

**TUZLU-SODİK ve SODİK TOPRAKLARIN ISLAHINA
FARKLI BİR YAKLAŞIM: YEŞİL ISLAH
AN ALTERNATIVE APPROACH TO THE RECLAMATION
OF SALINE-SODIC AND SODIC SOILS:
PHYTOREMEDIATION**

İlker ANGIN^{1*}

*Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 25240,
Erzurum*

Geliş Tarihi: 18 Kasım 2009 **Kabul Tarihi:** 8 Nisan 2010

ÖZET

Yeşil ıslah genel olarak toprakta ve/veya suda bulunan kirleticilerin birtakım bitkiler tarafından degradasyona ve ekstraksiyona uğratarak hareketsizleştirilmesi ve bitkinin bünyesine alınması şeklinde tanımlanır. Genellikle yüksek ağır metal içeriğine sahip toprakların ıslahı için kullanılan yeşil ıslahın tuzlu-sodik ve sodik toprakların ıslahında kullanılabilirliği diğer ıslah yaklaşımlarına oranla daha az maliyetli olduğundan dolayı giderek önem kazanmıştır. Bu çalışmanın amacı, tuzlu-sodik ve sodik toprakların ıslahında alternatif olarak kullanılacak olan yeşil ıslah yönteminin etkinliğini ortaya koymak ve mekanizmasını değerlendirmektir.

Anahtar Kelimeler: Tuzlu-sodik toprak, sodik toprak, yeşil ıslah.

ABSTRACT

Phytoremediation is an emerging technology that uses various plants to degrade, extract, contain or immobilize contaminants from soil and/or water. Despite its general use in soils polluted with heavy metals, phytoremediation has become an interesting area for its potential use in the reclamation of saline-sodic and sodic soils. As the success of phytoremediation mainly depends on understanding the processes, this study was prepared to evaluate the effectiveness of phytoremediation in saline-sodic soil reclamation and show its mechanism, which can be an alternative for classical methods.

Keywords: Saline-sodic soil, sodic soil, phytoremediation.

* Sorumlu Yazar: iangin@atauni.edu.tr

1. GİRİŞ

Tarım, gelişmişlik düzeyleri ne olursa olsun, tüm ülkelerin nüfuslarını beslemede ve ekonomilerinde önemli bir role sahiptir. Dünya nüfusunun gün geçtikçe artması ve küresel ısınmanın etkilerinin giderek daha fazla hissedilmesi, bu sektörü çok daha önemli bir hale getirmiştir.

Son yıllarda gelişmekte olan ülkelerde tarım alanında çok büyük ilerlemeler olmasına karşın, dünyada yeterli beslenme sınırı altında kalan insanların sayısı gittikçe artmaktadır. Artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla gıda üretiminde ortaya konan artış, beslenmenin sürdürülebilirliği açısından bütün ülkelerin öncelikli hedefi haline gelmiştir.

Dünyada toplam işlenebilir tarım arazisi miktarı 3,19 milyar ha'dır. Son yıllarda kişi başına düşen tarım arazisi miktarı gelişmiş ülkelerde %14,3 oranında azalırken, gelişmekte olan ülkelerde bu rakam %40 oranında gerçekleşmiştir. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'ne göre kişi başına düşen tarım arazisi miktarı 0,23 ha olup bu miktar 2050 yılında 0,15 ha'a düşecektir (Anonymous, 2000a). Yapılan hesaplamalara göre, tüm dünyada her dakika işlenebilir arazinin 5 hektarı erozyon, 3 hektarı tuzluluk, 1 hektarı diğer toprak degradasyonu işlemleri, geriye kalan 1 hektarı da tarım arazilerinin amaç dışı kullanımı sonucu kaybolmaktadır (Abrol *et al.*, 1988).

Tuzluluk ve/veya sodiklikten kaynaklanan toprak degradasyonu en önemli çevresel sınırlamalardan birisi olup, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretkenliğe ve sürdürülebilirliğe olumsuz etkilere sahiptir (Tanji, 1996; Suarez, 2001; Qadir *et al.*, 2006).

Dünya tarım arazilerinin sınır değerlerine ulaştığı dikkate alındığında tuzlu, sodik ve tuzlu-sodik topraklar gibi sorunlu arazilerin ıslah edilerek tarıma kazandırılması büyük önem taşımaktadır.

