen laterallerdeki debi değişimlerinin nedenleri analiz edilerek, miktarları ölçülmüştür. Bunun yanında, damla sulama laterallerinin eş dağılımı yüzeyaltı damla sulama sistemlerinde kullanılan ve farklı üretim değişkenlerine sahip damlatıcılar ile karşılaştırılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

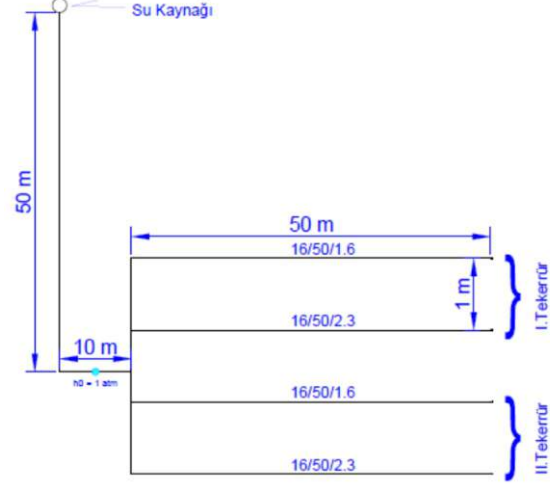
Çalışma Alanı

Bu çalışma, Adnan Menderes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Araştırma ve Uygulama Çiftliğinde tarla koşullarında yürütülmüştür. Araştırma, Eylül 2011 ve Ağustos 2012 olmak üzere iki dönemde yürütülmüştür. Çalışmada parsellerin sulanması için gerekli olan sulama suyu, deneme alanında bulunan yer altı su kaynağından (kuyudan) sağlanmıştır. Sulama suyu, bir motopomp yardımıyla kuyudan alınarak 63 mm dış çaplı kaytanlı polivinil klorür (PVC) borular ile araştırma alanına getirilmiştir.

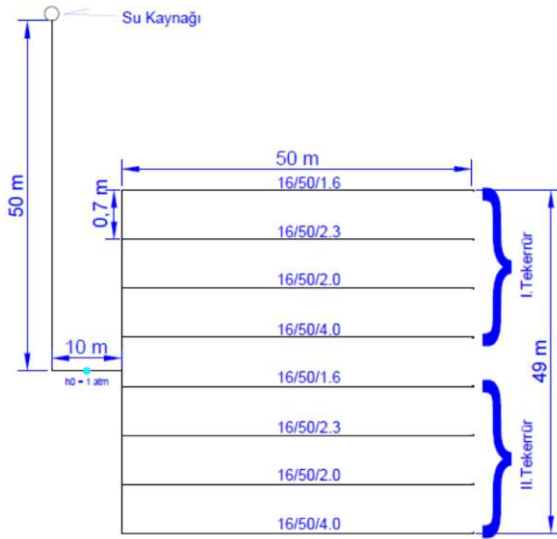
İlk denemede (Eylül 2011) oluşturulan 4 adet parselde, her parselde sıraya tek lateral gelecek şekilde 16 mm dış çaplı polietilen (PE) yüzeyaltı lateral boruları toprağın 30 cm altına serilerek parseller oluşturulmuştur. 2 adet yüzeyaltı damla sulama laterali sırasıyla 1.6 ve 2.3 L/h debili içten geçik damlatıcılı olup, damlatıcı aralıkları 50 cm'dir. Her bir lateral boru hattı başına yine 16 mm çaplı vanalar takılarak sulamaların kontrollü yapılması sağlanmıştır (Şekil 1). Tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulan deneme iki tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Denemenin parsel uzunlukları 50 m (1 sıra) olmak üzere toplam 50 m²'dir. Yanal sızmaları önlemek için parsel aralarında ise 1 m boşluk bırakılmıştır. Deneme sahasının başına bir manometre konularak laterallere ulaşan suyun basıncı (h_0), deneme süresince takip edilmiş, 1 atmosfer (≈ 10 mSS) değerinde tutulmuştur.

İkinci üretim döneminde ise (Ağustos 2012) aynı deneme alanında bu kez yüzeyaltı damlatıcıları ve yüzey damlatıcıları arasındaki değişimlerin gözlenmesi amacıyla her iki tip lateralden de iki ayrı debiye sahip lateraller kullanılmıştır. Yüzeyaltı lateralleri bir önceki denemede kullanılan 1.6 ve 2.3

L/h debiye sahipken yüzey lateralleri ise sırasıyla 2 ve 4 L/h debiye sahip lateraller arasından seçilmiştir. Yine her bir lateralın damlatıcı aralıkları 50 cm olarak seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Birinci yıla ait deneme deseni



Şekil 1. İkinci yıla ait deneme deseni

Topraktaki nem değişimini belirlemek amacıyla gravimetrik yöntem kullanılmıştır (Güngör ve ark. 2002). Damlatıcı çıkışındaki toprak örneklerinin tekstürünü tanımlamak için ise Bouyoucos yoğunluk ölçüm yöntemi (Day 1965) kullanılmıştır.

Yüzeyaltı Damlatıcı Debi Özelliklerinin Belirlenmesi

Eş dağılım, damlatıcı üretim farklılıklarına, arazi eğimine bağlı olarak değişen sulama ünitesinin hidrolik değişkenliğine ve borulardaki yük kayıplarına, damlatıcıların basınç ve sıcaklığa karşı duyarlılıklarına ve damlatıcıların tıkanmasına bağlı olarak değişim göstermektedir (Mizyed ve Kruse 1989, Rodriguez-Sinobas ve ark. 1999). Sulama

uygulamalarındaki değişkenlik hem damlatıcı üretim farklılıklarına hem de hidrolik değişkenliğe bağlıdır.

