

Damlatıcı Debileri ve Uygulanan Sulama Suyu Miktarlarına Bağlı Olarak Damlatıcı Aralıklarının Belirlenmesi

Cafer GENÇOĞLAN

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana-TÜRKİYE

Attila YAZAR

Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana-TÜRKİYE

Geliş Tarihi : 27.11.1995

Özet: Farklı damlatıcı debilerinin ve uygulanan sulama suyu miktarlarının toprak profilinde nem dağılımına etkileri ile ıslatılan toprak hacminde ıslanma cephesinden ve Wooding (1968) yönteminden yararlanarak damlatıcı aralığı belirlenmesinin amaçlandığı bu çalışma killi toprakta yürütülmüştür.

Araştırmada 16, 32 ve 64 L toplam sulama suyu 2, 4, 6 ve 8 L/h damlatıcı debileriyle ayrı ayrı uygulanmış ve sulamadan 48 saat sonra suyun damlatıcıdan itibaren yanal olarak 45-60 cm'ye dek ilerlediği saptanmıştır. Damlatıcı debisi ve uygulanan toplam sulama suyu miktarı arttıkça suyun yanal hareketi de artmıştır. Killi toprak için damlatıcı aralığı, debiye ve uygulanan sulama suyuna bağlı olarak 90-130 cm arasında değişmiştir. Toprağın bazı fiziksel özelliklerinden yararlanarak, Wooding (1968) yöntemiyle belirlenen damlatıcı aralığının ise 44-93 cm arasında değiştiği belirlenmiştir. Sulama suyunun 16 L uygulandığı koşullarda damlatıcı debileriyle damlatıcı aralıkları arasında ikinci dereceden, 32 L uygulanması durumunda ise doğrusal bir ilişki bulunmuştur.

Determination of Emitter Spacing Based on the Amount of Water Applied and Trickle Discharge Rates

Abstract: This study was conducted with the objectives of determining effect of trickle discharge rates and amount of irrigation water applied on water distribution in the soil profile and to estimate the emitter spacing by the Wooding method and wetting front in the wetted soil volume in a clay soil.

Total volume irrigation water of 16, 32 and 64 L were applied with discharge rates of 2, 4, 6 and 8 L/h and water has moved laterally to a distance of 45-60 cm from the trickle source 48 hrs after water application. Result of this study indicated that as the flow rates and amount of water applied increased, rate of moisture movement in the horizontal direction also increased. Experimental emitter spacing changed from 90 to 130 cm in the clay soil depending on the emitter discharge rates and volume of water applied. Using the same physical properties of soil, emitter spacing estimated by Wooding's equation varied from 44 to 93 cm.

A second order relation was obtained between the emitter flow rates and emitter spacings when a total of 16 L water was applied. When the amount of water applied was increased to 32 L, the relationship was linear.

Giriş

Damla sulama yöntemiyle sulanan alan miktarlarında, özellikle seracılığın yoğun olarak yapıldığı AKdeniz sahil şeridinde son yıllarda önemli artış kaydedilmiş ve damla sulama modern tarımda en önemli gelişim gösteren teknolojilerden biri durumuna gelmiştir.

Damla sulama sistemlerinin projelenmesinde ve işletilmesinde gözönüne alınan temel kriterlerden birisi de damlatıcı aralığıdır. Damlatıcı aralığı, toprak tipinin ve uygulanacak sulama suyu miktarı ile uygulama

süresinin bir fonksiyonudur. Bitki su gereksiniminin karşılanmasını güvence altına almak amacıyla yeterli hacimde toprağın ıslatılabilmesi için gerekli damlatıcı aralığının belirlenmesinde bu özelliklerin bilinmesi gerekir. Bir nokta kaynağından ıslatılan toprak hacmi esas olarak toprak bünyesi, su uygulama hızı ve uygulanan toplam su hacminin bir fonksiyonudur (1).

Goldberg ve Ark. (2), bir damlatıcı ile ıslatılan alanın üç faktöre bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Bunlar; toprak özellikleri, damlatıcı debisi ve bir sulamada uygulanan toplam sulama suyu miktarıdır.

Üç boyutlu su hareketi teorisi, arazide ve laboratuvarında yapılan çalışmalarla test edilmiştir. Wooding (3), bir damlatıcı altında, sıg ve toprak yüzeyinden göllenmiş küçük alandan oluşan infiltrasyonu teorik olarak hesaplamış ve laboratuvarında ölçülen değere yakın olduğunu belirlemiştir. Toprak yüzeyinde göllenmenin, damlatıcı debisi infiltrasyon hızına eşit veya daha büyük olduğunda oluştuğu ve infiltrasyon hızı azaldıkça veya damlatıcı debisi arttıkça göllenen su miktarının arttığı belirlenmiştir. Göllenen alan dışına su, toprakta doymun olmayan koşullarda hareket eder. Damlatıcıdan çıkan suyun, kapillar sistem içinde yavaşça veya yerçekimi kuvvetinin etkisiyle düşey yönde hızlı bir şekilde ilerlediği saptanmıştır. Bu nedenle bir damlatıcıdan oluşan su dağılımının toprağın fiziksel özelliklerinden belirlenebileceği saptanmıştır (4).