Toprak tuzluluğunun binlerce yıldan beri bilinmesine ve son yıllardaki büyük teknolojik gelişmelere karşın, uygulamada ve teoride hala toprak tuzluluğunun üstesinden gelmede sorunlar yaşanmaktadır. Dünyada 100'den fazla ülke toprak tuzluluğu ile

karşı karşıya olup sorunları birbirinden çok farklıdır. Bu farklılık sadece yayılım alanlarının farklılığından kaynaklanmayıp çeşitli özellikler, jeokimya ve toprakların üretkenliği bakımından da olabilmektedir.

Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü Toprak ve Bitki Besleme Yönetim Birimine göre, tuzlu topraklar 831 milyon ha olup dünya arazisinin yaklaşık olarak %6,5'ini oluşturmaktadır. Bu alanın yaklaşık %8,7'si Afrika, %53,4'ü Asya, Pasifik ve Avustralya, %9,6'sı Avrupa, %13,4'ü Güney Amerika, %2,4'ü Kuzey Amerika ve %12,5'i Orta Doğuda yer almaktadır. Bunun yanında 230 milyon ha sulu tarım arazisinin 45 milyon ha'ı (%19,5) ve 1,5 milyar ha kuru tarım alanının 32 milyon ha'ı (%2,1) tuzlanma tehlikesi altındadır (Anonymous, 2000b). 27,7 milyon ha işlenebilir tarım arazisine sahip ülkemizde, kesin rakamlar olmamakla birlikte, mevcut kaynaklar tuzlu toprakların 2-2,5 milyon ha civarında olduğunu belirtmektedir (Munsuz vd., 2001).

Tuzlu-sodik ve sodik toprakların ıslahında temel hedef toprak parçacıklarının değişim yüzeylerinde bulunan Na^+ um uzaklaştırılarak bu yüzeylerin toprak strüktürü açısından daha iyi olan Ca^{+2} gibi katyonlar tarafından doyurulmasını sağlamaktır. Tuzlu-sodik topraklarda üretim yapmayı sınırlandıran başlıca faktörler fiziksel faktörler olmayıp, pH'nın ve elektrolit konsantrasyonunun yüksek oluşudur. Bunun için de özellikle Na^+ ve diğer tuzların topraktan uzaklaştırılması istenir. Sodik topraklarda ise problem hem fiziksel hem de kimyasal olduğundan dolayı bu toprakların ıslahı tuzlu-sodik topraklara nispeten çok daha zordur. Bu topraklardaki düşük infiltrasyon hızı, suyun yıkama amaçlı kullanılmasını sınırlayan en önemli etmendir.

Tuzlu-sodik ve sodik toprakların ıslahı için birçok değişik yaklaşım mevcuttur. Tüm bu yaklaşımlar sodyumum topraktaki değişim komplekslerinden uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Bunlar kısaca fiziksel ıslah (derin sürüm, kumlama, vb.), kimyasal ıslah, bitki ile müdahale, suya dayalı yaklaşımlar ve elektro ıslah olarak sıralanabilir (Qadir *et al.*, 2007). Tüm bu yaklaşımlar içerisinde en fazla kullanılanı kimyasal ıslahdır (Oster *et al.*, 1999). Son yıllarda bitki ile müdahale diğer bir ifade ile "yeşil ıslah" diğer ıslah

yaklaşımlarına oranla daha az maliyetli olduğundan dolayı giderek önem kazanmaktadır (Qadir and Oster, 2002). Bu çalışmanın amacı, tuzlu-sodik ve sodik toprakların ıslahında alternatif olarak kullanılabilir olan yeşil ıslah yönteminin etkinliğini ortaya koymak ve mekanizmasını değerlendirmektir.

1.1. Tarihsel Gelişimi

Yeşil ıslah yönteminin sodik toprakların ıslahında kullanımı ilk olarak 1920-1930 yılları arasında Kelley (1937) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yeşil ıslah yönteminin uygulandığı kumlu tın tekstüre sahip toprağın bazı kimyasal özellikleri şu şekilde sıralanabilir; pH = 9,2-9,7; elektriki iletkenlik ($EC_{(1:5)}$) = 6,1-7,2 dS/m; kation değişim kapasitesi (KDK) = 43-44 mmol_c/kg; değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) = %57-70. Arazi çalışmalarının ilk aşamasında Kelley and Brown (1934), 1920 yılında 22 ton/ha ve 1921 yılında 15 ton/ha jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) olmak üzere toplam 37 ton/ha jips uygulamışlardır. Jips uygulamasının ardından deneme parselleri 3 hafta boyunca kuyu suyu ($EC = 0,3$ dS/m, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) = 0,7) ile göllendirilmiştir. Aynı miktarda su jips uygulamasının yapılmadığı sadece yeşil ıslah yönteminin denendiği parsellere verilmiştir. Yeşil ıslah yönteminin denendiği parsellerde ilk 2 yıl arpa (*Hordeum vulgare* L.), takip eden yıl hint taş yoncası (*Melilotus indicus* L.), bir sonraki yıl ak taş yoncası (*Melilotus albus* Medik.), takip eden 5 yıl boyunca ise yonca (*Medicago sativa* L.) bitkileri yetiştirilmiştir. Yonca hasadından sonra parseller 1 yıl boyunca nadasa bırakılmış takip eden yıl bu parsellerde pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) yetiştirilmiştir. Deneme sonunda jips uygulaması yapılan parsellerden elde edilen pamuk verimi 1,82 ton/ha olurken, yeşil ıslah yönteminin uygulandığı parsellerde bu değer 2,10 ton/ha olarak tespit edilmiştir (Qadir *et al.*, 2007). Deneme sonunda toprak değişebilir sodyum yüzdesinde meydana gelen değişim Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yeşil ıslah ile kimyasal ıslahın toprak değişebilir sodyum yüzdesinde (ESP) meydana getirdiği değişimler (Qadir *et al.*, 2007).

