

Konya-Çumra Yöresinde Yüzeysel ve Tuzlu Taban Suyunun Sulanan Alanlardaki Toprak-Su ve Tuz Dengesi Üzerine

F. Konukcu

R. Akbuğa

Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Tekirdağ

Sulanan alanların çoğunda yüksek ve tuzlu taban suyu problemi ile karşılaşmaktadır. Bu durumda sulama programı normal sulama programlarından farklılık göstermektedir. Bu alanlarda kapilar yükselme ve kapilar yükselmenin neden olduğu tuzluluk dikkate alınmalıdır. Bu araştırmada bir simülasyon çalışması ile Konya-Çumra sulama sahasında, sulama programı yüksek ve tuzlu taban suyu dikkate alınarak yeniden oluşturulmaya çalışılmıştır. Taban suyundan kapilarite ile su kaybı büyükten küçüğe doğru sırasıyla tınlı, killi ve kumlu topraklardan olmuştur. Kumlu, tınlı ve killi bünyeli topraklar için tuzlulaşma riski açısından kritik taban suyu derinlikleri sırasıyla 1.0 m, 2.5 m ve 3.0 m olmuştur.. Seçilen buğday-buğday münavebesi için üç aylık nadas toprak profilinde önemli oranda tuz birikmiştir. Yeni sulama programı ile % 10 su tasarrufu sağlanırken, sürdürülebilir bir sistem de önerilmiş olmaktadır. Önerilen sistem drenaj sistemlerinin tesisini öngörmektedir.

Anahtar kelimeler: Sulama programı, tuz birikimi, kapilar yükselme, yıkama ihtiyacı

Impact of Shallow and Saline Water Tables on the Soil's Water and Salt Balance of Konya-Cumra District under Irrigation

Most of the irrigated areas are faced with waterlogging and salinity problem, whose irrigation schedules differ from a normal irrigation program. Capillary rise and subsequent salinity should be considered in these problematic areas. In this research, scheduling a new sustainable irrigation program was simulated for Konya-Cumra Irrigation District with shallow and saline water table conditions. The order of capillary losses from soils in magnitude from larger to smaller was loamy, sandy and clayey soils. Critical water table depths in terms of salinisation risks due to capillary rise were 1.0, 2.5 and 3.0, respectively for the sandy, loamy and clayey textures. For the chosen crop pattern, cereal-cereal, a considerable amount of salt accumulation was simulated during a three-month fallow period. With new irrigation scheduling, taking the capillary rise into account, not only a sustainable scheduling program is suggested but also a 10 % irrigation water is saved. The suggested program assumes the existence of a drainage system.

Keywords: Irrigation schedule, salt accumulation, capillary rise, leaching requirement

¹ Ramazan Akbuğa'nın yüksek lisans tezinden hazırlanmıştır.

Giriş

Kurak ve yarı-kurak alanlara sulamanın girmesinden çok kısa bir zaman sonra su tablasında bir yükselme ve bunu izleyen tuzluluk problemi görülmektedir (Middleton et al., 1996). Aynı problem ülkemizin en verimli sulu tarım alanlarını da tehdit etmektedir. Çukurova, Gediz Ovası ve Konya Ovası sulamaya açıldıktan sonra drenaj sorunları ile birlikte tuzluluk ve sodyumluluk sorunlarının ortaya çıktığı bilinmektedir (Anonim, 1980). Çok büyük yatırımlarla gerçekleştirilen GAP projesi içerisindeki Harran Ovası'nda da yer yer su tablasında yükselmeler ve bunu izleyen tuzluluk problemi görülmeye başlanmıştır.

Bu alanlardaki su tablası ve tuzluluk kontrolü, su dengesinin iyi bir şekilde sağlanmasına bağlıdır. İyi bir su dengesi sağlandığı durumda tuzluluk problemi de ortadan kalkacaktır (Smedema, 1990). İyi bir su dengesinin sağlanması ise yüksek taban suyundan kapilarite ile yükselen miktarın sulama programlarının oluşturulmasında dikkate alınmasını gerektirmektedir.

Taban suyundan kapilar yükselme, bunun evapotranspirasyona ve tuzlulaşmaya etkisini belirlemek amacıyla teorik (Richards, 1931; Feddes, 1971; Konukcu, 1997; Rose et al., 2005; Gowing et al., 2006 ve Konukcu et al.,

2006) veya laboratuvar ve tarla şartlarında deneysel (Kahlow et al., 1998; Konukcu and Şener, 2000; Soppe and Ayars, 2003 and Kahlow et al., 2005) olarak çalışmalar düzenlenmiştir. Bu çalışmalarda çok farklı taban suyu derinliği ve tuzluluğu, toprak tesktür ve bitki çeşidi kullanılmıştır.

Bu araştırmaların her birisi kapilar yükselmenin mekanizması, tuzlulaşma ve kapilaritenin evapotranspirasyona katkısının anlaşılmasında çok büyük katkıya sahiptir. Ancak bütün bu fiziksel olayların sulama programının oluşturulmasına etkisini birlikte değerlendiren araştırma yok denecek kadar azdır. Ülkemizde de sulanan alanların tuzluluk-sodyumluluk problemleri ve bunların ıslahı ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak su tablası ve tuzluluk kontrolüne ilişkin su dengesi çalışması mevcut değildir.

Bu çalışmanın amacı yüksek ve tuzlu taban suyuna sahip Konya-Çumra Yöresindeki sulanan alanlarda taban suyunun bitki gelişme dönemi içerisinde bitki su tüketimine, nadas döneminde ise kapilar yükselme sonucu tuzlulaşmaya etkileri araştırılıp, su tablası ve tuzluluk kontrolü için *yeni sürdürülebilir bir sulama programı* geliştirmektir.

Materyal ve Metot

Materyal

Araştırma çalışmasına konu olan ve 1915 yılında işletmeye açılan Çumra Sulama Alanı, Konya Ovası içerisinde yer almaktadır. Çumra ilçesinin topraklarını tamamı sulama sahası içerisinde olup, toplam 59 000 hektar alan sulanmaktadır. Çumra Ovası Konya kapalı havzasında yer aldığından, herhangi bir çıkış ağzı yoktur (Anonim, 1996).

İç Anadolu'nun tipik kara iklimi hüküm sürmektedir. Kışlar soğuk, kar yağışlı, ilkbahar ılımlı ve nemli, yazlar kurak ve sıcak, sonbahar ise ilkbahara oranla daha kuru ve sert geçer. Sulama alanına ait ortalama iklim verileri Çizelge 1.'de özetlenmiştir (Anonim, 1996).

