

## IV. TERCÜMELER



## SATIHALTI DRENLERİ İLE SULAMA\*

Tercüme Eden: Dr. Ersan GEMALMAZ\*\*

Alttan sulama, sulama suyunun toprağın altından tatbik edilmesidir. Burada bahsedilen alttan sulama tipi, taban suyunun yükseltilerek yetiştirilen bitkilerin su ihtiyacının sağlanmasına yetecek bir seviyede tutulması amacıyla idare edilmesidir. Bu tip bir sulama bazı şartlarda diğer metotlara göre birçok avantajlara sahiptir ve dağınık olarak mevziî sahalarda yıllardır uygulanmaktadır. Bununla beraber bu sahalarda alttan sulamaya elverişli olan arazinin sadece küçük bir yüzdesini teşkil etmektedirler. Bu uygulama şekli arazide sistemin çalışmasını karakterize edecek bilgilerin ve tespit edilmiş planlama kistaslarının noksanlığından dolayı hızlı bir şekilde yayılmamaktadır. Burada arz edilen İer North Carolina'nın Lower Coastal Plain'indeki bir alttan sulama sisteminin uygulanma imkânını tayin ve çalışmasını karakterize etmek için yapılmış bir arazi denemesinin sonuçlarıdır.

Fox ve arkadaşları alttan sulama sistemlerinin planlamasını gözden geçirmişler ve göstermişlerdir ki bir alttan

sulama sisteminin uygulanması için bazı tabii şartların mevcudiyeti gerekli olmaktadır; çünkü uygulama taban suyunun gerçek bir kontrolüyle ilgili olduğundan aşırı sızma kayıplarının önlenmesi için nispeten sığ derinliklerde ya bir geçirimsiz tabaka veya devamlı bir taban suyu bulunmalıdır. Bunun ötesinde, topoğrafyanın hemen hemen düz olması, gereklidir; aksi halde arazinin bir tarafında taban suyu satıhtan itibaren optimum bir derinlikte bulunurken, arazinin diğer tarafındaki bitkiler aşırı veya yetersiz sulamadan dolayı zarar görebilirler. Hendeklerin ve dren hatlarının hem drenajı, hem de alttan sulamayı sağlayabilecek makul aralıklarla yerleştirilebilmeleri için de toprağın yüksek bir hidrolik iletkenlik değerine sahip olması arzu edilen diğer bir husustur.

Bu topoğrafya ve toprak şartları Maryland'den Florida'ya kadar güneydoğu sahili boyunca Lower Coastal Plain'de mevcuttur. Uygun şekilde dren edildiklerinde ve kullanıldıklarında bu topraklar pek verimli olmaktadır.

x Makalenin orijinalı: Skaggs, R. Wayne, Kriz, George J., and Bernal, Reynaldo, "Irrigation Through Subsurface Drain", Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, Vol. 98, No. IR3, Proc. Paper 9183, September, 1972, pp. 363-373.

xx Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Kültürteknik ve Ziraat Alet ve Makinaları Bölümü Asistanı. Dergi Komisyonuna geliş tarihi: 30.6.1973.

lar ve gıda ve elyaf bitkileri yetiştirmek için muazzam bir kapasiteye sahip bulunmaktadırlar. Her ne kadar bu saha yılda ortalama olarak 125 cm yağış almakta ise de kurak devreler vuku bulmakta ve bilhassa yüksek değerli bitkiler için sulama gerekli olmaktadır. Bu sahadaki toprakların birçoğu için satıh altı drenleri veya hendekler vasıtasıyla yapılacak alttan sulama bitki yetiştirilmesi ve etkili bir su idaresi bakımından uygulanmaya elverişli ve cazip görünmektedir.

Altan sulama-drenaj şeklinde kombine edilmiş bir sistemin avantajları 1) Düşük işçilik ihtiyacı; 2) Bir sistemin hem drenaja, hem de sulamaya hizmet etmesi; 3) Bakım ihtiyacının azlığı; 4) Sulamadan dolayı kültürel uygulamaların aksamaması; 5) Kök bölgesinden gıda maddelerinin yıkanma durumunun azlığı veya bulunmayışı gibi hususları içine alır. Toprak satıhında tuz teşekkülü tehlikesi bu uygulamanın büyük mahzurdur. North Carolina'da yıllık yağışın yüksek oluşu dolayısıyla bu durumun bir problem yaratması beklenilmemektedir. Bununla beraber, bazı toprakların strüktürlerinin uzun zaman süreleri için yüksek seviyede tutulan taban suyu dolayısıyla bozulma tehlikesi mevcuttur.

