



**STABİLİZE ARITMA ÇAMURLARININ
FARKLI TEKSTÜRLÜ TOPRAKLARA
FARKLI DOZLARDA UYGULANMASININ
SULAMA AÇISINDAN ÖNEMLİ TOPRAK
ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

Erdem BUCUĞA

**Yüksek Lisans Tezi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
Prof. Dr. Üstün ŞAHİN
2019
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**STABİLİZE ARITMA ÇAMURLARININ FARKLI TEKSTÜRLÜ
TOPRAKLARA FARKLI DOZLARDA UYGULANMASININ
SULAMA AÇISINDAN ÖNEMLİ TOPRAK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

Erdem BUCUĞA

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

**STABİLİZE ARITMA ÇAMURLARININ FARKLI TEKSTÜRLÜ TOPRAKLARA FARKLI
DOZLARDA UYGULANMASININ SULAMA AÇISINDAN ÖNEMLİ TOPRAK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

Prof. Dr. Üstün ŞAHİN danışmanlığında, Erdem BUCUĞA tarafından hazırlanan bu çalışma 12/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı – Tarımsal Yapılar ve Sulama Bilim Dalı’nda Yüksek lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Sedat KARAMAN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun 19/09/2019 tarih ve 37/42 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

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

STABİLİZE ARITMA ÇAMURLARININ FARKLI TEKSTÜRLÜ TOPRAKLARA FARKLI DOZLARDA UYGULANMASININ SULAMA AÇISINDAN ÖNEMLİ TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Erdem BUCUĞA

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Üstün ŞAHİN

Tarım topraklarının sürdürülebilir yönetiminde, pratik ve çevreci yaklaşımlarla toprakların organik madde içeriklerinin artırılması önemlidir. Bu kapsamda organik maddece zengin atık materyallerin tarım alanlarında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, Erzurum Biyolojik Arıtma Tesisi stabilize arıtma çamurlarının, farklı bünyeli (kumlu tın, tın, kil) bölge topraklarına farklı dozlarda (0, 30, 60, 90, 120 t/ha) uygulanmasının toprakların kimyasal, fiziksel ve hidrolik özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Tam şansa bağlı deneme desenine göre üç tekerrürlü yürütülen çalışmada; tüm toprak tiplerinde arıtma çamuru doz artışıyla EC, organik madde, porozite, ıslak agregat stabilitesi, tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem, yarayışlı su ve hidrolik iletkenlikte çok önemli seviyede ($p<0,01$) artışlar, pH, CaCO_3 ve kütle yoğunluğu değerlerinde de çok önemli seviyede azalışlar ($p<0,01$) belirlenmiştir. En yüksek ve düşük değerlerin elde edildiği 120 t/ha uygulamasında kontrol (0 t/ha) uygulamasına göre artışlar sırasıyla kumlu tın bünyeli toprakta %8,5, %43,6, %6,1, %55,6, %28,7, %20,7, %36,3, %178, tın bünyeli toprakta %17,0, %40,5, %4,6, %83,2, %20,3, %18,2, %21,3, %702 ve kil bünyeli toprakta %19,9, %34,9, %3,9, %126,8, %10,6, %6,9, %13,9, %392 olarak gerçekleşmiş olup azalışlarda sırasıyla kumlu tın bünyeli toprakta %21,4, %9,2, %6,4, tın bünyeli toprakta %18,9, %9,0, %6,4 ve kil bünyeli toprakta %12,8, %12,6, %7,2 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak kaba, orta ve ince bünyeli topraklara stabilize artıma çamurunun yüksek dozda (120 t/ha) karıştırılmasının agregasyonu, poroziteyi, su tutma kapasitesini ve su geçirgenliğini artırarak tarım topraklarının sürdürülebilir yönetimine katkı sağlayacağı söylenebilir.

2019, 40 sayfa

Anahtar Kelimeler: Arıtma çamuru, toprak tekstürü, organik madde, porozite, su tutma, hidrolik iletkenlik

ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECT OF APPLYING DIFFERENT DOSES OF STABILIZED SEWAGE SLUDGE ON DIFFERENT TEXTURE SOILS ON IMPORTANT SOIL PROPERTIES IN TERMS OF IRRIGATION

Erdem BUCUĞA

Ataturk University

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

Advisor: Prof.Dr. Üstün ŞAHİN

It is important to increase the organic matter content of soil with practical and environmentalist approaches in the sustainable management of agricultural soils. In this context, the use of waste materials rich in organic matter in agricultural areas is becoming increasingly widespread. The effect of applying different doses (0, 30, 60, 90, 120 t/ha) of stabilized sewage sludge from Erzurum Biological Treatment Plant on the chemical, physical and hydraulic properties of soils with different textures (sandy loam, loam, clay) have been examined in this study.

The study which was carried out according to the randomized design with three replications showed that EC, organic matter, porosity, wet aggregate stability, the moisture amount retained at field capacity and wilting point, available water and hydraulic conductivity were significantly increased ($p<0.01$) while pH, CaCO_3 and bulk density values were significantly reduced ($p<0.01$) with increased doses of sewage sludge in all soil types. In the 120 t/ha application, where the highest and the lowest values were obtained, the increases compared to the control (0 t/ha) application were determined as 8,5%, 43,6%, 6,1%, 55,6%, 28,7%, 20,7%, 36,3%, 178% in sandy loam textured soil, 17,0%, 40,5%, 4,6%, 83,2%, 20,3%, 18,2%, 21,3%, 702% in loam soil and 19,9%, 34,9%, 3,9%, 126,8%, 10,6%, 6,9%, 13,9%, 392% in clay soil while the decreases were 21,4%, 9,2%, 6,4% in sandy loam textured soil, 18,9%, 9,0%, 6,4% in loam soil and 12,8%, 12,6% and 7,2% in clay soil, respectively. In conclusion, it could be said that supplementing coarse, medium and finely textured soils with high doses (120 t/ha) of stabilized sewage sludge will contribute to sustainable management of agricultural soils by increasing aggregation, porosity, water retention capacity and water permeability.