Sulama sahası içerisinde eğimli alanlar yok denecek kadar azdır. Tesviyeye ihtiyaç duyan alanlar mevcut değildir. Tarımsal aktiviteleri kısıtlayacak derecede taşlılık, ağaç ve çalı sorununa ise rastlanmamıştır (Anonim, 1996).

Araştırma alanının çoğunu allüviyal topraklar teşkil etmektedir. Neredeyse sulama alanının tamamının üst ve alt toprakları ağır yapıya sahipken tınlı ve kumlu topraklara da az miktarda rastlanmıştır. Toprak derinliği oldukça fazladır. Kil derinliği 5-75 m arasında değişmektedir. Araştırma sahası toprakları alkali özelliğindedir (pH= 7.5-8.5). Kireç oranları %75-80 civarındadır.

Çizelge 1. Çumra sulama alanına ait ortalama iklim verileri (*P*: yağış; *T*: sıcaklık; *RH*: oransal nem).

Table 1. Average climatologic data for Cumra Irrigation District (*P*: precipitation; *T*: temperature; *RH*: relative humidity).

İklim verileri/ Clim. data	Aylar/Months												Yıllık/ Annual
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<i>P</i> (mm)	35.8	36.2	32.8	37.8	36.2	19.6	3.5	1.1	8.2	22.6	18.5	34.8	287.10
<i>T</i> (°C)	-1.5	2.1	6.3	10.8	15.4	18.7	22.7	21.6	17.6	12.6	5.7	1.9	11.16
<i>RH</i> (%)	78	74	65	57	56	49	41	40	47	59	72	80	60

Analizlerde bulunan ortalama jips miktarı 6-12 meq/100 g'dır. Kil derinliği 5-75 m arasında değişmektedir. Araştırma sahası toprakları alkali özelliğindedir (pH= 7.5-8.5). Kireç oranları %75-80 civarındadır. Analizlerde bulunan ortalama jips miktarı 6-12 meq/100 g'dır. Kapalı havza niteliğinde olması eriyen tuzların bitki kök bölgesinde birikerek problem oluşturmasına neden olmaktadır. Proje sahası içinde toprakların tuzluluğu % 0.1 -0.6 arasındadır. Değişebilir sodyum yüzdesinin 15'ten fazla olduğu alanlar önemli yer kaplamaktadır. Topraklar organik madde içeriği bakımından fakirdirler (%0.5-2.0 dolayında). Bor içeriği bakımından da bir tehlike yoktur (Anonim, 1996).

Sulama suyu kaynağı Beyşehir Gölü'dür. Sulama suyu sınıfı C2 S1'dir. Efektif tuzluluk 1.12, düzeltilmiş SAR değeri 0.79'dur (Anonim, 1996).

Sulamalar ve yağışlardan ileri gelen sızmalar, tahliye koşullarının kısıtlı olması sonucu drenaj problemi oluşturmaktadır. Yağışların artmasıyla birlikte taban suyunda hızlı bir yükselme meydana gelmektedir. İlkbaharda sulamaların da başlaması bu problemi daha ciddi hale getirmektedir. Araştırma alanının yaklaşık olarak 23 bin ha'ında su tablası derinliği 0-90 cm, 3 bin ha'ında 90-120 cm ve 13 bin ha'ında 120-150 cm'dir. 1000 ha civarında alanda ise yüzey drenajı yetersizdir (Anonim, 1996).

Yaygın olarak ekilen bitkiler: buğday (%30), şekerpancarı (%15), arpa (%10), yonca (%10), fasulye (%5), ayçiçeği (%5) ve diğer (%25)'dir (Anonim, 1996).

Araştırma alanında yaygın olarak tarımı yapılan bitkilerin Blaney-Cridle yöntemine göre hesaplanmış (Anonim 1996) bitki su tüketim değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çumra sulaması Blaney-Cridle yöntemine göre bitki su ihtiyaçları (mm).

Table 2. Evapotranspiration calculated by Blaney-Cridle method for Cumra irrigation district (mm)

Bitki/ Crop	Aylar/Months												Yıllık/ Annu.	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Hub./Cere.	8	16	32	66	146	128	30				21	21	15	483
Ş.panc/S.beat				42	84	124	185	172	27					634
Mısır/Corn				32	69	114	159	145	92					611
Yonca/Alfa.				32	103	136	183	164	100	24				742

Metot

Yüksek taban suyuna sahip alanlarda bitki su ihtiyacı etkili yağışlar ve sulamanın yanında bir kısmı da taban suyundan karşılamaktadır. Taban suyundan kök bölgesine olan kapılar yükselmenin dikkate alınmaması, taban suyu ve özellikle de tuzluluk problemini artırmakta ve daha karmaşık hale getirmektedir. Bu nedenle bu gibi alanlarda sulama programı oluşturulurken taban suyunun katkısı mutlaka dikkate alınmalıdır. Kapılar yükselme ile birlikte tuzların da kök bölgesine taşınması nedeniyle yeni oluşturulacak sulama programı bitki kök bölgesinde tuz dengesini de sağlamalıdır. Bu durumda su bütçesi Eşitlik 1 deki gibi ifade edilebilir.

$$I = ET - P + R^x + R^y - q_1 \quad 1$$

Eşitlikte ET : bitki su tüketimi veya evapotranspirasyon (mm) olup, daha önceden Blaney-Criddle Yöntemine göre (Anonim, 1996) hesaplanan değerler kullanılacaktır (Çizelge 2). P : etkili yağış (mm); R^x : yıkama suyu ihtiyacıdır (mm); R^y : nadas dönem sonunda kök bölgesinde biriken tuzları yıkamak için uygulanacak su miktarı (mm); q_1 : kapılar yükselme (mm). R^x sulama sezonu içerisinde, sulama suyu kalitesi, yetiştirilen bitkilerin tuza dayanım durumu ve yıkama etkinliğinin bir fonksiyonu olarak Eşitlik 2, nadas dönem sonunda kök bölgesinde biriken tuzları yıkamak amacıyla uygulanacak toplam su miktarı (R^y) ise Eşitlik 3'ten hesaplanmaktadır (van Hoorn and van Alphen, 1994).

$$R^x = (ET - P) \frac{C_i}{f_i \left(\frac{\theta_s}{\theta_{fc}} C_e - C_i \right)} \quad 2$$

$$R^y = W_{fc} \ln \frac{C_o - C_i}{C_e - C_i} \quad 3$$

Burada C_i , C_e , C_o : sırasıyla sulama suyu, herhangi bir bitki için toprak solüsyonunda maksimum izin verilebilir ve yıkanacak toprağın yıkama yapılmadan önceki (nadas dönem sonu) tuz konsantrasyonu ($g/l \approx 0.7$ dS/m); f_i : yıkama randımanı (-); θ_s ve θ_{fc} : toprağın saturasyon ve tarla kapasitesi su içerikleri (m^3/m^3); W_{fc} : toprağın tarla kapasitesinde 1.0 m'de mm olarak su derinliği

(mm). Yıkamalar sırasında su tablası üzerindeki toprak profili tek bir rezervuar olarak varsayılacaktır.

