

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⁺ zararının ortaya konması amacıyla çok çeşitli bitkilerle araştırmalar yapılmıştır. Örneğin bademde ve avokadoda yapılan denemelerde, topraktaki yüksek Na⁺ 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/m³ Na⁺ konsantrasyonunun yapraklarda zararlanmalara neden olduğu bulunmuştur (Mantell ve ark. 1989).

Kalsiyum

Yüksek orandaki Ca⁺² konsantrasyonunun bitki gelişmesine olan olumsuz etkileri bitki cinsine göre değişiklik göstermektedir. Yine bazı Ca⁺² tuzları da daha fazla toksik olarak bulunmuştur. Örneğin Maseawa (1936), ilave edilecek CaCl₂ tuzlarının toprağa, NaCl tuzlarından daha toksik olduğunu ortaya koymuştur. Yine Wadleigh ve ark. (1951), meyve bahçelerinde toprak eriyiğine katılan Ca⁺² tuzlarının bazı özel etkilerde bulunduğunu gözlemişlerdir. Eklenen CaCl₂ ve CaNO₃ tuzları benzer etkiler oluşturduğundan, etkilenmenin Cl⁻ dan çok Ca⁺² 'un varlığından kaynaklandığı belirtilmiştir. Çekirdekli meyvelerde yapılan denemelerde normal düzeydeki CaCl₂ tuzunun dahi, yapraklarda Cl⁻ birikiminin oluşup bitkiye zarar vermesinden ötürü, zararlı etkide bulunduğu gözlenmiştir (Brown ve ark. 1953).

Magnezyum

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

Potasyum

Potasyum, çok nadir hallerde yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Yüksek K⁺ konsantrasyonları toksik etki yapacaktır. Bu toksik etki Mg⁺² da olduğu gibi Ca⁺² konsantrasyonunun artması ile dengelenebilir. Ayrıca yüksek K⁺ konsantrasyonları Mg⁺² 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⁻ 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 SO₄⁻² konsantrasyonu koşulunda bitkilerin Ca⁺² iyonunu alamamalarından kaynaklanmaktadır. Ca⁺² iyonundaki bu azalma ile Na⁺ ve K⁺ 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⁺², daha çok K⁺ içermiştir. Bunun yanında bikarbonatın asıl etkisi Mg⁺² içeriğinin azalması, Na⁺ 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 Na^+ birleşme eğilimi gösterecektir ve eriyebilirliği sınırlı olan 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 CaCO_3 (kalsit), MgCO_3 (Dolomit) ve 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 ₃	MgCO ₃	CaSO ₄	Kalan
Ca ⁺⁺	3.1	-3.1 = 0			0
Mg ⁺⁺	3.8		-1.9 = 1.9		1.9
Na ⁺	4.9				4.9
Toplam	11.8				6.8
CO ₃ ⁼ +HCO ₃ ⁻	5.0	-3.1 = 1.9	-1.9 = 0		0
SO ₄ ⁼	2.6				2.6
Cl ⁻	4.2				4.2
Toplam	11.8				6.8

Görüldüğü gibi ortamdan CaCO₃, MgCO₃ ve CaSO₄ tuzları çıkartılmış ve kalan 6.8 meq/l değeri, efektif tuzluluk olarak belirlenmiştir. Ortamda artan Ne⁺ konsantrasyonuna dikkat edilmelidir.

Potansiyel tuzluluk kavramında ise sulama sularındaki Cl⁻ ve SO₄⁼ 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 ⁶ , 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⁻ ve SO₄⁼ 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 ⁶ , 25°C	%Na	Cl ⁻ meq/l	SO ₄ ⁼ 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

