

## SATIHTAN ALTI SULAMA SİSTEMİ ANALİZİ VE PLANLAMASI\*

Tercüme eden: Dr. Ersan GEMALMAZ\*\*

### GİRİŞ

Tabii alttan sulama sistemi için ideal olan bir toprak profili nispeten geçirimsiz bir alt toprak tabakasının üzerinde bulunan ve kök salma için yeterli derinliğe sahip geçirgen bir üst toprak tabakasından ibarettir. Bu tip bir toprak profili altta bulunan nispeten geçirimsiz tabaka dolayısıyla geçirgen olan tabakada suyun kontrol edilmesine imkân verir. Bu sisteme su satıhtan veya toprak sathının altına yerleştirilmiş, üzerinde delikleri havi bir boru vasıtasıyla verilebilir. Uygun bir alttan sulamanın şartları detaylı olarak Fox, Phelan ve Criddle tarafından anlatılmış bulunmaktadır; dolayısıyla bu konu burada analiz edilmeyecektir. Alttan sulamaya uygun bir sunî ortam nispeten geçirimsiz bir tabakanın toprak profiline yerleştirilmesi suretiyle elde edilebilir. Böyle bir

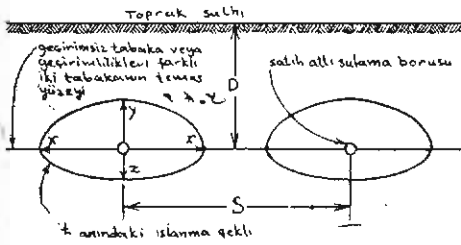
geçirimsiz tabaka teşkili için asfalt levhalar, sentetik kauçuk ve plastik filmler kullanılmıştır. Birleşik Devletler'in bazı yerlerinde alttan sulama sistemlerinde sunî geçirimsiz tabakaların faydalılığı üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Alttan sulama yüzeyden evaporasyonla olan su kaybının daha az olması yanında, mutlak yüzey sulama metotlarına göre birtakım avantajlara sahiptir. Bununla beraber alttan sulamaya elverişli olan tabii toprak şartlarının bulunması nadiren mümkündür. Satıhtan altı sulaması alttan sulamanın bazı avantajlarına sahip olan, fakat ona göre daha fazla uygulanan diğer bir sulama metodudur. Alttan sulama sistemi bitki kök bölgesinin saturasyon ve kapillarite ile ıslatılması için taban suyu seviyesinin zaman zaman temkinli bir şekilde yükseltilmesi usulüdür.

(\*) Makalenin orijinali : Fok, Yu - Si and Willardson, S., «Subsurface Irrigation System Analysis and Design» *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, ASCE, Vol, 97, No. IR3 Proc. Paper 8380, September, 1971, pp. 449-454

(\*\*) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kültürteknik ve Ziraat Alet ve Makinaları Bölümü Asistanı

Satıh altı sulama sistemi toprağa yerleştirilmiş üzeri delikli bir borudan kapillar su hareketiyle yayılan su ile toprağı ıslatır. Satıh altı sulama sisteminin rasyonel planlaması, suyun alttan sulama borusundan toprak profiline sature olmayan bir ortamda kapillar toprak suyu hareketi ile yayılmasının anlaşılmasını gerektirir.

Etkili bir planlamada borulara ait aralığın, yerleştirilme derinliğinin ve gerekli su boşalım miktarının tayini için satıh altı sulama borusu civarındaki su dağılımının analizi gereklidir. Bu araştırma bir satıh altı sulama sisteminde genel toprak suyu hareketinin, bir çizgi şeklindeki kaynaktan toprak profiline suyun iki boyutlu olarak infiltre olma olayını göz önünde bulundurmaktadır. Metot deneysel bilgilerden elde edilen infiltasyon eşitliklerine dayanılarak geliştirilmiştir ve satıh altı sulama sistemlerinin rasyonel bir analizi addedilebilir. Bu analiz, homojen



Şekil 1 : Boruların sunî geçirimsiz tabakanın hemen üzerine veya farklı geçirimsizlikte iki tabakanın temas yüzeyine yerleştirilmiş olduğu satıh altı sulama sistemi

izotrop topraklara veya satıh altı sulama borusunun geçirimsiz taba-

kanın hemen üzerine veya farklı geçirimsizliğe sahip iki tabakanın temas yüzeyine yerleştirilmiş olduğu durumlarda uygulanabilir.

