

Tuzlu Alkali Toprakların Islahında Polivinilalkol (PVA) ve Bakteri Kullanımının Etkinliği

Faruk TOHUMCU¹ , Serdar SARI^{1*} , Mesude Figen DÖNMEZ² 

¹İğdir Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, İğdir

²İğdir Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, İğdir

*Sorumlu Yazar: serdar.sari@igdir.edu.tr

Geliş Tarihi: 06.09.2022 Düzeltme Geliş Tarihi: 02.11.2022 Kabul Tarihi: 02.11.2022

ÖZ

Bu araştırma, tuzlu alkali toprağın ıslahında organik bir polimer olan polivinilalkol (PVA) ile Ca^{+2} çözen bakteri (*Paucimonas lemoignei* strain SK56) uygulamasının etkinliğini incelenmek amacıyla yürütülmüştür. Araştırma, toprağa uygulanan PVA'nın etkin dozu (%0.01 w/w), 3 bakteri dozu ($X_1:10^4$, $X_2: 10^6$, $X_3: 10^8$ cfu ml⁻¹), PVA + 3 bakteri dozu ve kontrol grubu olmak üzere ve 3 tekerrürlü olarak toplam 24 saksıda laboratuvar ortamında yürütülmüştür. Muameleler uygulandıktan sonra tarla kapasitesi nem düzeyinde 3 ay inkübasyona bırakılan deneme topraklarından alınan bozulmamış toprak örnekleri Mariotte düzeneğinde yıkamaya tabi tutulmuş ve örneklerin hacim ağırlığı (HA), hidrolik iletkenlik (Hi) değerleri ve yıkanan Na^+ miktarı belirlenmiştir. Ayrıca, alınan alt örneklerde agregat stabilitesi (AS), pH, EC ve değişebilir Na^+ yüzdesi (ESP) belirlenmiştir. Bakteri uygulamasının Ca^{+2} çözünürlüğünü ve Ca^{+2} 'un Na^+ ile yer değiştirmesini artırdığı belirlenirken, PVA uygulamasının toprağın strüktürel özelliklerini geliştirerek çözünebilir tuzlar ve Na^+ 'un yıkanabilirliğini artırdığı tespit edilmiştir. Uygulamalar sonrasında en düşük EC değeri (2.20 mS cm⁻¹), en çok yıkanan Na^+ miktarı (31.01 mg) ve en düşük ESP değeri (%40.26) PVA+bakteri uygulamasının üçüncü dozunda belirlenmiştir. Tuzlu alkali toprakların ıslahında PVA ve PVA+bakteri uygulamalarının hem fiziksel hem de kimyasal ıslah sürecinde önemli düzeyde etkili oldukları belirlenmiş olup, bu amaç için kullanılabileceği önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Tuzlu-alkali toprak, ıslah, polivinilalkol, bakteri, *Paucimonas lemoignei*

The Effect of Using Polyvinylalcohol (PVA) and Bacteria in Reclamation of Saline-Sodic Soils

ABSTRACT

In this study, the effectiveness of the application of polyvinylalcohol (PVA), an organic polymer, and Ca^{+2} soluble bacteria (*Paucimonas lemoignei* strain SK56) in the improvement of saline alkaline soil was investigated. The research was carried out in laboratory with 3 replications of PVA applied to the soil (0.01% w/w) and 3 bacterial doses ($X_1:10^4$, $X_2: 10^6$, $X_3: 10^8$ cfu ml⁻¹) and PVA + 3 bacteria doses and the control group. Undisturbed soil samples taken from the soils, which were incubated for 3 months at the moisture level of the field capacity, were leached in the Mariotte apparatus and the bulk density (BD), hydraulic conductivity (HC) values and the leached Na^+ amount of the samples were determined. In addition, aggregate stability (AS), pH, EC and exchangeable Na^+ percentage (ESP) were determined in the sub-samples. It was determined that the application of bacteria increased the solubility of Ca^{+2} and the displacement of Ca^{+2} with Na^+ , while the application of PVA increased the leachability of soluble salts and Na^+ by improving the structural properties of the soil. After the applications, the lowest EC value (2.20 mS cm⁻¹), the most leached Na^+ amount (31.01 mg) and the lowest ESP value (40.26%) were determined at the third dose of PVA+bacteria application. It has been determined that PVA and PVA+bacteria application in the improvement of saline alkaline soils are significantly effective in both physical and chemical improvement processes, and it is suggested that they can be used for this purpose.

