

# **BÖLÜM X: TOKSİSİTE PROBLEMLERİ VE GİDERİLMESİ**

## **GİRİŞ**

Sulama sularında toplam tuzluluğu oluşturan iyonlardan birinin yada bir kaçının, bitkide birikerek aşırı konsantrasyonlara ulaşması, verim ve kalite üzerine etki edebilir düzeyde bulunması halinde, toksisite sorunlarından söz edilebilir. Sulama suyunun toplam tuzluluğu sorun oluşturmayacak düzeyde olabilir. Ancak, toksik (zehirli-zararlı) özellikteki bazı iyonların konsantrasyonları bitkide sorun yaratabilecek derecede yüksek olabildiğinde, toksisite sorunları ile karşılaşabiliriz.

## **SPESİFİK İYONLAR VE ETKİLERİ**

Toksisite sorunları, tuzluluk sorunlarından farklı olarak oluşurlar: Etki bitkinin kendisinde olur ve bu etkilenme su eksikliğinden yada suyun alınabilir olmamasından kaynaklanmaz. Genel olarak toksisite, toprak-suyu ortamından alınan toksik iyonların bitkide transpirasyon sonucu yapraklarda biriktirilerek, bitkiye zarar vermesi şeklinde ortaya çıkar. Bu zararlanmanın düzeyi ise zamana, konsantrasyona, bitki dayanımına ve su kullanımına bağlı olacaktır. Bitki zararlanma düzeyinin yeterince yüksek olması durumunda ise verim ve kalitede azalmalar oluşacaktır. Sulama sularında toksik etki yapabilecek iyonlar olarak sodyum, klor ve bor sayılabilir. Zararlanma bireysel iyon etkisiyle yada toksik iyonlardan birden fazlasının birlikte etkisiyle olabilir.

İyon toksisitesine karşı tüm bitkiler aynı duyarlılıkta değildirler. Çizelge 1 (FAO No29 Çizelge 1) de verilen iyonlardan çoğuna karşı tek yıllık bitkilerin çoğunluğu pek fazla duyarlı değilken, ağaç bitkiler ile çok yıllık çalı bitkileri oldukça duyarlıdır. Bununla beraber toksisite belirtileri, toksik iyon konsantrasyonunun yeterince yüksek olabildiği koşullarda hemen hemen tüm bitkilerde görülebilecektir. Her ne kadar toksisite sorunları düşük tuzluluk düzeyinde de görülebilirse de, sıkça toksisite sorunları ile birlikte tuzluluk yada infiltrasyon sorunları da ortaya çıkabilmektedir.

Toksik iyonlardan Cl<sup>-</sup> ve Na<sup>+</sup>, aynı zamanda yağmurlama sulama ile ıslanan yapraklardan da absorbe edilebilmektedir. Bu genelde yüksek sıcaklık ve düşük nemlilik koşullarında tipik olarak oluşabilmektedir. Yaprak absorpsiyonu birikme süresini hızlandırmaktadır ve belki de toksisitenin birincil kaynağıdır.

Sodyum, klor ve bor'a ek olarak pek çok iz elementi, çok düşük konsantrasyonlarda dahi bitkilere toksik etkilidirler.

## **Klor**

Sulama sularında en sık rastlanan toksisitenin kaynağı klordur. Klor toprakta adsorbe edilmez ve bu nedenle toprak suyunda kolaylıkla alınabilir nitelikte bulunur. Kökler tarafından absorbe edilen Cl<sup>-</sup>, bitki iletim organları ile özsuyu içerisinde iletilir ve yapraklara kadar taşınıp, buharlaşma sonucu burada biriktirilir. Yapraklarda biriken Cl<sup>-</sup> miktarı bitki dayanım sınırını aştığında, yapraklarda yanma ve kuruma gibi belirtiler kendini göstermeye başlar. Zararlanma belirtileri öncelikle yaprak uçlarında görülür ve buradan yaprak sapına doğru artarak ilerler. Aşırı zararlanma görülen yapraklar tamamen kuruyarak kopabilir ve

yaprak dökümü görülür. Duyarlı bitkilerde bu tür zararlanmalar, kuru ağırlık yüzdesi olarak %0.3-1.0 dolaylarında ortaya çıkabilir. Pek çok ağaç bitkisinde ise bu belirtiler %0.3 düzeyinde başlamaktadır.

Çizelge 3. Bazı Meyve Türleri ve Anaçları için Kloro Dayanım Değerleri<sup>1</sup>