## ANALİZ

### Altan Sulama Borularından Toprak İçerisine Suyun Hareketi :

Deneysel gözlemlere göre toprak profilindeki verilen bir kaynaktan toprağa doğru olan toprak suyu hareketi — hareketin yönü göz önünde bulundurulmaksızın — akış süresi  $t$ 'nin basit üslü fonksiyonları şeklinde ifade edilebilmektedir.

Islanma mesafeleri Şekil 1'de görüldüğü gibi yukarıya doğru  $y$ , yatay yönde  $x$ , ve geçirimsiz tabakanın içerisine doğru düşey yönde  $z$  olsun; böylece toprak suyunun bu yönlerde hareketi aşağıdaki gibi ifade edilebilir :

$$y = a t^b \quad (1)$$

$$x = c t^d \quad (2)$$

$$z = f t^e \quad (3)$$

Bu eşitliklerdeki  $a, b, c, d, f$  ve  $g$  deneysel katsayılardır.

### Altan Sulama Borularından Akan Su Hacminin Tayini :

Boru tabakalı bir profilede tabakaların temas yüzeyine yerleştirildiğinde, satıh altı sulama borusundan belli bir süre içerisinde toprağa yayılan suyun toprağı iki boyutlu olarak ıslatma deseni takriben iki yarım elips şeklinde alınabilir. Burada üstteki tabaka geçirgen, alttaki tabaka ise daha az geçirgendir. Satıh altı sulama borusunun birim uzunluğuna tekabül eden topraktaki su hacmi  $V$ , süreklilik prensibine göre

$$V = \frac{\pi}{2} (x y A_{s_1} w_1 + x z A_{s_2} w_2) \quad (4)$$

şeklinde ifade edilebilir; burada  $A_{s_1}$  ve  $A_{s_2}$  üst ve alt toprak tabakalarının zahiri yoğunlukları,  $w_1$  ve  $w_2$  ise kuru ağırlık yüzdesine göre üst ve alt toprak tabakalarının ıslanmadan sonraki su muhtevalarıdır.

Eşitlik 1, 2, 3'ün değerleri Eşitlik 4'te yerlerine konarak  $V$  aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$V = \frac{\pi}{2} (w_1 A_{s_1} a c t^{b+d} + w_2 A_{s_2} c f t^{d+g}) \quad (5)$$

Eşitlik 5'in  $t$ 'ye göre türevi alınarak alttan sulama borusunun birim uzunluğundan su boşalımı olan  $q$  aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$q = \frac{\pi}{2} (w_1 A_{s_1} a c (b+d) t^{b+d-1} + w_2 A_{s_2} c f (d+g) t^{d+g-1}) \quad (6)$$

**Alttan Sulama Borularının Yerleştirilme Derinliği:** Şekil 1'deki satıh altı sulama boruları tabakalı toprak profilinde tabakaların temas yüzeyine yerleştirilmiştir. Dolayısıyla yerleştirme derinliği olan  $D$ , üst toprak tabakasının kalınlığına eşittir. Bununla beraber bazı hallerde yukarıya doğru olan toprak suyu hareketi, uzun bir zaman süresi içerisinde, Eşitlik 1 ile ifade edilen basit üslü fonksiyona uymayabilir. Deneysel gözlemler yukarıya doğru olan toprak suyu hareketinin başlangıçta, toprağın

gözenek dağılımına bağlı olarak belli bir yüksekliğe kadar basit üslü fonksiyonu takip ettiğini ve bundan sonra hareket hızının süratli bir şekilde düştüğünü göstermiştir. Düşey yönde su hareketinin yüksekliğinin sınırlı olduğu durumlarda  $D$ , su hareketinin takip edeceği deneysel basit üslü fonksiyonun maksimum değerinde ( $Y$ ) olacak şekilde seçilmelidir. Eğer yükselmenin maksimum değeri olan  $Y$  toprak sathında sonlanıyorsa ve geçirimsiz tabaka da puluk derinliğinin yeteri kadar altında ise  $D$ , geçirimsiz tabakaya kadar olan derinlik olarak alınabilir.

