

YAĞMURLAMA SULAMA SİSTEMLERİNDE MAKSİMUM SU UYGULAMA SÜRESİ VE YİNELEME SAYISININ BELİRLENMESİ

Cafer GENÇOĞLAN
KSÜ., Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve
Sulama Bölümü
Kahramanmaraş

Serpil GENÇOĞLAN
ÇÜ., Fen. Bilimleri Enst.
Tarımsal Yapılar ve
Sulama Anabilim Dalı
Adana

Kenan UÇAN
KSÜ., Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve
Sulama Bölümü
Kahramanmaraş

ÖZET

Harran Ovası Şanlıurfa-Koruklu TÜBİTAK Tarımsal Araştırma ve Geliştirme İstasyonu Harran serisi topraklarında, yağmurlama infiltrasyon testi değerleri kullanılarak Kostiakov infiltrasyon eşitliği toprak parametreleri belirlenmiştir. Bu eşitlikten yararlanılarak Horton eşitliği toprak karakteristik parametreleri bulunmuştur. Bu parametreleri kullanarak, yağmurlama hızının ($P=13.61\text{mm/h}$) gerçek infiltrasyon hızından ($I_g=7.1\text{ mm/h}$) büyük seçildiği yağmurlama sulama işletme koşullarında maksimum yağmurlama süresi (MYS) eşitlikleri geliştirilmiştir. Bu koşullarda deneysel, Horton ve Kostiakov'a göre MYS sırasıyla 4.17, 4.09 ve 2.69 saat bulunmuş; yineleme sayısı ise deneysel, Horton ve Kostiakov'a göre sırasıyla 1.12, 1.14 ve 1.73 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu işletme koşullarında sulamanın, yüzey akış ve erozyon olmadan %44 oranında daha kısa sürede yapılacağı belirlenmiştir.

DETERMINATION OF MAXIMUM RUN TIME AND NUMBER OF REPEATED CYCLES PER SPRINKLER IRRIGATION APPLICATION

ABSTRACT

Soil parameters of Kostiakov infiltration equation were determined by using data the sprinkler test conducted on the Harran Soil Series of Şanlıurfa-Koruklu TÜBİTAK Agricultural Research and Development Station in the Harran Plain. The Soil characteristic parameters of Horton equation were found by using soil parameters of this equation. Under the conditions of selected precipitation rate ($P=13.61\text{ mm/h}$) being greater than the steady infiltration rate of soil ($I_g=7.1\text{mm/h}$) for sprinkler irrigation system, maximum run time equations were derived from these parameters. Under these conditions, according to experimental, Horton and Kostiakov, periods of maximum run time were predicted 4.17, 4.09 and 2.69 h respectively. The number of repeated cycles per irrigation was also estimated as 1.12, 1.14 and 1.73, respectively. As far as same management conditions were concerned, it was determined that irrigation could be completed in a time period 44% shorter without runoff and erosion.

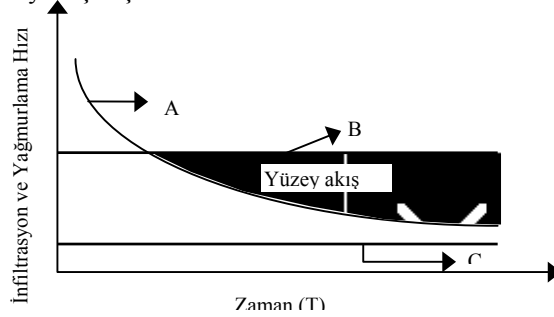
GİRİŞ

Yağmurlama sulama sistemi, değişik özelliklere ve sistem kapasitesine sahip olduğundan, bir çok bitki için sulanabilir nitelikteki her toprakta rahatlıkla kullanılabilir (1).

Sulama suyu, yeterli yağmurlayıcı aralığına sahip periyodik hareketli sistemlerle 3 mm/h'in üzerindeki herhangi bir hızda uygulanabilir. Değınilen özellik, su alma hızının çok düşük olduğu ağır bünyeli topraklarda bile sistemin kullanılmasını sağlar. Ancak, suyun düşük hızda türdeş biçimde uygulanması için gerekli en uygun yağmurlayıcının, işletme basıncının, başlık aralığının ve dolayısıyla yağmurlama hızının seçilmesine özen gösterilmelidir. Ayrıca anılan sistemler, bitki-toprak-iklim koşullarından dolayı 5-7 günden daha sık sulamaya gerek göstermeyen alanlar için uygundur. Öte yandan düşük su tutma kapasitesine sahip topraklar ve sıg köklü bitkiler, az su verilerek sık sulanırlar. Böylesi koşullarda sabit veya sürekli-hareketli sistemler daha uygun niteliktedirler. Ancak toprağın infiltrasyon hızı düşük ise dairesel döngülü veya hareketli tabanca tipi yağmurlayıcılar gibi periyodik-hareketli sistemler kullanıldığında yüzey akış sorunları ortaya çıkabilir (2).