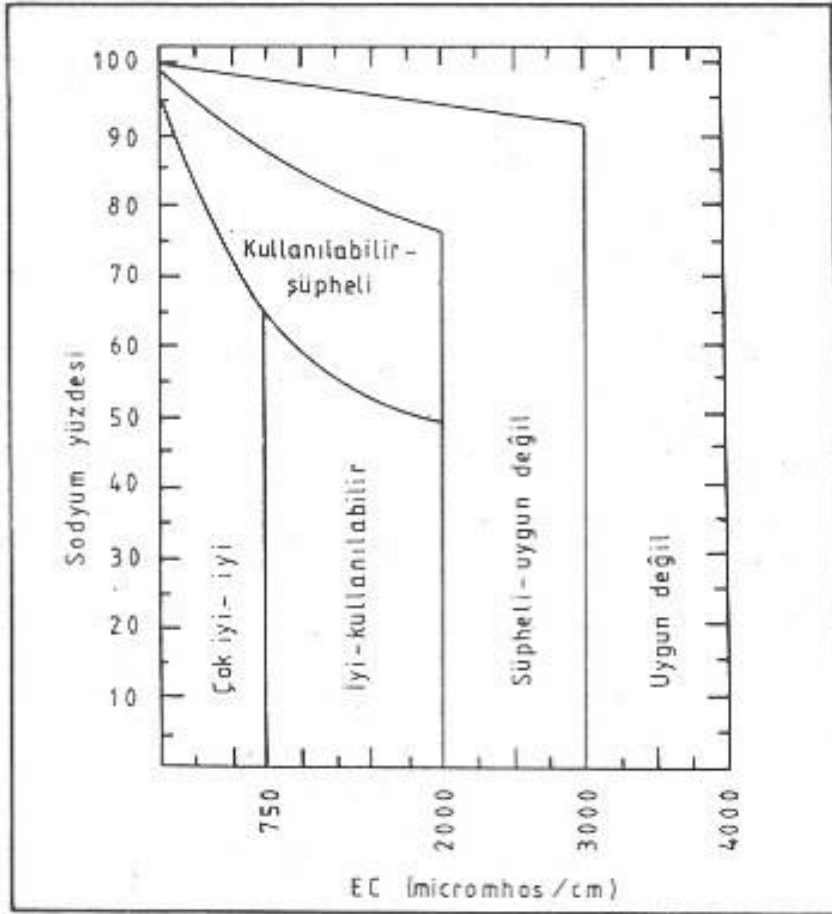
Bu sistem, Amerika Birleşik Devletlerinin pek çok eyaletinde geniş oranda kullanılmıştır. Bu sistemde sulama suları üç grup altında incelenmektedir. Sınıflandırma kriteri olarak ise EC, %Na, Bor ve Cl⁻ değerleri göz önüne alınmaktadır. Sınıflandırma çizelgesi Çizelge 4.5 de verilmektedir.

Çizelge 4.5 Wilcox ve Magistad (1943) sulama suyu sınıfları

Sınıflar	EC x 10 ⁶ , 25°C	%Ne	Cl ⁻ 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

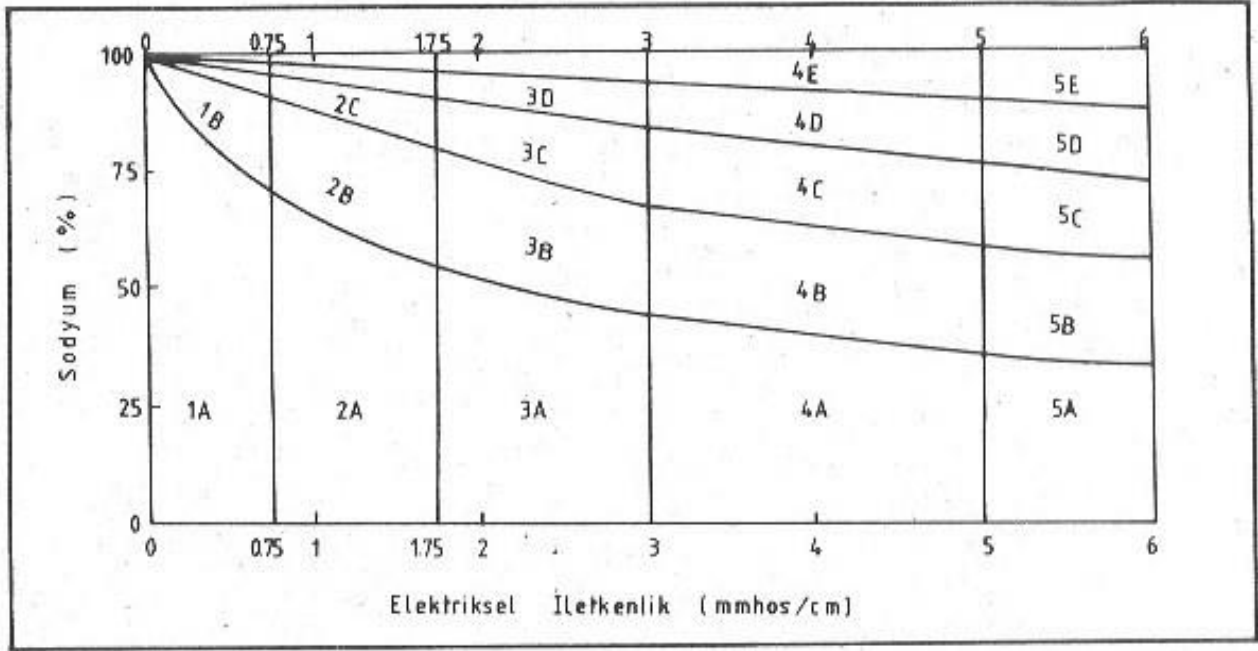
Wilcox (1948) sisteminde grafik bir sınıflandırma sistemi önermiştir (Şekil 4.1). Bu sistemde EC ve %Na değerleri göz önüne alınmaktadır. EC değeri düşük sulama suları bu sistemde yüksek %Na içeriklerinde dahi “çok iyi” olarak değerlendirilmektedirler.



