



## The Effect of Wetting-Drying Cycles of Treated Wastewater on Hydraulic Conductivity in Stabilized Sewage Sludge and Gypsum Treated Saline-Sodic Soils

Hassan Abdalla Sabtow<sup>1,a</sup>, Fatih Mehmet Kızıloğlu<sup>1,b,\*</sup>

<sup>1</sup>Atatürk University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Erzurum, Türkiye

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 11/08/2022 Accepted : 18/08/2022</p> <p><b>Keywords:</b> Treated wastewater Hydraulic conductivity Gypsum Stabilized sewage sludge Saline sodic soil</p>	<p>This study was carried out to determine changes in hydraulic conductivity of a saline sodic soil subjected to different wetting-drying cycles and treated wastewater after stabilized sludge sewage and gypsum application. In a factorial experimental design, the study was conducted with three replication by using 3 treatment sewage sludge doses (50, 100 and 150 t ha<sup>-1</sup>), 3 wetting-drying cycles (0, 7 and 14 days) and 2 different water types (fresh water and treated wastewater). The hydraulic conductivity values of the saturated saline-sodic soils were measured at 2, 12 and 24 hour intervals by using a constant level ICW laboratory permimeter. The increase in the applied treatment sludge dose significantly affected the hydraulic conductivity value of the soils and significantly depending on the measurement range. It was determined that irrigation waters have different properties caused a significant change in the hydraulic conductivity value of the soils, with measurements made at intervals of 2 and 24 hours. Depending on the measurement interval, it was determined that the increase in sewage sludge doses caused significant effect and very important on the soil hydraulic conductivity. The study results indicated that the application of gypsum and stabilized waste sludge to the soil cause an increase in hydraulic conductivity values. The study results indicated that the application of gypsum and sewage sludge to the soil cause an increase in hydraulic conductivity values of saline sodic soils. The study results also showed that treated wastewater containing low amount of suspended solids can be used safely for irrigation on the land have saline-sodic soils. The study result also indicated that by applying solid and liquid wastes obtained from treatment units to the saline-sodic soils can be significant contribution in terms of waste management and environmental protection.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(9): 1741-1746, 2022

## Stabilize Kent Çamuru ve Jips Uygulanmış Tuzlu Sodyumlu Topraklarda Arıtılmış Atıksuyun Islanma-Kuruma Döngülerinin Hidrolik İletkenliğe Etkisi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 11/08/2022 Kabul : 18/08/2022</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> Arıtılmış atık su Hidrolik iletkenlik Jips Stabilize arıtma çamuru Tuzlu sodyumlu toprak</p>	<p>Bu araştırma; arıtılmış atık su ve stabilize kent çamurunun jipsle birlikte uygulandığı tuzlu sodyumlu bir toprağın farklı ıslanma - kuruma döngüleri altında hidrolik iletkenliğindeki değişimin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Araştırma; tam şansa bağlı faktöriyel deneme deseninde, 3 arıtma çamurunun dozu (50, 100 ve 150 t/ha), 3 ıslanma kuruma döngüsü (0, 7 ve 14 gün) ve 2 su tipi (temiz su ve arıtılmış atık su) ile 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Toprakların hidrolik iletkenlik değerleri sabit seviyeli ICW laboratuvar permeametri kullanılarak 2, 12 ve 24 saat aralıklarla ölçülmüştür. Toprağın suya doymun olduğu koşullarda, toprakların hidrolik iletkenlik değerleri sabit seviyeli ICW laboratuvar permeametri kullanılarak, doymun koşullarda farklı sürelerle (2, 12 ve 24 saat) ölçülmüştür. Kullanılan su özelliklerine bağlı olarak hidrolik iletkenlikteki (2 ve 24 saat) değişim önemli bulunmuştur. Uygulanan arıtma çamuru dozu artışı, toprakların hidrolik iletkenlik değerini önemli ölçüde, ölçüm aralığına bağlı olarak ise çok önemli ölçüde etkilemiştir. Kullanılan su tiplerine göre hidrolik iletkenlikteki değişim (2 ve 24 saat) önemli olurken, arıtma çamuru dozu artışıyla toprakların hidrolik iletkenlik içinde ölçüm süresine bağlı olarak önemli ve çok önemli değişimler tespit edilmiştir. Yani stabilize atık çamurunun karıştırılmasıyla normal sulama suyu ve arıtılmış atık su uygulamalarının toprakların hidrolik iletkenlik değerlerinde artışa neden olacağı belirlenmiştir. Sonuçlar; arıtma tesislerin katı ve sıvı atıkların tuzlu sodyumlu topraklara uygulanarak bertarafının atık yönetimi ve çevre koruma açısından katkıları önemli olacaktır.</p>

