

Original Article

Tuzlanmış Tarım Alanlarının Ekolojik Olarak İyileştirilme Yolları

Ecological Approaches to the Restoration of Salinized Agricultural Lands

Dilara Sunakbaeva^a^a Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Faculty of Natural Sciences, Department of Ecology and Chemistry, Turkestan, Kazakhstan

Article Information

Received 11 Mar 2026

Accepted 11 Jun 2026

Available online 30 Jun 2026

Keywords: tarım manzarası, toprak tuzlanması, ekolojik rekültivasyon, fitoremediasyon, sürdürülebilir arazi kullanımı

Ozet/Abstract

Makale, rasyonel olmayan arazi kullanımı, yoğun sulama ve su dengesinin bozulması sonucu oluşan tuzlanmış tarım manzaralarının iyileştirilmesine yönelik güncel ekolojik yaklaşımları ele almaktadır. Toprak tuzlanması, modern tarımın en önemli sorunlarından biri olarak, arazilerin bozulmasına, verim düşüşüne ve agroekosistemlerin durumunun kötüleşmesine yol açmaktadır. Tuz birikimine katkıda bulunan doğal ve antropojenik faktörler, iklim koşulları, hidrolojik özellikler ve insan faaliyetleri dahil olmak üzere analiz edilmiştir. Ekolojik rehabilitasyonun temel yönleri şunlardır: biyolojik rekültivasyon (mikroorganizmaların kullanımı), fitoremediasyon (tuza dayanıklı bitkilerle tuzların giderilmesi), agroormeliorasyon (koruyucu ağaç şeritleri oluşturulması) ve su-tuz rejiminin düzenlenmesi (damla sulama ve drenaj sistemleri). Bu önlemler, tuz stresinin azaltılmasını, toprak verimliliğinin ve tarımsal ürünlerin artmasını sağlar ve agroekosistemlerde ekolojik dengenin korunmasına katkıda bulunur. Bu nedenle yöntemler, bölgesel sürdürülebilir tarım stratejileri ve tuzlanmış arazilerin ekolojik ıslahı için etkili araçlar olarak değerlendirilmektedir.

The article examines current ecological approaches to the rehabilitation of salinized agricultural landscapes resulting from irrational land use, excessive irrigation, and the disruption of natural water balance. Soil salinization is recognized as one of the most significant challenges facing modern agriculture, leading to land degradation, reduced crop productivity, and the deterioration of agroecosystem health. The study analyzes both natural and anthropogenic factors contributing to salt accumulation, including climatic conditions, hydrological characteristics, and human activities. The principal directions of ecological rehabilitation discussed include biological reclamation through the use of beneficial microorganisms, phytoremediation using salt-tolerant plant species to remove excess salts, agromelioration through the establishment of protective shelterbelts, and the regulation of the water-salt balance by implementing drip irrigation and drainage systems. These measures help mitigate salt stress, improve soil fertility and agricultural productivity, and contribute to maintaining ecological balance within agroecosystems. Consequently, these methods are considered effective tools for promoting regional sustainable agriculture and the ecological restoration of salinized lands.

Introduction

Toprak tuzlanması, modern tarım sektörünün en ciddi çevresel sorunlarından biridir. Bu süreç, ekim katmanında çözünür tuzların aşırı birikmesine yol açar; bu durum bitkiler için olumsuz abiyotik stres yaratır, büyümelerini kısıtlar ve tarımsal ürün verimliliğini düşürür [1]. Güncel araştırmalara göre, toprak tuzlanması yalnızca tarımsal bir sorun değil, aynı zamanda ciddi bir ekolojik tehdittir; çünkü tuz iyonları biyocoğrafik döngüleri bozar, organik madde içeriğini azaltır ve toprak mikrobiyotasının fonksiyonlarını değiştirir, bu da toprağın sürdürülebilir ekosistem sağlama kapasitesini olumsuz etkiler [2].