Bitki gelişme dönemi süresince taban suyunun bitki su tüketimine katkısını belirlemek amacıyla Darcy kanununun doymamış koşullarda kapılar hareketi ifade eden bağıntısı kullanılacaktır. Buna göre:

$$q_1 = K \left[\frac{d\psi_m}{dz} - 1 \right] \quad 4$$

Eşitlikte q_1 kapılar yükselme (m), K doymun olmayan koşullarda matrik potansiyelin bir fonksiyonu olarak hidrolik iletkenlik (m/gün), ψ_m matrik potansiyel (-m) ve z derinlik olup, toprak profilinden aşağıya doğru pozitiftir (m).

$$z = \int \frac{d\psi_m}{1 + q_1/K} \quad 5$$

Eşitlik 4 toprağın nispeten daha nemli olduğu sulama sezonunda kullanılabilir. Nadas veya daha kurak dönemdeki kapiller yükselme (q_{lim}) ise Gardner (1958) model ile hesaplanacaktır:

$$q_{lim} = \frac{A}{z_w^n} \quad 6$$

Burada z_w taban suyu derinliği, n ve A ise toprak tekstürü ile ilgili katsayılarıdır: $n = 3/2$ ise, $A = 3.77 a$; $n = 2$ ise, $A = 2.46 a$; $n = 3$ ise, $A = 1.76 a$ ve $n = 4$ ise, $A = 1.52 a$. Buradaki katsayılar Eşitlik 7 ve 8'deki a ve n katsayıları ile aynıdır.

Eşitlik 5, toprak tekstürü ile (pedo-transfer fonksiyonlar) matrik potansiyelin bir fonksiyonu olarak hidrolik iletkenlik $K(\psi_m)$; hacimsel su içeriğinin bir fonksiyonu olarak matrik potansiyel $\psi_m(\theta)$ ilişkilerine göre çözülebilir. $K(\psi_m)$ için Gardner (1958) modeli kullanılacaktır:

$$K(\psi_m) = \left[\frac{a}{b + \psi_m^n} \right] \quad 7$$

Burada a , b ve n toprak tekstürü ile ilgili katsayılarıdır. $\psi_m(\theta)$ ilişkisinde ise van Genuchten (1980) eşitliği kullanılacaktır:

$$\psi_m = \frac{1}{\alpha} \left(\Theta^{\frac{-1}{m}} - 1 \right)^{\frac{1}{n}} \quad 8$$

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad 9$$

Burada: θ_r higroskopik su içeriği (m^3/m^3), θ_s saturasyon su içeriği (m^3/m^3), θ volumetrik su içeriği (m^3/m^3) ve m , n ve α toprak tekstürü ile ilgili katsayılardır.

Sulama sezonunda tuz dengesi yıkama ihtiyacı ile karşılandığı için kök bölgesinde bir tuz birikimi olmayacaktır ancak nadas dönemindeki tuz birikimi (su tablası üzerindeki toprak profilinin tarla kapasitesindeki ortalama tuz konsantrasyonu) en basit bir şekilde aşağıdaki gibi ifade edilebilir (van Hoorn and van Alphen, 1994):

$$C_e = C_s + q_{lim} N C_g 10 / W_{fc} D \quad 10$$

Eşitlikteki C_e : toprak profilinde nadas dönem sonu tarla kapasitesinde tuz konsantrasyonu (g/l); C_s : başlangıç şartlarında toprağın tarla kapasitesinde tuz konsantrasyonu (g/l); q_{lim} : nadas dönemde günlük ortalama buharlaşma veya kapilar yükselme (mm/gün); N : nadas dönem uzunluğu (gün); C_g : taban suyu tuzluluğu (g/l); D : kök bölgesi derinliği (m); W_{fc} : toprağın tarla kapasitesinde yükseklik cinsinden su miktarı (mm/m).

Sürdürülebilir yeni sulama programında esas amaç su dengesinin sağlanmasıdır. Su dengesi sağlandığı takdirde su tablasındaki yükselmeler önlenirken, tuz dengesi de sağlanmış olacaktır (Smedema, 1990). Su dengesinin sağlanması, bir yıllık bir zaman

içerisinde giren akımın çıkan akıma eşit olmasıdır:

$$ET + R = I + R^x + R^y + P + q_1 + q_{lim} \quad 11$$

Eşitlikteki P en yakın meteoroloji istasyonundan elde edilmiştir (Çizelge1). Araştırma alanı bitki deseni içerisinde yer alan ET değerleri Anonim (1996)'dan sağlanmıştır. R^x ve R^y sırasıyla Eşitlik 2 ve 3 kullanılarak hesaplanmıştır. Bu eşitliklerdeki parametrelerden sulama suyu tuz konsantrasyonu (C_i) 0.35 g/l (Anonim, 1996), yetiştirilen bitkiler dikkate alınarak toprak solüsyonunda maksimum izin verilebilir tuz konsantrasyonu 2.8 g/l (van Hoorn and van Alphen, 1994) olarak alınmıştır. Nadas dönemi sonunda tuz konsantrasyonu (C_0) Eşitlik 10' dan hesaplanmıştır. Toprağın saturasyon (θ_s) ve tarla kapasitesi (θ_{fc}) su içerikleri ile tarla kapasitesinde 1.0 m'de mm olarak su derinlikleri (W_{fc}) nem-tansiyon eğrilerinden ($\psi_m(\theta)$) elde edilmiştir. Yıkama randımanı (f_i) ise araştırma alanındaki yaygın toprak bünyesi dikkate alınarak 0.85 kabul edilmiştir (van Hoorn and van Alphen, 1994). Kapilar yükselmenin hesaplanmasında dikkate alınan su tablası derinliği araştırma alanındaki 0.5 m ile 3.0 m' leri arasındadır. Eşitlikteki R ise drene edilmesi gereken su miktarını ifade etmektedir (mm)

Matrik potansiyelin bir fonksiyonu olarak hidrolik iletkenlik $K(\psi_m)$; hacimsel su içeriğinin bir fonksiyonu olarak matrik potansiyel $\psi_m(\theta)$ ilişkileri ile ilgili bir çalışma mevcut olmadığı için, Rijtema (1969)'un killi, tınlı ve kumlu bünyeye sahip bir toprak için elde ettiği ölçülmüş değerler kullanılarak, Eşitlik 7 ve 8 deki parametreler elde edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Toprak hidrolik özellikleri (Pedo-transfer fonksiyonları)

Araştırma sahasında yaygın olan üç farklı toprak tekstürlerine (killi, tınlı, kumlu) ait pedo-transfer fonksiyonları ($K(\psi_m)$ ve $\psi_m(\theta)$) Eşitlik 7 ve 8 kullanılarak belirlenmiştir. bunlara ait ve parametreler Çizelge 3.' de özetlenmiştir. Çizelge 3'deki parametrelerin Eşitlik 8'de

yerine konması ile toprakların sulama açısından önemli saturasyon, tarla kapasitesi, solma noktalarındaki hacimsel su içerikleri, yarıyıllı su tutma kapasiteleri ve sulama zamanındaki su içerikleri belirlenebilir (Çizelge 4).

