



**Bu Dosya**  
**<https://ziraatweb.com>'dan**  
**İndirilmiştir.**

Eğer bu dosya size aitse ve kaldırılmasını istiyorsanız lütfen ziraatweb.com adresinde bulunan "İletişim" kısmından bize bildiriniz. Bize bildirilmeyen dosyalar konusunda sorumluluk kabul etmiyoruz.

[ders notları](#)

Mail Adresimiz: [iletisim@ziraatweb.com](mailto:iletisim@ziraatweb.com)

İnstagram Adresimiz: [@ziraatweb](#) Forum Adresimiz: [Forum](#)



*Milletimiz çiftçidir. Milletin çiftçilikteki çalışma imkanlarını, asri ve iktisadi tedbirlerle en yüksek seviyeye çıkarmalıyız.*

**Mustafa Kemal ATATÜRK**

# BAZI TANIMLAR, BİRİMLER, SUYUN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

## TANIMLAR

Atom: Bir elementin tüm kimyasal özelliklerini gösteren en küçük parçasıdır.

Atom ağırlığı: oksijene verilen 16 değerine oranla element atomlarının indiriskalesindeki nispi ağırlıkları.

İyon: Elektriksel yük taşıyan atom yada atom grupları.

İyonlaşma: Gaz halindeki bir atomun en uzak yörüngesindeki en zayıf tutulan elektronunun koparılması işlemine denir.

Formül: Bileşikteki elementlerin sembollerini ve bu bileşiğin bir molekülündeki atomların kaçar tane olduğunu gösteren sayıları içeren basit ifadedir.

Formül ağırlığı: Formülü meydana getiren bir elementin atom ağırlığı ile nispi atom ağırlıklarının çarpımlarının toplamına formül ağırlığı denir. Örn.  $\text{CaCl}_2 = 40 + (35.5 \times 2) = 111$  gram/mol

Molekül: Bileşiği oluşturan en küçük yapı.

Birleşme değeri: Bir elementin bir atomunun kaç atom hidrojen ile birleştiğini veya kaç atom hidrojenin yerini işgal ettiğini gösterir.

Çözelti: İki veya daha fazla maddeden oluşmuş homojen karışım.

Doymamış çözelti: Belirli bir sıcaklıkta doymuş halden daha az çözücü içeren çözelti.

Doymuş çözelti: Belirli bir sıcaklıkta çözebileceği maksimum çözüneni içeren çözelti.

Standart çözelti: Konsantrasyonları kesin olarak bilinen çözeltilerdir.

Ozmos: Bir çözücünün yarı geçirgen bir zardan daha derişik bir çözeltiliye geçmesi.

Osmotik basınç: Çözünen madde taneciklerinin çözelti içinde yaptıkları basınç.

Hidroliz: Suda çözünen bir tuzun anyon ve katyonunun suya etkisi ile sulu ortamda hidroksil iyonlarının meydana gelmesi olayıdır.

Tampon çözelti: Asit ve bazik değişimlere karşı koyabilen çözeltilerdir.

Çökme: Bir çözeltide iki tuzun etkileşimi veya sıcaklık değişiminin çözünürlüğe etkisi sonucu çözünmeyen katı bir bileşiğin oluşması.

Koagülasyon: Kolloid çözeltilerinde koloidal taneciklerin çözücü fazından ayrılması olayına koagülasyon veya flokülasyon denir. Diğer bir ifade ile koloidal tanelerin kümelenmeleridir.

Dispersiyon: Kümeli yapıya geçmiş tanelerin ayrılarak koloidal taneler haline geçmesi olayıdır.

Absorpsiyon: İki veya daha çok cismin birbiri içine nüfuz ederek çözeltilerde olduğu gibi homojen bir karışım meydana getirmesidir. Örnek olarak toprak tarafından suyun alınması.

Adsorpsiyon: Bir maddenin diğer madde yüzeyinde tutulmasıdır. Örneğin toprak tanelerinin üzerinde değişebilir anyon ve katyonların tutulmasıdır.

Emülsiyon: Bir sıvıda çözünmeyen başka bir sıvının heterojen olarak bulanık bir şekilde dağılmış halidir. Örnek: su-zeytin yağı karışımı, su-benzin karışımı

Süspansiyon: Bir sıvıda çözünmeyen katının heterojen olarak dağılmış haline süspansiyon denir. Su-kum karışımı, su-tebeşir tozu karışımı örnek verilebilir.

Saturasyon: Suyu doyumluk durumunu ifade eder. Toprakta suya doyumluk sature olma halidir ve saturasyon noktasından sonra eklenecek suyun içinde artık toprak çözünmez. Bu noktaya saturasyon noktası denir.

Sodyum adsorpsiyon oranı(SAR): Toprak ekstraktında veya sulama suyunda Na iyonlarının Ca+Mg iyonlarına nispi oranı olarak ifade edilir.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{[(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})/2]^{1/2}}$$

Değişebilir sodyum yüzdesi(ESP): Toprak değişim kompleksinin sodyumla doyma yüzdesidir.

$$\text{ESP} = \frac{\text{Değişebilir sodyum (me/ 100g)}}{\text{Kasyon değişim kapasitesi (me/ 100g)}} \times 100$$

% Sodyum(%Na): Sodyum iyonunun diğer katyonlara nispi oranıdır.

$$\% \text{Na} = \frac{(\text{Na}^+)}{(\text{Na}^+ + \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+)} \times 100$$

Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC): Sulama sularında bikarbonat iyonlarının yüksek konsantrasyonlarda bulunması halinde Ca ve Mg iyonları bikarbonat iyonları ile birleşerek çözünmeyen tuzları meydana getirirler ve bu da ortamda Na iyonlarının nispi oranının artmasına neden olur. Bu nedenle sulama suyunda bikarbonat iyonlarının 'kalıcı sodyum karbonat' (RSC) konsantrasyonu halinde ifade edilmesi daha kullanışlı bulunmuştur.

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^{-2} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$$

Elektriksel iletkenlik (EC): Çözeltinin elektrik akımını iletme oranıdır. Elektrik akımının sıvı içerisindeki iletimi çözünmüş madde miktarı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle çözeltinin EC değeri, tuzluluğun bir ölçütü olarak kullanılır.

Tuzluluk: Toprakta veya suda çözülebilir tuzların yüksek miktarlarda birikmesi veya bulunması olayıdır. Tuzlu toprak,  $EC_e$  4 dS/m'den yüksek ESP değeri ise 15'den az olan topraklar için kullanılan bir ifadedir.

Sodyumluluk: Toprakta veya suda  $Na^+$  iyonunun diğer katyonlara oranla yüksek miktarda bulunması olayıdır. ESP değeri 15'den fazla  $EC_e$  değeri 4 dS/m'den düşük olan topraklar için kullanılır.

pH: Çözeltide bulunan hidrojen iyonlarının negatif logaritmasıdır ( $pH = -\log H^+$ ).

Drenaj: Havadar bir kök bölgesi ve tarımsal faaliyetler için yeter miktarda kuru bir üst toprak sağlanması için kaynağı ne olursa olsun fazla suyun araziden uzaklaştırılması işlemidir.

Kasyon: Pozitif (+) yüklü iyon

Anyon: Negatif (-) yüklü iyon.

Toplam çözünebilir katılar (TDS): Bir litrede çözülmüş olan toplam tuzun miligram olarak miktarıdır. Sulama sularında bu değer 1000 mg L<sup>-1</sup> 'den az olması istenir.

Konsantrasyon: Çözeltide çözülmüş olan göreceli madde miktarıdır. Düşük konsantrasyonlu çözeltilere seyreltik, yüksek konsantrasyonlu çözeltilere derişik çözelti denir.

## **TUZLULUKLA İLGİLİ ÇALIŞMALARDA KARŞILACAĞIMIZ BİRİMLER**

Elektriksel iletkenlik ifadesi: Elektriksel direncin tersidir. Direnç 1 cm uzunluğunda ve 1cm<sup>2</sup> kesitindeki, metalik veya elektrolit bir iletkenin ohm olarak ifade edilen mukavemetidir. cm'de mhos veya simens olarak ifade edilir. Çözeltide tuz arttıkça iletkenlik artar, dolayısıyla tuzlu çözeltilerde konsantrasyon yükseldikçe mhos veya simens olarak değerde artar.

1 simens = 1 mhos,

1 mmhos/cm = 1 dS/m'dir.

### Konsantrasyon birimleri:

Ekivalan ağırlık: Bir gram hidrojenle birleşen veya yer değiştiren, bir iyon veya bileşiğin gram olarak ağırlığıdır. Atom ağırlığı veya formül ağırlığı birleşme değeri ile bölünerek elde edilir.

Ekivalan ağırlığı	Anyonlar				Kasyonlar			
	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-2</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>
	30	61	35,5	48	23	39	20	12

Mol:  $6,02 \cdot 10^{23}$  (avogadro sayısı) adet tanecik, atom veya molekül diğer bir ifade ile atom, iyon veya moleküllerin kütesinin gramıdır. Kütlede mole çevirme birimi gram atom veya gram molekül ağırlıktır.

Molarite: Bir litrede çözültide çözülmüş olan maddenin mol sayısı. M harfi ile gösterilir. Litresinde 1 mol gram çözünen madde bulunduran çözültiye molar çözülti denir. Örneğin litresinde 0.1 mol gram çözünen madde bulunduran çözültiye 0.1 molar çözülti denir.

Normalite: Bir litre çözültide çözülmüş maddenin eşdeğer-gram sayısıdır. N harfi ile gösterilir. Litresinde 5 ekivalan gram madde bulunduran çözültiye 5 normal çözülti denir.

ppm: Konsantrasyon birimidir, milyonda bir kısım olarak ifade edilir. 10 mg potasyum eritilmiş bir eriyiğin konsantrasyonu 10 ppm'dir.

miliekivalan litre (meq veya me): 1 M çözültinin her bir mililitresinde 0.001 ekivalan veya 1 miliekivalan madde ihtiva eden eriyik olarak tanımlanır.

1 ekivalan = 1000 meq.

Milimol (mM) : 1 M çözültinin her bir mililitresinde 0.001 mol madde veya 1 milimol madde ihtiva eden eriyik olarak tanımlanır.

1 M = 1000 mM'dır

### Birimlerin çevrimleri:

ppm = (me/l) x Ekivalan ağırlık

% Tuz = ppm/ 10000

EC (dS/m) = (me/l)/ 10

$$EC \text{ (dS/m)} = \text{ppm} / 640$$

$$\text{mg/l} = (\text{me/l}) \times \text{ekivalan ağırlığı}$$

$$\text{ppm} = \text{mg/l}$$

$$1 \text{ dS/m} = 1 \text{ mS/cm} = 1 \text{ mmhos/cm}$$

## **SUYUN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

### Suyun fiziksel özellikleri

Damıtılmış su normal sıcaklıkta kokusuz tatsız ve saydım bir sıvıdır. Su da bütün cisimler gibi ısındıkça genişler. Yani suyun özgül ağırlığı azalır. Suyun en yoğun hali 0 C<sup>0</sup> da değil 4 C<sup>0</sup> 'de olmaktadır. 1 atmosfer basınç altında suyun kaynama noktası 100 C<sup>0</sup>'dir. Basınç azaldıkça bu nokta düşer. Örneğin 417 mm hava basıncı bulunan Mont Blanc tepesinde su 84 C<sup>0</sup>'de kaynar. 1 g buzun erimesi için ise 80 kaloriye ihtiyaç vardır. Buna (latent) gizli erime ısısı denir.

Suyu fiziksel açıdan değerlendirdiğimizde sıcaklık, renk, koku ve tat, süspanse maddeleri bulanıklık gibi genel özellikleri göz önüne alınır.

**Sıcaklık:** Akarsularda veya su kütlesindeki sıcaklık değişimi iklim faktörlerinin veya bazı endüstri atıklarının karışımı sonucu olur. Suyun sıcaklığı 10 C<sup>0</sup> nin altına düştüğünde yabancı otlar seyrek gelişmekte, 10 -15 C<sup>0</sup> arasında gelişme daha fazla olmakta maksimum gelişme ise 15 C<sup>0</sup>'de görülmektedir. Yapılan bir araştırmaya göre suyun sıcaklığı 32 C<sup>0</sup>'nin üstüne çıktığında çeltikler tamamen zarar görmüştür. Genellikle suların sıcaklığı sulamada problem değildir. Gerek depolama barajlarında gerekse sulama kanallarında akarken optimum sıcaklığa ulaşır. Yalnız erken sulamalarda çimlenmenin gecikmesi yönünden önemlidir.

**Renk:** sulardaki renk genellikle ya mineral yada bitkisel kaynaklıdır. Rengin meydana gelmesine neden olan metalik cisimler demir ve manganez bileşikleridir. Sulama yönünden rengin herhangi bir önemi yoktur.

Koku ve Tat: arzu edilmeyen koku ve tat pek çok değişik maddenin bulunmasından ileri gelebilir. Bunlar arasında özellikle canlı mikroskobik organizma veya çürüyen bitki atıkları, kanalizasyon ve endüstri atıkları sayılabilir. Sulama yönünden sakınca teşkil etmez ve raporlarda belirtilmez.

Süspanse (Asılı) Maddeler: doğal sularda süspanse maddeler genellikle siltlerin erozyonu, organik madde parçaları ve planktonlardan ibarettir. Tarım arazilerinden veya ormansız arazilerden olan erozyon süspanse miktarını arttırır. Suyun ince süspanse maddeler özellikle organik kaynaklı olanlar toprağı verimli hale getirebilir ancak bazı sulama yöntemlerinde sisteme zarar verebilir.

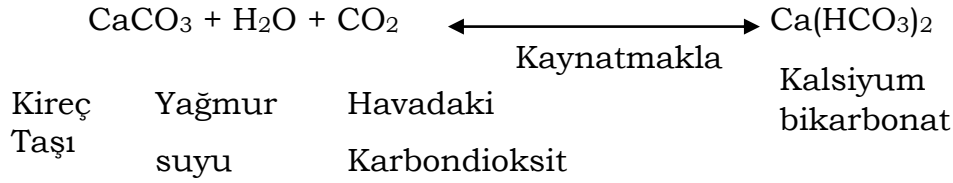
Bulanıklık: suyun bulanıklığı, suyun berraklığını ve ışık penetrasyonunu azaltan süspanse ve koloidal maddelerden kaynaklanmaktadır. Bulanıklığın nedenleri. Mikro organizmalar veya organik artıklar, silis veya çinko, demir veya manganez bileşikleri dahil diğer mineral maddeler; kil veya silt, toz, lif ve diğer maddelerdir. Sulama açısından bulanıklık önemli bir durum teşkil etmez ve raporlarda belirtilmez.

Suyun kimyasal özellikleri: 'Su üniversal bir çözeltilidir.' Bu özelliğinden doğada olduğı gibi laboratuarda ve endüstride de yararlanılmaktadır. Doğada bulunan su kimyaca hiçbir zaman saf değildir. Çözünmüş halde bir çok tuzları bulundurur. Doğadaki suyun en safı yağmur suyu olup ancak havadan aldığı az miktarda oksijen, azot ve karbondioksit gazlarını bulundurur. Fırtınalı zamanlarda yüksek gerilimli elektrik dolayısıyla oluşan şimşeklerin etkisi ile oksijen, azot ve su buharından ibaret tuzları meydana getirir. Bunların önemlileri Amonyum nitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), Amonyum nitrit ( $\text{NH}_4\text{NO}_2$ ), amonyum sülfat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). Buna göre şimşekli havalarda yağmur bitkilere yalnızca su değil aynı zamanda gübre de getirir.



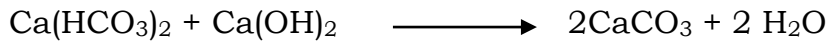
Toprağa düşen yağmur hidrolojik devreye uygun olarak bir kısmı buharlaşır, bir kısmı yüzey akışı haline geçer, bir kısmı yer altı suyuna karışır. Bunlar tekrar kaynak ve kuyu suyu olarak meydana çıkar. Geçtikleri toprağın cinsine göre, su çeşitli tuzları bulundurur. Bunlar, NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+10 H<sub>2</sub>O, MgSO<sub>4</sub>+7H<sub>2</sub>O, CaSO<sub>4</sub>+2H<sub>2</sub>O.

Yağmur suları kireç taşlarını aşındırır. Bu aşınma olayında sudan başka havanın karbondioksidinin de önemli bir rolü vardır. Çünkü kireç taşları (CaCO<sub>3</sub>) suda çözünmediği halde karbondioksitli suda çözünerek kalsiyum bikarbonat meydana getirir.

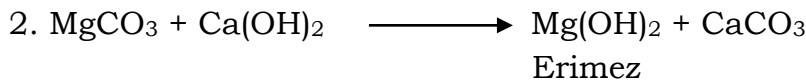
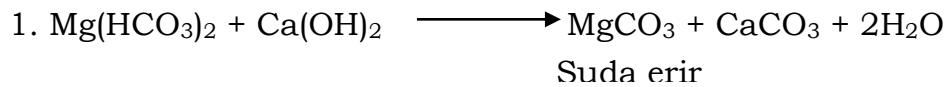


Suda sertlik kavramı: kaynak ve kuyu suları geçtikleri yerlerde toprağın bünyesinde bulunan birçok tuzu çözer. Suda çözülmüş bu tuzların bir kısmı suya sertlik verir. Suda iki türlü sertlik vardır:

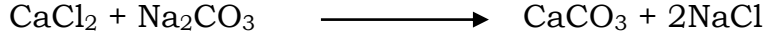
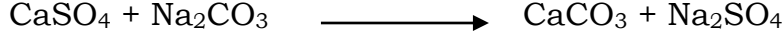
Geçici sertlik: Suyun kaynatılması ile giderilebilen ve bikarbonatlardan ileri gelen sertliktir. Geçici sertliği kaynatmakla gidermek pahalı olduğundan endüstride sönmüş kireç ilavesi ile geçici sertlik giderilmektedir,



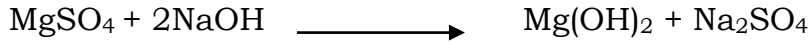
Eğer sertlik magnezyum bikarbonattan ileri geliyorsa erimeyen bileşik elde etmek için 2 molekül kalsiyum hidroksite ihtiyaç vardır. Böylece sırayla iki tepkime sonucu suda çözünmeyen magnezyum bileşiği elde edilir,



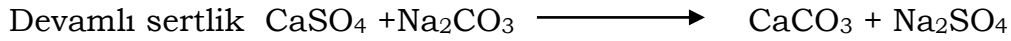
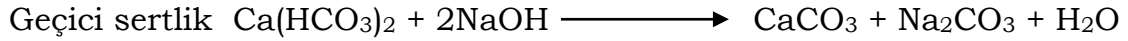
2. Devamlı sertlik: geçici sertliğe karşılık devamlı sertlik kalsiyum ve magnezyum klorür ve sülfatlarından ileri gelir. Devamlı sertlik kaynatmakla gidermek mümkün değildir. Kalsiyumdan ileri gelen sertlik aşağıdaki denklemde olduğu gibi soda ile giderilir.



Magnezyumu gidermek için sodyum hidroksit kullanılır,



Eğer suda geçici ve devamlı sertliği meydana getiren tuzlar bir arada bulunursa bu taktirde suya yalnız sodyum hidroksit ilave etmek yeterlidir. Bunun formülleri aşağıda verilmiştir.



pH: pH sembolü hidrojen iyon konsantrasyonunun negatif logaritması olarak tanımlanır. Genellikle pH değeri suyun asitlik ve bazlık ölçüsünün bir fonksiyonudur. Elektriksel veya kolorimetrik metotlarla ölçülebilir. Sulama açısından optimum pH değeri yetiştirilecek bitkinin cinsine ve toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Genellikle sulama sularında pH değeri 6.5 ile 8.0 arasında olması yani nötr bulunması arzu edilir.

EC, erimiş katı maddeler: Doğal sularda erimiş katı maddeler; karbonat, bikarbonat, klor, sülfat, fosfat, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum, nitrat, demir, mangan ve diğerleridir. sulama suyunda bulunan yüksek tuz konsantrasyonları bitkilere ve toprağa büyük zararlar verebilmektedir. Her bitkinin kendine özgü tuza dayanım sınırı vardır. Bir çok bilim adamı halen bitkilerin bu spesifik dayanımlarını araştırmaktadır.

# **BÖLÜM I : TARIMSAL TUZLULUK, DAĞILIMI, SU VE TOPRAK KAYNAKLARIMIZIN TUZLULUKLARI**

## **GİRİŞ**

Dünya üzerinde sulu tarım alanları yüzyıllardır kendi verimlilik potansiyellerini yani sürdürülebilirliklerini devam ettirme çabası içindedirler. Sulamadan kaynaklanan sorunlar olduğu kadar, doğal nitelikli hidrolojik ve jeokimyasal faktörler nedeniyle toprak ve suyun tuzlulukları ve bununla ilişkili ortaya çıkan drenaj problemleri, tarımın önünde engel oluşturmaktadır.

Ortaya çıkan tuzluluk problemleri sadece tarımsal alanlarla sınırlı bir çevrede etkili kalmayıp, oluşan tuzlu drenaj sularının ulaştırıldığı alanlardaki çevresel ve sağlık sorunlarını da ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle tarımsal tuzluluk sorunları sadece sulu tarımın sürdürülebilirliği açısından belirli çerçevede değerlendirilebilecek bir problem olarak kalmayıp, ülkesel ve belki de uluslararası nitelikte ele alınması gereken sorunlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu bölümde tarımsal alanlardaki tuzluluğun ne anlama geldiği, nasıl oluştuğu, tuzluluk bileşenlerinin neler olduğu, tuzluluk problemlerinin çeşitleri, tuzların kaynakları konuları ele alındıktan sonra, küresel boyutta tuzlu alanlar ve dağılımları kısaca belirtilecek, daha sonra ülkemizdeki su ve toprak kaynaklarının genel tuzluluk durumları açıklanacaktır.

## **TARIMSAL TUZLULUK**

Tuzluluk deyince, doğada farklı kaynaklardan gelen ve çeşitli biçimlerde bulunan suda eriyebilen maddelerin oluşturduğu etki anlaşılmalıdır. Su ile etkileşime giren bu tür maddeler eriyerek suya geçerler, daha sonra su ile birlikte taşınırlar. İçerisinde erimiş katı maddeleri yani tuzları barındıran su kaynağı biriktiği yada kullanıldığı alana bağlı olarak tarımsal, çevresel yada sosyal bazı etkilere neden olurlar.

Sulu tarım alanlarında değişik kaynaklardan gelen erimiş katı maddeler (tuzlar) toprak çözeltisi içerisinde biriktirilirler. Bu birikmenin nedeni, bitkinin kökleri ile aldığı toprak suyunun saf'a yakın olmasıdır. Bitki kökleri seçicidir ve suyun kökler tarafından alınabilmesi için toprak çözelti ortamı konsantrasyonunun bitki öz suyu konsantrasyonundan daha düşük olması gerekir. Bir başka deyişle, toprak çözeltisi tuzluluğunun düşük olması gerekir. Bunun tersi ortamlarda bitki kökleri ile suyu almakta zorlanacaktır. Yüksek tuzluluktaki toprak çözeltisi ortamlarında bitkiler tıpkı kuraklık etkisinde kalmış gibi sararmaya, turgorlarını kaybetmeye başlayacaklardır. Bitki kökleri ile suyu daha az almaya, bu nedenle de verimliliğini ve morfolojik kalite özelliklerini azaltmaya başladığında, *tarımsal tuzluluk* sorunlarının varlığından söz etmek gerekecektir.

Toprak içerisinde yüksek çözelti konsantrasyonu *ozmotik etkiyi* ortaya çıkartır. Sudaki erimiş katılar çözelti içerisinde *ozmotik basınç* yaratırlar ve bu basınç nedeniyle

bitki kökleri ile suyu almak için daha fazla güç harcamaya başlar. Bitki bu durumda fizyolojik ve generatif gelişmesi ve üretimi için harcamak istediği enerjisini, topraktan taze suyu almak için kullanmaya çalışır. Bu olay bitki gelişiminin ve verimliliğinin azalması anlamına gelmektedir. Bu nedenle, tuzluluğun belirli sınır değerlerden daha yüksek hale geldiği alanlarda bitki veriminde ve ürün kalitesinde azalmalar görülür.

Tarımsal tuzluluk deyince aklımıza kurak ve yarı-kurak alanlarda yer alan tarımsal alanlar gelmelidir. Çünkü, tuzlaşmanın oluşabilmesi için toprağa iletilen tuzların burada birikebilmesi gerekmektedir. Tuzlar, örneğin kış yağışları ile kök bölgesinden uzaklaşabiliyorlar ise, sulama suyu yada diğer kaynaklardan alana iletilen tuzlar birikmeyeceklerinden, tarımın sürdürülebilirliği açısından önemli bir tehdit oluşturmayacaktır. Ancak, kurak ve yarı-kurak alanlarda yağışların toplamının ve dağılımının uygun olmaması nedeniyle bu yıkanma oluşmaz ve iletilen tuzlar birikmeye başlarlar. Zaman boyutunda iletilen tuz miktarına bağlı olarak kısa yada uzun bir süre içerisinde tuzlaşma süreci başlamış olur.

### Tuzluluk Bileşenleri

Tuzluluk, suda ve toprakta bulunan erimiş toplam katı maddelerin hacimsel yada ağırlıksal olarak bulunuş konsantrasyonlarıdır.

Çözünebilir mineral tuzları kapsayan eriyiklerden başlıcaları katyonlardan ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ) ve anyonlardan ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$ ,  $\text{NO}_3^{-2}$ ) dür. Bu katyonlar ve anyonlar doğadaki sulara en fazla rastlanan eriyiklerdir. Doğadaki tüm su kaynakları bu maddelerden değişen oranlarda içerirler. Bu nedenle, sulama suyu tuzluluk analizleri bu yukarıda sayılan anyon ve katyonları içermektedir. Rutin laboratuvar analizlerinde bu maddelerin miktarları belirlenmeye çalışılır.

Daha tuzlu sular yada özel problem alanlarında ise bu anyon ve katyonların dışında B, Sr, Li,  $\text{SiO}_2$ , Rb, F, Mo, Mn, Ba, Al gibi elementlerin de bulunması söz konusudur.

### Tuzluluk Problemlerinin Çeşitleri

“Çözelti ortamında yüksek oranda suda eriyebilen katıların bulunması hali” şeklinde tanımlanabilecek olan *Tuzluluk* tanımı altında iki farklı etki meydana gelir (Şekil 1.1). Bu iki etki birbirinden tamamen farklı biçimlerde oluşur ve ortaya çıkardığı sonuçlar da birbirinden farklıdır.

Tuzluluk zararı	etki eder... →	bitkiye	Neden olur... →	Tuzlu toprak koşulu
Sodyum	etki eder... →	toprağa	Neden olur... →	Sodyumlu toprak koşulu

Şekil 1.1 Tuzluluk problemlerinin çeşitleri

Toplam tuzluluk etkisinden söz ettiğimizde, sonuçta bitkiye olan etki ve tuzlulaşmış bir toprak koşulu ile yüz yüze geleceğiz demektir. Toplam tuzluluk etkisi; çözeltilerde erimiş olan katıların toplamının oluşturduğu ozmotik etkidir ve bitkinin kökleri ile su alımına olumsuz etki yapar. Toprak çözeltisi ortamında yeterli miktarlarda su olmasına karşın bitkiler yüksek ozmotik basınç etkisi ile bu suyu alamazlar ve kuraklık etkisinde kalabilirler. Buna *fizyolojik kuraklık* adı verilir. Tuzlu topraklarda karşımıza çıkan en önemli sorunlardan birisi budur. Yetiştirilen bitkiler, sanki yeterli nem toprakta bulunmuyor gibi sararma, solma ve turgor basınçlarını kaybetme etkisinde kalırlar. Vejetatif gelişmeleri ile birlikte verimlilikleri de azalır, tuzluluğun düzeyine göre toplam üründe ve kalitesinde kötüleşmeler görülür. Toprak çözeltisindeki toplam tuzluluk etkisi sonucunda toplam tuz konsantrasyonu zararlı düzeylere ulaşmış bir toprak koşulu ile karşılaşırız.

Toprak çözelti ortamında, toplam tuzluluk düzeyinin düşük olmasına karşın, özellikle  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  iyon konsantrasyonlarına göre oransal olarak yüksek miktarlarda  $Na^{+}$  iyonunun bulunması durumunda, karşımıza sodyumluluk etkisi çıkar: Bu durumda etkinin olduğu yer toprak fiziksel özellikleridir ve kötüleşen toprak fiziksel koşulları nedeniyle verimlilik ve ürün kalitesinde azalmalar görülür. Çözelti ortamında bulunan fazla sodyum, kümeli toprak yapısı üzerine etki eder. Toprağın havalanma ve su geçirgenliğini olumlu etkileyen kümeli yapının bozulması durumunda, su ve hava geçirgenliği azalan ve hatta kaybolan toprak ortamında bitki yetiştirmek ve ekonomik düzeyde ürün almak olanaksız hale gelebilir. Geçirgenliği azalan toprak ortamında suyun yüzeyde uzun süre göllenmesi, çevresel etkilere de neden olacaktır.

### **Tarımsal tuzluluğun nedenleri**

Sulanan alanlarda tuzluluğa neden olan faktörlerin başında kullanılan sulama suyu gelmektedir. Sulamada kullanılan suyun içerdiği tuzluluk düzeyine bağlı olarak, tarımsal alanlarda tuzlulaşma sorunları ile karşılaşılır. Bunun dışında taban suyunun yüksekliği, taban arazilerde yanıl sızmalar, kıyı alanlarda deniz etkileşimi gibi faktörler kök bölgesine tuzun taşınmasını sağlar. Bunların dışında ise iklim koşulları, uygulanan tarım şekli, sulama yöntemi, sulama suyu miktarı, drenajın yeterliliği, sulama ve drenajın yönetimi, tarımcıların bilgi birikimi, sosyolojik faktörler gibi etmenler de sulanan alanlarda tuzlulaşmaya neden olurlar. Bu konular bir sonraki bölümde incelenecektir.

### **SU VE TOPRAKTA BULUNAN TUZLARIN KAYNAĞI**

Sularda ve toprakta bulunan bütün tuzların ana kaynağı, süregelen ve yer kürenin üst bölümünde (kabuk) devam eden kayaların jeokimyasal ayrışması olayıdır. Bu olaylar jeolojik zaman süresince var olan, toprak ile okyanuslar arasındaki jeokimyasal madde alış-verişinin bir ayağını ifade eder.

### **Ayrışma**

Pek çok kaya yüksek sıcaklık ve basınç altında şekillendiğinden, atmosferik koşulların etkisi altında bulduklarında, bu kayaları meydana getiren mineraller genellikle termodinamik olarak “kararsız-unstable” özelliktedirler. Ayrışma (weathering), birincil mineralleri dünya yüzeyinde daha “kararlı-stable” olan diğer minerallere dönüştüren spontane bir işlemdir. Jeokimyasal ayrışmaya neden olan

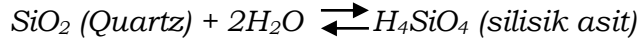
atmosferik etkenlerin başında nem, oksijen ve karbondioksit gelmektedir. Biyosfer ise içerdiği artan miktarlardaki karbondioksit ve organik madde nedeniyle ayrışma işlemlerini artırır ve genişletir. Organik madde, kompleksation-birleşme sırasında katyon değişimini (hareketini) ve ayrışmayı teşvik edici nitelikteki organik asitlerin kaynağını oluşturur ve redoks etkeni olarak görev yapar.

Kaya oluşumu içerisinde yer alan minerallerin kimyasal ayrışmasında üç tip reaksiyon söz konusudur: eşleşik (congruent) erime, eşleşik olmayan (incongruent) erime ve redoks-oksidasyon reaksiyonlar.

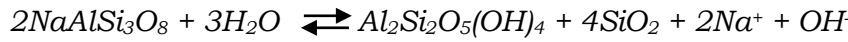
**Eşleşik (congruent) erime:** bu tür reaksiyonlarda çözünür ürünleri minerallerdeki oranlarında bulunurlar, yani;

Mineral  $\longrightarrow$  çözünebilir bileşikler

Bu tür ayrışmaya örnek olarak;



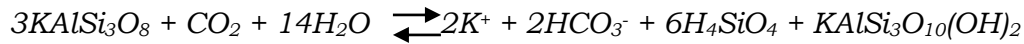
**Eşleşik olmayan (incongruent) erime:** Bu reaksiyonda, mineralin bir kısmı erir ve ikincil bir katı faz olarak (ikincil aluminosilikat kil mineralleri) artık olarak kalır ki, bu artık orijinal mineralden farklı bir kompozisyondadır, yani;



(albit)

(kaolinit)

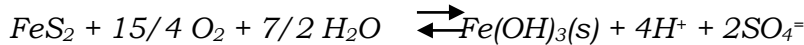
(kuartz)



(ortoklas)

(mika)

**Redoks reaksiyonları:** Minerallerin oksidasyon niteliklerindeki değişimler ayrışmayı etkiler. Çözeltide çözünen (eriyen) mineraller ile bu çözelti ile etkileşimde bulunan mineraller arasındaki redoks reaksiyonları, bazen çözeltinin pH'ına etki eder. Örneğin;



Bu reaksiyonda, üretilen protonlar, peşisıra gelecek olan ayrışmada güçlü bir lokal etkiye sahiptirler.

### İklim ve peyzaj etkileri

Her ne kadar ayrışma devam eden ve universal bir işlem olsa da, ayrışma reaksiyonlarının yoğunluğu ve dağılımı iklimin büyük oranda etkisi altındadır. Nemin varlığı, ayrışma işlemleri için çok önemli bir parametredir. Nem, mineral transformasyonda etken olarak rol oynar ve erimiş maddelerin yada askıdaki

maddelerin ortamdan taşınmasında taşıyıcıdır. Ayrışma ürünlerinin toprak yüzeyinden yer altı sularına doğru taşınması ve buradan da nehirlere ve en sonunda da okyanuslara kadar taşınması, etkili yağışın miktarına bağlıdır. Okyanusların kimyasal bileşimleri, toprak kütlesinden olan ve kimyasal interaksiyon ile avapokonsantrasyon tarafından modifiye edilen ve volkanik aktiviteler ile artırılan, tuzların sabit akımına-katlısına bağlıdır.

Tuz etkisindeki topraklar kurak peyzajın doğal komponentidirler. Bu alanların bulunuşu doğrudan, sınırlı miktardaki yağışların varlığı ile ilişkilidir, yani, avapotranspirasyon büyük oranda yıl boyunca yağışlardan daha yüksek olarak meydana gelir. Suyun eksikliği (yetersizliği) minerallerin kimyasal ayrışma yoğunluğunu sınırlandırır. Nem eksikliği aynı zamanda ayrışma ürünlerinin (tuzlar) oranını da sınırlar ve sıkca oluşan ikincil minerallerin belirli alanlarda toplanmasına neden olur. Düşük nemlilikteki alanlarda akraba kayaların (parent rocks) oranı, büyük oranda oluşan toprakların özelliklerini de belirler. Pek çok kurak bölge alanları entisoller ve aridisoller olarak sınıflandırılmaktadır.

Su, tuzların taşınmasında birinci derecede önemli olduğundan, tuzluluk taban (düşük) arazilerde yada çöküntülerde yani suyun drene olduğu alanlarla çok yakın bağıntılıdır. Tuzlulaşma, sınırlı drenaj koşullarında taban suyu sorunlarının artması nedeniyle genişlemektedir. Taban suyunun yüksekliği drenaj kapasitesi ile ilişkili iken, mineral yapısı daha çok buharlaşma ve transpirasyonun etkisi altında şekillenir. Drenajın etkilediği tuzlu alanların genişlikleri birkaç hektardan binlerce kilometrekare alana kadar büyük değişiklikler gösterebilir. Örneğin Amerika'daki Utah Büyük Tuz Gölü ile Pakistan'daki Indus havzası bunlara örnektir.

### **Fosil yada ikincil depositler**

Jeolojik çağlar boyunca tuzlu okyanuslar büyük karaları su altında bırakmışlardır. Bu su baskını altında kalan alanlar daha sonra yükselmişlerdir. Sonuçta meydana gelen jeolojik formasyonlar topraklar için ana materyal (parent) sağlarlar ve arz tabakasının yükselmesi ile tuzlu tabakanın altında yer alırlar ve her ikisi de yüzey ve yer altı sularının tuz yüklerini oluşturması açısından önemlidirler. Okyanusların basması sırasında kıtasal kayaların ayrışmasından oluşan ikincil depositler (sedimentasyon kayaları), tuzluluğun ve sodyumluluğun önemli kaynaklarıdır. Fosil tuzları deyimi, bu depositlerin tuzluluğunu belirtmek amacıyla kullanılır.

### **Atmosferik depolama**

Atmosferik depolanan tuzlar lokal olarak önem kazanmaktadırlar. Kuru yada ıslak aerosol taşınımları kıyı alanlarda 100 ila 200 kg/yıl-ha düzeylerine ulaşabilirken, iç bölgelerde 10 ila 20 kg/yıl-ha düzeyindedir. Atmosferik depolanan tuzların cinsleri kaynaktan olan uzaklıklara bağlı olarak değişmektedir. Kıyı bölgelerde tuzların çoğunluğu NaCl tiptedirler. Hava akımları ile iç bölgelere taşındıklarında  $Ca^{+2}$  ve  $SO_4^{-2}$  anyonları ağırlık kazanır. Kurak bölge topraklarındaki yıllık oluşan ayrışma ürünü (weathering) tuz yükünün yaklaşık %10-25 kadarı atmosferik katkı şeklindedir. Toprakların tuzlulaşmasında genel perspektif olarak ele alındığında çoklukla atmosferik katkı göz ardı edilmektedir, ancak özellikle yüksek ayrışma etkisindeki ve zayıf drenajlı alanlarda göz önünde bulundurulması gereken bir faktördür. Örneğin

batı Avustralya'daki büyük alanlarda uzun yıllar yağışlarla taşınan tuz yükü buna bir örnektir.

### **Antropogenik aktiviteler**

İnsan etkisinde oluşan tuzluluk tarihsel ve ekonomik öneme sahiptir. Endüstrileşme atmosferdeki nitrojen ve sülfür gazlarının yükünü artırmıştır, her iki gaz da atmosferdeki tuz konsantrasyonunu artırmakta ve asit yağmurlarına neden olmaktadır. Asit yağmurları toprak ayrışma oranının artmasına neden olmaktadır. Enerji-ilişkili madencilik faaliyetleri bunları yüzeyde tuzlu ve sodyumlu materyallere dönüştürürler ve bunlar yeryüzünde kalırlar, ancak çevreye etkileri düşüktür.

Yeryüzü sisteminin tuzlarla tanıştırılmasında sulama dramatik bir etkiye sahiptir. Doğadaki tüm sulama suları değişik miktar ve cinsten tuzları içerirler. Evapotranspirasyon sırasında, saf su ortamdan uzaklaşır ve geriye kalan tuzlar daha önceden rizosferde bulunan tuz miktarına eklenir.

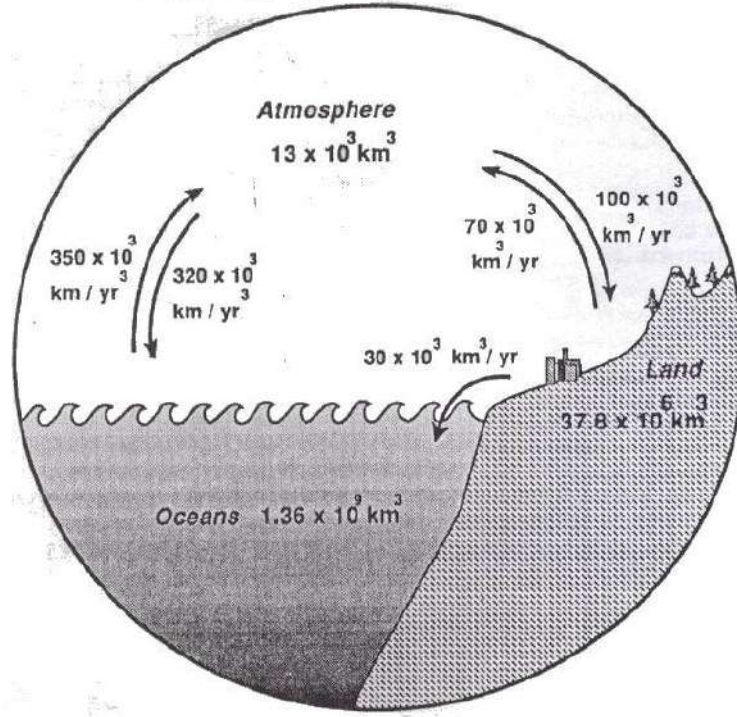
Herhangi bir önlem alınmadığı durumda tuzlar rizosferde biriktirilmektedir. Sulama suyu uygulamaları da mineral ayrışmanın hızına büyük oranda etki etmektedirler. Rizosferdeki ve yer altı-yerüstü sularındaki tuzluluğun ve sodyumluluğun kontrolü, bu nedenle, toprak ve suyun yönetimi pratikleri ile ilgili olmaktadır.

### **TARIMSAL TUZLULUĞUN DAĞILIMI**

Hidrosfer (su küre) içerisinde bulunan pek çok su tuzludur ve taze suların büyük bölümü de donmuş (buzul) haldedir. *Şekil 1.2* den görüleceği gibi, okyanuslarda toplam suyun %97.3'ü yer alırken, karalarda bu oran %2.8 dir. Bir kısım su da (%0.001) atmosferde hava nemi olarak yer almaktadır. Karalarda bulunan suyun %77.2 si buzullarda donmuş su şeklindedir. Derin ve çoğu çekilemez haldeki yer altı suları olarak bulunan kısım ise %22 kadardır. Sonuçta bize kullanılacak çok az miktarda taze su kaynağı kalmaktadır.

Yeryüzü toplam alanı  $13.2 \times 10^9$  ha olup,  $7 \times 10^9$  ha kadar ekilebilir niteliktedir ve tarım yapılan alan toplamı ise  $1.5 \times 10^9$  ha dolaylarındadır (Massoud, 1981). Tarım yapılan alanların yaklaşık %23 kadarı tuzlu, %37 si sodyumlu nitelik kazanmıştır. Szabolcs (1989) tuzlu ve sodyumlu toprakların yaklaşık 100 ülkede dağıldığını ve toplam ekilebilir alanların %10 una ulaştığını bildirmektedir (*Şekil 1.3*). Tuzluluk etkisi altındaki alanlar yarı-kurak ve kurak bölgelerle sınırlı kalmayıp diğer bölgelere de yayılmışlardır. Pek çok diğer bölgede iklim ve tuzların hareketliliği, mevsimlik tuzlu su ve topraklar oluşturabilmektedir.





Şekil 1.2. Global su dengesi ve akışı (Todd, 1970)



Şekil 1.3 Tuzlu toprakların global dağılımı (Szabolcs, 1989)

Günümüzde dünya nüfusunun % 7'si suyun kıt olduğu bölgelerde yaşamaktadır. Bu oranın 2050 yılında % 67'ye yükseleceği tahmin edilmektedir. Birleşmiş Milletler tarafından dünya nüfusunun 1950 yılından sonra % 125 oranında artış gösterdiği belirtilmektedir. Gelecek 50 yılda dünyada nüfusun % 67 oranında artacağı tahmin edilmekte ve bu artışın büyük bir bölümünün gelişmekte olan ülkelerde meydana geleceği öngörülmektedir (Fischer ve Heilig, 1997).

## **TÜRKİYE'NİN SU KAYNAKLARI**

Ülkemizde nüfus son 50 yılda % 324 oranında artmıştır ve gelecek 40 yılda % 144 oranında artacağı öngörülmektedir (Anonim 2003). Ülkemizde nüfusun hızlı artışı dikkate alınarak su kaynaklarının etkin kullanımı için gerekli tedbirler alınmalıdır. Kullanılan suyun yaklaşık % 75'i tarımda tüketilmektedir.

Su kaynaklarını en fazla kullanan alanlar ve miktarları, *Tablo 1.1*'de gösterilmiştir. Buna göre, sulamada 31.5 km<sup>3</sup> (75%), kentsel kullanımda 6.4 km<sup>3</sup> (15%), ve endüstride 4.1 km<sup>3</sup> (10%) su kullanılmaktadır. 1998 yılında kullanılan toplam 38.9 km<sup>3</sup> suyun 32.9 km<sup>3</sup> 'ü yüzeysel su kaynaklarından alınırken, 6 km<sup>3</sup> yeraltı su kaynaklarından sağlanmıştır. Yerüstü su kaynaklarının alansal tüketimi farklıdır. Sulamada %82, kentsel kullanımda %10'u ve endüstride ise %8'i kullanılmaktadır. Değinen alanlarda yeraltı su kaynaklarının kullanımı, sırasıyla, %39, %37 ve %24 dolaylıdır (Kanber ve ark., 2005).

*Tablo 1.1 Yıllara göre su kaynaklarının kullanım durumu (DPT, 2001)*

Yıl	Toplam kullanım 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Su potansiyeli (%)	Alanlara Göre Su Kullanımı, km <sup>3</sup>		
			Sulama	Kentsel Tüketim	Endüstriyel Tüketim
1998	38.900	35	29.200	5.700	4.000
2000	42.000	38	31.500	6.400	4.100

Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m<sup>3</sup> suya tekabül etmektedir (*Çizelge 1.2*). Bu suyun 274 milyar m<sup>3</sup> 'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m<sup>3</sup> 'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m<sup>3</sup> 'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m<sup>3</sup> 'lük suyun 28 milyar m<sup>3</sup> 'ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca, komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m<sup>3</sup> su potansiyeli bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 (158+28+7) milyar m<sup>3</sup> olmaktadır (DSİ, 2005).

Türkiye'de dağlarda bulunan küçük göllerle birlikte 120'den fazla doğal göl bulunmaktadır. En büyük ve en derin göl olan ve yükseltisi 1646 m olan Van Gölü'nün alanı 3712 km<sup>2</sup> dir. İkinci büyük göl, İç Anadolu'daki Tuz Gölü'dür. Derin bir göl olmayan Tuz Gölü'nün denizden yüksekliği 925 m alanı ise 1500 km<sup>2</sup> dir. Türkiye'de göllerin toplandığı başlıca dört bölge vardır: Göller Yöresi (Eğirdir, Burdur, Beyşehir ve

Acıgöl), Güney Marmara (Sapanca, İznik, Ulubat, Kuş Gölleri), Van Gölü ve çevresi, Tuz Gölü ve çevresi. Türkiye'deki göllerin bazılarının derinliği 30 m'den fazladır, bazıları ise sadece birkaç metre derinliktedir. Van Gölü'nün derinliği 100 m'den daha fazladır. Köyceğiz Gölü gibi denizle bağlantısı olan göller az tuzludur. Doğal göller dışında Türkiye'de 555 kadar baraj gölü bulunmaktadır. Bunlardan bazılarının yüzey alanı; Atatürk Barajı 817 km<sup>2</sup>, Keban Barajı 675 km<sup>2</sup>, Karakaya Barajı 268 km<sup>2</sup>, Hirfanlı Barajı 263 km<sup>2</sup>, Altinkaya Barajı 118 km<sup>2</sup>, Kurtboğazı Barajı 6 km<sup>2</sup> dir. Türkiye göllerinin yanı sıra akarsuları açısından da zengin bir ülkedir. Kaynakları Türkiye topraklarında olan birçok akarsu değişik denizlere dökülür. Karadeniz'e Sakarya, Filyos, Kızılırmak, Yeşilirmak, Çoruh ırmakları; Akdeniz'e Asi, Seyhan, Ceyhan, Tarsus, Dalaman ırmakları; Ege Denizi'ne Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gediz ve Meriç nehirleri; Marmara Denizi'ne Susurluk/Simav Çayı, Biga Çayı, Gönen Çayı dökülür. Ayrıca Fırat ve Dicle nehirleri Basra Körfezi'nde, Aras ve Kura nehirleri ise Hazar Denizi'nde son bulur. Kızılırmak 1355 km, Yeşilirmak 519 km, Ceyhan Irmağı 509 km, Büyük Menderes 307 km, Susurluk Irmağı 321 km, Suriye sınırına kadar Fırat Nehri 1263 km, Dicle Nehri 523 km, Ermenistan sınırına kadar Aras nehri 548 km uzunluğundadır (DSİ, 2005).

Çizelge 1.2 Türkiye'nin toplam su kaynakları potansiyeli (DSİ, 2005)

Türkiye'nin yüzölçümü	780 000 km <sup>2</sup>
Yıllık yağış miktarı	501 milyar m <sup>3</sup>
Buharlaştırma	274 milyar m <sup>3</sup>
Yeraltına sızma	41 milyar m <sup>3</sup>
Yıllık yüzey akışı	186 milyar m <sup>3</sup>
Kullanılabilir yüzey suyu	98 milyar m <sup>3</sup>
Yıllık çekilebilir su miktarı	14 milyar m <sup>3</sup>
Toplam Kullanılabilir Su (net)	112 milyar m <sup>3</sup>



Şekil 4. Türkiye havzaları

*Tablo 1.3 Türkiye havzalarına göre su potansiyelleri (DSİ, 2005)*

<b>Havza adı</b>	<b>Yağış Alanı (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ort. yıllık Akış (km<sup>3</sup>)</b>	<b>Ort. yıllık verim ( l /s/km<sup>2</sup>)</b>
(21) Fırat Havzası	127 304	31,61	8,3
(26) Dicle Havzası	57 614	21,33	13,1
(22) Doğu Karadeniz Havzası	24 077	14,90	19,5
(17) Doğu Akdeniz Havzası	22 048	11,07	15,6
(09) Antalya Havzası	19 577	11,06	24,2
(13) Batı Karadeniz Havzası	29 598	9,93	10,6
(08) Batı Akdeniz Havzası	20 953	8,93	12,4
(02) Marmara Havzası	24 100	8,33	11,0
(18) Seyhan Havzası	20 450	8,01	12,3
(20) Ceyhan Havzası	21 982	7,18	10,7
(15) Kızılırmak Havzası	78 180	6,48	2,6
(12) Sakarya Havzası	58 160	6,40	3,6
(23) Çoruh Havzası	19 872	6,30	10,1
(14) Yeşilirmak Havzası	36 114	5,80	5,1
(03) Susurluk Havzası	22 399	5,43	7,2
(24) Aras Havzası	27 548	4,63	5,3
(16) Konya Kapalı Havzası	53 850	4,52	2,5
(07) Büyük Menderes Havzası	24 976	3,03	3,9
(25) Van Gölü Havzası	19 405	2,39	5,0
(04) Kuzey Ege Havzası	10 003	2,90	7,4
(05) Gediz Havzası	18 000	1,95	3,6
(01) Meriç-Ergene Havzası	14 560	1,33	2,9
(06) Küçük Menderes Havzası	6 907	1,19	5,3
(19) Asi Havzası	7 796	1,17	3,4
(10) Burdur Göller Havzası	6 374	0,50	1,8
(11) Akarçay Havzası	7 605	0,49	1,9
<b>TOPLAM</b>	<b>779 452</b>	<b>186,86</b>	

## **Türkiye sularının tuzluluk durumu**

Türkiye'deki akarsuların kalite analizleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) tarafından 1935'den günümüze dek yapılmaktadır. Elde edilen kalite verileri 1989, 1996 su kalitesi yıllıklarında yayınlanmıştır. Böylelikle EİE çalıştığı projelerdeki veri gereksinimini karşılamanın yanı sıra kamu ve akademik kuruluşların ihtiyaç duyduğu verilerin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır (EİE, 2003).

EİE tarafından yayınlanan 'Türkiye Akarsularında Su Kalitesi Gözlemleri' yıllığı en son Eylül 2003 yılında yayınlanmıştır. Yayınlanan bu yılğın geniş bir özeti *Çizelge 1.4* 'de sunulmuştur. Elde edilen gözlem sonuçlarına göre Türkiye akarsularında tuzluluk ve sodyumluluk durumlarının düşük olduğu gözlenmektedir böylece akarsularımız iyi kaliteli olarak sınıflandırılabilir. Ancak Kızılırmak nehri, C<sub>4</sub>S<sub>1</sub> gibi oldukça yüksek tuzluluk düzeyine sahip iken Oltu çayı, Ergene nehri, Gediz nehri, Küçük Menderes, B.Menderes, Banaz çayı, Sakarya Nehri sularının kalite sınıfları da C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> olarak belirlenmiştir. Örnek alınan diğer akarsularımızın tuzluluk düzeyleri C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> ve C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> olarak tespit edilmiştir ve sulama suyu tuzluluk düzeyi açısından sorunsuzdur.

Çizelge 1.4 EİE tarafından yayınlanan su kalitesi rapor özeti. (EİE, 2003)

Adı	Gözlem yılları	pH	EC mS\cm	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	(Ca+ Mg) <sup>++</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	SAR	Su sınıfı	Bor, mg/l
Meriç N-Meriç köprüsü	1970-2002	7.93	439.63	0.96	0.09	3.60	0.13	2.23	0.64	1.65	0.69	c2s1	0.217
Tunca N-Suakacağı	1970-1995	8.07	786.15	2.26	0.14	6.06	0.47	4.23	1.68	2.08	1.28	c3s1	0.283
Ergene N-Uzunköprü	1983-1996	8.08	1092.79	5.78	0.29	5.43	0.59	5.14	3.77	2.00	3.42	c3s1	0.251
Ergene N-Yenicegörece	1996-2002	8.29	1998.47	14.69	0.42	5.43	0.63	6.35	9.69	3.86	8.79	c3s1	0.328
Tunca N-Suakacağı	1995-2002	8.21	718.16	1.88	0.12	5.79	0.33	4.04	1.32	2.09	1.09	c2s1	0.136
Gönen Ç.-Kumköy	1971-1995	7.93	396.10	0.85	0.05	3.26	0.15	2.27	0.61	1.13	0.65	c2s1	0.255
Biga Ç.Çınarköprü	1999-2002	8.33	669.03	1.89	0.13	5.10	0.32	3.36	1.42	2.03	1.15	c2s1	0.302
M.Kemalpaşa Ç.-Döllük	1970-2002	8.20	539.27	0.50	0.06	5.46	0.38	3.76	0.41	1.47	0.30	c2s1	0.868
Simav Ç.-Yahyaköy	1983-2002	8.11	525.56	1.12	0.13	4.47	0.37	3.63	0.68	1.05	0.74	c2s1	1.646
Kocadere-Akçasusurluk	1970-2002	8.10	502.50	0.93	0.10	4.51	0.32	3.43	0.74	1.05	0.62	c2s1	1.041
Emet Ç.-Dereli	1995-2002	8.10	694.37	0.78	0.10	6.79	0.16	3.24	0.44	3.83	0.43	c2s1	4.577
Orhaneli Ç.-Dağgüney	1992-2002	8.22	616.21	0.42	0.06	6.45	0.32	4.28	0.33	1.99	0.23	c2s1	0.214
Bakırçay-Eğrigöl	1997-1998	8.28	548.17	1.02	0.16	4.76	0.48	3.29	0.70	1.48	0.66	c2s1	0.391
Bakırçay-Kurfalı	1998-2002	8.40	688.31	1.55	0.25	5.74	0.42	3.84	0.96	2.33	0.90	c2s1	0.260
Karamenderes-Aslanköprü	1998-2002	8.29	494.08	1.23	0.10	3.93	0.28	2.95	1.23	0.80	0.87	c2s1	0.137
Gediz N.-Manisa Köpr.	1970-2001	8.22	697.22	2.26	0.17	5.01	0.47	3.69	1.14	2.12	1.40	c2s1	0.442
Gediz N.-Acısu	1970-2002	8.28	949.06	3.97	0.33	6.17	0.78	5.40	1.15	3.15	2.30	c3s1	0.822
Gördes Ç.-Darıbüğü	1995-2002	8.30	457.99	0.77	0.10	4.13	0.34	2.79	0.46	1.41	0.53	c2s1	0.111
K.Menderes N.-Selçuk	1997-2002	8.32	923.81	4.62	0.25	4.55	0.35	3.59	3.51	1.96	2.82	c3s1	0.282
Çine Ç.-Kayırlı	1983-2002	8.11	464.01	0.75	0.06	4.23	0.25	3.29	0.54	0.96	0.53	c2s1	0.120
B.Menderes-Aydın Köp.	1985-2002	8.29	1215.55	3.40	0.21	10.26	0.56	4.49	1.46	7.35	1.47	c3s1	0.500
Çine Ç.-Çakırbeyli Köp.	1999-2002	8.34	449.87	0.93	0.11	3.81	0.27	2.79	0.73	1.06	0.66	c2s1	0.114
Banaz Ç.-Dörtdeğirmenler	1989-1998	8.17	976.38	3.71	0.23	6.36	0.50	4.85	2.81	2.13	2.07	c3s1	0.242

Başgöz Ç.-Çatallar	1994-1998	8.12	271.06	0.12	0.02	2.84	0.25	2.37	0.26	0.09	0.10	c2s1	0.119
Eşen Ç.-Kavaklıdere	1999-2002	8.31	295.80	0.25	0.03	2.89	0.22	2.48	0.28	0.19	0.21	c2s1	0.106
Dalaman Ç.-Akköprü	1970-2002	8.21	467.88	0.19	0.02	4.90	0.35	3.35	0.43	0.98	0.12	c2s1	0.122
Eşen Ç.-Kınık	1995-2002	8.22	327.40	0.39	0.03	3.16	0.21	2.68	0.31	0.38	0.33	c2s1	0.103
Karaçay-Kayadibi	1998-1999	8.19	304.80	0.40	0.02	2.92	0.15	2.48	0.26	0.44	0.33	c2s1	0.149
Köprüçay-Beşkonak	1983-2002	8.14	310.74	0.23	0.04	3.13	0.23	2.70	0.24	0.22	0.18	c2s1	0.129
Eğridir G.-Eğridir	1996-1998	8.33	393.79	0.49	0.07	3.90	0.54	3.33	0.33	0.27	0.35	c2s1	0.215
Manavgat Ç.-Sinanhoca	1999-2002	8.30	231.23	0.14	0.01	2.34	0.16	1.97	0.22	0.14	0.13	c1s1	0.109
Alara Ç.-Alarahan	1995-2002	8.15	261.92	0.11	0.01	2.69	0.13	2.25	0.22	0.21	0.09	c2s1	0.126
Alara Ç.-Narağacı	1994-1995	8.06	232.67	0.08	0.02	2.37	0.19	1.95	0.21	0.12	0.07	c1s1	0.089
Akarçay-Balca	1994-2002	8.20	582.48	2.01	0.18	3.96	0.21	3.29	1.51	1.12	1.44	c2s1	0.282
Porsuk Ç.-Beşdeğirmen	1983-2002	8.01	694.19	0.91	0.13	6.58	0.39	4.34	0.61	2.29	0.50	c2s1	0.354
Sakarya N.-Yenice	1983-2002	8.15	880.33	2.89	0.16	6.51	0.38	3.57	1.49	4.12	1.59	c3s1	0.529
Aladağ Ç.Karaköy	1983-2002	8.12	392.65	0.97	0.09	3.16	0.24	2.50	0.30	1.19	0.74	c2s1	0.188
Sakarya N.-Kargı	1970-1999	8.14	1220.86	3.86	0.17	9.18	0.54	4.42	2.37	5.89	1.78	c3s1	0.671
Sakarya N.-Botbaşı	1983-2001	8.12	670.21	1.88	0.11	5.23	0.31	3.44	0.99	2.48	1.15	c2s1	0.371
Sohu D.-Fındıklı	1991-2002	8.24	373.26	0.42	0.10	3.48	0.36	2.40	0.25	1.00	0.30	c2s1	0.118
Sakarya N.-Adatepe	2001-2002	8.44	809.06	2.51	0.13	6.12	0.44	3.75	1.36	3.20	1.42	c3s1	0.336
Devrekani Ç.-Azdavay	1983-2002	8.14	331.66	0.31	0.05	3.22	0.27	2.75	0.26	0.31	0.24	c2s1	0.119
Soğanlı Ç.-Karabük	1983-2002	8.18	460.25	1.14	0.08	3.73	0.31	2.80	0.47	1.37	0.83	c2s1	0.242
Karasu-Hacılar Köprüsü	1988-2002	8.10	355.56	0.45	0.04	3.33	0.20	2.87	0.36	0.39	0.35	c2s1	0.101
Bolu Ç.-Beşdeğirmenler	1983-2002	8.25	506.50	0.75	0.09	4.75	0.49	3.83	0.47	0.79	0.48	c2s1	0.190
Filyos Ç.- Derecikviran	1970-2002	8.13	429.78	0.73	0.06	3.83	0.27	3.02	0.45	0.89	0.52	c2s1	0.202
Korubaşı D.-Arap	1991-2002	8.19	357.74	0.22	0.04	3.61	0.25	2.87	0.21	0.54	0.16	c2s1	0.088
Küre Ç.-Çaykırı	1999-2002	8.19	357.74	0.22	0.04	3.61	0.25	2.87	0.21	0.54	0.16	c2s1	0.088
Kelkit Ç.-Fatlı	1970-2002	8.11	447.23	1.08	0.04	3.68	0.27	2.99	0.48	1.07	0.88	c2s1	0.225

Yeşilirmak N.- Çarşamba	1970-2000	8.09	464.21	0.99	0.06	3.93	0.29	3.20	0.55	0.93	0.71	c2s1	0.200
Yeşilirmak N.- Durucasu	1970-2002	8.13	613.81	1.36	0.09	5.19	0.39	4.06	0.65	1.55	0.83	c2s1	0.203
Tersakan Ç.- Ahmetsaray	1999-2002	8.30	312.64	0.38	0.05	2.95	0.23	2.58	0.24	0.33	0.31	c2s1	0.088
Kızılırmak N.-Yamula	1970-2002	7.96	1670.87	7.78	0.07	9.33	0.12	2.33	6.84	7.90	3.52	c3s1	0.241
Kızılırmak N.-Yahşihan	1983-2002	8.05	1406.27	6.15	0.11	8.28	0.22	2.37	4.96	7.00	3.01	c3s1	0.368
Karanlık D.-Şefaati	1994-2002	8.21	1124.44	5.67	0.13	5.88	0.29	3.62	4.01	3.76	3.08	c3s1	0.288
Kızılırmak N.-Gülşehir K.	1997-1998	8.11	1815.81	8.49	0.14	10.07	0.26	3.09	8.16	7.18	3.68	c3s1	0.496
Kızılırmak N.- Söğütlühan	1994-2002	8.12	3419.51	19.77	0.09	16.96	0.23	2.46	18.13	16.00	6.27	c4s1	0.288
Kızılırmak N.-Tuzköy	1998-2002	8.31	1729.52	8.31	0.15	9.31	0.32	3.14	7.34	6.97	3.79	c3s1	0.486
Çarşamba S.-Bozkır	1995-2002	8.20	306.78	0.15	0.04	3.13	0.17	2.63	0.25	0.26	0.12	c2s1	0.125
Göksu N.-Karahacılı	1970-2002	8.10	332.53	0.38	0.03	3.12	0.20	2.46	0.39	0.49	0.29	c2s1	0.129
Ermemek Ç.-Kırkkavak	1993-2002	8.09	290.16	0.14	0.02	2.92	0.15	2.35	0.24	0.35	0.12	c2s1	0.105
Ermemek Ç.-Çavuşköy	1985-2002	8.08	274.32	0.11	0.02	2.77	0.17	2.28	0.22	0.23	0.09	c2s1	0.139
Seyhan N.-Üçtepe	1970-2002	8.10	382.97	0.63	0.03	3.36	0.20	2.50	0.64	0.68	0.49	c2s1	0.109
Zamanti N.-Ergenuşağı	1991-2002	8.14	375.76	0.62	0.04	3.30	0.21	2.67	0.65	0.42	0.48	c2s1	0.086
Asi N.-Demirköprü	1984-2002	8.15	880.03	2.09	0.11	7.24	0.30	3.47	1.96	3.71	1.10	c3s1	0.162
Asi N.-Antakya	1997-2002	8.35	978.36	2.34	0.09	8.30	0.46	4.37	2.16	3.73	1.13	c3s1	0.146
Ceyhan N. Misis	1984-2002	8.16	467.30	0.92	0.05	4.11	0.31	3.13	0.77	0.86	0.64	c2s1	0.135
Göksun S.-Karaahmet	1984-2002	8.13	301.15	0.10	0.03	3.10	0.21	2.51	0.20	0.31	0.08	c2s1	0.102
Savrun D.-Kadirli Köp.	1995-2002	8.10	334.28	0.34	0.03	3.19	0.16	2.64	0.45	0.32	0.27	c2s1	0.113
Hurman S.-Tanır	1995-1995	7.94	249.85	0.14	0.03	2.45	0.09	2.04	0.27	0.23	0.13	c1s1	0.019
Ceyhan N.-Aslantaş	1991-2002	8.14	338.43	0.28	0.03	3.33	0.21	2.70	0.28	0.44	0.22	c2s1	0.111
Hurman S.-Gözlerüstü	1995-2002	8.17	292.05	0.18	0.04	2.92	0.17	2.39	0.27	0.31	0.15	c2s1	0.105
Peynirderesi-Peynirdere	1998-2001	8.37	356.13	0.36	0.04	3.61	0.25	3.14	0.25	0.36	0.27	c2s1	0.105



Murat N.-Palu	1973-2002	8.11	455.66	1.62	0.09	3.02	0.27	2.72	1.30	0.43	1.30	c2s1	0.282
Fırat N.-Keban	1972-2002	7.99	395.61	0.89	0.05	3.22	0.21	2.44	0.76	0.76	0.71	c2s1	0.157
Göksu N.-Malpınar	1988-2002	8.11	276.80	0.18	0.03	2.70	0.17	2.25	0.22	0.26	0.16	c2s1	0.084
Fırat N.-Kemahboğazı	1970-2002	8.14	518.07	1.18	0.05	4.34	0.38	3.49	0.98	0.71	0.79	c2s1	0.262
Munzur S.-Melekbağçe	1974-2002	7.94	340.00	0.19	0.02	3.39	0.12	2.56	0.35	0.57	0.15	c2s1	0.239
Tohma S.-Hicarcık	1990-2002	8.15	454.14	1.05	0.04	3.66	0.21	2.48	0.98	1.09	0.78	c2s1	0.105
Karasu-Aşağıkağdarıç	1987-2002	8.26	454.98	1.59	0.14	3.17	0.46	3.05	0.88	0.49	1.24	c2s1	0.586
Fırat N.-Bağıstaş	1991-2002	8.23	472.55	1.08	0.04	3.95	0.29	2.83	0.83	1.13	0.78	c2s1	0.183
Göynük Ç.-Çayağzı	1986-2002	8.17	296.43	0.74	0.09	2.39	0.25	2.37	0.32	0.28	0.66	c2s1	0.212
Peri S.-Loğmar	1984-2002	8.12	347.18	0.58	0.05	3.13	0.23	2.63	0.34	0.56	0.46	c2s1	0.147
Dumlu S.-Yeşildere	1987-1997	7.87	120.10	0.18	0.05	1.05	0.08	0.95	0.16	0.09	0.23	c1s1	0.154
Fırat N.-Belkızköy	1984-1999	8.09	361.38	0.76	0.05	3.01	0.23	2.31	0.57	0.71	0.62	c2s1	0.168
Murat N.-Akkonak	1987-2002	8.23	541.75	2.27	0.11	3.25	0.37	2.87	1.89	0.50	1.72	c2s1	0.345
Tacik D.-Mutuboğazı	1983-2002	8.16	336.07	0.33	0.02	3.29	0.26	2.54	0.25	0.59	0.25	c2s1	0.141
Dumlu S.-Yeşildere	1997-2002	8.08	121.41	0.16	0.04	1.11	0.09	1.03	0.10	0.08	0.21	c1s1	0.125
İyidere-Şimşirli	1970-2002	7.84	116.95	0.14	0.02	1.04	0.05	0.90	0.16	0.09	0.20	c1s1	0.131
Fol Deresi-Bahadırlı	1988-2002	8.05	261.52	0.50	0.05	2.15	0.15	1.81	0.39	0.36	0.45	c2s1	0.396
Fırtına D.-Topluca	1970-2002	7.81	113.18	0.11	0.02	1.06	0.05	0.87	0.15	0.11	0.13	c1s1	0.248
Melet Ç.-Gocallı Köp.	1970-2002	8.02	237.93	0.31	0.04	2.15	0.15	1.84	0.22	0.29	0.29	c1s1	0.111
Değirmendere-Kanlıpelit	1992-1995	7.96	222.81	0.18	0.02	2.11	0.15	1.79	0.18	0.20	0.17	c1s1	0.131
Değirmendere-Esiroğlu	1995-2002	8.14	227.52	0.18	0.02	2.21	0.15	1.75	0.17	0.34	0.17	c1s1	0.098
Pazarsuyu D.-Emecan	1999-2002	8.04	159.30	0.14	0.02	1.48	0.07	1.06	0.14	0.38	0.17	c1s1	0.082
Keşap D.-Altınpınar	1999-2002	8.20	238.86	0.20	0.01	2.29	0.13	1.77	0.19	0.42	0.19	c1s1	0.108
Çoruh N.-Bayburt	1971-2002	8.07	324.86	0.41	0.04	3.05	0.19	2.72	0.28	0.31	0.34	c2s1	0.225
Çoruh N.-Karşıköy	1971-2002	7.91	293.74	0.50	0.03	2.53	0.10	1.92	0.36	0.68	0.44	c2s1	0.271
Barhal D.-Dutdere	1990-2002	7.97	167.99	0.16	0.02	1.53	0.06	1.18	0.15	0.32	0.17	c1s1	0.145

Çoruh N.-Altınsu	1984-2001	8.06	346.10	0.78	0.04	2.90	0.21	2.31	0.36	0.84	0.63	c2s1	0.219
Oltu S.-İşhan Köprüsü	1984-2002	8.16	548.39	1.95	0.06	3.83	0.29	2.94	0.84	1.77	1.38	c2s1	0.447
Oltu S.-Aşağıkumlu	1990-2002	8.27	918.32	4.30	0.08	5.63	0.42	4.20	2.03	3.37	2.52	c3s1	0.979
Berta S.-Çiftehanlar	1990-1998	8.03	237.68	0.45	0.03	2.04	0.17	1.91	0.20	0.24	0.44	c1s1	0.117
Oltu S.-Coşkunlar	1991-2002	8.30	766.67	3.32	0.08	4.93	0.45	3.82	1.60	2.46	2.07	c3s1	0.722
Deviskel D.-Gündoğdu	1988-2001	7.96	135.11	0.12	0.02	1.28	0.07	1.13	0.12	0.10	0.15	c1s1	0.118
Berta S.-Bağlık	1995-2002	8.14	215.71	0.38	0.02	1.90	0.15	1.70	0.19	0.27	0.38	c1s1	0.152
Çoruh N.-Çamlıkaya	1999-2002	8.31	279.78	0.36	0.04	2.64	0.19	2.30	0.17	0.37	0.31	c2s1	0.118
Murgul S.-Erenköy	1989-2001	7.46	382.31	0.13	0.05	3.70	0.00	1.02	0.17	2.69	0.10	c2s1	0.130
Kars Ç.-Şahnalar	1984-2002	8.11	309.81	0.80	0.09	2.46	0.29	2.32	0.42	0.32	0.71	c2s1	0.211
Bendimahi Ç.- Gönderme	1995-2002	8.39	616.01	3.13	0.28	3.59	0.60	5.53	0.41	0.46	2.35	c2s1	0.891
Güzelsu Ç.-Güzelsu	1988-2002	8.18	370.08	0.68	0.05	3.36	0.26	3.06	0.30	0.47	0.53	c2s1	0.153
Dicle N.-Diyarbakır	1972-2002	7.97	458.98	0.59	0.06	4.19	0.26	2.79	0.66	1.13	0.40	c2s1	0.127
Bitlis Ç.-Baykan	1987-2002	8.17	328.60	0.33	0.05	3.18	0.28	2.65	0.29	0.35	0.26	c2s1	0.208
Dicle N.-Çayönü	1972-1997	7.93	437.96	0.41	0.04	4.20	0.15	2.57	0.46	1.46	0.28	c2s1	0.133
Zap S.-Musahan	1972-2002	7.97	413.95	0.83	0.05	3.53	0.16	3.15	0.63	0.47	0.62	c2s1	1.308
Botan Ç.-Billoris	1983-1996	8.06	358.85	0.59	0.04	3.20	0.21	2.45	0.54	0.64	0.46	c2s1	0.161
Zap S.-Teknisyenler	1985-2002	8.17	348.81	0.56	0.06	3.21	0.28	2.91	0.31	0.32	0.44	c2s1	0.496
Botan Ç.-Billoris	1996-2002	8.23	373.32	0.62	0.04	3.31	0.21	2.45	0.58	0.72	0.47	c2s1	0.159
Garzan Ç.-Kozluk	2002-2002	8.15	366.33	0.37	0.03	3.47	0.07	2.77	0.39	0.64	0.28	c2s1	0.153

## Türkiye'nin Toprak Kaynakları

Devlet İstatistik Enstitüsü'nün 28 Mayıs-30 Eylül 2001 tarihleri arasında uyguladığı VII. Genel Tarım Sayımı sonuçlarına göre: Tüm köyler ve nüfusu 25000'den az olan il ve ilçe merkezlerinde tarımsal faaliyetle uğraşan 4 106 983 hane halkı ile 22 156 234,5 ha işlenen arazi belirlenmiştir. Değerlendirmeye alınan hane halkı sayısı 6 189 351; toplam arazi 66 878 178,2 ha'dır. Türkiye arazi varlığı, toplam 77 899 700 ha'dır. Arazi kullanım türlerine göre ülke arazi varlığının %36,0'sı işlenen tarım arazileri; %27,6'sı çayır- mera arazileri; %29,8'i orman ve fundalık arazileridir. Geriye kalan %6,6'lık bölümünde yerleşim yerleri, ürün elde edilmeyen araziler ve su yüzeyleri yer alır (DİE, 2005).