Key words: Saline-sodic soil, reclamation, polyvinylalcohol, bacteria, *Paucimonas lemoignei*

GİRİŞ

Toprak tuzlulaşması ve alkalileşmesi toprak kalitesinin bozulmasına neden olan en önemli küresel sorunlardan birisidir (Qadir ve ark., 2007; Pandey ve ark., 2011; Ferreira ve ark., 2015). Küresel ısınma, yoğun tarımsal uygulamalar ve yetersiz sulama ile yetersiz drenaj nedeniyle bu sorunun önümüzdeki yıllarda daha da artacağı tahmin edilmektedir (Lambers, 2003). Birleşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü (FAO) (2017)'ne göre dünya genelinde sulanan toplam arazinin (230 milyon ha) yaklaşık %19.5'i çeşitli derecelerde tuzluluktan etkilenmiş durumda olup ülkemizde de tarım alanlarının yaklaşık %5.5'ini (1.5 milyon ha) tuzluluk, alkalilik ve tuzlu-alkalilik etkisi altındadır (Dinç ve ark., 2013). Tuzlu-alkali topraklar, değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) %15'den fazla, elektriksel iletkenliği (EC) 4 mS cm⁻¹'den büyük ve pH düzeyleri ≥8.5 olan topraklardır. Bu toprakların yüksek EC düzeyini etkileyen tuzlar arasında Na⁺, K⁺, Mg⁺² ve Ca⁺²'un Cl⁻, SO₄⁻², CO₃⁻² ve HCO₃⁻ bileşikleri yer almaktadır. Bu toprakların ESP değerinin yüksek olması topraktaki negatif yüklerin fazla miktarda değişebilir Na⁺ ile doyurulduğunun göstergesidir (Chhabra, 2004; Huber ve ark., 2008; Jones ve ark., 2008). Yüksek miktarda değişebilir sodyum, bu toprakların fiziksel (Oster ve Shainberg, 2001), kimyasal (Wong ve ark., 2009) ve biyolojik (Saviozzi ve ark., 2011) özellikleri ile bitki beslenmesini ve gelişimini (Lakhdar ve ark., 2009) olumsuz etkilemektedir.

Tuzlu-alkali toprakların ıslahında, fiziksel, kimyasal, biyolojik, hidroteknik, elektro ıslah ve tuz hasadı gibi yöntemler kullanılmaktadır (Zia-ur-Rehman ve ark., 2017; Angin ve ark., 2022). Tuzlu-alkali toprak ıslahı, kil yüzeylerindeki Na⁺'un yer değiştirmesi için bir Ca⁺² kaynağının kullanılmasını, dolayısıyla toprakta flokülasyonu, agregat oluşumu ve strüktürün iyileşmesini teşvik etmeyi ve ardından toprak profilinden tuzları ve Na⁺'u uzaklaştırmak için yıkamayı içeren iki aşamalı bir süreçtir. Tuzlu-alkali toprakların ıslahında toprak kolloid yüzeylerinde tutulan Na⁺ ile yer değiştirmesi için genellikle yüksek oranda Ca⁺² içermesi ve ekonomik olması nedeniyle jips (CaSO₄.2H₂O) tercih edilmektedir (Ghafoor ve ark., 2001; Angin ve ark., 2021). Ayrıca, bu toprakların ıslahı için elementel kükürt, sülfürik asit, organik madde ve organik polimer uygulaması gibi farklı ıslah materyalleri de kullanılmaktadır (Power ve Dick, 2000; Amezketta ve ark., 2005). Bu materyallerin bazıları doğrudan Na⁺ ile yer değişimi sağlamak amacıyla kullanılırken bazıları da toprağın fiziksel özelliklerini geliştirilerek hidrolojik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmektedir.

Toprak kolloid yüzeylerinden koparılan Na⁺'un yıkanarak toprak ortamından uzaklaştırılması en önemli süreçlerdendir. Tuzlu-alkali topraklar çok düşük hidrolik iletkenliğe sahip olduklarından dolayı yıkanma süreci oldukça kısıtlı ve zordur. Bu süreç için toprak strüktürel özelliklerinin geliştirilmesi büyük öneme sahiptir. Toprak strüktürel özelliklerinin geliştirilmesi için ise etkili bir yöntem olan organik polimer uygulaması (örneğin Polivinilalkol) toprakta agregatlaşmayı arttırarak toprak hidrolojik özelliklerini arttırmaktadır (Aksakal ve Öztaş, 2010; Sarı ve Öztaş, 2017).

