



**TUZLU-SODYUMLU TOPRAK ISLAHINDA
STABİLİZE ARITMA ÇAMURU VE ARITILMIŞ
ATIK SULARIN KULLANIM ETKİNLİĞİNİN
BELİRLENMESİ**

Almujtaba Hassbalrassol Muhammed ABDALLH

**Yüksek Lisans Tezi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
Prof. Dr. Üstün ŞAHİN
2018**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TUZLU-SODYUMLU TOPRAK ISLAHINDA STABİLİZE ARITMA
ÇAMURU VE ARITILMIŞ ATIK SULARIN KULLANIM
ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

Almujtaba Hassbalrassol Muhammed ABDALLH

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2018**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



TEZ ONAY FORMU

**TUZLU-SODYUMLU TOPRAK ISLAHINDA STABİLİZE ARITMA ÇAMURU VE
ARITILMIŞ ATIK SULARIN KULLANIM ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

Prof.Dr. Üstün ŞAHİN danışmanlığında, Almujtaba Hassbalrassol Muhammed ABDALLH tarafından hazırlanan bu çalışma, 25/12/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Tarımsal Yapılar ve Sulama Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof.Dr. Üstün ŞAHİN

İmza :

Üye : Doç.Dr. Sebahattin KAYA

İmza :

Üye : Doç.Dr. Selda ÖRS CIRIK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun **03.01./2019** tarih ve **...01.../..08.....** nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2017-6234 ve FHD-2018-6760

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

ÖZET

Y. Lisans Tezi

TUZLU-SODYUMLU TOPRAK ISLAHINDA STABİLİZE ARITMA ÇAMURU VE ARITILMIŞ ATIK SULARIN KULLANIM ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Almujtaba Hassbalrassol Muhammed ABDALLH

Atatürk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Bu çalışmanın amacı tuzlu-sodyumlu toprak ıslahının etkinliğini, kentsel atık su arıtma tesisi arıtılmış atık sularını ve stabilize arıtma çamurlarını jipsle birlikte kullanarak artırmak ve böylece ıslahı daha kısa sürelerde ve sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirmektir. Bu amaçla, 4 farklı arıtma çamuru dozu ve 4 farklı yıkama suyu kombinasyonunu içerecek şekilde 3 tekerrürlü tam şansa bağlı bir deneme yürütülmüştür. Denemede laboratuvar koşullarında 48 adet drenaj tipli metal kolondan oluşturulmuş bir düzenek kullanılmıştır. Kolonlar farklı dozlarda (0, 40, 80 ve 120 t/ha) arıtma çamuru karıştırılmış (0-15 cm) ve karıştırılmamış tuzlu-sodyumlu toprakla iki tabaka olarak 30 cm derinliğinde doldurulmuş, 1 ay inkübasyonda bekletilip gereksinilen jips eklendikten sonra yıkama işlemine geçilmiştir. Yıkamalar temiz su ve atık suyun sıralı 4 farklı kombinasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Toplam 45 cm yıkama suyu 3 dilim halinde aralıklı göllendirme tekniği ile uygulanmıştır. Yıkama suyu kombinasyonları; 1) tüm dilimlerde atık su, 2) ilk iki dilimde atık su + son dilimde temiz su, 3) ilk dilimde atık su + son iki dilimde temiz su ve 4) tüm dilimlerde temiz su şeklinde düzenlenmiştir. Yıkamaları müteakip hidrolik iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında kolonlar iki tabaka (0-15 ve 15-30 cm) halinde örneklerek pH, elektriksel iletkenlik (EC), organik madde ve CaCO₃ içerikleri, değişebilir katyonlar (Na, Ca+Mg, K), katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), ıslak agregat stabilitesi, makro (N, P) element ile mikro element ve ağır metal (B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd) içerikleri belirlenmiştir.

Arıtma çamuru karıştırılması ve uygulama dozu önemli olmuş, arıtma çamuru karıştırılmış yüzey tabaka (0-15 cm) ile karıştırılmamış alt tabaka (15-30 cm) değerleri birbirinden önemli derecede farklılık göstermiştir. Toprak ilk tuzluluk değeri (29,60 dS/m) yüzey tabakada % 79' a alt tabakada % 86' ya varan oranda düşürülebilmştir. Yüzey tabakada ıslak agregat stabilitesi, organik madde ve değişebilir Ca+Mg içeriği artarken, pH, değişebilir Na ve ESP azalmıştır. Başlangıç ESP değerine (% 68,51) göre % 64'e ulaşan sodyumluluk giderimi gerçekleşmiştir. Arıtma çamuru karıştırılmamış konuda ise bu oran % 41,7 olmuştur. Alt tabakada yüksek ESP, düşük elektrolit konsantrasyonu ve zayıf agregat stabilitesinden hidrolik iletkenlik negatif etkilenmiştir. Ancak, hidrolik iletkenlikte zamanla iyileşme görülmüştür. Toprak verimliliği açısından N ve P içerikleri yıkama sürecinden etkilenmiş, toprakta birikim sınırlanmıştır. Mikro element ve ağır metal içeriklerinde de doz artışıyla artışlar yıkama-birikme etkisiyle genel olarak alt tabakada daha fazla olmuş, ancak ağır metal içerikleri kirlilik limit değerlerinin oldukça altında kalmıştır.

2018, 71 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Tuzlu-sodyumlu toprak, stabilize arıtma çamuru, arıtılmış atık su, değişebilir sodyum yüzdesi, elektriksel iletkenlik, hidrolik iletkenlik

ABSTRACT

MS Thesis

DETERMINATION OF EFFICIENCY USAGE OF STABILIZED SEWAGE SLUDGE AND TREATED WASTEWATER IN SALINE-SODIC SOILS RECLAMATION

Almujtaba Hassbalrassol Muhammed ABDALLH

Atatürk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

The aim of this study was to improve the success of a saline-sodic soil reclamation by using treated wastewater and stabilized sewage sludge from municipal wastewater treatment facility together with gypsum to provide a sustainable amelioration in a shorter time. Therefore, an experiment was performed with three replications using completely randomized factorial design of 4 different sludge doses and 4 different leaching water combinations. For experiments, a stand with a 48-unit drainage type metal columns were established in laboratory conditions. Columns were filled with saline-sodic soil in two layers at a depth of 30 cm. Only surface layer (0-15 cm) in all columns was containing different doses (0, 40, 80 and 120 t / ha) of sewage sludge. Soils retained in incubation for 1 month then the required gypsum were added before leaching water application. A total of 45 cm leaching water was applied in three portions with intermittent ponding technique. The leaching water combinations were prepared using fresh water and wastewater as well as their combinations are; 1) treated wastewater in three portions, 2) treated wastewater in the first two portions and fresh water in the last portion, 3) treated wastewater in the first portion and fresh water in the last two portions and 4) fresh water in three portions. Following the leaching, hydraulic conductivity measurements were carried out, and then columns were sampled into two layers (0-15 and 15-30 cm). In the samples, the pH, electrical conductivity (EC), organic matter and CaCO₃ contents, exchangeable cations (Na, Ca+Mg, K), cation exchange capacity (CEC), exchangeable sodium percentage (ESP), wet aggregate stability, macro (N, P) elements and micro element and heavy metal (B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd) contents were determined.

The difference between the values of the upper layer (0-15 cm) and the lower layer (15-30 cm; no sewage sludge) values were significant. The initial electrical conductivity (29,60 dS/m) of the soil was reduced up to 79% and 86% in the upper and lower layer, respectively. While the wet aggregate stability, organic matter and exchangeable Ca+Mg content increased in the upper layer, pH, exchangeable Na and ESP decreased. Sodium removal ratio reached to 64% as regards to the initial ESP (68,51%). whereas this ratio was 41,7% for the columns which were not mixed with sewage sludge. Due to high ESP, low electrolyte concentration and poor aggregate stability in the lower layer, hydraulic conductivity negatively affected, however it improved over time. In terms of soil fertility, the contents of N and P were affected by leaching process, thus their accumulation in the soil were limited. Due to the increase of doses and the effect of leaching-accumulation, the increase of the micro element and heavy metal contents in the lower layer was higher, however, these contents were quite below than heavy metal limit values.

2018, 71 pages

Keywords: Saline-sodic soil, stabilized sewage sludge, treated wastewater, exchangeable sodium percentage, electrical conductivity, hydraulic conductivity

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi tarafından FYL-2017-6234 ve FHD-2018-6760 numaralı projelerle desteklenmiştir.

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Üstün ŞAHİN'e teşekkürlerim en yücesini sunarım.

Çalışmamda ilgi ve destekleriyle bana yardımcı olan hocalarım Sayın Prof. Dr. Abdurrahman HANAY'a, Sayın Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT'a, Sayın Prof. Dr. İlker ANGIN'a, Sayın Doç. Dr. Selda ÖRS CIRIK'a ve Sayın Doç. Dr. Ekrem Lütfi AKSAKAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca araştırmanın özellikle laboratuvar analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesi aşamasında yardımlarını esirgemeyen Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü öğretim üyesi değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Adil AYDIN'a ve Teknisyen Cihan VURAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her anında uzakta olsalar bile, en zor günlerimde desteğini esirgemeyen güzel aileme teşekkürlerin en yücesini sunarım.

Almujtaba Hassbalrassol Muhammed ABDALLH

Aralık 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	2
2.1. Arıtma Çamuru.....	5
2.2. Yıkama Uygulamaları.....	7
3. MATERYAL ve METOD.....	9
3.1. Deneme Deseni ve Uygulamalar.....	9
3.2. Analiz, Ölçüm ve Değerlendirmeler.....	12
4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	19
4.1. pH.....	19
4.2. Elektriksel İletkenlik (EC).....	21
4.3. Organik Madde.....	23
4.4. CaCO ₃ İçeriği.....	25
4.5. Değişebilir Katyonlar ve Katyon Değişim Kapasitesi (KDK).....	26
4.6. Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP).....	31
4.7. Islak Agregat Stabilitesi.....	33
4.8. Hidrolik İletkenlik.....	35
4.9. Toplam N ve P İçerikleri.....	37
4.10. Mikro Element ve Ağır Metal İçerikleri.....	39
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	42
KAYNAKLAR.....	45
EKLER.....	52
EK 1.....	52
EK 2.....	53
EK 3.....	54
EK 4.....	55
EK 5.....	56

EK 6.	57
EK 7.	58
EK 8.	59
EK 9.	60
EK 10.	61
EK 11.	62
EK 12.	63
EK 13.	64
EK 14.	65
EK 15.	66
EK 16.	67
EK 17.	68
EK 18.	69
EK 19.	70
EK 20.	71
ÖZGEÇMİŞ	72

KISALTMALAR DİZİNİ

- A : Arazi alanı (m²)
A_k : Kolon enine kesit alanı (cm²)
D_s : Toprak derinliği (m)
EA : Eşdeğer ağırlık
EC : Elektriksel iletkenlik (dS/m)
ESP : Değişebilir sodyum yüzdesi (%)
ESP_f : Bitiştirteki değişebilir sodyum yüzdesi (%)
ESP_i : Başlangıçtaki değişebilir sodyum yüzdesi (%)
GR : jips gereksinimi (ton/da)
V_s : Hacim ağırlığı (g/cm³)
H : Göllendirilen su yüksekliği (cm)
KDK : Katyon değişim kapasitesi (me/100 g)
K_s : Satüre hidrolik iletkenlik (cm/h)
L : Toprak kolon yüksekliği (cm)
Na_x : Değişebilir Na (me/100 g)
SAR : Sodyum adsorbsiyon oranı
t : Geçen zaman (h)
V : Derene olan suyun hacmi (cm³)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Deneme düzeneği.....	9
Şekil 3.2. Toprak kurutma ve elenme işlemleri	11
Şekil 3.3. Erzurum biyolojik atık su arıtma tesisi	12
Şekil 3.4. pH ve EC ölçümleri	14
Şekil 3.5. Flame fotometrede okumalar	16
Şekil 3.6. Mikro element ve ağır metal (B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb ve Cd) içeriklerinin ICP-MS’de ölçümleri.....	16
Şekil 3.7. Agregat stabilitesinin belirlenmesi	17
Şekil 3.8. Hidrolik iletkenlik ölçümleri	18
Şekil 4.1. pH - organik madde ilişkisi.....	21
Şekil 4.2. Yüzey tabaka (0-15 cm) elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi	23
Şekil 4.3. Organik madde içeriğinin arıtma çamuru dozlarıyla değişimi	25
Şekil 4.4. Yüzey tabakada (0-15 cm) değişebilir Na ve Ca+Mg içeriğinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi	29
Şekil 4.5. Sodyum giderim etkinliğinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi....	32
Şekil 4.6. Yüzey tabakada (0-15 cm) ıslak agregat stabilitesinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi	34
Şekil 4.7. Farklı süreli ölçümlerde hidrolik iletkenlik değerlerinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi	36
Şekil 4.8. Toplam N içeriğinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi	37
Şekil 4.9. Toprak P içeriğinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi.....	38
Şekil 4.10. Yüzey (0-15 cm) ve alt (15-30 cm) tabakada mikro element ve ağır metal içeriklerinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yıkama suları kalite analiz sonuçları.....	13
Çizelge 3.2. Deneme toprağı ve stabilize arıtma çamuru kalite analiz sonuçları	15
Çizelge 4.1. pH değerinin stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi.....	20
Çizelge 4.2. Elektriksel iletkenliğin (dS/m) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi	22
Çizelge 4.3. Organik madde içeriğinin (%) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi	24
Çizelge 4.4. CaCO ₃ içeriğinin (%) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi.....	26
Çizelge 4.5. Değişebilir Na içeriğinin (me/100 g) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi	27
Çizelge 4.6. Değişebilir Ca+Mg içeriğinin (me/100 g) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi	28
Çizelge 4.7. Değişebilir K içeriğinin (me/100 g) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi.....	30
Çizelge 4.8. Katyon değişim kapasitesi (KDK) değerinin (me/100g) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi	31
Çizelge 4.9. Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerinin (%) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi	32
Çizelge 4.10. Islak agregat stabilitesi değerinin (%) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi	33

1. GİRİŞ

Dünyanın sulama yapılan birçok bölgesinde, drenaj yetersizliğinden veya su kalitesinden kaynaklanan tuzluluk ve/veya sodyumluluk problemleri üretken tarımsal alanları tuzdan etkilenen atık alanlar haline dönüştürerek tarımın sürdürülebilirliğini baskılamaktadır. Atıl durumdaki tuzlu-sodyumlu toprakların tekrar üretim yapılabilen alanlara dönüştürülmesinde ıslah sürecinin pratik uygulamalarla desteklenerek hızlandırılması gıda talebinin giderek arttığı dünyamızda artık bir zorunluluktur.

Tuzlu toprakların ıslahında drenaj koşullarının iyileştirilerek sadece yıkama yapılması yeterli olurken, tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahında öncelikle bozulan toprak yapısını düzeltici müdahale kapsamında başta jips olmak üzere çeşitli materyallerin kullanılması ve devamında da yıkama yapılması gerekmektedir. Geçirgenliğin son derece düşük olduğu bu koşullarda organik madde içeren çeşitli materyallerinde toprağa karıştırılması ıslah başarısına önemli katkılar sağlamaktadır. Yine yıkama uygulamalarının başlangıcında sodyumun topraktan uzaklaştırılmasını kolaylaştıracak bir elektrolit konsantrasyonunun sağlanması da ıslah sürecinin kısaltılmasında önemli avantajlar oluşturabilmektedir.

Bu çalışmada, tuzlu-sodyumlu bir toprağın jips karıştırılmış koşullarda iyileştirilmesi kapsamında, yüksek organik madde içeren arıtma tesisi stabilize atık çamurunu belirli dozlarda toprağa ilave ederek ve yıkama sürecinde de elektrolit konsantrasyonunu korumak amacıyla atık su arıtma tesisi arıtılmış atık sularını, temiz su ve atık su kombinasyonlarından oluşturulmuş yıkama stratejileriyle uygulayarak ıslah sürecinin performansının artırılması amaçlanmıştır. Ayrıca atık suların ve arıtma çamurlarının sorunlu alanlarda kullanılarak bertarafı yoluyla çevresel olumsuz etkilerin azaltılmasına katkılar yanında, yıkama sürecinde temiz su yerine arıtılmış atık suların kullanılmasıyla temiz su kaynaklarına talebinde azaltılacak olması önemlidir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Toprakta tuz birikimine bağılı arazi bozulması, dünyada yaklaşık 1000 milyon hektar tarım arazisinin üretkenliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Sharma *et al.* 2016). FAO ve UNESCO'ya göre de dünyada 397 milyon ha tuzlu ve 434 milyon ha sodyumlu toprak mevcuttur (Dagar *et al.* 2005). Tuzdan etkilenen topraklar Türkiye'de de 1,5 milyon hektardan fazla bir alana sahiptir ve bu miktarın % 74'ü tuzlu, % 25,5'i tuzlu-sodyumlu ve % 0,5'i ise sodyumludur (Sönmez 2004).

