

Sulamada Tuzlu Su Kullanımı

Berkant ÖDEMİŞ

Mustafa Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü
31034, HATAY

Özet

Sulanan alanlar için yeterli miktar ve kalitede sulama suyunun temini gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynaklarının kirlenmesi ve azalması besin üretimi üzerinde yoğun baskılar yaratarak geleceği tehdit etmektedir. Bu nedenle ülkeler, geleceğe dönük sulama stratejilerini hazırlarken yeraltı ve atık suların kullanımına dönük çalışmalar yapmaya başlamışlardır. Bu amaçla drenaj suyunun sulamada kullanılması, suyun daha etkin kullanılmasını sağlarken birtakım olumsuzlukları da (toprakta tuz birikmesi, çevresel sorunlar vb.) beraberinde getirmektedir. Drenaj sularının içerdiği yoğun organik maddeler, patojenik mikroorganizmalar, kirleticiler ve yüksek tuz içeriği, suyun kendisinin bir kirlilik kaynağı olmasına neden olmaktadır. Özellikle toprak tuzluluğunun önlenmesine yönelik yıkamaların drenaj suyu miktarını artırması, kirlilik düzeyini yükseltmektedir. Bu makalede drenaj suyu ile sulanan alanlarda toprak tuzluluğunun önlenmesi için alınması gerekli önlemler ile su kaynaklarının ve drenaj suyu kalitesinin korunmasına yönelik çeşitli seçenekler tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tuzluluk, Su Kalitesi, Atık Sular, Yıkama

Giriş

Kurak ve yarı kurak bölgelerde kaliteli suların öncelikle kentsel kullanıma sunulması, yeraltı ve drenaj suları ile atık suların (kentsel ve endüstriyel) sulamada kullanılması, su kaynaklarının verimliliği açısından çok önemlidir (Mızrahi ve Pasternak 1985). Ancak anılan su kaynaklarının sulama suyu olarak kullanımında en önemli sorun, başta tuz içeriklerindeki farklılıklar olmak üzere, tuzun miktarı ve niteliğine ilişkindir (Çizelge 1).

Tuz içeriği yüksek sulama sularının kullanılması durumunda toprakta tuz birikiminin artması kaçınılmazdır. Bu durumu önlemek için su ve besin elementlerinin aktif biçimde absorbe edildiği, üst toprak katmanından tuzların yıkanarak uzaklaştırılması gerekmektedir. Yıkama ile bitki kök bölgesinde biriken tuzların doğal veya yüzey altı drenaj sistemleri ile dışarıya atılması gerekir. Bu nedenle yüzey altı drenaj sistemleri, taban suyunun kapılar yükselişini ve tuz birikimini önleyerek, yıkamaya olanak sağlayacak biçimde planlanmalıdır (Hamdy 1999).

Sulama sonrası yüzey ve yüzey altı drenaj sularının havzalardaki su kaynaklarını kirletmesi, sulanan alanlardaki toprak tuzluluğunun denetlenmesini ve anılan bölgelerde uygun bir sulama işletiminin planlanmasını gerektirir. Bu nedenle, sulama uygulamalarında yüzey akışın ve drenaj suyu miktarının azaltılması yanında su ve (dolayısıyla) tuz dengesinin de göz önüne alınması, tuzlu su ile sulama stratejisinin başarısı için çok önemli bir özelliktir.

Çizelge 1. Suyun sınıflandırılması (Rhoades ve ark. 1992)

Table1. Classsification of Water (Rhoades et al. 1992)

Suyun tipi <i>Type of water</i>	ECi (dS/m)	TDS (g/L)	Sınıfı Class
İçme ve sulama suyu <i>Drinking and irrigation water</i>	<0.7	<0.5	Tuzsuz <i>Non-saline</i>
Sulama suyu <i>Irrigation water</i>	0.7-2.0	0.5-1.5	Az tuzlu <i>Slightly saline</i>
Drenaj ve yeraltı suyu <i>Drainage water and groundwater</i>	2.0-10.0	1.5-7.0	Orta tuzlu <i>Moderately saline</i>
İkincil drenaj ve yeraltı suyu <i>Seconder drainage and groundwater</i>	10.0-20.0	7.0-15.0	Yüksek tuzlu <i>Highly saline</i>
Çok tuzlu yeraltı suyu <i>Very saline groundwater</i>	20.0-45.0	15.0-35.0	Aşırı tuzlu <i>Very highly saline</i>
Deniz suyu <i>Sea water</i>	>45.0	>35.0	Tuz denizi <i>Brine</i>

Sulanan Alanlarda Su ve Tuz Dengesi

Kök bölgesindeki tuz birikiminin önlenmesinde topraktaki su ve tuz dengesi ile taban suyu altındaki doymuş bölgenin göz önüne alınması gerekir (Şekil 1).

Belirli bir zaman aralığında bitki kök bölgesindeki su dengesi Eşitlik 1’de gösterilmiştir.

$$I + P + G = ET_c + R \pm \Delta W \quad (1)$$

Eşitlikte; I: sulama suyu miktarı (mm), P: etkin yağış miktarı (mm), G: kapilar yükseliş (mm), ET_c: bitki su tüketimi (mm), R: derine sızma (mm), ΔW: kök bölgesinde depolanan su miktarındaki değişim (mm)’dir.

