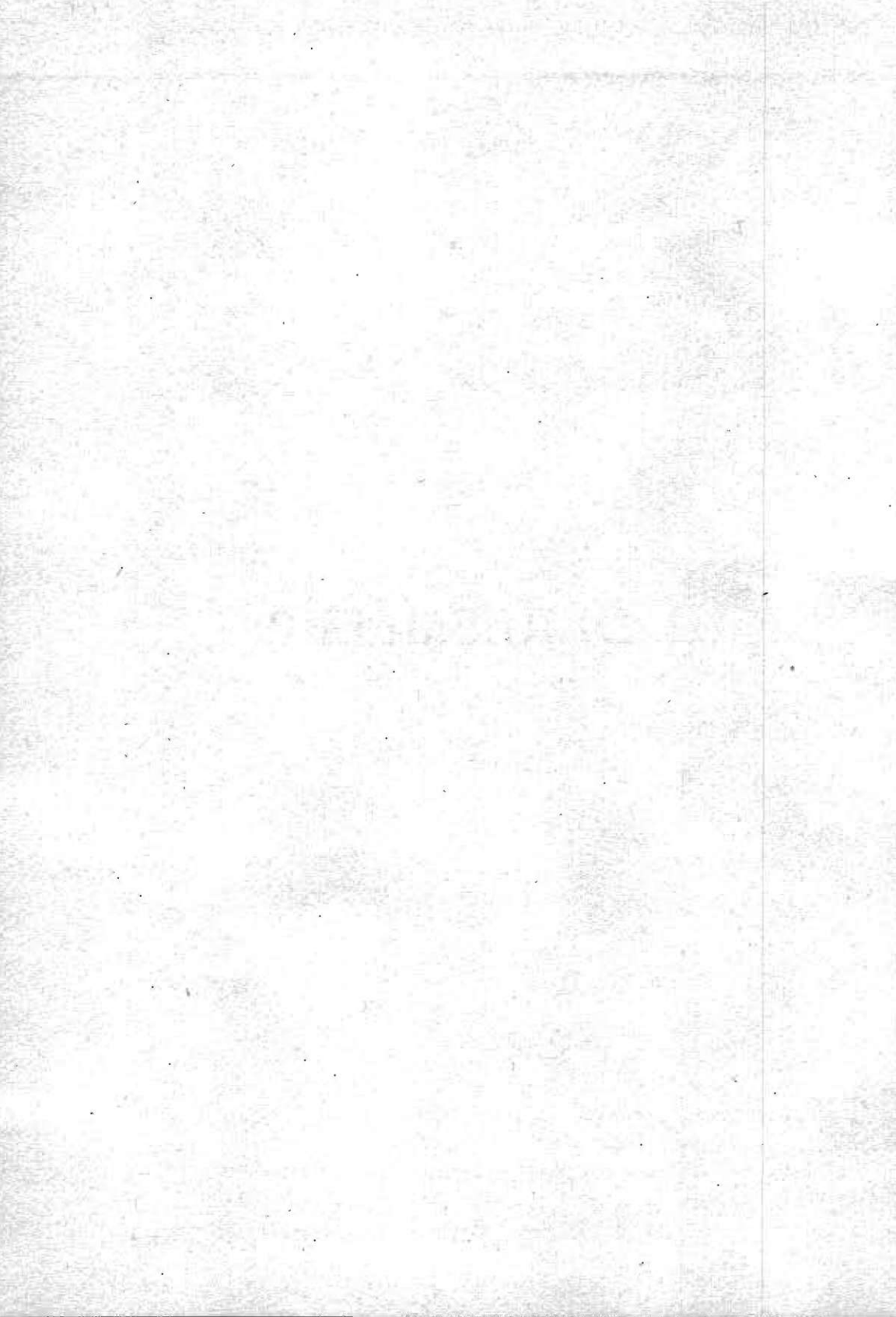


### **III. DERLEMELER**



# YÜZEY SULAMADA SUYUN İLERLEME-EMİLME İLİŞKİLERİ VE İLERLEME VERİLERİNDEN İNFİLTASYON PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Lokman Delibaş (1)

Mustafa Okuroğlu (1)