Topraktaki tuzluluk, yetiştirilen bitkilerin yaprak alanını, klorofil içeriğini ve stoma iletkenliğini azaltarak fotosentezi baskılamaktadır. Böylece çimlenme, büyüme ve üretkenlik gibi bitki gelişiminin neredeyse tüm aşamalarında etkili olmakta ve bitkiler üzerinde Na, Cl ve B'dan kaynaklanan özel iyon toksisitesi, besin (N, P, K, Ca, Fe, Zn) eksikliği, ozmotik stres ve oksidatif zararlanma yaratarak topraktan su alımını sınırlandırmaktadır (Shrivastava and Kumar 2015). Toprak tuzluluğu, özellikle fosfor iyonlarının Ca iyonları ile çökmesi nedeniyle bitki fosfor alımını önemli ölçüde azaltabilmektedir (Fageria *et al.* 2011).

Sodyumluluk ise toprak yapısını olumsuz yönde etkileyebilecek ve bitki büyümesi için besin maddelerinin elverişliliğini bozabilecek seviyelerde Na'un toprakta birikimi ile karakterize edilir. Böyle topraklarda kil minerallerinin şişmesi, dağılması, yüzeyde kabuklanma ve sertleşme gibi fiziksel süreçlere bağılı olarak gelişen yapısal problemler, su ve hava hareketini, fide çıkışını, kök penetrasyonunu, yüzey akış ve erozyonu, toprak işleme ve ekim gibi tarımsal faaliyetleri olumsuz yönde etkilemektedir (Qadir *et al.* 2007).

Tuzlu toprakların iyileştirilmesinde drenaj sisteminin varlığına bağılı olarak sadece yıkama yapılması yeterliyken, sodyumlu toprakları iyileştirme süreci özellikle düşük geçirgenlikten dolayı daha karmaşık olup, geçirgenliğin artırılması amacıyla çeşitli yöntemler uygulamada kullanılmaktadır. Bu yöntemler; 1- Fiziksel iyileştirme (derin

toprak işleme, alt-üst etme, kumlama ve profil inversiyonu), 2- Çeşitli kimyasal iyileştiricilerin toprağa karıştırılması (jips, CaCl_2 ve kalsit), 3- Elektro ıslah (elektrik akımı ile muamele) ve 4- İyileştirici uygulaması yapılmadan toprak tuzluluğuna ve sodyumluluğuna dirençli bazı bitkilerin yetiştirilmesi şeklinde fitoremidasyon yaklaşımıdır (Gupta *et al.* 2014). Bu son yaklaşımda sodyumluluk yavaş düşmekte ve toprakta CaCO_3 bulunması da gerekmektedir.

Sodyumlu ve/veya tuzlu-sodyumlu toprakların iyileştirilmesinde temel yaklaşım, toprakta biriken Na^+ un giderimi için katyon değişim kompleksinde Ca^{2+} un artırılmasıdır. Böylece Ca^{2+} ile değiştirilen ve açığa çıkan Na^+ , geçirgenliğin artmasına da bağlı olarak, yıkama yoluyla kök bölgesinden uzaklaştırılabilmektedir. Sodyumlu toprakları iyileştirmek için mevcut yöntemler arasında kimyasal iyileştiricilerin kullanılması çok bilinen eski bir uygulamadır. Bu yaklaşımda, doğrudan veya dolaylı olarak kimyasal ve/veya mikrobiyal yollarla Ca^{2+} sağlanmaktadır. Doğrudan Ca^{2+} kaynağı olarak jips diğer kimyasallara göre daha ucuz, nispeten çözünürlüğünün iyi olması, kolay temin edilebilmesi ve uygulama kolaylığı gibi nedenlerle yaygın olarak kullanılmaktadır. Toprağa dolaylı yoldan Ca^{2+} kazandırılması kapsamında da bazı kimyasallarla (sülfürik asit, hidroklorik asit, kükürt, demir ve alüminyum sülfatlar gibi) topraktaki doğal Ca^{2+} kaynağının çözünmesi sağlanabilmektedir (Qadir *et al.* 2007). Jips uygulaması, sodyumlu toprakların değiştirilebilir sodyum yüzdesini (ESP) başarıyla azaltmakta, ancak toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerini iyileştirmede süreç açısından yetersiz kalmaktadır (Gupta *et al.* 2014). Son yıllarda organik maddelerle bioameliorasyon yaklaşımının, sodyumlu ve/veya tuzlu-sodyumlu toprakların iyileştirilmesinde etkili, düşük maliyetli ve çevresel olarak kabul edilebilir bir strateji olduğu kanıtlanmıştır. Organik iyileştiricilerin sodyumlu ve/veya tuzlu-sodyumlu topraklara uygulanması, fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan toprak özelliklerini geliştirerek bitki büyümesi üzerinde yararlı etkiler sağlayabilmektedir. Bu kapsamda, doğal kalsit minerallerinin toprak profilinde artan karbonik asit oluşumu yoluyla çözünmesi artırılarak Na^+ un uzaklaştırılmasını kolaylaştıracak toprak çözeltisinde Ca^{2+} un açığa çıkarılmasının yanında, bir yandan da toprakta daha büyük suya dayanıklı agregat oluşumu yoluyla açılan yeni kanallarla da permeabilitenin gelişmesi desteklenebilmektedir (Saifullah *et al.* 2018). Organik

iyileştirici ilavesiyle tek değerli Na yerine iki değerli Ca' u tercihli çeken katyon değişim kapasitesinin (KDK) artması ESP'nin düşmesine önemli katkılar sağlayabilmektedir. Gupta *et al.* (2014) tarafından da organik maddenin sodyumu yüksek topraklara uygulanmasının, Na yıkanmasını hızlandırdığı, ESP'yi azalttığı, toprakların infiltrasyon hızını ve agregat stabilitesini artırdığı rapor edilmiştir.

Sodyumlu ve/veya tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahında organik iyileştirici olarak malç, çiftlik gübresi, yeşil gübre, kompost ve dönüştürülebilir diğer organik atık-kalıntılar ile kentsel arıtma çamuru gibi çeşitli materyaller uygulamada kullanılmaktadır (Muyen and Wrigley 2016; Matosic *et al.* 2018). Organik materyallerin toprak iyileştirici olarak kullanımını konusunda çok sayıda araştırma yapılmıştır. Özellikle kimyasal ve organik iyileştiricilerinin birlikte kullanımının sodyumlu ve/veya tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahı ve toprak fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde daha iyi sonuçlar verdiği kanıtlanmıştır (Prapagar *et al.* 2013). Hussain *et al.* (2001) toprak sülfürik asit, jips ve çiftlik gübresi ile birlikte muamele edildiğinde sodyumluluğun önemli ölçüde azaldığını ve geçirgenliğin önemli derecede arttığını ortaya koymuşlardır. Lakhdar *et al.* (2010) tuzdan etkilenmiş bir toprakta yaptıkları çalışmada, kentsel katı atık kompostu ve arıtma çamurunun toprak fiziksel ve kimyasal özellikleriyle biyolojik aktivitesini etkilediğini belirlemişler, organik iyileştiricilerin toprak biyolojik kalitesi üzerindeki olumlu etkisiyle, tuzluluğun negatif etkisini ortadan kaldıracı mikrobiyal gelişimin stimüle edildiğini veya iyileştirici ile mikrobiyal hücrelerin veya enzimlerin ortama eklendiğini ifade etmişlerdir. Abdel-Fattah (2012), kil bünyeli tuzlu-sodyumlu bir toprağın ıslahında bitki kompostuyla kombine edilmiş jips uygulamasının sodyumluluk ve tuzlulukta önemli azalmalar sağladığını belirlemiştir. Prapagar *et al.* (2012) kısmen yanmış çeltik kabuğu ve ahır gübresinin karıştırılmasıyla tuzlu-sodyumlu toprağın ıslahında jipsin etkinliğinin arttığını ifade etmişlerdir. Hanay *et al.* (2004) jips ve ardından kentsel katı atık kompostunun ardışık uygulanmasıyla yüksek düzeyde tuzlardan ve sodyumdan etkilenmiş toprakların başarılı bir şekilde geri kazanabileceğini belirlemişlerdir. Shaaban *et al.* (2013) jipsin çiftlik gübresi ve hümik asit gibi organik iyileştiricilerle birlikte uygulanmasının, tuzdan etkilenen toprakların özelliklerinin iyileştirilmesi ve çeltik veriminin artırılmasında faydalı olduğunu bulmuşlardır. Salhab (2014) tuzlu topraklara

arıtma çamuru karıştırılmasının, toprak koşullarının iyileştirilmesinde ve ayrıca domates büyümesi ve gelişmesinde olumlu etkileri olduğunu gözlemiştir. Hossain and Sarker (2015) toprak tuzluluğunu hafifletmek ve böylece tuzdan etkilenen bir arazide pirinçte verimliliği artırmak için toprak iyileştirici materyali olarak jips ve çeltik samanı kombinasyonunun kullanılmasını önerilebilir bulmuşlardır. Ors *et al.* (2015) farklı seviyelerde tuzluluk ve sodyumluluğa sahip topraklarda yürüttükleri çalışmada arıtma çamuru ve uçucu kül karışımının birlikte uygulanmasıyla bu toprakların yeniden kazanılmasının mümkün olduğunu ortaya koymuşlardır. Sundha *et al.* (2018) yürüttükleri çalışmalarında, kentsel katı atık kompostunun düşük jips dozları ile birlikte uygulanmasının, yüksek tuzlu su ile sulamanın ek stresi altındaki tuzlu-sodyumlu toprakların iyileştirilmesine önemli ölçüde katkı sağlayabildiğini, hatta bu koşullarda kompost dozlarının artırılmasının daha da etkili olabileceği sonucuna varmışlardır. Temiz and Cayci (2018) jips ve malçın birlikte uygulamasının toprak sodyumluluğunun azaltılmasında, toprak yapısının iyileştirilmesinde ve ıslah süresinin azaltılmasında etkili bir yol olduğunu belirlemişlerdir.

2.1. Arıtma Çamuru

Arıtma çamuru evsel ve endüstriyel atık su arıtma tesislerinde atık su arıtma işleminden bir yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Çamurun miktarı ve içeriği atık suyun kaynağına, arıtım prosesine ve şekline bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak tesise giren atık suyun % 1-2 'sini çamur oluşturmaktadır (von Spreling and Andreoli 2007). Ham arıtma çamurunun katı madde içeriği % 0.25 ile % 12 arasında değişmekte, biyolojik bir arıtım tesisi ham arıtma çamurunun % 70'ini organik ve % 30' unu da mineral maddeler oluşturmaktadır (Göçmez 2006).

Fazla miktarda organik madde içeren arıtma çamurlarının havalanma, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi, porozite ve doymuş hidrolik iletkenlik gibi toprak fiziksel ve hidrolik özelliklerini geliştirmede iyi bir toprak düzenleyicisi olarak kullanılması mümkün görülmektedir (Fan *et al.* 2016). Arıtma çamurları organik ve mineral içeriklerinin zengin olması nedeniyle gübreleme özelliği de iyi olmasına rağmen, atık suyun kaynağına bağlı

olarak önemli derecede değişebilen ağır metaller, trake organik kirleticiler ve patojen organizma içeriklerinden dolayı arzu edilmeyen sağlık ve çevresel riskleri de barındırmaktadır (da Silva *et al.* 2007). Dolayısıyla arıtma çamurları, güvenilir bir toprak iyileştirici kaynağı olma potansiyeline sahip olmalarına rağmen, doğru şekilde yönetilmedikleri takdirde kolayca önemli bir çevresel sorun da yaratabilmektedirler (Muyen and Wrigley 2016). Bu nedenle arıtma çamurunun sürdürülebilir yönetiminde çamurun yeniden kullanımını öncesi bazı işleme süreçlerinden geçirilmesi yani stabilize edilerek biyo-katı haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Stabilizasyon, arıtma çamurunun aktif organik bileşiminin biyolojik ve/veya kimyasal işlemlerle pasifize edilerek çevreye zarar vermeyecek ve kötü koku yaymayacak, çürümeyecek ve bozulmayacak forma dönüştürülmesidir. Bu amaçla kireç stabilizasyonu şeklinde kimyasal yol, termal kurutma, anaerobik veya aerobik çürüme ve kompostlama gibi farklı birçok metot uygulamada kullanılmaktadır (Göçmez 2006; Öztürk vd 2015).

Türkiye’ de arıtma çamurlarının toprakta kullanımında dikkat edilmesi gereken hususlar, kısıtlar ve yasaklar 3 Ağustos 2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmış olan “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” ile belirlenmiştir. Bu yönetmelik ham çamurun kullanılmasını yasaklamıştır. Toprağa uygulanabilecek stabilize arıtma çamurunun organik madde içeriğinin de en az % 40 olması gerektiğini belirtmiştir.

Dünyada günlük atık su miktarının 1,5 km³ ’e ulaştığı ifade edilmektedir (Orhan 2016). Yüksek gelir gurubundaki ülkelerde üretilen toplam atık suyun % 70’i, üst orta gelir gurubunda % 38’i, alt orta gelir gurubunda % 28’si, alt gelir gurubundaki ülkelerde ise ancak % 8’i arıtılmaktadır (Sato *et al.* 2013; Orhan 2016). Türkiye İstatistik Kurumu (TUİK) verilerine göre Türkiye’de 2016 yılı itibariyle atık su arıtım tesis sayısı 881 adet, deşarj edilen atık su miktarı 4,484 milyar m³, arıtılmış atık suyun miktarı da 3,857 milyar m³ tür. Arıtımın % 44,5’ i gelişmiş, % 31,6’ sı biyolojik, % 23,6’ sı fiziksel ve % 0,3’ü de doğal proseslerle gerçekleştirilmiştir. 2016 yılı verilerine göre kanalizasyon hizmeti verilen nüfusun toplam nüfusa oranının % 84 olduğu Türkiye’ de deşarj edilen kentsel atık suyun % 86’sı arıtılmaktadır.

2.2. Yıkama Uygulamaları

Sorunlu topraklarda yıkamalar devamlı göllendirme, aralıklı göllendirme, yağmurlama şeklinde yapılmakta ve aralıklı göllendirmede sürekli göllendirmeye göre sudan tasarruf sağlandığı ifade edilmektedir (Sahin *et al.* 2003; Koç 2011). Kanber ve Ünlü (2010) aralıklı göllendirmede sürekli göllendirmeye göre bu tasarrufun 1/3 oranında olduğunu belirtmişlerdir. Yağmurlama sulamada ise su gereksinimi en azdır. Suyun uygulama dilimlerinde eşit, artan veya azalan miktarlarda verilmesinin de geçirgenlik üzerine etkisi olabilmektedir. Sahin *et al.* (2002) aralıklı göllendirme koşullarında, uygulama dilimlerinde giderek su miktarlarının artırılmasının, tuzlu-sodyumlu toprakların hidrolik iletkenliğini geliştirdiğini ifade etmişlerdir. Aynı zamanda geçirgenliği düşük topraklarda aralıklı göllendirme ve küçük dilimlerde uygulama bir zorunluluk ta oluşturmaktadır (Kanber ve Ünlü 2010).

Yıkamalar arasında bekleme süresi de ıslah başarısını etkilemektedir. Örs ve Anapalı (2014) aralıklı göllendirme ile yıkamanın tuz yıkanımı üzerine etkilerinin uzun kuruma dönemlerinde daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Yıkama suyu miktarının belirlenmesinde tuz dengesinin sağlanması önemlidir (Munsuz vd 2001). Ancak yıkama suyu miktarı olarak ıslah edilecek toprak derinliğinin 1,5 katı seçilmesi birçok çalışmada pratik olarak kullanılmıştır (Sahin *et al.* 2003; Sahin *et al.* 2011; Örs ve Anapalı 2014; Ors *et al.* 2015).

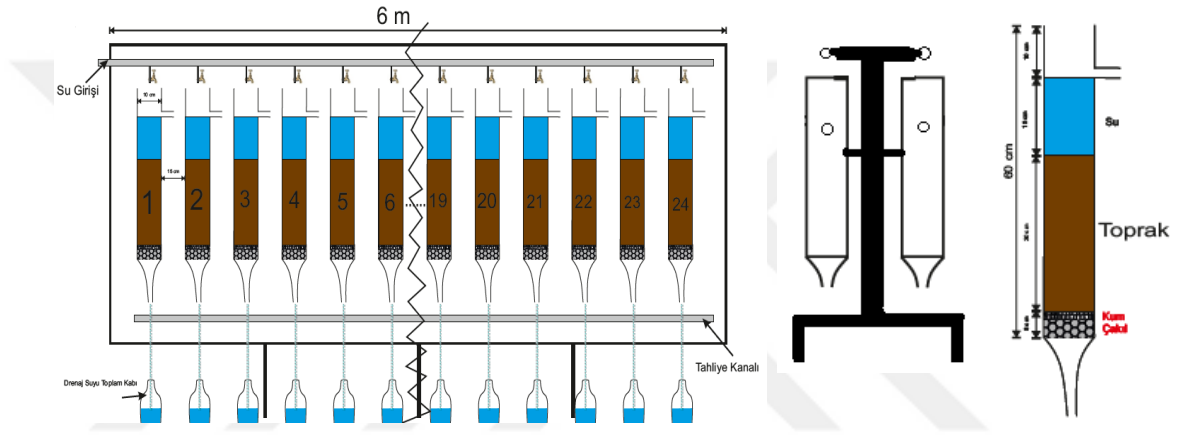
Sodyumlu toprakların elverişli düzeyde Ca içeren (divalent katyonların toplamının toplam katyonlara oranı en az 0.3) tuzlu sularla yıkanması, bir iyileştirici veya başka bir ıslah metodu uygulanmadan tuzlu suyun yüksek elektrolit konsantrasyonunun etkisiyle toprak hidrolik özelliklerinde büyük artışlara neden olabilmektedir (Qadir *et al.* 2007). Koç (2011)' da yüksek elektrolit konsantrasyonuna sahip suların sodyumlu topraklarda geçirgenliği pozitif etkilediği ve dolayısıyla yıkamayı kolaylaştırmak için tuz konsantrasyonu yüksek sularla yıkamaya başlanmasının önemli olduğuna vurgu yapmıştır. Benzer şekilde Marchuk (2013)' da infiltrasyon hızının ve hidrolik iletkenliğin uygulanan suyun elektrolit konsantrasyonundan etkilendiğini, Na'u giderecek kadar

yeterli elektrolit konsantrasyonuna sahip suların pozitif etkisinin olacağını rapor etmiştir. Yine Kameli *et al.* (2017)'de atık suların organik içeriklerinden dolayı tuzlu-sodyumlu toprakların ıslahında kullanılabilirliğini test ettiği çalışmada, tuzluluk ve ESP değerlerinde önemli azalmalar gözlemişlerdir. Ayers and Wescot (1985)' un suyun EC ve SAR değerine bağlı olarak toprak geçirgenliğini değerlendirme ölçütleri de incelendiğinde, elektrolit konsantrasyonunun artmasıyla infiltrasyon probleminin azaltılabildiği görülmektedir.