Toprak Derinliği (m)	1920 - 1930				1930 - 1937	
	Jips ^a + Ekim ^b		Yeşil Islah ^b		Yeşil Islah ^c	
	Başlangıç	Son	Başlangıç	Son	Başlangıç	Son
0,0 - 0,3	70	5	65	6	57	1
0,3 - 0,6	67	8	70	21	97	4
0,6 - 0,9	54	9	46	26	90	13
0,9 - 1,2	35	19	28	53	46	4
Ortalama	49	10	52	27	73	6

^a 1920 yılında 22 ton/ha ve 1921 yılında 15 ton/ha jips olmak üzere toplam 37 ton/ha jips uygulaması.

^b 2 yıl arpa, takip eden iki yıl yeşil gübreleme ve 5 yıl yonca yetiştirilmesi.

^c 2 yıl köpek dişi, takip eden yıl arpa, 4 yıl yonca ve 1 yıl yulaf yetiştirilmesi.

Akhter *et al.* (2003), tuzlu-sodik toprakların ıslahında baraj otunun (*Leptochloa fusca* L.) etkisini 5 yıl süreyle incelemişlerdir. Çalışma sonucunda baraj otunun tuzlu-sodik toprakların ıslahında önemli bir etkiye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Baraj otunun tuzlu-sodik toprakların bazı kimyasal özelliklerine olan etkisi (Akhter *et al.*, 2003)

Toprak Derinliği (m)	Yıllar					
	Başlangıç	1	2	3	4	5
	Elektriki İletkenlik (EC) (dS/m)					
0,0 - 0,2	22,0	12,6	7,4	3,2	2,8	2,0
0,4 - 0,6	22,2	14,0	9,7	3,8	3,8	2,1
0,8 - 1,0	12,5	6,3	3,1	2,4	4,8	3,2
	pH					
0,0 - 0,2	10,4	9,3	9,1	9,2	9,1	8,9
0,4 - 0,6	10,5	9,2	9,4	9,5	9,6	8,9
0,8 - 1,0	10,4	9,5	9,3	9,4	9,7	9,0
	SAR					
0,0 - 0,2	185,5	70,6	65,9	32,5	25,8	20,7
0,4 - 0,6	187,2	97,6	91,5	53,0	47,5	41,2
0,8 - 1,0	114,7	78,7	74,1	35,8	25,0	25,4

Ravindran *et al.* (2007), halofit bitkilerin tuzlu toprakların ıslahına olan etkilerini incelemek amacıyla *Suaede maritima* Dum., *Sesuvium portulacastrum* L., *Clerodendron inerme* Gaertn., *Ipomoea pes-caprae* Sweet, *Heliotropium curassavicum* L. ile bir ağaç türü olan *Excoecaria agallocha* L.'yi denemişlerdir. 120 günlük yetiştirme periyodu sonrasında *Suaede maritima* Dum. yetiştirilen alandaki EC'nin 4,9 dS/m'den 1,4 dS/m'ye, SAR'ın 15,61'den 2,79'a; *Sesuvium portulacastrum* L. yetiştirilen alandaki EC'nin 4,9 dS/m'den 2,5 dS/m'ye, SAR'ında 15,74'ten 3,90'a düştüğünü bildirmişlerdir. Çalışma sonucunda *Suaede maritima* Dum. ve *Sesuvium portulacastrum* L. bitkilerinin tuzlu toprakların ıslahında kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Yeşil ıslah yönteminin kireçli tuzlu-sodik toprakların ıslahına olan etkilerini incelemek amacıyla yürütülen bir çalışmada Ahmad *et al.* (2003), sesbania bitkisini incelemişlerdir. Oldukça yüksek kalıcı sodyum karbonat içeriğine (RSC) sahip su (3,1 mmol_c/l) ile sulanan sesbania bitkisinin toprak EC'sini ve SAR'ını özellikle 15-30 cm toprak derinliğinde oldukça düşürdüğünü belirtmişlerdir. Bununla birlikte toprak pH'sının arttığını saptamışlardır. Toprak pH'sında saptanan artışın Ca²⁺um yüksek RSC'ye sahip sudan ötürü ayrılmayıp birikmesinden kaynakladığını ifade etmişlerdir.