**Alttan Sulama Borularının Aralıklarının Tayini:** Satıh altı sulama borularının aralıkları olan  $S$  (Şekil 1), toprak suyunun hareket eşitliklerinden ve profilin ıslanma eşitliğinden tayin edilebilir. Eğer toprağın ıslanma şekli yarım elips olarak kabul edilirse, tek bir satıh altı sulama borusunun üst tarafındaki maksimum ıslanma alanı  $A$  aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$A = \frac{\pi}{2} x D \quad (7)$$

İdeal bir satıh altı sulamasının, birbirinden  $S$  mesafede yerleştirilmiş iki alttan sulama borusunun arasındaki alanı ıslatmağa yeterli olması gerektiğinden, ıslatılacak  $A$  alanı

$$A = S D \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eşitlik 7 ve 8 ile satıh altı sulama borularının aralığı olan  $S$  aşağıdaki şekilde çözülebilir:

$$S = \frac{\pi x}{2} = 1,57 x \quad (9)$$

Veya Eşitlik 1'in  $y = D$  yazıldıktan sonra  $t$  için çözümlenip,  $t$ 'nin değerinin de Eşitlik 2'de yerine konulmasından sonra

$$S = 1,57 c (D/a)^{0,75} \quad (10)$$

şeklinde elde edilir.

### SAYISAL HESAPLAMA

Toprak suyu hareketi üzerine olan deneysel gözlemler, siltli tınkil tabakaları arasına yerleştirilmiş 5,08\* cm çapında bir satıh altı sulama borusu kullanılmak suretiyle yapılmıştır. Üstteki siltli tın tabakasının kalınlığı 40,64 cm'dir. Bir sulama deneyi esnasında periyodik olarak alınan toprak örneklerinden elde edilen bilgilerden çıkarılan  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönündeki toprak suyu hareket eşitlikleri

$$y = 3,30 t^{0,36} \quad (11)$$

$$x = 1,78 t^{0,56} \quad (12)$$

$$z = 0,25 t^{0,17} \quad (13)$$

şeklinde dir. Bu eşitliklerde  $x$ ,  $y$  ve  $z$  cm cinsinden,  $t$  ise dk olarak ifade edilmektedir. Sulamadan önce ve sonra alınan örneklerden tayin edilen toprak özellikleri : (1) Siltli tın için  $w_1 = 0,22$ ,  $A_{s1} = 1,30$ ; (2) Kil için  $w_2 = 0,35$ ,  $A_{s2} = 1,65$ 'tir.

Gözlemle elde edilmiş yukarıdaki bilgilerle satıh altı sulama sistemi için aşağıdaki planlama değerleri evvelki analizlerle geliştirilmiş olan eşitliklerden hesaplanabilir :

(\*) Birimler cm.'ye çevrilmiştir.

1. Alttan sulama borusunun yerleştirilme derinliği  $D$ , toprak profilinin üst tabakasının kalınlığı olarak alınmıştır; yani  $D = 40,64$  cm'dir.

2. Sulama akış süresi Eşitlik 11'de  $y = D = 40,64$  cm konarak ve  $t$  için çözümlenerek  $t = 1 056$  dk olarak tayin edilir.

3. Sulama esnasında herhangi bir zaman süresinde alttan sulama borusunun birim uzunluğundan (1 cm) boşalan su miktarı  $V$ , Eşitlik 5 ve Eşitlik 11, 12 ve 13'teki değişkenlerden  $cm^3$  olarak hesaplanabilir ve  $t$  zamanının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$V = (1,68 t^{0,92} + 0,257 t^{0,73}) \quad (14)$$

Eğer Eşitlik 14'te  $t = 1 056$  dk olursa

$$V \cong 1 595 + 65 \cong 1 660 \text{ cm}^3 \quad (15)$$

4. Satıh altı sulama borusunun birim uzunluğundan (1 cm) olan boşalma miktarı  $q$ , sulama esnasında  $t$ 'nin bir fonksiyonu olarak, Eşitlik 14'ün  $t$ 'ye göre türevinin alınması suretiyle  $cm^3/dk$  cinsinden elde edilebilir :

$$q = 2,426 t^{-0,08} + 0,295 t^{-0,27} \quad (16)$$

Akış miktarı zamanla değişir;  $t = 1$  dk için akış miktarı borunun 1 cm'lik uzunluğu için 2,72  $cm^3/dk$  olur;  $t = 1 056$  dk için akış

miktarı borunun 1 cm'lik uzunluğu için 1,44 cm<sup>3</sup>/dk olur.