## Özet

*Yüzeyaltı sulama dışında tüm sulama yöntemlerinde, su doğrudan toprak yüzeyine uygulanmakta ve oradan infiltrasyon yoluyla toprağa girerek bitkilerin daha sonraki kullanımları için kök bölgesinde depo edilmektedir. Bu bakımdan tarlaya uygulanan suyun toprağa giriş hızının bilinmesi sulama sistemlerinin planlanmasında ilk şarttır. Sulama ünitelerinin optimum boyutlandırılması, tarlaya uygulanacak su debisinin ne olacağı ve bu debinin ne kadar süre ile uygulanması gerektiğinin belirlenmesi toprağın infiltrasyon hızının doğru bir şekilde ölçülmesine bağlıdır.*

*İnfiltrasyon hızının ölçülmesinde kullanılmak üzere çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin uygulanabilirlik ve verdiği sonuç bakımından birbirlerine göre bazı üstün ve dezavantajlı yönleri vardır. Son yıllarda geliştirilmiş olan hacimdenge yöntemi pek çok araştırmacı tarafından tarla koşullarında denenmiş ve oldukça iyi sonuçlar vermiştir.*

## Giriş

Kısaca, toprak yüzeyinde bulunan suyun toprağa girişi olarak tanımlanan infiltrasyon toprak-su ilişkilerinin değerlendirilmesinde önemli bir unsurdur. Sulama sistemlerinin projelenmesi ve işletilmesindeki başarı birinci derecede toprakların infiltrasyon karakteristiklerinin iyi bilinmesine bağlıdır. Tarlaya ne kadar su verilmesi gerektiği ve bu suyun hangi sürede verileceğinin planlanmasında toprakların infiltrasyon özelliklerinden yararlanır. Ayrıca uygulayıcı tarlaya verdiği suyun ne kadarının toprağa girdiğini, ne kadarının yüzey akış ya da derine sızma yoluyla bitkiye yararlı halden uzaklaştığını bilmek ister. İşte bu durumların analizi, yüzey sulamada tava ve karık uzunluklarının uygun bir şekilde

(1) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Kültürteknik Bölümü, Erzurum.

belirlenmesi, drenaj problemlerinin çözümü ve hidrolojide büyük önemi olan yüzey akış olayının incelenmesi gibi bir çok konuda infiltrasyon bilgisi ön planda yer alır.

Suyun topraktaki hareketi ile ilgili çalışmalar yapan araştırmacılar infiltrasyon süresi ile infiltrasyon hızı veya toplam (kümülatif) infiltre olan su derinliği arasındaki ilişkiyi gösterebilecek matematiksel bağıntılar geliştirmeyi amaçlamışlardır.

İnfiltrasyonu zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlamak amacıyla geliştirilmiş olan ve halen kullanılan infiltrasyon eşitlikleri şunlardır :

Gardner-Widstoe ve Horton eşitliği ;

$$I = C + B e^{-kt} \quad (1)$$

Kostiakov eşitliği ;

$$I = K t^n \quad (2)$$

Philip eşitliği ;

$$I = \frac{1}{2} S t^{-1/2} + A \quad (3)$$

Eşitliklerde: I, infiltrasyon hızı; C,  $t \rightarrow \infty$  için infiltrasyon hızının değeri; B,  $t=0$  anındaki infiltrasyon hızı ile son infiltrasyon hızı arasındaki fark ( $B = I_{\infty} - C$ ); t, zaman; K,  $t=1$  anındaki infiltrasyon hızı; n, değeri 0 ile -1 arasında değişen bir üs; S, A ve k, toprak özelliklerine bağlı katsayılarıdır.

Günümüze kadar infiltrasyonla ilgili olarak yapılan çalışmalarda bu eşitliklerin parametrelerinin tarla koşullarında belirlenmesi üzerinde durulmuş ve bu amaçla çeşitli tarla yöntemleri geliştirilerek uygulanmıştır. Bu yöntemleri; a) tek veya çift silindir infiltrometreler, b) suni yağmurlayıcılar, c) giren-çıkan akış ölçümleri, d) göllendirme ve e) karık infiltrometre yöntemleridir. Sözü edilen tarla yöntemleri uygulanarak bulunan infiltrasyon hızı değerleri karık ve tava sulama sistemlerinin planlanmasında genel bir uygulanabilirliğe sahip değildir. Örneğin, tek veya çift silindir infiltrometrelerle yapılan ölçümler sadece küçük alanlar için geçerli olmaktadır. Bu nedenle tam bir tava veya tarlayı temsil edebilecek ortalama bir infiltrasyon hızı bulmak için çok sayıda infiltrometre testi yapmak gerekecektir. Suni yağmurlayıcılar kullanılarak yapılan infiltrasyon ölçümleri yüzey sulama yapılacak bir arazide hiç bir anlam ifade etmez. Göllendirme yöntemleri ise ancak arazinin uygun bir meyilde bulunması durumunda uygulanabilir.