3. MATERYAL ve METOD

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Drenaj laboratuvarında, Şekil 3.1’ de gösterilen bir düzenek tasarlanarak yürütülmüştür. Deneme düzeneği, bir taşıyıcı sisteme sökülüp-takılabilir şekilde iki taraflı monte edilebilen 48 adet metal kolondan oluşturulmuştur.



Şekil 3.1. Deneme düzeneği

3.1. Deneme Deseni ve Uygulamalar

Deneme, 4 farklı dozda (D) stabilize arıtma çamuru ve temiz su ile artırmış atık suyun kullanımına bağlı olarak oluşturulan 4 farklı yıkama (U) yaklaşımıyla aralıklı göllendirme şeklinde uygulanarak, tam şansa bağlı faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme faktörlerine ilişkin detaylar aşağıda verilmiştir.

Stabilize arıtma çamuru dozları (Ana konu):

D1: 0 t/ha

D2: 40 t/ha

D3: 80 t/ha

D4: 120 t/ha

Yıkama suyu uygulamaları (Alt konu):

U1: 1, 2 ve 3. dilimlerde arıtılmış atık su

U2: 1 ve 2. dilimlerde arıtılmış atık su + 3. dilimde temiz su

U3: 1. dilimde arıtılmış atık su + 2. ve 3. dilimlerde temiz su

U4: 1, 2 ve 3. dilimlerde temiz su

Metal kolonlar içerisine doldurulan deneme materyali tuzlu-sodyumlu toprak, Iğdır ovasından temin edilmiştir. Iğdır ovasında (92200 ha) tarımsal üretim alanlarının yaklaşık 1/3'ünde tuzluluk-sodyumluluk problemi bulunmaktadır (Temel *et al.* 2016). Ovanın tuzlu-sodyumlu bir bölgesinde, yüzey tabakasından (0-30 cm) alınmış toprak laboratuvara getirilip önce hava kurusu duruma gelinceye kadar kurutulmuş, sonrasında 1 cm'lik elekten elenerek denemeye hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.2). Kolonların tabanına drenajı kolaylaştırmak için 5 cm kum-çakıl malzeme yerleştirildikten sonra üzerine elenmiş hava kurusu tuzlu-sodyumlu toprak 30 cm derinlik oluşturacak şekilde iki tabaka halinde her 15 cm derinlik 25 defa şişleme yapılarak yerleştirilmiştir (Sahin *et al.* 2011). Alt 15 cm'lik tabaka sadece tuzlu-sodyumlu toprakla oluşturulurken, üst 15 cm'lik tabaka belirlenen dozlarda (0, 40, 80, 120 t/ha) 1 cm'lik elekten elenmiş stabilize arıtma çamuruyla karıştırılmış toprakla doldurulmuştur. Arıtma çamuru dozlarının belirlenmesinde Hanay *et al.* (2004) ve Ors *et al.* (2015)' deki uygulamalar dikkate alınmıştır. Topraklar kolonlara yerleştirildikten sonra, alttan kapillarite ile yeterince ıslatılmış sonrasında kolon yüzeyleri kapatılarak inkübasyon için 1 ay süreyle bekletilmiştir. İnkübasyon sonrası jips materyali ince öğütülmüş halde (< 0.25 mm) yüzey 2-3 cm toprak tabakasına karıştırılmıştır (Munsuz vd 2001). Teorik jips gereksinimi topraktaki sodyumluluk sorunun derecesi dikkate alınarak aşağıda verilen Kovda eşitliği ile 30 cm derinlikteki değişebilir sodyum yüzdesini 15'e indirecek şekilde hesaplanmıştır (Kanber ve Ünlü 2010).

$$GR = (EA \times 10^{-5}) \times A \times D_s \times \gamma_s \left[\frac{ESP_i - ESP_f}{100} \right] \times KDK$$

Eşitlikte;

GR : Jips gereksinimi (ton/da)

EA : Eşdeğer ağırlık (jips için 86)

A : Arazi alanı (m²)

- D_s : Toprak derinliği (m)
 γ_s : Hacim ağırlığı (g/cm^3)
 ESP_i : Başlangıçtaki değişebilir sodyum yüzdesi (%)
 ESP_f : Bitişteki değişebilir sodyum yüzdesi (%)
 KDK : Katyon değişim kapasitesi (me/100 g)



şekil 3.2. Toprak kurutma ve elenme işlemleri

Jips materyalinin karıştırılmasını mütentakip 4 farklı yıkama yaklaşımıyla yıkama sürecine geçilmiştir. Toplam 45 cm yıkama suyu 15 cm 'lık 3 dilim halinde uygulanmış, bir sonraki dilim uygulaması ilk dilim suyun yüzeyden çekilmesinden 24 saat sonra gerçekteşirilmiiştir (Sahin and Anapali 2005; Ors *et al.* 2015).

Stabilize arıtma çamuru ve arıtılmış atık su Erzurum Büyükşehir Belediyesi, Erzurum Su ve Kanalizasyon İşleri Genel Müdürlüğü Arıtma Tesisleri Dairesi Başkanlığı bünyesindeki Erzurum-Ilıca' da yer alan biyolojik atık su arıtma tesisinden temin edilmiştir (şekil 3.3). Stabilizasyon işlemi çamur çürütme tankında, anaerobik ve mezofilik şartlarda ($35-37\text{ }^{\circ}C$ 'de) asetojen ve metanojen bakterilerin faaliyetleri ile gerçekteşirilmektedir (Anonim 2016).

Erzurum kentsel atık suyu il sanayisi gelişmemiş olduğundan daha çok evsel atık kaynaklıdır ve sadece sınırlı düzeyde et ve süt ürünlerine dayalı sanayi atıklarını içermektedir. Dolayısıyla, 423 000 nüfuslu şehir şebekesine ait atık suyun özelliklerinde sezon boyunca yaklaşık bir kararlılık söz konusu olmaktadır.



Şekil 3.3. Erzurum biyolojik atık su arıtma tesisi (Anonim 2018)

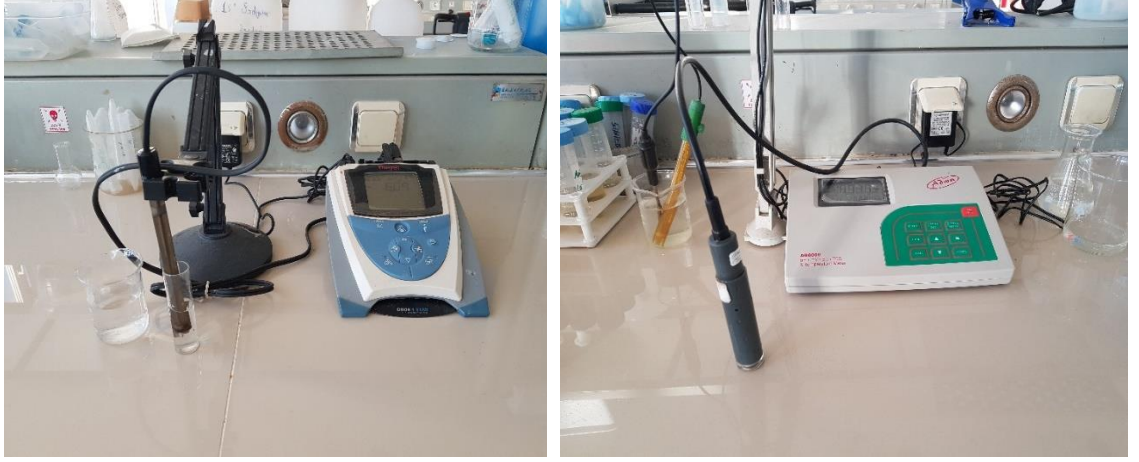
3.2. Analiz, Ölçüm ve Değerlendirmeler

Arıtılmış atık su ve temiz suda yapılan analizlerde; suların pH, elektriksel iletkenlik (EC), askıda katı madde, toplam N, toplam P, katyon (Na, Ca, Mg, K), anyon (CO_3 , HCO_3 , Cl, SO_4), B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb ve Cd içerikleri belirlenmiş, ayrıca sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) hesaplanmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Yıkama suları kalite analiz sonuçları

Parametre	Temiz su	Arıtılmış atık su
pH	7,24	6,68
Elektriksel iletkenlik (dS/m)	0,345	0,644
Askıda katı madde (mg/l)	0,01	2,90
Katyonlar (me/l)		
Na	0,68	3,02
K	0,10	0,38
Mg	0,73	0,91
Ca	1,91	2,26
Anyonlar (me/l)		
CO ₃	-	-
HCO ₃	2,50	3,25
Cl	0,42	1,75
SO ₄	0,48	1,21
Toplam N (mg/l)	-	4,67
Toplam P (mg/l)	-	1,68
SAR	0,59	2,40
Mikro element ve ağır metaller (mg/l)		
B	-	0,289
Fe	0,041	0,374
Mn	0,008	0,045
Zn	-	0,009
Cu	-	0,010
Ni	-	0,018
Pb	-	0,005
Cd	-	0,001

Yıkamada kullanılan sularının pH'sı pH-metre ve EC'si de EC-metre kullanılarak (Şekil 3.4) doğrudan ölçülmüştür (Tüzüner 1990). Askıda katı madde Whatman filtre kâğıdında süzülen sudan biriken katı materyel fırında kurutulup tartılarak (APHA 1995), toplam N Kjeldahl yöntemiyle (EPA 2001), toplam P ortofosfat ölçümüyle (Nollet 2000), Ca ve Mg EDTA titrasyonu ile, Na ve K fleymfotometrik yöntemle, B Carmin yöntemiyle (Eltan 1998), CO₃ ve HCO₃ sülfirik asitle titrasyonla, Cl gümüş nitrat kullanılarak (Tüzüner 1990), SO₄ baryum klorür çözeltisi kullanılarak spektrofotometrede (Eltan 1998), mikro element ve ağır metaller (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb ve Cd) atomik absorpsiyon spektrometresinde ölçülmüştür (Karadede ve Ünlü 2000). SAR değeri Na, Ca ve Mg içerikleri kullanılarak hesap yoluyla belirlenmiştir (Kanber ve Ünlü 2010).



pH-metre

EC-metre

Şekil 3.4. pH ve EC ölçümleri

Toprakların deneme öncesi (Çizelge 3.2) ve deneme sonrasında da 0-15 ve 15-30 cm' lik tabakalarının özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan analizlerde pH, EC, organik madde, CaCO_3 , Toplam N, P, değişebilir katyonlar (Na, Ca+Mg, K), katyon değişim kapasitesi (KDK), B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb ve Cd içerikleri belirlenmiş, ayrıca değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) hesaplanmıştır. Toprak reaksiyonu saturasyon ekstraktında pH-metre ile okuma yapılarak (McLean 1982), tuzluluk ta yine saturasyon ekstraktında EC-metre ile ölçüm yapılarak (Rhoades 1996), organik madde Smith-Weldon yöntemiyle (Nelson and Sommers 1982), CaCO_3 scheibler kalsimetresinde (Nelson 1982), toplam N Kjeldahl yöntemiyle (Kacar 2009), P Olsen metoduyla (Olsen and Sommers 1982), KDK sodyum asetatla doyurulmuş toprağın amonyum asetat ile ekstrakte edildikten sonra flame fotometrede okunarak sodyum miktarının belirlenmesiyle tayin edilmiştir (Rhoades 1982) (Şekil 3.5). Değişebilir Na ve K, amonyum asetat ile elde edilen ekstraktta flame fotometrede okunarak belirlenmiş Na ve K miktarlarından suda çözülebilir miktarların çıkarılmasıyla (Richards 1954), değişebilir Ca+Mg da KDK'dan değişebilir Na ve K'nın çıkarılmasıyla belirlenmiştir (Anapalı 1994). Mikro element ve ağır metal (B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb ve Cd) içerikleri toprak süzüklerinde ICP- MS'de (Şekil 3.6) okumalar yapılarak belirlenmiştir (Kacar 2009). ESP aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Kanber ve Ünlü 2010; Budak 2012).

$$ESP = \left[\frac{Na_x}{KDK} \right] \times 100$$

Eşitlikte;

ESP : Değişebilir sodyum yüzdesi (%)

Na_x : Değişebilir Na (me/100 g)

KDK : Katyon değişim kapasitesi (me/100 g)

Sodyum giderim etkinliğinin belirlenmesinde de başlangıç ve son ESP değerleri farkının başlangıç ESP değerine oranı dikkate alınmıştır (Mahdy 2011).

Çizelge 3.2. Deneme toprağı ve stabilize arıtma çamuru kalite analiz sonuçları

Parametre	Toprak	Arıtma çamuru
Kil (%)	29,30	-
Silt (%)	23,30	-
Kum (%)	47,40	-
Bünye sınıfı	Kumlu Killi Tın	-
Agregat stabilitesi (%)	2,20	-
pH [#]	9,58	7,89
Elektriksel iletkenlik [#] (dS/m)	29,60	8,97
CaCO ₃ (%)	7,92	1,47
Organik madde (%)	1,43	44,0
Katyon değişim kapasitesi (me/100 g)	31,53	60,62
Değişebilir Na (me/100 g)	21,60	37,78
Değişebilir Ca+Mg (me/100 g)	9,18	14,0
Değişebilir K (me/100 g)	0,75	8,84
Değişebilir sodyum yüzdesi (%)	68,51	-
Toplam N (%)	0,38	4,55
P (mg/kg)	277,2	877,6
Mikro element ve ağır metaller (mg/kg)		
B	0,15	11,2
Fe	2,33	146,7
Mn	35,5	131,1
Zn	1,73	201
Cu	9,23	5,77
Ni	0,66	5,71
Pb	0,77	1,88
Cd	-	0,01

[#] Saturasyon ekstraktında belirlenmiştir



Şekil 3.5. Flame fotometrede ölçümleri



Şekil 3.6. Mikro element ve ağır metal (B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb ve Cd) içeriklerinin ICP-MS'de ölçümleri

Ayrıca deneme öncesi toprağın tekstürü Bouyoucos hidrometre yöntemiyle, deneme öncesi ve sonrası suya dayanıklı agregat stabilitesi değerleri de ıslak eleme yöntemiyle (Şekil 3.7) belirlenmiştir (Demiralay 1993). Satüre hidrolik iletkenlik, ölçümler 15 cm'

lik sabit su yükü altında farklı sürelerle (6, 12, 24 ve 48 h) ölçülmüş (Şekil 3.8) Darcy yaklaşımıyla aşağıda eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Sahin *et al.* 2011).

$$K_s = \frac{V}{A_k \times t} \times \left(\frac{L}{L + H} \right)$$

Eşitlikte;

- K_s : Satüre hidrolik iletkenlik (cm/h)
 V : Drene olan suyun hacmi (cm³)
 A_k : Kolon enine kesit alanı (cm²)
 t : Geçen zaman (h)
 L : Toprak kolon yüksekliği (cm)
 H : Göllendirilen su yüksekliği (cm)



Şekil 3.7. Agregat stabilitesinin belirlenmesi

Stabilize arıtma çamurunun pH, EC, organik madde, CaCO₃, değişebilir katyonlar (Na, Ca+Mg ve K), KDK, toplam N, P, mikro element ve ağır metal (B, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb ve Ni) içerikleri de toprak analizlerinde kullanılan yöntemlerle belirlenmiş, sonuçlar Çizelge 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.8. Hidrolik iletkenlik ölçümleri

Islah sonrası ölçülmüş veriler SPSS (Ver. 21) programı kullanılarak varyans (ANOVA) analizine tabi tutulmuş, önemli ortalamalar Duncan çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır (IBM 2012).

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Toprakların pH, EC, organik madde, CaCO₃, değişebilir katyonlar (Na, Ca+Mg, K), katyon değişim kapasitesi (KDK), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), agregat stabilitesi, hidrolik iletkenlik değerleri ile toplam N, P ile B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb ve Cd içeriklerine arıtma çamuru dozları ve yıkama suyu uygulamalarının etkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiş (EK 1-20), araştırılan her bir parametrenin önemli sonuçları aşağıda açıklanarak tartışılmıştır.

