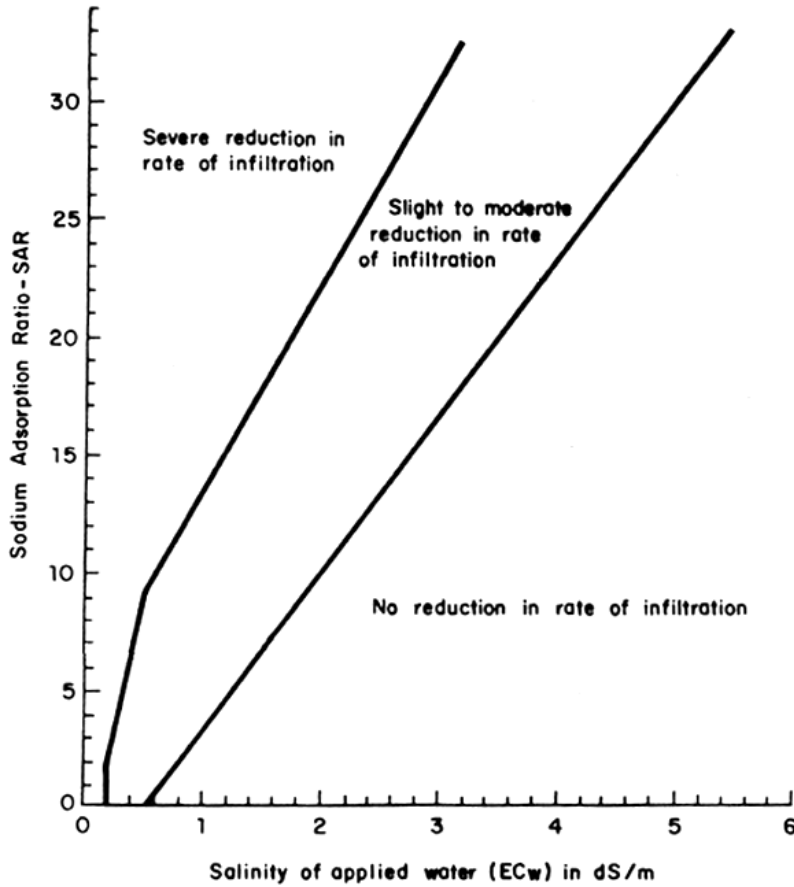


BÖLÜM IX: İNFİLTASYON PROBLEMLERİ VE GİDERİLMESİ

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

CaCO₃ biçiminde çökeltme ile azalarak seyredir. Dissolusyon olayı, toprak suyundaki seyrelme ve erimiş CO₂ etkisiyle oluşurken, çökeltme ise ortamda yeterli Ca⁺² ile Karbonat ve Sülfat bulunması sonucunda CaCO₃ (kireç) yada CaSO₄ (jips) şeklinde çökelmelerin oluşması şeklinde meydana gelir. Sulamanın ardından, çözelti ortamındaki Ca⁺² konsantrasyonunun değişmesi ile, dissolusyon ve çökeltme olayları oluşabilir suyun Ca⁺² içeriğinden farklı bir Ca⁺² 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⁺² içeriğinin, olası denge reaksiyonları sonunda ve CO₂, HCO₃ ve tuzluluk (EC_w) etkisiyle, sulamadan sonra beklenen dengeye ulaşmış durumdaki değeri ile düzeltilmesi yapılmaktadır. Bu yöntem, topraktaki kireç (CaCO₃) 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⁺ yada düşük Ca⁺² 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_x=Çizelge 9.1'den bulunan me/l olarak düzeltilmiş Ca⁺² değeridir. Bu değer, sulama suyunda bulunan Ca⁺² içeriğinin, suyun tuzluluğu (EC_w) HCO₃/Ca⁺² oranı ve yüzey toprağındaki tahmini CO₂⁻² basıncına bağlı olarak düzeltilmiş değeridir;