Orifislerdeki basınç yükü ve serbest akım değerleri arasındaki potansiyel ilişki damlatıcı debilerine de uygulanabilmektedir (Karmeli ve Keller 1975):

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

Burada; q damlatıcı debisi, h işletme basıncı, k akış katsayısı ve x ise üs değeridir. Bu değerler denemede kullanılan lateraller için ilgili firma kataloğundan alınmıştır.

Sulama sistemi boyunca k, h ve x değerleri, herhangi bir sulama ünitesinde debi değişimi üzerinde etkili olmuştur. Bu durum normal bir dağılımda dikkate alınmıştır (Solomon 1977, Anyoji ve Wu 1994). Bu hipotez son değişimin temel nedeni olan damlatıcı üretim farklılıklarına daha uygundur. Sulama ünitesindeki normal debi dağılımı, ortalama (değerlendirilen örneğin ortalama debisi) ve standart sapma (ölçülen debi değerlerinin CV_q değişim katsayısı değerleri) olmak üzere iki parametreye bağlı olarak nitelendirilecektir. Sıcaklığın sabit ve damlatıcı tıkanıklıklarının az olduğu durumda, damlatıcı debi değişim katsayısı (CV_q), hidrolik değişkenlik ve üretim farklılığı katsayısına (CV_m) bağlıdır. Bu iki değişkeni Eşitlik 1'e eklersek:

$$q = k * h_x * (1 + u * CV_m) \quad (2)$$

Burada u, ortalaması 0 ve standart sapması 1 olan normal rasgele değişkendir. Üretim farklılığı katsayısı (CV_m) üretici tarafından üretilen ve herhangi bir tarlada çalıştırılmadan ya da kullanılmadan önce aynı marka, model ve boyuttaki damlatıcılarda oluşan rastgele örnek akış değişkenliğinin ölçüsüdür (ASAE 1996).

Yüzeyaltı ve yüzey damla sulama arasındaki önemli farklardan biri damlatıcı debisinin toprak özelliklerinden etkilenebilir olmasıdır. Philip (1992), toprağın altına gömülmüş noktasal kaynaklı suyun hareketi üzerinde çalışmış ve birçok toprakta kaynak etrafında, negatif basınç nedeniyle daire şeklinde bir doymuş bölgenin oluştuğu sonucuna varmıştır. Sürekli bir akış rejiminde damlatıcı çıkışında oluşan negatif basıncı belirlemek için analitik bir eşitlik geliştirmiştir. Shani ve ark. (1996) yüzeyaltı sulamanın farklı koşulları için bu eşitliğin uygulanabilirliğini test etmişlerdir. Bu araştırmacılar, toprak boşluklarında oluşan basıncı (negatif /geri basınç) (h_s) toprağın hidrofiziksel özelliklerine bağlı damlatıcı debileriyle (q) ilişkilendirmek için Philip eşitliğini şu şekilde kullanmışlardır:

$$h_s = \left(\frac{2 - \alpha * r_0}{8\pi * K_s * r_0} \right) * q - \frac{1}{\alpha} \quad (3)$$

Burada q sürekli akım rejimindeki damlatıcı debi değerini, r_0 oluşan küresel boşluğun yarıçapını, K_s satüre olmuş (doygun) toprağın hidrolik geçirgenliğini ve α Gardner (1958) tarafından belirlenen satüre olmuş toprağın hidrolik geçirgenliğini tanımlayan düzeltme katsayısını vermektedir.

Shani ve ark. (1996) farklı debilere sahip damlatıcılar kullanarak, damlatıcı çıkışlarında oluşan negatif basınç değerlerini ölçmüşlerdir (ve 8 mSS'na kadar ulaşan sonuçlar kaydetmişlerdir). Bu araştırmacılar damlatıcı debisinden daha düşük infiltrasyon değeri elde edilen topraklardaki suyun basıncının yükseldiğini ortaya çıkarmışlardır. Bu durumda, damlatıcıların karşısında küçük bir basınç farkı meydana gelmiş ve bunun sonucunda, Eşitlik 1'de verilen serbest akımla karşılaştırılan damlatıcı debisi düşmüştür. Debi düşüşü, nominal damlatıcı debisine bağlı olarak hafif bünyeli topraklarda daha fazladır.

Bu nedenle, yüzeyaltı damlatıcısının çıkışında bir basınç farkı varsa, damlatıcı içi ve toprak arasındaki hidrolik eğim azalır. Birden fazla damlatıcının aynı anda çalıştığı koşullar için eşitlik şu şekilde düzenlenir:

$$q = k * (h_0 * h_s)^x * (1 + u * CV_m) \quad (4)$$

Oehlert (1992) tarafından geliştirilen delta yöntemi eşitliği, debi değişim katsayısı (CV_q) cinsinden şu şekilde ifade edilebilmektedir:

$$CV_q = \frac{1}{q} \left[V h_s * \left[x * k * (h_0 - \bar{h}_s)^{x-1} \right]^2 + \left[k * (h_0 - \bar{h}_s)^x * CV_m \right]^2 - 2 * cov(\bar{h}_s, u) * \left[x * k * (h_0 - \bar{h}_s)^{x-1} \right] * \left[k * (h_0 - \bar{h}_s)^x * CV_m \right] \right]^{0.5} \quad (5)$$

Bu çalışmada, damlatıcı debisi ve toprak özellikleri üzerine etkisi $cov(\bar{h}_s, u)$ belirlenerek değerlendirilmiştir. Diğer değişkenler Eşitlik 5'te denemeden elde edilen değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Herhangi bir ilişkinin olmadığı koşullar için, toprak özelliklerinin etkisi damlatıcı debisinden bağımsız olacağından Eşitlik 5 aşağıdaki gibi değişmektedir:

$$CV_q = \frac{1}{q} \left[V h_s * \left[x * k * (h_0 - \bar{h}_s)^{x-1} \right]^2 + \left[k * (h_0 - \bar{h}_s)^x * CV_m \right]^2 \right]^{0.5} \quad (6)$$

Yüzeyaltı Lateralindeki Su Uygulama Eş Dağılımı Değişiminin Belirlenmesi

Topraktaki yüzeyaltı lateralinde meydana gelecek olan su uygulama eş dağılımını simule etmek için denemede aynı α ve ks değerleri MATLAB

programında kullanılmıştır (Chapra ve Canale 2008).