Çizelge 3. Toprak hidrolik özellikleri ile ilgili parametreler.

Table 3. Soil hydraulic properties and related parameters.

Toprak/Soil texture	$\psi_m(\theta)$ parametreleri (van Genuchten, 1980)					R^2
	θ_r (m ³ /m ³)	θ_s (m ³ /m ³)	α (1/m)	n	m	
Killi/Clay	0.000	0.45	0.033	1.347	0.257	0.99
Tınlı/Loam	0.001	0.51	3.58	1.345	0.256	0.98
Kumlu/Sandy	1.001	0.41	49.36	1.526	0.345	0.97

Toprak/Soil texture	$K(\psi_m)$ parametreleri (Gardner, 1958)				R^2
	a (m)	b (m)	$a/b = K_s$ (m/s)	n	
Killi/Clay	$4.90 \cdot 10^{-9}$	$4.35 \cdot 10^{-2}$	$0.130 \cdot 10^{-12}$	2	0.99
Tınlı/Loam	$1.20 \cdot 10^{-7}$	$8.27 \cdot 10^{-4}$	$0.145 \cdot 10^{-3}$	4	0.93
Kumlu/Sandy	$1.2 \cdot 10^{-8}$	$9.32 \cdot 10^{-6}$	$0.130 \cdot 10^{-2}$	4	0.98

Çizelge 4. Araştırma alanı toprakları için sula açısından önemli bazı nem sabiteleri.

Table 4. Some critical moisture related data in relation to irrigation.

Toprak/Soil texture	Satürasyon/ Saturation (0.0 m, m ³ /m ³)	Tarla kapasitesi/ Field capacity (-1.0 m, m ³ /m ³)	Solma noktası/ Wilting point (-150.0 m, m ³ /m ³)	Yarayışlı su/ Available water (mm / m)
Killi/Clay	0.45	0.41	0.25	160
Tınlı/Loam	0.49	0.33	0.06	270
Kumlu/Sandy	0.42	0.17	0.04	130

Kapılar yükselme

Sulama sezonunda kapılar yükselme: Kapılar yükselme ve bunu izleyen buharlaşma miktarı, toprak hidrolik özellikleri, iklim koşulları ve yetiştirilen bitkiye bağlı olarak değişmektedir. Evapotranspirasyon sonucu, sulamalardan sonra toprak üst katmanlarında nem içeriği minimum bir değere kadar düşer. Buna bağlı olarak nem tansiyonu da artmaktadır. Bu su tablası düzeyinde sıfır olan nem tansiyonu ile üst kısım arasındaki tansiyon farkını artırdığı için yukarıya doğru su hareketini hızlandırmaktadır. Ancak nem düşüşü ile birlikte hidrolik iletkenlikte de çok hızlı bir düşüş meydana gelmektedir. Hidrolik iletkenlikteki düşmeler kapılar hareketi de sınırlandırmaktadır. Böylece tarla kapasitesi civarında maksimum düzeyde olan kapılar yükselme, toprak nemindeki azalmanın bir fonksiyonu olarak zamanla azalmaktadır (Hillel, 1980). Bu azalma kapiller yükselmenin çok küçük olduğu bir limit değerinde kararlı bir duruma kavuşacaktır. Konukcu (1997) bu kuralın geçerli olabilmesi için iklim koşullarının toprağın yukarıya doğru

taşıyabileceği maksimum kapasiteden daha fazla bir buharlaştırma gücüne sahip olması gerektiğini ortaya koymuştur. Maksimum kapılar yükselmenin, atmosferin buharlaştırma gücünden (potansiyel evaporasyondan) daha fazla olması durumunda, sulamadan kısa bir zaman sonra toprak profili nem bakımından dengeye ulaşırken, kapılar yükselme de potansiyel evaporasyon ile dinamik denge içerisinde olacaktır. Konukcu et al. (2004), Rose et al. (2005) ve Gowing et al. (2006) bu durumu yapmış oldukları testler ve teorik çalışmalar sonucu ortaya koymuşlardır.

Sulamalardan sonra toprak tarla kapasitesinde iken, sulamadan hemen önce sulama sezonu içerisindeki en düşük düzeyine kadar düşmektedir. Bu çalışmada sulamaların, yarayışlı suyun %50'sinin tüketildiği zaman yapıldığı kabul edilerek, her bir toprak tekstürü için en düşük nem içeriği Çizelge 4.'den yararlanılarak hesaplanmıştır. Buna göre killi, tınlı ve kumlu toprak tekstürleri için sırasıyla $0.330 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $0.195 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ve $0.105 \text{ m}^3/\text{m}^3$ tür.

Şekil 1.'de sulama sezonu içerisinde taban suyu derinliğine bağlı olarak, her bir toprak tesktürü için maksimum ve minimum kapilar yükselmelerin simülasyonu yapılmıştır. Genel olarak su tablasının yükselmesiyle birlikte kapilarite yoluyla taban suyundan buharlaşma da da artış meydana gelmiştir. Bu artış toprak tekstürüne göre önemli farklılıklar göstermiştir.

Killi topraktan kapilar yükselme, taban suyu seviyesinin 3.0 m' den 2.0 m' ye yükselmesi ile çok az bir şekilde artarken, 2.0 m ile 0.5 m arasında nispeten daha hızlı bir artış göstermiştir. 2.0 m'deki minimum ve maksimum değerler sırasıyla 0.17 ve 0.25 mm/gün olan kapilar yükselme, 0.5 m derinlikte aynı sırayla 1.0 ve 1.5 mm/gün olmuştur. Tınlı toprak bünyesinde, su tablasının 3.0 m' den 2.5 m'ye yükselmesiyle kapilar yükselmedeki artış ihmal edilebilecek kadar küçük iken, 2.5 m' den sonra hızlı bir artış göstererek, 0.5 m su tablası derinliği için minimum ve maksimum değerler sırasıyla 2.5 ve 4.0 mm/gün olmuştur. Kumlu torakta ise 1.0 m' den daha derin su tablası seviyelerinde kapilar yükselme ihmal edilebilecek kadar az olmamasına rağmen, 0.5 m su tablasında minimum ve maksimum kapilarite değerleri sırasıyla 0.7 ve 1.0 mm/gün olarak hesaplanmıştır.