Kimyasal ve yeşil ıslah yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada Qadir *et al.* (2002), baraj otu (*Leptochloa fusca* L.), sesbania (*Sesbania bispinosa*) ve jips uygulamalarının tuzlu-sodik toprakların ıslahına olan etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar 5-6 aylık çalışma sonucunda, kimyasal ıslah ile yeşil ıslah yönteminin toprak tuzluluğunda ve sodyumluluğunda aynı sonuçları ortaya koyduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte sesbania bitkisinden elde edilen verimin (34 t/ha) baraj otundan daha fazla (23 t/ha) olduğu saptanmıştır. Elde edilen sonuçlar hem tuzlu-sodik toprakların ıslahı hem de ıslah süresince verim elde edilmesi açısından oldukça önemlidir. Nadler *et al.* (1996), CO₂ ile zenginleştirilmiş sulama sularının kullanımının yeşil ıslah yöntemini daha etkili kıldığını bildirmişlerdir.

Qadir *et al.* (1996), yeşil ıslah yönteminin tuzlu-sodik toprakların ıslahına olan etkilerini incelemek amacıyla sesbania (*Sesbania aculeata*), baraj otu (*Leptochloa fusca*), benekli darıcan

(*Echinochloa colona*) ve rahi darısı (*Eleusine coracana*) bitkilerini jips ile karşılaştırmışlardır. 5 aylık çalışma sonucunda toprak kimyasal özelliklerinde iyileşmeler olduğunu, bunun ise *Sesbania aculeata*~jips>*Leptochloa fusca*>*Echinochloa colona*>*Eleusine coracana* sırasında gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) bitkisinin tuzlu-sodik toprakların ıslahı üzerine etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada Qadir *et al.* (2003), yeşil ıslah yöntemi ile topraktan alınan çözünmüş tuz ve sodyum miktarının jips uygulaması ile aynı düzeyde olduğunu belirtmişlerdir.

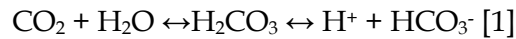
Yapılan 17 çalışmanın sonuçlarına göre kimyasal işlemler (jips kullanımı) toprak sodikliğini (ESP veya SAR) %60 oranında azaltırken, bu oran yeşil ıslah yönteminde %48 düzeyinde gerçekleşmiştir (Qadir *et al.*, 2007).

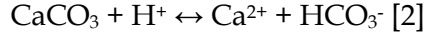
1.2. Yeşil Islahın Mekanizması

Yeşil ıslahın mekanizması üç kısım altında incelenebilir. Bunlar; (1) Bitki kök bölgesinde CO₂'in kısmi basıncının (P_{CO_2}) artışı ile kalsitin çözünürlüğünün artması (2) bitki köklerinden proton salınımı ve (3) bitki köklerinin toprak strüktürünü iyileştirmesi olarak sıralanabilir (Qadir and Oster, 2002; Qadir *et al.*, 2007). Tüm bu etkiler drenaj koşullarının yeterli olması durumunda gerçekleşmektedir. Yeşil ıslahın mekanizmasının işleyişi Şekil 1'de görülmektedir.