2019, 40 page

Key Words: Sewage sludge, soil texture, organic matter, porosity, water retention, hydraulic conductivity

TEŞEKKÜR

Tez konusu başlangıcından bitimine kadar olan süreçte her konuda desteğini esirgemeyen aydınlatıcı ve yol gösterici fikirlerinden yararlandığım danışman hocam Prof. Dr. Üstün ŞAHİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamla ilgili hiç bir desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mustafa Y. CANBOLAT'a ve Araştırma Görevlisi Fazıl HACİMÜFTÜOĞLU'na ve analizlerle ilgili desteğinden dolayı Teknisyen Cihan VURAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada kullanılan materyal temininde ve biyolojik arıtma tesisi hakkında yardımlarından dolayı Erzurum Büyükşehir Belediyesi, ESKİ Genel Müdürlüğü, Atıksu Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı, Atıksu Arıtma Tesisler Şube müdürü Selim AYDIN'a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL ve METOD	8
3.1. Deneme Konuları ve Deseni.....	8
3.2. Deneme Topraklarının Özellikleri ve Toprakların Alındığı Bölge İklimi	9
3.3. Deneme Süreci ve Uygulamalar	10
3.4. Topraklarda Kimyasal, Fiziksel ve Hidrolik Ölçüm ve Analizler.....	11
3.5. İstatistiksel Analizler	13
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	14
4.1 Toprakların Kimyasal Özellikleri.....	14
4.2 Toprakların Fiziksel Özellikleri	18
4.3 Toprakların Hidrolik Özellikleri.....	22
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	27
KAYNAKLAR	30
EKLER	35
EK 1. Erzurum Biyolojik Arıtma Tesisi stabilize arıtma çamuru analiz sonucu	35
EK 2. Kumlu tın bünyeli toprakta ölçülen parametreler için varyans analiz sonuçları ..	38
EK 3. Tın bünyeli toprakta ölçülen parametreler için varyans analiz sonuçları	39
EK 4. Kil bünyeli toprakta ölçülen parametreler için varyans analiz sonuçları.....	40
ÖZGEÇMİŞ	41

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Toprak örneği yüzey alanı
EC	: Elektriksel iletkenlik
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
h	: Su yükü
ha	: Hektar
Hİ	: Hidrolik iletkenlik
L	: Toprak örneği boyu
t	: Ton
Δt	: Başlama ve bitiş arasında geçen süre
V	: Örnekten geçen suyun hacmi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Denemeden bir görüntü.....	8
Şekil 3.2. Erzurum Biyolojik atık su arıtma tesisi	9
Şekil 3.3. Toprakların denemeye hazırlanması ve inkübasyon süreci	11
Şekil 3.4. Agregat stabilitesinin belirlenmesi	12
Şekil 3.5. Basınçlı membran aletinde tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nemin belirlenmesi	12
Şekil 3.6. ICW laboratuvar permeametreyle hidrolik iletkenlik ölçümleri	13
Şekil 4.1. pH değerinin uygulama dozlarıyla değişimi	15
Şekil 4.2. EC değerinin uygulama dozlarıyla değişimi	16
Şekil 4.3. Organik madde içeriğinin uygulama dozlarıyla değişimi	17
Şekil 4.4. CaCO_3 içeriğinin uygulama dozlarıyla değişimi	18
Şekil 4.5. Kütle yoğunluğunun uygulama dozlarıyla değişimi	19
Şekil 4.6. Tane Yoğunluğu'nun uygulama dozlarıyla değişimi	20
Şekil 4.7. Porozitenin uygulama dozlarıyla değişimi	21
Şekil 4.8. Agregat stabilitesinin uygulama dozlarıyla değişimi	22
Şekil 4.9. Tarla kapasitesinde tutulan suyun uygulama dozlarıyla değişimi	23
Şekil 4.10. Solma noktasında tutulan suyun uygulama dozlarıyla değişimi	24
Şekil 4.11. Yarıyışlı suyun uygulama dozlarıyla değişimi	25
Şekil 4.12. Hidrolik iletkenliğin uygulama dozlarıyla değişimi	26

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Uygulama öncesi deneme topraklarının özellikleri	10
---	----



1.GİRİŞ

Gelişmişlik düzeyinin artışına bağlı olarak ülkeler atık materyallerin geri dönüşümü sağlayacak projeleri hayata geçirmekte ve aynı zamanda bunun önemini de küresel olarak vurgulamaktadırlar. Çevre ve doğayı korumanın en önemli unsurlarından biri olan toprağın korunması, nüfusu hızla artan dünyanın artan gıda talebinin karşılanması açısından son derecede önemlidir. Bu nedenle sürdürülebilir toprak verimliliğini sağlayacak önlemlerin alınması gerekmektedir.

Yapılan araştırmalar su ve toprak kaynaklarının gelecekte yeterli olmayacağını ve bunların korunması gereken doğal kaynaklar olduğunu göstermektedir. İşlenebilir tarım arazileri dünyada 3,19 milyar ha olmakla birlikte, her geçen yıl bu oran ülkelerin gelişmişlik düzeyleri fark etmeksizin bütün ülkelerde azalmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) tespitine göre kişi başına düşen tarım arazisi miktarı 0,23 ha olup bu miktarın 2050 yılında 0,15 ha'a düşeceği ifade edilmektedir (FAO 2000).

Yeryüzünde her yıl 24 milyar ton verimli üst toprağın erozyonla kaybolduğu tespit edilmiştir. Yirmi yıllık bir periyot göz önüne alındığında erozyonun etkisi Amerika'daki ekili alanların tümünü kaplayacak kadardır (Anonim 2003). Verimli tarım topraklarının kaybedilmesinde, drenaj ve tuzluluk problemleri ile tarım arazilerinin yanlış kullanımı da önemli bir yer tutmaktadır (Cebel 2011). Tarım topraklarının artırılmayacağı gerçeği göz önüne alındığında, mevcut toprakların korunması yollarının aranması kapsamında toprakların sürdürülebilir yönetimini sağlayacak uygulamaların gerçekleştirilmesi ve yaygınlaştırılması önemli olacaktır.