4.1. pH

Tuzlu-sodyumlu toprakların sınıflandırılmasında referans olarak kullanılan bir parametre olan toprak pH değerleri deneme sonrasında Çizelge 3.2' deki başlangıç değerlerinin altına düşmüş, azalış miktarı yüzey tabakada (0-15 cm) alt tabakadan (15-30 cm) çok önemli ($p<0,01$) seviyede daha fazla gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1, EK 1). Yüzey tabakada stabilize arıtma çamuru karıştırılmış konularda karıştırılmamış konuya göre pH değerleri daha düşük belirlenmiştir. Alt tabakada ise sadece en yüksek doz uygulamasında istatistiksel olarak en düşük pH değeri saptanmıştır.

Özellikle yüzey tabakada stabilize arıtma çamuru karıştırılmasıyla daha düşük pH değerlerinin gözlenmiş olması, arıtma çamuru ile toprakta artan organik madde miktarıyla açıklanabilir (Çizelge 4.3). Polinomial regresyon modelinde yüzey tabakada toprak organik madde içeriği ile pH arasında 2. dereceden bir ilişki önemli ($p<0,05$) olurken, alt tabakadaki önemli ($p<0,05$) lineer ilişki bulunmuştur (Şekil 4.1). Toplam N içeriğinin arıtma çamuru dozlarıyla değişimi de organik madde değişimiyle paralellik göstermiş en büyük değerler en yüksek dozda belirlenmiştir (Şekil 4.8). Şekil 4.1 dikkate alındığında, üst tabakada organik madde artışının % 2.25 seviyelerine kadar pH'yı azaltmada etkili olduğu ve sonrasında artan organik madde miktarlarında pH'nın tekrar artış gösterdiği, alt tabakada ise organik maddenin daha düşük içeriğine bağlı olarak pH'daki değişimin daha sınırlı kalmasının etkisiyle, organik madde artışıyla pH'da lineer bir azalma olduğu

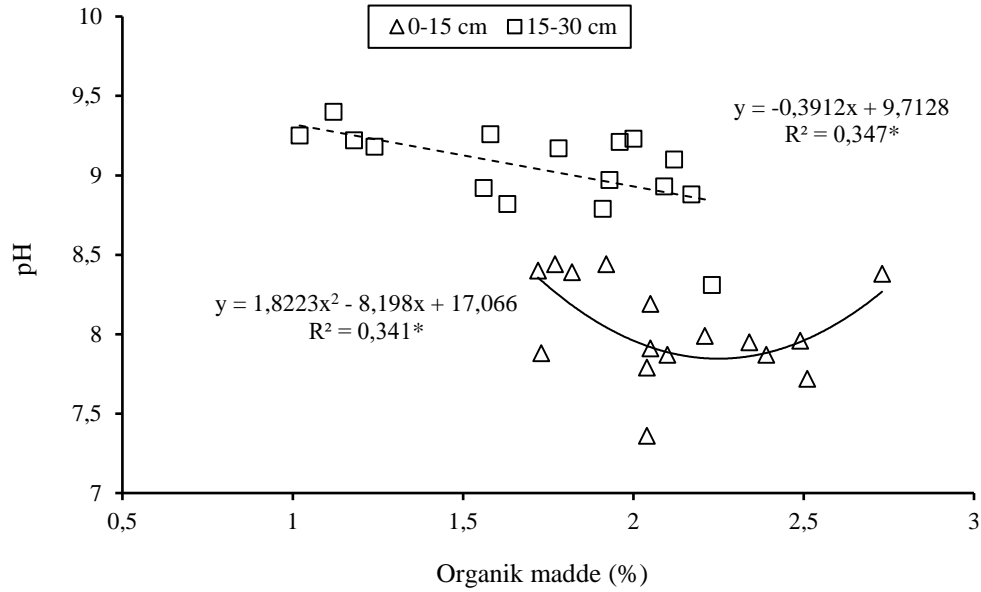
söylenbilir. Üst tabakadaki önce azalış ve sonrasında artışla ilgili olarak Domene *et al.* (2010)'da arıtma çamurunun artan dozlarda uygulanmasının genellikle pH'yı artırdığını ifade etmiştir.

Çizelge 4.1. pH değerinin stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi

Derinlik	Uygulamalar	Dozlar				Ortalama
		D1	D2	D3	D4	
0-15 cm	U1	8,44	8,19	7,72	7,99	8,09
	U2	8,44	7,87	7,95	7,87	8,03
	U3	8,39	7,79	7,36	8,38	7,98
	U4	8,40	7,91	7,88	7,96	8,04
	Ortalama	8,42 a**	7,94 b	7,73 b	8,05 b	
15-30 cm	U1	9,40	9,21	8,79	9,17	9,14
	U2	9,18	8,92	9,10	8,93	9,03
	U3	9,25	9,26	9,23	8,88	9,16
	U4	9,22	8,82	8,97	8,31	8,83
	Ortalama	9,26 a*	9,05 a	9,02 a	8,82 b	

Farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden önemli (* $p < 0,05$) veya çok önemli (** $p < 0,01$) seviyede farklıdır.

Organik maddenin mineralizasyonu organik ve inorganik asitlerin oluşumuyla sonuçlanır ve bu da toprak pH'sını düşürmektedir (Singh and Agrawal 2008; Özyazıcı ve Özyazıcı 2012). Kiziloglu *et al.* (2008), Khurana and Singh (2012) ve Singh and Agrawal (2012), amonyum nitrifikasyonunun ve farklı organik bileşiklerin oksidasyonunun toprak pH değerlerini azaltabileceğini belirtmişlerdir. Hussein (2009) tarafından yapılan çalışmada arıtma çamuru dozu artışıyla toprak pH değerinin azaldığı bu azalışın organik maddenin mineralizasyonun sonucu oluşan organik asitlerden ve arıtma çamurundaki amonyum azotunun nitrifikasyonundan kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. Mazen *et al.* (2010)' ın çalışmasında da toprağa arıtma çamuru eklenmesiyle organik madde artmış ve pH değeri düşmüştür. Fan *et al.* (2016) arıtma çamurlu atık karışımının yüksek dozlarda uygulandığı tuzlu-sodyumlu bir toprağın pH'sında önemli derecede düşüşler gözlemişlerdir.



Şekil 4.1. pH - organik madde ilişkisi (* $p < 0,05$)

Toprak pH değerindeki değişiklikler CaCO_3 içeriği ile de ilişkilidir (Singh and Agrawal 2008). Bu çalışmanın sonuçları da, başlangıçtaki toprak kireç içeriği (% 7,92) ile kıyaslandığında uygulamalar sonrası kireç içeriklerinin düşmesinin (Çizelge 4.4) pH'daki azalışları desteklediğini göstermiştir. Mazen *et al.* (2010)' da pH değerlerinde gözlenen düşüklüğün, CaCO_3 'ün çözünmesi ve organik asitlerin her ikisinin bir sonucu olabileceğini ifade etmiştir. Bu çalışmada uygulama sonrası toprak pH değerlerinin orta ve kuvvetli alkalın sınırdaki kalması da toprakta yine orta seviyede bulunan CaCO_3 'ün tamponluk etkisiyle açıklanabilir (Ergene 1993; Sezen 1995).

4.2. Elektriksel İletkenlik (EC)

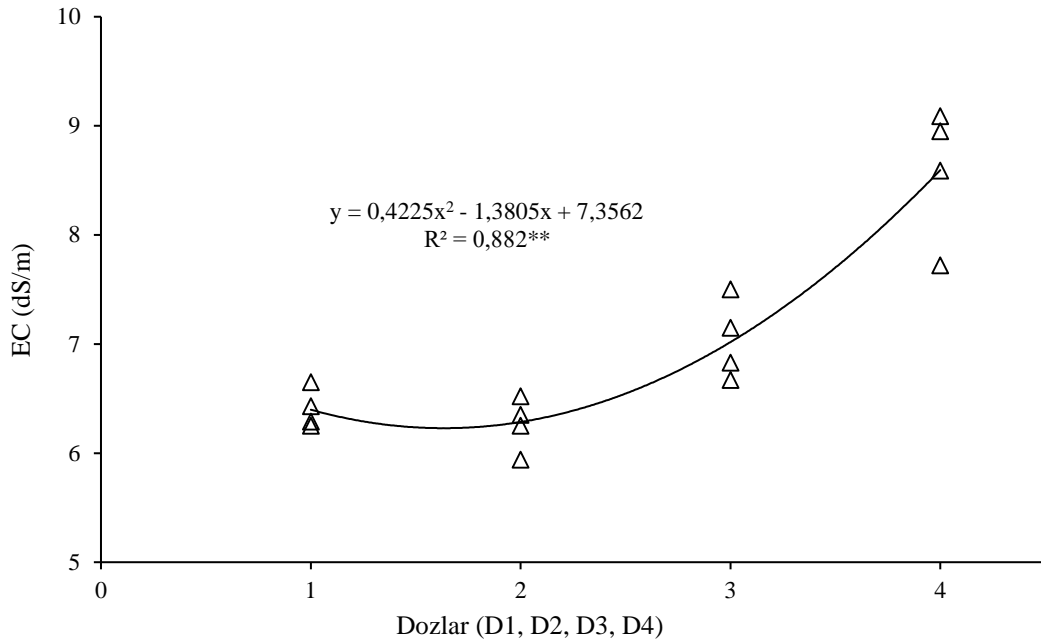
Uygulama sonrası toprakların EC değerlerinde, başlangıç toprak EC değerine (29,60 dS/m) göre yıkama sularının düşük tuzluluğunun etkisiyle belirgin azalmalar olmuş, alt tabaka da üst tabakadan çok önemli ($p < 0,01$) seviyede ayrılmış ve alt tabakada tuzluluk sınır değerine (4 dS/m) ulaşılmıştır (Çizelge 4.2, EK 2). Alt tabakada dozlar arasında istatistiksel fark görülmezken, yüzey tabakada, bu tabakaya karıştırılan stabilize arıtma

çamurunun tuzluluğunun (8,97 dS/m) doğrudan katkısıyla, özellikle de yüksek dozlarda, arıtma çamuru karıştırılmamış D1 konusundan istatistiksel olarak daha yüksek EC değerleri gözlenmiştir. Bu nedenle de yüzey tabakada doz artışıyla giderek artan EC' deki değişimleri ifade eden güçlü ($p<0,01$) bir polinomial ilişki bulunmuştur (Şekil 4.2). Bir çok araştırmacı da çalışmalarında EC ile ilgili olarak, topraklarda arıtma çamuru dozu artışı ile bir artış olduğunu gözlemişlerdir (Hussein 2009; Domene *et al.* 2010; Lakhdar *et al.* 2010; Ferreira *et al.* 2011).

Çizelge 4.2. Elektriksel iletkenliğin (dS/m) stabilize arıtma çamuru dozu ve artırılmış atık su uygulamalarıyla değişimi

Derinlik	Uygulamalar	Dozlar				Ortalama
		D1	D2	D3	D4	
0-15 cm	U1	6,25	6,25	6,83	8,59	6,98
	U2	6,43	6,35	7,50	7,72	7,00
	U3	6,29	5,94	6,67	8,95	6,96
	U4	6,65	6,52	7,15	9,09	7,35
	Ortalama	6,41 c**	6,27 bc	7,04 b	8,59 a	
15-30 cm	U1	3,68	3,91	4,20	3,57	3,84
	U2	5,07	3,17	5,09	3,96	4,32
	U3	2,94	4,50	3,67	5,89	4,25
	U4	2,67	4,81	5,57	4,35	4,35
	Ortalama	3,59	4,10	4,63	4,44	

Farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden çok önemli (** $p<0,01$) seviyede farklıdır.



Şekil 4.2. Yüzey tabaka (0-15 cm) elektriksel iletkenlik (EC) değerlerinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi (**p<0,01)

Yıkama uygulamaları arasında istatistiksel bir fark tespit edilememesine rağmen arıtma çamuru karıştırılmış konularda yıkamanın arıtılmış atık suyla yapıldığı koşullarda (U1), temiz suyla yapılan koşullara (U4) göre her iki tabakada da biraz daha düşük değerler gözlenmiştir. Arıtılmış atık suların temiz suya göre daha tuzlu olmasına rağmen bu sonucun görülmesi toprağın elektrolit dengesinin daha iyi korunmuş olmasının toprak permeabilitesine olası pozitif katkılarıyla değerlendirilebilir (Qadir *et al.* 2007). Kameli *et al.* (2017)' de uygulanan atık suyun tuzlu-sodyumlu ve sodyumlu toprağın desalinizasyonunda önemli bir katkı sağladığını belirlemişlerdir.

4.3. Organik Madde

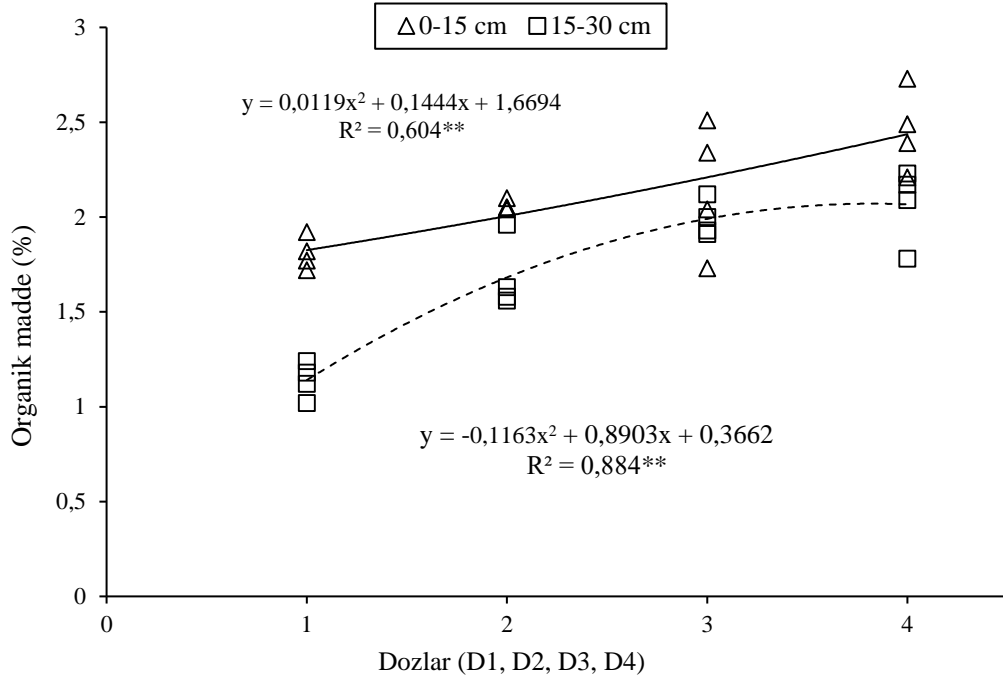
Yıkama sonrası toprak organik madde içeriği uygulamalarla değişmemiş, arıtma çamurunun yüksek organik madde içeriğine (% 44) bağlı olarak, arıtma çamuru karıştırılmış konularda toprak başlangıç değerinin (% 1,43) üzerinde organik madde içerikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.3, EK 3). Çamurun karıştırıldığı yüzey tabakadaki

değerler alt tabakadakilerden çok önemli ($p<0,01$) derecede yüksek çıkmıştır (EK 3). Yüzey tabakada çamur dozlarının etkisi önemsiz olurken, alt tabakada arıtma çamuru karıştırılmış konularda karıştırılmamış konudan çok önemli ($p<0,01$) seviyede yüksek içerikler bulunmuştur (Çizelge 4.3). Arıtma çamurunun karıştırıldığı yüzey tabakada artan doz uygulamasıyla organik madde içeriğinde çok önemli seviyede ($p<0,01$) polinomial bir artış söz konusu iken, alt tabakada ise doz artışıyla artış yüksek dozda hız kesmiştir (Şekil 4.3). Arıtma çamurunun kullanıldığı birçok çalışmada da artan uygulama dozlarında daha fazla organik madde birikimleri gözlenmiştir (Hussein 2009; Mazen *et al.* 2010; Salhab 2014; Muyen and Wrigley 2016). Yüzey tabakada organik madde içeriği doz artışıyla artmasına rağmen artışın önemli seviyelere ulaşmaması, organik maddenin mineralizasyonundan kaynaklanmış olabilir (Angin ve Yağanoğlu 2009). Li *et al.* (2013)'da başlangıçta arıtma çamuru doz artışıyla artan organik madde içeriğinin zamanla keskin bir şekilde azaldığını belirlemişlerdir.

Çizelge 4.3. Organik madde içeriğinin (%) stabilize arıtma çamuru dozu ve artırılmış atık su uygulamalarıyla değişimi

Derinlik	Uygulamalar	Dozlar				Ortalama
		D1	D2	D3	D4	
0-15 cm	U1	1,92	2,05	2,51	2,21	2,17
	U2	1,77	2,10	2,34	2,39	2,15
	U3	1,82	2,04	2,04	2,73	2,16
	U4	1,72	2,05	1,73	2,49	2,00
	Ortalama	1,81	2,06	2,16	2,46	
15-30 cm	U1	1,12	1,96	1,91	1,78	1,69
	U2	1,24	1,56	2,12	2,09	1,75
	U3	1,02	1,58	2,00	2,17	1,69
	U4	1,18	1,63	1,93	2,23	1,74
	Ortalama	1,14 b**	1,68 a	1,99 a	2,07 a	

Farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden çok önemli (** $p<0,01$) seviyede farklıdır.