Yağmurlama sulama yöntemiyle sulanan alanlarda yağmurlama hızı, toprağın infiltrasyon kapasitesinden daha az su uygulayacak şekilde projelendiğinde ya da toprak yüzeyindeki çukurlar tamamen su ile dolana veya yüzey akış oluşturmayacak miktarda toprak yüzeyinde su birikene kadar çalıştırıldığında yüzey akış oluşmayabilir.

Şekil 1'de görüldüğü gibi yağmurlama sulama yöntemi, koşullara bağılı olarak 2 farklı şekilde işletilebilir. Bunlardan birincisi yağmurlama hızının toprağın gerçek infiltrasyon hızından büyük seçildiği işletme şeklidir. Bu işletme şekli, genelde sabit yağmurlama sistemlerinin tesis edildiği koşullarda uygulanır. Anılan işletme şeklinde sulama başladıktan hemen sonra infiltrasyon kapasitesi yağmurlama hızından (B) büyüktür. Bu nedenle yağmurlama sulama yöntemiyle uygulanan tüm su toprağa infiltre olur. Ancak, infiltrasyon kapasitesi zamanla azalır ve toprağın infiltrasyon kapasitesi yağmurlama hızına ($A=B$) eşit olur. Zaman ilerledikçe infiltrasyon kapasitesi azalır ve x eksenine asimptot olur. Bu değere gerçek infiltrasyon denir. Derin ve homojen toprakların gerçek infiltrasyon hızı toprağın doymun hidrolik iletkenliğine eşittir. Zaman daha da ilerledikçe infiltrasyon kapasitesi azalır ve yağmurlama hızından küçük olur. Anılan noktadan sonra sulamaya devam edildiğinde, eğime, yüzeydeki küçük çukurlara ve bitki kalıntılarına bağılı olarak toprak yüzeyinde bir miktar su daha depolanabilir. Bundan sonra yüzey akış başlar.



Şekil 1. Yağmurlama hızı ve infiltrasyon kapasitesinin şematik görünümü

İkincisi ise yağmurlama hızı C gerçek infiltrasyon kapasitesi değerinin altında seçilirse sulama süresi sona erene kadar yüzey akış oluşmaz. Uzun süreli sulama yapan taşınabilir yağmurlama sulama sistemlerinde uygulama hızı genellikle gerçek infiltrasyon hızından küçük seçilir (3).

Uzun zamandır çim alanlarının yağmurlama yöntemiyle sulanmasına rağmen yüzey akış oluşmadan maksimum yağmurlama sulama süresi hala çözümlenememiştir. Diğer bir deyişle, bir sulamada gereksinim duyulan sulama süresi maksimum çalıştırma süresini aşarsa yüzey akış oluşmaya başlar. Arazi uygulamalarında, yüzey akışı önlemek için maksimum yağmurlama süresini ve buna bağlı yağmurlama sulama yineleme sayısı belirlenmelidir. Sulayıcılar, bu zamanı ya deneme yanılma yoluyla ya da eski deneyimlerinden yararlanarak saptamaktadırlar (4).

Türkiye’de tarım ve özellikle de çim alanları son yıllarda sabit veya hareketli yağmurlama sulama sistemleriyle yaygın halde sulanmaktadır. Ancak, yağmurlama hızının gerçek infiltrasyon hızından büyük seçildiği veya toprak infiltrasyon hızının çeşitli etmenler nedeniyle yağmurlama hızının altına düştüğü koşullarda veya sık sulanan alanlarda, bitkinin gereksinimi olan tüm suyu bir defada verilmeye çalışıldığında bir süre sonra yüzey akış başlar ve dolayısıyla erozyon sorunu ortaya çıkabilir. Yüzey akış ve erozyon problemini en aza indirebilmek için farklı toprak tipleri için MYS’ni belirlemeye ihtiyaç vardır. Bu çalışmanın amacı, Harran Serisi toprağı için gerçek infiltrasyondan büyük seçilen yağmurlama hızı ve infiltrasyon kapasite eğrisi kullanılarak maksimum yağmurlama süresini (MYS) (yüzey akış başlama zamanını) ve bir sulamadaki yağmurlama yineleme sayısını hesaplamaktır.

MATERYAL VE METOD

Bu çalışma, Horton ve Kostiakov eşitlikleriyle yağmurlama infiltrasyon testi değerlerini kullanılarak MYS’ni, bu iki eşitliğin hangisinin MYS yakın olduğunu ve yağmurlama yineleme sayısını belirlemek amacıyla Harran Ovasında Şanlıurfa-Koruklu TÜBİTAK Tarımsal Araştırma ve Geliştirme İstasyonunda Harran serisi topraklarında yürütülmüştür. Bu seri, alüvyal ana materyaller üzerinde oluşmuş düz ve düze yakın eğimli derin topraklardır. Üst toprak orta köşeli blok sonra granüler, alt toprak kuvvetli iri prizmatik sonra kuvvetli orta köşeli blok yapıdadır (5).