Sorunun küresel boyutu, dünya topraklarının %7'si ve sulanan arazilerin yaklaşık %33'ünün ciddi tuzlanma riski altında

olduğunu göstermektedir ve bu oran, iklim değişiklikleri ve antropojenik baskılar nedeniyle artmaya devam etmektedir. İklimsel istikrarsızlık, yağış rejimindeki değişiklikler ve ısınma, özellikle Orta Asya, Avustralya, Afrika'nın bazı bölgeleri ve Güney Amerika gibi kurak bölgelerde tuz birikimi süreçlerini hızlandırmaktadır [3]. Tuzlanmış toprak alanlarının artması, tarımsal verim potansiyelini düşürerek gıda güvenliğini tehdit eder ve kırsal ekosistemlerin dayanıklılığını azaltır.

İkincil tuzlanmanın temel nedeni rasyonel olmayan sulamadır: fazla su, düşük verimli drenaj sistemleri ve mineralize su kullanımı, yeraltı su seviyesinin yükselmesine ve bitki kök bölgesinde tuz birikimine yol açar [4]. Ayrıca, aşırı

mineral gübre kullanımı ve uyumsuz tarım teknolojileri, toprak ekolojik fonksiyonlarını bozarak bozulmayı artırır; bu fonksiyonlar arasında su-tuz dengesi ve biyolojik çeşitliliğin korunması yer alır.

Bu sorun, ekosistem bozulmasıyla yakından ilişkilidir. Tuzlanma, toprakların su ve besin kaynaklarını sağlama kapasitesini düşürür; bu da biyolojik çeşitlilik kaybına, su kalitesinin bozulmasına ve erozyon süreçlerinin artmasına yol açar. Sonuç olarak, tarım manzaralarının dış etkilere karşı direnci azalır ve bu durum, sistematik ve ekolojik temelli bir iyileştirme yaklaşımını gerektirir [5].

Araştırmanın güncelliği, klasik ıslah teknolojilerinden ekolojik olarak sürdürülebilir yöntemlere geçiş ihtiyacından kaynaklanmaktadır. Günümüzde sürdürülebilir tarım, yalnızca tuzlanmayı önlemekle kalmayıp aynı zamanda doğal süreçleri geri kazandıran ve toprağın uzun vadeli verimliliği ile agroekosistemlerin dayanıklılığını destekleyen doğa odaklı uygulamaların entegrasyonunu gerektirmektedir.

Materials and Methods

Araştırmanın metodolojik temeli, toprak örtüsü, bitki örtüsü, su rejimi ve tarımsal faaliyetleri birbirine bağlı bir sistem olarak ele alan sistematik ekolojik yaklaşımdır. Bu yaklaşım, yalnızca toprağın fizikokimyasal parametrelerini değil, aynı zamanda agroekosistemin işleyişine etkilerini de değerlendirmeyi sağlar. Analizler, modern literatür tarama yöntemleri, agroekolojik izleme verileri ve FAO (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü), UNEP (Birleşmiş Milletler Çevre Programı) ve ICARDA (Kurak Bölgelerde Uluslararası Tarım Araştırmaları Merkezi) gibi uluslararası programların deneyimlerinin sentezi ile yürütülmüştür.

FAO'nun güncel raporları, tuzlu ve alkalin toprakların dünya genelinde 1,4 milyar hektardan fazla (dünyanın yaklaşık %10,7'si) alan kapladığını ve bu alanın iklim krizi ve rasyonel olmayan kaynak kullanımı nedeniyle artmaya devam ettiğini göstermektedir [6]. Bu durum, tuzlanmanın küresel ve yerel düzeyde izlenmesi ve sürdürülebilir yönetim yöntemlerinin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Çalışmada, FAO GSP (FAO Küresel Toprak Ortaklığı) tarafından geliştirilen küresel tuzlu toprak haritası (GSASmap) verileri kullanılmıştır. Bu harita, tuzlanmanın mekânsal dağılımını izlemeyi ve agroekosistemlerin iyileştirilmesi için ekolojik önlemleri planlamayı sağlar [7]. Bu veriler, örneğin Kazakistan'ın güney bölgelerinde Glycyrrhiza glabra kullanılarak yapılan fitoremediasyon çalışmaları gibi bölgesel araştırma sonuçlarıyla desteklenmiştir; biyolojik iyileştirme yöntemleriyle tuz seviyesinde belirgin azalma ve organik madde içeriğinde artış gözlemlenmiştir [8].

