

FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29

Tarımda Su Kalitesi

R.S. Ayers D.W. Westcot

1989

R o m a

Tarımda Su Kalitesi

R.S. Ayers

D.W. Westcot

FAO Irrigation and Drainage Paper No.29

Çeviren: Prof. Dr. Ali ÜNLÜKARA

Roma, 1989

ÖNSÖZ

Tarım İçin Su Kalitesi ilk defa 1976 yılında Sulama ve Drenaj Kitabı 29 şeklinde basılmıştır. Tuzluluk kontrolü ve düşük su kalitesine ilişkin bir çok temel kavramın aynı kalmasına rağmen yeni veriler ve deneyler, kullanıcılara güncel bilgi vermek amacıyla 1976 kitabının yeniden gözden geçirilmesi için bizi harekete geçirmiştir.

Bu belge, sulama suyu uygunluğunun değerlendirilebilmesi için bir arazi rehberi şeklinde hazırlanmıştır. Mevcut veya potansiyel bir su kaynağının maksimum kullanımının sağlanması için gerekli tavsiyelere yer verilmiştir. Verilen rehber değerler, 1) tuzluluk, 2) toprak su infiltrasyon hızı, 3) özel iyon toksikliği veya 4) diğer bazı çeşitli etkilere ilişkin kullanımdaki olası sınırlamalara dayalı potansiyel bir problemi aydınlatmaktadır. Tartışmalar ve örnekler, bu potansiyel problemlere ilişkin olası yönetim seçenekleriyle birlikte verilmiştir.

Bu kitap, su kalitesine ilişkin potansiyel problemleri değerlendirme ve aydınlatmada çiftçiler ve proje yöneticilerine, uzmanlara ve mühendislere rehberlik sağlama eğilimindedir. Su kullanımında olası sınırlamaları tartışmakta ve çiftlik ve proje yönetiminde, planlama ve işletmede yardımcı olabilecek yönetim seçeneklerini sunmaktadır. Yöngösterme ve tartışmalar bütün dünyada çoğunlukla da kurak ve yarı-kurak alanlardaki çiftliklerden kazanılan yayımlanmış deneyimlere dayanmaktadır. Verilerin büyük bir kısmı Birleşik Devletlerin Batıyakasındaki tarım alanlarından gelmekle birlikte özel bölgesel şartlar için uyarılar ve kritik yönlendirmeler dikkate alınmalıdır. Bu Rehber, su kullanımı üzerinde potansiyel problemlere ve olası sınırlamalara işaret edebilmekte fakat verilen bir suyun gerçek uygunluğu, kullanıldığı özel şartlara ve kullanıcının yönetim kabiliyetine bağlıdır. Bitki üretimini, birim faydalı su başına maksimum üretimi sağlayabilecek nihai hedefin olmasını etkileyen diğer faktörlerle birlikte verilmesi faydalı olabilecektir.

Tuzluluk, bitkiye toprak-suyu yarayışlılığındaki azalma bakış açısından tartışılır. Kök bölgesindeki tuzluluğa bitki tepkisi üzerine son araştırma bulguları, rehberlerin kendi tahmin yeteneklerini geliştirme şekline dönüştürmüştür. Güncelleştirilmiş bitki tolerans değerleri yararlı hale getirilmiş ve yer verilmiştir. Su yarayışlılığı kalitesini dikkate alarak bitkiler için yıkama gereksinimini hesaplamak için bir metot sunulmuştur. Söz konusu metodun adaptasyonu şartıyla, bu yöntemle hesaplanan değerler çok eski yöntemlerle karşılaştırıldığında önemli su tasarrufu sunmaktadır.

Su kalitesiyle ilişkili bir su infiltrasyon problemi, suyun hem tuzluluğu hem de sodyum içeriğiyle genellikle bağlantılıdır. Tuzluluk (EC_w) ve sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) birleşimine dayalı infiltrasyon problemine neden olabilecek su potansiyelini değerlendirebilecek bir yöntem sunulmuştur.

Özel iyon toksikliği, bor, sodyum ve klor konsantrasyonu ve bu iyonlara duyarlı bitkilerin verimi üzerine etkileri şeklinde tartışılmıştır. Daha az sıklıkta görülen diğer beklenilmeyen problemler, diğer bir takım problemler şeklinde tartışılmıştır. Sulama suyu için iz elementlerin önerilen maksimum konsantrasyonlarını gösteren ve evcil hayvanlar için içme suyundaki toksik maddeler için tablolar da sunulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu sulama suyu kalite rehberi daha önceden geliştirilmiş çeşitli rehberlere dayanmış ve Birleşik Devletlerin Batı kısmında kullanılmıştır. USA Kaliforniya Üniversitesi ekibince kullanılan format takip edilmiştir. Tuzlu su kullanımı ve yönetimi kavramları ve temel verilerin çoğu Birleşik Devletler Tuzluluk Laboratuvarı tarafından geliştirilmiş ve önerilmiştir. Bu rehberin yazarları olarak yardımları için özellikle Dr. G.J. Hoffman, Dr. E.V. Maas, J.D. Rhoades, D.L. Suarez ve Laboratuvar müdürü J. van Schilfguar'de minnettarlığımı arz ederiz.

Dr. R.L. Branson ve J.D. Oster (Kaliforniya Üniversitesi), Dr. J. Van Hoorn (Wageningen), Mr. J.D. Doorenbos (Hollanda Tarım Bakanlığı) ve Toprak ve Su Geliştirme Dairesi (FAO) ekibi özellikle önerileriyle ve taslağın gözden geçirilmesinde yardımcı olmuşlardır. Chrissi Smith Redfern, Hazel Tonkin, Charlene Arora ve Mary Westcot'a da teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

1	SU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ		
	1.1	Giriş	
	1.2	Su Kalitesi Problemleri	
	1.2.1	Tuzluluk	
	1.2.2	Su infiltrasyon hızı	
	1.2.3	Toksiklik	
	1.2.4	Diğerleri	
	1.3	Su Kalitesini Değerlendirme Yaklaşımı	
	1.4	Su Kalitesi Rehberleri	
2	TUZLULUK PROBLEMLERİ		
	2.1	Giriş	
	2.2	Toprak Tuzluluğunun Oluşumu	
	2.3	Bitkiler Üzerine Etkili Olan Tuzluluk	
	2.4	Tuzluluk Problemlerinin Yönetimi	
	2.4.1	Drenaj	
	2.4.2	Yıkamayla tuzluluk kontrolü	
	2.4.3	Bitki tuz toleransı	
	2.4.4	Kültürel uygulamalar	
	2.4.5	Sulama yöntemlerinin değiştirilmesi	
	2.4.6	Tuzluluk kontrolü için arazi geliştirmesi	
	2.4.7	Su kaynaklarının değiştirilmesi veya karıştırılması	
3	İNFİLTRASYON PROBLEMLERİ		
	3.1	İnfiltrasyon Problemi	
	3.1.1	İnfiltrasyon probleminin değerlendirilmesi	
	3.2	İnfiltrasyon Problemlerinin Yönetimi	
	3.2.1	Toprak ve su ıslah maddeleri	
	3.2.2	Su kaynaklarının karıştırılması	
	3.2.3	işleme ve derin sürüm	
	3.2.4	Organik artıklar	
	3.2.5	Sulama yönetimi	
4	TOKSİKLİK PROBLEMLERİ		
	4.1	Özel İyonlar ve Etkileri	
	4.1.1	Klor	
	4.1.2	Sodyum	
	4.1.3	Bor	
	4.2	Toksiklik Problemlerinin Yönetimi	
	4.2.1	Yıkama	
	4.2.2	Bitki seçimi	
	4.2.3	Kültürel uygulamalar	
	4.2.4	Karıştırılmış su kaynakları	
	4.3	Yağmurlama Sulama Nedeniyle Toksiklik Etkileri	
5	DİĞER PROBLEMLER		
	5.1	Aşırı Azot	
	5.2	Anormal pH	
	5.3	Scale Deposits	

5.4	Magnezyum Problemleri	
5.5	İz Elementler ve Toksikliği	
5.5.1	Sudaki doğal oluşumlar	
5.5.2	Toksikler	
5.5.3	Değerlendirme kriteri	
5.6	Bitki Besleme ve Su Kalitesi	
5.6.1	Besleme ve tuzluluk	
5.6.2	Su infiltrasyon problemleri ve besleme	
5.6.3	Besleme ve toksiklik	
5.6.4	Diğerleri	
5.7	Damla Sulama Sistemlerinde Tıkanma Problemleri	
5.8	Aşınma ve Koruma	
5.8.1	Metal aşınımı	
5.8.2	Beton aşınımı	
5.9	Su kalitesiyle ilişkili Vektör Problemleri	
6	EVCİL HAYVANLAR VE KÜMES HAYVANLARI İÇİN SU KALİTESİ	
6.1	Giriş	
6.2	Evcil Hayvanlar İçin Tuzlu Su Kullanımı	
6.3	Evcil Hayvan Suyunda Toksik Maddeler	
7	SULAMA SUYU KALİTESİ VE ATIK SUYUN YENİDEN KULLANIMI	
8	ÇEŞİTLİ KALİTELERDE SU KULLANIM TECRÜBELERİ	
8.1	Giriş	
8.2	Sulama Suyu Kalitesinin Korunması-Sacramento-San Joaquin Deltası, USA	
8.3	Tarımsal Drenaj Sularının Yeniden Yeniden Kullanımı	
8.4	Nadir Rastlanan Düşük Tuzluluktaki Suların Kullanımı- KullanımFisiant-Kern Kanalı, San Joaquin Ovası, Kaliforniya, USA	
8.5	Üstten Yağmurlama Sulama İçin Yüksek Bikarbonatlı Suların Kullanımı Denver , Kolorado, USA.	
8.6	Düşük Kaliteli Suların Kullanımı, Bahreyn.	
8.7	Drenaj Problemleri- Imperial Ovası, Kaliforniya, USA.	
8.8	Drenaj İhtiyacı-Tigris-Euphrates Nehir Havzası, Irak	
8.9	Yüksek Tuzlu Sular-Arizona, USA	
8.10	Seçilmiş Bitkilerin Üretimi İçin Tarımsal Drenaj Suyu Kullanımı	
8.11	Marjinal Kalitede Su Kullanımı-Medjerda Ovası, Tunus	
8.12	Sulama İçin Düşük Kalitede Su Kullanımı- Birleşik Arap Emirlikleri	
8.13	Sulama Suyu Kalitesi-Chad Gölü, Afrika	
8.14	Nehir Su Kalitesi Değişimleri, Etyopya ve Somali	
8.15	Yer altı Suyunun Bozulması	
8.16	Yüzey Sularının Kalitesinin Bozulması, Yemen Arap Cumhuriyeti	
8.17	Sulama Suyu Kaynaklarında Sediment	
8.18	Hayvan İçme Sularında Yüksek Flor	
8.19	Evcil Hayvan İçme Suları İçin Düşük Kaliteli Yer altı Suları	
8.20	Muamele Görmüş Atık Su Kullanan Fresno Sulama Şebekesi, Kaliforniya, USA	
8.21	Muamele Görmüş Atık Suların Tarımsal Kullanımı, Braunschweig, Fr Almanya	
8.22	Atıksu Sulaması-Bakersfield, Kaliforniya, USA	
8.23	Atıksu Sulaması-Tuolumne Regional Water District, Kaliforniya, USA.	

	8.24	Atıksuyla Sulama-Santa Rosa, Kaliforniya, USA	
	8.25	Yüksek Borlu Atık Su Kullanımı	
		Ek 1 Tablo- Dünyanın Çeşitli Bölgelerinden 250 Sulama Kaynağından Seçilmiş Su Analizleri	
		Ek II Sözlük	
	KAYNAKLAR		

1 SU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

1.1 Giriş

Sulu tarım, kullanılabilir kalitede yeterli su kaynağına bağımlıdır. Kaliteli su kaynaklarının yeterli olması ve bunların zorlanmadan elde edilebilmesi nedeniyle su kalitesine ilişkin sorunlar genellikle ihmal edilmiştir. Bu durum şimdi çoğu alanda değişmektedir. Neredeyse tüm kaliteli su kaynaklarının yoğun kullanımı sonucu yeni veya destekleyici kaynak arayan yeni sulama projelerinin veya eski projelerin daha düşük kaliteli ve daha az istenilen kaynaklara mecbur kaldığı anlamına gelmektedir. Bu düşük kaliteli su kaynakları kullanıldığında oluşacak problemlerden sakınmak için mevcut kalitedeki suyun iyi kullanıma ayrıldığından emin olunabilecek doğru planlamaya gereksinim duyulmaktadır. Bu kitabın amacı okuyucunun toprak ve bitkiler üzerine su kalitesinin etkilerini daha iyi anlamasına ve hakim şartlar altında üretimi düşürebilecek potansiyel su kalitesiyle ilişkili problemlerin üstesinden gelebilecek uygun alternatifleri seçmesine yardımcı olmaktır.

Kavramsal olarak su kalitesi, özel bir kullanım için bir su kaynağının uygunluğunu etkileyebilecek özelliklerine işaret eder. Örneğin hangi kalitede su kullanıcının ihtiyacını karşılar? Kalite, belirli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerle tanımlanır. Tat gibi kişisel seçicilik bile aslında kabul edilebilirliğin basit bir değerlendirmesidir. Örneğin eşit derecede iyi kaliteli iki çeşme suyu mevcutsa, insanlar diğerine nazaran birisi için bir seçicilik ifade edecekler, en iyi tat veren su tercih edilen kaynak haline gelecektir. Sulama suyu değerlendirmesinde ise suyun fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine vurgu yapılmakta ve diğer kalite faktörleri yalnızca ender şekilde önemli olarak dikkate alınmaktadır.

Özel su kullanımları farklı kalitede suya gerek duyabilirler ve şayet daha iyi sonuç veriyorsa veya alternatif su kaynağına nazaran daha az problemlere neden oluyorsa bir su kaynağı daha kabul edilebilir (iyi kalitede) olarak dikkate alınır. Örneğin, sulama için başarılı bir şekilde kullanılabilen iyi kalitede sediment yüklü nehir suyu, sedimenti uzaklaştırılmadan belediyesel kullanım için kabul görmeyebilir. Benzer şekilde, belediyesel kullanım için mükemmel kalitedeki kar suları, korozyon potansiyelleri düşürülmeksizin endüstri için aşırı korozif olabilir.

Aralarında seçim yapabilecek birkaç su kaynağına sahip olunması ideal bir durumdur fakat normalde yalnızca tek bir su kaynağı elde bulunur. Bu durumda mevcut su kaynağının kalitesi,

niyetlenilen kullanıma nasıl uyabildiğinin görülmesi için değerlendirilmelidir. Farklı kalitelerde su kullanımlarından kazanılan deneyimlerin çoğu, gözlemlerden ve kullanımı takiben oluşan problemlerin detaylı çalışılmasından sağlanmıştır. Bir su bileşimi ve gözlenen problemler arasındaki neden ve etki ilişkisinin kurulması, kabul edilebilirlik derecesini veya kalite değerlendirmesi sonucunu doğurmuştur. Rapor edilmiş yeterince deneyimler ve ölçülen tepkilerle birlikte problemlerle ilişkili kalite göstergesi olarak belirli su özellikleri ortaya çıkmıştır. Sonra bu özellikler kullanım için uygunluğa dair rehberlerde organize edilmiştir. Önceki üzerine kurulu her yeni rehber takımı tahmin kabiliyetini geliştirmeye koyulmuştur. Bir çok su kullanım tiplerini içine alan bu şekilde çeşitli rehberler elde edilmiştir.

Sulu tarımla ilişkili farklı sayıda su kalitesi rehberleri bulunmaktadır. Her bir su kalite rehberi kullanışlıdır fakat tarla şartlarının geniş yelpazede değişim göstermesi nedeniyle bunların hiçbirisi tamamen tatminkar değildir. Ancak yeni her bir rehber takımı, bizim tahmin kabiliyetimizi artırmıştır. Bu kitapta sunulan rehberler bir öncekilerine ağırlıklı olarak dayanmakta fakat sulu tarım problemleriyle ilişkili su kalitesinin değerlendirilmesi ve yönetiminde daha pratik işlemler sağlanması için modifiye edilmişlerdir. Bu kitap, 1976 basımının güncelleştirilmiş versiyonudur. 1976 basımındaki değişiklikler kitabın uygun bölümlerinde tartışılmıştır.

1.2 SU KALİTESİ PROBLEMLERİ

Sulama suyu kalitesi içerisinde çözünmüş tuzların tipine ve miktarına bağlı olarak önemli şekilde değişir. Sulama suyunda nispeten az fakat önemli miktarlarda tuzlar mevcuttur. Tuzlar, kirecin, jipsin ve diğer yavaş çözünen toprak minerallerini içeren kaya ve toprakların ayrışmasından kaynaklanırlar. Bu tuzlar suyla birlikte kullanıldıkları yere taşınırlar. Sulamada su ile birlikte tuzlar da toprağa uygulanır ve su buharlaştıkça veya bitkiler tarafından kullanıldıkça toprakta kalırlar.

Bir sulama suyunun uygunluğuna yalnızca toplam tuz miktarı değil aynı zamanda tuzların çeşidi de etkilidir. Toplam tuz içeriği arttıkça çeşitli toprak ve bitki yetiştirme problemleri gelişir ve kabul edilebilir bitki veriminin sürdürülebilmesi için özel yönetim uygulamalarına gereksinim duyulabilir. Kullanım için su kalitesinin veya suyun uygunluğu, uzun dönemli kullanımlar esnasında gelişmesi beklenebilecek problemlerin potansiyel şiddeti üzerinde değerlendirilir.

Ortaya çıkan problemlerin hem çeşidi hem de derecesi değişim gösterir ve su kullanıcının bilgi ve yeteneği kadar toprak, iklim ve bitki tarafından modifiye edilir. Sonuç olarak su kalitesi üzerine sınır değerler yoktur daha ziyade suyun kullanım için uygunluğu, su içeriğinin birikimini etkileyecek ve bitki verimini sınırlayabilecek kullanım şartlarıyla belirlenir. Su kalitesinin değerlendirilmesi için bir esas olarak kullanılan ve en yaygın şekilde dikkate alınan problemler, tuzluluk, infiltrasyon hızı, toksiklik ve diğer problem gruplarıyla ilişkili olanlardır.

SULU TARIMDA SU KALİTESİYLE İLİŞKİLİ PROBLEMLER

TUZLULUK

Toprak veya sudaki tuzlar, verimi etkileyeceği bir dereceye kadar suyun bitkiye olan yarayışlılığını düşürür.

SU İNFİLTRASYON HIZI

Toprak ve suda nispeten yüksek sodyum içeriği veya düşük kalsiyum içeriği, bitkiye yeterli suyun sağlanabilmesi için bir sulamadan diğerine suyun infiltre olamayacağı bir düzeye kadar suyun toprağa giriş hızını azaltır.

ÖZEL İYON TOKSİKLİĞİ

Toprak veya sudaki belirli iyonların (sodyum, klor veya bor), duyarlı bir bitkiye zararlı olacağı veya verimini düşürebileceği yeterince yüksek düzeylere kadar birikimiyle oluşur.

DİĞER PROBLEMLER

Su içerisindeki aşırı bitki besin maddeleri verim veya kaliteyi düşürebilir; bazı tuzlar meyve veya yapraklar üzerinde çirkin birikimler yaparak pazarlanabilirliği azaltır veya ekipmanların aşırı korozyonuna neden olarak bakım ve onarımı artırır.

1.2.1 Tuzluluk

Eğer tuzlar bitki kök bölgesinde verimde bir kayba neden olacak konsantrasyonlara kadar birikiyorsa tuzluluk problemi var demektir. Sulanan alanlarda, bu tuzlar sıklıkla tuzlu taban suyundan veya uygulanan sudaki tuzlardan kaynaklanır. Toprak çözeltisinden bitkilerin yeterince su alamadıkları bir düzeye kadar kök bölgesinde tuz biriktiğinde verim düşüşleri meydana gelir. Önemli zaman diliminde bu tuz birikimi bir su stresi doğurur. Şayet su alımı gözlemlenebilir şekilde azalırsa, bitki gelişme hızı düşer. Solgunluk, daha koyu mavimsi yeşil renk veya bazan daha kalın mumsu yapraklar gibi bitki semptomları görülebilir. Bu tip

semptomlar kurak şarlarda görülen semptomlara benzerdirler. Semptomlar gelişme evreleriyle değişim gösterirler, eğer tuzlar erken gelişme dönemleri esnasında bitkiyi etkilemişlerse daha da dikkat çekicidirler. Bazı durumlarda bütün tarlada bitki gelişimde eşit düşüşler oluşması nedeniyle orta düzeyde tuzluluk etkileri tamamen dikkat çekmeyecek şekilde devam edebilir.

Bir tuzluluk problemine katkı sağlayan tuzlar suda çözünebilirdirler ve kolayca suyla taşınırlar. Şayet bitki yetiştirme mevsiminde bitkiler tarafından kullanılan daha fazla sulama suyu toprakta infiltre olursa önceki sulamalarla biriken tuzların bir kısmı kök bölgesi altına yıkanarak uzaklaştırılabilir. Su kalitesiyle ilişkili tuzluluk problemlerini kontrol etmede yıkama anahtar etkindir. Tuzların zararlı olacağı konsantrasyona çıkmasını önleyebilmek için herhangi bir zaman diliminde yıkamayla uzaklaştırılan tuzlar uygulanan suyla eklenen tuzlara eşit veya daha fazla olmalıdır. Gereksinim duyulan yıkama miktarı, sulama suyu kalitesine ve yetiştirilen bitkinin tuz toleransına bağlıdır.

Kök bölgesi tuz içeriği derinlikle değişim gösterir. Yaklaşık olarak toprak yüzeyi yakınında sulama suyu tuzluluğu düzeyinde olan toprak tuzluluğu, kök bölgesinin alt kısımlarında uygulanan su tuzluluğunun birkaç katına kadar çıkabilir. Bitkiler suyu alır fakat önemli ölçüde azalan toprak suyunda tuzları bırakırlar. Bu nedenle derinlikle birlikte tuz konsantrasyonu artar. Yıkana kadar birikmeye devam eden tuzlar peş peşe her sulamada kök bölgesinde daha derinlere indirilir. Meydana gelen yıkamaya bağlı olarak kök bölgesi tuzluluğu düşürülür.

Bir sulamayı takiben en kolay şekilde alınabilir yararlı su, düşük tuzluluk alanı olan en üst toprak bölgesinde bulunur. Bitki suyu kullandıkça, daha üst kök bölgesi tüketilmiş hale gelir ve sulamalar arası zaman aralığı arttıkça en kolay alınabilir yararlı su bölgesi daha derin kısımlara doğru kayar. Daha aşağıdaki bu derin kök kısmı genellikle daha tuzludur. Bitkiler köklenme derinliğinde ekstrem düşük veya yüksek tuzluluğa tepki vermezler ancak su yarayışlılığını dikkate alırlar ve suyun en kolay şekilde alınabilir olduğu yerden alırlar. Böylece sulamanın zamanlası, yüksek toprak su yarayışlılığının korunmasında önemlidir ve kök bölgesinde daha derinlerdeki tuzlu bölgeden önemli oranlarda bitkinin su alması ve bunun neticesinde ortaya çıkacak problemlerin azaltılmasına yardımcı olur. İyi bitki üretimi için yüksek toprak su yarayışlılığının korunmasına ve tuz konsantrasyonunun bitki toleransını geçmeden önce kök bölgesinden yıkanmasına eşit derecede önem verilmelidir.

Yüzey sulama yöntemleri ve geleneksel sulama yönetimi kullanıldığı zaman normal olarak bitkiler sık şekilde sulanamazlar ve bitki verimi ortalama kök bölgesi tuzluluğuyla iyi şekilde korele edilir fakat günlük veya neredeyse günlük esasta (lokal veya damla sulama) sulanan bitkiler için bitki verimi, ağırlıklı kök bölgesi tuzluluğu su alımıyla daha iyi korele edilmektedir (Rhoades 1982). Her iki korelasyon arasındaki farklılıklar büyük değildir fakat daha yüksek tuzluluklarda önemli hale gelebilir. Bu kitapta bitkilerin tuza verdiği tepkilerin değerlendirilmesinde ortalama kök bölgesi tuzluluğu dikkate alınmıştır.

Sulu tarımda, bir çok tuzluluk problemleri sığ su tablasıyla birlikte görülür veya bundan kuvvetli şekilde etkilenir (yüzeyden itibaren 2 m içerisinde). Tuzlar bu su tablasında birikirler ve çoğu zaman bitki kök bölgesine doğru hareket eden tuzların önemli ek kaynağı haline gelirler. Böylece tuzluluğun kontrol edilmesinde ve uzun dönemli sulu tarımın başarılmasında mevcut sığ su tablasının kontrolü temel teşkil eder. Daha yüksek tuzlu sular, yıkama için ekstradan suya gereksinim duyarlar ki bu su da potansiyel su tablası problemlerine büyük oranda katkı sağlar ve yeterli drenaj olmaksızın uzun dönemli sulu tarımı neredeyse imkansız hale getirir. Şayet drenaj yeterliyse, tuzluluk yönetimi, her zaman bitkiye yeterli şekilde su sağlandığından ve bitki toleransı içerisinde tuzları kontrol etmek için yeterli yıkama suyunun uygulandığından emin olunabilecek basit bir yönetim haline gelir.

1.2.2 Su İnfiltrasyon Hızı

Uygulanan sulama suyu veya yağmur sularının normal infiltrasyon hızı gözlemlenebilir derecede düştüğünde ve su toprak yüzeyinde çok uzun süre kaldığında veya kabul edilebilir düzeyde verimin korunabilmesi için bitkiye yeterli suyu sağlayamayacak düzeyde infiltrasyon çok yavaş gerçekleştiğinde su kalitesiyle ilişkili bir infiltrasyon problemi meydana gelir. Suyun infiltrasyon hızı geniş yelpazede değişmesine ve sulama suyu kalitesinden önemli ölçüde etkilenmesine rağmen toprak strüktürü, sıkışma derecesi, organik madde içeriği ve kimyasal bileşikler gibi toprak faktörleri de büyük oranda toprağa su giriş hızını etkiler.

Normal infiltrasyon hızını etkileyen su kalitesiyle ilgili en yaygın iki faktör, suyun tuzluluğu (sudaki toplam tuz miktarı) ve sodyum içeriğinin kalsiyum ve magnezyum içeriğine oranıdır. Tuzluluğu yüksek sular infiltrasyonu artıracaktır. Tuzluluğu düşük sular veya yüksek sodyum/kalsiyum oranına sahip sular infiltrasyonu düşürecektir. Her iki faktör aynı anda işleyebilir. Yeterli infiltrasyon sağlamak amacıyla sulamaların zamana yayılarak uzatılması sonucunda da ikincil problemler gelişebilir. Bu sorunlar, tohum yatağının kabuk bağlaması,

aşırı otlama, beslenme dengesizlikleri ve bitkilerin boğulması, tohumların çürümesi ıslak çukur alanlarda zayıf bitki dayanımı şeklinde sıralanabilir. İnfiltrasyon probleminin bir diğer ciddi yan etkisi ise hastalık ve sivrisinek problemlerini geliştirme potansiyelidir.

Bir çok durumda su kalitesiyle ilişkili bir infiltrasyon problemi birkaç santimetrelik toprak yüzeyinde meydana gelir ve bu yüzey toprağının yapısal stabilitesiyle ve düşük kalsiyum/sodyum içeriğiyle ilişkilidir. Bir toprak yüksek sodyumlu suyla sulandığında, yüksek sodyumlu yüzey toprağı oluşur ki bu durumda toprak yapısı zayıflar. Yüzey toprak agregatları, toprak gözeneklerini tıkayan çok daha küçük toprak parçacıklarına parçalanır. Söz konusu probleme son derece düşük kalsiyum içeriğine sahip yüzey topraklarında da rastlanabilir. Bazı durumlarda düşük tuzlu sular benzer bir probleme neden olabilir fakat bu durum düşük tuzlu suyun aşındırıcı doğasıyla ilişkilidir ve toprağın yada suyun sodyum içeriğiyle ilişkili değildir.

1.2.3 Özel İyon Toksisitesi

Toksiklik (zehirlenme) genellikle ilk önce marjinal yaprak yanması ve damarlar arası klorozisle kendini belli eder. Şayet birikim yeterince fazla ise verim kaybına neden olur. Daha toleranslı yıllık bitkiler toksik iyonların düşük konsantrasyonlarına duyarlı değildirler fakat neredeyse tüm bitkiler zehirli iyon konsantrasyonları yeterince yüksek olduğunda zarar görür veya yaşamlarını sürdüremez.

Birinci derecede sorun olan iyonlar klor, sodyum ve bordur. Bu iyonlar düşük konsantrasyonlarda olduklarında bile toksiklik problemleri görülmesine rağmen toksiklik problemlerine çoğu zaman bir tuzluluk veya infiltrasyon problemleri eşlik eder ve bu durum sorunları daha da karmaşık hale getirir. Potansiyel olarak toksik iyonlar kökler tarafından suyla önemli miktarlarda alındıklarında zarar doğururlar. Alınan iyonlar yapraklara iletilir ve transpirasyon sürecinde burada birikirler. Bu iyonlar yapraklarda su kaybının en yüksek olduğu yerlerde en fazla derecede birikirler. Bu birikim alanları genellikle yaprak uçları ve kenarlarıdır. Toksik konsantrasyonlara kadar birikim zaman alır ve dikkat çekecek görülebilir zararlar genellikle çok yavaş ilerler. Toksik iyon zararının derecesi, maruz kalma süresine, toksik iyon konsantrasyonuna, bitki duyarlılığına ve bitki tarafından transpire edilen su hacmine bağlıdır. Bitkinin hiç zarar görmediği soğuk iklimlerde veya soğuk dönemlerde yetiştirilmesi durumuna göre aynı bitki sıcak iklimlerde veya yılın sıcak dönemlerinde daha hızlı zarar görür.

Yağmurlama başlıklarıyla ıslanan yapraklardan toksik iyonların doğrudan absorpsiyonu dolayısıyla da toksiklik meydana gelebilir. Sodyum ve klor yapraklarda absorbe edilen birincil iyonlardır ve birinin veya her ikisinin toksikliği; limon gibi belirli duyarlı bitkilerde bir problem olabilir. Uygulanan sudaki konsantrasyon arttıkça zarar daha şiddetli oluşur ve ilerleyerek daha şiddetli hale gelebilir.

1.2.4 Diğer Problemler

Özellikle dikkat edilmesi gereken sulama suyu kalitesiyle ilişkili diğer bazı problemler de zaman zaman meydana gelmektedir. Bunlar, bitkilere azot sağlayan ve aşırı vejetatif ve kök gelişimine neden olabilen ve bitki olgunlaşmasını geciktiren yüksek azot konsantrasyonlarını, yüksek bikarbonat, jips veya yüksek miktarda demir içeren sularla yapılan yağmurlama sulama sonucu meyve ve yapraklar üzerinde hoş görünmeyen birikimleri ve alışılmışın dışında pH değerlerine sahip sularla ilişkili çeşitli anormallikleri içine almaktadır. Sulama uygulayan çiftçilerin karşı karşıya kaldığı önemli bir diğer problem, su nedenli korozyon veya kabuk dökülmesi nedeniyle ekipmanların eskimesidir. Bu problem borular ve pompalar için çok ciddidir fakat bazı alanlarda düşük kaliteli sular da sulama ekipmanlarına ve kanallara zarar verebilir. Malaria, schistosomiasis ve lymphatic filariasis gibi hastalıkların potansiyel bir risk olduğu alanlarda, hastalık vektör problemleri, diğer su kalitesi problemleriyle birlikte dikkate alınmalıdır. Sulamada atık su kullanımında veya düşük kaliteli drenaj suyu kullanımında, düşük infiltrasyon oranıyla ilişkili ikincil bir problem olarak vektör problemleri (mosquitoes) sıkça meydana gelmektedir. İnorganik sedimentler kadar süspanse organik sedimentler, orifislerin, yağmurlama başlıklarının ve damlatıcıların tıkanması vasıtasıyla sulama sistemlerinde problemlere neden olurlar. Sedimentleri süzecek filtreler kullanılmazsa pompalara zarar verebilirler. Daha yaygın şekilde, sedimentler kanalları doldurma eğilimindedirler ve masraflı taşıma ve bakım problemlerine neden olurlar. Sedimentler zaten az geçirgen olan toprakların infiltrasyon hızını daha da düşürme eğilimi gösterirler.

1.2 SU KALİTESİ DEĞERLENDİRME YAKLAŞIMI

Meydana gelebilecek bir su kalitesiyle ilişkili problemin tahmini, suyun kullanımını sınırlayabilecek veya kabul edilebilir düzeyde verim alınabilmesi için özel yönetim uygulamaları gerektirebilecek toprak şartları yaratma potansiyelinin değerlendirilmesini gerektirir. Bu değerlendirme için kullanışlı birkaç prosedür bulunmaktadır fakat su kalitesi problem çözümleri, proje düzeyinden ziyade genellikle çiftlik düzeyinde uygulamaya

konulması gerektiğinden dolayı hangi prosedürün kullanılacağına bakılmaksızın tarla durumuyla ilgili potansiyel problem üzerine odaklanılmalıdır. Bunun yanında su kullanımı değerlendirmesinde özel bölgesel şartlar ve su kullanıcısının çiftlik yönetim kabiliyeti dikkate alınmalıdır.

Bu yaklaşım bu kitabın 1976'daki basımıyla aynıdır ve buna benzer kitaplarda da bir sulama suyunun oluşturacağı toprak veya bitki problemlerinin değerlendirmesi önerilmektedir. Bu tip değerlendirilmeden sonra bu potansiyel problemlerin üstesinden gelinebilmesi için çeşitli yönetim uygulamaları belirlenir. Bu yaklaşım çoğunlukla problem çözüm odaklı yaklaşım olarak değerlendirilmekte ve günümüzde sulu tarımda büyük yatırımlara ihtiyaç duyulması nedeniyle kısa dönemli etkilerden çok sulu tarımda uzun dönemli etkilere vurgu yapılmaktadır.

Tuzluluk, infiltrasyon, toksiklik ve diğer problemler sıralamasına göre dikkate alınan bu dört problem sınıfı, sulama suyu kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılır. Bununla birlikte su kalitesi problemleri, çoğunlukla karmaşıktır ve problemler kombinasyonu, ayrılmış tek başına bir problemten daha şiddetli bir şekilde bitki üretimini etkileyebilir. Problem ne kadar karmaşıksa, çözüm için ekonomik bir yönetim programı formüle etmek de o kadar zordur.

Şayet problemler birlikte meydana geliyorsa, her faktörün ayrı ayrı dikkate alınarak anlaşılması ve çözülmesi, işi kolaylaştırır. Bunun yanında, her bir problem ve çözümü ayrıca uygulanır. Böylece problem alanının her biri için aşağıdaki faktörler değerlendirilir:

- Probleme neden olan tuzların cinsi ve konsantrasyonu,
- Bitki veriminde kayba neden olabilecek toprak-su-bitki etkileşimleri,
- Suyun uzun dönemli kullanımını takiben oluşması beklenen problemin şiddeti,
- Problem takımını önlemeye, düzeltmeye veya ertelemeye elverişli olan yönetim seçenekleri.

1.3 SU KALİTESİ DEĞERLENDİRME REHBERLERİ

Sulama suyu kalitesini değerlendirme rehberleri Çizelge 1’de verilmiştir. Bu kılavuzlarda bitki üretimi üzerine, toprak şartlarına ve çiftlik yönetimine uzun dönemli su kalitesi etkilerine odaklanılmaktadır. Bu format, Birleşik Devletler Tuzluluk Laboratuvarı ekibince ortaklaşa hazırlanan Californiya Üniversitesi Danışmanlar Kurulunun 1974 Su Kalitesi Kılavuzlarına benzerdir.

Uygulanabilir olan bu sulama suyu kalitesi değerlendirme rehberleri, yüzey suları, yer altı suları, drenaj suyu, lağım ve atık sulardaki yaygın maddelerin değerlendirilmesinde genel sulu tarımda başarılı şekilde kullanılmaktadır. Değerlendirmeler hemen ilgili çizelgelerden sonra verilmiş olan belirli kabullere dayanmaktadır. Bu kabuller net şekilde anlaşılmalıdır fakat katı kurallar haline getirilmemelidir. Gerçek kullanım şartları bu kabullerden büyük ölçüde farklılık gösterirse, modifiye edilmiş alternatif bir kılavuz takımı hazırlanabilir.

Genel olarak, ‘kullanımda sınırlama yoktur’ biçiminde gösterilen sulardan daha düşük değerlere sahip sular kullanıldığında hiçbir toprak veya bitki yetiştirme problemi tecrübe edilmemiş veya karşılaşılmamıştır. Şayet tam verim kapasitesine ulaşmak isteniyorsa, hafif-orta aralıktaki kısıtlamalarda, bitki seçiminde ve yönetim seçeneklerinde giderek artan özen gösterilmelidir. Diğer yandan, şiddetli kısıtlamalar gösteren değerlere eşit veya üzerinde sular kullanılırsa, su kullanıcıları toprak ve bitki yetiştirme problemleri veya verim düşüşleri yaşarlar, fakat düşük kaliteli sularla başedebilmek için özellikle planlanmış bitki yetiştirme yönetimiyle bile kabul edilebilir üretim için yüksek seviyeli yönetim kabiliyeti esastır. Şayet su kalitesi değerleri şiddetli sınırlama kategorisine yaklaşır veya aşarsa, büyük projelerde su kullanımına başlanmadan önce uygulanması gereken çiftlik ve bitki yetiştirme tekniklerinin belirlenmesi için bir seri çiftçilik çalışmaları yürütülmelidir.

Çizelge 1, bir yönetim aracıdır. Tarımda çok sayıda böyle yorumlayıcı araçlarla su ajansları, proje planlayıcıları, ziraatçılar, bilim adamları gibi kullanıcılara yardımcı olunmakta ve toprak şartları üzerine ve bitki üretimine su kalitesinin etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için araziyle uğraşanlar eğitilmektedir. Bu şekilde düşük kaliteli suların daha yararlı hale getirebilmesi amacıyla su kullanıcıları su yönetimini ayarlayabilmektedirler. Çizelge 1 kullanıcıları, tarla şartlarıyla bunların ilişkisini kurarken yalnızca laboratuvar sonuçları üzerine ve kılavuz

yorumlarına dayalı resmedilen haksız tartışmalara karşı korunmalı ve tarla tecrübeleri veya deneyleriyle kontrol edilmeli, doğrulanmalı ve test edilmelidir.

Kılavuzlar bir su kaynağının kalite sınırlarını ortaya koymada ilk adımdır fakat bu tek başına yeterli değildir; düşük kaliteli suların üstesinden gelinmesi veya adapte edebilebilmesi için çeşitli yöntemlere de ihtiyaç duyulur. Bununla birlikte, sonraki bölümlerde, su kalitesi yönetim seçenekleri sunulmuş ve kılavuzların nasıl kullanılabileceğine ilişkin birkaç örnek verilmiştir.

Bu genel sulama kılavuzlarında pestisitler ve organik maddeler gibi atık sularda bazan bulunan özel maddeler veya genel olmayan etkiler değerlendirilmemektedir. Bunun yanında, normal sulama suları için önerilen iz element konsantrasyon sınırları Bölüm 5.5’de verilmiştir. Sulama suyu kaynaklarının çoğu zaman evcil hayvanların da içme suyu kaynağı olarak kullanılmalarından dolayı evcil hayvanlar için içme suyu tuzluluk ve iz element sınırları Bölüm 6’da sunulmuştur.

İçme suyu standartları, bu kitabın kapsamı dışındandır fakat bir sulama şebekesi planlanması esnasında bu konu yine de dikkate alınmalıdır. Bu önemlidir çünkü sulama kaynakları bilerek veya bilmeyerek insan içme suyu olarakta yaygın şekilde kullanılabilmektedir. Bu konuya ilişkin özel bilgi temini için Dünya Sağlık Örgütü (WHO) veya mahalli sağlık ajanslarına başvurulmalıdır.

Sulama suyu değerlendirme kılavuzlarının kullanımında gerek duyulan laboratuvar sonuçları için analitik prosedürler bazı kaynaklarda verilmiştir: USDA Handbook 60 (Richards 1954), Rhoades ve Clark 1978, FAO Soils Bulletin 10 (Dewis and Freitas 1970) ve Su ve Atık Su Deneyleri İçin Standart Yöntemler (APHA 1980). Mevcut ekipman, bütçe ve örnek sayıları için en uygun yöntemler kullanılmalıdır. Analizlerde $\pm 5\%$ analitik hassasiyet yeterli kabul edilir.

Çizelge 1. Sulama Suyu Kalitesi Genel Değerlendirme¹

Potansiyel Sulama Problemleri		Birim	Kullanım Sınırlama Derecesi				
			Yok	Hafif-Orta	Şiddetli		
Tuzluluk (Bitki su yarıyışlılığını etkiler) ²							
	EC _w	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0		
	Veya						
	TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000		
İnfiltrasyon (Toprak içerisine suyun sızma hızını etkiler. EC _w ve SAR değerlerinin herikisi kullanılarak değerlendirilir)							
SAR	0-3	ve	EC _w		>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
Özel İyon Toksikliği (Duyarlı bitkileri etkilemektedir)							
Sodyum (Na) ⁴	Yüzey Sulama	SAR	<3	3-9	>9		
	Yağmurlama sulama	me/l	<3	>3			
Klor (Cl) ⁴	Yüzey Sulama	me/l	<4	4-10	>10		
	Yağmurlama sulama	me/l	<0.7	>3			
Bor (B) ⁵		mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0		
İz elementler (Çizelge 21'e bakınız)							
Diğer Etkiler (Hassas bitkileri etkilemektedir)							
Azot (NO ₃ -N) ⁶		mg/l	<5	5-30	>30		
Bikarbonat (HCO ₃) Yalnızca yağmurlama sulama		me/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5		
pH		Normal aralık 6.5-8.4					

1 Kaliforniya Üniversitesi Danışmanlar Kurulundan Uyarlanmıştır.

- EC_w elektriksel geçirgenlik anlamına gelir, su tuzluluğunun bir ölçüsüdür, 25 °C'de deciSiemens/metre (dS/m) veya milimhos/santimetre (mmho/cm) birimlerinde gösterilir. Her iki birim bir birine eşdeğerdir. TDS toplam çözünmüş katılar anlamına gelir, miligram/litre (mg/l) şeklinde ifade edilir.
- SAR sodyum adsorpsiyon oranı anlamına gelir. SAR bazan RNa sembolüyle ifade edilir. SAR hesaplama işlemi için Şekil 1'e bakınız. Verilen bir SAR değerinde, su tuzluluğu arttıkça infiltrasyon hızı artar. Potansiyel infiltrasyon problemi EC_w tarafından düzeltilmiş SAR aracılığıyla değerlendirilir. Rhoades 1977 ve Oster ve Schroer 1979'dan uyarlanmıştır.
- Yüzey sulama için, ağaçların ve odunsu bitkilerin çoğu sodyum ve klora duyarlıdır; gösterilmiş olan değerler kullanılır. Tek yıllık bitkilerin çoğu duyarlı değildir; tuzluluk tolerans çizelgeleri kullanılır (Çizelge 4 ve 5). Seçilmiş olan meyvelerin klor toleransı için Çizelge 14'e bakınız. Yağmurlama sulamayla ve düşük nemlilikte (<%30), sodyum ve klora duyarlı bitkilerin yapraklarında absorbe edilir. Bu tip absorpsiyona karşı bitki duyarlılığı için Çizelge 18, 19 ve 20'ye bakınız.
- Bor toleransları için Çizelge 16 ve 17'ye bakınız.
- NO₃-N, şeklinde ifade edilen azot nitrat anlamına gelir (NH₄-N ve organik N, atık sular test edildiğinde dahil edilmelidir).

Kılavuzlardaki Kabuller Çizelge 1'deki su kalitesi kılavuz değerleri, sulu tarımda dikkate alınan şartların geniş aralığını kapsama eğilimindedir. Kullanılabilirlik aralığının tanımlanabilmesi için birkaç temel kabul kullanılmıştır. Eğer su, önemli derecede farklı şartlar altında kullanılacaksa, kılavuz değerlerin ayarlanması gerekir. Yapılan kabullerden meydana gelen geniş sapmalar, özel bir su kaynağının kullanımı üzerine yanlış yargıya varma sonucunu verebilir, özellikle sınır durumunda. Yeterli tecrübenin, tarla deneyimlerinin, araştırma ve gözlemlerin olduğu yerlerde, mahalli şartlara daha iyi uyum sağlanması için kılavuz değerler düzeltililebilir.

Kılavuzlarda yapılan temel kabuller: Kılavuzlarda “kullanımda sınırlama yok” şeklinde belirtildiğinde özel uygulamalar kullanılmaksızın tüm bitkilerin tam üretim kapasiteleri olduğu kabul edilir. Bir “kullanım üzerine sınırlama”, bitki seçiminde sınırlama olabileceğini belirtir veya tam üretim kapasitesinin korunabilmesi için özel yönetime ihtiyaç duyulabilir. “Kullanım üzerine sınırlama”, suyun kullanım için uygun olmadığına işaret etmez.

Yersel Şartlar: İyi drenajlı toprak tekstürü kumlu-tıncan killi-tına kadar değişir. İklim yarı kurak veya kurak ve yağmur miktarı düşüktür. Yağmur bitki su ihtiyacını karşılamada veya yıkama gereksinimini karşılamada önemli bir rol oynar (Bir muson ikliminde veya yılın tamamı veya bir kısmı için yağışın yüksek olduğu alanlarda, kılavuz sınırlamaları aşırıdır. Daha fazla yağış durumlarında, infiltre olan yağmur suyu yıkama gereksiniminin tamamını veya bir kısmını karşılamada etkilidir). Yüzeyden itibaren 2 m aşağıda kontrol dışı sığ su tablası bulunmamaktadır ve drenajın iyi olduğu kabul edilmektedir.

Sulama Yöntemleri ve Zamanlaması: Normal yüzey veya yağmurlama sulama yöntemleri kullanılır. İhtiyaç duyulduğu şekilde sulama uygulamaları yapılır ve sulama aralığı sık değildir ve bitki bir sonraki sulamadan önce depolanmış olan yararlı toprak suyunun önemli bir kısmını (%50 veya daha fazla) kullanır. Uygulanan suyun en az %15'i kök bölgesi altına sızar (yıkama oranı [LF] ≥ %15). Kılavuzlar, neredeyse günlük veya sık sulamalar sonucunu doğuran damla sulama gibi sulama yöntemleri için aşırı sınırlayıcıdır fakat yüzeye uygulanan yıkama gereksinimlerini karşılıyorsa yüzey altı sulama için uygulanabilir.

Bitkilerin Su Alımı: Farklı bitkiler farklı su alım desenlerine sahiptirler fakat hepsi de kök bölgesi derinliğinde suyun en kolay şekilde yararlı olduğu yerden su alırlar. Ortalama üzerinden köklenme derinliğinin üst çeyreğinden yaklaşık %40, ikinci çeyreğinden %30, üçüncü çeyreğinden %20 ve en aşağıdaki çeyreğinden %10 su alındığı kabul edilir. Her sulama üstteki kök bölgesini yıkar ve burasını nispeten daha düşük tuzlulukta tutar. Tuzluluk derinlikle artar ve kök bölgesinin daha aşağı kısmında en fazladır. Toprak-suyunun ortalama tuzluluğu, uygulanan su tuzluluğunun üç katıdır ve bitkilerin tepki verdiği ortalama kök bölgesi tuzluluğunun göstergesidir. Bu şartlar %15-20'lik yıkama oranından ve bitkilere her zaman yeteri kadar sağlanması için zamanlanan sulamalardan kaynaklanmaktadır.

Üst kök bölgesinden yıkanan tuzlar daha aşağı kısımda bir dereceye kadar birikir fakat yeterli yıkamayla kök bölgesi altına tuzlar yıkandığında bir tuz dengesine ulaşılır. Şayet kök bölgesinin “daha aktif” kısmı olan daha üst kısımda yeterli nem sağlanır ve uzun dönemli yıkama başarılırsa, daha aşağı kök bölgesindeki tuzluluk daha az önemli hale gelir.