Su dengesini oluşturan etmenlerin tuz içerikleri aynı zamanda kök bölgesindeki tuz dengesini oluşturur. Ancak tuz dengesinin tanımlanmasında tuzların tamamının çözündüğü, yağmur suyu ve yapay gübrelerin tuz katkısının olmadığı ve bitkiler tarafından absorbe edilen tuz miktarının önemsiz olduğu kabul edilir (Smith ve Hancock 1986). Buna göre bitki kök bölgesindeki tuz dengesi aşağıdaki şekilde yazılabilir (Eşitlik 2).

$$I_{ci} + G_{cg} = R_{cr} \pm \Delta z \quad (2)$$

Burada ci: sulama suyunun, cg: kapilar yükselme ile kök bölgesine gelen suyun cr: derine sızan suyun tuz konsantrasyonlarıdır. Δz ise kök bölgesindeki tuz içeriğinin değişimini göstermektedir. Eşitlikteki tüm birimler (g/L) boyutundadır.

Kök bölgesine sulama ve kapilar yükseliş ile gelen tuz miktarının, yıkama ile uzaklaştırılan tuzdan fazla olması durumunda kök bölgesindeki tuz birikimi artar. Bu nedenle sulanan alanlarda uygun tuz dengesi, tuzların yıkanması ile sağlanır.

Sulamalar sırasında çözünmüş tuzları içeren süzük suyu kök bölgesi altına tuzları biriktireceği için tuzlar ya aküfere ya da yüzey altı drenaj sistemi ile drenaj kanallarına ulaşır. Aksi takdirde kök bölgesi etrafında su ve tuz fazlalığından kaynaklanan sorunlar baş gösterir. Bu nedenle sulamalar sırasında toprağın doymuş bölgesindeki su ve tuz dengesinin dikkate alınması gerekir. Bu veriler ışığında su dengesi aşağıdaki şekilde yeniden yazılabilir (Eşitlik 3).

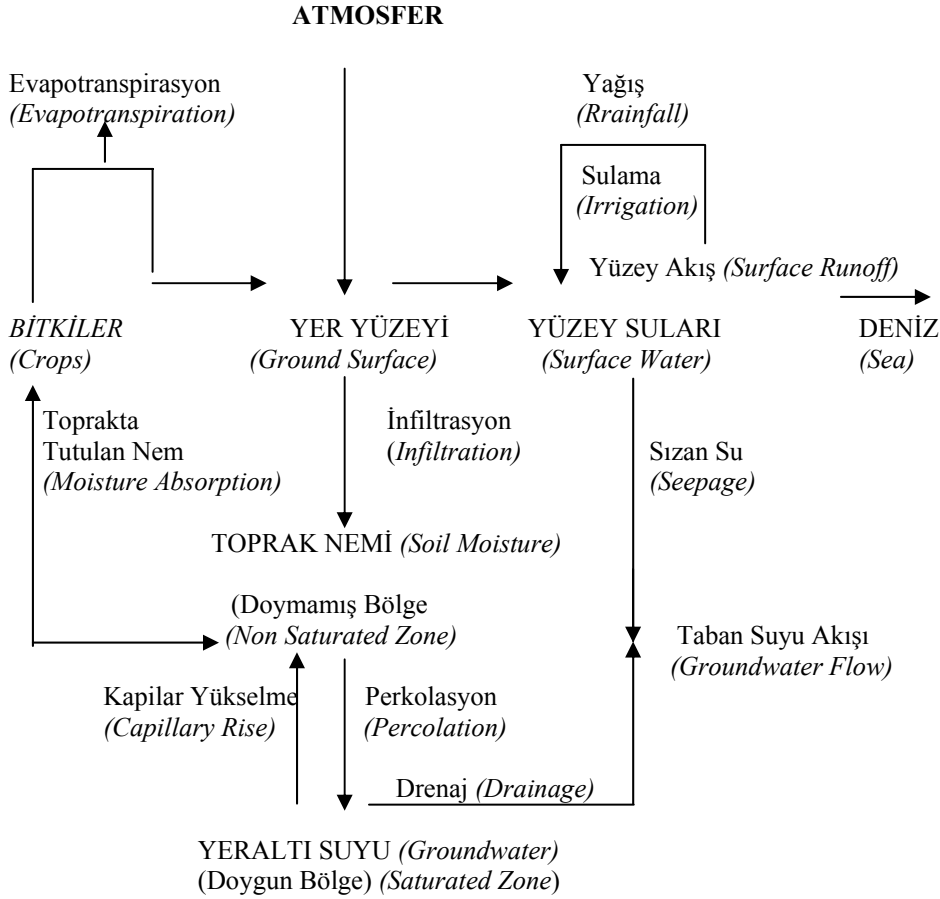
$$R + S = G + Dr \pm \mu \Delta h \quad (3)$$

SULAMADA TUZLU SU KULLANIMI

Denklemden S: kullanılan yer altı suyunun yenilenmesi için gerekli derine sızma miktarı (mm), Dr: drenaj suyu miktarı (mm), Δh: taban suyu düzeyinin değişimi (mm), μ: etkin porozite'dir. Su ile doymuş haldeki kök bölgesi tuz dengesi ise Eşitlik 4'deki gibi yazılabilir.

$$Rc_r + Sc_s = Gc_g + Drc_{dr} \pm \mu \Delta h c_{dr} \quad (4)$$

Burada c_s : sızan suyun, c_{dr} : drenaj suyunun tuz konsantrasyonudur (g/L) (Van Der Moolen ve Van Hoorn 1978). Bu eşitlikte süzük suyun çözünen veya kök bölgesinde yıkanan tuzları dışarı atmak için tek yolun drenaj olduğu görülmektedir (Oster 1994).



Şekil 1. Tarımsal su döngüsü (Beltran 1999)

Figure 1. Agrohydrological cycle (Beltran 1999)

Sulama Suyu Uygunluğunun Değerlendirilmesi

Herhangi bir suyun sulama amaçlı kullanılabilmesi için öncelikle sulamaya uygun olması gerekir. Bununla birlikte sulama yöntemi, drenaj koşulları, toprak özellikleri, toprak tuzluluğunun infiltrasyon üzerine etkileri ile bazı iyonların toksik etkileri suyun uygunluğunun değerlendirilmesinde göz önüne alınmalıdır (Çizelge 2).