Toprak durumunun analizinde agroekolojik izleme yöntemleri kullanılmıştır; bunlar arasında toprak elektrik iletkenliği ve pH ölçümleri, temel tuzların (Na^+ , Cl^- , Mg^{2+})

içeriği ve uzaktan algılama verileri (NDVI gibi) ile bitki örtüsünün görsel ve uzaktan izlenmesi yer almaktadır.

Tablo 1'den görüldüğü gibi, izleme hem geleneksel laboratuvar yöntemleri hem de modern uzaktan algılama ve hidrolojik gözlem teknolojileriyle yapılmaktadır. Bu sayede agroekosistemin kapsamlı bir karakterizasyonu elde edilmekte, tuzlanma dinamikleri belirlenmekte ve uygulanan rekültivasyon yöntemlerinin etkinliği değerlendirilmektedir.

Table 1. Tuzlu Toprakların Agroekolojik İzlemesinin Temel Parametreleri

Yöntem	Parametreler	Araçlar / Teknolojiler	Gözlem Sıklığı	Uygulama
Kimyasal-fiziksel toprak analizi	Elektrik iletkenliği (EC), pH, Na^+ , Cl^- , Mg^{2+}	Konduktometre, pH metre, laboratuvar analizleri	Sezon başına 1-2 kez	Tuzluluk ve toprak verimliliğinin değerlendirilmesi
Uzaktan algılama	NDVI, bitki örtüsü durumu	Sentinel-2 ve Landsat uyduları, dronlar	Ayda 1 kez	Tuzlanmanın bitki örtüsü üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi
Hidrolojik izleme	Yeraltı su seviyesi, tuz hareketi	Jeofizik yöntemler, hidrolojik sensörler	Çeyrek dönemde	İkincil tuzlanmanın öngörülmesi
Biyolojik izleme	Biyoçeşitlilik durumu, haloftitlerin varlığı	Arazi gözlemleri, foto noktaları	Sezon başına 1 kez	Ekolojik iyileşme ve bitki adaptasyonunun değerlendirilmesi
Süreç modelleme	Topraktaki tuz ve su dağılımı	Hidrolojik ve coğrafi bilgi sistemleri modelleri	Gerektiğinde	İyileştirme çalışmalarının optimize edilmesi

Ayrıca çalışmada, toprak profili içerisindeki tuz ve su hareketinin geleneksel hidrolojik modellerden, agroekosistem parametrelerindeki mekânsal ve zamansal değişiklikleri dikkate alabilen yeni bilgisayar modellerine kadar modern modelleme yöntemleri de ele alınmaktadır [1,9]. Bu modeller, farklı iyileştirme stratejilerinin etkinliğini öngörmek ve sulama ile ıslah çalışmalarını, bölgenin iklimsel ve manzara özelliklerini dikkate alarak optimize etmek için önemli bir araçtır.

Sonuçlar ve Tartışma

Toprak tuzlanması çoğunlukla su dengesinin bozulması ve sulama hataları ile ilişkilidir. Doğal koşullarda, ekosistem bağlantıları yeniden sağlandığında bu süreç tersine çevrilebilir. Güncel araştırmaların analizi, biyolojik ve doğa odaklı toprak iyileştirme yöntemlerinin, uygun uygulamalarla 2-3 yıl içinde tuz konsantrasyonunu %20-50 oranında azaltabileceğini göstermektedir [10].