İğdir Ovası'nın 36476 hektarını tuzlu-alkali alanlar kaplamakta olup (Anonim, 2006), bu alanların yaklaşık 22000 hektarına ıslah amacıyla jips uygulaması yapılmış ancak istenen sonuçlar halen elde edilememiş durumdadır (Temel ve Şimşek, 2011). Jips (CaSO₄.2H₂O) yavaş çözünen ve tamamen çözünmesi için 2,5 g L⁻¹ su gerektiren bir ıslah materyaldir (Bhargava, 1989). Her ne kadar tuzlu-alkali topraklara ıslah materyali olarak jips uygulaması yapılsa da toprakta yeterli miktarda nem ve organik maddenin olmayışı jipsin etkinliğini olumsuz etkilemektedir (Gökoğlu ve Çaycı, 2021). Söz konusu toprakların başarılı bir şekilde ıslah edilebilmesi için toprakta var olan Ca⁺²'un çözünür hale getirilmesi ve toprakta yeterli nem koşullarının oluşturulması, strüktürel ve hidrolojik özelliklerin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Bu nedenle bu çalışmada, tuzlu-alkali bir toprağa Ca⁺² çözen bakteri straini (*Paucimonas lemoignei* strain SK56) uygulanarak toprakta var olan Ca⁺²'un aktif hale gelmesi ve polivinilalkol (PVA) uygulaması ile de toprakta daha fazla nemin tutulması, strüktürel ve hidrolojik özelliklerin iyileştirilerek daha kolay ve hızlı ıslah amaçlanmıştır.

MATERYAL ve METOT

Araştırmada, İğdir Ovası'nın tuzlu-alkali özellik gösteren alanından (39° 55' 49,21"K - 44° 05' 40,10"D) alınan toprak örneği kullanılmıştır (Sarı ve ark., 2019). Araziden alınan toprak örneği laboratuvar şartlarında kurutulduktan sonra 4 mm'lik elekten elenerek 2 kg tartılmış ve PVC kaplara (20x10x10 cm) yerleştirilmiştir. Deneme; kontrol, PVA (%0,01 w/w) etkin dozu (Painuli ve Pagliali, 1990; Öztaş ve ark., 2002; Chiellini ve ark., 2003), İğdir Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü bakteri kültür koleksiyonundan temin edilen Yılmaz ve ark. (2020) tarafından İğdir Ovası tuzlu alkali topraklarında yetişen *Lolium perenne* bitkisinden izole edilmiş ve Ca⁺² çözücü olarak tanımlanan *Paucimonas lemoignei* strain SK56 bakterisinin 3 dozu (X₁:10⁴, X₂: 10⁶, X₃: 10⁸ cfu ml⁻¹), PVA + 3 bakteri dozu ve 3 tekerrür olmak üzere (8 uygulama x 3 tekerrür) 24 saksıda, serbest drenaj koşullarında laboratuvar şartlarında yürütülmüştür. Deneme saksılarındaki topraklara uygulamalar yapıldıktan sonra tarla kapasitesi nem seviyesinde 3 ay inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon periyodu sonunda

her saksıdan 3'er adet bozulmamış (100 cm^3) toprak örneği alınarak hacim ağırlığı (Grossman ve Reinsch, 2002), porozite (Flint ve Flint, 2002) ve hidrolik iletkenlik (Reynolds ve Elrick, 2002) değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, alınan alt örneklerde ıslak eleme yöntemiyle agregat stabilitesi değerleri belirlenmiştir (Nimmo ve Perkins, 2002). Bozulmamış toprak örnekleri Mariotte düzeneği kullanılarak porozitenin 5 katı su topraktan geçirilerek yıkamaya tabi tutulmuştur. Yıkama sonrasında toprak örnekleri laboratuvar şartlarında kurutulmuş 2 mm'lik elekten elenmiş ve pH (Thomas, 1996), EC (Rhoades, 1996), değişebilir Na^+ (Sumner ve Miller, 1996), KDK (Sumner ve Miller, 1996) ve ESP (Richards, 1954) değerleri belirlenmiştir. Veriler SPSS paket programı yardımı ile varyans analizine tabii tutulmuş olup, önemli farklılıklar ($p < 0.05$) Duncan çoklu karşılaştırma testi ile karşılaştırılmıştır (SPSS, 2004).