Şekil 4.3. Organik madde içeriğinin arıtma çamuru dozlarıyla değişimi (**p<0,01)

Yıkama uygulamalarında arıtılmış atık suların istatistiksel etkisi olmamasına rağmen, yüzey tabakada tamamen arıtılmış atık suyla yıkama yapılan U1 konusunda tamamen temiz suyla yıkama yapılan U4 konusu göre % 8,5'lik bir artışın görülmüş olması, arıtılmış atık suyun kısmen de olsa çözülmüş organik madde katkısı sağlamış olmasıyla açıklanabilir. Daha önce yapılmış birçok çalışmada da arıtılmış atık sularla sulamanın özellikle yüzey toprağın organik madde içeriğini artırdığı belirlenmiştir (Kiziloglu *et al.* 2007; Kiziloglu *et al.* 2008; Tunc and Sahin 2015; 2016).

4.4. CaCO₃ İçeriği

CaCO₃ içeriğinde uygulamalar sonrasında başlangıç değerine göre (% 7,92) azalmalar görülmüştür. Abdel-Fattah (2012) organik materyallerin tuzlu-sodyumlu topraklara ilavesinin toprak pH'sında azalışla bağlantılı olarak CaCO₃'ün çözünürlüğünde bir artışa yol açabildiğini belirtmiştir. Yürütülen bu çalışmada CaCO₃ içeriğinde düşüşler yüzey tabakada alt tabakaya göre çok önemli (p<0,01) seviyede daha fazla gerçekleşmiştir

(Çizelge 4.4, EK 4). Alt tabakada daha fazla CaCO_3 içeriği yüzey tabakadan yıkanma-çökmenin bir sonucu olarak ta değerlendirilebilir. Her iki tabakada da en yüksek dozda stabilize arıtma çamuru uygulamasında D1 konusuna göre önemli derecede ($p<0,01$) yüksek CaCO_3 içeriği belirlenmiş, yüzey tabakada D2 ve D3 konuları da D1'e göre istatistiksel olarak daha yüksek değerler sağlamıştır. Bu sonuçlar, düşük kireç içeriğine (% 1,47) sahip olmasına rağmen arıtma çamuru karıştırılmasının CaCO_3 içeriğindeki azalmayı baskıladığını göstermiştir. Ayrıca arıtma çamuru doz artışında pH azalmasına rağmen düşüş oranının fazla olmamasının (Çizelge 4.1) etkisiyle de CaCO_3 çözünürlüğünün azaldığı söylenebilir.

Çizelge 4.4. CaCO_3 içeriğinin (%) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi

Derinlik	Uygulamalar	Dozlar				Ortalama
		D1	D2	D3	D4	
0-15 cm	U1	3,96	4,86	5,12	5,98	4,98
	U2	4,49	5,77	5,08	6,08	5,36
	U3	4,54	5,20	5,53	6,88	5,54
	U4	3,96	4,86	5,12	6,50	5,11
	Ortalama	4,24 c**	5,17 b	5,21 b	6,36 a	
15-30 cm	U1	4,95	5,67	5,85	6,92	5,85
	U2	5,62	6,51	6,23	6,76	6,28
	U3	6,16	5,25	6,80	7,04	6,31
	U4	4,92	6,02	5,91	7,42	6,07
	Ortalama	5,41 b**	5,86 b	6,20 ab	7,04 a	

Farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden çok önemli (** $p<0,01$) seviyede farklıdır.

4.5. Değişebilir Katyonlar ve Katyon Değişim Kapasitesi (KDK)

Uygulamalar sonrası değişebilir Na içerikleri deneme öncesi değer (21,60 me/100 g) altına inmiş, yüzey tabakada arıtma çamuru karıştırılmış konularda düşüşler daha belirgin olmuştur (Çizelge 4.5). Değişebilir Ca+Mg içeriği de yine yüzey tabakada arıtma çamuru karıştırılmış konularda başlangıç değerinin (9,18 me/100 g) üzerinde belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Yüzey tabakanın Na ve Ca+Mg içerikleri alt tabaka değerlerinden çok önemli ($p<0,01$) seviyede farklı çıkmıştır (EK 5 ve 6). Yüzey tabakada Ca+Mg' un artmış

olması toprağa karıştırılan jips ve arıtma çamurundan kaynaklı Ca ve Mg' un ilave girişiyle açıklanabilir. Ortamda Ca' un artmasının sonucu olarak ta Na' nın serbest hale geçen miktarının artması, Na'nın yıkanmayla uzaklaştırılmasını sağlamıştır (Alcívar *et al.* 2018). Çizelge 4.4' den görüleceği üzere CaCO₃ içeriğinin de başlangıç değerine göre azalması, çözünen kalsitten dolayı Ca içeriğine ekstra katkı sağlamış olabilir (Qadir *et al.* 2003).

Alt tabakada Na'nın daha fazla düşürülemediği olması da bu tabakada daha düşük miktarlarda bulunan Ca+Mg içerikleri ile değerlendirilebilir (Çizelge 4.6). Ayrıca, alt tabakadaki düşük tuzluluk değerleri de bu tabakada katyonların suda çözülebilir formdan ziyade değişebilir formda tutulduğunu göstermektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.5. Değişebilir Na içeriğinin (me/100 g) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi

Derinlik	Uygulamalar	Dozlar				Ortalama
		D1	D2	D3	D4	
0-15 cm	U1	13,22	8,35	8,13	8,30	9,50
	U2	11,42	8,28	8,05	8,29	9,01
	U3	11,25	8,01	6,04	8,53	8,46
	U4	10,32	6,70	8,03	9,18	8,56
	Ortalama	11,55 a**	7,84 b	7,56 b	8,58 b	
15-30 cm	U1	17,08	14,61	15,74	15,26	15,67
	U2	14,88	14,40	15,62	17,43	15,58
	U3	15,74	14,52	18,34	15,38	16,00
	U4	16,73	14,99	16,12	14,99	15,71
	Ortalama	16,11 a*	14,63 b	16,46 a	15,77 ab	

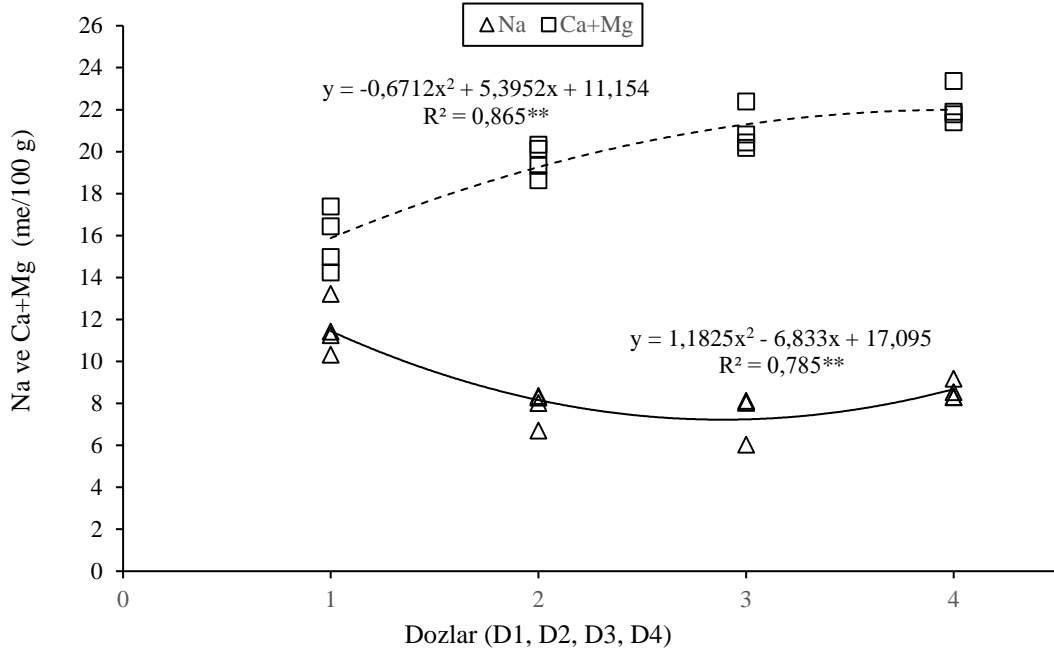
Farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden önemli (*p<0,05) veya çok önemli (**p<0,01) seviyede farklıdır.

Çizelge 4.6. Değişebilir Ca+Mg içeriğinin (me/100 g) stabilize arıtma çamuru dozu ve artırılmış atık su uygulamalarıyla değişimi

Derinlik	Uygulamalar	Dozlar				Ortalama
		D1	D2	D3	D4	
0-15 cm	U1	14,24	18,63	20,17	21,90	18,74
	U2	14,98	20,13	20,82	23,36	19,82
	U3	16,44	19,33	22,39	21,40	19,89
	U4	17,39	20,33	20,43	21,78	19,98
	Ortalama	15,76 c**	19,61 b	20,95 ab	22,11 a	
15-30 cm	U1	13,02	13,79	13,85	15,70	14,09
	U2	13,63	14,32	14,57	13,77	14,07
	U3	13,82	13,67	11,49	15,03	13,50
	U4	12,67	14,08	13,19	15,16	13,78
	Ortalama	13,29	13,97	13,28	14,92	

Farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden çok önemli (**p<0,01) seviyede farklıdır.

Yüzey tabakada Na ve Ca+Mg içerikleri dozlarla çok önemli seviyede (p<0,01) polinomial değişimler göstermiştir (Şekil 4.4). Değişebilir Na içeriğinde azalma doz artışıyla yavaşlamış ve en yüksek D4 dozunda tekrar artma eğilimi göstermiştir. Değişebilir Ca+Mg içeriklerinde ise artış trendi doz artışıyla yavaşlamıştır. Ca+Mg içeriğindeki bu değişimden, yüksek miktarda değişebilir Na içerikli (37,78 me/100 g) arıtma çamurundan kaynaklı Na artışının artan dozlarda tamamen baskılanamadığı anlaşılmıştır. Tamanini *et al.* (2008)'de yaptığı çalışmada toprakta değişebilir Ca içeriğinin arıtma çamuru dozu artışıyla polinomial olarak değiştiğini belirlemişlerdir.



Şekil 4.4. Yüzey tabakada (0-15 cm) değişebilir Na ve Ca+Mg içeriğinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi (**p<0,01)

Uygulamalar sonrası değişebilir K içeriği başlangıç değerinden (0,75 me/100 g) daha yüksek çıkmış, tabakalar arasında benzer sonuçlar göstermiş (EK 7), yüzey tabakada yüksek arıtma çamuru dozlarında daha yüksek (p<0,01) içerikler belirlenirken, alt tabakada farklı dozlarda D1 konusundakine eşit veya daha düşük (p<0,05) değerler belirlenmiştir (Çizelge 4.7). Yüzey tabakadaki yüksek dozlarda istatistiksel daha yüksek miktarlar stabilize arıtma çamurunun K içeriğinden (8,84 me/100 g) kaynaklanmış olabilir (Çizelge 3.1). Lakhdar *et al.* (2010) 'da arıtma çamurunun farklı dozlarında toprak K içeriğinde önemsiz değişimler veya kısmen artışlar şeklinde değişimler gözlemişlerdir. Mevcut çalışmada K'daki değişimlerin daha çok organik madde, kireç ve pH' nın etkileşimleri ile açıklanması mümkün olabilir. Bilen ve Sezen (1993)' de toprakların kireç, pH ve diğer bazı özelliklerinin potasyumunun serbest bırakılmasını veya tutulmasını etkilediğini ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.7. Değişebilir K içeriğinin (me/100 g) stabilize arıtma çamuru dozu ve artırılmış atık su uygulamalarıyla değişimi

Derinlik	Uygulamalar	Dozlar				Ortalama
		D1	D2	D3	D4	
0-15 cm	U1	1,68	1,62	1,72	1,77	1,70
	U2	1,66	1,61	1,69	1,74	1,68
	U3	1,62	1,61	1,76	1,69	1,67
	U4	1,59	1,56	1,73	1,72	1,65
	Ortalama	1,64 b**	1,60 b	1,72 a	1,73 a	
15-30 cm	U1	1,69	1,62	1,68	1,72	1,68
	U2	1,69	1,65	1,61	1,66	1,65
	U3	1,70	1,65	1,61	1,74	1,68
	U4	1,68	1,66	1,59	1,65	1,65
	Ortalama	1,69 a*	1,65 b	1,62 b	1,69 a	

Farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden önemli (* $p < 0,05$) veya çok önemli (** $p < 0,01$) seviyede farklıdır.

KDK değerleri alt tabakada yüzey tabakaya göre önemli derecede yüksek çıkmasına rağmen (EK 8), D4 uygulaması dışında belirlenen tüm değerler başlangıç değerinin (31,53 me/100 g) altında kalmıştır (Çizelge 4.8). Yüzey tabakada alt tabakaya göre daha düşük KDK değerleri gözlenirken, pH değerlerinin de alt tabakaya göre daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.1). Tomašić *et al.* (2013) toprak pH'sının KDK ile pozitif korelasyon gösterdiğini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde, Jaramillo and Restrepo (2017)'da toprak pH'sında değişimin KDK' yı etkilediğini belirtmişlerdir. Ayrıca yıkama-birikme etkisiyle kil taşınımı ve birikimde bu sonucu destekleyebilir (Sezen 1995). Yıkama sonrası kolon tabanındaki kum-çakıl malzemede gözlenen siltasyonda bir yıkanma olduğunu göstermiştir.

Yüzey tabakada KDK'da baskın katyonlar Ca+Mg olurken alt tabakada Na olmuştur (Çizelge 4.5 ve 4.6). KDK değerleri yüzey tabakada D3 ve D4 dozlarında arıtma çamuru karıştırılmamış konuya göre çok önemli ($p < 0,01$) seviyede yüksek çıkmış, alt tabakada ise en yüksek uygulama dozu en yüksek değeri sağlamıştır (Çizelge 4.8). Bu durumun arıtma çamuru uygulamasıyla artan organik maddeden kaynaklanmış olabileceği söylenebilir (Çizelge 4.3). Organik maddenin ayrışması sırasında Ca, Mg ve K gibi

katyonlar üretilir (Abdel-Fattah 2012). Jalali and Ranjbar (2009) organik materyallerin topraklara uygulanmasının, Na 'a göre Ca, Mg ve K gibi katyonların daha fazla adsorpsiyonuna neden olarak katyon değişim kapasitesinde bir artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir. Singh and Agrawal (2008)' da nispeten yüksek oranlarda arıtma çamurunun uygulanmasının KDK'yı artırdığını ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.8. Katyon değişim kapasitesi (KDK) değerinin (me/100g) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi

Derinlik	Uygulamalar	Dozlar				Ortalama
		D1	D2	D3	D4	
0-15 cm	U1	29,14	28,60	30,02	31,97	29,93
	U2	28,06	30,02	30,56	33,39	30,51
	U3	29,31	28,95	30,19	31,62	30,02
	U4	29,30	28,59	30,19	32,68	30,19
	Ortalama	28,95 c**	29,04 c	30,24 b	32,42 a	
15-30 cm	U1	31,79	30,02	31,27	32,68	31,44
	U2	30,20	30,37	31,80	32,86	31,31
	U3	31,26	29,84	31,44	32,15	31,17
	U4	31,08	30,73	30,90	31,80	31,13
	Ortalama	31,08 bc**	30,24 c	31,35 b	32,37 a	

Farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden çok önemli (**p<0,01) seviyede farklıdır.

4.6. Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP)

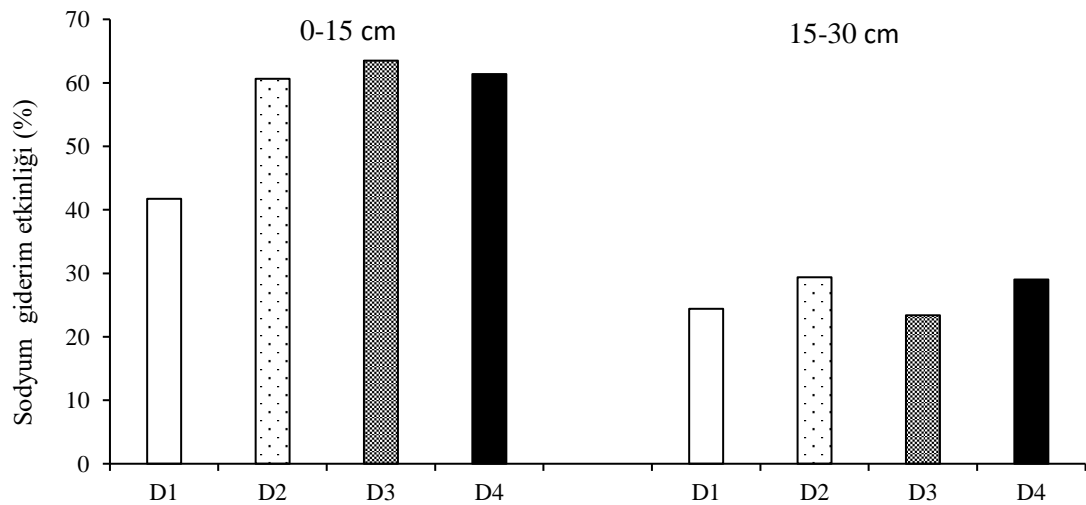
ESP değerleri değişebilir Na içeriklerinin yüksekliğinden dolayı alt tabakada yüzey tabakaya göre çok önemli derecede ($p<0,01$) yüksek bulunmuştur (Çizelge 4.9, EK 9). Alt tabakada uygulamalar ve arıtma çamuru dozlarının ESP üzerine etkisi önemsiz olmuş, sodyum giderim etkinliği % 23,4 ile 29,4 arasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.5). Yüzey tabakada ise artan dozlarda arıtma çamuru karıştırılması benzer etki sağlamasına rağmen arıtma çamuru karıştırılması D1 konusuna göre çok önemli seviyede ($p<0,01$) ESP değerlerini azaltmıştır. Yüzey tabakada D1, D2, D3 ve D4 konularında sodyum giderim etkinliği sırasıyla % 41,7, 60,6, 63,5 ve 61,4 oranında gerçekleşmiştir (Şekil 4.5). Bu değişimde yüzey tabakaya karıştırılan jips ve arıtma çamurundan gelen Ca'un etkisi yanında, yıkama etkinliğinin yüzey tabakada daha fazla olmasından kaynaklandığı

söylenbilir. Jips değiştirilebilir Na' nın yerini alan toprak çözeltisinden kolayca temin edilebilen önemli bir Ca kaynağıdır (Qadir *et al.* 2003). Jalali and Ranjbar (2009)'da organik materyal 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).