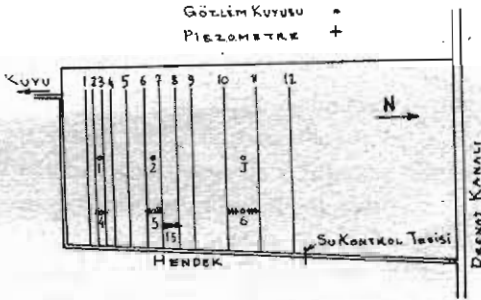
Altan sulama sınır şartlarında kararlı akışın sature olmayan ortamdaki diferansiyel eşitliğini çözmek için Bouwer, ve Sewell ve Schillfgaarde tarafından metotlar verilmiş bulunmaktadır. Bu metotlar verilen bir hendek veya dren aralığı için bilinen toprak hidrolik özelliklerine göre taban suyunun şeklinin ve toprağın su muhtevasının dağılımını tayine imkân vermektedirler. Fox ve arkadaşları taban

suyu derinliğinde verilen bir değişimi sağlamak için gerekli hendek aralıklarının tayininde kullanılacak ve daha az hassas olan bir metot vermektedirler. Bununla beraber bahsedilmiş olan tipteki bir alttan sulama drenaj sistemindeki toprak suyu hareketi üzerine elde pek az arazi bilgisi bulunmaktadır.

## DENEMELER

N. C.'da Aurora civarındaki H. C. Austin çiftliğinde satıh altı drenleri vasıtasıyla sulamanın uygulanabilirliğini tayin etmek ve alttan sulama şartlarında su hareketini incelemek üzere deneme yapılmıştır. Şekil 1'de arazideki tesisler şematik olarak gösterilmiştir. Sulama uygulaması, su seviye kontrol tesisindeki kapağın kapatılması ve bir kuyudan pompa yardımıyla su verilmek suretiyle hendekteki su seviyesinin yükseltilmesiyle başlatılmıştır. Daha sonra hendekteki su seviyesi sabit bir yükseklikte tutularak suyun dren borularından toprağa doğru hareket etmesi sağlanmıştır. Çapları 12,5 cm olan on iki adet dren hattı dördü gruplar halinde 7,5 m, 15 m ve 30 m aralıklarla 1968 yılında yerleştirilmişlerdir. Toprak esasen Lumbee kumlu tınıdır ve satıhtaki 20-30 cm'lik tabakanın altında bulunan kumlu tından ibarettir. Kumlu tınlı olan bu alt toprak tabakasının altında, pratik yönden geçirimsiz olarak kabul edilebilecek ve derinliği 125 cm ile 155 cm arasında değişen kesif bir kil tabakası mevcuttur. Dren boruları yaklaşık olarak 1 m derinliğe % 0,3 meyille yerleştirilmiştir. Tarlada ilkbaharda patates ve bunu takiben de haziran sonlarına doğru soya fasulyesi yetiştirilmiştir.

Altıtan sulama ve drenaj şartlarında taban suyu hareketi gözlem kuyuları ve piezometre dizileri kullanmak suretiyle ölçülmüştür. Gözlem kuyuları Şekil 1'de görüldüğü üzere her üç dren hattı aralığından sonra komşu dren hatlarının ortasına yerleştirilmiştir. Kuyular 10 cm çapında ve takriben 1,5 m derinliğindedir. Gözlem kuyularındaki ve hendekteki su seviyeleri Stevens F tipi su seviye kaydedicilerinin kullanılması suretiyle devamlı olarak kaydedilmiştir. Gözlem kuyularının her iki tarafına, 7,5 m'lik ve 15 m'lik dren aralıkları için, beşer piezometrelik iki piezometre serisi çakılmıştır. Üç piezometre serisi de 30 m'lik aralık için çakılmıştır (Şekil 1). Piezometreler iç çapı yaklaşık olarak 1,5 cm olan çelik borudan imal edilmişlerdir ve Reeve tarafından önerilen usule göre, su seviye kontrol tesisi kapağının alt seviyesinden itibaren yukarıya doğru 0 cm, 15 cm, 30 cm, 45 cm ve 60 cm'lik mesafelere çakılmışlardır.



Şekil 1: Denemeye ait tesisin şeması

Gözlem kuyularında 1969 ve 1970 bitki gelişme devresine ait su seviye kayıtları yapılmıştır. Patatesler için herdeki su seviyesi kontrol kapağının dibinden itibaren 40 cm'de bulunacak şekilde tutulmuştur; bu ise

gözlem kuyularında takriben 75 cm derinlikte bir su seviyesi sağlamıştır.