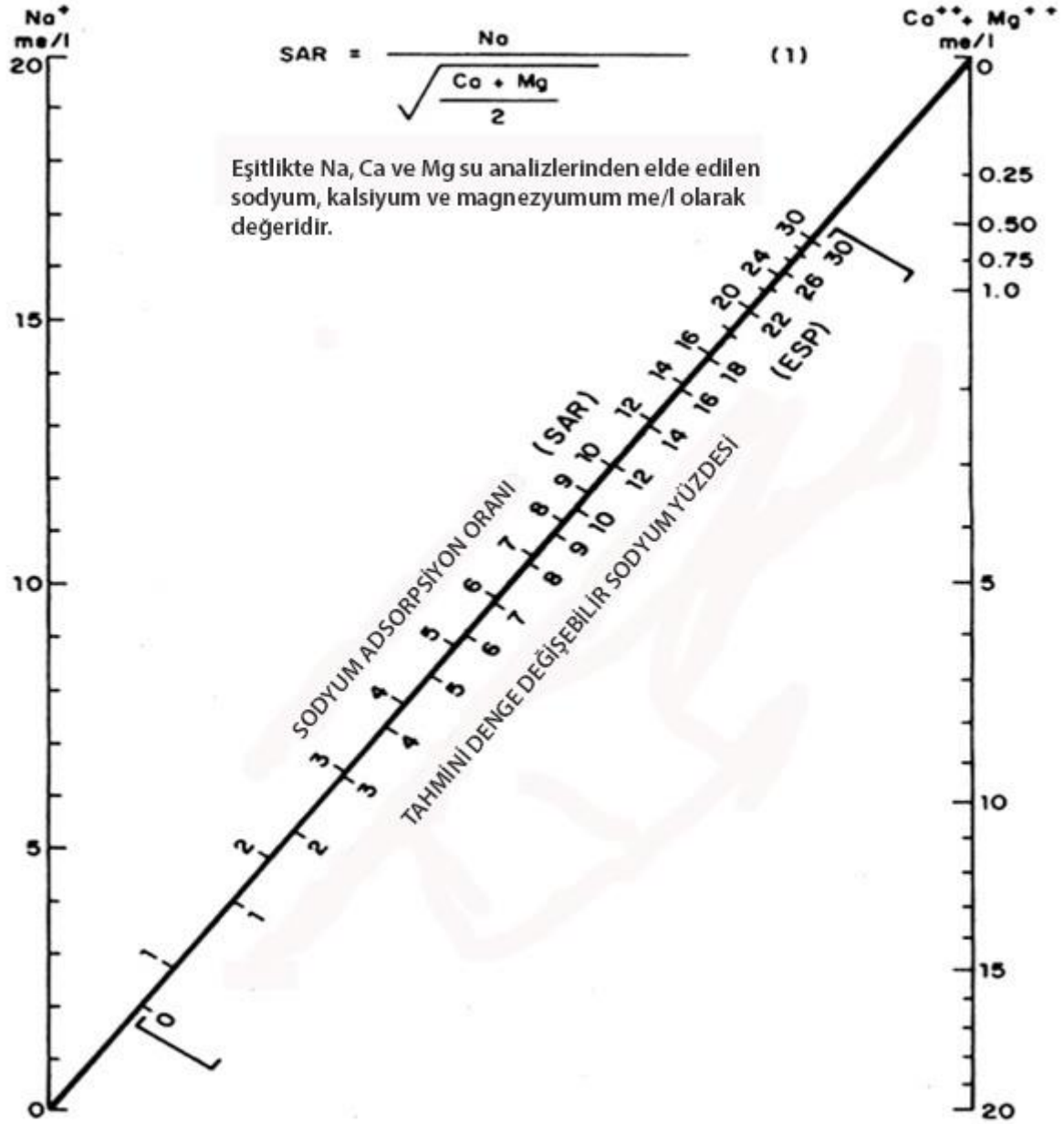
Kullanımda Sınırlama: Çizelge 1’de gösterilen “Kullanımda Sınırlama” üç ayrı şiddet derecesine ayrılır: hiç, hafiften ortaya, ve şiddetli. Değişim aşamalı şekilde olduğundan ve net kırılma noktaları bulunmadığından dolayı ayrımlar bir yere kadar tesadüfidir. Eğer verimi etkileyen diğer faktörlerle uygun perspektifte değerlendirilirse, bir kılavuz değerinin altında veya üstünde %10-20’lik değişim çok az öneme sahiptir. Arazi çalışmaları, araştırma deneyimleri ve gözlemleri bu ayrımlara götürür fakat su kullanıcısının yönetim kabiliyeti bunları değiştirebilir. Dünyanın kurak ve yarı-kurak bölgelerinde çoğu sulama alanlarında hakim olan normal tarla şartları altında bu gösterilen değerler uygulanabilir.

Sodyum Adsorpsiyon Oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak da hesaplanabilir.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (1)$$

Eşitlikte;

Na : Sodyum miktarı me/l,
Ca : Kalsiyum miktarı me/l,
Mg : Magnezyum miktarı me/l.



Şekil 1. Sulama suyu SAR değerini belirleme ve söz konusu suyla dengedeki bir toprağın karşılık gelen ESP değerini tahmin etme nomogramı (Richards 1954).

Çizelge 2. Yaygın Olarak Sulama Suyu Kalite Problemlerinin Değerlendirilmesi İçin Gereksinim Duyulan Laboratuvar Sonuçları

Su parametresi	Sembolü	Birimi ¹	Sulama Suyundaki Genel Aralığı
TUZLULUK			
<u>Tuz içeriği</u>			
Elektriksel iletkenlik	EC _w	dS/m	0-3 dS/m
Veya			
Toplam Çözünmüş Katılar	TDS	mg/l	0-2000 mg/l
<u>Katyonlar ve Anyonlar</u>			
Kalsiyum	Ca ⁺⁺	me/l	0-20 me/l
Magnezyum	Mg ⁺⁺	me/l	0-5 me/l
Sodyum	Na ⁺	me/l	0-40 me/l
Karbonat	CO ₃ ⁻⁻	me/l	0-0.1 me/l
Bikarbonat	HCO ₃ ⁻	me/l	0-10 me/l
Klor	Cl ⁻	me/l	0-30 me/l
Sülfat	SO ₄ ⁻⁻	me/l	0-20 me/l
BESİN ELEMETLERİ ²			
Nitrat-Azot	NO ₃ -N	mg/l	0-10 mg/l
Amonyum-Azot	NH ₄ -N	mg/l	0-5 mg/l
Fosfat-Fosfor	PO ₄ -P	mg/l	0-2 mg/l
Potasyum	K ⁺	mg/l	0-2 mg/l
DİĞERLERİ			
Bor	B	mg/l	0-2 mg/l
Asitlik/Bazlık	pH	1-14	6.0-8.5
Sodyum Adsorpsiyon Oranı	SAR	(me/l) ^{1,2}	0-15

- 1 dS/m = deciSiemen/metre SI Birimlerinde (1 mmho/cm = 1 milimho/santimetreye eşdeğer).
mg/l = miligram/litre, milyonda kısım (ppm)

me/l = miliekivalan/litre (mg/l ÷ ekivalan ağırlığı = me/l); SI birimlerinde elektron yükü düzeltilmiş. 1 me/l = 1 milimol/litre

- 2 NO₃-N, laboratuvarından NO₃ analizi yapacağı fakat kimyasal olarak azot eşdeğeri şeklinde NO₃'ün rapor edileceği anlamına gelir. Benzer şekilde NH₄-N'u için laboratuvarında NH₄ analizi yapılacağı fakat kimyasal olarak azot eşdeğeri ifade edilecektir. Bitkiye yararlı toplam azot, eşdeğer azot elementidir. Aynı raporlama yöntemi fosfor için de kullanılır.
- 3 SAR me/l biriminde verilen Na, Ca ve Mg dan hesaplanır (Şekil 1' e bakınız).

Ek 1: Sulama sularında genel olarak bulunan katyonlar, anyonlar ve tuzlar

Katyon	Molekül ağırlığı (mg)	Miliekivalan ağırlığı (mg/me)	Tuz	Molekül ağırlığı (mg)	Miliekivalan ağırlığı (mg/me)
Na ⁺	23.0	23.0	NaCl	58.5	58.5
K ⁺	39.1	39.1	CaCl ₂	111	55.5
Ca ⁺²	40.0	20.0	MgCl ₂	95.0	47.5
Mg ⁺²	24.0	12.0	Na ₂ SO ₄	142	71.0
Anyon			CaSO ₄	136	68.0
Cl ⁻	35.5	35.5	MgSO ₄	120	60.0
SO ₄ ⁻²	96.0	48.0	NaHCO ₃	84	84.0
HCO ₃ ⁻	61.0	61.0	Ca(HCO ₃) ₂	162	81.0
CO ₃ ⁻²	60.0	30.0	Mg(HCO ₃) ₂	146	73.0

Bazı elementlerin molekül ağırlığı: C= 12.0 mg, O= 16.0 mg, S= 32.06 mg, N= 14.0 mg, B= 10.8 mg.

me/l	dS/m	mg/l	mg/me	me/l
10	1	640	64	10
120	10	7000	58.3	12

SORU 1) Saturasyon noktasında %60 (g/g) nem içeren bir toprağın saturasyon çözeltisi analiz edilmiş ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

- Saturasyon çözeltisi tuz konsantrasyonu (ppm) nedir?
- Toprak tuz konsantrasyonu (ppm) nedir ?
- Toprak tuz yüzdesi nedir ?
- Hacim ağırlığı 1.5 ton/m³ olan toprakta 1 dekar alanda 1 metre derinlik hacminde ne kadar tuz vardır ?

KATYON	Konsantrasyon (me/l)	ANYON	Konsantrasyon (me/l)
Ca	32	CO ₃	-
Mg	38	HCO ₃	3.3
Na	14.5	SO ₄	105
K	0.5	Cl	105
TOPLAM	215.5		213.3

a) Saturasyon çözeltisi tuz konsantrasyonu

	Konsantrasyonu (me/l)	Ekivalan ağırlığı (mg/me)	Konsantrasyon (ppm)
Ca	32	20	640
Mg	38	12	456
Na	14.5	23	3335
K	0.5	39	19.5
CO ₃	-	30	-
HCO ₃	3.3	61	201.3
SO ₄	105	48	5040
Cl	105	35.5	3727.5
Saturasyon çözeltisi tuz konsantrasyonu			13420.3

b) toprak tuz çözeltisi = saturasyon çözeltisi konsantrasyonu × saturasyon yüzdesi

$$\text{Toprak tuz çözeltisi} = 13420.3 \times (60/100) = 8052.2 \text{ ppm}$$

$$\begin{aligned} \text{c) toprak tuz yüzdesi (\%100)} &= \text{toprak tuz konsantrasyonu (ppm)} / 10000 \\ &= 8052.2/10000 = \% 0.805 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) saturasyon çözeltisi elektriksel iletkenliği ; ECe} &= \text{saturasyon çözeltisi konsantrasyonu} \\ &(\text{ppm})/700 \\ &= 19.2 \text{ dS/m} \end{aligned}$$

Veya

$$\frac{\sum \text{katyon (me/l)} + \sum \text{anyon (me/l)} / 2}{12} = \frac{215.5+213.2/2}{12} = 17.9 \text{ dS/m}$$

e) 100 gram toprakta 0.805 gram tuz var ;

$$V=1000 \text{ m}^3$$

$$W = \gamma \cdot V = 1000 \times 1.5 = 1500 \text{ ton}$$

100 tonda 0.805 ton tuz var ise

1500 tonda ise x kadar tuz vardır

$$x = \frac{1500 \times 0.805}{100} = 12.1 \text{ ton}$$

SORU 2) Kayseri 'de buğday su tüketimi 630 mm'dir. Bu suyun %50 si yağışlarla karşılanmaktadır. Diğer %50'sinin elektriksel iletkenliği 4 dS/m olan sulama suyu ile karşılanması durumunda bir sezonda 1 dekar uygulanan tuz miktarını bulunuz.

$$ET_c = 630 \text{ mm}$$

$$Yağış = 315 \text{ mm}$$

$$\text{Sulama suyu} = 315 \text{ mm}$$

$$EC_w = 4 \text{ dS/m}$$

$$EC_{\text{yağış}} \text{ yaklaşık } 0 \text{ dS/m}$$

$$\text{Sulama suyu hacmi} = V = 0.315 \times 1000 = 315 \text{ m}^3 = 315000 \text{ litre}$$

$$\text{Sulama suyu konsantrasyonu} = 4 \times 640 = 2560 \text{ mg/l}$$

$$\text{Uygulanan toplam tuz} = 315000 \times 2.56 = 806400 \text{ g/dekar} = 806.4 \text{ kg/dekar}$$

2. TUZLULUK PROBLEMLERİ

2.1 Giriş

Sulama suları doğal olarak var olan tuzların bir karışımını içermektedir. Bu suyla sulanan topraklar, benzer tuz karışımlarını içerirler fakat uygulanan sudakinden genellikle daha yüksek konsantrasyonlarda bulunurlar. Toprakta tuzların birikmesi, sulama suyu kalitesine, sulama yönetimine ve drenaj yeterliliğine bağlıdır. Tuzlar aşırı şekilde birikirlerse, verim kayıplarıyla sonuçlanır. Verim kayıplarının önlenmesi için, toprakta bulunan tuzların verimi etkilemeye başladığı bir konsantrasyonun altında tutulması gerekir.

Sulama için kullanılan suların çoğunluğu iyi-mükemmel kalitede sulardır ve ciddi tuzluluk kısıtlamaları göstermeleri muhtemel değildir. Bununla birlikte, sulama suyu kalitesi düştükçe tuzluğun kontrolü zorlaşır. Su tuzluluğu arttıkça, tuz birikimi verimi etkileyebilecek bir konsantrasyona ulaşmadan önce kök bölgesinden yıkanmasına daha fazla özen gösterilmelidir. Alternatif olarak, beklenen kök bölgesi tuzluluğuna karşı bitki toleransları dikkate alınarak adımlar atılmalıdır. Yıkama sıklığı, su kalitesine ve bitkilerin tuzluluğa duyarlılığına bağlıdır.

Bu bölümün amacı, toprak tuzluluğu oluşumu ve toprak suyu yarayışlılığı üzerine su kalitesi etkilerinin gösterilmesidir. Bu konuyu, tuzluluğu daha kolay kontrol edebilecek ve sulu tarımda daha tuzlu suların daha fazla kullanımına izin verecek yıkama şekli, bitki seçimi ve diğer yönetim tekniklerinin değerlendirilmesi takip etmektedir. Çizelge 1’de gösterildiği gibi kullanımda hafif-orta kısıtlamalar gerektiren orta kaliteli suların nasıl yönetileceği üzerinde durulacaktır. Eğer böyle sular uygun şekilde yönetilmezlerse daha şiddetli problemler doğurabilirler. Aynı yönetim teknikleri daha düşük kaliteli bir suya da uygulanabilir fakat su kalitesi kötüleştikçe yönetim seçenekleri de azalmaktadır.

2.2 TOPRAK TUZLULUĞUNUN OLUŞUMU

Her sulamayla birlikte toprağa tuz ilave edilir. Tuzlar zararlı olacakları konsantrasyonlara kadar kök bölgesinde birikirlerse, bitki verimini düşüreceklerdir. Bitkilerin evapotranspirasyon (ET) ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için uygulanan suyu bitkiler alır fakat geride giderek azalan toprak suyu hacminde tuzların büyük bir kısmı kalır. Her sulamada, uygulanan suyla birlikte daha fazla tuz ilave olur. Tuz konsantrasyonu bitki verimini etkilemeden önce bu ilave olan tuzların bir kısmı kök bölgesinden yıkanmalıdır. Yıkama yeteri miktarda fazla su uygulanarak

yapılır ve bu şekilde bitki ihtiyacının üstündeki fazla su kök bölgesinden aşağıya süzülürken birikmiş tuzların bir kısmı taşınarak uzaklaşır. Tüm kök bölgesi derinliğinden geçen ve aşağıya süzülen suyun uygulanmış suya oranı, yıkama oranı (LF) olarak adlandırılır:

$$Yıkama\ oranı = \frac{kök\ bölgesi\ altına\ yıkanan\ su\ derinliği}{yüzeye\ uygulanan\ su\ derinliği} \quad (2)$$

Bir birini izleyen bir çok sulamadan sonra, topraktaki tuz birikimi, uygulanan su tuzluluğu ve yıkama oranına göre kurulan denge konsantrasyonuna yaklaşacaktır. Yüksek bir yıkama oranı (LF= 0.5), daha düşük bir yıkama oranından (LF= 0.1) daha az tuz birikimi sonucunu doğurur. Eğer su tuzluluğu (EC_w) ve yıkama oranı (LF) biliniyor veya tahmin edilebiliyorsa, hem kök bölgesi altına süzülen drenaj suyunun tuzluluğu ve hem de ortalama kök bölgesi tuzluluğu tahmin edilebilir. Drenaj suyunun tuzluluğu şu eşitlikten tahmin edilebilir:

$$EC_{dw} = \frac{EC_w}{LF} \quad (3)$$

Eşitlikte;

$EC_{dw} = EC_{sw}$: Kök bölgesi altına süzülen drenaj suyu tuzluluğu (toprak suyu tuzluluğuna eşittir (EC_{sw}),
 EC_w : Uygulanan sulama suyu tuzluluğu,
 LF : Yıkama oranı.

Örnek 1’de, drenaj suyu kalitesinin tahmin edilmesi için yıkama oranı ve su kalitesi kullanılmıştır. Bununla birlikte bitki yalnızca kök bölgesinin en alt kısmındaki bu drenaj suyu tuzluluğuna maruz kalır. Çok daha düşük yıkama oranı nedeniyle kök bölgesinin alt kısmındaki tuzluluk üst kısımdaki tuzluluktan daha yüksektir. Bununla birlikte bitki ortalama kök bölgesi tuzluluğuna tepki verir ve daha üstteki veya daha alttaki ekstrem bölgelere tepki vermez.

Örnek 1: Kök Bölgesi Tabanından Derine Sızan Drenaj Suyu Konsantrasyonunun Hesaplanması

Elektriksel iletkenliği (EC_w) 1 dS/m olan suyla bir bitki 0.15’lik bir yıkama oranı sağlanacak şekilde sulanmaktadır (Uygulanan suyun %85’inin bitki evapotranspirasyonunda kullanıldığı farz edilmektedir).

Verilenler : $EC_w = 1 \text{ dS/m}$
 $LF = 0.15$

Açıklama : Kök bölgesi altına sızan toprak-su konsantrasyonu (EC_{sw}), kök bölgesi altında biriken (EC_{dw}) drenaj suyu konsantrasyonuna eşdeğerdir. Kök bölgesi tabanından derine sızan suyun tuzluluğu (drenaj suyu) Eşitlik (3) yardımıyla tahmin edilebilir:

$$EC_{dw} = EC_{sw} = \frac{EC_w}{LF} = \frac{1}{0.15} = 6.7 \text{ dS/m}$$

Kök bölgesi tabanından sızan toprak-suyu tuzluluğu (EC_{dw}) yaklaşık olarak 6.7 dS/m olacaktır.

Eğer kök bölgesinde su kullanımına bakılarak belirli kabuller yapılırsa, kök bölgesinde ortalama toprak-suyu tuzluluğunun (EC_{sw}) tahmin edilmesinde de Eşitlik (3) kullanılabilir. Çizelge 1 kılavuz değerleri, bitkiler tarafından su kullanımının %40, 30, 20 ve 10'unun sırasıyla kök derinliğinin en üst çeyreğinden en alt çeyreğine doğru alındığını farz etmektedir. Bu su kullanım deseni, normal sulama uygulamaları altındaki şartlara uymaktadır. Örnek 2'de söz konusu su kullanım desenine göre ortalama toprak-suyu tuzluluğu (EC_{sw}) tahmin edilmiştir.

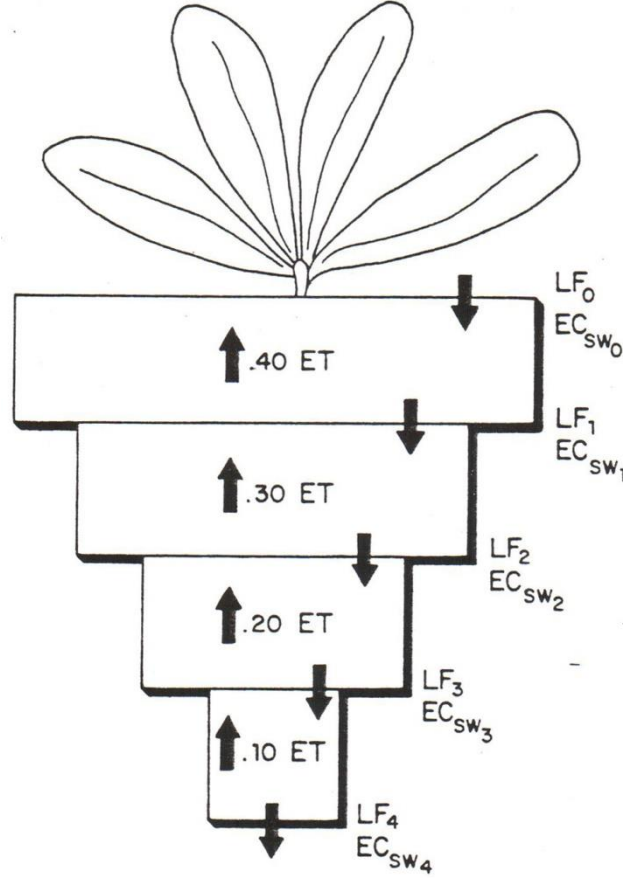
Örnek 2. Ortalama Kök Bölgesi Tuzluluğunun Belirlenmesi

Ortalama kök bölgesi tuzluluğu, kök salma derinliğinde beş noktanın ortalaması kullanılarak hesaplanabilir. Aşağıdaki işlem, bitkinin tepki verdiği ortalama kök bölgesi tuzluluğunu tahmin etmede kullanılabilir.

Kabüller:

1. Uygulanan sulama suyu tuzluluğu (EC_w) = 1 dS/m
2. Bitkinin su ihtiyacı (ET) = 1000 mm/sezon
3. Bitki su kullanım deseni 40-30-20-10. Bu bitkinin ET ihtiyacının %40'ını kök bölgesinin en üst çeyreğinden, %30'unu hemen alttaki çeyrekte, %20'sini daha alttaki çeyrekte ve %10'unu ise en alttaki çeyrekte alacağı anlamına gelmektedir. Bitki su kullanımını kök bölgesinin bitişik çeyreğine drene olan toprak su konsantrasyonunu (EC_{sw}) artıracaktır.

4. İstenilen yıkama oranı (LF)= 0.15. Yüzde 15’lik yıkama oranı, toprak yüzeyine giren sulama suyunun %15’inin kök bölgesinin altına sızdığı ve %85’inin ise bitki evapotranspirasyonunun (ET_c) karşılanmasında kullanıldığı anlamına gelmektedir.



Açıklama: Kök bölgesindeki beş nokta, ortalama kök bölgesi tuzluluğunu belirlemede kullanılır. Bu beş nokta (1) toprak yüzeyindeki toprak suyu tuzluluğu (EC_{sw0}), (2) kök bölgesinin üst çeyreği tabanındaki toprak suyu tuzluluğu (EC_{sw1}), (3) ikinci çeyrek tabanındaki toprak suyu tuzluluğu (EC_{sw2}), (4) üçüncü çeyrek tabanındaki toprak suyu tuzluluğu (EC_{sw3}), ve (5) dördüncü çeyrek tabanındaki toprak suyu tuzluluğu (EC_{sw4}) veya drenaj suyu (EC_{dw}) tuzluluğudur.

1. Bir 0.15’lik yıkama oranıyla, hem bitki ET ’sini hem de LF ’yi karşılayabilmek için uygulanması gereken su miktarı (AW) aşağıdaki eşitlikten belirlenir:

$$AW = \frac{ET}{1-LF} \quad (7)$$

$$AW = \frac{1000}{1-0.15} = 1176 \text{ mm su}$$

2. Esas olarak uygulanan tüm su toprak yüzeyinden girerek yıkama yapması ve herhangi bir şekilde birikmiş tuzları etkili şekilde uzaklaştırmasından dolayı yıkama oranı $LF_0 = 1$ olarak gerçekleşir ve yüzeydeki toprak suyu tuzluluğu (EC_{sw0}), Eşitlik (3)'e göre uygulanan su tuzluluğuna çok yakındır.

$$EC_{dws} = EC_{sw0} = \frac{EC_w}{LF_0} = \frac{1}{1} = 1 \text{ dS/m} \quad (3)$$

3. Herbir kök bölgesi çeyreğinin tabanından drene olan toprak-su tuzluluğu Eşitlik (2) kullanılarak sözkonusu çeyrek için yıkama oranının belirlenmesi ve sonra Eşitlik (3) kullanılarak toprak su tuzluluğunun belirlenmesiyle bulunur.

$$LF = \frac{\text{Yıkama suyu}}{\text{Uygulanan su}} ; \quad EC_{sw} = \frac{EC_w}{LF}$$

İlk çeyreğin tabanı için:

$$LF_1 = \frac{1176 - 0.4 (1000)}{1176} = 0.66 \quad EC_{sw1} = \frac{EC_w}{LF_1} = \frac{1}{0.66} = 1.5 \text{ dS/m}$$

İkinci çeyreğin tabanında:

$$LF_2 = \frac{1176 - 0.4 (1000) - 0.3 (1000)}{1176} = 0.40 \quad EC_{sw2} = \frac{EC_w}{LF_2} = \frac{1}{0.40} = 2.5 \text{ dS/m}$$

Üçüncü çeyreğin tabanında:

$$LF_3 = \frac{1176 - 0.4 (1000) - 0.3 (1000) - 0.20 (1000)}{1176} = 0.23$$

$$EC_{sw3} = \frac{EC_w}{LF_3} = \frac{1}{0.23} = 4.3 \text{ dS/m}$$

Kök bölgesi tabanında (dördüncü çeyrek tabanı):

$$LF_4 = \frac{1176 - 0.4 (1000) - 0.3 (1000) - 0.20 (1000) - 0.10 (1000)}{1176} = 0.15$$

$$EC_{sw4} = \frac{EC_w}{LF_4} = \frac{1}{0.15} = 6.7 \text{ dS/m}$$

4. Kök bölgesinin ortalama toprak-suyu tuzluluğu yukarıda bulunan beş kök bölgesi tuzluluğunun ortalaması alınarak bulunur:

$$EC_{sw} = \frac{EC_{sw0} + EC_{sw1} + EC_{sw2} + EC_{sw3} + EC_{sw4}}{5}$$

$$EC_{sw} = \frac{1.0+1.5+2.5+4.3+6.7}{5} = 3.2 \text{ dS/m}$$

5. Bu hesaplama, kök bölgesinin ortalama toprak-suyu tuzluluğunun uygulanan suyun 3.2 katı konsantrasyonunda olacağını göstermektedir.

Yüzde 15’lik bir yıkama oranı ve yüzde 40-30-20-10’luk su kullanım deseni ile ortalama toprak-suyu tuzluluğunun (EC_{sw}), uygulanan sulama suyu tuzluluğundan yaklaşık olarak 3.2 kat daha konsantre olduğunu Örnek 2 göstermektedir. Yüzde 20’lik bir yıkama oranında ortalama EC_{sw} , uygulanan sulama suyu tuzluluğunun (EC_w) 2.7 katıdır. Uygulanan sulama suyu tuzluluğunun yaklaşık olarak 3 katı bir toprak-suyu tuzluluğu sonucunu veren %15-20’lik yıkama oranı aralığı farz edilerek Çizelge 1 kılavuz değerleri geliştirilmiştir. Toprak-suyu tuzluluğu (EC_{sw}), bitkilerin maruz kaldığı ortalama kök bölgesi tuzluluğudur. Ölçülmesi zordur. Tuzluluk ölçümü normalde toprağın saturasyon ekstraktı üzerinde yapılır ve toprak tuzluluğu (EC_e) şeklinde belirtilir. Bu toprak tuzluluğu (EC_e), yaklaşık olarak toprak suyu tuzluluğunun (EC_{sw}) yarısına eşittir. Genel bir kural olarak, %15-20’lik bir yıkama oranında uygulanan su tuzluluğu (EC_w) ile toprak-suyu tuzluluğu (EC_{sw}) veya toprak tuzluluğunu (EC_e) aşağıdaki eşitlikler kullanılarak tahmin edilebilir:

$$EC_{sw} = 3 EC_w \quad (4)$$

$$EC_e = 1.5 EC_w \quad (5)$$

$$EC_{sw} = 2 EC_e \quad (6)$$

Eğer sulama uygulamaları Çizelge 1 kılavuz değerlerinde farzedilen %15-20'lik LF'den daha fazla veya daha az yıkamayla sonuçlanırsa, ortalama yıkama oranı kullanılarak daha doğru yeni bir konsantrasyon faktörü tahmin edilebilir ve bu işlem Örnek 2'de gösterilmiştir. Çizelge 3'te geniş bir yıkama oranı aralığı için konsantrasyon faktörleri sıralanmıştır (LF= 0.05-0.80). Tahmini ortalama toprak tuzluluğu (EC_e), sulama suyu tuzluluğunun (EC_w) tahmin edilen yıkama oranı için uygun konsantrasyon faktörüyle çarpılmasıyla hesaplanır (Çizelge 3'de eşitlik 8'e bkz). Bu tahmin edilen ortalama toprak tuzlulukları, uzun dönemli su kullanımı nedeniyle oluşan değişiklikleri yansıtır ve bir mevsim içinde veya sulamalar arasında meydana gelen kısa dönemli değişiklikleri yansıtmaz. Şekil 2 teşhis edilebilecek tipik bir toprak tuzluluk profilini göstermektedir ve bu profil bir sulama suyu kaynağıyla birkaç yıllık sulamadan sonra bitki kök bölgesindeki tipik tuzluluk dağılımıdır ve yakın şekilde yıkama oranıyla benzerdir.

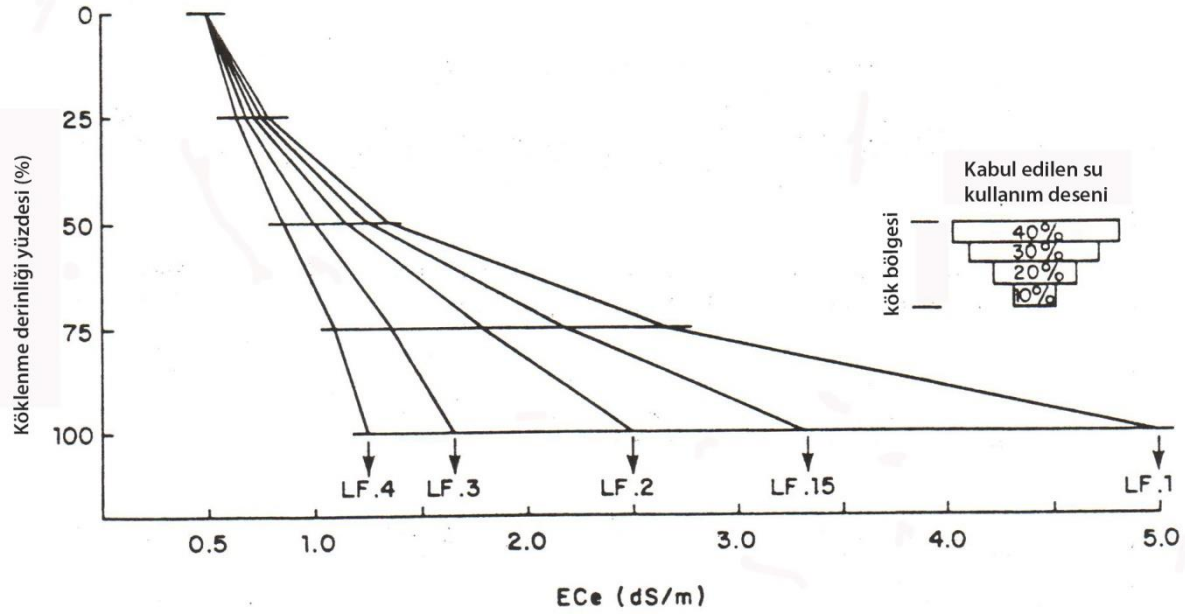
Çizelge 3. Sulama Suyu Tuzluluğu (EC_w) ve Yıkama Oranından (LF) Toprak Tuzluluğunun (EC_e)¹ Tahmin Edilmesi İçin Konsantrasyon Faktörleri (χ)

Yıkama Oranı (LF)	Uygulanması Gerekli Su (ET'nin Yüzdesi)	Konsantrasyon Faktörü (χ) ²
0.05	105.3	3.2
0.10	111.1	2.1
0.15	117.6	1.6
0.20	125.0	1.3
0.25	133.3	1.2
0.30	142.9	1.0
0.40	166.7	0.9
0.50	200.0	0.8
0.60	250.0	0.7
0.70	333.3	0.6
0.80	500.0	0.6

¹ EC_w tuzluluğundaki suyla birkaç yıl sulamadan sonra beklenen toprak tuzluluğunun tahmin edilmesi için kullanılan eşitlik:

$$EC_e \text{ (dS/m)} = EC_w \text{ (dS/m)} \times \chi \quad (8)$$

² Konsantrasyon faktörü 40-30-20-10'luk bitki su kullanım deseni ile bulunur. Bu işlem Örnek 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çeşitli yıkama oranlarında (LF) $EC_w = 1.0$ dS/m'lik suyun uzun dönemli kullanımından sonra gelişmesi beklenen tuzluluk profili

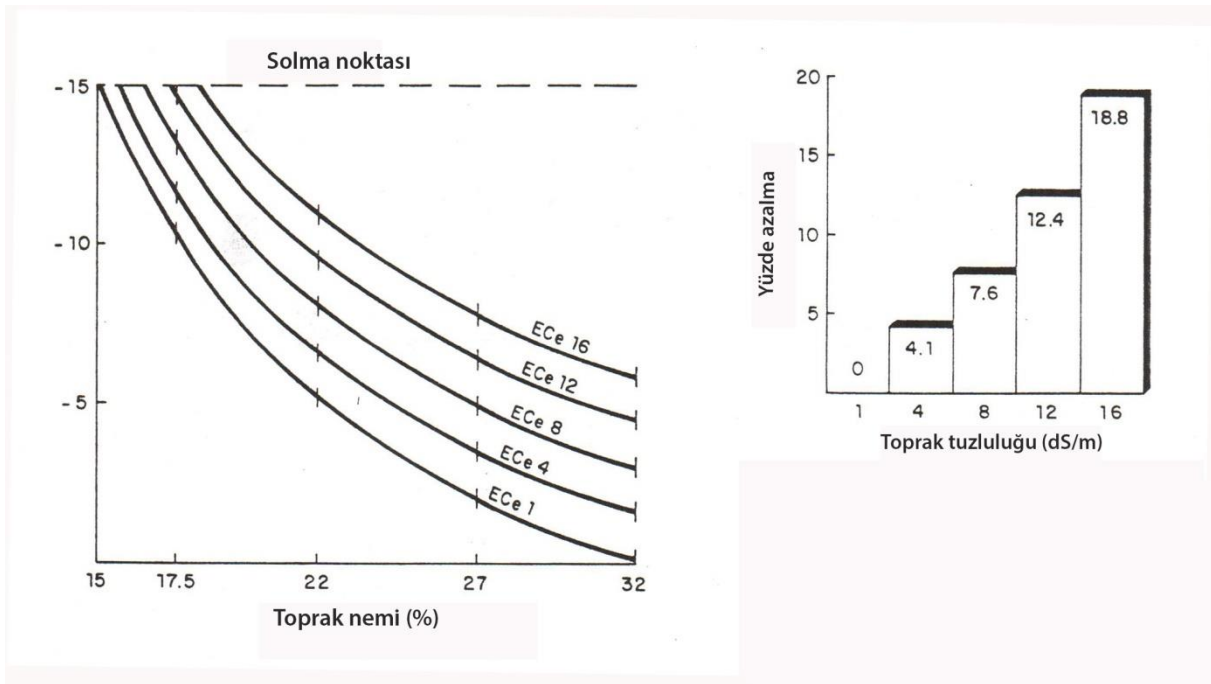
2.3 TUZLARIN BİTKİLERE ETKİLERİ

Sulamanın birinci dereceden amacı yeterli miktarda suyun zamanında bitkiye sağlanmasıdır. Böylece su kısıtına duyarlı olan bitki gelişme dönemleri esnasında uzayan su stresi dönemlerinin neden olduğu verim kayıplarından kaçınılır. Bununla birlikte, tekrarlanan sulamalar esnasında, sulama suyundaki tuzlar bitki su yarayırlılığını azaltır ve su kısıtı başlangıcını öne alarak toprakta birikebilirler. Bu etkinin nasıl meydana geldiğinin anlaşılması sonucu, söz konusu etki hesaba katılabilir ve verim kaybı ihtimali de azaltılabilir.

Bitkiler, suyun toprağa tutulma gücünden daha fazla absorpsiyon gücü harcayarak topraktan suyu çekerler. Şayet bitkiler yeteri düzeyde içsel ayarlama yapamazlar ve yeterli güç harcayamazlarsa, yeterli miktarda su çekemeyecekler ve su stresinden muzdarip olacaklardır. Bu durum toprak aşırı derecede kuru hale geldiğinde oluşur. Toprak suyundaki tuz, bitkinin su çekmesi için harcaması gereken gücü artırır ve bu ilave güç osmotik etki veya osmotik potansiyel olarak ifade edilir. Örneğin, aynı iki toprak aynı su içeriğine sahip olsalar ve biri tuzlu diğeri ise tuzlu olmasa, bitkiler tuzlu olmayan topraktan tuzlu toprağa göre daha fazla su çekebilirler. Bu durumun nedenlerini kolay bir şekilde anlamak zordur. Tuzlar su için tabi bir

çekim gücüne sahiptirler. Şayet sular tuz içeriyorsa, bitki absorpsiyonu yoluyla tuzlu olmayan suya oranla nispeten toprak-suyu çözeltisinden birim su başına daha fazla enerji harcanmalıdır.

Tüm pratik amaçlar için, tuzlu topraktan su alınmasında gereksinim duyulan ilave enerji (osmotik potansiyel), tuzlu olmayan topraktan su alınmasında gereksinim duyulan enerjiye (toprak-su potansiyeli) eklenir. Kümülatif etki Şekil 3’de gösterilmiştir ve bu etki tuzluluk arttıkça bitkiye yarayışlı suda önemli bir azalmaya yol açar. Tuzluluk ve kuraklık etkilerinin her ikisi de su stresi meydana getirmesi ve bitki gelişimini azaltmasından dolayı bir birlerine yakın derecede benzerdirler. Yalnızca nispeten yüksek düzeyde tuzluluğa uzun süreli maruz kalındıktan sonra bitkilerde bodurlaşma, yaprak zararlanması ve nekrozis veya bitkide belirgin şekilde gözlenen zararlar dikkat çekicidir.



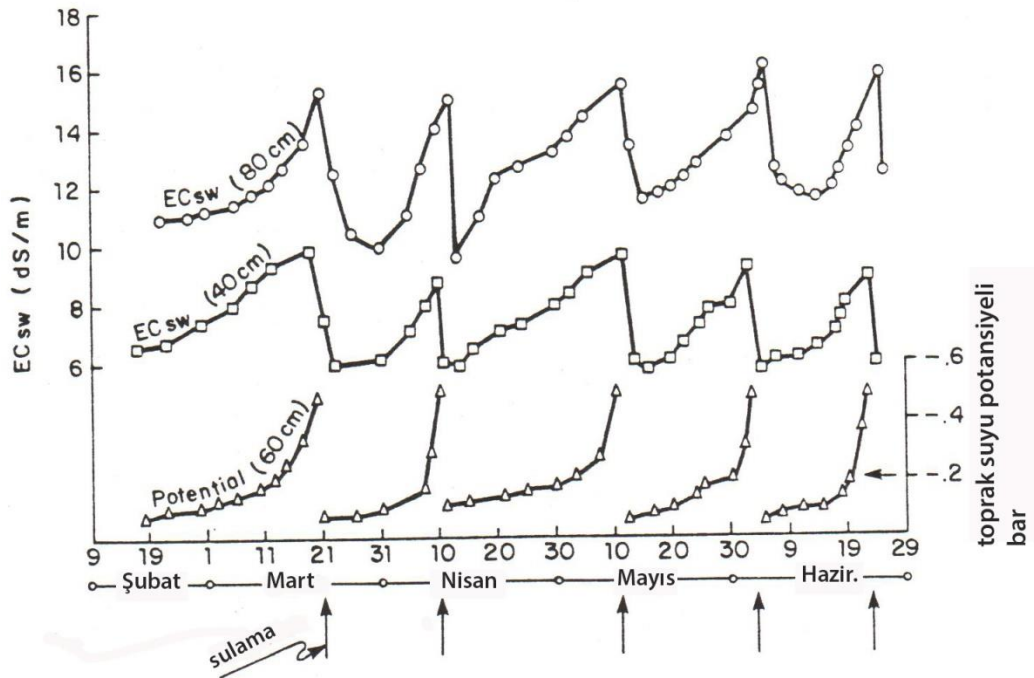
Kabuller:

1. Sulama suyu tuzluluğu $\times 3 =$ Toprak suyu tuzluluğu
2. Toprak suyuna tuz ilavesi veya uzaklaştırılması yoktur
3. Su yarayışlılığı üzerine toprak-suyu tüketimi etkileri ve tuzluluk etkileri birlikte değerlendirilmiştir ($EC \times 0.36 =$ osmotik basınç).
4. Yarayışlı toprak-suyu , toprak tarla kapasitesi ve solma noktası nemleri arasındaki farka eşittir.
5. Bitki tarafından gerçekleştirilen evapotranspirasyon (ET) ile topraktan su uzaklaştırılmaktadır.

Şekil 3. Değişen toprak tuzluluğu (EC_e) düzeylerinde killi-tınlı toprak için toprak nemi tutma eğrileri

Daha önce toprak tuzluluğu konsantrasyonunun yıkama oranıyla ve kök bölgesi derinliğiyle nasıl değiştiği üzerinde durulmuştur. Yıkama oranı düştükçe toprak tuzluluğunun arttığı ve kök

bölgesinde derine inildikçe de tuz konsantrasyonunun arttığı gösterilmişti. Sulamalar arasında bitkiler suyu kullandıkça toprak-su içeriğinin (toprak-su potansiyeli) ve toprak-suyu tuzluluğunun (osmotik potansiyel) her ikisinin de değişmesinden dolayı toprak kurudukça, kök salma derinliğinin her bir kısmında bitkiler sürekli şekilde değişen su yarayışlılığına maruz kalırlar. Bitkiler suyu alırlar fakat tuzların çoğu dışarıda kalır ve kök bölgesinde azalan toprak suyu hacminde tuzların konsantrasyonu giderek artar. Şekil 4'te bir sulamayı takiben farklı derinliklerde tuzluluğun sabit olmadığı gösterilmiştir. Her bir sulamanın ardından kök bölgesinde çeşitli derinliklerde toprak-su içeriği maksimuma yakın iken çözünmüş tuzların konsantrasyonu ise minimuma yakındır. Bununla birlikte sulamalar arasında bitkiler tarafından su kullanıldıkça bu durum değişir.



Şekil 4. Depolanmış suyun ET kullanımı nedeniyle yonca sulamaları arasındaki toprak-suyu tuzluluğundaki (EC_{sw}) değişim (Rhoades 1972).

Bitkiler kök salma derinliği boyunca kendi emici güçlerini icra ederler ve daha kolay bir şekilde suyu alabilecekleri (emmeye karşı direncin en az olduğu) herhangi bir yerden suyu alırlar. Genellikle bu yer, daha sık bir şekilde yağmur veya sulamayla yenilenen üst kök bölgesidir. Yoğun yağışlar veya sulamalar esnasında bu üst kök bölgesinden daha fazla su geçtiğinden dolayı burası iyice yıkanır ve dolayısıyla osmotik veya tuzluluk etkileri daha derinlere nazaran burada daha azdır. Kolay şekilde toprak neminin alındığı bu bölgede köklerin daha hızlı gelişmesi nedeniyle sulamalar arasında, bu üst kök bölgesi daha alttaki kök bölgesinden daha hızlı şekilde kurur. Daha üstteki toprak suyu tüketildikçe bitki kendi su ihtiyacını giderek daha

derinlerden karşılamalıdır. Hem derindeki toprak nemi hem de üst kısımlarda kalan toprak nemi daha yüksek toprak su tuzluluğuna ve böylece daha fazla osmotik potansiyele sahiptir.

Bitki toprak nemini tükettikçe, bir su çekim deseni gelişir. Çizelge 1'deki kılavuz değerlerinin oluşturulmasında kök bölgesinin üstteki çeyreğinden alttaki çeyreğine doğru %40, %30, %20 ve %10'luk çekim deseni farz edilmişti. Bu su alım deseni normal sulama uygulamaları altındaki su çekim desenlerine iyice benzemektedir ve bu kitap boyunca da bu şekilde bir su alım deseni olduğu farzedilmiştir.

Su alım deseni sulama sıklığıyla sıkı şekilde ilişkilidir. Sık şekilde yapılmayan sulamalarda Çizelge 1'de rehber değerleri için kabul edildiği gibi tipik çekim deseni yüzde olarak 40-30-20-10 şeklindedir fakat daha sık sulamalar için su alım deseni daha üst kök bölgesinden daha fazla ve daha alt kök bölgesinden daha az doğru değişir. Bitki köklenmesi daha sık olma eğilimi gösterir. Bu durumda bitki su çekim deseni yüzde olarak 60-30-7-3 olabilir. Her ne sıklıkta olursa olsun sulama uygulamaları yeterince suyu zamanında sağlamalıdır ve sulamalar arasında özellikle de toprak tuzluluğunun su yarayışlılığını etkilemesi durumunda bitkiler su stresinden korunmalıdır.

Daha üst kök bölgesi iyi sulandığında, daha alt kök bölgesindeki tuzluluk daha az önemli hale gelir. Bununla birlikte, eğer sulamalar arası açılırsa ve bitkiler daha aşağılardan önemli oranda su almak durumunda bırakılırlarsa, özellikle daha derinlerdeki tuzluluk da önemli hale gelir. Sulamalar arasındaki kuruma döneminin (toprak nemi azalması) son evrelerinde sıcak ve rüzgarlı bir günde olduğu gibi yüksek bitki su isteği meydana gelecektir. Bu durumda, su emilmesi ve köklere doğru su hareketi bitkiye su sağlayabilecek kadar yeteri hızda olmayabilir ve şiddetli su stresi görülebilir. Su kısıtı önemli bir zaman diliminde bulunduğu çoğu bitkiler için verim kaybı veya bitki zararı beklenilebilir. Daha önce tüm bitki tipleri için benzer bir tarzda tuzluluğun su yarayışlılığını azalttığı farzedilmişti fakat tüm bitkiler eşit şekilde aynı toprak tuzluluğundan etkilenmezler. Bazı bitkiler diğerlerine göre tuzlu bir topraktan daha fazla su çekebilir ve böylece tuzluluğa karşı daha toleranslı olabilir. Bitki toleranslarındaki farklılıkların nedenleri iyi anlaşılamamıştır fakat tuzluluk tolerans verilerine göre tarımsal bitkiler 8-10 grupta sınıflandırılmaktadır. Önerilen bir bitkinin tuzluluk toleransı sınıfı içerisinde sulama yönetimiyle tuzluluğun kontrol edilemediği alanlarda, beklenen tuzluluğa daha toleranslı bir başka bitki yetiştirilmediği sürece verim kaybı meydana gelecektir. Bitki tuz toleransları daha detaylı olarak Bölüm 2.4.3 de sunulmuştur.

2.4 TUZLULUK PROBLEMLERİNİN YÖNETİMİ

Tuzluluğu kontrol altında tutmanın amacı kabul edilebilir bir bitki veriminin korunabilmesidir. Tuzluluğun kontrol altında tutulması için çeşitli yönetim seçenekleri vardır ve burada ayrı ayrı ele alınacaktır. Fakat uygulamada karşılaşılan bir problemi çözebilmek için yönetim seçenekleri kombinasyonu kullanılabilir.

Bir önceki bölümde, (1) verimi etkileyebilecekleri düzeylere kadar çıkmadan önce kök bölgesi dışına tuzların yıkanması ve (2) her zaman yeterli toprak-su yarıyışlılığının korunması ele alınmıştır. Yeterli drenajın bulunması da eşit derecede önemlidir aksi halde tuzluluğun uzun dönemli kontrol altında tutulması mümkün değildir. Şayet drenaj yeterliyse, yıkama için gereksinim duyulan su derinliği, bitkinin tuza duyarlılığına ve sulama suyunun tuzluluğuna bağlıdır. Tuzluluk yüksek olduğu zaman, gereksinim duyulan yıkama suyu derinliği çok aşırı olabilir, mevcut pazar ekonomisinin izin vermesi koşuluyla bu durumda tuz toleranslı daha yüksek bir bitkiye geçiş gerekli olabilir. Su kalitesiyle ilişkili başlıca tuzluluk problemlerine değinildiğinde, daha da toleranslı bitkilere geçiş sert bir adım olarak değerlendirilir ve ekonomik üretimin korunabilmesi için bu değişimden önce diğer seçenekler başarısız olduğunda toleranslı bitkiye geçiş seçeneği uygulanmalıdır. Diğer taraftan, üretimde en iyi kaliteli suyun kullanılması durumunda bile yıkama temel bir uygulamadır ve nihayetinde üretimi etkileyebilecek tuz birikiminden kaçınabilmek için gerektiğinde uygulanmalıdır. Bununla birlikte, kök bölgesi altında yeterli drenajla su tablasının yükselmesi önlenabiliyor ise yıkama yapılabilir. Böylece yıkama kendi başına bir tuz kaynağı olmaz.

Drenaj, yıkama ve tuza daha toleranslı bitkilere geçişler uzun dönemli tuzluluk oluşumunun etkilerinden sakınabilmek için uygulanırlar fakat muhtemel kısa dönemli veya geçici tuzluluk artışlarıyla başedebilmek için diğer kültürel uygulamalara da ihtiyaç duyulabilir. Bu geçici tuzluluk artışları da bitki verimine eşit derecede zararlı olabilir. Daha sık sulama, arazi tesviyesi, gübreleme zamanlaması ve ekim yöntemleri gibi bir çok kültürel uygulamalar tuzluluk yönetimini kolaylaştırır.