Bitki	Anaç veya Bitki türü	Yaprak zararı olmadan en çok izin verilebilir Cl- konsantrasyonu	
		Kök bölgesi (Cl <sub>e</sub> ), meq/l	Sulama suyu (Cl <sub>w</sub> ), meq/l
	<b>Anaçlar</b>		
Avokado ( <i>Persea americana</i> )	Batı Hindistan	7.5	5.0
	Guatemala	6.0	4.0
	Meksika	5.0	3.3
Narenciye ( <i>Citrus spp.</i> )	Sunki mandalina	25.0	16.6
	Greyfruit		
	Kleapatra mandalina		
	Rangpur lime		
	Sampson tangelo	15.0	10.0
	Rough lemon		
	Sour orange		
	Ponkan mandalina		
	Citrumelo 4475	10.0	6.7
	Trifoliate orange		
	Cuban shaddock		
	Calamondin		
	Tatlı Portakal		
	Savage citrange		
	Rusk citrange		
Troyer citrange			
Grape ( <i>Vitis spp.</i> )	Salt creek, 1613-3	40.0	27.0
	Dog Ridge	30.0	20.0
Stone fruits ( <i>Prunus spp.</i> )	Marianna	25.0	17.0
	Lovell, Shalil	10.0	6.7
	Yunnan	7.5	5.0
	<b>Bitki türü</b>		
Berries ( <i>Rubus spp.</i> )	Boysenberry	10.0	6.7
	Olallie blackberry	10.0	6.7
	Indian Summer Raspberry	5.0	3.3
Grape ( <i>Vitis spp.</i> )	Thompson seedless	20.0	13.3
	Perlette	20.0	13.3
	Kardinal	10.0	6.7
	Siyah Rose	10.0	6.7
Strawberry ( <i>Fragaria spp.</i> )	Lassen	7.5	5.0
	Shasta	5.0	3.3

<sup>1</sup> Maas (1984)'den düzenlenmiştir

<sup>2</sup> Bazı bitkiler için verilen tolerans değerleri tuzluluk sınırının üzerinde olabilir. Bu bitkilerde Cl- toksisitesine ek olarak verimde azalma oluşturabilecek düzeyde bir tuzluluk zararı olabilecektir.

<sup>3</sup> Verilen değerler sulama suyundaki en fazla değerlerdir. Bu değerler, saturasyon ekstraktı verilerinden türetilmişlerdir ve  $EC_e=1.5EC_w$  olduğu ve %15-20 oranında bir yıkam gereksinimi göz önüne alınmıştır.

<sup>4</sup> En büyük sınır değerleri ancak, yüzey sulama uygulanan bitkiler için söz konusudur. Yağmurlama sulama ayrıca, bu değerlerin altında dahi, yaprak yanması oluşabilir.

Bitkideki klor toksisitesinin ortaya konmasında, bitki organlarının kimyasal analizleri yapılır. Analizde kullanılacak bitki organının cinsi, bitkiden bitkiye farklılık gösterir. Çok sık olarak yaprak kenarları bu amaçla kullanılırlar. Ancak üzüm gibi meyvelerde, **petiole**'ler yapraklara tercih edilirler. Sulanan alanlarda, bitki tarafından alınacak Cl<sup>-</sup> miktarı sadece sulama suyu kalitesine bağlı olmayıp, aynı zamanda yıkama ile kontrol altında tutulmaya çalışılabilen topraktaki toplam Cl<sup>-</sup> miktarına da bağlıdır. Bitkilerin klora olan dayanımları, tuzluluğa olan dayanımları kadar iyi bilinmemektedir. Çizelge 3' de (Çizelge 14 FAO NO.29) pek çok bitki için bilinen dayanım sınırlarını, saturasyon ekstraktı değerleri yada sulama suyunda bulunan değerleri olarak belirtmektedir. Bu değerler bölgesel veriler ile düzeltilebilir.

Önemli bir klor toksisitesi de yağmurlama sulama uygulaması sonucunda yaprak absorpsiyonu ile oluşabilecektir.

## **Sodyum**

Sodyum toksisitesi, klor kadar kolay teşhis edilemeyen özelliktedir. Tipik Na<sup>+</sup> toksisitesinin belirtileri arasında yaprak yanması, yaprakların dış kenar bölümleri boyunca yanmış ve ölü dokular sayılabilir ki, bu klor toksisitesinde görülen belirtiler ile kontrast oluşturur; çünkü klor toksisitesinde belirtiler ekstrem yaprakların uç kısımlarında ortaya çıkmakta idi. Normal olarak, birikmenin toksik değerlere ulaşabilmesi için geniş bir zamana gerek vardır (bir kaç günden bir kaç haftaya kadar). Belirtiler ilk olarak eski yapraklarda ortaya çıkmaktadır. Dış kenarlardan başlayan belirtiler, zararlanmanın artması ile damarlar arasından yaprak merkezine doğru gelişme gösterir. Meyve ağaçlarında genel olarak, yaprak dokusunda kuru ağırlık yüzdesi olarak %0.25-0.50 oranında Na<sup>+</sup> bulunması, sodyum toksisitesini belirtir.

Genelde yaprak analizleri ile sodyum toksisitesinin belirlenmesi yoluna gidiliyorsa da, bitki, toprak ve suyun birlikte analizi yapılarak toksisitenin teşhisi yoluna gidilmesi, daha kesin sonuçlara ulaşmak bakımından önemlidir. Sadece yaprak analizi yapıldığında, zararlanmış yaprakların analizi ile birlikte zarar görmemiş yaprakların analizlerinin de yapıp değerlerin karşılaştırılması önerilir.

