

TUZLU TOPRAKLARIN HALOFİT BİTKİLER KULLANARAK FİTOREMEDİASYON YÖNTEMİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ OLANAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ




Hasan Er^{1,a*}, Ramazan Meral^{1,b,} Yasemin Kuşlu^{2,c}

¹Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye
² Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Corresponding Author:

E-mail: hasaner@bingol.edu.tr

(Received 21st March 2021; accepted 14th August 2021)

a:  ORCID 0000-0002-7880-8697 b:  ORCID 0000-0001-5763-5638, c:  ORCID 0000-0003-4008-1004

ÖZET

Toprak tuzluluğu tarımsal üretimi olumsuz etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Tuzlu toprakların ıslah çalışmalarında temel prensip fazla tuzun bitki kök bölgesinden uzaklaştırılması ve tekrar tuz birikimine engel olacak ideal toprak koşullarının sağlanmasıdır. Tuzlu toprakların ıslahında kullanılacak başlıca yöntemler; derin sürüm, kumlama, yıkama, kimyasal ıslah malzemeleri kullanımı olarak sıralanabilir. Bu yöntemlerin çoğunluğu yüksek işgücü ve maliyet gerektirdiğinden tuzlu toprakların ıslahında alternatif olarak fitoremediasyon yöntemi giderek önem kazanmıştır. Fitoremediasyon genel olarak tuza dayanımı yüksek ve dokularında tuz biriktiren halofit bitki yetiştiriciliği yoluyla yapılan bir ıslah yöntemidir. Bu çalışmanın amacı, ekonomik olarak değerlendirilemeyen tarım dışı kalmış tuzlu toprakların tekrar verimli hale getirmek için fitoremediasyon yönteminin kullanılabilirliğini ortaya koymaktır. Ayrıca toprak tuzluluğunun bir sonucu olarak yeterli bitki örtüsü bulunmayan arazilerde, vejetasyon sürecinin başlatılması ve dolayısıyla söz konusu alanlarda toprak erozyonu ve çölleşmeyi azaltmak amacıyla halofit bitki yetiştiriciliğinin ön plana çıkarılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Fitoremediasyon, Halofit bitkiler, Tuzlu topraklar*

EVALUATION OF POSSIBILITIES FOR IMPROVEMENT OF SALINE SOILS BY PHYTOREMEDIATION METHOD USING HALOPHYTE PLANTS

ABSTRACT

Soil salinity is one of the most significant factors that negatively affect agricultural production. The basic principle in the improvement works, which is a permanent solution to salinity, is to remove excess salt from the plant root zone and to provide ideal soil conditions that will prevent salt accumulation again. The main methods that can be used in the improvement of salty soils; deep release, sandblasting, washing, use of chemical treatment materials. As most of these methods require high labor and cost, the phytoremediation method has become increasingly important as an alternative in the rehabilitation of salty soils. Phytoremediation is a breeding method that is generally carried out through halophyte cultivation, which is highly resistant to salt and accumulates salt in its tissues. The aim of this study is to reveal the usability of phytoremediation method to make saline soils out of agriculture, which cannot be economically evaluated, fertile again. In addition, as a result of soil salinity, it is aimed to initiate the vegetation process in lands where there is not enough vegetation and therefore to bring halophyte plant cultivation to the fore in order to reduce soil erosion and desertification in these areas.

Keywords: *Phytoremediation, Halophyte plants, Salty soils*

GİRİŞ

Özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda görülen tuzlu topraklar tarımsal üretimi olumsuz yönde etkilemektedir. Tuzlulaşma toprakların yıkanmasının yetersiz olduğu durumlarda çözünabilir tuzların yıkanamayıp, kapillarite ve taban suyunun yükselmesi ile birlikte toprak yüzeyine doğru hareketi ve suyun buharlaşması sonucunda tuzların birikmesi olayı olarak tanımlanmaktadır [1, 2]. Tuzlu topraklar elektiriksel iletkenlik değeri 4 dS/m'den büyük, değişebilir sodyum yüzdesi değeri ise 15'den küçük, alkali topraklar ise elektiriksel iletkenlik değeri 4 dS/m'den küçük, değişebilir sodyum yüzdesi değeri ise 15'den büyük değerler olarak ifade edilmektedir [3]. Toprak yüzeyinde görülen beyaz tuz kabukları tuzlu toprakların en belirgin özelliğidir. Tuzluluğun başlıca nedenleri; ana materyal, iklimsel etmenler, aşırı gübreleme, taban suyunun yükselmesi, sulama suyu kalitesi ve yetersiz drenaj gibi faktörlerdir [4].