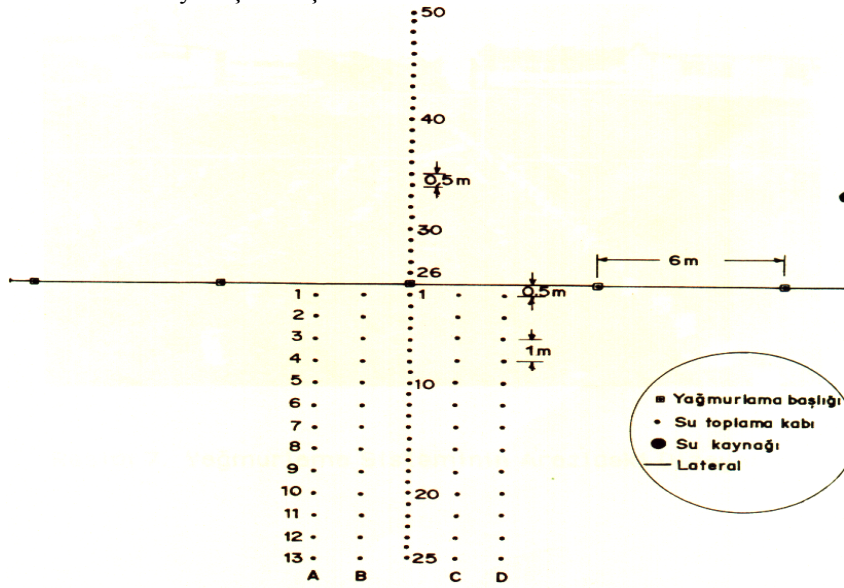
Harran Serisi killi bünyeye sahip topraklardır (Tablo 1). Anılan toprağın tarla kapasitesi %31.69-32.38, solma noktası %21.20-21.53 ve hacim ağırlığı 1.31-1.37 g/cm³ arasında değişmiştir. Profiline 90 cm’lik derinliğinde toprağın fiziksel özelliklerinde fazla bir değişiklik gözlenmemiştir.

Tablo 1. Harran Serisi Toprağının Kimi Fiziksel Değerleri (10)

Toprak Katmanı (cm)	Tarla Kapasitesi (%)	Solma Noktası (%)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Tuz (%)	Kireç (%)	Kil (%)	Kum (%)	Silt (%)	Bünye Sınıfı
0-30	31.94	21.53	1.32	0.20	20.22	61.64	8.85	29.51	C
30-60	31.69	21.20	1.37	0.165	20.03	66.06	8.56	25.35	C
60-90	32.38	21.53	1.31	0.156	19.45	66.98	8.76	24.26	C

Killi bünyeli olan Harran serisi toprağı yüksek infiltrasyon hızına sahiptir (6). Harran Ovasında yapılmış olan çift silindir testinde Karaata (7) infiltrasyon hızını 1.2-11.6 cm/h, Yıldırım ve Selenay (8) 0.45-1.4 cm/h arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ayrıca infiltrasyon hızı, Harran serisinin değişik ölçüm noktalarında 3.26-9.53 cm/h arasında değiştiği saptanmıştır (9).

Yağmurlama sistemleri kullanılarak infiltrasyon hızı ölçümlerinde, 6 metrelik yağmurlama sulama boruları ($\phi 75$) bir hat boyunca araziye dizilerek 30 metre uzunluğunda bir lateral oluşturulmuştur. Bu 6 metrelik sulama borularının arasına meme çapı 4.5x4.8 mm olan iki memeli, 12x12 metre tertip aralığında 2 atm. işletme basıncında yağmurlama hızı (P) 13.61 mm/h olan (11) 5 adet yağmurlama başlığı yerleştirilmiştir. Çapı 10 cm olan 102 adet su toplama kabı Şekil 2'deki gibi yerleştirilmiştir. Üçüncü başlık orta nokta seçilerek lateralin 0.5 m. uzağına gelecek şekilde aynı sıraya 1'er metre aralıkla 5 adet su toplama kabı dizilmiştir. Her bir hatta toplam 13 kap 1'er metre aralıklarla sıralanmıştır. Merkezdeki hatta ise 0.5 m. aralıkla 25 kabı yerleştirilmiştir.



Şekil 2. Yağmurlama infiltrasyon testinin genel görünüşü

Üçüncü başlığın hizasında lateralın karşı tarafına 25 kap aynı şekilde sıralanarak numaralandırılmıştır. Yağmurlama infiltrasyon sistemi 2 atmosfer işletme basıncında, 90cm'lik toprak profilinde kullanılabilir su içeriği %50'ye düştüğünde çalıştırılmış ve rüzgar hızının sıfıra yakın olduğu sabah saatlerinde yapılmıştır.