Tamamı aynı h_0 basıncı ile çalışan 100 adet basınç ayarlı olmayan damlatıcısı bulunan lateralin davranışı simule edilmiştir. Bu koşul, ihmal edilebilir hidrolik değişkenliğe sahip laterallerin tarla koşullarına eşdeğerdir. İşletme basıncı değerleri damla sulamada standart olarak kabul edilen 5 – 15 mSS olarak alınmıştır. Denemede üretim farklılığı katsayısı (CV_m) da dikkate alınmıştır. Küresel boşluk yarıçapı (r_0) 0.001-0.006 m arasında alınarak, CV_m simülasyonlara dâhil edilmiştir. Bu değerler, Eşitlik 3 kullanılarak denemeden elde edilen veriler yardımıyla hesaplanmıştır. Ayrıca, r_0 değeri her bir simülasyondaki tüm çıkış noktalarında sabit tutulmuştur. Benzer şekilde, aynı simülasyon basınç ayarlı damlatıcılarla da tekrarlanmıştır.

α ve k_s değerleri Genuchten-Muallem modelinden (van Genuchten 1980) yararlanılarak bulunan HYDRUS-2D/3D programı (Simunek ve ark 2006) kullanılarak belirlenmiştir. Bu program su tutma eğrisi parametrelerini (toprak tekstürü sınıfındaki doymuş toprak hidrolik iletkenliği: kil, mil ve kum oranları ve hacimsel yoğunluk) hesaplamak için ROSETTA sinir ağı modelinde (Schaap ve ark. 2001) esas alınan pedotransfer fonksiyonlarını kullanmaktadır.

Simülasyon programı ilk olarak 100 adet damlatıcı için, rastgele Gauss standart değişkeni olan u'yu hesaplamıştır. Daha sonra, toprak basınç değerleri Eşitlik 3 ve 4'e eşit olan tekrarlamalı bir hesaplama yöntemi, toprak altında bulunan damlatıcı debilerini hesaplamak için kullanılmıştır. Tekrarlamalı olan bu süreç, Eşitlik 2 ile yüzeydeki damlatıcılar için debi değerlerinin hesaplanmasıyla başlamıştır. Daha sonra toprak basıncı Eşitlik 3 ve 4 ile hesaplanarak, her iki değer de karşılaştırılmıştır. Eşitlik 3'ten elde edilen h_s değeri Eşitlik 4'ten elde edilen değerden daha büyük olduğunda, bu durumun aksine, ilk debi değeri düşmüştür. Her iki eşitlikten de

hesaplanan toprak basınçları birbirine eşit olduğunda ise bu döngü durmuştur. Son olarak, yüzey damlatıcılar için CV_m olan debi değişim katsayısı CV_q , yüzey ve yüzeyaltı damlatıcıları için belirlenmiştir.

BULGULAR ve TARTIŞMA

Damlatıcı çıkışındaki toprak örneklerinin tekstürünü tanımlamak için Bouyoucos yoğunluk ölçümü yöntemi (Day 1965) kullanılarak belirlenen araştırma alanı toprağının fiziksel özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre araştırma alanı topraklarının orta bünyeli topraklar sınıfına girdiği söylenebilir. Tarla kapasitesi değerlerinde toprak katmanlarından aşağıya doğru bir azalma olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, aşağı katmanlara doğru toprak bünyesini oluşturan kum yüzdesindeki artış olarak gösterilebilir.

Yüzey ve Yüzeyaltı Damlatıcı Debi Özelliklerinin Belirlenmesi

Çizelge 2 denemelerdeki ortalama debi ve toprağın negatif basınç değerlerini göstermektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda olduğu gibi (Shani ve ark. 1996, Gil ve ark. 2008), basınç ayarlı olmayan damlatıcı debisi Eşitlik 4 kullanılarak belirlenen bir değere düşmüştür. Bu durum, çıkış noktasındaki negatif basıncın giriş basıncına oranla daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanında infiltrasyon da debi değerini etkilemektedir. Topraktaki damlatıcı debisinde meydana gelen azalma nominal damlatıcı debisi ile orantılıdır.

Basınç ayarlı ve basınç ayarlı olmayan damlatıcılardaki h_s değerleri birbirinden farklılıklar gösterse de; basınç ayarlı damlatıcılarda herhangi bir debi değişimi gözlenmemiştir. Bu nedenle, ortaya çıkan farkların denemeden kaynaklanan hatalar nedeniyle olduğu düşünülebilir.

Çizelge 1. Araştırma alanı topraklarının fiziksel özellikleri

Profil Derinliği (cm)	Bünye Dağılımı (%)			Bünye Sınıfı	Hacim Ağırlık (gr/cm^3)	*Tarla Kapasitesi		*Devamlı Solma Noktası		Kullanılabilir Su Tutma Kapasitesi	
	Kum	Kil	Silt			%	mm	%	mm	%	mm
0 – 30	58.40	13.60	28.00	Kumlu-Tın	1.35	23.1	111.5	10.1	40.9	13.0	52.6
30 – 60	56.40	13.60	30.00	Kumlu-Tın	1.45	22.9	99.6	9.4	40.8	13.5	58.8
60 – 90	68.20	13.60	19.20	Kumlu-Tın	1.52	18.4	83.9	7.3	33.2	11.1	50.6
90 – 120	49.70	17.50	32.00	Kumlu-Tın	1.50	20.3	91.3	7.2	32.3	13.1	59.0