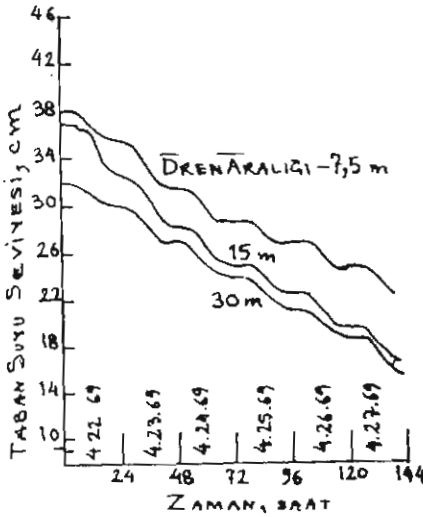
Altıtan sulama ve drenaj sınır şartlarına göre sistemin hidrolik özelliklerini tespit etmek için 1970 ve 1971 yıllarında kısa süreli muhtelif denemeler yapılmıştır. Deneme hendekdeki su seviyesinin kapağın altından itibaren yaklaşık olarak 65 cm'ye yükseltilmesi ile başlatılmıştır. Bu seviye 2-5 günlük bir süre için sabit tutulmuştur ki bu süre zarfında tarlada taban suyu yükselmiştir. Daha sonra su hendekten tahliye edilmiş ve tarla drene olmaya bırakılmıştır. Sulama-drenaj süresi boyunca taban suyu seviyeleri her kuyuda zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilmiştir. Deneme esnasında taban suyunun şeklini tayin için piezometrelerdeki su seviyesi pille çalışan elektrikli iletkenlik çubuğu ile uygun aralıklarla (günde üç kere) ölçülmüştür. Laboratuvarında 8,5 cm çapında ve 20 cm uzunluğundaki bozulmamış numunelerde hidrolik iletkenlik tayinleri yapılmıştır. Bu tayinler, 20-75 cm derinlikleri temsil eden toplam olarak 15 adet bozulmamış numune üzerinde 1971 yılında yapılmıştır.

Bitki yetiştirilmesinde sulama suyu olarak yüksek bir taban suyu ile birlikte sadece tabii yağışın kullanılmasının uygulanabilirliğini tayin etmek için N. C.'daki Gum Neck'te bulunan Durwood Cooper çiftliğinde de taban suyu seviye ölçümleri yapılmıştır. Altıtan sulamanın bu şekli kontrollü sulama diye nitelendirilmektedir ve peat ve muck topraklar için Stephens tarafından incelenmiş bulunmaktadır. Su kontrol yapıları, 61 m aralıklarla yerleştirilmiş bulunan hendeklerde yüzey akış sularının toplanabileceği şekilde tesis edilmiştir. Evvelce

bahsedilmiş olan tipteki gözlem kuyularında yapılan kayıtlar 1969 ve 1970 yıllarındaki gelişme devresinde hendeklerdeki suyun sulama suyu için bir kaynak olarak kullanılmayacak şekilde kurduğu büyük periyotları göstermiştir. Ve North Carolina'nın doğu kısımlarında alttan sulama sistemleri için yağışlarla hâsıl olan yüzey akışa ilâve olarak bir su temininin gerekli olacağı sonucuna varılmıştır.

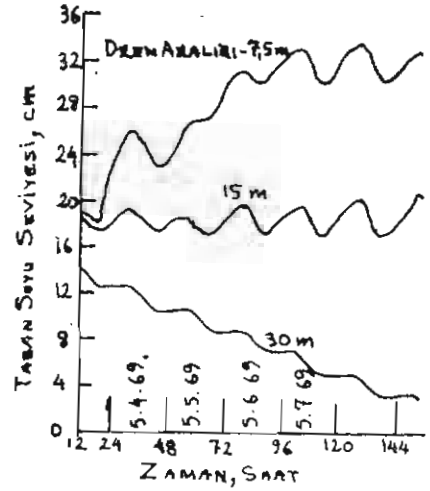
## SONUÇLAR VE ANALİZ

Aurora'daki deneme yerinde 7,5 m, 15 m ve 30 m'lik dren aralıkları için alttan sulamanın başlamasından önceki 6 gün zarfındaki taban suyu seviye değişim grafikleri Şekil 2'de verilmiştir. Taban suyu toprak yüzeyinden tak-



Şekil 2: Eevapotranspirasyon dolayısıyla taban suyunun düşümü

riben 115 cm aşağıda bulunan su seviye kontrol tesisisi kapağının altına göre verilmiştir. Her üç dren aralığı için de taban suyunun düşme miktarı yaklaşık olarak günde 2-3 cm kadardır.



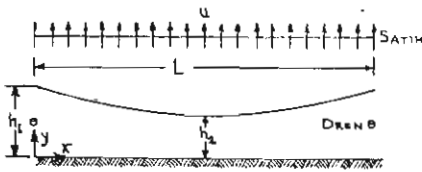
Şekil 3: Alttan sulamanın taban suyuna etkisi

Şekil 2'deki grafikler 1, 2 ve 3 nolu kuyularda kaydedilmiştir; bu kuyular dren borularının kapağın alt seviyesinin 35 cm kadar yukarısına yerleştirilmiş olduğu kısımlarda bulunmaktadır. Dolayısıyla taban suyunun sadece evapotranspirasyondan dolayı meydana geldiği düşünülebilir. Düşüm eğrisi takriben 09:00 ile 18:00 saatleri arasındaki evapotranspirasyon devresindeki fazla meyilli bir düşüşü takip eden ve saat 18:00 ile ertesi günün saat 9:00'u arasında yer alan nispeten yatay parçalardan meydana gelmiştir. Günlük düşüm miktarı taban suyu seviyesine ve bitkinin büyüme devresine bağlıdır. Günde 4-5 cm'lik değerler benzer taban suyu seviyeleri için haziran başlarında bitki büyümesinin son devrelerinde kaydedilmiştir.