Yağmurlama yöntemi ile infiltrasyon hızı belirlenirken toprak yüzeyinde ışımaya (parlak ıslaklık) oluşumu gözlenmiştir. Yüzeyde ışımaya görüldüğünde yağmurlama hızının infiltrasyon hızına eşit olduğu varsayılarak, ışımının oluştuğu

an ve ışınma konumu kaydedilmiştir. Işımanın oluştuğu konumlarda yüzey akış başladığı zaman bir daha o bölgeye bakılmamıştır (12). Deneme bitince su toplama kaplarında toplanan suyun miktarları ölçülmüştür. Işıma görülen konumlarda yer alan su toplama kaplarında biriken su miktarlarının ortalaması alınmıştır. Testlerde yağmurlama süresi ile ortalama su miktarları çarpılıp toplam uygulama zamanına bölünerek toplanan su hacmi cm^3 olarak belirlenmiştir. Bu değer, su toplama kabının alanına bölünerek yığışımlı infiltrasyon bulunmuş, buradan da infiltrasyon hızları hesaplanmıştır. Daha sonra zamanın ve infiltrasyon hızlarının logaritması alınarak regresyon analizi yapılmıştır. Anılan regresyon analizi değerlerinden yararlanılarak Kostiakov eşitliğinin parametreleri bulunmuştur.

Yukarıdaki anlatılan infiltrasyon hızının bulunması aşağıdaki şekilde kısaca ifade edilebilir.

$$I = \frac{V_0}{MYS \cdot A} \quad (1)$$

Eşitlikte, I = infiltrasyon hızını (cm/h), V_0 = toplam su hacmini (cm^3), MYS= infiltrasyon test süresini (h) (bu süre maksimum yağmurlama süresine (MYS) eşittir), A= su toplam kabının alanını (cm^2) göstermektedir.

Maksimum Yağmurlama Süresinin (MYS) Belirlenmesi

Yağmurlama hızının (P), toprağın gerçek infiltrasyon hızından (I_g) büyük seçtiği işletme koşullarında sulamaya başladıktan bir süre sonra yüzey akış başlayabilir. Yüzey akışın oluşmaya başladığı süreye MYS'i denir. Bu çalışmada MYS'i, infiltrasyon testi süresine eşit alınmıştır. MYS'i, Horton ve Kostiakov yöntemleriyle aşağıda geliştirilmiş eşitliklerden belirlenmiştir.

1-Horton Eşitliğine Göre

Horton $I = f_c + (f_0 - f_c) e^{-bt}$ şeklinde bir eşitlik önermiştir. Bu eşitlikte; I, infiltrasyon hızı; f_c , f_0 ve b toprağa ait karakteristik sabitelerdir. Test başlangıcında infiltrasyon hızı sonsuz olmayıp, f_0 sonlu değerine sahiptir. b, I'nin f_0 'dan f_c 'ye ne kadar çabuk geldiğinin bir göstergesidir. Bu eşitliğin entegrali alınıp t'nin kesin bir işlevi olan bir I değeri sağlanır (13).

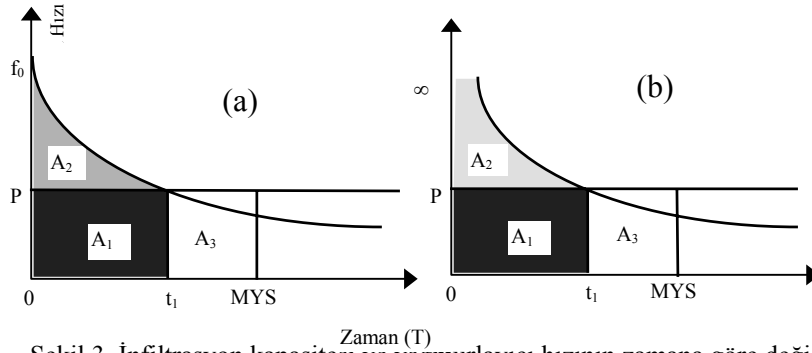
Horton eşitliğindeki, f_c , f_0 ve b değerlerini belirleyebilmek için yağmurlama infiltrasyon değerleri kullanılarak geliştirilen Kostiakov eşitliğinden yararlanılmıştır. Kostiakov eşitliğindeki zaman parametresi t yerine 0.017 saatten 4.33 saate kadar belirli aralıklarla değerler verilerek infiltrasyon hızları bulunmuştur. Bu değerlerin grafikleri çizilmiş, y eksenini kestiği nokta f_0 ve infiltrasyon değerinin sabitleştiği nokta ise f_c olarak alınmıştır. Eşitlikteki b, f_c ve f_0 karakteristik toprak parametreleri ile 0.017 ve 1.83 (saat) (infiltrasyon hızının sabitleşmeye başladığı nokta civarı) zamanındaki infiltrasyon değerleri kullanılarak bulunmuştur.

Infiltrasyon kapasitesi değişimi ve yağmurlama hızının (P) Şekil 3a'daki gibi kabul edilerek, t_1 anında P ile toprağın infiltrasyon hızı biri birlerine eşit olduğu varsayılarak Horton eşitliği $P = f_c + (f_0 - f_c) e^{-bt_1}$ şeklinde yazılabilir.