Toprak sınıflaması konusunda ilk olumlu çalışmalar 1951 yılında, Tarım Bakanlığının bünyesindeki "Toprak Muhafaza ve Zirai Sulama Teşkilatı" ile başlamıştır. Bakanlık 1951 ve 1952 yıllarında Amerika Birleşik Devletlerinden uzmanları topraklarımızın incelenmesi için davet etmiştir ve elde edilen sonuçlar 1/800000 ölçekli "Türkiye Umumi- Genelleştirilmiş- Toprak Haritası" ve Raporuyla birlikte, 1958 yılında yayımlanmıştır. Bu Etüd çalışması, 1938 Eski Amerikan Sınıflama Sistemine göre yapılmıştır. Raporda tarıma uygun olan arazinin alanı, yaklaşık  $16 \times 10^6$  ha ve bu alanında yaklaşık  $4 \times 10^6$  ha, sulu tarım arazisi olarak saptanmıştır. Ülkenin yaklaşık %80'inin fiziki olarak tarım yapmaya uygun değil bilgisi; şimdiki verilerimize de Mutlak tarım toprakları açısından kısmen yakındır. Daha sonra Toprak Etüd ve Haritalama çalışmaları yetkisi 28.2.1960 tarihinde yürürlüğe giren 7457 sayılı yasayla Toprak-Su Genel Müdürlüğüne verilmiştir. Toprak kaynaklarımıza ait veri tabanı oluşturmak ve tarımsal planlamalara hizmet götürebilmek için 1966 yılında, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardan da yararlanarak "İstikşafi- Yoklamalı/Gözlemlî" karakterli "Türkiye Geliştirilmiş Toprak haritaları" İl'ler bazında yapımına başlanmış ve 1971 yılında sonuçlandırılmıştır. 1981-1984 yılları arasında ise haritaların yenileme çalışmaları yapılmış ve il bazında 1/25000 ölçekli olarak toprak haritaları ve açıklayıcı raporları yayımlanmıştır (Cangır ve ark., 2005).

Ülkemizde arazi varlığı ile ilgili çalışmada I. sınıf araziler 5 086 087 ha ve II. sınıf araziler ise 6 772 873 ha büyüklüğündedir (*Çizelge 1.5*). Tarım arazilerinin tarım dışı bırakılmasıyla ilgili yasa yönetmeliğine göre tarım dışı amaçla kullanılmayan I. ve II. Sınıf araziler ülke topraklarının ancak %15.2 bölümünü içerirken, orman ve mer'a olarak kullanılanlar ise VI. ve VII. sınıf araziler olup bunlarda Türkiye arazi varlığının yarısından fazla bir bölümünü içermektedir (Altınbaş ve ark., 2004).

Çizelge 1.5 Türkiye arazi varlığının arazi kullanım yetenek sınıflarına göre dağılımı (Altınbaş ve ark., 2004).

Kullanım özellikleri	Arazi kullanım yetenek sınıfı	Alan , ha	Toplam alan, ha
Toprak işlemesine uygun araziler	I	5.086.087	26.566.768
	II	6.772.873	
	III	7.282.763	
	IV	7.425.045	
Toprak işlemesine uygun olmayan araziler	V	127.934	46.790.036
	VI	10.825.762	
	VII	35.836.340	
Tarıma uygun olmayan araziler (su yüzeyleri, yerleşim yerleri dahildir)	VIII	4.542.896	4.542.896
Genel toplam			77.899.700

### **Türkiye topraklarının tuzluluk sorunu**

Kurak ve yarı kurak bölgelerde yetersiz yağıştan dolayı çözünebilir tuzlar uzaklara taşınmamakta, özellikle sıcak ve yağışsız olan dönemlerde, tuzlu taban suları kılcal yükselme ile toprak yüzeyine kadar ulaşabilmektedir. Evaporasyonun yüksek oluşu nedeni ile sular, toprak yüzeyinden kaybolurken beraberinde taşıdıkları tuzları toprak yüzeyinde veya yüzeye yakın kısımlarda bırakmaktadır. Diğer bir deyişle, bu bölgelerdeki tuzlulaşmanın temel nedeni yağışların yetersiz, buna karşılık evaporasyonun yüksek olmasıdır (Richards, 1954).

Çizelge 1.6 KHGM tarafından yapılan toprak geliştirme çalışmaları, (KHGM, 2005)

Uygulama yılları	Tarla içi geliştirme hizmetleri	Drenaj ve Tuzluluk Islahı	TOPLULAŞTIRMA
	(Ha)	(Ha)	(Ha)
1965	104.181	49.524	456
1966	109.331	61.793	1.300
1967	115.572	72.404	3.258
1968	122.698	83.660	6.371
1969	132.024	94.403	11.755
1970	147.202	101.418	17.942
1971	169.202	105.519	23.124
1972	187.953	111.035	28.349
1973	211.378	118.823	31.527
1974	231.318	125.674	34.598
1975	255.685	132.778	36.000
1976	294.937	143.983	41.217
1977	334.224	161.688	43.406
1978	351.808	167.280	47.658
1979	367.648	174.992	52.149
1980	385.331	182.106	52.149
1981	408.876	194.373	56.459
1982	439.519	206.217	57.045
1983	469.787	222.027	62.485
1984	508.440	243.965	65.517
1985	548.553	259.527	67.982
1986	596.203	279.208	72.136
1987	634.217	286.912	79.475
1988	656.717	291.212	85.993
1989	669.828	297.329	88.748
1990	698.065	304.832	102.525
1991	723.345	308.466	107.024
1992	741.219	309.822	119.452
1993	775.888	316.300	148.800
1994	802.623	317.163	167.510
1995	823.355	318.756	174.345
1996	847.509	318.386	192.253
1997	892.598	322.114	255.840
1998	915.134	323.593	265.151
1999	944.089	324.348	276.997
2000	963.234	328.182	290.935
2001	977.687	329.277	304.566
2002	1.005.965	325.986	321.752
2003	1.029.466	327.638	332.668
2004	1.037.468	338.461	339.237

Suyun en fazla kullanıcısı olan tarım, kültür bitkilerinin üretimleriyle ilgili işlevleri kapsar. Türkiye’de, sosyal ve ekonomik yönüyle, halkın yaşamında önemli rol oynamaktadır. Tarım, toplam milli gelirin %19’unu, dışsattımın %9’unu oluşturur. Tarımsal işlevlerle toplumun yaklaşık %51’ine iş olanağı sağlanmaktadır (Kılınçer ve ark., 2002).

Ekonomik ve sosyal sorunların çözümü için toprak ve su kaynaklarının akılcı biçimde kullanımı zorunludur. Ancak, Türkiye’de toprak ve su kaynaklarının kullanımı ile ilgili çok sayıda sorun bulunmaktadır. Sulanabilir nitelikteki arazilerin ancak %17.57 kadarı sulanmakta; yüzey su kaynaklarının %66.85 ‘i, yeraltı suyu potansiyelinin ise %26.83 ‘ü henüz kullanılmamaktadır (Kanber ve ark. 2005).

Yarı kurak iklim koşullarında sulama yapılan alanlarda önemli bir sorun olan tuzluluğun potansiyel etkisi, sadece ürün verimi üzerine değil, aynı zamanda arazilerin tuzlulaşması, toprağın ve suyun bozulması ve yer altı sularına tuzun karışarak kalitelerinin bozulmasına neden olmaktadır (Feng ve ark., 2003). Aynı zamanda tuzluluğun neden olduğu arazi bozunması sonucu gıda üretimi olumsuz bir şekilde etkilenmektedir. Kurak ve yarı kurak alanlarda biriken tuzlu taban sularının uzaklaştırma şansı olmadığına ciddi bir problem oluşturmakta ve farklı kullanımlar için ihtiyaç duyulan kaliteli suya olan talebi artırmaktadır (Sharma ve ark., 1993 ve 1994).

Türkiye’de sulamaya uygun olan 12.5 milyon hektarlık arazinin, il toprak kaynakları envanterine göre, yaklaşık 1.5 milyon hektarında tuzluluk ve alkalilik, 2.8 milyon hektarında ise drenaj sorunu bulunmaktadır. (Güngör ve Erözel, 1994). *Çizelge 1.7*’de Türkiye’nin sorunlu alanların dağılımı *Çizelge 1.8*’de ise bu alanların iller bazında dağılımı sunulmuştur.

*Çizelge 1.7 Türkiye’deki sorunlu alanlar (Kanber ve ark., 2005)*

Sorunun Niteliği	Alan, ha	Sorunlu Alanlara Göre, %
Hafif tuzlu	614.617	41.0
Tuzlu	505.603	33.0
Alkali	8.641	0.5
Hafif tuzlu-alkali	125.863	8.0
Tuzlu-Alkali	264.958	17.5
Toplam	1.519.682	100.0

Bu tablo Türkiye’de sulamaya uygun arazilerin yaklaşık % 32.5’inde tuzluluk, alkalilik ve drenaj sorunu olduğunu göstermektedir. Toprakların tuzlulaşma ve alkalileşmesini sulama, drenaj, toprak özellikleri, fizyografya ve iklim gibi faktörler önemli ölçüde etkilemektedir. Bu faktörlerin uygun olduğu ve yoğun araştırmalar yapılan bazı ovalarımızdan olan Harran, Amik, Konya ve Aşağı Seyhan Ovalarının tuzlulukla ilgili bazı çalışma sonuçları aşağıda verilmiştir.

**Harran Ovası:** Drenaj sistemleri kurulmadan ve özellikle drenaj boşaltım sorunu çözümlenmeden aşırı miktarlarda yeraltı kuyu sularıyla yapılan sulamalar sonucu Harran Ovası’ndaki topraklarda tuzluluk önemli boyutlara ulaşmıştır. Alanda,

tuzluluk sorunlarının artmasındaki diğer bir etken ise sulama sularının yeterli olmadığı dönemlerde kalitesi oldukça düşük olan drenaj sularının sulama amacıyla kullanılmış olmasıdır (Ergezer ve Ağca, 1995). Harran Ovasında tuzluluğun yayılma olasılığının yürütülmesi amacı ile yapılan çalışmada, söz konusu serilerin kapladığı alanların önemli bir bölümünün tuzdan etkilendiği belirlenmiştir. Bu serilerden özellikle Akçakale, Ekinyazı ve Gürgelen serilerinin en çok etkilenen seriler olduğu gözlenmiştir. Bu serilerde topoğrafik yapı ve taban suyu seviyesine göre kısmen alkalileşmenin başladığı saptanmıştır. Çalışmada, 1995 yılında yapılan sulamanın tuzlu taban sularını yüze daha fazla yaklaştırmasından dolayı tuzlulukta artışların meydana geldiği ifade edilmiştir. Söz konusu alanda yapılan analizler sonucunda toprakların kireç içerikleri % 13.39-48.97, KDK 17.65-46.39 me /100 g, pH 7.67-8.40, EC 0.316-19.15 dS/m, % çözünebilir tuz 0.01-1.14 ve ESP'leri ise 0.05-39.12 değerleri arasında olukları ölçülmüştür (Çullu ve ark., 2000a). Harran Ovası Topraklarında sulamanın başlamasından sonra tuzdan etkilenen topraklardan alınan örneklerde hidrolik iletkenlik, strüktürel özellikler, kil minerallerindeki değişim ve tuz içerikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, sulama sonrasında strüktür stabilitesinde ve agregasyonda hafif bir bozulma belirlenirken, hidrolik iletkenlikte önemli bir azalma olduğu belirlenmiştir. Aynı alanın kil minerallerinde belirgin bir değişim gözlenmezken, tuz içeriğinde önemli artışlar saptanmıştır (Çullu ve ark., 2000b). 1987 yılında hazırlanan toprak haritası (Dinç ve ark., 1988) ve 1997 ve 2000 yıllarında yapılan tuzluluk haritasının GIS ortamında entegre edilmesi sonucunda tuzluluktaki değişim izlenmiş ve 2000 yılında Harran Ovası'nda toplam olarak 11403 ha tuzlu alan olduğu belirlenmiştir (Çullu ve ark., 2002).

**Amik Ovası:** Ova topraklarının tamamı hafif bazik reaksiyonlu olup, herhangi bir alkalilik sorunu bulunmamaktadır. Toprakların yaklaşık 2/3'ünün tuzsuz olduğu, tuzluluk sorunu olan toprakların tümü, hafif tuzlu topraklar sınıfına girdiği görülmektedir.

**Konya Ovası:** Konya kapalı havzasının toplam yüzölçümü 4.329.969 hektardır. Havza topraklarının 509.382 hektarında tuzluluk ve sodyumluluk, 623.446 hektarında ise drenaj problemi mevcuttur. Konya TİGEM arazilerinde yapılan bir çalışmada, toprakların tuzlulaşmasına ve yer yer sodyumlaşmasına yüksek taban suyu ve taban suyu tuz konsantrasyonunun etkili olduğu tespit edilmiştir.

**Aşağı Seyhan Ovası:** Aşağı Seyhan Ovası (ASO) kuzeyde 61 m kota sahip, batıda Berdan Nehri, güneyde Akdeniz ve doğuda ise Ceyhan Nehirleri ile çevrelenmekte ve 210.000 ha genişliğe sahiptir. Ovada yapılan taban suyu izleme 1.010.051 hektar alan üzerinde yapılmaktadır. Sulamanın en yoğun olduğu aylarda taban suyu 0-1 m arasında yer almaktadır. Drenajı bozuk olan bu alanlarda 36.434 hektarda tuzluluk sorunu bulunmaktadır (Demir ve Antepi, 2004).

## **Kaynaklar**

- Altınbaş, Ü., Çengel, M., Uysal, H., Okur, B., Okur, N., Kurucu, Y., Delibacak, S., 2004. toprak bilimi. Ege üniversitesi, Toprak bölümü. İzmir.
- Anonymous, 2003. Ulusal Nüfus Projeksiyonları. DİE Yayınları. (Basımda) Ankara.
- Cangir, C., Poyraz, D., ve Haktanır K., 2005. Toprak kaynakları ve kullanımı. Ziraat Mühendisleri Odası 6. Teknik Kongresi 3-7 Ocak 2005.
- Çakmak, B., Aküzüm, T., Çiftçi, N., Zaimoğlu, Z., Acar, B., Şahin, M., Gökalp, Z., 2005. Su kaynaklarının geliştirme ve kullanımı. Ziraat Mühendisleri Odası 6. Teknik Kongresi 3-7 Ocak 2005.
- Çullu, M. A., Almaca, A., Öztürkmen, A. R., Ağca, N., İnce, F., Derici, M. R., 2000a. Harran Ovası Topraklarında Tuzluluğun Yayılma Olasılığının Belirlenmesi. T. C. Başbakanlık GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı.
- Çullu, M. Almaca, A., Çelik, İ., 2000b. Degradation of The Harran Plain Soils Due To Irrigation. Proceedings of International Symposium on Desertification. Konya, s. 193-197.
- Çullu, M. Almaca, A., Çelik, İ., 2002. Degradation of The Harran Plain Soils Due To Irrigation. Proceedings of International Symposium on Desertification. Konya- Turkey. 193-197.
- Demir, N., Antepli, S., 2004. Aşağı Seyhan Ovası Sulaması Taban Suyu ve Tuzluluk Problemleri Değerlendirme Çalışması.. Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu. 20-21 Mayıs Ankara.
- DİE, 2005. [www.die.gov.tr](http://www.die.gov.tr). Devlet İstatistik Enstitüsü
- Dinç, U., S. Şenol, M. Sayın, S. Kapur, N. Güzel, R. Derici, M. Ş. Yeşilsoy, İ. Yeğingil, M. Sarı, Z. Kaya, M. Aydın, F. Kettaş, A. Berkman, A. K. Çolak, K. Yılmaz, B. Tunçgöğüs, V. Çavuşgil, H. Özbek, K. Y. Gülüt, C. Karaman, O. Dinç, N. Öztürk, E. E. Kara., 1988. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAT) 1. Harran Ovası. TÜBİTAK Tarım ve Ormancılık Grubu GÜDÜMLÜ Araştırma Projesi Kesin Sonuç Raporu. Proje No:TOAG-534, Adana
- DPT, 2001. Su Havzaları ve Yönetimi Özel komisyon Raporu. DPT Sekizinci Bes Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005) Ankara.
- DSİ, 2005. [www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr). Devlet Sulama İşleri Genel Müdürlüğü.
- EİE, 2003. Türkiye akarsularında su kalitesi gözlemleri. Elektrik işleri etüt idaresi.
- Ergezer, Ş., Ağca, N. 1995. Harran Ovasının Sulanan Alanlarında Toprak, Sulama Suyu ve Taban Sularının Tuzlulukla İlgili Özellikleri ve Bunlar Arasındaki İlişkiler. Harran Ün. Zir. Fak. Der. 1(3), s. 91-108.
- Feng, G. L. A., Meiri, J. L., 2003. Evaluation A Model For Irrigation Management Under Saline Conditions: II. Salt Distribution And Rooting Pattern Effects. Soil Science Soc. Am. Jour. Vol: 67, s. 77-80
- Fischer, G., G.K., Heilig. 1997. "Population Momentum and The Demand On Land And Water Resources" Phil. Trans. R. Soc. London, 352:869-889.
- Hoffman, G.J. Water Quality Criteria for Irrigation. EC97-782, 2005.
- Kanber, R., Çullu, M.A., Kendirli, B., Antepli, S., Yılmaz, N., 2005. Sulama, drenaj ve tuzluluk. Ziraat Mühendisleri Odası 6. Teknik Kongresi 3-7 Ocak 2005.
- Kılınçer, N., Çakmak, İ., Eriş, A., Kanber, R., Kınacı, E., Yurdakul, O., 2002. TÜBİTAK'ın Tarım Sektörüne Yönelik Yaklaşım Ve Politikalarını Belirlemesine İlişkin Yapılan Değerlendirme Çalışması. TÜBİTAK-TOGTAG, Çittage Raporu. Basılmamış. Ankara, 146
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils . U.S. Dept. Agr. Handbook. 60 s.
- Sharma, D.P., Rao, K.V.G.K., Singh, K.N., Kumbhare, P.S., 1993. Management of subsurface saline drainage water. Indian Farming 43 15±19.
- Sharma, D.P., Rao, K.V.G.K., Singh, K.N., Kumbhare, P.S., 1994. Conjunctive use of saline and non-saline irrigation waters in semi-arid regions. Irrig. Sci. 15 25±33.
- Tanji, K.K. Agricultural Salinity Assessment and Management. ASCE manuals and Reports on Eng. Practice No.71, ASCE, N.Y. 1996.
- Yurtseven, E. Ülkemiz nehir su kaynaklarının kalite değerlendirmesi. VI.Ulusal Kültürteknik Kongresi 5-8 Haziran 1997, Kirazlıyayla-Bursa, VI.Kültürteknik Kongresi Bildirileri, s.453-459, Kültürteknik Derneği, A.Ü. Basımevi, Ankara, 1997.



## **BÖLÜM II: TUZLULUĞA NEDEN OLAN FAKTÖRLER VE TUZLULUK ETMENLERİ**

### **GİRİŞ**

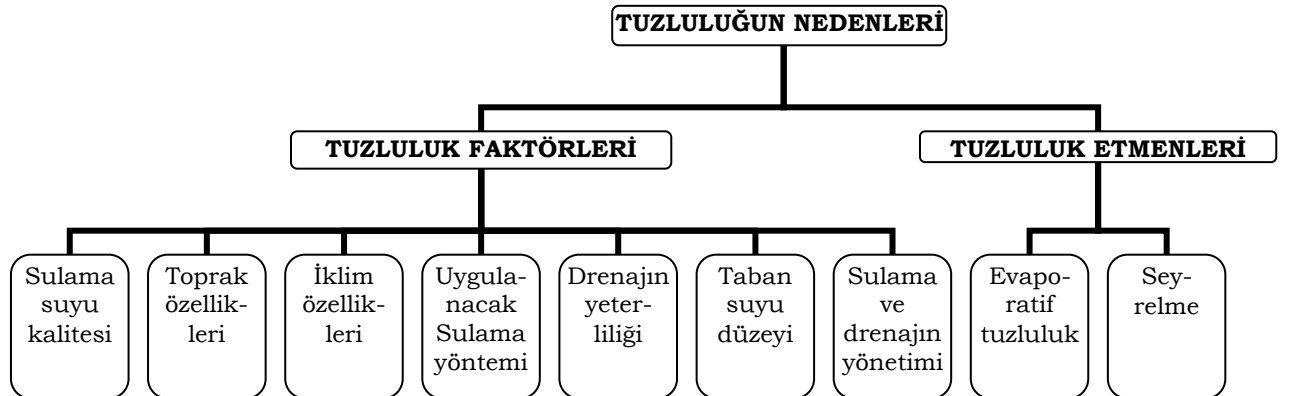
Tuzlar değişik şekillerde toprağa etki ederler. Su ile getirilip toprak içerisinde biriktirilen tuzlar, çözelti konsantrasyonuna, bunun yanında da toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerine etki ederler, sonucunda problemlili toprakları yani tuzlu, sodyumlu, borlu toprakları oluştururlar. Özellikle bir alanın sulamaya açılması ile tuzlulaştırma sürecinin de başlatılmış olması, hiçbir zaman göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle bir tarlanın tuzluluğunun sürekli olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi, başarılı ve sürdürülebilir bir sulu tarım için çok önemlidir. Tuzlulaştırma süreci bir şekilde başlasa dahi, tuzluluğun önlenmesi yöntemleri ve uygulamaları ile bu konu kontrol altında tutulmalıdır.

Sulanan alanlarda tuzluluğun birincil kaynağı sulama suyunun kendisi olduğundan, sulama suyunun tuzluluğunun artması ile profilde biriken tuzların düzeyi artmakta ve sonuçta bu tuzların yıkanarak buradan uzaklaştırılması daha zor hale gelmektedir.

Bu bölümde toprak tuzluluğunun nedenleri anlatılmaktadır.

### **TOPRAK TUZLULUĞUNUN NEDENLERİ**

Toprak tuzluluğunun oluşmasında etkili olan faktörler ve bu faktörlerin etkilerini belirleyen ve düzenleyen etmenler söz konusudur. Tuzluluk faktörleri, toprak tuzluluğunun düzeyini belirleyen ana etkileri tanımlar ve bunlar sulama suyunun kalitesi, toprak özellikleri, iklim özellikleri, sulama yöntemi, drenajın yeterliliği, taban suyu düzeyi, sulama ve drenajın yönetimi gibi faktörlerdir. Tuzluluk etmenleri ise tuzluluğu oluşturan faktörlerin etki derecesini düzenler ve bunlar da evaporatif tuzlulaştırma (evapokonsantrasyon) ve seyrelme başlıkları altında incelenirler (Şekil 2.1).



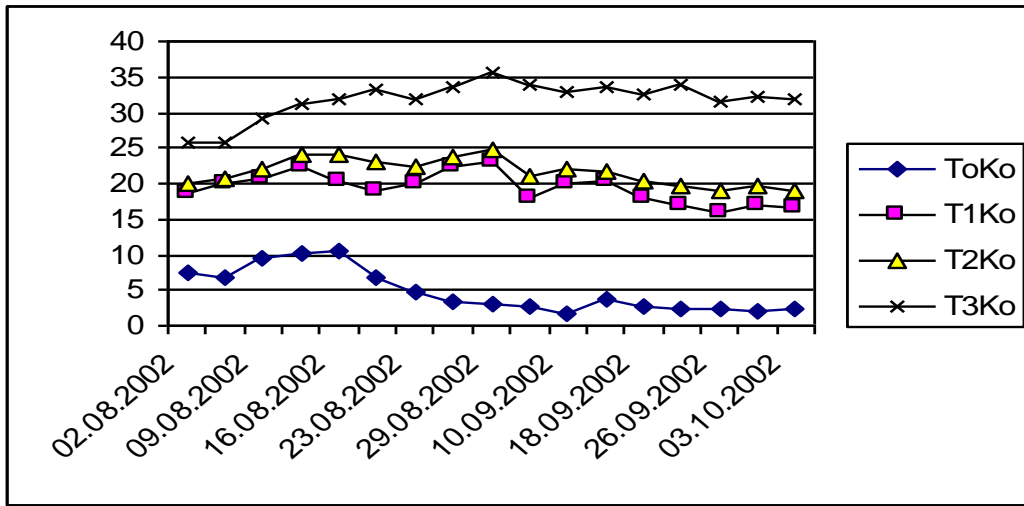
Şekil 2.1 Toprak tuzluluğunu oluşturan faktörler ve tuzluluk etmenleri

## Tuzluluk Faktörleri

Toprak tuzluluğunun oluşmasında esas olan faktörlerdir. Aşağıda açıklanan faktörlerin etkisi altında toprak tuzluluğu oluşmaktadır. Bunlarında en başında sulama suyunun kendisi gelmektedir. Daha sonra ele alınması gereken faktörler ise toprak ve iklim özellikleri ile taban suyu durumu, drenajın yeterliliği, sulama yöntemi ile sulama ve drenajın yönetimidir.

## Sulama Suyu Kalitesi

Sulama suyunun kendisi bir sulanan tarım alanında, tuzluluğun birincil nedeni niteliğindedir. Kök bölgesindeki nem açığını kapatmak amacıyla yaptığımız sulama uygulamaları sonucunda su ile birlikte, içerdiği tuzları da toprağa iletmekteyiz. Suyun tüketilmesi aşamasında gerek buharlaşma gerek bitki alımı ile tüketilen su saf yada safa yakın olduğundan, iletilen tuzların büyük çoğunluğu kök bölgesinde birikmektedir. Sulama suyun içerdiği tuz miktarı ne kadar fazla olursa, kök bölgesinde biriken tuzların toplamı da fazla olacaktır. Bu şekilde daha tuzlu bir sulama suyu kullanıldığında tuzlulaşma daha hızlı cereyan etmektedir (Şekil 2.2).

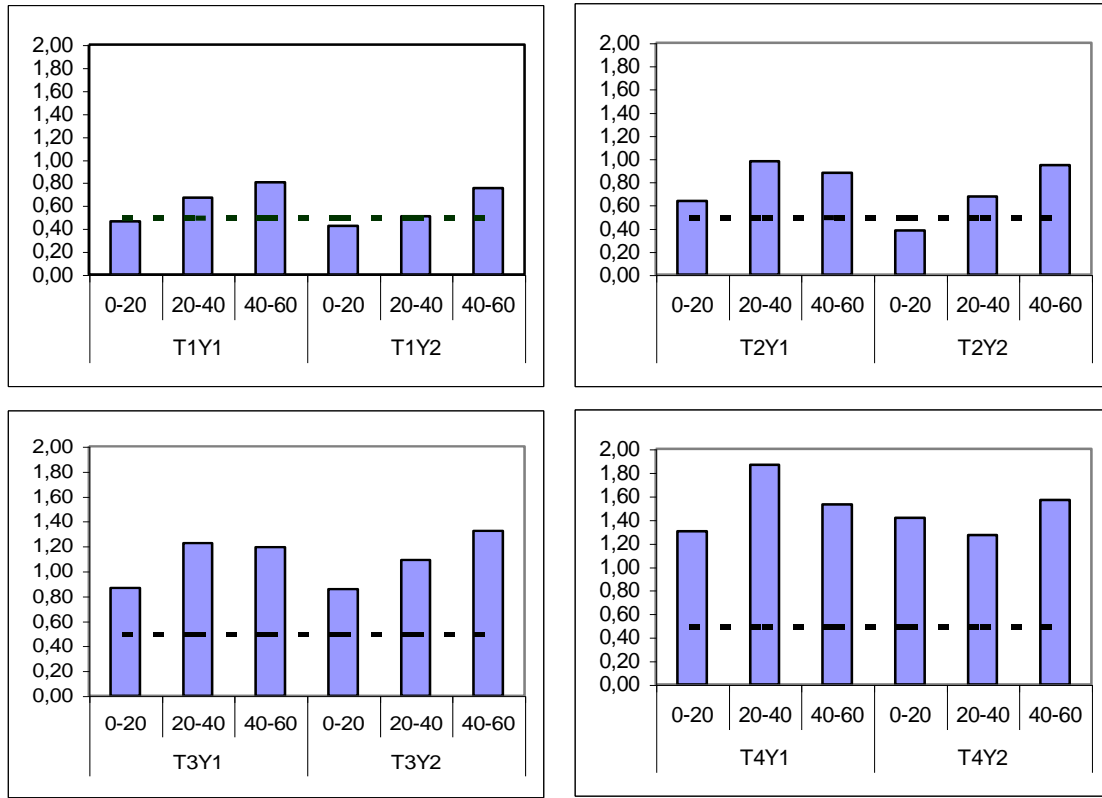


Şekil 2.2 Lizimetrede farklı sulama suyu tuzluluğu altında toprağın tuz içeriğindeki değişimin drenaj suyu tuzluluğunun ölçümü yardımıyla incelenmesi (Yurtseven ve ark. 2003)

Burada tuzlulukları 0.25 ile 10 dS/m arasında değişen sulama sularının uygulandığı domates tarımı yapılan lizimetlerdeki tuzluluğun değişimi, drenaj suyu tuzluluk değerlerinin ölçümü şeklinde gösterilmektedir. Sulama suyu belli yıkama gereksinimlerini içerecek şekilde uygulanması nedeniyle sulama periyodu içerisinde tuzluluk artışı olmamasına karşın, sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak profil tuzlulukları farklılık göstermiş, daha tuzlu sulama suyu altında profil tuzluluğu değerleri (drenaj suyu) de daha yüksek olmuştur.

Tuzlulukları 0.25, 1.5, 3 ve 6 dS/m olan sulama sularının kullanıldığı lizimetlerde yürütülen bir başka çalışmada elde edilen toprak tuzluluk değerleri Şekil 2.3 de gösterilmiştir. Farklı derinliklerde ölçülen toprak tuzlulukları bu çalışmada da sulama suyu tuzluluk değerlerine bağlı olarak farklılık göstermiş ve daha yüksek sulama suyu tuzluluk değerleri altında toprak tuzlulukları da daha

yüksek olarak ölçülmüştür.

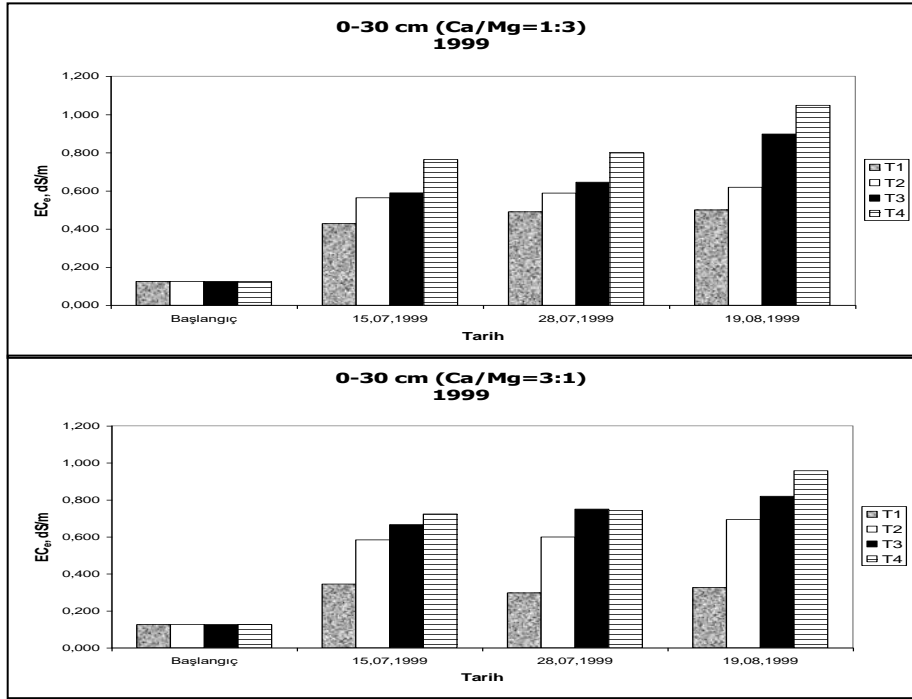


Şekil 2.3 Farklı sulama suyu tuzluluklarının etkisinde Macar fiği ekili lizimetrelerde ölçülen toprak tuzluluk değerlerinin değişimi (Y<sub>1</sub> ve Y<sub>2</sub> değerleri, %70 ve %100 düzeyinde uygulanan su miktarlarını belirtmektedir) (Kesikli olarak gösterilen çizgi başlangıç toprak tuzluluk düzeyini ifade etmektedir). (Yurtseven ve ark. 2002).

Benzer bir çalışma tınlı toprakta yapılmış ve 1.3, 3, 4.5 ve 6 dS/m tuzluluğa ve 1:3 ile 3:1 Ca/Mg oranlarına haiz sulama suları ile yapılan tarla denemelerinin sonuçları Şekil 2.4 de gösterilmiştir. Ca/Mg oranından ilişkisiz olarak toprak tuzluluk değerleri; hem sulama sezonu içerisinde artma göstermiş, hem de sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Tınlı toprak koşulunda da toprak tuzlulukları 0-30 cm profilde, sulama suyu tuzluğunun artışına bağlı olarak yükselme göstermektedir.

### Toprak Özellikleri

Toprak özellikleri tuzlulaşma düzeyi üzerine ekilidir. Toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri bu etkiyi oluşturmaktadır. Kimyasal yapı olarak tuzlulaşmaya uygun olan topraklar ile fiziksel yapıları olumsuz olduğundan daha çabuk tuzlulaşma süreci yaşayan topraklar söz konusudur. Tuzluluk kaynaklarının en başında kayaların mineral ayrışma olgusu yer almaktadır. Tuzlulaşma sürecine yardımcı nitelikteki mineral yapıya sahip topraklar daha kısa sürede tuzlu ve/veya sodyumlu topraklar haline geleceklerdir.



Şekil 2.4 Farklı sulama suyu tuzluluğu ve Ca/Mg oranlarının tınlı toprakta tuzluluğa etkisi (Yurtseven ve Öztürk, 2001)

Fiziksel özellik olarak katyon değişim kapasitesi yüksek olan ince bünyeli topraklar, diğer şartlar aynı kalması koşulu ile kaba bünyeli topraklara göre daha çabuk tuzlulaşma sürecine sahip olmaktadır.

### İklim Özellikleri

İklim özelliklerinden özellikle sıcaklık ve yağış toprak tuzluluğunu etkilemektedir. Sıcaklık doğrudan toprak yüzeyinden buharlaşma ve yapraklardan terleme ile su kaybını etkilemektedir ve bu olaylar sonuçta evaporatif tuzluluğa neden olmaktadır. Yağış ise tersine olarak çözeltinin seyrelmesine ve tuzluluk düzeyinin azalmasına neden olmaktadır.

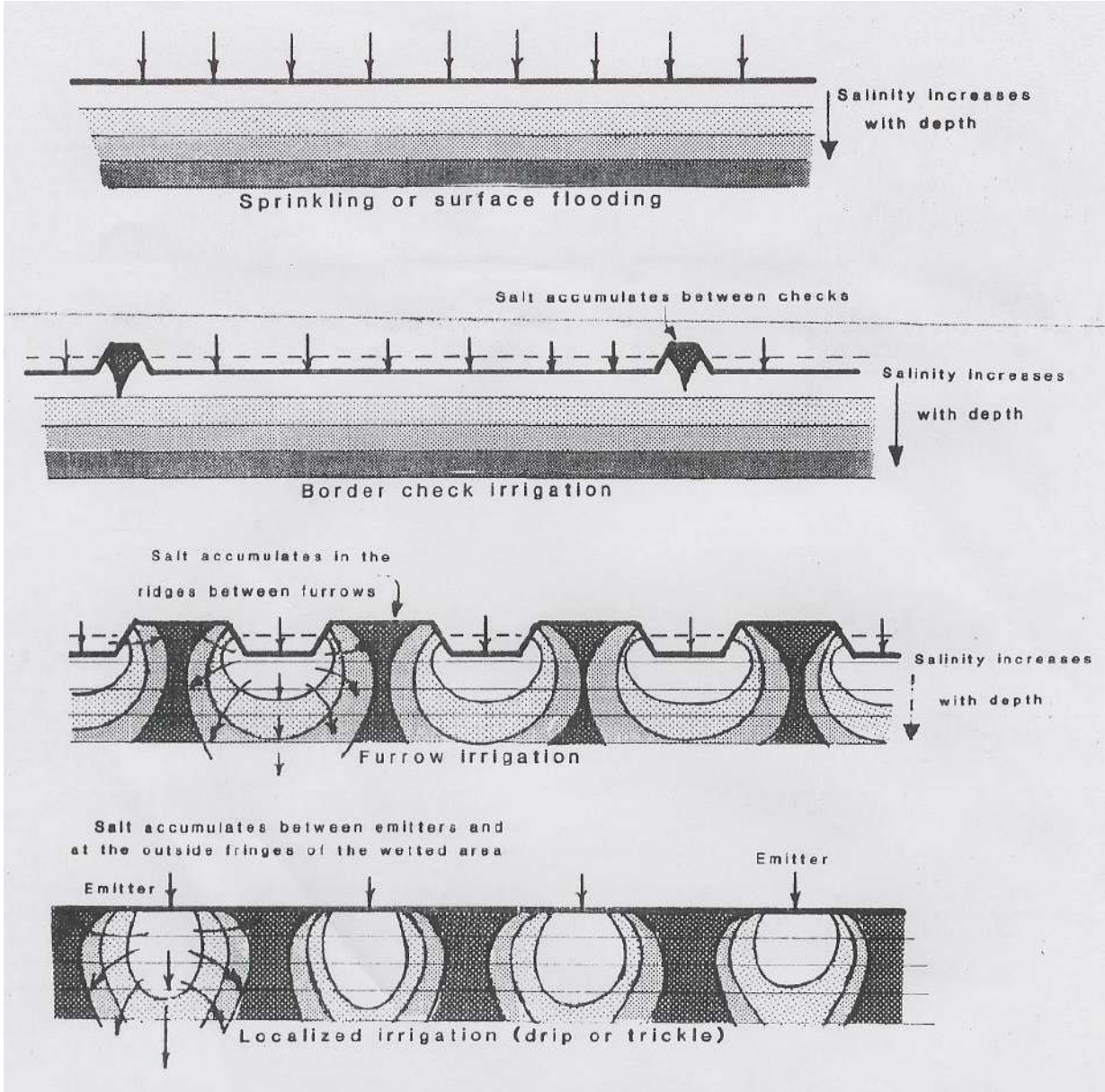
### Uygulanacak Sulama Yöntemi

Suyun kök bölgesine verilmiş biçimini tanımlayan sulama yöntemi, topraktaki tuzlulaşma profilini etkileyecektir. Sulama suyu olarak tuzluluğu ve/veya sodyumluluğu yüksek olan suların kullanıldığı koşullarda amaç, bitki veriminde oluşacak azalmaların önlenmesi olduğundan, uygulanacak sulama metodu açısından dikkatli davranmak gerekir.

Kalitesi düşük sularla yapılacak sulamalarda, normal koşullardan daha farklı uygulamalara gereksinim duyulur. Bunun nedeni kullanılacak suyun içerdiği tuz miktarı ve varsa bazı toksik maddelerdir. Sulama suyunun içerdiği tuzlar, seçilecek sulama yöntemine bağlı olarak bitki üzerine etki eder. Bu açıdan uygulanacak sulama yöntemi doğrudan bitki verimini ve zaman boyutunda da toprak

verimliliğini sınırlayan bir etmen niteliğindedir.

Sulama yöntemi hem toprak özellikleri ve hem de yöntemin özellikleri göz önüne alınarak seçilmelidir. Örneğin toprak bünyesinin hafif (kaba) olması koşulunda sulama aralığı kısılacığından tuzluluğu yüksek olan sular daha güvenilir olarak kullanılabilir. Ağır bünyeli topraklarda ise, geçirgenlik düşük olacağından sulama aralığı artacak ve sulama yönteminin seçiminde bazı kısıtlarla karşılaşabiliriz. Sulama yöntemlerine göre tuzluluk profil desenleri Şekil 2.5 de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Sulama yöntemleri ile ilişkili olarak toprakta oluşacak tuzlulaşma profilleri (Ayers and Westcot, 1989).

Şekilde, yalnızca tarla yüzeyinin bir kısmına su uygulayan lokalize sulama (drip-damla) veya karık sulamadan kaynaklanan tuz birikim desenlerine karşın tüm tarla boyunca üniform derinlikte su uygulayan yüzey sulama veya yağmurlama sulama için tuz birikim desenleri görülmektedir. Karık sulamasında, tuzlar salma

sulamaya benzer şekilde toprak derinliğiyle birlikte oluşmakta fakat su tarafından kaplanmayan alanlarda da birikmektedir. Tuzlar suyla birlikte suyun hızla buharlaştığı en yüksek noktaya kadar taşınır ve yerçekimiyle sular drene olurken daha derinlere yikanırlar. Lokalize sulama için tuzlar damlatıcıdan ıslanmış toprak ıslak alanı kenarlarında birikirler. Bu, kürenin en dış kenarında tuzluluğun en yüksek olduğu bir ıslak küresel şekil sonucunu vermektedir.

Yıkama oluşturmeyen, uygulanırken suyun yeterince şekilde infiltre olmadığı yöntemlerde, isole şeklinde tuz birikim alanları sıkça meydana gelmektedir. Bunlar yüksek alanlar, daha yoğun toprağa sahip alanlar ve 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 en düzgün (homojen) uygulamayı genelde sağlamaktadır ancak bu durum hangi sulama yöntemi uygulanırsa uygulansın genelde bir problem oluşturmaktadır.

Her sulama yöntemi belirli avantajlara ve dezavantajlara sahiptir ve bilinen tüm faktörler sistemi değiştirmek vasıtasıyla tuzluluk kontrolünü iyileştirmeye teşebbüs etmeden önce dikkate alınmalıdır.

Yüzey sulama yöntemleriyle (salma, tava ve karık), toprağa giren (infiltre olan) su derinliği tarlada yerden yere değişir. İnfiltrasyon hızındaki farklılıklar, arazi eğimi, sıkışma derecesi, tekstürel değişiklikler ve toprak kimyası tarafından etkilenmektedir. İnfiltrasyon esnasında, mekan boyutunda infiltrasyon süreleri de farklılık göstermektedir. Örneğin su kaynağına yakın tarla bölümleri daha fazla suyun infiltrasyonu için süreye sahiptir. Tarladaki yüksek noktalar da daha az su almaktadırlar çünkü yüksekte olma daha az suyla ve daha kısa süre suyla kaplanmak demektir.

Yüzey sulama yöntemleri, her sulamada 80-100 mm'den daha az suyu uygulayabilmek için genellikle tatmin edici şekilde esnek değildirler. Su stresini azaltmak amacıyla daha sık sulama yapılması sonuçta, toprağın daha fazla su baskını altında kalmasına ve drenaj sorunlarına neden olacaktır. Bunu önlemek amacıyla yağmurlama yada damla sulama yöntemlerine geçiş yapılabilir. Ancak, bu yöntemlerin de kendine özel sorunları vardır.

İyi planlanmış bir yağmurlama sistemiyle sulama suyu uniform olarak ve yüzey akışa neden olmayacak oranda düşük bir uygulama hızıyla uygulanabilir. Eğer iyi idare edilirse (well-managed), çok iyi bir homojen sulamaya ve yeterli ve uniform bir yıkamaya neden olur. Uygulanan sulama derinliği, başlıkların aralıklarının ve meme çaplarının ayarlanması ile kontrol edilir. Rüzgar yağmurlama sulamada dağıtım uniformitesi üzerine çok etkili olduğundan mutlaka göz önüne alınmalıdır. Bitki tuzluluğa, yüksek sıcaklığa ve toprak kaymak tabakası oluşturmaya duyarlı olduğu zamanlarda yağmurlama sulama sıcaklık kontrolü, çimlenme ve erken fide dikimi gibi durumlarda yardımcı olabilmektedir. Bununla beraber hassas bitkilerde yağmurlama başlıklarının turları arasındaki zamanda yüksek sodyum yada klor etkisiyle, suyun buharlaşması ve konsantre iyonların yapraklara zarar vermesi durumu meydana gelebilir. Bu tuzlar absorbe edilebilir ve zararlı (toksik) etki yapabilir.

Sıcak kurak alanlarda yağmurlayıcı kullanımı hakkında ifade edilen endişelerden birisi yağmurlama esnasında oluşan buharlaşma kaybı ve toprağa infiltre olan suyun tuzluluğundaki muhtemel artış olmakta ise de bu endişeyi doğrulayabilecek kadar önemli derecede buharlaşma olduğuna açık delil bulunmamaktadır. Yapılana bazı çalışmalarda çok sıcak koşullarda buharlaşma kayıplarının % 5 ila 20 arasında olabildiğini göstermiştir. Buharlaşma kayıpları tarla kenarlarında daha fazla, tarla ortalarında ise daha düşük oluşabilmektedir. Genelde %5 düzeyindeki bir buharlaşma çok etkili olmasa da hassas bitkilerde % 20 ye yaklaşan buharlaşma kayıpları sonucu suyun konsantrasyonunun artması olumsuz etkilere neden olabilecektir.

Lokalize sulama sistemleri (damla) ile günlük yada bu derecede kısa zaman aralıklarıyla ve çok düşük sulama hızlarıyla (2-8 l/h/damlatıcı) su uygulamaktadır. Neredeyse günlük olarak uygulanan su ile toprağı tarla kapasitesi veya biraz üstünde nemli tutmak mümkün olabilmektedir. Sulamalar hafif tutulmalı fakat iyi bir kısa dönem tuzluluk kontrolü için, aşağı doğru su ve tuz hareketinin sürekliliğı sağlanmalıdır. Bitki yetiştirme döneminde sulama etkinliğı %100'e yakın olabilmektedir ki bu yüzey akış ve derine sızmalar nedeniyle kayıplar oluşmaksızın bitki evapotranspirasyon ihtiyacının temel olarak karşılanabildiğı anlamına gelmektedir. Lokalize sulamayla tuzlar da birikmektedir.

Bununla birlikte tuzlar, damlatıcılar arasındaki toprak yüzeyinde ve damlatıcılar tarafından ıslatılan alanının dış kenarlarında birikmektedir. Zamanla damlatıcılar arasındaki ıslak kenarlardaki ve toprak yüzeyindeki bu tuz birikimi görülür hale gelmektedir ve söz konusu tuzlar yağmurla bitki kök bölgesine taşınırsa, yıllık bitkilerde ise ön yıkama yapılmaksızın bu tuzlu alanlara yeni dikimler yapılırsa bir tehlike oluşturmaktadırlar. Diğer taraftan, birikmiş tuzları yıkayabilmek için her dönemde yağış yeterli ise hiçbir problem beklenmeyecektir. En tehlikeli dönem, yüzey tuzlarının aşağı doğru hareket etmeye başladığı fakat kök bölgesinin altına tuzları taşımak için henüz yeterli yağış düşmediğı ilk yağıştan hemen sonrası olarak düşünülebilir. Yağış esnasında düzenli sulamalara devam edilmesi veya 50-100 mm yağış düşene kadar sulamalara devam edilmesi tavsiye edilmektedir. Şayet yağış yetersizse, lokalize sistemle birlikte destekleyici yıkamaya ihtiyaç duyulabilir.

Damla sulama mevsiminden sonra ve yeniden ekimden önce yağmurlayıcılarla veya yüzey sulamayla yıkama, birikmiş tuzların yıkanmasında etkili olmaktadır. Bununla birlikte bu durum, ikinci bir sulama sistemine gerek duyabilir ve fazla miktarlarda ek suya ihtiyaç olacaktır. Fakat nispeten tuzlu su ve damla sulama sistemi kullanıldığında, iyi üretimi sürdürmek için gerekli olabilir.

İyi kaliteli sular söz konusu olduğunda, karşılaştırılabilir koşullar altında, damla sulamada verimlilik düzeyi diğer yöntemlerle aynı yada hafif olarak daha yüksek olabilir. Ancak, yüksek tuzluluk koşullarında ( $EC_e > 1.0$  dS/m), kök bölgesinin sürekli nemli olarak tutulması nedeniyle, verimlilik daha yüksek olacaktır. Yağmurlama sulama her ne kadar benzer özellikte olması beklense de, özellikle yüksek sodyum yada klor nedeniyle yaprak absorpsiyonu ve zararlanmalarının fazla olması sonucunda verim kaybı yaratacağı için olumsuz olabilmektedir. Geleneksel sulama altında tuzluluk düzeyi bitki için zararlı değerlere ulaşabiliyorsa, damla sulama bu koşullarda daha uygun olabilecektir.

### **Drenajın Yeterliliği**

Sulama suyu, içerisinde sızma kayıplarını yani kök bölgesinden drene edilerek yeraltı suyuna ulaştırılması gereken hacmi de içerdiğinden, hiç bir sulama projesi, drenaja gereken önem verilmeden başarıya ulaşamayacaktır.

Drenaj topografyanın izin verdiği ölçüde, örneğin nehir yataklarının yüksek kıyılarında ve alüvyal alanların üst kısımlarında yer alan topraklarda yada taban suyu seviyesi düşük olan geniş vadilerde yer alan topraklarda, doğal yollarla, topografyanın izin vermediği koşullarda ise yapay yollarla sağlanabilir. Örneğin Mısır'da sulama binlerce yıldan beri uygulanmakta idi. Bunun nedeni doğal drenajın yeterli olabilmesidir. Büyük barajların inşası ve sulama hacminin artması ile doğal drenaj artık yeterli olmadığından bugün, büyük drenaj projeleri de uygulamaya konmaya başlanmıştır.

### **Taban Suyu Düzeyi**

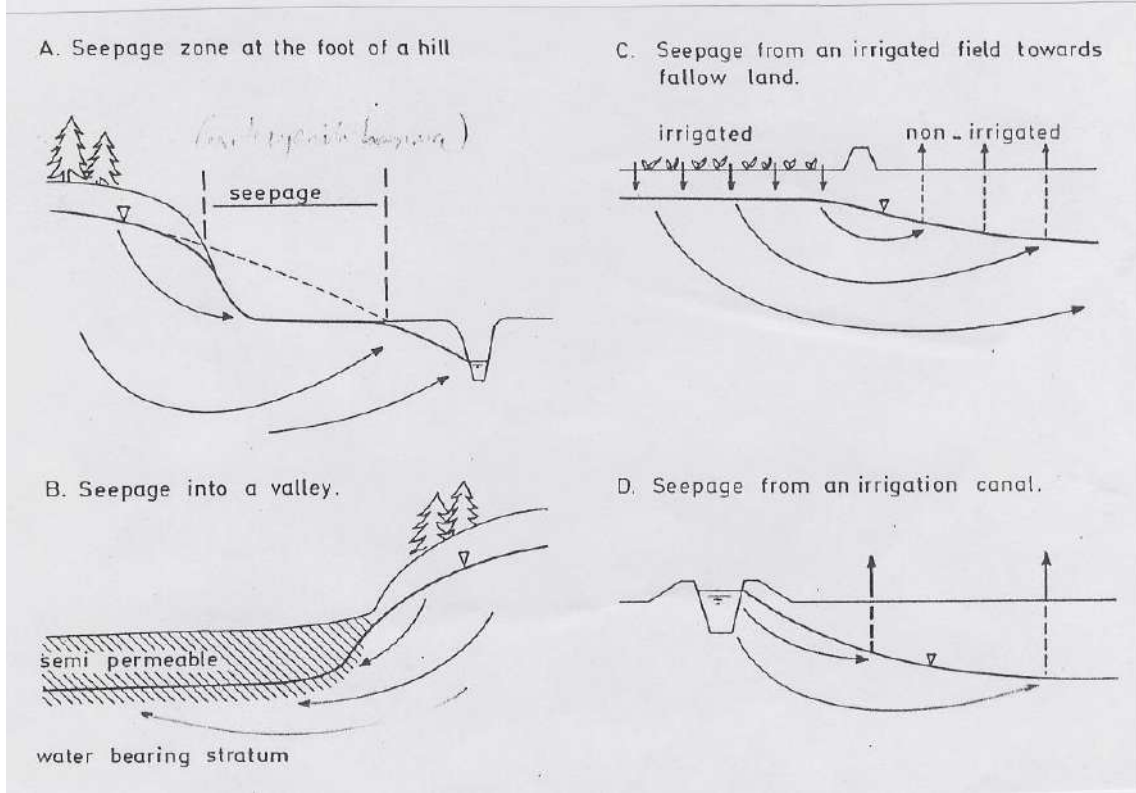
Eğer alanda drenaj yetersiz ise, sulama ile gelen ve kök bölgesinden sızarak uzaklaşması gereken su hacmi, kök bölgesinde kalarak taban suyunun yükselmesine ve suyun kapilarite ile kök bölgesi içerisine doğru yükselmesine neden olarak, buharlaşma kayıplarının artmasına neden olacaktır. Taban suyu düzeyindeki yükselme miktarı yılda 0.5 ila 1 metre arasında olabilir.

Kapiler yükselme ise tuzlulaşmanın diğer bir kaynağıdır. Taban suyu tuz konsantrasyonunun yüksek olması, sınırlı bir kapilaritenin varlığında dahi, kök bölgesinin tuzlulaşmasında önemli bir etken olacaktır. Örneğin 5 g/1 tuz kapsayan taban suyundan meydana gelecek 50 mm'lik yükselme dahi, 2500 kg/ha'lık bir tuz birikimine neden olabilecektir.

Taban suyunun beslenmesinin söz konusu olmadığı durumlarda, kapiler yükselme zamanla azalarak devam edecek ve bir noktada duracaktır. Böyle bir ortamda, taban suyu eğer çok fazla tuzlu değilse, tuzlulaşma riski söz konusu olmayacaktır.

Eğer bir alanda yeraltı suyu herhangi bir kaynaktan sürekli besleniyorsa, bu durumda taban suyu seviyesi düşmeyecektir. Bu gibi yanıl sızmalarla beslenen ve sulama ve yağmurla derine sızma olmayan alanlarda tuzlulaşma devam edecektir. Taban suyu akışının olduğu vadilerde, sulama kanalları boyunca ve sulanan alanların altında kalan alanlarda ve daha pek çok koşulda yanıl sızma ile taban suyunun beslenmesi oldukça yaygın görülen bir durumdur. Eğer sızmaya maruz kalan alanlar drene edilecekse, seçilecek dren derinliği, taban suyunun *kritik derinlik* altında kalmasını sağlamalıdır. Bu derinlik ise, sızma koşulunda dahi taban suyu derinliğini düşürecek ve kapilar yükselmeyi hemen hemen sıfır yapacak derinlik olarak tanımlanır. *Şekil 2.6* 'da yanıl sızma ile ilgili örnekler şematik olarak verilmiştir.





Şekil 2.6 Yanal sızmaya ilişkin örnekler ve bunun taban suyu düzeyine olan etkileri (van Horn and Alphen, 1991).

### **Sulama ve Drenajın Yönetimi**

Sulamanın ve drenajın yeterliliği tek başına, tuzlulaşmanın kontrolü açısından کافی değildir. Sulamanın uygun yöntem seçimi ile birlikte nasıl yönetildiği ve bunun yanında yeterli olan drenaj koşullarının da devamlılığının sağlanması ve verimliliğinin azalmaması açısından yapılması gerekenlerin ne düzeyde gerçekleştirildiği önemlidir.

Örneğin her sulama yöntemi altında bir miktar sulama suyu kök bölgesi altına sızarak kaybolmakta yani sızma kaybı oluşmaktadır. Her ne kadar sızma kayıplarının bir bölümü yıkama gereksiniminin bir kısmını karşılama açısından önemli olsa da, aşırı sızma kayıpları bu kez, taban suyu seviyesinin yükselmesine ve drenaj hacminin artmasına neden olacaktır. O nedenle sadece seçilen sulama yönteminin uygunluğu tuzluluğun kontrolünde yeterli olmamakta, sulamanın ve drenajın nasıl uygulandığı ve sürdürüldüğü de önemli olmaktadır.

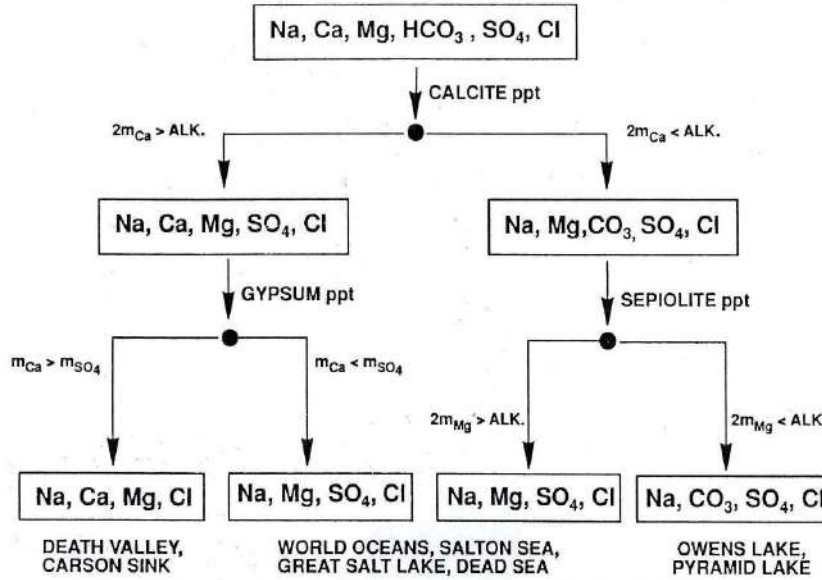
### **Tuzluluk Etmenleri**

#### **Evaporatif Tuzlulaşma (Evapokonsantrasyon)**

Buharlaştırma bilindiği gibi saf su şeklinde olmaktadır. Bir başka deyişle, herhangi bir ıslak ortamdan buharlaştırma sonucunda sadece suyu meydana getiren

hidrojen ve oksijen molekülleri ayrılmaktadır. Bu etki sonucunda geride kalan çözelti içerisinde erimiş katı maddelerin konsantrasyonu artmaktadır. Evapokonsnatrasyon yada evaporatif tuzlulaşma şeklinde tanımlanan bu etki sonucunda çözelti konsantrasyonları artmaktadır. Her ne kadar bu etki bu kadar basit olarak açıklanmasa da sonuçta meydana gelen durum bu şekilde özetlenebilir.