Bresler (5), ıslanma cephesinin, ıslatılan toprak hacminin bir göstergesi olduğunu bildirmiştir. Ayrıca, damlatıcı debisi ve toprağın hidrolik özellikleri, ıslanan toprak hacminin biçimine etki ettiğini belirlemiştir. Bunların yanında, toprağın ıslanma deseninin, herhangi bir toprak tipinde, suyun toprağa girdiği doymun alan büyüklüğünden ve damlatıcı debisinden etkilendiği de saptanmıştır.

Omary ve Ligon (6), toprak profilinin ilk 40 cm'sinin tınlı-kumlu, 40-65 cm'lik katmanı kumlu-tın ve 65 cm'den sonraki katmanı kumlu-kil olan bir toprakta yürüttükleri dönemde; ıslanma cephesinin kumlu-kil katmana kadar yatay ve düşey yönde aynı oranda ilerlediğini gözlemişlerdir. Yatay yöndeki ıslanma cephesi, kumlu-kil katmanın hidrolik iletkenliğinin çok düşük olması nedeniyle kumlu-tın katmandan sonra düşey yöne göre daha fazla ilerlediği saptanmıştır.

Clark ve Ark. (7), bir damlatıcı altındaki kumlu toprakta elektriksel iletkenlik ölçümlerinden yararlanarak ıslanma cephesini belirlemek için toprağa 1.5-1.9 L/h damlatıcı debileriyle su uygulanması sonucu ıslanma cephesinin yatay yönde 15.5-20 cm arasında ilerlediği gözlenmiştir.

Bresler ve Ark. (8); Levin ve ark. (9), kumlu topraklarda, bir damlatıcı altında laboratuvarında ve arazide yaptıkları denemelerde; damlatıcı debisi azaldıkça yatay su hareketinin azaldığını, düşey su hareketinin ise arttığını belirlemiştir. Mitchell ve Lembke (10), siltli-killi-tın toprakta yapılan bir denemede, damlatıcı debisinin ıslanma desenini değiştirdiğini gözlemişlerdir. Damlatıcı debisi arttıkça yatay yönde su hareketinin azaldığı, düşey yönde ise

arttığını saptamışlardır. Roth (11), kumlu topraklarda, toplam uygulanan suyun 95 L'den az olması durumunda ıslatılan hacmin yarım küre şeklinde olduğunu ve damlatıcı debisinin ıslatılan hacmin biçimine etkisi olmadığını belirlemiştir.

Mostaghimi ve Ark. (12), laboratuvarında siltli-killi-tın topraklarda farklı damlatıcı debileri ile sürekli ve aralıklarla su uygulamanın toprak profilinde nem dağılımlarını belirlemiştir. Sürekli uygulamada, ıslatılan hacmin düşey eksene göre simetrik olduğunu bulmuşlardır. Aynı miktarda suyun sürekli değil de aralıkla uygulanması ile yanlara su hareketinin arttığını gözlemişlerdir. Bunların yanında, damlatıcı debisi arttıkça su hareketinin düşey yönde arttığını, yatay yönde ise azaldığını saptamışlardır.

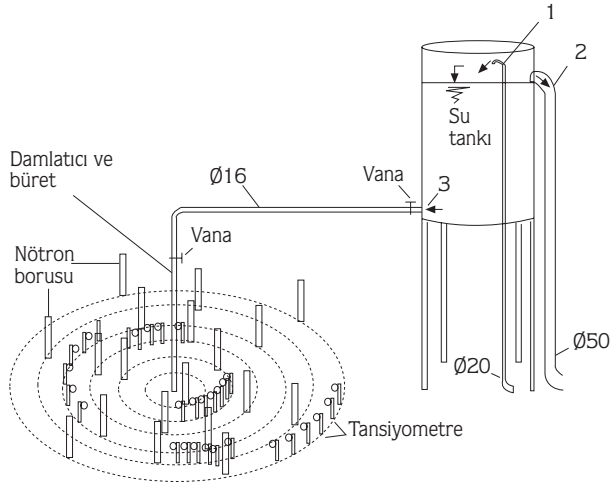
Materyal ve Metot

Araştırma Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Kültürteknik Bölümü Deneme Alanında 1990 yılı yaz aylarında yürütülmüştür. Deneme, ağır bünyeli Mutlu serisi toprakları üzerinde yapılmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü parselin bitişiğinden 90 cm'ye kadar her 30 cm'den alınan bozulmuş ve bozulmamış örneklere ilişkin fiziksel ve kimyasal özellikler belirlenmiştir. Killi olan bu toprağın hacim ağırlığı 1.19-1.29 g/cm³, tarla kapasitesi (Pw) % 33.60-38.40 ve solma noktası (Pw) % 25.5-26.8 değerleri arasındadır. Toprağın doymun su içeriği hacim esasına göre % 54.6'dır.

Doymun hidrolik iletkenlik laboratuvarında bozulmamış toprak örneklerinde Hollanda tipi permeametre aygıtında ölçülmüştür.

Doymun olmayan hidrolik iletkenlik, bozulmuş ve bozulmamış toprak örneklerinde saptanan toprak karakteristik eğrisinden yararlanarak Millington ve Quirk (13)'un önerdiği yöntemle göre belirlenmiştir. Anılan yöntemle belirlenen değerlerden yararlanarak hacimsel su içeriğine ve su yüküne karşılık gelen hidrolik iletkenlik değerleri hesaplanmıştır. (Ayrıca, doymun olmayan hidrolik iletkenlik, toprak karakteristik eğrisinden yararlanarak DRAIMOD adlı bilgisayar programı kullanılarak belirlenmiştir) (14).