Buradan da Eşitlik 2 yazılabilir.

$$t_1 = -\frac{1}{b} \ln \left(\frac{P - f_c}{f_0 - f_c} \right)$$

(2)



Şekil 3. İnfiltasyon kapasitesi ve yağmurlayıcı hızının zamana göre değişimi

Şekil 3a'dan görüldüğü gibi yağmurlama hızı P olan (belirli başlık ve lateral tertip aralığı ile işletme basıncında) bir yağmurlama sulama başlığı ile bir tarım arazisi t_1 süresi kadar sulandığında P doğrusu altındaki A_1 alanı kadar su uygulayacaktır. Başlangıç infiltrasyon kapasitesi f_0 'ı, t_1 zamanına karşılık gelen infiltrasyon kapasitesine getirmek için A_1 alanı kadar değil de $(A_1 + A_2)$ alanlarının toplamı kadar su uygulanması gerekmektedir. Bunun için de ek A_3 alanı kadar fazla suyun uygulanmasına gereksinim vardır. Bunun için de aşağıdaki Eşitlik 3 ve 4 yazılabilir.

$$A_3 = A_2 \quad (3)$$

$$A_3 = P \cdot MYS - P t_1 \quad (4)$$

Yalnız entegrali alınırken t 'nin fonksiyonu olarak değil de infiltrasyon hızının fonksiyonu alınmıştır. Bunun için de Horton eşitliği $f(t) = f_c + (f_0 - f_c) e^{-bt}$ infiltrasyon hızının fonksiyonu olarak Eşitlik 5 aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$h(v) = -\frac{1}{b} \ln \left(\frac{f(t) - f_c}{f_0 - f_c} \right) \quad (5)$$

A_2 'nin alanı, Eşitlik 5'in P'den f_0 'a kadar entegrali alınarak bulunabilir (Eşitlik 6).

$$A_2 = \int_P^{f_0} h(v) dv \quad (6)$$

Eşitlik 4 ve 6 biri birine eşitlendiğinde Eşitlik 7 elde edilir.

$$P \cdot MYS - P t_1 = -\frac{1}{b} \int_P^{f_0} \ln \left(\frac{v - f_c}{f_0 - f_c} \right) dv \quad (7)$$

Değişken değiştirerek $x = (v - f_c) / (f_0 - f_c)$ şeklinde yazılabilir ve her iki tarafın türevini alıp tekrar düzenlediğimizde $dv = dx(f_0 - f_c)$ olur (14).

Bu da entegralde yerine yazıldığında ve gerekli düzenlemeler yapıldığında Eşitlik 8 elde edilir.

$$P \cdot MYS - Pt_1 = -\frac{(f_0 - f_c)}{b} \left| x \ln x - x \right|_{\frac{p-f_c}{f_0-f_c}}^1 \quad (8)$$

Eşitlik 8'de X ve t₁ yerine değerlerini koyularak ve gerekli düzenlemeler yapıldığında Şekil 3a'da görülen MYS eşitliği 9 bulunur.

$$MYS = \frac{1}{Pb} \left[(f_0 - P) + f_c \ln \frac{(f_0 - f_c)}{(p - f_c)} \right] \quad (9)$$

(4) Hung ve Krinik (1995)'de MYS eşitliğini, infiltrasyon eğrisini, entegrasyon tanımı şeklinde ifade ederek bulmuştur.

2- Kostiakov Eşitliğine Göre

Kostiakov, infiltrasyon hızını $I=Bt^{-n}$ eşitliği ile tanımlamıştır. Burada B ve n toprak sabiteleridir. Sözkonusu eşitlikte zaman ilerledikçe infiltrasyon sifıra yaklaşır. Bu eşitlik tamamen ampirik olup horizon bakımından zayıf topraklarda infiltrasyon hızını ifade etmek için oldukça uygundur (13).

Bu eşitlikte t=0 anındaki infiltrasyon kapasitesi bilinmemektedir (Şekil 3b). Bu nedenle A₂'nin alanı bulunurken entegralin sınır değerleri P'den ∞ kadar alınmıştır. Kostiakov eşitliği t'ye göre çözümlenirse $t=(I/B)^{-1/n}$ olur ve entegrali yazıldığında Eşitlik 10 bulunur.

$$A_2 = \int_p^\infty \left(\frac{I}{B} \right)^{\frac{1}{n}} dI \quad (10)$$

Eşitlik 10'nun entegralini $0 < n < 1$ aralığında alındığında Eşitlik 11 elde edilir.

$$A_2 = \frac{n}{1-n} B^{\frac{1}{n}} P^{\frac{n-1}{n}} \quad (11)$$

A₂=A₃ eşittir. A₃'ün alanı Eşitlik 12 şeklinde yazılabilir.

$$A_3 = \frac{P \cdot MYS}{-Pt_1} \quad (12)$$

t₁ noktasında Kostiakov Eşitliği $P=Bt_1^{-n}$ denktir. t₁ için çözümlenirse çektiğimizde bu eşitlik $t_1=(P/B)^{-1/n}$ şeklini alır. A₂ ve A₃'ün değerleri eşitlendiğinde Eşitlik 13 bulunur.

$$P \cdot MYS - Pt_1 = \frac{1}{1-n} B^{\frac{1}{n}} P^{\frac{n-1}{n}} \quad (13)$$