Toprakta yeterli Ca<sup>+2</sup> olduğu koşullarda sıkça, Na<sup>+</sup> toksisitesinin etkisi azaltılır yada hiç görülmez. Sodyum toksisitesinin belirtilmesi basit olabileceği gibi, muhtemel Ca<sup>+2</sup> eksikliğinin yada diğer başka etkileşimlerin belirtilmesi son derece karmaşık olabilecektir. Çalışmalar göstermektedir ki, en azından bir kaç tek yıllık bitki için, Ca<sup>+2</sup> eksikliği Na<sup>+</sup> toksisitesine göre daha fazla olarak oluşabilmektedir. Bu gibi durumlarda Ca<sup>+2</sup> içeren preparatlarla (jips yada kalsiyum nitrat gibi) gübreleme iyi sonuç verebilecektir.

SAR yada Na<sup>+</sup> a bağlı toksisitenin değerlendirilmesinde, etkinin hangisinden kaynaklandığının ortaya konulmasında yüksek SAR içerikli sulara gerek vardır, çünkü Na<sup>+</sup> un görünen zararları kötü su infiltrasyonu etkisi sonucunda olabilecektir. Toprakta infiltrasyon sorunu oluşmadığında yani toprak fiziksel koşulları infiltrasyonun kötüleşmesini sağlayacak kadar bozulmadığında, sadece çok hassas tek yıllık bitkiler sodyuma bağlı verim kaybı oluşturacaklardır.

## **Bor**

Sodyumdan farklı olarak bor bitki gelişimi için temel bir elementtir. (Klor da 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 mevcut olursa, toksik hale gelmektedir. Bazı bitkiler için suda 0.2 mg/1 bor gerekli olsa da, 1-2 mg/1 toksik olabilmektedir. Yüzeysel suları nadiren toksik olabilecek yeterlilikte bor içermekte fakat kuyu suları veya özellikle jeotermal alanlarda ve deprem kırıntılarında yakın yerlerdeki kaynaklar toksik miktarlarda bor içerebilmektedir. Sudan kaynaklanan bor problemleri topraktan kaynaklanandan muhtemelen daha sık olmaktadır. Bor toksikliği neredeyse tüm bitkileri etkileyebilmekte fakat tuzluluk gibi, bitkiler arasında geniş bir tolerans aralığı bulunmaktadır.

Bor zehirlenme semptomları sararma, beneklenme veya uç kenarlarda yaprak dokularının kuruması şeklinde, normal olarak önce yaşlı yapraklarda görülmektedir. Bor daha fazla biriktirildikçe, kuruma ve kloroz (sararma) zamanla damarlar arasından merkeze doğru ilerlemektedir. Ciddi şekilde etkilenmiş ağaçlarda, tipik yaprak septomlarını göstermeyen bademler ve diğer ağaçlar gibi, ana dallar veya gövde üzerinde yapışkan sıvı oluşumu sıklıkla dikkat çeker.

Çoğu bitkilerde toksiklik semptomları, yaprak dallarındaki bor konsantrasyonları 250-300 mg/kg (kuru ağırlık) değerini geçtikten sonra meydana gelmektedir, fakat duyarlı bitkilerin tamamı bor' u yaprak saplarında toplamamaktadır. Örneğin taş çekirdekli meyveler (şeftali, erik, badem vb.) ve yumuşak meyveler (elma, armut vb) bor tarafından kolayca zarar görür. Fakat güvenilir bir yaprak analiz teşhis testi olabilmesi için yaprak dokularında yeterli bor biriktirmemektedir. Bu bitkilerde bor fazlalığı, toprak ve su analizlerinden, ağaç semptomlarından ve gelişme karakteristiklerinden doğrulanmalıdır.

Kum kültürü teknikleri kullanılarak bor toleransı için geniş bir bitki aralığı test edilmiştir (Faton 1944). Önceki bölümlerde verilen bor dayanımı tabloları bu verilere dayanmaktadır. Bu çizelgeler 1 ila 3 sezon sulama uygulanmış bitkilerde toksiklik semptomlarının ilk gözlemlendiğindeki bor toleransını yansıtmaktadır. Bu ilk deneylerden alınan orijinal veriler ve birçok diğer kaynaklardan alınan veriler daha sonra yeniden gözden geçirilmiştir (Maas 1984). Çizelge 16 bu şekilde yeniden düzenlenen verileri içermektedir.

## **İz Elementler**

İz elementler hemen tüm su kaynaklarında çok düşük konsantrasyonlarda olmak üzere yer alırlar. Çoğunlukla birkaç mg/1 yada 100 µg/1 den de düşük düzeyde bulunmaktadır. Rutin analizler içerisinde genelde yer almazlar. Genelde yüzeysel suları, yer altı sularından daha az iz element içerirler ancak, bu bir kesin kural olmamaktadır. Genel yaklaşım olarak yüzeysel sularının analizinde iz elementler, özel bir şüpheli çağrıştıracak bir toksisite problemi görülüyorsa, yer almayacaktır. Hemen her zaman iz elementlerin yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu alanlarda bu durum insan aktivitesi, özellikle atıksu deşarjı gibi, sonucudur. Atıksu kullanımı içeren herhangi bir projede iz elementlerin mutlaka kontrol edilmesi gerekmektedir.

