



**ATIK SUYLA ISLANMA-KURUMA SÜREÇLERİNE
TABİ TUTULMUŞ VE STABİLİZE ATIK ÇAMUR
KARIŞTIRILMIŞ TUZLU SODYUMLU
TOPRAKLARIN HİDROLİK İLETKENLİKLERİNDEKİ
DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ**

Hassan ABDALLA SABTOW

**Yüksek Lisans Tezi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU
2019**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ATIK SUYLA ISLANMA-KURUMA SÜREÇLERİNE TABİ
TUTULMUŞ VE STABİLİZE ATIK ÇAMUR KARIŞTIRILMIŞ
TUZLU SODYUMLU TOPRAKLARIN HİDROLİK
İLETKENLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ**

Hassan ABDALLA SABTOW

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

ATIK SUYLA ISLANMA-KURUMA SÜREÇLERİNE TABİ TUTULMUŞ VE
STABİLİZE ATIK ÇAMUR KARIŞTIRILMIŞ TUZLU SODYUMLU
TOPRAKLARIN HİDROLİK İLETKENLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN
BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU danışmanlığında, Hassan ABDALLA SABTOW tarafından hazırlanan bu çalışma, 09/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU

İmza :

Üye : Doç. Dr. Sebahatin KAYA

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 19.09.2019 tarih ve 37.../47... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP, projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2018-6899

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATIK SUYLA ISLANMA-KURUMA SÜREÇLERİNE TABİ TUTULMUŞ VE STABİLİZE ATIK ÇAMUR KARIŞTIRILMIŞ TUZLU SODYUMLU TOPRAKLARIN HİDROLİK İLETKENLİKLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ

Hassan ABDALLA SABTOW

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU

Bu çalışma; arıtılmış atık su ve stabilize kent çamurunun jipsle birlikte uygulandığı tuzlu sodyumlu bir toprağın farklı ıslanma kuruma döngüleri altında fiziksel ve kimyasal özellikleri ile hidrolik iletkenliğindeki değişimin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Araştırma; tam şansa bağlı faktoriyel 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. Deneme süreci sonunda toprağın bazı fiziksel (kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, ıslak agregat stabilitesi ve hidrolik iletkenlik) ve kimyasal (pH, EC, organik madde, CaCO₃, katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir Na, değişebilir Ca ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP)) özellikleri belirlenmiştir.

Arıtma çamuru karıştırılmamış ve sulanmamış konuya göre 50, 100 ve 150 t/ha atık çamur karıştırılmış konularda pH, CaCO₃, değişebilir Na, KDK, ESP, kütle yoğunluğu ve tane yoğunluğunda azalmalar gözlenirken, organik madde ve değişebilir Ca değerlerinde artışlar tespit edilmiştir. Stabilize arıtma çamurunun 50, 100 ve 150 t/ha düzeyli uygulamalarında, toprağın pH değerlerinde sırasıyla %3,7, %9,8 ve %10,4, ESP değerlerinde ise %5, %11,9, %15,4 azalma olurken, EC değerlerinde önemli değişim olmamıştır. 0, 7 ve 14 günlük sulama aralıklarında pH, değişebilir Na, KDK, ESP ve kütle yoğunluğu değerleri azalırken, organik madde ve değişebilir Ca miktarı artmıştır. Normal sulama suyu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla KDK azalırken değişebilir Ca ve hidrolik iletkenlik değerlerinde artış gözlenmiştir.

Bu sonuçlar tuzlu sodyumlu bir toprağa yüksek dozda arıtma çamuru uygulanmasıyla toprağın ESP ile hidrolik iletkenlik değerlerinin iyileştirebileceğini ortaya koymaktadır. Yine sonuçlar uygulanan organik madde miktarı artışıyla agregat stabilitesinin de artacağını ve CaCO₃ içeriğinin zamanla azalacağını göstermiştir. Sulama aralıklarının artmasıyla bu etkinin daha da artacağı beklenir. Araştırma sonuçları; askıda katı madde içerikleri düşük arıtılmış atık suların orta derecede tuzlu topraklarda güvenle kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu nedenle araştırma sonuçları; arıtma tesislerinden elde edilen katı ve sıvı atıkların tuzlu sodyumlu topraklara uygulanmasıyla atık yönetimi ve çevre koruma açısından önemli katkıları olabileceğini ortaya koymuştur.

2019, 54 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Tuzlu sodyumlu toprak, stabilize arıtma çamuru, arıtılmış atık su, hidrolik iletkenlik, kütle yoğunluğu, porozite, değişebilir sodyum yüzdesi

ABSTRACT

MS Thesis

DETERMINATION OF CHANGES IN HYDRAULIC CONDUCTIVITY IN SALINE-SODIC SOILS THAT HAVE BEEN SUBJECTED TO WETTING- DRYING PROCESSES WITH WASTE WATER AND MIXED WITH STABILIZED SEWAGE SLUDGE

Hassan ABDALLA SABTOW

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU

The aim of this study was to determine the changes in physical and chemical properties and hydraulic conductivities under different wetting-drying cycles of a saline-sodic soil treated with wastewater, stabilized sewage sludge and gypsum. 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), 3 wetting-drying cycles (0, 7 and 14 days) and 2 different water types (fresh and treated wastewater). Some physical properties (bulk density, particle density, porosity, wet aggregate stability and hydraulic conductivity) and chemical properties (pH, EC, organic matter, CaCO₃, cation exchange capacity (CEC), exchangeable Na, exchangeable Ca and exchangeable sodium percentage (ESP)) of soil were determined at the end of the study.

According to non-mixed sewage sludge and non-irrigated treatment of 50, 100 and 150 t/ha mixed sewage sludge doses pH, CaCO₃, exchangeable Na, CEC, ESP, bulk density and particle density decreased while increases were observed in organic matter and exchangeable Ca values. In the applications doses of stabilized sewage sludge 50, 100 and 150 t / ha, the soil pH values were decreased by 3.7%, 9.8% and 10.4% and ESP values decreased by 5%, 11.9% and 15.4%, respectively while there were no significant changes in EC values. In the irrigation intervals of 0, 7 and 14 days, pH, exchangeable Na, CEC, ESP and bulk density values decreased while organic matter and exchangeable Ca amount increased. CEC values were decreased with normal irrigation water and treated wastewater applications, while exchangeable Ca and hydraulic conductivity values increased.

These results suggest that applying a high dose of sewage sludge to a saline-sodic soil sodium soil can improve soil hydraulic conductivity and soil ESP. At the same time the study results showed that the aggregate stability would increase by the increase in the amount organic matter application while the CaCO₃ content would decrease over time. It is expected that to further increase in this effect with increasing irrigation intervals. The study results showed that treated wastewater with low amount of suspended solids can be safely used for irrigating medium level of saline-sodic soils. Therefore; the study result 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.

2019, 54 pages

Key Words: Saline-sodic soil, stabilized sewage sludge, treated wastewater, hydraulic conductivity, bulk density, porosity, exchangeable sodium percentage.

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi tarafından FYL-2018-6899 numaralı projeye desteklenmiştir.

Projenin yürütülmesinde, tezin yazmında her türlü yardım ve katkıyı sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Fatih M. KIZILOĞLU'na, birikim ve tecrübesi ile bana ıŐık tutan ve yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Üstün ŞAHİN'e, Sayın Doç. Dr. Selda ÖRS CIRIK'a, Sayın Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT'a, Laborant Cihan VURAL'a arkadaŐım Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU'ya destek ve katkıları için teşekkür ederim.

Son olarak, YurtdıŐı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na, Türkiye Bursları programı tarafından bana bu mükemmel fırsat verdiği için teŐekkürü bir borç bilirim.

Hassan ABDALLA SBTOW

Ağustos, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Tuzlu-Sodyumlu Topraklar	4
2.2. Tuzlu-Sodyumlu Toprakların Dağılımı	6
2.3. Tuzlu Toprakların Islahı	8
2.3.1. Jips uygulanarak tuzlu toprakların ıslahı.....	8
2.3.2. Arıtma çamuru uygulamaları.....	10
2.3.3. Toprak ıslahında arıtılmış atık su kullanımı.....	10
2.4. Tuzlu-Sodyumlu Topraklarda Hidrolik İletkenlik	12
3. MATERYAL ve METOD.....	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Deneme yeri	14
3.1.2. Toprak örneğinin alındığı yörenin coğrafi konumu ve iklim özellikleri.....	14
3.1.3. Toprak özellikleri	16
3.1.4. Sulama suyu ve arıtılmış atık çamur	17
3.2. Yöntem	18
3.2.1. Deneme deseni ve kurulması.....	18
3.2.2. Toprak örneklerinde yapılan analizler.....	19
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	22
4.1. Toprak Kimyasal Özellikleri	22
4.2. Toprak Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri	33
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	41
KAYNAKLAR	44

EKLER.....	52
EK 1.....	52
EK 2.....	54
ÖZGEÇMİŞ	55



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Arazi alanı (m ²)
DS	: Toprak derinliği (m)
EA	: Eşdeğer ağırlık
EC	: Elektriksel iletkenlik (dS/m)
EDTA	: Etilendiamin tetra asetik Asit
ESP	: Değişebilir sodyum yüzdesi (%)
ESPf:	: Bitişteki değişebilir sodyum yüzdesi (%)
ESPi	: Başlangıçtaki değişebilir sodyum yüzdesi (%)
F	: Bozulmamış toprak örneğinin kesit alanı (cm ²)
GR	: Jips gereksinimi (ton/da)
VS	: Hacim ağırlığı (g/cm ³)
h	: Sabit potansiyometrik yükü (cm)
KDK	: Katyon değişim kapasitesi (me/100 g)
Ks	: Satüre hidrolik iletkenlik (cm/h)
L	: Bozulmamış toprak örneğinin boyu (cm)
SAR	: Sodyum adsorbsiyon oranı
t	: Süreyi (h)
V	: Belirli bir sürede örneklerden geçen su miktarı (cm ³)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Toprak örneğinin alındığı alan.....	15
Şekil 3.2. Deney kaplarına toprakların yerleştirilmesi.....	19
Şekil 3.3. Agregat stabilitesinin belirlenmesi	20
Şekil 3.4. Hidrolik iletkenliğin ölçülmesi	20
Şekil 4.1. pH değerlerinin doz artışı ile değişimi	23
Şekil 4.2. pH değerlerinin sulama aralıkları ile değişimi	24
Şekil 4.3. Organik madde içeriğinin doz artışı ile değişimi.....	25
Şekil 4.4. Organik madde içeriğinin sulama aralıkları ile değişimi	26
Şekil 4.5. CaCO ₃ içeriğinin arıtma çamur dozları ile değişimi.....	26
Şekil 4.6. Değişebilir Na içeriğinin doz artışı ile değişimi	27
Şekil 4.7. Değişebilir Ca içeriğinin doz artışı ile değişimi	28
Şekil 4.8. Değişebilir Na içeriğinin sulama aralıkları ile değişimi	29
Şekil 4.9. Değişebilir Ca içeriğinin sulama aralıkları ile değişimi	29
Şekil 4.10. Katyon değişim kapasitesinin (KDK) doz artışı ile değişimi	30
Şekil 4.11. Katyon değişim kapasitesinin (KDK) su tipi ile değişimi	31
Şekil 4.12. Katyon değişim kapasitesinin (KDK) sulama aralıkları ile değişimi	31
Şekil 4.13. Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerinin doz artışı ile değişimi	32
Şekil 4.14. Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerinin sulama aralıkları ile değişimi	33
Şekil 4.15. Kütle yoğunluğu değerinin doz artışı ile değişimi.....	35
Şekil 4.16. Kütle yoğunluğu değerinin sulama aralıkları ile değişimi	36
Şekil 4.17. Hidrolik iletkenlik (2 saat) değerinin doz artışı ile değişimi	38
Şekil 4.18. Hidrolik iletkenlik (2 saat) değerinin su tipi ile değişimi	38
Şekil 4.19. Hidrolik iletkenlik (12 saat) değerinin doz artışı ile değişimi	39
Şekil 4.20. Hidrolik iletkenlik (24 saat) değerinin doz artışı ile değişimi	39
Şekil 4.21. Hidrolik iletkenlik (24 saat) değerinin su tipi ile değişimi	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Tuzlu toprakların sınıflandırılması	4
Çizelge 2.2. Tuzluluk sorunu olan toprakların kıtasal dağılımı.....	7
Çizelge 2.3. Türkiye’de sorunlu toprakların dağılımı.....	7
Çizelge 3.1. Iğdır ilinin iklimsel verileri.....	15
Çizelge 3.2. Toprak ve Stabilize arıtma çamurun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	16
Çizelge 3.3. Araştırmada kullanılan sulama suyunun özellikleri	17
Çizelge 4.1. Tuzlu-sodyumlu toprak kimyasal özelliklerinin arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi	22
Çizelge 4.2. Tuzlu-sodyumlu toprak fiziksel ve hidrolik özelliklerinin arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi	34

1. GİRİŞ

Kurak ve yarı kurak bölgelerde buharlaşmanın yüksek ve yağışın düşük olması bitki yetiştiriciliği için sulama yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Fakat, bazı alanlarda sulama yöntemi ve su kalitesine bağlı olarak topraklarda tuzluluk ve sodyumluluk sorunu meydana gelmekte, bu durum toprak yapısının bozulmasına neden olmakta ve bitkisel üretimin sürdürülebilirliğini sınırlandırmaktadır.

Hatalı sulama uygulamaları ile üreticilerin aşırı su kullanma eğilimleri sonucu özellikle drenajın yeterli olmadığı koşullarda, toprak profilinde taban suyu kaynaklı tuz ve sodyum birikimi meydana gelmektedir. Taban suyundaki tuz ve sodyum toprak yüzeyinde oluşan buharlaşma nedeniyle toprak profilinde yukarı doğru hareket ederek verimli üst toprak katmanlarında birikerek toprak yapısına zarar vermektedir.

Tuzlu topraklar; bünyelerinde bitki büyümesini ve gelişimini olumsuz yönde etkileyebilecek düzeyde çözünebilir tuz bulunduran topraklardır. Sodyumlu topraklar ise yüksek pH seviyesine sahip, bileşiminde yüksek miktarda değiştirilebilir sodyum bulunan topraklardır (Abrol *et al.* 1988). Bu tuzlu ve sodyumlu toprak grupları dünyanın birçok ülkesinde tarımı tehdit etmektedir. Dünya Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)'ne göre dünyamızda yaklaşık 1 milyar hektar toprakta tuzluluk ve sodyumluluk problemi yaşanmaktadır (FAO 1992). Bunun 397 milyon hektarını tuzlu topraklar, 434 milyon hektarını da sodyumlu topraklar oluşturmaktadır. Arta kalan kısmı da tuzlu-sodyumlu topraklardır. FAO (2000) verilerine göre dünyada sulu tarım yapılan 230 milyon hektarlık tarım arazisinin 45 milyon hektarı (%19,5) ve kuru tarım yapılan 1,5 milyar hektarlık arazilerinin 32 milyon hektarı (%2,1) tuzluluk sorunu ile karşı karşıyadır.

Tuzluluk sorunu, Türkiye'nin karşılaştığı en ciddi çevre sorunlarından biri olarak ön plana çıkmakta olup ülkenin bazı bölgelerindeki topraklarda hem tuzluluk hem de sodyumluluk sorunu mevcuttur. Türkiye'de yapılan son araştırmalara göre ülkede 1,52

milyon hektarlık alan tuzluluk ve sodyumluluk sorununu ile karşı karşıya olup yine 0,8 milyon hektarlık arazide ise hem tuzluluk hem de drenaj sorunları mevcuttur (FAO 1999).

Tuzlu topraklarda verimsizliğe neden olan çözülebilir tuzların topraktan uzaklaştırılması yani toprakların yıkanması gerekir. Toprağın tuzluluğunu gidermek için bir kaç yöntem vardır; bunlar arasında sulama suyunun miktarının ve kalitesinin artırılması, etkili drenaj sistemi ve toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirmek için organik gübre kullanılmalıdır. Toprakların yıkanması çözünebilir tuzların bitki kök bölgesinden uzaklaştırılması için en etkili yöntemdir (Abrol *et al.* 1988).

Sodyumlu toprakların ıslahı genelde değişebilir sodyum ile kalsiyum iyonlarının yer değiştirilmesi esasına dayanır. Bu amaçla ıslah maddesi olarak genelde jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) kullanılır (Seenivasan *et al.* 2016). Jips doğadan temin edilebilen ucuz çözünebilir kalsiyum kaynağı (Dorivar and DeAnn 2017) olup, sodyumlu toprakların ıslahında kullanılan en yaygın ıslah maddesidir (Batarseh, 2017).

Yapılan saha çalışmaları; tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahında jips uygulamasının, Na^+ iyonunun topraktan uzaklaştırmada etkili olduğunu ve toprağın elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorpsiyon oranında önemli bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir (Qadir *et al.* 2003; Hanay vd 2004).

Hanay ve arkadaşları (2004) sadece jips uygulaması ile, toprağın kimyasal özelliklerini geri kazanmakta başarılı olunurken, fiziksel ve biyolojik özelliklerin iyileştirilmesinde başarısız olduğunu bu nedenle jipsin zengin bir organik madde kaynağı ile uygulamanın daha doğru olacağını vurgulamışlardır. Benzer şekilde bazı araştırmacılar da toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini korumada yalnızca jips kullanımının yeterli olmadığını tespit etmişlerdir (Sahin vd 2002; Wahid *et al.* 1998; Ilyas *et al.* 1997; Ilyas *et al.* 1993; Gupta *et al.* 1985).