<sup>a</sup> [xasaan00@gmail.com](mailto:xasaan00@gmail.com)

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9492-7795> | [kiziloglu@atauni.edu.tr](mailto:kiziloglu@atauni.edu.tr)

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8493-2419>



## Giriş

Tuzlu topraklar; bünyelerinde bitki büyümesini ve gelişimini olumsuz yönde etkileyebilecek düzeyde çözünabilir tuz bulunduran topraklardır. Sodyumlu topraklar ise yüksek pH seviyesine sahip, bileşiminde yüksek miktarda değiştirilebilir sodyum bulunan topraklardır (Abrol ve ark., 1988). Sodyumlu ve tuzlu-sodyumlu topraklar çoğu ürünün gelişimini ve verimini olumsuz yönde etkiler ve toprakların fiziksel özelliklerinin bozulmasına neden olur (Sumner, 1993; Curtin ve Naidu, 1998).

Genellikle tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahında önce kimyasal ıslah maddelerinin uygulanması sonra da jips gibi yıkama işleminin yapılması gerekir. Tuzlu toprakların ıslahında yaygın geleneksel yöntem ise toprak profilde biriken tuzların yıkanarak uzaklaştırılmasıdır (Qadir ve ark., 2000). Yıkama işlemi toprak nem içeriğinin düşük, yeraltı suyu tablası düzeyinin derinde olduğunda yapılır. Tuzları yıkayabilmek için gerekli olan yıkama suyu miktarı, yıkama oranına bağlı olarak tahmin edilebilir (Abrol ve ark., 1988).

Tuzlu toprakların yeniden tarıma kazandırılabilmesi; ıslah ve etkin bir drenaj sisteminin kurulmasının yanında uygun bir sulama yönteminin uygulanarak toprak tuzluluğunun kontrol edilebilmesine bağlıdır. Öte yandan tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahı tuzluluktan daha karmaşıktır (Szabolcs, 1994).

Sodyumlu topraklar, hidrolik iletkenlikleri düşük olan topraklar olarak bilinir ve bu toprakların değişebilir sodyum oranı yüksektir. Tuzlu sodyumlu toprakların ıslahında en önemli sınırlama, yıkama suyunun miktarını da etkileyen düşük hidrolik iletkenlik değerleridir (Harker ve Mikalson, 1990). Çünkü toprağın dispers oluşu yüksek sodyum konsantrasyonu ile gelişen önemli bir fiziksel süreçtir. Dispersiyon sonucu dağılan kil parçacıkları toprak gözeneklerinin tıkanmasına neden olarak su hareketini sınırlandırır (Warrence ve ark., 2002). Dispers olan toprak gözeneklerindeki şişme ve kil parçacıklarının yayılma mekanizmaları topraklarda hidrolik iletkenliği azaltmada etkili olmaktadır (Quirk ve Schofield, 1955; Keren ve Singer, 1988). Tuzlu-sodyumlu koşullarda toprakların şişmesi ve dağılma sürecinde; kil tipine bağlı olarak toprak katı fazının bir toprak çözeltisi ile temas etmesi durumunda yoğun şişme veya dağılma durumu ortaya çıkar (Wong ve Ho, 1991; Armstrong ve Tanton, 1992; Sameni, 1997). Araştırmalar toprakların hidrolik iletkenliği düşüşün asıl nedeninin, yüksek oranda şişen montmorillonit kil içeriği olduğu, kaolinit kil ve seskioksitlerde hidrolik iletkenlik değerinin daha iyi olduğunu belirlemişlerdir (McNeal ve ark., 1966).