Toprağa yapılacak her uygulama, toprağı tanımayı ve bilinçli müdahaleyi gerektirmektedir. Toprağa herhangi bir uygulama öncesi toprağın ana fiziksel özelliklerinden öncelikle tekstürünün bilinmesi gerekmektedir. Toprak tekstürü, toprağın en az değişime uğrayan ve toprak özelliklerini birinci derecede etkileyen en önemli özelliğidir. Tekstür toprağı oluşturan partiküllerin büyüklük dağılımını ifade etmektedir. Kumlu topraklar daha iri partikül büyüklüğü nedeniyle dokunulduğunda kaba bir his verirken, killi topraklar daha küçük partikül büyüklüğü nedeniyle yapışkan his

vermektedir. Tınlı topraklar ise ikisi arasında partikül büyüklüğü ile ideal yapıya sahiptir (Erşahin ve Kavdır 2015). Türkiye topraklarının tekstür dağılımına bakıldığında %47,9'unu tınlı, %44,3'ünü killi tınlı, %2,6'sını kumlu ve %5,1'ini killi topraklar oluşturmaktadır. Ağır bünyeli toprakların oranı ise yaklaşık %0,1'dir (Dengiz 2015).

Toprakta suyun tutulması ve hareketi, havalanma durumu, termal özellikleri, kıvam limitleri, agregat gelişimi, erozyon direnci, işlenebilirlik ve bitki besin elementi elverişliliği toprak tekstürünün ve yapısının bir sonucudur (Brady and Weil 2008). Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin geliştirilmesinde toprakta ki organik madde içeriği çok önemli role sahiptir. Türkiye topraklarının % 64'ünde organik madde içeriği az, %22'sinde orta düzeydedir. Yeterli organik madde içeren toprakların oranı ise ancak %14'dür (Doğan 2011). Türkiye topraklarının organik madde içeriği düşük olduğundan, organik madde içeren materyallerin toprağa uygulanması önemli yararlar sağlayabilir. Bu kapsamda bitki besin elementlerinden olan özellikle azot ve fosforun da toprağa kazandırılması önemlidir (Soyergin 2003).

Evsel ve kentsel atık suların arıtıldığı tesislerin atık materyali olan arıtma çamurları yüksek organik madde içerdiğinden, toprak organik madde miktarının artırılması amacıyla kullanılabilecek önemli bir atık kaynaktır. Aynı zamanda arıtma çamurlarının organik madde kaynağı olarak topraklara uygulanmasıyla, bu materyalin doğada serbest bırakıldığı koşulda oluşturacağı çevre kirliliği riski de azalmış olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, Erzurum ili kentsel stabilize arıtma çamurlarının bölgedeki kaba, orta ve ince bünyeli topraklara farklı dozlarda karıştırılarak, toprakların kimyasal, fiziksel ve hidrolik özelliklerindeki değişimleri belirlemek böylece sürdürülebilir toprak yönetimi sağlayacak uygun doz veya dozları belirlemektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Atık su arıtma tesislerinin atık materyali olan arıtma çamurlarının topraklarda kullanımı, arıtma çamurlarının pratikte yok edilmesinin en önemli yollarından birisidir (Angın 2008). Ancak arıtma çamurlarının toprakta kullanılması, Ulusal ve Uluslararası birçok yönetmelikte tanımlanmıştır. Türkiye’de 30 ağustos 2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’nde stabilize edilmemiş çamurların kullanımının yasak olduğu, stabilize arıtma çamurlarında, toprağa temas eden ve çiğ olarak tüketilen sebze ve meyvelerin dışında kalan üretim alanlarında kullanılabileceği belirtilmektedir. Ayrıca organik madde içeriği %40 dan az olan stabilize arıtma çamurunun da toprağa uygulanması yasaklanmıştır (Anonim 2010). Uluslararası düzeyde ise Çevre Koruma Ajansı (USEPA) Yönetmeliği ile Avrupa Birliği Ülkeleri tarafından hazırlanmış olan yönetmelik esas alınmaktadır. USEPA yönetmeliğinde göre arıtma çamurları “A Sınıfı (doğrudan temas için güvenli)” ve “B Sınıfı (arazide ve bitkisel üretimde kısıtlı kullanım)” olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır (EPA 1994; Epstein 2003). Avrupa Birliği yönetmeliğinde ise Yüksek Standart ve Geleneksel Standart şeklinde iki grup altında sınıflandırılma yapılmıştır (Anonim 2000).

Türkiye İstatistik Kurumu’nun 2016 yılı verilerine göre günlük olarak yaklaşık 4000 ton evsel kaynaklı çamurun üretildiği ve bunun da yıllık yaklaşık 1,3 milyon tona karşılık geldiği tahmin edilmektedir (Dan Badaou 2019).

Atık sularının arıtıldığı tesislerde çökelmiş, akışkan, yarı katı formda, kokuya sahip ve uygulanan arıtma prosesine bağlı olarak ağırlıkça %0,25 ile %12 oranında katı madde içeren atıklar “ham arıtma çamuru” olarak adlandırılmaktadır (Bilgin vd 2002). Ham çamurlar stabilize edildikten sonra kullanıma uygun hale gelmekte ve bu son haline stabilize arıtma çamuru adı verilmektedir. Stabilizasyonun yapılma amaçları koku oluşumunu engellemek, patojen giderimini sağlamak ve potansiyel bozulmanın önüne geçmektir. Ham arıtma çamurunun stabilizasyon işleminde kireçleme, ısıtma işlemi, aneorobik çürüme, aerobik stabilizasyon ve kompostlama yöntemleri kullanılmaktadır (Anonim 1996; Bilgin vd 2002).

Stabilize arıtma çamurunun gelişmiş ülkelerde tarımda kullanım oranı oldukça yüksektir. Amerika arıtma çamurunun % 33'nü kullanmakta, bununda % 67'sini doğrudan tarım alanlarına uygulanmaktadır. Avrupa'da ise arıtma çamurunun % 36'sı tarım alanlarında kullanılmaktadır (İşgenç ve Kınay 2005). Arıtma çamurları ya depolanmakta ya da yakma, denize boşaltma ve tarım arazilerinde kullanma şeklinde bertaraf edilebilmektedir (Türkmen ve Arcak 2006)

Arıtma çamurları önemli bir organik madde kaynağıdır. Arıtma çamurunun içerdiği organik birleşikler, bitki gelişimi için makro ve mikro düzeyde besin elementlerini sağlamaktadır. Azot ve fosfor, arıtma çamurlarında bulunan en önemli besin elementleridir (Uzun ve Bilgili 2011). Arıtma çamurlarının, ağır metal olmayan mikro besin elementleriyle fizyolojik olarak bitki büyümesine yarar sağladığı da bilinmektedir (Arslan ve Atakol 2005). Ancak artan dozlarda toksik etki görülme olasılığı yüksektir. Bu nedenle arıtma çamurlarının toksik iyon ve ağır metal içerikleri önemli risk faktörleri olarak göz önüne alınmalıdır (Bilgin vd 2002; Da Silva *et al.* 2007; Muyen and Wrigley 2016). Domateste yapılan bir çalışmada, toprağa artan miktarlarda arıtma çamuru uygulamasının yüksek dozlarda toksik etkiye ve ağır metal birikimlerine neden olduğu görülmüştür (Topçuoğlu vd 2003).