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 (Logan and Harrison, 1995; White *et al.* 1997; Lindsay and Logan 1998; Sort and Alcaniz 1999; Aggelides and 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.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Tuzlu-Sodyumlu Topraklar

Tuzlu topraklar, bünyesinde bitki gelişimini yavaşlatabilecek veya olumsuz etkileyebilecek miktarlarda çözünebilir tuzlar bulunduran topraklardır. Toprak tuzluluğu sorunu genelde kurak kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde yer almakta olup sınırlı da olsa bazı nemli iklim bölgelerinde de bu sorunla karşılaşmaktadır (Pandey *et al.* 2011; Singh 2008).

Bünyesinde bulundurdukları çözünebilir tuz miktarına bağlı olarak tuz etkisindeki topraklar tuzlu topraklar, sodyumlu topraklar ve tuzlu-sodyumlu topraklar olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Tuzlu topraklar; bünyesinde Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} ve NH_4^+ gibi yüksek miktarlarda çözünebilir tuz bulunduran topraklardır (Abrol *et al.* 1988; SalCon 1997; Fitzpatrick *et al.* 2001). Bu topraklar Na^+ , Ca^{2+} ve Mg^{2+} 'nın klorürleri ve sülfatlarını da içerebilirler (Black 1968; Abrol *et al.* 1988). Sodyumlu topraklar; Ca^{2+} ve Mg^{2+} iyonlarına oranla daha yüksek oranda Na^+ iyonuna sahip topraklardır. Tuzlu-sodyumlu topraklar ise yüksek oranda değiştirilebilen Na^+ iyonları ile birlikte yüksek miktarlarda çözünen tuzlar içerirler (SalCon 1997). Elektriksel iletkenlik değerleri, pH ve değişebilir sodyum yüzdesi sınır değerlerine göre tuzlu toprakların sınıflandırılması Çizelge 2.1'de verilmiştir (Lamond and Whitney 1992).

Çizelge 2.1. Tuzlu toprakların sınıflandırılması (Lamond ve Whitney 1992).

Sınıf	Elektriksel iletkenlik (EC), (dS/m)	pH	Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP)	Toprağın fiziksel durumu
Tuzlu	>4	<8.5	<15	Normal
Sodyumlu, alkali	<4	>8.5	>15	Verimsiz
Tuzlu-sodyumlu	>4	<8.5	>15	Normal

Toprakta belirli miktarın üzerindeki tuz ve sodyum, toprakların kimyasal ve fiziksel özellikleri üzerine olumsuz etki yaparak toprağı verimsizleştirmektedir. Değiştirilebilir sodyum toprağın dispers olmasına neden olarak toprağın hidrolik iletkenliğini azaltır (Abrol *et al.* 1988).

Yüksek miktardaki çözüner tuz konsantrasyonları, toprak kolloidlerinin ve toprak parçacıklarının dağılmasını engelleyerek topraklanmasını teşvik eder (Abrol *et al.* 1988; Brady and Weil 2002; Warrence *et al.* 2002). Bu durum toprak işleme açısından sorun oluşturması dışında; özellikle kil parçacıkları, toprak profili boyunca aşağı doğru hareket ederek gözenek tıkar ve bunun sonucunda toprakta suyun hareketi yavaşlayarak toprak yüzeyinde su birikimi ve göllenmeler olabilir (Naidu ve Rengasamy 1993; Sumner 1995; Qadir *et al.* 2001; Warrence *et al.* 2002).

Sodyumlu toprakların organik madde içeriğı düşüktür. Bu topraklarda bulunan yüksek miktardaki Na⁺ iyonları veya bunun bileşenleri, yüksek pH ve yetersiz biyolojik aktivite oluşturmaları nedeniyle, topraklarda organik madde birikimi ve toprak mineralizasyonu sınırlıdır (Naidu and Rengasamy, 1993; Peineman *et al.*, 2005). Bu durumdaki topraklar ilk önce alçı formundaki jips ile muamele edilerek Na⁺ iki parçalı katyonlarla değiştirilmeli ve böylece organik madde ile arasında stabil bağların oluşması sağlanmalıdır (Rengasamy and Olson 1991).

Toprakta çözünebilir tuzların varlığı, esas olarak ozmotik basıncın artmasına ve buna bağlı olarak bitkinin topraktaki suyu alamamasına yani fizyolojik kuraklığa neden olur (Marcelis and Hooijdonk 1999). Ayrıca çözünebilir tuzlar ve değişebilir sodyumun bitkiler üzerinde spesifik iyon toksitesine neden olduğu da bilinmektedir.

Toprakta tuzluluk ve sodyumluluk sorunun görülmesinin iki ana nedeni vardır. Bunlardan ilki doğal faktörler diğeri ise tarımsal uygulamaların etkisidir. Doğal faktörler, toprakların tuz içeren kayalardan ayrışmasının sonucu gelişen tuzlulaşmadır.

Eğimi ve özellikle geçirgenliği düşük olan taban arazilerde suyun birikmesi sonucunda, olumsuz drenaj koşullarına ve yüksek buharlaşmaya bağlı olarak toprak yüzeyinde tuz birikimi meydana gelmektedir. Tarımsal uygulamalar ve insanlar tarafından yapılan diğer müdahaleler, toprakların tuzlanmasını ve tuzluluk derecesini etkileyen temel faktörlerdir. Sulama uygulamalarında uygun miktarda sulama suyu uygulanmaması, yani aşırı su kullanma eğilimi, tarlada eşit olmayan su dağılımları, yeraltı suyu seviyesinin yüksek düzeyde olması ve sulamada tuzlu suyun kullanılması tuzlulaşma sorununu beraberinde getirerek bitki büyümesini ve gelişimini sınırlandırır (Sönmez 2004).

2.2. Tuzlu-Sodyumlu Toprakların Dağılımı

Dünyada tuzdan etkilenmiş alanlar, toplam alanların %7'si düzeyindedir (Ghassemi *et al.* 1995; Munns *et al.* 2002). Bitkisel retim yapılan tarım topraklarının büyük bir bölümü, nüfusun ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu, yüksek sıcaklık ve evapotranspirasyonla ilişkili olarak yıkanmanın yetersiz kaldığı, yoğun tuz birikiminin olduğu eğimsiz alanlardan oluşmaktadır (Rhoades *et al.* 1992; De Pascale and Barbieri 1997). FAO' ya göre, dünyada 397 milyon hektarlık tarım alanında tuzluluk, 434 milyon hektarlık alanda ise sodyumluluk sorunu vardır. Sulu tarım yapılan 230 milyon hektarlık arazinin 45 milyon hektarlık kısmı tuzluluk sorunu ile karşı karşıya iken (%19.5) kuru tarım yapılan 1.5 milyar hektar arazinin yaklaşık olarak 32 milyon hektarı (%2.5) bu sorunların etkisindedir (FAO, 2000). Bu rakamlar üretim tekniklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Dünya üzerinde tuzdan etkilenen alanların dağılımı, izelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Tuzluluk sorunu olan toprakların kıtasal dağılımı - milyon ha, (FAO 2000)

Bölge	Toplam alan (milyon ha)	Tuzlu topraklar (milyon ha)	%	Sodyumlu topraklar (milyon ha)	%
Afrika	1899.1	38.7	2.0	33.5	1.8
Asya, Pasifik ve Avustralya	3107.2	195.1	6.3	248.6	8.0
Avrupa	2010.8	6.7	0.3	72.7	3.6
Latin Amerika	2038.6	60.5	3.0	50.9	2.5
Yakın Doğu	1801.9	91.5	5.1	14.1	0.8
Kuzey Amerika	1923.7	4.6	0.2	14.5	0.8
Toplam	12781.3	397.1	3.1	434.3	3.4

Türkiye'deki tarım alanlarının yaklaşık 1,5 milyon hektarı aşan kısmında tuzluluk ve sodyumluluk, 2.8 milyon hektarda ise hem tuzluluk ve taban suyu sorunu mevcuttur. Bu topraklar, Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık %2'sine, toplam işlenen tarım arazilerinin %5,5'ine, toplam sulanabilir alanların da %6'sına denktir. Sorunlu alanların, %74,0'u tuzlu, %25,5'i tuzlu-sodyumlu ve %0,5'i ise sadece sodyumlu topraklardan oluşmaktadır. Tuzluluk sorunu ile karşı karşıya olan alanlar; Konya-Ereğli, Aksaray ve Malya Ovaları, Alüvyonlu Aşağı Seyhan Ovası, Iğdır, Menemen, Bafra, Söke, Acıpayam ve Salihli Ovalarıdır (Sönmez, 2004). Yapılan çalışmalar ülkedeki yaklaşık 1,5 milyon hektarlık alanın %41'inin hafif tuzlu, %33'ünün tuzlu, %0,5'inin sodyumlu, %8'inin hafif tuzlu-sodyumlu ve %17,5'ini de tuzlu-sodyumlu olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Türkiye'de sorunlu toprakların dağılımı (Sönmez 2004)

Sorunun Niteliği	Alan (ha)	Sorunlu alanlara göre, %
Hafif Tuzlu	614617	41.0
Tuzlu	505603	33.0
Sodyumlu	8641	0.5
Hafif Tuzlu-Sodyumlu	125863	8.0
Tuzlu-Sodyumlu	264958	17.5
Toplam	1518722	100.0

2.3. Tuzlu Toprakların Islahı

Tuzlu veya tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahı dünyada önemli bir sorun haline gelmiştir. Sodyumlu ve tuzlu-sodyumlu topraklar çoğu ürünün gelişimini ve verimini olumsuz yönde etkiler ve toprakların fiziksel özelliklerinin bozulmasına neden olur (Sumner 1993; Curtin and Naidu 1998).

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).

Genellikle tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahında önce kimyasal ıslah maddelerinin uygulanması sonra da yıkama işleminin yapılması gerekir. Tuzlu toprakların ıslahında yaygın geleneksel yöntem ise toprak profilde biriken tuzların yıkanarak uzaklaştırılmasıdır (Abrol *et al.* 1988, Qadir *et al.* 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 *et al.* 1988).

2.3.1. Jips uygulanarak tuzlu toprakların ıslahı

Sodyumlu toprakların ıslahında; öncelikle fazla sodyum başka bir katyon ile değiştirilmeli ve daha sonra yıkamalıdır (Dorivar and DeAnn, 2017). Sodyumlu toprak, toprak kolloidlerinde değişebilir Na^+ içerir ve daha yüksek toprak pH'ına neden olur.

Jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), tuzlu sodyumlu toprakların ıslahında yaygın olarak kullanılan (Seenivasan *et al.* 2016) en ekonomik çözünebilir kalsiyum kaynağıdır (Dorivar and DeAnn 2017). Tuzlu sodyumlu toprakların ıslahı hem yıkamayı hem de jips uygulanmasını gerektirir (Abrol *et al.* 1988). Islah işlemi kalsiyum gibi toprak düzenleyicilerin uygulanmasıyla gerçekleştirilir. Bu işlemde iki değerli iyon olan Ca^{2+}

ile Na⁺ yer değiştirilerek yıkama sırasında Na⁺ iyonlarının kök bölgesinden yıkanmasını ve uzaklaşmasını sağlar (Hanay vd 2004).

Tuzluluk-sodyumluluk sorunu kurak ve yarı kurak bölgelerdeki topraklarda yaygındır (Sparks *et al.* 1996). Tuzlu-toprağın ıslahıyla, değiştirilebilir Na⁺ 'un yerini Ca²⁺ gibi iki değerli katyonlarla yer değiştirerek toprak parçacıklarının topaklanmasına, gözenekli yapıların oluşmasına ve toprak geçirgenliğinin iyileşmesine yardım eder. Araştırmalar, tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahı için fazla miktarda jips uygulamasının, yüksek miktarda Na⁺ 'un topraktan uzaklaştırılmasını sağladığını, toprakta elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorpsiyon oranında önemli bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir (Qadir *et al.* 2003; Hanay vd 2004).

Tarla denemeleri, özellikle değişebilir sodyum yüzdesinin (ESP) azaltılması ve sodyumlu topraklarda tuz yıkanmasının artması için jips uygulamasının yararlı yönlerini ortaya koymuştur (Loveday 1976; Abrol and Bhumbla, 1979; Valzano *et al.* 2001). Araştırmalar, CaSO₄ 2H₂O uygulamasının toprak iyileştirici etkilerinin, anıza uygulamaları (Valzano *et al.* 2001) ya da toprağa kompost formundaki organik materyal uygulanmalarının arttığını ortaya koymuştur (Hanay vd 2004)). Anızın çürüyen kök kısmı, çözünebilir tuzların daha kolay hareket etmesini sağlayarak toprak profili boyunca kalsiyumun hareketini de arttırmaktadır (Valzano *et al.* 2001; Qadir *et al.* 2002). Öte yandan anız toprağa organik madde sağlayarak toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirmektedir (Hanay vd 2004). Bununla birlikte, sadece jips uygulamak da toprağın kimyasal özelliklerini geri kazanmada başarılı bir yöntemdir. Dispersiyon, toprakların hidrolik iletkenlik değerini azaltır, fiziksel ve biyolojik özelliklerini bozar (Hanay vd 2004). Öte yandan başka bir grup araştırmacı da toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmede sadece jips uygulamasının yeterli olmadığını vurgulamışlardır. Araştırmacılar jipsin bir organik madde kaynağı ile uygulanmasını önermişlerdir (Gupta *et al.* 1985; Ilyas *et al.* 1993; Ilyas *et al.* 1997; Wahid *et al.* 1998; Sahin vd 2002).

2.3.2. Arıtma çamuru uygulamaları

Toprak ıslahında jipsin toprağa kimyasal özellikleri geri kazandırabilmek bakımından bir organik madde kaynağı ile birlikte uygulanması daha uygundur. Atık su arıtma çamuru iyi bir organik madde kaynağı olup endüstri veya belediye atık sularının arıtımı sonucunda elde edilen yarı katı bir üründür. Mikroorganizma kaynağı da olan arıtma çamuru bol miktarda N ve P gibi temel bitki besinlerini içerir. Çamur, içerdiği yüksek oranda organik madde nedeniyle, havalandırma, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi, toplam gözeneklilik ve hidrolik iletkenlik gibi fiziksel özellikleri geliştirmek için bir toprak düzenleyici olarak kullanılabilir (Logan and Harrison 1995; White *et al.* 1997; Lindsay and Logan 1998; Sort and Alcaniz 1999; Aggelides and Londra 2000).

Ancak, atık su arıtma çamurunun toprak düzenleyici olarak kullanılması bazı riskler içerdiğinden bu materyalin tuzlu topraklara uygulanmasından önce toprağa verebileceği zararlı etkilerin önceden değerlendirilmesi önerilmektedir. Zira biyolojik atık su arıtma çamurunun genellikle toksik olmadığı, ancak sanayi bölgelerinden elde edilen atık su arıtma çamurunun toksik olabileceği ve toprağa arıtma çamuru ilavesinin, bu maddeyi imha etmede en iyi yöntem olduğunu bilinmektedir. Arıtma çamuru miktarının azaltılmasının en ekonomik yoludur. Bu uygulama daha başarılı bir bitkisel üretim için gerekli olan organik kökenli bitki besin maddesini artırarak toprak verimliliğini iyileştirebilir (Laternus and Arnold 2007; Singh and Agrawal 2008). Aynı zamanda, arıtma çamurunun organik madde olarak uygulanmasında, insan ve çevre sağlığı ile maliyeti bakımından uygun yöntemler seçilmelidir. Arıtma çamurunun organik madde olarak kullanımı büyük ölçüde arazi varlığına, topoğrafik yapıya ve ekonomik koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir (EPA 1993).

2.3.3. Toprak ıslahında arıtılmış atık su kullanımı

Dünyada arıtılmış atık suyun alternatif sulama suyu ve bitki besin kaynağı olarak kullanılması yaygınlaşmaktadır (Aşık vd 1997) ve sulamada atık su kullanımı ise çok

eski bir uygulamadır. Su kaynaklarının etkin kullanılmaması; günümüzde atık suları alternatif kaynak haline getirmiştir (Filibeli and Yüksel 1994).

Arıtılmış atık sular; evsel, endüstriyel atık sular, yağmur suyu ve belediye kanalizasyon şebekesine giren yer altı suyu sızıntıdır. Evsel atık sular, evlerden, kurumlardan ve ticari binalardan gelen atık sulardan oluşmaktadır. Endüstriyel atık sular ise üretim birimleri ve gıda işleme tesislerinden alıcı ortama deşarj edilen atık sulardır. Arıtılmış atık suların tarımsal alan ve peyzaj sulama için kullanılması, çevrenin korunmasına ve tatlı su kaynaklarının korunmasına yardımcı olur. Su kıt bulunan bir kaynak öldüğü için, son yıllarda atık suyun sulamada kullanımı cazip bir hale gelmiştir. Türkiye'de de arıtılmış atık sular çoğunlukla küçük ölçekli peyzaj ve tarımsal alanlarının sulamasında kullanılmaktadır. Bu sular organik madde kaynağı olup azot, fosfor ve potasyum gibi bitki besin elementlerini içermektedirler. Ancak içeriğindeki patojenler, toksik kimyasallar ve çözünmüş mineraller sulamada kullanılmadan önce araştırılmalıdır (Filibeli ve Yüksel 1994).

Tarımda kullanılan sulama suları; atık su arıtma tesisleri, çeşitli tarımsal ve endüstriyel kaynaklar, süt işleme tesisleri, silaj tesisleri, , hayvan yetiştirme çiftlikleri kaynaklı olabilir (Cameron *et al.* 1997). Arıtılmış veya arıtılmamış biçimde uygulanan bu sular, uygun şekilde yönetilmez ise çevreyi kirletebilirler (Herpin *et al.* 2007).