Sodyumlu toprakların ıslahı genelde değişebilir sodyum ile kalsiyum iyonlarının yer değiştirilmesi esasına dayanır. Bu amaçla ıslah maddesi olarak genelde jips kullanılır (Seenivasan ve ark., 2016). Jips doğadan temin edilebilen ucuz çözünabilir kalsiyum kaynağı (Dorivar ve DeAnn, 2017) olup, sodyumlu toprakların ıslahında kullanılan en yaygın ıslah maddesidir (Batarseh, 2017). Saha çalışmaları; tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahında jips uygulamasının, Na<sup>+</sup> iyonunun topraktan uzaklaştırılmasına destek olduğunu, toprağın elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorpsiyon oranını düşürdüğünü göstermiştir (Qadir ve ark., 2003; Hanay vd., 2004). Birçok araştırmacı da

toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini korumada yalnızca jips kullanımının yeterli olmadığını sonucunu ortaya koyarak organik madde kaynağı ile birlikte uygulanması daha uygun olabileceğini vurgulamışlardır (Sahin vd., 2002; Wahid ve ark., 1998; Ilyas ve ark., 1997; Ilyas ve ark., 1993; Gupta ve ark., 1985).

Dünyada arıtılmış atık suyun alternatif sulama suyu ve bitki besin kaynağı olarak kullanılması yaygınlaşmaktadır (Aşık vd., 1997; Yerli ve ark., 2022a) ve sulamada atık su kullanımı ise çok eski bir uygulamadır. Su kaynaklarının etkin kullanılmaması; günümüzde atık suları alternatif kaynak haline getirmiştir (Filibeli ve Yüksel, 1994; Yerli ve ark., 2022b). Arıtılmış atık su, ıslah için zengin organik madde içeriği bakımından yüksek potansiyele sahiptir. Arıtmadan sonra kullanılan atık su, yüksek verimi nedeniyle toprakların verim artmasına önemli ölçüde katkıda bulunabilmektedir. Atık çamuru ise iyi bir organik madde kaynağı olarak bilinmektedir. Atık çamurunun uygulamasının kolay ve temininin ucuz olması nedeniyle kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Atık çamur, endüstriyel tesisler veya belediye atık su tesislerinde atık su arıtımı sırasında üretilen bir katı üründür. Yüksek organik madde içeriği nedeniyle topraklarda havalanma, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi, toplam gözenek miktarı ve hidrolik iletkenlik gibi fiziksel özellikleri geliştirmek için kullanılan bir toprak düzenleyicidir (Sort ve Alcaniz, 1999; Aggelides ve Londra, 2000).

Bu çalışmada, farklı miktarlarda jips ilave edilmiş, değişik ıslanma-kuruma süreçlerine tabi tutulmuş ve farklı dozlarda stabilize arıtma çamuru kullanılarak atık suyla sulanmış tuzlu sodyumlu toprakların hidrolik iletkenlik değerlerindeki değişiklikler araştırılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

Araştırma materyali olan topraklar; tuzluluk ve sodyumluluk sorununun yoğun yaşandığı Iğdır Ovası'ndan alınmıştır. Ovanın 39.824 hektarlık alanda tuzluluk, 14.073 hektarlık alanda ise tuzluluk-sodyumluluk sorunu yaşanmaktadır (Temel ve Şimşek 2011). Toprağın alındığı alanın rakımı 850 metredir. Bölgenin uzun yıllar toplam yağış ortalaması 256,0 mm, buharlaşma 1.116,3 mm olup ortalama sıcaklık 12,1°C'dir (Anonim, 2017; Karaoğlu, 2011). Ovary temsilen tuzluluk ve sodyumluluk sorununun yoğun olduğu alanlardan (39° 53' 35" K; 44° 32' 00" D) alınan yüzey toprağı (0-30 cm) örnekleri, hava kurusu duruma gelecek şekilde kurutulduktan sonra 1 cm'lik elekten elenmiş ve deneme materyali olarak kullanılmıştır.

Denemede kullanılan stabilize edilmiş çamur Erzurum Büyükşehir Belediyesi Su Kanalizasyon İdaresi tarafından 2016 yılında kurulmuş atık su biyolojik arıtma tesisinden alınmıştır. Stabilize edilmiş kent çamuru ve tuzlu sodyumlu toprakların bazı önemli fiziksel (tekstür, kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, ve ıslak agregat stabilitesi) ve kimyasal (pH, EC, organik madde, CaCO<sub>3</sub>, KDK, değişebilir Na, değişebilir Ca ve ESP) özellikleri laboratuvar koşullarında belirlenmiştir (Çizelge 1). Araştırmada farklı sulama suyu kalitelerinde iki farklı su kullanılarak ıslanma-kuruma döngüleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan suların biri biyolojik arıtılmış kentsel atık su, diğeri ise normal sulama suyudur. Erzurum Su ve Kanalizasyon İşleri Genel

Müdürlüğü Arıtma Tesisleri Dairesi Başkanlığı bünyesindeki Erzurum-Aziye-Ilıca'da yer alan biyolojik atık su arıtma tesisinden atık su temin edilerek sulama suyu olarak kullanılmıştır. Bu sui le normal temiz sulama suyunun bazı özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir (Anonim, 2016).