Toprak profilindeki nem dağılımını belirlemek amacıyla arazide 2m x 2m boyutlarında bir deneme parseli oluşturulmuştur (Şekil 1). Buharlaşmayı önlemek için deneme parselinin üstü siyah plastikle kapatılmıştır. Damlatıcı, parselin orta noktasına gelecek biçimde bir düzenleme yapılmıştır. Damlatıcı merkezde olmak üzere 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 cm radyal



Şekil 1. Deneme parcelinde nötronmetre boruları ve tansiyometrelerin damlatıcıya göre konumları ve su sağlama tankının görünümü

uzaklıklara Şekil 1'de görüldüğü gibi nötron boruları; aynı uzaklıklarda farklı derinliklere de tansiyometreler yerleştirilmiştir.

Su bir hidranttan Şekil 1'de gösterilen düzenekteki bir boru ile alınmıştır. Denemede damlatıcı olarak bir büret kullanılmış ve istenilen damlatıcı debilerini ayarlamak için anılan bületin vanasından yararlanılmıştır. Damlatıcı debisinden fazla olan su 2 nolu çıkış borusu ile dışarı atılmıştır. Böylece 2 nolu çıkış borusu ile damlatıcı arasında sabit bir su yükü elde edilmiştir. Damlatıcı debileri sabit basınç altında, belirli bir sürede dereceli silindirde biriken su hacminden yararlanılarak bulunmuştur.

Bu denemede 2, 4, 6 ve 8 L/h'lik damlatıcı debileriyle toplam 16 ve 32 L; 2 ve 4 L/h'lik debilerle ise toplam 64 L su uygulanmıştır.

Toprak su içeriği nötronmetre yöntemiyle belirlenmiş ve su içeriği okumaları, sulama başlangıcında, sulama bitiminde, sulama başlangıcından 12, 24, 48 ve 72 saat sonra yapılmıştır. Nötronmetre okumaları damlatıcıdan itibaren yatay yönde 60 cm'ye kadar 10 cm aralıklarla ve 0-30, 30-45, 45-60, 60-75, 75-90 cm derinliklerde 3 yinelemeli olarak yapılmıştır.

Deneyel olarak damlatıcı aralığının belirlenmesinde, ıslatılan toprak hacmi ile bu anılan hacimde su içeriği tarla kapasitesinin üzerinde olduğu toprak hacminin boyutlarından yararlanılmıştır. Islatılan toprak hacminin yatay bileşeninin iki katı maksimum damlatıcı aralığı (Dmax); ıslatılan hacimde toprak su içeriğinin tarla

kapasitesinin üzerinde olduğu uzaklığın iki katı da minimum aralık (Dmin) olarak varsayılmıştır. Bitkiler, su ve besin maddesinden tarla kapasitesi civarında en kolay yararlandıkları için en düşük damlatıcı aralığı, su içeriğini tarla kapasitesinin üzerinde olduğu uzaklığın iki katı olarak alınmıştır. Uygulamada belirlenecek damlatıcı aralığı (D) $D_{min} \leq D \leq D_{max}$ arasında değişecektir.

Damlatıcı aralığının deneysel olarak saptanması yanında Wooding (3) yöntemi de kullanılmıştır. Bu yöntemde asimetrik silindirik akış modelinde, damlatıcı silindirin merkezinde olmak üzere toprağın kararlı, izotrop ve homojen poroz bir ortam olduğu, doymun ve doymun olmayan koşullarda Darcy yasasının uygulanabileceği varsayılmış ve anılan silindirik akış modeli eşitlik 1'de verilmiştir.

(1)

Burada; r, radyal koordinat; z; düşey koordinat; $K(\theta) = K^r(\theta) K^s$, toprağın hidrolik iletkenliği; θ , su içeriği; h, hidrolik yük; t, zaman; p, toplam basınç yüküdür.

Doğrusal olmayan eşitlik 1, matrik akı potansiyeline $S(p)$ benzer transformasyon ile su içeriği fonksiyonuna da $S(\theta)$ uygulanarak doğrusallaştırılmıştır. Bu eşitlik aşağıda verilmiştir;

(2)

Referans basınç P_0 , $P_0 = P(\theta)$ eşitliğinden belirlendiği zaman, genellikle referans değer, $P_0 \rightarrow \infty$ olarak seçilir.

Uygulamada toprak su içeriği sınırlı koşullar içinde değiştiğinden bazı zamanlar hidrolik iletkenlik fonksiyonu ($K_{(0)}$) histerisis olmayan koşullara yaklaşmaktadır. Anılan eşitlik;

$$K(p) = K_s \exp(\alpha p) \quad (3)$$

Eşitlik 2 ve 3, doğrusal olmayan eşitlik 1'de yerine

$$Z = 0; \quad 0 \leq r \leq \rho_u \quad S_{(0)} \int_{\rho_0}^0 K(p) dp = S_s = \frac{K_s - K_0}{\alpha} \quad (4)$$

nsiyel eşitlik elde edilir.