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

Çizelge 9.1 Verilen HCO₃/Ca Oranı ve EC_w'la Sulamayı Takiben Yüzeğe Yakın Toprak Suyunda Kalması Beklenen Kalsiyum ^{1,2,3}

Uygulanan Suyun Tuzluluğu (EC _w) dS/m		0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	6.0	8.0
HCO ₃ /Ca Oranı	.05	13.20	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 (CaCO₃) veya silikatlardan bir toprak kalsiyum kaynağı olduğu, magnezyumun çökelmediği, toprak yüzeyi yakınında CO₂'in kısmi basıncının (P_{CO2}) 0.0007 atmosfer olduğu kabul edilmektedir.

3 Ca_x, HCO₃, Ca me/l biriminde ifade edilmiştir, EC_w ise dS/m birimindedir.

Bu çizelgenin kullanılmasında (Çizelge 9.1), ilk olarak su analizi değerlerinden yararlanarak HCO₃/Ca oranı ile EC_w değeri belirlenir (burada iyon konsantrasyonları me/l, EC_w değeri dS/m olarak alınır). HCO₃/Ca oranı değerleri çizelgenin sol tarafında, EC_w değerleri ise üst tarafında verilmiştir. Hesaplanan HCO₃/Ca oranına en yakın değer ile sulama suyu EC_w 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) değerlendirilmedi, 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 çözeltiliye 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:

5000m³ 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 m³'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 m³'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 5000m³ 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_w 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_e) 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_e) her ikisine bir düzeltme gerekecektir. EC_e işlemi saturasyon çamuru gerektirmekte ve eğer jips mevcutsa EC_e 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_e.

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, Şekil 1 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 kullanılmasin 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 (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 Etkinlikleri¹

Islah Maddesi	1 ton %100 Safılıkta Jipse Eşdeğer Ağırlığı, t ²
Jips (CaSO ₄ .2H ₂ O)*	1.00
Kükürt (S)-**	0.19
Sülfürik asit (H ₂ SO ₄)-*	0.61
Demir sülfat (Fe ₂ (SO ₄) ₃ .9H ₂ O)-**	1.09
Kireçli kükürt (%9Ca+%24S)*	0.78
Kalsiyum klorür (CaCl ₂ .2H ₂ O)-*	0.86
Kalsiyum nitrat (Ca(NO ₃) ₂ .2H ₂ O)*	1.06
Kalsiyum karbonat ³ (CaCO ₃)-**	0.58

* Su veya toprak ıslah maddesi olarak kullanımı uygun

** Yalnızca toprak uygulamaları için uygun

1 Fireman ve Branson (1965)'den uyarlanmıştır

2 Yukarıdakiler %100 saf madde üzerine dayalıdır. Madde %100 saf değilse, %100 malzemeye eşdeğer olan madde miktarını (X) bulmak için aşağıdaki hesaplama 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 kullanımı 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 (CaCO₃). Bu nedenle bir su infiltrasyon problemi için sınırlı bir değere sahiptirler fakat hafif şekilde marjinal sodik su kullanımının bir sonucu olarak aşamalı şekilde gelişebilecek bir sodik toprak oluşumunu engellemek veya ertelemek için kullanışlı olabilirler.

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

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

1 Toprak iyileştirme komitesinden (1975)

2 Her maddenin 100 kg'ı için eşdeğeri

3 Üre şeklinde de bilinmektedir, üre ve formaldehit reaksiyonu ürünü

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

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/1)	Mg (me/1)	Na (me/1)	HCO_3 (me/1)	SAR
Kanal suyu	0,23	1,41	0,54	0,48	1,8	0,5
Kuyu suyu	3,60	2,52	4,00	32,0	4,5	18,0

Açıklama: Sonuçlanan karışım kalitesi eşitlik (13) kullanılarak bulunulabilir.

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

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

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

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 tuzluluktaki 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 parçalanabilen 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 uygulaması 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.