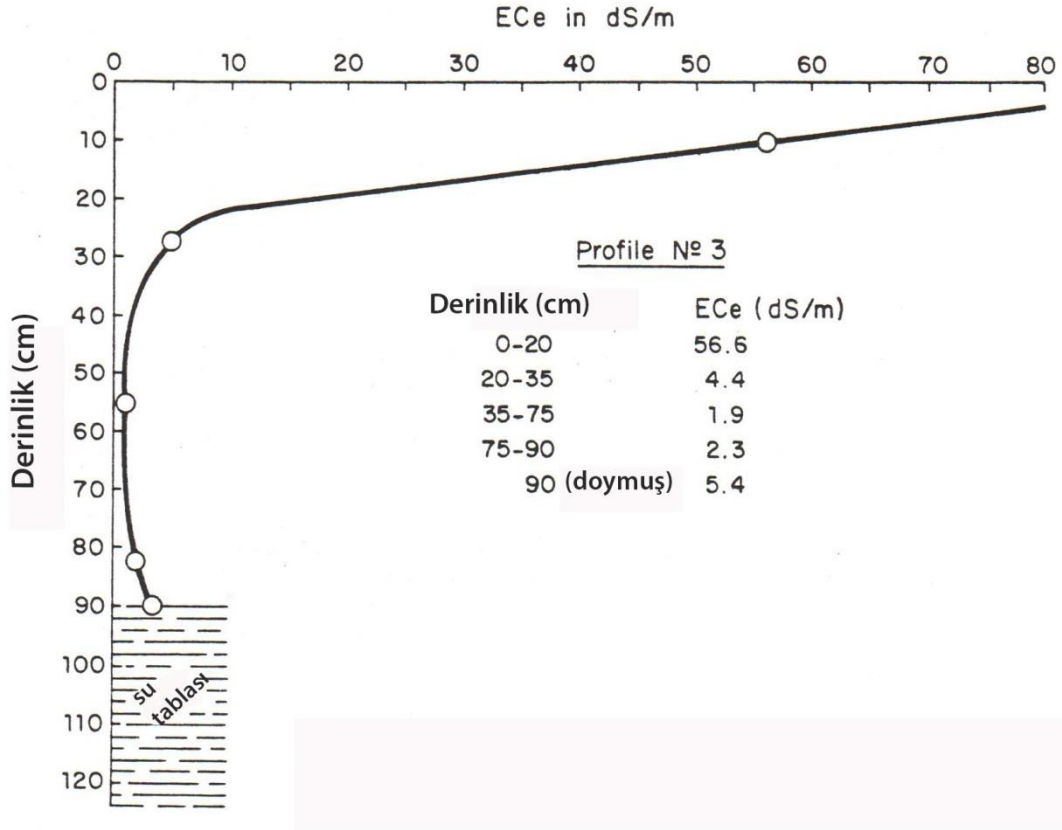
Su kalitesinden kaynaklanmayan yüksek düzeyde bir tuzluluk bulunuyorsa, bir toprak drenajı ve ıslah programına ihtiyaç duyulabilir ve bitki ekiminde kısa dönemli değişikliklerin yapılmasına da gerek duyulabilir. Toprak ıslahından sonra, mevcut su kalitesiyle sürekli kullanılabilecek bitki ekim deseni belirlenecektir. Çok sık şekilde karşılaşılsa da bazı

yerlerde, peryodik kullanım için alternatif bir su kaynağı bulunabilir. Bu kaynak su kalitesiyle ilişkili bir zararın azaltılabilmesi için daha düşük kaliteli bir su kaynağı ile karıştırılabilir. Drenaj, yıkama, toleranslı bitkilere geçiş ve kültürel uygulamaları içine alan bu alternatifler daha detaylı şekilde aşağıda ele alınacaktır.

2.4.1 Drenaj

Sulu tarımda çoğu zaman karşılaşılan tuzluluk problemleri, zemin yüzeyinden birkaç metre altta kontrol edilemeyen su tablasıyla çok sıkı şekilde ilişkilidir (Şekil 5). Sığ su tablasına sahip toprakların çoğunda kapillarityyle su aktif kök bölgesine çıkar. Su tablası tuz içeriyorsa bitkiler tarafından su kullanıldıkça veya toprak yüzeyinden buharlaştıkça söz konusu su tablası sürekli olarak bir tuz kaynağı haline gelir. Sıcak iklimlerde sulanan alanlarda uzun süreler nadasta kalan arazi kısımlarında bu kaynaktan tuzlulanma hızlı olabilir. Kontrolsüz sığ su tablasından toprak tuzluluğu birikim hızı, sulama yönetimine, yer altı suyunun tuz konsantrasyonuna ve derinliğine, toprak tipine ve iklim şartlarına bağlı olacaktır. Sığ su tablasından kapillar yükselmeyle kök bölgesine oldukça önemli tuz girişi olabileceğini Şekil 6 göstermektedir.

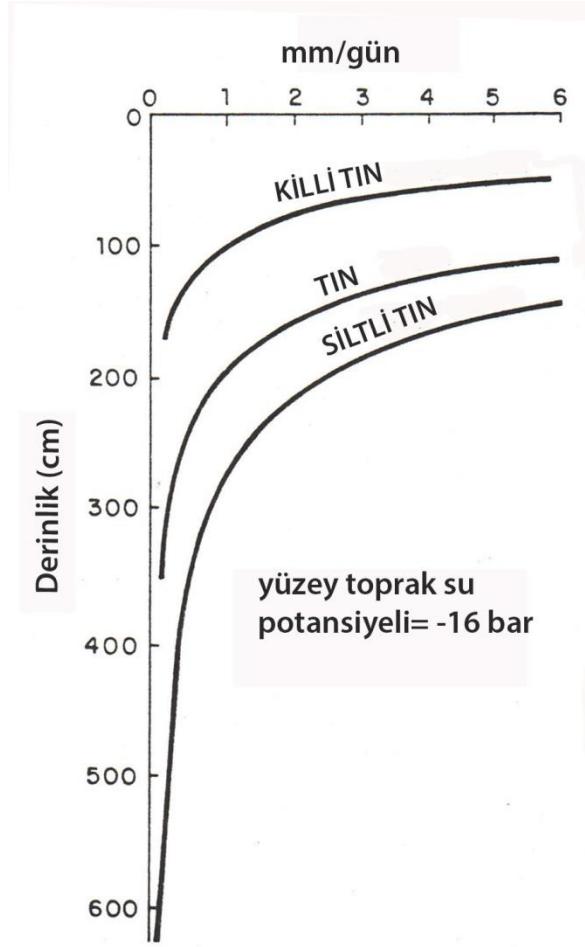
Kurak ve yarı-kurak iklimlerde, yetersiz drenaj nedeniyle oluşan veya karmaşık hale gelen bir tuzluluk problemi, su tablası kararlı hale gelene kadar ve güvenli bir derinlikte (en azından 2 m de) tutulana kadar uygun şekilde kontrol edilemez. Bu, tuzlu yüzeyaltı suyunun bir kısmını uzaklaştıracak ve kabul edilebilir güvenli tuz birikim alanına iletecek açık veya borulu drenaj veya kuyu drenajına ihtiyaç duyar. Drenaj yeterli olduğu zaman, doğrudan doğruya su kalitesi ve sulama yönetimiyle ilişkili olan tuzluluk, eğer sulama suyu ile uygulanan tuzların verimi azaltan konsantrasyonlara kadar birikimine izin verilmesi durumunda ancak bir problem olabilir. Buna göre etkili tuzluluk kontrolü, su tablasını kontrol altında tutan ve kararlı hale getiren yeteri kadar drenajı ve gerektiğinde birikmiş tuzları azaltabilen yıkamayı içine almalıdır. Gereksinim duyulan yıkamayı başarabilmek için yüzeye uygulanan suyun aşağı doğru net akışı sonrasında tuzluluk kontrol edilecektir. Çizelge 1'deki rehber değerlerinde ve bu kitapta geri kalan tartışmalarda bitki kök bölgesinde biriken bütün tuzların uygulanan sudan geldiği kabul edilmektedir. Bu kabul, drenajın yeterli olduğu ve tuzluluk yönetiminin sulama yönetiminin önemli bir parçası olduğu anlamına gelir.



Şekil 5. Bir yüksek su tablasıyla tuzluluk profili (Mohammed and Amer 1972).

2.4.2 Yıkamayla Tuzluluk Kontrolü

Toprakta çözünebilir tuzların birikimi aşırı hale geldiğinde, gelişme sezonu esnasında bitkiler tarafından ihtiyaç duyulandan daha fazla su uygulanarak söz konusu tuzlar yıkanabilirler. Bu ekstra suyun derine sızmasıyla (yıkama) en azından tuzların bir kısmının kök bölgesinin altına uzaklaştırılması sağlanır. Sulama suyu vasıtasıyla getirilen çözünebilir tuzların kontrol edilmesinde yıkama anahtar faktördür. Zamanla, yıkamayla uzaklaştırılan tuzlar, uygulanan suyla eklenen tuzlara eşit olmalı veya fazla olmalıdır. Aksi halde tuzlar birikecekler ve sonuç olarak zararlı konsantrasyonlara ulaşacaklardır. Burada yıkama için ne kadar su kullanılmalı ve ne zaman yıkama yapılmalı soruları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6. Kılcal akış hızı ve su tablası derinliği arasındaki ilişki (Van Hoorn 1979).

i. Yıkama gereksinimi¹

Yıkama gereksinimi tahminlerinde, hem yıkama suyu tuzluluğu (EC_w) hem de bitkinin toprak tuzluluğuna (EC_e) toleransı bilinmelidir. Bu kitabın 2.4.3 bölümündeki çizelgelerde verilen uygun bitki toleransı verilerinden toprak tuzluluğu (EC_e) tahmin edilebilirken sulama suyunun tuzluluğu laboratuvar analizlerinden belirlenebilir. Tolere edilebilir verim kaybı oranına göre (genellikle %10 veya daha az) bu çizelgeler her bitki için kabul edilebilir bir EC_e değeri verir. Söz konusu yıkama gereksinimi (LR) genel bitki rotasyonları için Şekil 7'den tahmin edilebilir. Özel bir bitki için daha kesin tahminlerin yapılmasında yıkama gereksinimi eşitliği (Eşitlik 9) kullanılabilir (Rhoades 1974, ve Rhoades ve Merrill 1976):

¹ Bir çok kitapta, 'yıkama gereksinimi (LF)' ve 'yıkama ihtiyacı (LR)' terimleri değiştirilerek kullanılmaktadır. Her ikisi de özel bir düzeyde tuzluluğu kontrol altında tutmak için kök bölgesinden geçecek sulama kısmına işaret eder. LR sulama suyunun bir oranı veya yüzdesi şeklinde ifade edilebilirken, LF değeri bir oran şeklinde ifade ettiğini göstermektedir.

$$LR = \frac{EC_w}{5 (EC_e) - EC_w} \quad (9)$$

Eşitlikte;

LR : Geleneksel yüzey sulama yöntemleriyle bitkinin toleransı (EC_e) içinde tuzların kontrol altında tutulabilmesi için ihtiyaç duyulan en az yıkama gereksinimi,

EC_w : Uygulanan sulama suyu tuzluluğu (dS/m),

EC_e : Toprak saturasyon ekstraktında ölçüldüğü şekilde bitkiler tarafından tolere edilen ortalama toprak tuzluluğu. Dikkate alınan bitki ve kabul edilebilir uygun verim için Çizelge 4'ten EC_e değeri belirlenir. Hesaplamalarda kullanılan en azından %90 veya daha fazla verim vermesi beklenebilecek EC_e değeri tavsiye edilmektedir (Şekil 7 %100 verim potansiyeli için EC_e değerleri kullanılarak geliştirilmiştir). Orta-yüksek tuzluluk sınıfındaki (>1.5 dS/m) sular için tuzluluğun kontrol altında tutulması iyi verim sağlamada kritik olduğundan dolayı maksimum verim potansiyeli (%100) için EC_e değerlerinin kullanımı daha iyi olabilir.

Bitki su ihtiyacı ve yıkama gereksiniminin her ikisinin karşılanabilmesi amacıyla uygulanması gereken toplam yıllık su derinliği eşitlik 7'den tahmin edilebilir:

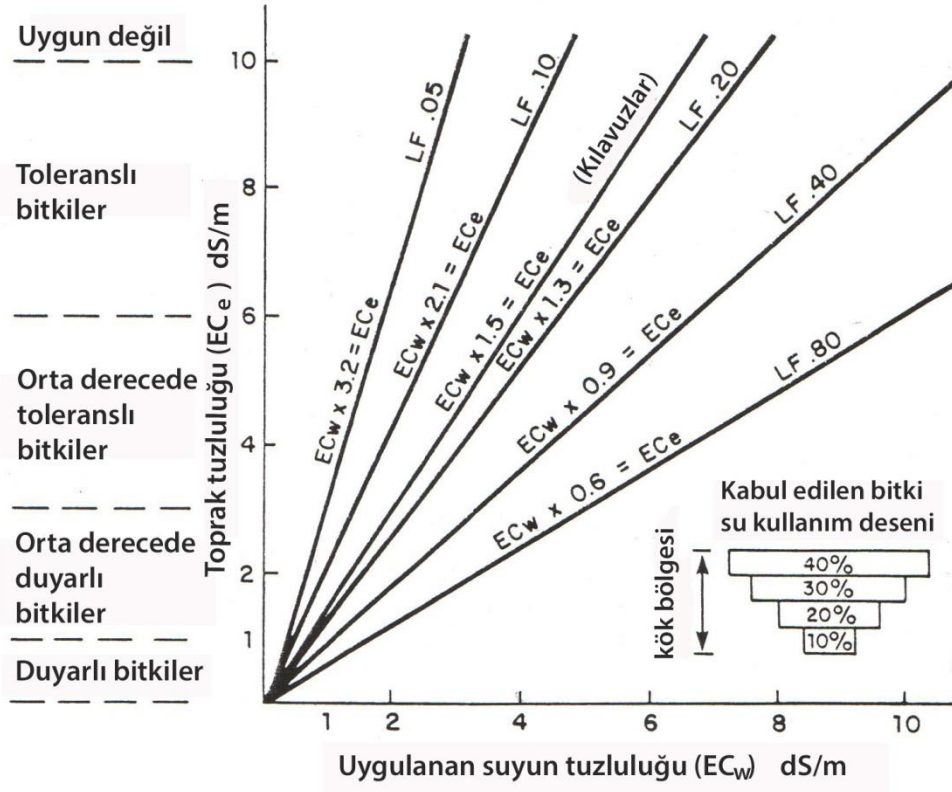
$$AW = \frac{ET}{1-LR} \quad (7)$$

Eşitlikte;

AW : Uygulanan su derinliği (mm/yıl),

ET : Toplam yıllık bitki su ihtiyacı (mm/yıl),

LR : Bir oran olarak ifade edilen yıkama gereksinimi (yıkama oranı).



Şekil 7. Çeşitli yıkama oranlarında (LF) kök bölgesi toprak tuzluluğuna (EC_e) bağlı olarak uygulanan su tuzluluğunun (EC_w) etkisi

Örnek: Kayseri koşullarında 694 mm ve 768 mm su tüketen patates ve kuru soğan bitkisi elektriksel iletkenliği 1.4 dS/m olan sulama suyu ile sulanacaktır. Patatesin eşik toprak tuzluluğu $a = 1.7$ dS/m ve eşik sonrası verim kaybı eğimi $b = \%12$ iken kuru soğanın eşik toprak tuzluluğu $a = 1.2$ dS/m ve eşik sonrası verim kaybı eğimi $b = \%16$ 'dır. Patates ve kuru soğandan %100 ve %90 verim alabilmek için gerekli yıkama oranı ve uygulanacak sulama suyu miktarını bulunuz.

Patates için tuzluluk tolerans modeli:

$$Y = 100 - b (EC_e - a); Y = 100 - 12 (EC_e - 1.7)$$

%100 verim için $EC_e = a = 1.7$ dS/m

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} = \frac{1.4}{5 \cdot 1.7 - 1.4} = 0.197$$

$$AW = \frac{ET}{1 - LR} = \frac{694}{1 - 0.197} = 864 \text{ mm}$$

%90 verim için;

$$Y = 100 - 12 (EC_e - 1.7); 90 = 100 - 12 (EC_e - 1.7)$$

$$EC_e = 2.53 \text{ dS/m}$$

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} = \frac{1.4}{5 \cdot 2.53 - 1.4} = 0.124$$

$$AW = \frac{ET}{1 - LR} = \frac{694}{1 - 0.124} = 792 \text{ mm}$$

Kuru soğan için tuzluluk tolerans modeli:

$$Y = 100 - b (EC_e - a); Y = 100 - 16 (EC_e - 1.2)$$

$$\%100 \text{ verim için } EC_e = a = 1.2 \text{ dS/m}$$

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} = \frac{1.4}{5 \cdot 1.2 - 1.4} = 0.304$$

$$AW = \frac{ET}{1 - LR} = \frac{768}{1 - 0.304} = 1103 \text{ mm}$$

%90 verim için;

$$Y = 100 - 16 (EC_e - 1.2); 90 = 100 - 16 (EC_e - 1.2)$$

$$EC_e = 1.825 \text{ dS/m}$$

$$LR = \frac{EC_w}{5EC_e - EC_w} = \frac{1.4}{5 \cdot 1.825 - 1.4} = 0.181$$

$$AW = \frac{ET}{1 - LR} = \frac{768}{1 - 0.181} = 938 \text{ mm}$$

ii. Yıkamaların Zamanlaması

Verimin azalacağı bir konsantrasyona kadar kök bölgesinde tuz birikimi zaman alır. İyi kaliteli çoğu sulama sularıyla yıkama yapılmaksızın verimi etkileyecek düzeye kadar tuz birikiminden önce 2 yıl veya daha fazla süren sulamalar gerekecektir. Ayrıca, tuzların daha az etkileyeceği bitki gelişme sezonu sonlarında tuz birikimleri zararlı konsantrasyonlara ulaşırlar. Eğer tuzlar sulama sezonunun başlangıcında yeterince düşük olursa, bu durum gelişme dönemi esnasında tuzluluk nedeniyle verim kaybetmeksizin etkili su kullanımının %100 (yıkamasız) olabileceğini ifade eder. Gelecek sezon yağışları, uyku dönemi sulamaları ve ekim öncesi sulamaları ya tek başına veya her ikisi birlikte, derinlerdeki toprak neminin yenilenmesi için ve gelecek gelişme sezonu esnasında yeniden etkin su kullanımına izin verecek şekilde birikmiş tuzların yeterince topraktan yıkanması için kullanılabilirler. Sıcak yaz dönemlerinde temel bitki su ihtiyacı ve yıkama suyunun her ikisinin birlikte sağlanması çoğunlukla zordur. Tuz birikiminin bitki

toleransını aşması ve verim kayıplarının başlamasına kadar yıkamaya ihtiyaç duyulmayacağını hatırlanması anahtar etkidir.

Uzun süre veya kritik bitki dönemlerinde bitki toleransı aşılmadığı sürece yıkamaların zamanlamasına kritik olarak bakılmaz. Bu tabi ki yıkamanın nispeten önemli olmadığı anlamına gelmemelidir. Yıkama gereksinimi aşırı tuz birikimini önleyebilmelidir. Eşik tuzluluk değerinin üzerinde verim kabul edilmez şekilde düşer. Tuzluluğun eşik değerin altında tutulması gerektiğinde yıkama her sulamada, bir sulama atlanarak veya daha az sıklıkta örneğin mevsimsel olarak veya hatta daha uzun aralıklarda yapılabilir. Sulamalarda tarla su uygulama randımanı nedeniyle sulama suyu kayıpları meydana gelmektedir. Bir çok durumda düşük randımanlı sulama uygulamaları, yıkama gereksinimini sağlar ve buna ilaveten yapılan yıkama, su kaybı oluşturur (bkz. Örnek 3). İyi kaliteli sularla olduğu gibi düşük yıkama oranlarına (<0.10) ihtiyaç duyulan yerler de, etkin olmayan sulama suyu uygulamaları nedeniyle hemen hemen her zaman yıkamayı tamalayacak kadar fazladan su uygulanır. Diğer durumlarda, özellikle daha yüksek tuzlu sularla, yıkama gereksinimini karşılamak zordur ve büyük miktarlarda suyu ihtiyaç duyulur ki bu fazla su muhtemel olarak bir drenaj problemine katkı yapar. Normal sulama uygulamalarından kaynaklanan toplam derine sızma kayıplarının önemli bir kısmının tuzluluğun kontrol altında tutulmasında faydalı olduğu farz edilebilir.

Örnek 3: Yıkama Gereksiniminin Hesaplanması

Karık sulamayla mısır bitkisi sulanmaktadır. Bitki üniform tınlı toprağa ekilmiştir ve sulama suyu olarak $EC_w = 1.2$ dS/m olan nehir suyu kullanılmaktadır. Bitki evapotranspirasyonu $ET = 800$ mm/sezon dur. Su uygulama etkinliği 0.65 dir. Böylece bitki ET ihtiyacının karşılanabilmesi için uygulanması gerekli toplam su miktarı $800 \text{ mm} / 0.65 = 1200 \text{ mm/sezon}$ dur. Yıkama için ne kadar ilave su uygulanmalıdır?

Verilen:

$$EC_w = 1.2 \text{ dS/m}$$

$$EC_e = 2.5 \text{ dS/m (Çizelge 4'ten mısır için \%90 verim potansiyelinde)}$$

$$EC_e = 1.7 \text{ dS/m (Çizelge 4'ten mısır için \%100 verim potansiyelinde)}$$

$$LR = \frac{EC_w}{5 (EC_e) - EC_w} = \frac{1.2}{5 (2.5) - 1.2} = 0.10 \quad \%90 \text{ verim potansiyelinde}$$

Açıklama : Yıkama gereksinimi, eşitlik 9 kullanılarak ve istenilen verim potansiyeli için uygun E_{Ce} değeri (Çizelge 4) konularak hesaplanabilir.

Bitki ET nu ve yıkamanın (uzun-dönem tuz kontrolü) her ikisinin sağlanabilmesi için uygulanacak gerçek su miktarı eşitlik 7 kullanılarak bulunabilir.

$$AW = \frac{ET}{1-LR} = \frac{800}{1-0.10} = 890 \text{ mm/sezon} \quad (7)$$

Mısır bitkisinin 800 mm ET isteğinin karşılanabilmesi amacıyla yeterli şekilde sulandığından emin olmak için 1200 mm derinliğinde su uygulanması gerekir. Bitki ET ihtiyacı ve yıkama gereksiniminin her ikisinin karşılanabilmesi amacıyla gerek duyulan 890 mm'yi bu 1200 mm'lik su uygulamasının aşması nedeniyle ET fazlası kayıpların derine sızan kayıplar olup olmadığı ve bu kayıpların yıkama gereksinimini karşılayıp karşılamayacağı soruları ortaya çıkmaktadır. Derine sızma nedeniyle su kayıpları, etkili sulu tarımın özelliği olduğu gibi bitki tolerans çizelgelerindeki (Çizelge 4) kabul edilen 0.15'lik yıkama oranının çoğunlukla üstündedir. Bu örnekteki kayıplar derine sızma nedeniyle ise, yukarıda hesaplandığı gibi 0.10 veya 0.15'lik gereksinim duyulan yıkama oranı su uygulama esnasında sulama kayıpları tarafından sağlanmasından dolayı tuzluluğu kontrol etmek amacıyla ilave yıkamaya gerek yoktur.

Yıkama gereksinimini hesaplamalarında yağışlar dikkate alınmalıdır. Toprağa giren yağışlar hem bitki ET'sini hem de yıkama gereksinimini karşılamada etkilidirler. Toprağa infiltre olan yağış (etkili yağış) ET kayıplarının yerini alır. ET'den fazlası ise drenaj suyuna dönüşür ve tuzluluğu kontrol etmek amacıyla gerek duyulan yıkamanın tamamını veya bir kısmını karşılayacaktır. Yağışlarla neredeyse tuzdan yoksun suyun ($EC_w < 0.05$ dS/m) üniform şekilde uygulanması, yıkamanın tamamını veya bir kısmının karşılanmasında avantaj sağlar. Yağış hızı toprak infiltrasyon hızının altında ise yıkama daha da artmaktadır. İnfiltrate olan toplam yağış yeterliyse, yıkama gereksinimi (LR) hesaplanmasında uygulanan su için kullanılan ortalama tuzluluğu (EC_w) düşürecek ve böylece gerek duyulan yıkamayı oransal olarak düşürecektir. Şekil 8'de yağışın bitki kök bölgesindeki tuzluluğu nasıl hızlı şekilde düşürdüğü gösterilmiştir.

Düşük yağışlı yıllarda veya düşük yağış alanlarında, toprağın su tutma kapasitesinin doldurabilmesi için yağışlar yeterli olmayabilir. Bu durumda toprakta tuzları daha üstteki kök bölgesinden daha derinlere indirme dışında birikmiş tuzları azaltacak hiçbir yıkama

gerçekleşmez. Sonrasında köklenme derinliğinin daha üst kısımları yağışların düşük tuzluluk düzeylerini yansıtacaklardır. Bu düşük üst kök bölgesi tuzluluğu çimlenmeyi artırabilir.

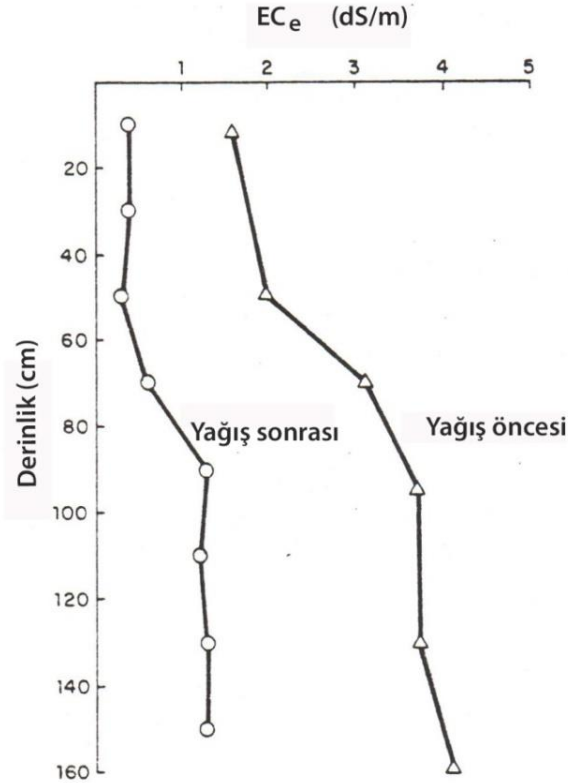
Yağışın daha soğuk aylarda ve kış sezonunda meydana geldiği alanlarda, kurak bir yılda bile kış yıkamasını artırmak mümkündür. Yağmurlardan önce suyla toprak profilinin yeniden doldurulması için ağır sonbahar sulaması veya erken kış sulaması yapılması tavsiye edilir. Sonra kış yağışları toprak suyunun yenilenmesini sağlayacak ve sonra düşük tuzlu suyla gereksinim duyulan yıkamanın tamamını veya bir kısmı tamamlanacaktır. Bitki ekim tarihine kadar yıkama hala tamamlanamamışsa, süresi uzatılarak yapılan ilk sezon sulamalarından oluşan derine sızma kayıpları toprağın yeniden ıslatılmasını ve tuz yıkanmasını tamamlayabilir. Şekil 9 Kıbrısta kış yağmurlarının limon bahçelerinden tuzları nasıl yıkadığını göstermektedir.

Yıkama gereksinimi hesaplanabilir (Eşitlik 9) fakat gerçekte meydana gelen yıkama miktarı yalnızca tahmin edilebilmektedir. Yıkama gereksiniminin belirlenmesinde toprak ve bitkinin izlenmesi kullanışlı araçlardır. Bir bitki ekim sezonundan diğerine dikkate değer dalgalanmalar meydana gelir böylece izlemenin uzun dönemli gidişata ve toprak tuzluluğundaki değişimlere vurgu yapması yararlı olur.

Bazı çalışmalar, tarla denemeleri ve gözlemleri, yıkama etkinliğini artırabilecek ve ihtiyaç duyulan suyu azaltabilecek yöntemler önerebilir. Bunlar burada detaylı şekilde ele alınmayacak fakat bazı sulama şartlarına uygulanırlarken bahsedilecektir:

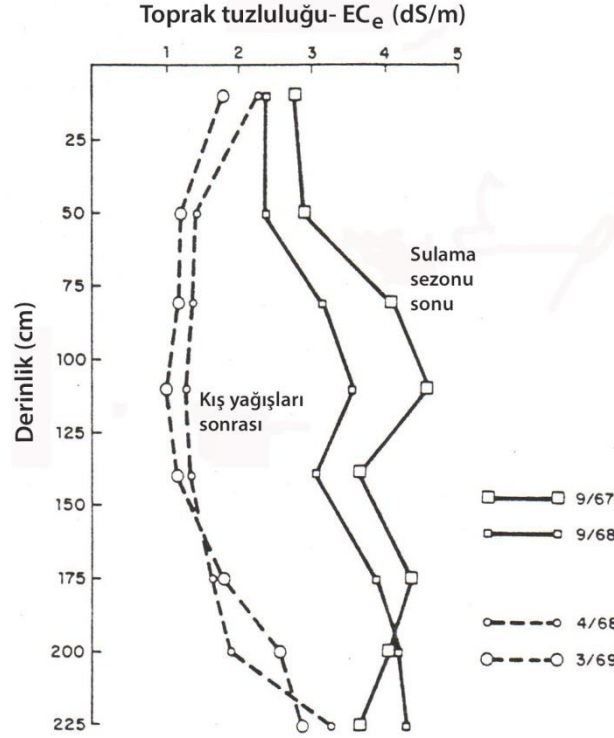
ET'un daha düşük olmasından dolayı yıkama etkinliğini artırmak ve yıkamayı kolaylaştırmak amacıyla sıcak dönemler yerine soğuk mevsimler esnasında yıkama yapılır.

- Daha düşük LR ve böylece daha düşük toplam su ihtiyacı gerektiren daha tuza toleranslı bitkiler kullanılır.
- Arazi üzerindeki akışı yavaşlatacak ve geniş gözeneklerden by-pass akışı sağlayan ve yıkama etkinliğini düşüren yüzey çatlakları sayısını azaltacak toprak işleme kullanılır.
- Toprak infiltrasyon hızının altında her hangi bir yağmurlama hızında yağmurlama sulama kullanılır. Yağmurlamada doymun olmayan akış gerçekleşir ki bu akış yıkama için doymun akıştan önemli derecede daha etkindir. Sürekli göllendirmeye nazaran daha fazla sulama zamanı fakat daha az su gerektirir (Oster et al. 1972);



Şekil 8. Bir kumlu tınlı toprağın 150 mm'lik yağmurlardan önce ve sonra toprak tuzluluğu (Aziz 1968)

- Sürekli göllendirme yerine göllendirme ve kuruma değişimi kullanılır. Yıkamada daha etkin (Oster et al. 1972) ve daha az su kullanır fakat yıkama için gerek duyulan zaman daha fazladır. Göllendirmeler arasında ikinci tuzlaşmaya izin verecek yüksek su tablasına sahip alanlarda bu yöntem sakıncalı olabilir,
- Mümkün olduğu yerlerde yıkamalar, düşük bitki su kullanım dönemlerinde yapılmalı veya bitki yetiştirme mevsimi sonrasına ertelenmelidir,
- Yüksek su tablasından hızlı şekilde ikincil toprak tuzlanması meydana gelebileceği yerlerde özellikle sıcak yaz zamanları esnasında nadas dönemlerinden sakınılır
- İnfiltrasyon hızı düşükse, bitki mevsiminde aşırı su uygulamalarından sakınmak amacıyla dikim öncesi sulamalar veya sezon dışı yıkamalar dikkate alınır
- Toplam yağışın normalde tam yıkama yapılması için yeterli olmaması bekleniyorsa, yağmurlu mevsim başlamadan önce bir sulama yapılır. Nispeten düşük uygulama hızlarında yüksek kaliteli sular sağladıkları için çoğu zaman yağış en etkili yıkama yöntemidir.



Şekil 9. Limon bahçelerinde sulama mevsimi sonunda ve kış yağışlarından sonra toprak tuzluluk (EC_e) profilleri (Stylianous 1970)

iii. İzleme

İyi bir sulama yönetim planı, su kaybetmeden bitki su isteği ve yıkama gereksiniminin karşılanabilmesi için yeterli suyun uygulamasına çaba sarfeder. Bitki su isteği ve yıkama gereksiniminin her ikisi tahmin edilebilir ve ihtiyaç duyulan uygulanacak su derinliği hesaplanabilir. Bununla birlikte, bir çok durumda, uygulanan su derinliği tahminleri (debi, süre ve kaplanacak alan) doğru değildir veya mevcut değildir. Bu durum tuzluluğun kontrol altında tutulması için yıkama etkinliği tahminlerini güvenilir olmaktan çıkarır. Tuzluluk analizi için toprak örnekleri vasıtasıyla makul bir kesinlik derecesiyle birlikte mevcut şartlar ve geçmiş yönetimin güvenilir tahminleri belirlenebilir. Bu toprak örneklerinden geçmiş sulama uygulamaları sonucu oluşan ortalama kök bölgesi tuzluluğu ve bir yıkama oranı belirlenebilir.

İzleme için aşağıdaki işlemler önerilmektedir:

- a. Gözlemlerden (çukur, delik, toprak örnekleri, vb.) veya geçmiş tecrübelerden en son yetiştirilen bitkinin muhtemel köklenme derinliği tahmin edilir. Tahmin edilen derinlik gözlemlenen kök derinliğinin %75-85'ini içine almalıdır.
- b. Kök bölgesinin her bir çeyreğinden temsili toprak örnekleri alınır ve US Tuzluluk Laboratuvarı (USDA 1954) toprak çamuru ekstraksiyonuyla EC_e için her bir çeyrek derinliği analiz edilir.
- c. Kök bölgesinin her bir çeyreğinin temsili tuzluluğu ve toprak derinliği için Şekil 2'ye benzer bir grafik çizilir ve grafikte çeşitli tipik yıkama oranlarını ($LF = 0.1, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40$) temsil eden eğrilerle elde edilen bu eğri karşılaştırılır. Sonra, tuzluluk profili şekline dayanılarak örnek yeri için bir yıkama oranı tahmin edilir.
- d. Dört toprak örneğinin EC_e 'sinden (kök bölgesinin her bir çeyreğinden birisi) ortalama kök bölgesi tuzluluğu hesaplanır ve ekilecek bitkiler için Çizelge 4'deki bitki tolerans değerleriyle EC_e karşılaştırılır.
- e. Belirlenmiş yıkama oranı ve kök bölgesi ortalama EC_e 'sinden, tercih edilen bitkinin toleransına yakın durmak için yıkama oranının düşürülmesi veya artırması yoluyla sulamaların ayarlanması için gerek duyulan herhangi bir yönetim kararı alınır. Alternatif şekilde, mevcut tuzluluk şartlarıyla daha yakın şekilde uyum sağlayan bitki değişimleri yapılır.

2.4.3 Bitkilerin Tuzluluğa Toleransı

Tüm bitkiler tuzluluğa benzer tarzda tepki vermezler; bazı bitkiler çok daha yüksek toprak tuzluluğunda diğer bitkilere nazaran kabul edilebilir verim verebilirler. Bu, bazı bitkilerin tuzlu bir topraktan daha fazla su çekmelerini sağlayan gerek duyulan osmotik ayarlamaları daha iyi yapabilmeleri nedeniyledir. Bitkilerin tuzluluğa uyum sağlama yetenekleri son derece kullanışlıdır. Toprak tuzluluğunun olduğu alanlarda bitkilerin yetiştirilmesi için kabul edilebilir bir konsantrasyonda kontroledilemeyebilir, beklenen toprak tuzluluğuna daha toleranslı ve ekonomik verim verebilen bir alternatif bitki seçilebilir.

Tarımsal bitkilerin tuz toleransından 8-10 sınıf bulunmaktadır. Toleranstaki bu geniş aralık daha önceden kullanılamaz olarak düşünülen orta derecede tuzlu suların daha fazla kullanımına izin vermektedir. Sulama için uygun olarak dikkate alınan su tuzluluğunun (EC_w) kabul edilebilir aralığını da büyük oranda genişletmektedir.

Genel tuz toleransı rehberlerinde vermek amacıyla çoğu tarımsal bitkilerin nispi tuz toleransları yeterince iyi bilinmektedir. Bir çok yaygın tarla, sebze, yem bitkisi ve ağaçlar için toleranslar Çizelge 4’de verilmiştir. Bu çizelge 1976 basımından güncelleştirilmiş ve yarı-kurak sulu tarımda yetiştirilen bitkiler için en son tolerans değerlerini vermektedir. Sayısal tolerans değerlerinin verilebilmesi için yetersiz verilerin mevcut olduğu yerlerde tarla denemeleri, sınırlı veri ve gözlemlere dayalı olarak bir nispi sınıflandırma bitkilere uygulanmıştır. Karşılaştırma amaçları için, nispi tolerans aralıkları Çizelge 4’de verilenlerin çoğunu kapsayan çok sayıda bitkiler için Çizelge 5’de sıralanmıştır. Tolerans için genel gruplandırmalar Şekil 10’da şematik diyagramda gösterilmektedir. Sınırlı sayıda veriye dayanmış olsa bile nispi tolerans aralıkları, bitkiler arasındaki karşılaştırmalar için kullanışlıdır.

Nispi bitki tolerans aralıkları Çizelge 1 rehberinde ‘kullanımda sınırlama’ derecelerine yerleştirilerek dikkate alınmıştır. Örneğin, Çizelge 4 tolerans verileri, 0.7 dS/m den daha az tuzluluğa sahip sular kullanıldığında neredeyse tüm bitkiler için tam potansiyel verimin alınabileceğine işaret etmektedir. Çizelge 1 rehber değerleri bu tuzlulukta suların kullanım üzerinde hiçbir sınırlamaya sahip olmayacaklarını belirtmektedir. Hafif-orta aralıkta sıralanan tuzlulukta tam verim potansiyeli hala mümkündür fakat bitkilerin toleransları içerisinde toprak tuzluluğu koruyabilmek amacıyla gereksinim duyulan yıkama oranının sağlanması için özen gösterilmelidir. Aşırı miktarda suya gereksinim duyulması nedeniyle daha yüksek tuzlu sular ve hassas bitkiler için, 0.25-0.30 dan daha fazla bir yıkama gereksinimini sağlamak için yıkamanın artırılması pratik olmayabilir. Böyle bir durumda incelemeler, bitki toleransı içerisinde tuzluluğu kontrol edebilmek için daha az yıkamaya gereksinim duyacak daha toleranslı bir bitkiye yönelmeye verilmelidir. Hafif-orta aralık içerisinde su tuzluluğu (EC_w) yükseldikçe özellikle daha ağır daha killi toprak tiplerinde yetiştirme yapıldığında gereksinim duyulan yüksek yıkama oranını başarabilme eksikliği nedeniyle daha duyarlı bitkilerin üretimi sınırlanabilir. Şayet uygulanan su tuzluluğu 3.0 dS/m’yi aşıyorsa, Çizelge 1’de kullanımda şiddetli sınırlama içerisinde gösterildiği gibi, su hala kullanılabilir fakat yüksek yıkama oranlarının daha kolay şekilde başarılabileceği yerlerde daha geçirgen topraklar ve daha tuz toleranslı bitkilere onun kullanımında sınırlama yapılmasına ihtiyaç duyulabilir.

Çizelge 4’ün tuz toleransı verileri yıkama gereksiniminin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bir önceki bölümde tartışıldığı gibi bitki tolerans gruplaması ve su tuzluluğu biliniyorsa, yıkama gereksinimini tahmin etmek için Şekil 7 kullanılabilir. Yeni bir alan için kesin bitki yetiştirme ve rotasyonları bilinmiyorsa, araziye adapte olacak bitkilerin en az toleranslı olanına

yıkama gereksinimi dayandırılır. Seçilen duyarlı bitkilerin kabul edilebilir limitleri içerisinde toprak tuzluluğunun korunamayacağı yerlerdeki örneklerde daha toleranslı bitkilere yönelmek alanın üretim potansiyelini artıracaktır. Bitki üretimi üzerine su tuzluluğunun etkisinden şüphelenildiği durumda, sulama için fizibiliteyi ve ekonomik başarı için izlenimi gösterebilmek amacıyla bir pilot çalışma yapılması iyi olur.

Çizelge 4. Sulama Suyu Tuzluluğu (EC_w) veya Toprak Tuzluluğu (EC_e)¹ Tarafından Etkilenen Seçilmiş Bitkilerin Bitki Toleransı ve Verim Potansiyeli

TARLA BİTKİLERİ	%100		%90		%75		%50		%0	
									“Maks” ³	
	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w
Arpa (<i>Hordeum vulgare</i>) ⁴	8.0	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
Pamuk (<i>Gossypium hirsutum</i>)	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
Şekerpancarı (<i>Beta vulgaris</i>) ⁵	7.0	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
Sorgum (<i>Sorghum bicolor</i>)	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
Buğday (<i>Triticum aestivum</i>) ^{4,6}	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
Buğday, makarnalık (<i>Triticum turgidum</i>)	5.7	3.8	7.6	5.0	10	6.9	15	10	24	16
Soyafasulyesi (<i>Glycine max</i>)	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10	6.7
Börülce (<i>Vigna unguiculata</i>)	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13	8.8
Yer fıstığı (<i>Arachis hypogaea</i>)	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Pirinç (paddy) (<i>Oriza sativa</i>)	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11	7.6
Şeker kamışı (<i>Saccharum officinarum</i>)	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4.0	10	6.8	19	12
Mısır (maize) (<i>Zea mays</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Keten (<i>Linum usitatissimum</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Bakla (<i>Vicia faba</i>)	1.5	1.1	2.6	1.8	4.2	2.0	6.8	4.5	12	8.0
Fasulye (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
SEBZELER										
Sakız kabağı (courgette) (<i>Cucurbita pepo melopepo</i>)	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10	6.7	15	10
Kırmızı turp (<i>Beta vulgaris</i>) ⁵	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15	10
Çekerdeklik kabak (<i>Cucurbita pepo melopepo</i>)	3.2	2.1	3.8	2.6	4.8	3.2	6.3	4.2	9.4	6.3
Brokoli (<i>Brassica oleracea botrytis</i>)	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14	9.1
Domates (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13	8.4
Hıyar (<i>Cucumis sativus</i>)	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10	6.8
Ispanak (<i>Spinacia oleracea</i>)	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7	15	10
Kereviz (<i>Apium graveolens</i>)	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18	12
Lahana (<i>Brassica oleracea capitata</i>)	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6	12	8.1
Patates (<i>Solanum tuberosum</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Tatlı mısır (maize) (<i>Zea mays</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Tatlı patates (<i>Ipomoea batatas</i>)	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11	7.1

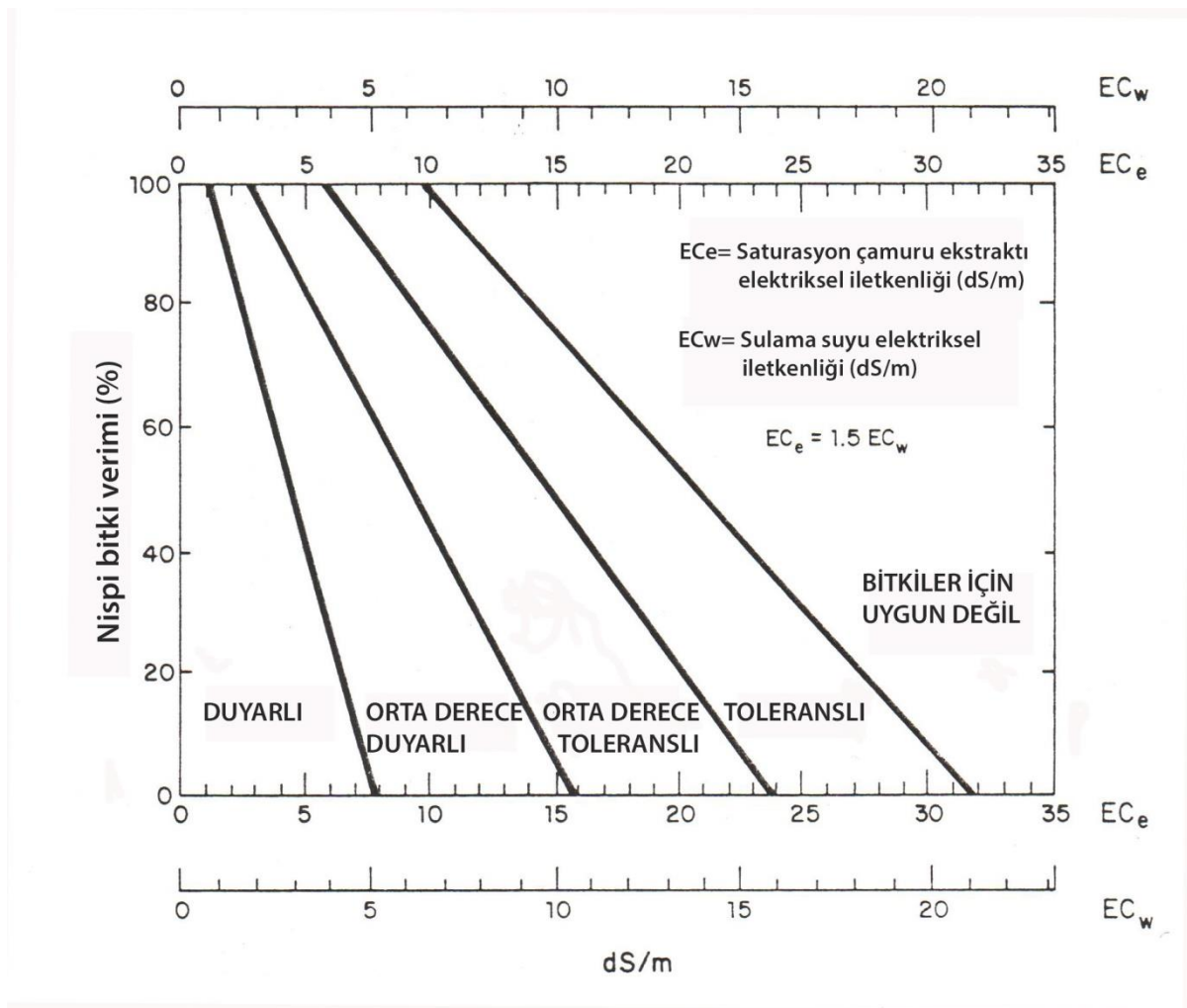
Biber (<i>Capsicum annum</i>)	1.5	1.0	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
Marul (<i>Lactuca sativa</i>)	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9.0	6.0
Turp (<i>Raphanus sativus</i>)	1.2	0.8	2.0	1.3	3.1	2.1	5.0	3.4	8.9	5.9
Soğan (<i>Allium cepa</i>)	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5.0
Havuç (<i>Daucus carota</i>)	1.0	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3.0	8.1	5.4
Fasülye (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1.0	0.7	1.5	1.0	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Şalgam (<i>Brassica rapa</i>)	0.9	0.6	2.0	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12	8.0
Yüksek otlak ayrığı (<i>Agropyron elongatum</i>)	7.5	5.0	9.9	6.6	13	9.0	19	13	31	21
Otlak ayrığı, püsküllü (<i>Agropyron cristatum</i>)	7.5	5.0	9.0	6.0	11	7.4	15	9.8	22	15
Bermuda çimi (<i>Cynodon dactylon</i>) ²	6.9	4.6	8.5	5.6	11	7.2	15	9.8	23	15
Arpa (yem) (<i>Hordeum vulgare</i>) ⁴	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.4	13	8.7	20	13
İngiliz çimi (<i>Lolium perenne</i>)	5.6	3.7	6.9	4.6	8.9	5.9	12	8.1	19	13
Dar yapraklı kuş yemi ⁸ (<i>Lotus corniculatus tenuifolium</i>)	5.0	3.3	6.0	4.0	7.5	5.0	10	6.7	15	10
Yumrulu yem kanya (<i>Phalaris tuberosa</i>)	4.6	3.1	5.9	3.9	7.9	5.3	11	7.4	18	12
Yüksek çayır yumağı (<i>Festuca elatior</i>)	3.9	2.6	5.5	3.6	7.8	5.2	12	7.8	20	13
Otlak ayrığı (<i>Agropyron sibiricum</i>)	3.5	2.3	6.0	4.0	9.8	6.5	16	11	28	19
Fiğ (<i>Vicia angustifolia</i>)	3.0	2.0	3.9	2.6	5.3	3.5	7.6	5.0	12	8.1
Sudan otu (<i>Sorghum sudanense</i>)	2.8	1.9	5.1	3.4	8.6	5.7	14	9.6	26	17
Yabani çavdar (<i>Elymus triticoides</i>)	2.7	1.8	4.4	2.9	6.9	4.6	11	7.4	19	13
Börülce (yem) (<i>Vigna unguiculata</i>)	2.5	1.7	3.4	2.3	4.8	3.2	7.1	4.8	12	7.8
Lotus yoncası (<i>Lotus uliginosus</i>)	2.3	1.5	2.8	1.9	3.6	2.4	4.9	3.3	7.6	5.0
Kahve otu (<i>Sesbania exaltata</i>)	2.3	1.5	3.7	2.5	5.9	3.9	9.4	6.3	17	11
Sphaerophysa (<i>Sphaerophysa salsula</i>)	2.2	1.5	3.6	2.4	5.8	3.8	9.3	6.2	16	11
Yonca (<i>Medicago sativa</i>)	2.0	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16	10
Çayır güzeli (<i>Eragrostis sp.</i>) ⁹	2.0	1.3	3.2	2.1	5.0	3.3	8.0	5.3	14	9.3
Silajlık mısır (<i>Zea mays</i>)	1.8	1.2	3.2	2.1	5.2	3.5	8.6	5.7	15	10
İskenderiye üçgülü (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	1.5	1.0	3.2	2.2	5.9	3.9	10	6.8	19	13
Domuz ayrığı (<i>Dactylis glomerata</i>)	1.5	1.0	3.1	2.1	5.5	3.7	9.6	6.4	18	12
Foxtail, meadow (<i>Alopecurus pratensis</i>)	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Çayır üçgülü (<i>Trifolium pratense</i>)	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Melez yonca, İsveç üçgülü (<i>Trifolium hybridum</i>)	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Ak üçgül (<i>Trifolium repens</i>)	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Kızıl üçgül (<i>Trifolium fragiferum</i>)	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
MEYVELER										
Hurma (<i>Phoenix dactylifera</i>)	4.0	2.7	6.8	4.5	11	7.3	18	12	32	21
Greyfurt (<i>Citrus paradisi</i>) ¹¹	1.8	1.2	2.4	1.6	3.4	2.2	4.9	3.3	8.0	5.4
Portakal (<i>Citrus sinensis</i>)	1.7	1.1	2.3	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2	8.0	5.3
Şeftali (<i>Prunus persica</i>)	1.7	1.1	2.2	1.5	2.9	1.9	4.1	2.7	6.5	4.3

Kaysı (<i>Prunus armeniaca</i>) ¹¹	1.6	1.1	2.0	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5	5.8	3.8
Üzüm (<i>Vitis sp.</i>) ¹¹	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Badem (<i>Prunus dulcis</i>) ¹¹	1.5	1.0	2.0	1.4	2.8	1.9	4.1	2.8	6.8	4.5
Armut (<i>Prunus domestica</i>) ¹¹	1.5	1.0	2.1	1.4	2.9	1.9	4.3	2.9	7.1	4.7
Böğürtlen (<i>Rubus sp.</i>)	1.5	1.0	2.0	1.3	2.6	1.8	3.8	2.5	6.0	4.0
Böğürtlen ahududu melezi (<i>Rubus ursinus</i>)	1.5	1.0	2.0	1.3	2.6	1.8	3.8	2.5	6.0	4.0
Çilek (<i>Fragaria sp.</i>)	1.0	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4	2.7

¹¹ Veriler Maas (1984) den alınmıştır.