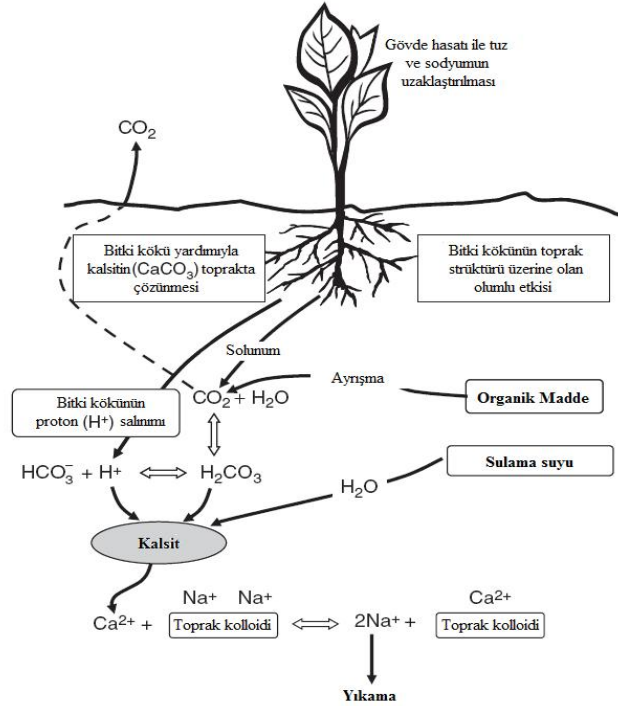
1.2.1. CO₂'in Kısmi Basıncı (P_{CO_2})

Yetiştirme periyodu içerisinde bitki kök bölgesinde CO₂'in kısmi basıncında (P_{CO_2}) meydana gelen artış yeşil ıslahın temelini oluşturmaktadır. Bitki yetiştirme periyodu içerisinde ve anaerobik koşullar altında topraktaki P_{CO_2} 1 kPa'ın üzerinde olabilmektedir (Qadir and Oster, 2002). Oldukça az kireç içeriğine sahip topraklarda CO₂ miktarının artması H⁺ artışına ve pH'nın düşüşüne neden olmaktadır. Kireç içeriği oldukça fazla olan topraklarda pH düşüşü olmakla birlikte, pH genellikle 8,2'nin altına düşmemektedir (Nelson and Oades, 1998), bu durum kalsitin tamponlama etkisinden kaynaklanmaktadır (Van der Berg and Loch, 2000).



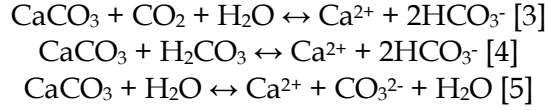


CO_2 'in kısmi basıncında meydana gelen artış 1. eşitlikte gösterilen reaksiyona girer, böylece 2. eşitlikte gösterildiği gibi toprak Ca^{2+} ve HCO_3^- konsantrasyonlarında artış gözlenir. Ca^{2+} ve HCO_3^- konsantrasyonlarında meydana gelen artış aynı zamanda toplam çözünmüş iyon konsantrasyonuna da bağlıdır. Tüm bu etkiler CaCO_3 'ün çözünürlüğünü artırarak iyonik gücün (tuzluluğun) ve P_{CO_2} 'nin artmasına neden olurlar. Böylece yeşil ıslah gerçekleşmiş olur. Organik madde ayrışması da toprak P_{CO_2} 'nin artışına katkıda bulunmaktadır (Qadir *et al.*, 2005).



Şekil 1. Tuzlu-sodik ve sodik toprakların ıslahında kullanılan yeşil ıslah yönteminin işleyişi (Qadir and Oster, 2002; Qadir *et al.*, 2007).

Aşağıda verilen eşitlikler sırasıyla; kalsitin bitki kök bölgesindeki CO_2 'in bir fonksiyonu olarak çözünmesini [3], CO_2 'in H_2CO_3 'e dönüşerek CaCO_3 ile tepkimeye girmesini [4] ve CaCO_3 'ün çözünerek Ca^{2+} ve CO_3^{2-} dönüşmesini [5] göstermektedir.



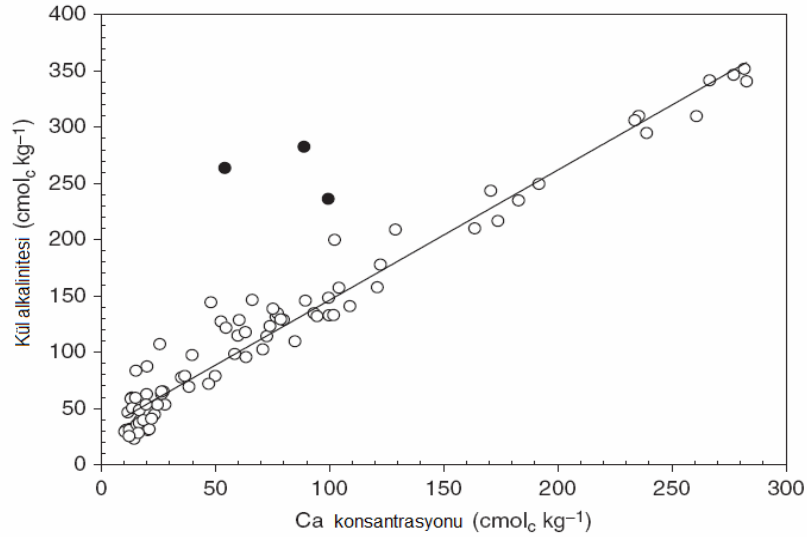
Robbins (1986), oldukça yüksek kireç içeriğine sahip bir sodik toprağın yeşil ıslahı süresince arpa, alfalfa, pamuk, yüksek otlak ayrığı ve sordan (sorgum x sudan otu) bitkilerinin kök bölgesine saldıği P_{CO_2} 'ni ölçmüştür. En yüksek P_{CO_2} değeri sordan bitkisinden 14 kPa olarak elde edilmiştir. Çalışma sonucunda yıkama sularında elde edilen sodyum miktarının P_{CO_2} ile yakından ilişkili olduğu saptanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. P_{CO_2} 'na bağlı olarak elde edilen Na yıkamaları (Robbins, 1986)