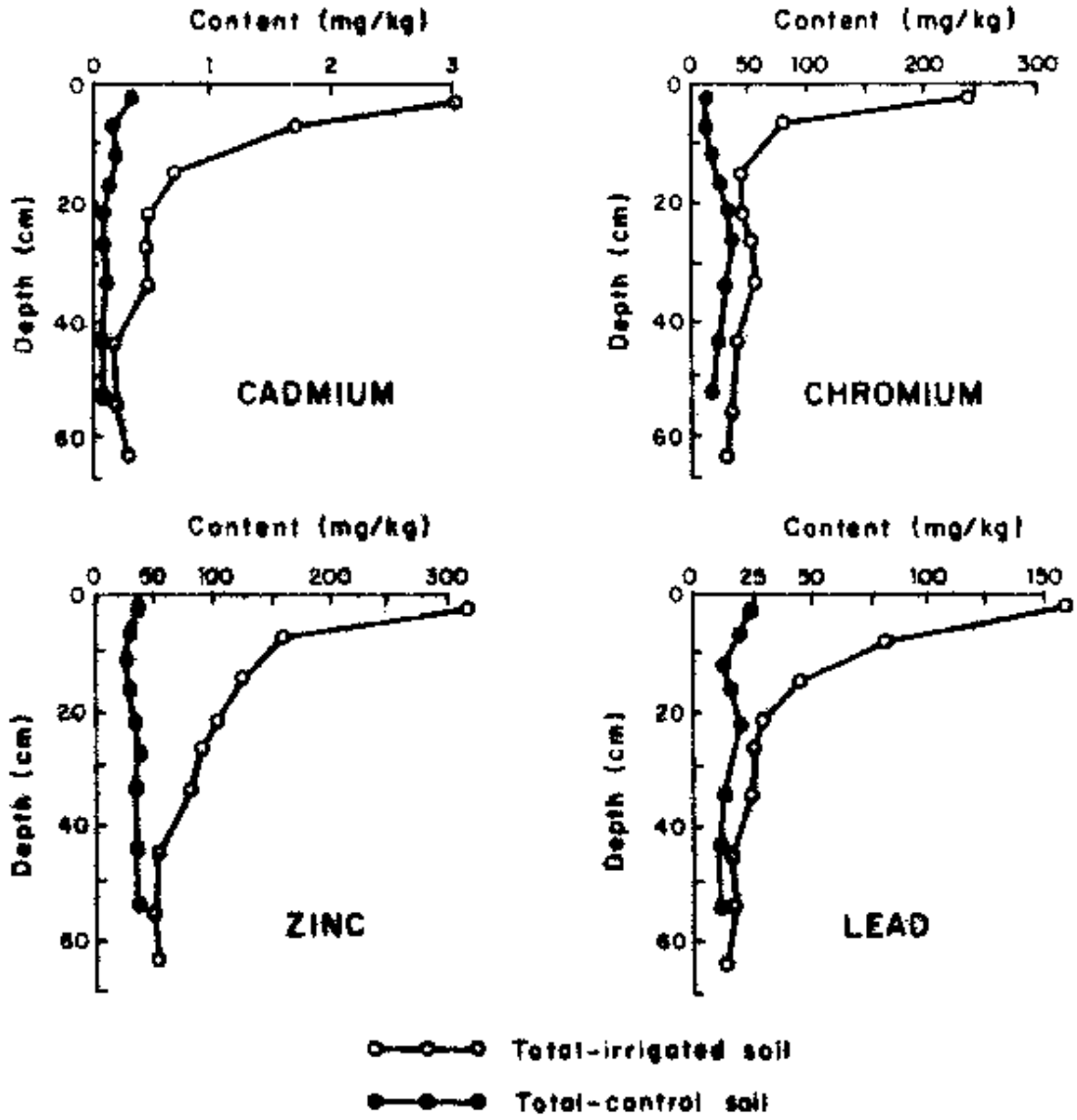
Çizelge 16 Tarımsal Bitkilerde Nispi Bor Toleransı<sup>1,2</sup>

<b>Çok hassas (&lt;0.5 mg/l)</b>		<b>Nisbeten hassas (1.0-2.0 mg/l)</b>	
Limon	Citrus limon	Biber, acı	Capsicum annuum
Böğürtlen	Rubus app.	Bezelye	Pisum sativa
<b>Hassas (0.5-0.75 mg/l)</b>		<b>Nisbeten dayanıklı (2.0-4.0 mg/l)</b>	
Avokado	Persea americana	Havuç	Daucus carota
Greyfruit	Citrus X paradisi	Turp	Raphanus sativa
Portakal	Citrus sinensis	Patates	Solanum tuberosum
Kayısı	Prunus armeniaca	Cucumber	Cucumis sativus
Şeftali	Prunus persica	Yeşil salata	Lactuca sativa
Kiraz	Prunus avium	Kabak	Brassica oleracea capitata
Erik	Prunus domestica	Kereviz	Apium graveolens
Persimmon	Diospyros kaki	Şalgam	Brassica rapa
Fig, kadota	Ficus carica	Bluegrass, Kentucky	Poa pratensis
Üzüm	Vitis vinifera	Oats	Avena sativa
Fındık	Juglans regia	Mısır	Zea mays
Pecan	Carya illinoensis	Artichoke	Cynara scolymus
Cowpea	Vigna unguiculata	Tütün	Nicotina tabacum
Soğan	Allium cepa	Hardal	Brassica juncea
<b>Hassas (0.75-1.0 mg/l)</b>		Clover, tatlı	Melilotus indica
Sarımsak	Allium sativum	Balkabağı	Cucurbita peco
Tatlı patates	Ipomoea batatas	Muskmelon	Cucumis melo
Buğday	Triticum aestivum	<b>Dayanıklı (4.0-6.0 mg/l)</b>	
Arpa	Hordeum vulgare	Sorgum	Sorghum bicolor
Ayçiçeği	Helianthus annuus	Domates	Lycopersicon lycopersicum
Fasulye, mung	Vigna radiata	Yonca	Medicago sativa
Susam	Sesamum indicum	Vetch, purple	Vicia benghalensis
Lupine	Lupinus hartwegii	Parsley	Petroselinum crispum
Çilek	Fragaria spp.	Pancar, kırmızı	Beta vulgaris
Articoke, jerusalem	Helianthus tuberosus	Şeker pancarı	Beta vulgaris
Fasulye, kidney	Phaseolus vulgaris	<b>Çok dayanıklı (6.0-15.0 mg/l)</b>	
Fasulye, Lima	Phaseolus lunatus	Pamuk	Gossypium hirsutum
Yerfıstığı	Arachis hypogaea	Kuşkonmaz	Asparagus officinalis