² Bu veriler bitkiler arasında yalnızca bir nispi tolerans rehberi olarak hizmet eder. Mutlak toleranslar iklim, toprak şartları ve kültürel uygulamalarla değişim gösterir.

³ Nispi tolerans aralıkları Şekil 10'daki sınırlarla tanımlanmıştır. Detaylı toleranslar Çizelge 4 ve Maas 1984'de bulunabilir.



Şekil 10. Tarımsal bitkilerin nispi tuz toleransı sınıflandırması (Maas 1984)

i. Tolerans verilerinin gelişimi

Çizelge 4'te verilen sayısal tolerans değerleri Maas ve Hoffman (1977) ve Maas (1984)'den adapte edilmiştir. Bu veriler, gelişme oranının ilk önce düşmeye başladığı bir kritik eşik tuzluluğunun üzerinde tuzluluk arttıkça bitki gelişme oranının doğrusal şekilde düştüğüne işaret

etmektedir. Verimdeki bu doğrusal düşüş, bütün genel yaygın tuzluluk aralığındaki tarla verileriyle iyi uyum sağlamaktadır. Söz konusu doğrusal düşüşten sapmalar dikkate alınacak şekilde %50 potansiyel verimden daha düşük potansiyel verimlerde meydana gelmektedir ki bu düzeyde alınan verim ticari olarak herhangi bir şekilde kabul edilebilir değildir.

Aşağıdaki eşitlik (Maas and Hoffman 1977), verim üzerine düzgün doğrusal tuzluluk etkisini göstermektedir ve Çizelge 4'ün hazırlanmasında kullanılmıştır.

$$Y = 100 - b (EC_e - a) \quad (10)$$

Eşitlikte;

- Y : Nispi bitki verimi (%)
- EC_e : Toprak saturasyon ekstraktı tuzluluğu (dS/m)
- a : Eşik tuzluluk değeri,
- b : Tuzluluğun birim artışı için verim kaybı.

a ve b değerleri, orijinal makalede Maas tarafından verilmiştir fakat Çizelge 4'ten de belirlenebilir. Eşik toprak tuzluluğu a değeri, Çizelge 4'te %100 verim potansiyeli için EC_e değeri olarak verilmiştir. b değeri Çizelge 4'te aşağıdaki gibi belirlenebilir:

$$b = \frac{100}{\%0 \text{ verimde } EC_e - \%100 \text{ verimde } EC_e} \quad (11)$$

%100 verimle ilişkili değerler dışında diğer değerler için Çizelge 4'deki EC_e değerleri Maas ve Hoffman (1977) verim eşitliğinden, aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$EC_e = \frac{100 + ab - Y}{b} \quad (12)$$

Eşitlikte EC_e, belirtilen yüzde verimle (Y) ilişkili toprak tuzluluğudur (bkn. Örnek 4). Çizelge 4'te eşitlik 5'in kullanılması yoluyla gelişen toprak tuzluluğuna (EC_e) karşılık gelen sulama suyu tuzluluğunu (EC_w) vermektedir. Sulama suyu tuzluluğu (EC_w) ve toprak tuzluluğu (EC_e) arasındaki 1.5'lik konsantrasyon faktörü, %15-20'lik yıkama oranının göstergesidir. Bu kılavuz değerlerin geliştirilmesinde söz konusu konsantrasyon faktörü kullanılmış ve diğer yıkama oranları için konsantrasyon faktörleri Çizelge 3'te verilmiştir. Su tuzluluğu için Çizelge 4'deki

tolerans sınırları, toprak tuzluluğunun (EC_e) uygulanan sulama suyu ile gelen tuzların birikimi sonucu oluştuğunu farz etmektedir. Sulama suyundan başka tuz kaynağı bulunuyorsa, örneğin yüksek su tablasından, sulama suyu (EC_w) ve toprak tuzluluğu (EC_e) arasındaki konsantrasyon ilişkisi geçerli değildir fakat Çizelge 4'te verilen EC_e değerleri hala geçerlidir. Suyun birinci derecede çözünebilir tuzların kaynağı olduğu farz edilirse bir suyun birkaç yıl kullanımının ardından gelişmesi beklenen toprak tuzluluğuna (EC_e) tekrardan dikkat çekilmektedir. Şayet bir su tablası mevcutsa, $EC_e = 1.5 EC_w$ ilişkisine bağlı bir tuz birikimi dikkate alınmaz. Şayet kullanım şartları kararlı şekilde 0.15-0.20 'den başka bir yıkama oranını gösteriyorsa, konsantrasyon faktörü ($1.5 EC_w = EC_e$) de değişecek ve Çizelge 4'e benzer bir çizelge hazırlanması gerekecektir.

Bununla birlikte, yalnızca iyi yapılmış bölgesel deneyler 1.5 'luk konsantrasyon faktörünün uygulanamayacağını doğrularsa Çizelge 4 benzeri bir çizelge hazırlanması iyi olacaktır. Çizelge 4'te bitki toleransları için sunulan toprak tuzluluğu değerlerinin en uygunu olduğuna inanılmakta ve güncelleştirme işleminde bu tolerans değerlerinin değiştirilmemesi önerilmektedir. Bu tolerans değerleri yoğun ve dünya çapında yapılan tarla çalışmalarıyla desteklenmektedirler. Konsantrasyon faktörünü değiştirmek amacıyla yıkama oranının değiştirilmesi, tuzluluğun kontrol edilmesi için kullanışlı seçeneklerden birisidir. Çizelge 3'te çeşitli yıkama oranları için konsantrasyon faktörleri sunulmaktadır. Bir önceki bölümde açıklandığı gibi herhangi bir tuzlulukta ve yıkama oranında su kullanımından beklenen toprak tuzluluğunun (EC_e) tahmin edilmesi için konsantrasyon faktörleri kullanışlıdır. Maas ve Hoffman (1977) tarafından bitki tuzluluk toleransı ilişkilerinin geliştirilmesi sürecinde (Eşitlik 10) kullanılan verime ilişkin verilerin büyük bir kısmı %50-100 verim potansiyelleri arasında değişen verimler içindir. Bu doğrusal bitki tuz toleransı eşitliği çeşitli tuzlulukta beklenen verimleri iyi şekilde tahmin etmesi nedeniyle bitkilerin su çekemeyecekleri ve gelişmelerini durduracakları (bu durumda verim sıfırdır) yaklaşık teorik toprak tuzluluğunun (EC_e) tahmininde kullanılabilir. Bu işlemle tahmin edilen maksimum EC_e veya %0 verim, Çizelge 4'ün son sütununda verilmiştir. Şekil 11, sıfır verim için beklenen toprak tuzluluğu projeksiyonunu göstermektedir.

Örnek 4: Verim Potansiyelinin Belirlenmesi

Çizelge 4'ten pamuk için $a =$ Eşik tuzluluk değeri ($EC_e =$ %100 verim için)

$a = 7.7$ dS/m

$$b = \frac{100}{\%0 \text{ verimde } EC_e - \%100 \text{ verimde } EC_e} \quad (11)$$

Eşitlik 11 ve Çizelge 4'ten

Eşitlikte, b = Verim kaybı doğrusunun eğimidir. Yani toprak tuzluluğunda (EC_e) bir birimlik artış için %5.2 kadar verim kaybı olacaktır. %100 verim için a ve b değerleri Eşitlik 12'de yerine konularak :

$$EC_e = \frac{100+ab-Y}{b} = 7.7 \text{ dS/m} \quad (12)$$

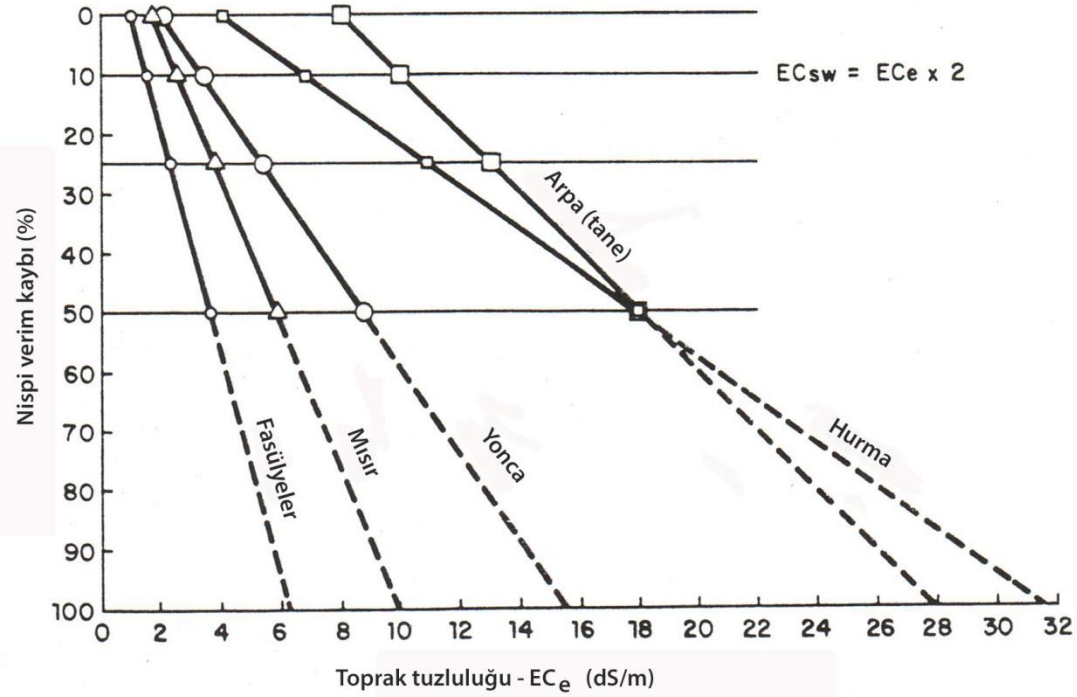
Aşağıdaki değerler pamuk için istenilen verime karşılık gelen EC_e değerlerini göstermektedir.

Potansiyel verim (%)	EC_e (dS/m)
100	7.7
90	9.6
75	13
50	17
0	27

Bu tolerans verileri grafik şeklinde çizilirlerse benzer toleranslı bitkiler, belirten gruplar ortaya çıkacaktır. Sınırlar ve nispi tolerans aralıkları sonra bu gruplara ayrılabilirler.

Şekil 10'daki şematik diyagram (Maas 1984), Çizelge 5'te bitkiler için daha önce verilen nispi tolerans aralıklarına karşılık gelmektedir. Bu tolerans ayrımları tesadüfi bile olsa, genel planlama ve bitkiler arasındaki karşılaştırmalar için kullanışlıdır. Yeterli veri olmayan yerlerde tarla deneyimi ve gözlemlerinden elde edilen tecrübelerle dayanılarak bitkiler nispi tolerans sınıflarına ayrılırlar (Maas 1984). Şekil 10'daki diyagrama göre bitki toleransları aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

Nispi bitki tuzluluk tolerans sınıflaması	Verim kaybının başladığı toprak tuzluluğu (EC_e)
Duyarlı	< 1.3 dS/m
Orta derecede duyarlı	1.3 – 3.0 dS/m
Orta derecede toleranslı	3.0 – 6.0 dS/m
Toleranslı	6.0 – 10 dS/m
Bitkilerin çoğunluğu için uygun değil (verim düşüşü kabul edilmeksizin)	> 10.0 dS/m



Şekil 11. Maksimum EC_e belirleme yöntemi

Bir alanda birkaç bitki bulunuyorsa, Çizelge 1’de verilen geniş rehberlerin kullanımından ziyade her bir özel bitki veya bitki grubu için ayrı rehber değerlerinin hazırlanması istenilebilir. Başlıca bir bitki için rehber değerleri daha özel olabilir ve mevcut su kaynağının uygunluğunu değerlendirmek için ve yöneticilere ve işleyicilere (çiftçilere) daha iyi yardımcı olur. Böyel özel bir rehber örneği Çizelge 6’da verilmiştir.

Çizelge 5. Kültür Bitkilerinin Nispi Tuz Toleransı^{1,2}

Toleranslı ³		Orta derecede toleranslı	
Lif, tane ve şeker bitkileri		Çayır, mera ve yem bitkileri	
Arpa	<i>Hordeum vulgare</i>	Tatlı yonca	<i>Melilotus</i>
Pamuk	<i>Gossypium hirsutum</i>	Çayır yumağı	<i>Festuca pratensis</i>
Jojoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	Yüksek çayır yumağı	<i>Festuca elatior</i>
Şeker pancarı	<i>Beta vulgaris</i>	Soğanlı kanarya çimi	<i>Phalaris tuberosa</i>
Çayır, mera ve yem bitkileri		Mavi darı	<i>Panicum antidotale</i>
Alkali otu	<i>Puccinellia airoides</i>	Kolza	<i>Brassica napus</i>
Alkali sacaton	<i>Sporobolus airoides</i>	Rescue çimi	<i>Bromus unioloides</i>
Bermuda çimi	<i>Cynodon dactylon</i>		Rhodes çimi
Kallar çimi	<i>Diplachne fusca</i>	İtalyan çimi	<i>Lolium italicum</i>
Tuz otu, çöl otu	<i>Distichlis stricta</i>	Çok yıllık çim, İngiliz çimi	<i>Lolium perenne</i>
Otlak ayırığı	<i>Agropyron cristatum</i>	Sudan çimi	<i>Sorghum sudanense</i>
Yüksek otlak ayırığı	<i>Agropyron elengatum</i>	Geniş yapraklı kuş yemi,	<i>Lotus corniculatus arvensis</i>
Altay çavdarı	<i>Elymus angustus</i>	Buğday (yemlik)	<i>Triticum aestivum</i>

Rus çavdarı	<i>Elymus junceus</i>	Buğday çimi	<i>Agropyron sibiricum</i>
Sebzeler		Buğday çimi	<i>Agropyron intermedium</i>
Kuşkonmaz	<i>Asparagus officinalis</i>	Buğday çimi	<i>Agropyron trachycaulum</i>
Meyveler ve kabuklu meyveler		Buğday çimi	<i>Agropyron smithii</i>
Hurma	<i>Phoenix dactylifera</i>	Yabani çavdar	<i>Elymus triticoides</i>
Orta derecede toleranslı		Yabani çavdar	<i>Elymus canadensis</i>
Lif, tane ve şeker bitkileri		Sebzeler	
Börülce	<i>Vigna unguiculata</i>	Enginar	<i>Helianthus tuberosus</i>
Yulaf	<i>Avena sativa</i>	Kırmızı turp	<i>Beta vulgaris</i>
Çavdar	<i>Secale cereale</i>	Sakız kabağı	<i>Cucurbita pepo melopepo</i>
Aspir	<i>Carthamus tinctorius</i>	Meyveler ve kabuklu meyveler	
Sorgum	<i>Sorghum bicolor</i>	İncir	<i>Ficus carica</i>
Soya fasülyesi	<i>Glycine max</i>	Jujub	<i>Ziziphus jujuba</i>
Tritikale	<i>X Triticosecale</i>	Zeytin	<i>Olea europaea</i>
Buğday	<i>Triticum aestivum</i>	Papaya	<i>Carica papaya</i>
Makarnalık buğday	<i>Triticum turgidum</i>	Ananas	<i>Ananas comosus</i>
Çayır, mera ve yem bitkileri		Nar	<i>Punica granatum</i>
Arpa (yemlik)	<i>Hordeum vulgare</i>		
Dağ bromu	<i>Bromus marginatus</i>		
Kuş yemi	<i>Phalaris arundinacea</i>	Orta derecede duyarlı	
Yonca, Hubam	<i>Melilotus alba</i>	Sebzeler	
Orta derecede duyarlı		Kara lahana	<i>B. oleracea acephala</i>
Lif, tane ve şeker bitkileri		Kohlrabi	<i>B. oleracea gongylode</i>
Bakla	<i>Vicia faba</i>	Marul	<i>Lactuca sativa</i>
Gene otu	<i>Ricinus communis</i>	Kokulu kavun	<i>Cucumis melo</i>
Mısır	<i>Zea mays</i>	Biber	<i>Capsicum annum</i>
Keten	<i>Linum usitatissimum</i>	Patates	<i>Solanum tuberosum</i>
Milet	<i>Setaria italica</i>	Kışlık kabak (Pumpkin)	<i>Cucurbita pepo</i>
Yerfıstığı	<i>Arachis hypogaea</i>	Turp	<i>Raphanus sativus</i>
Pirinç	<i>Oryza sativa</i>	Ispanak	<i>Spinacia oleracea</i>
Şeker kamışı	<i>Saccharum officinarum</i>	Eskalop kabağı	<i>Cucurbita pepo melopepo</i>
Ayçiçeği	<i>Helianthus annuus</i>	Tatlı patates	<i>Ipomoea batatas</i>
Çayır, mera ve yem bitkileri		Domates	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>
Yonca	<i>Medicago sativa</i>	Şalgam	<i>Brassica rapa</i>
Bentgrass	<i>Agrostis stolonifera palustris</i>	Karpuz	<i>Citrullus lanatus</i>
Bluestem, Angleton	<i>Dichanthium aristatum</i>	Meyve ve Kabuklu Meyveler	
Kılçıksız brom	<i>Bromus inermis</i>	Üzüm	<i>Vitis sp.</i>
Buffelgrass	<i>Cenchrus ciliaris</i>	Duyarlı³	
Burnet	<i>Poterium sanauisorba</i>	Lif, tane ve şeker bitkileri	
Üçgül, alsike	<i>Trifolium hydrium</i>	Fasülye	<i>Phaseolus vulgaris</i>
İskenderiye üçgülü	<i>Trifolium alexandrinum</i>	Guayule	<i>Parthenium argentatum</i>
Ak üçgül, ladino	<i>Trifolium repens</i>	Susam (tahin)	<i>Sesamum indicum</i>
Kırmızı üçgül	<i>Trifolium pratense</i>	Sebzeler	
Üçgül, çilek	<i>Trifolium fragiferum</i>	Fasülye	<i>Phaseolus vulgaris</i>
Ak üçgül	<i>Trifolium repens</i>	Havuç	<i>Daucus carota</i>
Mısır (Yem bitkisi)	<i>Zea mays</i>	Bamya	<i>Abelmoschus esculentus</i>
Börülce	<i>Vigna unguiculata</i>	Soğan	<i>Allium cepa</i>
Dallis grass	<i>Paspalum dilalatum</i>	Yaban havucu	<i>Pastinaca sativa</i>
Foxtail, meadow	<i>Alopecurus pratensis</i>	Meyve ve Kabuklu Meyveler	
Grama, blue	<i>Bouteloua gracilis</i>	Badem	<i>Prunus dulcis</i>
Lovegrass	<i>Eragrostis sp.</i>	Elma	<i>Malus sylvestris</i>
Milkvetch, cicer	<i>Astragalus cicer</i>	Kaysı	<i>Prunus armeniaca</i>

Yüksek yulaf otu	<i>Arrhenatherum, Danthonia</i>	Avokado	<i>Persea americana</i>
Yulaf (yem bitkisi)	<i>Avena sativa</i>	Böğürtlen	<i>Rubus sp.</i>
Domuz ayrığı	<i>Dactylis glomerata</i>	Ahududu böğürtlen mel.	<i>Rubus ursinus</i>
Çavdar (yem bitkisi)	<i>Secale cereale</i>	Anona	<i>Annona cherimola</i>
Sesbania	<i>Sesbania exaltata</i>	Kiraz	<i>Prunus avium</i>
Siratro	<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Kum kirazı	<i>Prunus besseyi</i>
Sphaerophysa	<i>Sphaerophysa salsula</i>	Kuş üzümü	<i>Pipes sp.</i>
Çayır otu	<i>Phleum pratense</i>	Altın çilek,	<i>Ribes sp.</i>
Lotus yoncası	<i>Lotus uliginosus</i>	Greyfurt	<i>Citrus paradisi</i>
Adi fiğ	<i>Vicia angustifolia</i>	Limon	<i>Citrus limon</i>
<u>Sebzeler</u>		Misket limonu	<i>Citrus aurantiifolia</i>
Brokoli	<i>Brassica oleracea botrytis</i>	Yeni dünya	<i>Eriobotrya japonica</i>
Brüksel lahanası	<i>B. oleracea gemmifera</i>	Mango	<i>Mangifera indica</i>
Lahana	<i>B. oleracea capitata</i>	Portakal	<i>Citrus cinensis</i>
Karnabahar	<i>B. oleracea botrytis</i>	Çarkı felek meyvası	<i>Passiflora edulis</i>
Kereviz	<i>Apium graveolens</i>	Şeftali	<i>Prunus persica</i>
Tatlı mısır	<i>Zea mays</i>	Armut	<i>Pyrus communis</i>
Hıyar	<i>Cucumis sativus</i>	Trabzon hurması	<i>Diospyros virginiana</i>
Patlıcan	<i>Solanum melongena esculentum</i>	Erik	<i>Prunus iomestica</i>
		Pummelo	<i>Citrus maxima</i>
		Ahududu, frambuaz	<i>Rubus idaeus</i>
		Gül elması	<i>Syzygium jambos</i>
		Ayva	<i>Casimiroa edulis</i>
		Çilek	<i>Fragaria sp.</i>
		Mandalina	<i>Citrus reticulatus</i>

ii. **Toleransı etkileyen faktörler**

Özel bir sulama suyu kullanılarak elde edilecek bitki üretim potansiyeli %100'den sıfıra kadar değişim gösterebilir fakat çoğunlukla verimi etkileyen su kalitesinden başka faktörler de bulunmaktadır. Çizelge 4'teki tolerans değerleri yalnızca tuzluluğun sınırlayıcı faktör olması durumunda üretim potansiyelini arz etmektedir. Bununla birlikte böyle şartlar sürekli mevcut değildir. Diğer şartlarda üretimi sınırlayabilir. Fakat tuzluluk ana sınırlayıcı faktör ise tuzluluk nedeniyle nispi verim kaybı Çizelge 4'te verilen değerlere yaklaşacaktır.

Çizelge 4'teki toprak tuzluluk toleransları birinci derecede geç fide döneminden olgunluğa kadar bitkilere uygulanırlar. Çimlenme ve erken fide döneminde tolerans farklı olabilir ve yalnızca birkaç bitkide çimlenme ve erken fide dönemleri için açık şekilde tanımlanmıştır. Ya verimde yada çimlenme çıkışta %50 düşüşle sonuçlanan toprak tuzluluğunu gösteren veriler bazı bitkiler için Çizelge 7'de sunulmuştur. Şayet toprak yüzeyindeki toprak tuzluluğu (tohum ekim alanı) 4 dS/m den daha fazla olursa, bu tuzluluk çimlenmeyi ve erken fide gelişimini engelleyebilir veya geciktirebilir. Çimlenmenin yavaşlaması bitki çıkışını geciktirebilir. Çimlenme ve çıkışın gecikmesi toprağın kabuk bağlamasına ve hastalık problemlerine fırsat

verir. Bitki tutumu düşer. Çoğu zaman yağışlar veya dikim öncesi sulamaları, düşük tuzluluğun sağlanması, kabuk bağlamanın geciktirilmesi ve iyi çıkışın desteklenmesine yardımcı olacaktır.

Çizelge 6. Üzüm Sulamasında Kullanılacak Suyun Uygunluğu Üzerine Laboratuvar Verilerinin Yorumlanması İçin Kılavuz Değerler¹

Potansiyel sulama problemleri	Birim	Kullanım üzerine sınırlandırma derecesi		
		Yok	Hafif-Orta	Şiddetli ²
Tuzluluk³ (<i>bitkiye su yarayışlılığını azaltır</i>)				
EC_w	dS/m	< 1	1.0 – 2.7	> 2.7
Toksiklik (<i>bitki gelişimi etkileyen özel iyonlar</i>)				
Sodyum (Na⁺)⁴	me/l	< 20	-	-
Klor (Cl⁻)⁴	me/l	< 4	4 – 15	> 15
Bor (B)	mg/l	< 1	1 – 3	> 3
Diğerleri				
Bikarbonat (HCO₃⁻)⁵	me/l	< 1.5	1.5 – 7.5	> 7.5
Nitrat-azot (NO₃-N)	mg/l	< 5	5 – 30	> 30

1- Neja et al. (1978)'den uyarlanmıştır.

2- Başarılı üretim için özel yönetim uygulamaları ve istenilen toprak şartlarına gereksinim duyulur.

3- Yağmur ve normal sulama randıman kayıplarına sahip ekstra su uygulaması, bitki ihtiyaçlarını ve tuzluluk kontrolü için yaklaşık %15 fazla suyu sağladığı kabul edilmektedir.

4- Üstten yağmurlama sulamayla son derecede kuru şartlar altında 3 me/l üzerindeki Na ve Cl aşırı yaprak absorpsiyonu, yaprak yanması ve bitkinin zarar görmesiyle sonuçlanabilir. Sık şekilde açma-kapama çevrimiyle soğutma için üstten yağmurlamalar kullanılacaksa daha düşük konsantrasyonlarda bile zarar meydana gelebilir.

5- Üstten yağmurlayıcılarla uygulanan sudaki bikarbonat (HCO₃⁻) Pazar cazibesini azaltan fakat bitkiye toksik olmayan meyve ve yapraklar üzerinde beyaz birikimlere neden olabilir.

Çizelge 7. Çimlenmede Çeşitli Bitkilerin Nispi Tuz Toleransı¹

Bitki	%50 Çıkış Azalması EC _e (dS/m)
Arpa (<i>Hordeum vulgare</i>)	16 – 24
Pamuk (<i>Gossypium hirsutum</i>)	15.5
Şeker pancarı (<i>Beta vulgaris</i>)	6 – 12.5
Sorgum (<i>Sorghum bicolor</i>)	13
Aspir (<i>Carthamus tinctorius</i>)	12.3
Buğday (<i>Triticum aestivum</i>)	14 – 16
Kırmızı pancar (<i>Beta vulgaris</i>)	13.8
Yonca (<i>Medicago sativa</i>)	8.2 – 13.4
Domates (<i>Lycopersicon lycopersicum</i>)	7.6
Pirinç (<i>Oryza sativa</i>)	18
Lahana (<i>Brassica oleracea capitata</i>)	13
Kavun (<i>Cucumis melo</i>)	10.4
Mısır (<i>Zea mays</i>)	21 – 24
Marul (<i>Lactuca sativa</i>)	11.4
Soğan (<i>Allium cepa</i>)	5.6 – 7.5
Fasulye (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	8.0

¹Veriler Maas (1984)'ten alınmıştır.

Bazı ağaçlar (limon, badem, ta   ekirdekliler) ve şaraplık bitkiler ( z mler) için kullanılan anaçlar belirgin şekilde tuzluluk toleransını etkilerler. Anaçlar tuzları özellikle de sodyum ve klor toksikli ini dışlama kabiliyetlerine göre ayrılırlar. Bu toksik iyonların absorbe edilen miktarlarındaki azalmayla birlikte birikimleri azalır. Bu dışlama özelliği, tuzlu toprak veya tuzlu su şartları altında üretim geliştirilmesi için kullanılan çeşitler kadar ticari olarak kabul edilebilir anaçların seçimine imkan verir.

Yıllık bitki  e itleri arasında varyete farklılıkları da bulunmaktadır. Toleranstaki daha büyük farklılıklar daha tuz toleranslı bitkiler arasında seçim yapılabilmesini mümkün kılmaktadır. Birkaç varyete  izelge 4'te belirtilen toleranstan önemli şekilde daha fazla veya daha az toleranslı olabilir. Uygulanan suyun tuzluluğu bitki toleransını kritik hale getiriyorsa, mevcut varyetelerin dikkatlice gözden geçirilmesi esastır.

Son zamanlarda tuzluluk toleransı için bitki ıslahı ve bitki seçimi çalışmaları belirgin şekilde göze çarpmaktadır. İlk sonuçlar  mit vericidir ve özellikle sıkı şekilde yakın çeşitler arasında veya hatlar bir  e itteki hatlar arasında yeni genetik çalışmaları tetiklemektedir. Şayet bu çalışmalar başarılı olursa, tuzluluk toleransı için bitki ıslahı ve gen seçimi, daha tuzlu su kaynaklarının kullanılma kabiliyetini büyük oranda genişletebilecektir fakat tuz toleransı üzerine elde edilen yeni bilgiler dikkatlice kullanılmalıdır. Yeni geliştirilen ve daha fazla toleransa sahip olan her hangi bir varyete kendi özellikleri üzerinde değerlendirilmelidir. Mevcut varyetelerle verim ve kalitede rekabet eden ve yeni daha tuz toleranslı bitkilerin ticari olarak bulunabilir olmasından önce muhtemelen birkaç yıla (5-15 yıl veya daha fazla) gereksinim duyulacaktır. Çizelge 4'te verilen toleransların öngörülebilir gelecekte çoğu bitkiler için geçerli kalması beklenilmektedir.

 klim de bitkinin tuzlulu a ve kuraklığa toleransını etkilemektedir. Genelde daha soğuk iklimlerde veya yılın daha soğuk zamanlarında yetişen bitkiler, daha sıcak daha kurak zamanlarında yetişen bitkilerden tuzlulu a karşı daha yüksek toleransa sahip olacaklardır. Daha soğuk dönemlerde bitki su isteği daha az olacağından dolayı tuzluluk nedeniyle azalan su yarıyı lılı ı etkisi öyle kritik değildir ve yağmur suyu veya uygulanan suyun büyük bir kısmı birikmiş tuzların yıkanabilmesi için kullanışlı olabilir. Aksine, bununla birlikte yüksek ET'nin meydana geldiği yaz aylarında, sıcak, kuru şartlardaki gibi bitki kökleri tarafından su absorpsiyonu, toprak suyunun hızlı tüketimi ve kökler etrafında artan tuz konsantrasyonunun her ikisi nedeniyle yeterli olmayabilir. Bu  artlar altında, normal hacimsel toprak

örneklemesinden ön görülenene göre bitkiler daha erken su stresi gösterebilirler ve sıcak kuru rüzgarların yaygınlaştığı dönemlerde su stresi daha kritik olabilir. İklimin tuza toleranslı bitkilerden daha çok tuza duyarlı bitkileri etkilediği görülmektedir.

Tuz toleransı üzerine gübrelemenin etkisi azdır. Şayet gübreleme sınırlayıcı bir faktörse, uygun gübreleme verimi artıracaktır. Fakat gübreleme sınırlayıcı faktör değilse, ilave gübreleme tuz toleransını iyileştirmeyecektir. Gübrelerin en fazla çözünebilir tuzlar sınıfında olmalarından dolayı gübreleme zamanlaması ve atılacağı yer önemlidir. Uygun şekilde uygulanmamaları durumunda bir tuzluluk problemine katkı sağlayabilir veya neden olabilirler.

2.4.4 Kültürel uygulamalar

Tuzluluğu kontrol etmek amacıyla birinci derecede yönetim seçenekleri bir önceki bölümlerde tartışılmıştı: Yeterli drenaj, bitki toleransı içerisinde tuzluluğun kontrol altında tutulması için yıkama yapılması, veya bu yapılamıyorsa yeterli tuz kontrolü için daha az yıkama gerektiren daha fazla tuz tolereanslı bir bitkiye yönelmesi. Bu yönetim uygulamaları, tuzluluğun uzun dönemli kontrolü için en uygun olanlarıdır fakat çimlenmeye, erken fide gelişimine ve nihai olarak bitki verimi üzerine derin bir etkiye sahip olabilecek ayrıca kültürel uygulamalar da bulunmaktadır. Düşük verim çoğu zaman, çimlenme veya erken fide gelişimi esnasında elde edilen zayıf bitki dayanımının bir sonucudur. Tuzluluğun kontrol altına alınmasına yardımcı olan bu kısa dönemli kültürel uygulamalar, sulama suyu tuzluluğu artarken daha da önemli hale gelmektedir ve çoğunlukla bu kültürel uygulamalar yıllık bazda veya sürekli şekilde yapılmaktadır. Bunlar, daha iyi su dağılımı için arazi teviyesini, kabuklanma ve su stresini engellemek amacıyla sulamaların zamanlamasını, muhtemel tuz birikim alanlarından kaçınılması yapılan tohum ekimini, gübre malzemelerinin seçimi, gübre oranı ve atılacağı yere özen gösterilmesini içine almaktadır.

i. Arazi düzeltilmesi veya eğilendirme

Düzgün su dağılımının sağlanması amacıyla bir tarla yeteri şekilde eğilendirilmemişse, tuzluluğun kontrolü zor olur. Su çukur alanlarda birikerek bitkilerin suda boğulmasına ve drenaj problemlerine neden olurken çok az penetrasyon ve yıkamanın olduğu yüksek noktalarda (su yüzey akışına geçmektedir) tuz birikimi oluşur. Su kısıtı ve aşırı tuzluluk nedeniyle çoğu zaman yüksek noktalarda çimlenme zayıf olurken alçak alanlarda ise benzer zayıf bitki dayanımı, su boğulmalarından ve toprağın kabuk bağlamasından kaynaklanabilir. En zor problemler salma sulamayla (tava veya şerit) birlikte meydana gelir buna karşın yağmurlama

veya damla sulama yöntemleri alçak alanlarda aşırı derecede su birikiminin önlenmesi için yalnızca ihtiyaç duyulan ölçekte arazi tesviyesi ve eğimlendirmeye gereksinim duyar.

Arazi tesviyesi (arazi düzleştirme) basitçe toprak yüzeyini düzeltir. İyi bir uygulama olmasına rağmen, bir tarlayı eğimlendirmez veya bir eğime göre arazi tesviyesi yerine geçmez. Arazi düzeltilmesi yıllık olarak yapılan arazi uygulamasıdır veya yıllık bitkilerin değişiminde düzgün su dağılımı sağlanmasından emin olunması amacıyla birkaç yılda bir yapılır. Bunun aksine, arazi eğimlendirmesi, tarlanın bir kısmından yapılan “kazıların” aynı tarlanın bir başka yerine taşınması ve o alandaki seviyenin yükseltilmesi için “dolgu” şeklinde yayılan genellikle tek seferlik uygulamadır. Bir defa arazi eğimlendirmesi yapıldıktan sonra gerçekleştirilen arazi düzeltmeleri veya daha az yoğun arazi eğimlendirmesi, bitki ekimi, işleme ve sulamalar nedeniyle hafif şekilde değişikliğe uğrayabilen tarla eğiminin yeniden düzeltilmesi için yapılır.

Toprak kalitesine büyük oranda zararlı olan bu tesviye veya eğim verme işleminde çok az zarar riskiyle birlikte yeni oluşmuş derin aluviyal topraklar düzeltilebilir veya eğimlendirilebilirler fakat daha eski, olgun veya tabakalı aluviyal veya birikim toprakların ciddi yapısal zarara uğramadan düzeltilmesi veya bir eğimde eğimlendirilmesi zordur. Ağır ekipmanlar nedeniyle arazi eğimlendirmesi ciddi toprak kompaksiyonuna neden olur. Toprağı alt üst edilmesi, çizel çekilmesi veya kompaksiyonun kırılabilmesi için tesviye sonrasında arazi işlemesi önerilir.

ii. Sulamaların zamanlanması

Daha yüksek tuzlulukta su kullanıldığı zaman su stresinin engellemesi amacıyla sulamaların zamanlaması, başarı şansını artıracaktır. Sulama zamanlaması, sulama sıklığının artırılmasını, yağışlı kış mevsimi öncesi sulamaları ve bitki çimlenmesine yardımcı olacak ekim öncesi sulamaları veya diğer uygulamaları içine alır. Sulama zamanlamasının hedefi tuzluluğun düşürülmesi ve sulamalar arasında su stresinden sakınılmasıdır. Sulama sıklığının artırılmasıyla çoğu zaman sulamalar arasındaki su stresi saf dışı edilebilmekte böylece sulamalar arasında aşırı uzun zaman aralığı tarafından neden olunan kök bölgesi neminin aşırı tüketimi önlenmektedir. Sulamalar arasındaki sürenin azaltılmasıyla toprak nemi yarıyışlılığı daha yüksek düzeyde tutulmaktadır.

Sulama sıklığının artırılması her zaman istenilen sonuçlar vermeyebilir. Örneğin, karık ve diğer salma sulama yöntemleriyle, daha sık bir sulamaya geçiş yapılması, su kullanım etkinliğinde bir azalmaya karşılık gelen uygulanan su derinliğinde kabul edilemez artışlarla sonuçlanabilir.

Sonuçta drenaj problemleri artabilir. Yağmurlama veya damla sulama yöntemlerinde olduğu gibi her sulamada uygulanan su derinliği kolayca ayarlanamadığı için bu sulama yöntemleri daha az etkindir. Daha etkin sulama yöntemleriyle, sulama frekansının artırılması su kullanımını büyük oranda artırmayabilir.

Daha sık sulamalar, istek üzerine suyun alınabildiği alanlar dışında pratik olmayabilir. Mevsim ilerlerken iyi bir bitki su talebi bilgisi, uygun sulama frekansının belirlenebilmesi için gereklidir. Bitki su isteğinin (ET) ve en duyarlı dönemlerin tahmini için gerekli yöntemler Doneen (1971), Doorenbos ve Pruitt (1977) ve Doorenbos ve Kassam (1979)'da verilmiştir.

Özellikle yüksek su tablası varsa ve iklim sıcak ve kurak geçiyorsa, daha yüksek oranda tuzlu sulama sularından kaynaklanan tuzlar, bitkisiz dönemde yüzey buharlaşması nedeniyle üst birkaç santimetrelik toprakta hızlıca birikebilirler. Birikim derecesi hem sulama suyu tuzluluğu hem de varsa taban suyu tuzluluğundan etkilenir. Böyle şartlar altında, tohum çimlenmesi, fide gelişimi ve verim ciddi şekilde azalabilir. Bu yüzey tuz konsantrasyonunun uzaklaştırabilmesi için ekim öncesi yıkama sulaması sıkça kullanılır.

Üst topraktan birikmiş tuzların yıkanması için kış yağışları yetersiz kalıyorsa, sınırlı kış yağışları başlangıcından önce uygulanan bir sulama, daha üst toprağı suyla yeniden doldurur ve sonrasında kış yağışlarının yıkama için yeterli su sağlayacağına güvenilebilir. Yağmur suyunun kalitesi mükemmeldir ve tuzları tohum yatağından dışarı yıkar böylelikle çimlenme problemleri safdışı edilir. Kış yağışlarının gerekli bütün bir yıkamayı sağlayamadığı Akdeniz ikliminde geç sonbahar veya erken kış sulaması, iyi bir uygulamadır. Kış artı ekim öncesi sulamaları gelişme mevsiminde sulamaların zamanlamasında ideal kaliteli suya göre kullanıcıya daha az esneklik vermektedir.

Orta-yüksek tuzlulukta ($EC_w > 1.0$ dS/m) sular kullanıldığında, özellikle bitkiler yükseltilmiş yataklara ekildiğinde ve karıklarla sulandığında, tohum yatağında tuzların birikimi nedeniyle çimlenme çoğu zaman zayıf olur. Daha iyi çimlenme sağlanması, toprak yüzey sıcaklığının düşürülmesi ve erken fide gelişiminin iyileştirilmesi için marul, domates ve diğer duyarlı yıllık bitkiler için yetiştiriciler arasında yaygın bir uygulama, yağmurlama sulamanın kullanılmasıdır. Birkaç gün boyunca her gün birkaç kez 1-3 saatlik nispeten kısa süreli sulamalar uygulanır. Yağmurlayıcıların 10-14 gün sonra bir başka tarlaya taşınmasından sonra gerek duyuldukça

normal karık veya salma sulamalar uygulanır. Bir yağmurlama sistemi bir mevsimde birkaç farklı tarlada çimlenme ve erken fide gelişimi için kullanılabilir.

Klor ve sodyum nispeten yüksek olduğunda üstten yağmurlayıcılar bazı duyarlı bitkiler için problemlere neden olurlar. Yağmurlayıcı rotasyonları arasında su buharlaştıkça bu iyonlar konsantre olurlar ve sonra yağmurlayıcılar vasıtasıyla ıslatılan yapraklar tarafından aşırı miktarda absorbe edilirler. Bu problemler yavaş şekilde dönen yağmurlama başlıklarıyla çoğunlukla meydana gelirler ve düşük uygulama hızlarında şiddetlenirler. Yaklaşık 3 me/l'nin üzerindeki konsantrasyonlarda sodyum ve klor problemlere neden olmaktadır. Orta derecede yüksek tuzlu suları uygulayan yağmurlayıcılardan spre yayılım nedeniyle benzer problemler meydana gelebilir. Toksiklik genellikle yaprak kenarlarında yaprak yanması (nekrosis) şeklinde görülmektedir. Klor ile sodyum toksikliği, yaprak analizleriyle doğrulanabilir. Geceleyin olduğu gibi daha yüksek nemli dönemlerde sulama yapılması, sözkonusu problemi büyük oranda azaltacak veya safdışı edecektir. Yıllık bitkilerin büyük bölümü düşük düzeydeki sodyum ve klora pek duyarlı değildir fakat sodyum ve klor konsantrasyonu yeterince yüksek olduğunda tüm bitkiler etkilenir. Bu problemler daha detaylı olarak Bölüm 4.3'te tartışılmıştır.

iii. Tohum yeri

Tuzluluk çimlenmeyi düşürür veya yavaşlatır. Tuzlu topraklarda veya orta derecede tuzlu su kullanıldığında karıkla sulanan bitkilerden yeteri kadar bir dayanımının elde edilmesi çoğu zaman zordur. Bazı durumlarda, yetiştiriciler azalan çimlenmeyi engelleyebilmek ümidiyle normalde olduğundan iki veya üç kat daha fazla tohum ekerler. Ekilen tohum miktarının artırılması daha yüksek bitki yoğunluğu verebilir (Çizelge 8) fakat bu, ek seyretme maliyetleri sonucunu da doğuracaktır; hatta sonrasında bitki popülasyonu homojen olmayabilir ve artan verim kabul görmeyebilir. Fazla tohum kullanılmasına karşı çimlenen tohum etrafındaki toprak tuzluluğunun yeteri kadar düşük olması için ekim sürecinde uygun ayarlamaların yapılması daha iyi bir alternatiftir. Uygun ekim uygulamaları, yatak şekilleri ve sulama yönetimi, kritik çimlenme döneminde büyük oranda tuz kontrolünü artıracaktır.

Karık sulamayla birlikte bitkiler yükseltilmiş yataklar üzerine dikilir, su hareketi karıktan yatağa doğrudur. Suyun iki karıktan yatağın merkezine doğru hareket etmesinden dolayı mevcut tuzlar suyla taşınır ve yatağın daha üstteki orta kısmında birikme eğilimi gösterirler. Yükseltilmiş bir tohum yatağının ortasında tek bir sıraya ekilen tohumlar, tuzların tam olarak konsantre olduğu alana düşer (Şekil 12 A), yükseltilmiş bir ekim yatağı üzerine çift sıralı ekim

(Şekil 12 D) en fazla tuz birikim alanından uzağa yükseltilmiş yatağın her iki omuzuna yakın iki tohum sırasına düşecektir. Bu ekim yöntemiyle, toprakta ve suda bulunan tuzlar hala yatağın merkezi civarında fakat tohum sıralarından uzağa konsantre olur ve tuzluluk bir problem oluşturuyorsa bu durumda çimlenme muhtemelen daha iyi olacaktır.

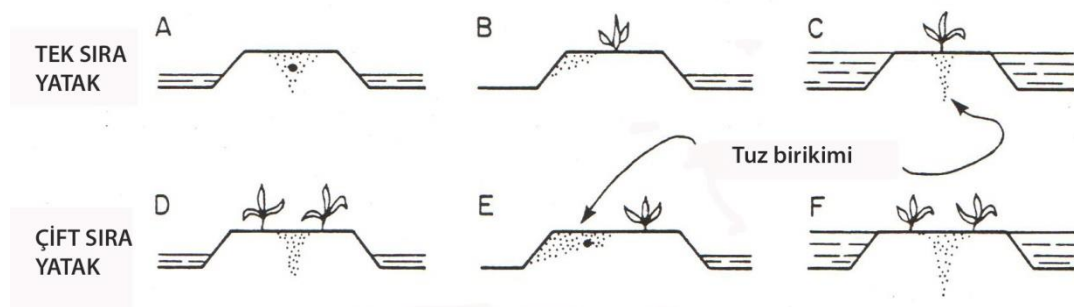
Çizelge 8. İsrail’de Farklı Kalitedeki Sularla Yağmurlama Sulama Yapılan Bitkilerin Çimlenme Çıkışı Üzerine Ekim Oranlarının Etkisi¹

Ekim Oranı (Kabul edilen tarla uygulaması yüzdesi)	Soğan		Havuç EC _w (dS/m)		Yonca	
	1.0	4.0	1.0	4.0	1.0	4.0
100 ²	17	14	83	56	29	24
130	23	19	126	72	39	34
200	33	28	198	120	51	36

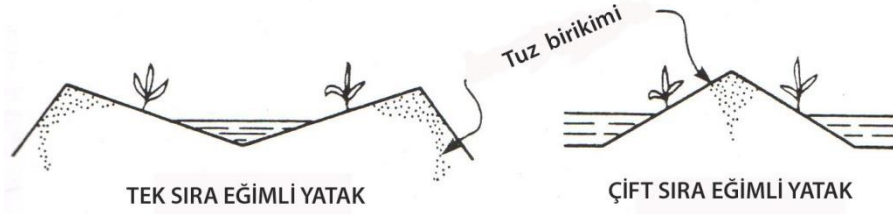
¹ Veriler Pasternak (1975)’den alınmıştır

² İsrailde kabul edilen tarla uygulaması

Diğer ekim seçenekleri de bulunmaktadır. Atlamalı karık sulaması tohum çimlenmesine yardımcı olabilir. Eğer yataklar her iki yanından ıslanırsa, tuzlar yatağın ortasında veya tepesine yakın birikir (Şekil 12A ve 12D) fakat atlamalı karık sulaması uygulanırsa, tuzlar tek tohum sırasının ötesine taşınabilir (Şekil 12B). Tuzlar hala birikmektedir fakat daha düşük konsantrasyonda birikim gösterir. Yatak merkezi dışında, su verilen karığa en yakın tohum yatağı omuzuna tek sıralı ekim (Şekil 12 E) de kullanılmaktadır ve bu ekim şekli tuzlu toprak şartlarında çimlenmeye yardımcı olur. Tuzlar ıslak karıktan ikinci tohum sırasında birikeceği için atlamalı karık sulamasıyla çift sıralı ekim önerilmez.

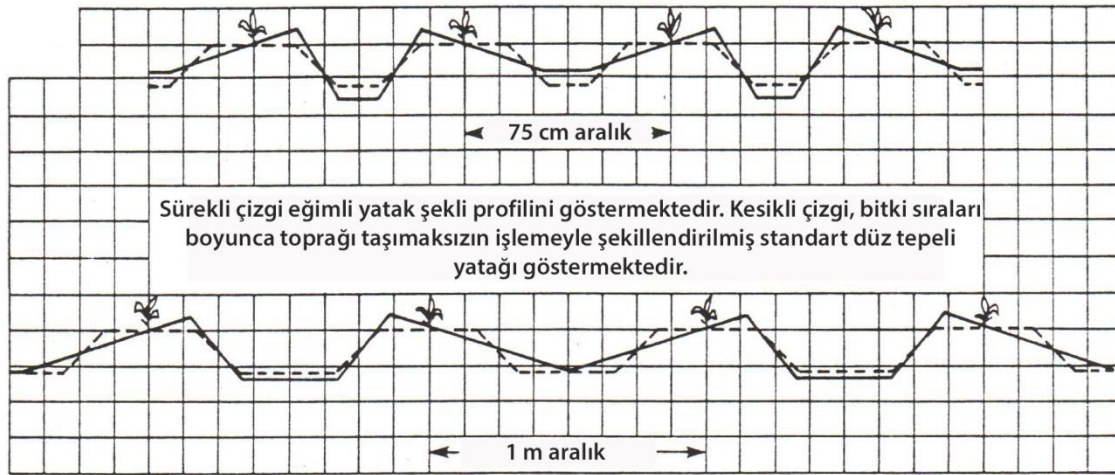


Şekil 12. Düz üst yataklar ve sulama uygulaması (Bernstein, Fireman ve Reeve 1975)



Şekil 13. Eğim verilmiş yataklarla tuzluluk kontrolü (Berstein ve Fireman 1957)

Ya tek veya çift sıralı ekimle birlikte, tuzlar bir problem oluyorsa, karıktaki su derinliğinin artırılması da çimlenmenin iyileştirilmesine yardımcı olabilir (Şekil 12C ve 12F). Tohumların yatağın eğimli yanına ekildiği ve tohum sırasının su hattının hemen üzerine yerleştirildiği eğimlendirilmiş yataklar kullanılarak hala tuzluluğun daha iyi bir kontrolü başarılabilir (Şekil 13). Yatağın ıslak cephesi tohum sırasını iyice geçinceye kadar sulamaya devam edilir. İşlemesi ve geleneksel yükseltilmiş yatağa çevrilmesi kolay olan tek sıralı eğimlendirilmiş bir yatak için doğru konfigürasyon Şekil 14’te gösterilmiştir. Bu yeniden şekil verme genellikle çimlenmeden ve erken gelişim döneminden sonra yapılır.