BULGULAR ve TARTIŞMA

Araştırmada kullanılan toprağa ait tanımlayıcı özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. Araştırma toprağı killi-tın tekstür sınıfında, düşük organik madde içeriğine sahip, EC'si 22.37 mS cm^{-1} ve pH'sı 9.42 olan tuzlu-alkali bir topraktır. Araştırmada PVA ve bakteri uygulamalarının toprak özelliklerine olan etkileri ve Duncan çoklu karşılaştırma test sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Araştırma toprağının genel özellikleri

Parametre	Yöntem	Birim	Değer
Kil			35.07±1.09
Silt	Gee ve Or (2002)	%	44.13±1.31
Kum			20.80±0.24
Tekstür sınıfı			Killi-tın
Organik madde	Nelson ve Sommers (1996)	%	1.04±0.03
Kireç (CaCO_3)	Loeppert ve Suarez (1996)	%	8.84±0.39
Hacim Ağırlığı	Grossman ve Reinsch (2002)	g cm^{-3}	1.28±0.05
Porozite	Flint ve Flint (2002)	%	51.70±1.86
*pH	Thomas (1996)		9.42±0.08
*EC	Rhoades (1996)	mS cm^{-1}	22.37±1.80
KDK	Sumner ve Miller (1996)		28.60±0.42
*Suda çözünebilir Na^+	Rhoades (1996)	$\text{me } 100 \text{ gr}^{-1}$	8.52±1.03
Değişebilir Na^+	Helmke ve Sparks (1996)		24.15±0.32
Değişebilir Na^+ yüzdesi (ESP)	Richards 1954	%	54.65±1.33

* =Saturasyon ekstraktından belirlenmiştir

Araştırma konusu toprağa yapılan PVA ve bakteri uygulamalarının toprak pH'sını kontrolle kıyaslandığında çok az miktarlarda düşürdüğü fakat söz konusu değişimlerin istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenmiştir. PVA ve bakteri uygulamalarının toprağın EC değerlerini istatistiksel olarak çok önemli düzeyde ($p < 0.01$) düşürdüğü tespit edilmiştir. Kontrol toprağının EC değeri 14.82 mS cm^{-1} olarak ölçülürken PVA uygulaması sonrasında 4.65 mS cm^{-1} olarak ölçülmüş ve EC değerinin PVA uygulaması sonrasında kontrole göre %68.6 oranında düştüğü belirlenmiştir. Bakteri uygulamaları sonrasında X_1 , X_2 ve X_3 dozlarında EC değerlerinin sırasıyla %30.3, 24.4 ve 41.6 oranlarında ve PVA+bakteri uygulama dozları sonrasında da sırasıyla % 76.9, 83.9 ve 85.2 oranlarında düştüğü belirlenmiştir (Çizelge 2). Araştırmada kullanılan PVA+bakteri uygulamalarının üç dozunda da toprağın EC değerinin (3.43 , 2.38 , 2.20 mS cm^{-1}) kritik EC değeri olan 4 mS cm^{-1} 'nin altına düştüğü tespit edilmiştir. PVA uygulamasının agregat stabilitesi değerlerini önemli düzeyde artırırken hacim ağırlığı değerlerini önemli düzeyde düşürmesi toprağın strüktürel yapısını geliştirdiğinin göstergesi olup söz konusu değişimlere bağlı olarak PVA uygulaması toprak hidrolik iletkenliğini önemli düzeyde artırmıştır. Toprak hidrolik iletkenliğinin artışı toprağın daha etkin yıkanmasına ve suda çözülebilir tuzların ortamdaki daha kolay uzaklaşmasıyla EC değerinin düşmesinde etkili olmuştur. PVA uygulaması toprağın agregat stabilitesini kontrole göre istatistiksel olarak önemli düzeyde artırmıştır. Kontrol toprağının AS değeri %8.22 olarak belirlenirken PVA uygulaması sonrasında AS değeri %50.41 olarak belirlenmiş ve suya dayanıklı stabil agregatlarda 6.1 kat artış

gerçekleştirmiştir. Benzer artışlar PVA+bakteri uygulamalarında da belirlenmiş olup, PVA+X₁, PVA+X₂ ve PVA+X₃ dozlarında söz konusu artışlar sırasıyla 6.1, 6.3 ve 6.4 kat olarak hesaplanmıştır. Stabil agregatların artışı ve hacim ağırlığının düşmesine bağlı olarak toprağın hidrolik iletkenliğinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Kontrol düzeyinde hidrolik iletkenlik değeri çok düşük (0.02 cm gün⁻¹) olup hem PVA hem de PVA+bakteri uygulamaları sonrasında istatistiksel olarak çok önemli düzeyde artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir. Araştırma toprağının kontrol düzeyindeki hidrolik iletkenlik değeri 0.02 cm gün⁻¹ olarak belirlenirken, PVA uygulaması sonrasında 19.61 cm gün⁻¹ ve PVA+bakteri uygulamalarının PVA+X₁, PVA+X₂ ve PVA+X₃ dozlarında sırasıyla 19.94, 20.52 ve 21.82 cm gün⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Tuzlu-alkali toprağa uygulanan PVA ve bakteri uygulamalarının toprak özelliklerine etkileri.