İnfiltrometre ve göllendirme yöntemlerinin belki de en önemli dezavantajı ölçüm sırasında yüzeydeki suyun durgun olmasıdır. Halbuki sulama sırasında su toprak yüzeyinde akış halinde bulunmakta ve infiltrasyon olayı dinamik koşul-

larda cereyan etmektedir. Suyun yüzeydeki hareketi toprak tanelerinin taşınıp yerleşmesine ve yüzeydeki yarıkların tıkanmasına, dolayısıyla infiltrasyon hızının tarla şartlarında farklı olmasına neden olmaktadır.

Bu hususları dikkate alan bazı araştırmacılar (Fok ve Bishop, 1965; Christiansen ve arkadaşları, 1966) infiltrasyon hızının belirlenmesinde yeni yöntemlerin arayışı içine girmişler ve bu amaçla yaptıkları çalışmalarda özellikle su ilerleme verilerinin kullanılması üzerinde durmuşlardır.

Belli bir sürede tarlaya verilen su miktarının aynı süre zarfında toprağa infiltre olan ve yüzeyde depolanan su hacimlerinin toplamına eşit olacağı görüşünden hareket eden Christiansen ve arkadaşları (1966), 1959 yılında ilk defa hacim-denge yöntemi adıyla yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Araştırmacılar bu yöntemle Kostiakov eşitliğindeki n ve K parametrelerini hesaplamışlardır.

Daha sonraları yapılan bir çok araştırmada (Davis ve Fry, 1963; Norum ve Gray, 1970; Lal ve Pandya, 1972; Fangmeier ve Ramsey, 1978) hacim-denge yöntemi ile diğer yöntemler tarla koşullarında karşılaştırılmış ve hacim-denge yönteminin diğer yöntemlere göre daha doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

### Hacim-Denge Yöntemi

Hacim-denge yönteminin geliştirilmesinde başlangıçta aşağıdaki varsayımlar kabul edilmiştir (Fok ve Bishop, 1965):

- 1— İnfiltrasyon  $I = K t^n$  ve suyun ilerleme uzunluğu  $L = a t^b$  şeklinde birer üstel fonksiyonla ifade edilebilir,
- 2— Tava veya karık başındaki su derinliği ( $D_0$ ) sulama süresince sabittir,
- 3— Tava veya karığa verilen su akış debisi sabittir,
- 4— Tavanın herhangi bir kesitindeki hidrolik yarıçap o kesitteki su derinliğine eşittir.

Sulama sırasında belli bir sürede tarlaya verilen toplam su hacmi, aynı süre içerisinde infiltre olan su hacmi ile yüzeyde kalan su hacminin toplamına eşittir (Şekil 1):

$$Q t = D_s W L + D_a W L \quad (4)$$

$$q t = D_s L + D_a L \quad (5)$$

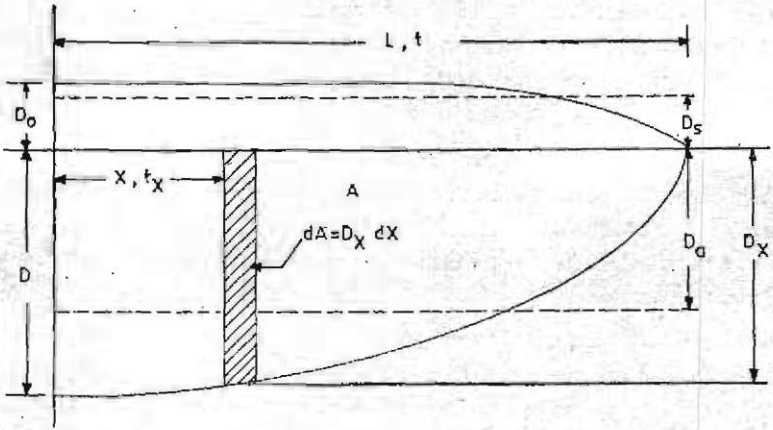
Burada;  $L$  = belirli bir  $t$  anında ıslatılan karık veya tava uzunluğu,  $Q$  = sabit uygulama debisi,  $W$  = tava genişliği,  $q$  = birim tava genişliğine verilen su debisi ( $Q/W$ ),  $D_a$  =  $t$  süresinde toprağa infiltre olan ortalama su derinliği,

$D_s$  =  $t$  süresinde toprak yüzeyindeki eşdeğer ortalama, su derinliği,

$q_t$  =  $t$  süresinde birim genişliğe verilen su hacmi,

$D_s L = t$  süresinde yüzeyde kalan su hacmi,

$D_a L = t$  süresinde toprağa giren su hacmidir.