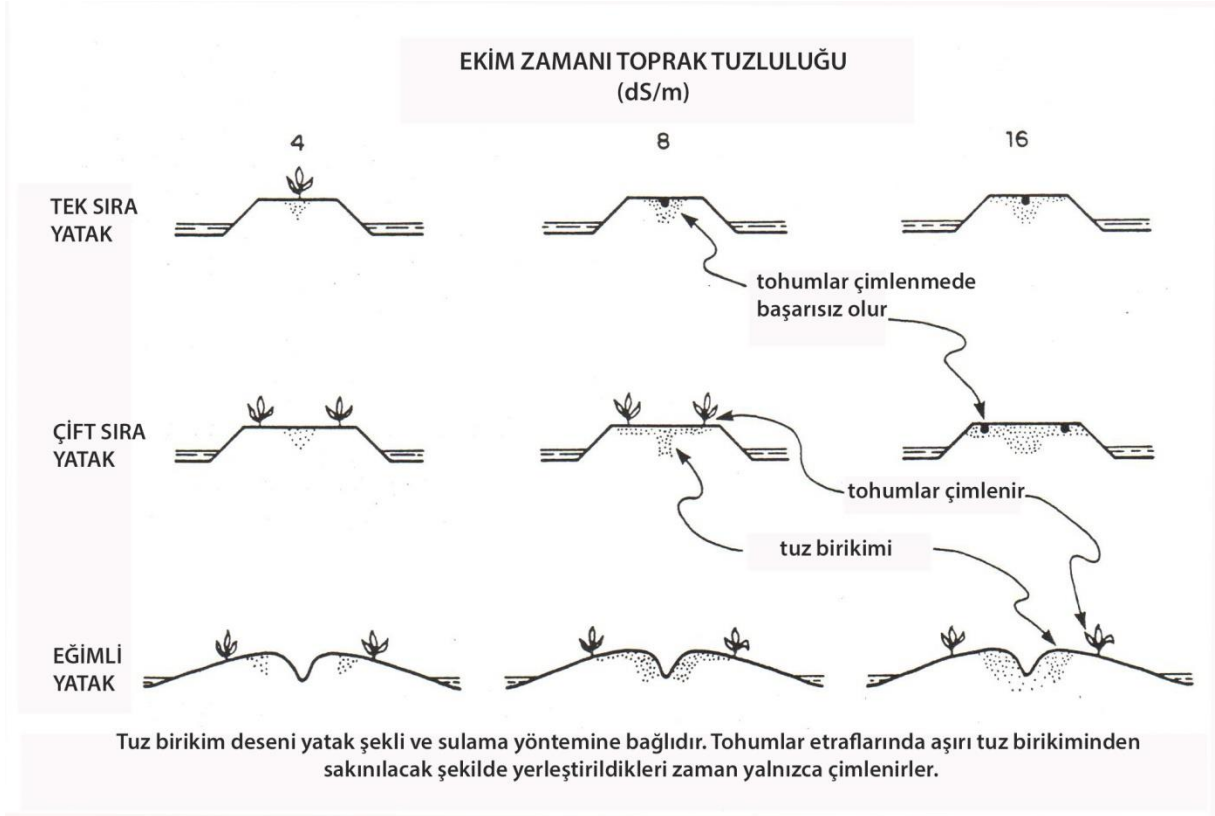


Şekil 14. Eğim verilmiş tohum yatakları (Berstein ve Ayers 1955)

Tek sıralı eğimlendirilmiş yatakların yaygın şekilde kullanılan bir diğer uyarlaması Şekil 15’de gösterilmiştir; bu yatak hem tuzluluk ve hem de sıcaklık kontrolü için kullanılır. Tohumlar karıktaki su çizgisinin hemen üzerine ekilir. Kışın veya erken ilkbaharda ekilen bir bitki için birkaç derece daha yüksek toprak sıcaklığı önemlidir; eğimlendirilmiş yatak kuzey yarımkürede güneye doğru yönlendirilir. Daha soğuk toprak sıcaklığının istendiği sıcak iklimlerde ise bu eğimin tersine çevrilmesi (güneşten uzak yüze yönlendirme) yararlı olur.



Şekil 15. Tuzluluğun ve sıcaklığın kontrol altında tutulması için kullanılan eğimli tohum yatakları



Şekil 16. Yatak şekilleri ve tuzluğun etkileri (Bernstein, Fireman ve Reeve 1955).

Farklı toprak tuzluluğu için Şekil 16'daki diyagramlar ekim yataklarının modifiye edilmiş şekillerinin etkinliklerini göstermektedir. Gerçek tepki başlangıç toprak tuzluluğuna, sulama yöntemine, sulama suyu tuzluluğuna ve çimlenme esnasındaki bitki toleransına bağlıdır. Tuzluluğun çoğu bitkilerin çimlenmesini yavaşlatmasından dolayı, daha uzun süreyle karıklarda su tutulması bazı zamanlar nemli toprağın korunması, kabuklanmanın azalması yoluyla bitki çıkışını iyileştirir ve tuzluluğu gerçek şekilde seyreltir veya düşürür.

Tuzlu şartlarda çimlenmelerinin iyileştirilmesi için mısır gibi daha iri tohumlu bitkiler, bazan su kırıgına ekilirler. Üzümler de bazen geniş düz karıkların tabanında veya geniş hafif eğimli V şeklindeki karıkların tabanında yetiştirilir. Sonrasında kök bölgesinin çoğu kısmı nispeten düşük tuzlulukta kalır.

iv. Gübreleme

Suni gübreler, ahır gübreleri ve toprak ıslah maddeleri yüksek konsantrasyonlarda çözünebilir tuzların bir çoğunu içermektedir. Çimlenen fidelere veya gelişmekte olan bitkiye çok yakın olmaları durumunda gübreler bir tuzluluk veya zehirlenme problemine neden olabilirler veya bu problemlerin şiddetini artırabilirler. Örneğin, 50 kg/ha azot uygulaması (240 kg/ha amonyum sülfat) bir hektarlık alana düzgünce yayılırsa tuzluluk problemine neden olmayacaktır. Bununla birlikte, ekim zamanında açılan çukura tohumla birlikte konulursa, muhtemelen çimlenme ve fide gelişimini azaltacak ve tohuma çok yakın verilen gübrelerin yüksek tuzluluğunun neden olduğu yetersiz bitki gelişimi sonucunu doğurabilecektir.

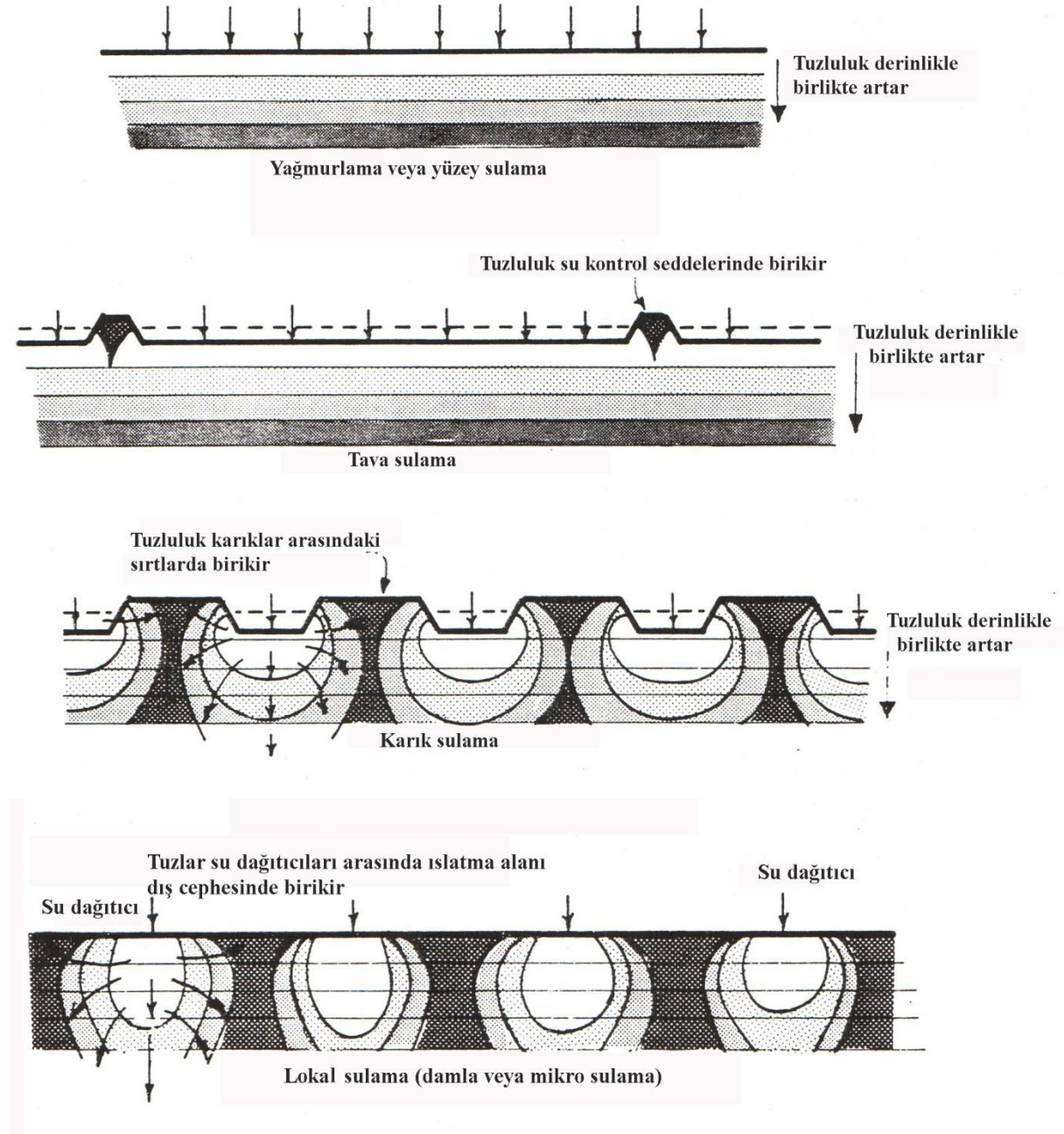
Bu nedenle gübrelemenin zamanlaması kadar atıldığı yere dikkat edilmelidir. Fideler tuzluluğa duyarlıdır ve küçükken çok az gübreye ihtiyaç duyarlar. Az miktarda bir gübre ekimde veya öncesinde uygulanabilir ve geriye kalan kısmı bitki çıkışından sonra fakat ana gelişme döneminden önce bir veya birkaç defada uygulanır. Bunlara ilaveten, tuz indeksi daha düşük bir gübre dikkate alınmalıdır. Tuz indeksi daha düşük gübre, fidelere veya genç bitkilere daha az zarar verir ve daha az tuz yanığına neden olur. Çeşitli gübreler için tuz indeksleri Çizelge 9'da gösterilmiştir.

Optimum gelişme için gerek duyulan besin elementlerinden sağlanması gereken miktarın üzerinde toprak gübrelemesi yapıldığında bir bitkinin tuz toleransı genellikle etkilenmeyecektir. Bununla birlikte, tuzluluk ve düşük gübrelemenin her ikisi verimi sınırlandırıyorsa, her birinin veya her ikisinin düzeltilmesi verimi iyileştirecektir. Bunun yanında gübreleme yeterliyse ve tuzluluk sınırlayıcı ise ilaveten artırılan gübreleme verimi yükseltmeyecek veya bitkinin tuz toleransını iyileştirmeyecektir (Bernstein, Francois ve Clark 1974).

2.4.5. Sulama Yöntemlerinin Değiştirilmesi

Sulama yöntemleri hem su uygulama etkinliğini ve hem de tuzların birikme desenini doğrudan etkiler. Salma ve yağmurlama sulama yöntemleri tüm sulama alanı üzerine su uygulanacak

şekilde planlanırlar. Tüm alanın ıslatılması, çoğunlukla tuzların daha aşağı kök bölgesinde birikimi sonucunu doğurur. Birikimin derecesi yıkama oranına bağlıdır. Şekil 2’de 0.1-0.4 arasında değişen yıkama oranlarında salma sulama veya yağmurlama sulama uygulamasıyla ortaya çıkan tipik tuzluluk profilleri gösterilmiştir.



Şekil 17. Tuz birim desenleri: Yağmurlama veya yüzey salma tava sulama, karık sulama, lokalize sulama (mikro sulama)

Çizelge 9. Toprak Çözeltisi Üzerine Gübre Maddelerinin Nispi Etkisi¹

Material	Salt İndisi ²	Birim Besin Maddesi İçin Kısmi Tuz İndisi
Anhydrous ammonia	47.1	0.572
Ammonium nitrate	104.7	2.990
Ammonium nitrate-lime	61.1	2.982
Ammonium phosphate (11-48)	26.9	2.442
Ammonium sulphate	69.0	3.253
Calcium carbonate (limestone)	4.7	0.083
Calcium cyanamide	31.0	1.476
Calcium nitrate	52.5	4.409
Calcium sulphate (gypsum)	8.1	0.247
Diammonium phosphate	29.9	1.614
Dolomite (calcium and magnesium carbonates)	0.8	0.042
Kainit, 13.5%	105.9	8.475
Kainit, 17.5%	109.4	6.253
Manure salts, 20%	112.7	5.636
Manure salts, 30%	91.9	3.067
Monoammonium phosphate	34.2	2.453
Monocalcium phosphate	15.4	0.274
Nitrate of soda	100.0	6.060
Nitrogen solution 37%	77.8	2.104
Nitrogen solution 40%	70.4	1.724
Potassium chloride, 50%	109.4	2.189
Potassium chloride, 60%	116.3	1.936
Potassium chloride, 63%	114.3	1.812
Potassium nitrate	73.6	5.336
Potassium sulphate	46.1	0.853
Sodium chloride	153.8	2.899
Sulphate of potash-magnesia	43.2	1.971
Superphosphate, 16%	7.8	0.487
Superphosphate, 20%	7.8	0.390
Superphosphate, 45%	10.1	0.224
Superphosphate, 48%	10.1	0.210
Uramon	66.4	1.579
Urea	75.4	1.618

¹ Veriler Rader (1943)'ten alınmıştır.

² Tuz indeksi eşit ağırlıklarda uygulandıklarında çeşitli gübre maddeleri içindir. Tuzluluk indeksi 100 olan sodyum nitrat indeksler için baz alınmıştır.

Şekil 17'de yalnızca tarla yüzeyinin bir kısmına su uygulayan lokalize sulama (mikro sulama) veya karık sulamadan kaynaklanan tuz birikim desenlerine karşın tüm tarla boyunca üniform derinlikte su uygulayan yüzey sulama veya yağmurlama sulama için tuz birikim desenleri gösterilmiştir. Karık sulamada, tuzlar salma sulamaya benzer şekilde toprak derinliğiyle birlikte artar fakat su tarafından örtülmeyen alanlarda da birikir. Tuzlar suyla birlikte suyun hızla buharlaştığı en yüksek noktaya kadar taşınırlar ve yerçekimiyle sular drene olurken daha

derinlere yıkanır. Lokalize sulama için tuzlar damlatıcıdan itibaren ıslanan toprak kenarlarında birikirler. Bu, kürenin en dış kenarında tuzluluğun en yüksek olduğu bir ıslak küresel şekil doğurur.

Yıkama yapılırken suyun tatminkar şekilde infiltre olmadığı yerlerde sık şekilde isole tuz birikim cepleri meydana gelmektedir. Bunlar yüksek alanlar, daha yoğun toprağa sahip alanlar veya sulama esnasında yeterince su almayan alanlar olabilir. Tipik şekilde bunlar çıplak benekler veya gelişimin azaldığı veya bodurlaştığı alanlar şeklinde görünürler. İyi planlanmış bir yağmurlama sistemi genellikle en iyi su uygulama homojenliği sağlar fakat çoğu zaman bu problem kullanılan sulama sisteminin neden olduğu sorundan farklıdır.

Her sulama yöntemi belirli avantajlara ve dezavantajlara sahiptir ve sulama sisteminin değiştirilmesi yoluyla tuzluluğun kontrol altına alınması için iyileştirmeye yönelik bir adım atılmadan önce bilinen tüm faktörler dikkate alınmalıdır.

Yüzey salma yöntemleriyle (salma, tava ve karık), uygulanan suyun toprağa infiltre olan derinliği tarlada yerden yere değişir ve mevcut infiltrasyon hızı zamana bağlı olarak değişim gösterir. Arazi eğimi, sıkışma derecesi, tekstürel değişiklikler ve toprak kimyası tarafından İnfiltrasyon hızında farklılıklara neden olunmaktadır. İnfiltrasyona tanınan zaman da değişmektedir; su kaynağına en yakın tarlanın daha üstteki ucu, daha aşağıdaki ucundan daha uzun zaman toprak yüzeyi üzerinde genellikle suya sahiptir. Tipik olarak tarlada aşağılara doğru mesafenin yaklaşık üçte ikisi ise en kuru alandır. Tarladaki yüksek noktalar da daha az su alır çünkü yüksekte olma daha az suyla daha kısa süre örtülme anlamına gelir.

Yüzey sulama yöntemleri her sulamada 80-100 mm'den daha az su uygulamaları için genellikle tatmin edici şekilde esnek değildirler. Sonuç olarak, muhtemel su stresini azaltabilmek için daha sık şekilde yapılan sulamalar, su kaybına, su işgallerine ve drenaj problemlerine de neden olabilir. Su stresinin hafifletilmesi için yüzey sulamalarından ziyade yağmurlama veya damla sulamayla sulama sıklığının artırılması daha kolay olabilir. Bununla birlikte yağmurlama ve damla sulamanın kendi problemleri de bulunmaktadır ve her türlü su, toprak ve iklim şartlarına veya bitki tipine adapte edilemezler.

İyi planlanmış bir yağmurlama sulama sistemi oldukça üniform ve yüzey akışa neden olmayacak şekilde yeteri kadar düşük su uygulama hızlarında su uygulayacaktır. İyi yönetilirse,

mükemmel bir tam sulama ve yeterli üniform yıkama sağlayacaktır. Sulama süresi, başlık aralığı ve başlıkların meme çapı ayarlanarak uygulanan su derinliği kontrol edilebilir. Rüzgarlar su dağılım desenini bozabilirler ve dikkate alınmalıdırlar. Bitkilerin özellikle tuzluluğa, yüksek sıcaklıklara ve toprağın kaymak tabakası bağlamasına duyarlı olduğu zamanlarda yağmurlayıcılar bazen sıcaklık kontrolünde, çimlenme ve erken fide gelişiminde yardımcı olarak kullanılırlar. Bunun yanında yağmurlama başlıklarının rotasyonları sırasında su buharlaşırken yapraklar üzerinde tuzlar (sodyum veya klor) aşırı şekilde konsantre oluyorsa, duyarlı bitkiler üzerinde yağmurlayıcılar yaprak yanmasına neden olabilir. Konsantre olan bu tuzlar absorbe edilirlerek toksikliğe neden olabilir. Bu problemler de ayrıntılı olarak Bölüm 4.3'te tartışılmıştır.

Sıcak kurak alanlarda yağmurlama esnasında oluşan buharlaşma kaybı ve toprağa infiltre olan su tuzluluğundaki muhtemel artışlar, yağmurlama sulamanın kullanımı hakkında ifade edilen endişelerden birisidir. Ancak bu endişeyi doğrulayabilecek kadar önemli derecede buharlaşma olduğuna açık delil bulunamamıştır. USA California Imperial ovasında sabit yağmurlama sulama sistemi kullanılan bir tarla çalışmasında, sıcak kuru bir günde (sıcaklık 47°C, nispi nem %27 ve rüzgar hızı 3.7 km/h) evaporasyon kayıplarının tarla kenarında su tuzluluğunda %20'lik bir artışa neden olduğu fakat tarlanın ana kısmında %5 den daha az bir artış olduğu gösterilmiştir (Robinson 1973). Diğer olaylar benzer buharlaşma kayıpları göstermiştir. %5'ten daha az bir konsantrasyon faktörünün çok az etkiye sahip olması beklenilir fakat %20'lik faktör tarla kenarlarında tuza duyarlı bitkiler için bazı zorluklara neden olabilir.

Lokalize sulama sistemleri (mikro sulama veya damla sulama) çok düşük uygulama oranlarında (2.8 l/h) günlük veya günlük baza yakın su uygulamaktadır. Bitkiler tarafından kullanılan ve neredeyse günlük olarak tazelenen su, toprağı tarla kapasitesi veya biraz üstünde nemli tutar. Sulamalar hafif tutulmalı fakat mükemmel olarak kısa dönemli tuzluluk kontrolü için hemen hemen sürekli aşağı doğru su ve tuz hareketi olmalıdır. Bitki yetiştirme döneminde sulama etkinliği %100'e yakın olabilir. Bu, yüzey akış ve derine sızmalar nedeniyle kayıplar oluşmaksızın bitki evapotranspirasyon ihtiyacının temel olarak karşılanabildiği anlamına gelir.

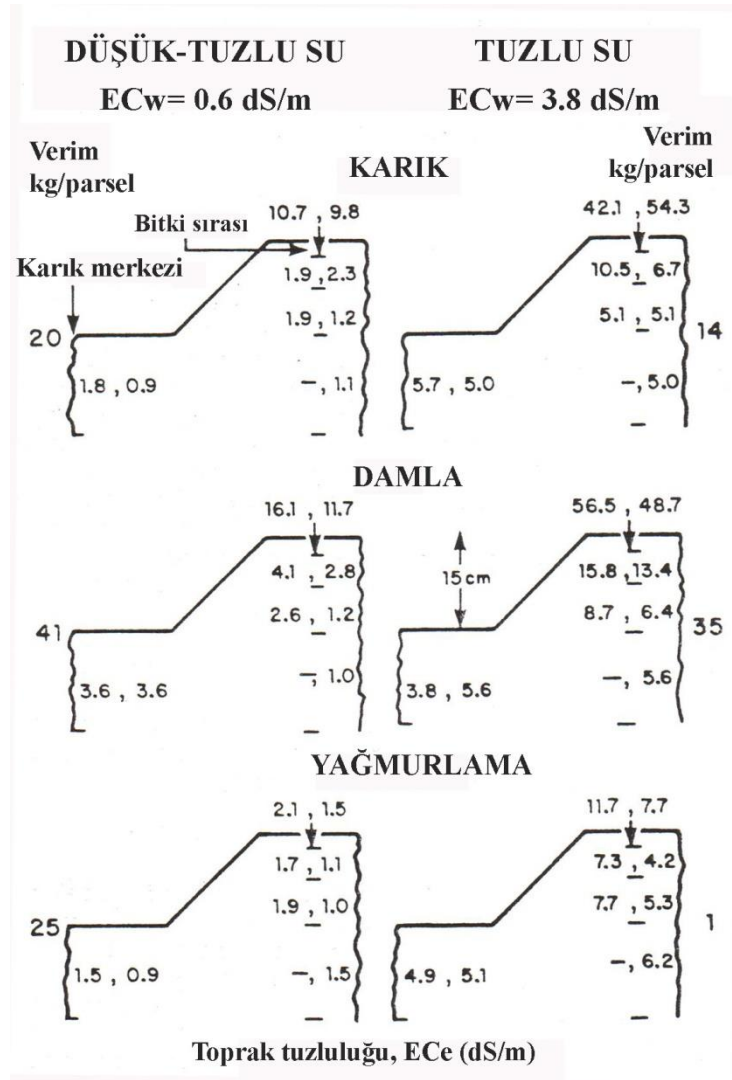
Mikro sulama sistemlerinde de tuzlar birikim gösterebilir. Bununla birlikte tuzlar, damlatıcılar arasındaki toprak yüzeyinde ve su uygulayıcılar tarafından ıslatılan alanının dış kenarlarında birikmektedir (Şekil 17). Zamanla damlatıcılar arasındaki ıslak kenarlarda ve torrak yüzeyindeki bu tuz birikimi görülür hale gelmektedir. Söz konusu tuzların yağmurla bitki kök

bölgesine geri taşınması ve yıllık bitkilerde ise ön yıkama yapılmaksızın bu tuzlu alanlara yeni dikimler yapılması bir tehlike oluşturmaktadır. Diğer taraftan, birikmiş tuzları yıkayabilmek için her dönemde yağış yeterli ise hiçbir problem beklenilmeyecektir. En tehlikeli dönem, yüzey tuzlarının aşağı doğru hareket etmeye başladığı fakat kök bölgesinin altına tuzları taşımak için henüz yeterli yağış düşmediği ilk yağıştan hemen sonrası olarak düşünülmektedir. Yağış esnasında düzenli sulamalara devam edilmesi veya 50-100 mm yağış düşene kadar sulamalara devam edilmesi önerilmektedir. Şayet yağış yetersizse, mikro sulama sistemleriyle birlikte destekleyici yıkamaya ihtiyaç duyulabilir.

Mikro sulama sistemlerinin kullanıldığı sulama mevsiminden sonra ve yeniden ekimden önce yağmurlayıcılarla veya yüzey sulamayla yıkama yapılması, birikmiş tuzların yıkanmasında etkilidir. Bununla birlikte ikinci bir sulama sistemine ve fazla miktarlarda ek suya ihtiyaç duyulacak fakat nispeten tuzlu su ve mikro sulama sistemi kullanıldığında iyi üretimin sürdürülmesi için gerekli olabilir.

İyi kaliteli sularla karşılaştırılabilir şartlar altında damla sulamada verim diğer sulama yöntemlerine eşit veya hafifçe daha iyidir. Daha yüksek tuzlu sular ($EC_w > 1.0$ dS/m) ile damla sulamanın bitkiler tarafından kullanılan suyu günlük olarak tazelemesi nedeniyle sürekli yüksek nem sağlanır ve verim hala çoğu zaman daha iyidir. Sık yağmurlama sulama yapılması da benzer sonuçlar verebilir fakat yapılan deneylerle yaprakların sodyum ve klor absorpsiyonundan kaynaklanan aşırı yaprak yanmalarına, yaprak dökülmesine ve verim düşüşlerine işaret edilmektedir. Her zamanki sulama yöntemiyle tuzluluk birikimi bitki toleransını geçiyorsa, damla sulamayla daha iyi bir verim mümkün olabilir.

Yalnızca birkaç duruma adapte edilmiş yüzey altı sulaması, kök bölgesine doğru su tablasının hızlı şekilde yükseltilmesi ve sonra havalanma problemlerini önlemek için birkaç saat veya bir iki günde drene edilmesi vasıtasıyla yapılır. Su tablasının yükselmesi ve düşmesi için harcanan zaman 2-5 gündür. Tuzluğun su tablasından veya topraktan kaynaklanıp kaynaklanmadığına bakılmaksızın suyun yukarı doğru hareketi, toprak yüzeyinde veya toprak yüzeyi yakınlarında tuzları konsantre etme eğilimi gösterir. Tuz birikimi yeterli yağış veya ekim öncesi yıkamayla kontrol edilmelidir. Toprağın periyodik olarak doğal yağış veya yüzeye uygulanan yıkama suyu vasıtasıyla yıkanmaması durumunda düşük kaliteli yeraltı sularıyla yüzeyaltı sulaması kullanılamayabilir.



Şekil 18. Bitki sıra ve karıklarında toprak tuzluluğu ve üç sulama yöntemiyle iki farklı kalitede sulama suyu kullanılarak sulanan dolmalık biberlerin verimi (her bir resimdeki çift rakamlarda ilki sulama öncesi ve diğeri sulama sonrası tuzluluğu göstermektedir) (Bernstein ve Francois 1973a).

Şekil-18, dolmalık biberin çeşitli sulama yöntemleriyle sulanması sonucu ortaya çıkan tuz dağılım desenlerini göstermektedir. Bu şekilde aynı miktarlarda su kullanılmasına rağmen her bir yöntemin önemli şekilde farklı verim sonuçları doğurduğu da gösterilmektedir. Damla sulamayla, normalde iyi kaliteli su olarak dikkate alınan suyla ($EC_w = 0.6$ dS/m) sulanan bir bitki yağmurlama ve karıkla sulanan bitkilerden yaklaşık %50 daha fazla verim vermiştir. Daha yüksek tuzlu sulama suyu ($EC_w = 3.8$ dS/m) ile damla sulama sisteminin avantajı daha çok hissedilmiştir. Verimdeki farklılığının bir bölümü muhtemelen damlaticıların bitkilere daha yakın yerleştirilmesi ve daha sık sulamalar yapılmasıyla açıklanabilmektedir. Üstten

yağmurlayıcılarla ıslanan yapraklar tarafından sodyum ve klor absorpsiyonuyla bitkinin zarar görmesinin aksine damla sulama daha iyi tuzluluk kontrolü sağlamıştır.

2.4.6 Tuzluluğun Kontrol altında Tutulması İçin Arazi Geliştirme

Tuzluluğu kontrol altına alma alternatifleri hakkında daha önce bahsedilen açıklamalar, her yıl veya her bitki için ihtiyaç duyulan uygulamalara vurgu yapar ve arazi geliştirme sürecinin ilk safhasında bir kez yapılanların aksine sık şekilde tekrarlanırlar. Arazi geliştirme ve zarar görmüş arazilerin ıslahına yardımcı teknikler seyrek şekilde tekrarlanırlar, çoğunlukla maliyetlidirler ve tamamlanabilmeleri için özel mühendislik gerektirirler. Sulama tuzluluk kontrolü ve bitki yetiştirme için bunların amacı mevcut toprak şartlarını sürekli şekilde iyileştirmektir. Arazi geliştirme evreleri sürecinde icra edilen tipik uygulamalar, verilen bir eğimde arazinin tesviye edilmesi, yeterli drenajın tesisi (kapalı veya açık drenler), toprağın fiziksel olarak profilinin değiştirilmesi için derin sürüm veya yüzeysel sürüm yapılması ve aşırı tuzluluğun düşürebilmesi için yıkama yapılmasıdır.

i. Arazi eğimlendirme

Tatminkar şekilde su dağılımı ve üniform infiltrasyon sağlanması için arazi yeterli şekilde eğimli değilse tuzluluk kontrolü zorlaşır. Arazi eğimlendirmesi, tarlanın doğal eğiminin düzgün bir eğime çevrilmesidir. Eğimlendirmeye birlikte belirli miktarda toprak sıkışmasına neden olunur ve arazi eğimlendirmesini müteakiben ağır arazi eğimlendirme ekipmanları tarafından neden olunan kompaksiyonu kırmak ve su penetrasyonunun düzgünlüğünü ve yıkamayı iyileştirmek amacıyla alt toprak işleme, çizel çekme veya sürümle takip edilmesi tavsiye edilmektedir. Basitçe arazi yüzeyinin düzeltilmesi iyi bir işlem olmasına rağmen arazi eğimlendirmesiyle eşdeğer tutulamaz veya onun yerini alamaz. Bölüm 2.4.4'te de arazi eğimlendirme ve arazi düzeltme üzerinde durulmuştur.

ii. İyileştirilmiş yüzealtı drenajı

Yüzey altı drenaj problemleri ve sığ su tablası büyük ölçüde tuzluluk kontrolünü daha karmaşık hale getirir. Bir kil bariyeri, sıkışmış toprak katmanı veya kaya yataklar gibi toprak yüzeyi altında yavaş şekilde geçirgen bir tabaka varlığı nedeniyle çoğu zaman sığ su tablası oluşur. Daha sık şekilde drenaj problemleri aşırı sulamalar tarafından neden olunur fakat yukarı alanlardan sızmayla veya kanallardan kayıplarla da drenaj problemlerine neden olduğu bilinmektedir. Sığ bir taban suyu ile ilişkili en etkili tuzluluk kontrol önlemi öncelikle su

tablasının düşürülmesi ve kararlı hale getirilmesidir. Düşük su kalitesi tarafından neden olunan tuzluluğun kontrol altında tutulması için dikkate alınan birincil seçeneklerden birisi olarak Bölüm 2.4.1’de drenaj gereksinimleri ele alınmıştır. Drenaj ihtiyaçları, drenaj etütleri ve projelendirmesi, daha detaylı şekilde Dieleman ve trafford (1976) ve Dieleman et al. (1980)’de ele alınmıştır. Şayet yeni bir alan üretime açılacaksa, drenaj dikkate alınmalıdır. Sulanan alan veya herhangi bir sulama projesinin uzun dönemli başarısı için drenaj esas teşkil eder. Şayet herhangi bir şekilde drenaj problemleri ön görülüyorsa, bu problemler için hemen veya gelecekte kontrol altına alınması için planlar formüle edilmelidir. Tesis edilmiş yeterli drenajla, sulama yönetimi vasıtasıyla yüzey toprak tuzluluğu kontrol altında tutulabilir.

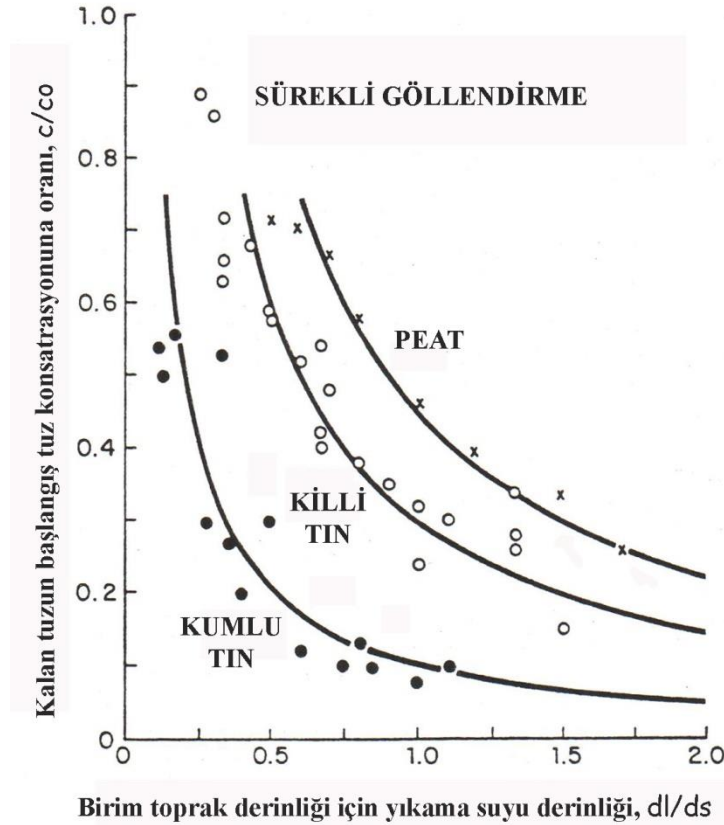
iii. Derin toprak işleme

Tabakalı toprakların etkili bir şekilde sulanması zordur. Kil tabakaları, kum veya sert tabakalar, tuzluluğun kontrolü için esas olan suyun derine sızmasını geciktirirler veya engellerler. Bu tabakalar kırılır, bozulur veya en azından daha fazla su geçirgen yapırlarsa, bitki su ihtiyacının karşılanması ve tuzluluk kontrolünün sağlanması için yapılan sulamalar büyük oranda kolaylaştırılabilir. Alt toprak işleme ve çizel çekme yalnızca geçici iyileştirmeler olarak dikkate alınmakta ve genellikle kısa ömürlü olmaktadır (1-5 yıl). Derin ve tabakalar arası sürüm sürekli şekilde içsel drenajı iyileştirebilmektedir. Bunlar genellikle arazi eğimlendirme ve drenajdan sonra fakat ihtiyaç duyulan her hangi bir ıslahtan önce yapılmaktadırlar. Derin veya tabakalar arası sürüm maliyetlidir ve dağılmış toprağın oturmasına fırsat vermek amacıyla genellikle sürümü takiben arpa gibi yıllık bitkilerin yetiştirilmesi gereklidir. Yeniden uygun eğimlendirme yapılması için bir veya iki kez arpa yetiştirilmesinin ardından genellikle bir eğim düzeltilmesi gerekir. Bir çok durumda, rüzgar veya su birikim kumulları yeteri şekilde tabakalanmıştır ve böylece derin sürüm ve derin çizel çekilmesi bitki gelişimi ve verimini büyük oranda iyileştirecektir.

iv. Islah yıkaması

Şayet tuzluluk aşırıysa ve büyük oranda ekilmesi planlanan bitkilerin toleranslarını aşıyorsa, bitki yetiştirilmesinden önce tuzluluğun düşürülmesi (ıslah) için büyük bir yıkama gerekli olabilir. Toprağın geçmişinde yaşanan bir takım olaylar nedeniyle tuzlar birikmiştir. Bu tuzlar sığ bir taban suyunun varlığı nedeniyle veya sulama suyu ile birlikte getirilmiş tuzların yetersiz yıkanması sonucu birikmiş olabilirler. Her bir durumda da, herhangi bir bitki yetiştirilmesine teşebbüs edilmeden önce üst kök bölgesindeki (0.3 m) tuzların konsantrasyonu bitki toleransı civarına düşürülmelidir. Üst kök bölgesi yaklaşık $EC_e = 10-12 \text{ dS/m}$ ’den daha düşük

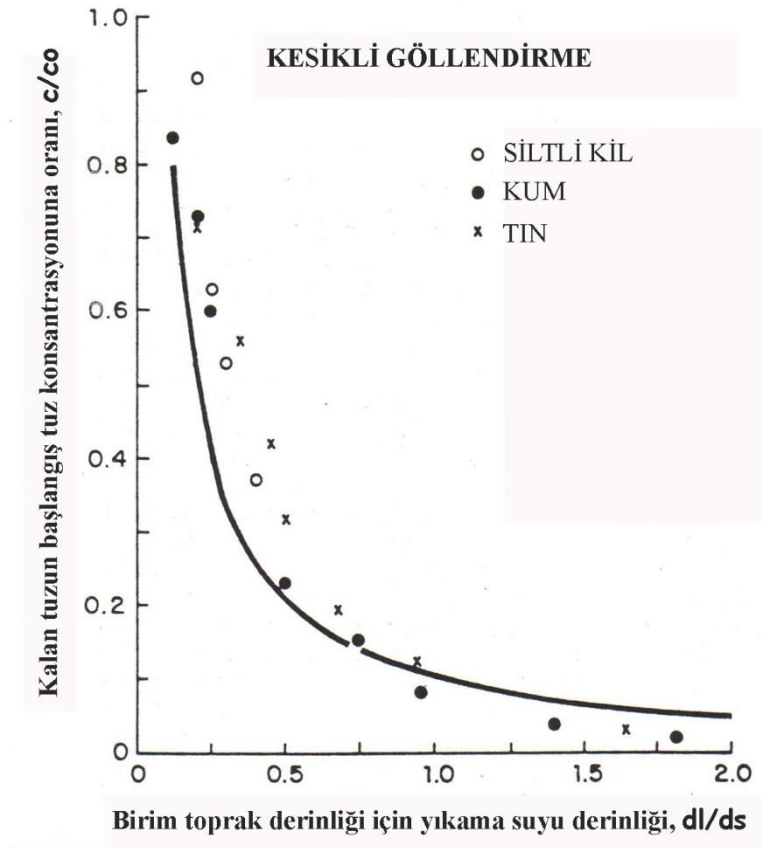
tuzluluktaki topraklarda, ekimi takiben hafif bir sulamayla ikiye katlanmış bir ekim öncesi sulama (yağmurlayıcılar veya salma) gibi 10-20 cm'lik su uygulaması arpa veya pamuk gibi toleranslı bitkiler ile başlanması için genellikle yeterlidir. Üst kök bölgesi tuzluluğu $EC_e = 10-12$ dS/m'den daha fazla ise, ekim öncesi sulama yeterli olmayabilir ve arpa gibi toleranslı bir bitkinin ekiminden önce bile ekim öncesinde bir ıslah yıkamasının yapılması önerilmektedir.



Şekil 19. Sürekli göllendirmeye tuzlu bir toprağın ıslah edebilmesinde birim toprak derinliği için gerek duyulan yıkama suyu derinliği (Hoffman 1980).

Yeterli ıslahtan emin olunabilmesi için uygulanması gerekli su derinliği, başlangıç toprak tuzluluğuna ve kullanılan yıkama yöntemine bağlıdır. Daha yüksek tuzluluk daha fazla suya ihtiyaç duyar. Aralıklı yıkama sürekli yıkamaya (göllendirme) göre toprak tuzluluğunu daha etkili şekilde (daha az su kullanarak) düşürmekte fakat yıkamanın tamamlanması için gereksinim duyulan zamanı artırır. Islah yıkaması sırasındaki toprak nemi, etkileyici bir faktördür. Aralıklı yıkamada yapıldığı gibi sızan su yavaş şekilde sızarsa (doğun olmayan akış) ve zamanla tarla kapasitesine kadar drenaja fırsat verilirse yıkama etkinliği artar. Sürekli göllendirmede yüksek oranlarda yıkama suyu büyük toprak gözeneklerinden sızarlar ve küçük

gözenekleri es geçerler. Tuzlar bu küçük gözeneklerde tutulur ve böylece uygulanan birim su için daha düşük hızda uzaklaştırılırlar. Yağmurlayıcılar nispeten düşük hızda su uygularlar ve yıkamada çok etkindirler.



Şekil 20. Aralıklı şekilde su göllendirmesiyle tuzlu bir toprağın ıslah edebilmesinde birim toprak derinliği için gerek duyulan yıkama suyu derinliği (Hoffman 1980).

Islah yıkamasının tamamlanabilmesi için uygulanması gerekli su derinliğinin hassasiyetle belirlenmesi mümkün değildir fakat sürekli göllendirme için bir kılavuz değer olarak başlangıçta mevcut çözünebilir tuzların %70-80'ini, ıslah edilecek toprak derinliğine eşdeğer derinlikte su uygulanmasıyla uzaklaştırılacaktır. Örneğin, perkole olan 1 m'lik suyun 1 m'lik toprak derinliğinden tuzların %70-80'ini yıkaması beklenilir. Şekil 19, uzaklaştırma yüzdesinin yüksek derecede toprak tipine bağlı olduğunu göstermektedir. Fakat genel bir klavuz değeri olarak %70-80'lik tuzun uzaklaştırılması, sulanan bir çok toprak için makul derecede temsilidir. Yağmurlayıcılar veya aralıklı göllendirme için başlangıçta mevcut tuzların yaklaşık %80-90'ını, ıslah edilecek toprak derinliğine eşdeğer derinlikte su uygulanmasıyla uzaklaştırılacaktır fakat yıkamanın tamamlanabilmesi için daha fazla zamana gereksinim

duyulur. Şekil 20’de, aralıklı göllendirme ile yıkamada sürekli göllendirmede olduğu kadar toprak tipinin önemli rol oynamayacağı gösterilmektedir.

Karık sulamada kullanıldığı gibi yükseltilmiş ekim yatağının düzleştirilmiş tepe kısmına oldukça yakın aralıklı damlatıcıları bulunan bir lateral hattın yerleştirilmesiyle oluşturulan damla sulama sistemi ıslah için başarılı şekilde kullanılmıştır. İstenilen yıkama tamamlanıncaya kadar sulamaya devam edilir. Ekim sonrasında, bitki damla sulamayla sulanır. Toprakta oluşan ıslah edilmiş bölge küre şeklindedir ve kürenin tepesinde damlatıcı bulunur (Şekil 17). Tuzlar ıslanan alanın daha dıştaki saçaklanma kenarına ve damlatıcılar arasındaki ıslanmayan alana yıkanır ve evaporasyonla toprak yüzeyinde belirgin tuzluluk oluşur. Şayet hafif bir yağmur, birikmiş bu tuzları kök bölgesine geri taşırsa, bu yüzey tuzları bazan sıkıntı verir (Bölüm 2.4.5, damla sulamaya bkn.).

Tuzluluk aşırı değilse, tuza toleranslı bir bitki yetiştirilmesi sırasında uygulanan fazladan sulama suyu, ıslahı tamamlayacaktır. Arpa ve pirinç yaygın şekilde kullanılan ıslah bitkileridir. Islah bitkileri, üst toprak tuzluluğu söz konusu bitkilerin toleransı içerisine düşer düşmez mümkün olan en kısa sürede ekilirler. Bitkilerin ıslaha yardım ettiğine inanılır. Toprakta ilave su infiltrasyonuna fırsat verecek şekilde toprağı daha açık tutmayı sağlayan köklerin fiziksel faaliyetleri, organik madde ileve edilmesi veya daha iyi toprak yapısını teşvik eden ardıl ıslanma ve kurumaları içine alan bir ortak etki nedeni ile bitkilerin ıslaha yardımcı olduğuna inanılır.

Arazi üzerinden su akıtılarak veya yüzey akışla toprak yüzeyinden tuzları uzaklaştırma teşebbüsleri, nispeten etkili değildir. Yüzey su akışı tuzların bir kısmını uzaklaştıracaktır fakat belirgin şekilde ıslahın başarılabilmesi için bu şekilde uzaklaştırılan tuz miktarları genellikle tamamen yetersiz kalır.

2.4.7 Su kaynaklarının değiştirilmesi veya karıştırılması

Su kaynaklarının değiştirilmesi basittir fakat bir su kalitesi problemine radikal çözüm getirir. Yalnızca daha iyi bir su kaynağı mevcut ise değiştirme işlemi mümkündür. Örneğin, daha iyi kaliteli bir su kaynağı mevcutsa genellikle düşük kaliteli yer altı suyu bırakılmaktadır. Fakat buna rağmen hala bir su kaynağı kısıtı bulunuyorsa yer altı su kullanımının terkedilmesi zorunlu değildir. Bu şartlar altında, daha iyi kaliteli suyla daha düşük kaliteli suyun karıştırılmasına odaklanılmalı ve bu şekilde toplam kullanılabilir su miktarı artırılmalıdır. Suların karıştırılması

toplam tuz yükünü azaltmayacak fakat seyretme ile neden olunan su hacimdeki artış nedeniyle daha fazla alanın ekimine fırsat verilebilmektedir.

Tuzluluğun kontrolü için gerek duyulan ek su miktarının (ek yıkama gereksiniminin) karıştırılan mevcut su miktarındaki net kazanımı geçmediğinden emin olmak amacıyla karıştırılmış suyun kullanılabilirliğinin dikkatli şekilde değerlendirilmesi için Çizelge 1'deki değerler kullanılabilir. Karıştırılmış suyun kalitesi aşağıdaki Eşitlik (13) kullanılarak bulunabilir:

$$\text{Karıştırılmış su konsantrasyonu} = \left[\text{a suyu konsantrasyonu} \times \frac{\text{a suyu kullanım oranı}}{\text{orani}} \right] + \left[\text{b suyu konsantrasyonu} \times \frac{\text{b suyu kullanım oranı}}{\text{orani}} \right] \quad (13)$$

Eşitlikte konsantrasyonlar ya EC_w yada me/l olarak ifade edilmektedir fakat aynı konsantrasyon birimleri tüm eşitlikte kullanılmalıdır.

Tuzluluğun kontrolü için su kaynaklarının karıştırılması yaygın bir uygulama değildir. Bir çok su kullanıcısı iki su arasında çevrim yapmaktadır. Değişimli kullanım, kış yağışlarının veya kış sulamalarının yıkama gereksiniminin çoğunun veya tamamının karşılandığı bölgelerde özellikle yararlı olabilir. Uygulanan toplam tuz yükü aynı kalacağından dolayı, bitki yetiştirme sezonunun ilk dönemlerinde daha iyi kaliteli kaynağın kullanımı ve bitkinin tuzluluğa daha az duyarlı olduğu zaman daha düşük kaliteli karışım suyunun kullanımı tavsiye edilebilir. Karıştırmayla ilişkili bir örnek Örnek 5'te ve Çizelge 10'da verilmiştir.

Örnek 5. Mısır için sulama suyunun karıştırılması

Bir çiftçi kanal suyu ile ($EC_w = 0.23$ dS/m) mısır sulamakta ve etkili sulama uygulamaları kullanarak 0.15'lik bir yıkama oranını sağlayabilmelidir. Sulunan alan genişletilebilir durumda fakat ek kanal suyu mevcut değildir. Kullanışlı bir kuyu bulunmaktadır fakat su kalitesi mısır üretimi için marjinal kalmaktadır ($EC_w = 3.6$ dS/m). Bu iki su kaynağı güvenli şekilde karıştırılabilir mi ve böylece ne kadar sulama alanı artar?