Uygulama lar	pH ^{ns}	EC**	Değişebilir Na ⁺ yüzdesi**	Yıkanan Na ⁺ miktarı**	Hacim Ağırlığı**	Agregat Stabilitesi**	Hidrolik iletkenlik**
		mS cm ⁻¹	%	mg	g cm ⁻³	%	cm gün ⁻¹
K	9.31±0.01	14.82 ± 0.18a	51.76 ± 3.01a	4.44 ± 0.97d	1.15 ± 0.01a	8.22 ± 0.20c	0.02 ± 0.003b
PVA	9.29 ± 0.01	4.65 ± 0.46d	49.36 ± 1.54a	22.05 ± 0.17c	0.92 ± 0.0 b	50.41 ± 0.04b	19.61± 1.85a
X ₁	9.27 ± 0.01	10.33 ± 0.20b	47.83 ± 1.38ab	4.70 ± 3.38d	1.09 ± 0.02a	8.03 ± 0.04c	0.05 ± 0.01b
X ₂	9.24 ± 0.01	11.21 ± 0.47b	49.63 ± 4.48a	5.20 ± 0.05d	1.11 ± 0.02a	8.33 ± 0.04c	0.04 ± 0.01b
X ₃	9.25 ± 0.02	8.66 ± 0.49c	50.03 ± 1.72a	5.24 ± 0.34d	1.13 ± 0.003a	8.47 ± 0.04c	0.07 ± 0.01b
PVA+ X ₁	9.27 ± 0.01	3.43 ± 0.43e	38.56 ± 1.38c	25.63 ± 0.81bc	0.86 ± 0.003c	50.47 ± 0.57b	19.94 ± 0.68a
PVA+ X ₂	9.29 ± 0.01	2.38 ± 0.16ef	41.06 ± 1.12bc	28.78 ± 2.99ab	0.87 ± 0.01bc	51.85 ± 0.26a	20.52 ± 1.00a
PVA+ X ₃	9.24 ± 0.04	2.20 ± 0.19f	40.26 ± 1.84c	31.01 ± 0.91a	0.81 ± 0.02c	52.46 ± 0.19a	21.82 ± 2.43a

ns: önemsiz; **:p<0.01; K: KontrolPVA: polivinilalkol; X_{1,2,3}: Paucimonas lemoignei strain SK56 uygulama ve dozları

PVA uygulaması ile toprakta meydana gelen agregatlaşma nedeniyle toprak hacim ağırlığında istatistiksel olarak önemli düzeyde düşüşler tespit edilmiştir. Kontrol ile kıyaslandığında PVA uygulaması sonrasında hacim ağırlığında %20 oranında, PVA+bakteri uygulamasının dozlarında da sırasıyla %25, 24 ve 29 oranlarında azalışlar gerçekleşmiştir (Çizelge 2). Agregat stabilitesi ile hacim ağırlığı arasında çok önemli düzeyde negatif korelasyon (-.958**) belirlenirken, agregat stabilitesi ile hidrolik iletkenlik arasında önemli düzeyde pozitif korelasyon (.987**) tespit edilmiştir. Ayrıca, hacim ağırlığı ile hidrolik iletkenlik arasında çok önemli düzeyde negatif korelasyon (-.941**) tespit edilmiştir (Çizelge 3). Birçok araştırmacı tarafından yapılan çalışmalarda da PVA uygulamasının toprak strüktürel yapısı ve hidrolojik özelliklerini önemli düzeyde geliştirdiği vurgulanmaktadır (Kukul ve ark., 2007; Aksakal, 2009; Sarı, 2011; Kassım ve Özdemir, 2022).