<sup>1</sup>Maas (1984) den alınmıştır

<sup>2</sup>Verim veya vejetatif gelişim azalmaz topyekun suyu veya saturasyon ekstratında tolere edilen maksimum konsantrasyonlar bor toleransları iklim, toprak şartları ve bitki çeşitlerine bağı olarak değişmektedir. Sulama suyundaki maksimum konsantrasyonlar bu degerlere yaklaşık olarak eşit veya hafifçe daha azdır.

Bütün iz elementleri toksik değildir ve bazıları hatta (Fe, Mn, Mo, Zn) bitki gelişimi için gereklidir de. Bununla beraber aşırı alımı halinde bu elementler bitki unsurlarında birikirler ve gelişmeyi etkilerler. Özellikle sulama sularında iz elementlerin toksik değerleri konusunda çok az çalışma vardır. Bununla beraber özellikle atık sularda kullanım limitleri konusunda değerli araştırmalar yapılmaktadır. Pek çok iz elementin toprakta kolaylıkla fiske edildiği ve biriktirildiği artık bilinmektedir ve bu prosesin geri-dönüşümlü olması nedeniyle topraklar, bu elementleri bitki gereksiniminden fazla miktarlarda içeren suların tekrar tekrar kullanımları ile verimsiz hale gelecekler yada yetiştirilen ürün kullanılmaz olacaktır. Atık sularla yapılan son çalışmalar, iz elementlerin %85 den fazlasının topraklarda biriktirildiğini ve bu birikimin de üst birkaç cm lik toprakta oluştuğunu göstermektedir (Şekil 23, FAO 29, p.95).



Şekil 23 Atık sularla 80 yıl sulanan toprağın ağır metal içeriği (Evans et.al. 1979)

Pek çok sulama suyu kaynağı bu iz elementleri bakımından çok düşük konsantrasyona sahip olduklarından, bu tür elementlerin toksisite sorunları genelde görülmemektedir. Bu tür iz elementlerinin sulama sularında bulunuş miktarları Çizelge 10.1'de(FAO No29 Çiz.21) verilmektedir.

Çizelge 10.1 Sulama suları için bazı iz elementlerinin önerilen en fazla konsantrasyon değerleri<sup>1</sup>

İz Elementi		Konsant-rasyon <sup>2</sup> mg/l	İz Elementi ile İlgili Bilgi
Al	Alüminyum	5.0	Asit topraklarda (pH<5.5) verimliliği azaltabilir ancak, pek çok alkali topraklarda (pH>7.0) iyon çökelmeye uğrar ve toksisite oluşturmaz.
As	Arsenik	0.10	Toksisite düzeyi bitkiden bitkiye farklılık gösterir; 12 mg/l (sudan)