Araştırma tam şansa bağlı faktoriyel deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Kovda Eşitliği ile belirlenmiş miktarlarda jips ile 50, 100 ve 150 ton/ha dozlarında stabilize arıtma çamuru karıştırılmış topraklar deney kaplarına (54 adet) yerleştirilerek bir ay süre ile inkübasyona tabi tutulmuştur. Kontrol konularına stabilize atık çamur ilave edilmemiştir.

Deneme toprakları kuruduktan sonra 1 cm'lik bir elekten elenmiş, daha sonra 15 cm × 15 cm yüzey alanına sahip ve 20 cm derinliğindeki plastik kaplara alınmış, kapların tabanına 1 cm boyutlarında kum – çakıl yerleştirilerek etkin drenaj koşulları sağlanmıştır. Kum-çakıl malzeme üzerine 10 cm derinliğinde 50, 100 ve 150 ton/ha dozlarında stabilize kent çamuru ile jips uygulanmış hava kurusu topraklar doldurmuştur (Şekil 1). Jips

materyali ince öğütülerek (< 0,25 mm) 2-3 cm derinlikteki yüzey toprak tabakasına karıştırılmıştır (Munsuz ve ark., 2001). Teorik jips gereksinimi topraktaki sodyumluluk sorununun düzeyi de dikkate alınarak aşağıda verilen Kovda Eşitliği ile 15 cm derinlikteki değişebilir sodyum yüzdesini 15'e indirecek şekilde aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Kanber ve Ünlü, 2010).

$$GR=(EA \times 10-5) \times E/A \times Ds \times \Upsilon s [ESP_i-ESP_f 100] \times KDK$$

Eşitlikte; GR; jips gereksinimi (ton/da), EA; eşdeğer ağırlık (jips için; 86), A; alan (m<sup>2</sup>), DS; toprak derinliği (m),  $\Upsilon$ S; hacim ağırlığı (g/cm<sup>3</sup>), ESP<sub>i</sub>; başlangıçtaki değişebilir sodyum yüzdesi (%), ESP<sub>f</sub>; bitişteki değişebilir sodyum yüzdesi (%) ve KDK; kation değişim kapasitesi (me/100 g)'dir. Deneme kaplarına sulama uygulamaları 7 gün (10 sulama) ve 14 günde bir (5 sulama) seçilmiş, kontrol konusunda sulama yapılmamıştır. Uygulanacak olan sulama suyu miktarları kaplar tartılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Toprak ve stabilize arıtma çamurunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Table 1. Physical and chemical properties of soil and stabilized sewage sludge used in the experiment

Parametreler	Toprak	Arıtma çamuru
pH	10,36	7,15
Elektrik iletkenlik (dS/m)	44,2	8,71
Organik madde (%)	0,19	38,65
Kireç (%)	9,78	1,95
Kasyon Değişim Kapasitesi (KDK) (me/100 g)	28,43	59,13
Değişebilir Na (me/100 g)	22,23	37,39
Değişebilir Ca (me/100 g)	10,71	14,35
Suda Çözünebilir Na (me/100 g)	4,83	-
Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) (%)	61,25	-
Kil (%)	23,6	-
Silt (%)	34,0	-
Kum (%)	42,4	-
Bünye	Tın	-
Tane Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	2,62	-
Kütle Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	1,26	-
Porozite (%)	51,94	-
Agregat stabilitesi (%)	Çok düşük	-