Eşitlik 13'de t₁ yerine koyup düzenlendiğinde Şekil 3b'de gösterilen MYS Eşitliği 14 elde edilir.

$$MYS = \frac{1}{1-n} \left(\frac{B}{I} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (14)$$

Yineleme Sayısının Bulunması

Yağmurlama hızının, I_g 'den büyük seçildiği işletme koşullarında sistem, yüzey akış olana kadar çalıştırılır ve durdurulur. Bu işleme, gerekli sulama suyu uygulanana kadar devam edilir. Sulama suyunun tamamı uygulanana kadar yapılan sistemi çalıştırma-durdurma sayısına yineleme sayısı denir. Yineleme sayısı Eşitlik 15 ile bulunmuştur.

$$Y_s = \frac{t}{MYS} \quad (15)$$

Eşitlikte, Y_s ; yineleme sayısı, t ; sulama süresi (h), MYS ; maksimum yağmurlama süresi (h)'dir.

Herhangi bir bitkinin etkili kök derinliği 90 cm ve kullanılabilir su %50'ye düştüğünde (15) sulama yapılacağı varsayılmıştır. Sulama suyu miktarı, Tablo 1'deki tarla kapasitesi, solma noktası ve hacim ağırlığı değerlerinden 30 cm'lik katmanlar halinde ayrı ayrı hesaplanarak bulunmuştur. Sulama süresi ise (t) Korukçu ve Yıldırım (16)'ın önerdiği Eşitlik 16 ile bulunmuştur

$$t = \frac{d_t}{P} \quad (16)$$

Eşitlikte d_t ; sulama suyu miktarı (mm), P , yağmurlama hızıdır (mm/h).

BULGULAR VE TARTIŞMA

İnfiltrasyon testine sabah saat 5:20'de hızı 13.61 mm/h olan yağmurlayıcılarla başlanılmış ve 9:30 da sona erdirilmiştir. Test sonucunda kaplarda biriken su miktarları ölçülerek Tablo 2'de verilmiştir. Anılan tablonun son sütununda, sıralarda biriken su miktarlarının ortalaması alınmıştır. İnfiltrasyon test süresi yüzey akışın olmaya başladığı MYS 4.17 saattir. Tablo 3'de ışımamın görüldüğü sıralar ve oluşma zamanları verilmiştir. Aynı anda ışıma görülen sıraların ortalaması alınmıştır (Örneğin 1,2,3,4 ortalaması 358.75 cm³). Sıralarda yüzey akış oluşmaya başladığı an, o sıralarda infiltrasyon testine son verilmiştir. İnfiltrasyon hızı, Eşitlik 1'de $V_0=358.75$ cm³, $MYS=4.17$ h ve $A=78.54$ cm² değerlerini yazılarak 1.1 cm/h olarak bulunmuştur. Diğer infiltrasyon hızları da aynı şekilde belirlenmiştir. Zamanın ve infiltrasyon hızlarının logaritması alınarak regresyon analizi yapılmıştır (17). Bu analiz sonucunda belirleme katsayısı 0,79 çıkmıştır. B ve n katsayıları sırasıyla $10^{0.88396} = 7.66$ ve -0.427 olarak bulunmuştur. Bu değerler Kostiakov eşitliğinde yerine konulduğunda $I = 7.66t^{-0.427}$ ($r^2=0.79^{**}$) şeklinde bir eşitlik elde edilmiştir. Bu eşitlik değerlerini kullanarak Horton eşitliğinin parametreleri Tablo 4'deki gibi bulunmuştur. Bu parametrelerin Horton eşitliğinde yerine yazılması ile $f(t)=0.71+(9.5-0.71)e^{-1.79t}$ şeklinde bir eşitlik elde edilmiştir.

Horton eşitliğindeki $f_0=9.5$ cm/h, $f_c=0.71$ cm/h ve $b=1.79$ ile yağmurlama hızı $P=13.61$ mm/h değerlerini Horton eşitliğinden türetilen Eşitlik 9'da yerine yazıldığında $MYS=4.09$ saat; aynı şekilde Kostiakov eşitliğindeki $B=7.66$ ve $n=-0.427$ parametrelerini Eşitlik 14'de yerine koyup işlemler yapıldığında da $MYS=2.69$ saat olarak bulunmuştur. Yağmurlayıcı hızı 13.61 mm/h olan başlıklarla yapılan yağmurlama infiltrasyon testi sonucunda MYS 4.17 saat olarak bulunmuştur. Eğer P , gerçek infiltrasyon hızı 7.1 mm/h'den küçük seçilmiş olsaydı sulama süresince yüzey akış oluşmayacaktı. Horton ve Kostiakov eşitliklerinden

geliştirilen MYS'i, deneysel MYS'den sırasıyla 0.08 ve 1.48 saat daha azdır. Yukarıdaki değerlere göre Horton MYS eşitliği, deneysel MYS'ne Kostiakov MYS eşitliğinden daha yakın sonuçlar vermektedir. Hung ve Krinik (4)'de, Horton eşitliğinden elde edilen maksimumu yağmurlama eşitliğinin diğer infiltrasyon eşitliklerinden elde edilen maksimum yağmurlama eşitliklerinden daha doğru sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir.