Suların evaporatif tuzlulaşmasına ilişkin getirilen açıklamalardan bir model Şekil 2.7 'de gösterilen Hardie-Eugster modelidir. Bu şekil (Drever 1982) Hardie-Eugster'in suların evaporatif tuzlulaşması ile ilgili sadeleştirilmiş yorumunu göstermektedir. Kimyasal bölümler (değişmeler), aşırı tuzlu suların birçok farklı çeşitte oluşmasına yol açmaktadır. En egemen çözelti türlerini içeren su kütlesi evapokonsantrasyona (buharlaşıma) tabi tutulduğunda ilk çökecek bileşik  $\text{CaCO}_3$  (kalsit) olacaktır. Buharlaşıma devam ettikçe ne olacağı, su içerisindeki Ca molaritesinin (M), karbonat alkalinitesinden (Alk) daha düşük yada yüksek oluşuna bağlıdır. Eğer  $2M_{\text{Ca}} > \text{Alk}$  ise suda  $\text{HCO}_3$  tükenmiştir. Daha ileri buharlaşma jipsin çökmesi ile sonuçlanacaktır. Eğer  $M_{\text{Ca}} > M_{\text{SO}_4}$  ise, sonuç Cl tipi su olur. Eğer  $M_{\text{Ca}} < M_{\text{SO}_4}$  ise, tuzlu suda yüksek miktarda  $\text{SO}_4$  olur. Tersine, eğer  $2M_{\text{Ca}} < \text{Alk}$  ise suda Ca tükenmiştir ve çökecek diğer mineral sepiolit olur. Eğer suda  $2M_{\text{Mg}} > \text{Alk}$  ise, ileri buharlaşmada su, okyanus suyuna benzer hale gelir. Sepiolitin oluşumu birincil derecede Mg kontrolünde olduğundan, sepiolit oluşmasında bir takım sorunlar vardır. Diğer olası Mg kontrollü çökelmeler, Mg-zengini smektit, Mg zengini kalsit yada dolomiti kapsar.



Şekil 2.7 Evaporatif tuzluluğun açıklanmasında Hardie-Eugster modeli (Tanji, 1996).

## **Seyrelme Etkisi**

Doğal sular aynı zamanda taze su kaynaklarının katılması (eklenmesi) ile seyrelme etkisinde de kalmaktadırlar. Özellikle ilkbaharda kar örtüsünün erimesi yada yüksek yağış intensitesi sonucunda su kaynaklarının ve toprak çözeltisinin konsantrasyonlarında önemli düzeyde azalmalar görülmektedir.

## **KAYNAKLAR**

- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. *Water Quality for agriculture*. FAO Irrig. And Drain. Paper No.29. Rome, 1989.
- Tanji, K.K. *Agricultural salinity assessment and management*. ACSE Manuals and Reports on Engineering Practice No.71, New York, 1996.
- Van Horn, J.W. and J.G. Alphen. *Salinity Control, Salt Balance and Leaching of Irrigated Soils*. Int. Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies of Bari, Italy, 1991.
- Yurtseven, E.; G. Çaycı; C.S. Sevimay; A. Öztürk; M. Parlak ve L. Yalçın. *Tuzluluk ve su miktarlarının macar fiği (Vicia pannonica, Crantz) verimi ve toprak tuzluluğuna etkisi: I.Yıkama uygulanmayan koşul*. A.Ü. Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Dergisi, 8(1):1-6, 2002.
- Yurtseven, E.; G.D. Kesmez and A. Ünlükara. *The effects of potassium on salinity tolerance, fruit quality and water consumption for tomato (lycopersicon esculentum) under saline conditions*. International Workshop on Sustainable Strategies for Irrigation in Salt-prone Mediterranean Regions: a System Approach, Cairo, Egypt, December 8-10, 2003. Centre for Ecology and Hydrology, Wallingford, UK. Proceedings of an International Workshop, pp. 192-203, 2003.
- Yurtseven, E. ve H.S. Öztürk. *Sulama suyu tuzluluğunun tınlı toprakta profil tuzluluğuna etkisi*. A.Ü. Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Dergisi, 7(3):1-8, 2001.

## **BÖLÜM III: SULAMA SUYU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

### **GİRİŞ**

Sulu tarımda amaç, uygun kalitedeki suyun yeterli düzeyde sağlanması olmalıdır. Önceleri iyi kalitede suyun kolayca ve yeterli miktarda bulunabilmesinden ötürü, suyun kalitesi kavramı sıklıkla göz ardı edilirdi. Bu durum artık, pek çok bölge için değişiklik göstermiştir. İyi kalitedeki su kaynaklarının tamamının kullanılıyor olması, sulamanın yoğunlaşması yada yeni sulamaya açılan alanların gereksiniminin karşılanmasında daha düşük kaliteli ve daha az uygun olan su kaynaklarının kullanılması gerçekliğini doğurmaktadır. Bu düşük kalitedeki suların kullanılması halinde karşılaşılabilecek problemlerin önlenmesi, bu suların kullanılabilir kılınması amacıyla gerekli planlamaların yapılmasına bağlıdır.

Burada amaç, kullanılan suyun kalitesinden ötürü ortaya çıkacak olan bitki ve toprağın etkilenmesi ve sonuçta verim kaybının oluşmasına neden olacak etkilerin ortaya konması ve bunlara ilişkin çözümlerin açıklanmasıdır.

Suyun kalitesi, suyun belirli bir kullanımı için uygunluğunu (kullanılabilirliğini) belirten bir karakteristiğidir. Bir başka ifade ile kullanıcının gereksinimlerine ne derecede uygun olduğunun bir göstergesidir. Kalite belirli fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametreler yardımıyla açıklanır. Bir tek tat özelliği dahi, suyun kabul edilebilirliğinin basit bir göstergesi olabilecektir. Örneğin kullanıcıların iki iyi kaliteli su kaynağına sahip olmaları durumunda, bir tanesinin tercih edilmesinde basit olarak tat özelliği suyun kullanılacak kaynağının seçiminde etken olacaktır ve tat özelliği bakımından tercih edilen kaynak kullanılacaktır. Sulama suyu söz konusu olduğunda üzerinde durulan özellikler suyun fiziksel ve kimyasal kriterleri olacaktır ve nadiren diğer özellikler göz önüne alınmaktadır.

Özel kullanımlar değişik kalite gereksinimlerine sahiptir ve bir kaynak eğer diğerlerine göre daha iyi sonuçlar yaratıyorsa ve daha az probleme neden oluyorsa daha uygun olarak değerlendirilecektir (çokluk daha iyi kaliteli olan kaynak). Örneğin iyi kalitedeki bir nehir suyu sulamada başarıyla kullanılabilir olmasına karşın, şehirselleştirme için, içerisindeki sediment miktarından ötürü, arıtılmadığı sürece uygun olmayacaktır. Benzer şekilde iyi kalitedeki erimiş kar suyu şehirselleştirme için çok uygun olmasına karşın, içerisindeki korozif maddelerin oluşturduğu potansiyelden ötürü sanayi kullanımında, uygun olarak değerlendirilemeyebilecektir.

İdeal koşulda çok sayıdaki kaynaktan en uygun olanının seçimi şeklinde sorun çözülebilir; ancak, uygulamada çoğunlukla elde sadece bir tek kaynak vardır. Bu koşulda yapılacak şey, eldeki kaynağın kullanım için uygunluğunun değerlendirilmesi ve amaca ne denli uygun olduğunun belirlenmesidir. Farklı kalitedeki suların kullanımına ilişkin deneyimler gözlemlerden ve kullanım sonrası karşılaşılan problemlerin ayrıntılı analizlerinden elde edilmektedir. Suyun içeriği ile gözlemlenen problemler arasındaki ilişkiden, suyun kabul edilebilirliğinin derecesi yada kalitesi değerlendirilebilmektedir. Çok sayıdaki deneysel gözlemlerden ve ölçümlerden hareketle, belirli maddelerin bulunmasının kalite ile ilişkili problemlerin ortaya konmasında bir gösterge olarak ele alınmasını olanaklı kılmaktadır. Bu içerikler (maddeler) daha sonra bir araya getirilerek suların

kalitelerinin değerlendirilebildiği yani kullanım için uygunluklarının ortaya konabildiği rehber değerleri oluşturmaktadır. Yeni geliştirilen her bir rehber tablo (değerler) daha önceki değerler ile birlikte daha doğru tahmin olanakları sunmaktadır. Çok sayıda farklı kullanımlar için rehber değerler elde edilebilmektedir.

Sulu tarımda kullanılacak çok sayıda rehber tablolar elde edilebilmektedir. Her birisi kullanılabilir olmasına karşın, tarla koşullarındaki çeşitlilikten ötürü, hiçbirisi tam olarak tatmin edici olmayacaktır. Umulan ise her yeni rehber tablonun bizim öngörü kapasitemizi artırıyor olmasıdır. Örneğin *Çizelge 3.1* 'de verilen rehber değerler önceki verilerden yararlanarak oluşturulmuştur ancak, pratik kullanımda su kalitesi ile ilişkili problemlerin değerlendirilmesi ve baş edilebilmesi amacıyla modifiye edilmişlerdir.

## **SU KALİTESİ İLE İLGİLİ PROBLEMLER**

Sulamada kullanılan suların kaliteleri içerisinde bulunan erimiş tuzların miktarına ve cinsine göre çok fazla değişim göstermektedir. Sulama sularında bulunan tuzlar oransal olarak düşük düzeyde olmalarına karşın önemlidirler. Tuzlar orijin olarak kayaların ve toprağın ayrışmasından ve bozunmasından ortaya çıkmaktadırlar ki, bu ayrışan mineraller arasında jips ve kireç gibi çok yavaş çözünen mineraller de bulunmaktadır. Bu tuzlar sularla kullanıldıkları yere taşınırlar. Sulanan alanlarda ise bu tuzlar taşınarak toprağa iletilirler ve suyun buharlaşma ve bitki kullanımı ile tüketilmesi ile de toprakta biriktirilirler.

Sulama suyunun kalitesi sadece içerdiği toplam tuz miktarı ile değil aynı zamanda tuzların cinsi ile de değerlendirilir. Suyun toplam tuz içeriğinin artması ile değişik toprak ve bitkiye ilişkin problemler ortaya çıkacaktır ve kabul edilebilir verim için özel yönetim önlemleri gerekecektir. Suyun kalitesi yada kullanım için uygunluğu, suyun uzun dönem kullanımı ile ortaya çıkabilecek potansiyel problemlere bağlı olarak değerlendirilir.

Problemlerin cinsi ve düzeyi değişecektir ve toprak, iklim ve bitki tarafından olduğu kadar, kullanıcının yeteneğine ve bilgisine bağlı olarak ta etkilenecektir. Sonuç olarak, suyun kalitesini ortaya koyacak çok belirgin sınırlar bulunmamaktadır; daha da ötesinde, suyun kullanım için uygunluğu kullanım koşullarına bağlı olmaktadır ki, kullanım koşulları da çözünmüş maddelerin toprakta birikimini ve bitki verimini kısıtlayabilmektedir. Tuzluluk, suyun infiltrasyon oranı, toksisite ve diğer problemlerle ilişkili bir biçimde suyun kalitesini değerlendirmede toprak ile ilgili problemler çok yaygın olarak ele alınır ve kullanılır.

Sulanan alanlarda su kalitesi ile ilişkili olarak karşılaşılan problem türleri aşağıdaki çizelgede (3.2) verilmiştir.

Çizelge 3.2 Sulama suyu kalitesi ile ilişkili olarak karşılaşılabilecek problemler

<b>Sulanan alanlarda su kalitesi ile ilişkili problemler</b>
<p><b>Tuzluluk</b></p> <p>Tuzlar, toprakta suyun alımını, bitki verimini etkileyebilecek oranda azaltabilirler</p>
<p><b>Suyun infiltrasyon oranı</b></p> <p>Sudaki yada topraktaki fazla miktardaki sodyum yada oransal olarak düşük miktardaki kalsiyum, bitkinin hiçbir zaman diğer sulamaya kadar yeterli miktarda suyu topraktan alabilmesi için biriktirilmesi gereken nem miktarının toprağa infiltre olmasına izin vermez.</p>
<p><b>Özel iyon toksisitesi</b></p> <p>Belirli iyonlar (sodyum, klor, yada bor) bitkide zarar oluşturabilecek ve sonuçta verimi etkileyebilecek düzeyde birikerek bitkiyi etkileyebilirler</p>
<p><b>Diğer</b></p> <p>Aşırı bitki besin maddesi verimi yada kaliteyi azaltır; bitkinin yapraklarında yada meyvede birikim Pazar kalitesini azaltır; alet ekipmanın aşırı korozyona uğraması tamir ve bakım masraflarını artırır.</p>

## **Tuzluluk**

Tuzluluk problemi, tuzlar kök bölgesinde verim kaybına neden olacak düzeyde yüksek konsantrasyonlara ulaştıklarında ortaya çıkacaktır. Sulanan alanlarda bu tuzların kaynağı sıklıkla tuzlu ve yüzlek taban suyu yada sulama suyunun içerisinde bulunan tuzlar olabilmektedir. Verim kayıpları kök bölgesinde tuzların miktarının yüksek konsantrasyonlara ulaşması ve bitkinin kökleri ile topraktan bu tuzlu çözelti içerisinde yeterli düzeyde suyu alamaması durumunda ortaya çıkmaktadır ve sonuçta önemli bir süre boyunca su stresi yani azlığı etkisi ortaya çıkmaktadır. Su alımı önemli düzeyde azaldığında bitki büyümesini yavaşlatmaktadır. Bitki bu koşullarda tıpkı kuraklık etkisinde kalan bitkilerde görülen belirtileri gösterir; solma, yada daha koyu mavi-yeşil renk ve bazen de daha kalın, parlak yapraklar. Belirtiler büyüme devresine bağlı olarak değişmektedir ve tuzluluk erken gelişme dönemlerinde etkili ise belirtiler daha göze çarpar olacaktır. Bazen orta düzeydeki bir tuzluluk etkisi fark edilmeyebilecektir, bunun nedeni tüm tarlanın homojen bir biçimde etkilenmesi sonucu bitkiler içerisinde farklılık oluşmamasıdır. Ancak bu durum tuzluluk etkisinin olmadığı anlamına gelmez ve dikkatli gözlemler ile ortaya konulabilir etkiler oluşturur.

Tuzluluk sorunu yaratan tuzlar, suda kolay çözünebilen ve sularla kolaylıkla taşınabilen tuzlardır. Önceki sulamalardan birikmiş olan tuzlar, büyüme mevsimi içerisinde bitkinin gereksiniminden daha fazla olarak uygulanacak olan sularla kök bölgesinden yıkanarak derinlere iletilebilirler. Bu nedenle “yıkama”, sulama suyu

kaynaklı tuzlulukların kontrolünde anahtar uygulama olmaktadır. Kök bölgesinde zararlı düzeyde tuz birikiminin önlenmesi için, kök bölgesinden yıkama ile uzaklaştırılan tuz miktarının sulama suyu ile iletilen tuz miktarından daha fazla yada eşit olması gerekecektir. Yıkama gereksinimi miktarı sulama suyu ile iletilen tuz miktarına ve bitkinin tuza dayanımına bağlı olarak değişecektir.

Kök bölgesindeki tuz miktarı derinlik ile değişmektedir. Yüzeyde yaklaşık sulama suyu tuzluluğuna eşit iken, derinlerde sulama suyu tuzluluğundan daha yüksek konsantrasyonlara ulaşır. Bitkiler topraktan suyu aldıklarında tuzların büyük kısmını geride bıraktıkları için kök bölgesinde tuzluluk derinlikle artma gösterir. Her sulama ile tuzlar aşağı katlara doğru itilirler ve yıkanınca kadar burada birikirler. Alt katlardaki tuzluluğun düzeyi yıkanma miktarı ile ilişkilidir.

Sulamayı izleyen dönemde en kolay ve bol olarak alınabilecek su üst toprak bölümünde bulunan düşük tuzlulukta sudur. Bitki suyu kullandıkça, suyun kolaylıkla alınabildiği derinlik alt katlara doğru kayar ve sulamanın gecikmesi ile bu derinlik artar. Bu daha derin bölümler daha tuzlu bölgelerdir. Bitki kökleri ile kök bölgesi içerisinde suyu daha kolay alabileceği bölümlerden almaya devam eder. Sulamanın zamanının planlanması bu açıdan önem kazanmaktadır; sulamanın gecikmesi ile bitki su gereksinimini daha tuzlu ve derindeki sudan karşılamaya çalışır ve gereksindiğinden daha az su alabilir ve su eksikliği sorunları ortaya çıkmaya başlar. İyi bir bitki yetiştiriciliği için biriken fazla tuzun bitkiye zarar verecek düzeye ulaşmasından önce yıkanması ve suyun kolay alınabilir şekilde sağlanması konularına gereken özen gösterilmelidir.

Sık sulanmayan bitkilerde yani klasik sulama yöntemlerinin ve pratiklerinin uygulandığı alanlarda bitki verimi “ortalama toprak tuzluluğu” ile korelasyon gösterirken, damla sulama yönteminin uygulandığı sık sulama yapılan alanlarda “alınan su ağırlıklı kök bölgesi tuzluluğu” ile korelasyon gösterecektir. Bu farklılık çok büyük olmamakla birlikte geniş tuzluluk aralıklarında önemli olacaktır. Özel olarak belirtilmediği sürece bitki veriminin ortalama toprak tuzluluğuna göre açıklandığı anlaşılmalıdır.

Pek çok sulanan alanda tuzluluk probleminin kaynağı 2 metreden daha yüzlek konumdaki taban suyu düzeyidir. Bu derinlikteki taban suyu içerisinde biriken tuzlar buradan kapılar hareketler ile kök bölgesine taşınarak ikincil tuzluluk kaynağı olarak rol oynayacaktır. Bu nedenle uzun dönem başarılı sulu tarım için yüzlek taban suyunun kontrolü önemli olmaktadır. Yüksek tuzlu sular, yıkama için daha fazla ek suyun kullanılmasını gerektirecektir. Bu koşulda ise drenajın yeterli olmadığı alanlarda taban suyunun yükselmesine ve başarılı bir uzun dönem sulu tarım uygulamasının yapılamaması söz konusu olacaktır. Drenaj yeterli ise tuzluluğun kontrolü daha kolay hale gelecektir; yıkama suları alandan kolaylıkla uzaklaştırılabileceğinden, taban suyu tuzluluğunun ve yüksekliğinin olumsuz etkisi görülmeyecektir.

### **Su infiltrasyon oranı**

Su kalitesine bağlı olarak infiltrasyon problemi sulama suyunun yada yağış suyunun normal infiltrasyon oranının önemli düzeyde azalması ile yüzeyde uzun süre göllenmesi yada çok yavaş infiltre olması sonucunda bitkinin su gereksiniminin karşılanamaması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Her ne kadar suyun infiltrasyon oranı tuzluluk tarafından etkilense ve önemli oranda değişiklik gösterse de, kompaksiyon derecesi, strüktür, organik madde düzeyi ve kimyasal yapı gibi toprak faktörleri de infiltrasyon oranı üzerinde etkilidir.

İnfiltrasyon oranını etkileyen en önemli iki su kalitesi faktörü suyun toplam tuz konsantrasyonu ile içerdiği sodyum miktarının düzeyi ve  $Na/(Ca+Mg)$  düzeyidir. Tuzluluğu yüksek olan sular infiltrasyon oranını artırır. Düşük tuzluluktaki sular yada  $Na/Ca$  oranı yüksek olan sular ise bu oranı azaltır. Her iki faktör de aynı anda etkilidir. İkincil problemlerden birisi de sulamaya, istenen nem açığını kapatmak amacıyla, gerekli infiltrasyonu sağlamak için, uzun bir süre devam edildiğinde ortaya çıkabilecektir. Yine tohum yatağının kaymak tabakası bağlaması, aşırı otlama, beslenme eksikliği, kötü gelişme ve ıslak tohum yataklarındaki zayıf büyüme özellikleri oluşabilecektir.

Su kalitesine bağlı infiltrasyon problemleri genelde üst birkaç cm lik toprak içerisinde meydana gelir. Bunun nedeni de bu bölüm topraktaki düşük  $Ca$  yada yüksek  $Na/Ca$  oranıdır. Bu değerler sonucunda bu bölümdeki toprağın yapısal dayanıklılığı bozulacağından parçalanmış agregatlar sonucunda infiltrasyon oranı azalacaktır. İçerisinde yüksek miktarda  $Na$  bulunduran sulama suları kullanıldığında yüzeyde yüksek  $Na$  içeren bir toprak bölümü oluşacaktır.  $Na$  nedeniyle agregatların dayanıklılığı azalacağından disperse olacaklar ve gözenekleri tıkayacaklardır. Benzer problem aynı zamanda nispeten düşük  $Ca$  içeren yüzey toprağı koşulunda da görülebilecektir. Bazı durumlarda düşük tuzluluktaki sulama suları da benzer etkiler oluşturabileceklerdir, ancak bunun nedeni suyun yada toprağın  $Na$  içeriği olmayıp, düşük tuzluluktaki suyun korozif özelliği sonucudur. Düşük tuzluluktaki sulama suları yüzey toprağındaki  $Ca$  mu da içeren pek çok eriyebilir tuzları yıkayarak alt katmanlara taşıyacaktır.

## **Toksisite**

Toksisite problemleri, bazı iyonların suda yada toprakta aşırı miktarda bulunması halinde bitki tarafından fazla miktarda alınarak bünyesinde biriktirilmesi sonucunda bitki zararlanmasının yada verim azalmasının ortaya çıkması şeklinde meydana gelir. Zararlanmanın düzeyi bitkinin hassaslığına ve alınan miktara bağlıdır. Çok yıllık ağaç bitkileri genelde daha hassastır. Zararlanma sıkça hassas bitkilerde düşük iyon konsantrasyonlarında görülür. Etkiler genelde büyük yaprak yanıkları yada klorosis belirtileri şeklinde ortaya çıkar. Yeterli düzeyde toksik iyon birikmesi sonucu verim kayıpları oluşur. Tek yıllık bitkiler genelde hassas olmadıklarından düşük konsantrasyonlarda etkilenmezler ancak, yeterince yüksek konsantrasyonlarda hemen tüm bitkiler verim kaybı yada tamamen ölme gibi sonuçlar gösterirler.

Toksik etki yapan iyonların başında klor, sodyum ve bor gelmektedir. Bu iyonların düşük konsantrasyonlarında dahi toksisite problemlerinin görülebilmesine karşın, toksisite genelde tuzluluk ve infiltrasyon problemleri ile birlikte görülür. Potansiyel toksik olan iyonun kökler tarafında su ile birlikte bol miktarda alınması halinde toksisite problemleri ortaya çıkmaktadır. Köklerle alınan toksik iyon, iletim organları ile yapraklara iletilirler ve burada transpirasyon sonucu suyun buharlaşması ile biriktirilirlir. Birikme yapraklarda su kaybının (buharlaşma) yüksek olduğu yaprak ucu ve yaprak kenarlarında daha fazla olacaktır. Toksik etkinin ortaya çıkması için birikme süreci genelde yavaş seyreder ve bu süreç içerisinde gelişmelerin farkına varmak oldukça güçtür. Zararlanmanın düzeyi etkinin süresine, toksik iyon konsantrasyonuna, bitki hassaslığına ve bitkiden olan buharlaşma miktarına bağlıdır. Sıcak iklimlerde yada yılın sıcak dönemlerinde ortaya çıkan etki düzeyi, aynı bitki daha serin iklim yada bölgelerde yetiştirildiğinde ortaya çıkacak belli belirsiz etkiye göre daha fazla olacaktır.

Toksisite aynı zamanda suyun doğrudan yapraklarla temasta olduğu



yağmurlama sulama altında da görülmektedir. Sodyum ve klor iyonları yaprak absorpsiyonu konusunda birinci derecede göz önüne alınması gereken iyonlardır. Örneğin narenciye bu iyonların birine yada her ikisine karşı yaprak absorpsiyonu konusunda oldukça hassas bitkilerdendir. İyon konsantrasyonunun artması ile ortaya çıkan zararlanma etkisi daha hızlı ve daha zararlı düzeylerde oluşacaktır.

### **Diğer**

Sulama suyu kalitesine bağlı problemlerden yukarıda sayılanların dışında görünenleri bu başlık altında incelenecektir. Bunlar arasında yüksek nitrojen konsantrasyonu sayılabilir ki, bitkide olgunlaşmanın gecikmesine, aşırı vejetatif büyümeye neden olurlar. Yağmurlama sulamada kullanılacak yüksek bikarbonatlı sular, jipsli sular yada yüksek demir içeren sular meyvede yada yapraklarda birikmeye ve zararlanmalara neden olurlar. Yine suyun değişik pH düzeyi de bir dizi anormal oluşumlara neden olacaktır. Bazı sulamacıların karşılaştıkları sulama ekipmanlarının bozunması problemi su etkisindeki korozyondan ileri gelmektedir. Bu etkilenmeler özellikle pompada ve kuyularda olabilmektedir. Ancak bazı yörelerde düşük kalitedeki sular dahi sulama ekipmanlarının zararlanmalarına neden olmaktadır.

Düşük infiltrasyon problemlerinin görüldüğü alanlarda aynı zamanda nemli ortamdan ötürü mikroorganizma faaliyetlerinde bir artış ta görülebilir. Hastalık yapan (örn: malaria) gibi mikroorganizmaların artması ile çevre sorunları da oluşabilir. Bu durum aynı zamanda drenajı kötü olan alanlarda da görülebilecektir. Yine atık suların sulama amaçlı kullanıldığı alanlarda da hastalık etmeni mikroorganizma faaliyetlerinin artması söz konusu olabilir.

Sulama suyunda bulunan sediment materyalleri nedeniyle sulama sistemlerinin zarar görmesi, damlatıcı ve yağmurlama başlıklarının tıkanması gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Sediment birikimi nedeniyle kanal ve hendeklerin dolması ve aynı zamanda toprakta zaten var olan düşük infiltrasyon oranının daha da azalması etkisi yaratabilecektir.

Tablo 3.1 Sulamada kullanılacak suların değerlendirilmesi rehberi (Ayers ve Westcot, 1989)

Potansiyel sulama sorunları	Birim	Kullanımı kısıtlayan durumlar		
		Yok	Hafiften- ortaya	Yüksek
<b>TUZLULUK</b> (Bitkinin su kullanımına etkili)				
EC <sub>w</sub>	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
<b>İN FİLT RASYON</b> (suyun toprak içerisine infiltrasyonuna etkili. EC <sub>w</sub> ve SAR birlikte değerlendirilir)				
SAR=0-3 ve EC <sub>w</sub> =		>0.7	0.7-0.2	<0.2
SAR=3-6 ve EC <sub>w</sub> =		>1.2	1.2-0.3	<0.3
SAR=6-12 ve EC <sub>w</sub> =		>1.9	1.9-0.5	<0.5
SAR=12-20 ve EC <sub>w</sub> =		>2.9	2.9-1.3	<1.3
SAR=20-40 ve EC <sub>w</sub> =		>5.0	5.0-2.9	<2.9
<b>İYON TOKSİSİTESİ</b> (hassas bitkilere etkili)				
<b>Sodyum (Na<sup>+</sup>)</b>				
Yüzey sulama	SAR	<3	3-9	>9
Yağmurlama sulama	meq/l	<3	>3	
<b>Klor (Cl<sup>-</sup>)</b>				
Yüzey sulama	meq/l	<4	4-10	>10
Yağmurlama sulama	meq/l	<3	>3	
<b>Bor (B)</b>				
	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
<b>DİĞER ETKİLER</b>				
<b>Nitrojen (NO<sub>3</sub>-N)</b>				
	mg/l	<5	5-30	>30
<b>Bikarbonat (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>				
Yağmurlama sulamada	meq/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
<b>pH</b>				
		Normal sınırlar 6.5-8.4		

**KAYNAKLAR**

Ayers, R.S. and D.W. Westcot. *Water Quality for agriculture*. FAO Irrig. And Drain. Paper No.29. Rome, 1989.

# **BÖLÜM IV: SULAMA SUYU KALİTE KRİTERLERİ VE SULARIN SINIFLANDIRILMASI**

## **GİRİŞ**

Sulama suyunun kalitesinin değerlendirilmesinde, sulama suyu ile ilişkili olarak karşılaşılabileceğimiz problemlerden hareket ederiz. Karşılaşılabilecek problemlerle ilişkili olarak kalite kriterleri geliştirilmiştir. Çünkü amaç suyun var olan kalitesinin değerlendirilmesi, kullanımı halinde ne tür sorunlarla karşılaşılabileceğimizin belirlenmesidir. Kalite, bir şeyin kullanım için uygunluğunu belirlediği için, sulama suyunun kalitesi de suyun kullanım için uygunluğunu belirtmektedir. Doğada bulunan suların içerikleri birbirinden farklı olduğu için, sulama sularının değerlendirilmesi amacıyla kalite kriterleri ve sınıflandırma sistemleri geliştirilmiştir.

Sulama suyu *kalite kriteri* kavramı ile *kalite standardı* kavramlarını birbirinden ayırmak gerekir. Sulama suyu kalite kriteri; eldeki suyun bilinen kalitesi ile amaçlanan hedeflere ulaşabilmek için kararların ve hükümlerin alınabilmesine olanak verecek bilimsel gereksinimlerdir. Standartlar ise; kalite kriterleri ile birlikte ekonomik, sosyal ve politik düzenlemelerin birlikte göz önüne alınmasının bir sonucu olarak ortaya çıkmış yasal desteklerdir.

## **SULAMA SUYU KALİTE KRİTERLERİ**

Sulama suyu kalite kriterlerinin geliştirilmesi çalışmalarında pek çok güçlüklerle karşılaşmaktadır. Temel olarak bu kriterlerin formülasyonunda iki özellik söz konusudur; 1)Açığa çıkartıcı etki ilişkilerinin ortaya konması, 2)Bu ilişkilerin çalışma sınırlarının belirlenmesinde kullanılması.

Tarımsal amaçlar için kalite kriterleri bu suyun sulama amacıyla kullanılabilirliği konusunda bilgi içermelidir. Sulama sularının kalitelerinin yani kullanım için uygunluklarının belirlenmesinde göz önüne alınacak kriterler 4 ana başlık altında toplanabilir;

- ☐ Eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonu
- ☐ Sodyum iyonunun nispi oranı
- ☐ Özel iyon toksisiteleri
- ☐ Diğer kriterler

## **Eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonu**

Bilindiği gibi tuzlar toprak çözeltisi içerisinde osmotik basınca neden olduklarından bitkinin su kullanımı üzerine etki ederler. Yüksek osmotik basınç etkisinde bitki su kullanımı etkilenir ve azalır; bu durumda bitkiler kuraklık etkisinde kalan bitkilerin gösterdikleri tepkileri gösterirler ve turgorlarını kaybetmeye, yapraklarının sararmasına, solmasına ve devam etmesi halinde

bitkinin ölmesine neden olurlar. Bu nedenle sulama sularının içerdiği toplam tuzluluk miktarı bir sınıflandırma kriteri olarak göz önüne alınır.

Sulama suyu tuzluluğu toprak çözelti konsantrasyonunu etkiler ve artmasına neden olur. Bu artma miktarı toprak özelliklerine bağlı olarak 2 ila 10 kat arasında olabilmektedir. Bu geniş değişim aralığı nedeniyle sulama sularının kesin olarak sınıflandırmaları yapılamamaktadır. Ancak, unutulmamalıdır ki, sulama suyu tuzluluğu ne kadar yüksekse toprakta tuz konsantrasyonu o kadar daha fazla artma gösterebilmektedir.

Eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonu, ölçümü kolay olduğundan ve çözelti tuz konsantrasyonu ile doğrusal bir ilişki göstermesinden ötürü, elektriksel iletkenlik ( $EC_e$ ) şeklinde, dS/m ya da eski sistem ile milimhos/cm olarak, yaygın biçimde ifade edilmektedir. Bunun yanında toplam çözünmüş katılar (TDS) şeklinde ppm ya da mg/l şeklinde de belirtilebilmektedir.

Ortaya konan tüm sulama suyu sınıflandırma sistemlerinde toplam tuzluluk değeri EC ya da TDS şeklinde sınıflandırma kriteri olarak göz önüne alınmaktadır.

Toprakların tuzlu toprak olarak değerlendirilmesi kriteri olarak  $EC_e$  değeri 4 dS/m göz önüne alınmaktadır. Saturasyon eriyiği elektriksel iletkenlik değeri 4 dS/m den fazla olan topraklar tuzlu toprak olarak değerlendirilir. Sulama suyunun tuzluluğu ile toprak çözelti tuzluluğu arasında 2–10 katı daha konsantre olabilme ilişkisi olduğundan,  $EC_e=0.5$  dS/m gibi iyi sayılabilecek bir sulama suyu dahi, diğer uygulama pratikleri ile ilişkili olarak, toprak çözelti konsantrasyonunu önemli düzeylerde artırabilecektir.

### Sodyum iyonunun nisbi oranı

Sulama suyu kalitesi ile ilişkili olarak karşılaşılabileceğimiz sorunlardan bir tanesi de aşırı  $Na^+$  içeren suların toprak fiziksel özellikleri üzerine etkisi olmaktadır. Bu nedenle suların  $Na^+$  içerikleri bir sınıflandırma kriteri olarak göz önüne alınır. Bu amaçla %Na ya da SAR değerleri kullanılmaktadır.

$$\%Na = \frac{Na}{Na + K + Ca + Mg} \cdot 100 \quad (4.1)$$

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (4.2)$$

%Na değerinin toprağa ve bitkiye zararlı olmaması için 50–60 değerinden daha büyük olmaması gerekmektedir. Ancak, toprağın yüksek katyon değiştirme kapasitesine sahip olduğu yerlerde sulama suyunun fazla konsantre olmadığı hallerde %Na değerinin 50 nin üzerindeki değerleri de emniyetli sınırlar içerisinde olabilir (Ayyıldız, 1983).

Pek çok araştırmacı sodyum zararını ortaya koymada %Na değerinden daha çok SAR değerini kullanmayı önermektedir. Bunun yanında SAR değeri ile *değişebilir sodyum yüzdesi* (ESP) değerleri arasında bir ilişki vardır. Bu ilişki aşağıdaki eşitlikle verilmektedir;

$$ESP = \frac{100(-0.0126 + 0.01475SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.01475SAR)} \quad (4.3)$$

### **Özel iyon toksisitesi**

Toplam tuz konsantrasyonunun oluşturacağı osmotik etki yanında bazı iyonların oranları da bitki gelişmesine etki edecektir. Bitki zararlanmaları ya da gelişme depresyonları, eğer toplam tuzluluk zararı olarak nitelendirilemiyorsa, iyonların toksik etkisi olarak incelenmelidir. Bununla beraber, fazla bulunan iyonların bitki gelişmesine olan toksik etkileri konusu, pek çok temel bitki besleme prensiplerini içeren karmaşık bir konudur.

### **Sodyum**

Bitkiler sodyumu bünye ve yapraklarında biriktirmek ya da yapraklarından dışarıya atmak konularında çok farklı tepkiler gösterirler. Bununla beraber Na<sup>+</sup> zararının ortaya konması amacıyla çok çeşitli bitkilerle araştırmalar yapılmıştır. Örneğin bademde ve avokadoda yapılan denemelerde, topraktaki yüksek Na<sup>+</sup> konsantrasyonlarında bitki yapraklarında zararlanmalar olmuştur.

Yonca, arpa karnabahar, pamuk, patates, susam, şeker pancarı, ayçiçeği ve domates üzerinde yapılan bir başka çalışmada da, tuzlu sulama suları ile yapılan yağmurlama sulamaları sonucunda, sulama intensitesine ve tuzluluk düzeyine bağlı olarak yapraklarda Ne adsorpsiyonunun artarak zararlanmalara neden olabildiği ortaya konmuştur (Maas ve ark. 1982). Benzer bir çalışmada erikte yağmurlama ile 15 mol/m<sup>3</sup> Na<sup>+</sup> konsantrasyonunun yapraklarda zararlanmalara neden olduğu bulunmuştur (Mantell ve ark. 1989).

### **Kalsiyum**

Yüksek orandaki Ca<sup>+2</sup> konsantrasyonunun bitki gelişmesine olan olumsuz etkileri bitki cinsine göre değişiklik göstermektedir. Yine bazı Ca<sup>+2</sup> tuzları da daha fazla toksik olarak bulunmuştur. Örneğin Maseawa (1936), ilave edilecek CaCl<sub>2</sub> tuzlarının toprağa, NaCl tuzlarından daha toksik olduğunu ortaya koymuştur. Yine Wadleigh ve ark. (1951), meyve bahçelerinde toprak eriyiğine katılan Ca<sup>+2</sup> tuzlarının bazı özel etkilerde bulunduğunu gözlemişlerdir. Eklenen CaCl<sub>2</sub> ve CaNO<sub>3</sub> tuzları benzer etkiler oluşturduğundan, etkilenmenin Cl<sup>-</sup> dan çok Ca<sup>+2</sup> 'un varlığından kaynaklandığı belirtilmiştir. Çekirdekli meyvelerde yapılan denemelerde normal düzeydeki CaCl<sub>2</sub> tuzunun dahi, yapraklarda Cl<sup>-</sup> birikiminin oluşup bitkiye zarar vermesinden ötürü, zararlı etkide bulunduğu gözlenmiştir (Brown ve ark. 1953).

### **Magnezyum**

Yüksek konsantrasyonlardaki Mg<sup>+2</sup> tuzları bazı hallerde toksik etkide bulunurlar. Bu toksisite ise nispeten yüksek konsantrasyonlardaki Ca<sup>+2</sup> ile azaltılabilir.

### **Potasyum**

Potasyum, çok nadir hallerde yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Yüksek K<sup>+</sup> konsantrasyonları toksik etki yapacaktır. Bu toksik etki Mg<sup>+2</sup> da olduğu gibi Ca<sup>+2</sup> konsantrasyonunun artması ile dengelenebilir. Ayrıca yüksek K<sup>+</sup> konsantrasyonları Mg<sup>+2</sup> eksikliğine ve demir klorozuna neden olabilir (Walsh ve Clarke, 1942; Boynton ve Burrell, 1944).

### **Klor**

Klor iyonu, belirli konsantrasyonların üzerine çıktığında, bitki organlarına zarar verdiğinden olumsuz etkiler yapmaktadır. Pek çok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalar sonucunda şeftali ve diğer sert çekirdekli meyvelerde Cl<sup>-</sup> un toksik etki yaptığı, narenciye, avokado, asma, soya, yonca, arpa, karnabahar, pamuk, patates, susam, şeker pancarı, ayçiçeği, domates gibi pek çok sayıda bitkide yaprak adsorpsiyonu ve yaprak yanmalarına neden olduğu ortaya konmuştur (Reed ve Haas, 1924; Thomas, 1934; Ravikovitch ve Bidner, 1937; Ayers, 1950; Cooper ve Gorton, 1951; Ayers ve ark. 1951; Cooper, 1951; Yousif ve ark. 1972; Maas ve ark. 1982; Güngör ve Yurtseven, 1991).

### **Sülfat**

Sülfat zararı pek çok bitkide gözlenmiştir. Bu zararlanmanın asıl nedeni ise yüksek SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> konsantrasyonu koşulunda bitkilerin Ca<sup>+2</sup> iyonunu alamamalarından kaynaklanmaktadır. Ca<sup>+2</sup> iyonundaki bu azalma ile Na<sup>+</sup> ve K<sup>+</sup> iyonlarının adsorpsiyonu artar ve böylece yüksek konsantrasyondaki sülfatın zararlı etkisi, bu katyon dengesindeki bozulma ile ilgili hale gelebilir.

### **Bikarbonat**

Bikarbonat iyonunun zararlı etkisi bitki cinslerine göre farklılık gösterir ve bazı durumlarda, düşük konsantrasyonlarında dahi zararlı olabilir. Yapılan araştırmalar bikarbonatın, bitkinin besin maddeleri alımını ve metabolizmasını etkilediğini ve bu etkilemenin derecesinin de bitki çeşidine göre farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Örneğin fasulye çok duyarlı olmasına karşın, pancar nispeten daha az duyarlılık göstermiştir (Gauch ve Wadleigh, 1951; Wadleigh ve Brown, 1952). Kum kültüründe yapılan çalışmalarda fasulye bitkisi ortamda bikarbonatın bulunduğu koşullarda kontrol konusuna göre daha az Ca<sup>+2</sup>, daha çok K<sup>+</sup> içermiştir. Bunun yanında bikarbonatın asıl etkisi Mg<sup>+2</sup> içeriğinin azalması, Na<sup>+</sup> içeriğinin ise artması şeklinde olmuştur.

### **Bor**

Bor bitkilerin normal gelişmeleri için gerekli elementlerden birisi olmasına karşın, gereksinilen miktarı çok düşüktür. Konsantrasyonunun bu miktarın üzerine çıkması halinde zararlı etkide bulunabilir. Bor gereksinimi ve zararlı konsantrasyonları, bitki cins ve türlerine göre farklılık gösterir. Bu nedenle bazı bitkiler için gerekli olan miktar, hassas bitkiler için zararlı olabilecektir. Bor zararlanmasına ilişkin bazı türler bir belirti göstermezken, genelde bitkilerde yanma, kloroz ve nekroz etkiler görülür. Bitkilerin bora dayanımları *Çizelge 4.1* de verilmiştir.

### **Diğer kriterler**

Sulama sularının sınıflandırılmasında eriyebilir tuzların toplam konsantrasyonu, Ne iyonu konsantrasyonu ve özel iyon toksisitesi dışında diğer bazı kriterlerin de kullanımı önerilmektedir. Bu kriterlerden bazıları *kalıcı sodyum karbonat* RSC, *efektif tuzluluk* ES ve *potansiyel tuzluluk* PS parametreleridir.

Kalıcı sodyum karbonat değeri aşağıdaki formülle açıklanmaktadır;

$$RSC = (CO_3^{=} + HCO_3^{-}) - (Ca^{++} + Mg^{++}) \quad (4.4)$$

Ortamdaki ( $\text{CO}_3^{2-}+\text{HCO}_3^-$ ) ilk olarak iki değerlikli ( $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$ ) ile birleşme eğilimi gösterecektir. Bütün ( $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$ ) iyonları ( $\text{CO}_3^{2-}+\text{HCO}_3^-$ ) iyonları ile birleştiklerinde, ortamda hala ( $\text{CO}_3^{2-}+\text{HCO}_3^-$ ) var ise (sonuç "+") ortamdaki ( $\text{CO}_3^{2-}+\text{HCO}_3^-$ ) ile  $\text{Na}^+$  birleşme eğilimi gösterecektir ve eriyebilirliği sınırlı olan  $\text{NaHCO}_3$  oluşacaktır. Eğer sonuç "-" ise bu durumda sodyum bikarbonat oluşma olasılığı olmadığından, sodyum karbonatın olumsuz etkisi beklenmeyecektir. Eaton (1950), yalnızca RSC değerine göre sulama sularını aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır;

Suyun sınıfı	RSC (me/l)
1. sınıf (iyi)	1.25
2. sınıf (orta)	1.25-2.50
3. sınıf (uygun değil)	>2.50

Çizelge 4.1 Bor'a dayanıma göre bitkilerin sınıflandırılması (Anonymous, 1960)

Hassas	Yarı dayanıklı	Dayanıklı
1.0 ppm	2.0 ppm	4.0 ppm
Pecan	Ayçiçeği	Athel ( <i>Thamarix apilla</i> )
Ceviz	Patates	Kuşkonmaz
Yer elması	Pamuk(acala ve pima)	Hurma( <i>Phonix canariensis</i> )
Fasulye	Domates	Şeker pancarı
Amerikan karaağaç	Bezelye	Hayvan pancarı
Erik	Turp	Bahçe pancarı
Armut	Tarla bezelyesi	Yonca
Elma	Üçgül	Kuzgunkılıcı
Üzüm(sultan ve malaga)	Zeytin	Bakla
İncir	Arpa	Soğan
Amerikan hurması	Buğday	Şalgam
Kiraz	Mısır	Kabak
Şeftali	Yulaf	Lahana
Kayısı	Zinia	Havuç
Böğürtlen	Helvacı kabağı	
Portakal	Biber (bell pepper)	
Avokado	Tatlı patates	
Greypfruit	Lima fasulyesi	
Limon		
0.3 ppm	1.0 ppm	2.0 ppm

Yine de kalıcı sodyum karbonata bitkilerin dayanımı, bitki türlerine göre farklılık göstermektedir. Kum kültüründe yapılan çalışmalarda bazı bitki türlerinde bikarbonatın bazı besin maddelerinin alınmasına ve metabolizmasına etki ettiği gözlenmiştir.

Sulama sularının sınıflandırılmalarında göz önüne alınan bir diğer kriter *efektif tuzluluk* ES ve *potansiyel tuzluluk* PS dir (Doneen, 1954).

Efektif tuzluluk değerinin hesaplanmasında, toplam tuz konsantrasyonu değerinden sırasıyla  $\text{CaCO}_3$  (kalsit),  $\text{MgCO}_3$  (Dolomit) ve  $\text{CaSO}_4$  (jips) tuzları çıkartılır, kalan miktar efektif tuzluluk değerini verecektir. Bunun nedeni sulama

suyunda bulunan iyonların birbirleri ile birleşerek oluşturdukları bu birleşiklerin erirlikleri sınırlıdır ve bunlar çökerek ortamdan uzaklaşırlar. Geriye kalan katyonların toplamı suyun kalitesini belirlemede kullanılır. Bir diğer deyişle bunlar kalıcı katyonların toplamıdır ve ES değerini verirler. Buna ilişkin bir örnek çözüm Çizelge 4.2 'de görülmektedir.

Çizelge 4.2 Efektif tuzluluğun hesaplanmasına ilişkin bir örnek

	Meq/l	CaCO <sub>3</sub>	MgCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	Kalan
Ca <sup>++</sup>	3.1	-3.1 = 0			0
Mg <sup>++</sup>	3.8		-1.9 = 1.9		1.9
Na <sup>+</sup>	4.9				4.9
Toplam	11.8				<b>6.8</b>
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> +HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.0	-3.1 = 1.9	-1.9 = 0		0
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2.6				2.6
Cl <sup>-</sup>	4.2				4.2
Toplam	11.8				<b>6.8</b>

Görüldüğü gibi ortamdan CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> ve CaSO<sub>4</sub> tuzları çıkartılmış ve kalan 6.8 meq/l değeri, efektif tuzluluk olarak belirlenmiştir. Ortamda artan Ne<sup>+</sup> konsantrasyonuna dikkat edilmelidir.

Potansiyel tuzluluk kavramında ise sulama sularındaki Cl<sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>=</sup> iyonlarının konsantrasyonları göz önüne alınmaktadır. PS değeri şu eşitlikle bulunur;

$$PS = Cl + \frac{1}{2} SO_4 \quad (4.5)$$

Klor ve sülfat oldukça fazla eriyebilir olup, bazı bitkilere de toksik etkilerde bulunabilmektedir. Sülfat ise klora oranla daha az toksik olduğu için yarısı göz önüne alınmaktadır.

## SULAMA SUYU SINIFLANDIRMA SİSTEMLERİ

Sulama sularının sınıflandırılmaları için pek çok araştırmacı tarafından çeşitli yöntemler ortaya atılmıştır. Bu yöntemlerin göz önüne aldıkları kriterler birbirinden farklılık göstermektedir. Bu yöntemlerden bazıları sadece tuzluluk ve sodyumluluk parametrelerini göz önüne alırken, bazıları daha fazla parametreyi aynı sistem içerisinde incelerler. Doğal olarak çok sayıda parametreyi içeren sistemler daha doğru ve hassas sonuçlar veririrken, kullanımları bilgi birikimi ve daha fazla zamanı gerektirir. Buna karşın az sayıda parametre ile sonuç veren sistemlerin kullanımı daha pratik ve kolaydır. Ancak, unutmamak gerekir ki, tüm bu sistemler denendikleri alan ve yöre koşulları için en iyi sonucu verirler. Diğer bölgelerde ve iklimlerde kullanılmaları sonucunda daha farklı yorumlar gerekebilecektir.

Sulama sularının kalitelerinin değerlendirilebilmesi amacıyla geliştirilen sistemlerden bazıları aşağıda belirtilmiştir.



### Schofield (1933) sistemi

Sulama sularının sınıflandırılması amacıyla ortaya atılmış ilk sınıflandırma sistemlerindedir. Bu sistemde sular elektriksel iletkenlik (EC) ve %Ne değerlerine göre 5 sınıf altında toplanmışlardır (Çizelge 4.3);

Çizelge 4.3 Schofield (1933) sistemine göre sulama suyu sınıfları

Sınıflar	EC x 10 <sup>6</sup> , 25°C	%Na
1 Mükemmel	<250	<20
2 İyi	250-750	20-40
3 İzin verilebilir	750-2000	40-60
4 Şüpheli	2000-3000	60-80
5 Uygun değil	>3000	>80

### Schofield (1935) sistemi

Bu sınıflandırmasında Schofield, EC ve %Na yanında Cl<sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>=</sup> konsantrasyonu değerlerini de sınıflandırmaya dahil etmiştir. Bu sınıflandırmaya ilişkin değerler Çizelge 4.4 de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Schofield (1935) sistemine göre sulama suyu sınıfları

Sınıflar	EC x 10 <sup>6</sup> , 25°C	%Na	Cl <sup>-</sup> meq/l	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> meq/l
1 Mükemmel	<250	<20	<4	<4
2 İyi	250-750	20-40	4-7	4-7
3 İzin verilebilir	750-2000	40-60	7-12	7-12
4 Şüpheli	2000-3000	60-80	12-20	12-20
5 Uygun değil	>3000	>80	>20	>20

### Wilcox ve Magistad (1943) sistemi

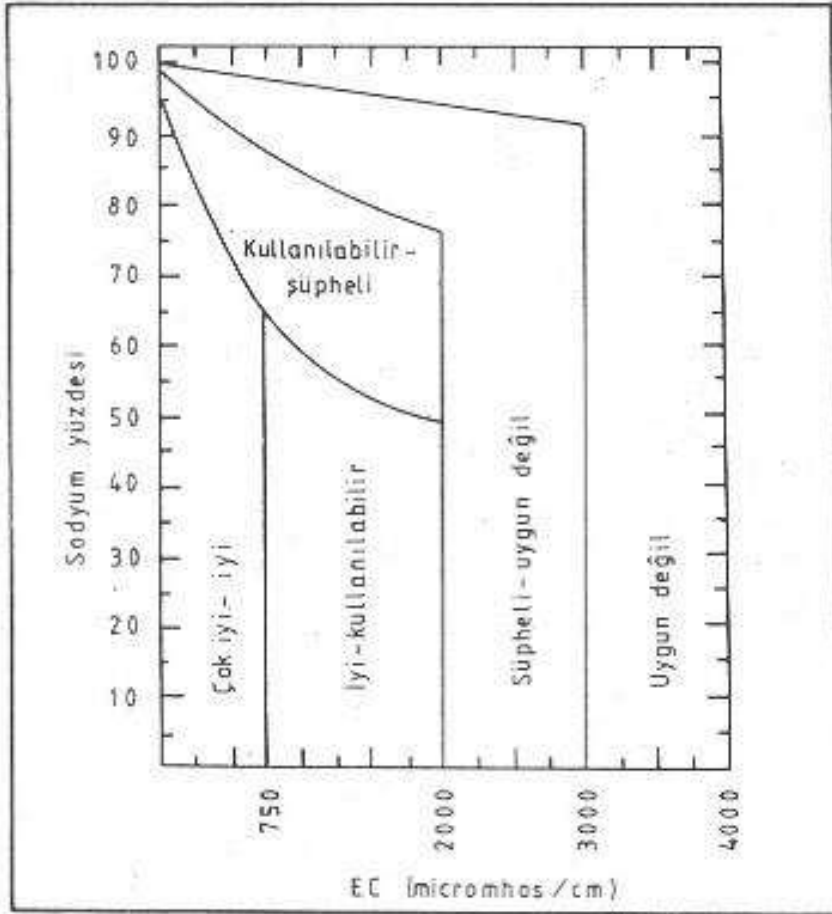
Bu sistem, Amerika Birleşik Devletlerinin pek çok eyaletinde geniş oranda kullanılmıştır. Bu sistemde sulama suları üç grup altında incelenmektedir. Sınıflandırma kriteri olarak ise EC, %Na, Bor ve Cl<sup>-</sup> değerleri göz önüne alınmaktadır. Sınıflandırma çizelgesi Çizelge 4.5 de verilmektedir.

Çizelge 4.5 Wilcox ve Magistad (1943) sulama suyu sınıfları

Sınıflar	EC x 10 <sup>6</sup> , 25°C	%Ne	Cl <sup>-</sup> meq/l	Bor ppm
1 Sınıf	<1000	<60	<5	<0.5
2 Sınıf	1000-3000	60-75	5-10	0.5-2.0
3 Sınıf	>3000	>75	>10	>2.0

### Wilcox (1948) Grafik sistemi

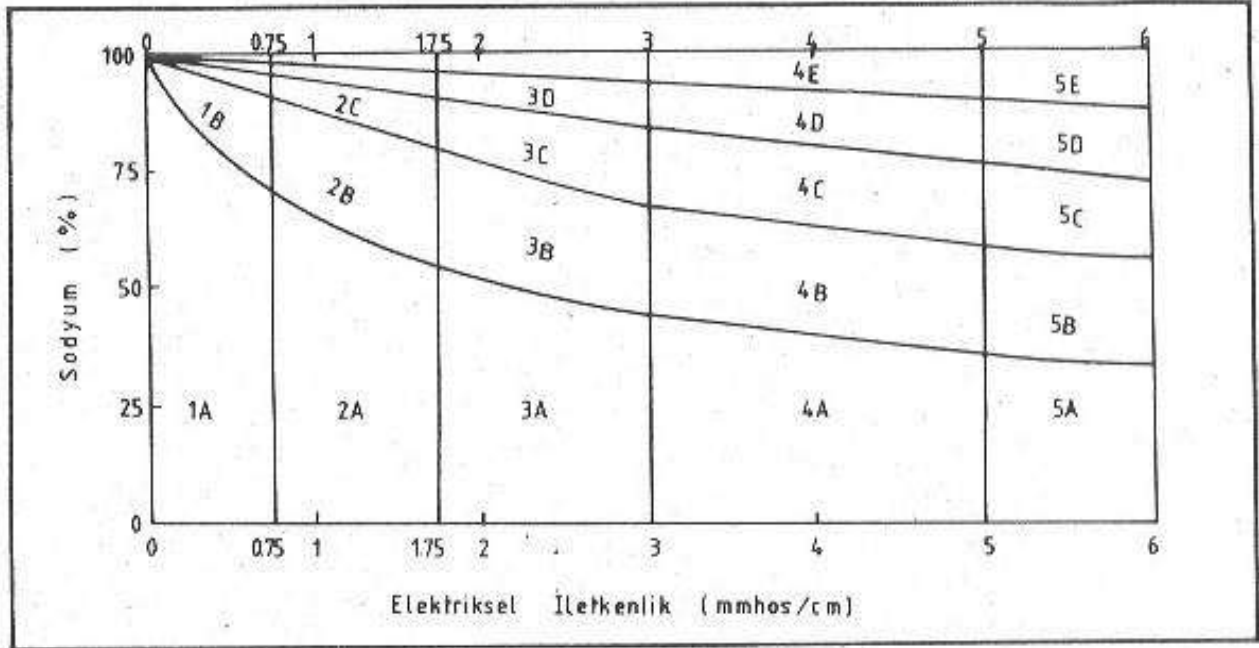
Wilcox (1948) sisteminde grafik bir sınıflandırma sistemi önermiştir (Şekil 4.1). Bu sistemde EC ve %Na değerleri göz önüne alınmaktadır. EC değeri düşük sulama suları bu sistemde yüksek %Na içeriklerinde dahi “çok iyi” olarak değerlendirilmektedirler.



Şekil 4.1 Wilcox (1948) grafik sınıflandırma sistemi

### Thorne ve Thorne (1951) Grafik Sistemi

Utah sulama suyu kaynakları üzerindeki çalışmalar sonucunda Şekil 4.2 de verilen sınıflandırma sistemi ortaya atılmıştır. Sistemde EC ve %Na değerleri sınıflandırma kriteri olarak göz önüne alınmış ve EC değerleri 1-5 arasında, %Na değerleri ise A-E arasında harflerle belirtilmiştir.



Şekil 4.2 Thorne ve Thorne (1951) sulama suyu sınıflandırma grafiği

### Anonymous (1954) – ABD Tuzluluk Laboratuvarı sınıflandırma sistemi

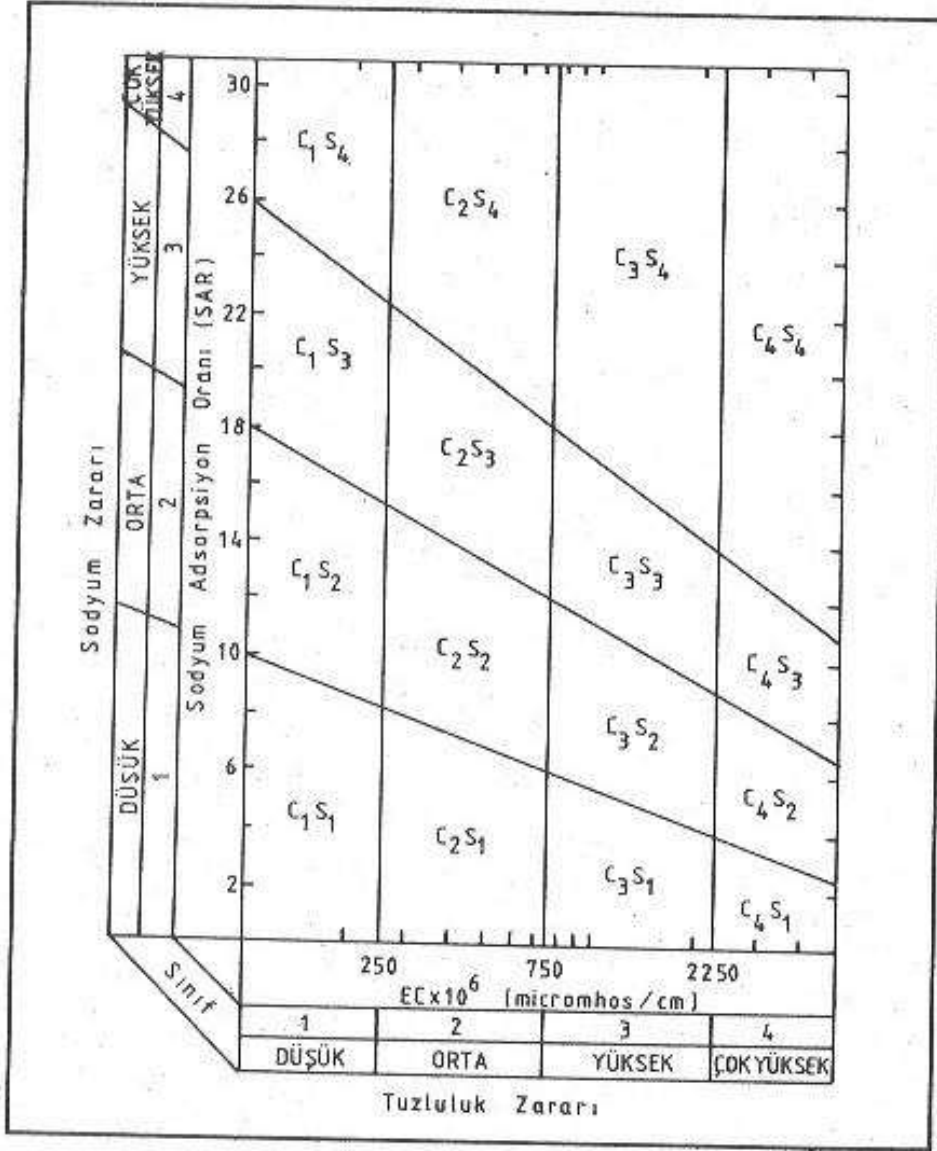
Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk laboratuvarı tarafından geliştirilen bu sistem ortaya atıldıktan sonra pek çok Ülke tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Bizim ülkemizde de yaygın bir kullanım alanı bulmuştur ve halen daha kullanılmaktadır. Sistemde sulama suları EC ve SAR değerleri göz önüne alınarak değerlendirilmektedir. Her iki kriter de 4 sınıf altında toplanmıştır ve tuzluluk zararı C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub> arasında, sodyumluluk zararı ise S<sub>1</sub>-S<sub>4</sub> arasında belirtilmektedir (Şekil 4.3). Söz konusu sınıfların değerlendirilmesi şu şekilde yapılmaktadır;

C<sub>1</sub> Düşük Tuzlu Sular: Elektriksel iletkenlik değeri 0-250 mS/cm arasında olan sulardır. Her bitki ve toprak için uygun olup tuzluluk problemi oluşturmadan uzun yıllar güvenle kullanılabilirler.

C<sub>2</sub> Orta Tuzlu Sular: elektriksel iletkenlik değerleri 250-750 mS/cm arasında olan sulardır. Tuza orta derecede duyarlı olan bitkilerde sorun yaratmadan kullanılabilirler. Ancak, tuza duyarlı bitkilerde yıkamaya önem verilmelidir.

C<sub>3</sub> Yüksek Tuzlu Sular: Elektriksel iletkenlik değeri 750-2250 mS/cm arasındadır. Fazla miktarda tuz içeren sulardır. Sürekli kullanılmaları halinde tuzluluk problemi yaratmamaları için sürekli yıkama ve özel toprak işleme uygulanması gerekir. Yetiştirilecek bitkilerin tuza dayanıklı olması gerekir ve özellikle drenajın yeterli olmadığı yerlerde kullanılmamalıdır.

C<sub>4</sub> Çok yüksek Tuzlu Sular: Bu suların elektriksel iletkenlik değeri 2250 mS/cm den daha yüksektir. Normal koşullarda bu sular sulamaya uygun değildir. Kullanılmaları ancak çok özel koşulları içermektedir. Örneğin tuzluluğa dayanımı yüksek bitkilerin yer aldığı drenajı iyi olan ve fazlaca yıkama suyu uygulanan alanlarda kullanılabilirler.



Şekil 4.3 Anonymous (1954) Sulama suyu sınıflandırma grafiği

S<sub>1</sub> Düşük Sodyumlu Sular: Bu sular Na<sup>+</sup> yönünden her bitki ve toprak koşulunda bir zararlanma oluşturmadan kullanılabilirler.

S<sub>2</sub> Orta Sodyumlu Sular: Kaba bünyeli ve yüksek geçirgenlikteki organik topraklarda sorun oluşturmadan kullanılabilirler.

S<sub>3</sub> Yüksek Sodyumlu Sular: Geçirgenliği yüksek kumlu topraklarda kullanılabilirler. Toprak tuzluluğunun da düşük olması gerekir. Genelde ise uygun drenaj fazla yıkama ve organik madde ilavesi gibi bazı özel toprak işleme programları uygulanmadıkça bu suların kullanılmaları sakıncalıdır. İçerisinde jips içermeyen topraklarda kimyasal ıslah maddeleri kullanılmalıdır.

S<sub>4</sub> Çok Yüksek Sodyumlu Sular: Bu sular sulamaya uygun değildirler. Yalnızca toplam tuz içeriği düşük, eriyebilir Ca<sup>+2</sup> miktarı yüksek topraklarda yıkama ile birlikte kimyasal ıslah maddelerinin de uygulanması koşulu ile kullanılabilirler

Grafiğin incelenmesinden görülebileceği gibi toplam tuzluluğun artması halinde Ne açısından da izin verilen sınıf değerleri daha düşük rakamlarda olmaktadır. Örneğin SAR değeri 8 olan bir sulama suyu, toplam tuzluluğu 250 mS/cm den düşük iken S<sub>1</sub> sınıfında, EC değeri 4000 mS/cm den büyük olduğunda ise S<sub>3</sub> sınıfında yer almaktadır.