Üç dren aralığı için alttan sulamanın taban suyu seviyesine etkileri Şekil 3'teki grafiklerde verilmiştir. Hendek içerisindeki su seviyesi 1969 yılının mayıs ayının 5. günü 25 cm'den

40 cm'ye yükseltilmiş ve grafikte gösterilen süre boyunca bu seviyede tutulmuştur. Taban suyu seviyesi, 6 Mayıs 1969'da 7,5 m'lik aralıkla yerleştirilmiş dren hatlarının aralarındaki orta noktada ortalama olarak 33 cm'ye yükselmiştir. Sonradan bu taban suyu seviyesi gün esnasındaki evapotranspirasyondan dolayı 1-2 cm düşmüş, fakat geceleyin tekrar eski seviyesine yükselmiştir; 15 m'lik aralıkla yerleştirilmiş olan drenlerin aralarındaki orta noktada taban suyu seviyesi, 7,5 m aralıkla yerleştirilen dren hatlarındakine benzer şekilde, yükselme ve düşmeler göstererek ortalama olarak 18 cm'de kalmıştır; 30 m'lik aralıkla yerleştirilmiş olan drenlerin aralarındaki orta noktada taban suyu seviyesi günde takriben 1,5 cm'lik bir düşüş göstermiştir. Bu durum alttan sulamanın uygulanmadığı halde görülen, günde 3-4 cm'lik düşüşün azalmış olduğunu belirtmektedir. Bununla beraber 30 m'lik dren aralığı bu toprak için taban suyunu, su tüketiminin maksimuma ulaştığı devrelerde, sabit bir seviyede tutmaya kâfi gelmemektedir.

Altan sulama durumunda, satıhta sabit bir evapotranspirasyon bulunduğu taban suyu profili kararlı akış için Şekil 4'te verilen genel şekli alır.



Şekil 4: Altan sulama esnasında taban suyu profilinin şematik şekli

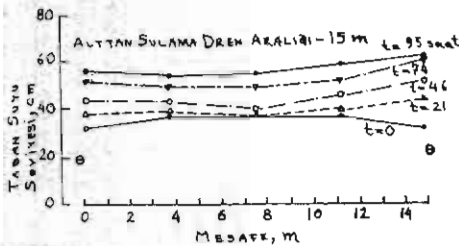
Taban suyunun şeklini tam olarak ifade etmek analog veya nümerik metodlarla -Bouwer veya Sewell ve van

Schilfgaarde tarafından yapıldığı gibisature ve sature olmayan akış için müştereke Laplace eşitliğinin çözümünü gerektirir; bununla beraber Fox ve arkadaşları Dupuit-Forchheimer kabulünü kullanarak taban suyu şeklinin tayini için yaklaşık bir cebirsel ifade elde etmişlerdir. Bu eşitlik, taban suyu seviyesinin drenlerin üzerindeki ve drenler arası mesafenin ortasındaki  $h_1-h_2$  maksimum farkını verecek şekilde arzu edilen dren veya hendek aralığını tayin için aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$L = \left[ \frac{4K}{u} (h_1^2 - h_2^2) \right]^{1/2} \dots (1)$$

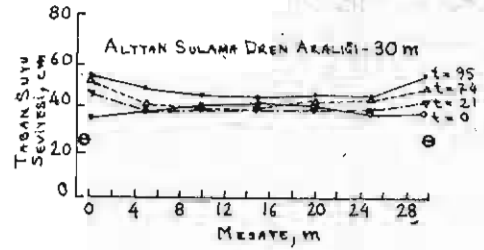
Bu eşitlikte  $L$ , dren hatları arasındaki mesafe;  $K$ , hidrolik iletkenlik;  $u$ , evapotranspirasyon miktarı;  $h_1$  ve  $h_2$  ise taban suyu seviyesinin geçirimsiz tabakaya drenlerin üzerindeki ve drenler arası mesafenin orta noktasındaki uzaklıklarıdır. Eşitlik 1'in planlama amaçlarına uygunluğu Şekil 3'te verilen bilgilerin kullanılmasıyla kontrol edilmiştir. Evapotranspirasyon miktarı  $u = 0,60$  cm/gün olarak alınmıştır. Bozulmamış toprak numunelerinden  $K = 4,2$  cm/saat'lik ortalama bir değer elde edilmiştir. Kontrol kapağının alt tarafı geçirimsiz tabakanın yaklaşık olarak 25 cm yukarısında bulunduğundan,  $h_2$ 'yi tayin etmek için bu değer Şekil 3'te verilen seviyeye ilâve edilmiştir. Dren hatları üzerindeki taban suyu seviyesinin herdeki su ile aynı seviyede olduğu farz edilerek  $h_1 = 65$  cm alınmıştır. Bu değerler Eşitlik 1'de yerlerine konduğunda gerçekte 7,5 m ve 15 m drenler arası mesafe için teorik olarak 8,5 m ve 12,6 m değerleri elde edilmiştir.