			grass), 0.05 mg/l (çeltik) gibi.
Be	Berilyum	0.10	Toksisite düzeyi bitkiden bitkiye farklılık gösterir; 5 mg/l (kale), 0.5 mg/l (bush fasulyesi) gibi.
Cd	Kadmiyum	0.01	Besin çözeltisinde fasulye, pancar ve turnip için 0.1 mg/l gibi düşük konsantrasyonları dahi zararlıdır. Bitkide ve toprakta birikme düzeylerine bağlı olarak insana zararlı olabilecek konsantrasyonları belirlenmelidir.
Co	Kobalt	0.05	Besin çözeltisinde domatestede 0.1 mg/l düzeyi toksik olmuştur. Doğal ve alkali topraklarda inaktif olma eğilimindedir
Cr	Krom	0.10	Her zaman büyüme için gerekli element olduğu kabul edilmemektedir. Bitki üzerindeki etkileri üzerindeki eksik bilgilerle zararlı düzeyi belirtilmiştir.
Cu	Bakır	0.20	0.1 ila 1.0 mg/l arasında besin çözeltilerinde pek çok bitki için toksiktir.
F	Flor	1.0	Doğal ve alkali topraklarda inaktiftir.
Fe	Demir	5.0	Havalandırılan topraklarda toksik değildir ancak, toprak asitliğine katkıda bulunur ve fosfor ve molibdenin alınabilirliğini azaltabilir.
Li	Lityum	2.5	5 mg/l ye kadar pek çok bitki tarafından tolere edilir; toprakta hareketlidir. Narenciyede düşük konsantrasyonlarda toksiktir (<0.075 mg/l). Bor ile benzer davranır.
Mn	Manganez	0.20	Genellikle sadece asit topraklarda pek çok bitkide çok küçük konsantrasyonlarda dahi toksiktir.
Mo	Molibden	0.01	Suda ve topraktaki normal konsantrasyonlarında bitkilere toksik değildir. Yem bitkisi eğer yüksek alınabilir Mo içeren topraklarda yetiştirilmiş ise, hayvancılıkta toksik olabilecektir.
Ni	Nikel	0.20	0.5 ila 1.0 mg/l konsantrasyonu pek çok bitki için toksiktir; doğal ve alkali pH ya sahip topraklarda toksisitesi azalır.
Pd	Kurşun	5.0	Yüksek konsantrasyonlarda bitki hücre gelişimini azaltır.
Se	Selenyum	0.02	Bitkilerde 0.025 mg/l gibi düşük konsantrasyonlarında dahi toksiktir ve hayvancılıkta eğer yem bitkileri yüksek Se eklenmiş topraklarda yetiştirilirse toksiktir. Hayvanlar için çok düşük miktarlarında gerekli elementtir.
Sn	Kalay	-	Bitkilerce etkin olarak alınmaz. Belirli dayanım düzeyleri bilinmemektedir.
Ti	Titanyum	-	Bitkilerce etkin olarak alınmaz. Belirli dayanım düzeyleri bilinmemektedir.
W	Tungten	-	Bitkilerce etkin olarak alınmaz. Belirli dayanım düzeyleri bilinmemektedir.
V	Vanadyum	0.10	Nisbeten düşük konsantrasyonlarda pek çok bitkide toksiktir.
Zn	Çinko	2.0	Pek çok bitkide değişen konsantrasyonlarda toksiktir; pH>6.0 olan topraklarda ve ince bünyeli yada organik topraklarda toksikliği azalmaktadır

<sup>1</sup> FAO No.29'dan alınmıştır.

<sup>2</sup> En büyük konsantrasyon değeri olarak alanda iyi bir sulama uygulaması yapıldığı göz önüne alınmıştır (10000 m<sup>3</sup>/ha/yıl).eğer uygulanan su m,ktan bundan fazla olursa en yüksek konsantrasyon değerleri düzeltilecektir.

Çizelgede verilen limit değerleri, toprakların bu sularla sürekli sulandıkları koşulda, toprak kaynaklarının bulaşmadan (kontaminasyon) korunabilmelerini sağlayabilecek değerlerdir.

## **TOKSİSİTE PROBLEMLERİNİN GİDERİLMESİ (Yönetimi)**

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

Potansiyel olarak toksik iyonlar olan sodyum, klor ve bor, tuzluluk için yapılanla benzer tarzda yıkama yapılmasıyla topraktaki düzeyi azaltılabilir. Fakat toksik iyonlara bağlı olarak, gereksinim duyulan yıkama suyu hacmi değişik olmakta ve bazı durumlarda aşırı düzeyde olabilecektir. Şayet yıkama aşırı hale

geliyorsa birçok yetiştirici bitkiyi daha toleranslı olanla değiştirmek yoluna gitmektedir. Aşırı yıkama yada bitkinin değiştirilmesi ile yüksek konsantrasyondaki toksik iyonlarla yaşamak demektir ve tarım sisteminde bazı değişikliklere gereksinim duyulabilecektir. Toksisitenin çok fazla öldürücü (zararlı) olmadığı hallerde daha küçük tarım sistemi değişiklikleri ile etki azaltılabilir. Bazı durumlarda yetersiz olan (uygun olmayan) su kaynağı başka bir kaynakla karıştırılabilir ve böylece etki azaltılabilir.

## Yıkama

Tuzluluk ve toksik iyon etkileri arasında bir paralellik vardır. Toksik iyonlar (klor, sodyum ve bir dereceye kadar da bor) kök bölgesindeki normal tuzluluk birikimi sırasında, tuzluluğun içerisinde bol miktarda yer aldıklarından, tuzluluğun önlenme ve kontrolünde olduğu gibi yıkama ile bu iyonların da azaltılması başvurulacak en pratik yoldur. Sulama suyundaki toksik iyonun konsantrasyonuna ve gerçekleştirilen yıkama oranına bağlı olarak toksiklik, birkaç sulama sonrasında veya birkaç gelişme dönemi sonunda gelişebilir.

Yıkama, toksistenin bitkideki semptomlardan algılanmasından itibaren, problemin kontrolünde ve azaltılmasında kullanılabilir. Toprak, su ve bitki analizleri ile birlikte bitkideki belirtiler (semptomlar), problemin potansiyelinin ortaya konmasında ve uygulanan yıkamanın yeterliliğinin belirlenmesinde ve bitki yönetiminde çok yararlı olacaktır. Toksisitenin kaynağı sulama suyu ise, yeterli yıkama yapılaşması konusu ön planda tutulmalıdır. Sürekli sulanan alanlarda toksik iyonlar bitki gelişimini engeller düzeye ulaşmadıkça, yıkama dışında herhangi bir ıslah çalışmasına gidilmez.