Çizelge 4.9. Değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerinin (%) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi

Derinlik	Uygulamalar	Dozlar				Ortalama
		D1	D2	D3	D4	
0-15 cm	U1	45,37	29,20	27,08	25,96	31,90
	U2	40,70	27,58	26,34	24,83	29,86
	U3	38,38	27,67	20,01	26,98	28,26
	U4	35,22	23,43	26,60	28,09	28,34
	Ortalama	39,92 a**	26,97 b	25,01 b	26,47 b	
15-30 cm	U1	53,73	48,67	50,34	46,70	49,86
	U2	49,27	47,42	49,12	53,04	49,71
	U3	50,35	48,66	58,33	47,84	51,30
	U4	53,83	48,78	52,17	47,14	50,48
	Ortalama	51,79	48,38	52,49	48,68	

Farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden çok önemli (**p<0,01) seviyede farklıdır.



Şekil 4.5. Sodyum giderim etkinliğinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi

4.7. Islak Agregat Stabilitesi

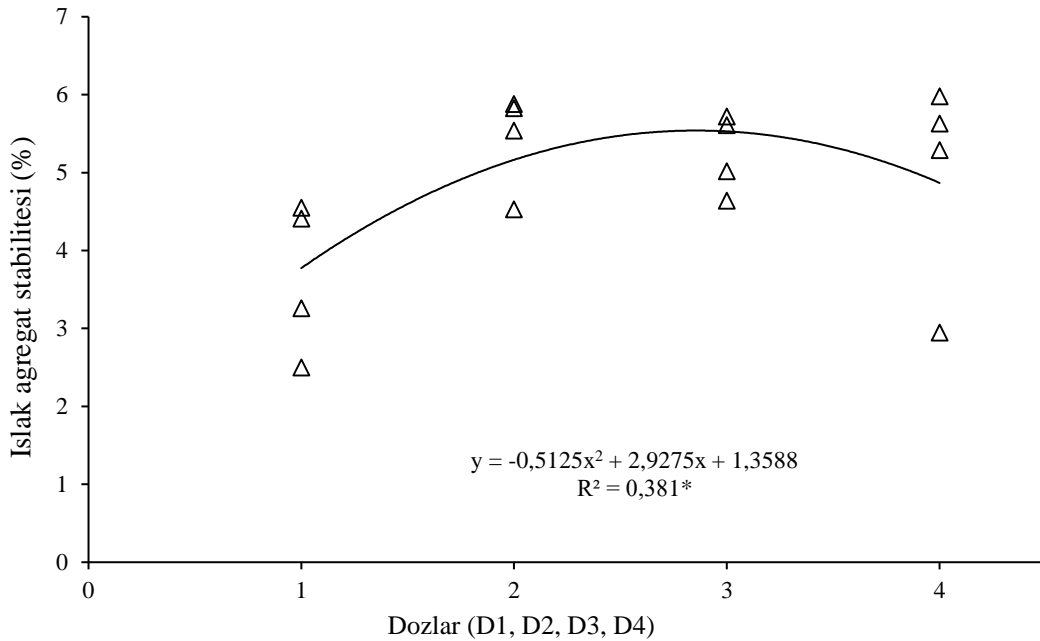
Islak eleme yöntemiyle belirlenen agregat stabilitesi değerleri yüzey tabakada alt tabakadan çok önemli seviyede yüksek çıkmış, yüzey tabaka değerleri başlangıç değerinin (% 2,20) üzerinde bulunmuş, alt tabakada ise oldukça altında kalmıştır (Çizelge 4.10, EK 10). Alt tabakada uygulamaların etkisi benzer olmuş, yüzey tabakada arıtma çamuru karıştırılması agregat stabilitesini önemli derecede ($p < 0,05$) artırmıştır. Agregat stabilitesi yüzey tabakada arıtma çamuru karıştırılmış konularda başlangıç değerinin 2 katını aşarken, alt tabakada ise yaklaşık 4 kat azalmıştır. Jipsin ve organik madde içeren materyalin doğrudan yüzey tabakaya uygulanması ve ayrıca CaCO_3 'ta da bir miktar çözünmeyle Ca doygunluğunun artması yüzey tabakada daha yüksek agregat stabilitesi sağlamıştır. Alt tabakada yüzey tabaka için belirtilen avantajlar ortadan kalkarken, ESP'nin yükselmesi ve elektrolit konsantrasyonunun da azalması agregat stabilitesinde önemli düşümlere neden olmuştur. Sahin *et al.* (2008)'de yüksek ESP ve düşük EC'li toprakların zayıf agregat stabilitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 4.10. Islak agregat stabilitesi değerinin (%) stabilize arıtma çamuru dozu ve arıtılmış atık su uygulamalarıyla değişimi

Derinlik	Uygulamalar	Dozlar				Ortalama
		D1	D2	D3	D4	
0-15 cm	U1	2,50	4,53	5,02	5,29	4,34
	U2	4,55	5,54	5,61	5,63	5,33
	U3	4,41	5,88	5,72	2,95	4,74
	U4	3,26	5,83	4,64	5,98	4,93
	Ortalama	3,68 b*	5,45 a	5,25 a	4,96 a	
15-30 cm	U1	0,64	0,51	0,54	0,42	0,53
	U2	0,76	0,63	0,35	0,45	0,55
	U3	0,56	0,47	0,63	0,97	0,66
	U4	0,73	0,51	0,40	0,44	0,52
	Ortalama	0,67	0,53	0,48	0,57	

Farklı harfle gösterilen ortalamalar birbirinden önemli ($*p < 0,05$) seviyede farklıdır.

Şekil 4.3'den görüleceği üzere yüzey tabakada organik madde içeriğinin doz artışıyla değişim trendine uygun olarak agregat stabilitesinde de doz artışıyla önemli seviyede ($p < 0,05$) polinomial bir değişim gözlenmiş, ancak yüksek dozda etki azalmıştır (Şekil 4.6). Benzer şekilde Yılmaz vd (2005)'da organik madde artışıyla agregat stabilitesinde artış görülmesine rağmen organik maddede miktarının % 2' yi aşması durumunda stabilite değerlerinde fark edilir bir artış meydana gelmediğini ifade etmişlerdir. Aynı araştırmacılar ayrıca CaCO_3 içeriğinin de agregat stabilitesini etkileyen bir diğer faktör olduğunu, Ca'nın toprak kolloidleri arasında köprü oluşturma ve biyolojik aktiviteyi artırma yoluyla agregat stabilitesine pozitif katkılar sağladığını belirtmişlerdir. Gutiérrez *et al.* (2016)'da Ca'nın kil dispersiyonunu engellediğini, kil partikülleri ve toprak organik maddesi arasında katyonik köprü oluşturarak strüktürü geliştirdiğini rapor etmişlerdir.



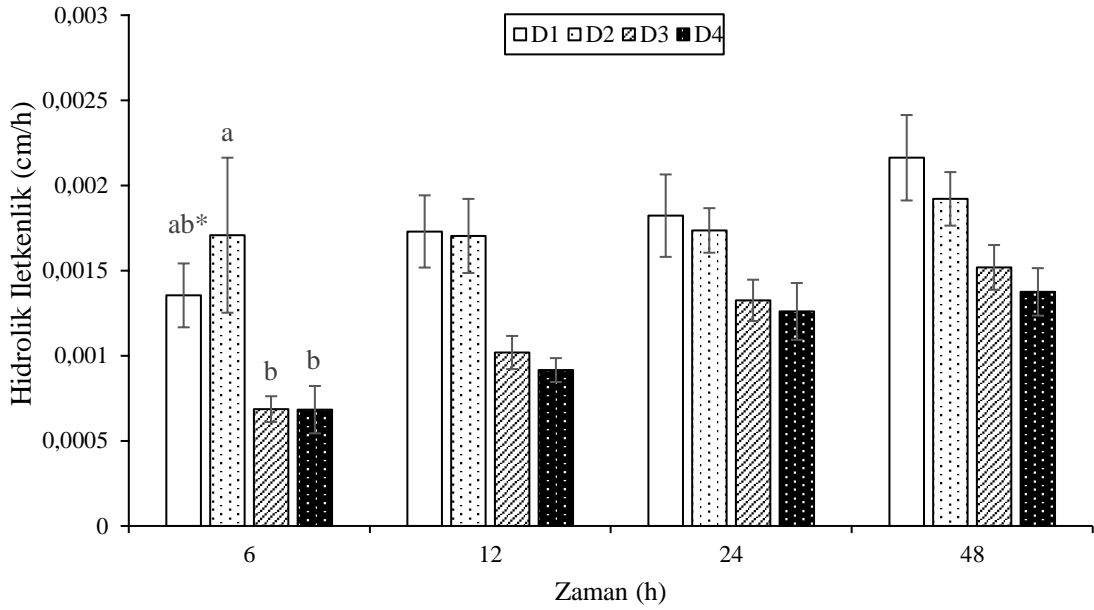
Şekil 4.6. Yüzey tabakada (0-15 cm) ıslak agregat stabilitesinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi (* $p < 0,05$)

Geçmişte yürütülen birçok çalışmada da topraklara organik madde kazandırılmasının agregat stabilitesini artırdığı görülmüştür. Hanay *et al.* (2004) tuzlu-sodyumlu toprakta jips uygulamasına müteakip kentsel katı atık kompostu ilavesinin organik madde artışıyla agregat stabilitesinde önemli artışlar sağladığını ifade etmişlerdir. Sahin *et al.* (2008)

tuzlu-sodyumlu topraklara arıtma çamuru karıştırılmasının ıslak agregat stabilitesini artırarak donma-çözülme süreçlerinin negatif etkilerini azalttığını belirlemişlerdir. Gupta *et al.* (2014)' de sodyumu yüksek topraklara organik iyileştiricilerin karıştırılmasıyla, organik karbon artışından dolayı dispers olmuş killerin flokülasyonu ile agregat stabilitesinin artırılabilirdiğini rapor etmişlerdir. Yine Annabi *et al.* (2011) aralarında arıtma çamurunun da bulunduğu 4 farklı organik materyalin (kentsel katı atık, yeşil atık-arıtma çamuru ve biyo-atık kompostu ile çiftlik gübresi) siltli tın bir toprağın agregat stabilitesine pozitif etkisinin, bu materyallerin toprak organik karbon içeriğini artırmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

4.8. Hidrolik İletkenlik

6, 12, 24 ve 48 h'lik süreler için belirlenmiş hidrolik iletkenlik değerleri sadece yüzey tabakaya arıtma çamuru karıştırılmasıyla yıkama uygulamalarının su geçirgenliği üzerinde pozitif katkı sağlamadığını, tersine özellikle yüksek dozlarda da hidrolik iletkenlikte düşüşler olduğunu göstermiştir (Şekil 4.7, EK 11). Ancak, hidrolik iletkenlikte düşüşler başlangıçta (6 h) önemliken ($p < 0,05$) ilerleyen sürelerde (12, 24, 48 h) önemsiz olmuştur. Alt tabakanın elektrolit konsantrasyonunun düşük ve ESP'sinin yüksek olmasından kaynaklı zayıf agregat stabilitesinin hidrolik iletkenliğe negatif etkisinin, arıtma çamurunun sadece yüzey tabakaya karıştırılmasıyla yüzeyde azalan ESP ve artan agregat stabilitesi anlamında pozitif gelişimin su geçirgenliğine olası pozitif katkılarını baskıladığı düşünülmektedir. Mamedov *et al.* (2006) ESP ve EC'nin toprağın fiziksel özellikleri üzerinde önemli role sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ors *et al.* (2015)'da tuzlu-sodyumlu topraklarda arıtma çamuru ve uçucu kül atıklarının karıştırıldığı koşullarda alt tabakanın yüksek ESP değerine bağlı olarak hidrolik iletkenliğin azaldığını gözlemişlerdir. Dikinya and Totolo (2008)'da tuzlu sodyumlu bir toprakta sodyumlulukta artış ve elektrolit konsantrasyonunda azalışın permeabilitenin azalmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. Yine Sahin *et al.* (2002)' da tuzlu-sodyumlu bir toprakta yıkama sonrası tuzluluğun düşük seviyelere indiğini, ancak derinlikle ESP'nin artışına bağlı olarak hidrolik iletkenliğin de azaldığını belirlemişlerdir.

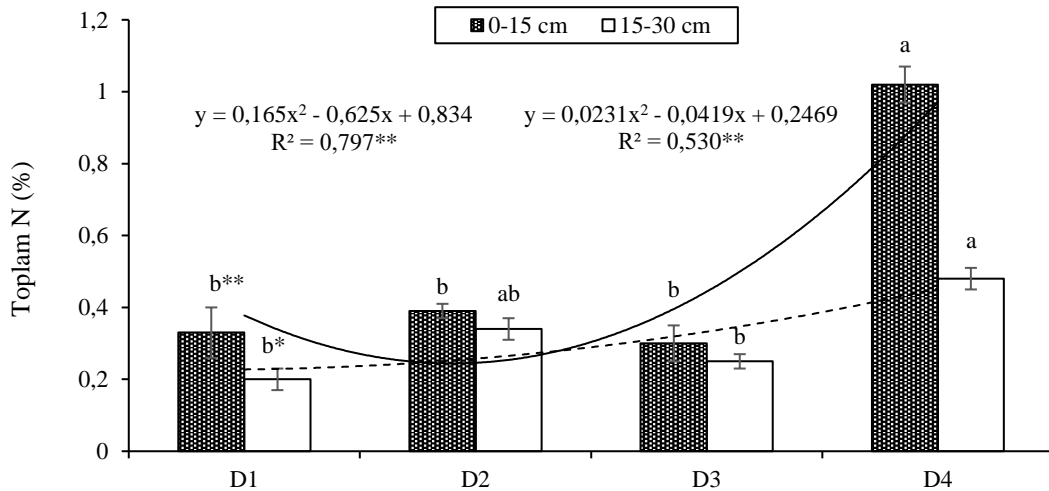


Şekil 4.7. Farklı süreli ölçümlerde hidrolik iletkenlik değerlerinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi (* $p < 0,05$)

Doz artışıyla hidrolik iletkenliğin azalmasında gözenek büyüklük dağılımındaki olası değişimlerin de dikkate alınması gerekir. Ferreira *et al.* (2011) arıtma çamuru karıştırılmış toprakta, elektromikroskop görüntülerinden, arıtma çamurundan kaynaklı küçük parçacıklarla kum taneleri yüzeyinin kaplandığını, gözeneklerin daraldığını ve bunun da hidrolik iletkenliği azalttığını ve doz artışının da azalışı azda olsa desteklediğini belirlemişlerdir. Jnad *et al.* (2001)'da organik maddenin porlarda birikmesi yoluyla atık su uygulamalarında büyük porların hacmindeki azalmanın etkisiyle hidrolik iletkenliğin azaldığını ortaya koymuşlardır. Ayrıca Schneider *et al.* (2009)'da organik iyileştiricilerin kullanıldığı koşullarda gözeneklerin kaba organik madde ile tıkanması ve su sızmasına karşı direnç oluşturan veya geciktiren hidrofobikliğin artmasının da hidrolik iletkenliğin azalmasını açıklayan olası mekanizmalar olarak ortaya koymuşlardır. Dolayısıyla yukarıdaki bilgilerden, yüksek sodyumlu koşullarda biyo-atıkların ilavesinin gözeneklerde başlangıçta bir daralma işlemi yarattığı düşünülebilir. Zamanla hidrolik iletkenlikteki artış eğilimi gözlenmesi de bu çıkarımı desteklemiş olabilir (Şekil 4.7). Yürütülen bir çalışma arıtma çamuru uygulamasının inkübasyondan 27 gün sonra hidrolik iletkenlikte önemli bir artış sağladığını ortaya konmuştur (Singh and Agrawal 2008).