Topraklarda tuzluluk sorunlarının artması ile birlikte; toprak su tutma kapasitesi, su hareketi, toprak stabilitesi, toprak işleme, çimlenme ve kök gelişimi gibi birçok tarımsal süreç olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca toprak içerisinde tuz iyonlarındaki artış, bitkide osmotik basınç ve iyon toksisitesi etkilerine yol açabilmektedir [5]. Toprakta çözünmüş tuzların miktarına bağlı olarak osmotik basıncın artması sonucu bitkiler, toprakta yeterli miktarda su bulunması durumunda da suyu almakta güçlük çekmektedir [6]. Bu durum “fizyolojik kuraklık” olarak da ifade edilmektedir. Sonuç olarak tuzluluk bitki verim ve kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir [7].

Dünya genelinde 932.2 milyon ha alan tuzluluktan etkilendiği ve verimliliğinin kısıtlandığı bilinmektedir. Kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde sulanan arazilerin yaklaşık %50'sinde tuzluluk sorunları görülmektedir [8]. (Çizelge 1).

Çizelge 1. Dünyada tuzdan etkilenen alanların dağılımı (Milyon ha)[8].

Alan	Tuzlu Topraklar	Sodik Topraklar	Toplam	Yüzde (%)
Avusturalya	17.6	340	357.6	38.4
Asya	194.7	121.9	316.5	33.9
Amerika	77.6	69.3	146.9	15.8
Afrika	53.5	26.9	80.4	8.6
Avrupa	7.8	22.9	30.8	3.30
Dünya	351.2	581	932.2	100

Türkiye toprakları incelendiğinde yaklaşık 1.5 milyon ha alanda tuzluluk sorunu yaşandığı görülmektedir. Ülkemizdeki toprakların %1.7'sinde, tarım yapılan arazilerin %3.8'inde, sulanan arazilerin ise %24.5'inde tuzluluk problemlerine rastlanmaktadır [9, 10](Çizelge 2). Dünya nüfusunun hızla artışı ve küresel iklim değişikliğinin sonuçları göz önüne alındığında, tuzluluk sorunu yaşayan toprakların ıslah edilerek tekrar tarımsal üretime kazandırılması daha da önem kazanmaktadır [11].

Çizelge 2. Türkiye’de tuzdan etkilenen alanların dağılımı (Bin ha)[9].

Toprak Özellikleri	Tuzdan	
	Etkilenmiş Topraklar	Sorunlu Alanlara göre (%)
Hafif Tuzlu	640	41
Tuzlu	500	33
Alkali	8.4	0.5
Hafif Tuzlu Alkali	125	8
Tuzlu Alkali	264	17.5
Toplam	1537	100

Bu amaçla alınacak önlem ve yapılacak ıslah çalışmaları; derin sürüm, kumlama, toprak işleme, yıkama, kimyasal ıslah malzemeleri kullanımı gibi uygulamalardan oluşmaktadır [12]. Bu yöntemlerin çoğunun yüksek maliyetli olması, uzun zaman alması ve kimyasal ıslah işlemlerinde uygulanacak yıkama suyu ihtiyacının karşılanması gibi zorluklar mevcuttur. Sonuç olarak sürdürülebilir toprak ve su kaynaklarının kullanımını daha etkin şekilde sağlamak amacıyla, mevcut yöntemlere ek olarak yeni ıslah yöntemleri arayışına gidilmesi gerekmektedir [13].

Fitoremediasyon Yöntemi

Fitoremediasyon, tuzlu toprakların ıslahı için son zamanlarda araştırması yapılan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bitki ile ıslah olarak da adlandırılan fitoremediasyon toprakta çevresel risk oluşturabilecek tuz konsantrasyonunun bitkiler tarafından kök, gövde veya yaprakları vasıtasıyla depolanıp uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır [14, 15].

Fitoremediasyon yöntemi ile tuzlu toprakların iyileştirilmesinde halofit bitkilerin kullanılmasının olumlu yönde etki yaptığı belirtilmektedir [16]. Halofit bitkiler tuza dayanımı yüksek bitkiler olup tuzlu koşullarda yetiştirilebilir ve tuzları dokularında biriktirerek fitoremediasyon uygulamalarında kullanılmaktadırlar [17]. Son zamanlarda, özellikle gelişmekte olan ülkelerde fitoremediasyon için halofit bitki kullanımına olan ilgi artmaktadır [18]. Halofitler tüm bitki türlerinin yaklaşık % 2'sini oluşturur ve yüksek tuzlu ortamlarda iyi gelişme kabiliyetine sahiptir [19]. Tuzlu topraklarda halofit bitkiler farklı direnç mekanizmaları sayesinde tuz stresinin olumsuz etkisi ile mücadele edebilmektedirler. Yöresel olarak yetişen halofit bitkilerin tuz stresine karşı duyarlılığı farklılık göstermekte olup üzerlerinde ayrı ayrı çalışma ihtiyacı bulunmaktadır [20].