Uygulama	P_{CO_2} (kPa)	Uzaklaştırılan Na ⁺ miktarı (mol)
Kontrol	0,9 - 4,3	1,0
Jips (5 kg/m ²)	0,9 - 2,4	3,3
Ahır Gübresi (5 kg/m ²)	3,1 - 6,0	1,6
Pamuk	3,0 - 3,6	1,4
Alfalfa	4,8 - 7,2	2,6
Sordan (sorgum x sudan otu)	5,8 - 14,1	4,0

1.2.2. Bitki Kökleri Yardımıyla Proton Salınımı

Bitki kökleri yardımıyla proton salınımı rizosfer bölgesindeki pH'nın düşüşünü sağlayan bir işlemdir. Azot fiksasyonu yapan bitkiler vasıtasıyla proton salınımı gerçekleşir, bu sayede bitki kök bölgesindeki kalsitin çözünümü sağlanabilir (Eşitlik 2) (Qadir *et al.*, 2007). Bitki tarafından gerçekleştirilen H⁺ salınımı elektrokimyasal bir düşüm ile sonuçlanır. Katyon alınımı membran potansiyelindeki kısmi depolarizasyondan dolayı H⁺ salınımını artırır, bu sayede aktif H⁺ pompalanması artar. H⁺ salınımından dolayı hücre stoplazmasındaki pH artar ve organik anyon sentezi başlar. Bu ise bitki-kök bölgesindeki net H⁺ salınımının ölçümüne yarar ve kül alkalinitesi olarak tanımlanır (Qadir *et al.*, 2007). Bitki Ca²⁺ içeriği ile kül alkalinitesi arasındaki ilişki Noble and Nelson (2000) tarafından ortaya konulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. Bitki Ca^{2+} içeriği ile kül alkalinitesi arasındaki ilişki (Noble and Nelson, 2000).

1.2.3. Bitki Köklerinin Etkisi

Bitki kökleri toprak strüktürünün iyileştirilmesi bakımından oldukça önemlidir. Bitki kökleri bioporlar veya strüktürel çatlaklar meydana getirerek toprağın porozitesini, hidrolik iletkenliğini ve strüktürel stabilitesini olumlu yönde etkilerler (Oades, 1993; Rasse *et al.*, 2000, Akhter *et al.*, 2004; Whalley *et al.*, 2005). Aynı zamanda ıslanma ve kuruma döngülerini sağlama açısından da oldukça önemlidirler. Bazı bitkilerin kökleri derinlere kadar uzanarak doğal sürümü gerçekleştirirler, böylece sıkışmış toprak katmanı aşılabilir ve doğal drenaj sağlanmış olur. Bitki kökleri aynı zamanda toprak mikroorganizmalarının aktivitelerini artırarak toprak fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesini sağlarlar. Tüm bu sebeplerden ötürü bitki kökleri yeşil ıslah bakımından oldukça önemlidir.

Yeşil ıslah yönteminin tuzlu-sodik toprakların bazı fiziksel özellikleri üzerine olan etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada Akhter *et al.* (2004), baraj otu (*Leptochloa fusca* L.) bitkisini 5 yıl süre ile incelemiştir. Çalışma sonucunda toprak yarayırlı su miktarında, hidrolik iletkenliğinde ve strüktürel stabilite indeksinde önemli artışlar saptanmıştır.

1.3. Kullanılabilecek Bitkiler

Yeşil ıslah işlemi sırasında kullanılacak olan bitkilerin yetiştirme periyodu içerisinde yeterli biyomasa sağlamaları istenmektedir. Söz konusu seçim bitkinin tuzluluğa ve sodikliğe olan dayanımı ile belirlenir. Yeşil ıslah yönteminde kullanılabilecek bitkiler aşağıda verilmiştir (Tablo 4).