Çizelge 3. Muamele sonrası toprak özellikleri arasındaki korelasyon ilişkisi.

	pH	EC	Değişebilir Na ⁺ yüzdesi	Yıkanan Na ⁺ miktarı	Hacim Ağırlığı	Agregat Stabilitesi	Hidrolik iletkenlik
pH	1						
EC	.089	1					
Değişebilir Na ⁺ yüzdesi	.037	.711**	1				
Yıkanan Na ⁺ miktarı	-.029	-.903**	-.708**	1			
Hacim Ağırlığı	.066	.921**	.763**	-.973**	1		
Agregat Stabilitesi	.061	-.916**	-.642**	.961**	-.958**	1	
Hidrolik iletkenlik	.070	-.902**	-.612**	.945**	-.941**	.987**	1

** :p<0.01

PVA ve PVA+bakteri uygulamaları topraktan yıkama ile uzaklaştırılan Na⁺ miktarını önemli düzeyde artırırken, sadece bakteri uygulamaları sonrasında yıkanan Na⁺ miktarındaki artışların önemsiz olduğu belirlenmiştir. Yıkama ile kontrol toprağından 4.44 mg Na⁺ uzaklaştırılabilirken, PVA uygulaması sonrasında

22.05 mg Na⁺'un yıkandığı ve kontrol ile kıyaslandığında 4.96 kat daha fazla Na⁺'un yıkanarak topraktan uzaklaştırıldığı belirlenmiştir. Bakteri uygulamasının X₁, X₂ ve X₃ dozlarında sırasıyla %5.6, 17.1 ve 18.0; PVA+bakteri uygulamasının PVA+X₁, PVA+X₂ ve PVA+X₃ dozlarında ise sırasıyla %5.77, 6.48 ve 6.98 kat daha fazla Na⁺ yıkanarak uzaklaştırılmıştır. Na⁺ iyonunun yıkanarak uzaklaştırılmasında en etkili muamelenin PVA+bakteri uygulamasının üçüncü dozunun olduğu ve dozlar arasında da istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılıklar olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2). PVA+bakteri uygulamalarında en fazla Na⁺'un yıkanarak uzaklaştırılmasında, PVA'nın toprağın strüktürel özellikleri geliştirmesi ve bakterilerin topraktaki Ca²⁺ iyonlarını çözerek değişim yüzeylerindeki daha fazla Na⁺ ile yer değiştirmesini sağlaması etkili olmuştur. Toprağın yıkama sonrasında belirlenen değişebilir Na⁺ değerleri bu ifadeyi doğrular niteliktedir. Değişebilir Na⁺ yüzdesi kontrolde %51.76 iken PVA uygulaması sonrasında %49.36 olarak belirlenmiş ve kontrole göre %4.6 oranında azalış gerçekleşmiştir. Sadece bakteri uygulamasının yapıldığı X₁, X₂ ve X₃ dozlarında değişebilir Na⁺'un kontrolden %7.6, 4.1 ve 3.3 oranlarında, PVA+bakteri uygulamasının PVA+X₁, PVA+X₂ ve PVA+X₃ dozlarında da %25.5, 20.5 ve 22.2 oranlarında daha düşük olduğu belirlenmiştir (Çizelge 2). Ayrıca, yıkanan Na⁺ miktarı ile değişebilir Na⁺ yüzdesi arasındaki çok önemli düzeydeki negatif korelasyonda (-.708**) yukarıdaki ifadelerle örtüşmektedir (Çizelge 3). Bu sonuçlar, Ca²⁺ çözücü bakterilerin PVA ile birlikte uygulandıklarında tuzlu alkali toprak sisteminde canlılıklarını ve aktivitelerini devam ettirerek toprağın ıslah sürecine önemli katkılar sağladığını göstermektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Tuzlu alkali toprakların ıslahında polivinilalkol ve bakteri uygulaması etkinliğinin araştırıldığı bu çalışmada; polivinilalkolün tuzlu-alkali toprağın agregat stabilitesini artırarak ve hacim ağırlığını düşürerek strüktürel yapısını iyileştirdiği, buna bağlı olarak toprağın hidrolik iletkenliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Islah sürecinin en önemli basamağı olan tuzların yıkanarak topraktan uzaklaştırılmasını kolaylaştırmıştır. Bakteri uygulaması toprak içerisinde çökelmiş durumdaki Ca²⁺ iyonlarının çözünürlüğünü ve değişim yüzeylerindeki Na⁺ ile yer değiştirmesini artırmıştır. Polivinilalkol ile birlikte bakteri uygulamasının tuzlu-alkali toprağın ıslahında tuzların ve Na⁺'un topraktan uzaklaştırılmasında önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir. Ca²⁺ çözünürlüğünü artıran bakteriler ile polivinilalkolün tuzlu-alkali toprakların ıslahında ıslah materyali olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı: Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti: Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