Verilenler:

Kanal Suyu	$EC_w = 0.23$ dS/m
Kuyu Suyu	$EC_w = 3.6$ dS/m

Mısırın su ihtiyacı	ET	= 800 mm/yıl
Sağlanacak yıkama oranı	LF	= 0.15

Açıklama:

Mısırın %90'lık verim potansiyeli için gereksinim duyulan yıkama oranı eşitlik (9) kullanılarak tahmin edilir.

$$LR = \frac{EC_w}{5 (EC_e) - EC_w} \quad (9)$$

$$LR_{kanalsuyu} = \frac{0.23}{5 \cdot (2.5) - 0.23} = 0.02$$

$$LR_{kuyu suyu} = \frac{3.6}{5 \cdot (2.5) - 3.6} = 0.40$$

Kanal suyu için hesaplanan yıkama gereksinimi (LR) çiftçi tarafından erişilen gerçek yıkamadan daha azdır. Su aşırı yıkamayla kaybedilmekte fakat 0.15'ten daha az bir yıkama oranı genellikle sağlanamamaktadır. ET'ye ilave edildiği zaman tek başına kuyu suyunun hesaplanan yıkama gereksinimi, üretim için gereksinim duyulan su miktarını fazla şekilde artıracaktır. Örneğin, 0.15'lik bir LF ve kanal suyu ile uygulanması gerekli (AW) Eşitlik (7) den bulunur:

$$AW = \frac{ET}{1-LF} \quad (7)$$

$$AW = \frac{800}{1-0.15} = 941 \text{ mm/yıl}$$

Kuyu suyu için:

$$AW_{kuyusuyu} = \frac{800}{1-0.40} = 1333 \text{ mm/yıl}$$

Tek başına kuyu suyu kullanımıyla kanal suyu kullanılarak elde edilen üretim kadar mısır üretimine ulaşabilmek için hektar başına su kullanımında %40'lık bir artışla sonuçlanmaktadır.

Çizelge 4’den 0.15’lik yıkama oranıyla %90’lık verim potansiyeline izin verecek karıştırılmış suyun maksimum elektriksel iletkenliği (EC_w) 1.7 dS/m dir. Optimum su karışımı eşitlik (13)’ün düzenlenmesiyle bulunabilir:

$$(EC_{w \text{ kanal suyu}} \times a) + (EC_{w \text{ kuyu suyu}} \times b) = \text{Maksimum } EC_w \text{ karıştırılmış su} \quad (13)$$

Eşitlikte;

$EC_{w \text{ kanal suyu}}$	Kanal suyu elektriksel iletkenliği (dS/m),
$EC_{w \text{ kuyu suyu}}$	Kuyu suyu elektriksel iletkenliği (dS/m),
a	Kanal suyu kullanım oranı,
b	Kuyu suyu kullanım oranı,
Maksimum $EC_{w \text{ karıştırılmış su}}$	Karıştırılmış su elektriksel iletkenliği (dS/m).

Şayet $a = 1 - b$ ise yukarıdaki eşitlik:

$$0.23 (1 - b) + 3.6 (b) = 1.7$$

$$3.37 (b) = 1.47$$

$$b = 0.44 \text{ veya } \%44 \text{ kuyu suyu}$$

$$a = 1 - b = 1 - 0.44 = 0.56 \text{ veya}$$

$$\% 56 \text{ kanal suyu.}$$

Çizelge 10. Kanal Suyu ile Kuyu Suyunun Karıştırılmasıyla Elde Edilen Su Kalitesi¹

Kullanılan Kanal Suyu (%)	EC_w (dS/m)	SAR	Karıştırma Oranı (Kuyu Suyu/Kanal Suyu)
0	3.6	17.8	-
20	2.9	15.4	4:1
25	2.8	14.8	3:1
33	2.5	13.6	2:1
50	1.9	11.2	1:1
66	1.4	8.3	1:2
75	1.1	6.8	1:3
80	0.9	5.7	1:4
90	0.6	3.3	1:9
95	0.4	2.0	1:19
100	0.23	0.5	-

¹ Su analizlerinden elde edilen veriler:

	EC _w (dS/m)	Ca (me/l)	Mg (me/l)	Na (me/l)	HCO ₃ (me/l)	Cl (me/l)	SO ₄ (me/l)	SAR
Kanal suyu	0.23	1.41	0.54	0.48	1.8	0.29	0.17	0.5
Kuyu suyu	3.60	2.52	4.0	32.0	4.5	25.1	8.9	18.0

Bir hektar için yıllık uygulanan su miktarında (AW/ha/yıl) hiç artış olmadan AW= 941 mm/ha/yıl kanal suyu ile sulanan mevcut alanın, kanal suyu ile %44 kuyu suyu karıştırılırsa genişletilebileceğini yukarıdaki örnek göstermektedir. Verim potansiyeli %90 civarında tutulacak ve ekili alan %44 genişletilebilecektir.

3. İNFİLTRASYON PROBLEMLERİ

3.1 İNFİLTRASYON PROBLEMİ

Bir sonraki sulamadan önce bitkinin ihtiyaç duyduğu suyla toprağı tekrardan yenilemek için normal sulama çevrimi sırasında sulama suyu toprağı yeterince hızlı şekilde girmiyorsa bir infiltrasyon problemi meydana gelmektedir. Azalan infiltrasyon hızı, uygulanan suyun kalitesi nedeniyle ise genellikle üst birkaç santimetrelilik toprak içerisinde bir problemdir fakat zamanla daha derinlerde de oluşabilir. Tuzluluğı benzer şekilde fakat nihayetinde farklı bir nedenle

bitkiye su sağlanmasında bir problem oluşmaktadır. Tuzluluk depolanan suyun yarayışlılığını azaltırken su infiltrasyon problemi bitki tarafından daha sonraki kullanım için toprağa giren suyun miktarını düşürmektedir.

İnfiltrasyon toprağa su girişini ifade eder. Suyun toprağa giriş hızı infiltrasyon hızı olarak belirtilir. Permeabilite (Bu terim Sulama ve Drenaj Yayın No. 29'un 1976 basımında kullanılmıştır), daha doğru şekilde toprakta infiltre olan suyun perkolasyonunu ifade eder. Su kalitesi problemleri üstteki birkaç santimetrelik toprakta su girişi ve su hareketiyle ilişkili olduğundan dolayı daha önce kullanılan "permeabilite problemi" teriminden ziyade "infiltrasyon problemi" terimi seçilmiştir. 12 mm/h'lik infiltrasyon hızı nispeten yüksek kabul edilirken 3 mm/h kadar düşük bir infiltrasyon oranı düşük olarak dikkate alınmaktadır. Toprak tekstürü ve kil mineralleri gibi toprağın fiziksel karakterleri değişebilir katyonları içeren su kalitesinden başka bir çok faktör tarafından infiltrasyon hızı etkilenebilmektedir. Çizelge 1 değerleri, uygulanan sulama suyu kalitesi tarafından neden olunan toprak kimyasındaki istenmeyen değişikliklerle doğrudan ilişkili olan infiltrasyon problemlerine işaret etmektedir. Bu problemler uygulanan sudaki tuzluluk ve nispi sodyum içeriğinin her ikisiyle ilişkilidir. Şekil 21, uygulanan suyun tuzluluğunun (EC_w) ve sodyum adsorpsiyon oranının (SAR) etkilediği yüzey toprağı infiltrasyon hızını grafik şeklinde göstermektedir.

Şekil 21, infiltrasyon problemleri için Çizelge 1'de verilen sayısal değerlerin yerine kullanılabilir.

İnfiltrasyon hızı genellikle tuzluluğun artmasıyla artar ve tuzluluğun düşmesiyle veya sodyum içeriğinin kalsiyum ve magnezyum içeriğine oranı olan Sodyum Adsorpsiyon Oranının artmasıyla düşer. Bu durumda, su infiltrasyon hızının nihai etkisinin uygun şekilde değerlendirilmesi için her iki faktör de (tuzluluk ve SAR) birlikte değerlendirilmelidir.

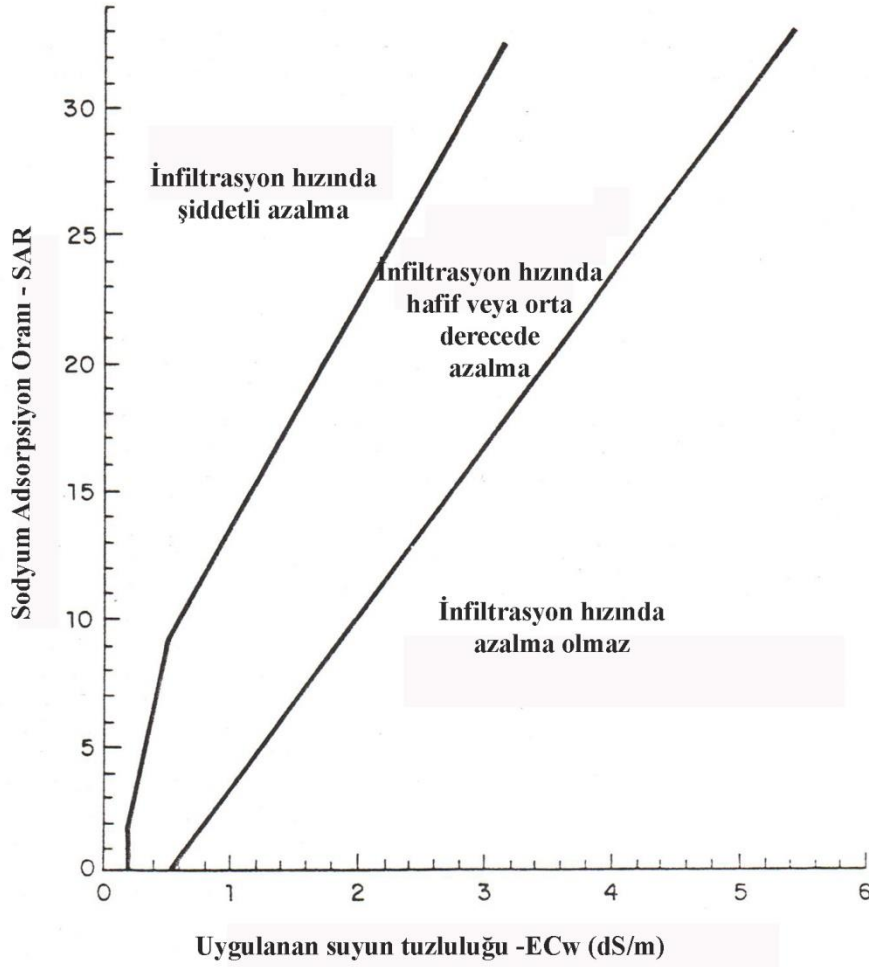
3.1.1 İnfiltrasyon Probleminin Değerlendirilmesi

Düşük tuzlu su (0.5 dS/m'den ve özellikle 0.2 dS/m'den daha düşük) koroziftir ve çözünabilir mineralleri ve tuzları özellikle agregat stabilitesi ve toprak yapısı üzerine kuvvetli stabilize etkiye sahip kalsiyumu toprak yüzeyinden yıkama eğilimindedir. Tuzsuz ve kalsiyumsuz topraklar disperse olurlar. Disperse olmuş daha ince toprak parçacıkları daha küçük gözeneklerin çoğunu doldururarak toprak yüzeyi su infiltrasyon hızında büyük oranda düşüşlere neden olurlar. Verilen bir zamanda toprağa girecek su miktarında bir düşüşe ve nihai

olarak sulamalar arasında su stresine neden olabilmeye ilaveten genellikle toprağın kabuk bağlaması ve bitki çıkış problemleri sonucunu doğurur.

Çok düşük tuzlu su ($EC_w = 0.2$ dS/m'den daha düşük) nispi sodyum oranına bakılmaksızın (veya SAR) nerdeyse değişmez şekilde su infiltrasyon problemleri sonucunu doğurur. Yağmur çok düşük tuzluluktadır ve sulanan alanlar sık şekilde aşırı yüzey akışı sonucunu doğuran istisnai şekilde düşük yağmur suyu infiltrasyon hızlarını tecrübe etmektedir.

Sulama suyundaki aşırı sodyum toprak dispersiyonu ve yapısal dağılmayı da teşvik eder ancak yalnızca sodyumun kalsiyuma 3:1 oranını daha fazla aşması durumunda söz konusudur. Böyle bir yüksek nispi sodyum içeriği ($> 3:1$) çok düşük tuzlulukta olduğu gibi toprak dispersiyonu ve yüzey gözeneklerinin tıkanması nedeniyle çoğunlukla şiddetli su infiltrasyon problemiyle sonuçlanır. Bu, sodyumun dispersiyon etkisini dengeleyebilecek yeterlilikte kalsiyum eksikliği nedeniyle oluşur. Aşırı sodyum, bitki su isteğinin karşılanabilmesi için yeterince suyun sağlanmasını da son derece zorlaştırabilecektir. Toprağın kabuk bağlaması, zayıf fide çıkışı, havalandırma eksikliği, bitki ve kök hastalıkları, ot ve sivri sinek kontrolü gibi düşük infiltrasyon hızı tarafından neden olunan diğer problemler, bitki yönetimini daha karmaşık hale getirebilir.



Şekil 21. Tuzluluk ve Sodyum Adsorpsiyon Oranı tarafından etkilenen nispi su infiltrasyon hızı (Rhoades 1977, Oster ve Schroer 1979'dan adapte edilmiştir).

Geçmişte, bir potansiyel infiltrasyon problemini tahmin etmek için birkaç işlem kullanılmıştır. Kalıcı Sodyum Karbonat Yöntemi (RSC) (Eaton 1950; Richards 1954) bir zamanlar yaygın şekilde kullanılmıştır. İnfiltrasyon problemi potansiyelinin değerlendirilmesi için en genel şekilde kullanılan son yöntem Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) olmuş ve hala SAR uygun olarak kullanılmaya devam edilmektedir (Richards 1954). SAR eşitliği Şekil 1'de verildiği gibidir:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$$

Eşitlikte;

Na : Sodyum (me/l),

Ca : Kalsiyum (me/l),
Mg : Magnezyum (me/l).

Son raporlarda ve dergi makalelerinde, SAR çok daha sık şekilde SAR olarak değil R_{Na} olarak bildirilmektedir. Bu terimler aynı manadadırlar. SAR işlemi kalsiyum ve magnezyumla ilişkili aşırı sodyum nedenli infiltrasyon problemlerini kapsamaktadır. Sulama esnasında veya sonrasında çözülme veya çökmeden kaynaklanan kalsiyum çözünürlüğündeki değişiklikler nedeniyle meydana gelen toprak suyundaki kalsiyum değişikliklerini SAR hesaba katmaz. Tuzluluğun önemli bir parçası olan sodyum, çözünebilirdir ve her zaman değişebilir sodyumla dengede kalır. İster uzun sulama aralıkları arasında bitkiler tarafından su tüketilmesiyle konsantrasyon olsun, ister su uygulanmasıyla seyreltilsin veya drenajla yıkanarak uzaklaştırılsın, dış etkiler sodyum çözünürlüğü ve çökmesi üzerine az etkiye sahiptir. Bunun yanında kalsiyum tamamen çözünebilir şekilde veya sabit kalmaz fakat bir denge kurulana kadar sabit şekilde değişir. Kalsiyum değişiklikleri, toprak minerallerinin toprak suyunda çözülmesi böylece onun kalsiyum içeriğini artırması veya genellikle kalsiyum karbonat şeklinde toprak suyundan çökmesi böylece kalsiyumu düşürmesi nedeniyle meydana gelir. Kalsiyum çözülmesi seyrelmeyle ve toprak suyunda çözülmüş karbondioksit tarafından desteklenir. Kalsiyum karbonat (kireç taşı) veya kalsiyum sülfat (jips) çözünürlüğünü yeterli karbonat, bikarbonat veya sülfatlarla yeterince kalsiyum varlığı geçtiği için çökme meydana gelebilmektedir. Bir sulamanın hemen sonrasında, çözünme veya çökme meydana gelebilir. Bu kalsiyum sağlanmasını değiştirmekte ve uygulanan sudakinden farklı yeni bir kalsiyum konsantrasyonunda bir denge kurulmaktadır. Buna göre bu değişiklikleri hesaba katmadığından dolayı SAR eşitliği bir dereceye kadar hatalıdır. Bununla birlikte, SAR eşitliği ve işlemi sulu tarımda hesaba katılan sulama sularının çoğu için hala kabul edilebilir bir değerlendirme işlemi olarak dikkate alınmaktadır.

Uyarı

Bu kitabın bir önceki baskısında (Ayers ve Westcot 1976) gösterilen düzeltilmiş SAR işlemi artık tavsiye edilmemektedir. Oster ve Rhoades (1977), Oster ve Schroer (1979) ve Suarez (1981) bu işlemi dikkatli şekilde değerlendirmişler ve sodyum zararını aşırı tahmin ettiğine karar vermişlerdir. Şayet bu işlem kullanılmışsa, sözkonusu yöntemle elde edilen değerlerin kalsiyum çökmesi üzerine HCO_3 'ın daha doğru şekilde etkilerinin değerlendirilmesi için bir 0.5 faktörüyle düzeltilmesinin ($adj\ SAR \times 0.5$) iyi olacağını önermektedirler.

Çizelge 11. Verilen HCO_3/Ca Oranı ve EC_w 'la Sulamayı Takiben Yüzeye Yakın Toprak Suyunda Kalması Beklenen Kalsiyum ^{1,2,3}

Uygulanan Suyun Tuzluluğu (EC_w) dS/m													
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
HCO_3/Ca Oranı	.05	13.2 0	13.6 1	13.9 2	14.4 0	14.7 9	15.2 6	15.9 1	16.4 3	17.2 8	17.9 7	19.0 7	19.9 4
	.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.0 2	10.3 5	10.8 9	11.3 2	12.0 1	12.5 6
	.15	6.34	6.54	6.69	6.92	7.11	7.34	7.65	7.90	8.31	8.64	9.17	9.58
	.20	5.24	5.40	5.52	5.71	5.87	6.06	6.31	6.52	6.86	7.13	7.57	7.91
	.25	4.51	4.65	4.76	4.92	5.06	5.22	5.44	5.62	5.91	6.15	6.52	6.82
	.30	4.00	4.12	4.21	4.36	4.48	4.62	4.82	4.98	5.24	5.44	5.77	6.04
	.35	3.61	3.72	3.80	3.94	4.04	4.17	4.35	4.49	4.72	4.91	5.21	5.45
	.40	3.30	3.40	3.48	3.60	3.70	3.82	3.98	4.11	4.32	4.49	4.77	4.98
	.45	3.05	3.14	3.22	3.33	3.42	3.53	3.68	3.80	4.00	4.15	4.41	4.61
	.50	2.84	2.93	3.00	3.10	3.19	3.29	3.43	3.54	3.72	3.87	4.11	4.30
	.75	2.17	2.24	2.29	2.37	2.43	2.51	2.62	2.70	2.84	2.95	3.14	3.28
	1.00	1.79	1.85	1.89	1.96	2.01	2.09	2.16	2.23	2.35	2.44	2.59	2.71
	1.25	1.54	1.59	1.63	1.68	1.73	1.78	1.86	1.92	2.02	2.10	2.23	2.33
	1.50	1.37	1.41	1.44	1.49	1.53	1.58	1.65	1.70	1.79	1.86	1.97	2.07
	1.75	1.23	1.27	1.30	1.35	1.38	1.43	1.49	1.54	1.62	1.68	1.78	1.86
	2.00	1.13	1.16	1.19	1.23	1.26	1.31	1.36	1.40	1.48	1.54	1.63	1.70
	2.25	1.04	1.08	1.10	1.14	1.17	1.21	1.26	1.30	1.37	1.42	1.51	1.58
	2.50	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.17	1.21	1.27	1.32	1.40	1.47
	3.00	0.85	0.89	0.91	0.94	0.96	1.00	1.04	1.07	1.13	1.17	1.24	1.30
	3.50	0.78	0.80	0.82	0.85	0.87	0.90	0.94	0.97	1.02	1.06	1.12	1.17
	4.00	0.71	0.73	0.75	0.78	0.80	0.82	0.86	0.88	0.93	0.97	1.03	1.07
	4.50	0.66	0.68	0.69	0.72	0.74	0.76	0.79	0.82	0.86	0.90	0.95	0.99
	5.00	0.61	0.63	0.65	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.83	0.88	0.93
	7.00	0.49	0.50	0.52	0.53	0.55	0.57	0.59	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74
	10.0 0	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58
	20.0 0	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37
	30.0 0	0.18	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.27	0.28

1 Suarez (1981)'den uyarlanmıştır.

2 Kireç (CaCO_3) veya silikatlardan bir toprak kalsiyum kaynağı olduğu, magnezyumun çökelmediği, toprak yüzeyi yakınında CO_2 'in kısmi basıncının (P_{CO_2}) 0.0007 atmosfer olduğu kabul edilmektedir.

3 Ca_x , HCO_3 , Ca me/l biriminde ifade edilmiştir, EC_w ise dS/m birimindedir.

Kitabın şimdiki basımında Suarez (1981)'in daha yeni düzeltilmiş R_{Na} işlemi tavsiye edilmekte fakat düzeltilmiş R_{Na} 'ya doğru ifade edilen bir seçimle birlikte daha eski SAR ve yeni

düzeltilmiş R_{Na} ($adj R_{Na}$)'nın her ikisi de kabul edilebilirdir çünkü o Çizelge 11 Ca_x değerleri toprak karbonatları silikatlarından kaynaklanan kalsiyum çözülmesi tarafından ekleme nedeniyle veya karbonatlar şeklinde çökeltme tarafından toprak suyundan kalsiyum kaybı nedeniyle toprak suyunda bulunan kalsiyumdaki değişikliklerin daha iyi bir tahminini sunmaktadır.

Takip eden paragraflarda tartışılmış olan yeni bir alternatif işlem eski SAR eşitliğine yeni bir bakış açısı getirmekte ve bir sulamayı takiben beklenen denge değerine sulama suyu kalsiyum konsantrasyonu ayarlaması yapmakta ve karbondioksit (CO_2) etkilerini, bikarbonat etkilerini (HCO_3) ve uygulanan suda baştan mevcut olan fakat şimdi toprak suyunda mevcut olmayan kalsiyum tuzluluğu (EC_w) etkilerini içine almaktadır. İşlem toprak kireci ($CaCO_3$) veya silikatlar gibi diğer toprak minerallerinden bir kalsiyum kaynağı bulunduğu ve magnezyum çökeltmesi olmadığını kabul etmektedir.

Bunun için yeni terimler düzeltilmiş R_{Na} (Düzeltilmiş Sodyum Adsorpsiyon Oranı) ve hesaplama işlemleri, eski Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) üzerine bir geliştirme şeklinde takip eden örnekte sunulmuştur. Sulama suyu kaynaklarındaki nispeten yüksek sodyum (veya düşük kalsiyum) nedeniyle potansiyel infiltrasyon problemlerini daha doğru şekilde tahmin etmede kullanılabilmektedir (Suarez 1981; Rhoades 1982) ve Çizelge 1'deki SAR yerine kullanılabilmektedir. Yüzey toprağı $adj R_{Na}$ hesabı için kullanılan eşitlik daha eski SAR eşitliğine çok benzerdir:

$$adj R_{Na} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}} \quad (14)$$

Eşitlikte;

Na : Sulama suyu sodyum içeriği me/l,

Ca_x : Çizelge 11'den alınan düzeltilmiş Ca değeri me/l. Ca_x uygulanan sulama suyundaki Ca'ı göstermekte fakat uygulanan suyun tuzluluğu nedeniyle modifiye edilmiştir, suyun HCO_3/Ca oranı (HCO_3 ve Ca, me/l) ve toprağın birkaç milimetrelik yüzeyindeki tahmin edilen kısmi CO_2 basıncı ($P_{CO_2} = 0.0007$ atmosfer),

Mg : Sulama suyu Mg içeriği, me/l.

Ca_x çizelgesini kullanmak için (Çizelge 11) önce HCO_3/Ca oranı ve su analizinden suyun elektriksel iletkenliği belirlenir. HCO_3 ve Ca konsantrasyonu me/l biriminde, suyun elektriksel iletkenliği (EC_w) ise dS/m birimindedir. Çizelgenin sol yanında hesaplanan HCO_3/Ca oranları, üstünde ise EC_w değerleri bulunmaktadır. İlgili su için hesaplanmış HCO_3/Ca değerine en yakın düşen HCO_3/Ca oranı bulunur ve değerlendirilecek su için yaklaşık EC_w 'a en yakın EC_w kolonu okunur. Görülen Ca_x değeri denge halinde toprak suyu çözeltisinde kalması beklenen Ca 'u me/l olarak sunmakta ve Eşitlik 14 de kullanılmaktadır. Örnek 6'da şu üç hesaplama işlemi karşılaştırılmıştır: 1) SAR, 2) FAO-29 1976'dan adj SAR ve 3) adj R_{Na} .

Bilgisayar donanımları kullanılıyorsa, bu düzeltilmiş Sodyum Adsorpsiyon Oranının (adj R_{Na}) geçerli değerlerini veren bir simulasyon modeli kurulabilir. Suarez (1981) işleminden daha önce sınırları çizilen adj R_{Na} adapte edilir. Bir bilgisayar simulasyon modeli de bulunmaktadır (Rhoades 1982). Her ikisi de oldukça yakın karşılaştırılabilir sonuçlar vermektedir.

Örnek 6- Suların sodyum zararını hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması

Verilenler:

Su analizi

Ca	= 2.32 me/l
Mg	= 1.44 me/l
Na	= 7.73 me/l
Toplam	= 11.49 me/l
CO_3	= 0.42 me/l
HCO_3	= 3.66 me/l
Toplam	= 4.08 me/l
EC_w	= 1.15 dS/m

Açıklama 1. Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) Eşitlik 1'den hesaplanabilir.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (1)$$

$$SAR = \frac{7.73}{\sqrt{\frac{2.32 + 1.44}{2}}} = 5.64$$

Açıklama 2. Düzeltilmiş Sodyum Adsorpsiyon Oranı (adj SAR) Ayers ve Westcot (1976)'da verilen yöntemden hesaplanabilir:

$$adj\ SAR = SAR [1 + (8.4 - pHc)] \quad (15)$$

Eşitlikte

$$pHc = (pk_2 - pk_c) + p(Ca + Mg) + p(Alk)$$

$$pk_2 - pk_c = 2.3$$

$$p(Ca + Mg) = 2.7$$

$$p(Alk) = 2.4$$

$$pHc = 7.0$$

$$adj\ SAR = 5.64 [1 + (8.4 - 7.0)] = 11.3$$

3. Düzeltilmiş Sodyum Adsorpsiyon Oranı (adj R_{Na}) Eşitlik 14 den ve Çizelge 11'den hesaplanabilir:

$$adj\ R_{Na} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}} \quad (14)$$

$$EC_w = 1.15\ dS/m$$

$$HCO_3/Ca = 1.76$$

$$\text{Çizelge 11'den } Ca_x = 1.43\ me/l$$

$$adj\ R_{Na} = \frac{7.73}{\sqrt{\frac{1.43 + 1.44}{2}}} = 6.45$$

3.2 İNFİLTASYON PROBLEMLERİNİN YÖNETİMİ

İnfiltrasyon hızı düşük olduğunda, bitkiler tarafından daha sonra alınması için toprak su rezervuarının yenilenmesi amacıyla yapılan sulama zor olmakta fakat bitki su isteği veya yıkama gereksinimi karşılamaksızın infiltrasyonu artırabilmek için yapılacak çok az işlem bulunmaktadır. Çoğu zaman uzun süre su göllenmesi ikincil problemleri de artırmaktadır ki söz konusu problemler gerçek su kısıtının neden olduğu verim kayıpları kadar önemlidir ve

infiltrasyonu geliştirmek için koruyucu tedbirleri genellikle belirlemektedir. Tohum yatağının kabuk bağlaması, aşırı ot gelişimi ve kök çürümesine, hastalıklara, beslenme dengesizliklerine, zayıf havalanma ve zayıf çimlenmeye neden olabilen toprak yüzeyinin doygun olması, daha fazla sıkıntıya neden olan ikincil problemlerden bazılarıdır. Bazı durumlarda, uzun zaman diliminde su göllenmesi sivrisinek (mosquito) problemlerine neden olmuştur.

Verimi korumaya yardımcı olabilmek için kullanışlı yönetim adımları, kimyasal yada fiziksel olabilir. Kimyasal uygulamalar, toprak infiltrasyon hızına etkili olan toprak veya su kimyasını değiştirmeyi içine alır. Bu uygulamalar, toprağa veya suya uygulanan jips gibi kimyasal ıslah maddelerin eklenmesiyle veya potansiyel zararı düşürmek için iki veya daha fazla su kaynağının karıştirılmasıyla normalde sağlanmaktadır. Fiziksel yöntemler, sulama veya yağış peryotları esnasında infiltrasyon hızını geliştirmesi veya koruması beklenilebilen kültürel uygulamaları içine alır. Su kalitesi tarafından neden olunan azalmış bir infiltrasyon, kil veya sıkışmış yüzey toprağı tarafından neden olunan düşük infiltrasyona göre farklı bir problemdir. Su kalitesi nedenli infiltrasyon problemi su kaynağında mevcut özelliklerle (Ca, Mg, Na, HCO₃ ve EC_w) ilişkilidir. Bir su kalitesiyle ilişkilili infiltrasyon problemini çözmek için kullanılması muhtemel birkaç seçenek, izleyen paragraflarda tartışılmaktadır. Her bir seçenek bölgesel şartlara uyarlanmalı ve her hangi geniş ölçekli uygulamalardan önce tamamıyla tarla denemeleri yapılmalıdır.

Takip eden yönetim adımları sulama kaynağının kimyasal kalitesi tarafından neden olunan infiltrasyon problemlerini değerlendirme ve üstesinden gelme üzerine yönelmiştir. Eşit önemde bir su kalitesi problemi de kaynak sudaki yüksek sediment muhtevası nedeniyle meydana gelebilecek infiltrasyondaki azalmadır. Bu faktörü dahil etmek bu kitabın kapsamını dışındadır fakat dikkate alınması yararlı olur. Sedimentten kaynaklanan etkilere ait örnekler için Bölüm 8.17'ye bakınız.

3.2.1 Toprak ve Su Islah Maddeleri

Toprak veya suya eklenen belirli kimyasal ıslah maddeleri düşük tuzluluk tarafından veya sulama suyundaki aşırı sodyum (yüksek SAR) tarafından neden olunan düşük infiltrasyon hızlarını iyileştirebilirler. Islah maddesi çözünebilir kalsiyum muhtevasını artırır veya uygulanan suyun tuzluluğuunda (EC_w) önemli artışlara neden olursa, iyileşme beklenilebilir. Genel tarımsal kullanımlarda yeterince düşük maliyette sulama suyundan tuzları veya sodyumu uzaklaştırmak için şu anda kullanışlı ekonomik bir işlem bulunmadığından dolayı ıslah

maddeleri, infiltrasyonu yükseltmeye yardımcı olmak veya sodyumun etkilerini dengelemek için kullanılırlar. Toprak veya suya eklendiğinde jips gibi bir ıslah maddesi, sudaki kalsiyum konsantrasyonunu yükseltecek böylece sodyumun kalsiyuma oranını ve SAR'ı düşürecektir. Tuzluluğu düşük suların tuzluluğunu artırması nedeniyle jips eklenmesi yararlıdır böylece infiltrasyonu iyileştirir (Şekil 21). Şayet düşük infiltrasyon hızı, kötü toprak tekstürü, toprak sıkışması, engelleyici kil tabakası veya sert tabakalar ve yüksek su tablası nedeniyle ise jips benzeri diğer maddelerin eklenmesi herhangi bir iyileştirme sağlamayacaktır.

Yaygın olarak kullanılan toprak ve su ıslah maddeleri çoğu doğrudan (jips) veya toprak çözeltisinde kalsiyumu serbest bırakmak için toprak kireciyle (CaCO_3) reaksiyona giren asit veya asit formuna giren maddeler (sülfirik asit veya kükürt) aracılığıyla dolaylı olarak kalsiyum sağlamaktadırlar. Toprakta kireç bulunmuyorsa asit veya asit formuna giren ıslah maddeleri etkili değildir. Kimyasal ıslah maddeleri pahalıdır ve bitki üretim maliyetine eklenirler. Kimyasal ıslah maddelerinin kullanımları maliyetle ilişkili değerlendirilebilir elle tutulur iyileşme sonucunu veriyorsa söz konusu maddeler desteklenir (savunulur). Su veya toprak ıslah maddelerinin maliyeti savunulabilir bir dereceye kadar su penetrasyonu veya verimi geliştirip geliştiremeyeceklerini belirlemek amacıyla tarla denemelerinin yürütülmesi iyi olur. Islah maddelerinin taşınma ve uygulama maliyetleri artmasına rağmen yeterli su alan ve maksimum verime yakın ürün veren bir bitkinin ıslah maddelerinin kullanımından kaynaklanan ilave bir verim artışı göstermesi beklenilmeyecek fakat bazı durumlarda böyle ıslah maddeleri sulama yönetimini daha kolaylaştırmaktadır.

Düşük tuzlu su ($\text{EC}_w < 0.2 \text{ dS/m}$) veya düşük orta tuzlu suda ($\text{EC}_w < 1.0 \text{ dS/m}$) yüksek SAR tarafından infiltrasyon problemine neden olunmuş ise su ıslah maddeleri daha etkili olur. Yüksek SAR'a ilaveten orta-düşük tuzlulukta ($\text{EC}_w > 1.0 \text{ dS/m}$) ise düşük dereceli jips veya kükürt gibi toprağa uygulanan ıslah maddeleri tercih edilebilirler ve çoğu kez daha etkili olurlar.

i. Jips

Jips, toprak veya su ıslah maddesi olup en yaygın şekilde kullanılan ve bulunabilen bir ıslah maddesidir. Sodik toprakların ıslahı için granüler şeklindeki jips 5-40 t/ha aralığında değişen oranlarda geniş alanlarda kullanılmakta ve toprak içerisine uygulanmaktadır. Hızlı ıslaha gerek duyuluyorsa son derece sodik topraklar için 40 t/ha oranı bir seferlik uygulama şeklinde kullanılabilir. Yıllık 10 t/ha'nın üstünde uygulama oranları genellikle ekonomik değildir. 10 t/ha

üzerindeki yüksek oranlar, köklerin uygun köklenme derinliği oluşturmaya izin vermek amacıyla normalde acil toprak ıslahı için uygulanırlar.

Düşük EC_w veya yüksek SAR nedenli su infiltrasyon sorunu birinci derecede toprağın daha üstteki birkaç santimetrelilik kısmında meydana gelir; böylece yüzey infiltrasyon probleminin düzeltilmesi amacıyla jipsin düşük uygulama oranları şayet ıslah için toprak yüzeyine bırakılır veya toprak içerisinde daha derinlere karıştırmak yerine daha sıkı derinlikte toprağa karıştırılırlarsa daha etkili olurlar. Bununla birlikte, yüzeye uygulanan jips daha hızlı şekilde yikanabilir ve toprak yüzeyinin birkaç santimetre altında hala jips bulunmasına rağmen toprak yeniden infiltrasyon problemi gösterecektir. Suyla ilişkili yüzey infiltrasyon problemleri için, az fakat tekrarlanan toprak uygulamaları daha etkili olabilmekte ancak sodik toprak ıslahı için yalnızca fazla uygulama daha etkilidir.

Suyla ilişkili infiltrasyon problemlerini çözebilmek için sulama suyuna jips uygulanması, genellikle toprağa uygulanandan hektara daha az jipse gereksinim duymaktadır. Su tuzluluğu düşüğe ($EC_w < 0.5$ dS/m) jips suya eklendiği zaman özellikle etkilidir. Mevcut sodyumu etkili şekilde dengelemek için çözeltide yeterli kalsiyum sağlamak ve uygulamadaki zorluklar nedeniyle daha yüksek tuzlu sular için suya uygulanması daha az etkilidir. Uygulamada, alışılmış hızla hareket eden sulama akımları içerisinde 1-4 me/l çözünmüş Ca'dan daha fazlasını elde etmek sıra dışıdır. Düşük tuzlu sularda bu nispeten düşük miktarlardaki Ca, %100-300 önemli bir artışla infiltrasyonu artırılabilir. Bununla birlikte, sulama suyu tuzluluğu nispeten yüksek ise bu küçük miktarlardaki kalsiyum çok daha az etkilidir ve daha düşük derecede infiltrasyonu değiştirir.

Jipsin çözeltiye karışma oranı büyük oranda jips yüzey alanına veya öğütme inceliğine bağlı olacaktır. İnce taneli jips (0.25 mm den daha küçük çaplı) daha hızlı şekilde çözünür. Bu nedenle, daha ince taneli, genellikle daha saf jips su uygulamaları için genel olarak daha tatmin edicidir, en büyük dezavantajı sürekli kullanımı sürdürmekten küçük çiftçileri çoğunlukla engelleyen daha yüksek maliyetleridir. Kaba öğütme ve daha düşük işleme toprak uygulamaları için tatmin edicidir fakat dikkatli ve akıllı çiftçilerle su ıslah maddeleri başarılı şekilde kullanılmıştır. Kaba ve daha düşük işlenmiş jipsten ince taneli jips birim başına daha maliyetli olmasına rağmen su uygulamaları için taşıma kolaylığı ve çözünme hızı onu genellikle değerli yapmaktadır. Örnek 7'de infiltrasyonun iyileştirilmesi için bir su ıslah maddesi şeklinde jipsin nasıl kullanılabileceği gösterilmiştir.

Örnek 7- Bir ıslah maddesi olarak jips kullanımı

Limon sulaması için düşük tuzlulukta ($EC_w = 0.15$ dS/m) su kullanılmaktadır. Limon ağaçlarında geçmişte oksijen stresine neden olan infiltrasyon problemleri tecrübe edilmiştir. Sebebi, uzun zaman süresince toprak yüzeyinde su göllenmesine verilmiştir. Kritik meyve tutum zamanında meydana gelmesinden dolayı, infiltrasyonu artırmak, su boğulmasını ve oksijen stresini azaltmak için sulama suyuna jips eklenmesine karar verilmiştir. Büyüklüğü 5 ha olan alan 100 mm sulamaya ihtiyaç duymaktadır. Saflığı %70 olan jips mevcuttur ve suda 2me/l kalsiyum artışı istenmektedir. Ne kadar jips kullanılmalıdır?

Verilen:

$$EC_w = 0.15 \text{ dS/m}$$

$$\text{Alan} = A = 5 \text{ ha}$$

$$\text{Jips saflığı} = \%70$$

$$\text{Toplam su gereksinimi} = 500 \text{ ha mm} = 5000 \text{ m}^3$$

$$\frac{1 \text{ me}}{l} Ca = 1000 \text{ m}^3 \text{ su için } \%100 \text{ jipsin } 86 \text{ kg'ı}$$

Açıklama:

5000 m³ suda $\frac{2 \text{ me}}{l} Ca$ sağlamak için gereksinim duyulan %100 jips miktarı şöyle bulunabilir:

$$1. \frac{1 \text{ me}}{l} (Ca) = 86 \text{ kg } (\%100 \text{ jips})/1000 \text{ m}^3$$

$$2. 5000 \text{ m}^3 \text{ te } \frac{1 \text{ me}}{l} (Ca) \text{ içinde}$$

$$\frac{1 \text{ me}}{l} (Ca) = 5 \times 86 = 430 \text{ kg } \%100 \text{ jips}$$

$$3. 5000 \text{ m}^3 \text{ te } \frac{2 \text{ me}}{l} (Ca) \text{ için}$$

$$\frac{2 \text{ me}}{l} (Ca) = 430 \text{ kg} \times 2 = 860 \text{ kg } \%100 \text{ jips}$$

$$4. \text{ Jips yalnızca } \%70 \text{ saflıkta olduğundan dolayı gereksinim duyulan jips miktarı}$$

$$\frac{860 \times 100}{70} = 1230 \text{ kg } \%70 \text{ saflıkta jips.}$$

İnce öğütülmüş jips suyla uygulamada en iyisidir. Bu nedenle 5000 m³ suda 2 me/l kalsiyum sağlanabilmesi için ihtiyaç duyulan toplam jips kalitesi 1230 kg %70 saflıkta jipstir.

Birkaç örnekte, sulama akımına kalsiyum sağlamak için sulama kanalına büyük parçalı kaya jipsler yerleştirilmiştir. Kayalardan çözünen kalsiyum miktarı düşüktür, böylece etkinlik akım hızı ve hacmine bağlı olmaktadır. Çözünecek miktar memba su konsantrasyonu ile mansap su konsantrasyonunun karşılaştırılmasıyla belirlenebilir. Onun muhtemel etkinliği kalsiyum eklenmesi yoluyla yaklaşık olarak oluşan SAR ve EC_w daki değişimler yoluyla ve Çizelge 1 kılavuz değerleriyle tahmin edildiği gibi infiltrasyondaki potansiyel değişim yoluyla da tahmin edilebilir. Sulama kanallarına yerleştirilen kaya jips, mekaniksel temizleme veya kazma sırasında jipsin uzaklaştırılma zorunluluğu nedeniyle ot kontrolü ve su yolu bakımı daha zorlaştığı için bakım maliyetlerini artırabilir.

Jipsle su veya toprak ıslah maddesinin nihai amacı verim artışı veya sulama yönetimi kolaylığında önemli artış sağlanmasıdır. Etkili bir muamele su infiltrasyon hızını iyileştirmelidir fakat muamele yapılmasının değip değmediğini belirlemek için sağlanan iyileşme, maliyetlere karşı ağır gelmelidir.

Jips kurak iklimlerde birçok toprakta doğal olarak meydana gelir ve bazı topraklar ham toprak tuzluluğu (EC_e) ve hem de sodikliğini (değişebilir sodyum) yorumlanmasını etkileyebilecek yeteri miktarda jips içereceklerdir ve toprak değişebilir sodyum yüzdesini (ESP) (Şekil 1) tahmin etmek amacıyla sıkça kullanılan rapor edilen SAR ve ölçülen toprak tuzluluğunun (EC_e) her ikisine bir düzeltme gerekecektir. EC_e işlemi saturasyon çamuru gerektirmekte ve eğer jips mevcutsa EC_e jipsin çözünmesine baz alınan yaklaşık 2 dS/m'lik tuzluluğu içerecektir. Jips genel olarak çoğu topraklara faydalı ve çok az bitkiye (limon) zararlı olduğundan dolayı jips nedenli ek toprak tuzluluğu, toprak tuzluluk tehlikesinin daha doğru değerlendirmesini vermesi için ölçülen EC_e den çıkarılabilmektedir. Örneğin, bir jipsli demirli toprak (gypsiferous) 6 dS/m lik ölçülmüş EC_e ye sahiptir, bu toprak tuzluluğunun tuza duyarlı çoğu bitkilerin verimini düşürmesi beklenilmektedir. Rapor edilen EC_e nin 2 dS/m si jipse atfedildiğinden dolayı, EC_e güvenli şekilde 2 dS/m eksiltilebilir ve düzeltilmiş EC_e şimdi 4 dS/m olur ki bu miktardaki tuzluluk duyarlı bitkilere daha az zararlıdır.

Doğal şekilde meydana gelen toprak jipsi de çoğu toprak laboratuvar analizlerinin yorumlanmasında toleransa sahiptir. Toprak analizlerinde, Şekil 1'de gösterildiği gibi laboratuvarlar saturasyon ekstraktının SAR'ını (ESP) rapor etmektedirler. Şayet jips mevcutsa bu doğru bir değerlendirme olmaz çünkü jipsin hafif şekilde çözünebilir olması ve saturasyon ekstraktına yaklaşık maksimum 20-30 me/l kalsiyum katkısı sağlayabilmesine karşılık sodyum

tuzları tamamıyla çözünebilirlerdir. Yorumlama problemleri bir örnek olarak, kuvvetli şekilde jipsiferus fakat yüksek derecede tuzlu bir toprak 12 dS/m EC_e ye sahip olabilirki bunun 2 dS/m'si jipse atfedilebilir. Şayet diğer tuzların tamamı sodyum ise saturasyon ekstraktında Na 100 me/l olacak ve Ca 30 me/l den daha fazla bulunmayacaktır. Bu 26'lık hesaplanmış SAR'ı verecektir. $EC_e = 12$ dS/m ve saturasyon ekstraktı SAR'ı 26 olan böyle bir toprak bitki yetiştirilmesinden önce yoğun jips uygulaması ve yoğun yıkamayla yoğun ıslaha ihtiyaç duyan tuzlu-alkali toprak şeklinde normal olarak sınıflandırılmaktadır. Bu doğru olmayan bir yorumdur. Toprak orta derecede tuzlu ($EC_e = 12$ dS/m) fakat sodik değildir çünkü jips sürekli bir kalsiyum kaynağı sağlamaktadır. Yıkama yapılmaksızın bile, mükemmel derecede arpa yetiştirme kabiliyetindedir (%90 potansiyel verimde arpanın toleransı 10 dS/m'dir) ve tuzlulukta %50 azalmayla (santimetre başına 2 dS/m'nin toprakta doğal olarak meydana gelen jipse atfen içine alan $EC_e = 7$ dS/m'ye düşmesi) arpa, pamuk, şeker pancarı, tane sorgum, buğday ve soya fasulyesi gibi tarla bitkileri tuzluluk nedeniyle verimde düşüş olmaksızın ekilebilirler. Toprak sodik değildir ve toprak ıslah maddesine ihtiyaç duymaz fakat bitki adaptasyon aralığını genişlete bilmek için yıkamaya ihtiyaç duymaktadır. Yalnız yıkamayla kendisini ıslah edecek manasına gelen “kendi kendini ıslah eden” diye böyle topraklar isimlendirilmektedir ve toprak ıslah maddelerine ihtiyaç duymamaktadır.

Böyle tüm aşırı sık yapılan yorum hatalarını önleyebilmek için iyi bir baş parmak kuralı Kaliforniya Üniversitesi Kooperatif Yayın Laborantları Tarafından uyarlanmıştır ve şu şekildedir: Şayet saturasyon ekstraktı SAR değeri 10'u geçiyorsa, belirtilen sodyum probleminin laboratuvar tarafından doğrulanması gerekir. Doğrulama, USDA El Kitabı 60 (Richards 1954)'te 22d yöntemi şeklinde verilen Schoonover Jips Gereksini testiyle veya aynı el kitabında yöntem 18 ve 20a şeklinde verilen Değişebilir Katyon yöntemi ile yapılır. Bu yöntemler tuzluluğa atıf yapılan çözünebilir katyonları düzeltir ve daha doğru şekilde SAR ve ESP'yi tahmin eder. Uygun olduğu yerde Schoonover yöntemi basit ve güvenilirdir fakat değişebilir potasyum mevcutsa bu yöntem uygun değildir.

Bazen sulama suyunda da jips bulunur. Şayet sulama suyundaki tuzlar gözle görülebilir miktarda Ca içeriyorlarsa, beş veya daha fazla yıl bir periyot üzerinde toleranslı bitkilerin ekimiyle ve uygulanan sulama suyunun derine perkolasyonunu teşvik eden kültürel uygulamaların adaptasyonu ile sodik toprakların çoğu ıslah edilebilir. Şiddetli sodik bir toprağın bir yıl içerisinde ıslah edilmesi 40 t/ha'a kadar jips uygulanmasına ve ıslah esnasında serbest kalan sodyumun (tuzları) uzaklaştırılması için yoğun yıkamaya gereksinim duyulabilir.

Sulama suyundaki mevcut kalsiyuma ($\text{Ca} = 2-3 \text{ me/l}$ veya daha fazla) ve kültürel uygulamalar (disk çekimi, sürme, derin işleme) ile sodyuma toleranslı bitkilerin ekimine (yem bitkileri veya benzeri bitkiler) güvenilerek aynı toprağı ıslah etmek birkaç yıl alabilir. Başarı veya başarısızlık büyük oranda yeterli infiltrasyon hızına ve toprağı giren su derinliğine, sulama suyu kalsiyum içeriğine ve sodiklik probleminin şiddetine bağı olacaktır. Islah maddeleri kullanılsın veya kullanılmıasın derin işleme büyük oranda infiltrasyonu ve ıslah hızını artıracaktır.

ii. Asit Oluşturan Islah Maddeleri

Asitler veya asit oluşturan ıslah maddeleri de toprağı kalsiyum sağılar fakat bunların etkili olabilmeleri için toprakta kireç (CaCO_3) bulunmalıdır. Kükürt ve sülfirik asitin her ikisi yoğun şekilde kullanılır fakat nispeten az kullanılan diğeri ıslah maddeleri de herhangi bir derecede kullanılmaktadır. Çizelge 12, sodik toprakların ıslahında kullanılan kalsiyum sağılayan yaygın birkaç madde için karşılaştırmalı veriler sunmaktadır. Jips en yaygın şekilde kullanılan bir ıslah maddesidir. Çünkü genellikle kolay şekilde bulunabilir ve sağılanan 1 me/l kalsiyum için daha aza mal olur. Bazı gübreler asit kalıntısıdır ve asidik reaksiyonları vasıtasıyla kalsiyuma katkısı sağılarlar.

Eğer toprakta kireç mevcut ise kükürt kalsiyum sağılar ve sodik toprakların ıslahı için mükemmel bir ıslah maddesidir. Su uygulamaları için tatmin edici bir ıslah maddesi değildir ve bir infiltrasyon probleminin iyileştirilmesi için çok etkili değildir. Kükürt yavaş şekilde reaksiyona girer. Önce toprak bakterileri tarafından işlenmeli ve sülfürleri ve sülfirik asidi oluşturabilmesi için oksitlenmelidir. Kalsiyumu serbest bırakmak için kireçle reaksiyona girer. Sonra oksitlenme süreci oldukça yavaştır ve yaklaşık 30 gün veya daha uzun süre sıcak, iyi havalandırılan nemli toprağı ihtiyaç duyar. Şayet yeterli zaman varsa, sodik kalkerli toprakların ıslahı için kükürtün iyi bir ıslah maddesi olduğu ispatlanmıştır. Fakat suyun infiltrasyon problemi için tatminkar bir çözüm beklenmemelidir çünkü oksidasyon işlemi aşırı yavaştır ve yüzeye yakın yerde serbest kalan kalsiyum, sulamalar esnasında hemen yıkanmaktadır.