Fitoremediasyon yönteminin maliyetinin düşük olması, iyileştirmede kullanılan bitkilerden ekonomik olarak faydalanmanın yanı sıra; su tutma kapasitesi, gözenekliliği, geçirgenliği ve infiltrasyon gibi toprak özelliklerine olumlu katkılar sağlaması ve toprak mineral maddelerinin yararı açısından yararları bulunmaktadır [21, 22]. Sonuç olarak tuzlu toprakların iyileştirilmesinde halofit bitkilerin kullanımıyla topraklarda kullanılabilirlik ve verimliliğin artırılacağı görülmektedir [23].

Fitoremediasyon yöntemi fitoekstraksiyon, fitostabilizasyon, fitodegradasyon, fitovolatilizasyon, rizofiltrasyon ve rizodegradasyon mekanizmaları olarak sınıflandırılmaktadır [24]. Fitoekstraksiyon; toprak bünyesinde bulunan inorganik veya organik kirleticilerin, bitki kökleri ile alınıp üst kısımlara taşınması [25], fitostabilizasyon; toprak bünyesinde bulunan ağır metal veya fazla tuz konsantrasyonu

maddelerini stabilize ederek, tekrar geri kazanımlarında bitkilerin kullanılması [26], fitodegradasyon; organik kirleticileri parçalamak için bitkilerin kullanılması [27], fitovolatilizasyon; toprak içerisinde bulunan kirletici maddelerin bitki kökleri tarafından alınıp, uçucu forma dönüştürüldükten sonra terleme yoluyla atmosfere verilmesi [28], rizofiltrasyon; toprakta kirletici olarak belirlenen maddelerin bitki kökleri vasıtasıyla absorbe edilip depolanması [29], rizodegradasyon; bitkilerin mikrobiyal aktivite ile birlikte çalışarak toprağın kirleticilerinden arındırılması olarak ifade edilmektedirler [30].

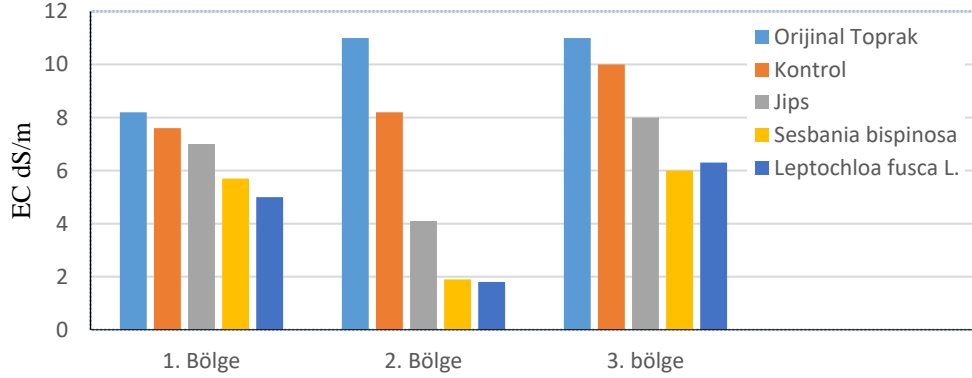
Tuzlu-sodik toprakların ıslahında fitoremediasyon yöntemi ilk olarak Kelley (1937) tarafından uygulandığı bilinmektedir. Çalışmada toprakların ıslahı için jips ve yeşil ıslah bitkisi uygulaması yapılmıştır [31]. Akhter ve ark., (2003) tuzlu-sodik toprakların ıslahında baraj otu (*Leptochloafusca* L.) bitkisini kullanmıştır. Araştırma 5 yıl boyunca gözlemlenmiş ve araştırma sonucu olarak baraj otunun tuzlu sodik toprakların elektiriksel iletkenlik (EC) ve sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değerleri üzerine olumlu bir etki yaptığı belirtilmiştir. Söz konusu çalışmada gözlemlenen EC ve SAR değerlerinin yıllara göre değişimi Çizelge 3’de verilmiştir [32]. Ayrıca Akhter ve ark., (2004) fitoremediasyon üzerine yaptığı çalışmasında tuzlu-sodik topraklarda baraj otu (*Leptochloafusca* L.) bitkisini yetiştirmişlerdir. Çalışma sonucunda toprakların kullanılabilir su tutma kapasitesi, hidrolik iletkenliği ve toprağın strüktürel dayanımı üzerine olumlu sonuçlar belirlemişlerdir [33].