### Doneen (1954) Efektif Tuzluluk Yöntemi

Donen (1954) tarafından ortaya atılmış ve efektif tuzluluk değerleri göz önüne alınarak oluşturulmuş bir sistemdir. Çözünürlükleri nisbeten sınırlı olan tuzların (CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub> gibi) hesaplama dışı bırakılmaları ve kalan tuzların esas tuzluluk etkisini oluşturdukları öngörüsüne göre oluşturulmuş bir sınıflandırma sistemidir. Bu tuz bileşiklerinin çözünürlükleri sınırlı olması nedeniyle konsantrasyonları, pH ve toplam tuzluluğa bağlı olarak çözünürlük sınırına ulaşana kadar çökelp ortamdan ayrılacaklardır. Çizelge 4.6 de deneysel sonuçlara göre oluşturulmuş sınıf değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.6 Donen (1954) Efektif Tuzluluk Sınıflandırma Sistemi

Toprak Koşulu	Birim	1. sınıf	2. sınıf	3. sınıf
Çok az sayıda yada hiç yıkamanın oluşmadığı topraklar	Meq/l ppm	<3 <165	3-5 165-275	>5 >275
Az ve sınırlı bir yıkama. Derine sızma yada drenaj yavaş	Meq/l ppm	<5 <275	5-10 275-550	>10 >550
Geçirgen topraklar. Suyun derine sızması çok kolay	Meq/l ppm	<7 <385	7-15 385-825	>15 >825

### Doneen (1959) Potansiyel Tuzluluk Sistemi

Sulama sularındaki Cl<sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>=</sup> iyonlarının zararlanmalara neden olduğu düşüncesi ile Donen (1959) bir sınıflandırma sistemi geliştirmiştir. Önceki kısımlarda Eşitlik 4.5 ile verilen değerlere göre oluşturulan bu sistemde sınıf değerleri Çizelge 4.6 da verilen değerlerle aynıdır.

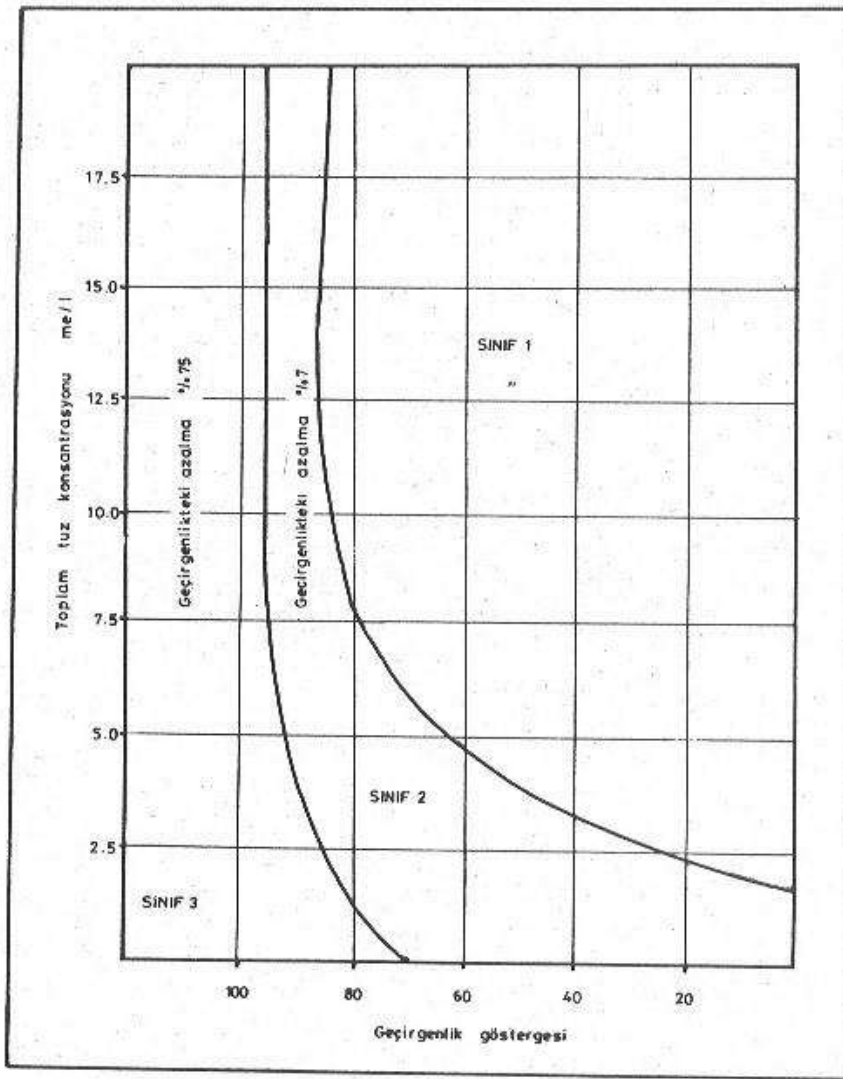
### Doneen (1966) Geçirgenlik Göstergesi Sistemi

Doneen (1966), çok sayıda ve farklı özellikte su kaynağı kullanarak bunlarla sulanan toprakların fiziksel özellikleri üzerinde yaptığı denemelere dayanarak bir

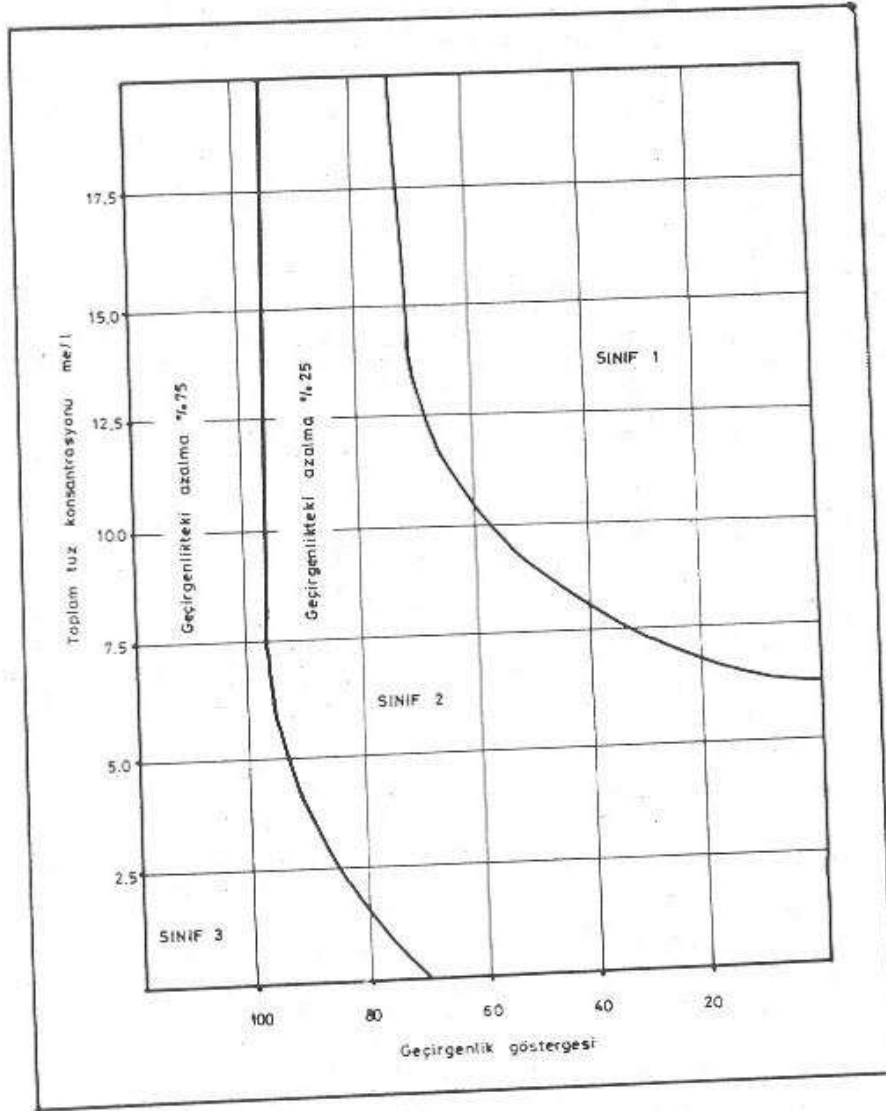
amprik ilişki geliştirmiştir. Geçirgenlik göstergesi "GG" olarak anılan bu ilişki sulama suyunun  $Na^+$ ,  $HCO_3$  ve toplam tuzluluk içeriklerine bağlı olup aşağıdaki biçimde verilmektedir (Şener, 1983);

$$GG = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3}}{\sum Katyon} \quad (4.6)$$

Sulama sularının tuz içerikleri, GG değerleri ve toprağın geçirgenlik özelliklerine göre Doneen (1966) sınıflandırma grafikleri oluşturmuştur. Bu grafiklerde (Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6) verilen nitelikteki bir sulama suyunun uzun süre kullanılması sonucunda toprak geçirgenliğindeki beklenen azalma oranları belirlenebilir.



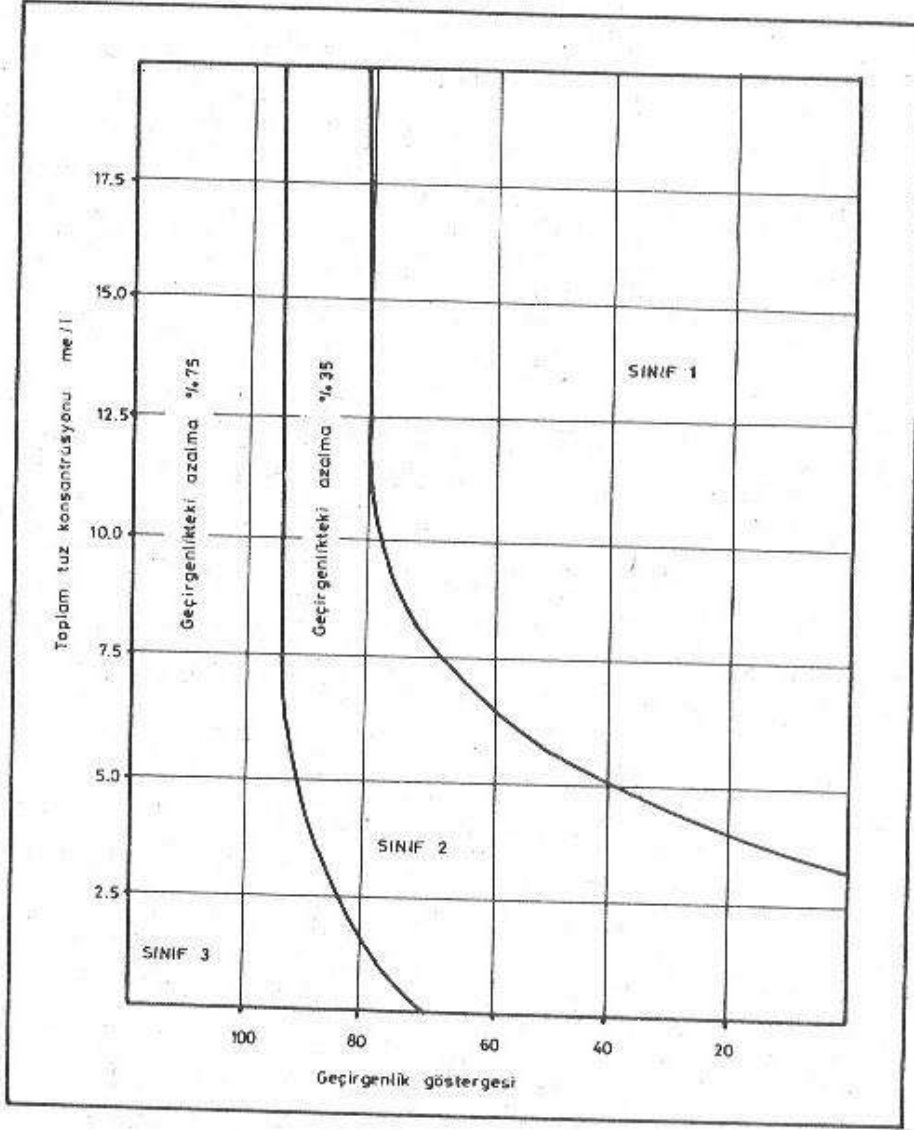
Şekil 4.4. Geçirgenliği düşük (<2 cm/h) topraklar için grafik



Şekil 4.5. Geçirgenliği orta (2-12 cm/h) topraklar için grafik

### Anonymous (1975) Sınıflandırma sistemi

Bu yöntemde sulama suyu kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla bir rehber tablo geliştirilmiştir. Bu tabloda sulama suları tuzluluk (EC), permeabilite, özel iyon toksisitesi (toprakten ve yaprakten) ve diğer etkiler konularında incelenmektedir. Bu sisteme ilişkin değerler Çizelge 4.7 da verilmiştir. Yorumlar, göz önüne alınan sınır değerlerine göre *sorun yok*, *sorun başlıyor* ve *sorunlu* olarak 3 sınıfta yapılmaktadır.



Şekil 4.6 Geçirgenliği yüksek (>12 cm/h) topraklar için grafik

### Christiansen ve ark (1977) Sınıflandırma Sistemi

Bu yöntemde sulama suları EC, %Na, SAR,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , Cl, ES (efektif tuzluluk) ve bor olmak üzere 7 kriter göz önüne alınarak sınıflandırılmaktadır. Çizelge 4.8 de, yukarıdaki değerler için en yüksek sınıflandırma sınır değerleri verilmektedir. Sulama suları değerlendirilirken tüm kriterler göz önünde bulundurulmalıdır ve sınıflandırma bu kriterlerden sadece bazılarına göre yapılmamalıdır. Ele alınan kriterlerden herhangi bir sınıfta en düşük sınıf değerini alan kritere göre sulama suyunun sınıfı belirlenmektedir. Birinci sınıfta yer alan sulama suları mükemmel



olarak değerlendirilmektedir. Sınıf değeri 5 yada 6 olan sular ise sulama açısından sakıncalı olarak nitelendirilmektedir.

Çizelge 4.7 Sulama suyu sınıfları rehber değerler (Anonymous, 1975)

Problem kaynakları	Sorun yok	Sorun başlıyor	Sorunlu
TUZLULUK Sulama suyu EC (dS/m)	<0.75	0.75-3.00	>3.00
PERMEABİLİTE Sulama suyu EC (dS/m) Adj.SAR	<0.50 <6.00	0.50 6.00-9.00	>0.50 >9.00
ÖZEL İYON TOKSİSİTESİ(Kök) Sodyum (Adj.SAR olarak) Klor (meq/l) (ppm) Bor (ppm)	<3.00 <4.00 <142 <0.50	3.00-9.00 4.00-10.00 142-355 0.50-2.00	>9.00 >10.00 >355 2.00-10.00
ÖZEL İYON TOKSİSİTESİ(Yaprak) Sodyum (meq/l) (ppm) Klor (meq/l) (ppm)	<3.00 <69 <3.00 <106	3.00 69 3.00 106	- - - -
DİĞER ETKİLER NH <sub>4</sub> -N ve NO <sub>3</sub> -N (ppm) HCO <sub>3</sub> (yağmurlama) (meq/l) (ppm) pH	<5 <1.50 <90	5-30 1.50-8.50 90-520 6.50-8.40 (normal)	>30 >8.50 >520

Çizelge 4.8 Christiansen ve ark. (1977) sınıflandırma sistemi

Sınıf	EC dS/m	%Na	SAR	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> meq/l	Cl meq/l	ES meq/l	Bor ppm
1	0.5	40	3	0.5	3	4	0.5
2	1.0	60	6	1.0	6	8	1.0
3	2.0	70	9	2.0	10	16	2.0
4	3.0	80	12	3.0	15	24	3.0
5	4.0	90	15	4.0	20	32	4.0
6	5. sınıf değerlerinden daha fazla						

### Rijtema (1981) sistemi

Bu yöntemde özellikle bahçe bitkilerinin sulanması amacıyla kullanılacak sulama suları için kalite sınırlarını belirten çizelgeler hazırlanmıştır. Sulama sularının toplam tuzluluğu ve Cl- içerikleri bakımından çok hassas, hassas ve dayanıklı bitkiler için kullanım sınırları belirtilmiştir (Çizelge 4.9 ve 4.10). Yine değişik toprak tekstürleri için sulama sularının SAR değerlerinin kullanım sınırları belirtilmiştir.

Çizelge 4.9 Suların tarımsal amaçlar için uygulanabilir olan TDS ve klor değerleri

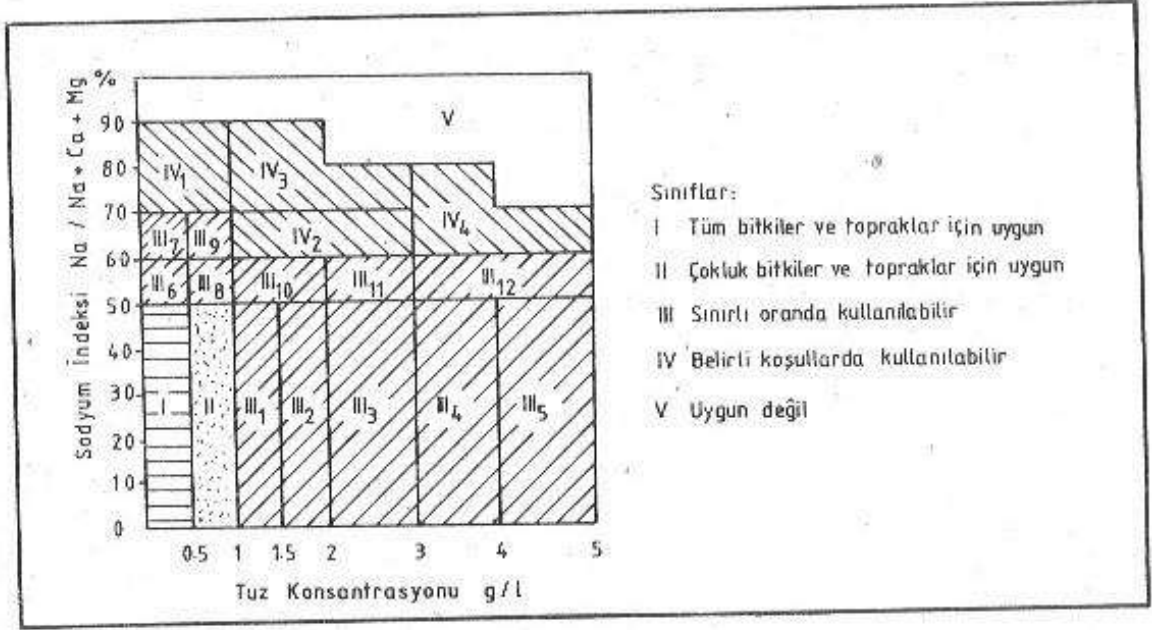
Su Tüketimi (yıllık, mm)		SINIR DEĞERLERİ			
		Çok hassas	hassas	Daha dayanıklı	
Toplam tuz	Serada (600-1000)	160	400	800	
	Açıkta	Nemli (100-300)	500	1250	2000
		Kurak, yarı-kurak (300-1000)	250	750	1000
Klor	Serada (600-1000)	40	100	200	
	Açıkta	Nemli (100-300)	200	400	700
		Kurak, yarı-kurak (300-1000)	100	200	350

### Soifer (1987) grafik sistemi

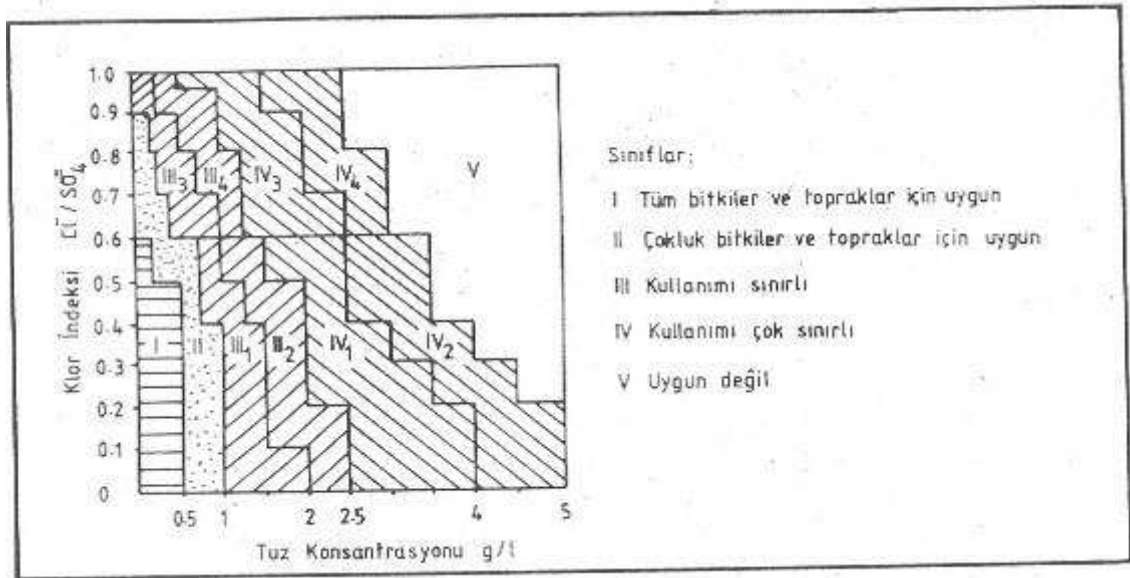
Soifer (1987) toprak alkaliliği tehlikesi, toprak tuzluluğu tehlikesi ve bitkilerin tuza dayanımları ile ilgili olarak 3 ayrı sınıflandırma sistemi ortaya koymuştur. Tuz konsantrasyonu ve sodyum indeksi değerlerine göre toprak alkalilik tehlikesi sınıflandırması Şekil 4.7 de, tuz konsantrasyonu ve klor indeksi değerine göre toprak tuzluluk tehlikesi sınıflandırması ise Şekil 4.8 de gösterilmektedir. Her iki sınıflandırmada da sular 5 sınıf altında incelenmektedir.

Çizelge 4.10 Farklı toprak tekstürleri için sulama sularının SAR değerleri ve uygunlukları

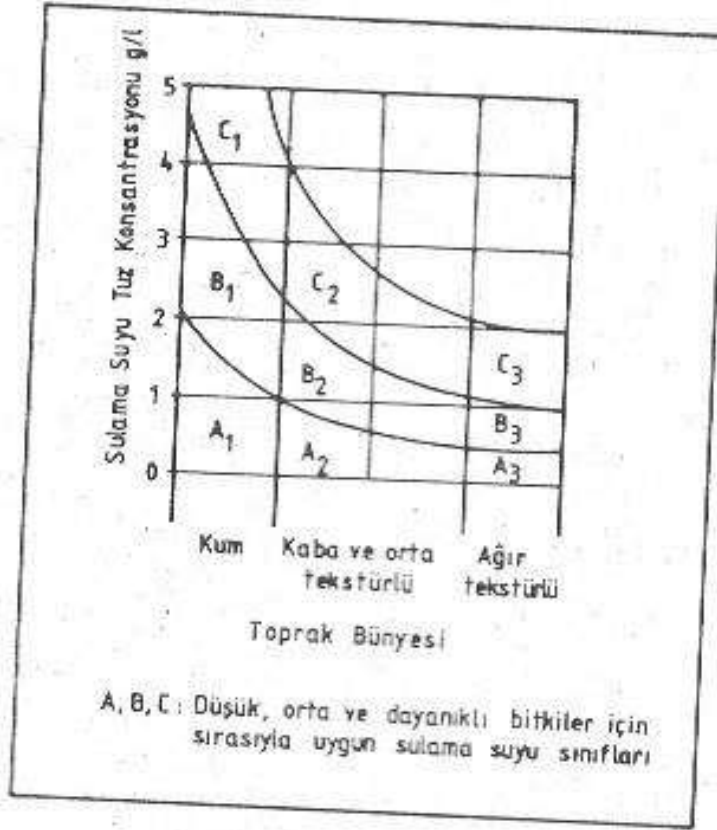
Toplam eriyebilir tuz konsantrasyonu (ppm)	SAR konsantrasyonunun topraklar için tehlikeli olacak değerleri			
	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
360	<8.2	8.2-15.4	15.4-22.6	>22.6
470	<6.1	6.1-12.2	12.2-18.3	>18.3
1200	<4.0	4.0-9.0	9.0-14.0	>14.0



Şekil 4.7 Sulama sularının toprak alkaliliğine göre sınıflandırılması (Soifer, 1987)



Şekil 4.8 Sulama sularının toprak tuzluluğuna göre sınıflandırılması (Soifer, 1987)



Şekil 4.9 Sulama sularının tuzluluğa dayanımları farklı bitkilere göre sınıflandırılmaları (Soifer, 1987)

Sınıflar içerisinde de yine sular gruplara ayrılmışlardır. Üçüncü sınıflandırma ise farklı tuza dayanım gösteren bitkiler için geliştirilmiştir (Şekil 4.9). Sistemde bitkiler dayanımsız, orta dayanıklı ve dayanıklı olarak ele alınmışlardır. Kriter olarak ise toprağın granülometrik bileşimi ve sulama suyunun tuz konsantrasyonu dikkate alınmıştır.

Sonuç olarak sulama sularının sınıflandırılmalarında kullanılan sistemlerin bir listesi, söz konusu sistemlerde göz önüne alınan kriterleri belirtecek biçimde Çizelge 4.11 da verilmiştir. Çizelgeden de izlenebileceği gibi ilk ortaya atılan sistemlerde genelde daha az sayıda sınıflandırma kriteri ele alınırken, özellikle 1960 lardan sonra geliştirilen sistemlerde EC ve sodyumluluğa ek olarak diğer bazı kriterler daha göz önüne alınmıştır. Tüm dünyada geniş kullanım olanağı bulan sistem Anonymous (1954) sistemi olmuştur. Halen daha bu sistem Ülkemiz dahil olmak üzere kullanılmaktadır.

*Çizelge 4.11 Sulama suyu sınıflandırma sistemleri ve göz önüne alınan kriterler*

ARAŞTIRICI ADI	YILI	GÖZ ÖNÜNE ALINAN KRİTERLER
Schofield	1938	EC, %Na
Schofield	1935	EC, %Na, Cl, SO <sub>4</sub>
Wilcox ve Magistad	1943	EC, %Na, Bor, Cl
Wilcox	1948	EC, %Na
Thorne ve Thorne	1951	EC, %Na
Anonymous	1954	EC, SAR
Doneen	1954	Efektif Tuzluluk-ES
Doneen	1959	Potansiyel Tuzluluk-PS
Doneen	1966	Geçirgenlik Göstergesi-GG
Anonymous	1975	EC, Adj.SAR, %Na, Cl, Bor, HCO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N
Christiensen ve ark.	1977	EC, SAR, %Na, RSC, Cl, ES, Bor
Rijtema	1981	TDS, Cl, SAR
Soifer	1987	Sodyum İndeksi, Klor İndeksi

## **KAYNAKLAR**

- Anonymous. Boron injury to plants. U.S. Dept. Of Agric., Agricultural Information Bull., 211, Washington, 1960.
- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. *Water Quality for agriculture*. FAO Irrig. And Drain. Paper No.29. Rome, 1989.
- Ayers, R.S. Quality of water for irrigation. J. Irrig. And Drain. Div., ASCE, 103(IR2):135-154, 1977.
- Ayyıldız, M. Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. A.Ü.Ziraat Fak. Yay. 879/244, Ankara, 1983.
- Christiansen, J.E.; E.C. Olsen and L.S. Willardson. Irrigation water quality Evaluation. J. Irrig. And Drain. Div., ASCE, 103(IR2):155-169, 1977.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils . U.S. Dept. Agr. Handbook. 60 s.
- Soifer, S.Ya. Irrigation Water Quality Requirements. Water Int. 12(1):15-18, 1987.
- Yurtsever, E. Ve B. Sönmez. Sulama Sularının Değerlendirilmesi. Toprak ve Gübre Araşt. Enst. Md. Yay. 181/T-63, Ankara, 1992.

## **BÖLÜM V: SULAMA SUYU ANALİZ SONUÇLARININ İFADE ŞEKİLLERİ, GENEL BİRİMLER, ÇEVİRME VE FAKTÖRLERİ**

### **ANYON VE KATYONLARIN İFADE BİÇİMLERİ**

Sulama sularının analizleri sonucu elde edilen rakamsal değerlerin yorumlanması ve laboratuvar analiz sonuçlarının değerlendirilmesi aşağıda anlatılan biçimde yapılır.

Laboratuvar analiz sonuçlarından anyon ve katyonların ifade edilmelerinde meq/l, mmol/l, mg/l ya da ppm birimleri kullanılır. meq/l ile mmol/l terimleri matematik olarak eşdeğerdirler ve genelde anyon ve katyonların ifade edilmelerinde en sık kullanılan birimlerdir. Benzer biçimde milyonda bir kısım (ppm) ile litrede miligram değerleri de matematik eş değerdirler.

### **ELEKTRİKSEL İLETKENLİĞİN İFADE BİÇİMLERİ**

Sulama sularında bulunan toplam erimiş katı maddelerin (tuzlar) ifade edilmesinde kullanılan elektriksel iletkenlik değeri laboratuvarında 25°C de (micromhos/cm) olarak ifade edilir. Ancak, bu birim son yıllarda yerini siemens'e bırakmıştır.

$$1 \text{ milisiemens/cm (mS/cm)} = 1 \text{ milimhos/cm (mmhos/cm)} = 10^3 \text{ micromhos/cm (}\mu\text{mhos/cm)}$$

$$1 \text{ mS/cm} = 1 \text{ dS/m}$$

Elektriksel iletkenlik değerleri laboratuvarında standart olarak 25°C sıcaklık için ifade edilirler. Laboratuvar sıcaklığının bu değerden farklı olması halinde sıcaklık ile ilgili düzeltmenin yapılması gerekir. Ancak, kullanılan EC metreler (Elektriksel iletkenlik ölçer) otomatik olarak ölçülen değerleri 25°C sıcaklığa çevirerek verirler.

### **ANALİZ RAPORU YAZILMASI VE KONTROLÜ**

Sulama sularının laboratuvarında yapılan analizleri sonucu elde edilen değerler “su analiz formu” na işlenirler. Bu form üzerinde EC, pH, anyon ve katyon analizleri ile varsa özel iyon analizleri, hesaplanan bazı parametreler ve suyun kalite sınıfı belirtilir.

Laboratuvar analiz sonuçlarının güvenilirliği amacıyla, elde edilen analiz sonuçları arasında ilişkiler kontrol edilir. Laboratuvar analiz sonuçlarının doğruluğunu ortaya koyabilmek amacıyla analiz sonuçları karşılıklı olarak kontrol edilirler. Bir analizden elde edilen sonuç ile diğer bir analizden elde edilen sonuç uyumlu olmalıdır. Sonuçlar karşılıklı olarak karşılaştırılmak suretiyle raporun güvenilirlik derecesi saptanır. Bu karşılaştırma ancak, birbiri ile ilişkili olan analizler yönünden yapılır. Bu karşılaştırmalar şunlardır:

## Elektriksel iletkenlik ile toplam katyon konsantrasyonu ilişkisi

Suyun elektriksel iletkenlik değeri (dS/m) ile katyon toplamı arasında şu ilişki olmalıdır;

$$\sum K(\text{meq/l}) / [EC (\text{dS/m})] = 10 \quad (EC < 1 \text{ dS/m})$$

$$\sum K(\text{meq/l}) / [EC (\text{dS/m})] = 12 \quad (EC > 10 \text{ dS/m})$$

Sulama suyunun içerisinde bulunan diğer iyonlara bağlı olarak bu oranlar değişmektedir. Kalsiyum ve magnezyumca zengin yüksek bikarbonat yada sülfatlı sular için bu oran artarken, sodyumca yüksek klorlu sular için azalabilecektir.

## Anyon toplamı ile Katyon toplamı ilişkisi

Sulama sularının analiz değerlerinden anyon toplamı değeri ile katyon toplamı değeri, meq/l olarak ifade edildiklerinde birbirine eşit olmalıdır.

$$\sum \text{Katyon (meq/l)} = \sum \text{Anyon (meq/l)}$$

Laboratuvarda yapılan analizlerin değişik nedenlerden ötürü %100 doğrulukta yapılmaları olanaksızdır ve kaçınılmaz hatalardan ötürü analiz sonuçları ancak belirli sınırlar içerisinde güvenilir olabileceklerdir. Hatalar; 1)Kişisel, 2)Alet ve kimyasal maddelerden kaynaklanan, 3)Yöntemden kaynaklanan ve 4)Düzensiz (nedeni belli olmayan) olmak üzere çeşitlidirler.

Kullanılan alet ve ekipmanların ayarlarının düzgün ve düzenli olarak yapılması ile ve analizlerin kontrollü olarak paralelli şekilde yapılmaları hataların en düşük düzeyde olmalarını sağlayacaktır.

Katyon ve anyon toplamlarının kontrolü için önce % hata miktarı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmalıdır;

$$\% \text{ Hata} = [(Katyon - Anyon) / (Katyon + Anyon)] \times 100$$

İzin verilebilir hata miktarları anyon ve katyonların konsantrasyonlarına göre aşağıda verilmiştir.

Toplam anyon yada katyon konsantrasyonu, meq/l	İzin verilebilir hata sınırı %
1	10
2	6
14	3
30	2

## Elektriksel iletkenlik ile tuzların ppm değeri arasındaki ilişki

Sulama sularının analizi sonucunda bulunan toplam tuz konsantrasyonu ile elektriksel iletkenlik değeri arasında aşağıda gösterilen ilişki bulunmaktadır;

$$(\text{ppm}) / [EC (\text{dS/m})] = 640$$



Yapılan analiz sonuçları bu eşitlik ile kontrol edilir.

### **Erimiş tuzların toplam konsantrasyonu ile katyon toplamı arasındaki ilişki**

Analiz sonuçlarına göre elde edilen değerlerden ppm olarak erimiş tuzların toplam konsantrasyonu ile meq/l olarak toplam katyon miktarı arasında aşağıdaki ilişki bulunmaktadır;

$$(ppm) / (meq/l) = 64$$

Ancak bu ilişkideki 64 rakamı sabit bir değer olmayıp katyon konsantrasyonuna bağlı olarak değişebilmektedir. Katyon konsantrasyonunun artması ile bu değer azalmaktadır. Bu durum aşağıdaki çizelgede belirtilmektedir.

Çizelge 1-Katyon konsantrasyonu ve elektriksel iletkenlik değerleri arasındaki ortalama ilişki

meq/l	dS/m	mg/l	mg/meq	(meq/l)/(dS/m)
10	1	640	64	10
120	10	7000	58.3	12

### **Sulama suyu pH değeri ile karbonat ve bikarbonat konsantrasyonları ile kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonları ilişkisi**

Sulama suyu pH değeri 8.2 den düşük olması halinde karbonat miktarı çok az olmalı yada hiç bulunmamalıdır.

Sulama sularında kalsiyum ve magnezyum konsantrasyonları pH değerinin 9 un üzerinde olması halinde nadiren 2 meq/l değerinden fazla olur.

### **RAPORDA BELİRTİLECEK DİĞER DEĞERLER**

Sulama sularının analiz raporlarında yukarıda sayılanlar dışında bazı parametreler hesaplanarak belirtilirler. Bu değerler aşağıda belirtilmiştir.

#### **Sodyum Yüzdesi (%Na)**

Sulama sularının olası sodyum zararını belirtmek amacı ile kullanılan bir parametredir. Katyon analizlerinden sodyum miktarının diğer katyonlara olan nisbi oranını belirtir. Aşağıdaki gibi formüle edilir;

$$\%Na = \frac{Na^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{++} + Mg^{++}} \cdot 100$$

Eşitlikteki tüm değerler meq/l cinsinden verilmektedir.

#### **Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)**

Sulama sularının olası sodyum zararını belirtmek amacıyla kullanılan bir başka parametredir. Burada Na iyon konsantrasyonunun  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  toplamına

olan oranı belirtilmektedir. Bu parametre olası Na<sup>+</sup> zararını belirtmede %Na değerinden daha işlevsel olmaktadır. Bu parametre Na<sup>+</sup> miktarının +2 değerlikli diğer katyonların toplamının kareköküne olan oranını belirtmektedir ve SAR değerinin artması ile olası sodyum zararı da artmaktadır. SAR değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır;

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

Burada tüm iyon konsantrasyonları meq/l olarak verilmiştir.

### **Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC)**

Sulama suyu kalite sınıflandırılmasında bazı araştırmacılar tarafından önerilen bir parametredir. Ortamda bulunan karbonat bikarbonat konsantrasyonu ile Ca<sup>+2</sup> ve Mg<sup>+2</sup> konsantrasyonu arasındaki farka bakılarak olası sodyum karbonat oluşması olayı incelenir. RSC değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır;

$$RSC = (CO_3^{=} + HCO_3^{-}) - (Ca^{++} + Mg^{++})$$

Burada değerler meq/l olarak verilmektedir. Eşitliğin (+) çıkması demek ortamda sodyum ile birleşip kalıcı sodyum karbonat oluşturabilecek miktarda karbonat ve bikarbonat bulunmaktadır ve bu oluşum da sodyum zararı yaratabilecek bir risk faktörüdür. Sonucun (-) çıkması halinde ise herhangi bir Na<sup>+</sup> zararı olasılığı yoktur anlamına gelmektedir. Genel olarak RSC>2.5 olan suların sulamada kullanılmaları sakıncalıdır.

### **SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR SULU TARIM SAĞLAMADA TOPRAK TUZLULUĞU VE SODYUMLULUĞU İLE İLGİLİ OLARAK GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULMASI GEREKEN TEMEL PRENSİPLER**

**Bitkilerin gelişmeleri, yetiştikleri toprak eriyiğinin ozmotik basıncı ile toprak taneleri rutubet tansiyonunun toplamından oluşan toplam rutubet geriliminin bir fonksiyonudur.**

Toprak çözeltisi içerisinde bitki köklerinin suyu emebilmeleri için yenmeleri gereken iki kuvvet vardır; bunlar matris tansiyonu ve ozmotik basınçtır.

$$TRG = MT + OB$$

*Burada; TRG=toplam rutubet gerilimi, MT=matris tansiyonu, OB=ozmotik basıncı ifade eder.*

Matris tansiyonu toprak tanelerinin suyu tutma gücünü ifade eder ve değeri toprak suyunun miktarına bağlıdır. Toprak içerisinde tutulan su miktarı tarla kapasitesi değerine yaklaştıkça matris tansiyonu değeri de azalır ve bitki suyu topraktan daha düşük bir kuvvet ile alabilir, böylece kendi meyvesini geliştirmek için daha fazla enerji harcayıp verimini artırabilir. Bunun tersi durumda ise, yani toprak içerisinde su miktarının azalması halinde, su toprak kolloidleri tarafından daha güçlü olarak tutulduğundan, bitki bu suyu alabilmek için daha fazla enerji harcamak zorunda kalır ve kendi biomas üretimine (verimine) ayırabileceği enerjisi

azalır, sonuçta verimini azaltır. Bu durumda Matris tansiyonunu düşük tutmak sulama aralığına bağlıdır. Ozmotik basınç ise çözelti içerisinde bulunan erimiş katıların oluşturduğu bir basınçtır. Ozmotik basıncın düzeyi çözelti konsantrasyonu ile ilgilidir ve dolayısı ile tuzluluğun fazla olması halinde ozmotik basınç değeri de yüksek olacağından bitkilerin topraktan suyu almaları zorlaşır. Ozmotik basıncın düşürülmesi için toprakta biriken tuzların kök bölgesinden uzaklaştırılmaları (yikanmaları) gerekecektir.

### **Toprak içerisinde su doymuş ve doymamış koşullar altında Darcy Kanununa göre hareket eder.**

Bu kanun toprak içerisinde hareket eden suyun akım hızının hidrolik eğim ile doğru orantılı olduğunu ve akım yönünün hidrolik yükteki en fazla azalmanın olduğu yönde olduğunu açıklamaktadır. Aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$v = k \times i = k \frac{h}{l}$$

Burada;  $v$ =suyun akım hızı(m/h),  $k$ =hidrolik geçirgenlik,  $i$ =hidrolik eğim,  $h$ =hidrolik yük(m),  $l$ =söz konusu noktalar arasındaki yatay mesafe(m) değerleridir.

Bu prensip yer altı suyu kaynağının ve akım yönünün belirlenmesinde ve özellikle tarım arazilerindeki drenaj sorunlarının çözülmesinde oldukça yararlıdır.

### **Eriyebilir tuzlar toprak içerisinde universal çözücü olan su ile yer değiştirirler**

Toprak içerisinde tuzun hareketi su ile birlikte olmaktadır. Bu prensip sonucunda suyun hareketine bağlı olarak tuzların hareketleri incelenebilmektedir. Toprakta suyun hareketi sonucunda tuzların da ne şekilde yer değiştirebilecekleri kontrol edilebilmektedir. Su sulamadan hemen sonra yerçekimi etkisinde olarak alt katlara doğru hareket eder, böylece üst toprak bölümlerinde önceden birikmiş olan tuzlar alt katlara doğru yikanırlar. Sulamanın kesilmesi ile birlikte suyun tüketilmesi aşamasına geçilir ve bu aşamada suyun hareketi kapılar kuvvetlerin etkisi ile her yöne doğru olabilmektedir. Yüksek taban suyundan kök bölgesine doğru hareket söz konusu olduğunda, özellikle tuzluluk açısından önemli olacaktır çünkü taban suyu tuzlulukları her zaman için yüksek olmaktadır.

### **Topraktaki eriyebilir tuzların konsantrasyonu toprak yüzeyinden buharlaşma ve bitkilerden terleme şeklinde tüketilmesi ile fazlalaşır (Evaporatif tuzluluk)**

Toprak suyu yüzeyden buharlaşma ile ve yapraklardan terleme yolu ile tüketilir. Gerek buharlaşan su gerekse bitki kökleri ile alınan su saf yada saf yakın konsantrasyondadır. Bu nedenle suyun tüketilmesi ile toprak çözeltisi konsantrasyonu da artmaya başlar. Toprak çözeltisinin daha konsantre hale gelmesi ile bitki suyu almakta daha da zorlanmaya başlar. Aynı zamanda toprak suyunun azalması ile kapılar kuvvetleri artacağından, tuzlu taban suyundan olan kapılar yükselme miktarı da artabilir ve tuzlulaşma süreci hız kazanabilir.

### **Kök bölgesi içerisinde tuzların miktarının değişmesi, sulama suyu ile ya da diğer kaynaklardan kök bölgesine iletilen tuzların miktarına bağlıdır (tuz dengesi)**

Kök bölgesine iletilen tuz miktarı ile kök bölgesinden uzaklaşan tuz miktarı arasında bir denge oluşturulmalıdır. Bir başka deyişle toprak tuzlulaşmasının kontrol edilebilmesi ve önlenmesi için iletilen tuzların miktarı, yıkanan tuz miktarından daha fazla olmamalıdır. Bu konu tuz dengesi kavramı ile açıklanmaktadır. Sulanan alanlarda alınacak “tuzluluk yönetimi prensipleri” ile bu denge korunmaya çalışılmalıdır. Kök bölgesine iletilen tuzların miktarının yıkanan tuz miktarından fazla olması halinde toprak tuzluluğu sürekli olarak artma gösterecektir. Yetiştirilen bitkinin dayanım sınırını aştığında ise tuzluluk etkisinde verim kayıpları söz konusu olacaktır. Bu nedenle toprak, iklim, bitki, sulama ve drenaj yöntemleri ve sulama ve drenajın yeterliliği, yıkama gibi konuların bir sistem içerisinde dengeye ulaştırılması ile tuzlulaşma sürecinin önlenmesi olanaklı hale gelecektir.

### **Toprak çözeltisi içerisinde bulunan katyonlar ile kolloidler tarafından adsorbe edilen katyonlar arasında denge reaksiyonları oluşur.**

Bu prensip özellikle tuzlu ve sodyumlu toprakların ıslah edilmelerinde oldukça önemli olmaktadır. Toprak kolloidler tarafından adsorbe halde tutulan katyonların özelliklerinin bilinmesi ile bunlarla yer değiştirecek katyonları içeren kimyasal maddelerin kullanılması olanaklı hale gelmektedir.  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  tuzlarının sadece yıkama ile topraktan uzaklaştırılmaları mümkün olmakta iken, adsorbe edilmiş Na iyonunun toprak ortamından uzaklaştırılması ancak  $Na^{+}$  ile diğer katyonların yer değiştirilmeleri ile olanaklı olmaktadır. Toprak kolloidlerince fazla miktarda Na adsorbe edilmesi halinde toprak fiziksel özelliklerinin kötüleşmesi ve bitkiye toksik etki başlayacaktır.

### **Toprak tanelerinin kümelenmeleri ve kümelerin dağılması toprağın değişebilir katyon durumuna ve toprak eriyiğinin iyon konsantrasyonuna bağlıdır**

Toprak tanelerinin kümelenmesi olayına “flokülasyon” yada “koagülasyon”, kümelerin dağılması olayına ise “dispersiyon” adı verilir. Flokülasyon daima arzu edilen bir özellik iken dispersiyon istenmeyen ve toprağın fiziksel özelliklerinin kötüleşmesine neden olan bir özelliktir. Flokülasyon genelde +2 değerlikli katyonların etkisinde meydana gelirken, dispersiyon  $Na^{+}$  etkisinde oluşmaktadır.

## BÖLÜM VII : TUZLULUĞUN BİTKİYE ETKİSİ

### **GİRİŞ**

Halofitler gibi diğer bitkiler dayanabilirken, glikofitler veya halofit-olmayan bir çok bitkiler sodyumlu ve tuzlu koşulların stresine dayanacak niteliklere sahip değildirler. Burada sözü edilen stres bitkinin büyüme, gelişme ve üreme gibi genetik potansiyelinin belirlediği normal koşulların dışında gelişen durumlara denmektedir. Tuzluluk ve sodyumluluk stresi konsantrasyonlar, aktiviteler ve benzer birimlerle ifade edildiği için sodyumlu yada tuzlu koşullarla stresin olmadığı koşulları birbirinden kesin biçimde ayıran bir çizgi yoktur. Bunun yerine stresin olmayışı ya da çok şiddetli stres durumlarından söz edilir. Glikofitler arasında bile ne tuza dayanım ne de tuza hassasiyet arasında kesin bir ayırım yoktur. Bu açıdan tür içindeki genotipler bile büyük farklılıklar gösterir. Belli bir bitki için hassasiyet ya da tolerans, bitkinin kötü etkilendiğini gösterdiği devamlı stres noktası ya da değişim aralığı şeklinde gösterilir. Bu sadece stresin yoğunluğuna değil aynı zamanda ortamın kimyasal kompozisyonu, sıcaklık, ışık yoğunluğu, bağıl nem ve birçok diğer faktörlere bağlıdır.

Hindistan cevizi ve hurma dışındaki bir çok kültür bitkisi ya glikofittir ya da halofit-olmayandır. Bu bölümde, bitki türlerine değinilecek ancak halofitler ayrı olarak tartışılacaktır. Halofitlerdeki tuza dayanım mekanizması Flowers (1985), Flowers ve ark. (1977), Waisel (1972) ve Wyn Jones (1981) ve diğerleri tarafından araştırılmıştır.

### **TUZLULUK VE SODYUMLULUK**

Bitkilerin tuzluluğa gösterdiği tepki bağlamında tuzluluk, ozmotik potansiyeli azaltma yoluyla, köklerin etkisinde kaldığı çözeltinin kolligatif özelliklerinin etkilendiği çözünebilir tuzların çok yüksek düzeylerdeki konsantrasyonunu ifade eder. (çözeltilerin kolligatif özelliklerinin cetvelleri için, Wyn Jones ve Gorham 1983). Tarımsal bağlamda, toprak saturasyon ekstraktının 25°C deki elektriksel iletkenliği 4 dS/m'yi aşarsa ve katyon değişim kapasitesi 15'den düşükse tuzlu olarak kabul edilir. Aşağıda da tartışıldığı gibi, tuzlu ya da tuzsuz koşullar arasında kesin çizilmiş bir sınır mevcut değildir. Toplam tuzluluğun yanında birçok faktör bitkinin tuzluluğa tepkisini etkiler.

Sodyumluluk birçok kriterle belirlenir; değişebilir sodyum oranı ESP ve sodyum adsorpsiyon oranı SAR en yaygın olanlarıdır. Daha eskiden sodyum iyonları tarafından tutulan toprağın katyon değişim komplekslerinin oranı ile tarif edilirdi. Eğer bu oran 15'i aşarsa toprak sodyumlu olarak kabul edilir (Richards 1954). Bitkide sodyumun zararını belirlemede genellikle sodyum adsorpsiyon oranı tercih edilir.

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

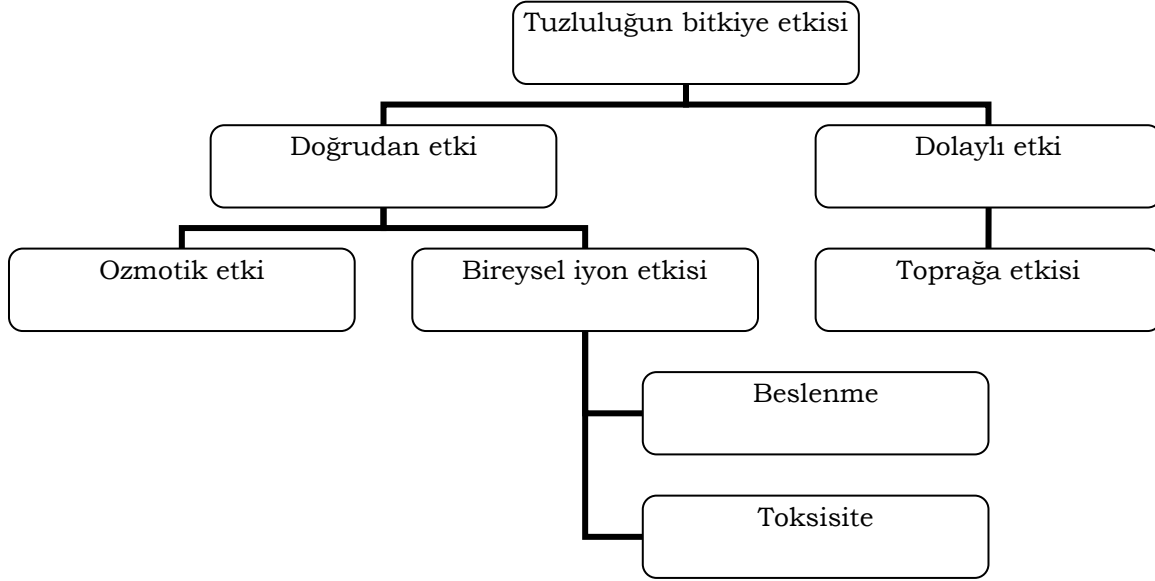
SAR değerinin 15 den yüksek olması tuzluluğu işaret eder. Bununla birlikte sodyumlu ya da sodyumsuz topraklar arasındaki farkı ortaya koyan tek bir değer

yoktur. Northcote ve Skene (1972)'ye göre, ESP'nin 6 veya daha yüksek olduğu topraklar sodyumlu, 15'in üstünde olanlar ise şiddetli sodyumludur.

Tuzluluk ve sodyumluluk koşulları arasındaki ayırım iki koşulu da kapsayan genel terimler ile ifade edilir.

## TUZLULUK-BİTKİ GELİŞİMİ İLİŞKİSİ

Tuzluluk bitki gelişimi üzerine aşağıdaki şemada gösterilen etkileri oluşturmaktadır. Genelde dolaylı ve doğrudan etki şeklinde gruplandırılan bu etkiler kendi içinde de sınıflara ayrılmaktadır.



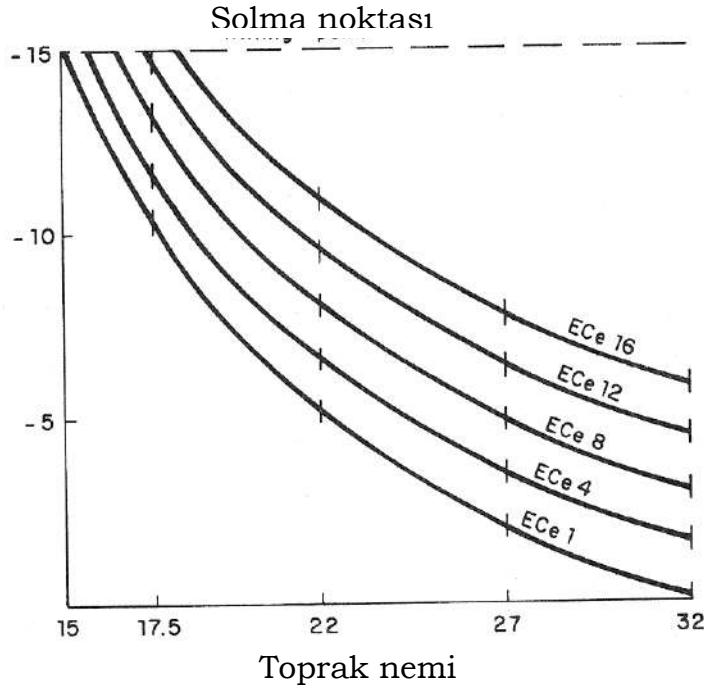
Şekil 7.1 Tuzluluğun bitki gelişimine olan etkileri

### Ozmotik Etki

Sulamanın birinci derecedeki amacı bitkiye gerek duyduğu zamanda ve gerek duyduğu miktarda suyu kök bölgesine ulaştırmaktır. Yetersiz su alımı halinde bitki veriminde ve meyve kalitesinde azalmalar ortaya çıkacaktır. Bununla birlikte tekrarlanan sulamalar sonucunda kök bölgesine sürekli olarak sulama suyu içerisinde bulunan tuzları da yığmaktayız. Biriken bu tuzlar nedeniyle bitkilerin kökleri ile suyu topraktan alımları etkilenmektedir. Bu mekanizma bilindiğinde tuzluluk nedeniyle ortaya çıkabilecek olan su alımındaki eksiklik sorunları ile baş etmek mümkün olabilecektir.

Bitkilerin suyu topraktan alabilmeleri için, suyun toprak tarafından tutulmasına neden olan toplam kuvvetten daha fazla bir güç üretmesi gerekmektedir. Toprakta suyu çekip bünyesine alabilecek kadar bir gücü üretmediği takdirde ise bitki nem eksikliği etkisinde kalacaktır. Bu durum toprak çok kurduğunda ortaya çıkar. Tuzluluk etkisinde bitkinin suyu alması için yenmesi gereken fazladan bir güç ortaya çıkar ve bu kuvvet "ozmotik potansiyel" olarak adlandırılır. Örneğin iki aynı özelliğe sahip toprak içerisinde, aynı nem içeriğinde, bitkiler daha az tuzlu olan topraktan daha fazla su çekebilirler. Bunun nedenini basit olarak açıklayabilmek mümkün değildir. Tuzlar suya bir çekim gücü

uygularlar. Eğer suyun içerdiği tuz miktarı nisbeten fazla ise, bitkiler bu tür bir topraktan suyu bünyelerine çekip alabilmek için oransal olarak daha az tuz içeren çözelti ortamına göre daha fazla güç harcamak zorundadırlar.



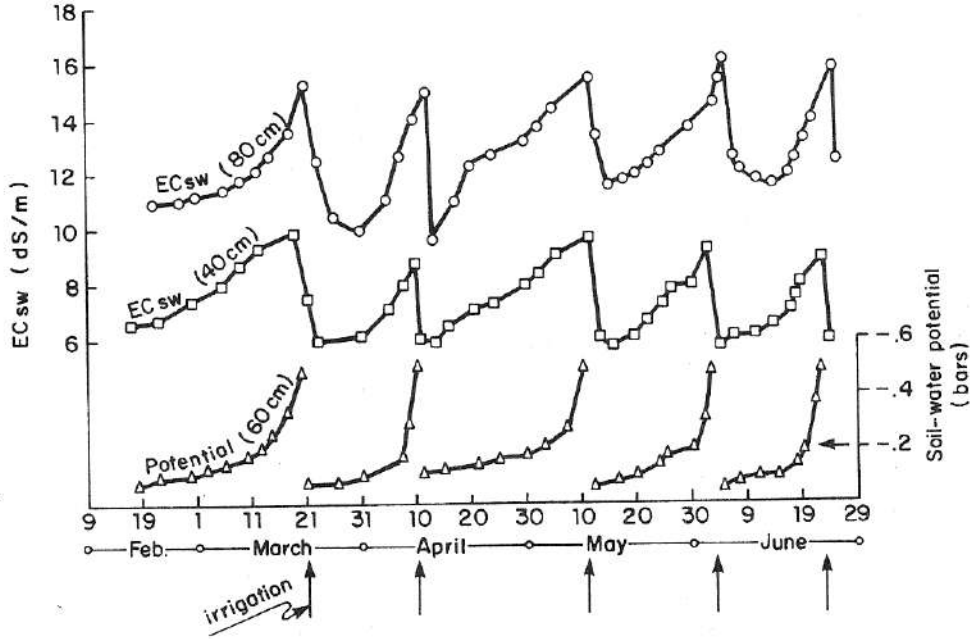
Şekil 7.2 killi toprakta farklı tuz içeriklerinde ( $EC_e$ ) toprakta tutulan su miktarları

Bütün pratik amaçlar için, tuzlu bir toprakta oluşacak, suyun alınmasında ek potansiyel enerji gereksinimi (ozmotik potansiyel), tuzsuz bir topraktakine göre fazladan oluşmuş bir enerji gereksinimi olarak karşımıza çıkar. Bunun birikmiş etkisi Şekil 7.2 de görülmektedir. Artan tuzluluk etkisinde bitkinin alabildiği su miktarında önemli bir azalma söz konusudur. Tuzluluk tıpkı kuraklık etkisi gibi bir etki oluşturmaktadır ve her ikisi de sonuçta su stresi ve verimde azalma oluşturmaktadır. Şekilden de izlenebileceği gibi; örneğin aynı toprak nem potansiyeli altında (-10 atm) tuzluluk 1 dS/m iken toprak nem içeriği %18 dolaylarında, tuzluluk 16 dS/m ye çıktığında ise %23 olmaktadır. Bir başka deyişle daha tuzlu koşullarda toprakta daha fazla su kullanılmadan kalabilmektedir.

Tuzluluk etkisi tıpkı kuraklık etkisi gibidir ve her iki koşulda da bitki gelişmesi yavaşlar ve verimde azalma oluşur. Bitki vegetatif aksamının çökmesi, yaprak zararlanması ve lekeler gibi etkiler ancak tuzluluğun uzun süreli etkileri sonucunda belirgin bir hal alacaktır.

Toprak kök bölgesi içerisinde sulamalar arasında kalan dönemde bitki sürekli olarak değişen toprak nem potansiyeli etkisinde kalmaktadır. Suyun tüketilmesi ile birlikte kullanılabilirliği de azalmaktadır, çünkü toprakta azalan nem koşulunda suyun tutulma gücü artmaktadır. Suyun bitkiler tarafından alınması ile tuzun büyük kısmı kök bölgesinde bırakılmakta ve biriktirilmektedir. Bir başka deyişle

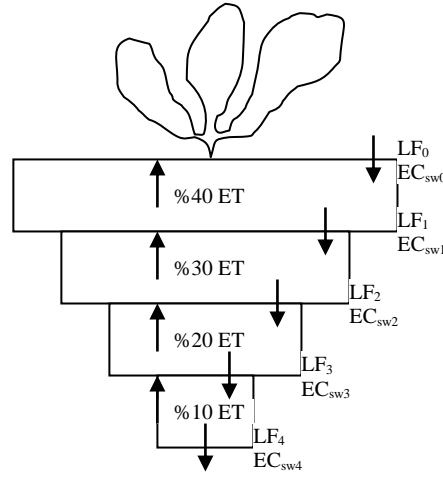
sulamalar arasında kalan dönemde nem miktarı azalırken tuzluluk artmaktadır. Şekil 7.3 de bu durum gösterilmiştir. Sulamayı takip eden dönemde toprak tuzluluğu derinlik ile sabit kalmamaktadır. Her sulamayı takiben, her derinlik için toprak nem içerikleri yaklaşık en yüksek değerinde bulunurken, eriyebilir tuzların konsantrasyonu yaklaşık en düşük düzeyindedir. Bitkilerin suyu tüketmeye başlaması ile ise her iki değer de değişmektedir.



Şekil 7.3 Sulamalar arası sürede toprak tuzluluğundaki değişim (EC<sub>sw</sub>)

Bitkiler, absorptif güçlerini toprakta kök bölgesi içerisinde her yerde üretirler ancak, suyu en az güçle tutulduğu bölgelerden almak için kullanırlar. Bu bölge genelde üst toprak bölümüdür, çünkü bu bölge daha fazla sulama suyu ve yağışlar ile beslenen kısımdır. Üst toprak bölümünden daha fazla su infiltrasyon olması sonucunda bu bölüm daha fazla yıkanma etkisinde kalmakta ve bu kısımda ozmotik veya tuzluluk etkileri derinlere göre daha düşük olmaktadır. Üst toprak bölümünde kökler daha fazla yayıldığından, burası sulamalar arasındaki süreçte bitki su alımının yüksek düzeyde olması ile daha hızlı olarak kuruma etkisine girer. Bu şekilde üst kısımdaki alınabilir su miktarının azalması ile bitkiler su gereksinimlerini daha derinlerden karşılama yoluna giderler. Bu durumda hem üst toprak bölümünün hem de derinlerdeki kök bölgesi bölümlerinin içerdiği su daha tuzlu hale gelir ve ozmotik potansiyeli yükselir. Bitkinin suyu tüketmesi sürecinde kök bölgesi içerisinde bitki su kullanım deseni oluşur. Sonuçta normal sulama pratikleri altında kök bölgesi boyunca her bir çeyrekte sırasıyla %40, %30, %20 ve %10'luk su kullanımının meydana geldiği kabul edilir (Şekil 7.4).





Şekil 7.4 Kök bölgesi içerisinde su kullanım deseni

## Bireysel (Özel) İyon Etkisi

Bireysel yüksek konsantrasyona sahip iyonların bitkiye olan etkileri iki başlık altında incelenir; *beslenme etkileri* ve *toksik etkiler*.

### Beslenme Etkileri

Çözelti ortamında bulunan bazı iyonlar, diğer bazı iyonların bitki tarafından alınmasını etkiler. Pek çok tuzlu toprakta tuzluluğun genel özelliği sodyum ve klor gibi iyonların yüksek konsantrasyonları veya belirli iyonik türlerin aktivitesidir (Epstein ve Rains 1987; Szabolcs 1989). Bu iyonların diğerlerine oranı oldukça yüksek olabilir ve çok düşük konsantrasyonlardaki besleyici elementler açısından sıkıntıya neden olabilir. Örneğin sodyumun potasyumdan daha dominant olduğu tuzlu ortamlarda, bitkinin en büyük besleyici ihtiyacı yeterli miktardaki potasyumdur (Rains ve Epstein 1967). Potasyum taşınım mekanizmasının seçiciliğinin derecesi mangrove (*Avicennia marina*), yaprak dokularından kesilerek alınan denemelerde gösterilmiştir. Bu türler tuzluluk nedeniyle potasyum eksikliğinin kanıtı olarak görülebilir (Ball ve ark. 1987).

Tuzlu koşullar azotun alımını engelleyebilir. Böylece, kısa dönemli denemelerde dahi (12 saate kadar) Aslam ve ark. (1984), arpa tohumlarında,  $SO_4^{2-}$  ve yüksek miktarda  $Cl^-$  konsantrasyonunun,  $NO_3^-$  absorpsiyonunu azalttığını bulmuşlardır. Katyonların (Na ve K) ne olduklarının etkisi düşüktür. Tuz bunların dışında oluşan  $NO_3^-$  azalmasını etkilememiştir. Tuzluluk nedeniyle (0.2 M NaCl)  $NO_3^-$  'deki azalma strese konulduğu ilk dakikadan itibaren görünmüş ve düzelmeye metabolik süreçlerin sayısına bağlı olmuştur (Klobus ve ark. 1988).

Sodyum iyonları kalsiyum beslenmesinde (alımında) düzensizliğe neden olur. Diğer elementlerle birlikte besin elementleri açısından karmaşıklık, kalsiyumun metabolizması ve taşınması üzerine tuzluluğun etkileri ile bağlantılandırılabilir. Dış ortamdaki kalsiyum konsantrasyonu yüksekse tuzluluğun etkisini azaltabilir. Ortamdaki yüksek sodyum/kalsiyum oranı kötü etki eğilimindedir. Yetersiz  $Ca^{+2}$

oranı, zar fonksiyonlarına ve büyümeye dakikalar içinde ters etki yapabilir (Epstein 1961; Lauchli ve Epstein 1970; Cramer ve ark. 1988) farklı genotipler geniş çapta farklılık gösterebilir.

LaHaye ve Epstein (1969) 50 mM NaCl ve 1mM'den daha az CaSO<sub>4</sub> konsantrasyonlardaki çözelti kültürlerinde, tuzluluğa aşırı hassas fasulye bitkisi, *phaseolus vulgaris*, yetiştirdiğinde; NaCl'ün denemenin 7 günü boyunca bitkilerin gelişmesine zarar verdiğini gözlemlemiştir. 3 veya 10 mM konsantrasyonundaki Ca<sup>+2</sup>'un eklenmesi bitkiyi NaCl'ün bu ters etkisinden tamamen korumuştur. Benzer sonuçlar fasulye bitkisinin olgunluk dönemi için de bulunmuştur (LaHaye ve Epstein 1971). Tuzlu koşullardaki bitkinin performansı üzerine Ca<sup>+2</sup>' un etkisi özellikle Na<sup>+</sup> iyonunun yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu, bitki hücre zarları üzerindeki bütünlük ve düzeltici rolü çok geniş ölçüde araştırılmıştır (Cramer ve ark. 1985,1986; Lynch ve ark. 1987).