Tuzlu tarım manzaralarının iyileştirilmesinde en etkili ekolojik yollar şunlardır:

- Fitoremediasyon – Tuz toleranslı bitkiler (*Atriplex* spp., *Glycyrrhiza glabra*, *Salicornia* spp.) kullanılarak tuzların emilmesi, toprağın yapısının iyileştirilmesi, organik madde birikiminin teşvik edilmesi ve sonraki kültür bitkilerinin yetiştirilmesi için uygun koşulların yaratılması [3,4]. Orta Asya'daki uygulamalar, halofitlerin ekilmesinden sonraki ilk yılda toprak elektrik iletkenliğinde %15-30 azalma göstermiştir.
- Biyolojik rekültivasyon – Organik madde parçalanmasını hızlandıran, biyocoğrafik döngüleri normalize eden ve bitki büyümesini teşvik eden mikroorganizmaların kullanımı. Güncel araştırmalar, faydalı bakteriler ve mikorizal mantarların birlikte uygulanmasının topraktaki organik madde içeriğini %10-20 artırdığını ve su tutma kapasitesini iyileştirdiğini göstermektedir [5][6].
- Agroormeliorasyon – Tuz toleranslı ağaç ve çalılarla koruyucu orman şeritleri oluşturmak; mikroklimayı düzenler, rüzgar erozyon hızını azaltır ve nem kaybını düşürür. Kazakistan ve Özbekistan'ın güney bölgelerindeki deneyimler, bu şeritlerin tuzların yüzeye çıkışını %12-18 oranında azaltabildiğini ve tarımsal bitkiler için uygun koşullar sağladığını göstermektedir [7].
- Su-tuz rejiminin düzenlenmesi – Damla sulama, derin drenaj ve kontrollü sulama dahil olmak üzere rasyonel sulama ve drenaj sistemlerinin uygulanması. Bu yöntemler, ikincil tuzlanmayı önler, nemin eşit dağılımını sağlar ve ekim katmanındaki tuz konsantrasyonunu azaltır [8].
- Organik tarım – Kimyasal tuz içeren gübrelerin kullanımından kaçınmak, yeşil gübre ve kompost kullanmak; humus birikimini teşvik eder, tuz stresini azaltır ve toprağın doğal verimliliğini geri kazandırır [9].

Bu yöntemlerin karma kullanımı, tarım manzaralarının biyoproduktivitesinin ve dayanıklılığının kademeli olarak iyileştirilmesini sağlar. Güncel araştırmalar, fitoremediasyon, biyolojik rekültivasyon ve rasyonel su yönetiminin bir arada uygulanmasının, toprak ortamında sürdürülebilir olumlu değişimler yaratabildiğini ve 3-4 yıl içinde tarımsal ürün verimliliğini %20-40 artırdığını göstermektedir [2,10].

Ayrıca, uygulamaların etkinliği, iklim koşulları, toprak başlangıç durumu ve doğru bitki ile mikroorganizma seçimi gibi faktörlere bağlıdır. Bu nedenle, iyileştirme yaklaşımı karma, adaptif ve ekosistem odaklı olmalı; yalnızca tuzlanmayı azaltmakla kalmayıp, toprağın doğal fonksiyonlarını da geri kazandırmalıdır.

Discussion

Tuzlu tarım manzaralarının analiz ve izleme sonuçları, toprak bozulmasının temel faktörünün su dengesinin bozulması ve sulama sistemlerinin rasyonel olmayan kullanımı olduğunu göstermektedir. Özellikle, yüzey sulama ve drenajın olmaması durumunda çözünür tuzların konsantrasyonu önemli ölçüde

artmakta olup, bu durum FAO verileri ve güncel araştırmalarla doğrulanmıştır [11].