*: Kuru ağırlık yüzdesi

Çizelge 2. Denemelerdeki ortalama debi ve toprak basıncı değerleri

	YÜZEY		YÜZEYALTI	
	2 L/h	4 L/h	1,6 L/h	2,3 L/h
Giriş debisi ($q_{yüzey}$) (L/h)	2.01	3.98	1.58	2.28
Ortalama damlatıcı debisi (\bar{q}) (L/h)	1.88	3.54	1.58	2.28
Negatif basınç ortalaması (\bar{h}_s) (m)	0.59	2.14	0.57	1.03
Rölatif varyasyon – debi ortalaması (%)	6.92	15.92	0.00	0.00

Çizelge 3'te damlatıcıların hidrolik özellikleri yanında, Eşitlik 3'te kullanılan x ve k parametreleri ile üretim farklılığı katsayısı CV_m de verilmiştir. Çizelge ayrıca, deneme materyali olan toprak için bir varyans (debi değişim katsayısı CV_q ve negatif basınç) olarak ifade edilen debi değişimi yanında, negatif basınç değişim katsayısı CV_{hs} 'nin varyansı olan Var_{hs} 'yi de göstermektedir. Bu değerler yanında, Eşitlik 5'ten hesaplanan damlatıcı üretimine bağlı, negatif basınç ortalaması ve rastgele değişgen arasındaki kovaryans değeri $[cov(\bar{h}_s, u)]$ ve Pearson korelasyon katsayısının değerini de çizelgede görmek mümkündür.

Çizelgede, 4 L/H debiye sahip basınç ayarlı olmayan damlatıcıların olduğu denemelerdeki $cov(h_s, u)$ değerinin diğerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca her iki basınç ayarlı damlatıcıda da CV_q , CV_m 'den daha küçük olduğu unutulmamalıdır. Her durumda, Pearson korelasyon katsayısının mutlak değeri, 1 olarak bulunmuştur. Bu durum, damlatıcı çıkışı ve toprak basıncı arasında olası bir güçlü etkileşim dikkate alınarak açıklanabilir. Aynı şekilde, denemelerin çoğunda korelasyon katsayısı pozitif değerler göstererek bu olasılığı desteklemiştir. Bu durumda, toprak özelliklerine bağlı olarak çıkış debisi arasındaki etkileşim CV_q 'nin azaltılması anlamına gelir. Böylece, homojen topraklarda yüzeyaltı damla sulama sistemlerinin su uygulama eş dağılımı, basınç ayarlı olmayan damlatıcılar ile artacaktır.

Aynı çalışma basıncında basınç ayarlı olmayan yüzey damlatıcılar, debi değişim katsayısı CV_q , damlatıcı üretim farklılığı değeri olan CV_m 'den kaynaklanmaktadır. Seçilen modellerde $CV_m \leq 0.054$ 'tür. Bu nedenle, ASAE (1996) sınıflandırmasına göre bu tür topraklar çok iyi olarak sınıflandırılmış ve ihmal edilebilir düzeyde hidrolik değişkenlik gösteren bir sulama sisteminde de sulama eşdağılımı oldukça

iyi olarak adlandırılmıştır. Toprak altında bulunan damlatıcıların debi değişimleri sadece üretim değişkenlerine değil, aynı zamanda toprak üzerindeki basınç artışına da bağlıdır. Damlatıcı çıkışlarında oluşan debilerin toprak üzerine etkisi ihmal edilebilir düzeyde ise, çıkış noktasındaki negatif basınç da ihmal edilebilmektedir. Toprakta gözlenen debi değişimi sadece üretim farklılıkları ve toprak etkilerine değil, aynı zamanda aralarındaki pozitif ilişkiye de bağlıdır. Eğer her iki ilişki de birbirinden bağımsız olursa, Eşitlik 6 aynı şekilde kalarak, ortaya çıkan değer CV_m 'den daha büyük olacaktır. Toprak altındaki damlatıcıların CV_q değerindeki düşüş nedeniyle debi değerinin kendiliğinden ayarlanması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu teoriye dayanarak, basınç ayarlı damlatıcılarda toprak yüzeyi ve toprağın altında herhangi bir debi değişimi meydana gelmediği varsayılmıştır. Ancak bu durum basınç ayarlı olmayan damlatıcılar için aynı değildir. Toprak yüzeyindeki debi değeri ne kadar fazla ise toprakta meydana getirdiği negatif basınç o kadar büyük olacağından toprak altına gelen debi miktarındaki azalma da o kadar fazla olacaktır. Bu durumda basınç ayarlı olmayan damlatıcıların da basınç ayarlı damlatıcılar gibi davrandığını söylemek mümkündür.

Denemede kullanılan lateral hatlarında bulunan dört farklı tipteki damlatıcıya ait simülasyondan elde edilen debi değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Damlatıcı debi değişimi değerleri yüzeyde bulunan laterallerde yüzey altına serilenlere oranla daha yüksek miktarlarda olduğu görülmüştür. Bunun nedeni, basınç ayarlı damlatıcıların toprak altında etkili bir şekilde kullanılabilme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Özellikle basınç ayarlı olmayan damlatıcılardan 4 L/h debiye sahip olan damlatıcıların

Çizelge 3. Denemelerdeki debi ve toprak basıncı değişimleri

	YÜZEY		YÜZEYALTI	
	2 L/h	4 L/h	1,6 L/h	2,3 L/h
K (L/h/m³)	0.693	1.387	1.600	2.300
X	0.460	0.460	0	0
CV_m	0.054	0.010	0.023	0.019
h₀ (m)	10	10	10	10
CV_q	0.053	0.017	0.017	0.019
Var_{hs}	0.769	3.020	0.478	0.991
CV_{hs}	0.253	0.128	-0.194	0.200
cov (h_s, u)	-0.069	-0.642	-0.002	0
Korelasyon katsayısı	0.010	-0.997	-0.001	0.001