Çizelge 3. Fitoremediasyon yönteminin toprağın EC ve SAR değerleri üzerine olan etkisi [33].

Büyüme Yılı	Toprak Derinliği		
	D ₁ (0-20) cm	D ₂ (40-60) cm	D ₃ (80-100) cm
Elektiriksel İletkenlik (EC) dS/m			
Başlangıç	22	22.2	12.5
1	12.6	14	6.3
2	7.4	9.7	3.1
3	3.2	3.8	2.4
4	2.8	3.8	4.8
5	2	2.1	3.2
Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)			
Başlangıç	185.5	187.2	114.7
1	70.6	97.6	78.7
2	65.9	91.5	74.1
3	32.5	53	35.8
4	25.8	47.5	25
5	20.7	41.2	25.4

Tuzlu toprakların ıslahında kimyasal işlemler ve fitoremediasyon yönteminin karşılaştırıldığı diğer bir çalışmada sesbania (*Sesbaniabispinosa*), baraj otu (*Leptochloafusca* L.) ve kimyasal işlem için ise jips malzemeleri üç farklı bölgede uygulanmıştır. Çalışma sonucunda araştırmacılar, tuzlu toprakların ıslahında fitoremediasyon ile kimyasal ıslah yöntemleri sonuçlarının benzerlik gösterdiği kanısına varmışlardır [34]. Söz konusu araştırma sonuçları Şekil 1’de verilmiştir. Qadir ve ark., (2003) yaptığı benzer bir çalışmada Alfalfa (*Medicagosativa* L.) bitkisi uygulayarak tuzlu toprakların ıslahında kimyasal işlemler ve fitoremediasyon yöntemi karşılaştırılmıştır.

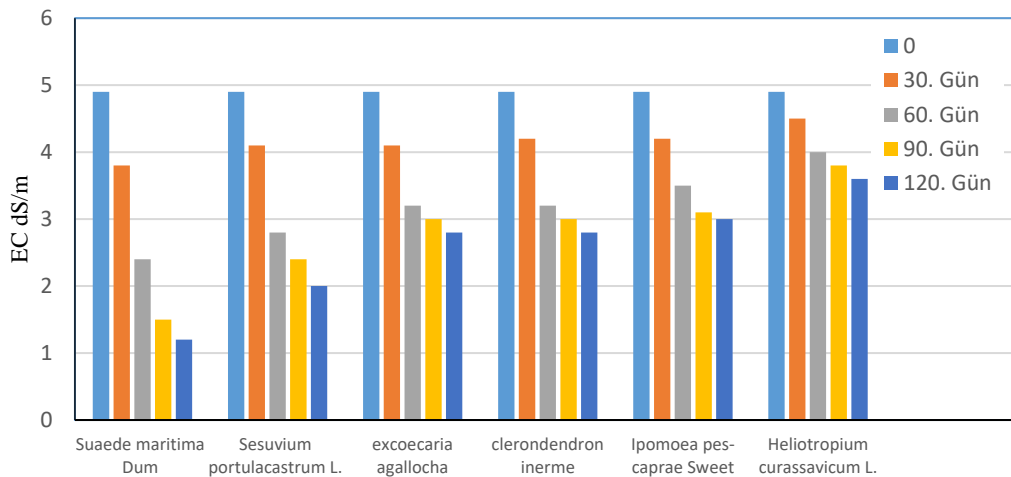
Çalışma sonucunda her iki yönteminde ıslah için aynı seviyede etkiler ortaya koyduğu belirlenmiştir [35].



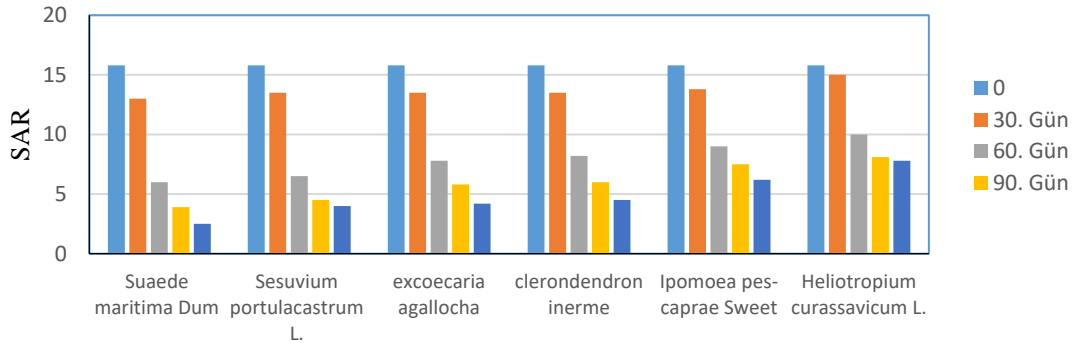
Şekil 1. 0-0.15 m derinliğinde Topraklarda EC değerlerinin değişimleri [34].