Zengin organik madde içeriği nedeniyle arıtılmış atık su toprakların bitkisel üretim potansiyelinin artmasına katkıda bulunabilir ve ıslah için uygundur. Hati *et al.* (2007), atık su arıtım çamurlarının uygulanmasının, toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini ve verimde azalma olmadan gübre yerine kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Arıtılmış atık suların sulama amaçlı kullanılması, atık su içinde mevcut olan maddelerin birçoğunun, bitki için besin maddesi olarak kullanılabileceği, aksi halde alıcı ortamların su kütlesini kirleteceği gerçeğinden ve su kaynaklarını etkin kullanma ve koruma ihtiyacından ortaya çıkmaktadır. Atık suların sulama amacıyla kullanılması durumunda kimyasal gübreye duyulan ihtiyaç azalmaktadır. Atık suların tuzluluk seviyesi, organik

ve inorganik bileşiklerin toksik içeriği, sulama amaçlı kullanımlarını önleyecek kadar yüksek değildir. Yine de bu maddelerin varlığı ve düzeyi araştırılarak kontrol edilmesi gerekir (Çay 2013).

2.4. Tuzlu-Sodyumlu Topraklarda Hidrolik İletkenlik

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 değerlerdir (Harker and Mikalson 1990). Toprak dispersiyonu, yüksek sodyum konsantrasyonuyla ilgili önemli bir fiziksel süreçtir. Dağılmış kil parçacıkları toprak gözeneklerinin tıkanmasına neden olarak toprağa su akışını engeller ya da azaltır (Warrence *et al.* 2002).

Toprak gözeneklerindeki şişme ve kil parçacıklarının yayılma mekanizmaları topraklarda hidrolik iletkenliği azaltmada etkili olmaktadır (Quirk ve Schofield, 1955; Keren ve Singer, 1988). Tuzlu-sodyumlu topraklardaki kil minerallerinin türü ve miktarı, toprağın şişme ve dağılma özelliklerini etkileyen iki ana faktördür. 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 and Ho 1991; Armstrong and Tanton 1992; Sameni 1997).

Toprak bileşimi su içeriğinin toprakların hidrolik iletkenliği üzerindeki etkisini araştıran McNeal and Coleman (1966), hidrolik iletkenlikteki düşüşün özellikle yüksek oranda şişen montmorillonit kil içeriği yüksek olan topraklarda daha belirgin, şişme olmayan kaolinit kil ve seskioksitlerde de ise hidrolik iletkenliğin daha iyi olduğunu belirlemiştir. McNeal *et al.* (1966), aynı koşullar altında, farklı tip topraklarda ölçülen hidrolik iletkenliğin; önemli miktarda mineral içeren topraklarda azaldığı, zira mineral içeriği yüksek olan killerin şişerek gözeneklerin kapatılması nedeniyle hidrolik iletkenlik azalmasının gerçekleştiği sonucuna varmışlardır. Benzer şekilde, Velasco-

Molina *et al.* (1971), montmorillonit toprakların, kaolinit topraktan daha düşük SAR değerlerinde zayıf elektrolit çözeltilerinde daha fazla dağıldığını bildirmişlerdir. Frenkel *et al.* (1978), hidrolik iletkenlik azalmasına yol açan sodyum arbsorbsiyon oranı ve elektrolit konsantrasyon seviyelerinin toprak kili mineralojisinin yapısına bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, toprağın düşük elektrolit konsantrasyonlarında montmorillonit toprağa karşı daha az hassas olmasına rağmen, hidrolik iletkenliğinin saf suyla yıkandığında değişebilir sodyum yüzdesinin 10 seviyesinde bile belirgin bir şekilde azaldığı sonucuna varmışlardır. Alperovitch *et al.* (1985), saf killerin kumla karışımlarında montmorillonitin, değişebilir sodyum yüzdesinin tüm seviyeleri arasında, illit ile karşılaştırıldığında hidrolik iletkenlik daha fazla azalttığını bildirmişlerdir. Yıkama yapılarak doğal bir toprak sisteminde, hidrolik iletkenlik, illit-kum karışımı için gözenekleri tıkar ancak yapay kil-kum karışımları gerçek toprak durumunu pek temsil etmeyebilir. Goldberg *et al.* (1988), Kay and Dexter (1990) ile Li and Yu (1990) da toprakların dağılma davranışları üzerinde çalışmış ve benzer sonuçlara ulaşmışlardır.

Tuzlu-sodyumlu, özellikle sodyumlu topraklardaki asıl sorun serbest drenaj koşullarının kötü oluşudur. Bu durumda toprakların hidrolik iletkenliklerinin düşük olmasına bağlı üretim kapasiteleri düşmektedir. Bu çalışmanın amacı; ıslanma kuruma süreçlerine maruz kalmış, değişik dozlarda stabilize arıtma çamuru karıştırılmış tuzlu sodyumlu bir toprakta artırılmış atık su ile sulama koşullarında topraktaki hidrolik iletkenliğindeki değişimin belirlenmesidir. Çalışma kapsamında toprakların diğer bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerindeki değişim de araştırılmıştır. Atık suyun ve stabilize atık çamurun birlikte kullanıldığı ıslanma kuruma süreçlerine maruz bırakılmış topraklarda geçirgenlik testleri üzerine yapılmış çalışmalar ülke koşullarında son derece sınırlıdır. Yapılan bu çalışma seçilen uygulamalar bakımından öncü çalışmalar arasında olup literatürde eksik bilgileri tamamlayacak bölge, ülke ve global anlamda bilimsel çalışmalara katkı sağlayabilecek bir çalışmadır.

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Deneme yeri

Atık suyla ıslanma-kuruma süreçlerine tabi tutulmuş ve atık çamur karıştırılmış tuzlu sodyumlu topraklarda temel fiziksel ve kimyasal özellikleri ile hidrolik iletkenlikteki değişimlerin belirlenmesi amacıyla planlanan bu çalışma, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Drenaj laboratuvarında yürütülmüştür.

3.1.2. Toprak örneğinin alındığı yörenin coğrafi konumu ve iklim özellikleri

Araştırmada kullanılan topraklar; tuzluluk ve sodyumluluk sorununun yoğun yaşandığı Iğdır Ovasından alınmıştır. Iğdır Ovası, Doğu Anadolu Bölgesinin doğusunda Aras Havzasında yer almaktadır. Ova Doğu Anadolu Bölgesinin en düşük rakımlı ve yüzölçümü büyüklüğü bakımından bölgenin önemli ovalarından biridir. Denizden yüksekliği 850 m olan ovanın alanı 3,539 km²'dir. Doğu-batı doğrultusunda uzanan Iğdır ovası, Batı Iğdır, Doğu Iğdır ve Dil ucu ovasından oluşur (Temel ve Şimşek 2011). Yörede uzun yıllar ortalaması toplam yağış 256,0 mm, ortalama sıcaklık 12,1°C ve toplam buharlaşması 1116,3 mm'dir (Anonim 2017; Karaoğlu 2011). Iğdır ilinin uzun yıllar iklim verileri Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Iğdır ilinin iklimsel verileri (Karaoğlu 2011)

Parametreler	Aylar												Yıllık
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
S (°C)	-2.6	-0.1	6.2	13.3	17.3	21.9	25.8	25.1	19.8	12.6	5.5	0.5	12.1
Yağış (mm)	12.7	12.8	15.9	24.3	34.5	47.0	33.7	13.0	8.6	9.6	24.5	19.4	256.0
Nem (%)	66.3	59.9	51.8	49.4	51.2	47.3	44.7	46.7	51	62.2	65.6	67.2	55.3
Buharlaşma	-	-	-	-	162.1	228.1	278.6	258.8	188.7	-	-	-	1116.3
G.S. (saat)	2.7	4.1	5.4	6.1	7.5	9.5	10.1	9.9	8.1	5.8	4.1	2.2	6.3

S:Sıcaklık; G.S: Güneşlenme süresi.

Tuzluluk ve sodyumluluk sorununun yoğun olduğu Iğdır ovasında 39824 hektarlık alanda tuzluluk, 14073 hektarlık alanda ise tuzluluk-sodyumluluk sorunu mevcuttur (Temel ve Şimşek 2011). Iğdır Ovasını temsilen tuzluluk ve sodyumluluk sorununun yoğun olduğu sahalardan yüzey toprağı (0-30 cm) örneğı alınmış (Şekil 3.1) ve hava kuru durumda 1 cm'lik elekten elendikten sonra deneme materyali olarak kullanılmıştır.

**Şekil 3.1.** Toprak örneğinin alındığı alan

3.1.3. Toprak özellikleri

Denemede kullanılan toprak örnekleri sahadan alındıktan sonra Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü drenaj laboratuvarına getirilmiştir. Daha sonra Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nün Toprak ve Bitki Besleme Laboratuvarları'nda çamurun özellikleri ve toprakların fiziksel (tekstür, kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, ve ıslak agregat stabilitesi) ve kimyasal (pH, EC, Organik madde, CaCO₃, KDK, değişebilir Na, değişebilir Ca ve ESP) özellikleri belirlenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Toprak ve Stabilize arıtma çamurun fiziksel ve kimyasal özellikleri

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
Katyon Değişim Kapasitesi (KDK) (me/100 g)	28,43	59,13
Değişebilir Na (DK)(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 ³)	2,62	
Kütle Yoğunluğu (g/cm ³)	1,26	
Porozite (%)	51,94	
Agregat stabilitesi (%)	Çok düşük	

3.1.4. Sulama suyu ve arıtılmış atık çamur

Araştırmada farklı sulama suyu kalitelerinde iki farklı su kullanılarak ıslanma-kuruma döngüleri gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sulardan biri biyolojik arıtılmış kentsel atık su, diğeri ise normal sulama suyudur.

Erzurum Su ve Kanalizasyon İşleri Genel Müdürlüğü Arıtma Tesisleri Dairesi Başkanlığı bünyesindeki Erzurum-Aziziye-Ilıca'da yer alan biyolojik atık su arıtma tesisinden atık su ve stabilize kent çamuru temin edilerek sulama suyu olarak kullanılmıştır. Bu suların bazı özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir (Anonim 2016).

Çizelge 3.3. Araştırmada kullanılan sulama suyunun özellikleri

Parametre	Temiz su	Arıtılmış atık su
pH	7,58	7,47
pHc	7,70	7,43
Langelier saturasyon indeksi	-0,12	+0,04
Elektriksel iletkenlik (dS/m)	0,329	0,679
Askıda katı madde (mg/l)	-	20,3
Katyonlar (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 ₃	-	-
HCO ₃	2,12	3,65
Cl	0,54	1,57
SO ₄	0,60	1,34
NO ₃	-	0,27
SAR	0,58	2,04

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme deseni ve kurulması

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 alınmıştır. Kontrol konularına stabilize atık çamur ilave edilmemiştir.

Deney kapları, 15 cm X 15 cm yüzeysel boyutlarında ve 20 cm yüksekliğinde plastik malzemedен yapılmıştır. Deneme toprakları kuruduktan sonra 1 cm'lik bir elekten elenmiştir. Kaplar toprakla doldurulmadan önce uygun drenaj sağlayabilmek için tabana 1 cm kum-çakıl konulmuştur. Kaplardaki kum-çakılların üzerine 10 cm derinliğinde 50, 100 ve 150 ton/ha dozlarında stabilize kent çamuru ve Kovda Eşitliği ile belirlenmiş miktarlarda jips karıştırılmış havada kurutulmuş topraklar doldurmuştur ve kapların toplam materyal yüksekliği 11 cm'ye ulaşmıştır (Şekil 3.2). Jips materyali ince öğütülerek (< 0,25 mm) 2-3 cm derinlikteki yüzey toprak tabakasına karıştırılmıştır (Munsuz vd 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 hesaplanmıştır (Kanber ve Ünlü 2010).

$$GR = (EA * 10 - 5) * A * DS * \gamma_s [ESP_i - ESP_f] * KDK$$

Eşitlikte; GR; jips gereksinimi (ton/da), EA; eşdeğer ağırlık(jips için 86), A; arazi alanı (m²), DS; Toprak derinliği (m), γ_s ; hacim ağırlığı (g/cm³), ESP_i; başlangıçtaki değişebilir sodyum yüzdesi (%), ESP_f; bitişteki değişebilir sodyum yüzdesi (%) ve KDK; kanyon değişim kapasitesi (me/100 g)'den.



Şekil 3.2. Deney kaplarına toprakların yerleştirilmesi

Seçilen sulama sayı ve aralıkları; 0 sulama yapılmayan konu, 7 günde bir sulama yapılan konu (10 sulama) ve 14 günde bir 5 sulama yapılan konu şeklindedir. Sulama suyu miktarları kaplar tartılarak belirlenmiştir.

3.2.2. Toprak örneklerinde yapılan analizler

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 (Şekil 3.3), hidrolik iletkenlik sabit seviyeli ICW laboratuvar permeametri kullanılarak doygun koşullarda farklı sürelerle (2, 12 ve 24 h) ölçülmüş (Şekil 3.4) Darcy yaklaşımıyla aşağıda eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Sahin *et al.* 2011).

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

Eşitlikte; K_s ; satire koşullardaki hidrolik iletkenlik (cm/h), V ; belirli bir sürede örneklerden geçen su miktarı (cm³), L ; bozulmamış toprak örneğinin boyu (cm), t ; süre (h), h ; sabit potansiyometrik yük (cm) ve F ; bozulmamış toprak örneğinin kesit alan (cm²) göstermektedir.



Şekil 3.3. Agregat stabilitesinin belirlenmesi



Şekil 3.4. Hidrolik iletkenliğin ölçülmesi

Saturasyon ekstraktında toprak reaksiyonu pH-metre ile (McLean, 1982), tuzluluk EC-metre ile (Rhoades 1996), katyon değişim kapasitesi (KDK) sodyum asetat yöntemiyle (Rhoades 1982), ESP değeri değişebilir sodyumun KDK'ya oranlanması ile (Kanber ve Ünlü 2010), organik madde Smith-Weldon yöntemi (Nelson and Sommers 1982), CaCO₃ Scheibler Kalsimetresiyle (Nelson, 1982), değişebilir Ca ve Na fleymfotometrik yöntemle (Black 1965) belirlenmiştir.

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

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Toprak Kimyasal Özellikleri

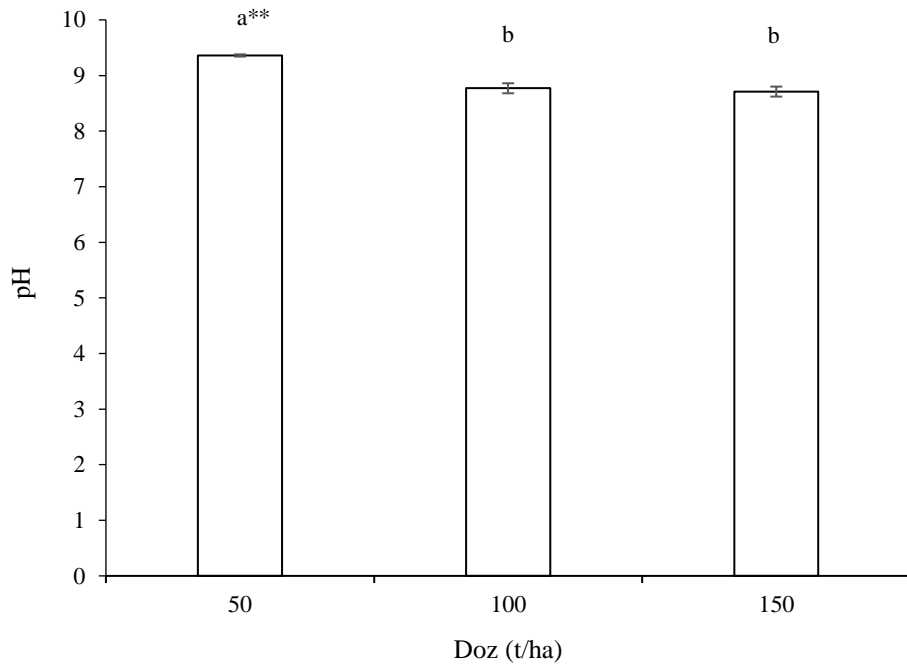
Tuzlu-sodyumlu toprağın uygulamalar sonrası pH, organik madde, CaCO₃, değişebilir Na, değişebilir Ca, kation değişim kapasitesi (KDK) ve değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) gibi kimyasal özelliklerinde çok önemli düzeyde ($p < 0,01$) farklılıklar belirlenirken, elektriksel iletkenlik (EC) değerinin uygulamalarla değişmediği gözlenmiştir (**EK 1**, Çizelge 4.1). Özellikle kontrol konusuna göre uygulamaların farklılaştırıcı etkisi açıkça görülmüştür.