Sülfirik asit kuvvetli korozif bir asittir. Tam yoğunlukta toprak yüzeyine uygulanabilir veya suyun bikarbonat konsantrasyonunun düşürülmesi ve kalsiyumun serbest bırakılması amacıyla toprak yüzeyi asitliğine katkı sağılamak için sulama suyuna eklenirler. Tuzlu toprakların ıslah edilmesi için ve kireçli toprakların su infiltrasyonunu iyileştirmek için çok etkilidirler çünkü sülfirik asit bir oksidasyon sürecine girmek zorunda değildir. Hızlı şekilde toprak kireci ile reaksiyona girerler. Toprağı uygulamaları bitki ekiminden önce yapılır ve sülfirik asidin kireç

ve toprakla reaksiyonu nedeni ile mevcut veya oluşmuş herhangi aşırı çözünür tuzları uzaklaştırabilmek için asit uygulamasını takiben genellikle yoğun yıkama yapılır.

Çizelge 12. Su ve Toprak Islah Maddeleri ve Kalsiyum Sağlamadaki Nispi Etkinlikleri¹

Islah Maddesi	1 ton %100 Saflıkta Jipse Eşdeğer Ağırlığı (ton) ²
Jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)*	1.00
Kükürt (S) ^{-**}	0.19
Sülfürik asit (H_2SO_4)*	0.61
Demir sülfat ($\text{Fe}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ^{-**}	1.09
Kireçli kükürt (%9 Ca+%24 S)*	0.78
Kalsiyum klorür ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)*	0.86
Kalsiyum nitrat ($\text{Ca} (\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)*	1.06
Kalsiyum karbonat ³ (CaCO_3) ^{-**}	0.58

* Su veya toprak ıslah maddesi olarak kullanımı uygun

** Yalnızca toprak uygulamaları için uygun

1 Fireman ve Branson (1965)'den uyarlanmıştır

2 Yukarıdakiler %100 saf madde üzerine dayalıdır. Madde %100 saf değilse, %100 malzemeye eşdeğer olan madde miktarını (X) bulmak için aşağıdaki hesaplama yapılır.

Örnek: Kullanılan jips %50 saflıkta ise, X= 2 ton. Bu %50 saflıkta jipsin 2 tonu, %100 saflıkta jipsin 1 tonuna eşdeğerdir.

3 Yalnızca asit topraklar için.

Çizelge 13. Gübre Maddelerinin Ortalama Karışımı ve Eşdeğer Asitlik veya Bazlığı¹

Gübre Maddeleri	Kimyasal Formülü	Top. Azot N	Elverişli fosforik Asit (P_2O_5)	Çözünebilir (K_2O)	Bileşik Ca	Bileşi k S	Eşdeğer ² Asit veya Baz
							Kg Asit CaCO ₃ Baz
							----- Yüzde -----
Azotlu maddeler							
Amonyum nitrat	NH_4NO_3	33.5-34					62
Amonyum nitrat-sülfat	$\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	30				6.5	68
Monoamonyum fosfat	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	11	48				58
Amonyumfosfat sülfat	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	13	39			7	69
Amonyumfosfat sülfat	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	16	20			15	88
Amonyum fosfat nitrat	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 \cdot \text{NH}_4 \cdot \text{NO}_3$	27	12			4.5	75
Diamonyum fosfat	$(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$	16-18	46-48				70

Amonyum sülfat	(NH ₄) ₂ SO ₄	21				24	110	
Anhidrus amonyak	NH ₃	82					147	
Aqua amonyak	NH ₄ OH	20					36	
Kalsiyum amonyum nitrat solüsyonu	Ca(NO ₃) ₂ . NH ₄ NO ₃	17			8.8		9	
Kalsiyum nitrat	Ca(NO ₃) ₂	15.5			21			20
Kalsiyum siyanamid	CaCN ₂	20-22			37			63
Sodyum nitrat	NaNO ₃	16						29
Üre	CO(NH ₂) ₂	45-46					71	
Üre formaldehid ³		38					60	
Üre amonyum nitrat solüsyonu	NH ₄ NO ₃ .CO(NH ₂) ₂	32					57	
Fosforlu maddeler								
Tek süperfosfat	Ca(H ₂ PO ₄) ₂		18-20		18-21	12		Nötr
Triple süperfosfat	Ca(H ₂ PO ₄) ₂		45-46		12-14	1		Nötr
Fosforik asit	H ₃ PO ₄		52-54			110		
Süper fosforik asit ⁴			76-83			160		
Potasyumlu maddeler								
Potasyum klorür	KCl			60-62				Nötr
Potasyum nitrat	KNO ₃	13		44		23		
Potasyum sülfat								Nötr
Potasyum-magnezyum sülfat	K ₂ SO ₄ .2MgSO ₄			26	1	15		Nötr

¹ Toprak iyileştirme komitesinden (1975)

² Her maddenin 100 kg'ı için eşdeğeri

³ Üre şeklinde de bilinmektedir, üre ve formaldehit reaksiyonu ürünü

⁴ H₃PO₄, H₄P₂O₇, H₆P₄O₁₃ ve diğer daha yüksek formlar.

Boru hatları, yağmurlayıcılar, sulama suyu dağıtım sistemleri ve personel güvenli olmalıdır. Kullanım şartlarında emin olmak için su içerisinde asit uygulamaları dikkatli şekilde kontrol altında tutulmalı ve izlenmelidir. İnfiltrasyon üzerine nihai, etkisi kimyasal olarak eşdeğer miktardaki jipsle yaklaşık aynıdır (Çizelge 12). Sülfürik asit yüksek derecede koroziftir ve elle taşınması tehlikelidir. Beton borulara, çelik menfezlere, kontrol geçitleri ve alüminyum borulara zarar verebilir. Yalnızca deneyimli operatörler tarafından uygulanmalıdır.

Lokal olarak diğer kimyasal maddeler de kullanılmakta fakat bunların kullanımı büyük oranda temin edilmeleri ve uygulama maliyetlerine bağlıdır. Çizelge 13'te görüldüğü gibi, yaygın olarak kullanılan bazı gübreler doğrudan yada dolaylı şekilde kalsiyum kaynağı olarak da faaliyet gösterebilmektedir. Asit gübrelerin çoğu kükürttekine benzer bir oksitlenme sürecine girmeli ve toprakta bir kalsiyum kaynağı mevcut olmalıdır (CaCO₃). Bu nedenle bir su

infiltrasyon problemi için sınırlı bir değere sahiptirler fakat hafif şekilde marjinal sodik su kullanımının bir sonucu olarak aşamalı şekilde gelişebilecek bir sodik toprak oluşumunu engellemek veya ertelemek için kullanışlı olabilirler.

3.2.2 Su Kaynaklarının Karıştırılması

Çizelge 1’de gösterildiği gibi SAR’ın 12 veya daha fazla olması, $EC_w = 2.9$ dS/m den daha az tuzlulukta birlikte su infiltrasyon hızını gözlenebilir şekilde düşürebilir ve 6 kadar düşük bir SAR, $EC_w = 1.2$ dS/m den daha düşük tuzlulukla birlikte infiltrasyon hızını gözlemlenir şekilde düşürebilir. Bu infiltrasyon hızı ya su tuzluluğun yükseltilmesiyle veya SAR’ın düşürülmesiyle artırılabilir.

Suyun seyreltilmesi SAR’ı düşürmektedir. Bu SAR eşitliğinin (1) tabiatı nedeniyledir. Pay (Na) paydadan (Ca+Mg) daha fazla oranda seyrelir. Çünkü payda seyreltmenin karaköküyle azalır. Örnek 8 Pakistan’da kuyu suyu normal kanal suyu ile karıştırıldığında, karışmış suyun SAR değerinin nasıl düştüğünü göstermektedir. Karıştırılma yapılmaksızın kuyu suyu çok sınırlı kullanıma sahip olacaktı fakat karıştırmanın bir sonucu olarak toplam kullanılabilir su miktarı kuyuyla sağlanan su miktarı vasıtasıyla artmıştır.

Örnek 8 - Düşük kaliteli bir su kaynağının SAR değerini düşürmek amacıyla sulama suyunun karıştırılması

Bir kanal su kaynağı bulunmakta fakat toplam bitki su ihtiyacına kafi gelmemektedir. Kanal su kaynağı, %75 kanal suyu ve %25 kuyu suyu oranında daha düşük kaliteli bir kuyu suyu ile karıştırılabilir durumdadır. Karışım suyunun SAR değeri nedir?

Verilenler:

Su analizi şöyledir:

	EC_w (ds/m)	Ca (me/1)	Mg (me/1)	Na (me/1)	HCO_3 (me/1)	SAR
Kanal suyu	0.23	1.41	0.54	0.48	1.8	0.5
Kuyu suyu	3.60	2.52	4.00	32.0	4.5	18.0

Açıklama: Ortaya çıkan karışım kalitesi Eşitlik (13) kullanılarak bulunulabilir.

Ortaya çıkan karışımın Konsantrasyonu me/1 (a suyu konsantrasyonu me/1 $\times$ a suyunun kullanılan karışım oranı) + (b suyu konsantrasyonu me/1 $\times$ b suyu kullanım oranı)

$$\text{Ca} = (1.41 \times 0.75) + (2.52 \times 0.25) = 1.69 \text{ me/1 (karışım)}$$

$$\text{Mg} = (0.54 \times 0.75) + (4.0 \times 0.25) = 1.41 \text{ me/1} \quad “$$

$$\text{Na} = (0.48 \times 0.75) + (32 \times 0.25) = 8.06 \text{ me/1} \quad “$$

$$\text{HCO}_3 = (1.80 \times 0.78) + (4.5 \times 0.25) = 2.48 \text{ me/1} \quad “$$

$$\text{EC} = (0.23 \times 0.75) + (3.6 \times 0.25) = 1.07 \text{ ds/m} \quad “$$

$$\text{SAR} = \frac{8.36}{\sqrt{\frac{1.69+1.41}{2}}} = 6.7$$

Alternatif daha iyi kaliteli bir su kaynağı kullanışlı olursa bu çok yüksek SAR’lı sular genellikle terkedilmektedir. Alanın sulanması için daha iyi kaliteli su kaynağı yeterli oluyorsa, iki su kaynağının karıştırılması bir kazanç sağlamaz. Bunun yanında mevcut alanın ekimi için daha iyi kaliteli su yeterli olmuyorsa, daha az istenilen su ile daha iyi kaliteli su kaynağının karıştırılması daha fazla alanın ekilmesine fırsat sağlayacak, daha fazla toplam bitki üretimiyle ve çiftçiler için daha fazla gelir sonucunu doğuracaktır.

Kalite bakımından birisi daha düşük iki su kaynağı mevcut olduğu zaman bile su kaynaklarının karıştırılması yaygın bir uygulama değildir. Normalde daha iyi kaliteli su her ne zaman elverişli ise kullanılır ve daha düşük kaliteli yer altı suyu her ne zaman yüzey kaynağı yeterli olmazsa kullanılır. Bunun yanında kaynakların değişimli kullanımı daha düşük kaliteli kaynağın yüksek SAR değeri tarafından neden olunan bir infiltrasyon problemini gidermez. Gerçektende yüksek derecede tuzlu yüksek SAR’lı bir su kaynağından sonra düşük tuzlu – düşük SAR’lı sular kullanılırsa problemler büyük oranda kötüleşmektedir. Yüksek SAR’lı su karşılık olacak şekilde yüksek ESP ‘ye neden olmaktadır. Ve düşük tuzlu su sonradan kullanılırsa hemen sonra gözlemlenebilir şekilde bir infiltrasyon oranı düşüşüne neden olabilmektedir. Tuzlu veya yüksek SAR’lı bir sulama suyu kullanımından sonra yağmur yağdığı zaman daha şiddetli bir problem bile meydana gelmektedir. Daha iyi kaliteli bir suyla sulama öncesinde veya yağışlı mevsimden önce yüzeye hafif jips uygulaması (1-2 ton /ha) bu problemin üstesinden gelmek

için bazen kullanılır. Toprak yüzeyinin kabuk bağlaması veya tıkanması gibi yüksek SAR'lı suların kısa dönemli kullanımından kaynaklanan bir çok ikincil problemlere engel olacaktır. Her nerede mümkünse yüksek SAR'lı sular, su infiltrasyon problemlerini azaltmak için seyretilmelidir fakat yüksek SAR'lı suyun değişerek kullanıldığı durumlarda destekleyici ışlah maddelerinin kullanımını dikkate alınmalıdır.

3.2.3 İşleme ve Derin Sürüm

Fiziksel yöntemler mekanik araçlar vasıtasıyla toprağı açık tutarken, toprak ve su ışlah maddeleri ve suların karıştırılması, suyun kimyasal tabiatını değiştirir. En yaygın fiziksel yöntemler, ya toprak işlemesi veya derin sürümdür. Her ikisinde etkilidir. Fakat normal olarak kısa mrldrleri ve buna göre bir su infiltrasyon problemine yalnızca geçici çözüm getirirler.

İşleme genellikle suyun penetrasyonunun iyileştirilmesinden daha ziyade ot kontrolü veya toprak havalandırması için yapılır. İnfiltrasyon problemlerinin şiddetli olduğu yerlerde, işleme veya sürüm toprak yüzeyini pürüzlü hale getirerek ve su akışını yavaşlatıp infiltrasyonun meydana gelmesi için zamanı artırarak yardımcı olur. Bir pürüzlü, karık veya tarlanın ilk bir veya iki sulama esnasında infiltrasyonu iyileşmekte, daha sonra bir başka işlemeye daha ihtiyaç duyulabilmektedir. İşleme ekipmanları çoğu zaman daha kaba bir yüzey bırakabilmek için uyarlanmaktadır. İnfiltrasyonu geliştirebilmek için toprağın st birkaç santimetrede bulunan kabuğu toprak işlemesi kırmaktadır. Düşük tuzlu su tarafından neden olunan bir su infiltrasyon probleminin olduğu alanlarda yaygın bir uygulama, her sulamadan önce veya her iki sulamadan önce toprak işlemesi yapılmasıdır. Bu işleme toprağı pürüzlü hale getirir, infiltrasyona maruz yüzey alanını büyük oranda artıran çatlaklar ve hava boşlukları açar.

Daha derin sürüm (izel ekme, alt toprak işleme) toprak yüzeyi kısa bir süre sonra kendi orijinal durumuna döneceğinden dolayı bir veya iki sulama için derin su penetrasyonunu iyileştirmesi beklenilir fakat iyileştirme sürekli olmamasına rağmen bu uygulama, depolanan su ve bitki veriminde gözlemlenebilir bir fark oluşturmak için yeterli suyun girişine geii şekilde izin verebilmektir. Derin işleme fiziksel olarak toprağı yırtar, parçalar ve ayırır. Kök yaralanması veya çok yıllık bitkilerin kök zararlanmasının daha az zararlı olduğu uyku dönemleri esnasında veya ekim öncesi derin işleme yapılır. Topraklar kırılma veya parçalanma için yeterince kuru olduğunda yalnızca derin işlemi yapılmalıdır. şayet ışlakken derin sürüm yapılırsa, sıkışmayı artırır. Havalanma ve su geçirgenlik problemleri beklenebilir.

3.2.4 Organik Kalıntılar

Tarlada bırakılan bitki kalıntıları ve diğer organik maddeler su penetrasyonunu iyileştirmektedirler ve daha yaygın şekilde kabul gören bir uygulama haline gelmiştir. Daha maliyetli düzeltici önlemleri yerine getirmek için kaynakları olmayan özellikle küçük çiftçiler için su infiltrasyonunu geliştirmenin en kolay yollarından birisidir. Maalesef bir çok yerde küçük çiftçiler bitki kalıntılarını diğer maksatlar için kullanmakta ve çok az kısmı toprağa geri dönmektedir.

Toprak üzerine bırakılan bitki kalıntıları veya kaba toprak yüzeyine karıştırılan kalıntılar, sodik topraklarda infiltrasyonu iyileştirecek ve yüksek SAR veya düşük tuzlu suyla sulanan topraklarda su penetrasyonunu da iyileştirecektir. Bitki kök sistemi kadar toprak yüzeyine bırakılan bitki kalıntılarının her ikisi toprağın açık tutulmasına yardımcı olur. Yeni bitki sezonunda yenileninceye kadar zamanla yararı azalır.

Arpa, pirinç, buğday, mısır ve sorgum gibi bitkilerden arta kalan daha lifli ve daha kolayca parçalanan kalıntılar su penetrasyonunu geliştirmesine karşılık sebze ve meyve bitkileri kalıntıları genellikle aynı özelliğe sahip değildir. En iyi kalıntılar hızlı şekilde ayrışıp parçalanmayan kalıntılardır. Bunlar su penetrasyonunun iyileştiren kanalları ve boşlukları açık tutmakla toprağın gözenekliliğini korurlar. Etkili olabilmesi için nispi olarak fazla miktarlarda kalıntılara ihtiyaç duyulur. Örneğin: Su infiltrasyonunun geliştirilebilmesi için 40 – 400 ton/hektar oranlarında hayvan gübresi kullanılmaktadır. Etkili olabilmek için toprağın üst 15 cm'deki toprak hacmiyle %10-30 aralığında bir organik gübre uygulmasına ihtiyaç duyulabilir.

Su kalitesinin su infiltrasyonunu etkilediği ve infiltrasyonun geliştirilmesi için organik maddelerin denendiği yerlerde, toprak yüzeyinin birkaç cm'lik kısmının kalıntılarla karıştırılması önemlidir. Daha derin karıştırma toprak strüktürü ve uygulanan suyun daha derine penetrasyonu için faydalıdır fakat su kalitesi tarafından sebep olunan infiltrasyon problemleri için verilen bir zamanda toprağa giren su derinliğini genellikle toprak yüzeyi kontrol etmektedir.

Pirinç kavuzları, talaş, rendelenmiş ağaç kabukları ve diğer atık ürünler, geniş hacimlerde kullanılmış fakat değişen derecede başarılı sonuçlar alınmıştır. Hindistan'da pirinç kavuzlarıyla yapılan testler, ilk bitki yetiştirme döneminde pirinç verimini artırmış fakat uygulama kesildiğinde verim eski düzeyine geri dönmüştür. Uzun dönemli bakış açısından, toprağa

organik maddelerin geri dönmesi, toprak yapısının kurunmasına yardımcı olmakta ve gereksinim duyulan besin elementlerini geri getirmekte fakat yüksek oranda organik madde kullanımı da problemlere neden olmaktadır. Bunlar beslenme bozukluklarını, tuzlu hayvan gübresi tarafından sebep olunan tuzluluk etkilerini, belirli tip maddelerinin kullanımıyla (hayvan gübreleri, talaş) sebep olunan azot eksikliği ve fazlalığını ve toksikliği (pirinç kavuzlarında kaynaklananlar ve potasyum zehirlenmeleri) içine almaktadır

3.2.5 Sulama Yönetimi

Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin kombinasyonu su infiltrasyon problemlerini çözümlmek için en etkili yaklaşım oldukları ıspatlanmıştır. Bununla birlikte etkili olunabilmesi için bunlar her zaman ve hemde parasal olarak yoğun ve sürekli yıllık yatırıma gereksinim duyarlar. Su infiltrasyon problemlerini daha kolay çözmek veya yönetmek için bir çok ıslah edici sulama uygulamalarıyla bu ıslah metotları tamamlanmaya çalışılır. Bir kaç uygulama burada tartışılmıştır.

i – Daha sık şekilde sulama, özellikle başlangıçta yüksek infiltrasyon hızına sahip olan fakat düşük tuzluluk veya yüksek SAR nedeniyle oldukça hızlı şekilde infiltrasyon hızının düştüğü topraklar için basit ve etkili bir yaklaşımdır. Amaç ikinci problemler oluşmaksızın (suda boğulma, zayıf havalanma) her zaman bitkiye yeterli suyun sağlanmasıdır.

Daha sık şekilde yapılan sulama daha yüksek ortalama toprak nemini korur ve sulama daha geniş aralıkla yapıldığında ortaya çıkabilecek su stresi ihtimalini düşürür. Sulamalar arasında bitkiler su stresine girmezse, sulama sıklığının artırılmasının çok az yararı olur.

ii - Ekim öncesi sulama, ya bitki zararına sebep olma şansının az olduğu bir zamanda kök bölgesinin tarla kapasitesine tamamlanması için dayanılır. Bazı çok zorlu topraklarda bitki kök bölgesinin daha derin kısımlarını ıslatabilmek için ekim öncesi sulama tek fırsat olmaktadır. Çok düşük infiltrasyon hızlı toprakları ıslatmak içinde etkili bir yöntemdir.

iii – Sulama süresinin uzatılması, daha çok su uygar ve toprak havalanması, su boğulmaları, yüzey akış ve yüzey drenaj problemleri sonucunu doğurmaması şartıyla yararlıdır. Sulamacıların çoğu tarlaya giren akış miktarını azaltarak ve daha uzun süre suyu tarla üzerinde tutarak sulamayı uzatmaya çalışırlar. Su kullanım etkinliğini koruyabilmek ve yüzey akışı minimumda tutabilmek için dikkatli yönetim ve izlemeye gerek duyulur. Aşırı yüzey akış, çoğu

zaman tarlanın alçak tarafındaki bir havuzda toplanır ve sulama akımına yeniden çevrimi için bir boru hattı vasıtasıyla eğim yukarı pompalanır. Bu tekrar çevirim sistemleri yüzey sulaması yapılan alanlarda yaygınlaşmakta ve düşük infiltrasyon hızına sahip bir toprağı etkili şekilde sulamaya yardımcı olabilmektedir. Bazı yerlerde su uygulama etkinliğini iyileştirebilmek için yapılan yoğun bir arazi tesviyesi veya eğimlendirme programını takiben bu sistem kurulmaktadır. Suyun toplanması ve yeniden çevrimiyle hem toplam su kullanım etkinliği hemde penetrasyon derinliği daha kolay şekilde kontrol edilmektedir.

iv- Sulama sistemlerinin değiştirilmesi daha zorlu topraklarda gerekli olabilir. Örneğin: Bir yüzey sulama sisteminde suyu daha hassas şekilde uygulayan başka bir sulama sistemine (Kumlu topraklar için yağmurlama ve daha ağır kirli topraklar için damla sulama) geçiş, çiftçiye daha yakın şekilde toprak su giriş hızına yaklaşma fırsatı verebilir. Bu değişiklikler büyük parasal harcamalara ve işletme için ilave güce gerek duymakta fakat söz konusu sistemler istenilen oranda su uygulanması için planlanabilmektedir. Yağmurlamayla veya damla sulamayla yüzey akış meydana geliyorsa uygulama hızı aşırı yüksektir. Sistemin kurulmasından sonra uygulama hızının değiştirilmesi zor olabilir ve sistemin tamamıyla yeniden planlamasına gerek duyulabilir. Bazı yerlerde mevcut yağmurlama veya damla sulama sistemi infiltrasyon hızını daha iyi tutturabilmek için kesikli şekilde çalıştırılmakta, yüzey akışın başladığı zaman durdurulmakta ve uygulanması istenilen su derinliğine ulaşılan kadar her birkaç saatte bir yeniden sulama yapılmaktadır. Bu teknik mevcut yağmurlama veya mikro sulama sisteminin kullanımına fırsat vermekte fakat muhtemelen biraz daha fazla su kullanacak, böylece üretim maliyetini artıracaktır. Boşa geçen zamanı devre dışı bırakmak için daha fazla yatırıma ihtiyaç duyabilirler.

Yağmurlayıcılar damla şeklinde su uygularlar ve bazı damlalar oldukça büyüktür. Çarpmayla bu büyük damlalar toprak yüzey parçacıklarını disperse edebilir ve aşırı yüzey akışla birlikte bir infiltrasyon problemine sebep olur veya şiddetlendirirler. Uygulama hızları normal şekilde sulanan alanda 3 mm/h- 6 mm/h arasında değişir. Yağmurlayıcılar kumlu ve tınlı topraklara iyi uyum sağlar fakat ağır veya killi tip topraklara daha az uyum sağlarlar. Damla sulama sistemleri, tınlı veya killi topraklara daha iyi uyum sağlar ve saatte 2-4 litre hızında çok küçük su çıkışları (damlatıcılar) aracılığıyla su uygularlar. Bu düşük su hızlarında damla sulama sistemleri yağmurlayıcılar gibi toprak parçacıklarını disperse etmezler. Damla sulama sistemleri kumlu topraklara daha az uyum sağlarlar.

4. TOKSİKLİK PROBLEMLERİ

4.1 ÖZEL İYONLAR VE ETKİLERİ

Bitki içerisinde meydana gelmesi ve bir su kısıtı tarafından neden olunmaması bakımından bir toksitlik problemi bir tuzluluk probleminden farklıdır. Belirli iyonlar toprak suyundan alındıklarında ve bitkiye zararlı olacak derecede su transpirasyonu sırasında yapraklarda biriktiğinde normal olarak toksitlik oluşur. Zararın derecesi zamana, konsantrasyona, bitki duyarlılığına ve bitki su kullanımına bağlıdır ve zarar yeterince şiddetliyse bitki verimi düşmektedir. Sulama suyunda her zamanki toksit iyonlar klor, sodyum, bordur. Bu iyonların tek başına veya birlikte etkisiyle bitki toksiklik zararına neden olunabilir.

Tüm bitkiler bu toksik iyonlara eşit derecede duyarlı değildirler. Çizelge 1 de gösterilen konsantrasyonlarda çoğu yıllık bitkiler duyarlı değildirler fakat ağaçların ve çok yıllık odunsu bitkilerin büyük bir kısmı duyarlıdır. Bunun yanında toksik iyon konsantrasyonları yeterince yüksek ise toksiklik semptomları (belirtileri) neredeyse tüm bitkilerde görülebilir. Tuzluluk düşük olduğunda bile görülebilmelerine rağmen toksiklik çoğunlukla bir tuzluluk veya infiltrasyon problemine eşlik eder veya karmaşık hale getirir.

Toksik iyonlardan sodyum ve klor, yağmurlama sulama sırasında ıslanan yapraklardan bitki tarafından doğrudan absorbe edilir. Bu absorpsiyon tipik olarak yüksek sıcaklık ve düşük nemli dönemler esnasında meydana gelir. Yaprak absorpsiyonu, toksik iyonun birikim oranını artırır ve toksikliğin birincil kaynağı olabilir.

Sodyum, klor ve bora ek olarak bir çok iz elementler, çok düşük konsantrasyonlarda bitkilere toksiktirler. İyi ki sulama suyu kaynaklarının çoğunluğu bu iz elementlerin çok küçük konsantrasyonlarını ihtiva etmekte ve genellikle bir problem oluşturmamaktadır. Bu olağan dışı iz elementler için önerilen maksimum konsantrasyonlar Bölüm 5.5'te verilmektedir. Bu iz elementleri içeren su ile sürekli sulama yapılıyor ise verilen bu konsantrasyonlar toprak kaynaklarını kontaminasyondan korumak üzere konulan sınır değerlere dayanmaktadır.

4.1.1 Klor

En yaygın toksiklik sulama sularındaki klordan gelir. Klor toprakta tutulmaz veya absorbe edilmez. Böylece su ile kolayca taşınır, bitkiler tarafından alınır, bitki transpirasyon akımında taşınır ve yapraklarda birikir. Şayet yapraklardaki klor konsantrasyonu bitki toleransını aşar ise yaprak yanması veya yaprak dokularının kuruması gibi zarar semptomları gelişir. Normal olarak bitki zararı öncelikle yaprak uçlarından başlar (klor toksisitesi için yaygındır) ve şiddeti arttıkça yaprak kenarları boyunca yaprak uçlarından geriye doğru ilerler. Aşırı nekrozlara (ölü dokular) genellikle erken yaprak dökülmesi veya defoliasyon eşlik eder. Duyarlı bitkilerle, kuru ağırlık esasına göre %0.3-1.0 arasında yapraklar klor biriktirdiğinde bu semptomlar oluşur fakat duyarlılık bitkiler arasında değişim gösterir. Örneğin kuru ağırlık esasına göre %0.3'ün üzerindeki klorda çoğu ağaçlar zarar göstermeye başlarlar.

Bitki dokularının kimyasal analizleri bir klor zehirlenmesini doğrulamak için yaygın şekilde kullanılır. Takip edilecek yorumlamaya elverişli değerlere bağlı olarak genellikle analizler için kullanılan bitki kısımları bitkiye göre değişir. Yaprak ayaları daha sıkça kullanılmakta fakat bazı bitkilerin (üzümler) yaprak sapları, yapraklardan daha ziyade kullanılmaktadır. Sulanan alanlar için, klor alımı yalnızca su kalitesine bağlı değil fakat aynı zamanda meydana gelen yıkama miktarıyla kontrol edilen toprak kloruna ve bitkilerin kloru alışı kabiliyetine de bağlıdır. Bitki klor toleransları tuzluluk toleransları gibi iyi şekilde dökümanite edilmemiştir. Çizelge 14'te birkaç bitkinin saturasyon ekstaktı klor toleransı veya uygulanan sudaki klora toleransı verilmektedir. Bu değerler lokal tecrübenin farklı klor seviyelerinin zarara neden olduğunu

gösterdiği yerlerde değiştirilmesi gerekebilir. Örneğin tütün klora toleranslı olmasına karşın sulama suyu klor düzeyleri (miliekivalan/litre) artış gösterirse kısalan depolama ömrü kadar ilerleyen şekilde daha fazla istenilmeyen yaprak yanması karakteristikleri kazanmaktadır. Bu büyük oranda tütünün pazar değerini düşürmektedir.

4.1.2 Sodyum

Sodyum toksikliği klor toksikliği gibi kolayca teşhis edilmez. Fakat sularda nispeten yüksek sodyum konsantrasyonlarının (yüksek Na veya SAR) bir sonucu olarak net sodyum toksikliği vakaları kaydedilmiştir. Başlangıçta en uç yaprak ucunda normal olarak meydana gelen klor toksikliği septomlarının tersine tipik sodyum toksikliği semptomları yaprakların dış kenarları boyunca ölmüş dokular, yaprak yanması ve yanıklardır. Sodyum birikimi toksik konsantrasyonlara ulaşmadan önce normal olarak uzun bir zaman dilimine (günler veya haftalar) gereksinim duyulur. Semptomlar önce yaşlı yapraklarda görülmekte, dış kenarlarda başlamakta ve şiddeti arttıkça damarlar arasından yaprak merkezine doğru artan şekilde içeriye hareket etmektedir. Sodyuma duyarlı bitkiler arasında yaprak döken meyve ağaçlarını, kabuklu meyve ağaçları, turunçgiller, avakado ve fasulye bulunur fakat diğer bir çok bitkide de bulunmaktadır. Ağaçlar için, kuru yaprak ağırlığının %0.25-0.50 üzerinde yaprak dokularında bulunan sodyum, genellikle sodyum toksikliği ile bağlantılıdır.

Çizelge 14. Bazı Meyve Bitki Kültürlerinin ve Çöğürlerini Klor Toleransı¹

Bitki	Çöğür veya Çeşit	Yaprak yanması ² oluşturmayan en yüksek izin verilebilir Cl ⁻	
		Kök bölgesi, C1 _e (me/1)	Sulama suyu (C1 _w) ^{3,4} (me/1)
Avokado (<i>Persea americana</i>)	West Indian	7.5	5.0
	Guatemalan	6.0	4.0
	Mexican	5.0	3.3
	Sunki Mandarin	25.0	16.6
Turunçgiller (<i>Citrus spp.</i>)	Greyfurt		
	Cleopatra mandarin		
	Rangpur lime		
	Sampson tangelo	15.0	10.0
	Rough lemon		
	Sour orange		
	Ponkan mandarin		
	Citrumelo 4475	10.0	6.7
	Trifoliate orange		
	Cuban shaddock		
	Calamondin		
	Sweet orange		
	Savage citrange		
	Rusk citrange		

	Troyer citrange		
Üzüm (<i>Vitis spp.</i>)	Salt Creek, 1613-3	40.0	27.0
	Dog Ridge	30.0	20.0
Sert çekirdekli meyveler (<i>Prunus spp.</i>)	Marianna	25.0	17.0
	Lovell, Shalil	10.0	6.7
	Yunnan	7.5	5.0
	Çeşitler		
Üzümsüler (<i>Rubus spp.</i>)	Boysenberry	10.0	6.7
	Olallie blackbarry	10.0	6.7
	IndianSummer Raspberry	5.0	3.3
Üzüm (<i>Vitis spp.</i>)	Thompson seedless	20.0	13.3
	Perlette	20.0	13.3
	Cardinal	10.0	6.7
	Black Rose	10.0	6.7
Çilek (<i>Fragaria spp.</i>)	Lassen	7.5	5.0
	Shasta	5.0	3.3

1-Maaş (1984) den uyarlanmıştır.

2-Bazı bitkiler için verilen konsantrasyonlar söz konusu bitkinin bütün tuzluluk toleransını aşabilir ve klor iyonu zehirlenmesi tarafından neden olunan verim kaybına ilave vermede bazı düşüşlere neden olur.

3-Verilen degerler sulama sularındaki maksimum konsantrasyonlar içindir. Söz konusu degerler %15-20 lik yıkama oranı ve $EC_e=1,5EC_w$ kabulü yapılarak sauryon ekstrakt verilerinden (EC_e) alınmıştır.

4-Maksimum izin verilebilir degerler yüzey sulamasıyla sulanan bitkilere yalnızca uygulanmaktadır.Bu degerlerden çok daha aşağı degerlerde yağmurlama sulama aşırı yaprak yanmasına sebep olabilir.(Bkn.Bölüm 40) Üstten yağmurlama sulama sırasında ıslanan yapraklar yoluyla dogrudan yaprak absorbsiyonuyla klor zehirlenmesi meydana gelebilir.Bu zehirlenme döner tip yağmurlama başlıklarıyla daha sık şekilde meydana gelmektedir.Ve bölüm 4,3 te tartışılmaktadır.

Sodyum toksikliğinin doğrulanması veya izlenmesinde yaprak doku analizleri yaygın şekilde kullanılır fakat toprak, su ve bitki doku analizleri kombinasyonu, doğru bir teşhis konulma ihtimalini büyük oranda arttırır. Sodyum toksikliğini teşhis etmek için yalnızca yaprak sapı analizi kullanıldığında karşılaştırma amaçları için zarar görmüş ağaçlardan alınan yaprak saplarının analizi kadar yakınlarda zarar görmemiş ağaçlardan alınan yaprak saplarının ayrıca analizinin yapılması tavsiye edilmektedir.

Toprakta yeterli kalsiyum mevcutsa, sodyum toksikliği genellikle hafifler veya azalır. Belirtilen sodyum toksikliği ister basit olsun veya ister karmaşık olsun bir kalsiyum kısıtı ihtimalinin varlığı veya diğer etkileşimler hali hazırda araştırılır. Ön çalışma sonuçları en azından birkaç yıllık bitki için sodyum toksikliğinden ziyade kalsiyum eksikliğini meydana gelebileceğini gösterir. Şayet doğrulanırsa bitkiler jips veya kalsiyumnitrat gibi maddeler kullanılarak yapılan kalsiyum gübrelemesine cevap vereceklerdir. Muhtemel kalsiyum eksikliği için Bölüm 5.6'da Beslenme ve Su Kalitesi üzerine ayrılmış olan başlığa bakınız.

Çoğu bitkiler sodyum toksikliği göstermektedir. Belirli bir kalitede suyla yüzey sulamasını takiben gelişmesi beklenen sodyum toksiklik problemi için potansiyel gösterge olarak Çizelge

1 toksiklik rehber değerleri SAR'ı kullanmaktadır. Çizelge 15 birkaç temsili bitki için nispi sodyum toleransını vermektedir. Çizelgedeki veriler yalnızca SAR şeklinde değil değişebilir toprak sodyumu (ESP) şeklinde de verilmiştir. Verilen SAR'da uzun dönemde (birkaç yıl) su kullanımından kaynaklanması beklenen toprak ESP tahminleri şekil 1 deki nomogram kullanılarak yapılabilir (Jips varlığında SAR-ESP ilişkilerinin hatalı yorumlanmasına Bölüm 3.2.1'e başvurunuz).

Çizelge 15 Seçilmiş Bitkilerin Değişebilir Sodyuma Nispi Toleransı

Duyarlı ²	Yarı- toleranslı ²	Toleranslı ²
Avakado (<i>Persea americana</i>)	Havu (<i>Daucus carota</i>)	Yonca (<i>Medicago sativa</i>)
Yaprak dken meyveler	Ak ğl (<i>Trifolium repens</i>)	Arpa (<i>Hordeum vulgare</i>)
Kabuklu meyveler	<i>Paspalum dilatatum</i>	Pancar (<i>Beta vulgaris</i>)
Yeşil faslye (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	Kamışsı yumak (<i>Festuca arundinacea</i>)	şeker pancarı (<i>Beta vulgaris</i>)
Pamuk (imlenmede) (<i>Gossypium hirsutum</i>)	Marul (<i>Lactuca sativa</i>)	Bermuda imi (<i>Cynodon dactylon</i>)
Mısır (<i>Zea mays</i>)	Hint darısı (<i>Pennisetum tyhoides</i>)	Pamuk (<i>Gossypium hirsutum</i>)
Bezelyeler (<i>Pisum sativum</i>)	şeker kamışı (<i>Saccarum officinarum</i>)	Bufalo imi (<i>Brachiaria mutica</i>)
Greyfurt (<i>Citrus paradisi</i>)	İskenderiye ğl (<i>Trifolium alexandrium</i>)	Rhodes imi (<i>Chloris gayana</i>)
Portakal (<i>Citrus sinensis</i>)	Sarı, kokulu yonca (<i>Melilotus parviflora</i>)	Otlak ayrığı, pskll (<i>Agropyron cristatum</i>)
şeftali (<i>Prunus persica</i>)	Hardal (<i>Brassica juncea</i>)	Otlak ayrığı, yol imi (<i>Agropyron cristatum</i>)
Mandalina (<i>Citrus reticulata</i>)	Yulaf (<i>Avena sativa</i>)	Yksek otlak ayrığı (<i>Agropyron elengatum</i>)
Mang faslyesi (<i>Phaseolus aurus</i>)	Soğan (<i>Allium sepa</i>)	Karnal imi (<i>Diplachne fusca</i>)
Kara faslye (<i>Phaseolus mungo</i>)	Kırmızı turp (<i>Raphanus sativus</i>)	
Mercimek (<i>Lens culinaris</i>)	Pirinç (<i>Oryza sativus</i>)	
Yer fıstığı (<i>Arachis hypogea</i>)	avdar (<i>Secale cereale</i>)	
Nohut (<i>Cicer arietinum</i>)	İtalyan imi, kara ayır (<i>Lolium multiflorum</i>)	
Brlceler (<i>Vigna sinensis</i>)	Sorgum (<i>Sorghum vulgare</i>)	
	Ispanak	

	<i>(Spinacia oleracea)</i> Domates <i>(Lycopersicon esculentum)</i> Burçak <i>(Vicia sativa)</i> Buğday <i>(Triticum vulgare)</i>	
--	---	--

Pearson (1960); Abrol (1982) ve FAO-Unesco (1973) verilerinden uyarlanmıştır.

Üç tolerans sınırına karşılık gelen yaklaşık değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) düzeyleri: 15 ESP den daha az duyarlı; 15-40 ESP arası yarı toleranslı; 40 ESP den daha yüksek toleranslı. Tolerans her kolonda yukardan aşağıya doğru düşmektedir. Sıralanan toleranslar nispidir. Çünkü genellikle beslenme faktörleri ve ters toprak şartları bu seviyelere ulaşmadan önce bitki gelişimini kontrol etmektedir. ESP değeri 30'un üzerindeki topraklar iyi bitki üretimi için genellikle aşırı zayıf fiziksel stürktüre sahiptir. Bir çok durumda toleranslar ilk önce toprak yapısının kararlılığının artırılmasıyla kurulmaktadır.

SAR veya sodyum nedenli bir potansiyel toksikliğinin değerlendirilmesinde yüksek SAR'lı su ile özel dikkat sarf edilir. Çünkü sodyumun belirgin toksik etkileri zayıf su infiltrasyonu nedeni ile olabilir veya zayıf su infiltrasyonu karmaşık hale getirebilir. Çizelge 15'te gösterildiği gibi, şayet toprağın fiziksel şartları yeterli infiltrasyona izin verebilecek yeterlilikte iyi ise yalnızca daha duyarlı çok yıllık bitkiler sodyum nedenli verim kaybına sahip olmaktadır. Toprak yapısı korunduğunda, daha toleranslı olarak listelenen birkaç bitki, iyi gelişme göstermekte ve şayet toprak yapısı ve havalandırma genellikle korunabilirse kaba tekstürlü topraklarda olduğu gibi bu bitkiler daha yüksek ESP düzeylerine dayanabilmektedir.

4.1.3 Bor

Sodyumdan farklı olarak bor, bir bitki gelişimi için temel bir elementtir (klorda temel elementtir fakat böyle küçük miktarlarda çoğunlukla temel olmayan olarak sınıflandırılmaktadır). Bor'a nispeten küçük miktarlarda ihtiyaç duyulmakla birlikte ihtiyaç duyulandan gözlemlenebilir şekilde daha fazla miktarlarda bor mevcut olursa, toksik hale gelmektedir. Bazı bitkiler için suda 0.2 mg/1 bor temel element ise 1-2 mg/1 toksik olabilmektedir. Yüzey suları nadiren toksik olabilecek yeterlilikte bor içermekte fakat kuyu suları veya kaynaklar zaman zaman özellikle jeotermal alanlarda ve deprem kırıklarına yakın yerlerde toksik miktarlarda bor içermektedir. Sudan kaynaklanan bor problemleri, topraktan kaynaklananlardan muhtemelen daha sık görülür. Bor toksikliği neredeyse tüm bitkileri etkileyebilmekte fakat tuzluluk gibi, bitkiler arasında geniş bir tolerans aralığı bulunmaktadır.

Sararma, beneklenme veya uç kenarlarda yaprak dokularının kuruması şeklindeki bor zehirlenme semptomları normal olarak ilkin yaşlı yapraklarda görülür. Kuruma ve kloroziz (sararma) zamanla bor daha fazla biriktirdikçe damarlar arasından merkeze doğru genellikle ilerler. Ciddi şekilde etkilenmiş ağaçlarda, tipik yaprak semptomlarını göstermeyen bademler ve diğer ağaçlar gibi, ana dallar veya gövde üzerinde yapışkan sıvı ve zamk sıklıkla dikkat çekicidir.

Yaprak dallarındaki bor konsantrasyonları 250-300 mg/kg (kuru ağırlık) geçtikten sonra çoğu bitkilerde toksiklik semptomları meydana gelir fakat duyarlı bitkilerin tamamı boru yaprak ayasında toplamaz. Örneğin taş çekirdekli meyveler (şeftali, erik, badem vb.) ve yumuşak meyveler (elma, armut vb) kolayca bordan zarar görür. Fakat bu meyve ağaçları güvenilir bir tanı testi olarak yaprak analizi için yaprak dokularında yeteri kadar bor biriktirmezler. Bu bitkilerde bor fazlalığı toprak ve su analizlerinden, ağaç semptomlarından ve gelişme karakteristiklerinden doğrulanmalıdır.

Çizelge 16 Tarımsal Bitkilerin Nispi Bor Toleransı^{1,2}

<u>Çok duyarlı</u> (<0.5 mg/l)		<u>Orta derecede duyarlı</u> (1.0-2.0 mg/l)	
Limon	<i>Citrus limon</i>	Biber, kırmızı	<i>Capsicum annuum</i>
Böğürtlen	<i>Rupus sp.</i>	Bezelye	<i>Pisum sativum</i>
		Havuç	<i>Daucus carota</i>
<u>Duyarlı</u> (0.5-0.75 mg/l)		Turp	<i>Raphanus sativus</i>
Avokado	<i>Persea americana</i>	Patates	<i>Solanum tuberosum</i>
Greyfurt	<i>Citrus X paradisi</i>	Hıyar	<i>Cucumis sativus</i>
Portakal	<i>Citrus sinensis</i>		
Kayısı	<i>Prunus armeniaca</i>	<u>Orta derecede toleranslı</u> (2.0-4.0 mg/l)	
Şeftali	<i>Prunus persica</i>	Marul	<i>Lactuca sativa</i>
Kiraz	<i>Prunus avium</i>	Lahana	<i>Brassica oleracea capitata</i>
Erik	<i>Prunus domestica</i>	Kereviz	<i>Apium graveolens</i>
Trabzon hurması	<i>Diospyros kaki</i>	Şalgam	<i>Brassica rapa</i>
İncir	<i>Ficus carica</i>	Adi çim	<i>Poa pratensis</i>
Üzüm	<i>Vitis vinifera</i>	Yulav	<i>Avena sativa</i>
Ceviz	<i>Juglans regia</i>	Mısır	<i>Zea mays</i>
Pikan cevizi	<i>Carya illinoensis</i>	Enginar	<i>Cynara scolymus</i>
Börülce	<i>Vigna unguiculata</i>	Tütün	<i>Nicotiana tabacum</i>
Soğan	<i>Allium cepa</i>	Hardal	<i>Brassica juncea</i>
		Tatlı yonca	<i>Melilotus indica</i>
<u>Duyarlı</u> (0.75-1.0 mg/l)		Kabak	<i>Cucurbita pepo</i>

Sarımsak	<i>Allium sativum</i>	Kokulu kavun	<i>Cucumis melo</i>
Tatlı patates	<i>Ipomoea batatas</i>		
Buğday	<i>Triticum aestivum</i>	Toleranslı (4.0-6.0 mg/l)	
Arpa	<i>Hordeum vulgare</i>	Sorgum	<i>Sorghum bicolor</i>
Ayçiçeği	<i>Helianthus annuus</i>	Domates	<i>Lycopersicon lycopersicum</i>
Bezelye, mang	<i>Vigna radiata</i>	Yonca	<i>Medicago sativa</i>
Susam	<i>Sesamum indicum</i>	Fiğ, pembe çiçekli	<i>Vicia benghalensis</i>
Acı bakla	<i>Lupinus hartwegii</i>	Maydonoz	<i>Petroselinum crispum</i>
Çilek	<i>Fragaria spp.</i>	Kırmızı pancar	<i>Beta vulgaris</i>
Yer elması	<i>Helianthus tuberosus</i>	Şeker pancarı	<i>Beta vulgaris</i>
Barbunya	<i>Phaseolus vulgaris</i>		
Lima faülyesi	<i>P.vulgaris lunatus</i>	Çok toleranslı (6.0-15.0 mg/l)	
Yer fıstığı	<i>Arachis hypogaea</i>	Pamuk	<i>Gossypium hirsutum</i>
		Kuşkonmaz	<i>Asparagus officinalis</i>

¹Maas (1984) den alınmıştır

²Verim veya vejetatif gelişim azalmasız toprak suyu veya saturasyon ekstratında tolere edilen maksimum konsantrasyonlar bor toleransları iklim, toprak şartları ve bitki çeşitlerine bağlı olarak değişmektedir.Sulama suyundaki maksimum konsantrasyonlar bu degerlere yaklaşık olarak eşit veya hafifçe daha azdır.

Çizelge 17 Artan Bor Birikimi ve Yaprakları Taşınmasına göre Limon ve Taş Çekirdekli Meyve Çöğürleri sıralanması¹

Genel adı	Botanik adı	Bor Birikim Düzeyi
Turunçgiller		
Alemow	<i>Citrus macrophylla</i>	Düşük
Gajanimma	<i>Citrus pennivesiculata</i> veya <i>C.moi</i>	
Chinese box orange	<i>Severinia buxifolia</i>	
Sour orange	<i>Citrus aurantium</i>	
Calamondin	<i>X Citrofortunella mitis</i>	
Sweet orange	<i>Citrus sinensis</i>	
Yuzu	<i>Citrus junos</i>	
Rough lemon	<i>Citrus limon</i>	
Greyfurt	<i>Citrus X paradisi</i>	
Rangpur lime	<i>Citrus X limonia</i>	
Troyer citrange	<i>X Citroncirus webberi</i>	
Savage citrange	<i>X Citroncirus webberi</i>	
Cleopatra mandarin	<i>Citrus reticulata</i>	
Rusk citrange	<i>X Citroncirus webberi</i>	
Sunki mandarin	<i>Citrus reticulata</i>	
Sweet lemon	<i>Citrus limon</i>	
Trifoliate orange	<i>Poncirus trifoliata</i>	
Citrumelo 4475	<i>Poncirus trifoliata X Citrus paradisi</i>	
Ponkan mandarin	<i>Citrus reticulata</i>	
Sampson tangelo	<i>Citrus X tangelo</i>	

Cuban shaddock Sweet lime	<i>Citrus maxima</i> <i>Citrus aurantiifolia</i>	Yüksek
Sert çekirdekli meyveler		
Badem Myrobalan eriği Kayısı Marianna eriği Shalil şeftali	<i>Prunus dulcis</i> <i>Prunus cerasifera</i> <i>Prunus armeniaca</i> <i>Prunus domestica</i> <i>Prunus persica</i>	Düşük Yüksek

¹Maas 1984 den alınmıştır.