Eşitlik 4, $d\theta/dS$ sabit olduğu varsayılarak doğrusallaştırılabilir (15). Kararlı koşullarda eşitlik 4'ün sol tarafa sıfır olur ve sözkonusu eşitlik, Wooding (3)'in bir damlaticı altında oluşan infiltrasyonu kestiren doğrusallaştırılmış eşitliğine dönüşür. Bir damlaticı altındaki doymuş ve suyun toprağa girdiği küçük göllenmiş alandaki transformasyon değişkeni ($S(p)$) aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$(5)$$

$$\rho_u = \left[\frac{4}{\alpha^2 \pi^2} + \frac{Q}{K_s} \right]^{0.5} - \frac{2}{\alpha \pi}$$

$$a = \frac{\alpha \rho_u}{2}$$

Burada; $S_s = S$ ($p=0$) doymuş topraktaki S değeri; ρ_u , göllenmiş alanın yarıçapı; K_s , doymuş hidrolik iletkenlik (cm/h);

a , toprak özelliklerini yansıtan sabit bir değerdir (cm^{-1}). Toprağın özelliğini yansıtan α sabiti $\ln K(h)/K_s = \alpha (h-h_a)$ eşitliğinden bulunmuştur. Anılan eşitlikte, K_h ; herhangi bir su içeriğine karşılık gelen hidrolik iletkenlik, h ; doymuş koşullardaki su yükü, h_a ; doymuş olmayan koşullardaki su yüküdür.

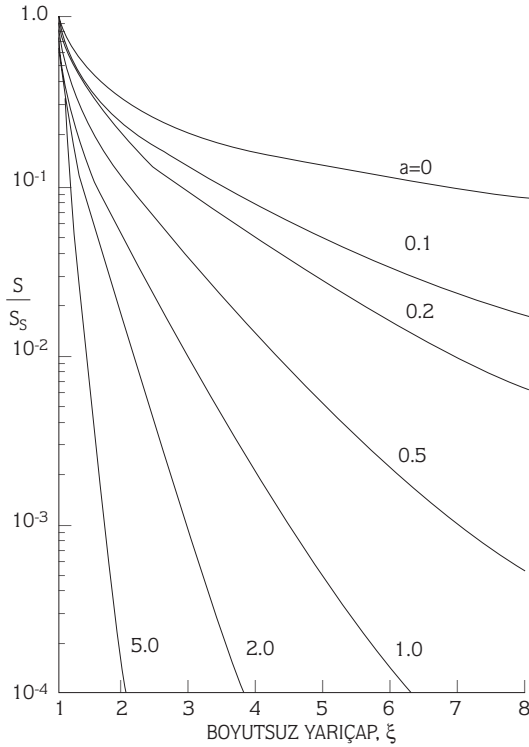
Toprak yüzeyinde oluşan doymuş su giriş bölgesinin yarıçapı başlangıçta küçük, infiltrasyon süresince genişlemekte ve belli bir süre sonra sabit değere ulaşmaktadır. Doymuş bölgenin yarıçapı esas olarak doymuş hidrolik iletkenliğe ve damlaticı deisine bağlıdır. Damlaticı altında oluşan doymuş bölgenin yarıçapı, toprağın hidrolik özelliklerine (K_s ve α) bağlı olarak aşağıda verilen Wooding (3) eşitliğiyle hesaplanmıştır.

$$(6)$$

$$(7)$$

Burada: a , oransal uzunluk (boyutsuz) ve Q , damlaticı debisidir (cm^3/h).

Bu yöntemde, yetiştirilecek bitkiye göre damlaticı aralığını hesaplamada iki damlaticı arasındaki kritik toprak nem geriliminin (h_c) bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 2. Toprak yüzeyinde boyutsuz yarıçapın fonksiyonu olarak yedi farklı toprak için S/S_s değerleri (5)

Kritik toprak nem gerilimi, verimde azalmaya neden olmayacak gerilim değeridir (15). Hidrolik iletkenlik $K(h_c)$, kritik nem gerilimi değerinden $K(h_c) = K_s \exp(\alpha \cdot h_c)$ ilişkisi ile bulunmuştur.

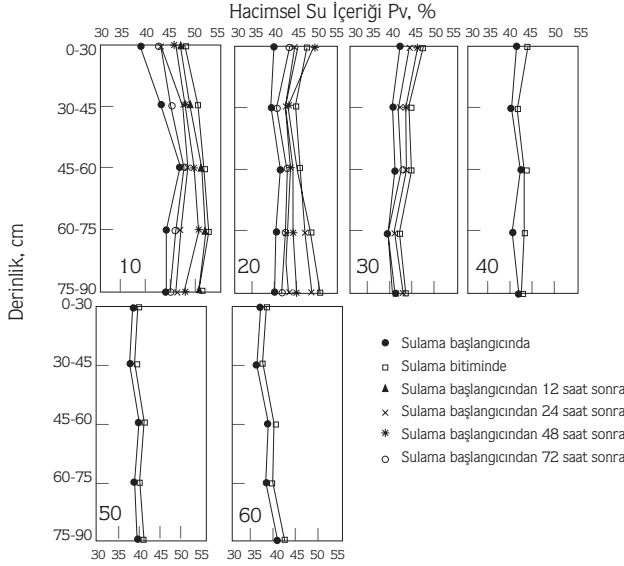
Eşitlik 2, suyun toprağa girdiği küçük göllenmiş alanın dışında $S=(K-K_0)/\alpha$ şeklinde yazılabilir. Burada: K , hidrolik iletkenlik (cm/h); K_0 , hava girişindeki hidrolik iletkenlik (cm/h) değeridir. Denklemde, K_0 değeri, ıslanma cephesi dışında çok küçük olması nedeniyle ihmal edilmiştir. Dolayısıyla yukardaki eşitlik $S=K/\alpha$ şeklinde yazılabilir. Anılan eşitlik boyutsuz olarak $S(h_c)/S(h_s) = K(h_c)/K(h_s)$ şekline dönüştürülebilir.