Sulama suları, kimyasal içeriklerine ve uzun süre kullanılması durumunda topraktaki yaratacağı etkilere göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalarda dikkate alınan en önemli özellikler suyun elektriksel iletkenliği (EC) ve sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) değerleridir. Ancak son yıllarda geleneksel olmayan (tuzlu ve atık) suların da sulamada kullanılması, sınıflandırmada sorunların çıkmasına neden olmaktadır. Çünkü bu tür sular karmaşık bir çok etmen içerir ve çok sayıda değişken tarafından denetlenir (Hamdy 1988). Atık suyun tarımsal üretimde kullanımını düzenleyen standartları inceleyen Ayers ve Westcot (1989), bunların ülkelere göre değiştiğini; her ülkenin kendi koşullarına uygun düzenlemeler yaptığını ve anılan suyun kullanımına bazı sınırlamalar getirildiğini belirtmektedirler.

Buna karşın son yıllardaki çalışmalar, kurak ve yarı kurak bölgelerdeki sulamalarda tuzlu su kullanımına olanak tanımıştır (Rhoades ve ark. 1988; 1992). Bu çalışmaların temelinde FAO tarafından 1976 yılında geliştirilen ancak daha sonra yeniden düzenlenen rehberler bulunmaktadır (Ayers ve Westcot 1989). Bu rehberler kurak ve yarı kurak alanlar için yüzey ve yağmurlama sulama yöntemleri esas alınarak hazırlanmış, taban suyunun yüzey altı drenaj sistemleri ile kontrol edilebileceği ve uygulanan suyun en azından %15'inin derine sızması gerektiğini varsaymaktadır.

İklimsel Koşulların Toprak Tuzluluğuna Etkisi

Kurak ve yarı kurak bölgelerde atmosferik koşullar da topraktaki tuz konsantrasyon hızının artmasına neden olur. Özellikle sıcaklığın yüksek, oransal nemin düşük olduğu bölgelerde tuzlu su kullanımı, yapraklarda transpirasyon hızını artırmaktadır. Kök bölgesindeki tuz konsantrasyonunun artması ile bitki, ihtiyacı olan yarayışlı sudan yararlanamamakta, bu durum stomaların kapanarak yapraktaki CO₂'in yayılımını ile direncin artmasına neden olmaktadır. Sonuçta, bitkide fotosentez ve gelişme yavaşlayarak (Gale ve Zeroni 1992) ürün niteliği ile verimde düşüşler görülmektedir (Mızrahi ve Pasternak 1985). Sıcaklık aynı zamanda evaporasyon oranını artırarak tuz yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır (Anonim 1958). Örneğin toplam su tüketiminin %50 ile %90'ının evaporasyondan kaynaklandığı bölgelerde çözünebilir tuz konsantrasyonunun 2 ile 20 kat arasında arttığı belirlenmiştir (Sparks 1996). Anılan iklim etmenleri dışında CO₂ ve ozon konsantrasyonlarının yüksek olmasının da tuzluluk zararının azalmasına etki ettiği bildirilmiştir (Shalhevet 1994).

Tuzlu su kullanımına olanak sağlayan iklimsel etmenlerin başında yağış gelmektedir. Yağış bitkide stres düzeyini azaltarak, topraktaki yıkanmayı artırır ve tuz konsantrasyonunun düşmesine olanak sağlar. Benzer etki sulama uygulamaları sırasında uygulanan yıkama suyunda da görülür. Yıkama suyu, topraktaki tuz içeriğinin düşmesine ve profildeki aşırı tuzun yıkanmasına neden olur. Zaten sulanan alanlarda etkin bir tuzluluk denetimi bir çok etmenin yanında yıkama ile sağlanmaktadır (Oster 1994).

Tuzlu Su ile Sulamada Anahtar Faktör: Yıkama

Yıkama, topraktaki suyun ve tuzun kök bölgesinden aşağıya doğru hareketi olarak tanımlanabilir. Sulanan alanlarda kök bölgesi tuzluluğunu ve SAR değerini, bitkinin dayanım (tolerans) sınırını geçmeyecek düzeylerde tutmak için, belirli miktardaki suyun kök bölgesinden geçmesi gerekir. Yıkama gereksinimi (LR) olarak da adlandırılan bu uygulama, sulama mevsiminde kök bölgesindeki tuzluluğun denetlenmesinde önemli rol oynar ve Eşitlik 5 ile hesaplanabilir (Van Der Molen ve Van Hoorn 1978).

$$LR = [(ETc - P) - f_i(1 - LF)] / [f_i(1 - LF)] \quad (5)$$

SULAMADA TUZLU SU KULLANIMI

Burada LR: Uzun dönemli yıkama gereksinimi, mm; ETc: Evapotranspirasyon (Bitki su tüketimi), mm; P: Etkin yağış, mm; fi: Uygulanan sulama suyuna bağlı olarak değişen yıkama etkinliği katsayısı, LF: Yıkama oranı'dır. Yıkama gereksiniminin kök bölgesindeki tuz birikimini önleyemediği durumlarda yıkama oranlarının hesaplanması gerekir.