Evapotranspirasyon miktarının ölçülmemiş olması ve bozulmamış numunelerden elde edilen hidrolik iletkenlik değerinin de etkili arazi değerinden farklı oluşu dolayısıyla Eşitlik 1, 15 m'lik dren aralığı için doğru dren aralığını kestirecek olan  $K/fu$  oranının elde edilmesi için kullanılmıştır; 237 olan bu  $K/fu$  oranı, 7,5 m'lik aralık için 10,1 m değerini vermiştir. Orta noktada denge şartları sağlanmamış olduğundan 30 m'lik aralık durumu için teorik aralık hesaplanmamıştır. Eşitlik 1, 30 m aralık durumunda  $h_2$  için çözüldüğünde taban suyu seviyesinin orta noktada geçirimsiz tabakanın aşağısında olacağı çıkmıştır. Bundan başka Eşitlik 1, 30 m'lik dren aralığı durumunda, drenler arası mesafenin ortasında 18 cm'lik bir taban suyu seviyesi sağlayabilmek için hendekteki su seviyesini kapağın altından itibaren 88 cm'de tutmanın gerekeceğini göstermektedir. Bu durumda taban suyu derinliği drenlerin hemen üzerinde 27 cm'den, drenler arası mesafenin ortasında 97 cm'ye kadar değişecektir.



Şekil 5: 15 m'lik aralıkla, yerleştirilmiş dren hatlarıyla yapılan alttan sulamada taban suyu profili

Bu toprak için planlama aralıkları optimum bir taban suyu seviyesi ve müsaade edilebilecek bir maksimum değişim değeri seçilmek suretiyle he-



Şekil 6: 30 m'lik aralıkla yerleştirilmiş dren hatlarıyla yapılan alttan sulamada taban suyu profili

saplanabilir. Van Hoorn'un verdiği bilgiler patates için optimum taban suyu derinliğinin 60 cm ile 90 cm arasında olduğunu göstermektedir. Taban suyu derinliği için bu sınır değerler kullanılarak  $h_1 = 80$  cm ve  $h_2 = 50$  cm değerleriyle Eşitlik 1'den  $L$  hesaplanırsa, planlama aralığı  $L = 19,2$  m bulunur.

Hendek içerisinde yükselen su seviyesinin 15 m'lik ve 30 m'lik dren aralıklarında taban suyuna etkisinin tayini için yapılan denemenin sonuçları Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Denemenin başlangıcından evvel toprak nadas durumuydu ve 15 m ve 30 m aralıkla yerleştirilmiş drenlerin 12-20 cm yukarısında bulunan bir taban suyu seviyesi ile drene olmaktadır. Sıfır anında hendekteki su seviyesi 65 cm'ye yükseltilmiş ve 5 gün süreyle -5 cm içerisinde kalan bir sapma miktarıyla- bu seviyede tutulmuştur.

15 m'lik ve 30 m'lik aralıkların her ikisi için de gözlenen taban suyu profilleri, aşağıya doğru içbükey bir şekilde yukarıya doğru içbükey bir şekle yavaş bir geçiş ve dren hatlarından içeriye doğru nispeten küçük bir meyllle yukarıya doğru oldukça üniform bir hareket göstermişlerdir. Bu geçiş süresince 30 m'lik aralıkla yerleştiril-



miş komşu drenlerin arasındaki orta noktada profil, taban suyunda toplam olarak 2 cm'lik bir düşme ile drene olmaya devam etmiştir. Gözlem kuyusundan 5'er metre mesafede yerleştirilmiş olan piezometrelerde de, taban suyu seviyesi 21 saat sonra yukarıya doğru harekete başlamadan evvel düşmüştür. Dren aralıklarının ortasındaki taban suyu seviyesinin alttan sulamadan etkilenmesi için 74 saat geçmiştir. Bu noktadaki taban suyu 74. ve 105. saatler arasında 6 cm kadar yükselmiştir.

Taban suyu seviyesinin alttan sulamadan etkilenmesi 15 m'lik dren aralığı için daha süratlidir (Şekil 5). Başlangıçta, drene olan profil 10. saate kadar hemen hemen yatay bir durum göstermiş ve orta noktada 21 saat sonra yukarıya doğru yükselmeye başlamıştır. Orta noktadaki taban suyu seviyesi 21. ve 95. saatler arasında toplam olarak 22 cm yükselmiştir.

$$t - t_0 = \frac{f L^2}{8 K (d + y_1)} \ln \left( \frac{\frac{2d + y_1 + m}{y_1 - m}}{\frac{2d + y_1 + m_0}{y - m_0}} \right) \dots \dots \dots (3)$$

elde edilir. Burada  $m_0$ ,  $t_0$  anındaki taban suyu seviyesi;  $y_1$  hendekdeki su seviyesinin dren merkezine göre yüksekliği;  $d$  ise dren merkezinden geçirimsiz tabakaya kadar olan mesafedir.