Burada: $S(h_c)$, kritik nem değerine karşılık gelen; $S(h_s)$, doymuş neme karşılık gelen transformasyon

değişkenidir; $K(h_c)$, kritik nemdeki hidrolik iletkenlik ve $K(h_s)$ doymun koşullardaki hidrolik iletkenliktir.

$S(h_c)/S(h_s)$ ve a değerlerine karşılık gelen boyutsuz yarıçap (ϵ) değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Boyutsuz yarıçaptan yararlanarak iki damlatıcı arasındaki uzaklık (d , cm) $d = 2 \cdot \alpha \cdot \rho_u$ eşitliğiyle hesaplanmıştır (15).

Sonuçlar ve Tartışma



Şekil 3. Damlatıcıdan 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 cm uzaklıklardaki toprak su profil eğrileri (Damlatıcı debisi 2 L/h uygulanan sulama suyu miktarı 16 litredir)

Çalışma başlangıcında deneme parselinde eşdeğer bir nemi dağılımını elde etmek amacıyla 90 cm derinliğe kadar toprak profili su ile doydurulmuştur. Söz konusu toprak hacminde kullanılabilir nem düzeyi % 80'e düştüğünde denemeye başlanılmıştır. Bu denemede 2, 4, 6 ve 8 L/h'lik damlatıcı debileriyle toplam 16 ve 32 L; 2 ve 4 L/h'lik debilerle toplam 64 L sulama suyu uygulanmıştır.

Toplam 16 L suyun 2 L/h damlatıcı debisiyle uygulandığı koşullarda damlatıcıdan 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 cm uzaklıklarda sulama başlangıcında,

Tablo 1. Damlatıcı debilerine ve sulama suyu miktarlarına göre suyun yanal hareketi (cm)

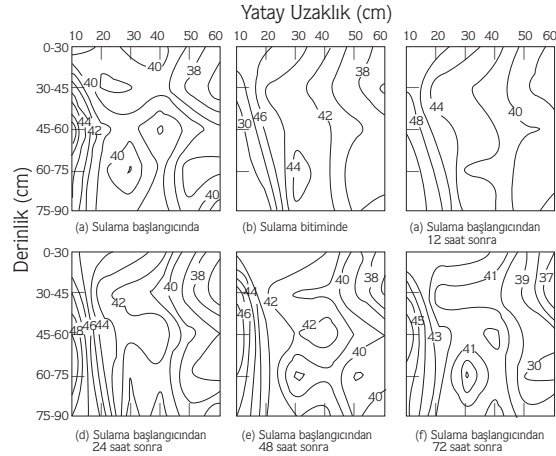
Damlatıcı Debileri (L/h)	2		4		6		8			
Sulama Suyu Miktarları (L)	16	32	64	16	32	64	16	32	64	
Derinlik (0-30)	45	55	60	50	55	65	55	60	55	60

sulama bitiminde, sulama başlangıcından 12, 24, 48 ve 72 saat sonra toprak profilinin 0-90 cm derinliğinde gözlenen su içerikleri Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, damlatıcıdan 10, 20, 30 ve 40 cm uzaklıklarda başlangıç su içeriklerinin, uygulanan suyun yanal hareketi sonucu arttığı saptanmış ve damlatıcıdan ortalama 50 ve 60 cm uzaklıklarda ise başlangıç neminin çok az değiştiği belirlenmiştir. Bu da suyun yanal hareketi sonucu 40-50 cm arasında bir uzaklığa kadar ilerlediğini göstermektedir.

Diğer damlatıcı debilerinde uygulanan sulama suyu miktarlarından elde edilen eş su dağılım ve nem profilleri (16) makalede yer sınırlı olduğu için verilmemiştir.

Söz konusu damlatıcı debileri ile yukarıda belirtilen toplam sulama sularının uygulanması durumunda ıslanma cephesinin yatay bileşeninin damlatıcıdan olan uzaklıkları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo incelendiğinde, aynı damlatıcı debisiyle (2 L/h) farklı miktarlardaki sulama suyunun (16, 32 ve 64 L) uygulanması sonucu, suyun damlatıcıdan itibaren yatay



Şekil 4. (a, b, c, d, e ve f). Bir damlatıcı altındaki farklı ölçüm zamanlarında toprak profilindeki eş su dağılım eğrileri (Damlatıcı debisi 2 L/h, uygulanan sulama suyu miktarı 16 litredir).

yönde sırasıyla 45, 55 ve 60 cm'ye kadar ilerlediği görülmüştür. Bu değerlere göre, uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça yanal olarak ıslanma cephesi artmıştır. Ayrıca uygulanan su miktarının toprak profilinde nem dağılımını belirleyen önemli bir etmen olduğu da açıktır. Armstrong ve Wilson (17), ıslatılan toprağın şekline ve hacmine damlatıcı debisinden çok, uygulanan su hacminin etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Farklı damlatıcı debileriyle (2, 4, 6 ve 8 L/h) 16,

32 ve 64 L sulama suyu uygulanması sonucu toprak profilinin 0-30 cm'lik katmanından elde edilen ıslanma cephesinin yatay bileşenleri Tablo 1'de incelendiğinde; damlatıcıdan itibaren sırasıyla 45, 50, 55 ve 55 cm; 55, 55, 60 ve 60 cm; 60 ve 65 cm'ye kadar ilerlediği görülmüştür.