Kum kültürü teknikleri kullanılarak bor toleransı için geniş bir bitki aralığı test edilmiştir (Eaton 1944). Daha önce genel olarak kullanılan tolerans tabloları, büyük oranda bu verilere dayanmaktadır. Bu çizelgeler toksiklik septomları ilk gözlemlendiğinde bor toleransını yansıtmaya ve bitkiye bağlı olarak bir ila üç sulama sezonunu kapsamaktadır. Bu ilk deneylerden alınan orijinal veriler ve birçok diğer kaynaklardan alınan veriler son zamanlarda yeniden gözden geçirilmiştir (Maas 1984). Çizelge 16 bu son veri revizyonunu sunmaktadır. Bu çizelge bitki semptomlarına dayanmaz fakat belirtilen bor değeri aşılsa verimde beklenilecek önemli kayıplara dayanmaktadır. Çizelge 17 turuçgil ve taş çekirdekli meyve anaçları üzerine son verileri sunmakta ve artan bor birikime göre sıralamaktadır.

4.2 TOKSİKLİK PROBLEMLERİNİN YÖNETİMİ

Açıkçası, bir toksiklik probleminin oluşumunu engellemenin en etkili yöntemi, toksiklik potansiyeli olmayan bir sulama suyunun seçilmesidir. Fakat böyle bir su mevcut değilse, toksikliği azaltabilmek ve verimi iyileştirebilmek için adapte edilebilen genel yönetim seçenekleri bulunmaktadır.

Potansiyel olarak toksik iyonlar sodyum, klor ve bor iyonları tuzluluk için yapılanla benzer tarzda yıkama yapılarak herbiri azaltılabilir. Fakat toksik iyonlarla gereksinim duyulan yıkama suyu derinliği toksik iyonla birlikte değişir ve bazı durumlarda aşırı olabilir. Şayet yıkama aşırı hale geliyorsa, birçok yetiştirici daha toleranslı bir bitkiye geçiş yapmaktadır. Daha yüksek seviyede toksik iyonlarla yaşama teşebbüsünde, arttırılan yıkama veya bitkilerin değiştirilmesi tarım sisteminde kapsamlı değişikliklere gerek duyulabilir. Toksiklik probleminin aşırı olmadığı yerlerde, çiftlik kültürü uygulamalarında nispeten küçük değişiklikler, bu değişimin etkisini minimize edebilir. Birkaç durumda, daha düşük kaliteli olan kaynaktan gelen zararı

düşürmek amacıyla daha düşük kaliteli kaynakla karıştırılabilecek bir alternatif su kaynağı kullanışlı olabilir.

Toksiklik yönetimi ve üretimin korunması için alternatifler takip eden bölümlerde tartışılmıştır.

4.2.1 Yıkama

Tuzluluk ve toksiklik arasında bir paralellik çizilebilir. Toksik iyonlar (klor, sodyum ve daha az bir derecede bor) kök bölgesindeki normal tuzluluk birikiminin önemli bir parçasıdır ve tuzlulukta olduğu gibi yıkama, bitki kök bölgesinde bu toksit iyonları azaltabilmenin ve kontrol edebilmenin tek pratik yoludur. Sulama suyundaki toksik iyonun konsantrasyonlarına ve gerçekleştirilen yıkama oranına bağlı olarak toksiklik birkaç sulama veya bir veya daha fazla gelişme mevsimi içinde gelişebilir.

Yıkama ya bir problemi engellemek için veya bitki semptomlarından veya bitkizararından anlaşılmasının ardından bu problemi düzeltebilmek için kullanılabilir. Toprak, bitki ve su analizleriyle bitki semptomları, potansiyel toksikliği ve mevcut yıkama ve bitki yönetimi uygulamasının yeterliliğinin izlenmesinde çok kullanışlıdır. Toksiklik sulama suyundan geliyorsa ağırlık yeterli yıkama yoluyla toksikliğin engellemesine verilmelidir. Sürekli şekilde sulanan alanlarda, yeterli yıkama olmadan ve aşırı toksik iyonlar bitki üretimine etkili oldukları konsantrasyonlara çıkmadan önce ıslah gerekli değildir.

Klor iyonları uygulanan sulama suyundan kolayca hareket eder ve toprak ve su tuzluluğunun önemli bir kısmını oluşturur. Çizelge 4'te tuzluluk için verilen konsantrasyon faktörleri klor iyonları için de uygulanır. Sudaki klor konsantrasyonu ile çarpılan belirli yıkama oranı (Çizelge 3) için konsantrasyon faktörü yakın şekilde bitki kök bölgesinde beklenen ortalama klor konsantrasyonuna yaklaştıracaktır. Klor yıkanabilir ve eğer klor toleransı (Cl_e saturasyon ekstraktındaki) ve sulama suyundaki klor (Cl_w) biliniyorsa Bölüm 2.4.2 'de tanımlandığı gibi tuzluluk için (Rhoades 1974) yıkama gereksinimi eşitliği (Eşitlik 9), klorun yıkama gereksinimini hesabı için aynı şekilde uygundur. LR eşitliği aşağıdaki şekle dönüşür:

$$LR_{(Cl)} = \frac{Cl_w}{5 Cl_e - Cl_w}$$

Eşitlikte;

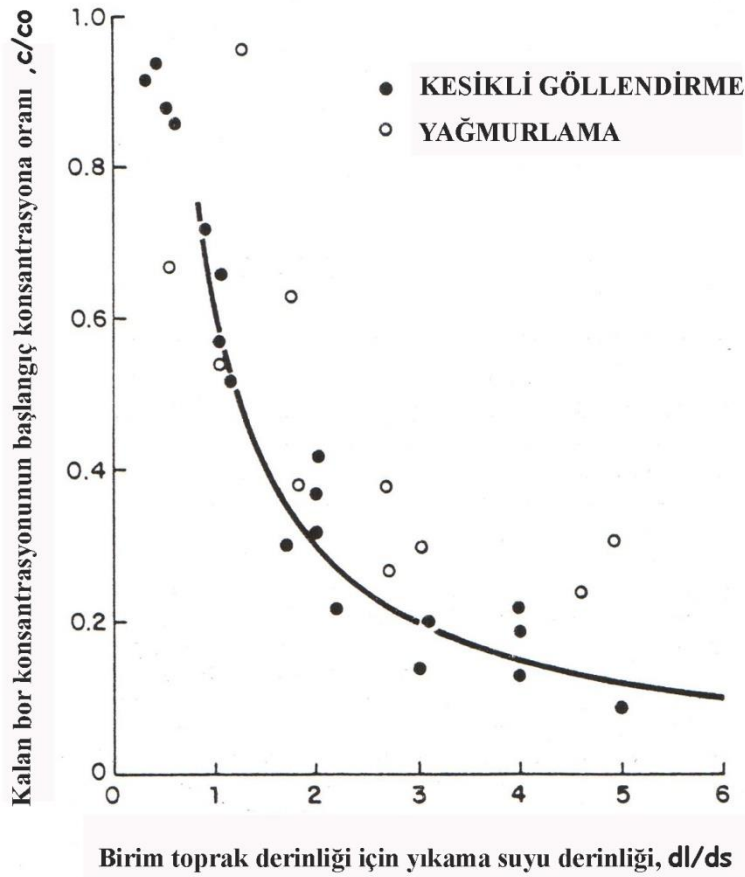
LRC_1 = Her zamanki yüzey sulama yöntemleriyle kloru kontrol edebilmek için ihtiyaç duyulan en az yıkama gereksinimi,

Cl_w = Uygulanan sulama suyunda klor konsantrasyonu (me/1),

Cl_e = Toprak saturasyon ekstratında belirlendiği şekilde bitkiler tarafından tolere edilebilen klor konsantrasyonu (me/1).

Sodyum iyonlarının bir permeabilite problemine neden olabilmesi bekleneneğinden ziyade sodyuma duyarlı bitkilerde (çoğunlukla ağaçlar ve odunsu dekoratif bitkiler) daha düşük bir SAR değerinde zehirlenmelere neden olur. Sodyum iyonları su ile birlikte klora göre daha az hareket eder. Buna karşın araştırmalar yüksek yıkama oranlarının (LF) düşük bir toprak SAR'ını koruyabilmek için etkili olabileceğini göstermekte fakat ıslah maddesi eklenmeksizin suda 9'u geçen SAR değerleri için 0.30 veya daha yüksek yıkama oranına gerek duyulabilir. Sodyum toksikliğini kontrol edebilmek için bilinçli şekilde büyük miktarlarda su eklenmesi pratik olamayabilir. Çünkü toprak havalanması ve direnaj problemlerine sebep olabilir. Tercih edilen bir çözüm orta derecede jips eklenmesi veya kalsiyum sağlayan gübre maddelerinin verilmesidir (kireç mevcutsa asitlendirme; toprak kireci mevcut değilse baz veya kalsiyum sağlamak). Eğer yıkama ile birlikte ıslah maddeleri sodyum toksikliği problemini kontrol edemiyorsa, daha toleranslı bir bitkiye geçiş tavsiye edilebilir.

Klor ve sodyumun yıkanmasından borun yıkanması çok daha zordur. Bor toprak suyu ile yavaş şekilde hareket eder ve klor veya tuzluluğa eş değer miktarda düşüş sağlanabilmesi için gerek duyulacak yıkama suyunun yaklaşık üç katına bor yıkamasında ihtiyaç duyulmaktadır. Birçok tarla gözlemlerinde, üst kök bölgesi toprak saturasyon ekstratındaki bor konsantrasyonu genellikle uygulanan sulama suyundaki konsantrasyona yaklaşmaktadır. İyi sulama yönetimiyle, üst kök bölgesi toprağı bor konsantrasoyonu neredeyse uygulanan sulama suyundaki bor konsantrasyonunda tutulması veya azaltılması mümkündür.



Şekil 22 Temel olarak yüksek borun olduğu bir toprağı ıslah edebilmek için birim toprak derinliği başına gereksinim duyulan yıkama suyu derinliği (Hoffman 1980).

Yukarıda tartışıldığı gibi, bir toksiklik problemini kontrol etmenin anahtarı iyi bir sulama kaynağı seçimi ve sonra bitki üretimini azaltabilecek herhangi bir toksiklik oluşumun kontrol edilebilmesi için ihtiyaç duyulduğu kadar yıkama yapılmasıdır. Şayet sulama yönetimi kötü ve zararlı düzeyde konsantrasyonlar oluşmuş ise, toprak üretkenliğini düzeltebilmek için ıslah maddelerine ve ıslah yıkamasına gereksinim duyulabilir. Islah yıkamasında tuzluluk ve klor için kullanılan aynı genel kurallar uygulanır (Bölüm 2.4.6). Bor için, aynı prensipler uygulanır fakat yaklaşık 3 kat daha fazla suya ihtiyaç duyulacaktır. Yağmurlayıcılarla veya kesikli göllendirme ile nispi bor yıkama etkinliğini Şekil.22 göstermektedir. Son araştırmalar, bordan etkilenmiş toprakların hızlı şekilde ıslahını, sülfürik asit uygulamasının hızlandırdığını göstermekte fakat bunu doğrulayan yoğun tarla testleri ve gözlemleri henüz bulunmamaktadır.

4.2. 2 Bitki Seçimi

Daha toleranslı bir bitki seçilmesi, toksiklik problemine çok pratik bir çözüm sunar. Bitkilerin tuzluluğa duyarlılık dereceleri bulunduğ gibi bor, klor ve sodyuma duyarlılık dereceleri de

bulunmaktadır. Bitkilerin toksik iyonları nispi tölesansları üzerine sınırlı bitki mevcuttur. Çizelge 15 sodyum için, Çizelge 16 ve 17 bor için veriler sunmaktadır. Bunların yaklaşık değerler olduğu akılda tutulmalı ve bunlar yersel tarımsal şartlara ayarlanabilmelidir. İklim, sulama yönetimi, yıkama oranı, drenaj, bitki gelişme evresi ve bitki olgunlaşma tarihi tölesansı etkileyen faktörler arasında yer alır.

Töleranslı anaç veya çeşitlerin seçimi, mevcut şartlarla başadebilmek için bir diğer bitki değişim yöntemidir. Belirli anaçlar veya çeşitlerin klor veya bor gibi iyonları dışlama kabiliyetleri farklılık gösterir (Çizelge 14, Çizelge 17) ve ideal şartlardan daha düşük şartlar altında iyi bitki üretimi sağlarlar.

4.2. 3 Kültürel uygulamalar

Yıkama toksik iyon kontrolünün birincil yöntemi olduğundan dolayı çiftlik düzeyinde sulama yönetimine yardımcı olabilecek kültürel uygulamalar, başarının anahtarıdır. Daha iyi su kontrolü ve dağılımı sunan kültürel uygulamalar, arazi eğimlendirilmesini, profil madifikasyonunu ve doğal drenaj yeterli değilse suni drenajı içine almaktadır. Bu adımlar tuzluluğu ve toksikliği iyileştirmek için daha önce tartışılmış bulunan adımların tamamlayıcısıdır.

Bir toksiklik probleminin şiddeti, bitki toprak suyunu tükettikçe ve sulamalar arasında toprak kurudukça artacaktır (Şekil 4). İyonlar azalan toprak su hacminde konsantre olacaktır. Üst toprak kurudukça, bitki tuzluluğun ve toksik iyonların genellikle daha fazla konsantre olduğu daha derin topraktan daha fazla su ihtiyacını karşılamalıdır. Sulama frekansının artırılması, daha derindeki toprak suyunu seyrettiği kadar su gereksinimlerinin büyük bir kısmı daha üstteki topraktan sağlanır ve hem tuzluğun hem de toksik iyonların etkilerini azaltır. Bu daha önce Bölüm 2.4.4 de tartışılmıştır.

Normalde gübreleme uygulamalarının tuzluluğun dengelenmesi için çok az fayda sunduğu düşünülmektedir fakat turuncgillerde bordan kaynaklanan toksiklik gibi bir toksiklikde yetiştiriciler ekstradan gelişimi tetiklemek için azot uygulamaktadırlar. Bor ilk önce toksik miktarlarda daha yaşlı yapraklarda toplanmakta ki sonra bu yapraklar ölmekte ve düşmektedir, böylece söz konusu ağacın fotosentetik kapasitesi azalmaktadır. Bu durumda yaprak alanını ve fotosentetik kapasiteyi yenileyebilmek amacıyla yeni gelişimi teşvik etmek için azot kullanılmaktadır. Azot için yaprak analizi, azot ihtiyacının belirlenmesinde rehber olmaktadır.

Örneğin Washington Novel Portakalı için önerilen azot rehber değeri meyvelenmeden sürgünler kızarmadan 5-7 ay yaşlı uç bahar dönüşüm yapraklarına %2.4-2.6 azottur (kuru ağırlık). Fakat bor bir problem haline geliyorsa bu klavuz değeri %2.7-2.8 azota yaklaştırılarak yükseltirilir ve gübreleme uygulamaları bu yüzdeye göre ayarlanır.

Yapraklarda bor birikmesi zaman alır. Ceviz benzeri bir bitkide, hasat edilmeden önce orta miktarlarda suda bulunan bordan (1-2 mg/1) hasat edilmeden önce zararlı olacak düzeyde birikmeyebilir. Böyle bir durumda, zehirlilik bir potansiyel tehdit olacak ve sezonun sonuna kadar yaprakların çoğunluğu şiddetli bor toksitliği ($B = 1500 \text{ mg/kg}$) gösterecektir. Bitki kalitesi büyük oranda etkilenmezse bile, ağaç dayanımı ve büyüklüğü etkilenebilir. Nispeten yüksek borlu su kullanılan ($>10 \text{ mg /1}$) California Clearlake alanında yetişen yoncalar, açıkça teşhis edilebilir problemlerden sakınmak için yeterince sıklıkta biçilir; benzer şekilde yüksek borlu atık suyla (2-3 mg/1) sulanan California Calistoga’da kaba golf çimleri muhtemelen aynı nedenle toksiklik semptomları göstermemiştir (Bölüm 8.25).

Uygulanan sudan kaynaklanan sodyum toksikliği (yüksek SAR) jips gibi bir toprak veya su ıslah maddesi kullanılarak genelde dengelenmektedir. Genelde, su tuzluluğunun nispeten düşük olduğu ($EC_w < 0.5 \text{ dS/m}$) yerlerde, suya uygulanan ıslah maddelerine verilen yararlı tepki ler tuzluluğun yükse olmasından daha fazladır çünkü düşük tuzlulukta yüksek tuzlulukta olana göre sodyum/kalsiyum oranını değiştirmek çok daha kolaydır. Su ıslah maddelerinden ziyade toprak ıslah maddelerine, yüksek derecede tuzlu veya yüksek ESP li bir toprakla ilişkili sodyum probleminin düzeltilmesi için güvenilmektedir. Toprak kil içeriği arttıkça sodyum toksikliğinin düzeltilmesi çok daha zorlaşır. Artırılmış yıkamanın meydana gelmesine izin verecek su infiltrasyonu veya toprak permeabilitesini geliştirmeksizin ıslah maddeleri kullanımının klor ve bor problemlerini hafifletmesi beklenilmemelidir. ıslah maddeleri Bölüm 3.2.1 de daha detaylı ele alınmıştır.

4.2.4 Su Kaynaklarının Karıştırılması

Şayet bir alternatif su kaynağı mevcutsa, fakat kalite ve miktarı tamamen yeterli değilse, bu suların karışımı, kalitede bir bütün iyileşme sunabilir ve potansiyel toksiklik problemini düşürebilir. Suların karıştırılması özellikle sodyum toksikliğinde etkilidir. Toprakta absorbe edilen tek değerli (Na^+) ve çift değerli (Ca^{++}) katyonlarının oranları, tek değerli sodyuma göre çift değerli kalsiyum ve magnezyumun absorpsiyonunu öne çıkaran seyreltmeyle birlikte konsantrasyona bağlı olmasından dolayı karıştırma özellikle bir sodyum toksikliği problemi

için etkili olmaktadır. Karıştırmadan kaynaklanan bir kalite değişimi Bölüm 2.4.7 ve 3.2.2’de verilmiştir.

4. YAĞMURLAMA SULAMA NEDENLİ TOKSİKLİK ETKİLERİ

Duyarlı bitkilerin üstten yağmurlama ile sulanması, yüzey yöntemleri ile sulandığında karşılaşılmayan zehirlenmelere neden olabilir. Yağmurlayıcılar tarafından ıslatılan yapraklar vasıtasıyla sulama suyundan aşırı miktarlarda sodyum ve klorun absorbe edilmesi nedeniyle zehirlenme meydana gelir. Ekstrem durumlar, şiddetli yaprak yanması ve dökülmesiyle sonuçlanır. Yüksek sıcaklık ve düşük nemli (< %30) dönemler esnasında absorpsiyon ve toksiklik çokca meydana gelir, sık şekilde rüzgarlı şartlar tarafından şiddetlendirilir. Döner yağmurlama başlıkları en büyük riski sunar. Dönüşler arasında su buharlaşır ve azalan su hacminde tuzlar daha konsantre hale gelir. Yavaş şekilde dönen başlıklar (dakikada 1 devirden daha az) ıslanma ve kuruma çevrimlerinin değişimine neden olur; daha yavaş dönme hızı daha fazla absorpsiyona yola açar. Yüksek frekanslı (günlük sulama yakın) spreyl sulaması da bazı durumlarda problemler meydana getirmektedir.

Yaprak yanması ve ortaya çıkan bitki zararları, uygulanan sudan sodyum veya klor alımı nedeniyle oluşmaktadır. Bazı yerlerde sodyum ve klor birlikte absorbe edilmekte ve herikisi birikim yapmaktadır. Duyarlı bitkilerde toksiklik nispeten düşük sodyum veya klor konsantrasyonlarında (>3 me /l) meydana gelir ve genelde sodyum ve klora karşı bitki duyarlılığının yeşil aksamdan absorpsiyona çok duyarlı olduğu düşünülmektedir. Yıllık bitkilerin çoğunluğu duyarlı değildir. Fakat konsantrasyonlar yeterince yüksek olursa zarar göstereceklerdir. Sınırlı veriler ve öne çıkan iklim şartlarının etkileri nedeniyle yağmurlamayla uygulanan sulama suyundaki sodyum ve klora bitki toleransları, iyi şekilde belirlenememiştir. Fakat Çizelge 18’de son tarla araştırmalarına dayanan tahminler verilmektedir. Bir potansiyel zararın ilk yaklaşımı şeklinde bu verilerin kullanılmaları iyi olur ve bu çizelgede verilen sodyum ve klor değerlerine yaklaşan herhangi bir durumda uygulama sisteminin tamamen kurulumundan önce tarla testleriyle ilave değerlendirmeler yapılmalıdır.

Çizelge 18 Yağmurlayıcılarla Uygulanan Tuzlu Sudan Kaynaklanan Yeşilaksam Zararlanmasına Karşı Seçilmiş Bitkilerin Nispi Toleransı ^{1,2}

Yeşil aksam Zararlanmasına sebep olan Na ⁺ veya Cl ⁻ Konsantrasyonları ³ (me/l)			
<5	5-10	10-20	>20
Badem (<i>Prunus dulcis</i>)	Üzüm (<i>Vitis spp.</i>)	Yonca (<i>Medicago sativa</i>)	Karnabahar

Kayısı (<i>Prunus armeniaca</i>) Limon (<i>Citrus sp.</i>) Erik (<i>Prunus domestica</i>)	Biber (<i>Capsicum annuum</i>) Patates (<i>Solanum tuberosum</i>) Domates (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Arpa (<i>Hordeum vulgare</i>) Mısır (<i>Zea mays</i>) Hıyar (<i>Cucumis sativus</i>) Aspir (<i>Carthamus tinctorius</i>) Sorgum (<i>Sorghum bicolor</i>)	(<i>Brassica oleracea botrytis</i>) Pamuk (<i>Gossypium hirsutum</i>) Ayçiçeği (<i>Helianthus annus</i>)
--	---	---	--

¹Veriler Maas (1984)'den alınmıştır.

²Duyarlılık doğrudan yapraklar vasıtasıyla tuzların birikimine dayanmaktadır.

³Yaprak absarbsiyonuna ve yeşil aksam zararı, kuru rüzgarlar, düşük nemlilik, yağmurlayıcıların dönme hızı, sulamanın zamanlaması ve sıklığı gibi kültürel ve çevresel şartlardan etkilenir. Sunulan veriler ilk bahar ve yazın gündüz yağmurlama sulamaları için yalnızca genel rehber niteliğindedir.

Konsantrasyonları, 3 me/1 kadar düşük sodyum veya klorlu sularla yağmurlamayla ıslatılan yapraklarda California turunçgil alanlarında toksiklik meydana gelmiştir. Karık veya salma sulama ile aynı su, toksikliğe veya yaprak yanmasına neden olmamıştır. $EC_w = 1.35$ dS/m, 6 me/1 sodyum ve 7 me/1 klorlu su kullanılarak yoncada hafif zarar olduğu belirtilmiş fakat bu zarar yüksek buharlaşma, muhtemel şekilde rüzgarlı şartlar ve döner yağmurlayıcılar altında oluşmuştur (Çizelge 19). Tersine $EC_w = 4.4$ dS/m kadar yüksek 24 me/1 sodyumlu ve 37 me/1 klorlu su, buharlaşma şartları düşük olduğunda çok az veya hiç zarar göstermemiştir (Çizelge 20). Duyarlılık bitkiye de bağlıdır. Test edilen birkaç sebze bitkisi çok yüksek konsantrasyonlarda ve yarı kurak alanlarda bile yeşilaksam etkilerine karşı oldukça duyarsızlık göstermiştir.

Yeşilaksam okyanus veya yağmurlayıcılardan hava akımıyla gelen su spreylerinden kaynaklanan tuzlardan zarar görebilir. Bu zarar yağmurlayıcılardan rüzgar altı taşınma alanları kadar California'nın Büyük Okyanus kıyıları boyunca meydana gelmektedir. Yağmurlayıcılarla uygulanan suyun demir içeriği nedeniyle yapraklar üzerinde kırmızımsı birikimleri, bikarbonhidratlardan kaynaklanan beyaz birikimleri ve jips gibi suda çözünebilir maddelerden kaynaklanan diğer birikimleri içine alan daha az sıklıkta görülen diğer problemler de yağmurlayıcılarla meydana gelmektedir. Bunların toksik olmamasına karşın yeşil bitkilerin pazarlanmasını veya sofralık üzümler gibi bir bitkinin kabul edilebilirliğini azaltabilirler (Bölüm 5.0).

Çizelge 19 . California Imperial Ovasında Yağmurlama Sulama İle Üç Uygulama

Hızıyla Yoncadaki Yaprak Yanıklığı^{1,2}

	Uygulama hızı (mm/h)		
	1.8	2.7	4.0
Yaprağı Yanık Yonca Bitkileri (%)	92.5	5.0	2.5

¹Veriler Robinson (1980)' den alınmıştır.

²Sulama suyu kalitesi $EC_w = 1.35$ dS/m; $TDs = 875$ mg/l; $Na = 6$ me/l; $C1 = 7$ me /l

Yeşil aksam absarbsiyonun veya birikimin sorun olduğu yerlerde belirli yönetim uygulamaları bunlara karşı koymada başarılı olmuştur. Her bir özel problem ayrı şekilde değerlendirilmelidir. Bazı uygulamalar yönetimde küçük değişikliklere ihtiyaç duyulabilirken bazıları rezervurların ele alınmasını veya sulama sisteminin yeniden yerleştirilmesini içine alan daha kapsamlı değişiklikler gerektirecektir.

Çizelge 20. Fırın Kuru Ağırlık Yüzdesi Cinsinden Yapraklarda Sodyum İçeriği^{1,2}

Çesit	Gündüz Yağmurlama	Gece Yağmurlama	Yüzey Sulama
Kısa Lifli	0.73	0.46	0.44
Uzun Lifli	0.29	0.12	0.10

¹Veriler Busch ve Turner (1967)'den alınmıştır

²Sulama Suyu Kalitesi $EC_w = 4.4$ dS/m; $Na = 24$ me/l

Gece Sulaması : Geceleyin yağmurlama sulama yaprak absarpsiyonu nedeniyle hem sodyum hemde hemde klor zehirlenmesini azaltmada ya da safdışı bırakmaktakta oldukça etkilidir ve yeşil aksan birikim probleminide azatmıştır. Gece sulaması çok sıcak periyotlarda gece sıcaklıklarını azaltarak yararlıda olmaktadır. Çizelde 20 gece ve gündüz yağmurlu sulama karşılaştırıldığında pamuk yapraklarında sodyum içeriğindeki farklılıkları göstermektedir.

Yüksek rüzgarlı dönemlerden sıkışma; sıcak, kuru rüzgarlar konsantrasyonu, absorpsiyon ve birikiminde önemli bir etkendir. Üstten yağmurlama sulama için bu dönemlerden sıkışma söz konusu problemleri en aza indirmekte ve aşağı rüzgar bitki alanında hava akımı taşınmasıyla neden olunan yaprak yanmalarından kaçınılmaktadır. Bazı alanlarda bu gece sulamalarını gerektirebilir.

Su Damlalarının Hava Akımıyla Taşınmasının Kontrolü

Sıcak, rüzgarlı alanlarda yağmurlama sulamada rüzgar yönünde su taşınması bir risk arz etmektedir. Şayet komşu bitki yaprakları üzerine düşerse, bu taşıma uygulanan yağmurlama suyundan daha fazla konsantre olmaktadır. Potansiyel yaprak yanmasını en aza indirmek için, taşınabilir yağmurlayıcılar taşınan tuzları mümkün olan en kısa sürede yıkayarak uzaklaştırabilmek için rüzgara karşı taşımadan ziyade rüzgar yönünde taşınmalıdır. Yüksek derecede riskli dönemler esnasında hava akımıyla taşınmadan sakınmadan rüzgarların muhtemelen gün ortasında ki rüzgarlardan daha az olacağı sabahın erken akşamın geç saatlerinde ve geceleyin yağmurlama sulama gerektirebilir, hava akımıyla muhtemelen bir problem olacağı rüzgarlı alanlarda sakınmalıdır. Hava akımıyla taşınan muhtemelen bir problem olacağı rüzgarlı alanlarda sisleyici nozullar veya yüksek basınç etkili yağmurlayıcılardan sakınılmalıdır. Şayet hava akımıyla taşıma sorun olacaksa, bloklarda grup yağmurlayıcılar uzun geniş aralıklı tek sıra yağmurlayıcılara tercih edilmelidir.

Yağmurlayıcı Dönme Hızlarını Artırma

Yavaşça dönen yağmurlayıcılar yağmurlayıcı dönüşleri arasında yapraklar üzerinde görülebilir kurumlara izin verirler. Daha sık veya yeşil bitki aksamını sürekli ıslanması yaprakların daha az kurummasına ve aralıklı ıslanma kurumadan daha az absorpsiyona izin vermektedir. Dakikada bir veya daha az dönen bir yağmurlama başlığı sıkça tavsiye edilmektedir. Fakat bunu başarabilmek yağmurlama başlığı tipini ve bazı durumlarda sistem basıncı ve planını değiştirmeyi gerektirebilmektedir. Aynı su kullanım etkinliği korunacaksa be seçeneği icra etmek maliyetli şekilde kurulabilir.

Uygulama hızını artırmak

Şayet, toprak, su depolama kapasitesi ve su infiltrasyon hızı izin verirse daha yüksek hızlı su uygulaması toplam bitki ıslanma süresini azaltarak zararı azaltabilir. Uygulama hızı artırılması, yağmurlayıcı orifislerinin büyütülmesiyle, basıncın artırılması veya yağmurlayıcı sisteminde aralıkların azaltılmasıyla başarılabılır. Fakat bu yağmurlayıcı sistem planlamasında maliyetli şekilde bir değişikliğe ihtiyaç duyulabilir. Çizelge 19 Kalifornia Imperial Ovası için farklı uygulama hızlarıyla ilişkili yaprak yanmasını göstermektedir. Bu Kalifornia çöl ikliminde yüksek buharlaşma isteği (yazın) Dönemleri esnasında 2.7 mm/h 'den daha az uygulama hızlarının aşırı miktarda yaprak yanmasına neden olduğunu göstermektedir (Robinson 1980).

Sulama Yönteminin Değiştirilmesi

Yalnızca yeşil bitki kısmını daha az nemlendiren yağmurlayıcı sistemler absorpsiyon problemini büyük oranda azaltabilir. Düşük açılı veya ağaç altı yağmurlayıcılar yaprakların daha azını ıslatır. Fakat birçok durumda ıslama daha alçaktaki yapraklar yeşil bitki kısmı absorpsiyonundan kaynaklanan septomları hala göstermektedir. Ve bazı durumlarda daha alçak dallar yeşilsiz kalabilmektedir. Kaliforniada limon bahçeleri etüdü yaprak yanması ve dökülmesini yağmurlayıcı spreylere tarafından ıslatılan daha alçak dallarla etkili olduğunu göstermiştir. Ağaçların daha yukarı kısımlarında ıslanmayan yapraklar ve karık sulamayla sulanan ağaçların yaprakları yaprak zarı göstermemiş ve belirgin şekilde daha düşük sodyum içeriği göstermiştir. Bahrayn'de (Bknz. Bölüm 8.6) benzer sonuçlar limon ağaçlarıyla gösterilmiştir. Karık, salma, tava veya damla sulama yaprakları ıslatılmadıklarından dolayı geçerli alternatiflerdir.

Batı USA' da bazı ticari çiftliklerde gösterildiği gibi , pivot yağmurlama sulama sistemleri birçok bitkiler için suyu yapraklara değil de toprağa uygulayabilecek damlatıcı hatlarla modifiye edebilirler.

Damla büyüklüğünü artırma

Yağmurlama sulama sisteminde bir değişikliğe gerek duyulan yerlerde küçük damlalar buharlaşma ve rüzgar taşınmasına daha fazla maruz kalırlarken daha büyük damla uygulayan yağmurlayıcı başlıklar daha az absorpsiyon sonucunu doğuracaktır. Damla büyüklüğünün artırılması yeşilaksam absorpsiyonundan kaynaklanan etkileri azaltabilirken daha fazla yüzey akışa neden olabilecek toprak dispersiyonu, tıkanması ve kompaksiyonu üzerine damla büyüklüğü etkilerinin daha fazla değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Farklı bitkilerinin seçimi

Ekstrem durumlarda ekonomik olarak artık üretilmeyeceklerse fasülye ve üzüm gibi daha duyarlı bitkilerden vazgeçmek gerekli olabilir. Yerel tecrübe verilen şatlara daha toleranslı bitkilere bir rehber olmalıdır.

Daha soğuk mevsimlerde ekim

Gelişme sezonunun daha soğuk kısmında bitkilerin yetiştirilmesi toprak su kullanımı ve yağmurlayıcıların uyguladığı sudan gelen tehlikeleri zaltmaktadır. Bu daha soğuk mevsim bitkileri son derece düşük nemli dönemlerden önce bazen hasat edilebilirler. Daha soğuk

mevsimlerde yetiştirilen bitkileri sodyum veya klorun zehirlenme zararına neden olabilecekleri yeterince yüksek konsantrasyonlara birikimleri ulaşmadan önce olgunlaşabilmek için daha iyi bir şahsa sahiptirler. Gelişme mevsiminin değiştirilmesi yeni ekim dikim tarihi için pazarlama imkanlarının değerlendirilmesinden sonra yalnızca alınabilecek bir ekstrem alternatiftir.

4. DİĞER PROBLEMLER

5.1 AŞIRI AZOT

Azot bir bitki besin elementidir ve bitki gelişimini teşvik etmektedir fakat sulama suyundaki azot topraga uygulanan azot gübresi gibi fazlasıyla aynı etkiye sahiptir ve fazlası tam aşırı gübrelemede olduğu gibi problemlere sebep olacaktır.Şayet aşırı miktarlarda bulunmaktaysa ve uygulanmışsa bitki gelişiminin aşırı teşvik edilmesi nedeniyle yaygın şekilde kullanılan bazı bitkilerin üretimi düşebilir,olgunlaşma ertelenebilir veya düşük kalite olabilir.

En kolay şekilde kullanılabilir. Azot farmları nikrat ve amanyumdur fakat nitrat ($\text{NO}_3 - \text{N}$) Sulama sularında en sık şekilde görülmektedir. Amanyum gübresi veya atık sular su kaynağına karıştırılmaksızın amonyum azotu $1\text{mg} / 1$ 'nin üstünde bulunur.Yüzey sularını veya yer altı sularının çoğunluğundaki konsantrasyonunları $5\text{mg}/1\text{ NO}_3 - \text{N}$ 'den genellikle daha azdır.fakat

bazı sıra dışı yer altı suları 50 mg/l'nin üstündeki miktarları içerebilmektedir. Kök bölgesi altında gelen direnaj suları gübrelerin derine yıkanmaları nedeniyle sık şekilde daha yüksek azot seviyelerine sahip olmaktadır. Böyle bir çok su kaynağını azot mevcut olduğundan dolayı tüm sulama sularının azot içeriğinin izlenmesi tavsiye edilmekte ve planlanan gübreleme planının bütünleyici bir parçası olarak mevcut azot dahil edilmektedir.

Özellikle gıda işleme ve evsel kaynaklardan gelen atık su 10 – 50 mg/l aralığındaki değerlerde yüksek azotlu olarak bilinmektedir (1 mg/l $\text{NO}_3 - \text{N} = 1 \text{ kg N}/1000 \text{ m}^3\text{su}$).

Çeşitli organik ve inorganik birleşmesinden dolayı birçok azot ifade etme yolu bulunmaktadır. Nitrat azotu ($\text{NO}_3 - \text{N}$) amonyum azotu ($\text{NH}_4 - \text{N}$) veya organik azot ($\text{Org} - \text{N}$) şeklinde olup olmadığına bakılmaksızın bitkiler için en önemli faktör toplam azot (N) miktarıdır. Azot şeklinde ifade edilerek karşılaştırılabilir. Örneğin, $\text{NO}_3 - \text{N}$, NO_3 formunda anlamına gelen azot, $\text{NH}_4 - \text{N}$, NH_4 formunda anlamına gelen azot mg/1N olarak ifade edilmiştir (10 mg /1 N = 45 mg/1 $\text{NO}_3 = 10 \text{ mg/1 NH}_4$ olmaktadır. Fakat her birinin 10 mg/1 $\text{NO}_3 - \text{N}$ veya 10 mg /1 $\text{NH}_4 - \text{N}$ şeklinde ifade edilmesi iyi olmaktadır). Çizelge 1 rehber değerlerinde azot nitrat şeklindeki azot olarak ($\text{NO}_3 - \text{N}$) ifade edilmiştir. Çünkü bu azot doğal sularda genel olarak bulunan formdur.

Doğal bitkiler 5 mg /1' nin üzerinde azot konsantrasyonlarında etkilenebilirler. Çoğunlukla diğer bitkiler azot 30mg/1' yi aşana kadar nispeten etkileneceklerdir. Örneğin duyarlı bir bitki olan şeker pancarı aşırı azot gübrelemesiyle büyüklüğünde artış olmakta fakat şeker içeriği ve sağlığı daha düşük olmakta böylece hektar başına üretilen işlenebilir. Şeker miktarı gerçek manada azaltılabilir. Üzümlerde duyarlıdır ve meyve üretiminin pahalı olduğu sezonda geç gelişme devam edebilmektedir. Verim çoğunlukla azalmakta, üzümlerim olgunlaşması gecikebilmekte ve daha düşük şeker içeriğine sahip olmaktadır. Libyadaki tecrübeler, 50 mg/1 N içeren bir su sürekli şekilde kullanıldığında üzümlerde neredeyse hiç meyve oluşmadığını belirtmektedir. Şeftali, limon ve avakado gibi meyvelerin olgunlaşması da ertelenebilir ve meyveler kalite bakımından daha düşük olabilirler, böylece pazarlanabilme ve depolama ömrü etkilenebilmektedir. Birçok tahıl bitkisinde, tane ağırlığını desteklemeyen, aşırı yatma ve makineli hasat için zorluklar sonucunu doğuran zayıf sapların aşırı vejetatif gelişme üretmektedir. Şiddetli rüzgarlar veya dönemsel ağır yağışlı alanlarda yatma özellikle ciddidir. Yeni kısa boylu buğdaylar daha iyi uyum sağlamakta ve aşırı yatmasız yoğun şekilde gübrenilmektedir. Geviş getiren hayvanlar azota duyarlıdır veya doğrudan evcil hayvan

beslenmesi için kullanılan yem bitkilerine ağır şekilde uygulamalar yemlerde aşırı miktarlarda birikimlere neden olabilmektedir. Bu hayvan sağlığı için tehlikeli olabilmektedir.

Bitkilerin duyarlılığı gelişme evresiyle değişim göstermektedir. Yüksek azot düzeyleri ilk gelişme evreleri esnasında yaralı olabilir. Fakat geç çiçeklenme ve meyve oluşumu evrelerinde verim kayıplarına neden olabilirler. Yüksek azotlu su döneminin başlangıcında bir gübre olarak kullanılabilir. Bunun yanında, gelişme döneminde daha sonra bitki azot ihtiyacı azalırken bitkiye uygulanan azot önemli şekilde azaltılmaktadır. Sonraki daha kritik gelişme evreleri esnasında kaynakları karıştırılması veya değiştirilmesine yardımcı olabilirler. Bir diğer seçenek sulama suyundan daha etkili bir biçimde azotu kullanabilen mısır gibi daha az duyarlı bir bitki ekmektir. Azot içeren sularla sulanan bitkiler için bitkiye sağlanan azot oranları sulama kaynağından gelenle yaklaşık eşit bir miktarla azaltılabilirler. Sulanmayan dönemlerde toprakta kalan azotu kullanılabilmesi için bitki rotasyonları planlanabilirler. Bu bir sonraki yıllarda etkiyi düşürmede yararlı olabilecektir.

5 mg/l'den daha az N, azota duyarlı bitkiler üzerinde bile çok az etkiye sahiptir. Fakat derelerde, göllerde, kanallarda ve drenaj kanallarda alglerin ve su bitkilerinin uygun olmayan gelişimlerini teşvik edebilir. Alglerin çok hızlı gelişimi sıcaklık, güneş ışığı ve diğer besin maddeleri optimum olduğunda meydana gelebilir. Veya filtreler veya bakır sülfat gibi maddeler ve kimyasal veya mekanik kontrole ihtiyaç duyan tıkanmış vanalar, boru hatları ve başlıklarla sonuçlanabilirler. Sudaki azot kanalları ve drenaj kanallarında vejetasyonu temizlemek için de bakım maliyetlerini artırmaktadır.

Kullanımdan önce su kaynağından $\text{NO}_3\text{-N}$ ni uzaklaştırabilmek için denitrifikasyon diğer bir alternatif olabilir. Fakat yüksek ekipman ve enerji maliyeti nedeniyle kullanılmaktadır. Azot değerli bir kaynak olduğundan dolayı mümkünse kullanılmalıdır.

5.2 Normal olmayan pH

pH suyun asitlik veya bazlılığının bir göstergesidir. Fakat kendi başına nadiren sorun olmaktadır. Bir su analizinde pH 'ın ana kullanımı anormal suyu araştırmak içindir. Sulama suyu için normal pH aralığı 6.5 den 8.4'e kadardır. Anormal pH suyun daha fazla değerlendirmeye ihtiyaç duyduğu uyarısını verir. Normal aralığın dışında pH değerine sahip bir su bir beslenme dengesizliğine neden olabilir veya bir toksik iyon içerebilir.

Çok düşük tamponlama kapasitesine sahip olduğundan dolayı düşük tuzluluktaki sular ($EC_w < 0.2$ dS/m) bazen normal aralığın dışında bir pH değerine sahip olabilir. Bu kullanıcıyı muhtemel besin dengesizlerine ve tam laboratuvar analizleri vasıtasıyla anormal pH için nedeni belirleme ihtiyacına uyarıda bulunduğu göre aşırı alarma neden olan olmalıdır. Böyle sular normal olarak topraklar ve bitkililer için çok az probleme neden olabilmekte fakat çok korozif olmakta ve hızlı şekilde boruhatları yağmurlayıcılar ve kontrol ekipmanlarını aşındırmaktadır.

Su tarafından neden olunan toprak pH sındaki herhangi bir değişim toprak kuvvetli şekilde tamponlandığından ve değişime direnç gösterdiğinden dolayı yavaş şekilde meydana gelecektir. Mümkünse suya bir ıslah maddesi karıştırılarak ters pH'nın düzeltilmesine ihtiyaç duyulabilir. Fakat bu yalnızca çok az yerde pratik olabilir. Suya muamele yapmayı denemeye göre değişebilecek toprak pH sı problemi düzeltmek daha kolay olabilecektir. Düşük pH'yı düzeltebilmek için topraga genel olarak kireç uygulanmakta ve yüksek pH'yı düzeltebilmek için kükürt veya diğer asidik maddeler kullanılabilmektedir. Jipskalsiyum besin kaynağı sağlanmakta başka bir asidik problemini kontrol etmede çok az veya hiç etkiye sahip değildir. Fakat yüksek değişebilir sodyum tarafından neden olunan yüksek toprak pH'sını ($8.5 <$ dan daha büyük) düşürmede etkilidir.

Suda anormal pH'nın en büyük doğrudan zararlığı sulama ekipmanlığı üzerine etkisidir. Sıradışı sular için ekipmanların dikkatlice seçilmeye ihtiyaç duyulmaktadır (Bknz Bölüm 5.8).

5. 3 Leke Birikimleri

Yağmurlayıcılar kullanıldığında kalsiyum , dikarbonat ve sülfat gibi hafif şekilde çözünebilir tuzların yüksek oranlarını içeren sular, meyve veya yapraklar üzerinde sürekli beyaz leke oluşumu göstermektedir. Hiçbir toksiklik içermemesine rağmen birikimler sıkça yapraklar ve meyveler üzerinde oluşurlar. Çiçekler, sebzeler ve meyveler taze olarak pazarlama için yetiştirildiklerinde bu birikimler özel bir sorun oluştururlar. Birikimler, meyvelerin ve yeşilliklerin pazarlanabilirliğini düşürürler. Elma ve armut gibi meyveler olaması durumunda pazarlamadan önce pahalı muamele (asit yıkanması) gerektirirler. (Küçük damlatıcılarda küçük açıklıklar yakınında tikanıklarla sonuçlanan birikimlere maruzdurlar. Bu tikanma problemi Bölüm 5.7'de incelenmiştir).

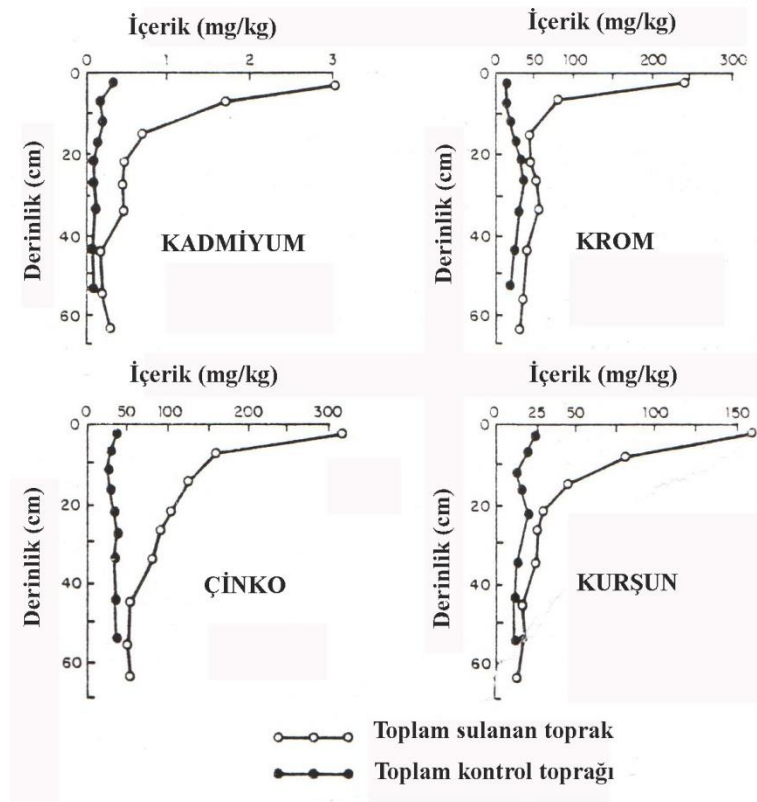
Temel problem, kalsiyumun dikarbonatla ve ara sıra sülfatla (jips) bileşik yapmasından kaynaklanır.

5.4 MAGNEZYUM PROBLEMLERİ

5.5 İZ ELEMENTLER VE TOKSİSİTESİ

5.5.1 Sularda Doğal İz Element Varlığı

5.5.2 Toksiklik



Şekil 23 Atık sular ile 80 yıl sulamadan sonra toprak profili ağır metal içeriği

5.5.3 Değerlendirme Kriteri

5.6 BİTKİ BESLENMESİ VE SU KALİTESİ

5.6.1 Bitki Beslenmesi ve Tuzluluk

5.6.2 Su İnfiltrasyon Problemi ve Bitki Beslenmesi

5.6.3 Bitki Beslenmesi ve Toksiklik

5.6.4 Diğer Problemler

5.7 DAMLA SULAMA SİSTEMLERİNDE TIKANMA PROBLEMLERİ

5.8 KOROZYON VE KABUK BAĞLAMA

5.8.1 Metal Korozyonu

5.8.2 Beton Korozyonu

5.9 SU KALİTESİYLE İLİŞKİLİ VEKTÖR PROBLEMLERİ

6. EVCİL HAYVANLAR İÇİN SU KALİTESİ

6.1 GİRİŞ

6.2 EVCİL HAYVANLARDA TUZLU SU KULLANIMI

6.3 EVCİL HAYVAN SULARINDAKİ TOKSİK MADDELER

7. SULAMA SUYU KALİTESİ VE ATIK SUYUN YENİDEN KULLANIMI

8. ÇEŞİTLİ KALİTEDE SU KULLANIM TECRÜBLERİ

8.1 GİRİŞ

8.2 SULAMA SUYU KALİTESİNİN KORUNMASI- Sacramento San Joakin Deltası

8.3 TARIMSAL DRENAJ SUYUNUN YENİDEN KULLANIMI- Boadview Sulama Birliği

8.4 İSTİSNAİ ŞEKİLDE DÜŞÜK TUZLU SU KULLANIMI- 4

8.5 ÜSTTEN YAĞMURLAMA SULAMADA KULLANILAN YÜKSEK BİKARBONATLI SULAR

8.6 DÜŞÜK KALİTELİ SU KULLANIMI

8.7 DRENAJ PROBLEMLERİ

8.8 DRENAJ İHTİYACI

8.9 YÜKSEK DERECEDE TUZLU SU KULLANIMI

8.10 SEÇİLMİŞ BİTKİLERİN ÜRETİMİNDE TARIMSAL DRENAJ SULARININ KULLANIMI

8.11 MARJİNAL KALİTELİ SULARIN KULLANIMI

8.12 SULAMADA DÜŞÜK KALİTELİ SU KULLANIMI

8.13 SULAMA SUYU KALİTESİ

8.14 NEHİR SUYU KALİTESİNDE DEĞİŞİMLER

8.15 YERALTI SULARININ BOZULMASI

8.16 YÜZEY SULARININ KALİTESİNİN BOZULMASI

8.17 SULAMA SUYU KAYNAKLARINDA SEDİMENT

8.18 HAYVAN İÇME SULARINDAKİ YÜKSEK FLOR

8.19 EVCİL HAYVAN İÇME SULARINDA DÜŞÜK KALİTELİ YERALTI SULARI

8.20 ARITILMIŞ ATIK SU KULLANAN FRESNO SULAMA ŞEBEKESİ

8.21 ARITILMIŞ ATIK SULARIN TARIMSAL KULLANIMI

8.22 ATIK SU SULAMASI

8.23 ATIK SU SULAMASI

8.24 ATIK SU İLE SULAMA

8.25 YÜKSEK BORLU ATIK SU KULLANIMI

EK I

SÖZLÜK

KISALTMALAR

REFERANSLAR