Tuzlu toprakların ıslahı amacıyla Ahmad ve ark., (2003) tarafından yapılan çalışmada, yüksek Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC) içeriğine sahip sulama suyu ile büyütülen sesbania bitkisinin, toprak EC ve SAR değerlerini 15-30 cm toprak derinliği için önemli derecede düşürdüğü belirlenmiştir [36].

Ravindran ve ark., (2007), fitoremediasyon yöntemi üzerine yaptığı araştırmada Clerodendron inermis Gaertn., *Sesuvium portulacastrum* L., *Heliotropium curassavicum* L., *Suaedemaritima* Dum., *Ipomoea pes-caprae* Sweet., halofit bitkileri 0, 30, 60, 90 ve 120 gün boyunca yetiştirilmiş ve uygulama periyodu boyunca toprağın elektriklisel iletkenlik (EC) ve sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değerleri saptanmıştır. Elde edilen EC ve SAR değerleri sırasıyla Şekil 2 ve 3’de gösterilmiştir. Çalışma topraklarının bitki uygulamasından sonra EC ve SAR değerleri incelendiğinde *Suaedemaritima* Dum. ve *Sesuvium portulacastrum* L. bitkilerinin ıslah potansiyeline sahip oldukları anlaşılmaktadır [37].



Şekil 2. Fitoremediasyon yöntemi uygulanan topraklarda EC değerlerinin değişimleri [37].



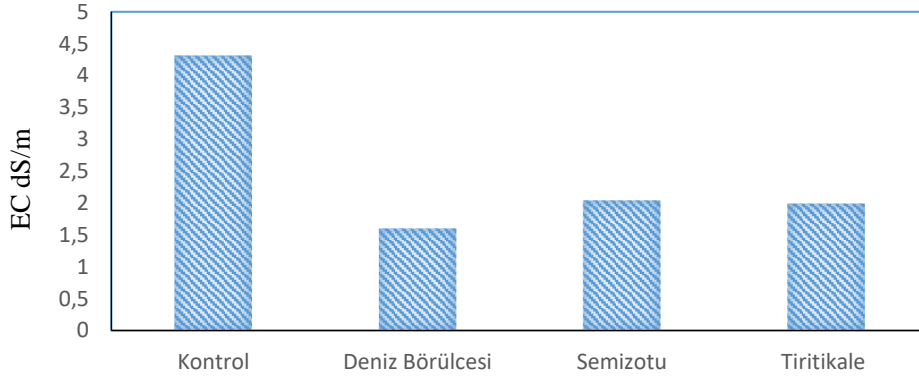
Şekil 3. Fitoremediasyon yöntemi uygulanan topraklarda SAR değerlerinin değişimleri [37].

Rabhi ve ark. (2008), tarafından çok yıllık halofit bitkilerin tuzlu toprakların iyileştirilmesi üzerine yürütülen çalışmada; *Arthrocnemumindicum*, *Suaedafruticosa* Forsk., ve *Sesuvium portulacastrum* olmak üzere üç farklı bitki kullanılmıştır. Yüz yetmiş gün süren çalışma sonunda toprak EC değerlerinde başlangıca oranla %57-70 düzeyinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Bitkiler arasında *Arthrocnemumindicum* bitkisinin toprağın elektriksel iletkenlik değerini en çok azaltan bitki olarak belirlenmiştir [38].

Akıl (2008), Harran ovası toprakları kullanılarak sera koşullarında yürüttüğü çalışmada halofit ve glikofit özellikli olan *Atriplex canescens*, *Festuca arundunacea* ve *Lotus corniculatus* bitkilerini tuzluluk ıslahı amacıyla iki farklı toprakta yetiştirmişlerdir. Çalışma sonucunda toprakların elektriksel iletkenlik (EC) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri üzerine en fazla iyileştirmeyi *Atriplexcanescens* bitkisinin sağladığı, *Festucaarundunacea* ve *Lotus corniculatus* bitkilerinde yine önemli düzeyde etkili olduğu belirtilmiştir (Çizelge 5). Harran ovasının tuzlu topraklarında yapılan diğer bir çalışmada ise Elçi (2019), halofit düzeyde olan deniz börülcesi, semizotu ve tritikale bitkisi kullanmıştır. Çalışma sonucunda araştırma topraklarının EC ve ESP değerlerinde önemli derecede azalmalar olduğu belirlenmiştir [39, 40] (Şekil 4).