Arıtma çamuru gibi organik madde içeriği yüksek materyallerin toprağa uygulanması, kil bünyeli topraklarda geçirgenliği artırırken, kumlu topraklarda su tutma kapasitesini iyileştirmekte ve besin elementlerinin daha fazla tutulmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca arıtma çamurları toprak mikroorganizma sayısını ve aktivitesini artırarak, toprak pozitif üretkenliğine etki yapabilmektedir (Bilgin vd 2002).

Arıtma çamurlarının toprağa uygulandığı koşullarda kimyasal, fiziksel, biyolojik ve hidrolik özelliklerindeki değişimlerle ilgili çok sayıda çalışma yürütülmüştür. Ancak farklı tekstürlü topraklar için kimyasal, fiziksel ve hidrolik özelliklerin kapsamlı şekilde birlikte değerlendirildiği çalışmalar sınırlıdır.

Yapılan bir çalışmada birinde yapısı bozulmuş bir toprağa yeşil gübre ve arıtma çamurunun ayrı ayrı ve birlikte uygulanmasının, organik madde içeriğini artırdığı, ancak ıslak agregat stabilitesini değiştirmediği tespit edilmiştir (Holz *et al.* 2000).

Yarı kurak bir bölgede killi ve tınlı topraklarda yapılan diğer bir çalışmada şehir atıkları, arıtma çamuru ve organik gübreden oluşan karışımın 0, 75, 150, ve 350 m³/ha'lık dozlarının toprak kimyasal özelliklerini doğrudan etkilediği, hidrolik iletkenlik, su tutma kapasitesi, tane yoğunluğu, gözenek dağılımı, agregasyon ve poroziteyi iyileştirdiği belirlenmiş, katkının tın bünyeli toprakta daha fazla olduğu ifade edilmiştir (Aggelides and Londra 2000).

Yürütölen bir çalışmada (2002-2005) arıtma çamurunun buğday, lahana, domates verimi ve toprak özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Arıtma çamuru ilavesinin toprak organik madde, fosfor, N ve P içeriğine olumlu katkılar sağladiğı belirlenmiştir. Toprak tuzluluğunun sürekli ölçölererek ve drenajın iyileştirilerek arıtma çamurunun kullanımı önerilebilir bulunmuştur (Özyazıcı ve Özyazıcı 2012).

Tsadilas *et al.* (2002) genel olarak, arıtma çamuru uygulamasının toprağın su tutma kapasitesini artırdiğını, kütle yoğunluğunu azaltarak toplam poroziteyi de artırdiğını, organik madde içeriğinde de artış sağlayarak suya dayanıklı agregaların sayısını ve boyutunu ve sonuğta hidrolik iletkenliği arttırdiğını, ancak toksik madde, ağır metal kirliliği ve yeraltı suyunda nitrat kirliliği oluşturma gibi çevre kirliliğe neden olan bir dizi risklerinin de olduğunu farklı çalışmaların sonuğlarını analiz ederek ifade etmişlerdir.

Bahremand *et al.* (2003) arıtma çamuru uygulamasının toprakta hidrolik iletkenlik, kararlı infiltrasyon hızı, tarla kapasitesi, solma noktası, yarayışlı su miktarını önemli ölçöde artırırken, kütle yoğunluğunu önemli ölçöde azalttığını ve genel olarak en iyi sonuğların 100 t/ha dozunda elde edildiğini belirtmişlerdir.

Zaeri *et al.* (2005)' da arıtma çamuru uygulamasıyla özellikle ikinci yılda infiltrasyon hızı ve hidrolik iletkenlikte önemli artışlar, kütle yoğunluğunda da önemli azalışlar tespit etmişlerdir.

Angın ve Yağanoğlu (2009) tuzlu-sodyumlu killi tın bünyeli bir toprağa arıtma çamuru karıştırılmasıyla kütle ve tane yoğunluklarında önemli azalışlar, porozite ve ıslak agregat stabilitesi ile tarla kapasitesi, solma noktası ve hidrolik iletkenlikte önemli artışlar belirlemiş ve genel olarak bütün fiziksel ve kimyasal parametreler açısından en fazla etkinin en fazla uygulama dozu olan 120 t/ha uygulamasından elde edildiğini ifade etmişlerdir.

Delibacak vd (2009) kumlu tın toprağa arıtma çamuru uygulamasının toplam tuz, organik madde, toplam gözeneklilik, mikro gözeneklilik, makro gözeneklilik, tarla kapasitesi, solma noktası, yarıyışlı su ve agregasyon değerlerini kontrol konusuna göre önemli ölçüde artırdığını, tane ve kütle yoğunluğunu da azalttığını, pH ve kireç içeriğini ise değiştirmedini belirlemişler ve 90 t/ha dozunu uygulanabilir doz olarak önermişlerdir.

Annabi *et al.* (2011) siltli tın toprağa arıtma çamuru ve yeşil atık veya biyoatık kompostu gibi olgun kompostların eklenmesinin partiküller arası kohezyonu artırarak agregat stabilitesini geliştirdiğini belirtmişlerdir.

Candemir and Gülser (2011) farklı tarımsal organik atık ilavelerinin kil ve tınlı kum bünyeli toprakların tarla kapasitesini, agregat stabilitesini ve organik madde içeriklerini artırarak ve kütle yoğunluğunu da düşürerek toprak kalitelerini iyileştirdiklerini bildirmişlerdir.

Salazar *et al.* (2012) infiltrasyon hızı, toplam infiltrasyon ve su tutma kapasitesinin artan biyokatı uygulamasıyla iyileştiğini belirlemişler, uygulanan biyokatı dozu ile incelenen toprak özelliklerinde oluşan değişimler arasında güçlü ilişkiler olduğunu ifade etmişlerdir.