Elzam ve Epstein (1969) konstantrasyonu 500 mM ye kadar uzanan NaCl ile tuzlaştırılmış besin kültüründe büyütülen iki buğday türünü karşılaştırmışlardır. Büyümelerini şiddetli biçimde etkileyen tuz konsantrasyonları tuza hassas tür için 5.0 mM, tuza toleranslı tür için 100 mM olmuştur. Aynı tuz konsantrasyonlarında köklerdeki Ca miktarları azalma göstermiştir.

Biraz önce tarif edilen denemelerde besin solüsyonlarındaki ozmolarite tıpkı Na/Ca oranında olduğu gibi, tuzluluk arttıkça artar. Maas ve Grieve (1987) farklı Na/Ca oranlarında tuzlaştırılmış izozmotik çözelti kültüründe yetiştirilen mısır, *zea mays*, bitkisinde bu durumu karşılaştırmışlardır. Yüksek oranlarda (molar bazda 34.6/1), bitki kalsiyum eksikliği çekmiştir. Bu oran 5.7/1 veya daha düşük olduğunda kalsiyum eksikliği görülmemiştir. Mısır ile yapılan benzer bir çalışmada Plaut ve Grieve (1988), ortamdaki giderek daha azalan Na/Ca oranlarının fotosentetik hız (CO<sub>2</sub> fiksasyonu) ve su kullanım etkinliğini düşürdüğünü, düşük fotosentetik hızın ise kalsiyumun neden olduğu magnezyum eksikliği tarafından ortaya çıkarılmasının mümkün olduğunu bulmuşlardır.

Mineral besleyicilerin özel iyon etkileri üzerine yukarıda verilen örnekler, son 25 yılda elde edilen bilgilerin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Bu bilgilerin ışığında artık, daha önceden kabul gören ve tuzluluğun etkisinin az yada çok bireysel olmayıp toplamından ötürü ortaya çıkan etki şeklinde olduğu ve bunun da çözeltide ölçülen elektriksel iletkenlik ile kolaylıkla ortaya konabildiği şeklindeki yargı değiştirilmiştir. Şimdi ortamın iyonik kompozisyonunun önemli olduğunu savunan fikirler çoğunluktadır. Aşağıdaki bölümde tartışılan toksisite etkileri konusu da bu fikirleri güçlendirmektedir.

### **Toksik Etkiler**

Birçok örnekte özel iyon etkisi için iki çeşit kanıttan biri gözlenebilir. Biri orta konsantrasyonlardaki sodyum, klor, sülfat veya diğer iyonlar büyümeyi azaltabilir ya da özel hasarlara neden olabilir. Diğer farklı kompozisyonlardaki izozmotik çözeltiler çok farklı tepkiler ortaya çıkarabilir. Tahmin edilebileceği gibi, aynı türdeki bitkiler içinde bile genotipler bu tepkileri farklılaştırabilir.

Tuzlu topraklardaki bazı iyonların orta konsantrasyonlarında bile ortaya çıkan toksisiteler en çok odunsu bitkilerde görülmektedir. Bernstein (1965) çeşitli meyve ağaçlarında sodyum ve klor nedeniyle oluşan yaprak yaralanmalarını renkli fotoğraflarla göstermiştir. Bu bitkiler sodyumu ve kloru yapraklarından uzak

tutabilme kabiliyetleri çok düşük ve uzun ömürlüdür, bundan dolayı orta derecedeki toprak tuzluluklarından dahi zarar görürler.

Tuzluluğun fosfat toksisitesi şeklindeki yaprak yanması etkilerini, soya fasulyesinde yapılan denemelerle, Grattan ve Maas (1984,1988) ortaya koymuştur. Bu şekilde ortaya çıkan tuzluluk etkisi nedeniyle yaprak yanması, fosfat konsantrasyonuna,  $Ca^{+2}/Na^{+}$  oranına ve bitki çeşidine bağlı olmuştur. Orta tuzlulukta yüksek fosfat konsantrasyonu sonucunda oluşan fosfat toksisitesinin mekanizması henüz daha tam olarak ortaya konabilmiş değildir (Treeby and van Steveninck, 1988).

Buğdayda yapılan çalışmalar değişik iyonik kompozisyonlardaki izozmotik çözeltilerin yararsız (gereksiz) olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda genotipin de önemsiz olduğu belirtilmektedir. Kingsbury ve Epstein (1986), tuza hassas buğday türlerinde bitkinin yüksek  $Na^{+}$  içeren (>100 mM) besin çözeltilerinden olumsuz etkilendiğini, ancak  $Na^{+}$  içermeyen izozmotik çözeltilerin yüksek konsantrasyonlarından dahi etkilenmediğini söylemektedirler. Tuza dayanıklı çeşitlerde ise bu çözeltilerin hiçbirisi etkili olmamıştır.

### **Sodyumluluğun Bitki Gelişmesine Etkileri**

Değişebilir sodyum bitki gelişmesini iki biçimde etkiler: Beslenme problemleri ve kötü toprak koşulları.

Sodyumlu topraklarda çözelti içerisinde kalsiyumdan daha fazla sodyum bulunur. Bu nedenle bu tür topraklarda görülen beslenme problemleri kalsiyumun dengesiz alımı sonucu oluşmaktadır. Sodyumlu topraklarda yetişen bitkiler, diğer sodyumlu olmayan topraklarda yetişenlere oranla, bünyelerinde daha fazla sodyum ve daha az kalsiyum bulundururlar.

Bazı bitkiler sodyuma karşı oldukça hassastırlar. Örneğin narenciye ve fındık bu tür bitkilerdendir. Bu bitkiler toprakta ESP değerinin 5-10 arasında olduğu koşullarda bünyelerinde aşırı miktarlarda sodyum biriktirebilmektedirler. Bu miktar ESP içeren topraklar halbuki, sodyumlu olarak nitelendirilmemektedir. Bununla beraber pek çok bitki ESP değerine daha fazla dayanıklıdırlar.

ESP değerinin 10 olması ile kötü (zayıf) toprak özellikleri baş gösterecektir. Bu şekilde toprak yapısının bozulması ve teksel yapı nedeniyle su ve hava geçirgenliğinin kötüleşmesi ile bitkiler olumsuz etkileneceklerdir. Toprak kök bölgesi yada üst toprak bölümleri ıslak kalacaktır. Kök gelişimi sınırlandırılacaktır. Sulama ve yağışlar ile ıslanma ardından kuruma ile kabuk tabakası bağlama ve büyük çatlakların oluşması ile çimlenmenin azalması ve genç bitkinin gelişmesinin yavaşlaması gibi etkiler ortaya çıkacaktır.

Hangi tür zararlanmanın oluşacağı belirli ESP değerlerinin verilmesi zordur. Toprak yapısı ve onun stabilitesi üzerine pek çok faktör etkilidir. Islah yönünden ele alındığında bu değer, montmorillonite gibi şişen yapıda kil mineralleri içeren ince bünyeli topraklarda 5 ila kaba bünyeli topraklarda 25 değerleri arasında değişmektedir.

### **Bitkinin Tuza Dayanımı**

Bitkilerin tuza dayanımı aşağıda belirtilen biçimlerde tanımlanır;

⇒ Tuzlu koşullarda bitkinin verdiği verimin, oransal olarak, normal tuzsuz koşullarda verdiği verim ile karşılaştırılması (*oransal verim*): Bu agronomik kriter, bitkilerin tuza dayanımları konusunda iyi bir temel oluşturduğundan, normalde bitkilerin tuza dayanımları listelerinin oluşturulmalarında kullanılır.

⇒ Tuzlu toprak koşulunda bitkinin verdiği *mutlak verim*: Bir önceki kriter her ne kadar bitkilerin tuza dayanımları listelerinin hazırlanmasında yararlı olsalar da, sonuçta bitkinin bitki deseni içinde yer alması koşulu ekonomik değerlendirmelere bağlı olacağından, mutlak verim değerleri bu konuda yararlı olacaklardır.

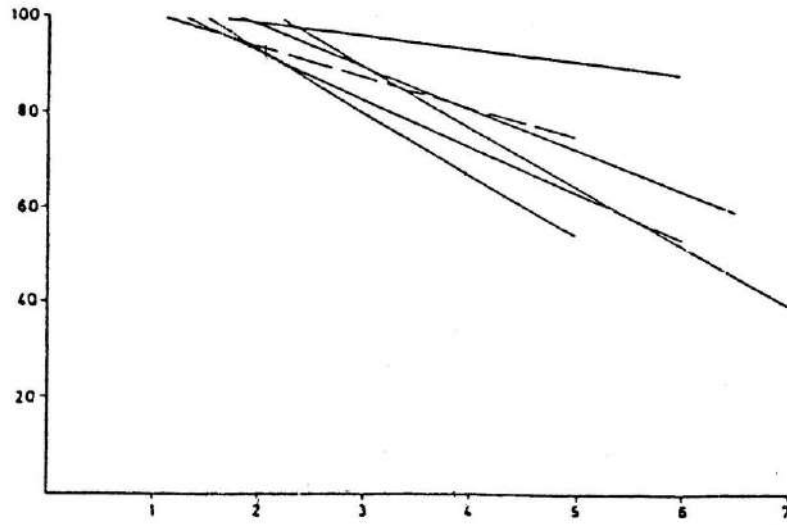
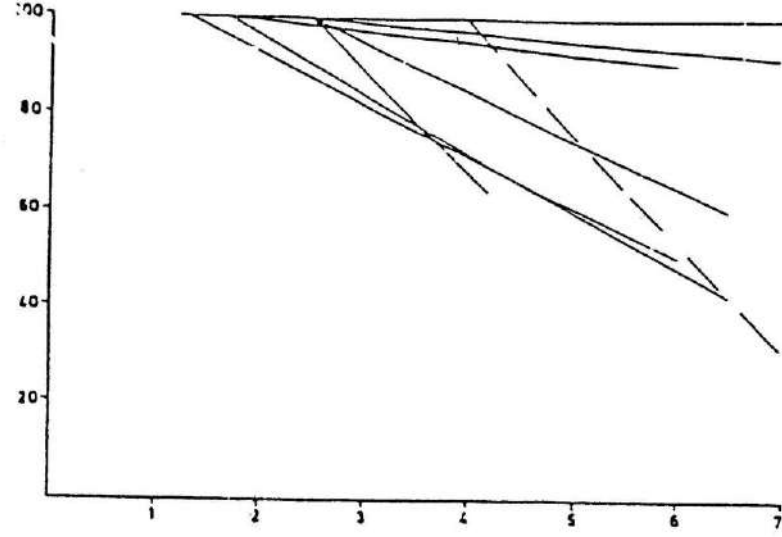
Bitkilerin tuza dayanımları ile ilgili pek çok veri bulunmaktadır. Tüm dünyada bu konuda yapılmış ve halen de yapılan pek çok çalışma vardır. Bu tuza dayanım sonuçları doğal olarak iklim koşullarını ve bitki varyetelerindeki ve kültürel uygulamalardaki farklılığı yansıtmamaktadırlar. İklim tuza dayanım üzerine etkilidir. Soğuk iklimlerde yada dönemlerde bitkiler tuza daha dayanıklıdırlar. Buna karşın sıcak ve nemli dönemlerde ise tuza daha hassas olurlar.

Verim ve tuzluluk arasındaki ilişki 0.95 ila 0.25 arasında yaklaşık doğrusal bir ilişki şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Bu tür ilişkilere ait deneysel sonuçlara dayanarak hazırlanmış eğriler Şekil 7.5 de verilmiştir. Burada toprak kök bölgesi ortalama tuzluluk değerleri (dS/m) ile oransal verim değerlerinin grafikleri verilmektedir. Ortalama kök bölgesi tuzluluk değerleri ilkbahar ve sonbaharda 0-80 cm kök bölgesinden alınan örneklerden hesaplanan tuzluluk değerlerinin ortalamalarını içermektedir. Pek çok bitki için incelendiğinde verimdeki azalmaların 1 dS/m den itibaren başladığı görülmektedir ve  $EC_e=4$  dS/m değerinde verim azalmaları yaklaşık %20-25 düzeyine ulaşmıştır.

Çizelge 7.1, toprak tuzluluk düzeylerinin sınıflandırılmasını vermektedir. Bu çizelgedeki  $EC_e$  değerleri ile Şekil 7.5 deki değerlerin her ikisi de orta bünyeli topraklar için söz konusudur. Bir başka deyişle saturasyon düzeyinde ve tarla kapasitesi düzeyinde nem içerikleri için yaklaşık olarak  $EC_e=0.5*EC_{fc}$  ilişkisi vardır.

*Çizelge 7.1. Toprak tuzluluk sınıflandırması*

$EC_e$ , dS/m	Sınıf	Bitki verimi
0-2	Tuzsuz	Etkilenmez
2-4	Nisbeten tuzlu	Hassas bitkiler etkilenir
4-8	Tuzlu	Pek çok bitki etkilenir
8-16	Çok tuzlu	Yalnızca dayanıklı bitkiler yetişebilir
>16	Aşırı tuzlu	Çok az sayıdaki dayanıklı bitki yetişebilir

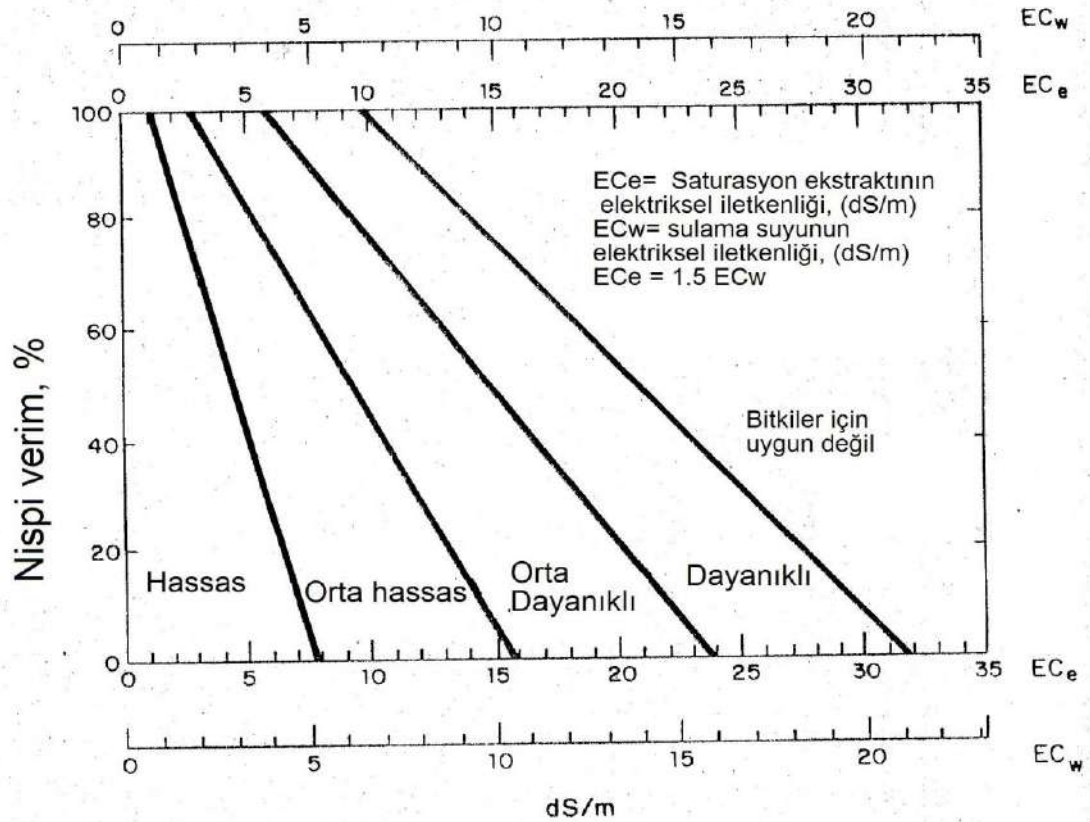


Şekil 7.5 Verim ve tuzluluk arasındaki ilişkiler

Bütün bitkiler tuzluluğa karşı aynı tepkiyi göstermezler. Bitkinin cinsine ve genetik-morfolojik özelliklerine bağlı olarak tuza karşı toleransları (dayanımları) farklılık gösterir. Bazı bitkiler tuzlu koşullarda dahi ekonomik düzeyde ürün verebilirken, bazı bitkiler verimlerini azaltırlar. Tuzlu koşullarda ekonomik ürün verebilen bitkiler, bu koşulda topraktan suyu alabilmek için gerekli ozmotik düzenlemeyi yapabilen bitkilerdir, bunlar dayanıklı bitkiler olarak isimlendirilir. Bitkilerin genel olarak tuza dayanımlarının bilinmesi çok önemlidir. Örneğin, tuzlaşmanın önlenemediği bazı alanlarda, o tuzluluk koşulunda ekonomik olarak verimli olamayan bir bitki çeşidinin, daha dayanıklı bir bitki ile değiştirilmesi ile, belirli tuzluluk koşullarında ekonomik tarım yapma olanağı ortaya çıkabilecektir.

Bitkiler arasında 8-10 katı daha dayanıklı çeşitlerin olduğu bilinmektedir. Bu bize, önceden tuzluluğu nedeniyle kullanılmayan, orta tuzluluktaki bir su kaynağının, daha dayanıklı bitkilerin seçilmesi ile kullanılabilir hale gelmesini sağlar. Yine bu özellik, belli tuzluluktaki toprakların da tarımsal üretimde kullanılabilmelerini sağlar.

Bugün artık pek çok bitkinin tuza olan cevapları (dayanımları) bilinmektedir ve bu nedenle genel bir "bitkinin tuza dayanım rehberi" verilebilmektedir. Böyle bir rehber çizelge, Çizelge 7.2 de verilmektedir. Bu çizelgede pek çok tarla bitkisi, yem bitkisi, sebzeler ve meyve ağaçları için yarı-kurak alanlarda geliştirilen oransal tuza dayanım değerleri (deneysel değerler) yer almaktadır. Tuza dayanımın genel guruplandırılması Şekil 7.6 da gösterilmektedir.



Şekil 7.6 Tarımsal kültür bitkileri için oransal tuza dayanımlar

Çizelge 7.2 de genel olarak sulama sularının 0.7 dS/m den düşük tuzlulukları için oransal verim değerleri %100 dolaylarındadır. Bir başka deyişle genel bir ifade ile tuzluluğu 0.7 dS/m den düşük olan sulama suları sorunsuz olarak kullanılabilir. Buna ek olarak tuzluluğu hemen hemen 3 dS/m 'ye kadar olan sulama sularının kullanımları, toprak tuzluluğunun bitkinin dayanım sınırları içerisinde tutulabilmesi için gerekli yıkama gereksinimi koşullarının sağlanması halinde, yüksek oransal verim potansiyellerini karşılayabilecektir. Daha yüksek tuzluluklarda ve hassas bitkiler için yüksek yıkama gereksinimi nedeniyle ekonomik kullanım söz konusu olmayacaktır. Genel olarak %25-30 yıkama gereksinimi düzeyleri üst sınırı oluşturmaktadır. Bunun üzerindeki yıkama gereksinimi oranlarını karşılayabilmek, fazla miktarda sulama suyu gereksinimi doğuracağından, pratikte uygulanma zorluğu oluşturacaktır. Bu durumda daha dayanıklı bitki türlerinin seçilmesi ile yıkama gereksinimi oranlarının azaltılması yoluna gidilebilir.

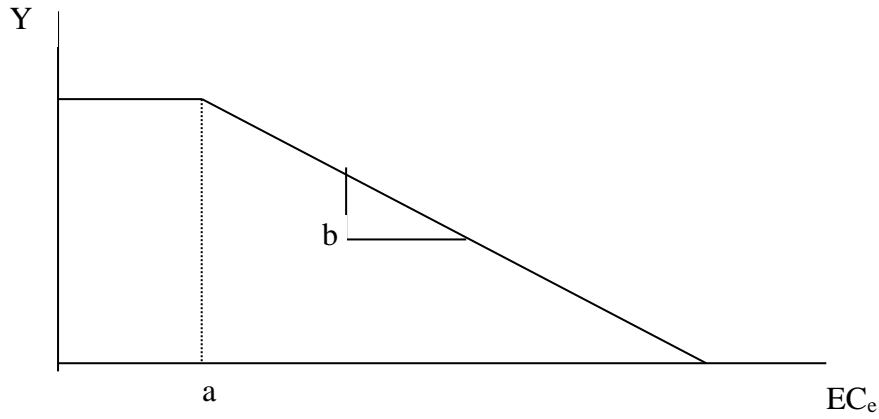
Sulamada su kalitesinin yorumlanmasında rehber değerler				
Tuzluluk	birim	kullanımda kısıtlamalar		
		Yok	orta düzeyde	zararlı
EC <sub>w</sub>	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
yada				
TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000

Yüksek yıkama gereksinimi hacimlerinin uygulanması sırasında özellikle killi topraklarda, suyun uzun süre toprak yüzeyinde göllenmesi sorunu olacağından, bu gibi koşullarda bitkinin değiştirilmesi pratik çözüm sağlayabilecektir. Tuzluluğu 3 dS/m nin üzerinde olan sulama sularının kullanımları ancak, büyük orandaki yıkama gereksinimi hacimlerinin kolayca infiltre olabileceği kumlu topraklarda mümkün olabilecektir.

Bitkilerin tuza dayanım grafikleri Şekil 7.7 de verildiği gibidir. Tuzluluğun (sulama suyu tuzluluğu yada toprak tuzluluğu) artması ile birlikte bir noktaya kadar verim potansiyelinde azalma oluşmazken (threshold-eşik değeri), bu noktadan sonra, tuzluluğun artmaya devam etmesi ile verim potansiyeli de doğrusal olarak azalmaya başlar. Bu ilişkiyi aşağıdaki eşitlikle ifade edebiliriz;

$$Y = 100 - b(EC_e - a) \quad (1)$$

Burada; Y=Oransal verim değeri (%), EC<sub>e</sub>=Toprak saturasyon ekstraktı tuzluluk değeri (dS/m), a=Tuzluluk eşik değeri, b=Birim tuzluluk artışına bağlı olarak verimdeki azalma miktarı.



Şekil 7.7 Tuzluluk ile verim potansiyeli ilişkisi.

### **Tuza dayanım verilerinin geliştirilmesi**

Çizelge 7.2 de verilen dayanım ile ilgili rakamsal değerler Maas ve Hoffman (1977) ile Maas(1984) den alınmıştır. Bu verilere göre tuzluluğun artması ile birlikte, verimin azalmaya ilk başladığı bir eşik değerinden sonra, verim değerleri doğrusal olarak azalma göstermektedir. Genelde karşılaşılan tuzluluk sınırları içerisinde bu doğrusal azalma miktarı, tarla koşulları ile iyi bir uyum göstermektedir. Doğrusal azalmadan sapmalar, verim potansiyelinin %50 nin altına düştüğü durumlarda görülebilir ki, bu düzeydeki verim değerleri artık ekonomik olarak kabul edilemez.

Bu çizelgeden (a) ve (b) değerleri hesaplanabilir. Bu değerler deneysel olarak bulunmuş değerlerle uyum içerisinde olacaktır.

(a) değeri, %100 verim potansiyeli için Çizelge 7.2 de verilen  $EC_e$  değeri olarak alınır. (b) değeri ise yine çizelge 7.2'den ilgili değerler kullanılarak, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir;

$$b = \frac{100}{EC_e(\%0) - EC_e(\%100)} \quad (2)$$

Burada;  $EC_e(\%0)$ =Çizelge 7.2 de %0 verim potansiyeli için tuzluluk değeri,  $EC_e(\%100)$ =Çizelge 1 de %100 verim potansiyeli için tuzluluk değerini ifade etmektedir.

Çizelge 7.2 de verilen ve %100 verim potansiyeli dışındaki  $EC_e$  değerleri, yukarıdaki (1) nolu eşitliğin aşağıdaki gibi çözülmesi ile bulunur;



$$EC_e = \frac{100 + ab - Y}{b} \quad (3)$$

**Örnek:** *Verim potansiyelinin belirlenmesi*

Pamuk bitkisi için Çizelge 7.2 den

$a = \%100$  verim potansiyeli için eşik değeri  $= 7.7$  dS/m

$$\text{Eşitlik (2) den; } b = \frac{100}{27 - 7.7} = 5.2$$

Eşitlik (3) de  $\%100$  verim için  $a$  ve  $b$  nin yerine konması ile;

$$EC_e = \frac{100 + 7.7 * 5.2 - 100}{5.2} = 7.7 \text{ dS/m}$$

benzer şekilde;

$$EC_e = \frac{100 + 7.7 * 5.2 - 90}{5.2} = 9.6 \text{ dS/m}$$

$$EC_e = \frac{100 + 7.7 * 5.2 - 75}{5.2} = 13 \text{ dS/m}$$

$$EC_e = \frac{100 + 7.7 * 5.2 - 50}{5.2} = 17 \text{ dS/m}$$

$$EC_e = \frac{100 + 7.7 * 5.2 - 0}{5.2} = 27 \text{ dS/m değerleri bulunur.}$$

Çizelge 7.2 de değerler  $\%100$ , 90, 75, 50 ve 0 verim potansiyelleri için verilmiştir. Ancak, istenen verim potansiyeli için tuzluluk değerleri hesaplanabilir. Çizelgedeki toprak tuzluluğuna ( $EC_e$ ) eşdeğer sulama suyu tuzluluğu değerleri verilirken konsantrasyon faktörü 1.5 olarak alınmıştır. Bu değer  $\%15-20$  yıkama gereksinimi koşulları için geçerli olabilecek ortalama bir değerdir ( $EC_e = 1.5 EC_w$ ). Sulama suyu tuzluluğu için çizelgede verilen değerler, tuzların sulama ile gelip kök bölgesinde yığılması ile oluşan toprak tuzluluk değerlerini içermektedir.

Alanda sulama suyu dışında bir tuzluluk kaynağının daha olması (yüksek taban suyu gibi), sulama suyu tuzluluğu ile ( $EC_w$ ) toprak tuzluluğu ( $EC_e$ ) arasındaki konsantrasyon ilişkisi geçerli olmayacaktır.

Yukarıda verilen eşitlik (1) in geliştirilmesinde kullanılan verim değerleri, verim potansiyelinin  $\%50-100$  arası için olan değerlerdir. Çünkü bu doğrusal eşitlik bu aralıktaki verim değerlerini iyi tahmin edebilmektedir. Aynı zamanda bitki veriminin sıfır olarak kabul edildiği ve topraktan suyu ekstrakte edemediği koşuldaki toprak tuzluluk değerinin ( $EC_e$ ) tahmini için de kullanılabilir. Bu şekilde tahmin edilmiş olan 0 verim değerleri için toprak tuzlulukları Çizelge 7.2 'nin son sütununda gösterilmiştir.

Eğer tolerans değerleri grafik formda işaretlenirse, oluşan grafik Şekil 7.6 da verilen biçimi alır. Bu şekilde verilen diyagramda bitki gurupları aşağıdaki biçimde oluşturulmuştur;

<i>Oransal tuza dayanım derecesi</i>	<i>verim azalmaya başladığı toprak tuzluluğu(<math>EC_e</math>)</i>
Hassas	<1.3 dS/m
Yarı hassas	1.3-3.0 dS/m
Yarı dayanıklı	3.0-6.0 dS/m
Dayanıklı	6.0-10.0 dS/m
Uygun değil	>10.0 dS/m

### ***Tuza dayanımı etkileyen faktörler***

Belirli bir suyun kullanımında bitki üretim potansiyeli %100 den sıfıra kadar değişebilir, ancak sıkca su kalitesinin dışında üretimi etkileyen başka faktörler de vardır. Çizelge 7.2 de verilen değerler üretim potansiyeli üzerine sadece su kalitesinin etkili olması durumunda geçerli olan değerlerdir. Bununla beraber bu tür koşullar her zaman olamayabilir. Ancak tuzluluğun kısıtlayıcı ana faktör olduğu koşullarda, nisbi verimdeki azalma miktarları, diğer koşulların da verimi azaltmasına rağmen, çizelge 7.2 deki gibi alınabilir.

Çizelge 7.2 deki toprak tuzluluk toleransı değerleri bitkilere geç fide oluşumu döneminden olgunlaşmaya kadar geçen süre içerisinde uygulanabilir. Çimlenme ve erken gelişme dönemlerindeki tuzluluk etkileri ise daha farklı olup ancak belirli bazı bitkiler için bilinmektedir. Çizelge 7.3 ' de bazı bitkiler için verimde ve fide gelişiminde %50 azalmaya neden olan tuzluluk değerleri verilmiştir. Genel olarak söylenebilir ki, yüzey toprağındaki tuzluluk düzeyi 4 dS/m den fazla olduğunda çimlenmeyi ve fide gelişimini olumsuz etkileyecektir. Çimlenmenin yavaşlaması daha sonra fide oluşumunu geciktirecek, topraktaki kabuk bağlama ve çatlama olayları nedeniyle de bitkinin gelişme aşamasında sorunlar oluşabilecektir. Yağışlar yada ön sulamalarla toprağıın tuzluluğunun azaltılması ve kabuk bağlamasının önlenmesi sağlanabilir.

Bazı ağaç bitkileri için (narenciye, almond gibi) kullanılan anaç bitkiler ve bağ anaçları, tuzluluğa dayanımı etkilemektedirler. Anaç bitkiler özellikle  $Na^+$  ve  $Cl^-$  gibi toksik iyonların etkilerine karşı farklı tepki verirler. Absorbe edilen miktar azaldığında, biriktirilen miktar da azalacaktır. Bu özellikler anaç bitki seçiminde ve yine üretilecek çeşitlerin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadırlar.

Türler arasında veryete farklılıkları yıllık bitkiler arasında da söz konusudur. Bu farklılıklar türler içerisindeki çeşitler arasında tuza en dayanıklılar açısından da olabilecektir. Bazı türler çizelge 7.2 de verilen değerlerden az yada çok farklılık gösterebilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, sulama suyunun tuzluluğunun tuza dayanım sınırlarına yaklaşp yaklaşmadığı konusudur. Son 20 yıl içerisinde özellikle tuza dayanımı yüksek çeşitlerin ıslahı konusundaki çalışmalar hız kazanmış ve önemli ilerlemeler kaydedilmiştir.

İklim koşulları da bitkilerin tuzluluğa ve kurağa dayanımlarını etkileyen bir faktördür. Genel olarak, soğuk iklimlerde yada soğuk geçen dönemlerde bitkilerin, daha ılık ve kurak geçen iklim yada dönemlere oranla, tuza daha yüksek bir dayanım gösterebildikleri gözlenmiştir. Soğuk dönemlerde yada iklimlerde bitkilerin su ihtiyaçları daha düşük olacağından, tuzluluk nedeniyle topraktaki suyun

alımının düşük olması, bitkileri daha az etkileyecektir ve bu gibi koşullarda yağışlarla yada sulamalarla biriken tuzların topraktan yıkanması daha kolay gerçekleştirilebilecektir. Buna karşın sıcak ve kurak koşullarda yüksek ET gereksiniminin oluşması ile bitki su kullanımı, hem toprak suyunun hızlı bir biçimde azalması hem de artan tuzluluk nedeniyle suyun alımının zorlaşması ile azalacaktır. Bu gibi koşullarda bitkiler daha erken su stresi belirtileri göstereceklerdir. İklim koşullarının bitkiyi etkilemesi genelde tuza dayanımı daha az olan bitkilerde, tuza daha dayanıklı olanlara göre daha fazla olacaktır.

Gübreleme tuza dayanım üzerine düşük bir etkiye sahiptir. Bitki beslenmesinin kritik faktör olduğu koşullarda gübrelemenin artırılması ile bitki verimi çoğaltılabilir, ancak gübrelemenin kritik faktör olmadığı ortamlarda, ek gübreleme tuza dayanımı iyileştirmeyecektir. Gübrelerin çoğu eriyebilir tuzlardan oluştuğu için, uygun olarak uygulanmayan gübreleme pratikleri ile toprak tuzluluğuna katkıda bulunulabilecektir.

Çizelge 7.2 toprak tuzluluğu ( $EC_e$ ) yada sulama suyu tuzluluğu ( $EC_i$ ) tarafından etkilenmiş bazı seçilmiş bitkilere ilişkin bitki dayanımları ve verimlilik potansiyelleri

TARLA BİTKİLERİ	VERİM POTANSİYELLERİ <sup>2</sup>									
	%100		%90		%75		%50		%0	
	$EC_e$	$EC_i$	$EC_e$	$EC_i$	$EC_e$	$EC_i$	$EC_e$	$EC_i$	$EC_e$	$EC_i$
Arpa ( <i>Hordeum vulgare</i> ) <sup>4</sup>	8.0	5.3	10.0	6.7	13.0	8.7	18.0	12.0	28.0	19.0
Pamuk ( <i>Gossypium hirsutum</i> )	7.7	5.1	9.6	6.4	13.0	8.4	17.0	12.0	27.0	18.0
Şeker Pancarı ( <i>Beta vulgaris</i> ) <sup>5</sup>	7.0	4.7	8.7	5.8	11.0	7.5	15.0	10.0	24.0	16.0
Sorgum ( <i>Sorghum bicolor</i> )	6.8	4.5	7.4	5.0	8.4	5.6	9.9	6.7	13.0	8.7
Buğday, Ekmeklik ( <i>Triticum aestivum</i> ) <sup>4,6</sup>	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.3	13.0	8.7	20.0	13.0
Buğday, Makarnalık ( <i>Triticum turgidum</i> )	5.7	3.8	7.6	5.0	10.0	6.9	15.0	10.0	24.0	16.0
Soya ( <i>Glycine max</i> )	5.0	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5.0	10.0	6.7
Börülce ( <i>Vigna unguiculata</i> )	4.9	3.3	5.7	3.8	7.0	4.7	9.1	6.0	13.0	8.8
Yerfıstığı ( <i>Arachis hypogaea</i> )	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Çeltik ( <i>Oriza sativa</i> )	3.0	2.0	3.8	2.6	5.1	3.4	7.2	4.8	11.0	7.6
Şeker kamışı ( <i>Saccharum officinarum</i> )	1.7	1.1	3.4	2.3	5.9	4.0	10.0	6.8	19.0	12.0
Mısır (maize) ( <i>Zea mays</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7
Keten ( <i>Linum usitatissimum</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7
Bakla ( <i>Vida faba</i> )	1.5	1.1	2.6	1.8	4.2	2.0	6.8	4.5	12.0	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										

Sakızkabağı (courgette) ( <i>Cucurbita pepo melopepo</i> )	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10.0	6.7	15.0	10.0
Pancar (kırmızı) ( <i>Beta vulgaris</i> ) <sup>5</sup>	4.0	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15.0	10.0
Balkabağı (Scallop) ( <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	14.0	9.1
Domates ( <i>Lycopersicon esculentum</i> )	2.5	1.7	3.5	2.3	5.0	3.4	7.6	5.0	13.0	8.4
Hıyar ( <i>Cucumis sativus</i> )	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10.0	6.8
İspanak ( <i>Spinacia oleracea</i> )	2.0	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7	15.0	10.0
Kereviz ( <i>Apium graveolens</i> )	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18.0	12.0
Lahana ( <i>Brassica oleracea capitata</i> )	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7.0	4.6	12.0	8.1
Patates ( <i>Solanum tuberosum</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7
Mısır, tatlı ( <i>Zea mays</i> )	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10.0	6.7
Tatlı patates ( <i>Ipomoea batatas</i> )	1.5	1.0	2.4	1.6	3.8	2.5	6.0	4.0	11.0	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
Yeşil salata ( <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
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
Şalgam ( <i>Brassica rapa</i> )	0.9	0.6	2.0	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12.0	8.0
YEM BİTKİLERİ										
Yüksek otlak ayrığı ( <i>Agropyron elongatum</i> )	7.5	5.0	9.9	6.6	13.0	9.0	19.0	13.0	31.0	21.0
Otlak ayrığı ( <i>Agropyron cristatum</i> )	7.5	5.0	9.0	6.0	11.0	7.4	15.0	9.8	22.0	15.0
Köpekdişi ( <i>Cynodon dactylon</i> ) <sup>7</sup>	6.9	4.6	8.5	5.6	11.0	7.2	15.0	9.8	23.0	15.0
Arpa, yemlik ( <i>Hordeum vulgare</i> ) <sup>4</sup>	6.0	4.0	7.4	4.9	9.5	6.4	13.0	8.7	20.0	13.0
Çokyıllık çim ( <i>Lolium perenne</i> )	5.6	3.7	6.9	4.6	8.9	5.9	12.0	8.1	19.0	13.0
Dar yapraklı Gazal boynuzu <sup>8</sup> ( <i>Lotus comiculatus tenuifolium</i> )	5.0	3.3	6.0	4.0	7.5	5.0	10.0	6.7	15.0	10.0
Yumrulu Kanyaş ( <i>Phalaris tuberosa</i> )	4.6	3.1	5.9	3.9	7.9	5.3	11.0	7.4	18.0	12.0
Kamışsı Yumak ( <i>Festuca elatior</i> )	3.9	2.6	5.5	3.6	7.8	5.2	12.0	7.8	20.0	13.0
Sibirya Ayrığı ( <i>Agropyron sibiricum</i> )	3.5	2.3	6.0	4.0	9.8	6.5	16.0	11.0	28.0	19.0
Dar yapraklı Fiğ ( <i>Vicia angustifolia</i> )	3.0	2.0	3.9	2.6	5.3	3.5	7.6	5.0	12.0	8.1
Sudan otu ( <i>Sorghum sudanense</i> )	2.8	1.9	5.1	3.4	8.6	5.7	14.0	9.6	26.0	17.0
Rizomlu Otlakarpası ( <i>Elymus</i> )	2.7	1.8	4.4	2.9	6.9	4.6	11.0	7.4	19.0	13.0

<i>triticoides</i> )											
Yem Börülcesi ( <i>Vigna unguiculata</i> )	2.5	1.7	3.4	2.3	4.8	3.2	7.1	4.8	12.0	7.8	
İri Gazalboynuzu ( <i>Lotus uliginosus</i> )	2.3	1.5	2.8	1.9	3.6	2.4	4.9	3.3	7.6	5.0	
Yüksek Sesbanya ( <i>Sesbania exaltata</i> )	2.3	1.5	3.7	2.5	5.9	3.9	9.4	6.3	17.0	11.0	
Sphaerophysa ( <i>Sphaerophysa salsula</i> )	2.2	1.5	3.6	2.4	5.8	3.8	9.3	6.2	16.0	11.0	
Yonca ( <i>Medicago sativa</i> )	2.0	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16.0	10.0	
Salkrmyulaf ( <i>Eragrostis sp.</i> ) <sup>9</sup>	2.0	1.3	3.2	2.1	5.0	3.3	8.0	5.3	14.0	9.3	
Mısır, yemlik ( <i>Zea mays</i> )	1.8	1.2	3.2	2.1	5.2	3.5	8.6	5.7	15.0	10.0	
İskenderiye üçgülü ( <i>Trifolium alexandrinum</i> )	1.5	1.0	3.2	2.2	5.9	3.9	10.0	6.8	19.0	13.0	
Domuz Ayrığı ( <i>Dactylis glomerata</i> )	1.5	1.0	3.1	2.1	5.5	3.7	9.6	6.4	18.0	12.0	
Çayır Tilki kuyruğu ( <i>Alopecurus pratensis</i> )	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12.0	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 Üçgül ( <i>Trifolium hybridum</i> )	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6	
Aküçgül ( <i>Trifolium repens</i> )	1.5	1.0	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6	
Çilek Üçgülü ( <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 <sup>10</sup>											
Hurma ( <i>Phoenix dactylifera</i> )	4.0	2.7	6.8	4.5	11.0	7.3	18.0	12.0	32.0	21.0	
Grapefruit ( <i>Citrus paradisi</i> ) <sup>11</sup>	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	
Kayısı ( <i>Prunus armeniaca</i> ) <sup>11</sup>	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> ) <sup>11</sup>	1.5	1.0	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12.0	7.9	
Badem ( <i>Prunus dulcis</i> ) <sup>11</sup>	1.5	1.0	2.0	1.4	2.8	1.9	4.1	2.8	6.8	4.5	
Erik ( <i>Prunus domestica</i> ) <sup>11</sup>	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	
Çilek ( <i>Fragaria sp.</i> )	1.0	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4.0	2.7	

Çizelge 7.3 Çimlenme döneminde bazı bitkilerin tuza dayanım değerleri

Bitki		Çimlenmede %50 çıkış kaybı oluşturan değer
Arpa	<i>(Hordeum vulgare)</i>	16-24
Pamuk	<i>(Gossypium hirsutum)</i>	15,5
Şekerpamcarı	<i>(Beta vulgaris)</i>	6-12,5
Sorgum	<i>(Sorghum bicolor)</i>	13
Safflower	<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
Kabak	<i>(Brassica oleracea capitata)</i>	13
Hıyar	<i>(Cucumis melo)</i>	10,4
Mısır	<i>(Zea mays)</i>	21-24
Lahana	<i>(Lactuca sativa)</i>	11,4
Soğan	<i>(Allium cepa)</i>	5,6-7,5
Fasulye	<i>(Phaseolis vulgaris)</i>	8

## **KAYNAKLAR**

- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. *Water Quality for agriculture*. FAO Irrig. And Drain. Paper No.29. Rome, 1989.
- Tanji, K.K. *Agricultural salinity assessment and management*. ACSE Manuals and Reports on Engineering Practice No.71, New York, 1996.
- Van Horn, J.W. and J.G. Alphen. *Salinity Control, Salt Balance and Leaching of Irrigated Soils*. Int. Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies of Bari, Italy, 1991.

## BÖLÜM VI: TUZLULUĞUN TOPRAĞA ETKİLERİ

### **TOPRAK TUZLULUĞUNUN OLUŞUMU**

Tuzlar toprağa her sulama ile birlikte eklenirler. Bu tuzlar eğer zarar verici düzeylerde biriktirilirse, bitki verimini azaltacaklardır. Bitkiler Evapotranspirasyonlarını karşılamak üzere topraktan suyu alırlar ancak, pek çok tuzu geride bırakırlar ki, bu tuzlar topraktaki tuz konsantrasyonunun artmasına neden olurlar. Her sulamada daha fazla tuz biriktirilir. Tuzluluğun zararlı düzeylere ulaşmasından önce bu biriktirilen tuzların kök bölgesinden uzaklaştırılması gerekir. Yıkama uygulaması, kök bölgesi dışına bir miktar tuzun taşınabilmesi için yeteri kadar fazladan suyun uygulanması şeklinde yapılır. Kök bölgesine uygulanan ve buradan süzülerek kök bölgesi altına perkole olan su hacmine “*yıkama hacmi-leaching fraction (LF)*” adı verilir.

$$LF = \frac{D_z}{D_i} \quad (1)$$

Burada;

$D_z$ =Kök bölgesi altına sızan su hacmi,

$D_i$ =Yüzeyden uygulanan su hacmini ifade etmektedir.

Birkaç başarılı sulamanın ardından, yıkama fraksiyonuna ve sulama suyu tuz içeriğine bağlı olarak toprak tuzluluğu denge konsantrasyonuna ulaşır. Yüksek LF değerleri (LF=0.5), düşük değerlere oranla (LF=0.1) daha az tuz birikimine neden olurlar. Eğer sulama suyu tuzluluğu ( $EC_i$ ) ve LF değerleri biliniyorsa, kök bölgesi altına sızacak olan drenaj suyu tuzluluğu ile kök bölgesi ortalama tuzlulukları tahmin edilebilir;

$$EC_{dw} = \frac{EC_i}{LF} \quad (2)$$

Burada;

$EC_{dw}$ =kök bölgesi altına sızan drenaj suyunun tuzluluğu,

$EC_i$ =Uygulanan sulama suyu tuzluluğu, ve

LF=Yıkama fraksiyonudur.

#### **Örnek 1: Kök bölgesi altına sızan suyun tuzluluğunun hesaplanması.**

Sulama suyu tuz konsantrasyonu 1 dS/m, ve LF değeri %15.

Kök bölgesi altına sızan suyun tuzluluğu ( $EC_{sw}$ ), drenaj suyu tuzluluğuna eşittir ( $EC_{dw}$ ).

$$EC_{dw} = EC_{sw} = \frac{EC_i}{LF}$$

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

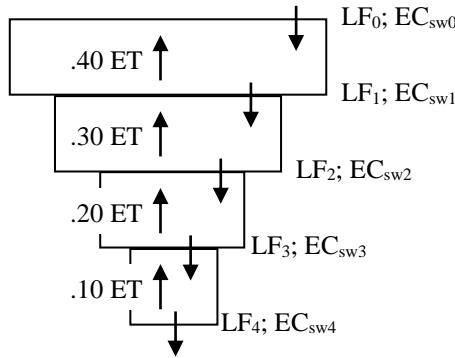
Bu durumda kök bölgesi altına sızan suyun tuz konsantrasyonu yaklaşık 6.7 dS/m olacaktır.

Yukarıdaki örnekte LF ve sulama suyu tuzluluk değerleri drenaj suyunun tuzluluğunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Bitki ise, bu tuzluluktaki drenaj suyu etkisine ancak kök bölgesinin alt kısımlarında maruz kalır. Bu alt kısımlardaki toprağın tuzluluğu, daha düşük LF değeri nedeniyle, toprağın üst kısımlarındaki tuzluluktan daha fazladır. Bitki ise alt ve üst kısımlardaki ekstrem tuzluluklara değil de *ortalama toprak tuzluluğuna* karşı bir tepki gösterir.

Kök bölgesi içerisindeki su kullanımı hakkında bir fikrimiz var ise, 2 no lu eşitlik aynı zamanda ortalama kök bölgesi toprak tuzluluğunun ( $EC_{sw}$ ) da tahmininde kullanılabilir. Normal sulama suyu uygulamaları ve kullanımı deseni altında, kök bölgesi içerisinde suyun kullanımı sırasıyla, %40, 30, 20 ve 10 düzeyinde olacaktır. Bu su kullanım deseni altında ortalama toprak tuzluluğunun hesaplanması aşağıdaki *Örnek 2* 'de verilmiştir.

### **Örnek 2: Ortalama kök bölgesi tuzluluğunun hesaplanması**

Ortalama kök bölgesi tuzluluğu, kök bölgesi içerisindeki 5 noktada hesaplanan tuzluluk değerlerinin ortalamalarından bulunur. Aşağıdaki işlemlerle bitkilerin etkisinde kaldıkları ortalama kök bölgesi tuzluluk değeri hesaplanabilir.



Varsayımlar:

1. Uygulanan sulama suyunun tuzluluğu 1 dS/m,
2. Bitki su ihtiyacı  $ET=1000$  mm/mevsim,
3. Bitkinin su kullanım deseni, üst  $\frac{1}{4}$  lük kısımda %40, ikinci  $\frac{1}{4}$  lük kısımda %30, üçüncü  $\frac{1}{4}$  lük kısımda %20, ve dördüncü  $\frac{1}{4}$  lük kısımda ise %10 dur. Bitki su kullanımı nedeniyle bir sonraki  $\frac{1}{4}$  lük kısma drene olan suyun konsantrasyonu artmaktadır.
4. Arzulanan LF oranı %15 dir. Bunun anlamı verilen sulama suyunun %15 lik bölümü kök bölgesi altına drene olmakta, buna karşın %85 lik kısmı bitki su ihtiyacını ve yüzeyden buharlaşan miktarı karşılamaktadır.

İşlemler:

1. Ortalama kök bölgesi tuzluluğunun belirlenmesinde 5 nokta ele alınmıştır. Bunlar değişik noktadaki toprak tuzluluklarıdır (1)Toprak yüzeyinde  $EC_{sw0}$ , (2)Birinci çeyreğin en alt kısmındaki tuzluluk değeri  $EC_{sw1}$ , (3)İkinci çeyreğin alt kısmındaki tuzluluk değeri  $EC_{sw2}$ , (4)Üçüncü çeyreğin alt kısmındaki tuzluluk değeri  $EC_{sw3}$ , ve (5)Dördüncü çeyreğin alt kısmındaki yada kök bölgesinden drene olan suyun ( $EC_{dw}$ ) tuzluluk düzeyi  $EC_{sw4}$ .
2.  $LF=0.15$  değeri için uygulanacak su miktarının hesabı;



$$AW = \frac{ET}{1-LF} = 1176 \text{ mm}$$

3. Yüzeyden giren suyun tuzluluğu, uygulanan sulama suyu tuzluluğuna eşit alınabilir;

$$EC_{dw0} = EC_{sw0} = \frac{EC_w}{LF_0} = \frac{1}{1} = 1 \text{ dS/m}$$

4. Her bir çeyreğin alt kısmından drene olan toprak suyu tuzluluğu değerleri için 1 no lu eşitlikte verilen LF eşitliği kullanılır ve sonra eşitlik 2 kullanılarak toprak suyu tuzluluğu hesaplanır.

Birinci çeyreğin alt bölümü için;

$$LF_1 = \frac{1176 - 0.40(1000)}{1176} = 0.66 \quad EC_{sw1} = \frac{EC_w}{LF_1} = 1.5 \text{ dS/m}$$

İkinci çeyreğin alt kısmında;

$$LF_2 = \frac{1176 - 0.40(1000) - 0.30(1000)}{1176} = 0.40 \quad EC_{sw2} = \frac{EC_w}{LF_2} = 2.5 \text{ dS/m}$$

Üçüncü çeyreğin alt kısmında;

$$LF_3 = \frac{1176 - 0.40(1000) - 0.30(1000) - 0.20(1000)}{1176} = 0.23 \quad EC_{sw3} = \frac{EC_w}{LF_3} = 4.3 \text{ dS/m}$$

Kök bölgesinin altında;

$$LF_4 = \frac{1176 - 0.40(1000) - 0.30(1000) - 0.20(1000) - 0.10(1000)}{1176} = 0.15 \quad EC_{sw4} = \frac{EC_w}{LF_4} = 6.7 \text{ dS/m}$$

5. Ortalama kök bölgesi tuzluluğunun hesaplanması için, yukarıda 5 nokta için hesaplanan tuzluluk değerlerinin ortalaması alınır;

$$EC_{sw} = \frac{EC_{sw0} + EC_{sw1} + EC_{sw2} + EC_{sw3} + EC_{sw4}}{5} = \frac{1.0 + 1.5 + 2.5 + 4.3 + 6.7}{5} = 3.2 \text{ dS/m}$$

6. Bu hesaplama gösteriyor ki, ortalama kök bölgesi tuzluluğu, sulama suyunun 3.2 katı kadar olmaktadır.

Örnek 2 bize, 0.15 düzeyindeki yıkama fraksiyonu ve 40-30-20-10 su kullanım deseni altında kök bölgesi ortalama tuz konsantrasyonunun, sulama suyu tuz konsantrasyonundan yaklaşık 3.2 kez daha fazla olabileceğini göstermektedir. LF nin %20 olması halinde, ortalama toprak tuzluluğu ( $EC_{sw}$ ) 2.7 kez sulama suyu tuzluluğundan daha konsantre hale gelmektedir.  $EC_{sw}$  değeri bitkilerin etkisinde kaldığı ortalama toprak tuzluluk değerini belirtmektedir. Ancak bunun ölçümü zordur. Tuzluluk ölçümü genellikle saturasyon ekstraktında yapılır ve toprak tuzluluk değeri olarak belirtilir ( $EC_e$ ). Bu tuzluluk değeri ( $EC_e$ ), sulama suyu tuzluluğunun yaklaşık 1.5 katına eşittir. Genel bir ifade ile; %15-20 yıkama fraksiyonu altında, sulama suyu tuzluluk değeri ( $EC_i$ ), toprak çözeltisi tuzluluk değerinin ( $EC_{sw}$ ) yada toprak tuzluluk değerinin ( $EC_e$ ) belirlenmesinde kullanılabilir.

$$\begin{aligned} EC_{sw} &= 3 \times EC_i \\ EC_e &= 1.5 \times EC_i \\ EC_{sw} &= 2 \times EC_e \end{aligned} \quad (3)$$

Eğer sulama pratikleri sonucunda %15-20 LF değerlerinden daha farklı bir LF değeri oluşursa, yeni ortalama tahmini LF değeri ile örnek 2 de verilen prosedür kullanılarak, daha doğru bir konsantrasyon faktörü hesaplanabilir. Geniş bir aralık için (LF=0.05-0.80) konsantrasyon faktörleri aşağıdaki Çizelge 6.1'de verilmiştir. Tahmin edilen ortalama toprak tuzlulukları ( $EC_e$ ), sulama suyu tuzluluğu değerlerinin Çizelge 6.1'de verilen konsantrasyon faktörü değerleri ile çarpılması ile tahmin edilebilirler. Bu tahmin edilen ortalama toprak tuzluluğu değerleri, örneğin bir sulama mevsimini yada iki sulama arasındaki dönemi içeren kısa dönem ortalama tuzlulukları değil ancak, en az bir yıllık süreyi içeren uzun dönem toprak tuzluluk değerlerini göstermektedir. Şekil 6.1, aynı su kaynağı ile ve yaklaşık aynı LF değeri ile yapılan sulamalar sonucunda elde edilecek tipik toprak profil tuzluluğu değerlerini göstermektedir.

Çizelge 6.1 Sulama Suyu Tuzluluğu ve LF Kullanılarak hesaplanan ve Toprak Tuzluluğunun ( $EC_e$ ) Tahmininde Kullanılan Konsantrasyon Faktörleri

LF	Uygulanan sulama suyu	Konsantrasyon faktörü
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

## TOPRAK TUZLULUĞUNUN BELİRLENMESİ

Tuzluluk deyince toprak çözeltisi içerisinde erimiş katı madde konsantrasyonunun, bitkiye ve toprağa zarar verecek düzeylere yükselmiş olduğu anlaşılmalıdır. Yüksek konsantrasyonlara ulaşan çözelti içerisindeki bu tuzların cins ve miktarlarının ölçülmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tuzlu alanlar bazen yüzeyde biriken tuzların görünen beyazımsı izlerinden anlaşılabilir. Bu tür birikmeler daha çok alanın bitki örtüsü barındırmayan nispeten yüksek kısımlarında suyun buharlaştığı ve tuzların geride biriktiği bölümlerde olmaktadır. Görünen bu tuz birikintileri doğaldır ki, yüzeydeki birikmeleri göstermektedir, bu birikintiler her zaman yüksek kök bölgesi tuzluluğunu tam olarak belirteci olmayacaktır. Bu durumda açık profillerin incelenmesi yada kök bölgesi profilinden örnekleme yapılması gerekmektedir. Toprak tuzluluğu örneklerden elde edilecek saturasyon ekstraktından yada son zamanlarda geliştirilen teknikler yardımıyla, doğrudan tarla toprağından elektriksel iletkenlik ölçülmesi şeklinde yapılabilir.

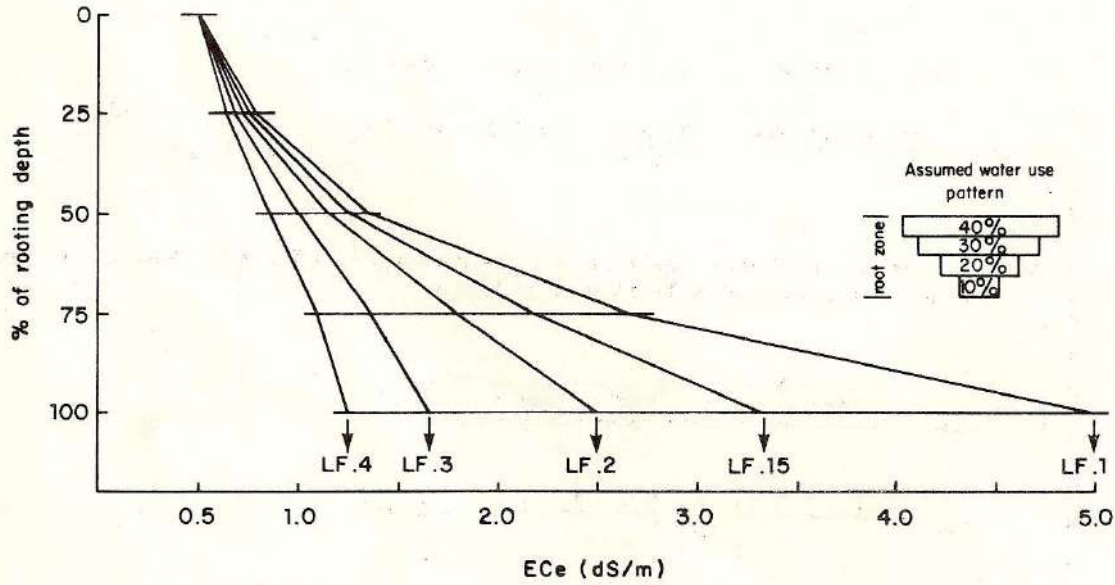


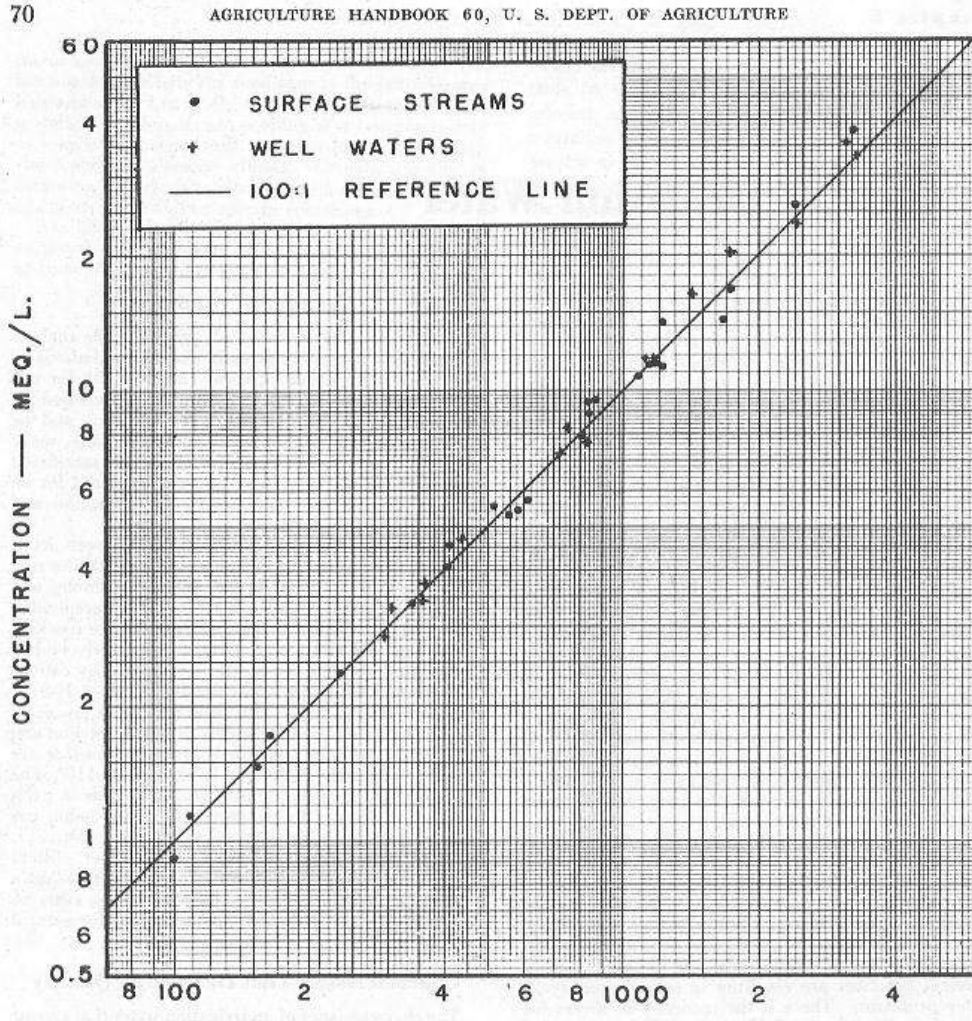
Fig. 2 Salinity profile expected to develop after long-term use of water of  $EC_w = 1.0$  dS/m at various leaching fractions (LF)

Şekil 6.1  $EC_i=1$  dS/m tuzluluktaki bir sulama suyu ile uzun dönem sonunda değişik LF değerleri için toprak tuzlulukları

### Elektriksel iletkenlik ve Toprak Ekstraktı

Toprak tuzluluğu genelde, tuzluluk ile elektriksel iletkenlik (EC) değeri arasındaki sıkı ilişkiden ötürü (Şekil 6.2), toprak ekstraktında Elektriksel İletkenlik değeri olarak ölçülür ( $EC_e$ ). Topraktan elde edilen çözeltiden (toprak suyu) laboratuarda yada doğrudan arazide elektriksel iletkenlik ölçümü şeklinde yapılabilir ( $EC_{sw}$ ). Bunun yanında daha kolay olarak doğrudan saturasyon çamurundan ölçülebilir ( $EC_p$ ), yada "bulk" toprakta, toprak anlık elektriksel iletkenlik değeri olarak da, ilgili yöntem ve teknikler kullanılarak ( $EC_a$ ) ölçülebilmektedir. Bu son değinilen teknik ile topraktan örnekleme yapmak zorunda olmadan ve hızlı olarak tuzluluk belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Bu amaçla toprağa yerleştirilmiş elektrik problemleri yardımıyla yada uzaktan ölçüm yapabilen elektromagnetik indüksiyon (EM) cihazları kullanılarak yapılabilir. Burada değinilen  $EC_a$  ölçüm cihazları, diğer sulu çözeltilerde ölçüm yapabilen cihaz ve ekipmanlara göre çok daha pahalıdır.

Birim olarak 25 °C referans sıcaklıkta decisiemens/m (dS/m) kullanılır. Hala kullanılmakta olan eski birim değeri milimhos/cm ise matematik değer olarak dS/m' ye eşdeğerdir. Bir çözeltinin tuz konsantrasyonu ise g/l, mg/l, ppm, yada meq/l olarak belirtilebilir. Miliekivalan değeri; bir iyonun yada bileşiğin 1 mg hidrojenle yer değiştirebilen kısmının mg olarak ağırlığıdır ve atom yada molekül ağırlığının tesir değerliğine bölünmesine eşittir.



Şekil 6.2 Elektriksel iletkenlik ile tuz konsantrasyonu ilişkisi (Richards et. al. 1954)

Şekil 6.2 'de dS/m olarak belirtilmiş EC değerleri ile meq/l olarak belirtilmiş tuz konsantrasyonu arasındaki ilişki verilmiştir. Çizelge 6.2 'de değişik tuz ve iyonların mg ve meq olarak değerlerinin ilişkisi, Çizelge 6.3 'de ise meq/l, dS/m, mg/l mg/meq arasındaki yaklaşık ilişkiler ile meq/l ile dS/m arasındaki oran verilmiştir. Mg/meq arasındaki azalmalar artan tuz konsantrasyonlarında  $SO_4$  ve  $HCO_3$  iyonlarına nazaran Cl iyonunda görülen nispi artmadan kaynaklanmaktadır. meq/l ile dS/m oranında görülen artma ise tuz konsantrasyonunun artışı ile iyon aktivitesinde görülen azalma ile ilgilidir. Ortalama bir değer olarak meq/l cinsinden verilen tuz konsantrasyonunun 10 yada 12 ile bölünmesi sonucu dS/m olarak tuz konsantrasyonu hesaplanmış olur.

Toprak tuzluluğunun belirlenmesi amacı ile çok sayıda ekstrakt üzerinde EC ölçümleri yapılır. En gerçekçi değerlendirme ise EC değerinin toprak tarla kapasitesinde iken belirlenmesidir. Bu şekilde ancak, gerçek arazi koşullarındaki toprak tuzluluğu belirlenmiş olur ve bu tuzluluk değeri doğrudan bitki gelişimini etkileyecek olan tuzluluk değeridir. Ancak uygulamada tarla kapasitesindeki bir topraktan kısıtlı miktarda ekstrakt elde edilebildiğinden laboratuvar koşullarında bu

yöntemi uygulamak zordur. Bu nedenle çoğunlukla toprak EC değeri saturasyon ekstraktında ölçülür. Bu amaçla hava kurusu toprak üzerine saturasyon macunu elde edilinceye kadar saf su ilave edilir ki bu değer kaba tekstürlü (kumlu ve tınlı kum) topraklar haricinde tarla kapasitesi değerinin yaklaşık iki katıdır. Unutulmaması gerekir ki laboratuarda elde edilen saturasyon çamuru, bozulmamış toprak örneklerinden elde edilen saturasyon çamuruna göre daha fazla su içerir ve elde edilecek ekstrakt, tarla kapasitesi koşulunda elde edilecek ekstrakta oranla daha seyreltiktir.

Çizelge 6.2 mg/l ile meq arasındaki ilişki

İyon	mg/meq	Tuz	mg/meq
Na	23	NaCl	58.5
K	39	CaCl <sub>2</sub>	55.5
Ca	20	MgCl <sub>2</sub>	47.5
Mg	12	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	71
Cl	35.5	CaSO <sub>4</sub>	68
SO <sub>4</sub>	48	MgSO <sub>4</sub>	60
HCO <sub>3</sub>	61	NaHCO <sub>3</sub>	84
CO <sub>3</sub>	30	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	81
		Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	73

Çizelge 6.3 meq/l, dS/m, mg/l, mg/meq ile (meq/l)/(dS/m) oranı ilişkileri

Meq/l	dS/m	mg/l	mg/meq	$\frac{\text{meq/l}}{\text{dS/m}}$
10	1	640	64	10
120	10	7000	58.3	12

Herhangi bir alandan tuzluluk kontrolü amacı ile periyodik örneklerin alınması gerektiği koşullarda en uygunu belli hacimdeki hava kurusu toprağa her defasında aynı miktarda su ilave ederek saturasyon çamurunun hazırlanmasıdır. Aksi halde EC<sub>e</sub> değerinde gözlenen değişiklikler, toprak tuzluluğundan çok saturasyon çamuruna eklenen su miktarındaki değişikliklerden kaynaklanacaktır.