Sulama başlangıcına ilişkin toprak su içeriği değerleri Şekil 4a'da verilen eş su dağılım eğrilerinden görüldüğü gibi % 36.38 ile % 46.73 arasında değişmiş ve ortalama hacimsel su içeriği % 40.32 olarak bulunmuştur.

İlk denemede toplam 16 L sulama suyu 2 L/h'lik damlatıcı debisiyle 8 saatte uygulanmıştır. Sulamanın hemen bitiminde yapılan nem gözlemleri değerlerinden yararlanarak oluşturulan eş su dağılım eğrileri Şekil 4b'de verilmiştir. Damlatıcıdan 20 cm uzaklığa dek ve toprağın 45-90 cm derinlikleri arasında hacimsel su içeriği % 50 olarak bulunmuştur. Anılan hacim içerisinde toprak su içeriği doygunluğa yaklaşmıştır. Damlatıcıdan 20, 30, 40, 50 ve 60 cm uzaklıklarda ve toprak profilinin 0-90 cm derinliğinde ortalama hacimsel su içeriği yüzde olarak sırasıyla 46, 43, 42, 39 ve 38 olarak saptanmıştır. Damlatıcıdan 30 cm uzaklığa kadar hacimsel su içeriği tarla kapasitesinin (TK = % 43) üzerinde olduğu belirlenmiştir. Sulama bitiminde, damlatıcıdan 45 cm uzaklıkta ve 0-30 cm'lik toprak katmanında su içeriğinin başlangıca göre değişmediği (Şekil 3b) bunun yanında toprak profilinde 90 cm'nin altına sızma olmadığı gözlenmiştir.

Sulama başlangıcından 12 saat sonra ölçülen su içeriği değerlerine ilişkin eş su dağılım eğrileri ise Şekil 4c'de verilmiştir. Anılan şekilden görüleceği gibi, toprak profilinin 60-90 cm derinliğinde ve damlatıcıdan itibaren 18 cm uzaklığa dek hacimsel su içeriğinin % 50 civarında olduğu belirlenmiştir. Damlatıcıdan 20, 30, 40, 50 ve 60 cm uzaklıklarda ve toprak profilinin 0-90 cm derinliğinde ortalama hacimsel su içeriği değerleri ise sırasıyla % 46, 44, 42, 39 ve 38 olarak ölçülmüştür. Damlatıcıdan uzaklaştıkça su içeriği azalmış ve damlatıcıdan 30 cm uzaklığı kadar, toprak profilinde su içeriğinin tarla kapasitesinden daha yüksek olduğu saptanmıştır. Damlatıcıdan 50 cm uzaklıkta ise su içeriğinin değişmediği gözlenmiştir. Sulama başlangıcından 12 saat sonra, toprak profilinde 90 cm'nin altına sızma kaybı olmuş, ancak suyun yanal hareketi sonucu 45 cm'den ileriye gidemediği saptanmıştır.

Sulama başlangıcından 24 saat sonraki su içeriği değerlerine ilişkin eş su dağılım eğrileri Şekil 4d'de verilmiştir. Anılan şekilde damlatıcıdan 25 cm'ye kadar

0-90 cm toprak profilinde su içeriğinin % 43 ile % 50 arasında değiştiği ve nemin tarla kapasitesi üzerine çıktığı belirlenmiştir. Damlatıcıdan uzaklaştıkça, toprak profilindeki nem içeriği % 36 ile % 42 arasında değişmiştir. Sulama başlangıcından 24 saat sonraki ve sulama başlangıcındaki su içerikleri karşılaştırıldığında, suyun yanlara doğru 45 cm'den daha fazla ilerlemediği saptanmıştır. Sulama başlangıcından 24 saat sonra suyun, toprak profilinde 90 cm'nin altına sızdığı belirlenmiştir.

Sulama başlangıcından 48 saat sonra ölçülen su içeriği değerlerinin eş su dağılım eğrileri, Şekil 4e'de görüldüğü gibi damlatıcıdan 20 cm uzaklığa kadar ve toprak profilinin 30-90 cm derinliğindeki su içeriği % 43-50 arasında değişmiştir. Söz konusu uzaklık ve derinlikte su içeriğinin tarla kapasitesinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Tarla kapasitesinin üzerindeki su, 90 cm'nin altına sızarak kaybolmuş ve sulama başlangıcından 48 saat sonraki su içerikleri bir önceki gözlem zamanına göre daha da azalmıştır. Damlatıcıdan 20 ile 60 cm arasındaki su içeriği % 37-42 arasında değişmiştir. Söz konusu zamanda toprak neminin yatay yönde 45 cm'ye kadar ilerlediği belirlenmiştir.