Şekil 5 ve 6'dan açıkça görülmektedir ki alttan sulamanın başlangıç safhasında drenler arası mesafenin ortasında taban suyunun durgun veya aşağıya doğru düşmeye devam eder bir durumda bulunuşu dolayısıyla akış üniform değildir. Bu akış, drenlerin üzerindeki taban suyunun uzun bir zaman süresi içerisinde, hendekte kontrol edi-

Altan sulama şartlarında taban suyunun yukarıya doğru hareketini belirlemek için Bouwer ve van Schilf-gaarde'nin metotları kullanılarak bir eşitlik çıkarılmıştır. Eğer taban suyu, şeklini değiştirmeksizin yükselirse birim alandan olacak akış miktarı üniform olur ve

$$\frac{dm}{dt} = \frac{u}{f} \dots \dots \dots (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $m$ , drenler arası mesafenin ortasındaki taban suyu seviyesinin dren merkezlerinden olan uzaklığı;  $t$ , zaman;  $u$ , çok kısa bir süre içerisindeki alttan sulama miktarı veya yukarı doğru olan akış miktarı (uzunluk/zaman);  $f$  ise doldurulabilen gözenekliliktir. Böylece Eşitlik 1 gibi kararlı bir ilişki (aynı zamanda üniform bir akış da farz edilmektedir) Eşitlik 2'de yükselme miktarını ifade etmek için kullanılabilir. Eşitlik 1  $u$  için çözülerek Eşitlik 2'de yerine konulduktan sonra  $t_0$  ile  $t$  ve  $m_0$  ile  $m$  arasında entegre edilirse

len su seviyesine eriştiğinde de üniform olmayacak ve orta noktada yükselmeye devam edecektir. Bouwer ve van Schilf-gaarde drenaj için buna benzer durumları incelemişler ve  $C$  ile gösterilen bir düzeltme faktörü kullanarak Eşitlik 2'yi

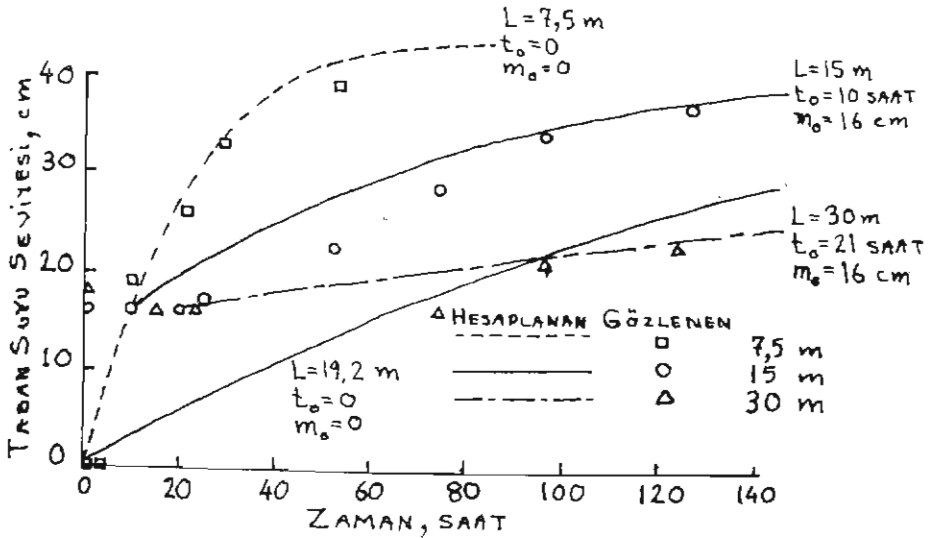
$$u = f C \frac{dm}{dt} \dots \dots \dots (4)$$

şeklinde yazmışlardır. Burada  $C$ , yukarıya doğru olan ortalama akışın, drenler arasındaki mesafenin ortasındaki akışa oranı şeklinde düşünülebilir. Bu  $C$  faktörü Eşitlik 3'ün sağ tarafına bir katsayı olarak konulacaktır. Orta nok-

tada yukarıya doğru olan akış alttan sulamanın başlangıç safhasında sıfır olduğu için  $C$  faktörü bu durumda belirsizdir. Eşitlik 3 sadece taban suyu yatay bir durum aldığı anda veya yukarıya doğru içbükeyleşerek yükselmeye başladığında geçerlidir.