Çizelge 2 Sulama Suyu Kalite Rehberi (Ayers ve Westcot, 1989)

Table 2. Guidelines of Water Quality for Irrigation (Ayers and Westcot, 1989)

Potasiyel sulama sorunu <i>Potantial irrigation problem</i>	Birim <i>Units</i>	Sorunun şiddeti <i>Degree of restriction on use</i>		
		Sorun <i>None</i>	Orta düzeyde <i>Slight moderate</i>	Şiddetli <i>Severe</i>
Tuzluluk: Bitkilerin kullanabileceği su miktarını etkiler <i>Salinity: Affects crop water availability</i>				
ECi	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS (<i>Total dissolved solids</i>)	mg/L	<450	450-2000	>2000
İnfiltrasyon: SAR ve ECi'ye bağlı olarak suyun toprağa girme hızını etkiler <i>Infiltration: Affects infiltration rate of water into soil, depending on evaluate using ECi and SAR</i>				
SAR=0-3 ve EC		>0.7	0.7-0.2	<0.2
3-6		>1.2	1.2-0.3	<0.3
6-12		>1.9	1.9-0.5	<0.5
12-20		>2.9	2.9-1.3	<1.3
20-40		>5.0	5.0-2.9	<2.9
Belirli iyonların toksik zararı: Tuza duyarlı bitkileri etkiler <i>Specific ion toxicity: Affects sensitive crops</i>				
<i>Sodyum (Na)</i>				
Yüzey sulama <i>Surface irrigation</i>	SAR	<3.0	3.0-9.0	>9.0
Yağmurlama sulama <i>Sprinkler irrigation</i>	meq/L	<3.0	>3.0	
<i>Klor (Cl)</i>				
Yüzey sulama <i>Surface irrigation</i>	meq/L	<4.0	4.0-10.	>10.0
Yağmurlama sulama <i>Sprinkler irrigation</i>	meq/L	<3.0	>3.0	
<i>Bor (B)</i>	mg/L	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Diğer Etkiler <i>Miscellaneous effects</i>				
Azot (NO ₃ -N)	mg/L	<5.0	5.0-30.0	>30.0
Bikarbonat (HCO ₃) (Sadece yağ. sulama için) <i>Only for sprinkler irrigation</i>	meq/L	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Olağan sınır: 6.5-8.4 <i>Normal range</i>		

Uygulanan sulama suyunun kök bölgesi altına sızan suya oranı olarak tanımlanan yıkama oranı, toprak özelliklerine, sulama yöntemine ve sulama suyu işletimine bağlı olarak hesaplanır (Eşitlik 6). Sulama suyu elektriksel iletkenliğinin 0.7 dS/m'den düşük ve LF'nin %15'den fazla olması kök bölgesinde tuz yığılmasını önleyebilir (FAO 1980). Ancak EC değeri 0.7 ile 3.0 dS/m arasında olan sulama sularının uzun süre kullanılması durumunda LF değerinin artırılması gerekir. Aksi takdirde sulanan alanın tamamında veya az su alan kısımlarında tuz birikimleri görülebilir (Van der Moolen ve Van Hoorn 1978).

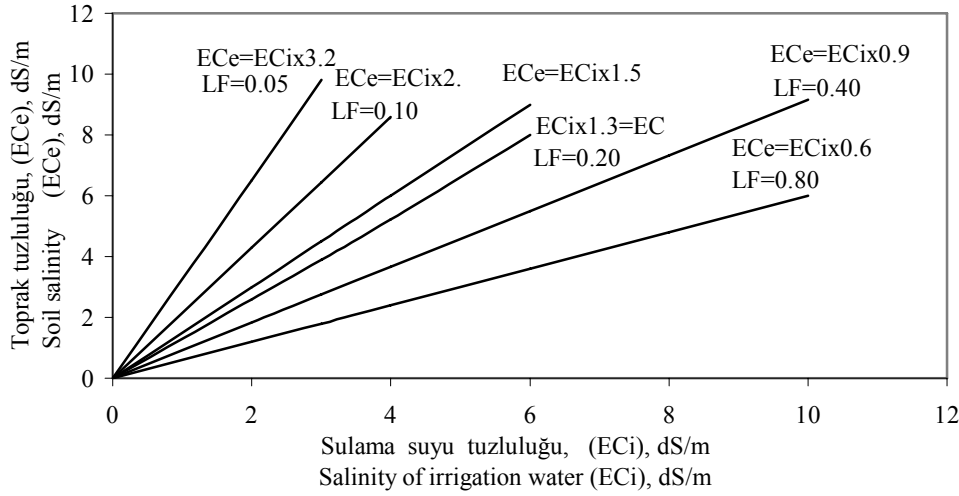
$$LF = \frac{f \cdot R}{f_i \cdot I}$$

(6)

Eşitlikte f_r : derine sızan suyun fonksiyonu olarak yıkama etkinliği katsayısıdır. Yıkama uygulamaları sırasında uygulanan suyun tamamı toprak suyu ile karışmayabilir. Çünkü yıkama suyunun bir kısmı, büyük çaplı gözeneklerden, çatlaklardan, kök kanallarından aşağı doğru hareket ederek, toprak çözeltisi ile karışıma uğramadan drenaj kanallarına ulaşacağı için yıkama etkinliği azalır (Dieleman 1971). Yapılan çalışmalar yıkama etkinliğinin su uygulama hızının azalmasıyla arttığını (Beyce 1977), toprak bünyesi ve yapısı ile sulama yöntemine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Yıkama etkinliği (f) tarla denemeleriyle deneysel olarak ölçülebildiği gibi aşağıdaki yaklaşık değerler kullanılarak da elde edilebilir (Rhoades 1989).

Siltli tın, kumlu tın	$f=0.5-0.6$
Siltli killi tın, kumlu killi tın, tın	$f=0.4-0.5$
Kil	$f=0.2-0.3$

Yıkama oranı, tarla denemeleriyle belirlenebildiği gibi birtakım varsayımları kabul eden abaklar ile de bulunabilir. Bunlardan birisi Van Hoorn ve Van Alpen (1994) tarafından geliştirilen yaklaşımdır (Şekil 2).