Sulama başlangıcından 72 saat sonra toprak profilinde gözlenen su içeriği değerlerine ait eş nem eğrileri Şekil 4f'de verilmiştir. Anılan şekilden görüldüğü gibi damlatıcıdan 20 cm uzaklığa kadar toprak profilinin 20-90 cm'lik katmanında su içeriği % 43-46 arasında değiştiği ve dolayısıyla tarla kapasitesinin üzerinde olduğu görülmüştür. Sulama başlangıcından 72 saat sonra nem, yanal olarak 45 cm'ye kadar ilerlemiş ve toprak profilinde 90 cm'nin altına az da olsa sızmanın olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, damlatıcı debisi ve uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça yanal su hareketi de artmıştır. Brandt ve Ark. , (18); Warrick (19) modellerinde, küçük debilerde ıslatılan hacmin düşey bileşenin daha derin; yatay bileşenin ise daha dar

Tablo 2. Toprak neminin tarla kapasitesinden büyük veya eşit olduğu hacmin yarıçapı

Damlatıcı Debileri (L/h)	2		4		6		8	
Sulama Suyu Miktarları (L)	16	32	64	16	32	64	16	32
Sulama Bitiminde	30	45	45	30	45	50	40	40
Sulama Başl. 12 saat sonra	30	-	-	25	45	-	40	40
Sulama Başl. 24 saat sonra	25	40	-	20	42	50	20	30
Sulama Başl. 48 saat sonra	20	30	45	x	20	30	15	20
Sulama Başl. 72 saat sonra	20	19	20	x	15	30	15	18

x: (Tarla kapasitesinin altında)

olduğunu belirtmişlerdir. Bresler ve Ark., (8); Levin ve Ark., (9) kumlu toprakta damlatıcı debisi arttıkça yatay su hareketinin azaldığını, düşey su hareketinin ise arttığını gözlemişlerdir. Anılan araştırmacıların bulguları ile bu çalışmanın sonuçları benzerlik göstermektedir. Ancak Bar-Yosef ve Sheikholislami (20)'nin; Mostaghimi ve Ark., (12)'nin yapmış oldukları denemelerin sonuçları ile de çelişkilidir.

Bir damlatıcı tarafından ıslatılan toprak hacminde, su içeriğinin tarla kapasitesinin üzerinde olduğu hacmin yarıçapları Tablo 2'de verilmiştir. Anılan tablo incelendiğinde, 16 L su, 2 L/h'lik damlatıcı debisiyle uygulanması sonucu, su içeriği hemen sulama bitiminde

Tablo 3. Farklı damlatıcı debilerinde ve sulama suyu miktarlarında elde edilen deneysel damlatıcı aralıkları

Damlatıcı Debileri (L/h)	2		4		6		8	
Sulama Suyu Miktarı (L)	16	32	64	16	32	64	16	32
Dmax, (cm)	90	110	120	100	110	130	110	120
Dmin, (cm)	60	90	90	60	90	100	80	90

damlatıcıdan itibaren 30 cm'ye; 64 L su 4 L/h'lik damlatıcı debisiyle uygulanması durumunda 50 cm'ye kadar tarla kapasitesinin üzerinde olduğu bulunmuştur. Sulama başlangıcından 72 saat sonra sızma kayıpları nedeniyle tarla kapasitesi üzerindeki hacim küçülmüştür. Anılan ölçüm zamanda 4 L/h debiyle 64 L suyun uygulanması sonucu damlatıcıdan itibaren 30 cm'ye kadar geri çekildiği saptanmıştır. Söz konusu hacimdeki nem içeriğinin tarla kapasitesi üzerine çıkması, sulama başlangıcındaki toprak su içeriğine ve uygulanan sulama suyu miktarına bağlanabilir.

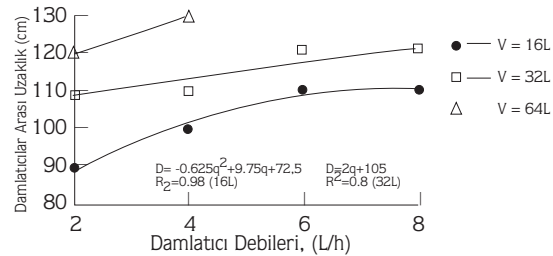
Tekil damlatıcıyla farklı debilerde ve sulama suyu miktarlarında sulanan ağır bünyeli toprağın ıslanma cephesi hacminin çapı; en büyük, tarla kapasitesi ve üzerine çıktığı hacmin yarıçapı ise en küçük damlatıcı aralığı olarak belirlenmiş ve Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'de görüldüğü gibi ağır bünyeli topraklarda en geniş damlatıcı aralığı 64 L sulama suyunun 4 L/h damlatıcı debisiyle uygulandığı koşullarda elde edilmiş ve bu değer yaklaşık 130 cm olarak belirlenmiştir. En küçük damlatıcı aralığı ise 16 L sulama suyunun 2 ve 4 L/h debilerle uygulandığı koşullarda 60 cm olarak

saptanmıştır. Damlatıcı aralığı, damlatıcı debisi ve uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça artmıştır.

Bu araştırmada, Wooding (3) yöntemine göre hesaplanan damlatıcı aralıkları toprağın hidrolik özelliklerine (K_s , K ve α) ve damlatıcı debisine (Q , cm^3) bağlı olarak belirlenmiştir (Tablo 4). Damlatıcı debisi arttıkça damlatıcı aralığı, 44 cm'den 93 cm'ye çıkmıştır. $p_u = [4/\alpha^2 \pi^2 + Q/K_s \pi]^{0.5} - 2/(\alpha \pi)$ eşitliğindeki α ve K_s 'nin değeri büyüdükçe doymun koşullardaki bölgenin yarıçapı daralmakta ve damlatıcı debisi

Tablo 4. Wooding (3) yöntemiyle hesaplanan damlatıcı aralıkları

$K_s = 1.45 \text{ cm/h}$ $\alpha = 0.0207 \text{ cm}^{-1}$ $V = 16 \text{ L}$				
q, (L/h)	2	4	6	8
d, (cm)	44	62	77	93