Şekil 1. İnfiltre olan ve yüzeyde depolanan su derinliklerinin şematik olarak açıklanması

Şekil 1'de infiltre olan ortalama su derinliği için aşağıdaki eşitlik yazılabilir;

$$D_a = \frac{A}{L} = \frac{\int_0^L D_x dx}{L} \quad (6)$$

Eşitlikte;

$D_a = t$  süresinde toprağa infiltre olan ortalama su derinliği,

$A = t$  süresinde toprak içerisindeki su dağılım profiline alanı,

$L = t$  süresinde yüzeyde su ile kaplı tava uzunluğu ( $L = a t^b$ ),

$dx =$  Şekil 1'de gösterilen diferansiyel alandır.

$D_x$  ise  $L$  uzunluğu içerisinde herhangi bir  $x$  uzaklığındaki toplam infiltasyon derinliği olup aşağıdaki eşitlikten bulunabilir:

$$D_x = \frac{K}{n+1} t_i^{n+1} \quad (7)$$

burada  $t_i$  infiltasyon süresidir ve  $x$  uzaklığı için şu eşitlikle tanımlanabilir;

$$t_i = t - t_x \quad (8)$$

Eşitlik 8, Eşitlik 7'de yerine konulduğunda

$$D_x = \frac{K}{n+1} (t - t_x)^{n+1} \quad (9)$$

eşitliği elde edilir. Diğer yandan suyun yüzeyde ilerleme fonksiyonu olan

$$x = a t_x^b \quad (10)$$

eşitliği diferansiyel formda yazıldığında aşağıdaki şekli alır:

$$dx = a b t_x^{b-1} dt_x \quad (11)$$

Eşitlik 9 ve 10, Eşitlik 6'da yerine konulup,  $L = a t^b$  olduğu hatırlanarak yazılırsa ortalama infiltrasyon derinliği için

$$D_a = \frac{\int_0^t K a b (t - t_x)^{n+1} t_x^{b-1} dt_x}{(n+1) a t^b} \quad (12)$$

eşitliği elde edilir. Eşitlik 12;  $(t - t_x)$  terimi için binomial tarzda açılıp 0 ve t aralığında integre edilerek düzenlendiğinde şu şekli alır:

$$D_a = \frac{K t^{n+1}}{n+1} b \left[ \frac{1}{b} - \frac{n+1}{b+1} + \frac{n(n+1)}{2(b+2)} \dots \right] \quad (13)$$

bu eşitliğin pay ve paydasını  $(n+2)$  ile çarpan Kiefer (Christiansen ve arkadaşları, 1966), düzeltme faktörü olarak adlandırdığı

$$F = b (n+2) \left[ \frac{1}{b} - \frac{n+1}{b+1} + \frac{n(n+1)}{2(b+2)} \dots \right] \quad (14)$$

eşitliğini tanımlamıştır. Böylece Eşitlik 13 aşağıdaki şekli alır;

$$D_a = \frac{F K}{(n+1)(n+2)} t^{n+1} \quad (15)$$

Eşitlik 7 -15'de;

$D_x = t_i$  süresinde infiltre olan toplam su derinliği,

$t_i =$  infiltrasyon süresi,

$t_x =$  suyun herhangi bir x uzaklığına ulaşma süresi,

K, n, a, b = sırasıyla infiltrasyon ve ilerleme fonksiyonlarındaki katsayı ve üslerdir.