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

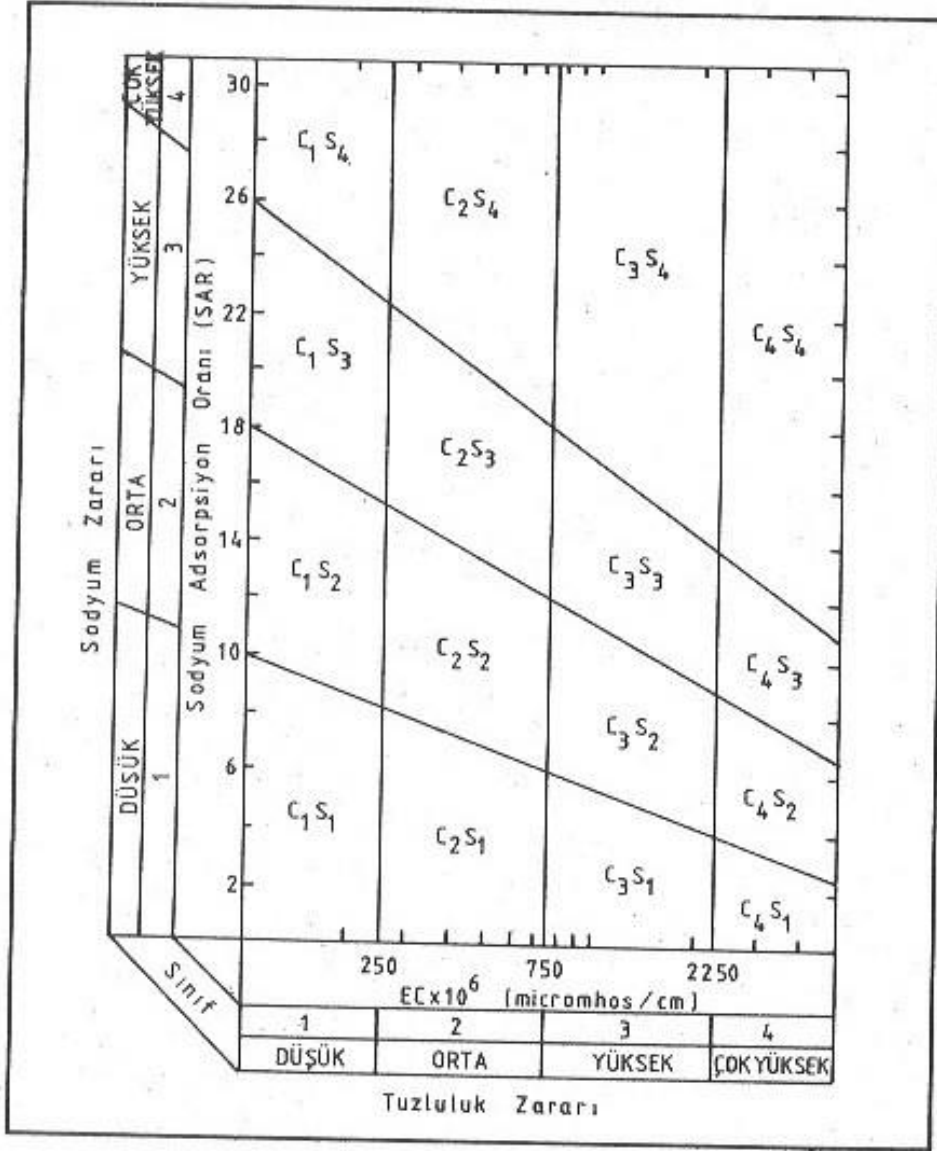
Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk laboratuvarı tarafından geliştirilen bu sistem ortaya atıldıktan sonra pek çok Ülke tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Bizim ülkemizde de yaygın bir kullanım alanı bulmuştur ve halen daha kullanılmaktadır. Sistemde sulama suları EC ve SAR değerleri göz önüne alınarak değerlendirilmektedir. Her iki kriter de 4 sınıf altında toplanmıştır ve tuzluluk zararı C₁-C₄ arasında, sodyumluluk zararı ise S₁-S₄ arasında belirtilmektedir (Şekil 4.3). Söz konusu sınıfların değerlendirilmesi şu şekilde yapılmaktadır;