Delibacak ve Ongun (2016), arıtma çamuru dozlarının artırılmasının kumlu tın toprağının toplam N, yararlanılabilir P ve K içeriği, pH, toplam tuz ve organik madde içeriğini kontrol ile karşılaştırıldığında önemli ölçüde artırdığını belirlemişler, CaCO_3 içeriği ve kation değişim kapasitesi değerlerinin ise değiştirmedini ifade etmişlerdir.

Tziachris *et al.* (2017) kireçle stabilize edilmiş arıtma çamuru uygulanmasının denemelerin yürütüldüğü oadaki tüm toprakların elektriksel iletkenliğini, Mg ve CaCO₃ içeriklerini, asit karakterli toprakların da pH'sını ve Ca içeriğini önemli lde artırdığını, ancak organik madde içeriğini değiştirmediğini tespit etmişlerdir.



3. MATERYAL ve METOD

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi bünyesindeki Tarımsal Yapılar ve Sulama bölümüne ait sulama-drenaj laboratuvarında yürütülmüştür (Şekil 3.1). Deneme sürecinde laboratuvar ortamında sıcaklık 23 ± 2 °C ve ortalama bağıl nemi $< \%45$ olmuştur.



Şekil 3.1. Denemeden bir görüntü

3.1. Deneme Konuları ve Deseni

Beş farklı stabilize arıtma çamuru dozu kullanılarak denemeler 3 farklı toprak bünyesi için (kumlu tın, tın, kil) ayrı ayrı olmak üzere tam şansa bağlı deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Stabilize arıtma çamuru dozları 0, 30, 60, 90 ve 120 t/ha olarak Sahin *et al.* (2008), Ors *et al.* (2015) ve Dan Badaou (2019)'daki uygulamalar göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Stabilize arıtma çamuru Erzurum Büyükşehir Belediyesi, ESKİ Genel Müdürlüğü, Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı bünyesinde bulunan Aziziye ilçesindeki Biyolojik

Arıtma Tesisinden temin edilmiştir. Tesis 130 000 m³/gün kapasiteye sahip olup mevcut durumda 425 000 merkez nüfuslu Erzurum kentsel atık suyunu arıtmaktadır. Tesis karbon ve azot giderimine dayalı bir aktif çamur prosesi göz önüne alınarak boyutlandırılmıştır (Şekil 3.2) (Anonim 2016).



Şekil 3.2. Erzurum Biyolojik atık su arıtma tesisi

İlde az sayıda et ve süt ürünleri sanayisi dışında herhangi bir sanayi tesisi bulunmadığından, arıtma çamurunun ana kaynağını evsel atıklar oluşturmaktadır. Arıtma Tesis Daire Başkanlığının çamur kalite analiz sonuçları ve materyal olarak kullanıldığı bir başka çalışmanın sonuçlarından arıtma çamurunun ağır metal kirlilik riski olmadığı görülmüştür (EK 1, Abdallh 2018). Yürütülen bu denemede kullanılan arıtma çamurunun pH ve EC değerleri ile organik madde ve CaCO₃ içerikleri sırasıyla 7,89, 8,97 dS/m, % 44 ve %1,47'dir (Abdallh 2018).

3.2. Deneme Topraklarının Özellikleri ve Toprakların Alındığı Bölge İklimi

Araştırmada kullanılan kaba bünyeli toprak, Erzurum ili Çat yolu mevki (Enlem:39,888236°, Boylam:41,221662°) civarından, orta bünyeli toprak Atatürk Üniversitesi çiftlik arazisinden (Enlem:39,937814°, Boylam:41,225076°), ince bünyeli toprak Erzurum ili çevre yolu Erzincan-Rize yol ayrımından (Enlem:39,988493°, Boylam:40,966391°) 15 cm'lik yüzey tabakadan alınmıştır.

Deneme topraklarının alındığı Erzurum iline ait uzun yıllar (1929-2018) ortalama hava sıcaklığı 5,7 °C, en sıcak ay Ağustos ayı (19,5 °C) ve en soğuk ay ise Ocak ayı (- 9,2 °C)'dır (Anonim 2019). Türkiye ortalaması altında yağış alan ilde toplam yağış miktarı 432 mm'dir. İlde yıllık buharlaşma miktarı ise 1059 mm'dir (Kiziloglu vd 2008). Yapılan analizler sonucu deneme topraklarının genel bazı özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Uygulama öncesi deneme topraklarının özellikleri

Fraksiyon,%			Bünye	pH	EC	Organik	CaCO ₃
Kil	Silt	Kum	Sınıfı		dS/m	madde, %	%
3,5	29,8	66,7	Kumlu tın	7,17	0,234	1,92	2,24
12	37,5	50,5	Tın	7,52	0,211	1,54	2,11
46,3	31,6	22,1	Kil	7,61	0,216	1,66	2,59

3.3. Deneme Süreci ve Uygulamalar

Araziden bozulmuş olarak alınan toprak örnekleri laboratuvar ortamında havada kurutulduktan sonra 1 cm'lik elekten elenmiş, belirlenen dozlarda (0, 30, 60, 90 ve 120 t/ha) hava kurusu stabilize arıtma çamuru ile homojen şekilde karıştırıldıktan sonra kare şeklinde plastik kaplara 15 cm derinliğinde (30×30×15 cm) yerleştirilmiştir (Şekil 3.3). Deneme kaplarının altı drenajı kolaylaştırmak için delinmiş ve tabanına kâğıt filtre yerleştirildikten sonra 10 cm yükseklikten 20 kez düşürülerek homojen bir sıkıştırma uygulanmıştır. Kaplar yaklaşık tarla kapasitesinde nem içerecek şekilde alttan kapilerite ile leğenler içerisinde ıslatılmış, daha sonra kap yüzeyleri streç filmle kaplanıp ışık geçirmez şekilde de örtülerek 75 gün süreyle inkübasyonda bekletilmiştir (Şekil 3.3). İnkübasyon sonrası kaplardan bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınarak ölçümler ve analizlere geçilmiştir.