Çizelge 2. Araştırmada kullanılan sulama suyunun özellikleri

Table 2. Some properties of irrigation water used in the research

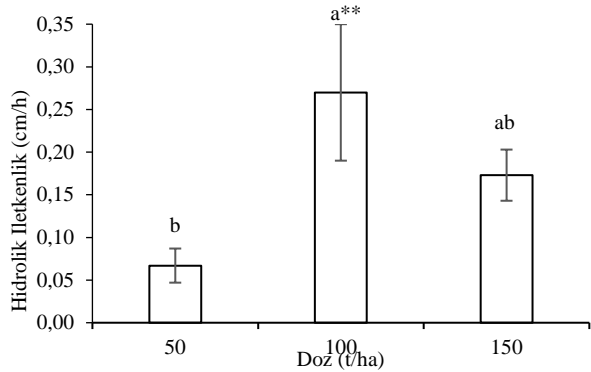
Parametreler	Temiz su	Arıtılmış atık su
pH	7,58	7,47
pHc	7,70	7,43
Langelier Saturasyon İndeksi	-0,12	+0,04
Elektriksel iletkenlik (dS/m)	0,329	0,679
Askıda katı madde (mg/l)	-	20,3
Kasyonlar (me/l)		
Na	0,65	2,70
K	0,14	0,62
Mg	1,15	1,53
Ca	1,33	1,97
Anyonlar (me/l)		
CO <sub>3</sub>	-	-
HCO <sub>3</sub>	2,12	3,65
Cl	0,54	1,57
SO <sub>4</sub>	0,60	1,34
NO <sub>3</sub>	-	0,27
SAR	0,58	2,04



Şekil 1. Deney kaplarına toprakların yerleştirilmesi  
Figure 1. Putting soils in test containers

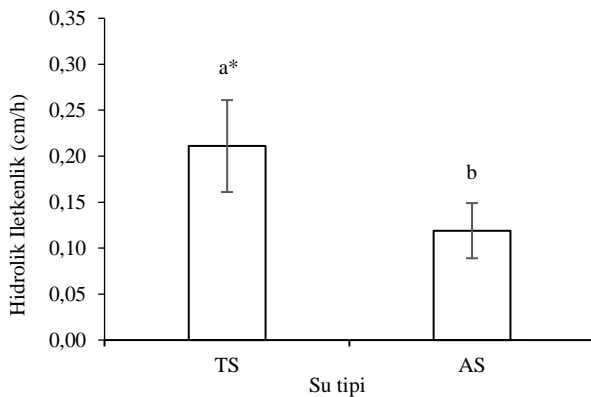


Şekil 2. Hidrolik iletkenliğin ölçülmesi  
Figure 2. Measurement of hydraulic conductivity



Şekil 3. Hidrolik iletkenlik (2 saat) değerinin doz artışı ile değişimi (\*\*P<0,01)

Figure 3. Changes in 2-hour hydraulic conductivity values with the increase in treated sewage sludge doses (\*\*P<0.01)



Şekil 4. Hidrolik iletkenlik (2 saat) değerinin su tipi ile değişimi (\*P<0,05)

Figure 4. Changes in 2-hour hydraulic conductivity values depending on water properties (\*P<0.05)

Deneme öncesi toprağın tane büyüklük dağılımı Bouyoucos hidrometre yöntemiyle, deneme öncesi ve sonrasında toprakların tane yoğunluğu piknometre yöntemiyle (Blake ve Hartge, 1986), kütle yoğunluğu silindir yöntemiyle, porozite hesap yöntemiyle, ıslak agregat stabilitesi Yoder tipi ıslak eleme aletiyle (Demiralay, 1993) belirlenmiştir. Toprakların hidrolik iletkenlik sabit seviyeli ICW laboratuvar permeametri kullanılarak (Şekil 2) doymun koşullarda ve farklı aralıklarla (2, 12 ve 24 h) ölçülmüş, aşağıdaki Darcy eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Sahin ve ark., 2011).

$$K_s = \frac{VL}{thF}$$

Eşitlikte; K<sub>s</sub>; satire koşullardaki hidrolik iletkenlik (cm/h), V; belirli bir sürede örneklerden geçen su miktarı (cm<sup>3</sup>), L; bozulmamış toprak örneğinin boyu (cm), t; süre (h), h; sabit potansiyometrik yük (cm) ve F; bozulmamış toprak örneğinin kesit alanını (cm<sup>2</sup>) göstermektedir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar SPSS istatistik paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuş, ortalamalar arasındaki farklılıklar Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ile belirlenmiştir (Yurtsever, 1984).

## Bulgular ve Tartışma

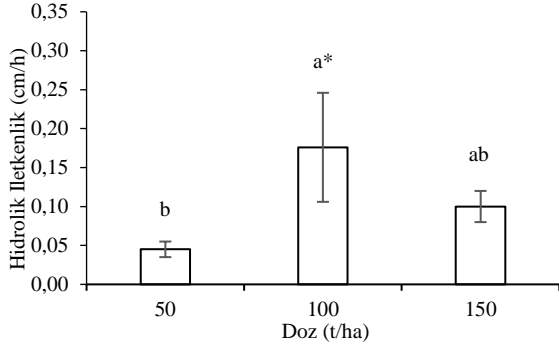
Deneme topraklarına yapılan uygulamaların sonrasında toprakların kütle yoğunluğu ve hidrolik iletkenlik özelliklerinde çok önemli (P<0,01) ve önemli düzeyde (P<0,05) değişkenlikler gözlenirken, ıslak agregat stabilitesi, tane yoğunluğu ve porozite üzerinde etkiler sınırlı kalmıştır (Şekil 3).