Şekil 2. Farklı LF oranlarında ECi ile ECe arasındaki ilişki (Van Hoorn ve Van Alpen 1994)
Figure 2. Relation of between ECe ve ECi for different LF (Van Hoorn and Van Alpen 1994)

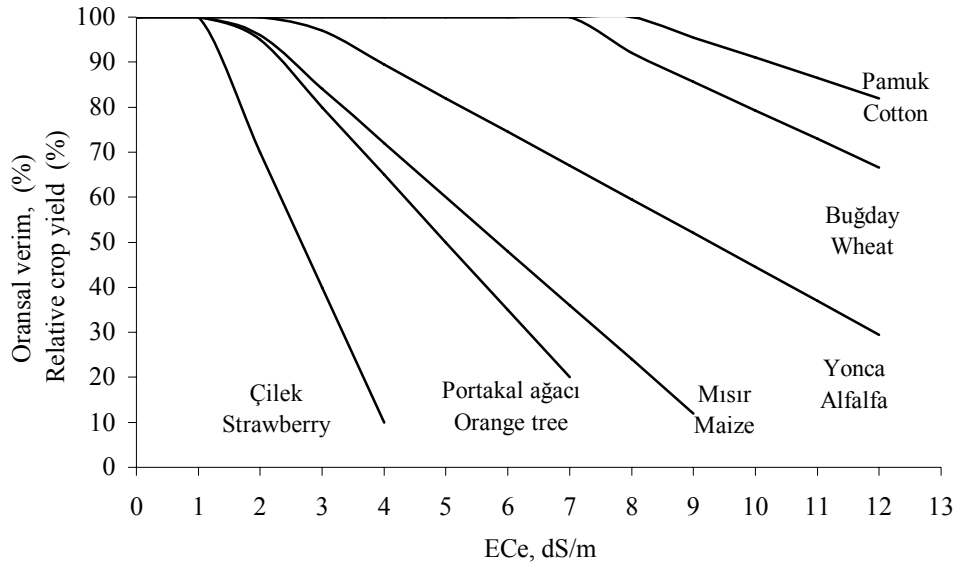
SULAMADA TUZLU SU KULLANIMI

Bu yöntem, kararlı durumdaki su ve tuz dengesini esas almakta, bitki su tüketiminin bitki kök bölgesinin ilk ¼'ünde %40, ikinci ¼'ünde %30, üçüncü ¼'ünde %20, en alt çeyreğinde %10 olduğunu varsaymaktadır. LF'nin belirlenmesinde kullanılan diğer bir yöntemde drenaj sularının EC değerlerinden yararlanılarak tahmin edilmesidir (Eşitlik 7) (Rhoades ve ark. 1992).

$$LF = EC_i / EC_e$$

(7)

Eşitlikte EC_i : sulama suyu, EC_e ise drenaj suyunun elektriksel iletkenlik değerleridir. Yapılan çalışmalar ürün veriminde herhangi bir azalmanın olmaması için kök bölgesi ortalama toprak tuzluluğunun (EC_e) bitki dayanım sınırını geçmemesi gerektiğini göstermiştir. Bu amaçla Maas ve Hoffman (1977) tarafından yapılan çalışmalar başta olmak üzere, toprak tuzluluğu ve oransal bitki verimi (Y_r) arasındaki ilişkilerin bilinmesine yönelik çok çeşitli araştırmalar yapılmıştır (Maas 1986). Bu ilişkiler bazı bitkiler için Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Bazı bitkilerin toprak tuzluluğuna dayanımları (Maas ve Hoffman 1977)

Figure 3. Soil salinity tolerance of some crops (Maas and Hoffman 1977)

Görüldüğü gibi LR'yi belirlemek için ilk adım LF'nin belirlenmesidir. Bu amaçla önce bitki tuz toleransı değerlerini kullanarak kök bölgesindeki ortalama toprak tuzluluğunun (EC_e) eşik değerinin saptanması gerekir. İkinci olarak sulama suyu elektriksel iletkenlik değerlerinden LF değerleri Şekil 2 yardımıyla belirlenir. Daha sonra Eşitlik 5 deki yıkama etkinliği katsayısı ve yağış verileri denkleme uygulanarak LR bulunur (Rhoades ve ark. 1992).

Yıkama Oranına Etki Eden Etmenler

Sulama suyunda çözünürlüğü az olan jips, magnezyum ve kalsiyum karbonat gibi tuzların varlığı topraktaki toplam tuz konsantrasyonunun yaklaşık 40 mg/L (ya da 3 dS/m) kadar artmasına neden olur (Beltran 1999). Bu nedenle LR'nin hesaplanmasında anılan tuzların etkisi göz önüne alınmalıdır.

Sulama suyundaki tuzların tekil olarak diğer tuzlara oranla yoğunlukları, hem toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini hem de bitki verimini etkiler. Örneğin Na, zararlı etkileri nedeniyle sürekli kontrol edilmesi gereken toksik değeri yüksek bir tuzdur. Bu nedenle sulama suyu ile toprağa verilen Na, başat duruma geçtiği anda konsantrasyonunu düşürmek için yapılan yıkamalar taban suyunun yükselmesine ve zamanla toprak geçirgenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yıkamaları artırmak yerine sulama suyundaki Ca içeriğini artıracak, SAR değerini azaltacak (eriyebilen jips gibi) önlemler alınmalıdır. Diğer bir seçenekte toprak çözeltisinin kalsiyum içeriğini artırmak için toprağa direkt olarak jips uygulanmasıdır (Ayers ve Westcot 1989).