Yöntemin kartık ve tavaya uygulanmasında şu şekilde bir yol izlenmektedir: Eşitlik 5'i  $D_a$ 'ya göre düzenlersek

$$D_a = \frac{q t}{L} - D_s \quad (16)$$

eşitliği yazılabilir. Eşitlik 15 ve 16 birbirine eşitlenip  $D_s$ 'lar yok edilirse şu eşitlik elde edilir:

$$\frac{F K}{(n+1)(n+2)} t^{n+1} = \frac{q t}{L} - D_s \quad (17)$$

Bu eşitliğin sağ tarafındaki değerler tarlada su ilerleme ölçümlerinden elde edilebilir, Şöyle ki:

$q$  = karığa veya tavanın birim genişliğine uygulanan sabit debi,

$t$  = suyun  $L$  uzunluğuna ulaşması için geçen süre,

$L$  = karık veya tava boyunca işaretlenen mesafeler (10,20,30,...m)

$D_s$  =  $t$  süresinde yüzeyde kalan ortalama su derinliğini ifade eder. Fok ve Bishop (1965) bu derinlik için

$$D_s = \frac{D_o}{1+b} \quad (18)$$

eşitliğini vermişlerdir. Burada  $D_o$ , tava veya karık başındaki su derinliği;  $b$ , ilerleme fonksiyonundaki üsttür.

Tarla verilerinden elde edilen  $(qt/L) - D_s$  değerleri ordinatta,  $t$  değerleri apsiste olmak üzere Şekil 3'teki gibi bir log-log grafik kâğıdı üzerinde işaretlendiğinde, bu noktaları temsil eden doğrunun eğimi  $(n+1)$  değerini, bu doğrunun  $t=1$  için ordinatı kestiği nokta da  $F K / (n+1)(n+2)$  değerini verir.  $F$  faktörünün değeri  $n$  ve  $b$ 'ye bağlı olarak ya Şekil 4'teki abaktan veya yaklaşık olarak

$$F \cong \frac{n - nb + 2}{1 + b} \quad (19)$$

eşitliğinden bulunabilir (Fok ve Bishop, 1965). Eşitlik 19'daki  $b$  parametresi  $b = e^{-0.6(n+1)}$  eşitliğinden bulunabilir. Burada  $e$  tabii logaritma tabanıdır. Ayrıca tarlada ölçülen  $L$  ve  $t$  değerleri apsiste  $t$ , ordinatta  $L$  olacak şekilde log-log kâğıda işlenerek elde edilen doğrunun eğimi de  $b$  değerini verir (Şekil 2).

### Özetlenecek olursa;

1— İlerleme verilerinden  $(qt/L) - D_s$  ve  $t$  değerleri log-log grafik kâğıdı üzerinde işaretlenir,

2— Bu yolla elde edilen doğrunun eğimi  $n+1$  değerini verir, buradan  $n$  bulunur,

3— Bu doğrunun  $t = 1$  için ordinatı kestiği nokta  $FK / (n+1)(n+2)$  değerini verir,



4—  $F = (n-nb+2)/(1+b)$  ve  $b = e^{-0.6(n+1)}$  ilişkilerinden yararlanarak K parametresi bulunur, bulunan n ve K değerleri  $I = K t^n$  veya  $d = (K/n+1)t^{n+1}$  eşitliklerinde yerine konularak ölçüm yapılan arazi parçası için infiltrasyon eşitliği elde edilir.

### Örnek çözüm

Alıcı (1980) tarafından killi-tınlı bir toprakta yapılan sulama denemesinde elde edilen ilerleme verileri kullanılarak, hacim-denge yöntemine göre aşağıdaki çözüm yapılmıştır:

L (m)	t (dak)	qt/L (m)	(qt/L) — $D_s$ (m)
10	2	0,0420	0,0114
20	5	0,0525	0,0219
30	9	0,0630	0,0324
40	14	0,0735	0,0429
50	19	0,0798	0,0492
60	24	0,0840	0,0534
70	29	0,0870	0,0564
80	34	0,0892	0,0586
90	40	0,0933	0,0627
100	46	0,0966	0,0660
110	53	0,1012	0,0706
120	60	0,1050	0,0744

$$q = 3,5 \text{ l/s/m} = 0,21 \text{ m}^3/\text{dak/m} = 0,0035 \text{ m}^3/\text{s/m}$$