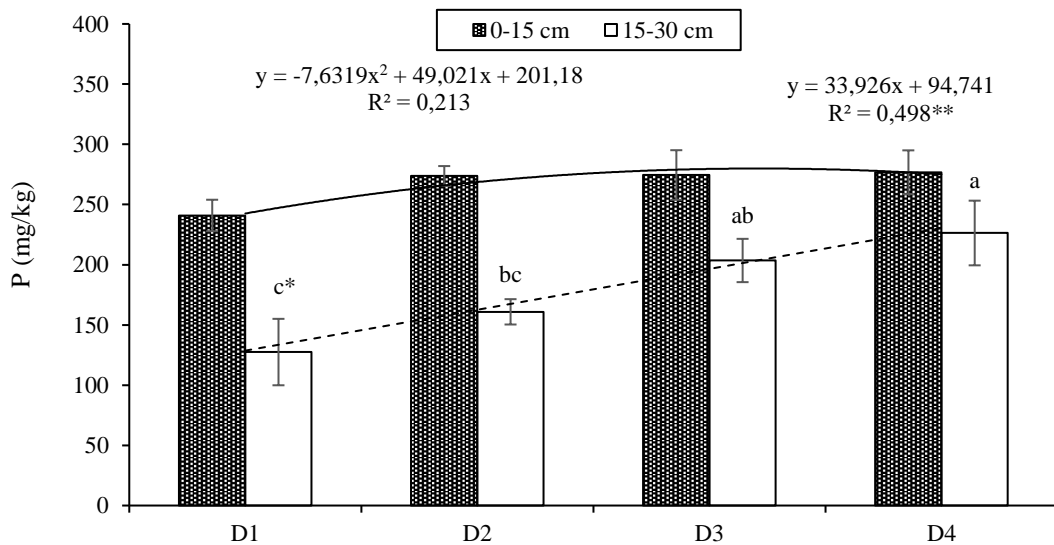
4.9. Toplam N ve P İçerikleri

Uygulamalar sonrasında yüzey tabakanın toplam N içeriği alt tabakaninkinden çok önemli düzeyde ($p<0,01$) yüksek bulunmuştur (EK 12, Şekil 4.8). Her iki tabakada da sadece en yüksek arıtma çamuru dozu toplam N içeriğini önemli seviyelerde artırırken diğer uygulamaların etkisi istatistiksel olarak benzer çıkmış, aynı zamanda bu uygulamalar altındaki toplam N içerikleri başlangıç değerinin de (% 0,38) altında kalmıştır. Hem yüzey ve hem de alt tabakada en yüksek dozdaki bu artış aynı zamanda çok önemli seviyede ($p<0,01$) bir polinomial ilişkiyi ortaya çıkarmıştır (Şekil 4.8). En yüksek dozdaki artışın arıtma çamurunun toplam N içeriğinden (% 4,55) kaynaklandığı, daha düşük dozlarda ise yıkamanın daha baskın etkisinin söz konusu olduğu söylenebilir. Yıkama, toprakta azotun taşınımında ana faktördür (Favaretto *et al.* 2012). Fernández-Sanjurjo *et al.* (2014) tarafından yürütülen toprak kolon çalışmasında, yüksek miktarlarda amonyum ve nitrat azotunun birkaç gün içerisinde kolonlardan yıkanarak uzaklaştığı gözlenmiştir. Özçelik ve Usta (2008)' da farklı sulama yöntemlerinde azot taşınımını araştırdıkları çalışmalarında hemen ilk sulamalarla birlikte amonyum ve nitrat formunda azot kaybının fazla miktarda gerçekleştiğini saptamışlardır. Yine Sato and Morgan (2008)'da yıkama kolonlarında başlangıçta yüksek oranda amonyum ve nitrat azotu yıkamını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.8. Toplam N içeriğinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi (** $p<0,01$; * $p<0,05$)

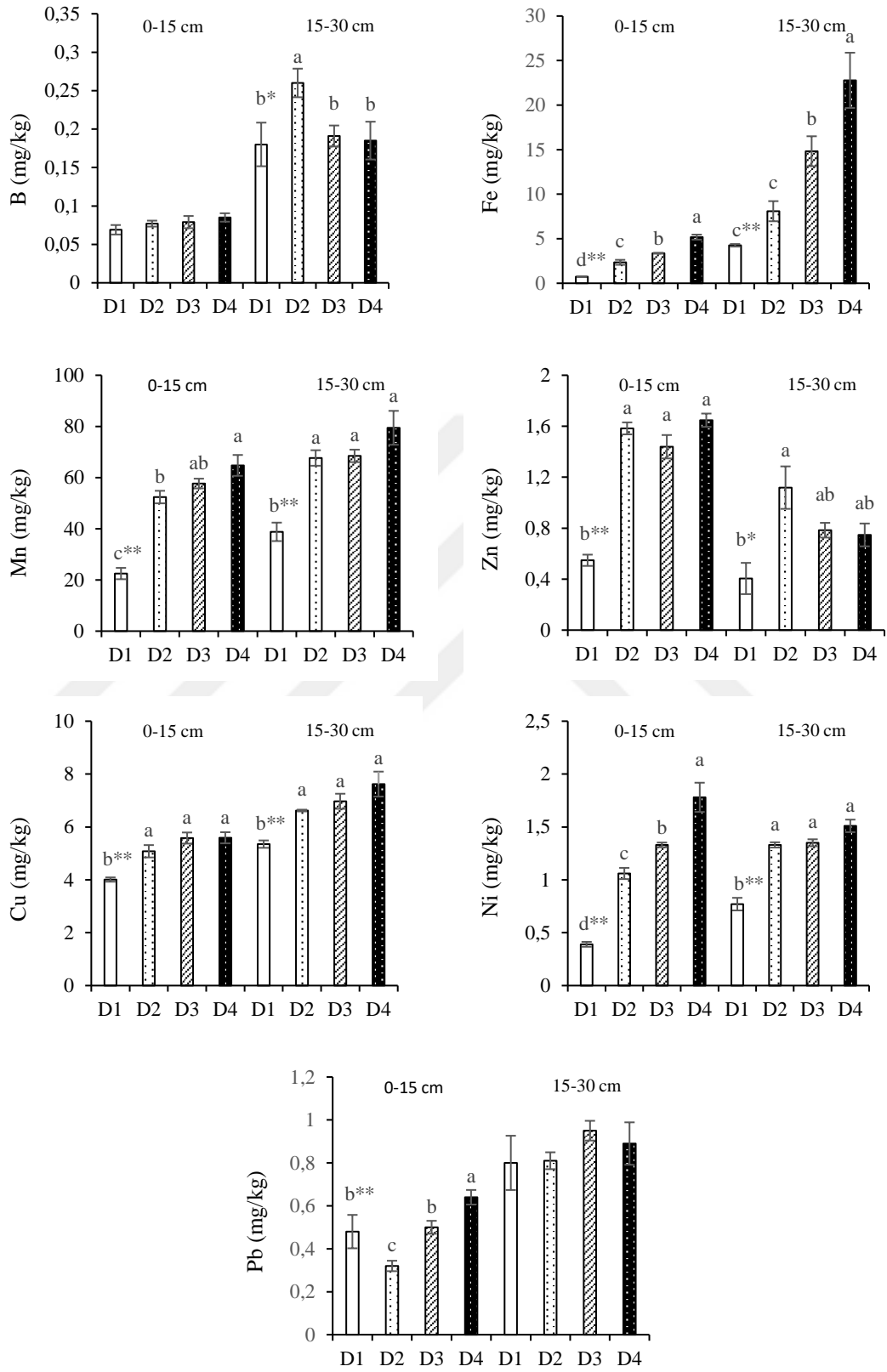
Toprak P içeriğinde de tabakalar arası fark önemli olmuş ($p<0,01$), yüksek değerler yüzey tabakada belirlenmiştir (Şekil 4.9, EK 13). Alt tabakada doz artışıyla kontrol konusu D1' e göre P içeriğinde önemli ($p<0,05$) artışlar gerçekleşmiş, yüzey tabakada doz artışlarının etkisi olmamıştır. Arıtma çamurunun yüksek P içeriği (877,6 mg/kg) alt tabakada doz artışıyla çok önemli seviyede ($p<0,01$) doğrusal bir artış trendi oluşturmasına rağmen, deneme sonrası içeriklerin deneme öncesi değer (277,2 mg/kg) altında kalmış olması, yıkamanın bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Toprak kolloidlerce yüksek seviyede tutulabildiği için P hareketliliği diğer besinlerle karşılaştırıldığında düşük olmasına rağmen sürekli P uygulaması altında taşınım artmaktadır (Jalali and Arfania 2010). Fernández-Sanjurjo *et al.* (2014) azotta olduğu gibi fosfor taşınımının da yıkama uygulamalarıyla önemli derecede etkilendiğini ortaya koymuştur. Normalde yıkamanın olmadığı veya sınırlı olduğu koşullarda, arıtma çamurlarının içeriğinden dolayı toprakta N ve P'nin artmasına katkı sağladığı birçok çalışmada ortaya konmuştur. Singh and Agrawal (2008) arıtma çamuru uygulanmasının toprakların N ve P içeriklerinde artışlar sağladığını rapor etmişleridir. Ferreira *et al.* (2011) yürüttükleri kolon denemelerinde artan arıtma çamuru dozlarının yüzeyde P içeriğini artırdığını, N içeriğinin kolon tabanında fazla olduğunu gözlemişlerdir. Hussein (2009)'da kumlu ve kireçli iki toprakta elverişli P'nin arıtma çamuru dozu artışıyla arttığını belirtmiştir.



Şekil 4.9. Toprak P içeriğinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi (** $p<0,01$; * $p<0,05$)

4.10. Micro Element ve Ağır Metal İçerikleri

Mikro element ve ağır metal içeriklerine yıkama uygulamalarının etkisi olmazken, arıtma çamuru karıştırılması çoğunlukla doz artışıyla artan değerler sağlamıştır (Şekil 4.10, EK 14-20). Alt tabaka değerleri Zn hariç üst tabaka değerlerinden önemli derecede yüksek bulunmuştur. Deneme sonrası toprak örneklerinde başlangıç toprak (0 mg/kg), arıtma çamuru (0.01 mg/kg) ve arıtılmış atık su (0.001 mg/l) içeriklerinden kaynaklı olarak Cd tespit edilememiştir. Yine başlangıç toprak değerleri (Çizelge 3.2) dikkate alındığında Zn ve Cu içerikleri azalmış, diğer elementlerde artışlar ortaya çıkmıştır. Mikro element ve ağır metal artışları arıtma çamuru içeriklerinden kaynaklı olarak değerlendirilmiştir. Alt tabakada içeriklerin artış eğilim göstermiş olması ise yıkanma-birikme etkisiyle gerçekleşmiş olabilir. “Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” deki pH > 7 olan topraklar için ağır metal sınır değerleri (Zn: 200 mg/kg, Cu: 100 mg/kg, Cd: 1,5 mg/kg, Ni: 70 mg/kg, Pb: 100 mg/kg) dikkate alındığında bu çalışmadaki değerler limit değerlerin oldukça altında kalmıştır (Anonim 2010). WHO sınır değerleri de (Zn: 300 mg/kg, Cu: 140 mg/kg, Cd: 3 mg/kg, Ni: 75 mg/kg, Pb: 300 mg/kg) benzer sonuç ortaya çıkarmıştır (Khan *et al.* 2013). Ayrıca deneme sonrası toprak B içerikleri 1 mg/kg değerinin altında olduğundan B riski de söz konusu değildir (Gupta 2007).



Şekil 4.10. Yüzeý (0-15 cm) ve alt (15-30 cm) tabakada mikro element ve ağır metal içeriklerinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi (** $p < 0,01$; * $p < 0,05$)

Geçmişte yapılan çalışmalardan, arıtma çamuru karıştırılmasının toprakta mikro element ve ağır metal içeriklerinde önemli değişimler oluşturabildiği görülmüştür. Ancak, arıtma çamurunun mikro element ve ağır metal içeriği ile uygulanma dozu önemli olmaktadır. Singh and Agrawal (2008) arıtma çamurunun toprağa düşük dozlarda uygulanmasının ağır metal konsantrasyonlarında önemli bir artışa neden olmayacağını ifade etmişlerdir. Hussein (2009) arıtma çamuru uygulama dozu ile toprak kimyasal içeriklerinin (Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni) arttığını ve doz artışı ile içerikler arasında yüksek korelasyonlar olduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde Ferreira *et al.* (2011)'da arıtma çamuru dozu artışıyla toprakta Fe, Zn, Cu ve Cd içeriklerinde artışlar gözlemlemişlerdir. Yine bir başka çalışmada da arıtma çamuru ilavesiyle toprak Fe, Zn ve Cu miktarlarının doz artışıyla önemli derecede arttığını ve bununda arıtma çamurunun doğrudan etkisine bağlanacağı ifade edilmiştir (Özyazıcı vd 2012).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tuzlu-sodyumlu toprak (pH: 9,58; EC: 29,60 dS/m; ESP: % 68,51) kullanılarak laboratuvar koşullarında yürütülen kolon denemelerinde, jips eklenmiş toprakların yüzey tabakasına (0-15 cm) farklı dozlarda stabilize arıtma çamuru (pH: 7,89; EC: 8,97 dS/m, organik madde: % 44) karıştırılmış, yıkama için kolon toprak derinliğinin 1,5 katı su (45 cm) 3 dilim halinde aralıklı göllendirme ile uygulanmıştır. Yıkama suyu, arıtılmış atık su (pH: 6,68; EC: 0,644 dS/m; SAR: 2,40) ve temiz suyun (pH: 7,24; EC: 0,345 dS/m; SAR: 0,59) sıralı farklı kombinasyonlarından oluşturulmuştur. Deneme sonrası toprakların pH, EC, organik madde, CaCO₃, değişebilir kation (Na, Ca+Mg ve K) içerikleri, kation değişim kapasitesi (KDK), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP), agregat stabilitesi ile toplam N, P ile B, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb ve Cd içeriklerindeki değişimler yüzey (0-15 cm) ve alt tabaka (15-30 cm) için ayrı ayrı belirlenmiştir. Ayrıca farklı sürelerle (6, 12, 24 ve 48 h) hidrolik iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Denemeler sonrasında toprak örneklerinde Cd' ye rastlanmamış, diğer tüm ölçülen parametreler üzerine orta tuzluluk ve düşük sodyumluluk değerine sahip sularla yıkama uygulamalarının etkisi önemsiz bulunurken, farklı stabilize arıtma çamuru dozları (0 t/ha, 40 t/ha, 80 t/ha, 120 t/ha) altında önemli değişimler olduğu saptanmıştır. Tabakalar arasındaki fark da istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur. Tabakalar arası farkın büyük çoğunlukla stabilize arıtma çamurunun sadece yüzey tabakaya karıştırılmış olmasından ve kısmen de yıkamayla taşınımından kaynaklandığı düşünülmüştür.

Arıtma çamuru dozlarının araştırılan parametreler üzerine etkisi konusunda belirlenmiş hususlar aşağıda sıralanmıştır.

- Yüzey tabakada stabilize arıtma çamuru karıştırılması daha düşük pH değerleri gözlenmesini sağlamıştır.

- pH değerlerinde değişim organik madde, toplam N ve CaCO₃ içeriği değişimleriyle ilişkilendirilebilmiştir.
- Alt tabakada tuzluluk sınır değerine (4 dS/m) ulaşılmış, yüzey tabakada arıtma çamuru EC'sinin de etkisiyle değerler 1.5-2 kat sınır değerinin üzerinde kalmış, doz artışının belirgin etkisi görülmüştür.
- Arıtma çamuru karıştırılması organik madde içeriğinde atışlar sağlamıştır.
- Toprak pH'sında azalışın etkisiyle CaCO₃'ün çözünürlüğünde artış kireç içeriklerini kısmen azaltmış, arıtma çamuru yüksek dozları bu azalışları baskılamıştır.
- Değişebilir Na içeriklerinde düşüşler, değişebilir Ca+Mg içeriklerinde artışlar yüzey tabakada arıtma çamuru karıştırılmış konularda belirgin olmuş, jips ve arıtma çamuru kaynaklı Ca'un etkisiyle artan Na yıkınımı değişebilir sodyum yüzdesini sınır değerinin (% 15) 2 katı seviyelerinin altına kadar düşürmüş, başlangıç ESP değerine göre % 60'ın üzerinde bir sodyumluluk giderim başarısı sağlanmıştır. Arıtma çamuru karıştırılmamış konuda ise bu oran % 41,7 olarak gerçekleşmiştir.
- Jipsin ve arıtma çamurunun yüzey tabakaya uygulanması ve yine yüzey tabakadaki CaCO₃'ünde bir miktar çözünmeyle Ca içeriğinin artırması yüzey tabakada agregat stabilitesini artırmıştır.
- Alt tabakada yüksek ESP, düşük elektrolit konsantrasyonu ve zayıf agregat stabilitesi, yüzey tabakanın pozitif ayrışan bu özelliklerinin hidrolik iletkenlik üzerine olumlu etkilerini baskılamıştır. Ayrıca biyo-atıkların ilavesinin gözeneklerde başlangıçta olası bir daralma yaratma potansiyeli de yıkama aşamasında hidrolik iletkenliği negatif etkilemiş olabilir.
- Arıtma çamurlarıyla ortama giren N ve P'nin yıkama sürecinden doğrudan etkilendiği görülmüş, toprakta birikim sınırlanmıştır.
- Arıtma çamuru karıştırılması mikro element ve ağır metal içeriklerinde çoğunlukla doz artışıyla artan değerler sağlamıştır. Ancak birikimlerin alt tabakada daha fazla gözlenmesi yıkama-birikme süreci etkisinin bir sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Tuzlu-sodyumlu toprak ıslahında stabilize arıtma çamuru ve arıtılmış atık suların kullanım etkinliğinin belirlenmesi kapsamında, arıtılmış atık suların temiz su uygulamalarıyla benzer etki göstermiş olması, yıkama aşamasında temiz su kaynaklarının korunması adına orta tuzluluk ve düşük sodyumlulukta arıtılmış atık suların rahatlıkla kullanılabilceğini ortaya çıkarmıştır. Stabilize arıtma çamurunun da sodyumluluk sorununu giderimde ciddi pozitif katkılar sağladığı açıktır. Ancak toprakta N ve P'den kaynaklı verimliliğin artırılabilmesi anlamında düşük dozlarda bir katkı alınamamış, ancak mikro besin içeriklerinde kısmen artışlar sağlanabilmiştir. Ağır metal içerikleri anlamında ise toprakta bir kirlilik durumu söz konusu olmamıştır.