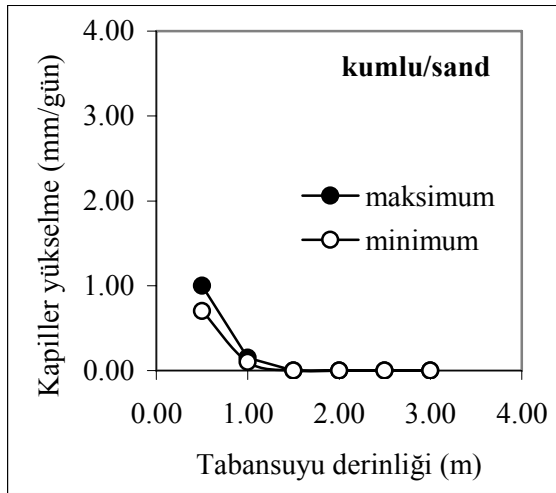
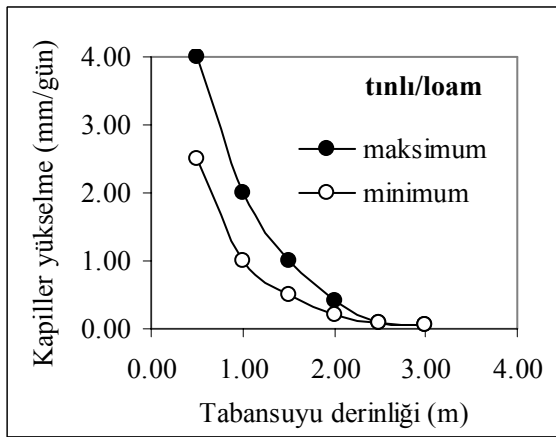
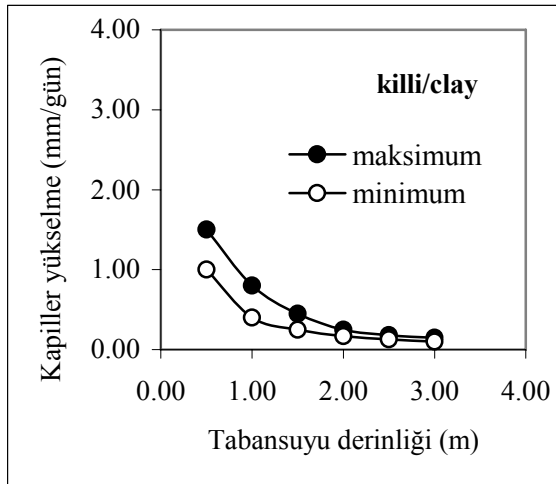
Farklı bünyeye sahip bu üç toprak karşılaştırıldığında taban suyundan kapilarite ile su kaybı büyükten küçüğe doğru sırasıyla tınlı, killi ve kumlu topraklardan olmuştur. Bu sonuç şu şekilde açıklanabilir. Kumlu toprakların gözeneklerinin çok iri olması nedeniyle çok küçük nem tansiyonlarında bile bu gözeneklerin büyük bir kısmı boşalarak, hidrolik devamlılık kırılmakta ve iletkenlik çok hızlı bir şekilde düşmekte ve sonuçta kapilarite de diğer taraftan en ince bünyeye sahip killi topraktaki kapilaritenin en yüksek olması beklenirken, tınlı toprakta için en yüksek değer hesaplanmıştır. Bu ise killi topraklarda gözeneklerin çok küçük olması nedeniyle 3.0 m'den bile az da olsa kapilarite olayının meydana gelmesine karşılık, bu toprakların hidrolik iletkenlikleri orta bünyeli topraklara nazaran oldukça düşük olması ile açıklanabilir. Bu nedendir ki, yüksek ve tuzlu taban suyu koşullarında tuzlulaşma riskini azaltmak için su tablası derinliği de tınlı > killi > kumu toprak olacak şekilde planlanmaktadır. Benzer

sonuçlar Rijtema (1969) ve Bos et al. (1996) tarafından da bulunmuştur. Ayrıca Şekil 1. araştırma sahasındaki kumlu, tınlı ve killi bünyeli topraklar için kritik taban suyu derinliklerinin sırasıyla 1.0 m, 2.5 m ve 3.0 m olduğunu da göstermektedir.

Nadas dönemde kapilar yükselme: Taban suyu derinliğinin bir fonksiyonu olarak nadas döneminde Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanan kapilar yükselme Sekil 2' de verilmiştir. Nadas dönemde de su tablası derinliğine bağlı olarak kapilar yükselme değerleri sulama sezonunkine benzer bir eğilim göstermiştir. Ancak günlük kapilar yükselme değerleri sulama sezonundakilerden daha düşüktür. Örneğin 1.0 m su tablası derinliği için killi, tınlı ve kumlu bünyedeki topraklar için sulama sezonundaki minimum kapilar yükselme değerleri sırasıyla 0.4, 1.0 ve 0.10 mm/gün iken nadas dönemindeki kapilar yükselmeler yine aynı sırayla 0.30, 0.6 ve 0.04 mm/gün'dür. Sulama sezonuna göre nadas dönemde kumlu toprakta en büyük düşüş kaydedilmiştir, %60. Bunu %40 ile tınlı ve %25 ile de killi toprak bünyesi takip etmiştir.

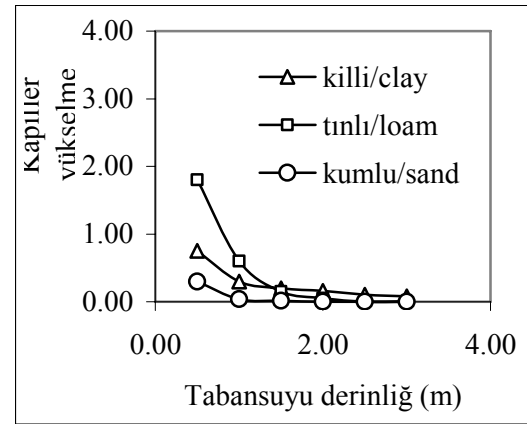
Nadas dönemde sulama sezonundaki kapilar yükselme değerlerinden daha küçük değerler elde edilmesinin nedeni toprak profili ve özellikle toprak yüzeyine yakın bölgedeki düşük nem içeriğidir. Sulama sezonunda toprak nem içeriğinin ancak belirli bir seviyeye kadar düşmesine izin verilirken, nadas döneminde toprak yüzeyindeki nem içeriği hava kurusu veya limit bir değere kadar düşmektedir.