$$S = 0,005 \text{ m/m}$$

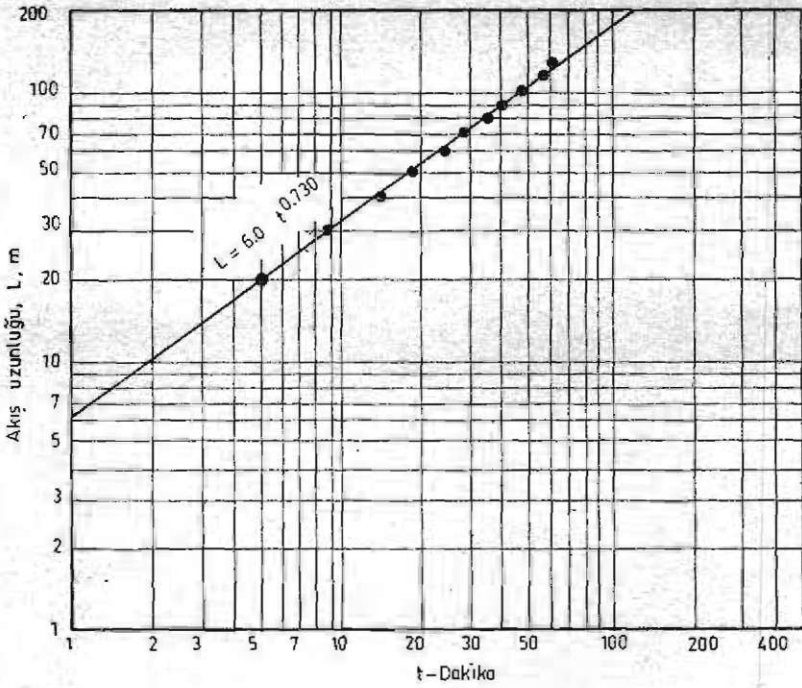
$$N = 0,15$$

$$D_o = (Nq)^{0.6}(S)^{-0.3} = (0,15 \times 0,0035)^{0.6} (0,005)^{-0.3} = 0,053 \text{ m}$$

$$D_s = D_o/(1+b); D_s = 0,053/(1+0,730); D_s = 0,0306 \text{ m}$$

Yukarıdaki tablonun 1. ve 2. sütunlarında yer alan L ve t değerleri log-log grafik kâğıdında işaretlenerek Şekil 2'deki doğru elde edilmiştir. Bu doğrunun eğimi  $b = 0,730$  ve  $t=1$  iken ordinatı kestiği nokta  $a = 6$  olarak bulunmuştur. Bu değerler için ilerleme fonksiyonu  $L = 6,0 t^{0.730}$  olmaktadır.

Tava başındaki hidrolik yarıçapın su yüksekliğine eşit olduğu varsayılarak, tava başındaki su derinliği ( $D_o$ ), Manning formülüne göre  $D_o = (Nq)^{0.6} S^{-0.3}$  ilişkisinden hesaplanarak (Manning katsayısı  $N = 0,15$  kabul edilmiştir)  $D_s = D_o/(1+b)$  eşitliğinde kullanılmış ve bulunan  $D_s$  değeri tablonun 4. sütununda kullanılmıştır.