Çizelge 4.1. Tuzlu-sodyumlu toprak kimyasal özelliklerinin arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi

Doz	Su tipi	Sulama aralığı	pH	EC (dS/m)	Organik madde (%)	CaCO ₃ (%)	Değ. Na (me/100g)	Değ. Ca (me/100g)	KDK (me/100g)	ESP (%)	
50 t/ha	TS	0 gün	9,37	44,13	1,12	8,48	19,22	10,90	27,74	57,49	
		7 gün	9,39	41,37	2,24	8,21	18,12	11,19	26,75	57,13	
		14 gün	9,39	43,17	2,82	8,31	17,10	12,26	26,72	53,92	
	AS	0 gün	9,25	46,20	1,23	8,55	19,36	10,90	27,74	57,72	
		7 gün	9,40	41,43	2,52	8,29	17,36	11,33	26,46	55,29	
		14 gün	9,38	43,77	3,22	8,34	16,93	13,13	26,46	52,41	
	<i>Ortalama</i>			<i>9.36</i>	<i>43.35</i>	<i>2.19</i>	<i>8.36</i>	<i>18.02</i>	<i>11.62</i>	<i>26.98</i>	<i>55.66</i>
	100 t/ha	TS	0 gün	8,38	41,50	3,31	8,10	18,90	12,26	27,33	59,62
			7 gün	8,94	40,00	3,56	7,81	17,16	13,13	26,32	55,97
14 gün			8,94	43,33	3,77	7,81	15,88	14,00	26,41	49,61	
AS		0 gün	8,90	41,90	3,15	8,13	18,93	12,35	27,33	59,43	
		7 gün	8,70	40,33	3,63	8,17	16,09	13,77	26,12	52,28	
		14 gün	8,77	46,23	3,77	7,60	15,71	14,58	26,12	51,00	
<i>Ortalama</i>			<i>8.77</i>	<i>42.21</i>	<i>3.53</i>	<i>7.94</i>	<i>17.11</i>	<i>13.35</i>	<i>26.61</i>	<i>54.65</i>	
150 t/ha		TS	0 gün	8,33	43,30	5,62	7,22	17,13	13,13	26,26	57,24
			7 gün	8,86	43,70	4,50	7,16	16,09	14,00	25,88	50,35
	14 gün		8,75	39,27	4,59	7,01	16,09	14,72	25,30	53,21	
	AS	0 gün	8,64	43,83	4,71	7,18	17,13	13,13	26,29	56,79	
		7 gün	8,92	43,53	4,57	7,20	16,41	14,56	25,57	52,30	
		14 gün	8,77	41,57	4,89	6,91	16,70	14,67	25,25	50,29	
	<i>Ortalama</i>			<i>8.71</i>	<i>42.53</i>	<i>4.81</i>	<i>7.11</i>	<i>16.59</i>	<i>14.04</i>	<i>25.76</i>	<i>53.36</i>
	Kontrol	-	-	9,72	46,30	0,28	8,99	22,09	10,70	28,49	61,14

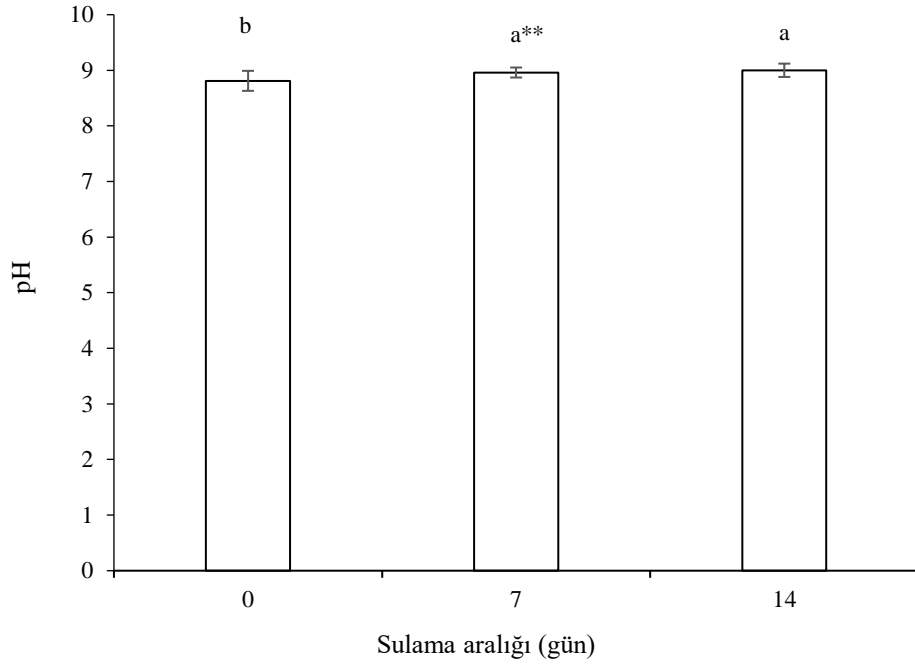
TS: Temiz Su; AS: Atık Su

Analizlerden elde edilen pH değerleri, arıtma çamuru doz artışıyla çok önemli seviyede azalmış artan dozlar benzer etki sağlamıştır (Şekil 4.1). En yüksek dozdaki pH değeri kontrol değerinden %10,4 daha düşüktür. 100 ve 50 t/ha uygulamalarında sırasıyla %9,8 ve %3,7 daha düşük değerler elde edilmiştir (Çizelge 4.1). pH'deki düşüşün toprağı organik madde eklenmesiyle ilişki olduğu söylenebilir. Organik maddenin mineralasyonu organik ve inorganik asit oluşmasına neden olarak pH'yı düşürmektedir (Singh and Agrawal 2008; Özyazıcı ve Özyazıcı 2012; Czekala *et al.* 2010; Khurana and Singh 2012). Yapılan birçok çalışmada da arıtma çamurunun, karıştırıldığı toprakta organik maddeyi artırarak pH düşürdüğü tespit edilmiştir (Singh and Agrawal 2008; 2012; Czekala *et al.* 2010; Khurana and Singh 2012; Al Saadi and Al Wardy 2019).



Şekil 4.1. pH değerlerinin doz artışı ile değişimi (**p<0,01)

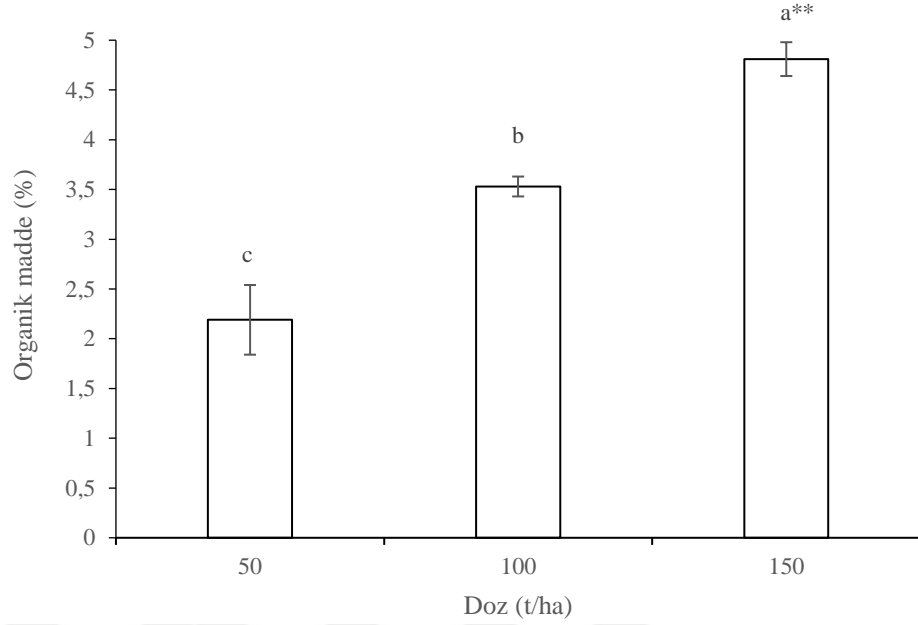
Yedi ve 14 günlük sulama aralıklarında, hiç sulama yapılmayan konuya göre pH değeri çok önemli seviyede ($p<0,01$) yükselmiştir (Şekil 4.2). Ancak 7 ve 14 günlük değerler Çizelge 4.1'deki kontrol değerinden düşük bulunmuştur. Bu durum toprak organik madde içeriğı ile ilişkilendirilmiştir. Organik madde sulanan koşullarda artmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.2. pH değerlerinin sulama aralıkları ile değişimi (** $p < 0,01$)

Toprağın başlangıç EC değerinin yüksek olması ve yıkama etkisinin sınırlanması nedeniyle EC değerleri üzerine uygulamalarının etkisi olmamıştır (Çizelge 4.1). Ancak uygulama sonrası toprakların EC değerlerinde kontrol konusu değerine göre 50, 100 ve 150 t/ha arıtma çamuru dozlarında sırasıyla %6,4, %8.8 ve %8.1'lik düşüşler tespit edilmiştir (Çizelge 4.1). Bu durum toprakta çökelme-birikme süreçlerinin bir etkisi olarak değerlendirilmiştir (Hadad *et al.* 2013).

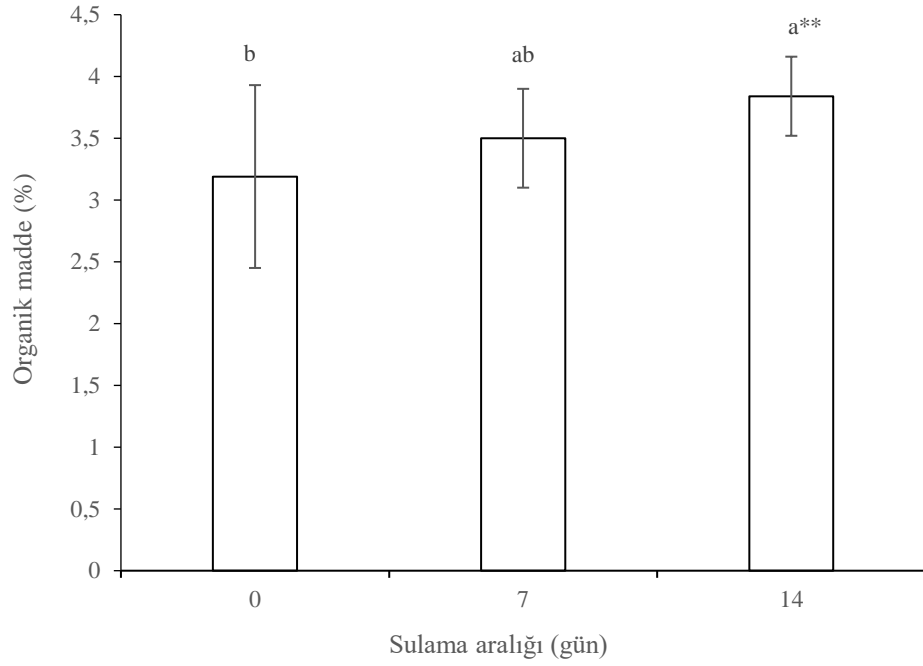
Organik madde içeriği doz artışıyla çok önemli seviyede ($p < 0,01$) artış göstermiştir (EK 1, Şekil 4.3). 150 t/ha uygulamasında kontrol konusu değerinin (%0,28) 17,2 katı daha yüksek değer belirlenmiştir. En düşük doz olan 50 t/ha uygulamasında ise artış miktarı 7,8 kat olmuştur.



Şekil 4.3. Organik madde içeriğinin doz artışı ile değişimi (** $p < 0,01$)

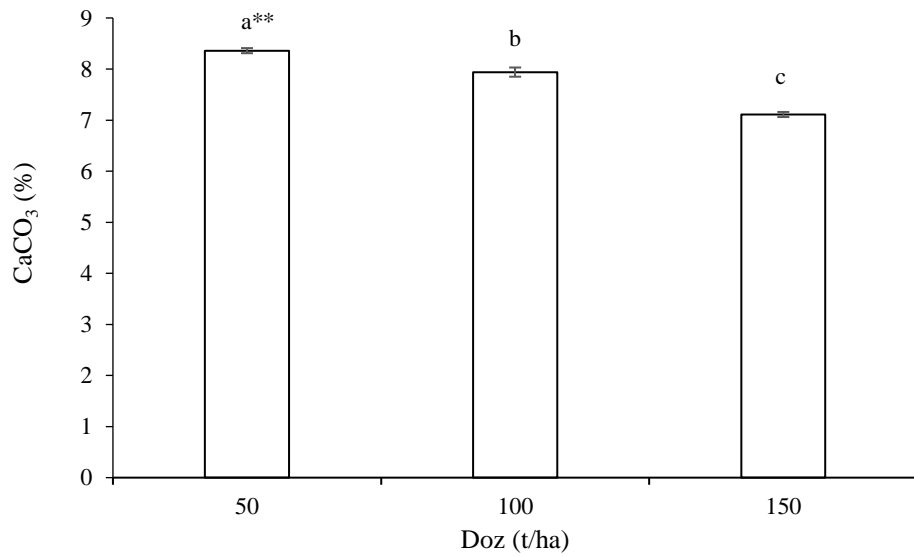
Toprak organik madde içeriği değişimleri çamur organik madde içeriğine ve uygulama miktarına bağlı olarak değişmektedir (Czekala *et al.* 2010). Dolayısıyla arıtma çamurunun yüksek organik madde içeriği (Çizelge 3.1) ve artan uygulama dozları bu sonucu ortaya çıkarmıştır. Geçmişte yürütülen birçok çalışmada toprağa arıtma çamuru karıştırılması ve doz artışıyla birlikte organik madde içeriğinde önemli artışlar olduğu tespit edilmiştir. (Tsadilas *et al.* Hussein *et al.* 2005; Mazen *et al.* 2010; Salhab 2014; Muyen and Wrigley 2016; Carabassa *et al.* 2018).

Topraktaki nemin organik madde ayrışma sürecinde diğer faktörlerden daha çok öneme sahip olduğu iyi bilmektedir (Dan *et al.* 2016). Bu çalışmada organik madde içeriğinde sulama aralıkları artışıyla çok önemli düzeyde ($p < 0,01$) artış görülmesi, sürekli kuru kalma sürecinden ziyade ıslanmayı müteakip kuru kalma sürecinin artmasının organik madde ayrışmasını azalttığını göstermiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Organik madde içeriğinin sulama aralıkları ile değişimi (** $p < 0,01$)

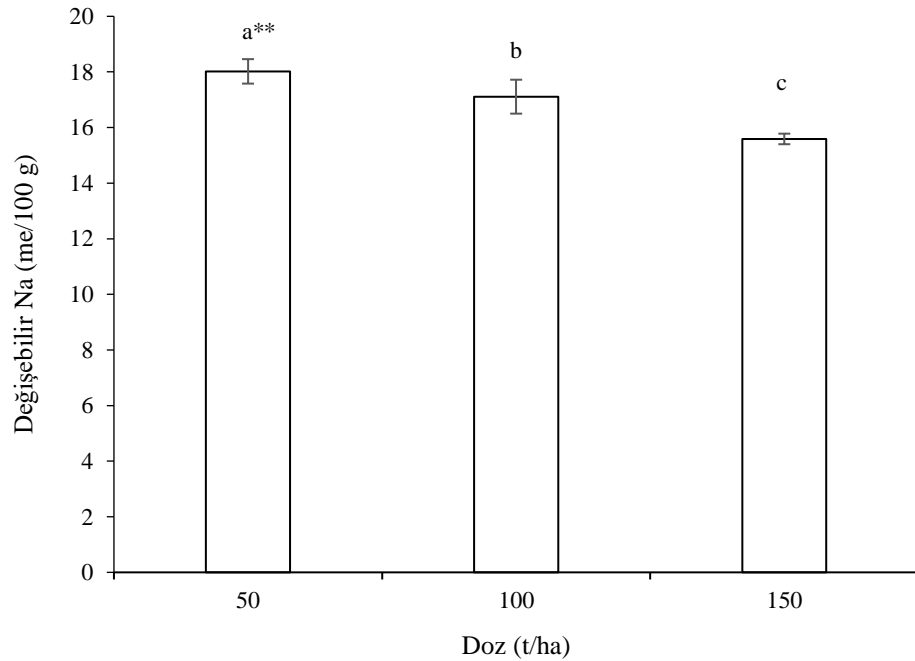
En yüksek doz (150 t/ha) uygulamasında CaCO_3 içeriği kontrol konusu değerine göre %20,9 daha az bulunmuştur. 50 ve 100 t/ha uygulamalarında da kontrol konusuna göre azalış miktarları sırasıyla %7,0 ve %11,7 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.5, Çizelge 4.1).



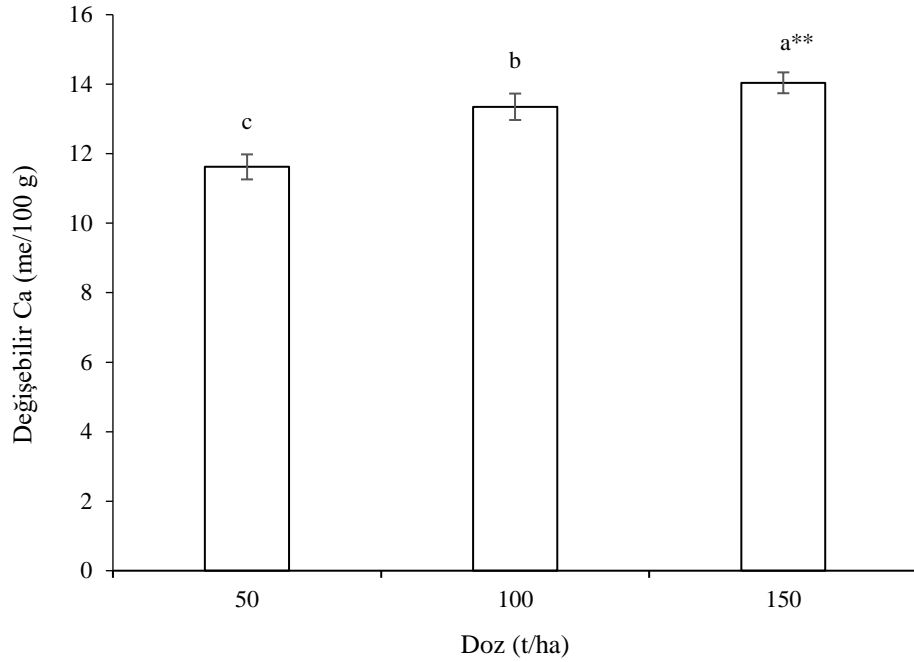
Şekil 4.5. CaCO_3 içeriğinin arıtma çamur dozları ile değişimi (** $p < 0,01$)

CaCO₃ değerleriyle pH değerleri arasında doğrusal bir ilişkiden bahsedilebilir. Moreira *et al.* (2013) tarafından da çamur uygulamasının, atıkdaki kireçten dolayı toprak pH' sını artırabileceği, ancak atığın organik fraksiyonunun biyo-bozunması işlemi sırasında organik asitlerin üretilmesi ve nitrifikasyondan dolayı, toprağın asitleşmesine daha fazla katkıda bulunulabileceği ifade edilmiştir. Bu çalışmada da doz artışıyla pH değerlerindeki azalış CaCO₃ teki azalışla uyum göstermiştir (Şekil 4.1). Tersine doz artışıyla arıtma çamuru kaynaklı artış beklense de, organik madde ayrışmasıyla oluşan asitler çözülmeye daha fazla katkı sağlamış olabilir (Moreira *et al.* 2013).