Komşu dereler arasındaki mesafenin ortasındaki taban suyu seviyesinin yükselişine ilgili gözlenen ve hesaplanan değerlere ait grafik Şekil 7'de verilmiştir. Hesaplanan değerler Eşitlik 3'ten elde edilmiştir ve  $t_0$  zamanı, dre-

najdan alttan sulamaya geçiş esnasında taban suyunun takriben yatay bir şekil aldığı an olarak kabul edilmiştir. Dren aralıklarının 7,5 m, 15 m ve 30 m olduğu durumlar için bu  $t_0$  değerleri  $m_0$ 'in 0 cm, 16 cm, ve 16 cm değerleriyle karşılıklı olacak şekilde 0 saat, 10 saat ve 21 saat olarak seçilmişlerdir. Eşitlik 3'teki diğer değişkenlerin değerleri:  $K = 4,2$  cm/saat,  $f = 0,095$ ,  $d = 41$  cm ve  $y_1 = 44$  cm'dir. Taban suyu seviyeleri, kontrol kapağının 21 cm yukarısında bulunan dren hatlarının merkezlerine göre tespit edilmiştir.



Şekil 7: Komşu dereler arası mesafenin ortasındaki taban suyu seviyesinin yükselişi.

Her üç dren aralığı için de gözlenen ve hesaplanan sonuçlar arasında nispeten iyi bir mutabakat elde edilmiştir; en büyük sapmalar, orta noktadaki taban suyunun yukarıya doğru harekete başlamasından önce gecikmelerin bulunduğu küçük zaman sürelerinde husule gelmiştir. Eşitlik 3 yukarıya doğru üniform hareket kabullerine göre çıkarılmış olduğundan, bu gecikme hesapla bulunan eğride gözükmemektedir.

Orta noktadaki bu gecikmeyi karakterize etmek ve başka sınır şartları altında eşitliğin takdiri için daha ileri geliştirmeler gerekli ise de, halihazırda planlamada kullanmak için elde edilebilen toprak özelliklerinin makul bir tahmininin sağlanması yeterli görünmektedir.

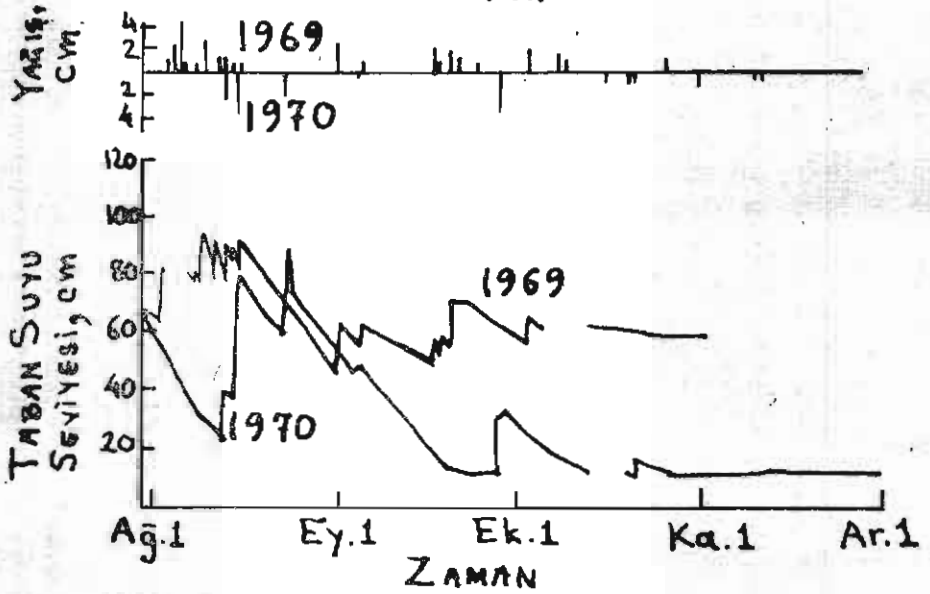
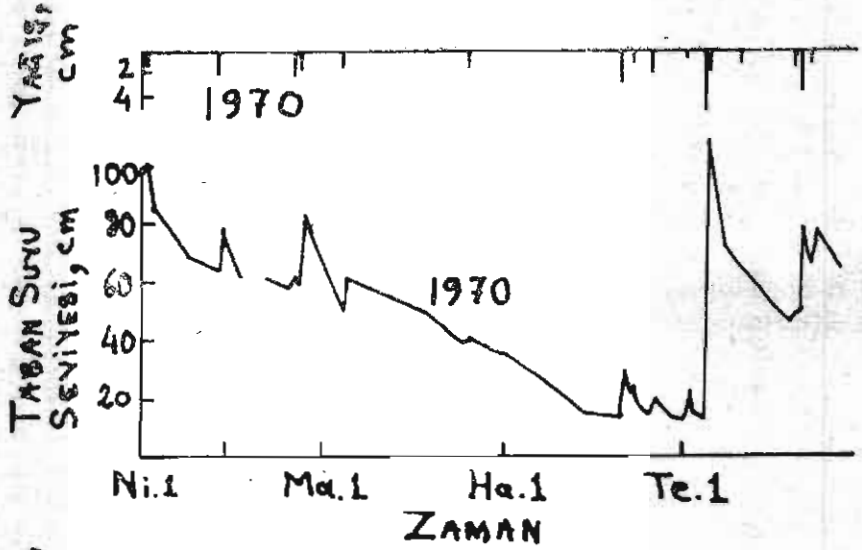
Şekil 7'de hesaplanmış planlama aralığı olan 19,2 m için de taban suyunun yükselişine ilgili bir eğri çizilmiştir