Tuz konsantrasyonu yüksek bir toprakta, tuz dengesi denklemi, sulama sırasında beklenen ve ölçülen drenaj suyu miktarlarını karşılaştırmak ve sulama mevsimi süresince yıkama gereksinimlerini hesaplamak için kullanılır. Eğer drenaj suyu miktarı (R), yıkama gereksinimini karşılarsa tuzluluk tehlikesi kontrol altındadır. Yapılan çalışmalar $R > 1.3LR$ ilişkisinin güvenli bir değer olarak alınabileceğini göstermiştir (FAO 1980). Ancak sulamalar sırasında suyun yeknesak dağılmadığı durumlarda ($R < 1.3LR$) LR, ya azaltılmalı ya da eksik kalan miktarı hesaplanmalıdır (Rhoades 1998).

Yıkama gereksinimini etkileyen diğer bir etmende kış mevsiminde düşen yağış miktarıdır. Bu amaçla beklenen yağış miktarları uzun yıllık verilerden istatistiksel olarak saptanabilir. Ayrıca kış mevsiminin başında toprakta depolanan ortalama su miktarı belirlenirse, gereken yıkama suyu miktarı hesaplanabilir. Sulama mevsiminin kurak geçtiği dönemlerde kök bölgesindeki tuz içeriği hasat döneminde artabilir. Ancak kış mevsiminde yeterli yıkama gerçekleşirse sulama mevsimi başlangıcında toprak tuzluluğu az olacağından yıkamaya gerek kalmayacaktır. Bununla birlikte yağışın etkin olmadığı kurak bölgelerde yıkama için gerekli su miktarı yıllık sulama suyu gereksiniminin artırılmasıyla karşılanabilir (Beltran 1999). Uygulanacak su miktarı ya her sulamada eşit olarak paylaştırılmalı ya da tamamı hasattan sonra uygulanmalıdır. Birinci seçenek drenaj katsayısını artıracığından drenaj sisteminin yıkama gereksinimi esas alınarak planlanması gerekir.

Toprağın drenaj koşulları drenaj sisteminin planlanmasına etki eder. İnce bünyeli topraklar, düşük geçirgenlik nedeniyle ancak 0.10 düzeyindeki LF değerlerine izin verirken, kaba bünyeli topraklar 0.15'den daha büyük LF değerlerine olanak sağlar (Rhoades ve ark. 1992). Sulanan alanlarda yıkama uygulamaları tuzluluk denetiminde çok önemli bir etmen olmasına karşın uygulamada bazı koşullara dikkat edilmesini gerektirir. Özellikle drenaj miktarını artıracak yüksek yıkama oranları su kaynaklarının ve doğal olarak çevre kirliliğinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle uygulamalarda teknik, ekonomik ve çevresel faktörlerin göz önünde tutulması gerekir.

Drenaj Suyu Kalitesi ve Tuzlu Suların İşletimi

Drenaj suları da sulama suları gibi içerdikleri katı ve çözünen maddelerin miktar ve türlerine bağlı olarak değerlendirilir (Meiri ve Plaut 1985). Ancak drenaj sularının değerlendirilmesi daha karmaşıktır. Çünkü yıkama sırasında yetiştiricilikte kullanılan her türlü kimyasal madde su ile birlikte yıkanarak drenaj sistemine ulaşmaktadır. Bu nedenle drenaj suları çözünabilir tuzların yanında bor, selenyum, molibden, arsenik vb. gibi mikro elementleri de içerir. Bilindiği gibi bor elementinin çok düşük miktarları dahi bitkiler için zararlıdır. Selenyum ise drenaj sularının göllere döküldüğü yerlerde göl faunasının zarar görmesine neden olur (Lee 1990). Su kalitesinin bozulmasındaki diğer bir neden de sulu tarımda kullanılan ve yerüstü ve yeraltı su kaynaklarına bulaşan herbisit, fungusit pestisit ve gübre (başlıca nitrat olmak üzere) gibi kimyasallardır (Ünür 1995). Bu tür kimyasalların yetiştiricilikte etkin kullanımı, her zaman mümkün değildir. Bu nedenle

oluşan kirliliği önlemek veya azaltmak için uygun toprak işletiminin esas alınması ve sulama projelerinin dikkatli biçimde planlanması gerekir. Yüzey sularının kirlenmesini önlemek için farklı seçenekler vardır. Bunlardan ilki sulama randımanını artırarak drenaj suyu miktarının azaltılmasıdır. Bu ise, sulamadan dönen suların tuzdan arındırılması ve drenaj suyunun aynı yöntemle yeniden kullanılması ile sağlanabilir (Munsuz ve Ünver 1995).

İkinci önlem yıkama oranını ve dolayısıyla yüzey akışı azaltarak su uygulama randımanının artırılmasıdır. Tarımsal alanların kirlenmesinde en büyük pay drenaj suyuna ait olduğu için, yüzey akışın azalması, drenaj suyu kalitesinin korunmasına neden olur. Zaten sulamalar sırasında toksik maddelerin bir kısmı toprak tarafından adsorbe edildiği için drenaj suyundaki kimyasal kirlilik gerçektekinden daha azdır. Bu nedenle yıkama oranını azaltarak drenaj suyundaki mikro elementler ile tuz yoğunluğu azaltılabilir (Beltran 1999).