Değişebilir Na çok önemli seviyede ($p<0,01$) doz artışıyla azalırken, değişebilir Ca tersine çok önemli seviyede ($p<0,01$) artış göstermiştir (EK 1). En yüksek dozda Na kontrol konusuna göre %24,9 azalmış, Ca ise %31 artmıştır (Çizelge 4.1, Şekil 4.6 ve 4.7).



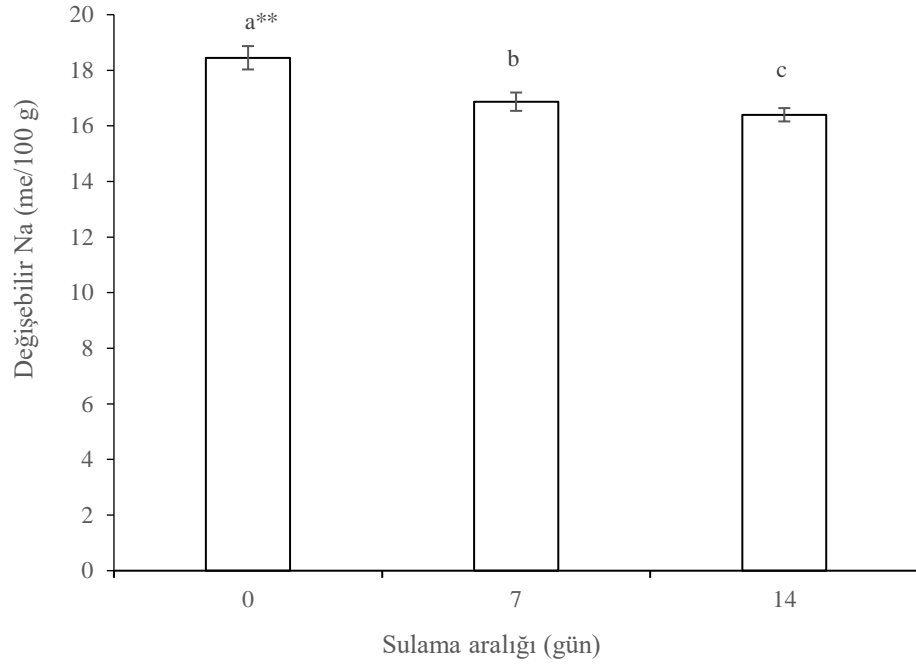
Şekil 4.6. Değişebilir Na içeriğinin doz artışı ile değişimi (** $p<0,01$)



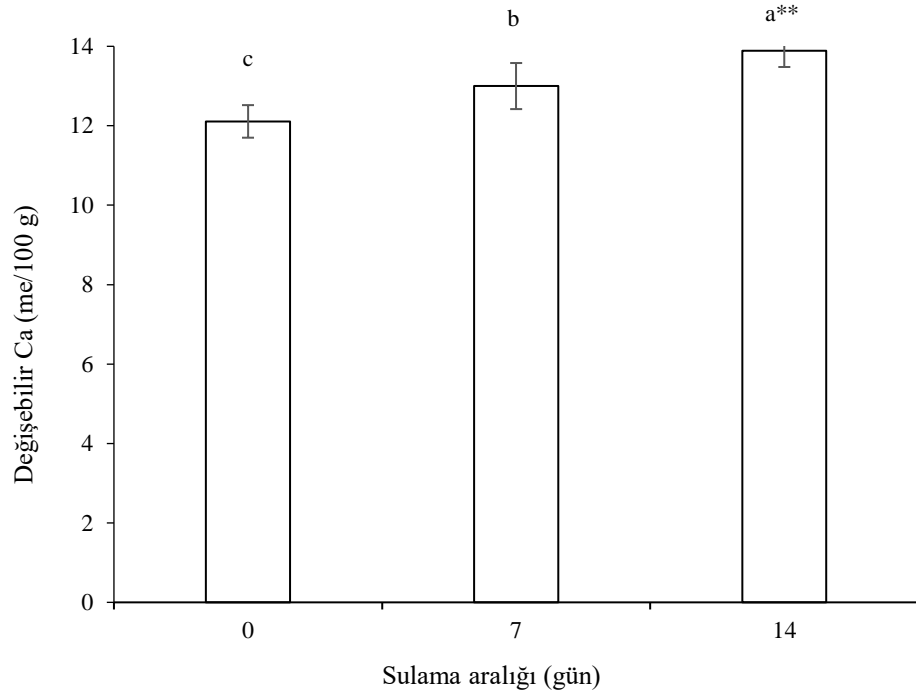
Şekil 4.7. Değişebilir Ca içeriğinin doz artışı ile değişimi (** $p < 0,01$)

Bu sonuç, değişim kompleksinde değişebilir Na yerine değişebilir Ca' un geçtiğini açıkça göstermektedir. Ca artışında arıtma çamuru Ca içeriğinin (Çizelge 3.1) ve CaCO_3 çözülmesinden Ca kazanımı ile toprağa jips karıştırılmasının önemli katkısı olduğu söylenebilir. Benzer şekilde Tamanini *et al.* (2008)'de toprakta değişebilir Ca içeriğinin arıtma çamuru dozu artışıyla polinomial olarak artış gösterdiğini belirlemiştir.

Sulama aralıklarına bağlı olarak ta değişebilir Ca artarken, Na'da tersine bir azalış görülmüştür (Şekil 4.8 ve 4.9). On dört günlük sulama aralığında kontrol konusuna göre Na' azalış %25.75 ve Ca'da artış %29.81 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1). Bu sonuç uzun ıslanma kuruma süreçlerinde Na yerine Ca geçişinin daha fazla olduğunu açıkça göstermiştir. Dolayısıyla uygulamaların etkisiyle toprakta pH ve organik maddeye bağlı değişen çevre koşulları bu değişmelerin sebebi olarak görülebilir.

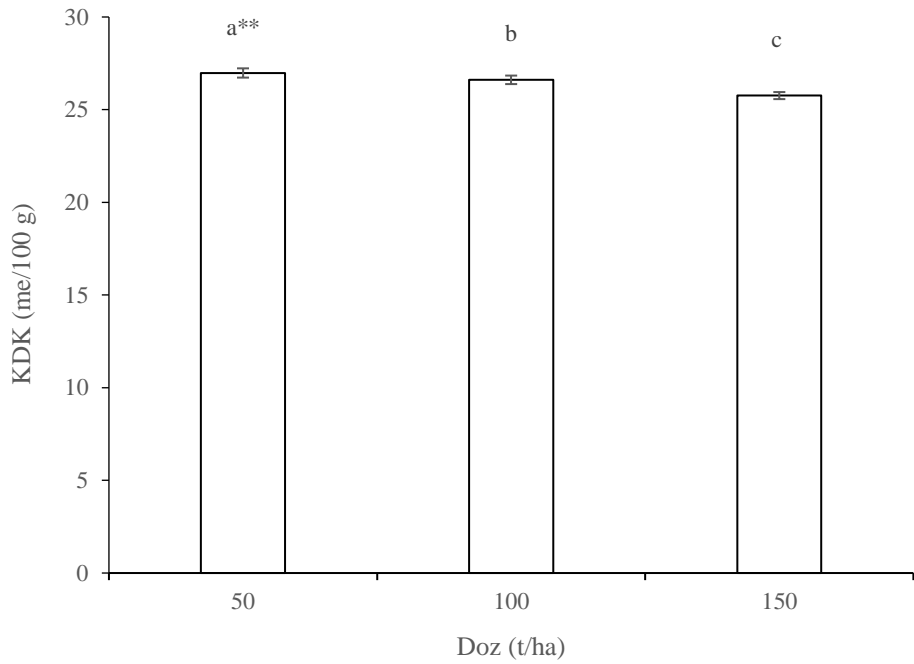


Şekil 4.8. Değişebilir Na içeriğinin sulama aralıkları ile değişimi (**p<0,01)



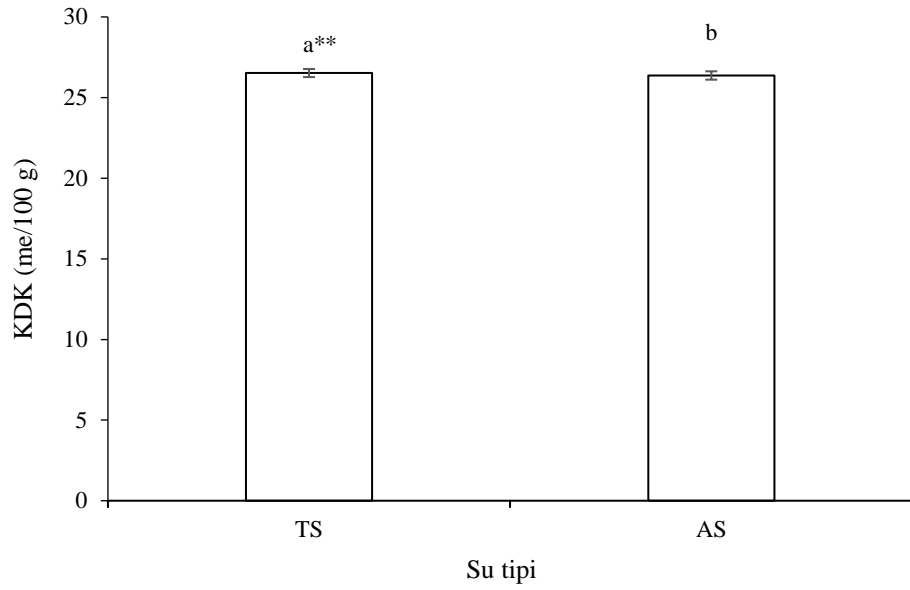
Şekil 4.9. Değişebilir Ca içeriğinin sulama aralıkları ile değişimi (**p<0,01)

KDK üzerine dozların, su tipi ve sulama aralıklarının çok önemli seviyede ($p<0.01$) etkisi olmuştur (**EK 1**). Kontrol konusuna göre 150 t/ha dozunda KDK değeri %9,6 azalmıştır (Çizelge 4.1, Şekil 4.10). Artan dozlarda düşen pH değerleri bu sonucu desteklemiştir (Şekil 4.1). Tomašić *et al.* (2013) toprak pH'sının KDK ile pozitif korelasyon gösterdiğini, benzer şekilde, Jaramillo and Restrepo (2017)'da toprak pH'sında değişimin KDK' yı etkilediğini ifade etmişlerdir.



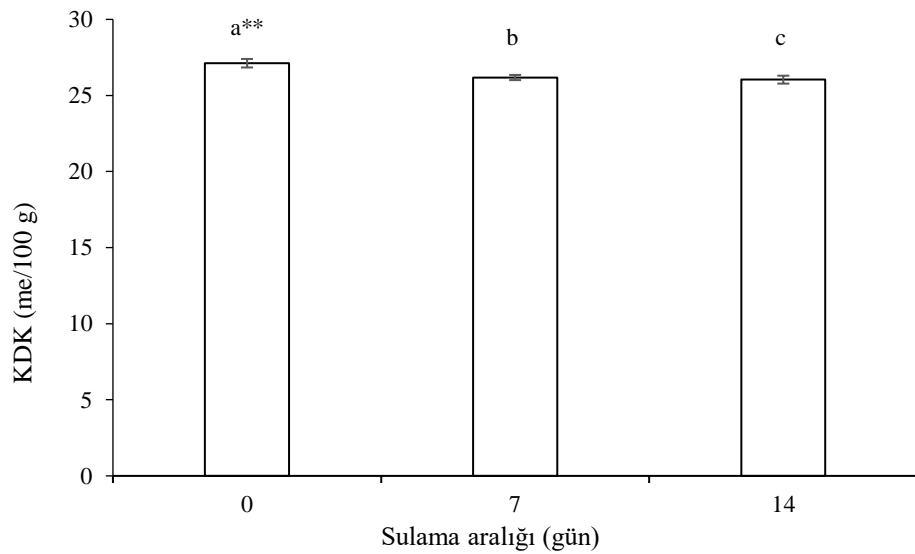
Şekil 4.10. Katyon değişim kapasitesinin (KDK) doz artışı ile değişimi (** $p<0,01$)

Atık su uygulamalarında KDK'da azalış miktarı %7,4 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.11). Atık suyla sulama koşulunda KDK' daki bu azalış atık suyun pH değerinin daha düşük olmasıyla açıklanabilir (Çizelge 3.2).



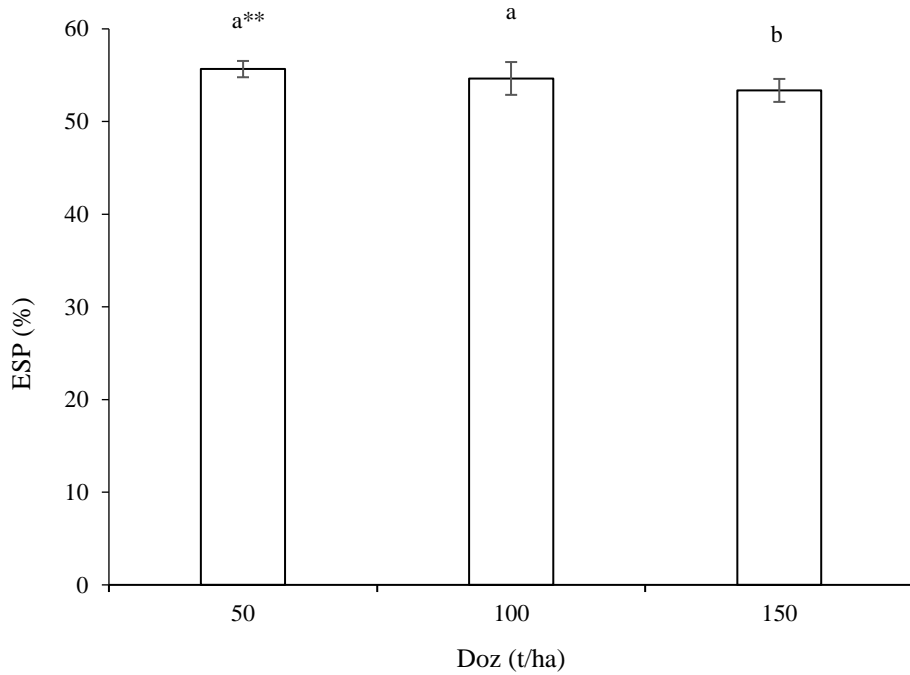
Şekil 4.11. Katyon değişim kapasitesinin (KDK) su tipi ile değişimi (**p<0,01)

En yüksek sulama aralığında KDK değerinde %3,9' luk bir azalış olmuştur (Çizelge 4.1, Şekil 4.12). Sulama aralıkları artışıyla organik madde içeriği artmasına rağmen KDK değerlerinin azalmış olması organik madde mineralizasyon sürecinin bir sonucu olarak değerlendirilebilir.



Şekil 4.12. Katyon değişim kapasitesinin (KDK) sulama aralıkları ile değişimi (**p<0,01)

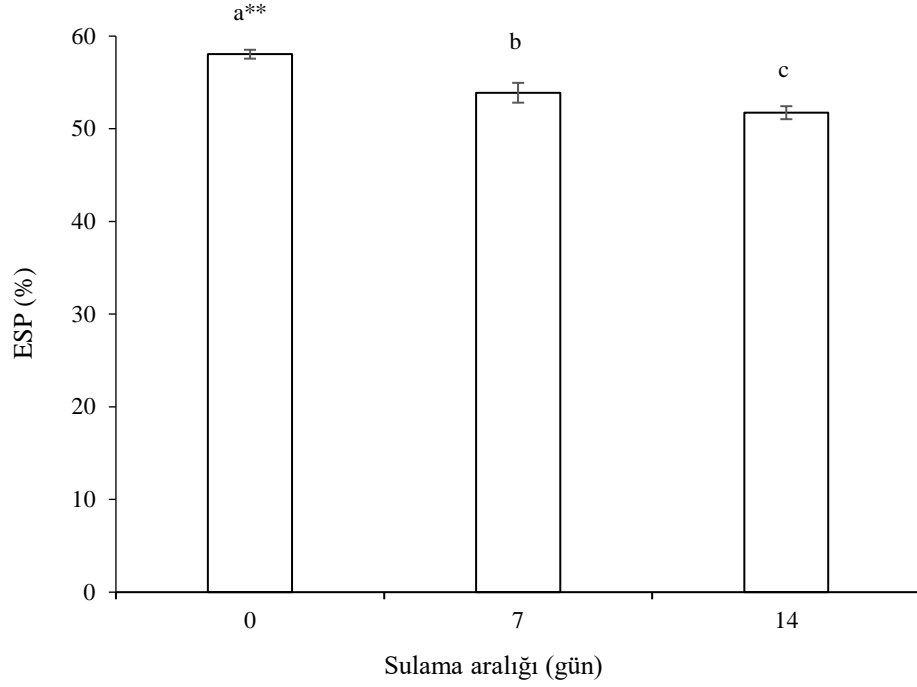
Arıtma çamuru doz artışı ESP değerlerini düşürmüştür, en düşük değer en yüksek dozda belirlenmiştir. 150 t/ha dozu ESP değeri kontrol konusu değerinin %12,7 altında belirlenmiştir. 50 ve 100 t/ha dozlarda ise azalışlar sırasıyla %9 ve %10,6 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.13). KDK değerinde düşme görülmesine rağmen değişebilir Na içeriğinin daha fazla düşmesi ESP değerinde bu azalışı ortaya çıkarmıştır. Benzer şekilde Jalali and Ranjbar (2009)'da organik madde karıştırılmasının Na yıkanımını artırarak daha düşük ESP değerleri sağladığını ifade etmiştir. Farklı çok sayıda çalışmada da organik materyallerin uygulanması sonucunda, toprak ESP' sinde azalışlar gözlenmiştir (Yaduvanshi and Swarup 2005; Tejada *et al.* 2006; Gupta *et al.* 2014; Ors *et al.* 2015).