Klor iyonu su ile birlikte kolayca hareket eder ve su ve toprak tuzluluğunun önemli bir bölümünü oluşturur. Klor iyonu topraktan yıkama ile kolaylıkla uzaklaştırılabilir. Tuzluluk için geliştirilen yıkama gereksinimi eşitliği (Eşitlik ...) klor için de kullanılabilir. Burada gerekli olan parametreler, klor toleransı (saturasyon ekstraktında,  $Cl_e$ ) ve sulama suyunun içerdiği kor konsantrasyonudur ( $Cl_w$ ). LR eşitliği klor için şu şekilde yazılır;

$$LR_{(Cl)} = \frac{Cl_w}{5Cl_e - Cl_w} \quad (10.1)$$

Burada;

$LR(Cl)$ =klorün kontrolünde ve normal yüzey sulama pratikleri altında gerek duyulan minimum yıkama gereksinimi,

$Cl_w$ =Uygulanan sulama suyundaki klor konsantrasyonu, meq/l

$Cl_e$ =Saturasyon ekstarktında saptanan bitkinin tolere edebileceği klor konsantrasyonu, meq/l

Sodyum iyonu beklenen permeabiliti porblemlerinden daha önemli olarak, düşük SAR değerlerinde dahi bazı sodyuma hassas bitkilere (özellikle ağaç bitkileri ve odunsu bitkiler) toksik olabilirler. Klora oranla su ile birlikte daha zor hareket eder. Bununla beraber, araştırmalar göstermiştir ki, sudaki SAR değerinin 9'un üzerinde olduğu koşulda yüksek yıkama oranlarında (0.30 yada daha fazla) toprak SAR düzeyi, ıslah maddesi kullanılmadan, düşük olarak korunabilmektedir. Ancak SAR kontrolü için bu kadar yüksel yıkama oranlarının uygulanması pratikte havalanma ve drenaj sorunları yaratma açısından uygun olmayacaktır. Bu gibi durumlarda tercih edilen çözüm, uygun miktarda jips yada Ca sağlayan gübre materyalinin kullanımınıdır (kireç mevcutsa asitleyici; kireç yoksa baz materyal yada



Ca sağlanması). Eğer yıkama ile birlikte ıslah maddesi kullanımı da Na toksisitesini önleyemiyorsa, daha dayanıklı bitkilerle değiştirme önerilir.

Bor, klor ve sodyumun yıkanmasından çok daha zor yıkanır. Bor toprak suyu ile yavaş şekilde hareket eder ve klor veya tuzluluğa oranla yaklaşık üç katı daha fazla yıkama oranına gereksinim gösterir. Pek çok tarla gözlemine göre, toprak üst bölümü saturasyon ekstraktı bor konsantrasyonu, genellikle uygulanan sulama suyundaki değere ulaşır. İyi bir sulama uygulaması ile üst toprak katmanlarındaki bor düzeyinin sulama suyundaki düzeye azaltılması ve korunması olanaklıdır.

### **Bitki Seçimi**

Toksisite problemlerinde dayanıklı bitkilerin seçimi çok pratik çözümler oluşturacaktır. Bor, klor ve sodyuma duyarlılık konusunda, tıpkı tuzlulukta olduğu gibi, çok değişik düzeyler söz konusudur. Bitkilerin toksik iyonlara oran oransal dayanımları konusunda çok fazla kaynak bulunmamaktadır. Daha önceki bölümlerde toksik iyonlardan klor, sodyum ve bor'a olan dayanımlar hakkında çizelgeler verilmiştir. Ancak bu değerler yaklaşık değerlerdir ve yerel çiftçi koşulları ile modifiye edilebilir. Dayanıma etkili faktörler iklim, sulama yönetimi, yıkama hacmi, drenaj, büyüme dönemi ve bitki olgunluğudur.

### **Kültürel Pratikler**

Toksik iyon kontrolünde yıkama en önemli yöntem olduğundan, sulamanın yönetiminde bazı kültürel işlemler başarı için yardımcı pratikleri oluşturacaktır. Kültürel pratiklerden arazi eğimlendirilmesi (tesviye), profil modifikasyonu ve doğal drenajın yetersiz olduğu yerlerde yapay drenaj uygulamaları, suyun en iyi şekilde kontrolünü ve kullanımını sağlayacaktır. Bu aşamalar, daha önce tuzluluk ve toksisitenin kontrolü için anlatılan uygulamaları tamamlayıcı niteliktedirler.

Toprak suyunun kullanımı ve sulamalar arasındaki dönemde toprak suyunun azalması (kuruma) toksisitenin düzeyini artıracaktır. Topraktaki daha düşük su içeriğinde iyonlar daha konsantre hale gelirler. Üst toprak katmanı kurudukça bitkiler kökleri ile daha derindeki ve genellikle daha tuzlu olan suyu almaya çalışacaklardır. Sulamanın sıklaştırılması ile hem üst toprak nemliliği artırılmış hem de alt toprak suyunun seyreltilmesi sağlanmış olacaktır.