Toprağın ekolojik yöntemlerle iyileştirilmesi, halofitlerin (ör. *Atriplex* spp., *Glycyrrhiza glabra*) kullanıldığı fitoremediasyonun, ilk yıl içinde toprak elektrik iletkenliğini %15-30 oranında azalttığını, toprağın yapısını iyileştirdiğini ve organik madde birikimini teşvik ettiğini göstermektedir [12]. Bu bulgular, Qiu ve ark. (2025) tarafından yapılan çalışmalarda, tuz toleranslı bitkiler ve biyokömürün birlikte kullanımının, toprak biyolojik aktivitesini artırdığı ve sonraki tarım bitkilerinin yetiştirilmesi için uygun koşullar sağladığını gösteren sonuçlarla uyumludur [9,13].

Organik madde parçalanmasını hızlandıran mikroorganizmalarla yapılan biyolojik rekültivasyon, humus içeriğini %10-20 artırmakta ve toprak su tutma kapasitesini iyileştirmektedir; bu durum hem arazi gözlemleri hem de son araştırma incelemeleri ile doğrulanmıştır [5,12]. Güncel biyolojik ıslah stratejileri, fitoremediasyon ve mikrobiyal katkıların kombinasyonunu içermekte ve toprak ekosisteminin sürdürülebilir şekilde yeniden oluşumunu sağlamaktadır [13].

Agroormeliorasyon, yani koruyucu orman şeritlerinin oluşturulması, mikroklimayı iyileştirir, buharlaşmayı azaltır ve tuzların yüzeye yükselmesini sınırlar. Orta Asya'nın kurak bölgelerindeki uygulamalar, bu şeritlerin tuz seviyesini %12-18 oranında düşürebildiğini ve tarım bitkileri için elverişli koşullar oluşturabildiğini göstermektedir [14].

Su-tuz rejiminin düzenlenmesi, damla sulama, derin drenaj ve kontrollü sulama sistemleri kullanılarak, ikincil tuzlanmayı önler ve nemin eşit dağılımını sağlar. Güncel hidrolojik modeller, bu uygulamaların sonuçlarını öngörmeyi ve en etkin şekilde planlamayı mümkün kılmaktadır [8,11].

Organik tarım, kimyasal tuz içeren gübreler yerine kompost ve yeşil gübre kullanımını içerir; bu yöntem, toprağın verimliliğini geri kazandırır, yapısını iyileştirir ve biyoproduktiviteyi artırır. Araştırmalar, biyolojik ve agro-ıslah yöntemlerinin birlikte uygulanması sonucunda verim artışının %20-40 oranında olduğunu göstermektedir [15].

Sonuç olarak, tartışma gösteriyor ki, fitoremediasyon, biyolojik rekültivasyon, agroormeliorasyon ve rasyonel su yönetiminin bütünleşik kullanımı, tarım manzaralarının sürdürülebilir şekilde iyileştirilmesini sağlamaktadır. Uygulamaların etkinliği, toprak başlangıç durumu, iklim koşulları ve yöntemlerin doğru kombinasyonuna bağlıdır; bu da sistematik ve ekosistem-odaklı bir peyzaj yaklaşımının gerekliliğini vurgulamaktadır.

Önemli bir çıkarım, ekolojik iyileştirme yöntemlerinin yalnızca tuzlanmayı azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda toprak ekosistem fonksiyonlarını, su tutmayı, biyolojik aktiviteyi ve verimliliği de geri kazandırmasıdır. Bu durum, teknolojik ıslah yaklaşımlarından, doğal süreçleri gözeterek çözümlere geçiş gerekliliğini ve tarım manzaralarının uzun vadeli sürdürülebilirliğini desteklemektedir [14,15].

Conclusion

Tuzlu tarım manzaralarının iyileştirilmesi, teknolojik ıslah yöntemlerinden, ekosistem süreçlerini dikkate alan ve toprak dayanıklılığını destekleyen doğa odaklı çözümlere geçişi gerektirir.