Nem içeriğinin düşmesiyle birlikte hidrolik iletkenlik düşmekte ve buna bağlı olarak da kapilar yükselme kısıtlanmaktadır. Kurak dönemin başlangıcında toprak profili nispeten daha yüksek neme sahiptir. Atmosferik buharlaştırma gücü kurak dönemde artarak, su tablasından toprak profili boyunca sağlanabilecek maksimum kapasiteyi geçer. Bu ise toprak profilinin üstten başlayarak kurummasına neden olur. Bu kuruma işlemi toprak üst tabakasındaki nem içeriğinin limit bir değere düşmesine kadar devam eder. Kurak dönemin yeterince uzun sürmesi halinde, iklim şartları, toprak özellikleri ve taban suyu derinliğine bağlı olarak toprak profili boyunca nem içeriği dengeye gelir. Bu durumda yüzeyden meydana gelen buharlaşma kapilar yükselmeye eşittir.



Şekil 1. Sulama sezonunda su tablası derinliğinin fonksiyonu olarak araştırma alanındaki farklı topraklar için minimum ve maksimum kapilar yükselmeler.

Figure 1. Maximum and minimum capillar rise against watertable depth for different soils in the research area.



Şekil 2. Nadas dönemde su tablası derinliğinin bir fonksiyonu olarak araştırma alanındaki farklı topraklar için kapilar yükselme miktarları.

Figure 2. Capillar rise during fallow period versus watertable depth from different soil textures.

Toprak yüzeyindeki minimum nem içeriği toprak testtürüne bağlı olarak değişmektedir. Konukcu et al. (2004) toprak testtürünün bir fonksiyonu olarak limit su içeriklerini hesaplamıştır. Bu araştırmada da Konukcu et al. (2004)'ün vermiş olduğu değerler kullanılmıştır. Buna göre killi, tınlı ve kumlu toprak bünyeleri için 0.02, 0.06 ve 0.14 m³/m³'tür.

Nadas dönemindeki kapilarite nedeniyle tuzlulaşma ve yıkama ihtiyacı

Toplam kapilar yükselmenin belirlenebilmesi için nadas periyodun uzunluğuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ise bitki deseni ve ekim nöbetine göre değişmektedir. Sulama alanında yaklaşık 15 bitki çeşidinin tarımı yapılmaktadır. Bunlar içerisinde hububat, şekerpancarı ve mısır

toplam alanın %75'inden fazlasını kapsamaktadır. Hububat- şekerpancarı-hububat, hububat-mısır-hububat, hububat-hububat gibi münavebe sistemleri en yaygın olan münavebelerdir. Hububat-hububat münavebe sisteminin dışındaki iki münavebede nadas dönemden hemen sonra ekim yapılmamakta ve biriken tuzlar kış yağışları ile yıkanmaktadır. Bu nedenle bu araştırmada örnek olarak

hububat-hububat için hesaplama yapılacaktır. Araştırma alanında hububat Haziran ayının sonuna doğru veya Temmuz ayının başında hasat edilip, Ekim ayında ekilmektedir. Arada kalan üç aylık (90 gün) dönem nadas dönemidir. Bu dönemde tuzların profilden yıkanmasına fırsat verecek etkili bir yağış ta yoktur. Nadas dönemindeki toplam kapilar yükselme Çizelge 5.'te verilmiştir.

Araştırma alanındaki taban suyu seviyeleri 0.5 m ile 3 m arasında değişmektedir. 2.0 m den daha derin olan taban suyu da tuzluluk açısından fazla risk oluşturmadığı için, hesaplamalar 0.5, 1.0, 1.5 ve 2.0 m taban suyu derinlikleri için yapılmıştır. Yetiştirilen bitkilerde verim düşüşüne neden olmayan maksimum değer (2.8 g/l), nadas dönem başlangıcındaki toprak profilinin ortalama tuz konsantrasyonu olarak alınmıştır (van Hoorn and van Aphen, 1994). Buna göre tarla kapasitesi civarında bir nem içeriğine sahip olması durumunda toprak suyunun nadas döneminde sahip olacakları tuz konsantrasyonları Çizelge 6'da verilmiştir.

Ekim ayında toprak profilinde biriken tuzlar yıkanarak sulama sezonuna başlanması gerekmektedir. Bu nedenle Ekim ayının ET değerlerine sulama ile eklenen tuzları yıkama ihtiyacının yanında profildeki tuz konsantrasyonunu tekrar bitkilerde verim düşüşü oluşturmayan maksimum konsantrasyona getirmek için uygulanacak su miktarı da eklenmelidir. Çizelge 7.'de nadas döneminde biriken tuzları yıkayacak su miktarları verilmiştir.

Beklendiği gibi tınlı toprak profilinde kapilaritenin daha hızlı, tuz birikiminin daha fazla olması nedeniyle yıkama ihtiyacı da en fazladır. 0.5 m su tablasında önemli miktarda yıkama ihtiyacı duyulurken 1.0 m de azalmış, 1.5 ve 2.0 m'ler için ise yıkamaya ihtiyaç duyulmamıştır. Pratik açıdan değerlendirildiğinde, inşa edilecek drenaj sistemleri su tablasını 1.5 m derinde muhafaza ettiği takdirde kapilarite nedeniyle tuzluluk problemi de önlenmiş olacaktır.

Çizelge 5. Nadas döneminde (Temmuz, Ağustos ve Eylül'de) farklı toprak tekstürü ve su tablası derinliğinden toplam kapilar yükselme (mm).

Table 5. Total capillary rise during fallow period (July, August and September) from different soil textures and watertable depths.

Toprak/soil texture	Su tablası derinliği/watertable depth			
	0.5 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m
Killi/Clay	67	27	23	15
Tınlı/Loam	162	54	44	5
Kumlu/Sandy	27	4	3	-

Çizelge 6. Nadas dönem sonunda farklı toprak tekstürleri ve su tablası derinlikleri için hesaplanan toprak suyunun tuz konsantrasyonları (g/l).

Table 6. Calculated salt concentration (g/l) of soil water at the end of the fallow period for different soil textures and watertable depths.

Toprak/soil texture	Su tablası derinliği/watertable depth			
	0.5 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m
Killi/Clay	3.5	2.9	2.9	2.8
Tınlı/Loam	4.8	3.1	2.9	2.8
Kumlu/Sandy	3.4	2.8	2.8	2.8

Çizelge 7. Nadas döneminde biriken tuzları toprak profilinden yıkamak amacıyla uygulanacak su miktarı (mm).

Table 7. The amount of water to leach the salt accumulated during the fallow period (mm).