Tuzluluk kontrolünde gübreleme etkisi göz önüne alınmazken, toksisitede, örneğin narenciyede bor etkisinde, bu etkiyi azaltmak ve gelişmeyi teşvik için fazladan azot gübrelenmesi uygulanır. Bor öncelikle olgun yapraklarda biriktirilir ve yaprakların zararlanarak sonunda kuruyup dökülmesine ve fotosentez düzeyinin azalmasına neden olur. Bu durumda azot uygulaması ile gelişme teşvik edilir ve yeni yaprak oluşumu sonucunda fotosentez kapasitesi artırılır.

Yapraklarda bor birikimi zamana gereksinim gösterir. Bazı bitkiler, örneğin fındık, hasattan önce orta düzeydeki suyun kapsadığı (1-2 mg/l) bor konsantrasyonundan, bitkiyi zararlandıracak kadar etkilenmemektedir. Bu gibi koşullarda dönem sonunda yapraklarda önemli düzeyde bor biriktirilmesi söz konusudur ve meyve bu durumdan etkilenmese de bitkinin vejetatif yapısı etkilenebilecektir.

Uygulanan sulama suyundaki yüksek sodyumla mücadelede genellikle jips gibi su ve toprak ıslah maddesi uygulaması yoluna gidilebilir. Düşük tuzlulukta ( $EC_w < 0.5$  dS/m) kullanılan ıslah maddesi etkinliği, tuzlu topraklara oranla daha

yüksek olacaktır. Çünkü düşük tuzlulukta sodyum ile kalsiyumun değiştirilmesi, tuzlu ortamlara göre daha kolay olabilmektedir.

### **Su Kaynağının Seyreltilmesi (Karıştırılması)**

Kalite ve kantite olarak yeterli olmayan bir alternatif su kaynağının mevcudiyeti halinde, su kaynaklarının karıştırılması ile toksisite potansiyeli azaltılabilir.

### **YAĞMURLAMA SULAMADA TOKSİSİTE ETKİSİ**

Tamamıyla ıslatılan bitkideki toksisite zararlanması (etkilenmesi), yüzey sulama yöntemi ile sulanan bitkilere oranla farklılık gösterir. Toksisite sulama suyundaki aşırı klor yada sodyumdan ötürü oluşabilir ve yağmurlama sulamada yapraklar bu iyonları absorbe ederler. Yaprak yanması ve yaprak kaybı gibi etkiler görülür. Absorpsiyon ve toksisite genelde yüksek sıcaklık ve düşük nemlilik (<%30) koşullarında meydana gelir. Dönen başlıklar kullanıldığında, su atımı sırasında oluşan buharlaşmalar ile su daha konsantre hale gelebilir. Yavaş dönen başlıklarda (1 devir/dakikadan daha düşük hızlarda) birbirini izleyen ıslak ve kuru devreler oluşur; dönem hızı ne kadar düşük olursa, absorpsiyon o kadar artar.

Yaprak alımı sonucu oluşan zararlanmaların söz konusu olduğu koşullarda alınacak bazı önlemlerle bu sorun azaltılabilir.

Gece sulaması: Sodyum ve klor toksisitesinin her ikisinde de gece sulamaları yaprak alımı sonucunda oluşacak toksisite etkisinin azaltılmasında oldukça etkilidirler. Gece boyunca sıcaklık azalır nemlilik arttığı için buharlaşma kayıpları ve konsantre olma düzeyi azalmaktadır.

Yüksek rüzgarlı dönemlerden kaçınmak: Sıcak ve kuru rüzgarlar konsantrasyonda, absorpsiyonda ve birikmede önemlidirler. Yağmurlama sulamada bu dönemlerden sakınmak problem oluşumunu azaltacaktır.

Yağmurlama rotasyon (dönme) hızının artırılması: Yavaş dönen yağmurlama başlıkları, suyun yapraklar üzerinde kuruması için zaman oluşturmaktadır. Daha hızlı dönme ve ıslatma koşulunda yapraklardaki kuruma ve absorpsiyon azaltılır.

Uygulama oranının artırılması: Eğer toprağın su tutma kapasitesi ve infiltrasyon hızı değerleri izin veriyorsa uygulanan su miktarının artırılması, bitkinin toplam ıslatılma süresinin azaltılmasına neden olacağından, zararlanmaları azaltan bir etki oluşturacaktır.

Sulama yönteminin değiştirilmesi: Daha az yaprağı ıslatan yağmurlama sistemlerinin kullanılması (ağaç altı yağmurlama) yaprak absorpsiyonunu ve dolayısı ile zararlanmaları azaltacaktır.

Damla çapının büyütülmesi: Büyük damlalar oluşturan yağmurlama başlıkları, küçük damlalarla sulamaya göre daha az zararlanma oluşturacaktır. Büyük damla koşulunda buharlaşma etkisi ve absorpsiyon daha düşüktür.

Farklı bitkilerin seçimi: Bazı ekstrem durumlarda, dayanıklılığı yüksek bitkilerin seçilmesi gerekecektir.

Serin dönemlerde ekim: Serin dönemlerde yapılan ekimler sonucunda bitkinin su kullanımı ve yağmurlamadan ötürü oluşan zararlanma düzeyi azalacaktır.