Şekil 5. Damlatıcı debileri ile damlatıcı aralıkları arasındaki ilişki

arttıkça ise genişlemektedir. Yukarıdaki denklemde $K_s = 1.45 \text{ (cm/h)}$, $\alpha = 0.0207 \text{ cm}^{-1}$ ve $Q=2 \text{ L/h}$ değerlerini kullanarak Wooding (3) yöntemine göre $h_c = -70 \text{ cm}$ kritik nem gerilimi değerinde damlatıcı aralığı 62 cm bulunmuştur. Bresler (5), $\alpha = 0.025 \text{ cm}^{-1}$, $K_s = 0.84 \text{ cm/h}$, $h_c = -70 \text{ cm}$ değerlerini kullanarak aynı damlatıcı debisinde anılan yöntemle göre, damlatıcı aralığını 63 cm olarak hesaplamıştır. Çalışmada, sözkonusu yöntemle göre damlatıcı aralığının hesaplanmasında α 'nın değeri, su yükü-hidrolik iletkenlik eğrisinde hava giriş değerine karşılık gelen değer olarak alınmıştır. Deneysel olarak belirlenen minimum damlatıcı aralıkları ile Wooding (3) yöntemine göre hesaplanan damlatıcı aralıkları arasında

Kaynaklar

1. Gençoğlan, C., Yazar, A., Ağır Bünyeli Topraklarda Farklı Damlatıcı Debilerinin ve Uygulanan Toplam Sulama Suyu Miktarının Nem Dağılımına Etkisi, Toprak İlimi Derneği, 12. Bilimsel Toplantısı 23-28 Eylül Şanlıurfa, 1991.

2. Goldberg, D., Gornat, B., Rimon, D., Drip Irrigation: Principles Design and Agriculture Practices. Drip Irrigation Scientific Publication; Kafar Shumar Yahu 296 p Israel, 1976.
3. Wooding, R.A., Steady Infiltration from a Shallow Circular Pond. Water Resour. Res. Vol. 4: 1259-1273, 1968.

4. Clothier, B.E., Scotter, D.E., Three Dimensional Infiltration and Trickle Irrigation, ASAE Paper No: 83-2518, 1985.
5. Bresler, E., Analysis of Trickle Irrigation with Application to Design Problems. Irrigation Science Vol. 1: 3-17, 1978.
6. Omary, M., Ligon, J.T., Tree-Dimensional Movement of Water and Pesticide from Trickle Irrigation. ASAE of Transactions Vol. 35 (3): 811-821, 1992.
7. Clark, C.A., Sranley, F. S., Zazueta, F. S., Qualitative Sensing of Water Movement from a Point-Source Emitter on a Sandy Soil. ASAE of Transactions Vol. 9 (3): 299-303, 1993.
8. Bresler, E., Hiller, J., Diner, N., Ben-Asher, I., Brant, A., Goldberg, D., Infiltration from a Trickle Source. 11. Experimental Data and Theoretical Predictions. Soil Sci. Soc. Am. Proc. Vol. 35: 683-689, 1971.
9. Levin, I., Van Rooyen, P.C., Van Rooyen, F.C., The Effect of Discharge Rate Intermittent Water Application by Point Source Irrigation on the Soil Moisture Distribution Pattern. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol. 43: 8-16, 1979.
10. Mitchell, J.K., Lembke, W.D., Effect of Discharge Rate on Distribution of Moisture in Heavy Soils From a Irrigated Trickle Source. ASAE Paper No: 81-2081 p, 1981.
11. Roth, R.L., Soil Moisture Distribution and Wetting Pattern from a Point Source. Proceeding of the Second International Drip Irrigation Course. San Diego, California, 1974.
12. Mostaghimi, S., Mitchell, K.J., Lembke, W.D., Effect of Discharge Rate on Distribution of Moisture in Heavy Soils Irrigated from a Trickle Source. ASAE Paper No: 81-2081, 21-24 p 1981.
13. Millington, R.J., Quirk, D.P., Permeability of Porus Media. Nature 183, 387-388 p 1959.
14. Anonymous Bio, Drainmod Agr. Eng. Dept. North Carolina State University, Raleigh, N.C., USA, 1988.
15. Bresler, E., Trickle-Drip Irrigation: Prenciples and Application to Soil- Water Management. Adv. Agron 29: 343-393, 1977.
16. Gençoğlan, C., Ağır bünyeli Topraklarda Farklı Damlatıcı Debileri ve Uygulanan Toplam Sulama Suyu Miktarlarının Nem Dağılımına Etkisi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 1991.
17. Armtstrong, F., Wilson, T.V., Moisture Distribution in Stratified Soil Under and Trickle Source. ASAE Paper No. 82-2061, 27-30 p, 1982.
18. Brandt, A., Bresler, E., Diner, N., Ben-asher, J., Goldberg, D., Infiltration from a Trickle Source. I. Mathematical Models, Soil Soc. Amer. Proc., Vol. 35: 675-682 p, 1971.
19. Warrick, A., W., Time-Dependent Linearized Infiltration. I. Point Sources. Soil Sci. Soc. Am. Pro. V. 38: 383-386 p, 1974.
20. Bar,Yosef, B., Sheikholislami, M.R., Distribution of Water and Ions in Soils Irrigated and Fertilized from a Trickle Source. Soil Sci. Soc. Am. J. Vol 40: 575-583 p, 1976.