YAZAR ORCID NUMARALARI

Faruk TOHUMCU: <https://orcid.org/0000-0003-4092-4868>

Serdar SARI: <https://orcid.org/0000-0002-9990-7918>

Mesude Figen DÖNMEZ: <https://orcid.org/0000-0002-7992-8252>

KAYNAKLAR

- Aksakal, E.L. ve Öztaş, T. 2010. Effects of PVA, PAM and HA on mean weight diameter and wet aggregate stability of soils. 45. hrvatski i 5. Međunarodni simpozij agronoma, 15-19 veljače 2010, Opatija, Hrvatska. Zbornik Radova.
- Aksakal, E.L. 2009. Polimer (Pva&Pam) ve Hümik Asit (Ha) Uygulamalarının Donma Çözülme Süreçlerine Maruz Kalan Toprakların Stabilitate Ölçütleri Üzerine Etkileri. (Doktora Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Amezket, E., Aragüés, R. ve Gazol, R. 2005. Efficiency of sulfuric acid, mined gypsum, and two gypsum by-products in soil crusting prevention and sodic soil reclamation. *Agronomy Journal*, 97(3), 983-989.
- Angin, I., Aksakal, E.L., Sari, S. ve Alanyalioglu, M. 2022. Effective removal of sodium ion as efflorescence at soil surface using ammonium salts. *Journal of Environmental Management*, 320, 115842.
- Angin, I., Gurlek, A. ve Sari, S. 2021. The usability of hydrogel in increasing the efficiency of gypsum applied to saline-sodic soils. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 16(1).
- Anonim, 2006. T.C. Iğdır Valiliği. Iğdır İli Coğrafi Durum-Toprak Özellikleri. (<http://www.igdir.gov.tr/meridty.asp?id=23>).
- Bhargava, G.P., 1989. *Salt affected soils of India: A source book*. Oxford & IBH Publishing Co. Pvt. Ltd.: New Delhi.
- Chhabra, R. 2004. Classification of salt-affected soils. *Arid Land Research and Management*, 19, 61–79.

- Chiellini, E., Corti, A., ve Swift, G. 2003. Biodegradation of thermally-oxidized, fragmented low-density polyethylenes. *Polymer degradation and stability*, 81(2), 341-351.
- Dinç, U., Senol, S., Kapur, S., Cangir, C. ve Atalay, I., 2013. *Türkiye toprakları*. Çukurova Üniversitesi: Adana.
- FAO, 2017. FAO soils portal, salt-affected soils. Food and Agriculture Organization of the United States Web. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/management-of-some-problem-soils/salt-affected-soils/more-information-on-salt-affected-soils/en/> Accessed 01.July 2022.
- Ferreira A.C.C., Leite L.F.C, Araújo A.S.F ve Eisenhauer N. 2015. Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a semi-arid region of northeast Brazil. *Land Degradation & Development*. DOI: 10.1002/ldr.2282.
- Flint, L.E. ve Flint, A.L., 2002. *Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods, Porosity*. 5, 241-254.
- Gee, G. W. ve Or, D. 2002. 2.4 Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 4 physical methods*, 5, 255-293.
- Ghafoor, A., Gill, M. A., Hassan, A., Murtaza, G. ve Qadir, M. 2001. Gypsum: an economical amendment for amelioration of saline-sodic waters and soils and for improving crop yields. *Int. J. Agric. Biol*, 3(3), 266-275.
- Gökoğlu, B. ve Çaycı, G. 2021. Organik Materyal Kullanımının Alkali Bir Toprağın Bazı Islah Göstergeleri Üzerine Etkisi. *Toprak Su Dergisi*, 10(1), 60-67.
- Grossman, R.B. ve Reinsch, T.G., 2002. Methods of soil analysis: *Part 4 physical methods, Bulk density and linear extensibility*, 5, 201-228.
- Helmke, P. A., ve Sparks, D. L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods*, 5, 551-574.
- Huber, S., Prokop, G., Arrouays, D., Banko, G., Bispo, A., Jones, R.J.A., ...Verheijen, F. G. A. 2008. Environmental assessment of soil for monitoring: *Volume I indicators & criteria*. Luxembourg: EUR 23490 EN/1. Office for the Official Publications of the European Communities.
- Jones, R.J.A., Verheijen, F.G.A., Reuter, H.I., ve Jones, A.R. 2008. Environmental assessment of soil for monitoring volume V: Procedures & protocols. Luxembourg: EUR 23490 EN/5, Office for the Official Publications of the European Communities.
- Kassim, H., ve Özdemir, N. 2022. Polimer ve hümik asit uygulamalarının toprağın strüktürel gelişimi üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 10(1), 19-28.
- Kukul, S.S., Kaur, M., Bawa, S.S. ve Gupta, N. 2007. Water-drop stability of PVA-treated natural soil aggregates from different land uses. *Catena*, 70(3), 475-479.
- Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N. ve Abdelly, C. 2009. Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Journal of Hazardous Materials*, 171, 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat>.
- Lambers H. 2003. Dryland salinity: a key environmental issue in southern Australia. *Plant and Soil* 257: 5–7.
- Loeppert, R.H. ve Suarez, D.L. 1996. Carbonate and gypsum. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, 5, 437-474.
- Nelson, D.W. ve Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3. Chemical methods*, 5, 961-1010.
- Nimmo, J.R., ve Perkins, K.S. 2002. 2.6 Aggregate stability and size distribution. *Methods of soil analysis: part 4 physical methods*, 5, 317-328.
- Oster, J.D., ve Shainberg, I. 2001. Soil responses to sodicity and salinity: Challenges and opportunities. *Australian Journal of Soil Research*, 39, 1219–1224.
- Öztaş, T., Özbek, A.K., ve Aksakal, E.L. 2002. Structural developments in soil treated with Polyvinylalcohol. *In International Conference on Sustainable Land Use and Management. Soil Sci. Soc. of Turkey Int. Symp* (pp. 143-148).
- Painuli, D.K., ve Pagliai, M. 1990. Effect of polyvinyl alcohol, dextran and humic acid on some physical properties of a clay and loam soil. I. Cracking and aggregate stability. *Agrochimica*, 34(1-2), 117-130.
- Pandey V.C., Singh K, Singh B. ve Singh R.P. 2011. New approaches to enhance eco- restoration efficiency of degraded sodic lands: critical research needs and future prospects. *Ecological Restoration*, 29: 322–325.
- Power, J.F. ve W.A. Dick. 2000. Land application of agricultural, industrial, and municipal by-products. *SSSA Book Ser. 6*. SSSA, Madison, WI.
- 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.
- Reynolds, W.D. ve Elrick, D.E. 2002. Methods of Soil Analysis: *Part 4 Physical Methods*, 5, 844-858.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 417-435.