5. Satıh altı sulama borularının aralıkları olan  $S$ , Eşitlik 11 ve 12'nin bilinmekte olan  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ve  $d$  değerlerinin Eşitlik 10'da yerlerine konulması suretiyle cm olarak tayin edilebilir :

$$S = 1,57 (1,78) (40,64/3,30)^{0,56/0,36} \quad (17)$$

$$S \cong 140 \text{ cm}$$

Satıh altı sulama borularının aralıkları olan  $S$ , derinlikle ( $D$ ) ilgilidir (Eşitlik 10) ve toprak özellikleri de Eşitlik 1, 2 ve 3'te tanımlanmış olduğu üzere buna etki etmektedir. Satıh altı sulama sistemi için boru aralıkları sınırlayıcı ekonomik bir faktör olabilir : zira borulara verilecek aralıklar dar olursa sistemin maliyeti artar.  $D$  derinliği arttıkça —suyun toprakta Eşitlik 1 ile belirtilmiş olan basit üslü fonksiyonu takip ederek yükseleceği maksimum yüksekliğin limitleri içerisinde kalınmak üzere—  $S$  aralığı daha büyük olarak planlanabilir.

Bu araştırmadaki deneysel sonuçlar satıh altı sulamasında kullanılacak su miktarının ( $V$ ) tayininde bir planlama kriterinin nasıl yapılacağını sadece göstermek için bir misaldir. Toprak suyu hareketinin katsayıları olan  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $f$  ve  $g$  esas toprak değişkenleri  $w_1$ ,  $A_{S1}$ ,  $w_2$  ve  $A_{S2}$  gibi deneysel olarak ölçülebilir veya geliştirilmiş olan eşitliklerde kullanılmak üzere tayin edilebilir.

## SON KISIM

Bu makalede satıh altı sulama sisteminin analiz ve planlaması için bir metot takdim edilmiştir; deneysel olarak gözlenen toprak suyu hareketiyle ilgili bilgilerin kullanılması suretiyle sistemin akış kapasitesi tahmin edilebilir, satıh altı sulama borularının yerleştirileceği derinlik ve aralıklar planlanabilir, ve sulama süresi elde edilebilir.

Satıh altı sulama borularının aralıkları, eğer yakın aralıklarla yerleştirme yapmak gerekiyorsa ekonomik bakımdan sınırlayıcı bir faktör olabilir.

## EK — I. SEMBOLLERİN ANLAMLARI

Bu makalede aşağıdaki semboller kullanılmıştır :

- $A$  : toprak profilinde ıslanan alan; sulama suyu ile ıslatılan toprak profilinin alanı;
- $A_{S1}$  : üst tabakadaki toprağın zahirî yoğunluğu;
- $A_{S2}$  : alt tabakadaki toprağın zahirî yoğunluğu;
- $a$  : yukarı doğru olan toprak suyu hareketinin deneysel katsayısı;
- $b$  : yukarı doğru olan toprak suyu hareketinin deneysel üssü;
- $c$  : yatay yöndeki toprak suyu hareketinin deneysel katsayısı;
- $D$  : alttan sulama borusunun yerleştirilme derinliği; üst tabakanın kalınlığı;

- $d$  : yatay yöndeki toprak suyu hareketinin deneysel üssü;
- $f$  : aşağı doğru olan toprak suyu hareketinin deneysel katsayısı;
- $g$  : aşağı doğru olan toprak suyu hareketinin deneysel üssü;
- $q$  : alttan sulama borusunun birim uzunluğundan sulama suyunun akış miktarı;
- $S$  : alttan sulama borularının aralığı;
- $t$  : sulama suyunun akış süresi;
- $V$  : alttan sulama borusunun birim uzunluğundan akan su hacmi;
- $w_1$  : kuru ağırlık yüzdesi olarak ıslatılmadan sonra üst toprak tabakasının su muhtevasının net artış miktarı;
- $w_2$  : kuru ağırlık yüzdesi olarak ıslatılmadan sonra alt toprak tabakasının su muhtevasının net artış miktarı;
- $x$  : verilen kaynaktan itibaren yatay yöndeki ıslanma uzunluğu;
- $Y$  : toprak suyu hareket denkleminin basit üslü eşitliğini takip eden ıslanma yüksekliğinin maksimum değeri;
- $y$  : verilen kaynaktan itibaren yukarı doğru ıslanma uzunluğu; ve
- $z$  : verilen kaynaktan itibaren aşağı doğru ıslanma uzunluğu.