C₁ 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.

C₂ 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.

C₃ 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.

C₄ 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

S₁ Düşük Sodyumlu Sular: Bu sular Na⁺ yönünden her bitki ve toprak koşulunda bir zararlanma oluşturmadan kullanılabilirler.

S₂ Orta Sodyumlu Sular: Kaba bünyeli ve yüksek geçirgenlikteki organik topraklarda sorun oluşturmadan kullanılabilirler.

S₃ 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.

S₄ Çok Yüksek Sodyumlu Sular: Bu sular sulamaya uygun değildirler. Yalnızca toplam tuz içeriği düşük, eriyebilir Ca⁺² 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 S₁ sınıfında, EC değeri 4000 mS/cm den büyük olduğunda ise S₃ 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 (CaCO₃, MgCO₃, CaSO₄ 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⁻ ve SO₄⁼ 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.

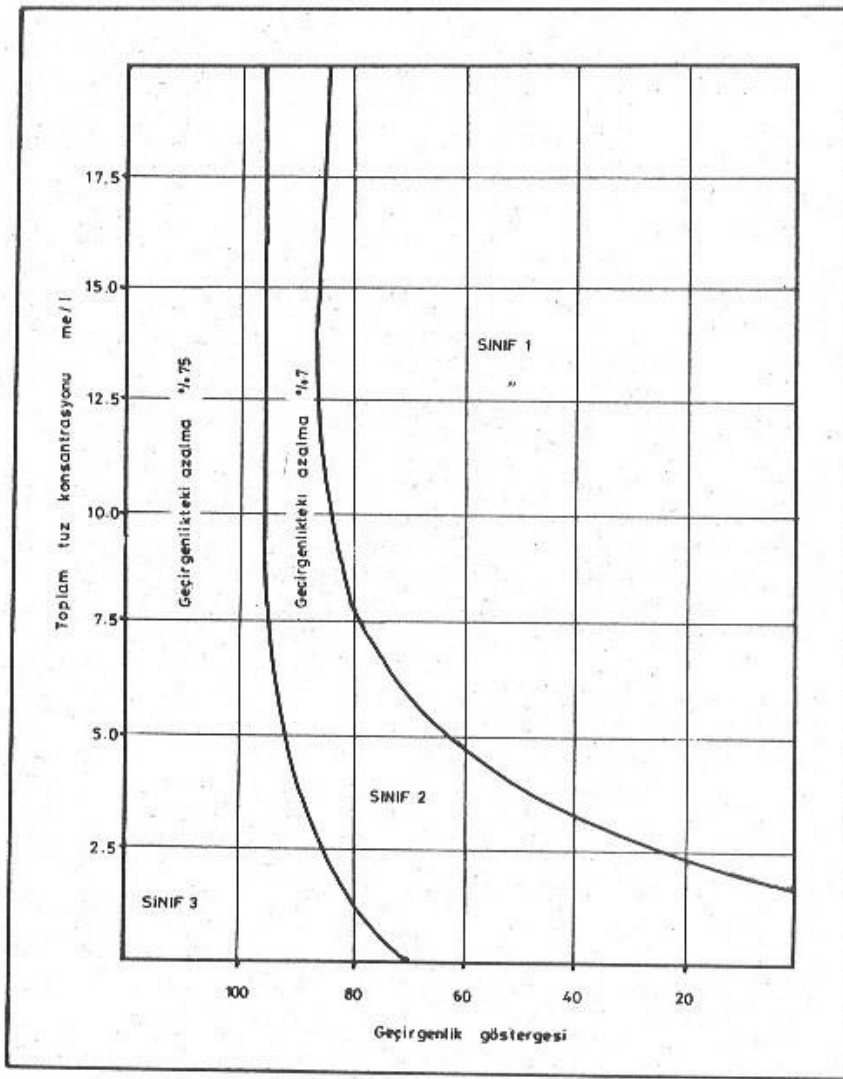
Doneen (1966) Geçirgenlik Göstergesi Sistemi