- Richards, L.A. 1954. Origin and nature of saline and alkali soils. In: Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agricultural Handbook* No:60, USDA, Washington, D.C., USA, 1-6.
- Sarı, S., Aksakal, E.L. ve Öztaş, T. 2019. Iğdır Üniversitesi Tarımsal Uygulama ve Araştırma Merkezi Deneme Alanı Toprak Özelliklerinin Yersel Değişim Paternlerinin Jeostatistiksel Yöntemlerle Belirlenmesi . *Journal of the Institute of Science and Technology* , 9 (4) , 2346-2363 . DOI: 10.21597/jist.598068
- Sarı, S. 2011. Iğdır Yöresi Tuzlu Ve Tuzlu-Alkali Topraklarının Islahında Polimerlerin (PVA&PAM) Kullanım Etkinliğinin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Erzurum.
- Sarı, S., ve Öztaş, T. 2017. Polivinilalkol (PVA) Uygulamasının Strüktürel Stabilitate Ölçütleri ve Yüzey Akış Kayıpları Üzerine Etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 48(1), 17-24.
- Saviozzi, A., Cardelli, R., ve Di Puccio, R. 2011. Impact of salinity on soil biological activities: a laboratory experiment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42(3), 358-367.
- SPSS 2004. SPSS Inc. SPSS® 13.0 Base User's Guide, Prentice Hall.
- Sumner, M.E. ve Miller, W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. *Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods*, USA, 5, 1201-1229.
- Temel, S., ve Şimşek, U. 2011. Iğdır Ovası toprakların çoraklaşma süreci ve çözüm önerileri. *Alinteri Journal of Agriculture Science*, 21(2), 53-59.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. *Methods of soil analysis: part 3 chemical methods*, USA, 5, 475-490.
- Wong, V.N.L., Dalal, R.C. ve Greene, R.S.B. 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: A laboratory incubation. *Applied Soil Ecology*, 41, 29–40. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil>
- Yılmaz, S., Dönmez, M.F. ve Çoruh, İ. 2020. Farklı lokasyonlarda yabancı bitki türlerinden izole edilen bakterilerin tanısı ve azot fikse etme, fosfor, potasyum ve kalsiyum çözüme özelliklerinin belirlenmesi. *Journal of Agriculture*, 3 (2), 71-90. DOI: 10.46876/ja.825647
- Zia-ur-Rehman, M., Murtaza, G., Qayyum, M.F., Saqib, M. ve Akhtar, J., 2017. Salt-affected soils: Sources, genesis and management. In: Sabir, M., Akhtar, J. & Hakeem, K.R. (eds) *Soil Science: Concepts & Applications*. University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan, pp 191-216.