Çizelge 4. Toprak özelliklerine göre ortalama debi ve toprak basınç değerleri

	YÜZEY		YÜZEYALTI	
	2 L/h	4 L/h	1,6 L/h	2,3 L/h
K_s (m/s)	0.047	0.047	0.047	0.047
α (m⁻¹)	2.180	2.180	2.180	2.180
q̄ (L/h)	1.897	3.735	1.584	2.281
h̄_s (m)	0.329	1.036	0.441	0.837
r₀ (m)	0.003	0.004	0.002	0.003

debi değişimlerinin daha fazla olacağını söylemek mümkündür. Ortam koşullarının kontrollü tutulabilmesini sağlamak amacıyla bu denemeler boyunca bitki üzerinde çalışılmamış olmasına rağmen, denemenin tarla koşullarında yapılması nedeniyle CV_m değerlerine bağlı olarak elde edilen sonuçlar ortam koşullarından önemli ölçüde etkilenmiştir.

Yukarıda sözü edilen etki, negatif basınçtan dolayı daha yüksek düzeyde bir basınç farkı meydana gelse dahi basınç ayarlı damlatıcılarda gözlenmemiştir. Çünkü bu damlatıcıların yapımında kullanılan malzemenin içeriği, debiyi belli bir denge aralığında sabit tutarak, deneme boyunca bu değer altına düşmesini engellemiştir.

Her bir toprak için Eşitlik 3 ile belirlenen α , k_s , ortalama debi, negatif basınç ve ortalama r_0 değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

Ortalama h_s değerleri saksılarda yapılan çalışmalara (Gil ve ark. 2008) ve tarla denemelerinden (Shani ve ark. 1996) alınan sonuçlara oranla beklenenden daha fazla olmuştur. Dolayısıyla, benzer özellikteki topraklar için daha önce hesaplanan r_0 değerlerinden daha küçük değerlere ulaşılmıştır. Özellikle kontrollü ortamlarda yapılan denemelerde, toprak homojenleştirme prosedürüne bağlı olarak yapılan eleme işlemi sırasında toprağın doğal yapısının bozulması ve hatta toprağın daha sonradan sıkıştırılmış olsa bile basınç dayanımının daha az olması durumuyla karşılaşılabılır. Bu açıdan bakıldığında, çalışmanın kontrollü bir ortam yerine tarla koşullarında yapılması bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Damla Sulama Laterallerindeki Su Uygulama Eş Dağılımı Değişiminin Belirlenmesi

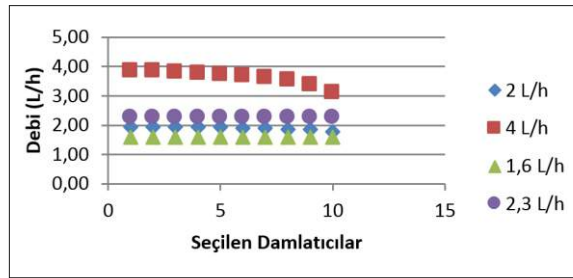
Bir lateralın eş su dağılımı Şekil 4, 5, 6 ve 7'te görülmektedir. Şekilde, denemede kullanılan damlatıcılar için, CV_q debi değişim katsayısı hesaplanmıştır. Burada r_0 değeri sabit kabul edilmiştir. CV_q değeri ne kadar yüksek olursa eş dağılım da o kadar azalır. Deneme sonuçları yüzeyaltı damla sulamanın yüzey damla sulamaya oranla daha uniform olduğunu göstermiştir.

Debi değişkenliği ve eş su dağılımındaki ilerleme sonucunda ortaya çıkan damla boyutu daha büyük, küresel boşluk yarıçapı r_0 daha küçük ve laterallere ulaşan suyun basıncı h_0 ise daha az olmuştur. Basınç ayarlı ve basınç ayarlı olmayan damlatıcılar karşılaştırıldığında, basınç ayarlı damlatıcılardaki sonuçların beklendiği üzere ihmal edilebilir miktarda olduğu görülmüştür.

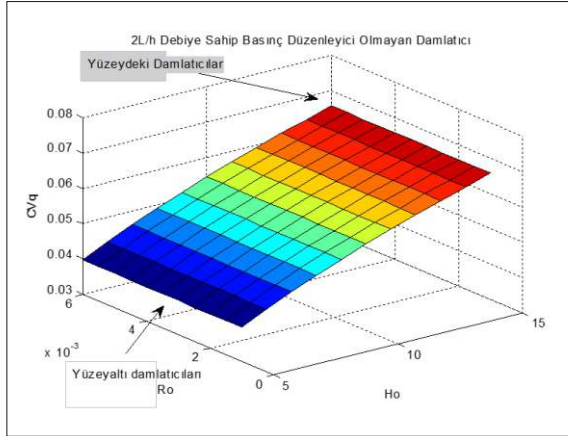
Simulasyon sonuçlarına göre; çizelge 5, 6, 7 ve 8'de hidrolik basınç yüksekliği sabit tutularak elde edilen değişkenler; 9, 10, 11 ve 12'de ise küresel boşluk yarıçapı değerleri sabit tutularak elde edilen değişkenler görülmektedir. Denemenin yapıldığı arazide 2 L/h debili basınç ayarlı olmayan damlatıcılar için elde edilen simulasyon sonuçlarına göre; 0.003 m

boşluk yarıçapı r_0 (bakınız Çizelge 5 ve 9) ve 10 m hidrolik basınç yüksekliği hesaplanan değerleri için CV_q 0.0532 ile 0.0545 arasında değişmektedir. Negatif basınç ortalamaları için simule edilen değerlerin ölçülen değerlerle oldukça uyumlu olduğu gözlenmesine rağmen, debi değişim katsayısı değerleri genel olarak denemelere yakın değerdedir. Diğer negatif basınç değişim katsayıları Çizelge 6, 7, 8 ve 9'da görülmektedir.