Tuzlu-sodyumlu toprakta 2, 12 ve 24 h'lik hidrolik iletkenlik değerleri üzerine doz artışı ve su tipi çok önemli (P<0,01) ve önemli (P<0,05) düzeyde etki etmiştir (Şekil 3-7). En düşük dozda arıtma çamuru uygulamasında 2, 12 ve 24 h'lik süreler için hidrolik iletkenlik değerleri Şekil 3'teki kontrol konusu değerine göre sırasıyla 1,06, 1,25 ve 1,16 kat artmıştır. 100 t/ha dozda bu artışlar sırasıyla 4,3, 4,9 ve 4,2 kat, en yüksek yüksek dozda (150 t/ha) ise 2,8, 2,8 ve 2,3 kat olarak gerçekleşmiştir (Şekil 3-5). Arıtma çamuruyla ortama giren organik maddenin etkisiyle gelişen agregasyon hidrolik iletkenlikte iyileşmeyi sağlamıştır (Şekil 3). En yüksek dozda görülen azalma ise organik maddenin gözenek büyüklük dağılımını etkilemesiyle açıklanabilir (Jnad ve ark., 2001; Schneider ve ark., 2009; Ferreira ve ark., 2011). Yine atık su uygulandığı koşullarda suda çözünmüş organik maddenin yukarıda bahsedilen gözenek büyüklük dağılımı üzerine etkisinin kısa süreçte hidrolik iletkenliği azaltabileceği söylenebilir (Şekil 5- 6). Ayrıca atık suyla ortama giren sedimentinde kısmen gözeneklerde daralma yaratarak bu sonucu ortaya çıkarabileceği de düşünülmektedir (Şekil 3).

## Sonuç

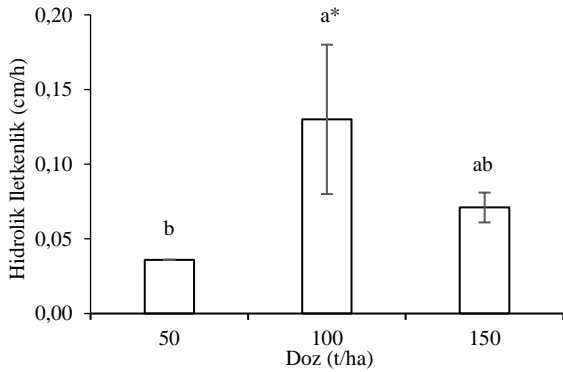
Iğdır bölgesinden temin edilen tuzlu-sodyumlu bir toprak kullanılarak jips karıştırılmış koşullarda 3 farklı arıtma çamuru dozu (50, 100 ve 150 t/ha), 3 farklı sulama aralığı (0, 7 ve 14 gün) ve 2 su tipinin (temiz su ve arıtılmış atık su) toprak hidrolik iletkenlik üzerine etkileri laboratuvar koşullarında kurulmuş bir denemeye

incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar tuzlu sodyumlu bir toprağa yüksek dozda arıtma çamurunun karıştırılmasıyla toprağın hidrolik iletkenlik değerlerinin iyileşebileceğini ortaya koymuştur. Böylece arıtma tesislerinden elde edilen katı ve sıvı atıkların tuzlu sodyumlu toprakların hidrolik özelliklerini iyileştirebileceği aynı zamanda atıkların betrafının daha iyi sağlanabileceği, böylece atık yönetimi ve çevre koruma açısından önemli katkıların ele alınabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