Şekil 4.13. Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerinin doz artışı ile değişimi (**p<0,01)

Artan sulama aralıklarında da ESP de çok azalışlar görülmüştür (EK 1, Şekil 4.14). En fazla sulama aralığında kontrol konusuna göre azalış miktarı %15,3 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1). Yine dozlarda olduğu gibi sulama aralıkları artışıyla

KDK' daki düşüğe rağmen değişebilir Na içeriğinde daha fazla düşüş, daha düşük ESP değerleri ortaya çıkarmıştır.



Şekil 4.14. Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerinin sulama aralıkları ile değişimi (**p<0,01)

4.2. Toprak Fiziksel ve Hidrolik Özellikleri

Deneme toprağının uygulamalar sonrası 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 sınırlanmıştır (**EK 2**, Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Tuzlu-sodyumlu toprak fiziksel ve hidrolik özelliklerinin arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi

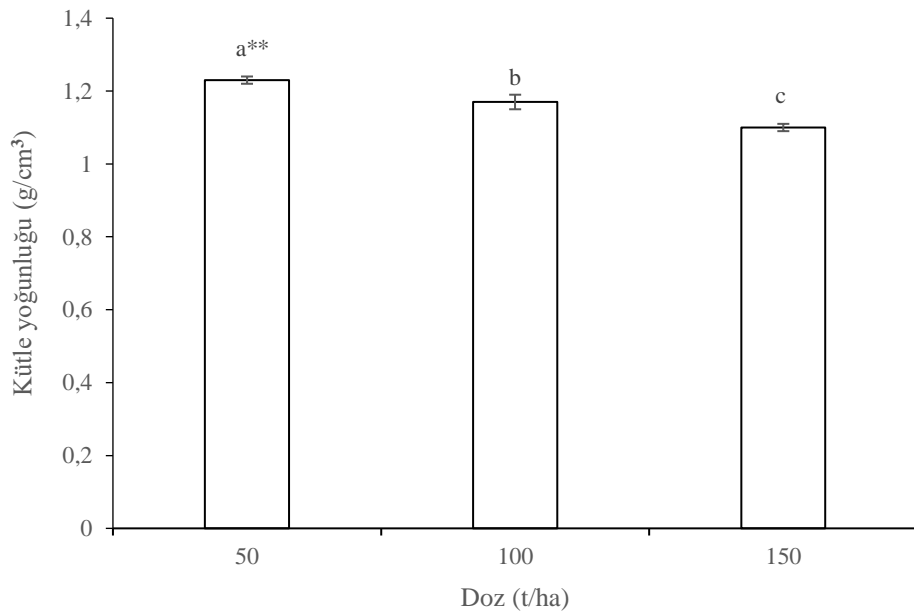
Doz	Su Tipi	Sulama Aralığı	Islak agregat Sta. (%)	Kütle yoğunluğu (g/cm ³)	Tane yoğunluğu (g/cm ³)	Porozite (%)	Hidrolik İletkenlik (cm/h)			
							2 saat	12 saat	24 saat	
t/ha	TS	0 gün	0,70	1,24	2,61	40,95	0,054	0,032	0,024	
		7 gün	1,11	1,23	2,60	46,80	0,037	0,031	0,035	
		14 gün	0,82	1,23	2,59	48,81	0,147	0,073	0,057	
	AS	0 gün	0,71	1,24	2,61	40,95	0,054	0,032	0,024	
		7 gün	2,20	1,22	2,60	48,79	0,078	0,048	0,038	
		14 gün	0,90	1,20	2,59	47,97	0,031	0,054	0,040	
	Ortalama			1,07	1,23	2,60	45,71	0,067	0,045	0,036
	100 t/ha	TS	0 gün	1,54	1,20	2,58	49,87	0,277	0,107	0,074
			7 gün	1,56	1,19	2,58	45,42	0,650	0,509	0,384
14 gün			2,06	1,10	2,57	50,07	0,175	0,138	0,099	
AS		0 gün	1,77	1,20	2,58	49,87	0,277	0,107	0,074	
		7 gün	3,74	1,20	2,58	47,12	0,067	0,068	0,052	
		14 gün	1,52	1,13	2,57	49,83	0,172	0,126	0,098	
Ortalama			2,03	1,17	2,58	48,70	0,270	0,176	0,130	
150 t/ha		TS	0 gün	1,84	1,14	2,57	50,19	0,211	0,089	0,082
			7 gün	2,33	1,05	2,57	50,22	0,232	0,157	0,128
	14 gün		4,02	1,11	2,57	45,65	0,203	0,148	0,046	
	AS	0 gün	1,64	1,14	2,57	50,19	0,211	0,089	0,082	
		7 gün	4,44	1,08	2,57	61,55	0,096	0,051	0,040	
		14 gün	3,83	1,09	2,56	45,65	0,086	0,065	0,046	
	Ortalama			3,02	1,10	2,57	50,58	0,173	0,100	0,071
	Kontrol	-	-	0,35	1,31	2,63	47,06	0,063	0,036	0,031

TS: Temiz Su; AS: Atık Su

Islak agregat stabilitesi değerleri kontrol konusu değerini göre arıtma çamuru karıştırılmasıyla artmıştır (Çizelge 4.2). En yüksek doz olan 150 t/ha uygulamasında kontrol konusu değerinin (%0,35) 8,6 katı daha yüksek değer belirlenmiştir. En düşük doz (50 t/ha) uygulamasında ise artış miktarı 3,06 kat olmuştur. Yüksek dozda kontrole göre oldukça yüksek bir artış olmasına rağmen toprak yapısının sodyumluluk etkisiyle aşırı bozulmuş olmasının arıtma çamuru doz artışının organik madde artışından dolayı stabilitedeki gelişmeye etkisinin kısa süreçte önemli seviyede olamayacağını ortaya koymuştur. Arıtma çamuruyla toprağa organik madde ilavesinin daha yüksek ıslak agregat stabilitesi değerinin elde edilmesinde önemli faktör olduğu çok sayıda

araştırmacının tespitleri arasında yer almaktadır (Singh and Agrawal 2008; Annabi *et al.* 2011; Gupta *et al.* 2014; Mondal *et al.* 2015; Yazdanpanah *et al.* 2016). Yine Hanay *et al.* (2004) jips uygulanmış tuzlu-sodyumlu toprağa kentsel katı atık kompostu ilavesinin organik maddeyi artırarak agregat stabilitesinde önemli artışlar sağladığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, tuzlu-sodyumlu topraklara arıtma çamuru karıştırılmasının ıslak agregat stabilitesini artırdığı Sahin *et al.* (2008) tarafından da belirlenmiştir.

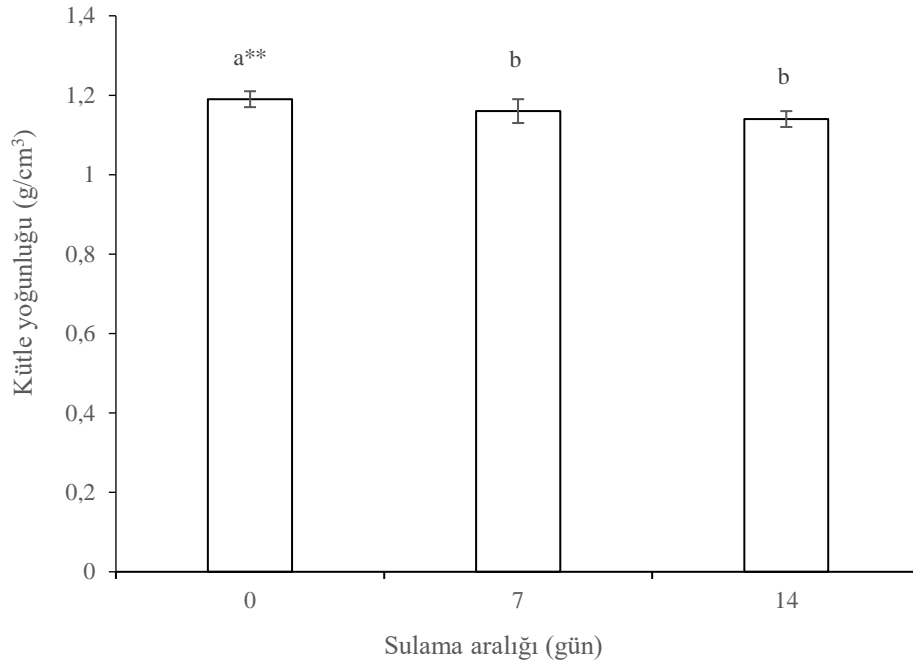
Kütle yoğunluğunun değişimi üzerine arıtma çamuru dozlarının ve sulama aralıklarının çok önemli seviyede ($p<0.01$) etkisi olduğu belirlenmiştir (EK 2, Şekil 4.15 ve 4.16).



Şekil 4.15. Kütle yoğunluğu değerinin doz artışı ile değişimi (** $p<0,01$)

50, 100 ve 150 t/ha dozlarında sırasıyla kontrol konusuna göre kütle yoğunluğu değeri %6,1, %10,7 ve %16 azalmıştır (Çizelge 4.2, Şekil 4.15). Artan dozlarda arıtma çamuru uygulanmasının sonucu olarak kütle yoğunluğunun azalması, organik maddenin toprak parçacıklarını birleştirici eksinden kaynaklanmaktadır (Outhman 2016). Çok sayıda çalışmada da arıtma çamuru uygulanmasının kütle yoğunluğunu azalttığı belirlenmiştir (Singh and Agrawal 2008; Delibacak *et al.* 2009; Hussein 2009; De Maria *et al.* 2010; Mondal *et al.* 2015).

Artan sulama aralıklarının da kütle yoğunluğunu azaltıcı etkisi olmuş, kontrol konusuna göre bu azalışlar 0, 7 ve 14 gün sulama aralıklarında sırasıyla %9,1, %11,4, %12,9 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2, Şekil 4.16). Sıfır (0) konusuna göre 7 ve 14 günlük sulama aralıklarının kütle yoğunluğunu daha azaltıcı etkisi ıslanma-kurma süreçlerinin agregasyonu pozitif yönde etkilemiş olmasıyla açıklanabilir (Bresson ve Boiffin, 1990).

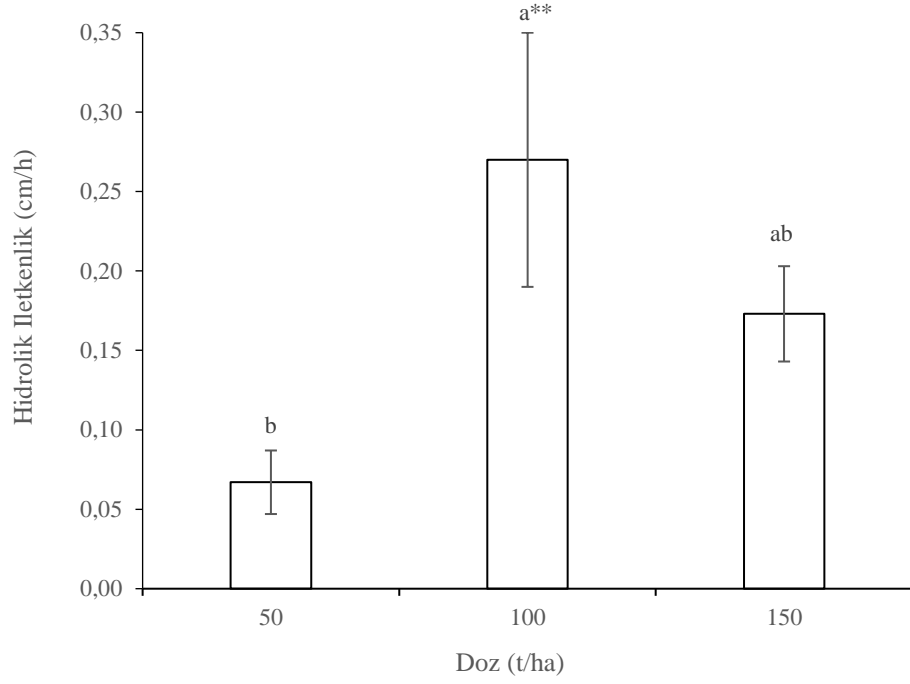


Şekil 4.16. Kütle yoğunluğu değerinin sulama aralıkları ile değişimi (**p<0,01)

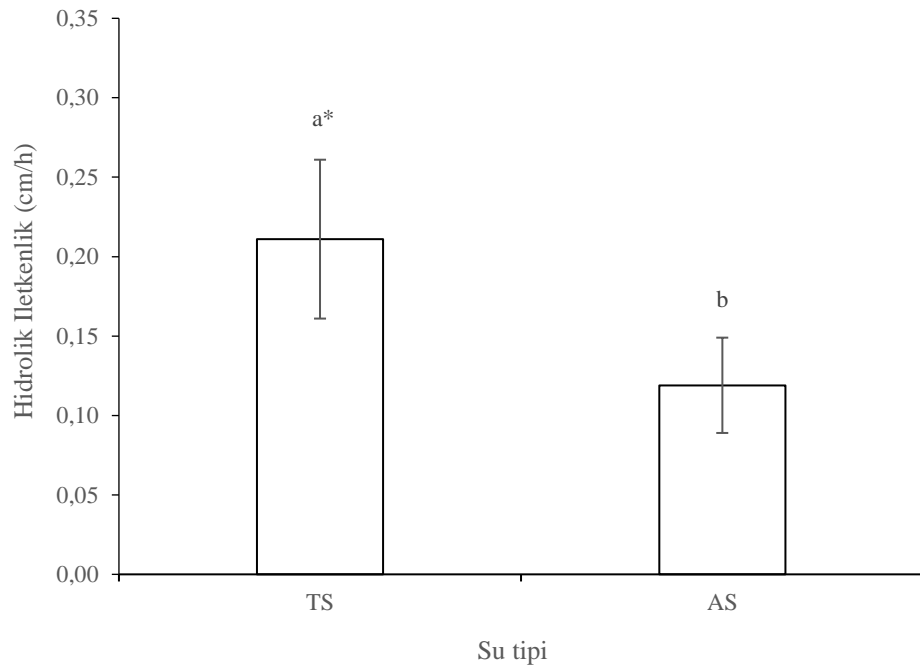
Arıtma çamurunun karıştırılmasıyla ve karıştırılan miktarının artışıyla tane yoğunluğu değerleri kontrol konusuna göre azalmıştır. 50, 100 ve 150 t/ha dozlarında azalış miktarları sırasıyla %0,9, %1,8 ve %2,17 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.2). Bu azalışın arıtma çamurunun yüksek organik madde içeriğinden (Çizelge 3.2) ve artan dozlarda ortama daha fazla organik madde girişinden (Şekil 4.3) kaynaklandığı söylenebilir (Ergene 1993). Delibacak *et al.* (2009) ve Angin and Yaganoglu (2011) tarafından yürütülmüş önceki çalışmalarda da arıtma çamuru doz artışıyla tane yoğunluğu değerlerinde önemli azalışlar belirlenmiştir.

Uygulamaların porozite değerleri üzerine istatistiksel bir etkisi olmazken (EK 2), 50 t/ha uygulaması poroziteyi %2,8 azaltmış, daha yüksek dozlarda arıtma çamuru uygulanması porozite değerlerinde artışa neden olmuştur. 100 ve 150 t/ha uygulamalarında da kontrol konusuna göre artış miktarları sırasıyla %3,5 ve %7,5 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.2). Artan dozlarda arıtma çamurundan kaynaklı organik maddenin ortama daha fazla girişinin etkisiyle (Şekil 4.3) gelişen agregasyonun bu sonucu ortaya çıkardığı söylenebilir. Toprağa organik madde ilavesiyle toprağın toplam porozite değerinde artış önceki birçok çalışmada da belirlenmiştir (Mathers and Stewart 1980; Marinari *et al.* 2000; Celik *et al.* 2004).

