

## 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 ( $EC_{dw}$ ).

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

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

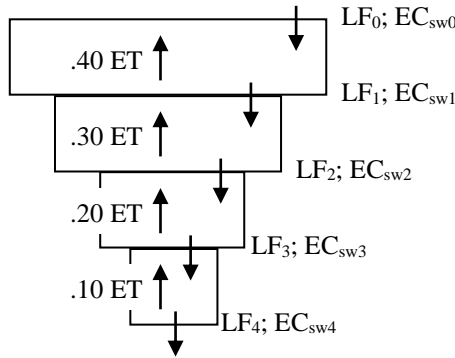
Bu durumda kök bölgesi altına sızan suyun tuz konsantrasyonu yaklaşık 6.7 dS/m olacaktır.

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 noktalardaki 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.

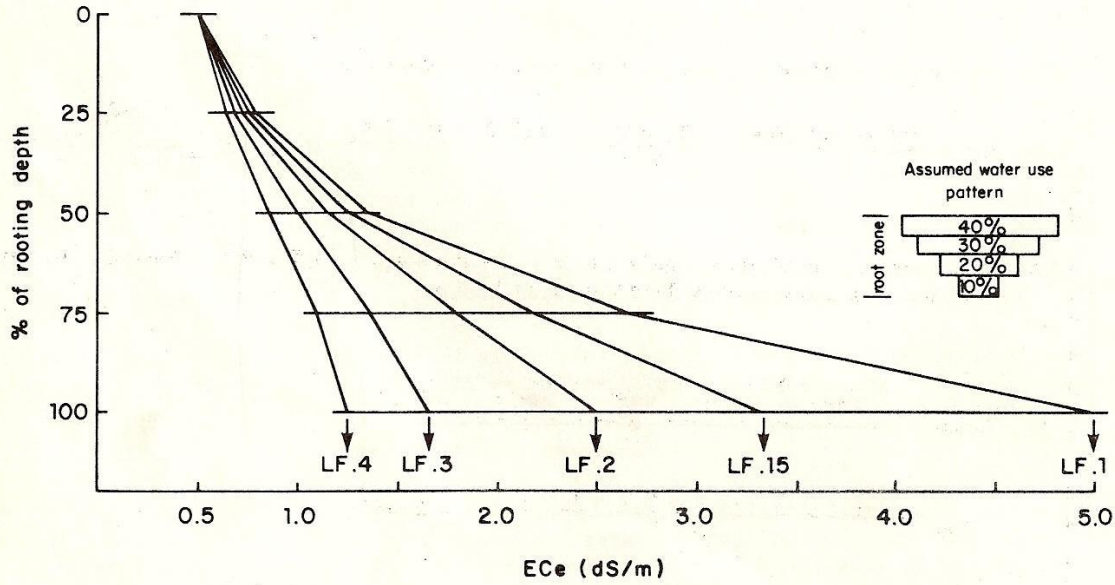


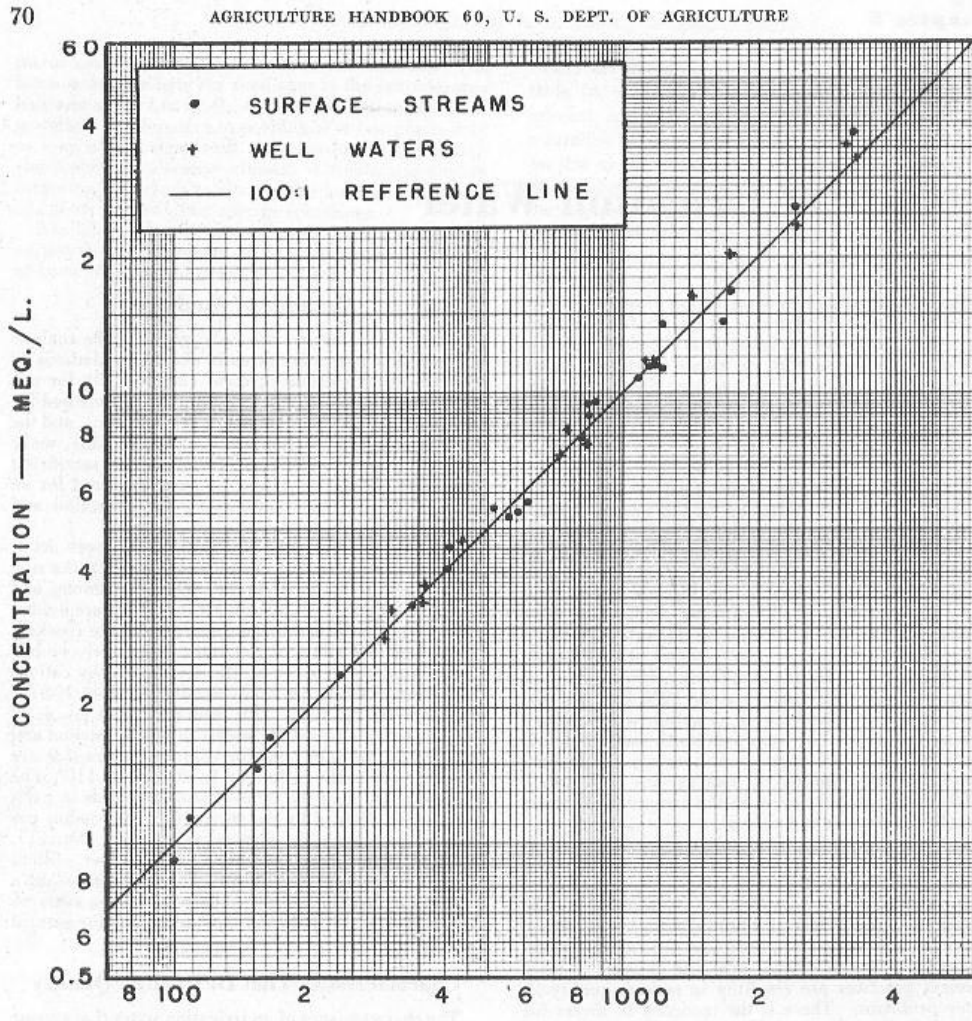
Fig. 2 Salinity profile expected to develop after long-term use of water of  $EC_w = 1.0$  dS/m at various leaching fractions (LF)