Genel olarak saturasyon macunu hazırlanması zahmetli bir uğraşı olduğundan, rutin analizler için 1:1 (100g kuru toprak 100 g su), 2:1 yada daha seyreltik konsantrasyonlar hazırlanır. Genelde laboratuarda herhangi bir emme uygulanmadan da basit infiltrasyon ile yeterli çözelti elde edilir.

Klorür tuzları gibi yüksek çözünürlüklü tuzların varlığı durumunda EC ve tuz konsantrasyonu değerleri su içeriği değeri ile ters orantılı seyredir.

$$EC_{fc} = 2EC_e \quad \text{ve} \quad EC_{1:1} = 2EC_{2:1} \quad (4)$$

Eğer nispeten düşük çözünürlüklü kireç ve jips gibi tuzların varlığı söz konusu ise seyreltik ekstrakt üzerinde elde edilen EC ve tuz konsantrasyonlarının çevriminde dikkat edilmelidir. Toprakta bulunan tuzlar sadece katı kireç yada jips

ise her bir toprak ekstraktı, su/toprak oranından bağımsız olarak, bu tuzların aynı konsantrasyonlarını içerecek ve aynı EC değerini gösterecektir. Bunun nedeni ise erirliği düşük olan bu tuzların su ortamına olan katkıları bellidir ve sınırlı bir düzeydedir. Bu nedenle eklenen su miktarının  $EC_e$  değerine etkisi önemsiz düzeyde olabilecektir.

### **Tuzlulaşacak Toprak Derinliği**

Verilen sulama suyu miktarı ile ilişkili olarak ıslatılacak toprak derinliğinin bulunmasından, yada tuzlulaşacak toprak derinliğinin belirlenmesi amacıyla aşağıda verilen eşitlik kullanılır. Bu eşitliğin geliştirilmesi aşamasında şu varsayımlar yapılmıştır;

- Suyun elektriksel iletkenlik değeri, suyun tuz konsantrasyonunun iyi bir ölçütüdür,
- Saturasyon ekstraktının elektriksel iletkenlik değeri toprak tuzluluğunu belirten iyi bir ölçüdür,
- Topraklarda yıkama yapılmamıştır ve
- Eriyebilir tuz bileşikleri tuzlulaşma sırasında çökme meydana getirmemişlerdir.

$$\frac{d}{D} = \left(\frac{\gamma_t}{\gamma}\right) \left(\frac{SP}{100}\right) \left(\frac{EC_e}{EC_i}\right) \quad (5)$$

Burada;  $d$ =sulama suyu miktarı(cm)  
 $D$ =toprak derinliği(cm)  
 $\gamma_t$  =toprak hacim ağırlığı(g/ cm<sup>3</sup>)  
 $\gamma$  =suyun özgül ağırlığı(g/ cm<sup>3</sup>)  
 $SP$ =saturasyon yüzdesi değeri(%)  
 $EC_e$ =toprak tuzluluk değeri(dS/ m)  
 $EC_i$ =sulama suyu tuzluluk değeri(dS/ m)

**Örnek3:** Sulama suyu tuzluluğu 1 dS/ m, toprak hacim ağırlığı 1.2 g/ cm<sup>3</sup>, saturasyon yüzdesi değeri %40, sulama suyu miktarı 600 mm olduğu koşulda, toprağın hangi derinliği tuzlu hale gelir.

Cözüm: tuzluluk koşulu  $EC_e > 4$  dS/ m olduğuna göre;

$$\frac{60}{D} = \left(\frac{1.2}{1}\right) \left(\frac{40}{100}\right) \left(\frac{4}{1}\right) \quad D=30 \text{ cm bulunur.}$$

Yorum: Bu koşullarda bu alanda sulama mevsimi sonunda yaklaşık 30 cm lik toprak katmanı tuzlu hale gelecektir.

Yukarıdaki eşitliği aynı zamanda tuzlulaşacak toprak derinliğinin, toprak suyu konsantrasyon değerinin, sulama suyu miktarının ve sulama suyu elektriksel iletkenlik değerinin belirlenmesi amacıyla da kullanabiliriz.

### Tuzların Erirlikleri

Yüksek konsantrasyonlar oluşturarak bitki gelişmesi için zararlı düzeylere kadar ulaşabilen tuzlara yüksek erirlikli tuzlar denir ki, bunlar bütün Cl tuzları, NaSO<sub>4</sub> ve MgSO<sub>4</sub> ile NaHCO<sub>3</sub> tuzlarıdır. Bunların erirlikleri 20 C<sup>0</sup>'de 100 meq/l' ye (100\*64=6400 mg/l) kadar ulaşabilir. Jips (CaSO<sub>4</sub>\*2 H<sub>2</sub>O) (Çizelge 6.4) ve kireç (CaCO<sub>3</sub>) (Çizelge 6.5) ise konsantrasyonları hiçbir zaman bitkiler için tolere edilemeyecek düzeylere ulaşmayan düşük erirlikteki tuzlardır.

Çizelge 6.4 Jipsin (CaSO<sub>4</sub>\*2H<sub>2</sub>O) meq/l olarak erirliği

Saf su	10g/1 NaCl	100g/1 NaCl	10g/1 NaSO <sub>4</sub>	10 g/1 CaCl <sub>2</sub>
30	49	98	22	17

Çizelge 6.5 Kirecin (CaCO<sub>3</sub>) meq/l olarak erirliği

P-CO <sub>2</sub> atm	0.0005	0.001	0.005	0.01	0.05
10meq/l	1.5	1.9	3.3	4.1	7.0
100meq/l	2.0	2.6	4.4	5.5	9.2

Toprak ortamında genellikle rastlanıldığı gibi, kompleks çözeltilerde pek çok tuzun çözünürlüğü değişebilmektedir. Kural olarak benzer iyonlar bulunduran farklı tuzların varlığı halinde bazı tuzların erirliği azalmaktadır. Örneğin, NaCl tuzunun erirliği MgCl<sub>2</sub> tuzunun varlığında önemli ölçüde azalmaktadır. Benzer iyonların bulunmadığı karışık çözeltilerde ise düşük erirlikteki tuzların eriyebilirlikleri artar. Bir örnek vermek gerekirse NaCl varlığında jipsin erirliği artmaktadır. Kirecin erirliği ise benzer olmayan iyonların konsantrasyonuna ve CO<sub>2</sub> basıncına bağlıdır.

### Değişebilir Sodyum

Toprağın katı parçacıkları negatif (-) yüzey yüküne sahiptirler. Bu (-) yükün büyüklüğü toprakta bulunan kil minerallerinin tipine bağlı olduğu kadar, toprakta bulunan kil minerallerinin ve organik maddenin varlığına da bağlıdır. Elektriksel olarak yüzeylerin nötralizasyonu ise bazı katyonlar (örneğin, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, ve H<sup>+</sup> iyonları) tarafından sağlanır. Bu katyonlar adsorbe edilirler ve karşılıklı olarak yer değiştirebilir yada değişebilir özelliktedirler. Örneğin toprağa Ca<sup>+2</sup> içeren bir çözelti eklendiğinde adsorbe edilen Ca<sup>+2</sup> toplamı, diğer katyonlar ile eşdeğer toplama ulaşınca kadar artar. Aynı şekilde Na<sup>+</sup> içeren bir çözelti eklenmesi ile de adsorbe edilen Na<sup>+</sup> miktarı artacaktır. Pek çok toprakta Ca<sup>+2</sup> diğer iyonlara oranla daha fazla miktarda adsorbe edilmiş durumdadır. Ancak, tuz etkisinde kalmış topraklarda, değişebilir Na<sup>+</sup> değeri büyük toplamlara ulaşabilir.

Değişebilir katyonların kompozisyonları, toprak çözeltisinde bulunan pek çok katyonun varlığı ile ilişkilidir. Gapon eşitliği ile basit olarak bu ilişkiyi şu şekilde belirtebiliriz.

$$\frac{\mu^+_{Na}}{\mu^+_{Ca} + \mu^+_{Mg}} = K_G \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (6)$$

*Burada ;*

*$\mu^+_{Na}$ ,  $\mu^+_{Ca}$  ve  $\mu^+_{Mg}$ ; Toplam Adsorbe edilmiş Na, Ca ve Mg'un miktarları,*

*Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> ve Mg<sup>++</sup>; toprak çözeltisindeki Na, Ca ve Mg'un meq/l olarak konsantrasyonları,*

*K<sub>G</sub>; Toprak nem sisteminde bulunan belli kil mineralleri ve katyon kombinasyonları için sabiteyi gösterir ve Değişim Katsayısı denir.*

Eşitliğin sağ tarafı, çok bilinen SAR (sodyum adsorpsiyon oranı) değeridir. Genellikle toplam adsorbe edilmiş Na<sup>+</sup> miktarı, katyon değiştirme kapasitesi yüzdesi olarak yani değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) olarak verilir. ( $\mu^+_{Na} = ESP$ ). Tuz etkisinde kalmış topraklarda  $\mu^+_{Na}$ ,  $\mu^+_{Ca}$  ve  $\mu^+_{Mg}$  toplamı, katyon değiştirme kapasitesine (CEC) eşdeğerdur. Böylece (6) nolu eşitlik şu şekilde yazılabilir.

$$\mu^+_{Na} = ESP \text{ ve}$$

$$\mu^+_{Na} + \mu^+_{Ca} + \mu^+_{Mg} = 100 = CEC \text{ için;}$$

$$\frac{ESP}{100 - ESP} = K_G * SAR \quad \text{yada}$$

$$ESP = (100 * K_G * SAR) - (ESP * K_G * SAR)$$

Burada eşitliğin her iki tarafını da ESP ile bölersek;

$$1 = \frac{100 * K_G * SAR}{ESP} - \frac{ESP * K_G * SAR}{ESP}$$

$$1 = \frac{100 * K_G * SAR}{ESP} - K_G * SAR$$

$$1 + K_G * SAR = \frac{100 * K_G * SAR}{ESP} \quad \text{ve sonuçta;}$$

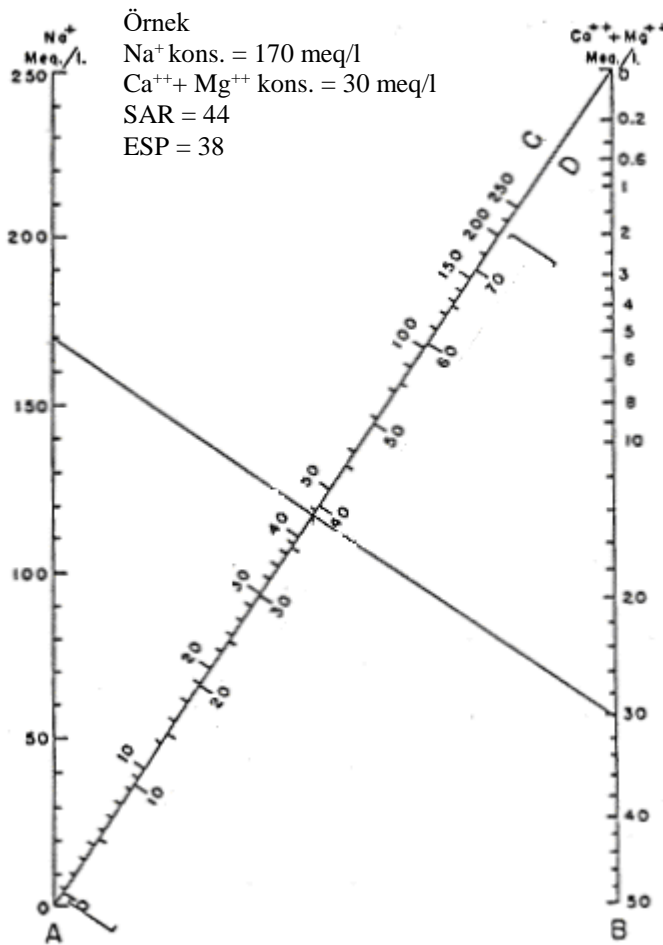
$$ESP = \frac{100 * K_G * SAR}{1 + K_G * SAR} \quad (7)$$

Richards ve ark. (1954) Batı Amerika'da yer alan pek çok toprak için saturasyon ekstraktındaki SAR ve toprak ESP değeri arasındaki ilişkiyi şu şekilde vermiştir;



$$ESP = \frac{100(-0.0126 + 0.01475 * SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 * SAR)} \quad (8)$$

ESP' nin hesaplanması için toprak komplekslerindeki adsorbe edilen toplam Na' un ve CEC' in analizi gerektiğinden ve bu analizler oldukça fazla zamana gereksinim gösterdiğinden, ESP değeri çoğunlukla yukarıda verilen (8) nolu eşitlik yardımıyla, SAR değerinden gidilerek hesaplanır. Saturasyon ekstraktında Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> ve Mg<sup>++</sup> değeri kolayca analiz edilir ve SAR değeri de bu analiz sonuçlarından kolayca hesaplanır yada Şekil 6.3 'de verilen grafikten doğrudan bulunabilir. SAR değerinin 2-30 arasında olduğu koşullarda, SAR ve ESP değerleri, denge koşullarında yaklaşık eşittirler.



Şekil 6.3 Saturasyon SAR değeri (C) ile buna karşılık gelen toprak ESP değerlerini (D) gösteren grafik

### Toprak Fiziksel Özellikleri Üzerine Sodyumun Etkisi

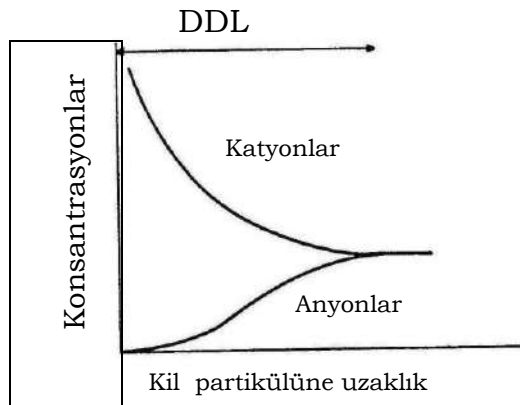
Daha öncede açıklandığı gibi toprak katı zerrelerinin negatif elektrik yükleri ile, toprak çözeltisinde bulunan anyon ve katyonlar karşılıklı dengeye ulaşırlar. Bu

(-) ve (+) yüklerin ortamda uzaysal dağılımları Elektrik Çift Yüzey adı verilen "Plate Condansatör" sisteminden farklı olarak; katyonlar likit faz içerisinde iki karşı etki altında serbestçe hareket ederler; 1) Bunlar toprak zerrecilerinin yüzeylerine doğru elektriksel alan etkisinde çekilirler. 2) Difüzyon etkisinde kendilerini likid faz içerisinde düzenli bir biçimde dağıtmaya çalışırlar.

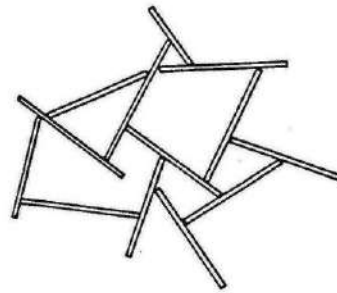
Sonuç dağılımında, DDL (difüz çift tabaka) adı verilen katyonların difüz birikme zonu oluşur. (Şekil 6.4). DDL içerisinde anyonlar dışarıda tutulurken, katyonlar tane yüzeylerince çekilirler. Katı yüzeyin biraz uzağında ise, anyonlar ve katyonlar eşdeğerdedirler yani bir denge çözeltisi oluşur.

DDL nin kalınlığını belirleyecek önemli özellikler (faktörler), denge çözeltisinin konsantrasyonu ile katyonların değerlikleridir. Katı yüzeylerce iki değerlikli katyonlar, tek değerlikli olanlara oranla daha fazla bir kuvvetle çekilirler. Böylece ortamda Ca/Na oranının artması halinde, toprak su sistemi içerisinde eğilim, DDL'nin kalınlığının azalması şeklinde olacaktır. Bunun tersine, bu oranın azalması halinde DDL nin kalınlığı artacaktır. Benzer şekilde yine denge çözeltisinde tuz konsantrasyonunun artması halinde DDL kalınlık olarak azalacak, seyrelme (yıkama) durumunda ise DDL kalınlığı olarak artacaktır.

Toprakta DDL nin kalınlığı (miktarı), toprak fiziksel özellikleri üzerine kesin etkilidir. DDL içerisinde bazı noktalarda katı yüzeylerdeki (-) yükler katyonlarca tamamen nötralize edilmemiş durumdadırlar. Bu durumda şu söylenebilir ki; iki kil partikülü DDL miktarının iki katı aralıkla yer almakta iseler, bunlar birbirinden ayrılma eğilimi gösterirler. Ancak kil mineralleri aynı zamanda karşılıklı olarak çekim etkisindedirler. pH 'nin 7nin altına düştüğü durumlarda kil minerallerinin kenarları (uç kısmı) (+) yükü yüklenir. Eğer, DDL'nin miktarı az olur ise bu (+) yüklü kil partikülleri yeterince yakınında bulunan (-) yüklü diğer kil partikülleri ile zayıf flokülle oluşturacak biçimde birleşirler ve bunun sonucunda Şekil 6.5 'de görünen 'card house' 'a benzer bir yapı oluşur. Bu floküllelerin dayanıklılığı ise ortamda yer alan organik madde kireç ve jips miktarı tarafından etkilenir.



Şekil 6.4 anyon ve katyonların DDL içerisindeki dağılımları



Şekil 6.5 Kil partiküllerinin "Card House" biçimindeki birleşmeleri

Toprak tarla kapasitesinde iken DDL kendi potansiyel düzeyine ulaşır. Kuruma sırasında nem kaybına bağlı olarak toplam toprak nemi DDL içerisinde biriktirilen düzeyin altına düşebilir; özellikle kalın DDL olması halinde (ki sodyumlu topraklarda rastlanır). Daha sonra DDL'nin kalınlığı azalır. Yeniden ıslanma halinde ise DDL şişer. Yüksek oranlarda değişebilir Ca içeren topraklarda bu şişmenin miktarı yüksek oranlarda değişebilir Na içeren topraklara oranla daha düşük düzeylerde olmaktadır. Bu şişme agregalar arasındaki porların tıkanmasına neden olarak hidrolik geçirgenliği azaltmaktadır. Bununda ötesinde şişme ile artan basınç bireysel kil minerallerinin birbirlerinden ayrılmalarına neden olabilir. Toprak bu durumda disperse olur ve agregalar parçalanır, ince toprak taneleri serbest kalırlar ve toprak gözeneklerini tıkayarak hava ve su geçirgenliğinin daha da azalmasına neden olurlar. Yağmur ve sulama ile toprağa iletilen sular bir süre toprak yüzeyinde göllenirler; kuruma ile disperse olmuş ve asılı duran kil partikülleri ince kıvrılmış kabuk halini alırlar.

Tuzlulaşmış topraklarda önemli düzeyde değişebilir Na içerdiklerinde dahi, iyi bir toprak özelliği gösterebilirler. Yıkama ile tuz miktarı azalır ve yüksek ESP düzeylerinde DDL kuvvetle artar ve toprak yapısı bozulur. Sodyumun kalsiyum ile yer değiştirmesi gereksinimi ortaya çıkar.

Değişebilir Na'un toprak fiziksel özellikleri üzerine olan olumsuz etkisi iyi bilinmemektedir. İyi bilinmeyen ise sadece hangi düzeydeki ESP'nin toprak yapısını olumsuz etkileyebildiğidir. Sıkca 10 -15 ESP düzeyinin kritik düzey olduğu söylenir. Kumlu topraklarda ise %25 ESP düzeyinin dahi toprak yapısına herhangi bir olumsuz etkisi gözlemlenmemiştir. Bunun tersine ise killi topraklarda %5 düzeyindeki ESP nin ise 2:1 tipi montmorillonit kil içeren topraklarda yüksek olduğu belirtilmektedir.

Hollanda'da 1945 ve 1953 yıllarındaki büyük taşkınlardan sonra yapılan çalışmalar göstermiştir ki, killi topraklarda sınırlandırıcı değişebilir Na miktarının 1.0-1.5 meq/ 100 g toprak olduğu belirtilmiştir ki bu değer 4-8 ESP değerine karşılık gelmektedir.

Yüksek düzeylerde ESP, düşük tuzluluk koşulunda toprak yapısını bozucu bir etkiye bulunacaktır. Ancak yüksek ESP koşulunda toprak yapısının bozulması mekanik bir etki ile olabilmektedir. Bu mekanik etki ise yağmur veya sulama suyu tarafından oluşturulmaktadır. Yüzey toprak parçalanarak çamur haline gelir. Kuruma ile sert kaymak tabakası oluşur ve çimlenme ile bitki gelişimi üzerine etkili olur. Pullukla sürmek ve arkasından sürgü çekmek sureti ile üst toprak katmanı düşük su geçirgenliğinde kompakt bir yapı kazanır.

Yüksek ESP'li üst toprak katmanı genellikle toprak yapısının bozulması etkisinden daha az etkilenir.

## **TUZLU TOPRAKLARIN SINIFLANDIRILMASI**

Bu başlık altında sırasıyla USDA Tuzluluk Laboratuvarı, USSR ve FAO/UNESCO Sistemi ile Toprak Taksonomisi incelenecektir.

### **USDA Tuzluluk Laboratuvarı Sınıflandırması**

USDA Tuzluluk Laboratuvarı tarafından ortaya atılan toprak tuzluluk sınıflandırması geniş oranda kullanılmıştır. (Richards ve ark. 1954). Bu sınıflandırma esas olarak tuzlu toprakların iyileştirilmesi amacıyla ortaya atılmıştır.

Basit olarak iki faktöre dayanan bir sınıflandırmadır; toprak tuzluluğu ( $EC_e$ ) ve sodyumluluk (ESP). Basitliğinden ötürü bu sınıflandırma, doğada rastlanabilecek tüm varyasyonları içermektedir. Bu nedenle sistem gelişigüzel uygulanamaz.

Tuzlu topraklar şu şekilde sınıflandırılırlar;

Tuzlu Topraklar;  $EC_e > 4$  dS/m (25 °C'de) ve  $ESP < 15$  olan topraklardır. Genel olarak pH değeri 8.5'den düşüktür. Dominant anyonlar, Cl ve  $SO_4$  'tır.  $HCO_3$  az miktarda bulur,  $NO_3$  ise nadiren vardır. Kural olarak Na çözünebilir katyonların %50'sinden azdır.  $Ca(CO_3)_2$  ve jips bulunabilir.

Tuzlu Sodyumlu Topraklar;  $EC_e > 4$  dS/m ve  $ESP > 15$  olan topraklardır. Bazı durumlarda pH 8.5' in üzerine çıkar. Sıkça nötr reaksiyonlar gösterir. Sodyum iyonu doğal tuzlar halinde bulunur (örneğin NaCl,  $Na_2SO_4$ ). pH değeri 8.5'den fazla olursa  $HCO_3$  ve  $CO_3$  iyonları da çözümlenir. Bu tür tuzlu-sodyumlu topraklar ıslah açısından oldukça problemlidir.

Tuzsuz Sodyumlu Topraklar;  $EC_e < 4$  dS/m ve  $ESP > 15$  olan topraklardır. pH değeri her zaman 8.5'in üzerindedir. Hatta pH'nin 10'un üzerine çıkması istisna olarak kabul edilmez. Sodyum toprakta ana katyonlardan birisidir. Toprak nadir olarak  $CaCO_3$  içerir. Bu tuzun düşük çözünürlüğünden ötürü, pH değeri düşürülmediği sürece ıslah için gerekli olacak Ca rezervi barındıramayacaktır. Tuzsuz sodyumlu toprakların strüktürleri çoğunlukla zayıf (dayanıksız) olarak nitelendirilebilir. Bazı tuzsuz sodyumlu yüzey toprakları tamamen  $CaCO_3$ 'den mahrumdurlar ve  $pH < 7$  'dir. Değişebilir hidrojenin yüksek miktarlarına bağlı olarak toprak kompleksinde adsorbe edilmiş olarak bulunurlar.

### **USSR Tuzlu Toprak Sınıflandırması;**

Bu sınıflandırma sisteminde toprak ilmi, tuz jeokimyası ve bitki fizyolojisi prensipleri bir arada değerlendirilmiştir.

Tuzlu Topraklar şu şekilde sınıflandırılırlar;

Solonçak; Bunlar özellikle üst toprakta (0-30 cm) genellikle %2'den fazla olmak üzere önemli miktarlarda ve kolay çözünürlüklü tuz içeren topraklardır. Doğal vejetasyon sulu halofitlerden oluşur ve toprak bazen çoraktır. Genellikle tarımsal ürünlerin verimleri düşüktür. Üst horizonza çok az miktarda humus içerirler. (%0.7- 1.3) toprak reaksiyonu hafif alkalidir (pH 7.5- 8.3). Reaksiyon genellikle  $CaCO_3$ ,  $Ca(HCO_3)_2$ ,  $MgCO_3$  ve  $Mg(HCO_3)_2$  tarafından kontrol altında tutulur. Solonçaklarda, kolay çözünebilir tuz konsantrasyonunun en fazla olduğu yer üst horizonlardır. Tuz konsantrasyonu alt katmanlara doğru azalır. Birçok solonçak  $CaCO_3$  ve  $CaSO_4$  ile üst katmanlarda %10'a varan miktarlarda jips içerir.

Solonçaklar hidrolojik, morfolojik ve kimyasal özelliklerinden ötürü çeşitlere ayrılırlar;  $Na_2SO_4$  içeren kabarcık solonçaklar higroskopik düzeyde  $MgCl_2$  ve  $CaCl_2$  içeren ıslak mineral solonçaklar, nitratlı solonçaklar, kloridli solonçaklar, vb. Ayrıca taban suyunun oluşum derinliğine göre alt ayrımlar yapılabilir. Sırasıyla taban suyunun yüzeyel yada derinde olması durumuna göre aktif ve artık solonçak çeşitleri bulunmaktadır.

Solonçak benzeri topraklar; Bu topraklar 1-1.5 m'lik toprak derinliğinde %0.5-1.5 arasında ( $EC_e$ 'nin 10-45 dS/m değerine karşılık gelir) eriyebilir tuz içeren tuzlu topraklardır. Dominant tuzun cinsine göre ve taban suyu derinliğine göre alt

bölümlendirme yapılabilir. Örneğin tuzlu çayır toprakları yüzlek derinlikte tabansuyu içerirler, birikmiş tipteki solonçak benzeri topraklarda ise taban suyu derinlerdedir.

Solonetzler: Bu topraklar önemli miktarlarda ESP içerirler. Tuzlu topraklarda görülmeyen profil özellikleri vardır. A horizonu genellikle incedir ve burada kolloidler disperse olmuş durumdadır. Değişebilir sodyumun bir sonucu olarak topraklar, kil minerallerinin birikmesi ile oluşmuş, sert ve koyu renkli blok yada prizmatik yapıda B horizonu bulundurlar. B horizonunda ESP'nin yüksek olması sonucu pH değeri 8'in üzerine çıkar.

Tabansuyu derinliğine profil gelişmesine ve bulunan tuzlara göre alt bölümlendirmeler yapılır.

### **FAO-UNESCO Sistemi;**

FAO ile UNESCO'nun 1974 yılında yayınladığı Dünya Toprak Haritasında, tuzlu topraklar solonçak ve solonetzler olmak üzere sınıflandırılmıştır.

Solonçak topraklar, diğer özelliklerine ek olarak yüksek tuz içeren topraklardır. Yani yılın belli bazı dönemlerinde profil içerisindeki tuz miktarı belli derinliklerde (örneğin, kaba tesktürlü topraklarda 1.25m'den daha az olan derinliklerde) toprağın  $EC_e$  değerinin 15 dS/m'ya da daha fazla olduğu anlaşılmalıdır. Eğer 0.25m derinlikte  $EC_e$  değeri 4 dS/m'nin üzerinde ve pH değeri ise (1:1) 8.5 değerinin üzerinde ise topraklar yine Solonçak olarak sınıflandırılırlar.

Solonetz topraklar, (natric) B horizonuna sahip topraklardır. Bu bir kil birikimi ile olmuş (argilic) horizondur. Blok yada prizmatik strüktürlüdür ve ESP değeri %15'den fazladır.

### **Toprak Taksonomisi;**

Geniş bir kabul gören bu sınıflandırma sisteminde tuz etkisinde kalmış topraklar sınıflandırmanın 3. kategorisinde yer almışlardır. Tuz etkisinde kalmış olan bu topraklar Entisoller, inceptisoller, alpisoller, mollisoller ve aridisoller içerisinde yer alırlar.

Bu toprak sınıflandırma sistemi içerisinde tuzlu toprakların teşhisini belirleyen özellikler şunlardır;

Salic horizon; 15 cm yada daha kalın içerisinde soğuk suda jipsten daha fazla çözünen tuzlar bulunan sekonder bir birikme horizondur. Bu horizon en az %2 tuz içerir ve bu horizonun cm olarak kalınlığı ile % olarak tuz miktarının çarpımı 60 yada daha fazladır. 20 cm kalınlığındaki bir horizonu salic horizon demek için horizonun en az %3 tuz içermesi gerekir. 30 cm kalınlık için en az %2 tuz bulunmalıdır. Natric horizon; Özel çeşit bir killi horizondur. Blok strüktürlüdür ve saturasyonda %15'den daha fazla ESP içerir.

Bazı kısımları %15'den fazla ESP içeren bir C horizonu üzerinde bulunan ve değişebilir  $Mg^{+2}$  ve  $Na^+$  toplamı değişebilir  $Ca^{+2}$  ve  $H^+$  toplamından daha fazla olan bir agrillik horizon bir horizondur.

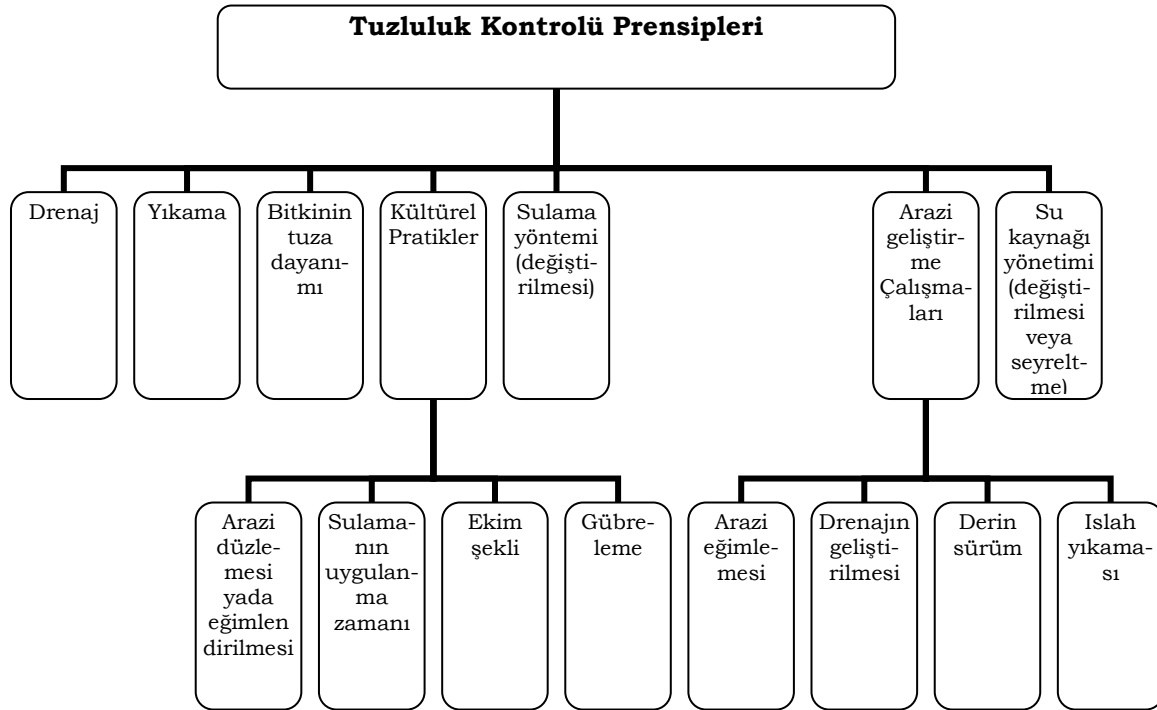
## **KAYNAKLAR**

- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. *Water Quality for agriculture*. FAO Irrig. And Drein. Paper No.29. Rome, 1989.
- Richards, L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils* . U.S. Dept. Agr. Handbook. 60 s.
- Tanji, K.K. *Agricultural salinity assessment and management*. ACSE Manuals and Reports on Engineering Practice No.71, New York, 1996.
- Van Horn, J.W. and J.G. Alphen. *Salinity Control, Salt Balance and Leaching of Irrigated Soils*. Int. Center for Advanced Mediterranean Agronomic Studies of Bari, Italy, 1991.

## BÖLÜM VIII : TUZLULUK PROBLEMLERİNİN GİDERİLMESİ

### GİRİŞ

Tuzluluk kontrolünün asıl amacı, yeterli görülebilir bir verimi korumaktır. Tuzluluk kontrolünde çok değişik yönetim (kontrol) önlemleri vardır ve burada bu önlemler ayrı ayrı ele alınacaktır, pratikte ise bu önlemler birlikte uygulanmalıdır (Şekil 8.1).



Şekil 8.1 Tuzluluğun kontrolünde göz önüne alınması gereken prensipler

Önceki bölümlerde iki önemli kural vurgulanmış idi; (1)Kök bölgesinde biriken tuzların buradan, verimi azaltıcı etkide bulunmadan, yıkama ile uzaklaştırılması, (2)Her zaman toprakta nemin kolaylıkla alınabilir olarak bulundurulması. Bunun yanında drenajın mutlaka gerekliliği unutulmamalıdır ve iyi bir tuzluluk kontrolü drenaj olmadan sağlanamayacaktır. Eğer drenaj yeterli ise, yıkama için gereken su bitkinin tuza olan duyarlılığına ve sulama suyunun tuzluluğuna bağlı olacaktır. Tuzluluk yüksek olduğunda, yıkama için gereken su derinliği (hacmi) yüksek olabilecektir, bu durumda ekonomik pazar koşullarının izin verdiği ölçüde, daha dayanıklı bitki seçimi gündeme gelebilecektir. Su kalitesi ile ilgili tuzluluk problemlerinin çözümünde, bitkinin değiştirilmesi oldukça şiddetli bir değişim olup, ancak diğer daha az şiddetteki (etkideki) önlemlerin işe yaramadığı koşullarda göz önüne alınır. Bir başka açıdan ise yıkama, düşük tuzluluktaki sulama sularının kullanıldığı koşullarda dahi tuz birikimini önleyici bir uygulama olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla beraber yıkama yalnızca, drenajın

yeterli olduğu ve taban suyunun yükselerek tuzlulaştırma kaynağı olarak etki yapmayacağı koşullarda uygulanabilir.

Drenaj, yıkama ve daha dayanıklı bitki seçimi gibi uygulamalar, uzun-dönem tuzlulaşmanın önlenmesi için göz önüne alınacak olan uygulamalardır, bunun yanında ise benzer verim azaltıcı etki yaratacak kısa-dönem yada geçici tuzlulaşmaların önlenmesi için diğer bazı kültürel önlemlerin de alınması gerekmektedir. Bazı kültürel önlemlerden olan örneğin daha sık sulama, arazi tesviyesi, gübreleme zamanının ayarlanması ve ekim yöntemleri gibi uygulamalar tuzluluğun kontrolü çalışmalarına yardımcı niteliktedirler.

Su kalitesinden kaynaklanmayan yüksek tuzluluk koşulunda ise kısa dönemde bitkinin değiştirilmesi ile birlikte drenaj ve arazi ıslahı çalışmalarının da göz önüne alınması gerekecektir. Toprak ıslahından sonra, kalıcı (sürekli) bitki deseni su kalitesine bağlı olarak oluşturulur. Bazı özel durumlarda, belli bir dönem için alternatif bir su kaynağı var ise, tuzlu suyun oluşturacağı etkiyi önlemek için bu su kullanılabilir yada tuzlu su ile karıştırılabilir. Drenaj, yıkama, bitkinin değiştirilmesi ve kültürel pratikler gibi bazı seçenekler, bundan sonraki kısımda ayrıntılı olarak incelenecektir.

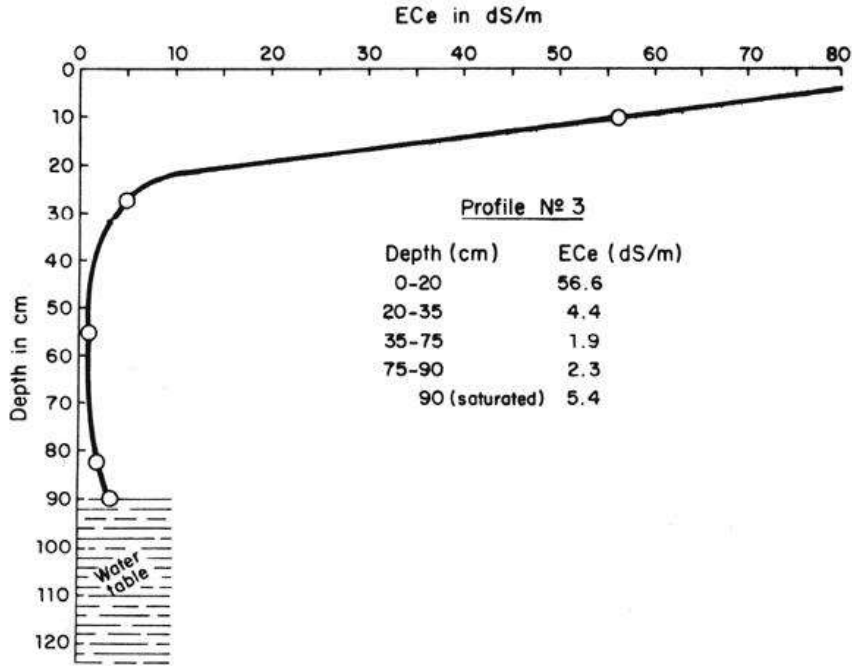
## **TUZLULUK KONTROLÜ PRENSİPLERİ**

### **Drenaj**

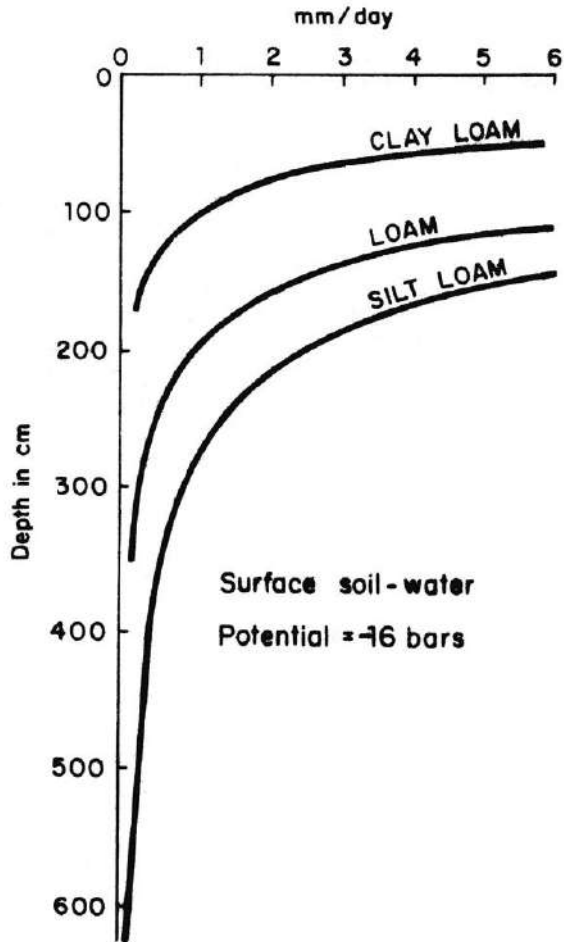
Sulanan alanlarda gözlenen tuzluluk problemleri çok sık olarak 1-2 m derinlikte yer alan kontrol edilemeyen taban suyu nedeniyle olmaktadır (Şekil 8.1). Yüzlek taban suyuna haiz pek çok toprakta, su kapillarite ile aktif kök bölgesi içerisine kadar yükselir ve taban suyu tuzlu ise, kök bölgesi içinde su bitki tarafından ve buharlaşma ile eksildiğinden sürekli bir tuzlulaştırıcı kaynak niteliği taşır. Toprakların bir süre nadasa bırakıldığı özellikle sıcak iklime sahip bölgelerde bu şekildeki tuzlulaşma daha süratli olabilecektir. Kontrolsüz tuzlu taban suyundan olan tuzlulaşmanın derecesi sulamanın yönetimine, yer altı suyunun derinliğine ve tuzluluğuna, toprak tipine, ve iklim koşullarına bağlıdır. Şekil 8.2 bize taban suyundan önemli derecede tuz taşınması olabileceğini göstermektedir.

Kurak ve yarı-kurak alanlarda, eğer taban suyu güvenli bir derinlikte tutulamaz ise (genellikle 2m) kötü drenajın neden olduğu tuzlulaşma yeterince kontrol altına alınamaz. Bu kontrol açık drenaj yada “tile” drenaj teknikleri ile yada bazı noktalarda açılacak drenaj kuyuları ile tuzlu suyun alandan uzaklaştırılıp güvenli tuz-depolarına taşınması ile sağlanabilir. Drenaj yeterli olduğunda, sulama suyu kalitesi ve sulamanın yönetimi ile ilişkili tuzlulaşma yalnızca, sulama suyu ile iletilen tuzlar toprak kök bölgesinde verimi etkileyici düzeyde biriktiğinde önemli olacaktır. Etkin bir tuzluluk kontrolü, bu nedenle, taban suyunun belli bir derinlikte kontrolünde ve stabilizasyonunda ve gerektiğinde yıkama suyunun uygulanması aşamasında yeterli bir drenajı mutlaka içermelidir. İstenen düzeyde bir yıkamayı sağlayacak uygulanan sudan oluşacak net akış miktarı tuzluluğu kontrol edecektir. Bu yayında belirtilen tuz birikiminin tamamının uygulanan sulama suyu ile iletilen suların meydana geldiği varsayılmaktadır.





Şekil 8.1 Yüksek taban suyu koşulunda tuzluluk profili



Şekil 8.2 Kapilar akış ile taban suyu düzeyi ilişkisi

## **Yıkama İle Tuzluluğun Kontrolü**

Topraktaki eriyebilir tuzlar aşırı düzeyde biriktiğinde yada aşırı düzeyde birikeceği anlaşıldığında, bitkinin su gereksiniminden daha fazla olarak uygulanacak yıkama ile kök bölgesinden uzaklaştırılabilir. Uygulanan bu fazla su bir kısım tuzları derine sızma ile kök bölgesinde yıkayarak alt katmanlara doğru taşır. Yıkama, sulama suları ile taşınan tuzların yıkanmasında anahtar uygulama olmaktadır. Zaman boyutunda, yıkama ile kök bölgesinden uzaklaştırılan tuzların miktarı, sulama suyu ile iletilen yada biriktirilen tuz miktarından daha fazla olmalıdır. Burada cevaplanması gereken soru, ne kadar yıkama suyu verilmelidir ve ne zaman uygulanmalıdır?

### **Yıkama Gereksinimi**

Pek çok yayında “*yıkama hacmi, LF*” terimi ile “*yıkama gereksinimi, LR*” terimi birlikte kullanılmaktadır. Her iki terimde, tuzluluğun kontrolünde kök bölgesi altına sızan sulama suyu miktarını ifade etmektedir. Ancak, yıkama gereksinimi kavramının içerisinde bitkinin ekonomik verimlilik düzeyi de dahil edilmektedir. Bir başka ifade ile yıkama gereksinimi, toprakta yetiştirilen bitkinin ekonomik verimlilik potansiyelinin azalmasına neden olmayacak tuzluluk düzeyinin oluşturulmasında, kök bölgesi altına sızan su hacminin uygulanan toplam su hacmine oranıdır.

Tuzluluklar göz önüne alındığında ise, yıkama gereksinimini belirleyebilmek için, sulama suyu tuzluluğu ( $EC_w$ ) ve bitkinin tuza dayanım tuzlulukları ( $EC_e$ ) bilinmelidir. Sulama suyu tuzluluğu laboratuvar analizleri ile elde edilebilirken,  $EC_e$  değeri bitkilerin tuza dayanımlarını ifade eden tablolardan (Çizelge 7.2) alınmalıdır. Bu tablolar tolere edilebilir bitki verim kaybı (genellikle %10) uygun olarak kabul edilebilir  $EC_e$  değerlerini içermektedir.

Yıkama gereksinimi (LR) oranı, genelde uygulanan bitki rotasyonları için Şekil 8.3 den tahmin edilebilir. Belirli bir bitki için daha doğru bir tahmin yapabilmek için, yıkama gereksinimi eşitliği kullanılabilir (Rhoades 1974; Rhoades ve Merrill 1976).

$$LR = \frac{EC_w}{5(EC_e) - EC_w} \quad (1)$$

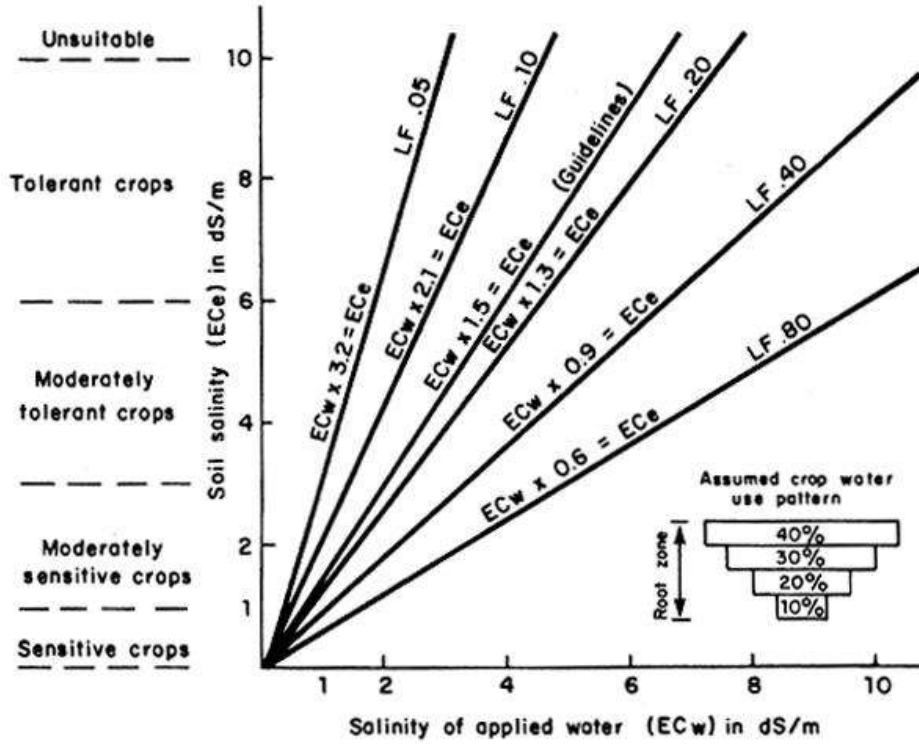
*Burada;*

*LR=Geleneksel yüzey sulama yöntemleri ile tolere edilebilir tuzluluğu kapsayan minimum yıkama gereksinimi,*

*$EC_w$ =Uygulanan sulama suyunun tuzluluğu (dS/m), ve*

*$EC_e$ =Saturasyon ekstraktında ölçülen ve bitki tarafından tolere edilebilen tuzluluk değeridir.*

Burada kullanılacak tuzluluk değerleri olarak, bitki için %90 yada daha fazla oranda verimlilik potansiyelini içeren değer alınmalıdır. Bunun yanında suyun tuzluluğunun orta yada yüksek olduğu koşulda (>1.5 dS/m) verim değerinin, tuzluluğun kontrolünün kritik değerinde olması nedeniyle, %100 olarak seçilmesinde yarar vardır.



Şekil 8.3 Değişik LF değerleri için toprak tuzlulukları ( $EC_e$ ) ile ilişkili olarak uygulanan su tuzluluğunun ( $EC_w$ ) etkisi

Yıkama gereksinimini de içeren toplam sulama suyu miktarını bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılır;

$$AW = \frac{ET}{1 - LR} \quad (2)$$

Burada;

$AW$ =Uygulanan sulama suyu derinliği (mm/yıl),

$ET$ =Yıllık toplam bitki su gereksinimi (mm/yıl),

$LR$ =Fraksiyon olarak yıkama gereksinimi değeri (LF).

### **Örnek 1:** Yıkama gereksinimi hesaplanması.

Mısır bitkisi karık sulama ile sulanıyor. Bitki homojen olarak ekilmiş ve kullanılan nehir suyunun tuzluluğu ise  $EC_w=1.2$  dS/m. Bitki yıllık toplam su gereksinimi  $ET=800$  mm. Sulama randımanı %65. Bu durumda bitki su ihtiyacını karşılamak için alana verilmesi gereken toplam sulama suyu miktarı  $800/0.65=1230$  mm olmaktadır. Yıkama gereksinimi için verilmesi gereken su miktarı ne kadardır?

Verilenler:  $EC_w=1.2$  dS/m,

$EC_e=2.5$  dS/m (mısır için tablo 4 den ve %90 verim potansiyeli için)

$EC_e=1.7$  dS/m (mısır için tablo 4 den ve %100 verim potansiyeli için)

Açıklama: Yıkama gereksinimi 1 nolu eşitlikten, istenen verim potansiyeli değeri kullanılarak hesaplanabilir.

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

$$LR = \frac{EC_w}{5(EC_e) - EC_w} = \frac{1.2}{5(1.7) - 1.2} = 0.16 (\%100 \text{ verim potansiyeli})$$

*Hem bitki su tüketimini hem de yıkama gereksinimini karşılamak üzere verilmesi gereken toplam sulama suyu miktarı 2 no lu eşitlikten hesaplanabilir.*

$$AW = \frac{ET}{1 - LR} = \frac{800}{1 - 0.10} = 890 \text{ mm/mevsim}$$

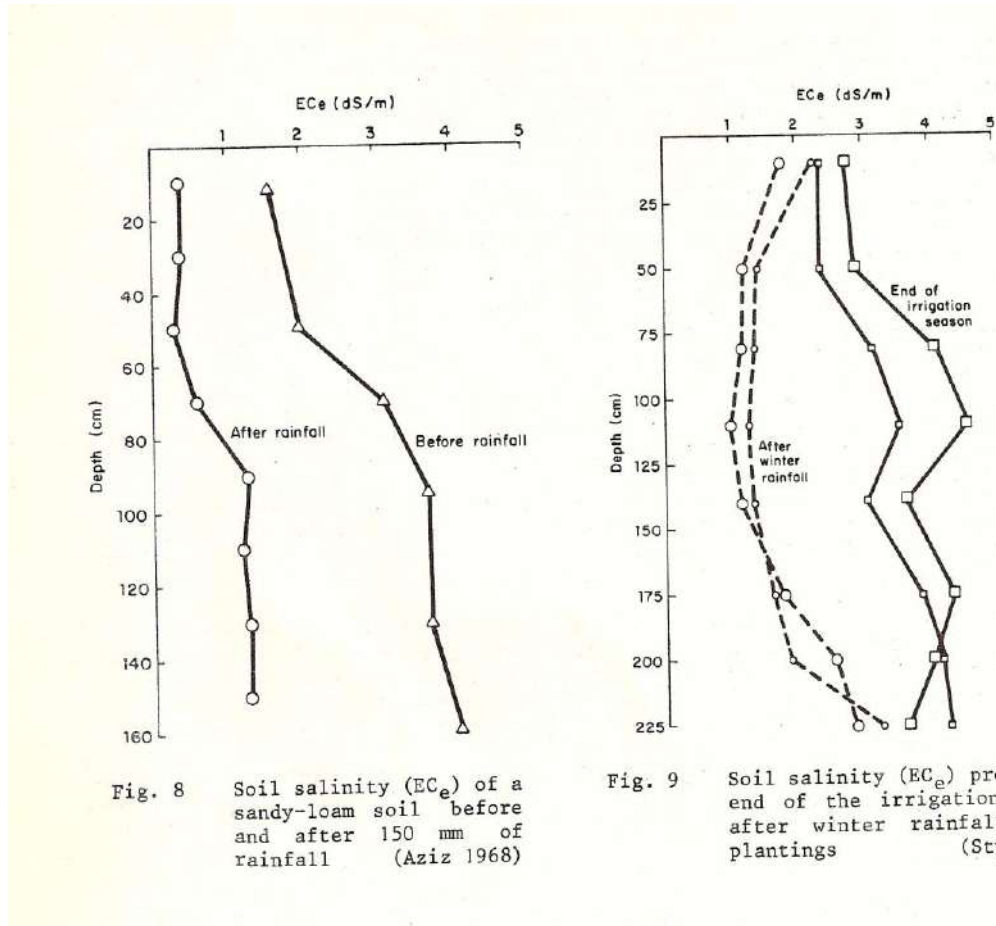
*Burada sulamanın başarılması için gereken miktar yani bitki su ihtiyacı ile sulama kayıpları birlikte 1230 mm dir. Bu miktar, bitki su ihtiyacı ile birlikte yıkama gereksinimi toplamı olan 890 mm den daha fazla olduğundan, burada sorulacak soru, bu fazla suyun derine sızma kayıplarından mı oluştuğu ve bu fazlalığın yıkama gereksinimini içerip içermediğidir. Genelde derine sızma kayıpları, normal sulamalar altında 0.15 lik bir yıkama gereksinimi düzeyini her zaman içerirler ki bu yıkama gereksinimi miktarı genel pratikler içerisinde sıkça rastlanan ve yeterli olabilen bir düzeydir. Bu örnekte, gereksinilen yıkama ihtiyacı oranı olan 0.10 yada 0.16, sulama etkinliği içerisinde yer alan miktarla karşılanabildiğinden, tuzluluğun kontrolü için ayrıca yıkama amaçlı su uygulanmasına gerek kalmamaktadır.*

### **Yıkama Zamanı**

Verim azalmasına neden olacak kadar tuzun birikmesi belli bir zaman alacaktır. Pek çok iyi kalitede sulama suyu için, yıkama olmadan, verim üzerine etkili olacak kadar tuz birikimi olabilmesi için 2 yada daha fazla yıl geçmesi gerekmektedir. Bundan başka, tuzun zararlı düzeylere ulaşabildiği gelişme döneminin sonlarında, tuzluluk etkisi daha az olacaktır. Bu nedenle gelişmenin başlangıcında tuzluluk yeterince düşükse, gelişme dönemi içerisindeki su kullanım etkinliği, tuzluluktan ötürü herhangi bir azalma oluşturmadan, %100 olarak alınabilir. Gelecek dönemde, yağışlar, nadas dönemi ve ekim öncesi sulamalar sonucunda kök bölgesindeki tuzlar alt katlara doğru yıkanır ve bitkinin su kullanımı bir daha ki gelişme dönemi içerisinde de yeterli düzeyde olur. Sıcak yaz dönemi içerisinde hem bitki su gereksinimini ve hem de yıkama gereksinimini birlikte karşılamak zor olabilecektir. Burada unutulmamalıdır ki, yıkama, tuz birikiminin verim azalmasına neden olabileceği beklenmediği sürece gereksizdir.

Yıkamanın zamanı, bitkinin tuza dayanımı göz önüne alındığında eğer dayanım sınırları açısından bir sorun olacağına inanılmadığı sürece, önemli olmayacaktır. Ancak bu yıkama nisbeten önemsizdir olarak algılanmamalıdır. Yıkama gereksinimi, fazla tuz birikimini önlemede yeterli olmalıdır. Yıkama uygulamaları her sulamada, alternatif sulamalar sırasında yada daha seyrek olmak üzere yıllık yada daha uzun aralıkta, verim yeteri kadar azalmadan tuzluluğu eşik değerinin altında tutmak için, yapılabilir. Pek çok kereler, sulamadaki düşük randıman (etkinlik) sonucunda gereksinilen yıkama gereksinimi hacmi kendiliğinden oluşabilir ve ek bir yıkama uygulaması gereksiz hale gelir (Örnek 1). İyi kaliteli suyun kullanıldığı ve yıkama gereksinimini düşük olduğu (<0.10) koşullarda, sulama etkinliğinin azlığı nedeniyle kök bölgesi altına sızan su hacmi, hemen hemen her zaman yeterli yıkamayı oluşturur. Ancak su kalitesinin kötü olduğu koşullarda genellikle büyük hacimleri kapsayan yıkama gereksinimleri ortaya çıktığından, drenaj sorunu ile birlikte ele alınırlar. Normal sulama pratikleri altında oluşan sızma kayıpları genelde iyi bir tuzluluk kontrolünde yeterli olmaktadır.

Yağışlar, yıkama gereksinimi hacminin hesaplanmasında mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Yağışlarla toprağa giren su miktarı hem bitki ET sinin bir bölümünü karşılamakta, hem de yıkama gereksiniminin bir bölümünü karşılamakta etkindir. Etkili yağış miktarı eksik olan ET yi karşılamakta rol oynar. Eğer ET değerinden fazla ise bu kez drenaj suyu oluşturur ve kök bölgesinden tuzları yıkayarak yıkama gereksiniminin bir bölümünü yada tamamını karşılar. Yağışın, yıkama gereksiniminin tamamını yada bir kısmını karşılamadaki avantajı, uniform etkisi ve düşük tuzluluğudur ( $<0.05$  dS/m). Eğer yağışın intensitesi, toprağın infiltrasyon hızından daha düşük olursa etkisi daha fazla olur. Toplam yağış miktarı yeterli olduğunda, yıkama gereksinimi (LR) hesabında kullanılan ortalama sulama suyu tuzluluğunun azaltılmasına neden olur ve böylece oransal olarak yıkama gereksinimi hacmi de azalır. Şekil 8.4a, yağışın kök bölgesi tuzluluğunu hızla nasıl azalttığını açıklamaktadır.



Şekil 8.4 Kök bölgesinde yağışlar etkisi ile oluşan yıkanmaya ilişkin örnekler

Yağışın düşük olduğu yıllarda yada alanlarda, yağış toprağın su tutma kapasitesini tamamlamada yetersizdir, ve bu koşulda profilde biriken tuzların yıkanmasında bir etkisi olmaz ancak tuzların toprağın üst katlarından alt katlarına doğru hareket etmesine neden olur. Böylece üst toprak katmanlarının düşük tuzluluğu nedeniyle çimlenme oranı artacaktır.

Yağışların soğuk aylarda yada kışın meydana geldiği iklimlerde, kurak geçen yıllarda dahi kış yıkamasının oluşması mümkün olabilecektir. Yoğun sonbahar

yada erken kış sulamaları, topraktaki nem açığını gidererek doyuracağından, kış yağışlarının yıkama yapabilmesine olanak sağlaması açısından önerilmektedir. Daha sonra kış yağışları toprak nem açığını gidererek düşük tuzlulukta suyu ile yıkamanın bir bölümünün yada tamamının meydana gelmesine neden olur. Kış yağışlarının bunu başaramadığı durumlarda ise, erken dönem (ilkbahar) sulamalarında oluşacak derine sızma kayıpları tarafından toprak nem açığı giderilerek yıkama oluşturulur. Şekil 8.4b 'de narenciyede kış yağışlarının oluşturduğu yıkama gösterilmektedir.

Yıkama gereksinimi hesaplanabilir (eşitlik 1), ancak biz sadece gerçekte oluşabilecek toplam yıkamayı tahmin edebiliriz. Toprak ve bitkinin izlenmesi yıkamanın hesaplanmasında yararlı gereçlerdir. Bir sulama sezonundan diğerine önemli değişimler meydana gelebilir; bu nedenle izleme uzun dönem eğilimleri etkileyecektir ve toprak tuzluluğu değişecektir.

Pek çok çalışma, tarla denemesi ve gözlemleri yıkamanın verimliliğinin artırılmasında ve gereksinilen suyun miktarının azaltılmasında bize yön göstermektedir. Bunlardan bazı uygulamalar ve önerileri şöyle sıralayabiliriz;

- Sıcak periyot yerine yıkamayı soğuk periyotta uygulayınız, bu şekilde hem yıkama verimliliği artmış olacak hem de ET değerindeki kayıplar azalacaktır.
- Mümkün olduğunca tuza dayanıklı ürünleri kullanın, bu ürünler için gereksinilen LR miktarı daha az olduğundan toplam su gereksinimi az olacaktır.
- Toprak sürümünü arazideki yüzey akışın azaltılmasını sağlayacak şekilde uygulanması halinde yüzeyde oluşan ve suyun bypass olmasına ve yıkama verimliliğinin azalmasına neden olan çatlakların azalması sağlanabilir.
- Yağmurlama sulama yönteminin kullanılması tercih edildiğinde, suyun toprak infiltrasyon oranından daha düşük bir hızda uygulanması ile toprakta sature olmayan ortamdaki su akışı sağlanabileceğinden yıkama verimliliği artırılmış olacaktır. Ayrıca göllenme şeklindeki uygulamaya göre, daha fazla sulama zamanına karşın daha az sulama suyu uygulanmış olacaktır (Oster et.al. 1972).
- Gölleme ve kuruma uygulamasını sırayla uygulamak, sürekli göllemeye oranla, daha uzun zaman gereksinimine rağmen daha az su kullanımı oluşturacaktır ve daha etkili bir yıkamaya neden olacaktır (Oster et.al. 1972). Yüksek taban suyunun ikincil tuzlulaşma oluşturabileceği alanlarda daha uygun bir yöntemdir.
- Uygun olan yerlerde yıkamalar, bitki su gereksiniminin daha az olduğu dönemlerde yapılmalı yada bitki gelişme döneminin sonuna ertelenmelidir.
- Özellikle sıcak yaz aylarında ikincil tuzlulaşmanın kapilarite nedeniyle etkin olabileceği ortamlarda nadas uygulamasından kaçınılmalıdır.
- Eğer infiltrasyon oranı düşük ise, aşırı su uygulamasından kaçınmak için, ön sulama yada sezon sonu yıkama uygulamaları tercih edilmelidir.
- Yağmur dönemi başlamadan sulama yapılması, yıkama için beklenen normal yağış toplamının yeterli olmadığı iklimlerde, yıkamanın tamamlanabilmesi için, uygulanmalıdır. Yağmur, genelde iyi kaliteli su ile düşük infiltrasyon

oranında yıkama oluşturduğundan çok uygun bir yıkama şekli oluşturmaktadır.

### **İzleme (Monitoring)**

İyi bir sulama yönetimi, yeterli sulama suyunun ve yıkama gereksinimini toplamının atık su oluşturmadan uygulanmasını içermektedir. Sulama suyu gereksinimi ve sulama suyu toplamı tahmin edilebilir ve uygulanacak toplam sulama suyu derinliği hesaplanabilir. Bununla beraber pek çok koşulda ise, uygulanacak su derinliğinin (akış oranı, uygulama süresi ve alan) tahmini, tuzluluk kontrolünde yıkamanın yararlılığı güvenilir olmadığından, doğru olmamakta yada uygulanmamaktadır. Geçmiş uygulamalar ve halihazır koşullar için güvenilir tahminler toprak örnekleri alınarak tuzluluk analizleri ile yapılabilir. Toprak örneklerinden görünürdeki yıkama fraksiyonu değeri ile geçmişteki sulama uygulamaları sonucu toprakta oluşan tuzlulaşma oranı belirlenebilir.

Aşağıdaki uygulamalar önerilebilir;

- Toprak örnekleri alarak, kazarak yada benzer yöntemlerle yada tecrübelerinizle son bitkinin kök derinliğini tahmin edin. Tahmin edilen derinlik, gözlenen derinliğin %75-85 ini içermelidir.
- Kök bölgesinde her bir çeyrek toprak derinliğinden toprak örnekleri alınız, ve saturasyon ekstraktında  $EC_e$  ölçümü yapınız.
- Elde edilen toprak tuzluluklarına karşı toprak derinlikleri için, şekil 2 dekine benzer bir grafik oluşturunuz ve burada farklı LR değerlerine karşılık gelen toprak tuzluluk değerlerini grafikleyerek karşılaştırma yapınız. Daha sonra, alanınıza ait tuzluluk profilinden yararlanarak uygun LF değerini tahmin ediniz.
- Kök bölgesi profiline ait dört toprak  $EC_e$  değerinden yararlanarak, ortalama kök bölgesi tuzluluğunu hesaplayınız ve bu değeri ekimi düşünülen bitkiye ait dayanıklılık değeri ile karşılaştırınız.
- Halihazırdaki LF değeri ile ortalama  $EC_e$  değerlerini kullanarak, yıkama fraksiyonu değerini azaltmak yada artırmak için gereken sulama pratiğini ayarlayın, böylece seçilen bitki için dayanım değerlerine uygun olarak toprak tuzluluk değerinin oluşması sağlanmış olacaktır. Buna alternatif olarak, toprak tuzluluk değeri bitkiye göre oluşturulamıyorsa, toprak tuzluluk değerine uygun olarak bitki seçimi yapılmalıdır.

### **Bitkinin Tuza Dayanımı**

Bütün bitkiler tuzluluğa karşı benzer bir tepki göstermezler ve bazı bitkiler yüksek tuzluluklarda dahi yeterince ürün oluşturabilirler. Bitkilerin tuzluluğa uyum sağlayabilme yeteneklerinin bilinmesi yararlıdır. Toprak tuzluluğunun yetiştirilen bitkinin ekonomik bir verim oluşturması için kontrol edilemediği alanlarda, yüksek tuzluluk düzeylerinde yeterli ve ekonomik ürün oluşturabilen bitkilerin seçimi açısından bu bilgiler gerekli olmaktadır.