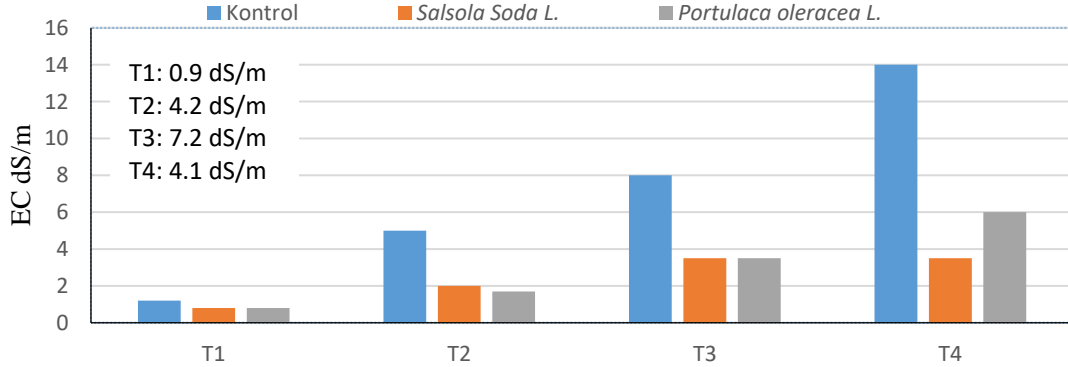
Çizelge 5. Fitoremediasyon yönteminin toprağın EC ve SAR değerleri üzerine olan etkisi [39].

Toprak Materyali	Kontrol	<i>AtriplexCanescens</i>	<i>FestucaArundunacea</i>	<i>Lotus Corniculatus</i>
Elektriksel İletkenlik (EC) dS/m				
1. Toprak	5.27	1.70	3.17	2.40
2. Toprak	8.37	5.32	4.96	2.80
Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP)				
1. Toprak	22.45	14.21	18.00	16.00
2. Toprak	26.00	22.00	21.00	21.50



Şekil 4. Deniz börülcesi, semizotu ve tritikale uygulamalarının, toprağın EC değerlerine etkisi [40].

Karakaş (2017) yürüttüğü çalışmada farklı tuz seviyelerine sahip topraklarda (T1: 0.9 dS/m, T2: 4.2 dS/m, T3: 7.2 dS/m ve T4: 4.1 dS/m) yetiştirilen *Salsola soda* ve *Portulacaoleracea* bitkilerin, toprakların EC değerlerini önemli derecede azaltmış olup, kimyasal ıslah malzemeleri ile yapılan uygulamalara alternatif bir yöntem olabileceği belirtilmiştir [41] (Şekil 5).



Şekil 5. *Salsola Soda L.*, *Portulacaoleracea L.* bitki uygulamalarının, toprağın EC değerlerine etkisi [41].

Li ve ark., (2019) tuzlu toprakların iyileştirilmesi üzerine yaptığı çalışmada *Suaeda salsa* ve *Trichodermaasperellum* bitkilerinin fitoremediasyon tekniği olarak kullanılabileceği belirtmişlerdir [42]. Çınar (2020) ise halofit bir bitki olan Çardak Süpürgesi (*Limoniumgmelinii*) bitkisini kullanmışlardır. Araştırmada yapılan gözlemler ve elde edilen veriler sonucunda Çardak Süpürgesi bitkisinin tuzlu toprakların iyileştirilmesinde kullanılabileceği vurgulanmıştır [43].

SONUÇ

Tuzlu toprakların artması dünya genelinde büyük sorunlardan biri olup tarımsal üretimi olumsuz etkilemektedir. Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması tarıma ve gıdaya olan ihtiyacı da önemli derece de artırmaktadır. Bu bağlamda tuzlu toprakların özellikle halofit bitkiler kullanılarak fitoremediasyon yöntemi ile tekrar tarıma kazandırılması veya mevcut verimliliklerinin artırılması öncelikli bir konudur. Ayrıca