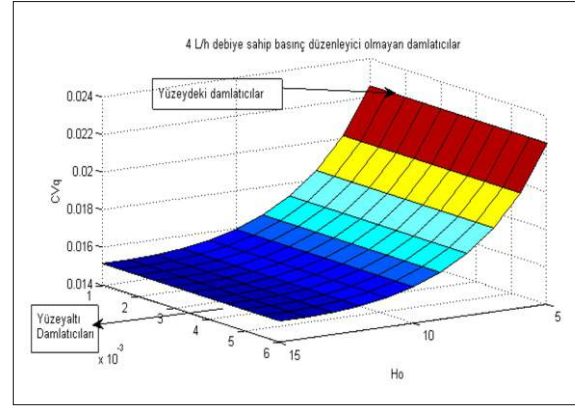
Bu simulasyonların sonuçları damlatıcıların debi değişimlerine bağlı olan negatif basınç değerlerinin (h_s) değişkenliğini yansıtmaktadır. Ancak, lateralın genellikle düşük olma eğilimi gösteren hidrolik değişkenliğini içermemektedir. Bu koşullar altında, basınç ayarlı damlatıcılar kullanıldığında eş su dağılımının basınç ayarlı olmayan damlatıcılara oranla daha az olması olasıdır. Bununla birlikte, üniform topraklardaki senaryolara bakıldığında yüzeyaltı damla sulama eş dağılımının yüzey damla sulamaya oranla daha büyük olacağı görülmektedir.



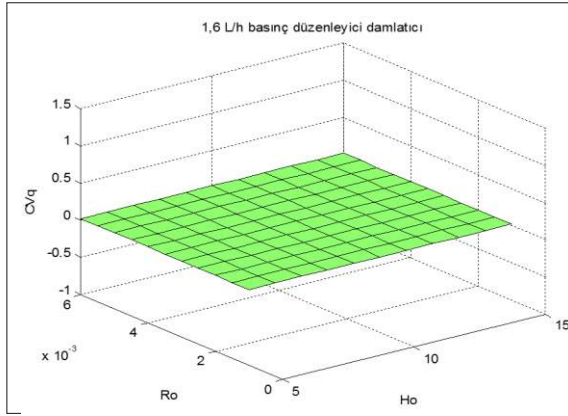
Şekil 3. Denemeden seçilen damlatıcı hatlarının akış değerleri



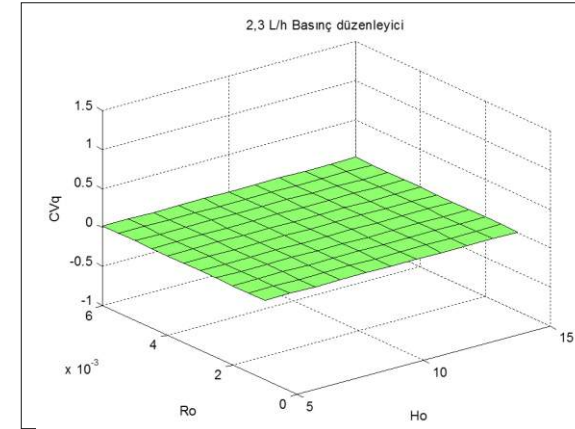
Şekil 4. Giriş basıncı (CVq) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eşdağılımı (2 L/h basınç ayarlı olmayan damlatıcı)



Şekil 5. Giriş basıncı (CVq) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eşdağılımı (4 L/h basınç ayarlı olmayan)



Şekil 6. Giriş basıncı (CVq) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eşdağılımı (1.6 L/h basınç ayarlı)



Şekil 7. Giriş basıncı (CVq) fonksiyonunun bir sulama laterali üzerindeki su uygulama eşdağılımı (2.3 L/h basınç ayarlı)

Çizelge 5. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyleti damla sulama laterali için deneme sonuçları (2L/h debili basınç ayarlı olmayan r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0=10$ m olan damlatıcılar)

r_0 (m)	$q_{\text{yüzeyleti}}$ (L/h)	$q_{\text{yüzeyleti}}$ (L/h)	Q_{ort} rölatif varyasyon (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{h_s}
0.0010	2.01	1.66	17.53%	2.97	0.054	0.0524	0.0295
0.0015	2.01	1.78	11.56%	1.83	0.054	0.0526	0.0480
0.0020	2.01	1.84	8.74%	1.26	0.054	0.0528	0.0698
0.0025	2.01	1.87	7.10%	0.91	0.054	0.0530	0.0962
0.0030	2.01	1.89	6.03%	0.68	0.054	0.0532	0.1284
0.0035	2.01	1.90	5.27%	0.52	0.054	0.0533	0.1689
0.0040	2.01	1.92	4.70%	0.40	0.054	0.0534	0.2211
0.0045	2.01	1.92	4.27%	0.30	0.054	0.0535	0.2912
0.0050	2.01	1.93	3.92%	0.22	0.054	0.0535	0.3901
0.0055	2.01	1.94	3.63%	0.16	0.054	0.0536	0.5402
0.0060	2.01	1.94	3.40%	0.11	0.054	0.0536	0.7953

Çizelge 6. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için deneme sonuçları (4 L/h debili Basınç ayarlı olmayan r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0=10$ m olan damlatıcılar)

r_0 (m)	$Q_{yüzey}$ (L/h)	$Q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} rölatif varyasyon (%)	h_s (mwc)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
0.0010	3.98	2.51	73.77%	6.34	0.010	0.029	0.02740
0.0015	3.98	3.13	42.59%	4.07	0.010	0.024	0.04266
0.0020	3.98	3.39	29.45%	2.94	0.010	0.020	0.05914
0.0025	3.98	3.54	22.11%	2.26	0.010	0.018	0.07698
0.0030	3.98	3.63	17.41%	1.80	0.010	0.016	0.09635
0.0035	3.98	3.70	14.14%	1.48	0.010	0.015	0.11747
0.0040	3.98	3.75	11.73%	1.24	0.010	0.014	0.14058
0.0045	3.98	3.79	9.88%	1.05	0.010	0.013	0.16598
0.0050	3.98	3.81	8.41%	0.90	0.010	0.013	0.19402
0.0055	3.98	3.84	7.22%	0.77	0.010	0.012	0.22514
0.0060	3.98	3.86	6.24%	0.67	0.010	0.012	0.25987