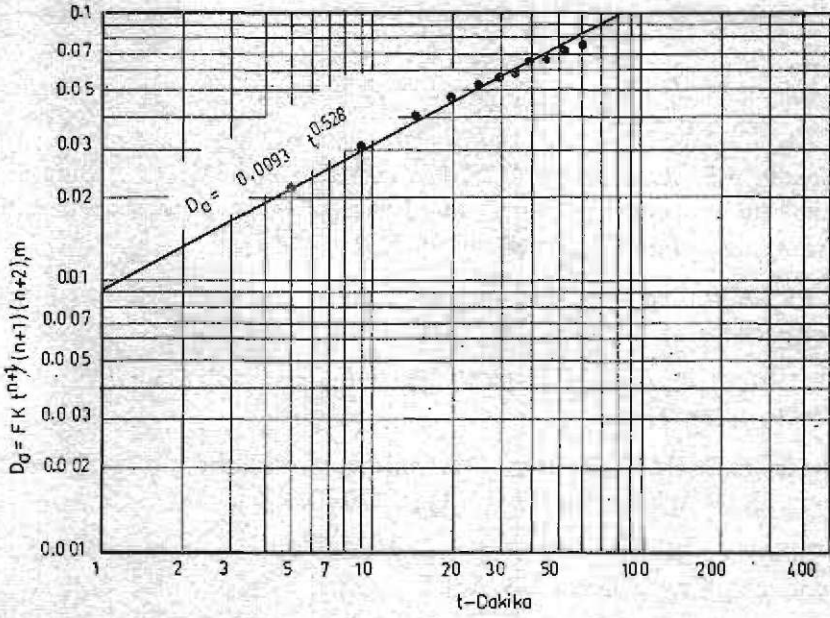


Şekil 2. Zamanın fonksiyonu olarak ilerleme uzunluğu eşitliğinin bulunması

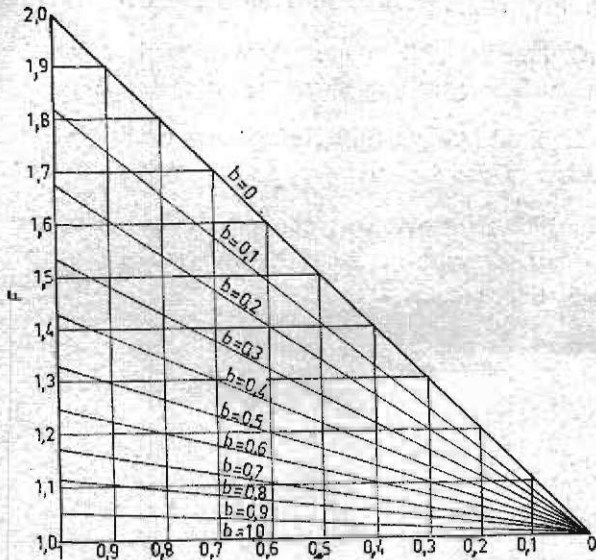
Tablonun 2. ve 4. sütunlarındaki değerler log-log kâğıt üzerinde işaretlenerek Şekil 3'teki doğru elde edilmiş ve buradan da şu değerler bulunmuştur:

$$\begin{aligned}
 F K / (n+1)(n+2) &= 0,0093 \\
 n+1 &= 0,528 \\
 n+2 &= 1,528 \\
 n &= -0,472 \\
 F &= 1,082 \text{ (Şekil 4'ten veya Eşitlik 19'dan)} \\
 K &= 0,00693
 \end{aligned}$$

Bu değerlere göre infiltrasyon hızı için  $I = 0,00693 t^{-0,472}$  m/dak ve toplam infiltrasyon için  $d = 0,0131 t^{0,528}$  m, eşitlikleri bulunmuş olur.



Şekil 3. İlerleme verilerinden  $K$  ve  $n$  parametrelerinin belirlenmesi



Şekil 4.  $b$  ve  $(n+1)$ 'e bağlı olarak  $F$  değerlerini veren abak

## Literatür

- Alıcı, Ü., 1980. Tava ve karıklarda su ilerlemesi hesaplama yöntemlerinin tarla koşullarında uygulanabilirliği üzerinde bir araştırma (basılmamış doçentlik tezi), Erzurum, 88 s.
- Christiansen, J.E., A.A. Bishop, F.W. Kiefer, Y.S. Fok, 1966. Evaluation of intake rate constants as related to advance of water in surface irrigation, Transactions of the ASAE, 9(5): 671-675.
- Davis, J.R., A.W. Fry, 1963. Measurement of infiltration rates in irrigated furrows. Transactions of the ASAE, 6 (4) : 318-319.
- Erie, L.J., 1962. Evaluation of infiltration measurements. Transactions of the ASAE, 5 (1): 11-13.
- Fangmeier, D.D., M.K. Ramsey, 1978. Intake characteristics of irrigation furrows. Transactions of the ASAE, 21 (4): 696-700, 705.
- Fok, Y.S., A.A. Bishop, 1965. Analysis of water advance in surface irrigation. Jour. of the Irr. and Drain. Div. ASCE, 91 (IR 1) :99-116.
- Fok, Y.S., A.A. Bishop, 1969. Expressing irrigation efficiency in terms of application time, intake and water advance constants. Transactions of the ASAE, 12 (4): 438-442.
- Gardner, W.R., 1967. Development of modern infiltration theory and application in hydrology. Transactions of the ASAE, 10 (3): 379-381.
- Lal, R., A.C. Pandya, 1972. Volume-balance method for computing infiltration rates in surface irrigation. Transactions of the ASAE, 15 (1): 69-72.
- Norum, D.I., D.M. Gray, 1970. Infiltration equations from rate of advance data. Jour. of the Irr. and Drain. Div. ASCE, 96 (IR 2): 111-119.
- Sönmez, K., 1980. Horton, Kostyakov ve Philip infiltrasyon eşitliklerinin tarla koşullarında denenmesi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi yayınlar No. 242, Erzurum, 54 s.