Diğer bir seçenek ise tuza toleranslı bitkilerin yetiştirilmesinde tuz içeriği düşük sulama suyu ile drenaj suyunun karıştırılması sonucunda elde edilen karışım suyunun kullanılmasıdır. Bu uygulama genel olarak Nil deltasında kullanılmaktadır (Bilen 2000, Grattan 1994). Bunun dışında drenaj suyu ile kanal suyunun değişimli biçimde kullanılması tuz konsantrasyonunun azaltılmasında önemli rol oynar. Grattan ve Rhoades (1990) ve Rhoades (1989) tarafından yapılan çalışmalarda drenaj suyu tuza toleranslı bitkilerin sulanmasında kullanılmıştır. Yıkamalar hasat sonrasında yapılarak oluşan drenaj suyu daha sonraki dönemlerde kullanılmak üzere bir havuzda biriktirilmiştir. Ancak drenaj sularının birkaç yıllık sulamadan sonra (mikro element içerikleri nedeniyle) toksik etki gösterebileceklerinin kabul edilmesi ve sulama işletiminin buna göre planlanması gerekir. Değişimli yöntemin (tuzlu ve kanal suyunun ardışık olarak uygulanması) uzun süre kullanılması durumunda toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulabileceği belirtilse de (Shennan ve ark. 1995) bitki yetiştiriciliği açısından karıştırma yöntemine göre daha geçerli bir yaklaşımdır. Bitki yapraklarının tuza dayanıklı olduğu sürece, tuzsuz suyun çimlenme ve vejetatif gelişme dönemlerinde, tuzlu suyun ise gelişmenin diğer aşamalarında kullanılmasının daha uygun olduğu belirtilmiştir (Hamdy 1991).

Kurak ve yarı kurak bölgelerde yerüstü ve yeraltı su kaynakları dışında, deniz suyunun tuzdan arıtılması ve arıtılmış atık suların tekrar kullanılması 21. yüzyılda ihtiyaçların karşılanmasında başvurulacak iki seçenek olarak önem kazanmaktadır. Örneğin İsrail’de sulama gereksiniminin %30’unun arıtılmış sulardan sağlandığı, bu oranın 2025’te %80’e ulaşmasının beklendiği bildirilmektedir (Postel 2001). Bundan başka yarı geçirgen membranlarda tuzlu suya basınç uygulayarak drenaj suyu tuzluluğunun azaltılması yöntemi de gelişmiş ülkelerde çok az da olsa kullanılmaktadır. Ters ozmos olarak da bilinen yöntem yüksek maliyeti nedeniyle henüz tam olarak yaygınlaşmamıştır.

Arıtım maliyetinin yüksek olması uygulamanın yaygınlaşmamasında karşılaşılan en önemli sorundur. Dünya bankası tarafından 1995 yılında yapılan öngörülerde (Çizelge 3) arıtım maliyetinin suyun niteliğine göre değiştiği saptanmıştır (Bilen 2000). Lee (1990) tarafından yapılan çalışmada, tuzdan arındırma yapan ünitelerden elde edilen suyun maliyetinin 0.88 dolar/m³ olduğu, bu değer toplam işletim maliyetinin %80’ine karşılık geldiği saptanmıştır.

Drenaj Sularının İkinci Kez Kullanılması

Drenaj suyunun ikinci kez kullanılması sonucunda oluşan suyun tuz içeriği ilk kullanıma göre çok yükselir (Çizelge 1). Yeni oluşan drenaj suyu yoğun tuz içeriği yanında toksik elementler ve tarımsal kimyasallar da içereceğinden kimyasal kontrolün çok dikkatli yapılması gerekir (Beltran 1999). Sulanan alanlarda drenaj sularının su hacminin az olduğu

göllere boşaltılarak göllerdeki su hacminin artırılabilir ve kirlilik etkisinin azaltılabilir bildirilmiştir (Westcot 1988). Ancak drenaj suyundaki toksik elementlerin yaban hayatı ve yeraltı suyu için tehlikeli bir durum oluşturabileceği riski de göz önünde tutulmalıdır (Lee 1990).

Drenaj suyunun korunması için diğer bir seçenek de aküfer içine boşaltılmasıdır. Ancak bu seçeneğin uygulanması temiz su aküferi ile tuzlu su aküferinin birbirlerine karışmayacak şekilde izole edilmesi ve her iki aküferin jeohidrolojik koşullarının dikkate alınmasını gerektirir (Ghassemi ve ark. 1995)

Çizelge 3. Farklı Nitelikteki Suların Arıtım Maliyetleri (Bilen 2000)

Table 3. Water Treatment Costs for Various Quality Standards (Bilen 2000)

Seçenekler <i>Alternatives</i>	Tahmini maliyeti (<i>US cents/ m³</i>) <i>Estimated cost (US cents/ m³)</i>
Atık suların arıtılması <i>Waste water treatment</i>	30-60
Acı suların arıtılması <i>Brackish water treatment</i>	45-70

Summary

Use of Saline Water in Irrigation

Difficulties to provide irrigated fields with sufficient amount of good quality irrigation water have been emerging given the finite water resources. In particular, pollution and scarcity of water resources in arid and semi-arid regions are threatening the future agricultural production. For this reason, countries have begun to consider only conventional water resources but also surface, underground and waste water resources when planing their future irrigation strategies. Although reuse of drainage water appeared to be one of the solutions, this system has caused some problems such as accumulation of salt in soil, environmental problems. Owing to high organic content, pathogenic microorganisms, pollutants, high salt content, drainage water itself has become the pollution source. Leaching that is carried out to prevent soil salinity increases the amount of drainage water and pollution level. In this review, the precautions to be taken to prevent soil salinity when drainage water is used, and the alternative methods to maintain the quality of drainage water and water resources were discussed.

Keywords: Salinity, Water Quality, Waste Water, Leaching

Kaynaklar

- Anonim, 1958. Salt Problems in Irrigated Soils. Agriculture Information Bull. 190:3-12
 Ayers, R.S. ve D.W. Westcot, 1989. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation of the and Drainage Paper, Rome. 29:130-163.
 Beltran, J.M. 1999. Irrigation with Saline Water: Benefits and Environmental Impact. Agric. Water Manag., 40:183-194.
 Bilen, Ö. 2000. Ortadoğu Su Sorunları ve Türkiye. İndüs, Colarado, Tuna ve Ürdün-İsrail Su Anlaşmalarının İrdelenmesi ve 21. Yüzyılın Su Gündemi. Tesav Yayınları 322 s.