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

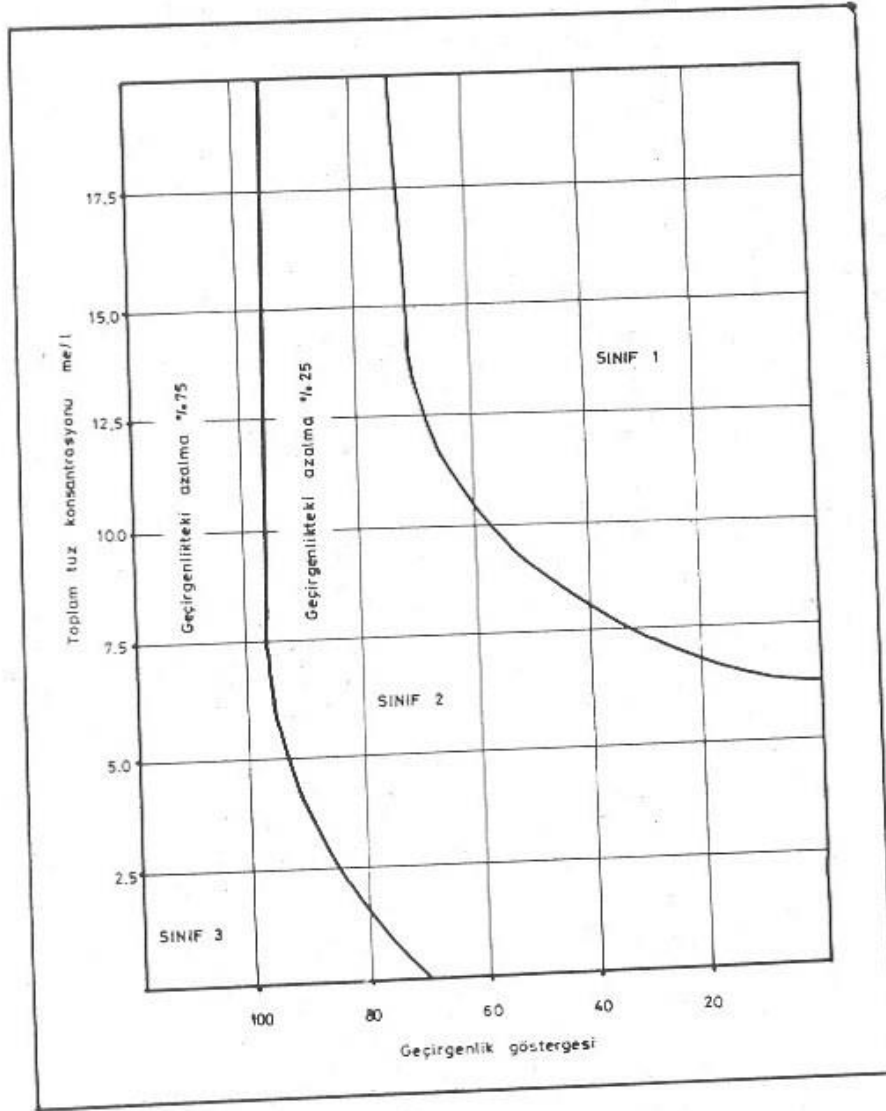
amprik ilişki geliştirmiştir. Geçirgenlik göstergesi "GG" olarak anılan bu ilişki sulama suyunun Na^+ , HCO_3 ve toplam tuzluluk içeriklerine bağlı olup aşağıdaki biçimde verilmektedir (Şener, 1983);