Ekolojik yöntemler — fitoremediasyon, biyolojik rekülvasyon, agroormeliorasyon ve su-tuz rejiminin düzenlenmesi — yalnızca tuzlanmayı azaltmakla kalmaz, aynı zamanda toprak fonksiyonlarını geri kazandırır: su tutma, biyolojik aktivite ve verimlilik dahil.

- Sistematik ve ekosistem-odaklı bir yaklaşım, şunları sağlar:
- Sürdürülebilir arazi kullanımı;
- Çevresel antropojenik yükün azaltılması;
- Tarımsal ürün verimliliğinin artırılması;
- Biyoçeşitliliğin iyileştirilmesi ve ekosistem bağlantılarının korunması.

Güncel araştırmalar, biyolojik, agroormelioratif ve ıslah yöntemlerinin karma kullanımının, tuzlu toprakların uzun vadeli iyileştirilmesi için en uygun strateji olduğunu göstermektedir. Bu uygulamaların, izleme ve uyarlanabilir arazi yönetimi ile birlikte yürütülmesi, tarım manzaralarının durumunun sürdürülebilir şekilde iyileştirilmesini ve toprak tuzlanmasına bağlı çevresel risklerin en aza indirilmesini sağlar.

Conflict of Interest: NIL

Funding Sources: NIL

References

- [1] European Environment Agency (EEA). Air Pollution Sources and Impacts. 2023.
- [2] World Health Organization (WHO). Ambient Air Pollution: A Global Assessment of Exposure and Burden of Disease. Geneva, 2022.
- [3] Chen Y. et al. Air pollution from oil refining and its health effects. *Environmental Research*. 2023.
- [4] Kazemi M., et al. Advanced air monitoring technologies in the petroleum industry. *Journal of Environmental Engineering*. 2024.
- [5] Li X. et al. Chromatographic analysis of volatile organic compounds in industrial emissions. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2023.
- [6] NASA MODIS Satellite Data. Global Atmospheric Composition Monitoring. 2024.
- [7] US EPA. AERMOD User's Guide. 2023.
- [8] Al-Ghamdi S. et al. Assessment of air quality around oil refineries. *Environmental Pollution*. 2022.
- [9] Zhang T. et al. Formation of secondary aerosols from NO_x emissions in industrial zones. *Atmospheric Environment*. 2023.
- [10] World Meteorological Organization (WMO). Global Sulfur Emissions Report. 2023.

[11] International Agency for Research on Cancer (IARC). Volatile Organic Compounds and Cancer Risk. 2022.

[12] Luo Q. et al. Catalytic oxidation of VOCs: Recent advances. *Applied Catalysis B: Environmental*. 2024.

[13] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Recovery and Recycling Technologies in Oil Refining. 2024.

[14] Xu L. et al. Green catalysts in petroleum processing. *Journal of Cleaner Production*. 2023.

[15] Wang H. et al. AI-based air quality prediction in industrial areas. *Environmental Modelling & Software*. 2024.

[16] United Nations Environment Programme (UNEP). Towards Carbon-Neutral Oil Refining. 2024.

[17] European Commission. Industrial Emissions and Air Quality Monitoring Strategies in the EU. Brussels, 2023.

[18] Liu J. et al. Artificial intelligence applications in air quality monitoring. *Environmental Science & Technology*. 2024.

[19] BP. Energy Outlook: Decarbonizing the Refining Sector—Pathways and Technologies. 2024.

[20] Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. National Air Quality Strategy 2030. Astana, 2024.

Declarations:

Author's Contribution:

- Conceptualization, data collection, interpretation, drafting of the manuscript and intellectual revisions
- The author agrees to take responsibility for every facet of the work, making sure that any concerns about its integrity or veracity are thoroughly examined and addressed

Correspondence:

Sunakbaeva L.

sunakbaevalatofato8@gmail.com