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;

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

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

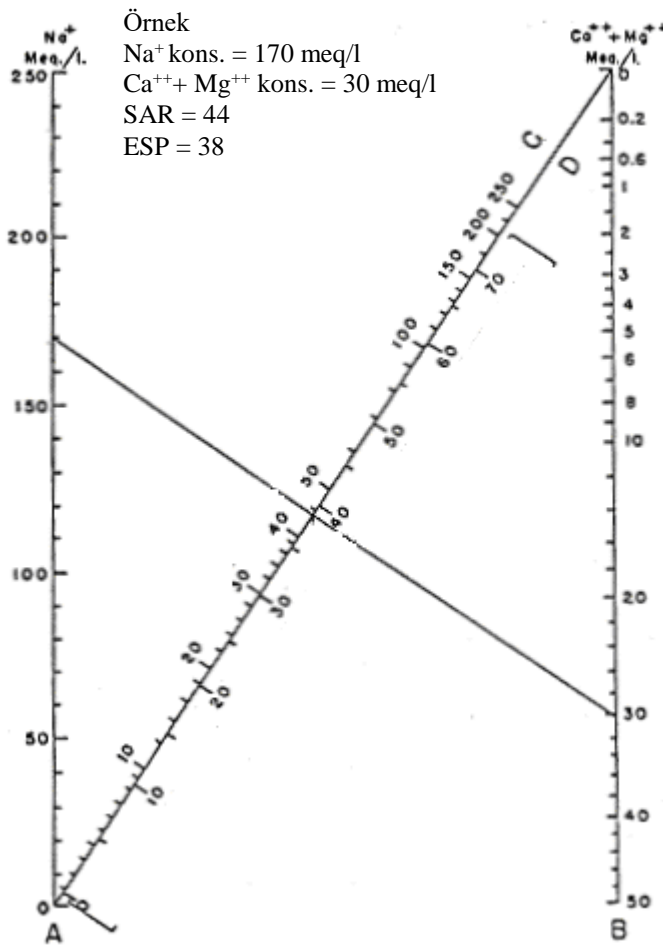
$$1 + K_G * SAR = \frac{100 * K_G * SAR}{ESP} \quad \text{ve sonuçta;}$$

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

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

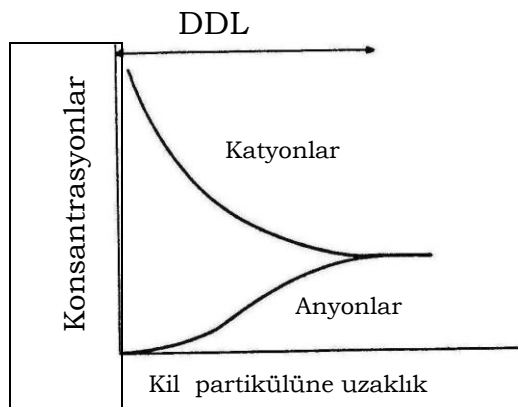
Daha öncede açıklandığı gibi toprak katı zerrelerinin negatif elektrik yükleri ile, toprak çözeltisinde bulunan anyon ve katyonlar karşılıklı dengeye ulaşırlar. Bu

(-) 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 zerrecelerinin yüzeylerine doğru elektriksel alan etkisinde çekilirler. 2) Difüzyon etkisinde kendilerini likid faz içerisinde düzenli bir biçimde dağıtmaya çalışırlar.

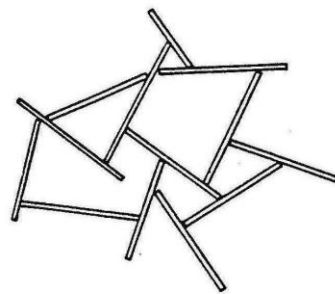
Sonuç dağılımında, DDL (difüz çift tabaka) adı verilen katyonların difüz birikme zonu oluşur. (Şekil 6.4). DDL içerisinde anyonlar dışarıda tutulurken, katyonlar tane yüzeylerince çekilirler. Katı yüzeyin biraz uzağında ise, anyonlar ve katyonlar eşdeğerdedirler yani bir denge çözeltisi oluşur.

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 flokülleler 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 çözültide bulunurlar. 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 horizon 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.