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

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.



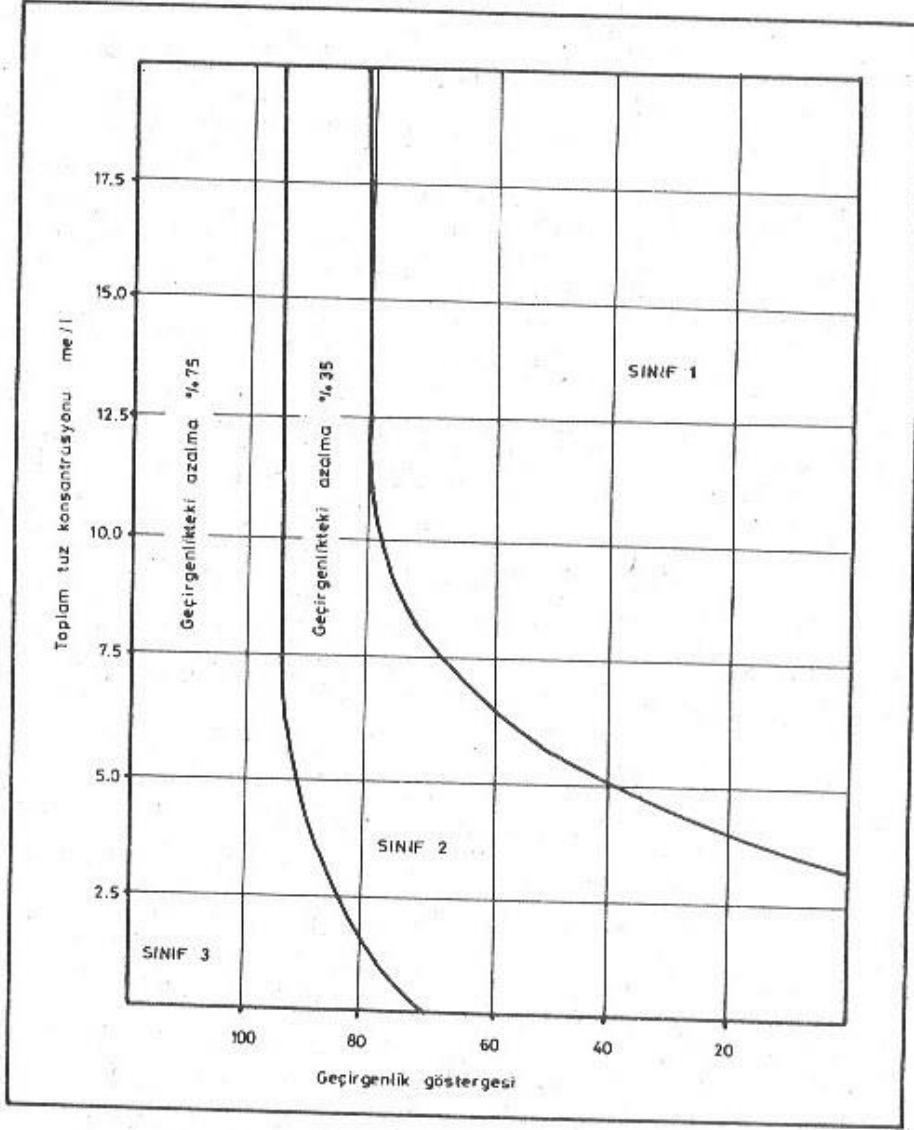
Şekil 4.4. Geçirgenliği düşük (<2 cm/h) topraklar için grafik