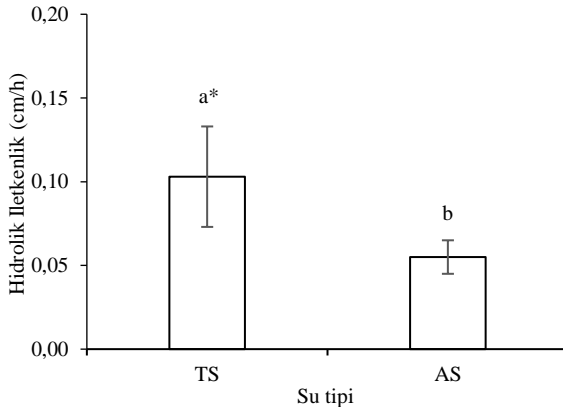
Şekil 5. Hidrolik iletkenlik (12 saat) değerinin doz artışı ile değişimi (\*P<0,05)

Figure 5. Changes in 12-hour hydraulic conductivity values with the increase in treated sewage sludge doses (\*P<0.05)



Şekil 6. Hidrolik iletkenlik (24 saat) değerinin doz artışı ile değişimi (\*P<0,05)

Figure 6. Changes in 12-hour hydraulic conductivity values with the increase in treated sewage sludge doses (\*\*P<0.05)



Şekil 7. Hidrolik iletkenlik (24 saat) değerinin su tipi ile değişimi (\*P<0,05)

Figure 7. Changes in 24-hour hydraulic conductivity values depending on water properties (\*P<0.05)

## Teşekkür

Bu çalışmaya FYL-2018-6899 proje numarası ile destek veren Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne maddi katkılarından dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

## Kaynaklar

- Abrol IP, Yadav JSP, Massoud FI. 1988. Salt-affected Soils and Their management. FAO Soils Bulletin, Soil Resources, Management and Conservation Service, FAO Land and Water Development Division.
- Aggelides SM, Londra PA. 2000. Effects of compost produced from own wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. Bioresource Technology, 71: 253-259.
- Anonim, 2016. Erzurum Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Tanıtım El Kitabı. Erzurum Büyükşehir Belediyesi, ESKİ Genel Müdürlüğü, Arıtma Tesisleri, Daire Başkanlığı, Erzurum.
- Anonim, 2017. Erzurum İli İklim ve Verileri. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Armstrong ASB, Tanton TW. 1992. Gypsum applications to aggregated salinesodic clay topsoil. Journal Soil Science, 43: 249-260.
- Aşık Ş, Avcı M, Balcı A. 1997. Atık suların sulamada kullanım stratejileri. 6. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri Kitabı, Bursa, 5-8 Haziran 1997, pp. 564-576.
- Batarseh M, 2017. Sustainable management of calcareous saline-sodic soil in arid environments: The leaching process in the Jordan Valley. Applied and Environmental Soil Science, 1092838.
- Curtin Da, Naidu R. 1998. Fertility Constraints to Plant Production. In: Sumner M, Naidu R (editors). Sodic Soils: Distribution, Properties, Management and Environmental Consequences. Oxford University Press.
- Demiralay İ. 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum, No: 143.
- Dorivar Ruiz D, DeAnn P. 2017. Management of Saline and Sodic Soils. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. www.bookstore.ksre.ksu.edu
- Ferreira SRDM, Oliveira JTRD, Messias AS, Silva HA, Nascimento AED, Feitosa MCA. 2011. Hydraulic conductivity and soil-sewage sludge interactions. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35 (5): 1569-1577.
- Filibeli A, Yüksel N. 1994. Tarımsal sulama suyu ihtiyacı için atık su potansiyelinin değerlendirilmesi. Gökova Körfezi Çevre Sorunları ve Çevre Yönetimi Sempozyumu. pp. 139-152.
- Gupta RK, Bhumbla DR, Abrol IP. 1985. release of exchangeable sodium from a sodic soil upon amendment application role of variable charge and exchangeable cation hydrolysis. Soil Science, 139: 312-317.
- Hanay A, Büyüksönmez F, Kızıloğlu FM, Canbolat MY. 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. Compost Science & Utilization, 12 (2): 175-179.
- Harker, DB, Mikalson DE. 1990. Leaching of a highly saline-sodic soil in southern Alberta; A laboratory study. Canadian Journal of Soil Science, 70: 509-514.
- Ilyas M, Qureshi RH, Qadir MA. 1997. Chemical changes in a saline - sodic soil after gypsum application and cropping. Journal of Soil Technology, 10: 247-260.
- Ilyas M, Miller RW, Qureshi RH. 1993. Hydraulic conductivity of saline-sodic soil after gypsum application and cropping. Soil Science Society of America J., 57: 1580-1585.
- Jnad I, Lesikar B, Kenimer A, Sabbagh G. 2001. Subsurface drip dispersal of residential effluent: II. soil hydraulic characteristics. Transactions of the ASAE, 44 (5), 1159-1165.