tuzluk ve sodyumluluk sorunu nedeniyle yeterli doğal bitki örtüsüne sahip olamayan alanlar, toprak erozyonuna daha çok maruz kalmakta giderek çölleşmektedir. Söz konusu alanlarda halofit bitkilerin adaptasyonu ile yüzey akış ve erozyon kontrol altına alınabilir ve çölleşmenin önüne geçilebilir. Bu amaçla yapılan araştırmaları dünya genelinde büyük artış göstermiş olsa da, ülkemiz genelinde yapılan çalışmalar henüz yeterli düzeyde değildir. Farklı toprak ve iklim koşullarında özellikle endemik halofit bitkilerin çalışılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Sonuç olarak tuzlu ve sodyumlu toprakların ıslahında kullanılan diğer yöntemlere ek olarak, doğal olarak yetişen halofit bitki yetiştiriciliği ile uygulanacak fitoremediasyon yönteminin daha kolay, ekonomik ve kalıcı bir şekilde çözüm getirebileceği ve arazi ve su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına olanak sağlayacağı kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Hashem, A., Abd_Allah, E.F., Ahmad, P, 2015. Effect of AM fungi on growth, physio biochemical attributes, lipid peroxidation, antioxidant enzymes and plant growth regulators in *Lycopersicon esculantum* Mill. Subjected to different concentration of NaCl. *Pak J. Bot.* 47 (1), 327–340.
- [2] Karakaş, S., Dikilitaş, M, 2018. Toprak Tuzluluğu ve Bitkisel Islah Soil Salinity and Phytoremediation. *Ziraat, Orman ve Su Ürünlerinde Akademik Araştırmalar*, 123.
- [3] Bresler, E., McNeal, B. L., Carter, D. L, 2012. Saline and sodic soils: principles-dynamics-modeling (Vol. 10). Springer Science & Business Media.
- [4] Munns R, Tester M, 2008. Mechanisms of salt tolerance, *Annu Rev Plant Biol* 59: 651-681.
- [5] Mengel, K., and Kirkby, E. A, 2001. “Principles of Plant Nutrition.” Kluwer Academic, Dordrecht, the Netherlands.
- [6] Ahmad, P., Sharma, S, 2008. Salt stress and phyto-biochemical responses of plants. *Plant Soil Environ.* 54 (3), 89–99.
- [7] Seday, U., Gulsen, O., Uzun A., Toprak G, 2014. “Response of citrus root stocks to different salinity levels form or phological and antioxidative enzyme activites”, *J. Anim. PlantSci.* vol. 24, pp. 512-520.
- [8] Shahid, S. A., Zaman, M., & Heng, L, 2018. Soil salinity: historical perspective sand a World overview of the problem. In *Guide line for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques* (pp. 43-53). Springer, Cham.
- [9] Karaoğlu, M., Yalçın, A. M, 2018. Toprak Tuzluluğu ve Iğdır Ovası Örneği. *Journal of Agriculture*, 1(1), 27-41.
- [10] DSİ, 2021. Toprak Su Kaynakları, <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754>
- [11] Angın, İ, 2014. Tuzlu-Sodik ve Sodik Toprakların Islahına Farklı Bir Yaklaşım: Yeşil Islah. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 103-116.
- [12] Abdelgawad, A., Arslan, A., Awad, F., and Kadouri, F, 2004. Deepplowing management practice for increasing yield and water use efficiency of vetch, cotton, wheat and intensified corn using saline and non-saline irrigation water. In “Proceedings of the 55th IEC Meeting of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID),” pp. 67–78, September 9–10, 2004, Moscow, Russia.
- [13] Ashraf, M. Y., Ashraf, M., Mahmood, K., Akhter, J., Hussain, F., & Arshad, M, 2010. Phytoremediation of saline soils for sustainable agricultural productivity. In *Plant adaptation and phytoremediation* (pp. 335-355). Springer, Dordrecht.
- [14] Rabhi, M., Hafsi, C., & Lakhdar A, 2009. “Evaluation of the capacity of three halophyte testodes to salinize the rhizosphere as grown on saline soils under non leaching conditions,” *African Journal of Ecology*, vol. 47, vol. 4, pp. 463–468.