Toprak/soil texture	Su tablası derinliği/watertable depth			
	0.5 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m
Killi/Clay	103	23	-	-
Tınlı/Loam	203	44	-	-
Kumlu/Sandy	41	5	-	-

Sulama programının oluşturulması

Taban suyunun kapilarite yoluyla kök bölgesine sağladığı su miktarını dikkate alarak sürdürülebilir bir sulama programının oluşturulması için Materyal ve Metotda açıklanan prosedür ve parametreler kullanılmıştır. Taban suyundan kapilar yükselmenin dikkate alınmadığı ve alındığı durumda farklı su tablası derinlikleri için sulama suyu miktarları killi, tınlı ve kumlu toprak tekstürleri için sırasıyla Çizelge 8, Çizelge 9 ve Çizelge 10'da özetlenmiştir.

Taban suyundan belirli bir su tablası derinliğinden ve toprak bünyesinden herhangi bir aya ait toplam katkı miktarını hesaplamak için Şekil 1.'de verilen günlük minimum ve maksimum değerlerin ortalaması alınıp, aydaki

gün sayısı ile çarpılmıştır. Ekim – Nisan ayları arası aylık etkili yağış miktarı bitki su tüketimini karşıladığı için sulama yapılmasına ihtiyaç yoktur ancak Ekim ayında nadas döneminde toprak profilinde biriken tuzları yıkamak için sulama yapılmalıdır (Çizelge 7 ile Çizelge 8, 9 ve 10).

Ekim-Nisan döneminde etkili yağış değerleri evapotranspirasyon değerlerinden daha büyük olduğu için drenaj durumu geçerli olup, bu dönemde taban suyu katkısı ve dolayısıyla tuzluluk oluşmamıştır. Bu nedenle bu dönem çizelgelerde yer almamıştır. Nisan ayında çok az bir sulama ve yıkamaya ihtiyaç duyulurken, Mayıs ayında maksimum değere ulaşmış ve bunu Haziran ayı takip etmiştir.

Çizelge 8. Taban suyundan kapilar yükselmenin dikkate alınmadığı (normal) ve alındığı durumda farklı su tablası derinliklerinden **killi toprak** bünyesi için sulama programı.

Table 8. Irrigation scheduling for different watertable depths and **clayey soil** with (normal) and without considering watertable contribution.

Aylar/ Month	C_i	C_g	C_m	ET	P	Normal		Taban suyu katkısı dikkate alındığında Watertable contribution is considered							
						R^x	I	R^x				I			
								0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m
Ek/Oc	0.5	2	2	21	23	0	0	103	23	0	0	101	21	0	0
Ni/Ap	0.5	2	2	66	37	3	32	17	7	5	5	16	24	27	28
Ma/Ma	0.5	2	0.9	146	36	11	121	21	15	13	12	101	113	116	117
Ha/Ju	0.5	2	1.0	128	36	9	101	20	13	12	11	82	93	96	98

Çizelge 9. Taban suyundan kapilar yükselmenin dikkate alınmadığı (normal) ve alındığı durumda farklı su tablası derinliklerinden **tınlı toprak** bünyesi için sulama programı.

Table 9. Irrigation scheduling for different watertable depths and **loamy soil** with (normal) and without considering watertable contribution.

Aylar/ Month	C_i	C_g	C_m	ET	P	Normal		Taban suyu katkısı dikkate alındığında Watertable contribution is considered							
						R^x	I	R^x				I			
								0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m
Ek/Oc	0.5	2	2	21	23	0	0	203	44	0	0	201	42	0	0
Ni/Ap	0.5	2	2	66	37	3	32	16	16	9	5	58	15	23	28
Ma/Ma	0.5	2	1.5	146	36	11	121	41	31	16	13	76	111	111	117
Ha/Ju	0.5	2	1.7	128	36	9	101	41	28	14	11	58	90	91	97

Çizelge 10. Taban suyundan kapilar yükselmenin dikkate alınmadığı (normal) ve alındığı durumda farklı su tablası derinliklerinden **kumlu toprak** bünyesi için sulama programı.

Table 10. Irrigation scheduling for different watertable depths and **sandy soil** with (normal) and without considering watertable contribution.

Aylar/ Month	C_i	C_g	C_m	ET	P	Normal		Taban suyu katkısı dikkate alındığında Watertable contribution is considered							
						R^x	I	R^x				I			
								0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	0.5m	1.0m	1.5m	2.0m
Ek/Oc	0.5	2	1	21	23	0	0	41	5	0	0	0	39	3	0
Ni/Ap	0.5	2	2	66	37	3	32	11	8	3	3	19	34	32	32
Ma/Ma	0.5	2	1	146	36	11	121	18	17	11	11	107	127	121	121
Ha/Ju	0.5	2	1	128	36	9	101	16	15	9	9	87	107	101	101

Kapilar yükselmenin dikkate alınmadığı normal koşullar ve dikkate alındığı durumdaki sulama miktarları karşılaştırıldığında, çok önemli farklılıklar olmadığı ancak bazı killi ve tınlı toprakların yüksek su tablası derinliklerinde toplam sulama miktarının normal olana göre % 10 civarında daha az olduğu görülmüştür. Su tablasının evapotranspirasyona önemli derecede katkı sağlamasına rağmen sulama miktarları arasında fazla fark çıkmamasının nedeni, kapilar yükselmenin meydana getirdiği tuzları yıkamak amacıyla uygulanan su bu açığı tekrar kapatmıştır. Burada kısıtlı sulama göz önüne alınmamıştır. Kısıtlı sulamada bu farkın önemli oranda artacağı beklenebilir. Taban suyunun üç

aylık dönemdeki evapotranspirasyona katkısı (q_1 / ET) Çizelge 11’de özetlenmiştir.

Taban suyunun evapotranspirasyona katkısı toprak tekstürü, taban suyu derinliği ve evapotranspirasyon miktarlarına bağlı olarak önemli oranda değişmiştir.

Sulanan alanların çoğunda yüksek ve tuzlu taban suyu problemi ile karşılaşmaktadır (Middleton *et al.* 1996). Yüksek taban suyunun varlığında ise sulama programı normal sulama programından farklılık göstermektedir. Bu alanlarda kapilar yükselme ve kapilar yükselmenin neden olduğu tuzluluk dikkate alınmalıdır.

Sonuç

Genel olarak su tablasının yükselmesiyle birlikte kapilarite yoluyla taban suyundan buharlaşmada da artış meydana gelmiştir. Su kaybı büyükten küçüğe doğru sırasıyla tınlı, killi ve kumlu topraklardan olmuştur. Bu

nedenle, yüksek ve tuzlu taban suyu koşullarında tuzlulaşma riskini azaltmak için su tablası derinliği de tınlı > killi > kumlu toprak olacak şekilde planlanmalıdır. Araştırma sahasındaki kumlu, tınlı ve killi bünyeli

topraklar için tuzlulaşma riski açısından kritik taban suyu derinliklerinin sırasıyla 1.0 m, 2.5 m ve 3.0 m olduğunu da göstermektedir.