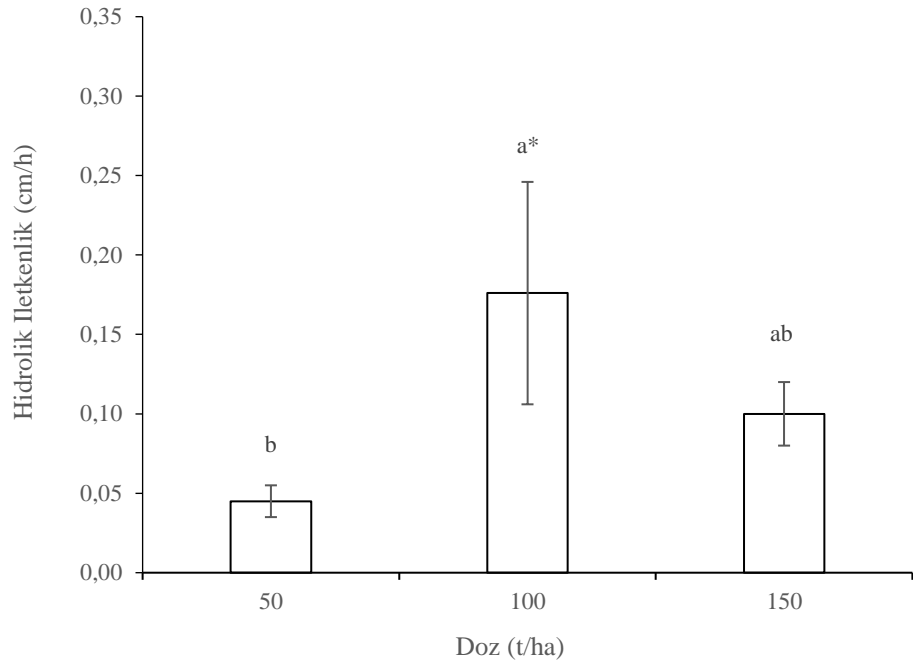
Tuzlu-sodyumlu toprakta 2, 12 ve 24 h'lik hidrolik iletkenlik değerleri üzerine doz artışı ve su tipi çok önemli ($p<0,01$) ve önemli ($p<0,05$) düzeyde etki etmiştir (**EK 2**; Çizelge 4.2; Şekil 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21). En düşük dozda arıtma çamuru uygulamasında 2, 12 ve 24 h'lik süreler için hidrolik iletkenlik değerleri Çizelge 4.2' deki 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 4.17, 4.19, 4.20). Arıtma çamuruyla ortama giren organik maddenin etkisiyle gelişen agregasyon hidrolik iletkenlikte iyileşmeyi sağlamıştır (Çizelge 4.2). En yüksek dozda görülen azalma ise organik maddenin gözenek büyüklük dağılımını etkilemesiyle açıklanabilir (Jnad *et al.* 2001; Schneider *et al.* 2009; Ferreira *et al.* 2011). Yine atık su uygulandığı koşullarda suda çözünmüş organik maddenin yukarıda bahsedilen gözenek büyüklük dağılımı üzerine etkisinin kısa süreçte hidrolik iletkenliği azaltabileceği söylenebilir (Şekil 4.18 ve 4.21). Ayrıca atık suyla ortama giren sedimentinde kısmen gözeneklerde daralma yaratarak bu sonucu ortaya çıkarabileceği de düşünölmektedir (Çizelge 3.3).



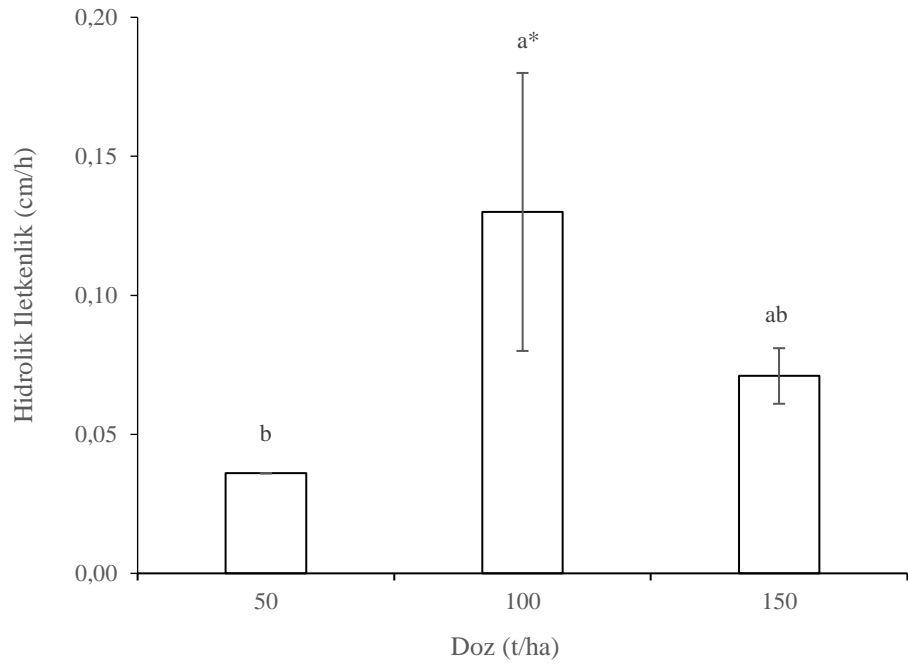
Şekil 4.17. Hidrolik iletkenlik (2 saat) değerinin doz artışı ile değişimi (**p<0,01)



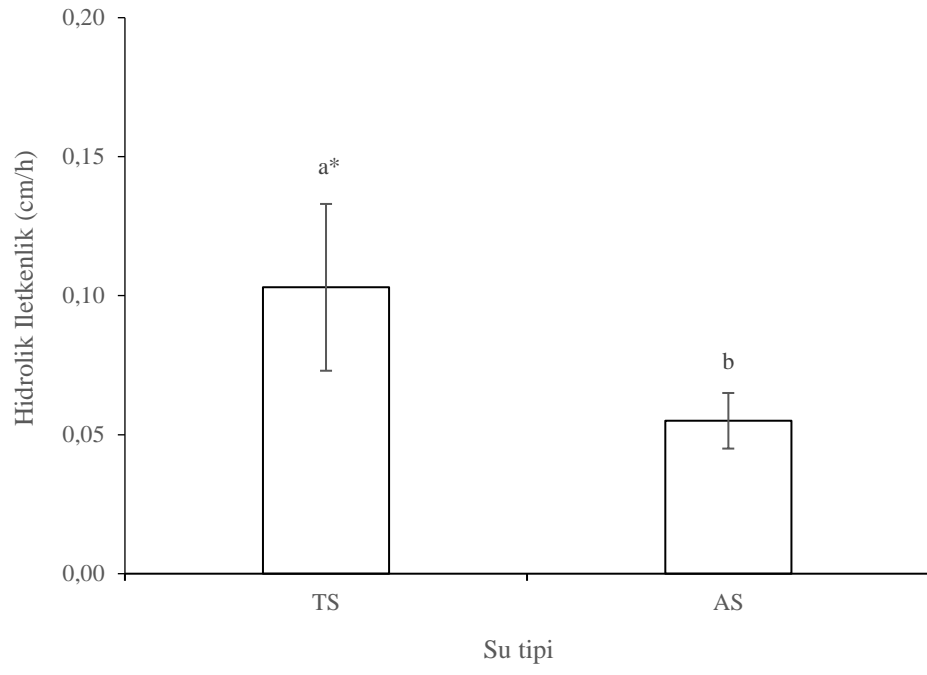
Şekil 4.18. Hidrolik iletkenlik (2 saat) değerinin su tipi ile değişimi (*p<0,05)



Şekil 4.19. Hidrolik iletkenlik (12 saat) değerinin doz artışı ile değişimi (* $p < 0,05$)



Şekil 4.20. Hidrolik iletkenlik (24 saat) değerinin doz artışı ile değişimi (* $p < 0,05$)



Şekil 4.21. Hidrolik iletkenlik (24 saat) değerinin su tipi ile değişimi (* $p < 0,05$)

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

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 kimyasal [pH, EC, organik madde, CaCO₃, değişebilir Na, değişebilir Ca, Katyon Değişim Kapasite (KDK), Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP)] ve fiziksel-hidrolik özellikleri (ıslak agregat stabilitesi, kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite ve hidrolik iletkenlik) üzerine etkileri laboratuvar koşullarında yürütülmüş bir denemeye araştırılmıştır.

Arıtma çamuru doz artışıyla toprakların kimyasal özelliklerden pH, organik madde, CaCO₃, değişebilir Na, değişebilir Ca, KDK ve ESP için çok önemli ($p<0,01$) değişimler belirlenmiştir. Fiziksel özelliklerde de kütle yoğunluğu için çok önemli ($p<0,01$), hidrolik iletkenlik içinde de ölçüm süresine bağlı olarak önemli ($p<0,05$) ve çok önemli ($p<0,01$) değişimler tespit edilmiştir.

Sulama aralıklarının kimyasal özelliklerden pH, organik madde, CaCO₃, değişebilir Na, değişebilir Ca, KDK ve ESP üzerine çok önemli ($p<0,01$) etkileri olmuştur. Fiziksel özelliklerde de kütle yoğunluğu çok önemli ($p<0,01$) seviyede değişmiştir.

Kullanılan su tiplerine göre de değişebilir Ca ve KDK' da çok önemli ($p<0,01$), hidrolik iletkenlikte de (2 ve 24 h) önemli ($p<0,05$) değişimler belirlenmiştir.

Arıtma çamuru karıştırılmamış ve sulanmamış kontrol konusuna göre; 50, 100 ve 150 t/ha arıtma çamuru uygulamalarında sırasıyla pH %3,7, %9,8 ve %10,4 azalmış, organik madde içeriği 7,8, 12,6 ve 17,2 kat artış, CaCO₃ içeriğinde %7,0, %11,7 ve %20,9 azalma, değişebilir Na içeriğinde %18,4, %22,5 ve %24,9 azalma, değişebilir Ca içeriğinde %8,6, %24,7 ve %31 artış, KDK değerlerinde %5,3, %6,6 ve %9,6 azalma, ESP değerlerinde %9, %10,6 ve %12,7 azalma, kütle yoğunluğunda %6,1, %10,7, %16 azalma, tane yoğunluğunda %0,9, %1,8, %2,17 azalma belirlenmiştir. 2, 12 ve 24 h'lik

hidrolik iletkenlik değerlerinde 50 ve 100 t/ha dozlarında sırasıyla 1,06, 1,25, 1,16 ve 4,3, 4,9, 4,2 kat, 150 t/ha uygulamasında ise sırasıyla 2,8, 2,8 ve 2,3 kat artışlar olmuştur.

Kontrol konusuna göre; 0, 7 ve 14 günlük sulama aralıklarında sırasıyla, pH değerinde %9,3, %7,1 ve %7,5 azalma, organik madde içeriğinde 11,3, 12,5 ve 13,7 kat artış, değisebilir Na içeriğinde %16,5, %23,6 ve %25,7 azalma, değisebilir Ca içeriğinde %13,2, %21,3 ve %29,8 artış, KDK değerinde %4,8, %8,1 ve %8,6 azalma, ESP değerinde %5, %11,9, %15,4 azalma ve küttele yoğunluğunda %9,1, %11,4 ve %12,9 azalma belirlenmiştir.

Yine kontrol konusuna göre; temiz su ve arıtılmış atık su uygulamalarında sırasıyla, değisebilir Ca içeriğinde %20 ve %22,8 artış, KDK içeriğinde %6,9 ve %7,4 azalma, 2 h'lik (2 h) hidrolik iletkenlik değerinde 3,5 ve 1,9 kat artış ve 24 h'lik hidrolik iletkenlik (24 h) değerinde 3,5 ve 1,7 kat artış tespit edilmiştir.

Deneme sonrası EC değerleri değişmezken, pH değerleri nötr seviyelere daha çok yaklaşarak bitki beslenme açısından önemli bir avantaj olmuştur. Özellikle en yüksek doz en iyi sonucu ortaya çıkarmıştır. Yine en yüksek doza doğru ESP değerinde de bir düşüş eğilimi görülmüştür.

Arıtılmış atık su uygulaması temiz su uygulamalarına benzer pH, EC ve ESP değerleri sağlanmıştır. Sulama yapılması EC'yi değiştirmezken pH' deki azalışı kısıtlanmış, ancak artan sulama aralığıyla ESP değerleri azaltmıştır. Organik madde ve değisebilir Ca içeriğinin en yüksek dozda en fazla belirlenmiş olması bu dozda küttele yoğunluğunda değisebilir Na içeriğinde, CaCO₃ içeriğinde ve ESP deki azalış ortaya çıkarmıştır.

Bu sonuçlar tuzlu sodyumlu bir toprağa yüksek dozda arıtma çamurunun karıştırılmasının toprağın ESP ve hidrolik iletkenliği değerlerinin iyeleştirebileceğini ortaya koymuştur. Agregat stabilitesinin artış eğilimi göstermesi organik maddenin ve CaCO₃ içeriğinin zamanla pozitif katkı sağlayacağı olasılığını artırmıştır. Artan sulama

aralıklarında da bu katkının daha da artacağı beklenmektedir. Askıda katı madde içerikleri düşük ve orta tuzluluktaki atık suların temiz su yerine kullanabileceği de sonuçlardan açıkça görülmektedir. Bu durumda arıtma tesislerin katı ve sıvı atıkların tuzlu sodyumlu topraklara uygulanarak betrafının atık yönetimi ve çevre kuruma açısından katkıları önemli olacaktır.



KAYNAKLAR

- Abrol, I.P, J.S.P Yadav and F.I Massoud. 1988. Salt-affected soils and their management. FAO Soils Bulletin, Soil Resources, Management and Conservation Service, FAO Land and Water Development Division, 39: pp.131.
- Abrol, I.P. and Bhumbra D.R., 1979. Crop responses to differential Gypsum Applications in a highly sodic soil and the tolerance of several crops to exchangeable sodium under field conditions. Soil Science, Vol. 127, No. 2, pp.79-84.
- Aggelides, S. M., and P. A. Londra. 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.
- Al Saadi, M.M., Al Wardy, M.M., 2019. Influence of sludge compost on soil properties and tomato plant uptake of metals. American Journal of Biomedical Science and Research, 2 (2), 86-92.
- Alperovitch, N., I. Shainberg, and R. Keren. 1985. Effect of clay mineralogy and aluminum and iron oxides on the hydraulic conductivity of clay-sand mixtures. Clays Clay Miner. 33:443-450.
- Angin, I., Yaganoglu, A.V., 2011. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. Journal of Agricultural Science and Technology, 13 (5), 757-768.
- Annabi, M., Le Bissonnais, Y., Le Villio-Poitrenaud, M., Houot, S., 2011. Improvement of soil aggregate stability by repeated applications of organic amendments to a cultivated silty loam soil. Agriculture, Ecosystems & Environment, 144 (1), 382-389.
- 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, A.S.B. and T.W. Tanton. 1992. Gypsum applications to aggregated salinesodic clay topsoil. J. Soil Sci. 43:249-260.
- Aşık, Ş., Avcı, M., Balcı, A., 1997. Atık suların sulamada kullanım stratejileri. 6. Ulusal Kültürteknik Kongresi Bildirileri Kitabı, 5–8 Haziran 1997, Bursa, 564–576
- Black, C.A., 1968. Soil-Plant Relationships. John Wiley & Sons, INC. USA.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986. Bulk density. In: A. Klute, ed., Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 363-375.
- Brady, N.C. and Weil, R.R., 2002. The Nature and Properties of Soils, 13th Edition. Prentice Hall, Inc., USA.
- Bresson, L. M. and Boiffin, J., 1990. Morphological characterization of soil crust development stages on experimental field. Geoderma 47: 301-325.
- Cameron, K.C., Di, H.J., and McLaren, R.G., 1997. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? Australian Journal of Soil Research, Vol. 35, pp. 995-1035.

- Carabassa, V., Ortiz, O., Alcañiz, J.M., 2018. Sewage sludge as an organic amendment for quarry restoration: Effects on soil and vegetation. *Land Degradation Development*, 29, 2568-2574.
- Celik, I., Ortas, I., & Kılıç, S. (2004). Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research*, 78, 59–67.
- Czekala, J., Mocek, A., Owczarzak, W., 2010. Effect of long-term sewage sludge application on soil chemical indices. *Ecological Chemistry and Engineering A*, 17 (4-5), 1-9.
- Çay, Ş., 2013. Konya Kentsel Atık Suların Tarımsal Sulamada Kullanılması ve Mısır Bitkisi Yetiştiriciliğine Etkileri. Adana, 2013. Doktora Tezi (Basılmamış).
- Dan, W., Nianpeng, H., Qing, W., Yuliang, L., Qiufeng, W., Zhiwei, X., Jianxing, Z., 2016. Effects of temperature and moisture on soil organic matter decomposition along elevation gradients on the changbai mountains, Northeast China. *Pedosphere* 26 (3), 399-407.
- De Maria, I.C., Chiba, M. K., Costa, A., Berton, R.S., 2010. Sewage sludge application to agricultural land as soil physical conditioner. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34 (3), 967-974.
- De Pascale, S., Barbieri, G., 1997. Effects of soil salinity and top removal on growth and yield of broad bean as a green vegetable. *Scientia Hort* 71(3-4): 147-165
- Delibacak, S., Okur, B., Ongun, A.R., 2009. Effects of treated sewage sludge levels on temporal variations of some soil properties of a Typic Xerofluent soil in Menemen Plain, Western Anatolia, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148, 85-95.
- Demiralay, İ., 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 143, Erzurum.
- Dorivar Ruiz Diaz and DeAnn Presley. 2017. Management of Saline and Sodic Soils. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. www.bookstore.ksre.ksu.edu
- EPA (Environmental Protection Agency) (1993): Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge. – 40 CFR Part 503. Federal Register, Vol: 58, No: 32. pp. 9248–9404.
- Ergene, A., 1993. Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üni. Zir. Fak. Yayın No: 586. Ziraat Fakültesi Yayın No: 267. Ders Kitapları Serisi No: 42. Erzurum.
- FAO, 1999. Global Network on Integrated Soil Management for Sustainable Use of Salt Affected Soils. Proceedings of the Third International Workshop (Network Meeting) held in Izmir, Turkey, 6–9 September 1999.
- FAO, 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt affected soils, Available from: www.fao.org/agl. Accessed on 08/01/2019.
- FAO, 1992. The use of saline water for crop production. Irrigation and Drainage Paper, 48. Rome.
- Ferreira, S.R.D.M., Oliveira, J.T.R.D., Messias, A.S., Silva, H.A., Nascimento, A.E.D., Feitosa, M.C.A., 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 Semp., 139–152.