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, Na_2CO_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 bazısına 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 ₄ -N ve NO ₃ -N (ppm) HCO ₃ (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 ₂ CO ₃ 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

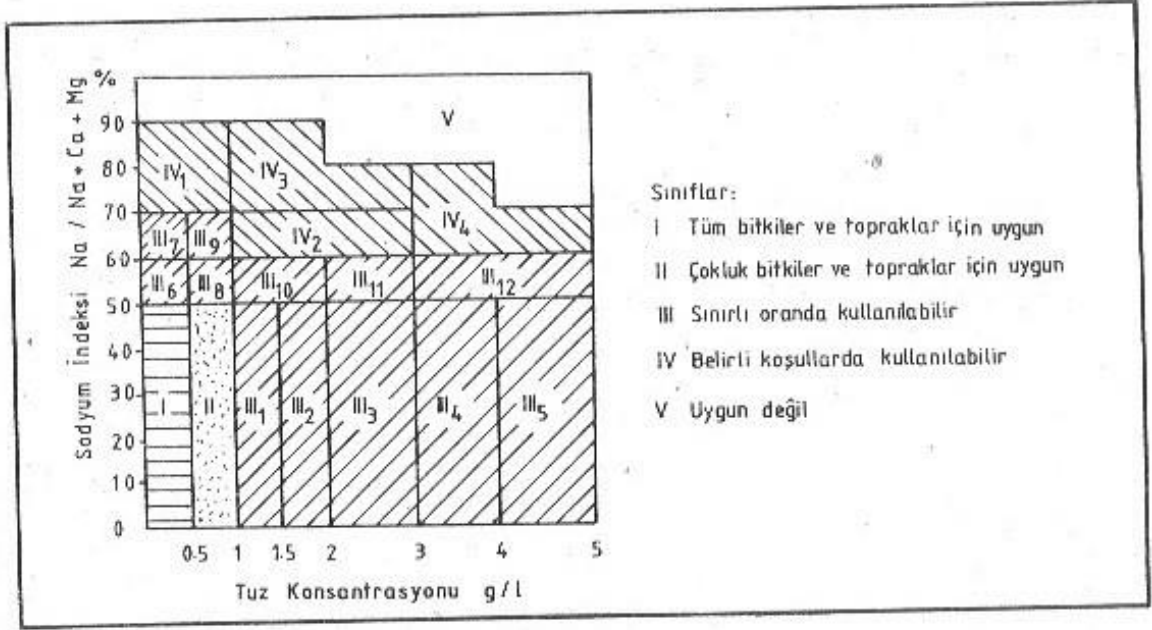
Su Tüketimi (yıllık, mm)		SINIR DEĞERLERİ			
		Çok hassas	hassas	Daha dayanıklı	
Toplam tuz	Serada (600-1000)	160	400	800	
	Açıkta	Nemli (100-300)	500	1250	2000
		Kurak, yarı-kurak (300-1000)	250	750	1000
Klor	Serada (600-1000)	40	100	200	
	Açıkta	Nemli (100-300)	200	400	700
		Kurak, yarı-kurak (300-1000)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