- Beyce, Ö. 1977. Türkiye'nin Bazı Sulama Developman Alanlarındaki Tuzlu ve Sodyumlu Topraklarda Yıkama Suyu ve Islah Maddesi Miktarlarının Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Topraksu Yay.44, Raporları No:25, 143 s.
- Dieleman, P.J. 1971. Dynamics of Salts in the Soil Water System. FAO Salinity Seminar, Baghdad. 1-9 pp
- FAO, 1980. Drainage Design Factors. Irrigation and Drainage Paper. Rome 38. 52 pp
- Gale, J. ve M, Zeroni, 1992. Cultivation of Plants in Brackish Water in Controlled Environment Agriculture. Anonim
- Grattan, S.R. ve J.D. Rhoades, 1990. Irrigation with Saline Ground Water and Drainage Water. (Ed: K.K. Tanji). Agriculture Salinity Assessment and Management. ASCE 71:432-449
- Grattan, S.R. 1994. Irrigation with Saline Water. (Ed:Tanji, K.K., Yaron, B.) Advanced Series in Agricultural Sciences.22:179-195.
- Ghassemi, F., A.J. Jakeman, H.A. Nix, 1995. Salinization of Land and Water Resources. Human Causes, Extent, Management and Case Studies. Centre for Resource and Environmental Studies. Australia 43-56.
- Hamdy, A. 1988. Research Work at Bari Institute for Reuse of Low Quality Water and Its Impact On Soil and Plants. International seminar, 16-21, January, Egypt. 14-21.
- Hamdy, A. 1991. Saline Irrigation Management 'Modality of Water Application and Irrigation Intervals. (Ed: Choukr- Allah) Plant Salinity Research. Isesco-I.A.V.Hassan II. Proceeding of the Int. Conf. On Agric. Water Manag. of Salt Affected Areas.. April 26-May 3. 231-247
- Hamdy, A. 1999. Integrated Water Resources Management in the Mediterranean: National and Regional Policies. Advanced Short Course on Integrated Rural Water Management: Agricultural Water Demands.. September 20-October 2, 1999, Adana, Turkey. 35-93
- Lee, E.W. 1990. Drainage Water Treatment and Disposal Options (Ed: Tanji. K.K.) Agricultural Salinity Assessment and Management, ASCE New York. 432-439.
- Maas, E.V. 1986. Salt Tolerance of Plants. Appl. Agric. Res. I:12-26.
- Maas, E.V. ve G.J. Hoffman, 1977. Crop Salt Tolerance –Current Assessment J. Irrigation and Drainage Division, ASCE, 103:115-134.
- Meiri, A. ve Z. Plaut, 1985. Crop Production and Management Under Saline Conditions, Plant and Soil 89:253-271.
- Mızrahi, Y. ve D. Pasternak, 1985. Effect of Salinity on Quality of Various Agricultural Crops Plant and Soil, 89:301-307
- Munsuz, N. ve İ. Ünver, 1995. Su Kalitesi. Ankara Üniv. Zir Fak. Yay. No:1389, Ders Kitabı No:403, 335 s.
- Oster, J.D. 1994. Irrigation with Poor Quality Water. Agric. Water Manag., 25:271-297.
- Postel, S. 2001. Daha Az Suyla Daha Fazla Ürün. (Çeviren: A.Yiğit). Tubitak Bilim ve Teknik Dergisi. 401:44-45.
- Rhoades, J.D., F.T. Bingham, J.V.D. Letey, 1988. Reuse of Drainage Water for Irrigation: Results of Imperial Walley Study. Hilgardia 56(5):1-45.
- Rhoades, J.D. 1989. Intercepting, Isolating and Reusing Drainage Water for Irrigation to Conserve Water and Protect Water Quality. Agric. Water Manag. 16:37-52
- Rhoades, J.D., A. Kandiah, A.M. Mashali, 1992. The Use of Saline Waters for Crop Production. FAO 48,. Rome. 133 pp.
- Rhoades, J.D. 1998. Sustainability of Irrigation: an Owerview of Salinity Problems and Control Strategies. (Sustainable Use of Non Conventional Water Resources in the Mediterranean Region. Aleppo- Syria, April 18-30. 145-209

- Shalhevet, J. 1994. Using Water of Marginal Quality for Crop Production: Major Issues. *Agric Water Manag.* 25:233-269.
- Shennan, C., S.R. Grattan, D.M. May, C.J. Hillhouse, D.P. Schachtman, M. Wander, B. Roberts, S. Tafoya, R.G. Burau, C. Mcneish, L. Zelinski, 1995. Feasibility of Cyclic Reuse of Saline Drainage in a Tomato-Cotton Rotation. *J. Env. Qual.* 24:476-486.
- Smith, R. J. ve N.H. Hancock, 1986. Leaching Requirement of Irrigated Soils. *Agric. Water. Manag.*, 11:13-22.
- Sparks, D.L. 1996. *Environmental Soil Chemistry*. A New Castle University Library. Academic. Press. 259 pp.
- Ünürlü, M. 1995. Yeraltı Sularının Kirlenmesi. *Çevre ve İnsan Dergisi*. Çevre Bakanlığı Yayını. 22: 21-25.
- Van Hoorn, J. ve J.G. Van Alpen, 1994. Salinity Control. (Ed:Pitzema. H.P), *Drainage Principles and Application*. 2 nd ed. ILRI Publication 16 Wageningen, The Netherlands, 533-600
- Van Der Moolen, W.H. ve J. Van Hoorn, 1978. The Salty Balance and Leaching Requirement Irrigated Soils. *Int. Ins. For Land Recl. and Imp.* Wageningen, 25pp.
- Westcot, D.W. 1988. Reuse and Disposal of Higher Salinity Subsurface Drainage Water: A review: *Agric. Water Manag.* 14:483-492