- Frenkel, H., J.D. Goertzen, and J.D. Rhoades. 1978. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42:32-39.
- Ghassemi, F., Jakeman, A.J., Nix, h.a., 1995. *Salinisation of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies.* UNSW Press, Sydney, Australia and CAB International, Wallingford, UK
- Goldberg, S., D.L. Suarez, and R.A. Glaubig. 1988. Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid-zone soils. *Soil Sci.* 146:317-325.
- Gupta, M., Shikhab, P.K.S., Tewaria, S.K., 2014. Prospects of sodic soil amelioration for increased crop production in India. *Advances in Bioresearch* 5 (1), 160-162.
- Gupta, R.K., D.R. Bhumbra and I.P. Abrol. 1985. release of exchangeable sodium from a sodic soil upon amendment application role of variable charge and exchangeable cation hydrolysis. *Soil Sci.*, 139:312-317.
- Hadad, N., M.Khamis, M. Dakiky, A. Manassra, M.Qurie, R. karaman., 2013. The Response of Chickpea Cultivars to Irrigation with Treated Wastewater, *Journal of Earth Science and Engineering.* 3(2013), 603-612.
- Hanay A., Büyüksönmez F., Kızıloğlu F. M. and Canbolat M. Y. 2004. Reclamation of Saline-Sodic Soils with Gypsum and MSW Compost. *Compost Science & Utilization*, (2004), Vol. 12, No. 2, 175-179.
- Harker, D.B., D.E. Mikalson, 1990. Leaching of a highly saline-sodic soil in southern Alberta; A laboraioi^ study. *Can. J. Soil Sci.*, 70: 509-514.
- Hati, K.M., Biswas, A.K., Bandyopadhyay, K.K., and Misra, A.K., 2007. Soil properties and crop yields on a vertisol in India with application of distillery effluent. *Soil and Tillage Research*, 92, pp. 60-68.
- Herpin, U., Gloaguen, t.V., da Fonseca, A.F., Montes, C.R., Mendonc, F.C., Piveli, R.P., Breulmann, G., Forti, M.C. and Melfi, A.J., 2007. Chemical effects on the soil–plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation— A pilot field study in Brazil, *Agric. Water Manage* doi:10.1016/j.agwat.2007.01.001, <https://doi.org/10.1155/2017/1092838>
- Hussein, A.H.A., 2009. Impact of sewage sludge as organic manure on some soil properties, growth, yield and nutrient contents of cucumber crop. *Applied Science*, 9, 1401-1411.
- Ilyas, M., R.H. Qureshi. And M.A. Qadir. 1997. Chemical changes in a saline - sodic soil after gypsum application and cropping. *J. of Soil Tech.*, 10: 247-260.
- Ilyas, M., R.W. Miller and R.H. Qureshi. 1993. Hydraulic conductivity of saline–sodic soil after gypsum application and cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:1580-1585.
- Jalali, M., Ranjbar, F., 2009. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. *Geoderma*, 153 (1-2), 194-204.
- Jaramillo, M., Restrepo, I., 2017. Wastewater Reuse in Agriculture: A Review about its Limitations and Benefits. *Sustainability*, 9 (10), 1734.
- 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.
- Kanber, R., Ünlü, M., 2010. Tarımda su ve toprak tuzluluğu. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 281, Adana.

- Karaoğlu, M., 2011. Zirai meteorolojik açıdan Iğdır iklim etüdü. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1, 1, 97-104.
- Kay, B.D. and A.R. Dexter. 1990. Influence of aggregate diameter, surface area, and antecedent water content on the dispersibility of clay. *Can. J. Soil Sci.* 70:655-671.
- Kemper, W.D. 1965. Aggregate stability. "Methods of Soil Analysis." Part I, Black. C.A., Editör-in-Chief, Agronomy monograph, American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wis., USA, 9; 511-519.
- Keren, R., and M.J. Singer. 1988. Effect of electrolyte concentration on hydraulic conductivity on Na/Ca-montmorillonite sand systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:368-373
- Khurana, M.P.S. Singh, P., 2012. Wastewater use in crop production: a review. *Resources and Environment*, 2 (4), 116-131.
- Lamond, R.E., Whitney, D.A., 1992. Management of Saline and Sodic Soils. Kansas State University.
- Landmark Papers: No. 2. Quirk, J. P. & Schofield, R. K. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. *Journal of Soil Science*, 6, 163–178
- Laternus, F., von Arnold, K., Gron, C. (2007): Organic contaminants from sewage sludge applied to agricultural soils – false alarm regarding possible problems for food safety? – *Environmental Science and Pollution Research* 14: 53–60
- Li, C.B. and T.R. Yu. 1990. Interactions of anions with the clay fraction of variable charge soils as inferred from conductivity dispersion. *Soil Sci.* 150:831-835.
- Liang, Y., Si, J., Nikolic, M., Peng, Y., Chen, W., Jiang, Y., 2005. Organic manure stimulates biological activity and barley growth in soil subject to secondary salinisation. *Soil Biology & Biochemistry*, Vol. 37, pp. 1185-1195.
- Lindsay, B., and T. J. Logan. 1998. Field response of soil physical properties to sewage sludge. *Journal of Environmental Quality* 27: 534–542.
- Loeppert R.H., Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. In: Sparks D.L., Page A.L., Helmke
- Logan, T. J., and B. J. Harrison. 1995. Physical characteristics of alkaline stabilized sewage sludge (N-Viro soil) and their effects on soil physical properties. *Journal of Environmental Quality* 24: 153–164.
- Loveday, J., 1976. Relative Significance of Electrolyte and Cation Exchange Effects when Gypsum is Applied to a Sodic Clay Soil. *Australian Journal of Soil Research*, Vol. 14, pp. 361-371.
- M.Qadir, D. Steffens, F. Yan, and S. Schubert. 2003. Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degradation and Development*, vol. 14, no. 3, pp. 301–307, 2003. vol. 14, no. 3, pp. 301–307.
- Marcelis, L., and Van Hooijdonk, J., 1999. Effect of salinity on growth, water use and nutrient use in radish (*Raphanus sativus* L.). *Plant and Soil*, 215 (1), 57-64.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., & Grego, S. (2000). Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology*, 72, 9–17.
- Mathers, A. C., & Stewart, B. A. 1980. The effect of feedlot manure on soil physical and chemical properties. In: *Livestock waste: A renewable resource.*

- Proceedings of the Fourth International Symposium on Livestock Wastes, pp. 159–162.
- Mazen, A., Faheed, F.A., Ahmed, A.F., 2010. Study of potential impacts of using sewage sludge in the amendment of desert reclaimed soil on wheat and jews mallow plants. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 53 (4), 917-930.
- McLean, E.O., 1982. Soil pH and Lime Requirement. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds) *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edn. *Agronomy Monograph 9*, American Society of Agronomy Inc., Madison, WI, 199-224.
- McNeal, B.L. and N.T. Coleman. 1966. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 30:308-312.
- Mondal, S., Singh, R.D., Patrab, A.K., Dwivedi, B.S., 2015. Changes in soil quality in response to short-term application of municipal sewage sludge in a typical haplustept under cowpea-wheatcropping system. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management* 4, 37-41.
- Moreira, R.S., Mincato, R.L., Santos, B.R., 2013. Heavy metals availability and soil fertility after land application of sewage sludge on Dystroferic Red Latosol. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 37(6), 512-520.
- Mufeed, B., 2017. Sustainable Management of Calcareous Saline-Sodic Soil in Arid Environments: The Leaching Process in the Jordan Valley. *Applied and Environmental Soil Science*. Volume 2017, Article ID 1092838, 9 pages.
- Munns, R., Husain, S., Rivelli, A.R., James, R.A., Condon, A.G., Lindsay, M.P., Lagudah, E.S., Schachtman, D.P., Hare, R.A., 2002. Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. *Plant Soil* 247: 93-105.
- Muyen, Z., Wrigley, R.J., 2016. Reclamation of sodic soils with organic amendments: a review. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2 (9), 317-324.
- Naidu, R., Sumner, M.E., and Rengasamy, P, 1993. National Conference on Sodic Soils: Summary and Conclusions. *Australian Journal of Soil Research* 31, pp. 949-956.
- Nelson, D.W., Sommers. L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds) *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edn. *Agronomy Monograph 9*, American Society of Agronomy Inc., Madison, WI, 539-580.
- Nelson, R.E., 1982. Carbonate and gypsum. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edn. *Agronomy Monograph 9*, American Society of Agronomy Inc., Madison, WI, 181-198.
- Ors, S., Sahin, U., Khadra, R., 2015. Reclamation of saline sodic soils with the use of mixed fly ash and sewage sludge. *Arid Land Research and Management*, 29 (1), 41-54.
- Outhman, A.M., 2016. Impact of use sewage sludge in agriculture on physical properties of soil. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 10 (1), 78-86.
- Özyazıcı, M.A., Özyazıcı, G., Bayraklı, B., 2012. Arıtma çamuru uygulamalarının toprağın ekstrakte edilebilir demir, bakır, çinko ve mangan kapsamı üzerine etkileri. *Toprak Su Dergisi*, 1 (2), 110-118.

- P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T., Sumner M.E. (eds.). *Methods of soil analysis – part 3. Chemical methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. p. 437–474.
- Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T.,
- Pandey, C. B.; Verma, S. K.; Dagar, J. C.; Srivastava, R. C., 2011. Forage production and nitrogen nutrition in three grasses under coconut tree shades in the humid-tropics. *Agrofor. Syst.*, 83 (1): 1-12
- Peineman, N., Guggenberger, G., and Zech, W., 2005. Soil organic matter and its lignin component in surface horizons of salt-affected soils of the Argentinian Pampa. *Catena*, Vol. 60, pp 113-128.
- Qadir M, Ghafoor A, Murtaza G (2000) Amelioration strategies for saline soils: a review. *Land Degrad Dev* 11:501-521.
- Qadir, M., Qureshi, R.H., and Ahmad, N., 2002. Amelioration of calcareous saline sodic soils through phytoremediation and chemical strategies. *Soil Use and Management*, 18, pp. 381-385.
- Qadir, M., Schubert, S., Ghafoor, A. and Murtaza, G., 2001. Amelioration strategies for sodic soils: A Review. *Land Degradation and Development* 12, pp. 357-386.
- R. Seenivasan, V. Prasath and R. Mohanraj. 2016. Sodic Soil Reclamation in a Semi-Arid Region Involving Organic Amendments and Vegetative Remediation by *Casuarina equisetifolia* and *Erianthus arundinaceus*. *Environ. Process.* (2016) 3:431–449 DOI 10.1007/s40710-016-0155-1.
- Rengasamy, P. and Olsson, K.A., 1991. Sodicity and Soil Structure. *Australian Journal of Soil Research* Vol.29, pp. 935-952.
- Rhoades J.D., 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks D.L.,
- Rhoades, J.D., 1982. Cation Exchange Capacity. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed., Ed: A.L. Page. Soil Sci. Soc. of Amer. Inc., Madison, Wisconsin, 149-157.
- Rhoades, J.D., 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis, Part 3, Chemical Methods*. Soil Science Society of America Book Series, No. 5, Madison, WI, 417-435.
- Rhoades, J.D., Kandiah, A., Mashali, A.M., 1992. The use of saline waters for crop production. In: *FAO Irrigation and Drainage Paper 48*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, p. 133
- Sahin, U., Angin, I., Kiziloglu, F.M., 2008. Effect of freezing and thawing processes on some physical properties of saline–sodic soils mixed with sewage sludge or fly ash. *Soil and Tillage Research*, 99 (2), 254-260.
- 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., O. Anapali, and A. Hanay. 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.

- SalCon (Salinity and Contaminant Hydrology Group), 1997. Salinity Management Handbook. Queensland Department of Natural Resources, Brisbane.
- Salhab, D.M.A., 2014. The Impact of Sewage Sludge as a Soil Amendment to Saline Soil on the Growth and Development of Processing Tomatoes. MS thesis, the Faculty of Graduate Studies, Birzeit University, Palestine.
- Sameni, A.M. 1997. The reclaiming effects of gypsum on the structure and hydraulic conductivity of different saline-sodic soils, pp. 95-106. In: Proceedings of the International Conference on Land Reclamation and Rehabilitation, 25-27 August 1997, Penang, Malaysia.
- 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.
- Singh, R. P., Agrawal, M. (2008): Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. – *Waste Management* 28: 347–358.
- Singh, R.P., Agrawal, M., 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, 28, 347–358.
- Sönmez, B., 2004. Türkiye’de çorak ıslahı araştırmaları ve tuzlu toprakların yönetimi. Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 20-21.
- Sort, X., and J. M. Alcaniz. 1999. Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. *Land Degradation and Development* 10: 3–12.
- Sumner M.E. (eds.). *Methods of soil analysis – part 3. Chemical methods*. American Society
- Sumner M.E., Miller W.P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. In: Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T., Sumner M.E. (eds.). *Methods of soil analysis – part 3, chemical methods*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. p. 1201–1229.
- 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.
- Tamanini, C.R., Motta, A.C.V., Andreoli, C.V., Doetzer, B.H., 2008. Land reclamation recovery with the sewage sludge use. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51 (4), 843-855.
- Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J.L., Hernandez, M.T., 2006. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 38 (6), 1413-1421.
- Temel, S., U. Şimşek, 2011. Iğdır ovası toprakların çoraklaşma süreci ve çözüm önerileri. *Alinteri D.*, 21(B), 53-59.
- Thomas G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T., Sumner M.E. (eds.). *Methods of soil analysis – part 3, chemical methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin. p. 475–490.

- Tomašić, M., Zgorelec, Ž., Jurišić, A., Kisić, I., 2013. Cation exchange capacity of dominant soil types in the republic of Croatia. *Journal of Central European Agriculture*, 14 (3), 937-951.
- Tsadilas C.D., Mitsios, I.K., Golia E., 2005. Influence of biosolids application on some soil physical properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36 (4-6), 709-716.
- Valzano, F.P., Greene, R.S.B., Murphy, B.W., Rengasamy P., and Jarwal, S.D., 2001. Effects of gypsum and stubble retention on the chemical and physical properties of a sodic grey Vertosol in western Victoria. *Australian Journal of Soil Research*, Vol 39, pp. 1333-1347.
- Velasco-Molina, H.A., A.R. Swoboda, and C.L. Codfery. 1971. Dispersion of soils of different mineralogy in relation to sodium adsorption ratio and electrolyte concentration. *Soil Sci.* 111:282-287.
- Wahid, A., S. Akhtar, I. Ali and E. Rasul. 1998. Amelioration of saline-sodic soils with organic matter and their use for wheat growth. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 29:2307-2318.
- Warrence, N.J., Bauder, J.W. and Pearson, K.E., 2002. *The Basics of Salinity and Sodicty Effects on Soil Physical Properties*. The Department of Land Resources and Environmental Science, Montana State University – Bozeman. USA
- Warrence, N.J., Bauder, J.W. and Pearson, K.E., 2002. *The Basics of Salinity and Sodicty Effects on Soil Physical Properties*. The Department of Land Resources and Environmental Science, Montana State University – Bozeman. USA
- White, C. S., S. R. Loftin, and R. Aguilar. 1997. Application of biosolid to degraded semiarid rangeland: Nine-year responses. *Journal of Environmental Quality* 26: 1663–1671.
- Wong, J.W.C. and G.E. Ho. 1991. Effects of gypsum and sewage sludge amendment on physical properties of fine bauxite refining residue. *Soil Sci.* 152:326-332.
- Wright R.J., Stuczynski T., 1996. Atomic absorption and flame emission spectroscopy. In: Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A., Loeppert R.H., Soltanpour P.N., Tabatabai M.A., Johnston C.T., Sumner M.E. (eds.). *Methods of soil analysis – part 3, chemical methods*. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. p. 65–90.
- Yaduvanshi, N.P.S., Swarup. A., 2005. Effect of continuous use of sodic irrigation water with and without gypsum, farmyard manure, press mud and fertilizer on soil properties and yields of rice and wheat in a long-term experiment. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 73 (2-3), 111-118.
- Yazdanpanah, N., Mahmoodabadi, M., Cerdà, A., 2016. The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. *Geoderma* 266, 58-65.
- Yurtsever, N., 1984. *Deneysel İstatistik Metotları*. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları No: 121, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında Somali Merka Şehrinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Merka'da tamamladı. 2011 yılında Somali'de Borama Şehrinde Amoud Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Bilimleri Bölümünde yüksek öğrenimine başladı ve 2015 yılında tamamladı. 2016 yılında Yüksek Lisans bursu kazanarak Türkiye'ye geldi. 2016'da Atatürk Üniversitesi Yabancı Diller Yüksekokulunda Türkçe eğitimi aldı. 2017 yılında da Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim dalında başladığı Yüksek Lisansını ve 2019 yılında bitirdi.