Bitkilerin tuza dayanımı konusu bundan önceki bölümde ayrıntıları ile incelenmiştir.

### **Kültürel pratikler**

Yeterli drenaj, bitkinin tuza dayanımına bağlı olarak yıkama gereksinimi uygulanması yada bu mümkün değil ise tuza dayanımı daha yüksek bitkilerin seçimi gibi esas yönetim seçenekleri daha önceki bölümde tartışıldı. Bunlar en uygun yönetim prensipleridir ancak, bunların yanında özellikle çimlenme, erken bitki gelişimi ve sonuçta da verim üzerine etkili olacak diğer bazı daha az etkin yönetim prensipleri yada pratikleri aşağıda belirtilmiştir. Çoğu durumda kötü verim, çimlenme yada erken gelişme dönemindeki uygun olmayan yetiştiricilik koşullarının etkisiyle olabilmektedir. Bu gibi kısa dönem kültürel önlemler, özellikle sulama suyu tuzluluğunun arttığı koşullarda çok önemli bir nitelik kazanacaktır. Bu önlemler olarak; daha iyi bir su dağılımını sağlayacak arazi tesviyesi, su stresini ve kabuk bağlamayı engelleyebilecek bir sulama zamanı planlaması, tuzlulaşma riski olan yerlerde tohum ekiminden kaçınmak, ve gübre materyalinin, gübreleme zamanının ve miktarının seçiminde dikkatli davranmak.

### **Arazi Düzeltmesi (Düzleştirilmesi) ve eğimleme**

Eğer arazi tesviyesi uniform bir su dağılımı açısından uygun değilse yada tesviye yapılmamış ise, bu gibi alanlarda tuzluluğun kontrolü daha zordur. Bu gibi eğimi düzensiz alanlarda, sulamadan sonra bazı yerlerde (tepelikler) su tutumu daha az olurken, taban arazilerde ise su baskını etkisi ortaya çıkacaktır ki, tepeliklerde su eksikliği ve tuzlulaşma etkisiyle çimlenme ve bitki gelişimi etkilenirken, su baskını altında kalan alanlarda da çimlenme ve bitki gelişimi olumsuz etkilenecektir. O nedenle salma yada yüzey sulama yöntemlerinin uygulandığı alanlarda, yağmurlama yada damla sulamanın uygulandığı alanlara oranla arazi tesviyesi gereksinimi daha fazla olacaktır.

Arazinin düzleştirilmesi, basit olarak arazinin tepeliklerinin ve çukurluklarının düzeltilmesi işlemidir. Arazi tesviyesinin yerini alamaz ve onun sağladığı düzgün arazi şeklini ve eğimlemesini içermez. Arazinin düzleştirilmesi işlemi her yıl uygulanabileceği gibi, birkaç yılda bir bitki çeşidinin değiştirilmesi durumunda uygulanabilir. Arazi tesviyesi ise bir kez uygulanan ve gerektiğinde büyük arazi parçalarının bir yerden alınarak başka bir yere taşındığı bir uygulamadır.

### **Sulama zamanı**

Tuzlu suların kullanıldığı koşullarda, sulama zamanı planlaması, su stresinin azaltarak daha başarılı bir verimi olası kılar. Sulama zamanı planlamasından kasıt, sulama sıklığının artırılması, kış dönemi başlangıcında sulama yapılması, ön sulama pratikleri, yada çimlenmeye yardımcı olmak amacıyla diğer bazı sulama uygulamalarıdır. Sulama zamanlamasının ana amacı tuzluluğun azaltılması ve sulamalar arasındaki dönemdeki su stresinin düşürülmesidir.

Sulamalar arasındaki dönemde su stresinin azaltılması çoğunlukla sulama sıklığının artırılması ile toprak suyunun aşırı bir biçimde tüketilmesinin önüne geçilir. Bu da yüksek su alım potansiyelinin sağlanması demektir.

Ancak sulamanın sıklaştırılması her zaman beklenen yararı sağlamayabilir. Örneğin yüzey sulama yöntemlerinin uygulandığı alanlarda (salma ve karık sulama) sık sulama ile birlikte uygulanan su derinliğinin çok artması sonucu, su kullanım



randımanını azalır ve drenaj problemi ortaya çıkar. Yüzey sulama yöntemleri uygulanan su miktarlarının düzenlenmesi açısından yağmurlama yada damla sulamaya oranla daha az uygundur. Uygun sulama yöntemlerinde sulama sıklığının artırılması, su kullanımını artırmayacaktır.

Yüksek tuzlu sulama suyundan gelen tuzlar toprakta üst birkaç cm lik kısımda, özellikle sıcak ve kurak iklimlerde ve taban suyunun yüksek olduğu alanlarda, bitkisiz dönemdeki yüksek evaporasyon sonucunda birikmeye başlarlar. Bu tuzluluğun düzeyi hem sulama suyunun tuzluluğu ve hem de varsa taban suyunun tuzluluğu tarafından etkilenir. Bu gibi koşullarda çimlenme, fide gelişimi ve verim olumsuz etkilenir. Bu yüzeyde biriken tuzları azaltmak için ekim öncesi yıkama amaçlı sulama uygulaması sıkça yapılır.

Eğer kış yağışları yüzeyde biriken tuzları yıkamaya yeterli olmaz ise, yapılacak sulama ile yüzey toprağı doyurulduğunda sınırlı miktardaki kış yağışları ile yüzey toprağında biriken tuzların yıkanması mümkün olur. Yağmur suyu kalite açısından mükemmel bir niteliktedir ve yüzey toprağını yıkayarak çimlenme problemlerini önler. Geç sonbahar yada erken kış sulamaları, Akdeniz Bölgesi gibi kış yağışlarının yıkamaya yeterli olmadığı iklimler için çok yararlı bir uygulamadır. Kış yağışları ile birlikte ekim öncesi sulamalar, su kalitesinin ideal olmadığı durumlarda yetiştiriciye büyüme mevsimi içerisinde sulamalarda büyük bir esneklik tanır.

Ortadan yükseğe doğru tuzlu suların ( $EC_w > 1$  dS/m) kullanıldığı koşullarda, özellikle yükseltilmiş yataklarda ve karık sulama yapılan alanlarda yapılan ekimlerde çimlenme, tohum yataklarında biriken tuzlar nedeniyle zayıflar. Lahana, domates gibi nisbeten tuza hassas bitkilerin yetiştiriciliğini yapan çiftçiler bu durumda yağmurlama sulamasını, çimlenme yataklarındaki sıcaklığın azaltılmasını yada erken çimlenme uygulamalarını tercih ederler. Sulamalar birkaç gün boyunca daha kısa süreli olarak günde bir kaç kez olarak uygulanır. Yaklaşık 10-14 gün sonra yağmurlama sulama sistemi oradan kaldırılarak tarlanın başka bir yerine taşınır ve karık yada salma sulama hangisi uygulanacaksa, sulamalara devam edilir. Bir dönemde, tek bir yağmurlama sulama birimi, pek çok yerde çimlenme ve erken dönem sulamaları için kullanılabilir.

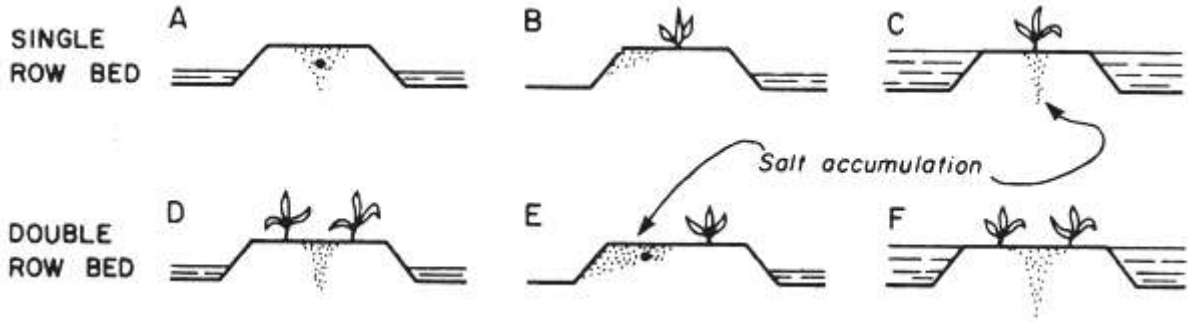
Suda klor yada sodyum nisbeten yüksek olduğunda, gövde üzerinden yapılacak yağmurlama sulama uygulamaları problemlere neden olabilecektir. Bu sorunlar, bu minerallerin buharlaşma ile toprakta birikmesi yada ıslanan yapraklardan absorbe edilerek zararlı düzeylerde birikmesi şeklinde ortaya çıkar. Bu sorunlar yavaş dönen yağmurlama başlıkları ile düşük intensitede yapılan sulamalarda daha çok ortaya çıkar. Sudaki Na yada Cl iyon konsantrasyonu 3 meq/l nin üzerine çıktığında sorunlar başlar. Zararlanmalar genelde yaprak kenarlarında ve ucunda görülen yanmalar şeklinde ortaya çıkar ve yaprakta yapılacak Cl ve Na analizleri ile karara varılabilir. Yüksek nemin olduğu zamanlarda örneğin gece yapılan sulamalarla bu etkinin büyük oranda önüne geçilebilir.

### **Tohum Ekimi**

Tuzluluk çimlenmeyi yavaşlatır yada imkansız hale getirebilir ve özellikle karık sulamanın uygulandığı alanlarda sulama suyunun yada toprağın tuzluluğunun yüksek olması bu durumu ortaya çıkarır. Yetiştiriciler genelde çimlenmenin azalması etkisini ortadan kaldırmak için gereğinden daha fazla tohum ekme yoluna giderler. Bu durumda gereğinden daha fazla bir bitki popülasyonu ve aynı zamanda uniform olmayan bir bitki popülasyonu oluşturulmuş olur ve daha

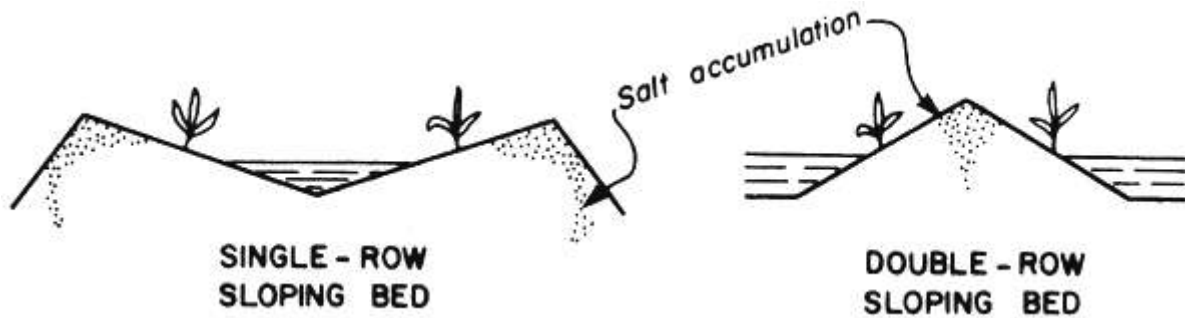
sonra seyreltme yapılması için de ayrıca masraf yapılması zorunluluğu ortaya çıkar. Bu durumda en uygun yol, tohumun çimleneceği ortamın tuzluluktan arındırılması olmalıdır. Uygun ekim biçimleri, tohum yatağı biçimleri, ve sulama uygulamaları ile kritik dönemlerdeki çimlenme sorunlarının büyük oranda önüne geçilebilir.

Karık sulama alanlarında topraktaki su akışı karık içlerinden karık sırtlarına doğru olacaktır. Bu durumda toprakta bulunan tuzlar da su ile birlikte karık sırtlarına doğru hareket edip buralarda birikecektir (Şekil 8.5 A). Bu durumda tek sıralı ekimin uygulandığı karık sisteminde tohumun ekildiği yer, tuzun en fazla biriktiği bölge olacaktır. Çift ekim sırasının uygulandığı yükseltilmiş karık sisteminde ise tohum ekim yerleri karık sırtının iki tarafına doğru kayacağından, tuzun yoğun olarak biriktiği orta kısımdan uzaklaşmış olacaktır (Şekil 8.5 D).



Şekil 8.5 Düz yüzeyli karıklar ve sulama uygulamaları (Bernstein et.al. 1975)

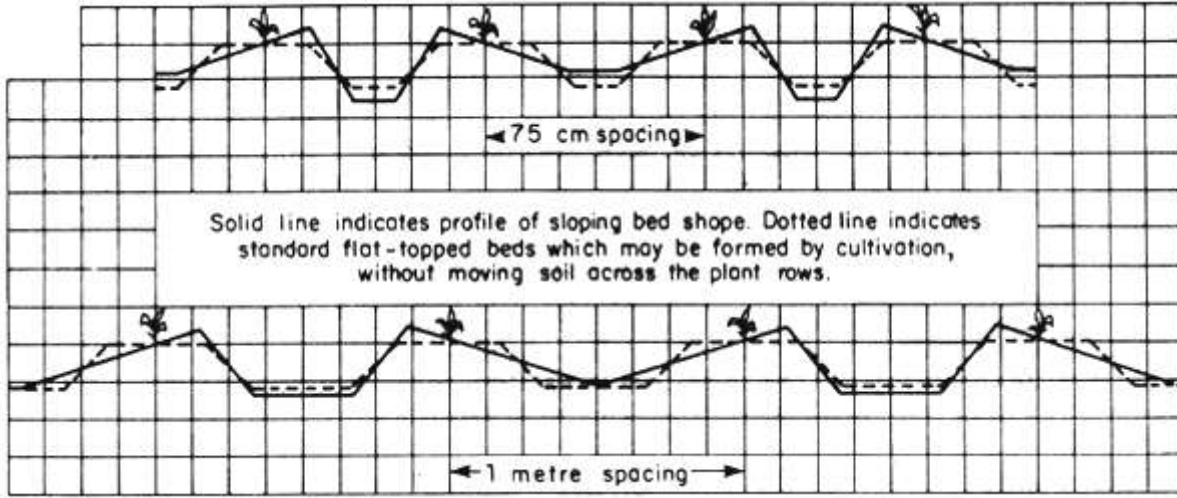
Daha başka ekim alternatifleri de vardır. Örneğin alternatif sıra sulama uygulaması (Şekil 8.5 B ve E) yardımcı bir pratiktir. Karık sırtında tuz birikimi olacaktır ancak tek sıralı ekim yapılan yerlerde karık sırtı ortasında daha düşük miktarda olacaktır ve çift sıralı ekim yapılan yerlerde ise biriken kısım suyun uygulandığı karıktan uzaktaki karık kenarında olacağından, alternatif sulama çift sıralı ekimde önerilmez.



Şekil 8.6 Eğimli karıklarda tuzluluğun kontrolü (Bernstein and Fireman, 1957)

Tek sıralı yada çift sıralı ekim uygulansın, tuzluluğun sorun olduğu alanlarda uygulanan su miktarının artırılması ile de tuz birikimi toprakta daha ince bir profilde sağlanabilir (Şekil 8.5 C ve F). Yada daha iyi bir uygulama örneği olarak Şekil 8.6 de gösterilen eğimli yüzeyli karık biçimi uygulanabilir. Burada bitki ekimi yada dikimi eğimli yüzey üzerinde ve su hattının hemen yanına yapılır. Burada sulamaya, ıslak çeper tohum yatağını geçinceye kadar devam edilir. Sulu tarımın kolaylıkla uygulanabildiği ve daha sonra klasik düz yataklı karık sistemine dönüşün kolay olduğu doğru bir eğimli karık biçimi Şekil 8.7 de gösterilmiştir.

Eğimli karıktan klasik düz sırtlı karığa dönüş genellikle çimlenmeden ve erken gelişme döneminden sonra yapılır.



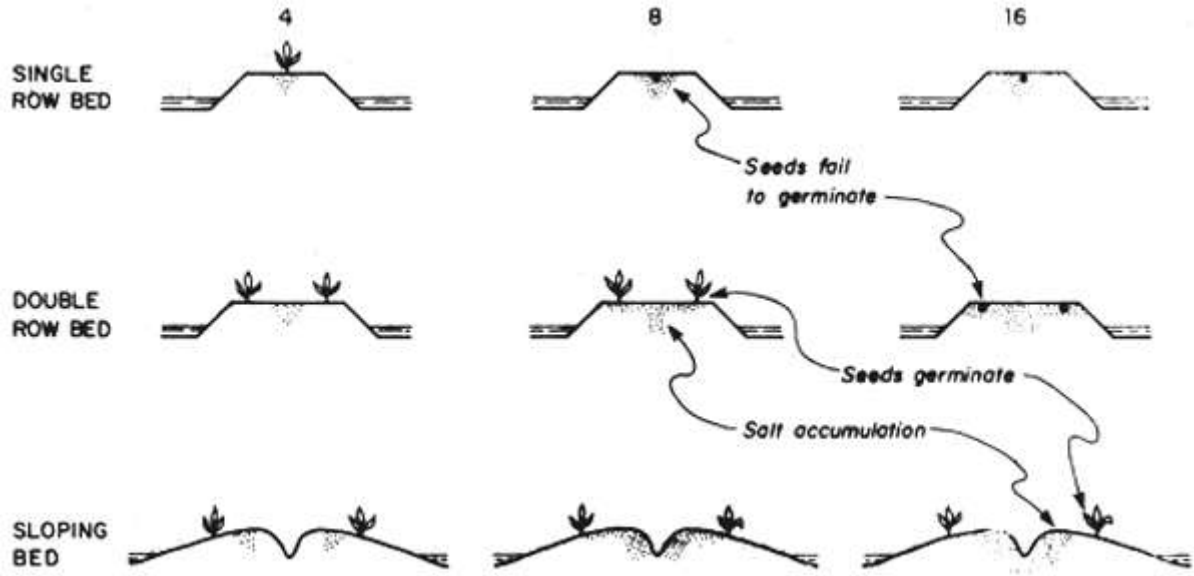
Şekil 8.7 Eğimli karıklar (Bernstein and Ayers, 1955)

Tek sıralı eğimlendirilmiş yatakların yaygın şekilde kullanılan bir diğer uyarlaması Şekil 8.8'de gösterilmiştir; bu yatak hem tuzluluk ve hem de sıcaklık kontrolü için kullanılmaktadır. Tohumlar karıktaki su hattının hemen üzerine ekilmektedir. Kışın veya erken ilkbaharda ekilen bir bitki için birkaç derece daha yüksek toprak sıcaklığı önemlidir; eğimlendirilmiş yatak kuzey yarımkürede güneye doğru yönlendirilmektedir. Daha soğuk toprak sıcaklığının istendiği soğuk iklimlerde bu eğimin tersine çevrilmesi (güneşten uzak yüze yönlendirme) yararlı olmaktadır.

Farklı toprak tuzluluklarında Şekil 8.9 da verilen diyagram, tohum yataklarındaki şekil düzenlemesinin etkinliğini açıklamaktadır. Gerçek tepki, başlangıç toprak tuzluluğuna, sulama yöntemine, sulama suyu tuzluluğuna, ve bitkinin çimlenmedeki dayanıklılığına bağlı olacaktır. Pek çok bitkide tuzluluk çimlenmeyi azalttığından, karıklarda suyu uzun süre tutmakla ıslak ortam yaratılacağından ve bu durumda kabuk bağlama önlenip tuzluluk azalacağından, bazen çıkış artırılabilir.



Şekil 8.8 Tuzluluk ve sıcaklık kontrolü için eğimli karıklar



Şekil 8.9 Karık şekilleri ve tuzluluk etkileri (Bernstein at.al., 1955)

### Gübreleme

Gübreler, çeşitli artıklar ve ıslah maddeleri içerisinde yüksek konsantrasyonda pek çok eriyebilir tuz barındırırlar. Gübreler çimlenen fidenin çok yakınına atılırsa, tuzluluk yada toksisite sorunlarının çıkmasına yada bu sorunların artmasına neden olurlar. Örneğin 50 kg/ha azot gübrelemesi (240 kg/ha amonyum sülfat), gübrenin alana uniform dağıtılması halinde herhangi bir olumsuzluk yaratmamasına karşın, eğer tohumun çok yakınına verilirse, mümkündür ki, yüksek tuzluluk etkisi, çimlenmenin azalmasına yada çıkışın iyi olmamasına yada fidenin kötü gelişmesine neden olabilecektir.

Sonuçta gübrelemenin zamanı kadar toprakta yerleştirildiği nokta da önem kazanmaktadır. Fideler tuzluluğa hassastırlar ve küçük olduklarında az miktarda gübreye gereksinim duyarlar. Bu nedenle ekimde yada ekim öncesi az miktarda gübre uygulanmalı, kalan miktar çıkıştan daha sonraki (ana gelişme döneminden daha önce olmak üzere) bir dönemde uygulanmalıdır. Buna ek olarak, daha az tuz içeren gübre kompozisyonları seçilmelidir. Gübre ne kadar az tuz indeksi içerirse, tuzluluktan ötürü meydana gelebilecek yaprak yanması gibi zararların riski o kadar azalacaktır. Bazı gübrelerin tuz indisleri Çizelge 9 da verilmiştir.

Bitkilerin tuza dayanımlarının genel olarak optimum verim için gereksinilen miktardan fazla verilecek gübreden etkilenmediği düşünülür. Ancak, hem tuzluluk hem de yetersiz gübreleme birlikte verim düşüklüğü üzerine etkili olduğunda, bu faktörlerden birisinin yada her ikisinin birden düzenlenmesi ile verim artırılabilir. Buna karşın gübreleme yeterli ancak tuzluluk yüzünden verim düşüklüğü söz konusu olduğunda, gübreleme miktarının artırılması ile verimin düzenlenmesi mümkün olmayacaktır.

### Sulama Yöntemi (Değiştirilmesi)

Sulama yöntemleri hem su uygulama etkinliğini ve hem de tuzların birikme şeklini doğrudan etkilemektedir. Salma ve yağmurlama sulama yöntemleri tüm alan

üzerine su uygulayabilme amacıyla planlanırlar. Bu, tuzların çoğunluğunun daha aşağı kök bölgesinde birikimi sonucunu doğurmaktadır. Birikimin derecesi yıkama oranına bağlı olmaktadır.

Farklı sulama yöntemleri için tuzlulaşma desenleri Şekil 6.5 de gösterilmiştir. Yalnızca tarla yüzeyinin bir kısmına su uygulayan lokalize sulama (drip, trickle veya spitter) veya karık sulamadan kaynaklanan tuz birikim desenlerine karşın tüm tarla boyunca üniform derinlikte su uygulayan yüzey sulama veya yağmurlama sulama için tuz birikim desenlerini göstermektedir. Karık sulaması durumunda, tuzlar salma sulamaya benzer şekilde toprak derinliğiyle birlikte oluşmakta fakat su tarafından kaplanmayan alanlarda da birikmektedir. Tuzlar suyla birlikte suyun hızla buharlaştığı en yüksek noktaya kadar taşınırlar ve aynı zamanda yerçekimiyle sular drene olurken daha derinlere yıkanılırlar. Lokalize sulama için tuzlar damlatıcıdan ıslanmış toprak kenarlarında birikirler. Bu, kürenin en dış kenarında tuzluluğun en yüksek olduğu bir ıslak küresel şekil sonucunu vermektedir.

Yıkama yapılırken suyun tatminkar şekilde infiltre olmadığı yerlerde isole tuz birikim cepleri sık şekilde meydana gelmektedir. Bunlar yüksek alanlar, daha yoğun toprağa sahip alanlar ve 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 en düzgün uygulamayı genelde sağlamaktadır fakat .....

Her sulama yöntemi belirli avantajlara ve dezavantajlara sahiptir ve bilinen tüm faktörler sistemi değiştirmek vasıtasıyla tuzluluk kontrolünü iyileştirmeye teşebbüs etmeden önce dikkate alınmalıdır.

Yüzey salma yöntemleriyle (salma, tava ve karık), toprağa giren uygulanan su derinliği tarlada yerden yere değişir ve infiltrasyon için mevcut infiltrasyon hızı ve zamana bağlı olarak değişim gösterir. İnfiltrasyon hızındaki farklılıklar, arazi eğimi, sıkışma derecesi, tekstürel değişiklikler ve toprak kimyası tarafından neden olunmaktadır. İnfiltrasyon esnasında tanınan zaman da değişmektedir; su kaynağına en yakın tarlanın daha üstteki ucu, daha aşağıdaki ucundan daha uzun zaman toprak yüzeyi üzerinde genellikle suya sahiptir. En kuru alan tipik olarak tarla aşağısına doğru mesafenin yaklaşık üçte ikisidir. Tarladaki yüksek noktalar da daha az su almaktadırlar çünkü yüksekte olma daha az suyla daha kısa süre suyla kaplanmak demektir.

Bu yüzey salma yöntemleri her sulamada 80-100 mm'den daha az suyu uygulayabilmek için genellikle tatmin edici şekilde esnek değildirlir. Sonuç olarak muhtemel su stresini azaltabilmek için daha sık şekilde sulama su kaybına ve suda boğulmaya ve drenaj problemlerine de neden olabilir. Su stresini hafifletebilmek amacıyla yüzey salmayla sulamalardan ziyade yağmurlama veya damla sulamayla sulama sıklığının artırılması daha kolay olabilir. Bununla birlikte yağmurlama ve damla sulamanın kendi problemleri de bulunmaktadır ve tüm su, toprak, iklim şartlarına veya bitki tipine adapte edilemezler.

İyi planlanmış bir yağmurlama sistemi iyice üniform ve yüzey akışı engelleyecek yeterince düşük uygulama hızlarında suyu uygulayacaktır. İyi yönetilirse, mükemmel bir tam sulama ve yeterli üniform yıkama sonucunu verecektir. Uygulanan su derinliği uygulama sürelerinde, yağmurlayıcı aralığında ve başlık noztl büyüklüğündeki ayarlamalarla kontrol edilmektedir. Rüzgar su dağılım desenini bozabilir ve dikkate alınmalıdır. Bitkilerin özellikle tuzluluğa, yüksek sıcaklıklara ve toprağın kabuklanmasına duyarlı olduğu zamanlarda

yağmurlayıcılar, sıcaklık kontrolünde çimlenme ve erken fide gelişiminde yardımcı olmak amacıyla bazen kullanılırlar. Bunun yanında yağmurlayıcıların dönme turları arasında su buharlaşırken yapraklar üzerinde tuzlar (sodyum veya klor) aşırı şekilde konsantre oluyorsa, duyarlı bitkiler üzerinde yağmurlayıcılar yaprak yanmasına neden olabilirler. Konsantre olan bu tuzlar absorbe edilirler ve bir toksisiteye neden olabilirler.

Sıcak kurak alanlarda yağmurlayıcı kullanımı hakkında ifade edilen endişelerden birisi yağmurlama esnasında oluşan buharlaşma kaybı ve toprağa infiltre olan suyun tuzluluğundaki muhtemel artış olmakta ise de bu endişeyi doğrulayabilecek kadar önemli derecede buharlaşma olduğuna açık delil bulunmamaktadır. USA California imperial ovasında sabit sulama sistemi kullanılan bir tarla çalışması, 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 fakat tarlanın ana kısmında %5 den daha az bir artışa neden olduğunu göstermiştir (robinson 1973). Diğer olaylar benzer buharlaşma kayıpları göstermiştir. %5'ten daha az bir konsantrasyon faktörünün çok az etkiye sahip olması beklenilmektedir fakat %20'lik faktör tarla kenarlarında tuza duyarlı bitkiler için bazı zorluklara neden olabilmektedir.

Lokalize sulama sistemleri ( drip veya trickle veya sprinkler) çok düşük uygulama oranlarında (2.8 l/h/damlatıcı) günlük veya günlük esasa 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 kısa dönemli tuzluluk kontrolü için nerdeyse sürekli aşağı doğru su ve tuz hareketi olmalıdır. Bitki yetiştirme döneminde sulama etkinliği %100'e yakın olabilmektedir ki bu yüzey akış ve derine sızmalar nedeniyle kayıplar oluşmaksızın bitki evapotranspirasyon ihtiyacının temel olarak karşılanabildiği anlamına gelmektedir. Lokalize sulamayla tuzlar da birikmektedir. Bununla birlikte tuzlar, damlatıcılar arasındaki toprak yüzeyinde ve su uygulayıcılar tarafından ıslatılan alanının dış kenarlarında birikmektedir. Zamanla damlatıcılar arasındaki ıslak kenarlardaki ve toprak yüzeyindeki bu tuz birikimi görülür hale gelmektedir ve söz konusu tuzlar yağmurla bitki kök bölgesine taşınırsa, yıllık bitkilerde ise ön yıkama yapılmaksızın bu tuzlu alanlara yeni dikimler yapılırsa bir tehlike oluşturmaktadırlar. 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 sulamalar devam edilmesi veya 50-100 mm yağış düşene kadar sulamalara devam edilmesi tavsiye edilmektedir. Şayet yağış yetersizse, lokalize sistemle birlikte destekleyici yıkamaya ihtiyaç duyulabilir.

Lokalize sulama mevsiminden sonra ve yeniden ekimden önce yağmurlayıcılarla veya yüzey salmayla yıkama, birikmiş tuzların yıkanmasında etkili olmaktadır. Bununla birlikte bu ikinci bir sulama sistemine gerek duyabilir ve fazla miktarlarda ek suya ihtiyaç duyacaktır fakat nispeten tuzlu su ve lokalize sistem kullanıldığında iyi üretimi sürdürmek için gerekli olabilir.

İyi kaliteli sularla, damla sulamayla verim karşılaştırılabilir şartlar altında diğer sulama yöntemleriyle eşit veya hafifçe daha iyi olmaktadır. Daha yüksek tuzlu sularla (EC<sub>w</sub> > 1.0 dS/m); sürekli yüksek nem bitkiler tarafından kullanılan günlük olarak tazelenmiş suyla korunması nedeniyle verim hala çoğunlukla daha iyidir. Sık

yağmurlama sulama benzer sonuçlar verebilir fakat testler, yaprakların sodyum ve klor absorpsiyonundan kaynaklanan aşırı yaprak yanması ve dökülmesi ihtimaline ve verimde düşümlere işaret etmektedir. Şayet tuzluluk birikimi her zamanki sulama yöntemiyle bitki toleransını geçiyorsa, damla sulamayla daha iyi bir verim mümkün olabilir.

Kök bölgesine hızlı şekilde su tablasını yükseltme ve birkaç saat-bir veya iki gün sonra havalandırma problemini önlemek için drene edilmesi vasıtasıyla yalnızca birkaç duruma adapte edilmiş yüzey altı sulaması yapılmaktadır. Su tablasının yükselmesi ve düşmesi için harcanan zaman 2-5 gündür. Suyun yukarı doğru hareketi tuzluğun su tablasından veya topraktan kaynaklanıp kaynaklanmadığına bakılmaksızın tuzların toprak yüzeyinde veya toprak yüzeyi yakınlarında konsantre olması eğilimindedir. Tuz birikimi yeterli yağış veya ekim öncesi yıkamayla kontrol edilmelidir. Toprak periyodik olarak doğal yağış veya yüzeye uygulanan yıkama suyu vasıtasıyla yıkanmaksızın yüzey altı sulaması düşük kaliteli yeraltı sularıyla yapılmayabilir.

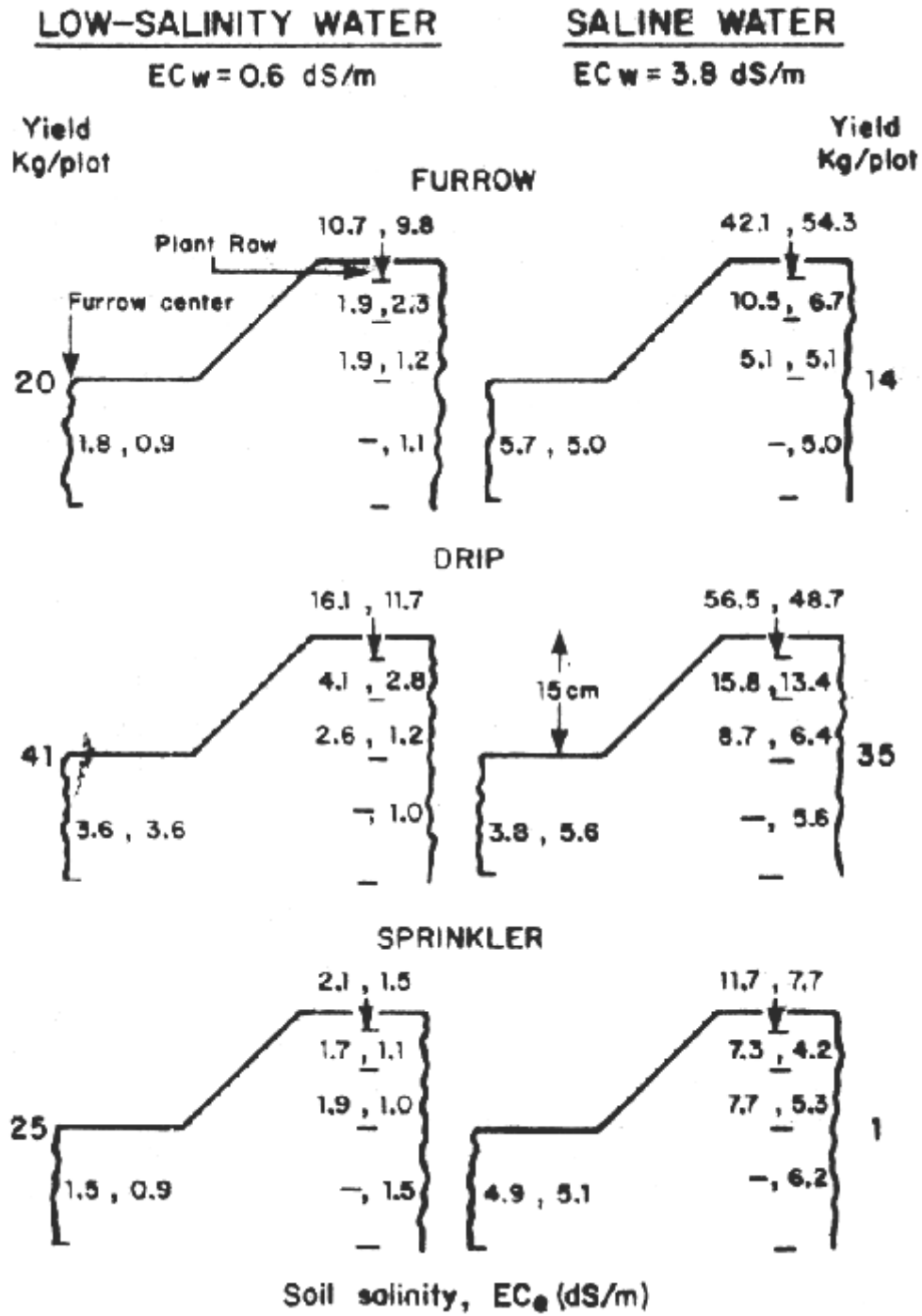
Şekil-18, dolmalık biberin çeşitli sulama yöntemleriyle sulanması sonucu ortaya çıkan tuz dağılım desenlerini göstermektedir. Aynı miktar su kullanmasına rağmen önemli şekilde verim farklılıklarıyla sonuçlanan her bir sulama yöntemini de Şekil-18 göstermektedir. Damla sulamayla, normalde iyi kaliteli su olarak dikkate alınan suyla ( $EC_i=0,6$  dS/m) sulanan bir bitki yağmurlama ve karıkla sulanan bitkilerden yaklaşık %50 daha fazla verim vermiştir. Daha yüksek tuzlu sulama suyu ( $EC_i=3.8$  dS/m) ile damla sulama sisteminin avantajı daha çok duyulmuştur. Verimdeki farklılığının bir bölümü, damlatıcıların bitkilere daha yakın yerleştirilmesiyle ve damla sulama yöntemiyle daha sık sulama yapılmasıyla muhtemelen açıklanabilmektedir. Üstten yağmurlayıcılarla ıslanan yapraklar vasıtasıyla sodyum ve klor absorpsiyonuyla bitkinin zarar görmesinin aksine bu iyi tuzluluk kontrolü sağlamıştır.

### **Tuzluluğun Kontrolü İçin Arazi Geliştirme Çalışmaları**

Burada şimdiye kadar sözü edilen önlemler her yıl tekrarlanması gereken yada belli aralıklarla tekrarlanması gereken önlemlerdir. Bitki gelişme dönemi içerisinde uygulanabilecek önlemlerden bazıları ise; arazinin eğimlendirilmesi, yeterli drenajın kurulması, derin sürüm ve fazla tuzların yıkanması işlemleridir.

#### ***Arazi Eğimlemesi***

Eğer sulanan alan topoğrafik olarak suyun uniform dağılımına ve infiltrasyonuna izin vermiyorsa, tuzluluğun kontrolü zorlaşır. Arazinin eğiminin düzenlenmesi ile alanın doğal eğimi, düzgün bir hale getirilir. Bu işlem sırasında oluşacak olan kesiklenmeler (toprak kompaksiyonları), eğimin düzeltilmesi işleminden sonra uygun toprak işleme aletleri ile giderilebilir.



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



## **Toprakaltı Drenajının İyileştirilmesi**

Toprakaltı drenaj problemleri ve yüzlek taban suyu sorunları tuzluluk kontrolünü zorlaştırmaktadır. Yüzlek taban suyu sorunu, toprak yüzeyinin altında az geçirimli bir katmanın olması halinde oluşur. Drenaj problemleri ise genelde aşırı sulamadan olabileceği gibi, üst alandan oluşan sızmalardan yada kanallardan oluşan sızmalardan da olabilir. Yüzlek taban suyu sonucu oluşan tuzluluk sorunlarının giderilmesindeki ilk yapılacak şey, taban suyu seviyesini düşürmek ve kararlı hale getirmektir. Tuzlu sudan ötürü oluşabilecek potansiyel tuzluluk zararının giderilmesinde drenajın gerekliliği birinci sırada yer almaktadır. Herhangi bir sulama proje alanında uzun dönem tuzluluk kontrolünde drenaj mutlaka sağlanmalıdır. Eğer bir alanda yeterli drenaj oluşturulmuş ise, yüzey toprağının tuzluluğunun azaltılması için sulamanın yönetimi daha kolay olacaktır.

## **Derin Sürüm**

Tabakalı topraklarda sulamanın verimli bir şekilde yapılabilmesi zordur. Kil, kum yada sert tabakalı toprak katmanları sulama suyunun ve aynı zamanda tuzluluğun kontrolü için uygulanacak olan yıkama hacminin toprağın derinlerine doğru süzülmesine engel olurlar. Bu yüzden bu tabakaların kırılması yada daha geçirgen bir yapıya kavuşturulmaları gerekir. Bu amaçla derin sürüm yapılması uzun süreli bir çözüm sağlayabilecektir.

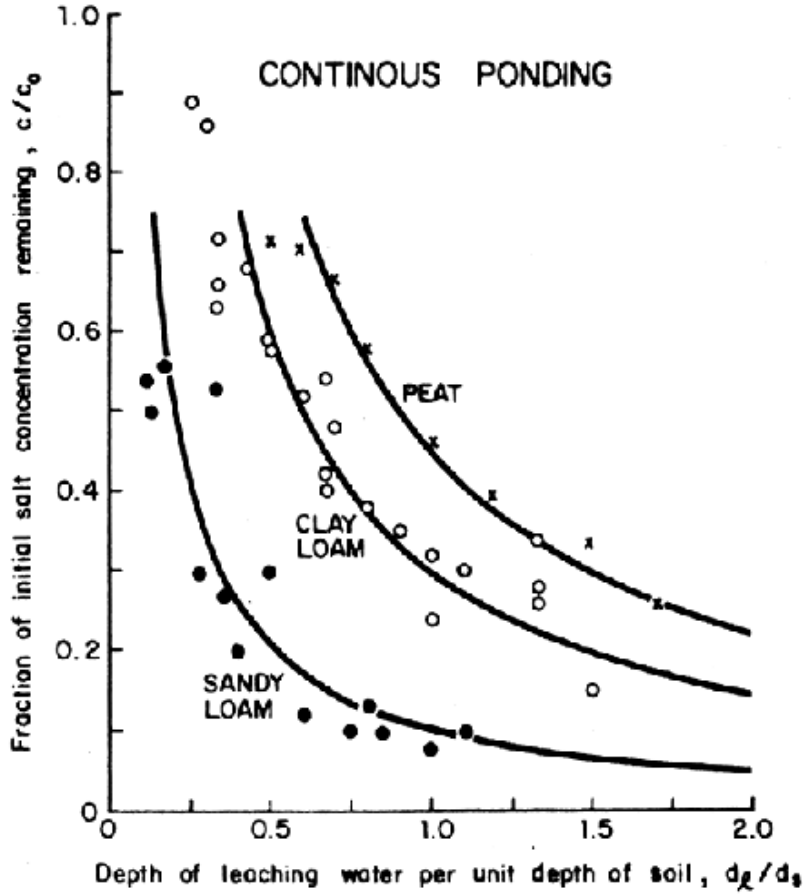
## **Islah Yıkamaları**

Eğer tuzluluk düzeyi planlanan bitkiler için çok yüksek bir oranda ise, ekim öncesi büyük bir yıkama (ıslah) uygulaması gerekli olabilir. Tuzlar değişik biçimlerde ve farklı kaynaklardan gelip birikmiş olabilir. Her halikarda üst toprak katmanının tuzluluğu (0.3 m) ekimden önce istenen dayanım sınırlarına doğru azaltılmalıdır. Üst toprak tuzluluk düzeyi 10-12 dS/m den fazla değilse, ekim öncesi yapılacak 10-20 cm lik bir ön sulama uygulaması, genellikle arpa, pamuk gibi dayanıklı bitkilerde yeterli olacaktır. Ancak tuzluluk düzeyi bundan fazla ise, dayanıklı bitkiler için bile 10-20 cm lik ön sulama uygulaması yeterli olmayacak ve ıslah yıkaması gerekli olacaktır.

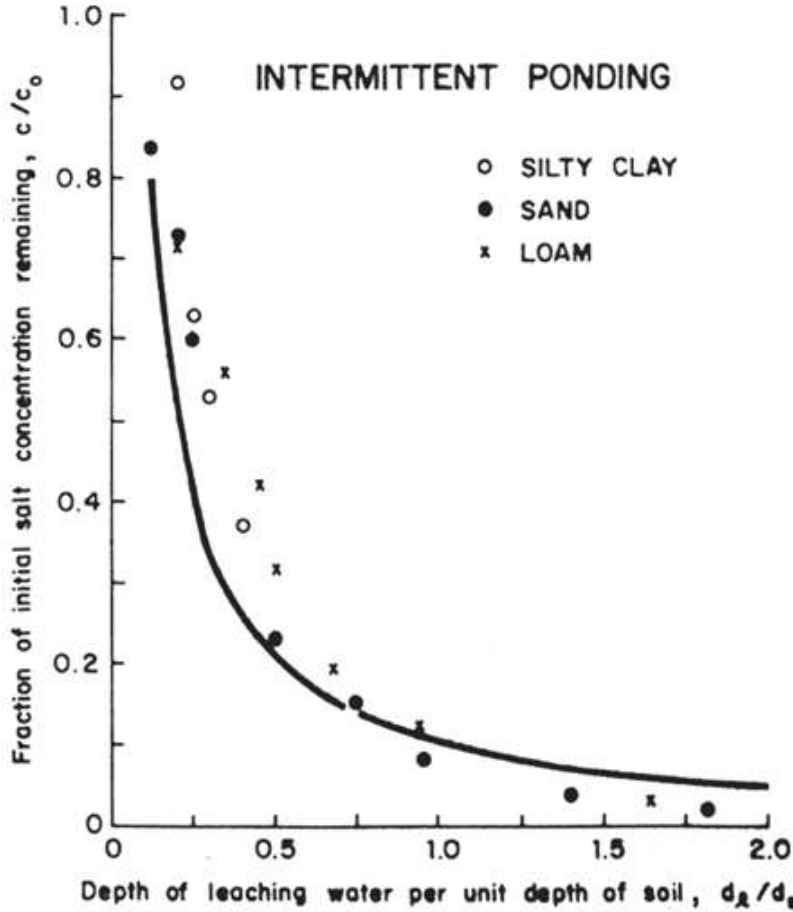
Islah amaçlı uygulanması gereken yıkama suyu miktarı, başlangıç toprak tuzluluğuna ve uygulanan yıkama yöntemine bağlı olacaktır. Tuzluluk ne kadar yükse ise, gereksinilen yıkama suyu hacmi de o kadar fazla olacaktır. Yıkamanın ara verilerek uygulanması (intermittent leaching) halinde, göllendirme (ponding) yöntemine göre hem daha az su kullanılacak ve hem de daha verimli ve etkili bir yıkama yapılabilecektir ancak yıkama için gereksinilen zaman daha uzundur. Toprak nem içeriğine bağlı olarak yıkama için verilen suyun düşük hızda sızmasının sağlanması (unsaturated flow) yani aralıklı yıkama yapılması, yıkamanın tarla kapasitesi nemliliği dolaylarında olmasını sağlayacağından, daha etkili olarak tuzların alt katlara taşınabilmesine imkan verecektir. Göllendirmede ise büyük hacimde suyun topraktan hızlı bir biçimde süzülmesi sırasında suyun bir bölümü geniş porlardan bypas şeklinde drene olacaktır. Küçük porlardan daha az yıkama olacağından, tuzların bir bölümü topraktan yıkanmayacaktır. Bu amaçla yağmurlama ile uygulanan yıkama suyu daha düşük intensitede toprağa verileceğinden verimli bir yıkamaya olanak verecektir.

Islah yıkamasında net olarak ne kadar su miktarı uygulanması gerektiği hakkında bir şey söylemek mümkün değildir. Ancak genel olarak şu söylenebilir; ıslah edilmek istenen toprak derinliği kadar uygulanacak su hacmi ile

göllendirmede %70-80 kadar eriyebilir tuzlar topraktan yıkanabilecektir. Örneğin 100 cm hacminde uygulanan bir yıkama suyu ile toprağın 100 cm derinliğindeki kısmında eriyebilir tuzların %70-80 ninin yıkanabileceği düşünülebilir. Şekil 19 bize yıkanabilen tuz miktarının toprak tipine bağlı olduğunu göstermektedir. Fasilalı yıkamada ise aynı miktar su ile aynı derinlikten %80-90 tuz miktarını yıkamak mümkün olabilecektir. Şekil 20 de fasilalı yıkamada toprak tipinin etkisinin göllendirmeye oranla daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 19 Sürekli göllendirme altında tuzlu toprakların ıslahında birim derinlikteki toprak için gerekli derinlik olarak yıkama suyu miktarları (Hoffman, 1980)



Şekil 20 Fasıllı göllendirme altında tuzlu toprakların ıslahında birim derinlikteki toprak için gerekli derinlik olarak yıkama suyu miktarları (Hoffman, 1980)

### **Su Kaynağının Değiştirilmesi Yada Başka Kaynakla Karıştırılması**

Tuzluluk koşulunda su kaynağının değiştirilmesi basit ve kesin bir çözümdür. Ancak bu çözüm sadece daha iyi kalitede bir su kaynağımızın mevcut olduğunda söz konusu olabilecektir. Örneğin yer altı suları daha tuzlu olduklarından, alternatif bir su kaynağı olanaklı hale geldiğinde, yer altı suyu kaynağının kullanımından vazgeçilir. Ancak eğer su kısıtı var ise alternatif kaynağa geçmek pek kolay olmayacaktır. Bu koşulda eldeki tuzlu kaynağı, alternatif kaynakla değişik oranlarda karıştırarak eldeki su hacmini artırmak yoluna gidilir. Kaynakların karıştırılması (birleştirilmesi) toplam tuz yükünü azaltmaz ancak, daha fazla su ile daha büyük bir alanın sulanmasını olanaklı hale getirir. Karışım suyunun tuzluluğu şöyle hesaplanır;

$$C_{ks} = (C_1 \times V_1) + (C_2 \times V_2)$$

Burada;

$C_{ks}$  = Karışım suyu konsantrasyonu,

$C_1$  ve  $C_2$  = Birinci ve ikinci kaynağın konsantrasyonu,

$V_1$  ve  $V_2$  = Birinci ve ikinci kaynağın hacimleri.

Konsantrasyonlar  $EC_w$  yada me/l olarak belirtilebilir.

Tuzluluğun kontrolünde su kaynaklarının karıştırılarak uygulanması çok pratik ve yaygın bir yol değildir. Genelde yetiştiriciler iki kaynaktan birisini tercih ederler kullanmak için. Özellikle kış yağışlarının alandaki yıkama hacmi gereksiniminin çoğunluğunu yada tamamını karşılamaya yeterli olduğu alanlarda bir kaynağın tek başına kullanılması daha yararlı ve pratik olmaktadır. Alana yüklenecek toplam tuz miktarı değişmeyeceğinden, iyi kaliteli suyun erken gelişme dönemlerinde kullanılması buna karşın düşük kaliteli karışım suyunun ise, bitkinin tuza daha az hassas olduğu, daha ileriki gelişme dönemlerinde kullanılması en iyi yol olacaktır. Karışıma ilişkin bir örnek aşağıda örnek 5'de verilmiştir.

### **Örnek 5: Mısır için Karışım Suyu**

*Bir yetiştirici mısır tarımında  $EC_w=0.23$  dS/m tuzlulukta iyi kalitede sulama suyu kullanmaktadır. İyi bir tuzluluk kontrolü için  $LF=0.15$  oranında yıkama hacmi gereksinimi vardır. Ancak üretim alanlarını genişletmek istemekte ve daha fazla iyi su kaynağı bulunmamaktadır. Kuyu suyunun tuzluluğu ise  $EC_w=3.6$  dS/m dir. Bu durumda mısırdaki bu iki su kaynağının güvenli bir biçimde karıştırılarak uygulanması mümkün olabilir mi?*

<i>Verilen:</i>	<i>Kanal suyu</i>	$EC_w =$	$0.23$ dS/m
	<i>Kuyu suyu</i>	$EC_w =$	$3.6$ dS/m
	<i>Mısırın su ihtiyacı</i>	$ET =$	$800$ mm/yıl
	<i>Yıkama fraksiyonu</i>	$LF =$	$0.15$

### **Açıklama:**

*Verim potansiyeli %90 için gereksinilen yıkama hacmi:*

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

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

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

*Burada kanal suyu koşulunda LR değeri pratikte uygulanan 0.15 değerinden düşüktür ancak bu değer pratikte daha düşük olarak korunması zordur. Buna karşın kuyu suyu koşulunda gereksinilen yıkama hacmi değeri 0.40 gibi yüksek bir değerdir. Gereksinilen sulama suyu hacimlerini hesaplırsak;*

$$A_w = \frac{ET}{1 - LF}$$

$$A_{w(kanal)} = \frac{800}{1 - 0.15} = 941 \text{ mm/ yu}$$

$$A_{w(kuyu)} = \frac{800}{1 - 0.40} = 1333 \text{ mm/ yu}$$

*Çizelge 4'den mısır için 0.15 yıkama hacmi altında %90 verim potansiyelini sağlayacak sulama suyu tuzluluğu değeri 1.7 olarak bulunur. Buna göre karışım suyunun tuzluluğu 1.7 yi geçmemelidir.*

$$(EC_{w(kanal)} \times a) + (EC_{w(kuyu)} \times b) = \text{Max. } EC_{w(\text{karışım suyu})}$$

*Burada a ve b değerleri sırasıyla kanal ve kuyu sularının karışım oranlarıdır. Buna göre;  $(a=1-b)$*

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

$$3.37b = 1.47$$

$$b = 0.44$$

$$a = 0.56$$

Bu sonuca göre, mevcut şartlarda  $A_w=941$  mm/ha/yıl olarak uygulanan kanal suyuna ek olarak %44 oranında kuyu suyu karıştırılarak, uygulanan sulama suyu hacmi aynı kalmak koşulu ile, toplam su hacmi ile üretim alanlarını da %44 kadar genişletmek ve toplam verim potansiyelini de %90 dolaylarında korumak mümkün olabilecektir.

Çizelge 10 da ayrıca diğer kanal suyu ile kuyu suyu oranları için sulama suyunun tuzluluk değerleri verilmektedir.

Çizelge 10. Kanal ve kuyu sularının karışı ile elde edilecek sulama suyu tuzlulukları(\*)

Kanal suyu (%)	EC <sub>w</sub> , dS/m	SAR	Karışım 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	-

(\*) Su analiz sonuçları:

	EC <sub>w</sub> dS/m	Ca me/l	Mg me/l	Na me/l	HCO <sub>3</sub> me/l	Cl me/l	SO <sub>4</sub> me/l	SAR
Kanal suyu	0.23	1.41	0.54	0.48	1.8	0.29	0.17	0.50
Kuyu suyu	3.60	2.52	4.00	32.00	4.50	25.10	8.90	18.00

## KAYNAKLAR

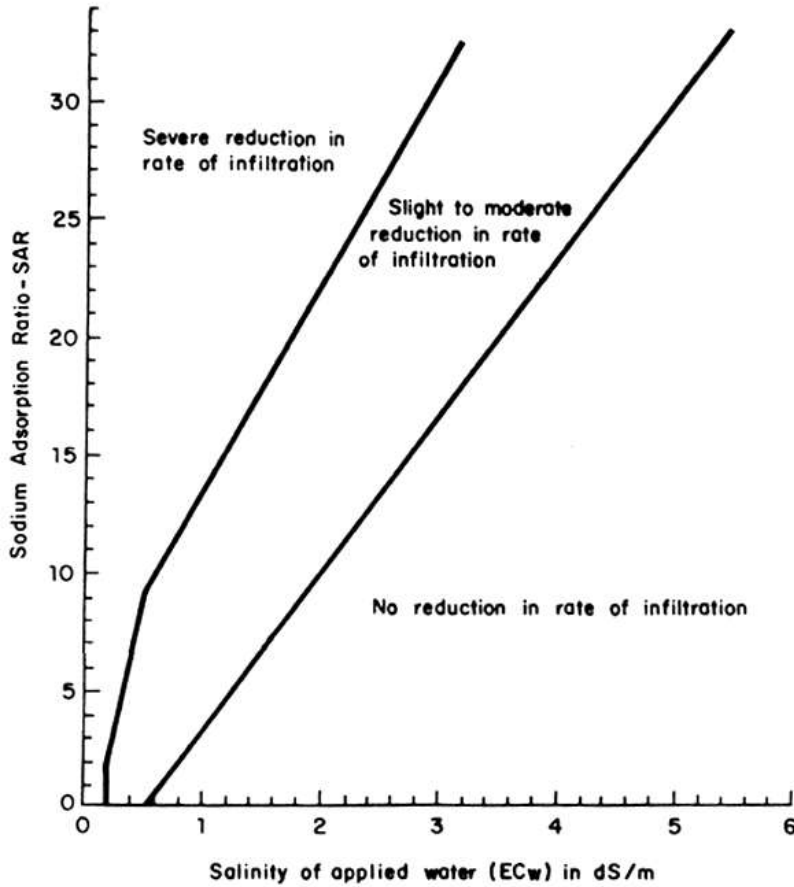
Ayers, R.S. and D.W. Westcot. *Water Quality for agriculture*. FAO Irrig. And Drain. Paper No.29. Rome, 1989.

## BÖLÜM IX: İNFİLTASYON PROBLEMLERİ VE GİDERİLMESİ

### GİRİŞ

Sulama suyu kalitesine bağlı olarak infiltrasyon sorunu, toprağa giren sulama suyu yada yağış sularının normal infiltrasyon hızlarının, bitkinin normal gelişmesi için gereksindiği suyun sağlanabilmesinde, önemli ölçüde azalma görüldüğü durumlarda ortaya çıkacaktır. Suyun toprağa infiltre olma hızı her ne kadar sulama suyu kalitesi ile yakından ilişkili ise de, toprak strüktürü, kompaksiyon derecesi, organik madde içeriği ve kimyasal yapı gibi toprak faktörleri de infiltrasyon hızı üzerine etkilidirler.

Sulama suyu kalitesi ile ilgili olarak suyun infiltrasyon oranı üzerine etkili olan iki önemli faktör vardır: 1) Suyun içerdiği toplam tuz miktarı, ve 2) Suyun  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  içeriği ile orantılı olarak  $Na^+$  iyonu içeriğidir (Şekil 9.1). Genel bir söylemle, yüksek tuzluluktaki sular infiltrasyon oranını artırır, buna karşın düşük tuzluluktaki sular yada  $Na^+$  içeriği  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  içeriğinden fazla olan sular infiltrasyon oranını azaltırlar. Ancak burada her iki koşulda aynı anda oluşmalıdır.



Şekil 9.1. Tuzluluk ve SAR değerlerinin suyun infiltrasyon oranı üzerine etkileri (Ayers ve Westcot, 1989)

İnfiltrasyon oranının azalması ile bitkinin gereksindiği suyun sağlanabilmesi için, suyun yüzeyde tutulma süresi artacağından, bu arada ikinci tür sorunlarla karşılaşılabilir. Bu sorunlar içerisinde tohum yataklarının uzun süre su altında kalması ile tohumların çürümesi ve zayıf bitki sapı yapısı ile aşırı yabancı ot, düzensiz bitki beslenme koşulları ve su baskını altında kalmış bitki yapısı sayılabilir.

### **İNİLTRASYON PROBLEMLERİNİN ORTAYA ÇIKMASI VE GELİŞMESİ**

Genelde toprak infiltrasyon oranındaki değişimler, toprağın üst bir kaç cm'lik bölümünde oluşur ve toprağın yapısal dayanımı ve  $Ca^{+2}$  içeriğine göre fazla miktardaki  $Na^{+}$  içeriği ile ilişkilidir. Toprak yüksek sodyumlu sularla sulandığında, toprak üst yapısında oluşan yüksek sodyumluluk etkisiyle toprak strüktürel yapısı zayıflar ve zayıflayan bu agregalar parçalanarak küçük boyutlu yapılar meydana getirirler. Bu teksel yapıdaki toprak tanecikleri, toprak porlarını tıkayarak su ve hava geçişini zayıflatırlar. Benzer sorunlar, aynı zamanda çok düşük  $Ca^{+2}$  içeren suların uygulanması ile de görülebilirler. Bazı durumlarda ise, düşük tuz içeren suların sahip olduğu korozif etki nedeniyle, agrega yapısı bozularak teksel yapı özellikleri kazanabilirler ve sonuçta infiltrasyon oranı azalabilir. Düşük tuz içeren sularla, yüzey toprağında yer alan pek çok mineral ve bu arada da  $Ca^{+2}$ , alt katlara doğru yıkanır.

Tuzluluk düzeyi 0.5 dS/m'den düşük olan (özellikle de 0.2 dS/m'nin altında olan sular) sular, üst toprak katmanının hemen tüm  $Ca^{+2}$  içeriğini ve pek çok diğer eriyebilir mineralleri alt toprak katlarına doğru yıkayarak, üst toprak stabilitesinin azalmasına neden olur. Mineral madde ve özellikle  $Ca^{+2}$  içermeyen üst toprak agregaları hızla dağılarak teksel bir yapıya bürünürler. Bu teksel toprak tanecikleri, gözenekleri tıkayarak suyun infiltrasyon oranını azaltırlar. Bu koşullarda, bitkinin gereksindiği su miktarının karşılanamamasına ek olarak toprak yüzeyinde kabuk tabakası oluşması ve bitki gelişmesini etkilemesi gibi sorunlarla da sık sık karşılaşılır.

Çok düşük tuzlulukta suların ( $EC_i < 0.2$  dS/m), nisbi  $Na^{+}$  içeriğinden (SAR) bağımsız olarak, toprak infiltrasyon oranını azaltıcı etkileri hemen her zaman söz konusudur. Sulanan alanlarda yağışlar, bu etkisi sonucu büyük yüzey akışlar oluşturabilmektedir.

Toprakta aşırı sodyum birikimi sonucunda da, toprak strüktürel yapısının bozulması söz konusu olmaktadır. Ancak bu etki ancak,  $Na^{+}$  içeriğinin, oransal olarak  $Ca^{+2}$  içeriğinden en az 3 katı olduğunda ortaya çıkar. Toprağın  $Na^{+}$  içeriğinin  $Ca^{+2}$  içeriğinden yaklaşık 3 katı fazla duruma gelmesiyle, düşük tuzlulukta sulama sularının gösterdiği etkiye benzer olarak, toprak agregaları teksel yapıya dönüşürler ve teksel toprak zerrelere gözenekleri tıkayarak, infiltrasyon oranının azalmasına neden olurlar. Bu durum,  $Na^{+}$  iyonunun dispersiyon etkisini önleyecek kadar  $Ca^{+2}$  iyonunun toprakta bulunmamasının bir sonucudur. Aşırı  $Na^{+}$  aynı zamanda bitkinin gereksindiği kadar sulama suyunun kök bölgesine iletilmesine de engel olacaktır. İnfiltrasyonun azalması ile ilişkili olan diğer tür sorunlardan toprak kabuk tabakası oluşması, zayıf fide oluşumu, havalanmanın azalması, bitkide ve kökte görülen hastalıklar, yabancı ot ve sinek kontrolü sorunları gibi sorunlar, ileri dönemlerdeki bitki gelişimini etkileyeceklerdir.

## **İnfiltrasyon Oranı İle İlgili Sorunların Tahmini**

İnfiltrasyon oranı ile ilgili olarak karşılaşılabileğimiz bazı tür sorunların tahmin edilebilmesi olanakları, diğer tür sorunlarda olduğu gibi, sorunların etkilerinin önceden bilinmesi ve önlenmesi çalışmalarında oldukça önemlidir. Toprak infiltrasyon oranı sorununun etkisinin tahmin edilebilmesinde Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC) (Eaton, 1950; Richards, 1954) değeri ve sıkça da Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) (Richards, 1954) değerleri kullanılmaktadır.

Kalıcı sodyum Karbonat değeri aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmaktadır;

$$RSC = (CO_3^{=} + HCO_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$$

Eşitlikte belirtilen bütün değerler me/l cinsindedir. RSC değerinin pozitif (+) çıkmasının anlamı, ortamda ( $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ ) ile birleşmiş halde bulunan ( $CO_3^{=} + HCO_3^-$ ) dışında hala bir miktar *karbonat+bikarbonat* bulunmaktadır ki, bu iyonlar  $Na^+$  ile birleşerek sodyum bikarbonat ( $NaHCO_3$ ) oluşturabilirler. Bir başka deyimle, ortamda sodyum zararı oluşturabilecek potansiyel karbonat ve bikarbonat iyonu bulunmaktadır. Eşitliğin negatif (-) çıkması durumunda ise, ortamda sodyum zararının oluşabilmesi olasılığı yok demektir. RSC değerinin 2.5' in üzerinde olması halinde sulama sularının sulamaya uygun olmadığı ve toprakta kalıcı sodyum karbonat etkisi nedeniyle olumsuz koşullar yaratacağı söylenmektedir (Eaton, 1950).

Toprakta oluşacak infiltrasyon oranı sorununun tahmininde Richards (1954) tarafından ortaya atılan bir parametre olan Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) değeri de kullanılmaktadır. SAR değeri aşağıdaki eşitlikle hesaplanır;

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

Eşitlikte verilen iyonların tümü me/l cinsindedir. Pek çok araştırmacı SAR değerini sulama suyu sınıflandırma sistemlerinde kullanmışlardır. Ortaya atıldığı tarihten bu yana SAR değeri, suların oluşturabileceği potansiyel sodyumluluk zararlarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Dünya literatüründe bazı yayınlarda, sodyumluluk etkisinin irdelenmesinde SAR yerine  $R_{na}$  değeri kullanılmıştır. Bu iki terim eş anlamlıdır: SAR değeri sodyum miktarının  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  miktarından fazla olduğu koşulda oluşabilecek infiltrasyon oranı sorununu açıklamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu değer  $Ca^{+2}$  ' un sulama sırasında yada sonrasında birikme ve erime işlemleri sonucunda erirliğinin değişebilir olması nedeniyle, toprak çözeltisinde yer alan  $Ca^{+2}$  iyonundaki değişiklikleri göz önüne almamaktadır. Tuzluluğun önemli bir bileşeni olan  $Na^+$ , hep eriyebilir özellikte ve her zaman toprak değişebilir  $Na^+$  içeriği ile yer değiştirebilir niteliktedir. Bitki su kullanımı ile konsantrasyonunun artması, sulama ile yoğunluğunun azalması yada drenaj suyu ile yıkanması gibi dış etkiler ile  $Na^+$ ' un eriyebilirliği yada çökmesi nitelikleri çok az etkilenir. Kalsiyum ise, tamamen çözünebilir biçimde yada sabit düzeyde bulunamaz ancak, bir denge oluşana kadar belli düzeylerde değişim gösterir. Çeşitli  $Ca^{+2}$  konsantrasyonunun değişimi su-toprak ortamında, toprak minerallerinin dissolusyonu ile artarak, yada çokluk



CaCO<sub>3</sub> biçiminde çökeltme ile azalarak seyredir. Dissolusyon olayı, toprak suyundaki seyrelme ve erimiş CO<sub>2</sub> etkisiyle oluşurken, çökeltme ise ortamda yeterli Ca<sup>+2</sup> ile Karbonat ve Sülfat bulunması sonucunda CaCO<sub>3</sub> (kireç) yada CaSO<sub>4</sub> (jips) şeklinde çökelmelerin oluşması şeklinde meydana gelir. Sulamanın ardından, çözelti ortamındaki Ca<sup>+2</sup> konsantrasyonunun değişmesi ile, dissolusyon ve çökeltme olayları oluşabilir suyun Ca<sup>+2</sup> içeriğinden farklı bir Ca<sup>+2</sup> konsantrasyonu dengesi oluşur. SAR eşitliği bu değişimleri içermediğinden, bazı koşullarda hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bununla beraber halen daha SAR eşitliği ve anlamının sulama sularının değerlendirilmesinde yeterli sonuç verdiği kabul edilmektedir.