Çizelge 7. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için deneme sonuçları (1.6 L/h debili Basınç ayarlı r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0=10$ m olan damlatıcılar)

r_0 (m)	$Q_{yüzey}$ (L/h)	$Q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
0.0010	1.58	1.58	0.00%	2.25	0.023	0.0225	0.031
0.0015	1.58	1.58	0.00%	1.34	0.023	0.0201	0.051
0.0020	1.58	1.58	0.00%	0.89	0.023	0.0184	0.077
0.0025	1.58	1.58	0.00%	0.62	0.023	0.0173	0.111
0.0030	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0165	0.157
0.0035	1.58	1.58	0.00%	0.31	0.023	0.0159	0.221
0.0040	1.58	1.58	0.00%	0.22	0.023	0.0155	0.321
0.0045	1.58	1.58	0.00%	0.14	0.023	0.0153	0.493
0.0050	1.58	1.58	0.00%	0.08	0.023	0.0153	0.864
0.0055	1.58	1.58	0.00%	0.03	0.023	0.0152	2.249
0.0060	1.58	1.58	0.00%	-0.01	0.023	0.0151	-6.714

Çizelge 8. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için deneme sonuçları (2.3 L/h debili Basınç ayarlı olmayan r_0 değerleri birbirinden farklı ve $h_0=10$ m olan damlatıcılar)

r_0 (m)	$Q_{yüzey}$ (L/h)	$Q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
0.0010	2.28	2.28	0.00%	3.44	0.019	0.0186	0.029
0.0015	2.28	2.28	0.00%	2.14	0.019	0.0186	0.047
0.0020	2.28	2.28	0.00%	1.49	0.019	0.0186	0.067
0.0025	2.28	2.28	0.00%	1.10	0.019	0.0186	0.091
0.0030	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0186	0.119
0.0035	2.28	2.28	0.00%	0.65	0.019	0.0186	0.153
0.0040	2.28	2.28	0.00%	0.51	0.019	0.0186	0.194
0.0045	2.28	2.28	0.00%	0.40	0.019	0.0186	0.247
0.0050	2.28	2.28	0.00%	0.32	0.019	0.0186	0.314
0.0055	2.28	2.28	0.00%	0.25	0.019	0.0186	0.404
0.0060	2.28	2.28	0.00%	0.19	0.019	0.0186	0.532

Çizelge 9. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için deneme sonuçları (2L/h debili Basınç ayarlı olmayan h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0=0.003$ m olan damlatıcılar)

h_0 (m)	$Q_{yüzey}$ (L/h)	$Q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
5	1.42	1.40	0.74%	0.11	0.054	0.0398	0.1162
6	1.54	1.52	0.99%	0.17	0.054	0.0431	0.0787
7	1.66	1.63	1.18%	0.21	0.054	0.0462	0.0609
8	1.76	1.74	1.33%	0.26	0.054	0.0492	0.0503
9	1.86	1.83	1.44%	0.30	0.054	0.0519	0.0434
10	1.95	1.92	1.54%	0.34	0.054	0.0545	0.0384
11	2.04	2.01	1.63%	0.38	0.054	0.0570	0.0346
12	2.12	2.09	1.70%	0.41	0.054	0.0593	0.0316
13	2.20	2.17	1.76%	0.45	0.054	0.0616	0.0292
14	2.28	2.24	1.81%	0.48	0.054	0.0637	0.0273
15	2.35	2.32	1.86%	0.51	0.054	0.0658	0.0256

Çizelge 10. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için Tınlı topraktaki deneme sonuçları (4L/h debili Basınç ayarlı olmayan h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0=0.003$ m olan damlatıcılar)

h_0 (m)	$Q_{yüzey}$ (L/h)	$Q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
5	2.90	2.74	7.96%	0.58	0.010	0.023	0.04718
6	3.15	2.98	8.66%	0.69	0.010	0.020	0.03929
7	3.38	3.20	9.15%	0.80	0.010	0.018	0.03418
8	3.59	3.40	9.52%	0.89	0.010	0.017	0.03055
9	3.79	3.60	9.80%	0.98	0.010	0.017	0.02783
10	3.98	3.78	10.02%	1.06	0.010	0.016	0.02569
11	4.16	3.96	10.20%	1.14	0.010	0.016	0.02396
12	4.33	4.12	10.34%	1.21	0.010	0.015	0.02252
13	4.49	4.28	10.46%	1.28	0.010	0.015	0.02131
14	4.65	4.44	10.56%	1.35	0.010	0.015	0.02026
15	4.80	4.59	10.65%	1.41	0.010	0.015	0.01935

Çizelge 11. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için Tınlı topraktaki deneme sonuçları (1.6 L/h debili Basınç ayarlı h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0=0.003$ m olan damlatıcılar)

h_0 (m)	$Q_{yüzey}$ (L/h)	$Q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	H_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
5	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
6	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
7	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
8	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
9	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
10	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
11	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
12	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
13	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
14	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000
15	1.58	1.58	0.00%	0.44	0.023	0.0232	0.000