Şekil 3.3. Toprakların denemeye hazırlanması ve inkübasyon süreci

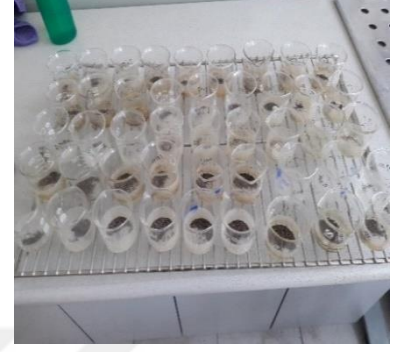
3.4. Topraklarda Kimyasal, Fiziksel ve Hidrolik Ölçüm ve Analizler

İnkübasyon sonrası alınan toprak örneklerinde kimyasal analizler kapsamında; pH, EC, organik madde ve CaCO_3 içeriği, fiziksel özellikler kapsamında; kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite ve ıslak agregat stabilitesi, hidrolik özellikler kapsamında; tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları ile yarıyışlı su miktarı ve hidrolik iletkenlik değerleri yapılan analiz ve ölçümlerle belirlenmiştir.

Toprak fraksiyon dağılımını belirlemede Bouyoucos hidrometre yöntemi kullanılmıştır (Gee and Bauder 1986). Toprak pH ve EC değerleri hazırlanan saturasyon ekstraktlarında sırasıyla pH-metre ve EC-metre okumalarıyla ile belirlenmiştir (Tüzüner 1990). Organik madde içeriği Smith-Weldon yöntemiyle (Nelson and Sommers 1982), CaCO_3 içeriği Scheibler kalsimetresinde volümetrik yöntemle belirlenmiştir (Nelson 1982).

Tane yoğunluğunun belirlenmesinde piknometre yöntemi kullanılmıştır (Blake and Hartge 1986a). Toprakların kütle yoğunlukları 100 cm^3 lük silindirlerle (Blake and Hartge 1986b) ve toplam porozite ise kütle ve tane yoğunluğu kullanılarak hesaplamayla belirlenmiştir (Danielson and Sutherland 1986). Agregat stabilitesi değerleri de, ıslak

eleme yöntemiyle 12,7 mm darbe uzunluğu ve 42 devir/dakika darbe frekansı kullanarak ‘Yoder’ tipi ıslak eleme aletiyle belirlenmiştir (Şekil 3.4) (Kemper and Rosenau 1986).



Şekil 3.4. Agregat stabilitesinin belirlenmesi

Tarla kapasitesinde tutulan nemin belirlenmesinde bozulmamış toprak örneklerine 1/3 atm, solma noktasında tutulan nemin belirlenmesinde ise bozulmuş toprak örneklerine 15 atm basınçlı hava uygulanarak basınçlı membran aletinden yararlanılmıştır (Şekil 3.5) (Klute 1986). Yarayışlı su miktarı, toprakların tarla kapasitesi değerlerinden solma noktası değerlerinin çıkartılmasıyla hesaplanmıştır (Cassel and Nielsen 1986).



Şekil 3.5. Basınçlı membran aletinde tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nemin belirlenmesi

Hidrolik iletkenlik için bozulmamış örnekler kullanılmış, örnekler laboratuvarda sabit seviyeli ICW permeametrosine yerleştirilerek 2 saatlik okumalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.6). Hidrolik iletkenlik değerleri aşağıdaki eşitlik kullanarak hesaplanmıştır (Hanay vd 1996).

$$H_i = \frac{V \times L}{\Delta t \times h \times A}$$

H_i = Hidrolik iletkenlik, cm/h

V = Örnekden geçen suyun hacmi, cm^3

L = Toprak örneğinin boyu, cm

Δt = Başlama ve bitiş arasında geçen süre, h

h = Su yükü, cm

A = Toprak örneğinin yüzey alanı, cm^2



Şekil 3.6. ICW laboratuvar permeametrosiyle hidrolik iletkenlik ölçümleri

3.5. İstatistiksel Analizler

Denemelerde ölçülen ve hesaplanan değerler varyans analizine (ANOVA) tabi tutulmuş (SPSS 2011), önemli ortalamalar Duncan çoklu karşılaştırma testiyle ile karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

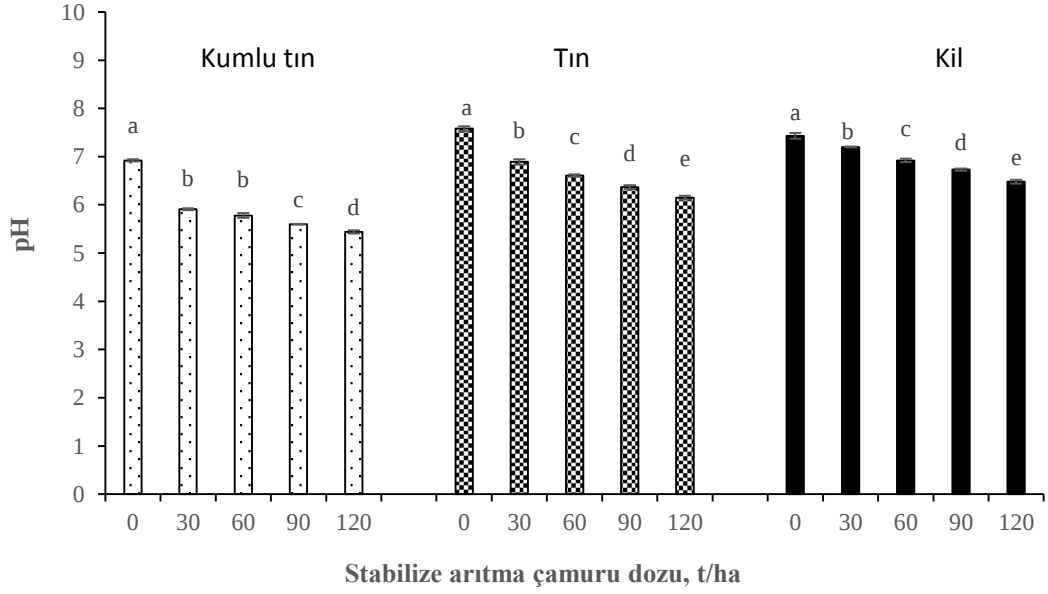
Farklı tekstürdeki toprakların kimyasal, fiziksel ve hidrolik özellikleri üzerine farklı dozlarda stabilize arıtma çamurlarının etkilerine ait varyans analiz sonuçları kumlu tın, tın ve kil bünyeli topraklar için sırasıyla EK2, EK3 ve EK4’de verilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre sadece tınlı ve killi toprakta tane yoğunluğu dışında ölçülen tüm parametreler üzerine, arıtma çamuru doz artışının çok önemli etkisi olmuştur ($p<0,01$).