Tablo 4. Yeşil ıslah yönteminde kullanılabilecek bitkiler

Genel ismi	Botanik ismi
Tritikale (Buğday x Çavdar)	x <i>Triticosecale</i>
Baraj otu	<i>Leptochloa fusca</i> L.
Sesbania	<i>Sesbania bispinosa</i> , <i>Sesbania aculeata</i>
Durum buğdayı	<i>Triticum durum</i>
Benekli darıcan	<i>Echinochloa colona</i>
Ragi darısı	<i>Eleusine coracana</i>
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i> L.
	<i>Suaeda maritima</i> Dum.
	<i>Sesuvium portulacastrum</i> L.
	<i>Clerodendron inerme</i> Gaertn.
	<i>Ipomoea pes-caprae</i> Sweet
Halofit bitkiler	<i>Heliotropium curassavicum</i> L.
	<i>Suaeda altissima</i> (L.) Pall.
	<i>Atriplex patula</i>
	<i>Puccinella nuttaliana</i>
	<i>Agropyron trachycaulum</i>
Sordan (Sorgum x Sudan otu)	<i>Sorghum x drummondii</i>
Arpa	<i>Hordeum vulgare</i> L.
Hint taş yoncası	<i>Melilotus indicus</i> L.
Ak taş yoncası	<i>Melilotus albus</i> Medik.
Sudan otu	<i>Sorghum sudanese</i>
Pamuk	<i>Gossypium hirsutum</i> L.
Şeker pancarı	<i>Beta vulgaris</i> L.
Buğday	<i>Triticum aestivum</i> L.
Uganda çimi	<i>Cynodon dactylon</i>
Rodos otu	<i>Chloris gayana</i> Kunth
Yüksek otlak ayrığı	<i>Agropyron elongatum</i>
Çevgen	<i>Gypsophila oblanceolata</i>
Hasırotugiller	<i>Juncaceae</i>
Yavşan	<i>Artemisia santonicum</i>
Ezgen	<i>Camphorosma monspelicum</i>
Demetsi görünüşlü buğdaygil bitkisi	<i>Puccinellia koeieana</i> subsp. <i>Anatolica</i>
	<i>Terminalia arjuna</i>
Ağaçlar	<i>Prosopis juliflora</i>
	<i>Dalbergia sissoo</i>
	<i>Parkinsonia aculeata</i>

2. SONUÇ

Tuzlu-sodik ve sodik toprakların ıslahında kullanılacak olan yeşil ıslah yöntemi hem kimyasal ıslah yöntemlerine göre daha az maliyetli hem de ıslah süresince tarım yapılabilmesi dolayısıyla oldukça önemlidir. Sistemin başarısı daha çok bitki kök bölgesindeki CO₂ miktarının kısmi basıncının artırılması ile birlikte seçilecek bitki türüne bağlıdır. Bu sayede bitki kök bölgesinden tuz ve sodyum daha fazla uzaklaştırılabilecektir. Bununla birlikte, tamponlama kapasitesinden ötürü ıslah sonrasında toprak yüzeyinden toprak çözeltilisine Na⁺ geçebilir, bu ise toprak pH'sı tekrar yükselebilir. Söz konusu etkiden dolayı bu toprakların ıslah sonrasında da takip edilmesi oldukça önemlidir. Yeşil ıslah yönteminin mekanizmasının ve burada kullanılacak olan bitkilerin bilinmesi bu yöntemin uygulanmasına yönelik çalışmaların daha sağlıklı bir şekilde planlanıp yürütülmesine katkıda bulunacaktır. Dolayısıyla kimyasal ıslah yöntemlerine alternatif olabilecek bu yöntemin değerlendirilmesi hem milli ekonomi hem de çiftçi açısından büyük yararlar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abrol, I.P., Yadav, J.S.P., Massoud, F.I. (1988). *Salt-Affected Soils and Their Management*. Rome: FAO Soils Bulletin No: 39.
- Ahmad, S., Ghafoor, A., Qadir, M., Khan, M.Z. (2003). Effect of phytoremediation on chemical characteristics of a calcareous saline-sodic soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 6(13), 1159-1162.
- Akhter, J., Mahmood, K., Malik, K.A., Ahmed, S., Murray, R. (2003). Amelioration of a saline sodic soil through cultivation of a salt-tolerant grass *Leptochloa fusca*. *Environmental Conservation*. 30(2), 168-174.
- Akhter, J., Murray, R., Mahmood, K., Malik, K.A., Ahmed, S. (2004). Improvement of degraded physical properties of a saline-sodic soil by reclamation with kallar grass (*Leptochloa fusca*). *Plant and Soil*. 258, 207-216.
- Anonymous. (2000a). *Food Production and Security*. 15.06.2006 tarihinde <http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/topic1.htm> adresinden alınmıştır.
- Anonymous. (2000b). *Extent and Causes of Salt-affected Soils in Participating Countries*. 15.06.2006 tarihinde <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/topic2.htm#top> adresinden alınmıştır.