- Karaoğlu M. 2011. Ziraî meteorolojik açıdan Iğdır iklim etüdü. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 1, 97-104.
- Keren R, Singer MJ. 1988. Effect of electrolyte concentration on hydraulic conductivity on Na/Ca-montmorillonite sand systems. *Soil Science Society of America J.*, 52:368-373.
- McNeal BL, Coleman NT. 1966. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Science Society of America, Proceedings*, 30: 308-312.
- Munsuz N, Çaycı G, Sözüdoğru OS. 2001. Toprak Islahı ve Düzenleyiciler (Tuzlu ve Alkali Toprakların Islahı). Ankara Üni. Ziraat Fakültesi Yayınları, 1518, Ankara, No: 471.
- Qadir M, Ghafoor A, Murtaza G. 2000. Amelioration strategies for saline soils: a review. *Land Degrad Dev* 11: 501-521.
- Qadir MD, Steffens F, Yan S, Schubert S. 2003. Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degradation and Development*, 14 (3): 301-307.
- Quirk JP, Schofield RK. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *Journal of Soil Science*, 6: 163-178
- Sahin U, Eroğlu S, Sahin F. 2011. Microbial application with gypsum increases the saturated hydraulic conductivity of saline-sodic soils. *Applied Soil Ecology*, 48 (2): 247-250.
- Sahin, U, Anapali O, Hanay A. 2002. The effect of consecutive applications of leaching water applied in equal, increasing or decreasing quantities on soil hydraulic conductivity of a saline sodic soil in the laboratory. *Soil Use and Management* 18: 152-154.
- Sameni, AM. 1997. The reclaiming effects of gypsum on the structure and hydraulic conductivity of different saline-sodic soils. In: *Proceedings of the International Conference on Land Reclamation and Rehabilitation*, Penang, Malaysia, 25-27 August 1997, pp. 95-106.
- Schneider S, Coquet Y, Vachier P, Labat C, Roger-Estrade J, Benoit P, Pot V, Houot S. 2009. Effect of urban waste compost application on soil near-saturated hydraulic conductivity. *Journal of Environmental Quality*, 38 (2): 772-781.
- Seenivasan R, Prasath V, Mohanraj R. 2016. Sodic Soil Reclamation in a Semi-Arid Region Involving Organic Amendments and Vegetative Remediation by *Casuarina equisetifolia* and *Erianthus arundinaceus*. *Environmental Processes*, 3: 431-449.
- Sort X, Alcaniz JM. 1999. Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. *Land Degradation and Development*, 10: 3-12.
- Sumner ME. 1993. *Methods of Soil Analysis – Part 3. Chemical methods*. American Society.
- Szabolcs I. 1994. The concept of soil resilience. Soil resilience and sustainable land use. In: Greenland, D.J. and Szabolcs, I., Eds., CAB International and Willingford, 33-39.
- Temel S, Şimşek U. 2011. Iğdır ovası toprakların çoraklaşma süreci ve çözüm önerileri. *Alinteri Dergisi*, 21(B): 53-59.
- Wahid A, Akhtar S, Ali I, Rasul E. 1998. Amelioration of saline-sodic soils with organic matter and their use for wheat growth. *Com. in Soil Science and Plant Analysis*, 29: 2307-2318.
- Warrence NJ, Bauder JW, Pearson KE. 2002. *The Basics of Salinity and Sodicity Effects on Soil Physical Properties*. The Department of Land Resources and Environmental Science, Montana State University – Bozeman, USA.
- Wong, JWC, Ho GE. 1991. Effects of gypsum and sewage sludge amendment on physical properties of fine bauxite refining residue. *Soil Sci.* 152:326-332.
- Yerli C, Sahin U, Kiziloglu FM, Oztas T, Ors S. 2022 a. Deficit irrigation with wastewater in direct sowed silage maize reduces CO<sub>2</sub> emissions from soil by providing carbon savings. *Journal of Water and Climate Change*, 13 (7): 2837-2846.
- Yerli C, Sahin U, Oztas T. 2022 b. CO<sub>2</sub> emission from soil in silage maize irrigated with wastewater under deficit irrigation in direct sowing practice. *Agricultural Water Management*, 271: 107791.
- Yurtsever N. 1984. *Deneysel İstatistik Metotları. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları*, Ankara, No: 121.