4.1 Toprakların Kimyasal Özellikleri

Her üç toprak tipinde de stabilize arıtma çamurunun doz artışıyla, pH’da çok önemli ($p<0,01$) azalmalar gözlenmiştir (Şekil 4.1). Kontrol (0 t/ha) konusuna göre 30, 60, 90 ve 120 t/ha uygulama dozlarında pH’da azalış oranları, kumlu tın bünyeli toprakta sırasıyla %14,6, %16,5, % 19,0 ve %21,4, tın bünyeli toprakta %9,1, %12,8, %16 ve %18,9 ve kil bünyeli toprakta %3,1, %6,9, %9,4 ve %12,8 olmuştur. Sonuçlar kumlu toprakta azalış oranının killi toprağa göre daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu durum killi toprağın pH değerini daha fazla tamponlama etkisiyle açıklanabilir. Topraklarda katyon değişim kapasitesinde artış tamponluk kapasitesini artırmaktadır ve bunda da toprağın kil içeriği önemli unsurlardan biridir (Sezen 1995). Arıtma çamuru ilavesiyle pH’daki azalışın, arıtma çamurundan toprağa organik madde kazandırmasıyla ilişkilendirilebilir (Şekil 4.3). Karaca *et al.* (2018) ve Don badaou (2019), pH ve organik madde ilişkisinin negatif değişim gösterdiğini ifade etmişlerdir. Angin and Yaganoglu (2011) ve Mazen *et al.* (2010), organik madde artışıyla pH’da azalış olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sonucun organik madde minaralizasyonu ile ortaya çıkan asitlerden kaynaklandığı ifade edilebilir (Kiziloglu *et al.* 2008; Hussein 2009; Singh and Agrawal 2008, 2012; Özyazıcı *et al.* 2012).

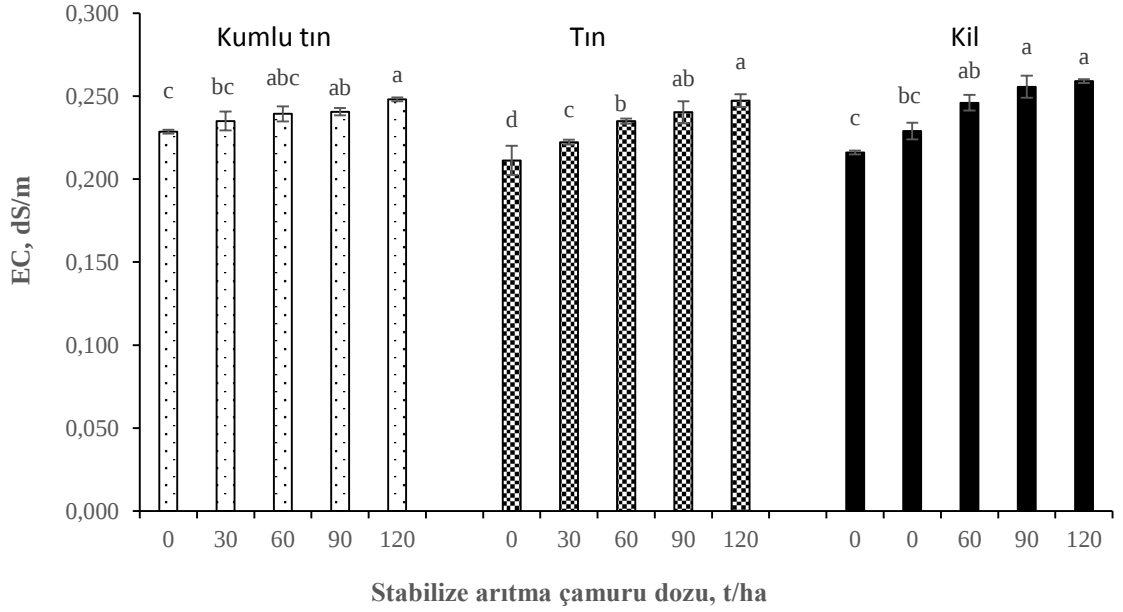
Organik asitlerin oluşması, CaCO_3 çözünürlüğünü de artırarak pH değerini düşürebilmektedir (Singh and Agrawal 2008). Şekil 4.4.’deki sonuçlar da CaCO_3 ’ün arıtma çamurunun doz artışıyla azaldığını göstermekte, dolayısıyla bu değişimde pH’daki azalışı desteklemektedir. Leogrande and Vitti (2019) ve Mazen *et al.* (2010)’da artan

organik asitlerin bir sonucu olarak CaCO_3 içeriğinde azalmalar olabileceğini ifade etmişlerdir.



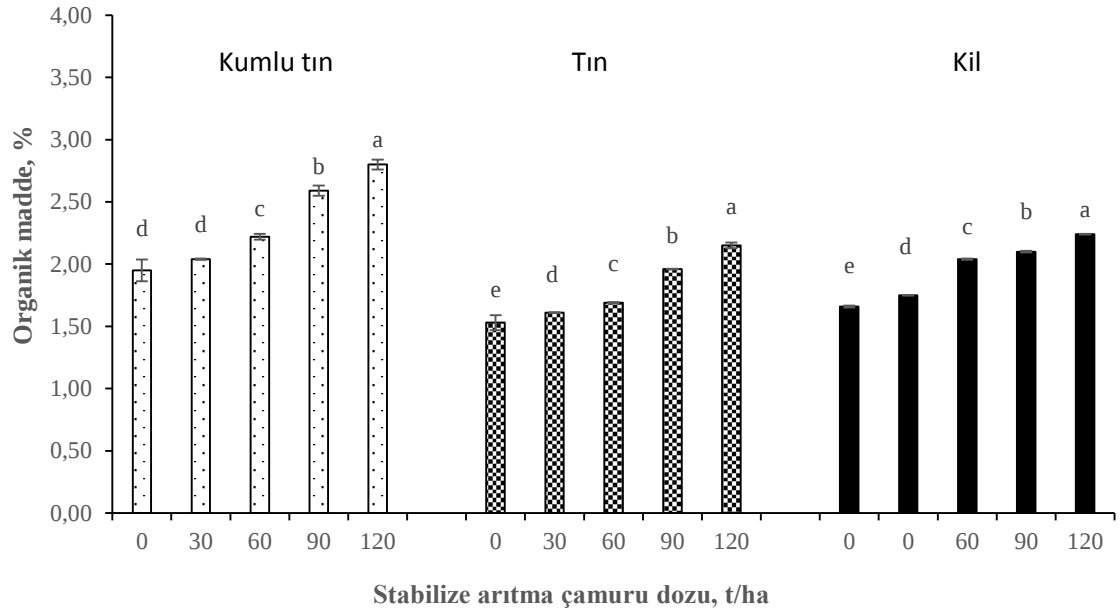
Şekil 4.1. pH değerinin uygulama dozlarıyla değişimi ($p < 0,01$)