Burada geleneksel SAR eşitliğinin modifiye edilerek bir alternatif işlem (yöntem) ele alınmaktadır. Sulama suyunda bulunan Ca<sup>+2</sup> içeriğinin, olası denge reaksiyonları sonunda ve CO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub> ve tuzluluk (EC<sub>w</sub>) etkisiyle, sulamadan sonra beklenen dengeye ulaşmış durumdaki değeri ile düzeltilmesi yapılmaktadır. Bu yöntem, topraktaki kireç (CaCO<sub>3</sub>) yada diğer silikatlar gibi toprak minerallerinin bir kalsiyum kaynağı olarak düşünmekte ve magnezyum çökeltmesi olmadığını kabul etmektedir.

Bu yeni terim adjRNa (düzeltilmiş SAR) olarak isimlendirilir ve hesaplama yöntemi aşağıda belirtildiği gibi, eski SAR değerinin geliştirilmiş şeklinden ibarettir. Bu değer, sulama sularında bulunan yüksek Na<sup>+</sup> yada düşük Ca<sup>+2</sup> konsantrasyonu nedeniyle oluşabilecek potansiyel bir infiltrasyon oranı sorununun belirtilmesinde daha doğru olarak kullanılabilir (Suarez, 1981; Rhoades 1982), ve tuzlu suların değerlendirilmesi ile ilgili olarak verilen *Çizelge 9.1*'de SAR yerine kullanılabilir. Yüzey toprağı için adjRNa değerini hesaplamada kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir;

$$adjRNa = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}}$$

*Burada:*

*Na=Sulama suyunda bulunan me/l olarak sodyum konsantrasyonu;*

*Ca<sub>x</sub>=Çizelge 9.1'den bulunan me/l olarak düzeltilmiş Ca<sup>+2</sup> değeridir. Bu değer, sulama suyunda bulunan Ca<sup>+2</sup> içeriğinin, suyun tuzluluğu (EC<sub>w</sub>) HCO<sub>3</sub>/Ca<sup>+2</sup> oranı ve yüzey toprağındaki tahmini CO<sub>2</sub><sup>-2</sup> basıncına bağlı olarak düzeltilmiş değeridir;*

*Mg=Sulama suyunda bulunan me/l olarak magnezyum konsantrasyonu değerini göstermektedir.*

**Çizelge 9.1 Verilen HCO<sub>3</sub>/Ca Oranı ve EC<sub>w</sub>'la Sulamayı Takiben Yüzeğe Yakın Toprak Suyunda Kalması Beklenen Kalsiyum <sup>1,2,3</sup>**

Uygulanan Suyun Tuzluluğu (EC <sub>w</sub> ) 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 <sub>3</sub> /Ca Oranı	.05	13.20	13.61	13.92	14.40	14.79	15.26	15.91	16.43	17.28	17.97	19.07	19.94
	.10	8.31	8.57	8.77	9.07	9.31	9.62	10.02	10.35	10.89	11.32	12.01	12.56
	.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	
10.00	0.39	0.40	0.41	0.42	0.43	0.45	0.47	0.48	0.51	0.53	0.56	0.58	
20.00	0.24	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	
30.00	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<sub>3</sub>) veya silikatlardan bir toprak kalsiyum kaynağı olduğu, magnezyumun çökelmediği, toprak yüzeyi yakınında CO<sub>2</sub>'in kısmi basıncının (P<sub>CO2</sub>) 0.0007 atmosfer olduğu kabul edilmektedir.

3 Ca<sub>x</sub>, HCO<sub>3</sub>, Ca me/l biriminde ifade edilmiştir, EC<sub>w</sub> ise dS/m birimindedir.

Bu çizelgenin kullanılmasında (Çizelge 9.1), ilk olarak su analizi değerlerinden yararlanarak HCO<sub>3</sub>/Ca oranı ile EC<sub>w</sub> değeri belirlenir (burada iyon konsantrasyonları me/l, EC<sub>w</sub> değeri dS/m olarak alınır). HCO<sub>3</sub>/Ca oranı değerleri çizelgenin sol tarafında, EC<sub>w</sub> değerleri ise üst tarafında verilmiştir. Hesaplanan HCO<sub>3</sub>/Ca oranına en yakın değer ile sulama suyu EC<sub>w</sub> değerine en yakın çizelge değeri keşitirildiğinde, Cax değeri elde edilir. Bu Cax değeri toprak suyu içerisinde dengede bulunan ve adjRNa eşitliğinde kullanılacak me/l olarak tahmin edilen Ca değerini göstermektedir.

**Örnek :** Sulama suyu analiz sonuçları şu şekilde verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 Ca &= 2.32 \text{ me/l} & CO_3 &= 0.42 \text{ me/l} & EC_w &= 1.15 \text{ dS/m} \\
 Mg &= 1.44 \text{ me/l} & HCO_3 &= 3.66 \text{ me/l} \\
 Na &= 7.73 \text{ me/l} & \text{Toplam} &= 4.08 \text{ me/l} \\
 \text{Toplam} &= 11.49 \text{ me/l}
 \end{aligned}$$

Bu durumda;

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

$$AdjRNa = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca_x + Mg}{2}}}$$

$EC_w = 1.15 dS/m$  ve  $HCO_3/Ca = 1.76$  için  $Ca_x = 1.43 me/l$

$$AdjRNa = \frac{7.73}{\sqrt{\frac{1.43 + 1.44}{2}}} = 6.45$$

Buradan elde edilen AdjRNa değeri, Çizelge 3.1'de verilen (FAO No.29 Çizelge 1) değerlendirmede, sulamada kullanıldığında potansiyel infiltrasyon sorunu açısından daha iyi değerlendirilebilir. Pek çok Ülke için çeşitli sulama suyu kaynaklarının analiz değerleri Ek 1'de verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde, AdjRNa değerlerinin, SAR değerleri ile  $\pm\%10$  değişim gösterdiği görülmektedir.

## İNFILTRASYON PROBLEMLERİNİN GİDERİLMESİ

İnfiltrasyon hızı düşük olduğunda, bitkiler tarafından daha sonra alınması için toprak su rezervuarını doldurmak amacıyla yapılan sulama zor olmakta fakat bitki su isteği veya yıkama gereksinimi karşılama için infiltrasyonu artırabilmek için yapılacak çok az işlem bulunmaktadır. Sıkca 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 olmasını 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 almaktadır. Bu uygulamalar, toprağa veya suya uygulanan jips gibi kimyasal ıslah maddelerin eklenmesiyle veya potansiyel zararı düşürmek için iki veya daha fazla su kaynağının karıştırılmasıyla normalde sağlanmaktadır. Fiziksel yöntemler, sulama veya yağış peryotları esnasında infiltrasyon hızını geliştirmesi veya koruması beklenilebilen kültürel uygulamaları içine almaktadır. Su kalitesinin neden olduğu azalmış bir infiltrasyon, kil veya sıkışmış yüzey toprağının neden olduğu düşük infiltrasyona göre farklı bir problemdir. Su kalitesi nedenli infiltrasyon problemi su kaynağında mevcut özelliklerle (Ca, Mg, Na,  $HCO_3$  ve  $EC_w$ ) ilişkilidir. Bir su kalitesiyle ilişkili infiltrasyon problemini çözmek için 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 kapsamı dışındadır fakat dikkate alınması yararlıdır. Sedimentten kaynaklanan etkiler örneği için Bölüm 8.17'ye bakınız.

## **Toprak ve Su İslah 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. İslah maddesi çözünebilir kalsiyum muhtevasını artırır veya uygulanan suyun tuzluluğunda ( $EC_w$ ) önemli artışlara neden olursa, iyileşme beklenilebilir. genel tarımsal kullanımlar için yeterince düşük maliyette sulama suyundan tuzları veya sodyumu uzaklaştırmak için şu anda kullanışlı ekonomik işlem bulunmadığından dolayı ıslah maddeleri infiltrasyonu yükseltmeye yardım etmek için veya sodyumun etkilerini dengelemek için kullanılmaktadırlar. Toprak veya suya eklendiğinde jips gibi bir ıslah maddesi sudaki kalsiyum konsantrasyonunu yükseltecek böylece sodyumun kalsiyuma oranını ve SAR ı düşürecektir. Jips eklenmesi düşük tuzlu suların tuzluluğunu artırması nedeniyle yararlıdır böylece infiltrasyonu iyileştirmektedir (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 pahalıdırlar 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. İslah 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 ( $EC_w < 0,2$  dS/m) veya düşük orta tuzlu suda ( $EC_w < 1,0$  dS/m) yüksek SAR tarafından infiltrasyon problemine neden olunmuşsa su ıslah maddeleri daha etkili olmaktadır. Yüksek SAR'a ilaveten orta-düşük tuzlulukta ( $EC_w > 1,0$  dS/m) ise düşük dereceli jips veya kükürt gibi toprağa uygulanan ıslah maddeleri tercih edilebilirler ve çoğu kez daha etkili olmaktadır.

## **Jips**

Jips toprak veya su ıslah maddesi olabilmekte, en yaygın şekilde kullanılan ve bulunabilen 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 olmamaktadır. 10 t/ha

üzerindeki yüksek oranlar köklerin uygun köklenme derinliği oluşturmalarına izin vermek amacıyla acil toprak ıslahı için normalde uygulanmaktadırlar.

Düşük  $EC_w$  veya yüksek SAR nedenli su infiltrasyonu sorunu, birinci derecede toprağın daha üstteki birkaç santimetrelik kısmında meydana gelmektedir. Böylece yüzey infiltrasyon problemini düzeltmek amacıyla jipsin düşük uygulama oranları şayet ıslah için toprak yüzeyine bırakılır veya toprak içerisine daha derinlere karıştırmak yerine daha sığ derinlikte toprağa karıştırılırlarsa daha etkili olmaktadır. Bununla birlikte, yüzeye uygulanan jips daha hızlı şekilde yikanabilmektedir 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 olabilmektedir ancak sodik toprak ıslahı için yalnızca fazla uygulama daha etkili olmaktadır.

Suyla ilişkili infiltrasyon problemlerini çözebilmek için sulama suyuna jips uygulanması, genellikle toprağa uygulanandan hektara daha az jipse gereksinim duymaktadır. Su tuzluluğu düşükse ( $EC_w < 0.5$  dS/m) jips suya eklendiği zaman özellikle etkili olmaktadır. Mevcut sodyumu etkili şekilde dengelemek için çözeltide yeterli kalsiyum sağlamak ve uygulamadaki zorluklar nedeniyle daha yüksek tuzlu sular için suya uygulanması daha az etkili olmaktadır. 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 artırabilir.

Bununla birlikte, sulama suyu nispeten yüksekse, 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 çözünmektedir. 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 için başarılı şekilde kullanılmıştır. Kaba ve daha düşük işlenmiş jipsten ince taneli jips birim başına daha maliyetli olmasına rağmen bile su uygulamaları için taşıma kolaylığı ve çözünme hızı onu genellikle değerli yapmaktadır. Örnek 7 infiltrasyonu iyileştirmek için bir su ıslah maddesi şeklinde jipsin nasıl kullanabileceğini göstermektedir.

**Örnek 2:** *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 izin verilmiştir. Kritik meyve tutum zamanında meydana gelmesinden dolayı, infiltrasyonu artırmak, su boğulmasını ve oksijen stresini azaltmak için sulama suyuna jips eklenmesine karar verilmiştir. Büyüklüğü 5ha olan alan 100 mm sulamaya ihtiyaç duymaktadır. Saflığı %70 olan jips mevcuttur ve suda 2me/l kalsiyum artışı istenmektedir. Ne kadar jips kullanılmalıdır?*

Verilen:

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

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

$$\text{Jips saflığı} = \%70$$

$$\text{Toplam su gereksinimi} = 5 \times 1000 = 5000 \text{ m}^3$$

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

Açıklama:

5000m<sup>3</sup> suda  $\frac{2 \text{ me}}{1} \text{ Ca}$  sağlamak için gereksinim duyulan %100 jips miktarı

şöyle bulunabilir:

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

2. 5000 m<sup>3</sup>'te  $\frac{1 \text{ me}}{1} (\text{Ca})$  içinde

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

3. 5000 m<sup>3</sup>'te  $\frac{2 \text{ me}}{1} (\text{Ca})$  için

$$\frac{2 \text{ me}}{1} (\text{Ca}) = 430 \text{ kg} \times 2 = 860 \text{ kg } \%100 \text{ jips}$$

4. Jips yalnızca %70 saflıkta olduğundan dolayı gereksinim duyulan jips miktarı  $\frac{860 \times 100}{70} = 1230 \text{ kg } \%70 \text{ saflıkta jips.}$

*İnce öğütülmüş jips su uygulaması için en iyidir. Bu nedenle 5000m<sup>3</sup> suda 2me/l kalsiyum sağlayabilmek için ihtiyaç duyulan toplam jips kalitesi 1230 kg %70 saflıkta jipstir.*

Bazı örnek çalışmada, sulama suyuna kalsiyum sağlamak için sulama kanalına büyük parçalı kaya jipsler yerleştirilmiştir. Kayalardan çözünen kalsiyum miktarı düşüktür, böylece etkinlik su akım hızı ve hacmine bağlı olmaktadır. Çözünecek miktar memba ile mansap su konsantrasyonunun karşılaştırılmasıyla belirlenebilir. Muhtemel etkinliği kalsiyum eklenmesi yoluyla yaklaşık olarak oluşan SAR ve EC<sub>w</sub> deki değişimler yoluyla ve çizelge1 kılavuz değerleriyle tahmin edildiği gibi, infiltrasyondaki potansiyel değişim yoluyla da tahmin edilebilir. Sulama kanallarına yerleştirilen kaya jips, mekaniksel temizleme veya kazma sırasında jips uzaklaştırılmak zorunda olması nedeniyle ot kontrolü ve kanal bakımı daha zor hale geldiği için bakım maliyetlerini artırabilir.

Jipsli su veya toprak ıslah maddesinin 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 daha yüksek olabilmelidir. Jips kurak iklimlerde birçok toprakta doğal olarak meydana gelmektedir. Bazı topraklar hem toprak tuzluluğu (EC<sub>e</sub>) hem de sodikliğini (değişebilir sodyum) etkileyebilecek yeteri miktarda jips içereceklerdir ve toprak değişebilir sodyum yüzdesini (ESP) (Şekil1) tahmin etmek amacıyla sıkça kullanılan ve rapor edilen SAR ve ölçülen toprak tuzluluğunun (EC<sub>e</sub>) her ikisine bir düzeltme gerekecektir. EC<sub>e</sub> işlemi saturasyon çamuru gerektirmekte ve eğer jips mevcutsa EC<sub>e</sub> jipsin çözünmesine baz alınan yaklaşık 2dS/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<sub>e</sub>.

den çıkarılabilmektedir. Örneğin, bir jipsli demirli toprak (gypsiferous) 6 dS/m lik ölçülmüş  $EC_e$  ye sahiptir, toprak tuzluğunun tuza duyarlılığı 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 olmaktadırki bu miktardaki tuzluluk duyarlı bitkilere daha az zararlıdır.

Doğal şekilde meydana gelen toprak jipside çoğu toprak laboratuar analizlerinin yorumlanmasında toleransa sahiptir. Toprak analizlerinde, Şekill de gösterildiği gibi laboratuarlar saturasyon ekstraktının SAR'ını (ESP) rapor etmektedirler. Şayet jips mevcutsa bu doğru bir değerlendirme olmaz çünkü jips hafif şekilde çözünebilir olması ve saturasyon ekstraktına yaklaşık maksimum 20-30 me/l kalsiyum katkısı sağlayabilmesine karşılık sadyum tuzları tamamıyla çözünebilirler. Yorumlama problemlerine bir örnek olarak, kuvvetli şekilde jipsiferus fakat yüksek derecede tualu bir toprak 12 dS/m  $EC_e$  ye sahip olabilirki bunun 2 dS/m si jipse atfedilebilir. Şayet diğer tuzların tamamı sadyum 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 bir sürekli kalsiyum kaynağı sağlamaktadır. Yıkama yapılmaksızın bile, mükemmel derecede arpa yetiştirme kabiliyetindedir.

(%90 potansiyel verimde arpanın toleransı 10ds/m'dir.) ve tuzlulukta %50 azalmayla (santimetre başına 2ds/m'nin toprakta doğal olarak meydana gelen jipse atf. içine alan  $EC_e=7ds/m$ 'ye düşmesi) arpa,pamuk,şeker pancarı,taneli sorgum,buğday ve soya fasulyesi gibi tarla bitkileri tuzluluk nedenli verimde düşüş olmaksızın ekilebilirler. Toprak sodik değildir ve toprak ıslah maddesine ihtiyaç duymamaktadır fakat bitki adaptasyon aralığını genişlete bilmek için yıkmaya 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 önleye bilmek için iyi bir başparmak kuralı Kaliforniya Üniversitesi Kooperatif Yayın Laborantları Tarafından uyarlanmıştır ve şu şekildedir:Saturasyon ekstraktı. SAR değeri :10'u geçiyorsa, belirtilen sodyum probleminin laboratuar tarafından doğrulanması gerekmektedir. 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 jips bulunmaktadır. Şayet sulama suyundaki tuzlar gözle görülebilir miktarda Ca içeriyorlarsa, beş veya daha fazla yıl bir periyot üzerinde toleranslı bitkiler ekimiyle ve uygulanan sulama suyunun direne perkolasyonunu teşvik eden kültürel uygulamaların adaptasyonu ile sodik toprakların çoğu ıslah edilebilirler. Şiddetli sodik bir toprağın bir yıl içerisinde ıslah edilmesi 40t/ha'a kadar jips uygulanmasına ve ıslah esnasında serbest kalan sodyumu (tuzları) uzaklaştırmak için yoğun yıkamaya gereksinim duyulabilir. Sulama suyundaki mevcut kalsiyuma ( $Ca=2-3mc/l$  veya daha fazla) ve kültürel

uygulamalar (disk çekimi,sürme,derin işleme) ile sodyum 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 toprağa giren su derinliğine, sulama suyu kalsiyum içeriğine ve sodiklik probleminin şiddetine bağlı olacaktır. Islah maddeleri kullanılsın veya kullanılsın derin işleme büyük oranda infiltrasyonu ve ıslah hızını artıracaktır.

### **Asit Formunda Islah Maddeleri**

Asitler veya asit şekline giren ıslah maddeleride toprağa kalsiyum sağlamaktadır fakat etkili olabilmeleri için toprakta kireç ( $\text{CaCO}_3$ ) bulunmalıdır. Kükürt ve sülfirik asitin herikisi yoğun şekilde kullanılmaktadır fakat nispeten az kullanılan diğer ıslah maddeleri herhangi bir derecede kullanılmaktadır. Çizelge 12,sodik toprakların ıslahı için kullanılan birkaç yaygın kalsiyum sağlayan maddeler için karşılaştırmalı veriler sunmaktadır fakat jips en yaygın şekilde kullanılan ıslah maddesi olarak kullanılmaktadır. Çünkü kolay şekilde genellikle buluna bilmekte ve sağlanan 1mc/l kalsiyum için daha aza mal olmaktadır. Bazı gübreler asit kalıntılarıdır ve asidik reaksiyonları vasıtasıyla kalsiyum katkısı sağlamaktadırlar.

Toprakta kireç mevcutsa kükürt kalsiyum sağlamakta ve sodik toprakların ıslahı için mükemmel bir ıslah maddesi olmaktadır. Su uygulamaları için tatmin edici bir ıslah maddesi değildir ve bir infiltrasyon problemini iyileştirmek için çok etkili değildir. Yavaş reaksiyona girmektedir. Önce toprak bakterileri tarafından işlenmeli ve kalsiyumu serbest bırakmak için kireçle reaksiyona girecek olan sülfürleri ve sülfirik asidi oluşturabilmek için oksitlenmelidir. Oksitlenme süreci oldukça yavaştır ve yaklaşık 30gün veya daha uzun süre için sıcak iyi havalandırılan nemli toprağa ihtiyaç duymaktadır. Şayet yeterli zaman varsa,sodik kalkerli toprakların ıslahı için iyi bir ıslah maddesi olduğu ispatlanmıştır fakat suyun filtrasyonu problemi için tatminkar bir çözüm beklenmemelidir çünkü oksidasyon işlemi aşırı yavaştır ve yüzeye yakın yerde serbest kalan suyun sulamalar esnasında hemen yıkanmaktadır.

Sülfirik asit kuvvetli korozif bir asittir. Tüm yoğunluğuyla toprak yüzeyine uygulanabilir veya suyun bikarbonat konsantrasyonunu düşürmek ve kalsiyumu serbest bırakmak için toprak yüzeyi asitliğine katkı sağlamak için sulama suyuna eklenirler. Tuzlu toprakların ıslah edilmesi için ve kireçli toprakların su infiltrasyonunu iyileştirmek için çok etkilidir çünkü sülfirik asit bir oksidasyon sürecine girmek zorunda değildir. Hızlı şekilde toprak kireci ile reaksiyona girmektedir. Toprağa uygulamaları bitki ekiminden önce yapılmaktadır ve sülfirik asidin kireç ve toprakla reaksiyonu nedeni ile mevcut veya oluşmuş herhangi aşırı çözünür tuzları uzaklaştırabilmek için yoğun yıkama tarafından genellikle takip edilmektedir.

Jips uygulamaları boru hatlarının, yağmurlayıcıların, sulama suyu dağıtım sistemlerinin ve personelin güvenliği için sülfirik asidin kullanım şartlarının güvenliğinden emin olabilmek amacıyla dikkatli şekilde kontrol edilmeli ve izlenmelidir. İnfiltrasyon üzerine nihai, etkisi kimyasal olarak eşdeğer miktardaki jipsle yaklaşık aynıdır (Çizelge 12).Sülfirik asit yüksek derecede koroziftir ve taşınması tehlikelidir. Beton borulara, çelik menfez, kontrol geçitleri ve alüminyum borulara zarar verebilir. Yalnızca deneyimli operatörler tarafından uygulanmalıdır.



Çizelge 12. Su ve Toprak Islah Maddeleri ve Kalsiyum Sağlamadaki Nispi Etkinlikleri<sup>1</sup>

Islah Maddesi	1 ton %100 Safılıkta Jipse Eşdeğer Ağırlığı, t <sup>2</sup>
Jips (CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O)*	1.00
Kükürt (S)-**	0.19
Sülfürik asit (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )-*	0.61
Demir sülfat (Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .9H <sub>2</sub> O)-**	1.09
Kireçli kükürt (%9Ca+%24S)*	0.78
Kalsiyum klorür (CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O)-*	0.86
Kalsiyum nitrat (Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O)*	1.06
Kalsiyum karbonat <sup>3</sup> (CaCO <sub>3</sub> )-**	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 yapılmaktadır.

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

3 Yalnızca asit topraklar için.

Bölgesel alanlarda diğer kimyasal maddelerde kullanılmaktadır fakat bunların kullanımını büyük oranda temin etme ve uygulama maliyetine bağlı olmaktadır. 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 girmelidir ve bir kalsiyum kaynağı toprakta mevcut olmalıdır (CaCO<sub>3</sub>). 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.

Çizelge 13. Gübre Maddelerinin Ortalama Karışımı ve Eşdeğer Asitlik veya Bazlığı<sup>1</sup>

Gübre Maddeleri	Kimyasal Formülü	Toplam Azot N	Kullanışlı fosforik Asit P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Suda çözünabilir K <sub>2</sub> O	Birleşik Ca	Birleşik S	Eşdeğer <sup>2</sup> Asit veya Baz	
							Kg Asit	CaCO <sub>3</sub> Baz
		Yüzde						

1 Toprak iyileştirme komitesinden (1975)

2 Her maddenin 100 kg'ı için eşdeğeri

3 Üre şeklinde de bilinmektedir, üre ve formaldehit reaksiyonu ürünü

4 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, H<sub>6</sub>P<sub>4</sub>O<sub>13</sub> ve diğer daha yüksek formlar.

## **Su Kaynaklarını Karıştırma**

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 tuzlulukta birlikte infiltrasyon hızının gözlemlenir şekilde düşürebilir. Bu infiltrasyon hızı ya su tuzluluğunun artırılmasıyla veya SAR'ın düşürülmesiyle artırılabilir.

Seyreltme SAR'ı düşürmektedir. Bu SAR eşitliğinin (1) tabiatı nedeniyledir. Pay (Na) paydadandan (Ca+Mg) daha fazla oranda seyreltme oranla azalmaktadır. Çünkü payda seyreltmenin karaköküyle azaltılmaktadır. Örnek 8 Pakistanda kuyu suyunun normal kanal suyuyla 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 kaynağın SARdeğerini düşürmek amacıyla sulama suyunun karıştırılması**

*Bir kanal su kaynağı bulunmakta fakat toplam bitki su ihtiyacını karşılamamaktadır. Kanal kaynağı %75 Kanal suyu ve %25 kuyu suyu oranında daha düşük kaliteli bir kuyu suyu ile karıştırılabilir durumdadır. Karışmış suyun SAR değeri nedir?*

*Verilen :*

*Su analizi şöyledir:*

	$EC_w$ (dS/m)	Ca (me/l)	Mg (me/l)	Na (me/l)	$HCO_3$ (me/l)	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: Sonuçlanan karışım kalitesi eşitlik (13) kullanılarak bulunulabilir.*

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

$$\begin{aligned}Ca &= (1,41 \times 0,75) + (2,52 \times 0,25) = 1,69 \text{ me/l (karışım)} \\Mg &= (0,54 \times 0,75) + (4,0 \times 0,25) = 1,41 \text{ me/l} \quad \text{"} \\Na &= (0,48 \times 0,75) + (32 \times 0,25) = 8,06 \text{ me/l} \quad \text{"} \\HCO_3 &= (1,8 \times 0,75) + (4,5 \times 0,25) = 2,48 \text{ me/l} \quad \text{"} \\EC &= (0,23 \times 0,75) + (3,6 \times 0,25) = 1,07 \text{ ds/m} \quad \text{"}\end{aligned}$$

$$SAR = \frac{8,36}{\sqrt{\frac{1,69 + 1,41}{2}}}$$

Alternatif daha iyi kaliteli bir su kaynağının kullanışı olursa birçok yüksek SAR'lı sular genellikle terkedilmektedir. Alanı sulamak için daha iyi kaliteli su kaynağı yeterli oluyorsa, iki su kaynağını karıştırmakla kazanılacak bir şey bulunmamaktadır. Bunun yanında ekim için mevcut alımı daha iyi kaliteli su yeterli olmuyorsa, daha az istenilen su ile daha iyi kaliteli bir kaynağın karıştırılması daha fazla alanın ekilmesine fırsat sağlayacak, daha fazla toplam bitki üretimiyle ve çiftçiler için daha fazla gelirle sonuçlandırılacaktır.

Kalite bakımından birisi daha düşük olan iki su kaynağının mevcut olduğunda bile su kaynaklarını karıştırma yaygın bir uygulama değildir. Normalde daha iyi kaliteli su her ne zaman elverişli ise kullanılmakta ve daha düşük kaliteli yer altı suyu her ne zaman yüzey kaynağı yeterli olmazsa kullanılmaktadır. Bunun yanında kaynakları değiştirmek daha düşük kaliteli kaynağın yüksek SAR değeri tarafından neden olunan bir infiltrasyon problemini dengelememektedir. Gerçektende yüksek derecede tuzlu yüksek SAR'ı su kullanımından 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 bir su kullanımı veya yüksek SAR 'lı 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) uygulaması probleminin üstesinden gelmek için bazen kullanılan teşebbüsler yüzeyin kabuk bağlaması veya tıkanması gibi yüksek SAR 'lı suyun kısa dönemde kullanımı tarafından neden olan ikinci problemlerin çoğunun karıştırmada engel olabilmektedir. Her nerede mümkünse yüksek SAR' lı su infiltrasyon problemlerini düzeltebilmek için seyretilmelidir fakat yüksek SAR' lı suyun değişerek kullanıldığı durumlarda destekleyici ıslah maddelerinin kullanımı dikkate alınmalıdır.

### **İşleme ve Derin Sürüm**

Fiziksel yöntemler mekanik araçlar vasıtasıyla toprağı açık tutarken, toprak ve su ıslah maddeleri ile karıştırma suyu kimyasal tabiatını değiştirmektedir. En yaygın fiziksel yöntemler ve işleme ve derin sürümdür. Her ikisinde etkilidir. Fakat normal olarak kısa ömürlüdür ve buna göre bir su infiltrasyon problemine yalnızca geçici çözüm olmaktadır.

İşleme genellikle su penetrasyonunun iyileştirmekten daha ziyade ot kontorülü ve havalandırma için yapılmaktadır. İnfiltrasyon problemlerinin şiddetli olduğu yerlerde, toprak yüzeyini pürüzlü hale getirerek ve su akışını yavaşlatıp infiltrasyonun meydana gelmesi için zamanı artırarak işleme veya sürüm yardımcı olmaktadır. Bir pürüzlü, karık veya tarlanın ilk bir veya iki sulama esnasında infiltrasyonu iyileşmektedir, daha sonra bir işlemeye ihtiyaç duyulabilir. İşleme ekipmanları daha çok daha kaba bir yüzey bırakabilmek için ayarlanmaktadır. İnfiltrasyonu geliştirebilmek için işleme toprağın üstteki birkaç santimetrede bulunan kabuğu kırmaktadır. Düşük tuzlulukta su tarafından bir su infiltrasyon problemine neden olan alanlardaki bir yaygın uygulama, her sulamadan önceki her ikinci sulamadan önce işleme yapılmasıdır. Bu işleme toprağı pürüzlü hale getirir, infiltrasyon için maruz kalan yüzey alanı büyük oranda arttıran çatlaklar ve hava boşlukları açmaktadır.

Daha derin sürümü (çizel çekme, alt toprak işleme) toprak yüzeyi kısa bir süre sonra kendi orijinal durumuna döneceğinden dolayı bir veya iki sulama için derin su penetrasyonuna iyileştirilmesi beklenebilmektedir, fakat iyileştirme sürekli

olmamasına rağmen bu uygulama depolanan su ve bitki verimlilik gözlemlenebilir. Fark yapan yeterli suyun girmesine geçici şekilde izin verebilmektir. Derin işleme fiziksel olarak toprağı yırtar, parçalar ve ayırır ve ekim öncesi veya köklerin seyrek olduğu veya çok yıllık bitkilerin kök zararlanmasının daha az zarar göreceğı uyku dönemleri esnasında yapılıır topraklar kırılma veya parçalanma için yeterince kuru olduğunda yalnızca derin işleme yapılmalıdır. Şayet ıslah derim sürüm yapılırsa, artan sıkışma havalanma ve geçirgenlik problemleri beklenebilir.

### **Organik Kalıntılar**

Tarlada bırakılan bitki kalıntıları ve diğer organik maddeler su penetrasyonunun iyileştirmektedirler ve daha yaygın şekilde kabul gören bir uygulama haline gelmiştir. Daha maliyetli olan düzeltici önlemlere yerine getirmek için kaynaklara sahip olmayan özellikle küçük çiftçiler için su infiltrasyonunu geliştirmenin en kolay yollarından birisidir. Maalesef birçok yerde küçük çiftçiler bitki kalıntılarında diğer maksatlar için kullanmakta çok az kısmı toprağı geri dönmektedir. Toprak üzerine bırakılan bitki kalıntıları veya toprak yüzeyine pürüzlü bir hale getirme sodik topraklarda infiltrasyonunu 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 toprağı açık tutmaya yardımcı olmaktadır. Elde yararlar zamanla yeni bitki sezonunda yenileninceye kadar düşüş göstermektedir.

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 korumaktadırlar. Etkili olabilmek için nispi olarak fazla miktarlarda kalıntılara ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin: Su infiltrasyonunu geliştirebilmek için 40-400 metrikton/hektar oranlarında hayvan gübresi kullanılmaktadır. Toprağın üst 15 cm'deki toprak hacmiyle %10-30 aralığında bir organik gübre uygulması etkili olabilmek için ihtiyaç duyulabilir.

Su kalitesini su infiltrasyonunu etkilediğı ve infiltrasyonun geliştirmek için organik maddelerin denendiğı yerlerde, toprak yüzeyinin birkaç cm'lik kısmında kalıntılarla karıştırmak önemlidir. Daha derin karıştırma toprak strüktürü ve uygulanan suyun daha derine penetrasyonu için faydalıdır fakat su kalitesi tarafından sebep olan infiltrasyon problemleri için verilen bir zamanda toprağı giren su derinliğini genellikle toprak yüzeyi kontrol etmektedir.

Pirinç kavuzları, talaş soyma kabukları ve diğer atık ürünleri geniş hacimlerde kullanılmıştır fakat değişen derecede başarılar elde etmiştir. Hindistan'da pirinç kavuzları testleri ilk bitki yetiştirme döneminde pirinç verimini artırmıştır fakat uygulama kesildiğinde verimler eski düzeylerine geri dönmüştür. Uzun dönemler bakış açısından, toprağı organik maddelerin geri dönmesi toprak yapısının kurumaya yardımcı olmakta ve gereksinim duyulan besin elementlerini geri getirmekte fakat yüksek oranda organik madde kullanımında problemlere neden olmaktadır. Bundan beslenme bozukluklarını, tuzlu hayvan gübresi tarafından sebep olunan tuzluluk etkilerini, azot eksikliklerini veya belirli tip maddelerinin kullanımıyla (hayvan gübreleri, talaş ) sahip olunan aşırılıkları ve zehirli maddeleri (pirinç kavuzlarında kaynaklananlar ve potasyum zehirlenmeleri ) içine almaktadır.

## **Sulama Yönetimi**

Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin kombinasyonu ve su infiltrasyon problemlerini çözümlenmeye en etkili yaklaşım oldukları ispatlanmıştır. Bununla birlikte etkili olabilmek için bunlar her zaman hem de parasal yönden yoğun ve devam edecek olan yıllık yatırımlara gereksinim duymaktadırlar su infiltrasyon problemlerini daha kolay çözmek veya yönetmek için yapılan sulama uygulamalarıyla çoğu çiftlikler su yöntemleri tamamlamayı denemektedirler. Bir kaç uygulama burada tartışılmıştır.

### **Sık sulama**

Özellikle başlangıçta 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 bogulma,zayıf havalanma) her zaman bitkiye yeterli suyun sağlanmasıdır.

Daha sık şekilde yapılan sulanan daha yüksek ortalama toprak nemini korumakta ve sulamanın daha uzun aralıkla yapıyorsa ortaya çıkabilecek su stresi ihtimalini oluşturabilmektedir. Sulamalar arasında bitkiler su için strese girmezse, sulama sıklığının arttırılması çok az yararlı olmaktadır.

### **Ekim öncesi sulama**

Ekim öncesi sulama çok az zararın bitkiye verme şansını olduğu bir zamanda tarla kapasitesi ne kadar kök salma derinliğinin doldurulması için uygulanabilmektedir. Bazı çok zorlu topraklarda bitki kök gövdesinin daha derin kısımlarını ıslatabilmek için ekim öncesi sulama tek fırsat olmaktadır. Çok düşük infiltrasyon hızlı toprakları ıslatmak içinde etkili bir yöntem olmaktadır.

### **Sulama süresinin uzatılması**

Sulama süresinin uzatılması daha çok su uygulanmakta ve toprak havalanması, su boğulmaları, yüzey akış ve yüzey drenaj problemleri sonucunu doğurmayan hazırlıklara yararlıdır. Sulamacıların çoğu tarlaya giren akış miktarını azaltarak ve daha uzun suyu tutarak sulamayı azaltmaya çalışmaktadır. Dikkatli yönetim ve izlenim su kullanım etkinliğini koruyabilmek ve yüzey akışı minimumda tutabilmek için gerek duyulmaktadır. Aşırı yüzey akış tarlanın alçak kenarındaki bir havuzda sıkça toplanmakta ve sulama akımına yeniden karışması için bir boru hattı vasıtasıyla eğim yukarı pompalanmaktadır. Bu tekrar çevirim sistemleri yüzey sulaması yapılan alanlarda yaygınlaşmakta ve düşük infiltrasyon hızlı 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 çevirmeyle hem toplam su kullanım etkinliği hem de penetrasyon derinliği daha kolay şekilde kontrol edilmektedir.

### **Sulama sisteminin değiştirilmesi**

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 uygulayabilmek için planlanabilmektedir. Yağmurlamayla veya damla sulamayla yüzey akış meydana geliyorsa uygulama hızı aşırı yüksektir. Sistemin kurulmasından sonra uygulama hızının değiştirilmesi zor olabilmekte ve sistemin tamamıyla yeniden planlamasına gerek duyulabilmektedir. Bazı yerlerde mevcut yağmurlama veya damla sulama sistemi infiltrasyon hızını daha yakın tutturabilmek için kesikli şekilde çalıştırılmakta, yüzey akışın başladığı zaman durdurulmakta ve uygulanması istenilen su derinliğine ulaşana kadar her birkaç saatte bir yeniden sulama yapılmaktadır. Bu teknik mevcut yağmurlama veya sulama sisteminin kullanımına fırsat vermekte fakat muhtemelen biraz daha fazla su kullanarak böylece üretim maliyetini artıracak boşa geçen zamanı dengeleyebilmek için daha fazla yatırıma ihtiyaç duyabilecektir.

Yağmurlayıcılar bazı oldukça büyük damlalarla su uygulamaktadır. Çarpma üzerine, bu büyük damlalar toprak yüzey parçacıklarını disperse edebilmekte ve aşırı yüzey akışla eşlik eden bir infiltrasyon problemini sebep olmakta veya şiddetlendirmektedir. Uygulama hızları normal şekilde sulama üzerinde 3mm/h den 6mm/h'e değişim göstermektedir. Yağmurlayıcılar kumlu ve tınlı topraklara iyi uyum sağlamakta fakat ağır veya kirli tip topraklara daha az uyum sağlamaktadır. Damla sulama Sistemleri tınlı veya kirli topraklara daha iyi uyum sağlamakta ve 2-4 litre/saat hızında çok düşük su çıkışları (Damlaticılar) aracılığıyla su uygulanmaktadır. Bu düşük su hızlarında damla sulama sistemleri yağmurlayıcılar gibi toprak parçacıklarını disperse etmemektedir. Damla sulama sistemleri kumlu topraklara daha az uyum sağlamaktadır.

# **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 Klora 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. Yüzey 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 yüzey suları, yer altı sularından daha az iz element içerirler ancak, bu bir kesin kural olmamaktadır. Genel yaklaşım olarak yüzey 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.

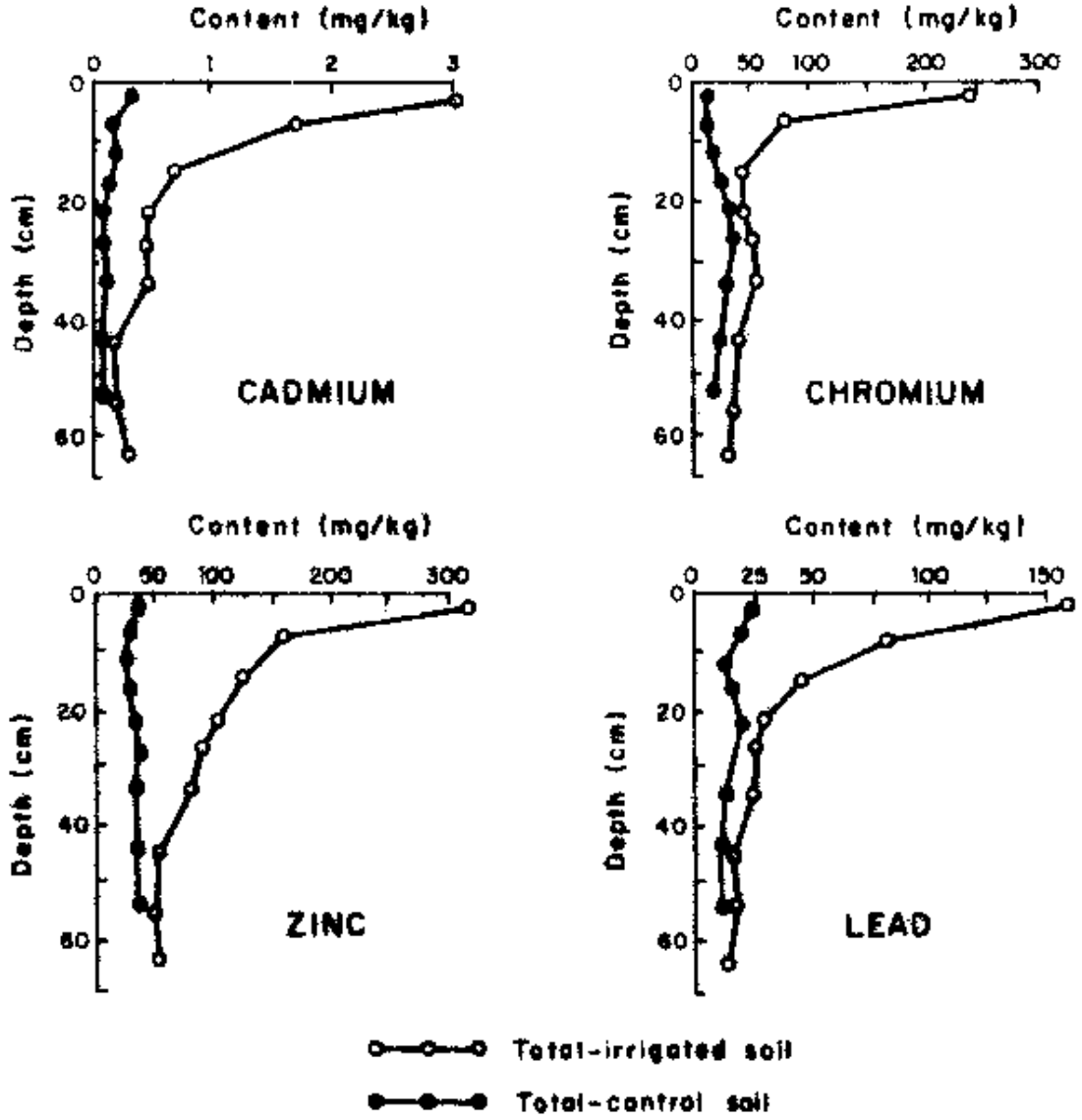
Çizelge 16 Tarımsal Bitkilerde Nispi Bor Toleransı<sup>1,2</sup>

<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 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 değerlere 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		Konsantrasyon <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 yapılmaması 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 yüksek 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.

# **BÖLÜM XI: SU KALİTESİ İLE İLGİLİ DİĞER PROBLEMLER VE GİDERİLMESİ (YÖNETİMİ)**

## **GİRİŞ**

Tuzluluk, infiltrasyon ve toksisite problemlerinin dışında su kalitesi ile ilgili olarak diğer bazı problemler bu başlık altında açıklanmaktadır. Bu problemleri aşırı azot (nitrojen), normal olmayan pH koşulu, bitki organlarında birikme, magnezyum problemleri, beslenme problemleri, damla sulamada tıkanma sorunları, korozyon ve paslanma ile su kalitesine bağlı vektör problemleri başlıkları altında toplayabiliriz.

## **AŞIRI DÜZEYDEKİ NİTROJEN**

Azot bitkinin gelişmesini teşvik eden bir besin elementidir. Azotun kaynağı toprağın doğal içeriği yada uygulanan gübreler olabilir. Ancak sulama suyu ile gelen aşırı azot ta fazla gübrelemede olduğu gibi etki eder ve problem yaratır. Aşırı azot uygulaması koşulunda bitkide olgunlaşmanın gecikmesi, aşırı vegetatif gelişme ve kalitede kötüleşme gibi sorunlar ortaya çıkar.

Azotun en fazla alınabilir formlar nitrat ve amonyum azotudur. Ancak sulama sularında nitrat ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) daha fazla olarak bulunur. Amonyum azotu ise, sulama uygulamaları ile amonyum gübrelemesi yada atık su verilmediği sürece, nadiren 1 mg/l nin üzerinde rastlanır. Nitrat azotu yüzey ve yer altı sularında genellikle 5 mg/l den azdır ancak, bazı ekstrem yer altı su kaynaklarında bu değer 50 mg/l ye kadar çıkabilmektedir. Drenaj sularında, gübrenin kök bölgesinden yıkanması etkisi sonucunda, sıkça daha fazla düzeyde rastlanmaktadır. Pek çok su kaynağında nitrojen bulunması nedeniyle, bütün sulama sularında nitrojen izlenmesi yapılması ve halihazır nitrojen içeriğinin gübreleme programına eklenmesi önerilen uygulama olmaktadır. Özellikle gıda işlenmesi ve kentsel kullanım atık sularında azot içerikleri 10 ila 50 mg/l düzeylerinde olabilecektir (1 mg/l  $\text{NO}_3\text{-N}$  = 1 kg N/1000 m<sup>3</sup> su).

Azot değişik organik ve inorganik formlarda bulunmaktadır ve raporlarda değişik şekillerde belirtilir. Ancak, bitkiler için önemli olan organik-azot (Org-N), nitrat azotu ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) yada amonyum azotu ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) şekillerinden hangisinde olursa olsun, toplam azot (N) miktarı önemli olmaktadır.

Hassas bitkiler 5 mg/l nin üzerindeki azot miktarından etkilenebilirler. Diğer pek çok bitki için 30 mg/l ye kadar olan konsantrasyonları etkisiz olabilmektedir. Örnek olarak şekerpancarı ve üzüm verilebilir; her iki bitki de yüksek azot etkisinde gelişmelerinin artması sonucu olgunlukları geciktirmekte ve şekerpancarında şeker oranı, üzümde ise toplam verim etkilenmektedir.

Bitkinin gelişme dönemi de N etkilenmesini değiştirmektedir. Genel olarak erken gelişme dönemlerinde aşırı azot olumlu etki yaparken çiçeklenme ve meyve oluşumu dönemlerindeki aşırı N ise olumsuz olarak verimi etkilemektedir. Yüksek N içeren sular ilk gelişme dönemlerinde gübreleme amaçlı kullanılabilir.

N, hassas bitkiler için düşük konsantrasyonlarda olsa dahi, su kanalı, göl, drenaj hendekleri yada rezervuarlarda alg ve su organizmalarının fazlaca gelişmelerine neden olarak olumsuz koşullar yaratabilmektedir.

## **NORMAL OLMAYAN pH**

Sularda pH değeri asitlik yada bazik özelliği belirtir ancak, nadiren tek başına bir sorun oluşturur. pH ölçümünün ana nedeni normal olmayan suların belirlenmesidir. Sulama suları için normal pH sınır aralığı 6.5-8.4'dür. Bunların dışındaki anormal değerler, sularda daha ayrıntılı incelemenin yapılması gerektiğini ortaya koyacaktır. Normal sınırların dışındaki pH'nın etkisi beslenme dengesizlikleri şeklinde ortaya çıkabilir yada suların toksik iyonlar içermekte olduğunu bir belirtisi olabilir.

Düşük tuzluluktaki sular (<0.2 dS/m) bazen "tamponlama" kapasitesinin yetersizliğinden ötürü normal sınırların dışında bir pH'ya sahip olabilirler. Bu sular toprakta ve bitkide çok az soruna neden olurlar ancak, oldukça korozif özelliktedirler ve kolaylıkla sulama ekipmanlarının, yağmurlayıcıların, boruların yada kontrol ekipmanlarının korozyonuna neden olabilirler.

Sulama suyu tarafından toprak pH'sında bir değişim oluşturulması aşaması uzun bir süreye gereksinim gösterir çünkü toprak geniş tamponlama özelliği nedeniyle bu tür bir etkilenmeye dirençlidir. Sulardaki elverişli olmayan pH ortamları, sularda katkı kimyasalları kullanarak ayarlanabilir ancak, bu durum nadiren gerekli olacaktır. Bunun yerine toprağın pH değerinin düzeltilmeye çalışılması daha pratik olacaktır. Bu amaçla topraktaki düşük pH'yı düzeltmek için kireç uygulaması, yüksek pH için ise sülfür gibi asit maddeler kullanılması genel uygulamalardandır.

## **BİTKİDEKİ ÇEŞİTLİ (TORTU) BİRİKİNTİLER**

Sulama sularında yüksek oranda bulunan kalsiyum, bikarbonat, sülfür gibi bileşik yada iyonlar özellikle yağmurlama sulamada, bitkiler ve meyveler üzerinde beyaz renkli tortular oluştururlar. Her ne kadar bu tür tortular toksik etkiler oluşturmasa da, özellikle taze olarak pazarlanacak olan meyve, sebze yada çiçeklerde, Pazar özellikleri üzerine etkili olacağından önemlidir. Tortular bu gibi ürünlerde Pazar kalitesini azaltacaktır ve elma ve şeftali gibi meyvelerdeki tortuların asitli bileşikler gibi uygulamalarla yıkanması gerekliliği ise ekonomik etkilere neden olacaktır. Aynı zamanda damlaticılar kenarında tortulanma olması damlaticıların tıkanma sorunları oluşturmasına neden olabilecektir.

Kalsiyum tarafından oluşturulacak problemlerin başında, bikarbonat ve özellikle sülfat ile oluşturacağı (jips) bileşiklerdir. Nemliliğin çok düşük (<%30) ve sıcaklığın yüksek olduğu dönemlerde yağmurlama sulama etkisinde, konsantrasyonları düşük olsa dahi, yüksek evapotranspirasyon etkisinde tortular oluşabilecektir. Bazı tür yağmurlama başlığı etkisinde (yavaş dönen başlıklar) yapraklar üzerine düşen damlalar buharlaşma etkisi ile daha konsantre hale gelirler ve su içerisinde düşük erirlikteki kireç (CaCO<sub>3</sub>) yada jips (CaSO<sub>4</sub>) çökerek birikmeye başlar ve başlığın bir sonraki ıslatma turu sırasında oluşan ıslanmada ise kolaylıkla geri çözünmezler. Sonuçta bu olay ile tortular oluşmaya devam eder.

Bu şekildeki tortu birikimi ile mücadele suyun konsantrasyonuna ve uygulanan sulama yöntemine bağlıdır. Uygulanan yöntemlerden birisi bikarbonatın azaltılması ve sonuçta kireç tortulanmasının azaltılması için asit bileşiklerin suya eklenmesidir. Bu özellikle serada yetiştirilen süs bitkileri yada yaprak bitkileri için uygulanır. Bu amaçla sülfürik asit kullanılabilir. Sülfürik asit çok hızlı bir şekilde etkisini gösterir ancak, dokunmaya karşı zarar verici etkisi nedeniyle uzman ve tecrübeli kişilerce kullanılmalıdır. Asit materyal ile birlikte oluşacak olan düşük pH

(<6.5) boru hatlarına ve damlatıcı ve yağmurlama başlıklarına zararlıdır.

Sonuçta yağmurlama sulama yaparken gece sulamalarına ağırlık vermek, başlık dönme hızını artırmak yada sprey tür başlık kullanmak, sulama aralığını artırmak gibi uygulamalarla bu sorunla baş edilebilir.

## **MAGNEZYUM PROBLEMLERİ**

Aşırı magnezyum içeren su ve toprak ortamlarında oluşacak problemler hakkında çok ayrıntılı bilgiler mevcut olmamakla birlikte, magnezyum çözeltide sodyumdan çok kalsiyum gibi bir etki yapacaktır. Toprak ortamında sodyuma göre daha fazla ancak, kalsiyuma göre daha düşük miktarlarda adsorbe edilir.

Magnezyumun dominant olduğu sularda (Ca/Mg oranı <1) yada magnezyumlu topraklarda (toprak-su oranında Ca/Mg<1), sodyumun potansiel etkinliği biraz artar. Diğer bir deyişle, Ca/Mg<1 ise belli bir SAR değerinin zararlı etkisi daha yüksektir. Oranın azalması SAR zararının artmasına neden olur. Yapılan çalışmalarda Ca/Mg oranı 1 den küçük olduğunda sulama suyunda belli bir SAR içeriğinde, toprakta daha yüksek ESP değerleri oluşmuştur (Rahman and Rowell, 1979).

Bununla beraber yüksek magnezyumlu sularla sulanan alanlarda yada magnezyumlu topraklarda, verimlilik, herhangi bir görünen infiltrasyon sorunu olmasa da, azalmaktadır görüşü söz konusudur. Bu durum tahminen toprakta değişebilir magnezyum yüksek olduğunda, magnezyum etkisiyle kalsiyum beslenmesindeki azalma ile ilgilidir. Bazı araştırmalar buğday, mısır ve şekerpancarında, toprak-su ortamında Ca/Mg<1 olduğunda verimde azalmalar oluştuğunu ortaya koymaktadır. Kalsiyumun bitkideki etkisi tam olarak anlaşılacakla birlikte, kalsiyum diğer iyonlardan (Na ve Mg) ötürü kök bölgesinde ortaya çıkacak olan toksisiteyi azaltan bir rol yapmaktadır. Eğer Ca/Mg oranı 1'den düşükse kalsiyumun kökler tarafından alınıp bitkinin üst organlarına iletilmesi, yüksek magnezyum tarafından oluşturulan antagonistik etki nedeniyle sınırlandırılmaktadır.

## **BESLENME VE SU KALİTESİ**

Sulama suyu kalitesinden ötürü ortaya çıkan tuzluluk, yetersiz infiltrasyon, toksisite ve buraya kadar açıklanan diğer etkiler yanında bu problemlerin etkileşimleri ile bir takım beslenme etkileri ortaya çıkabilmektedir.

### **Beslenme ve Tuzluluk**

Aşırı tuzluluk etkisinde bitkilerin su alımı azalmakta, bitki gelişimi yavaşlamakta ve kök gelişimi kısıtlanmaktadır. Yüksek tuzlu sularla sodyum yada klor toksisitesi de görülebilecektir. İyi bir gübreleme uygulana bitkilerde, tuzlulukla mücadele amacıyla verilecek ek gübreler verimi artırıcı etki yapmayacaktır. Bununla beraber kısa süreli azot uygulamaları ile yükseltelen besin maddesi içeriği, verimliliği geliştirebilecektir. Tarlada azot ile yeterince beslenen tuzlu kısımlar normal olarak koyu yeşil ila mavi-yeşil arasındadır. Eğer sarı ise, ek azot uygulaması verimliliği artırabilir.

Bununla beraber pek çok gübre, suda eriyebilir (tuz) niteliktedir ve kullanımları ile oluşturacağı tuzluluk potansiyelleri göz önünde tutulmalıdır.

Tek yıllık bitkilerde bitki organlarının analizi, kalsiyum eksikliğinin belirlenmesi açısından yararlı olacaktır. Örneğin patatestte bu amaçla sürgünler yada yeni gelişmiş yapraklar uygundur. %15 in altındaki değerler kalsiyum eksikliğini belirtmesi açısından önemliken %15-20 değerleri biraz şüpheli olabilmektedir.

### **Beslenme ve İnfiltrasyon Problemleri**

Topraklarda infiltrasyon sorunu, düşük tuzlulukta yada yüksek SAR değerlerinde oluşmaktadır. Her iki durumda da Ca içeriği düşük demektir ve topraksu ortamında bitki tarafından alınan Ca oranı 2 meq/l nin altında ise kalsiyum yetersizliğine bağlı bitki verimindeki azalma büyük olasılıkla söz konusu olacaktır (Rhoades, 1982).

Mısır, sorgum, sudan otu vb. gibi bazı hassas bitkilerde demir klorozu bazen yüksek SAR (>6) içeren sulardan kaynaklanabilmektedir ve demir içeren preparat uygulaması ile giderilebilir. Aynı zamanda toprak kükürdü yada jips kullanmak suretiyle toprak pH sınırın 8.5 in altına düşürülmesi de demir klorozunu önlemek açısından uygulanan yöntemlerdendir.

Pirinçte çinko eksikliği, aynı zamanda, sodyumlu topraklarda yüksek pH (>8.5) koşulunda görülmektedir. Bunun dışında çinko eksikliği sulama suyunda yüksek bikarbonat ( $\text{HCO}_3 > 2.0$  meq/l) düzeyleriyle ilişkilidir.

Eğer topraklar düşük infiltrasyon hızı nedeniyle kısa süreli de olsa (2-3 gün) su baskını (waterlogged) altında kaldıklarında, havalanma eksikliği sonucunda, toprakta bulunan nitrat azotunun çoğu denitrifikasyona uğrayarak  $\text{N}_2$  gazı olarak havaya geçer. Bu gibi durumlarda ek olarak verilecek azot gübrelenmesine gereksinim duyulacaktır.

### **Beslenme ve Toksikite**

Sodyum, klor veya bor gibi toksik iyonlar fazla miktarda bulunup toprak suyundan bitkiler tarafından aşırı düzeylerde alındıklarında yapraklarda biriktirilirlir. Bu iyonlar aşırı düzeylerde biriktiğinde yapraklarda kloroza, bronzlaşmaya ve yaprak yanmasına (nekroz) neden olur. Bu etkiler öncelikle yaprak ucunda ve kenarlarında görülür ve daha fazla biriktiğinde semptomlar yapraklarda damarlar arasından iç kısımlara doğru uzanır.

Bor nedeniyle oluşan yaprak nekrozu bazen oldukça ileri düzeylere ulaşabilir ve fotosentezi azaltacak düzeyde yaprak yüzey azalması oluşur. Narenciye gibi ağaç bitkilerinde eğer bor birikimi önemli düzeyde yaprak yüzeyinde azalma oluşturursa, vejetatif gelişmeyi teşvik edici nitelikte fazladan azotlu gübre uygulaması, bu sorunla mücadelede yardımcı olabilecektir.

### **DAMLA SULAMADA TIKANMA PROBLEMLERİ**

Damla sulamada su küçük hacimler halinde toprağa iletilir ve damlatıcı denilen küçük açıklıklardan lateral dışına itilir. Dolayısıyla bu küçük açıklıklar kolaylıkla tıkanabilirler. Damlatıcıların potansiyel tıkanması sorunu sıkça su kalitesi ile ilgilidir. Damlatıcıların tıkanması ile ilişkili olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik etki faktörleri *Çizelge 11.1* de verilmiştir. Bu etkiler çoğu zaman birlikte olabilmektedir ve bu durum etkinin daha da kötü olmasını sağlamaktadır; örneğin sümüksü canlılar sistem içerisinde dağıtım ağında yetiştiğinde, askıdaki katılar su

akışına ara verilen zamanlarda bu sümüksülere yapışarak ileride tıkanma oluşturabilecek bir etki meydana gelebilmektedir.

*Çizelge 11.1 Sulama suyu kalitesi ile ilişkili olarak dalatıcıların tıkanmasında etkili olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkiler.*

FİZİKSEL (Askıdaki Katılar)	KİMYASAL (Çökelme)	BİYOLOJİK (Bakteri ve algler)
1. Kum 2. Silt 3. Kil 4. Organik madde	1. Kalsiyum yada magnezyum karbonat 2. Kalsiyum sülfat 3. Ağır metal hidroksilleri, oksitleri, karbonatları, silikatları ve sülfidleri 4. Gübreler a. Fosfat b. Sulu amonyak c. Demir, çinko, bakır, mangan	1. Filamentler 2. Sümüksüler 3. Mikrobiyal depositler a. Demir b. Sülfür c. Mangan 4. Bakteriler 5. Küçük sucul organizmalar a. Salyangoz yumurtası b. Larva

Sistem projelemesinden önce tavsiye edilen durum tam su analizinin yapılmasıdır. Bu şekilde eğer gerekiyorsa suya iyileştirici katkılar önceden gerçekleştirilebilecektir. Her bir koşula bağlı olarak analizler farklılık gösterebilecektir. Ancak, unutmamak gerekir ki, damla sulama sistemlerinin maliyeti, analiz maliyetinden çok daha pahalıdır ve gereken analizler önceden yapılarak önlemler alınmadığı durumda ekonomik olarak büyük kayıplar yaşanabilecektir. *Çizelge 11.2* De standart olarak yapılması gereken testler görülmektedir.

*Çizelge 11.2 Damla sulama sistemlerinin işletilmesinde gerekli olan standart su kalitesine ilişkin testler*

1. Majör inorganik tuzlar ( <b>Çizelge 2, p.10</b> ) 2. Sertlik <sup>1</sup> 3. Askıdaki katılar 4. Toplam çözünebilir katılar (TDS) <sup>1</sup> 5. BOD (Biyolojik oksijen gereksinimi) 6. COD (Kimyasal oksijen gereksinimi) 7. Organikler ve organik madde	8. Mikro-organizmalar 9. Demir 10. Çözünmüş oksijen 11. Hidrojen sülfid 12. Demir bakterileri 13. Sülfatı azaltan bakteriler
---	---

<sup>1</sup> *Çizelge 2 de belirtilen analizler sonucunda hesaplanan değer*

Damla sulamada şimdiye kadar elde edilen deneyimlere dayanarak, her ne kadar su kalitesine bağlı olarak tıkanma problemlerinin oluşmasında kesin bir yargıya varılamasa da, *Çizelge 11.3* De belirtilen değerler potansiyel tıkanma sorunları amacıyla göz önüne alınabilir.

*Çizelge 11.3 Damla sulamada potansiyel tıkanma sorununa etkili su kalitesi parametreleri*

Potansiyel Problem Çeşidi	Birim	Kullanmayı Sınırlandırma Düzeyi		
		Yok	Hafiften ortaya	Ağır
<i>Fiziksel</i> Askıdaki katılar	mg/l	<50	50-100	>100
<i>Kimyasal</i> pH		<7,0	7,0-8,0	>8,0
Çözünebilir katılar	mg/l	<500	500-2000	>2000
Mangan <sup>2</sup>	mg/l	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Demir <sup>3</sup>	mg/l	<0,1	0,1-1,5	>1,5
Hidrojen sülfid	mg/l	<0,5	0,5-2,0	>2,0

<i>Biyolojik</i>				
Bakteri popülasyonu	Max sayı/ml	<10000	10000-50000	>50000

<sup>1</sup> Nakayama (1982)'den adapte edilmiştir.

<sup>2</sup> Bu düzeydeki Mn konsantrasyonunda tıkanma sorunu oluşmasa da, düşük düzeylerde dah toksisite etkisi oluşabilecektir.

<sup>3</sup> Fe>5.0 mg/l düzeyi bazı bitkilerde beslenme dengesizlikleri oluşturabilecektir.

Tıkanmaya neden olan en belirgin etken askıdaki katılardır, ancak, bu sorunun çözümü kolaydır. Askıdaki maddeler yüzey sularında genelde daha fazladır. Bu maddeler genelde çeşitli büyüklüklerdeki toprak katı kısımlarından, kireç karbonatlarından, kanallara yıkanarak taşınan katı maddelerden, alglerden ve rezervuarlardan oluşan erozyon etkilerinden oluşurlar. Sudan daha ağır olan partiküller filtre edilerek ortamdan ayrılabilirler. Bu amaçla sedimantasyon (çökeltme) en bilinen yöntemdir. Ancak çökeltme uygulaması tek başına yeterli olmayacaktır ve sistem özelliklerine bağlı olarak filtreleme uygulaması neredeyse zorunlu olmaktadır. Son zamanlarda kendini temizleyen (self-cleaning) damlatıcılar üretilmektedir ve tıkanma sorununu önemli ölçüde azaltmaktadır.

Tıkanmaya neden olan bir başka olay kireç (CaCO<sub>3</sub>) yada fosfatlar (Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) gibi kimyasal maddelerin çökmesi olayıdır. Normalde bu olaylar değişkendir ve lokal belirlemeler zordur. Yüksek sıcaklık yada yüksek pH değerleri kimyasal çökme sorunlarının nedenlerindedir. Kalsiyum karbonat çökmesini önlemek amacıyla uygulanabilecek en etkin yöntemlerden birisi pH'nın kontrol altında tutulması yada sistemin düzenli olarak asit ile, tıkanma oluşturacak düzeyde birikinti oluşmasını diye, yıkanmasıdır. Bu amaçla sisteme periyodik olarak hidroklorik asit yada sülfürik asit enjekte edilir. Bu uygulamanın haftada bir olarak uygulanması çoğu durumda gerekli olabilmektedir.

## **KOROZYON VE PASLANMA (ENCRUSTATION) PROBLEMLERİ**

### **Metal Korozyonu**

Korozyon problemlerinin çoğu yer altı suları etkisi ile ilişkilidir. Her ne kadar yerlatı sularının kompozisyonu çok farklılık gösterse de, pek çok tip yerlatı suyu en azından hafifçe de olsa demire karşı koroziftir ve bazıları oldukça etkili olup dayanıklı materyallere karşı bile etkilidir. Korozyon temelde elektrolitik bir olaydır ve metal yüzeylere karşı "atak" yapma ve yüzeyde aşındırıcı/kopartıcı etki şeklinde ortaya çıkar. Korozyonun derecesi kimyasal denge reaksiyonları ile ilgili olduğu kadar hız, sıcaklık ve basınç gibi fiziksel faktörlere de bağlıdır. Pek çok korozyon problemi düşük tuzluluk derecesi ile ilişkili olmakta; pek çok "encrustation" problemi ise yüksek tuzluluktaki yer altı suları ile ilişkilendirilebilmektedir.

### **Beton Korozyonu**

## **SU KALİTESİ İLE İLGİLİ VEKTÖR PROBLEMLERİ**