- Munsuz, N., Çaycı, G., Sözüdoğru Ok, S. (2001). *Toprak Islahı ve Düzenleyiciler (Tuzlu ve Alkali Toprakların Islahı)*. Ankara: Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayın No: 1518, Yardımcı Ders Kitabı No: 471.
- Nadler, A., Levy, G.J., Keren, R., Eisenberg, H. (1996). Sodic calcareous soil reclamation as affected by water chemical composition and flow rate. *Soil Science Society of American Journal*. 60, 252-257.
- Nelson, P.N., Oades, J.M. (1998). Organic matter, sodicity, and soil structure. (S. 76-91), (Editörler: M.E. Sumner, R. Naidu) *Sodic Soils*. New York: Oxford University Press.
- Noble, A.D., Nelson, P. (2000). *Sustainability of stylosanthes based pasture systems in Northern Australia: Managing soil acidity*. Australia: Final Report on Project NAP 3.218. Meat and Livestock.
- Oades, J.M. (1993). The role of biology in the formation, stabilisation and degradation of soil structure. *Geoderma*. 56, 377-400.
- Oster, J.D., Shainberg, I., Abrol, I.P. (1999). Reclamation of salt affected soils. (S. 659-691), (Editörler: R.W. Skaggs, J. van Schifgaarde) *Agricultural Drainage*. Madison, WI: Agronomy Monograph No 38. ASA-CSSA and SASA.
- Qadir, M., Qureshi, R.H., Ahmad, N., Ilyas, M. (1996). Salt-tolerant forage cultivation on a saline-sodic field for biomass production and soil reclamation. *Land Degradation & Development*. 7, 11-18.
- Qadir, M., Qureshi, R.H., Ahmad, N. (2002). Amelioration of calcareous saline sodic soils through phytoremediation and chemical strategies. *Soil Use and Management*. 18, 381-385.
- Qadir, M., Oster, J.D. (2002). Vegetative bioremediation of calcareous sodic soils: History, mechanisms, and evaluation. *Irrigation Science*. 21, 91-101.
- Qadir, M., Steffens, D., Yan, F., Schubert, S. (2003). Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degradation & Development*. 14, 301-307.
- Qadir, M., Noble, A.D., Oster, J.D., Schubert, S., Ghafoor, A. (2005). Driving forces for sodium removal during phytoremediation of calcareous sodic and saline-sodic soils: a review. *Soil Use and Management*. 21, 173-180.
- Qadir, M., Noble, A.D., Schubert, S., Thomas, R.J., Arslan, A. (2006). Sodicity-induced land degradation and its sustainable management: Problems and prospects. *Land Degradation & Development*. 17, 661-676.
- Qadir, M., Oster, J.D., Schubert, S., Noble, A.D., Sahrawat, K.L. (2007). Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils. *Advances in*

Agronomy. 96, 197-247.

- Rasse, D.P., Smucker, A.J.M., Santos, D. (2000). Alfalfa root and shoot mulching effects on soil hydraulic properties and aggregation. *Soil Science Society of American Journal*. 64, 725-731.
- Ravindran, K.C., Venkatesan, K., Balakrishnan, V., Chellappan, K.P., Balasubramanian, T. (2007). Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology & Biochemistry*. 39, 2661-2664.
- Robbins, C.W. (1986). Sodic calcareous soil reclamation as affected by different amendments and crops. *Agronomy Journal*. 78, 916-920.
- Suarez, D.L. (2001). Sodic soil reclamation: Modelling and field study. *Australian Journal of Soil Research*. 39, 1225-1246.
- Tanji, K.K. (1996). Nature and Extent of Agricultural Salinity. (S. 1-17), (Editör: K.K. Tanji) *Agricultural Salinity Assessment and Management*. New York: American Society of Civil Engineers.
- Van der Berg, G.A., Loch, J.P.G. (2000). Decalcification of soils subject to periodic waterlogging. *European Journal of Soil Science*. 51, 27-33.
- Whalley, W.R., Bird, N.R.A., Leeds-Harrison, P.B. (2005). Effect of root activity on soil hydraulic properties. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 7: 02409.