- [15] Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A. B., Cansaran Duman, D., Aras, S, 2012. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. Türk hijyen ve deneysel biyoloji dergisi, Sayı:4, Cilt: 69, Ankara, ss. 235-253.
- [16] Nouri, H., Chavoshi Borujeni, S., Nirola, R., Hassanli, A., Beecham, S., Alaghmand, S., & Mulcahy, D, 2017. Application of green remediation on soil salinity treatment: A review on halophytoremediation. *Process Safety and Environment Protection*, 107, 94–107.
- [17] Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M.M., Bhowmik, P.C., Hossain, M.A., Rahman, M.M., Prasad, M.N.V., Ozturk, M., Fujita, M, 2014. Potential use of halophytes to remediate saline soils. *Biomed. Res. Int.* 2014, 589341.
- [18] Naikoo, M. I., Kafeel, U., Naushin, F., & Khan, F. A, 2020. Halophytes in India and Their Role in Phytoremediation. *Handbook of Halophytes: From Molecules to Ecosystems towards Biosaline Agriculture*, 1-21.
- [19] Flowers, T. J., Colmer, T. D, 2008. Salinity tolerance in halophytes. *The New Phytologist*, 179, 945–963.
- [20] Larcher, W, 2003. “Physiological Plant Ecology”, 4th ed. Springer-Verlag: Heidelberg/Berlin, Germany; New York, NY, USA.
- [21] Mishra, A., Sharma, S.D., Pandey, R., Mishra, L, 2004. Amelioration of a highly alkaline soil by trees in northern India. *Soil Use Manage.* 20 (3), 325–332.
- [22] Qadir, M., Oster, J. D., Schubert, S., Noble, A. D. & Sahrawat, K.L, 2007. “Phytoremediation of sodic and saline-sodic soils”. *Advances in Agronomy*, vol. 96, pp. 197-247.
- [23] Arthur, E.L, 2005. “Phytoremediation – An overview”. *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 24, pp. 109-122.
- [24] Singh, P., Singh, S. K., Prasad, S. M. (Eds.), 2020. *Plant Responses to Soil Pollution*. Springer Nature Singapore Pte. Limited.
- [25] Wei, S., Teixeira da Silva, J. A., & Zhou, Q, 2008. Agro-improving method of phytoextracting heavy metal contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 662-668.
- [26] Anjum, N. A., Ahmad, I., Válega, M., Mohmood, I., Gill, S. S., Tuteja, N., Duarte, A. C., & Pereira, E, 2014. Salt marsh halophyte services to metal-metalloid remediation: Assessment of the processes and underlying mechanisms. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44, 2038–2106.
- [27] Newman L.A., Reynolds C.M, 2004. Phyto degradation of organic compounds, *Current Opinion in Biotechnology*, 15, 225-230.
- [28] Arya SS, Devi S, Angrish R, Rani K, 2017. Soil reclamation through phytoextraction and phytovolatilization. In: Choudhary DK, Sharma AK, Agarwal P, Varma A, Tuteja N (eds) *Volatiles and food security*. Springer, Singapore, Malaysia, pp 25–43.
- [29] Shmaefsky, B. R, 2020. *Phytoremediation*. Springer International Publishing.
- [30] Aybar, M., Bilgin, A., Sağlam, B, 2015. Fitoremediasyon yöntemi ile topraktaki ağır metallerin giderimi.
- [31] Kelley, WP, 1937. “The reclamation of alkali soils”, *Calif. Agric. Exp. Stn. Bull.*, vol. 617, pp. 1–40.
- [32] 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*. *Environ. Conserv.*, 30, 168–174.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.

- [36] Ahmad, S.,Ghafoor, A., Qadir, M., Khan, M.Z, 2003. Effect of phyto remediation on chemical characteristics of a calcareous saline-sodicsoil. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 6(13), 1159-1162.
- [37] 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.
- [38] Rabhi, M.,Talbi, O., Atia, A., Abdelly, C., Smaoui, A, 2008. Selection of a halophyte that could be used in the bioreclamation of salt-affected soils in aridand semi-arid regions. In: Abdelly, C.,Oztürk, M., Ashraf, M.,Grignon, C. (Eds.), *BiosalineAgricultureand High Salinity Tolerance*. BirkhauserVerlag, Switzerlandpp. 241–246.
- [39] Akıl, H, 2008. Harran Ovası Kireçli Tuzlu-Sodik Toprakların Biyolojik Islahı. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- [40] Elçi, H, 2019. Harran Ovası Tuzlu ve Tuzlu-Sodik Toprakların Biyoyiyleştiriciler ile Islahı. Yüksek Lisans Tezi. Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- [41] Karakas S., Çullu MA., & Dikilitaş M, 2017. “Comparison of two halophyt species (*Salsola soda* and *Portulacaoleracea*) for salt removal potential under different soil salinity conditions”, *Turk J AgricFor*, vol. 41, pp.183-190.
- [42] Li, X.,Zhang, X., Wang, X., Yang, X., Cui, Z, 2019. Bioaugmentation-assisted phytoremediation of lead and salinity co-contaminated soil by *Suaeda salsa* and *Trichoderma* *sperellum*. *Chemosphere*, 224, 716-725.
- [43] Çınar, A., G, 2020. Çardak Süpürgesi (*LimoniumGmelinii*) Bitkisinin Fitoremediasyonda Kullanılabilirliği. Doktora Tezi. Akdeniz Üniversitesi, Antalya.