Tablo 2. Su Toplama Kaplarında Biriken Su Miktarı (cm³)

Kap Sırası	Kap Hatları				Orta Sıra		Ort.
	A Sırası	B Sırası	C Sırası	D Sırası			
1	370	400	400	360	410	400	390.0
2	360	380	360	330	370	360	360.0
3	360	370	330	320	350	350	346.7
4	350	360	330	310	350	330	338.3
5	335	350	320	315	280	310	318.3
6	310	320	300	300	320	310	310.0
7	270	280	290	285	290	270	280.8
8	220	230	250	240	250	225	235.8

Tablo 3. Yağmurlama Testinden Elde Edilen Ortalama Su Miktarları ve İnfiltrasyon Değerleri

İşma Zamanı (dak.)	İşma Görülen sıralar	K. Biriken Ort. Su (cm ³)*	İnf. (cm/h)
100	1.2.3.4	358.75	1.1
130	5.6	315	0.96
135	4.5.6	322	0.99
155	7.8	258	0.79
190	7.8	258	0.79
235	7.8	258	0.79

*Tüm test alanında yüzey akış başlayana kadar su toplama kaplarında biriken su miktarıdır. Bu süre 4.17 saattir.

Tablo 4. Horton Eşitliği Parametreleri ve İnfiltrasyon Değerleri

Toprak İnf. Parametreleri	Zaman (saat)	İnf. (cm/h)
f_0	0	9.5
	0.017	7.66
	1.67	1.07
f_c	4.33	0.71
b	1.79	

Horton ve Kostiakov MYS, deneysel MYS'den sırasıyla 5 ve 89 dakika daha erken yağmurlama sulama bitirildiği için yüzey akış problemi olmayabilecek, ancak daha sonra yağmurlama sulama tekrarlama sayısını arttırabilecektir.

Yineleme sayısını bulmak amacıyla aşağıda deneysel, Horton ve Kostiakov MYS eşitliklerinden elde edilen değerleri kullanarak bir örnek çözülmüştür. Bunun

için önce toprak profilinin 90 cm'lik su içeriği %50'ye düştüğünde sulamaya başlanacağı varsayılarak Tablo 1'in değerlerinden yararlanarak sulama suyu $d_i=63.5$ mm olarak hesaplanmıştır. Sulama süresi, yağmurlayıcı hızının ($P=13.61$ mm/h 12x12 tertip aralığında ve 2 atm. işletme basıncında) toprağın gerçek infiltrasyon hızından ($I_g=7.1$ mm/h) büyük olduğu işletme koşullarda, $d_i=63.5$ mm ve $P=13.61$ mm/h değerlerini Eşitlik 16'da yerlerine koyarak işlemler yapıldığında 4.67 h, küçük olduğu ($P=6.04$ mm/h 12x12 tertip aralığında ve 2 atm.) (11) işletme koşullarında ise 10.51 h bulunmuştur. MYS, toprağın infiltrasyon özelliklerine ve seçilen P'nin büyüklüğüne göre azalabilir veya artabilir. Deneysel, Horton ve Kostiakov MYS'leri sırasıyla 4.17, 4.09 ve 2.69 saattir. P'nin, I_g 'den büyük seçildiği koşullarda yineleme sayısı, Eşitlik 15'den Deneysel, Horton ve Kostiakov göre sırasıyla 1.12, 1.14 ve 1.73 olarak hesaplanmıştır. Horton eşitliği değerinden yararlanarak hesaplanan yineleme sayısı, deneysel yineleme sayısına daha yakın bulunmuştur. Bu değerler, sulamanın yaklaşık 2 yinelemede yapılacağını göstermektedir. Deneysel verilerden elde edilen sonuçlara göre, sulamanın 1. yinelemesinde 4.17 saat sulama yaptıktan sonra bir müddet beklenecek ve sonra 2. yineleme yapılacaktır. İkinci yineleme de 0.50 saatte tamamlanacaktır. Bu iki yinelemenin tamamlanması sonucunda toplam sulama süresi 4.67 saat olacaktır. Eğer $P < I_g$ şeklinde seçilseydi sulama süresi 10.51 h olacaktır.

P'nin, I_g 'den büyük seçildiği işletme koşullarda %44 oranında daha kısa sürede sulama yapılacaktır. Böylece sulama kısa sürede tamamlanacağı için zaman ve yüzey akışı en aza indirildiği veya tamamen durdurulduğu için su tasarrufu sağlanabilecektir. Bunun sonucunda erozyon önlenmiş olacaktır. Aynı zamanda bakım ve onarım masrafları azalacaktır. Eğer küçük seçilirse Çevik ve Ark. (18)'da belirttiği gibi güç israfına ve sulamanın gereksiz uzamasına yol açacaktır. Diğer yandan yağmurlama sulama yapılacağı öngörülerek planlanan Harran Ovası kurak iklime sahip olup buharlaşma çok yüksektir (19). Bu nedenle yağmurlama sistemleri ile sulanacağı düşünülerek planlanan bu gibi alanlarda $P > I_g$ seçilerek, buharlaşma kaybı azaltılabilir ve sulama randımanı yükseltilebilir.