Çizelge 12. 100 adet damlatıcısı olan bir yüzeyaltı damla sulama laterali için Tınlı topraktaki deneme sonuçları (2.3 L/h debili Basınç ayarlı h_0 değerleri birbirinden farklı ve $r_0=0.003$ m olan damlatıcılar)

h_0 (m)	$Q_{yüzey}$ (L/h)	$Q_{yüzeyaltı}$ (L/h)	Q_{ort} (rölatif varyasyon) (%)	h_s (mSS)	CV_m	CV_q	CV_{hs}
5	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
6	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
7	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
8	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
9	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
10	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
11	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
12	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
13	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
14	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000
15	2.28	2.28	0.00%	0.84	0.019	0.0190	0.000

SONUÇ ve ÖNERİLER

Basınç ayarlı damlatıcıların kullanılması tüm topraklardaki hem yüzeyaltı damla sulama ve hem de yüzey damla sulamada debi değişimini benzer şekilde etkilemiştir. Deneme alanındaki toprağın negatif basıncı, basınç ayarlı damlatıcının sınırları içerisinde kalmıştır. Toprak özelliklerinin damlatıcı debisi üzerine etkileri, deneme koşullarında önemli çıkmıştır. Dolayısıyla, toprak yüzeyinde kullanılan damlatıcılardaki debi değişiminin toprak altında kullanılan damlatıcılara göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmada, basınç ayarlı olmayan damlatıcılar kullanıldığında, debi değişiminin, yüzeyaltı damla sulamada yüzey damla sulamaya göre daha fazla veya eşit olduğu görülmüştür. Daha fazla debi değişimi oluşması toprak içerisindeki negatif basıncın etkisi olarak açıklanabilir. İnfiltrasyon hızı düşük olan toprakların negatif basıncı daha yüksek olduğu için, bu basıncın debi değişimine etkisi daha fazla olmaktadır. Bu durumda yüzey damla sulamada üniformite daha yüksek olur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, toprak özelliklerindeki değişkenliğin az olduğu homojen topraklarda, üniformite üzerine etki de daha az olacağından yüzeyaltı damla sulama yöntemi tercih edilebilir. Ayrıca Özdemir (2013)'in yapmış olduğu çalışmaya benzer olarak, tarla koşullarında farklı bitkilerin de dâhil olduğu durumlarda eş su dağılımındaki değişimlerin gözlenmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Anyoji H, Wu IP (1994) Normal distribution water application for drip irrigation schedules. Trans ASAE 37: 159-164.
- ASAE (1996) ASAE standards engineering practices data. 43rd edn. MI, USA, pp 864.
- Ben Gal A, Lazarovitch N, and Shani U (2004) Subsurface drip irrigation in gravel filled cavities. Vadose Zone J 3:

1407-1413.

- Bordovsky KP, Porter DO (2006) Comparison of subsurface drip irrigation uniformity designs on cotton production. ASAE Paper 06-2276. ASAE, St. Joseph.
- Bordovsky JP, Lyle WM, Lascano RJ, Upchurch DR (1992) Cotton irrigation management with LEPA systems. Transactions of the ASAE 35(3): 876-844.
- Chapra S, Canale RP (2008) Mühendisler İçin Sayısal Yöntemler, (Dördüncü Basım). Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Dasberg S, Or D (1999) Drip irrigation (applied agriculture), Springer, New York.
- Day PR (1965) Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black CA ve ark. (eds) Methods of soil analysis. Part I: agronomy 9: 545-567.
- Gardner, WR (1958) Some steady state solutions of unsaturated moisture flow equations with application to evaporation from a water table. Soil Sci 85: 228-232.
- Gil M, Rodri'guez-Sinobas L, Sanchez R, Juana L, Losada A (2008) Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. Irrig Sci 26: 451-458. DOI 10.1007/s00271-008-0116-1.
- Güngör Y, Erözel AZ, Yıldırım O (2002) Sulama. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No:1525, Ders Kitabı: 478. Ankara.
- Kanber R (2002) Sulama. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:174, Ders Kitapları Yayın No: A-52, Adana.
- Karmeli D, Keller J (1975). Trickle irrigation design. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corp. Glendora.
- Mizyed N, Kruse EG (1989) Emitter discharge evaluation of subsurface trickle irrigation systems. Trans ASAE 32: 1223-1228.
- Oehlert GW (1992) A note on the delta method. Am Stat 46: 27-29
- Özdemir Y (2013) Aydın Bölgesinde Pamukta Topraküstü ve Toprakaltı Damla Sulama Uygulamalarının İrdelenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (2013-YL-044), Aydın.
- Philip JR (1992) What happens near a quasi-linear point source? Water Resour Res 28: 47-52.
- Radin, JW, Reaves LL, Mauney JR, French OF (1992) Yield enhancement in cotton by frequent irrigations during fruiting. Agron J 84(4): 551-557.
- Rodriguez-Sinobas L, Juana L, Losada A (1999) Effects of

- temperature changes on emitter discharge. J Irrig Drain Eng 125: 64-73.
- Schaap MG, Leij FJ, van Genuchten (2001) ROSETTA: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. J Hydrol 251: 163-176.
- Shani U, Xue S, Gordin-Katz R, Warrick, AW (1996) Soil-limiting from subsurface emitters. I: Pressure measurements. J Irrig Drain Eng 122: 291-295.
- Simunek J, Sejna M, van Genuchten, MTh (2006) The HYDRUS-2D software package for simulating two- and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media Version 1.0 PC Progress. Prague.
- Solomon PE (1977) Manufacturing variation of emitters in trickle irrigation systems. ASAE Paper 77-2009.
- Van Genuchten MTh (1980) A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci Soc Am J 44: 892-898.
- Warrick AW, Shani U (1996) Soil-limiting flow from subsurface emitters. II: Effect on uniformity. J Irrig Drain Eng 122(5): 296-300.

Sorumlu Yazar

Safiye Pınar TUNALI
pınar.gulmez@adu.edu.tr

Adnan Menderes Üniversitesi
Ziraat Fakültesi
Biyosistem Mühendisliği Bölümü AYDIN

Geliş Tarihi : 09.07.2015
Kabul Tarihi : 12.10.2015