Arıtma çamurunun yüzey tabaka yerine tüm sorunlu tabakaya karıştırılması ıslah sürecinin ESP ve hidrolik iletkenlik anlamında daha pozitif sonuçlara ulaşmasına önemli katkı sağlayabilir. Arıtma çamuru dozunun yüksek seçilmesiyle hem ıslah başarı oranı artırılabilir ve hem de verimlilik anlamında avantajlar sağlanabilir. Ancak uygulanacak yıkama suyu miktarlarının topraktan tuz ve sodyum taşınımlarının takip edilerek belirlenmesi, toprakta besin elementi ve ağır metal birikimlerinin de dikkatle izlenmesi beklenen faydaların artırılmasında önemli olacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdel-Fattah, M.K., 2012. Role of gypsum and compost in reclaiming saline-sodic soils. *Journal Agricultural Veterinary Science*, 1 (3), 30-38.
- Alcívar, M., Zurita-Silva, A., Sandoval, M., Muñoz, C., Schoebitz, M., 2018. Reclamation of saline-sodic soils with combined amendments: impact on quinoa performance and biological soil quality. *Sustainability*, 10 (9), 3083.
- Anapalı, Ö., 1994. Iğdır ovası tuzlu-sodyumlu topraklarında bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerin agregasyon üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (3), 436-444.
- Angın, İ., Yağanoğlu, A.V., 2009. Arıtma çamurlarının fiziksel ve kimyasal toprak düzenleyicisi olarak kullanımı. *Ekoloji*, 19 (73), 39-47.
- 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, 2010. Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. 03.08.2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim, 2016. Erzurum Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Tanıtım El Kitabı. Erzurum Büyükşehir Belediyesi, Eski Genel Müdürlüğü, Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı, Atıksu Arıtma Tesisleri Şube Müdürlüğü.
- Anonim, 2018. Erzurum Büyükşehir Belediyesi, Erzurum Su ve Kanalizasyon İşleri Genel Müdürlüğü Arıtma Tesisleri Dairesi Başkanlığı. <http://www.eski.gov.tr/atesis/> (11.09.2018).
- APHA, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. In: Eaton AD, Clesceri LS, Greenberg AE (eds) American Public Health Association, 19th edn. Washington, DC.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1., FAO, Rome.
- Bilen, S., Sezen, Y., 1993. Toprak reaksiyonunun bitki besin elementleri elverişliliği üzerine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 24 (2), 156-166.
- Budak, M., 2012. Tuzlu Alkali Toprakların Oluşumu, Sınıflandırılması ve Klasik Toprak Etüd ve Jeostatistik Yöntemlerle Haritalanması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat.
- Dagar, J.C., Tomar, O.S., Minhas, P.S., 2005. Agroforestry rejuvenates saline soils using saline irrigation. *APANews: Asia-Pacific Agroforestry Newsletter* No: 26. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.
- Da Silva, S.M.C.P., Fernandes, F., Socol, V.T., Morita, D.M., 2007. Main Contaminants in Sludge. *Biological Wastewater Treatment Series. Volume six Sludge Treatment and Disposal*. Cleveron Vitorio Andreoli, Marcos von Sperling, Fernando Fernandes. London. UK. 31- 47.
- Dikinya, O., Totolo, O., 2008. Mixed sodium and calcium ions affects the permeability and ion exchange behavior in saline-sodic soil. *Proceedings of International Soil Conservation Organization (ISCO): 15th ISCO Conference, 18-23 May 2008, Budapest, Hungary*.

- Demiralay, İ., 1993. Toprak fiziksel analizleri. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 143, Erzurum.
- Domene, X., Colón, J., Uras, M.V., Izquierdo, R., Àvila, A., Alcañiz, J.M., 2010. Role of soil properties in sewage sludge toxicity to soil collembolans. *Soil Biology and Biochemistry*, 42 (11), 1982-1990.
- Eltan, E., 1998. İçme ve Sulama Suyu Analiz Yöntemleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Yayın No: 18, Ankara.
- EPA, 2001. EPA Method 1687. Total Kjeldahl Nitrogen in Water and Biosolids by Automated Colorimetry with Preliminary Distillation/Digestion. U.S. Environmental Protection Agency Office of Water Office of Science and Technology Engineering and Analysis Division, Washington, D.C.
- Ergene, A., 1993. Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üni. Zir. Fak. Yayın No: 586. Ziraat Fakültesi Yayın No: 267. Ders Kitapları Serisi No: 42. Erzurum.
- Fageria, N.K., Gheyi, H.R., Moreira, A., 2011. Nutrient bioavailability in salt affected soils. *Journal of Plant Nutrition*, 34 (7), 945-962.
- Fan, Y., Ge, T., Zheng, Y., Li, H., Cheng, F., 2016. Use of mixed solid waste as a soil amendment for saline-sodic soil remediation and oat seedling growth improvement. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (21), 21407-21415.
- Favaretto, N., Norton, L.D., Johnston, C.T., Bigham, J., Sperrin, M., 2012. Nitrogen and phosphorus leaching as affected by gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium. *Soil Science Society of America Journal*, 76 (2), 575-585.
- 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.
- Fernández-Sanjurjo, M.J., Alvarez-Rodríguez, E., Núñez-Delgado, A., Fernandez-Marcos, M.L., Romar-Gasalla, A., 2014. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium release from two compressed fertilizers: column experiments. *Solid Earth*, 5 (2), 1351-1360.
- Göçmez, S., 2006. Menemen Ovası Topraklarında İZSU Kentsel Arıtma Çamuru Uygulamalarının Mikrobiyal Aktivite ve Biyomas ile Bazı Fiziksel ve Kimyasal Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir.
- Gupta, U, C., 2007. Boron. In: Barker AV, Pilbeam DJ (eds) *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 241-277.
- 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.
- Gutiérrez, M.A., Zúñiga, O., Ospina-Salazar, D.I., 2016. Effect of three biowastes on the productivity potential of a sodic soil. *Agronomía Colombiana*, 34 (2), 250-259.
- Hanay, A., Buyuksonmez, F., Kiziloglu, F.M., Canbolat, M.Y., 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. *Compost Science & Utilization*, 12 (2), 175-179.
- Hossain, M.B., Sarker, R.R., 2015. Organic and inorganic amendments on rice (*Oryza sativa* L.) and soil in salt affected areas of Bangladesh. *Journal of Environmental Science and Natural Resources*, 8 (2), 109-113.

- Hussain, N., Hassan, G., Arshadullah, M., Mujeeb, F., 2001. Evaluation of amendments for the improvement of physical properties of sodic soil. *International Journal Agricultural Biology*, 3, 319-322.
- 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.
- IBM Corp, 2012. IBM SPSS Statistics 21 core system user's guide. 424 p, New York.
- 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.
- Jalali, M., Arfania, H., 2010. Leaching of heavy metals and nutrients from calcareous sandy-loam soil receiving municipal solid sewage sludge. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173 (3), 407-416.
- 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.
- Kacar, B., 2009. Soil analysis, 2nd edn. Nobel Academic Publishing, Ankara, Turkey.
- Kameli, M.A., Chorom, M., Jaafarzadeh, N., Janadeleh, H., 2017. Application of wastewater with high organic load for saline-sodic soil reclamation focusing on soil purification ability. *Environmental Science Management*, 3 (2), 197-206.
- Kanber, R., Ünlü, M., 2010. Tarımda su ve toprak tuzluluğu. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 281, Adana.
- Karadede, H., Ünlü, E., 2000. Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41 (9), 1371-1376.
- Khan A., Javid, S., Muhmood, A., Mjeed, T., Niaz, A., Majeed. A., 2013. Heavy metal status of soil and vegetables grown on peri-urban area of Lahore district. *Soil Environmental*, 32, 49-54.
- Khurana, M.P.S. Singh, P., 2012. Wastewater use in crop production: a review. *Resources and Environment*, 2 (4), 116-131.
- Kiziloglu, F.M., Sahin, U., Turan, M., Angin, I., Anapali, O., Okuroglu, M., 2007. Effects of wastewater irrigation on soil and cabbage-plant (*Brassica oleracea* var. capitata cv. yalova-1) chemical properties. *Plant Nutrient Soil Science*, 70 (1), 166-172.
- Kiziloglu F.M, Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y., Dursun. A., 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *rubra*) grown on calcareous soil in Turkey. *Agricultural Water Management*, 95 (6), 716-724.
- Koç, D.L., 2011. Aşağı Seyhan ovası tuzlu-sodyumlu topraklarının farklı yöntemlerle iyileştirilmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniv, Adana.
- Lakhdar, A., Scelza, R., Scotti, R., Rao, M.A., Jedidi, N., Gianfreda, L., Abdelly, C., 2010. The effect of compost and sewage sludge on soil biologic activities in salt affected soil. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutricion Vegetal*, 10 (1), 40-47.
- Li, P., Cheng, X., Xue, B., Zhang, L., Sun, D., 2013. Evaluation of composted sewage sludge application to soil. *IERI Procedia*, 5, 202 – 208.

- Mahdy, A.M., 2011. Comparative effects of different soil amendments on amelioration of saline-sodic soils. *Soil Water Research*, 6 (4), 205-216.
- Mamedov, A., Levy, G.J., Huang, C., Norton, L.D., 2006. Effect of salinity, sodicity and soil texture on aggregate stability of semi-arid soils. In *Proceedings of the 14th conference on International Soil Conservation Organization (ISCO 2006)*. Water Management and Soil Conservation in Semi-arid Environments, 14-19 May, Marrakech, Morocco.
- Marchuk, A., 2013. Effect of cations on structural Stability of Salt-affected soils. The Doctoral dissertation. Discipline of Soil Science, School of Agriculture, Food and Wine, the University of Adelaide, Australia.
- Matosic, S., Birkás, M., Vukadinovic, V., Kistic, I., Bogunovic, I., 2018. Tillage, Manure and Gypsum Use in Reclamation of Saline-Sodic Soils. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 83 (2), 131-138.
- 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.
- Munsuz, N., Çaycı, G., Sözüdoğru Ok, S., 2001. *Toprak Islahı ve Düzenleyiciler (Tuzlu ve Alkali Toprakların Islahı)*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1518, Ankara.
- Muyen, Z., Wrigley, R.J., 2016. Reclamation of sodic soils with organic amendments: a review. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2 (9), 317-324.
- 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.
- 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.
- Nollet, L.M.L., 2000. *Handbook of water analysis*. Marcel Dekker, Inc., New York, NY.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. 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, 403-430.
- Orhan, G., 2016. *Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Kimyasal ve Fiziksel Risk Faktörlerinin İncelenmesi*. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Örs, S., Anapalı, Ö., 2014. Farklı kuruma seviyelerinde aralıklı yıkamaların topraktaki tuz dağılımına etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 45 (2), 117-124.
- 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.

- Özçelik, G., Usta, S., 2008. Farklı sulama yöntemlerinin topraktaki amonyum ve nitrat azotu kapsamlarına etkisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 14 (3), 267-275.
- Öztürk, İ., Çallı, B., Arıkan, O., Altınbaş, M., 2015. Atıksu Arıtma Çumurlarının İşlenmesi ve Bertarafı. Korza Yayıncılık Basım San. ve Tic. A.Ş., 218s, Ankara, Türkiye.
- 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.
- Prapagar, K., Indraratne, S.P., Premanandharajah, P., 2012. Effect of soil amendments on reclamation of saline-sodic soil. Tropical Agricultural Research, 23 (2), 168-176.
- Prapagar, K., Premanandharajah, P., Indraratne, S., 2013. Reclamation of saline-sodic soils gypsum amended organic materials. LAP Lambert Academic Publishing, 112 pages.
- Qadir, M.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 & Development 14 (3), 301-307.
- Qadir, M., Schubert, S., Badia, D., Sharma, B.R., Qureshi, A.S., Murtaza, G., 2007. Amelioration and nutrient management strategies for sodic and alkali soils. CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources, 21, 1-13.
- 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.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement Saline and Alkaline Soils. U.S. Department of Agriculture Handbook No.60, Washington DC.
- Sahin, U., Anapali, O., Hanay, A., 2002. The effect of consecutive applications of leaching water applied in equal, increasing or decreasing quantities on soil hydraulic conductivity of a saline sodic soil in the laboratory. Soil Use and Management, 18 (2), 152-154.
- Sahin, U., Oztas, T., Anapali, O., 2003. Effects of consecutive applications of gypsum in equal, increasing, and decreasing quantities on soil hydraulic conductivity of a saline-sodic soil. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 166 (5), 621-624.
- Sahin, U., Anapali, O., 2005. A Laboratory study of the effects of water dissolved gypsum application on hydraulic conductivity of saline-sodic soil under intermittent ponding conditions. Irish Journal of Agricultural and Food Research, 44, 297-303.
- 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.

- Saifullah., Dahlawi, S., Naeem, A., Rengel, Z., Naidu, R., 2018. Biochar application for the remediation of salt-affected soils: Challenges and opportunities. *Science of the Total Environment*, 625, 320-335.
- 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.
- Sato, S., Morgan, K.T., 2008. Nitrogen recovery and transformation from a surface or sub-surface application of controlled-release fertilizer on a sandy soil. *Journal of Plant Nutrition*, 31 (12), 2214-2231.
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., Zahoor, A., 2013. Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, 1–13.
- 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.
- Sezen, Y., 1995. Toprak Kimyası. Atatürk Üniversitesi Yayınları No: 790. Ziraat Fakültesi Yayın No: 322. Ders Kitapları Serisi No: 71. Erzurum.
- Shaaban, M., Abid, M., Abou-Shanab, R.A.I., 2013. Amelioration of salt affected soils in rice paddy system by application of organic and inorganic amendments. *Plant Soil Environmental*, 59 (5), 227-233.
- Sharma, D.K., Singh, A., Sharma, P, C., Dagar, J.C., Chaudhari, S.K., 2016. Sustainable management of sodic soils for crop production: opportunities and challenges. *Soil Salinity and Water Quality* 8 (2), 109-130.
- Shrivastava, P., Kumar, R., 2015. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22 (2), 123–131.
- Singh, R.P., Agrawal, M., 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, 28, 347–358.
- Singh A., Agrawal. M., 2012. Effects of wastewater irrigation on physical and biochemical characteristics of soil and metal partitioning in *Beta vulgaris L.* *Agricultural Research*, 1 (4), 379-391.
- Sönmez, B., 2004. Türkiye’de çorak ıslahı araştırmaları ve tuzlu toprakların yönetimi. *Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 20-21.
- Sundha,P., Basak, N., Rai, A.K., Yadav, R.K., Sharma, D.K., 2018. Utilization of municipal solid waste compost in reclamation of saline-sodic soil irrigated with poor quality water. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 66 (1), 28-39.
- 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., Keskin, B., Şimşek, U., Yılmaz, İ.H., 2016. The effect of saline and non-saline soil conditions on yield and nutritional characteristics of some perennial legumes forages. *Journal of Agricultural Sciences*, 22 (4), 528-538.

- Temiz, C., Cayci, G., 2018. The effects of gypsum and mulch applications on reclamation parameters and physical properties of an alkali soil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (6), 347.
- Tomašić, M., Zgorelec, Ž., Jurišić, A., Kisic, I., 2013. Cation exchange capacity of dominant soil types in the republic of Croatia. *Journal of Central European Agriculture*, 14 (3), 937-951.
- Tunc, T., Sahin, U., 2015. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. *Agricultural Water Management*, 158, 213-224.
- Tunc, T., Sahin, U., 2016. Red cabbage yield, heavy metal content, water use and soil chemical characteristics under wastewater irrigation. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (7), 6264-6276.
- Tüzüner, A., 1990. Soil and water analysis laboratories handbook. Ministry of Agriculture, Forestry and Rural Affairs, General Directorate of Rural Services, Ankara.
- Von Sperling, M., Andreoli, C.V., 2007. Introduction to sludge management. *Biological Wastewater Treatment Series. Volume six Sludge Treatment and Disposal*. Cleverson Vitorio Andreoli, Marcos von Sperling, Fernando Fernandes. London. UK. 1-3.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z., Öktüren, F., 2005. Toprakta agregat oluşumu ve stabilitesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19 (36), 78-86.
- 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.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Sudan-Omdurman şehrinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Omdurman'da tamamladı. 2008 yılında girdiği Khartoum Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ziraat Mühendisliği Bölümünü 2013 yılında birincilikle bitirdi. 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Yabancı Diller Yüksekokulunda 1 yıl Türkçe hazırlık eğitimi aldı. 2016 yılında da Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