Bu araştırmada örnek olarak hububat-hububat münavebesi için hesaplama yapılmıştır. Hububat Haziran ayının sonuna doğru veya Temmuz ayı başında hasat edilip, Ekim ayında ekilmektedir. Arada kalan üç aylık (90 gün) dönem nadas dönemidir. Bu dönemde toprak profilinde önemli oranda tuz birikmiştir.

Ekim ayında toprak profilinde biriken tuzlar yıkanarak sulama sezonuna başlanması gerekir. Kapilaritenin dikkate alınmadığı normal koşullar ve dikkate alındığı durumdaki sulama miktarları karşılaştırıldığında, çok önemli farklılıklar olmadığı bulunmuştur. Ancak killi ve tınlı toprakların 1.0 m'den daha yüksek su tablasında toplam sulama miktarının normal olana göre % 10 civarında daha az olduğu görülmüştür. Su tablası evapotranspiras-

yonu önemli derecede katkı sağlamasına rağmen sulama miktarları arasında fazla fark çıkmamasının nedeni kapilar yükselmenin meydana getirdiği tuzları yıkamak amacıyla uygulanan suyun bu açığı tekrar kapatmasıdır. Normal sulamalarda Ekim ayında yıkama amaçlı su uygulanmaması özellikle 1.0 m'den daha yüksek taban suyu olan bölgelerde tuzluluk nedeniyle çimlenme ve çıkışta önemli sorunlar oluşturması kaçınılmazdır. Yeni sulama programı ile % 10 su tasarrufu sağlanırken, sürdürülebilir bir sistem de önerilmiş olmaktadır.

Simülasyonlarda kısıtlı sulama ve şekerpancarı gibi çok su isteyen bitkiler dikkate alınmamıştır. Bu durumlarda taban suyunun katkısı ve sulamadan tasarruf önemli oranda artacağı beklenebilir. Sürdürülebilir yeni program drenaj sistemlerinin tesis edilmesi durumunda geçerlidir.

Çizelge 11. Sulama aylarının herbirinde ve toplam 3 aylık sulama sezonunda taban suyunun evapotranspirasyona katkı oranları (q_1 / ET).

Tablo 11. Ratio of watertable contribution to crop water requirement for the irrigation months individually and the total of the three months.

Aylar/ Month	Killi/Clay				Tınlı/Loam				Kumlu/Sandy			
Ni/Ap	0.50	1.0	1.50	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.50	1.0	1.5	2.0
Ma/Ma	0.45	0.18	0.11	0.08	1.14	0.45	0.23	0.09	0.32	0.05	0	0
Ha/Ju	0.21	0.08	0.05	0.03	0.51	0.21	0.10	0.04	0.14	0.02	0	0
Toplam/ Total	0.23	0.09	0.06	0.04	0.59	0.23	0.12	0.05	0.16	0.02	0	0
	0.26	0.11	0.07	0.05	0.66	0.26	0.13	0.05	0.19	0	0	0

Kaynaklar

- Anonim, 1980. Topraksu İstatistik Bülteni. Topraksu Genel Güdürlüğü. Ankara.
- Anonim, 1996. Karaman ve Konya Projeleri III. merhale (Karadağ ve Konya-Çumra Sulamaları) planlama revize ve ek alan sınıflandırma ve drenaj raporu. DSİ Genel Müdürlüğü, IV. Bölge Müdürlüğü Proje No: 164-1605.
- Bos, M.G., G. Vos and R. A. Feddes, 1996. CRIWAR 2.0 A simulation model on crop irrigation water requirements. ILRI Publication 46. Wageningen, The Netherlands, 117p.
- Feddes, R.A. 1971. Water, heat and crop growth. Ph D. Thesis, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. H. Veenman and Zonen, Wageningen. 184 p.
- Gardner, W.R. 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with applications to evaporation from a watertable. Soil Science 85: 228-232.
- Gowing, J.W., F. Konukcu and D.A. Rose, 2006. Evaporative flux from a shallow watertable: the influence of a vapour-liquid phase transition. Journal of Hydrology (in press).
- Hillel, D. 1980. Fundamentals of Soil Physics. Academic Press Inc., London 413 p.

- Kahlown, M.A., M. Iqbal, G.V. Skogerboe and S.U. Rehman, 1998. Water logging, salinity and crop yield relationships. Mona Reclamation Experimental Project, WAPDA, Report No. 233.
- Kahlown, M.A., M. Ashraf and Z. Haq, 2005. Effect of shallow groundwater table on crop water requirements and crop yields. *Agricultural Water Management* 76: 24-35.
- Konukcu, F. 1997. Upward transport of water and salt from shallow saline watertables. The University of Newcastle, PhD thesis, Newcastle upon Tyne, UK.
- Konukcu, F. and M. Şener, 2000. Prediction Saline Watertable Contribution to Crop Evapotranspiration. International Symposium on Techniques to Control Salinity for Horticulture Productivity, November-2000, Antalya.
- Konukcu, F. A. Istanbuluoglu, I. Kocaman, 2004. Determination of water content in the drying soils: incorporating transition from liquid phase to vapour phase. *Australian Journal of Soil Research* 42: 1-8.
- Konukcu, F., J.W. Gowing and D. A. Rose, 2006. Dry Drainage: A sustainable solution to waterlogging and salinity problem in irrigation areas. *Agricultural Water Management* (in press).
- Middleton, A. A., G. J. Hoffman and R. F. Stoner, 1966. Planning redevelopment of an irrigation system for control of salinity. Proceedings of Conference on Civil Engineering Problems Overseas. Institution of Civil Engineers, London.
- Richards, L. A. 1931. Capillary conduction of liquid through porous media. *Physics*, 1: 318-333
- Rijtema, P. E. 1969. Soil moisture forecasting. Nota 513. Institute for Land and Water Management Resources, Wageningen, the Netherlands: 28p.
- Rose, D. A., F. Konukcu and J. W. Gowing, 2005. Effect of watertable depth on evaporation and salt accumulation above saline groundwater. *Australian Journal of Soil Research* 43: 565-573.
- Smedema, L.K. 1990. Natural salinity hazards of irrigation development in (semi-) arid regions. Proceedings of symposium on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-Arid Regions. ICID-CIID, Cairo, Egypt.
- Soppe, R. W.O. and J. E. Ayars, 2003. Characterizing ground water use by safflower using weighing lysimeters. *Agricultural Water Management* 60: 59-71.
- van Genuchten, M. T. 1980. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44: 892-898.
- van Hoorn, J. W. and van J. G. Alphen, 1994. Salinity control. In: Ritzema H.P. (Ed.), *Drainage Principles and Applications*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, pp. 533-600