bulunmaktadır. Dren hatlarının merkezlerinin takriben 5 cm kadar yukarısında bulunan 90 cm derinlikteki bir maksimum taban suyu düşünülerek Eşitlik 3'ten, başlangıçta yatay durumda bulunan taban suyunun bu seviyeye yükselmesi için 14 saatlik bir süre hesaplanır; Eşitlik 3'te hesaba katılmayan gecikmenin 15 saat olduğu farz edilirse, optimum alttan sulama şartlarının tesis edilmesi için 29 saatlik bir süre gerekecektir. Dolayısıyla bu toprak için 19,2 m aralıkla yerleştirilecek dren hatları alttan sulama için uygun görünmektedir. Hendekdeki su seviyesini kontrol kapağının altından itibaren 60 cm yükseltmek drenler arası mesafenin ortasında taban suyu seviyesini 29 saatte toprak yüzünden itibaren 90 cm derinliğe kadar yükseltecektir. Sonra hendekdeki su seviyesi 55 cm'ye indirilerek derinliği drenlerin üzerinde 60 cm, drenler arası mesafenin ortasında ise 90 cm olan kararlı bir taban suyu tesis edilecektir.

Bir satıh altı sulama sistemi sulama suyu temin etmeye ilâveten yüksek ya-

ğış devrelerinde toprak profilinden fazla suyu drene edebilecek şekilde planlanmalıdır. North Carolina'da Plymouth'ta bulunan Bladen killi toprakta 1969 ve 1970 yıllarında yağışın taban suyunu etkisi Şekil 8'de grafik olarak gösterilmiştir. Seviyeler toprak yüzünden 170 cm derinde bulunan bir noktaya göre ölçülmüştür; taban suyu derinliği 60 ile 160 cm'ler arasında değişmiştir.

Altan sulama sistemlerinin planlanmasında yağıştan ötürü taban suyundaki kesin yükselmeler bilhassa ilgi çekicidir. Meselâ, 1 Eylüldeki 2,5 cm'lik bir yağış, taban suyu 15-20 cm'lik bir yükselmeye sebep olmuştur. Yağış dolayısıyla taban suyunun yükselmesi ve drenaj safhasında alttan sulama sisteminin çalışması bir başka araştırmada incelenmiştir. Bununla beraber yüksek taban suyunun bir yağış vukuunda taban suyu seviyesinde daha büyük yükselmelere sebep olması dolayısıyla alttan sulama kullanıldığında daha iyi bir drenaj sağlanmasının gerekli olduğu burada belirtilmelidir.



Şekil 8: Bladen killi tınında 1969 ve 1970 yıllarında taban suyu seviyeleri

## ÖZET VE SONUÇLAR

Lumbec kumlu tınlı toprağında alttan sulamanın uygulanabilirliğini tayin etmek için arazi denemeleri yapılmıştır. Dren hattı alttan sulamasının taban suyuna etkisiyle ilgili sonuçlar verilmiş ve bu sonuçlar teorik planlama eşitliklerinden elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Lumbec kumlu tınlı toprağında yapılan denemelerin sonuçları, 7,5 m'lik ve 15 m'lik dren aralığı durumunda bitki ihtiyacını karşılayacak miktardan daha fazla suyun kök bölgesine verilebileceğini göstermiştir. Bununla beraber 30 m'lik dren aralığı için bu su temini çok yavaş olmuştur. Teorik hesaplamalar göstermiştir ki patatesler için tavsiye olunan 60-90 cm'lik taban suyu derinliği bu toprakta 19,2 m'lik dren aralıklarıyla sağlanabilecektir. Alttan sulama esnasında taban suyunun yu-

kariya doğru olan hareketi için bir eşitlik çıkarılmıştır. Başlangıçtaki gecikme devresi hariç tularsa, bu eşitlik drenler arası mesafenin ortasında taban suyunun yükselişini doğru olarak kestirmede kullanılabilir.

Taban suyunun sığ derinliklerde tutulduğu alttan sulama şartlarında yağışlar taban suyunda belirgin yükselmelere sebep olacaktırlar; dolayısıyla alttan sulama sistemleri yeterli bir drenajı da sağlayacak şekilde planlanmalıdır.

North Carolina'nın doğu kısımlarında alttan sulama sistemleri için güvenilir bir su kaynağına sahip olmak gereklidir. Denemeler 1969 ve 1970 yetiştirme mevsimlerinde yağış devrelerindeki yüzey akışlarının açık hendeklerde toplanmasının alttan sulama için yeterli bir su sağlayamadığını göstermiştir.