Bu çalışmanın sonucunda, Hung ve Krinik (4), belirttiği gibi Horton eşitliğinde sınır koşullarının seçiminin kolay olması yanında deneysel MYS'ne ve yineleme sayısına daha yakın sonuç vermesi nedeniyle Horton eşitliğinden elde edilen MYS ve yineleme sayısı önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. KELLER, J., BLIESNER, R.D.,1990. Sprinkler and trickle Irrigation. An Avi Book, Van Nostrand Reinhold Pub. New York, 651s.
2. KANBER, R.,1997. Sulama. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:174. Ders Kitap Yayın No: 52. Adana.
3. JAMES, L.G.,1988. Principle of Farm Irrigation System Design. John Wiley and Sons Inc., New York, 543s.
4. HUNK, H.J., KRINIK, A.C.,1995. Maksimum Run Time For Sprinkling Irrigation. Microirrigation A For Changing World: Conserving Resources/Preserving The Environment. Proceeding of the fifth International

- Congress. Edited by Freddie R. Lamn. April 2-6,1995 Hyatt Regency Orlando, Florida. Published by American Society of Agricultural Engineers.
5. DİNÇ, U., PEKEL, E., ERKAN, O., GENCER, O., ÇEVİK, B., TUZCU, Ö., SAĞLAMTİMUR, T., 1989. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Şanlıurfa Koruklu Araştırma ve Geliştirme İstasyonu Toprakları. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi V. Dönem Durum Raporu, GAP Yayınları No:25 Adana 208s.
 6. ŞAFAK, S., 1991. Urfa Harran Serisi Topraklarının İnfiltrasyon Özelliklerini Belirlemede Kullanılabilecek Yöntemler Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kültürteknik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
 7. KAARATA, H., 1984. Urfa-Harran Ovası Sulama Rehberi. Tarım Orman Köyişleri Bakanlığı, Toprak su Genel Müdürlüğü Şanlıurfa Bölge Topraksu Araştırma Enst. Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No:10 Rapor Yayın No:8 Ş.Urfa. 72 s.
 8. YILDIRIM, O., SELENAY, M.F., 1986. Harran Ovasında Yüzeysel Sulama Yöntemlerinin Uygulanabilme Olanakları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kültürteknik Bölümü Çalışmalarından, Ankara.
 9. ERŞAHİN, S.,1990. Harran Ovasında Önemli ve Yaygın Altı Toprak Serisinin İnfiltrasyon Hızları ile Bazı Temel Özellikleri Arasındaki İlişkiler. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enst. Toprak Anabilim Dalı (Master Tezi), Adana.
 10. YAZAR, A., OĞUZER, V., TULÜCÜ, K., ARIOĞLU, H., GENÇOĞLAN, C., DİKER, K. 1991. Harran Ovası Koşullarında Açık Su Yüzeysel (Class A Pan) Buharlaşmasından Yararlanarak İkinci Ürün Soya için Sulama Programının Geliştirilmesi. T.C. Başbakanlık Güneydoğu Anadolu Projesi Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı. Ç.Ü. Zir. Fak. GAP, Yayınları No:45. Temmuz 1991, Adana.
 11. ANONİM, Ege Yıldız Yağmurlama Başlıkları (Broşürü).
 12. HART, W.E.,1975. Infiltration. Irrigation System Design. Department of Agricultural and Chemical Engineering Colorado State University.
 13. HILLEL, D., 1980. Infiltration and Surface Runoff. Application of Soil Physics.
 14. KARADENİZ, A., A., 1983. Yüksek Matematik, Cilt1. Çağlayan Kitabevi. Beyoğlu, İstanbul.
 15. GENÇOĞLAN, C., 1996. Mısır Bitkisinin Su-Verim İlişkileri, Kök Dağılımı ile Bitki Su Stresi İndeksinin Belirlenmesi ve CERES-Maize Bitki Büyüme Modelinin Yöreyle Uyumluluğunun İrdelenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar Sulama Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.
 16. KORUKÇU, A., YILDIRIM, O., 1981. Yağmurlama Sistemlerinin Projelenmesi. Topraksu, Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı, Ankara.
 17. YURTSEVER, N., 1984. Deneysel İstatistik Metotları. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Köyhizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No:121. Teknik Yayın No:156, Ankara.
 18. ÇEVİK, B., TEKİNEL, O., KANBER, R. 1989. Bahçe Bitkileri Sulama Tekniği. Ç.Ü. Ziraat Fak. Ders Kitab, No: 102, Adana.
 19. TEKİNEL, O., ÇEVİK, B., KANBER, R., BAYTORUN, N., 1989. Güneydoğu Anadolu Sulama Projesi (GAP) Özeti. Ankara Üni. Zir. Fak. 7 Haziran 1989, Ankara