Soifer (1987) grafik sistemi

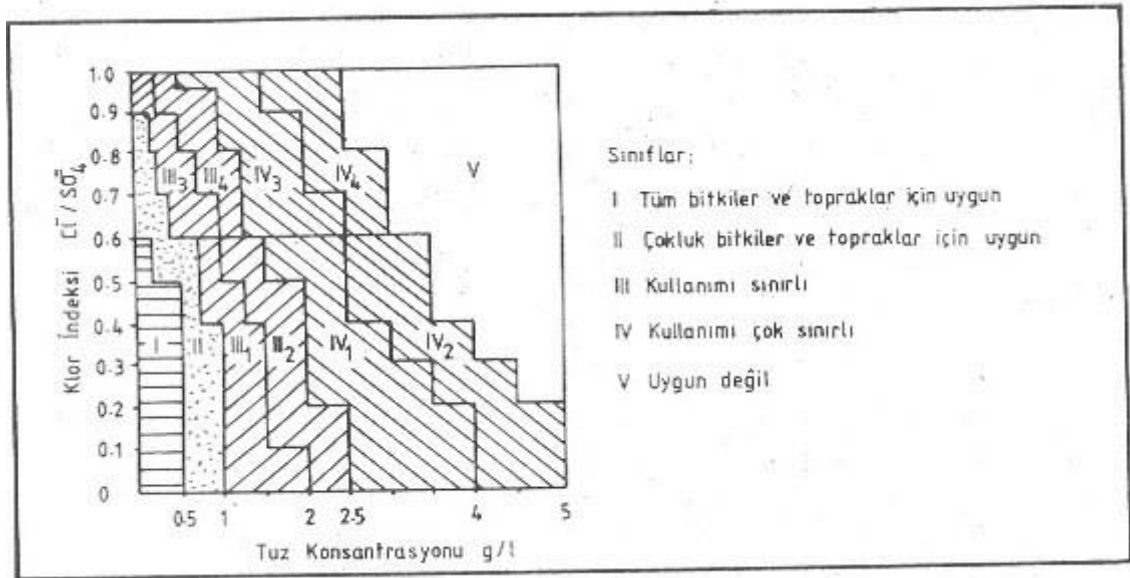
Soifer (1987) toprak alkaliliği tehlikesi, toprak tuzluluğu tehlikesi ve bitkilerin tuza dayanımları ile ilgili olarak 3 ayrı sınıflandırma sistemi ortaya koymuştur. Tuz konsantrasyonu ve sodyum indeksi değerlerine göre toprak alkalilik tehlikesi sınıflandırması Şekil 4.7 de, tuz konsantrasyonu ve klor 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

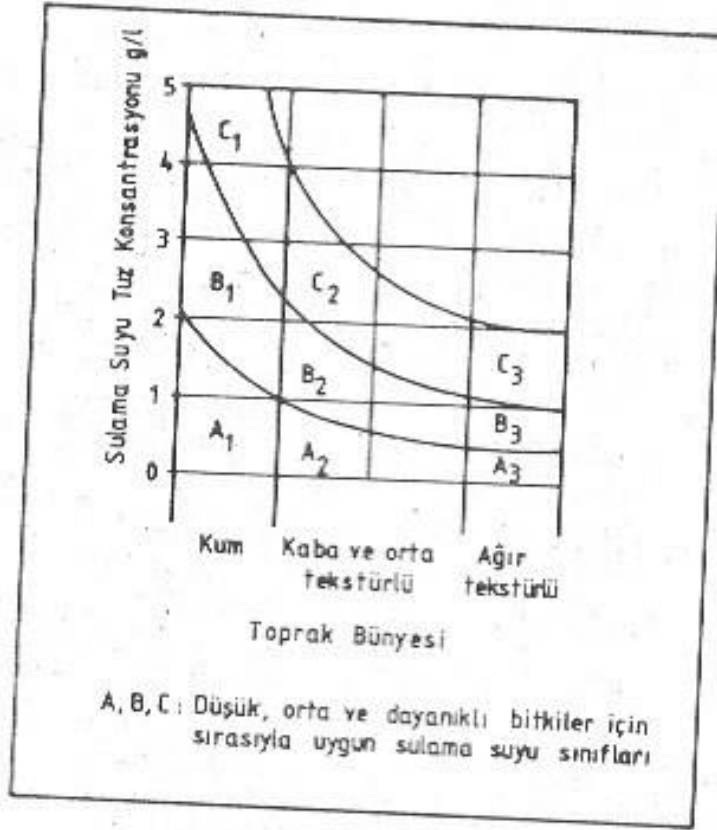
Toplam eriyebilir tuz konsantrasyonu (ppm)	SAR konsantrasyonunun topraklar için tehlikeli olacak değerleri			
	Düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
360	<8.2	8.2-15.4	15.4-22.6	>22.6
470	<6.1	6.1-12.2	12.2-18.3	>18.3
1200	<4.0	4.0-9.0	9.0-14.0	>14.0



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 ₄
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 ₃ , NH ₄ -N, NO ₃ -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.