Üç toprak tipinde stabilize arıtma çamurunun doz artışıyla EC’de artışlar belirlenmiştir (Şekil 4.2). Kontrol (0 t/ha) konusuna göre 30, 60, 90 ve 120 t/ha uygulama dozlarında EC’deki artış oranları, kumlu tın toprakta sırasıyla %2,8, %4,7, %5,2 ve %8,5, tın bünyeli toprakta %5,2, %11,2, %13,7 ve %17 ve kil bünyeli toprakta %6, %13,9, %18,3 ve %19,9 olmuştur. Kumlu tın toprağa göre tın ve kil bünyeli topraklarda daha fazla artış oranı elde edilmesi, toprakların başlangıç düşük EC değeriyle ilişkilendirilebilir (Çizelge 3.1). Doz artışıyla EC’deki artışlar, arıtma çamurunun yüksek EC (8,97 dS/m) içeriğinden kaynaklandığı ifade edilebilir. Birçok araştırmacı da arıtma çamuru doz artışıyla EC’de artışlar gözlemişlerdir (Hussein 2009; Domene *et al.* 2010; Angin and Yaganoglu 2011; Ferreira *et al.* 2011).



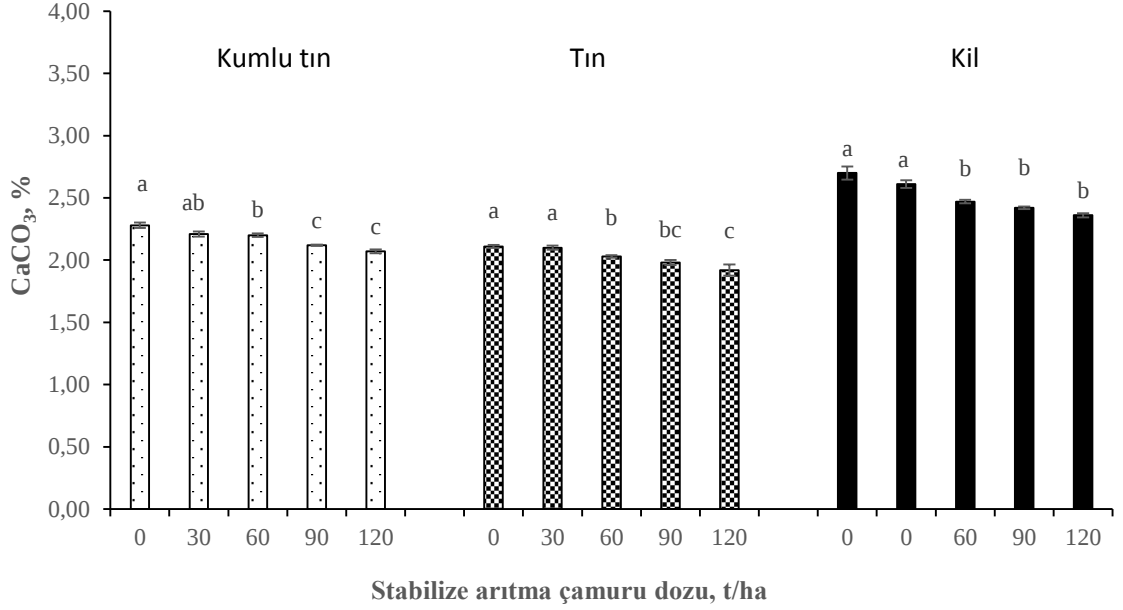
Şekil 4.2. EC değerinin uygulama dozlarıyla değişimi ($p < 0,01$)

Deneme topraklarında stabilize arıtma çamuru doz artışıyla organik madde içeriğinde çok önemli ($p < 0,01$) artışlar olmuştur (Şekil 4.3). Kontrol (0 t/ha) konusuyla kıyaslandığında 30, 60, 90 ve 120 t/ha uygulama dozlarında kumlu tın toprakta sırasıyla %4,6, %13,8, %32,8 ve %43,6, tın bünyeli toprakta %5,2, %10,5, %28,1 ve %40,5 ve kil bünyeli toprakta %5,4, %22,9, %26,5 ve %34,9 daha yüksek içerikler belirlenmiştir. Kumlu tın toprakta başlangıç organik madde miktarının fazla olmasından kaynaklı en büyük artış gözlenmiştir (Çizelge 3.1). Yine tın ve kil bünyeli topraklarda organik madde içeriklerindeki artış oranının kumlu tın toprağa göre düşük olması, toprakların su tutma kapasitesiyle de ilgili olabilir. Çünkü daha nemli koşullarda organik maddenin daha fazla ayrışması söz konusudur (Paul *et al.* 2003; Dan *et al.* 2016). Arıtma çamurunun artan uygulama dozlarında daha fazla organik madde birikimi sağlanması, arıtma çamurunun yüksek organik madde içeriğinin (%44) bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Geçmişte yürütülen birçok çalışmada da, arıtma çamuru doz artışıyla organik madde içeriğinin arttığı tespit edilmiştir (Hussein 2009; Angin and Yaganoglu 2011; Salhab 2014; Muyen and Wrigley 2016).



Şekil 4.3. Organik madde içeriğinin uygulama dozlarıyla değişimi ($p < 0,01$)

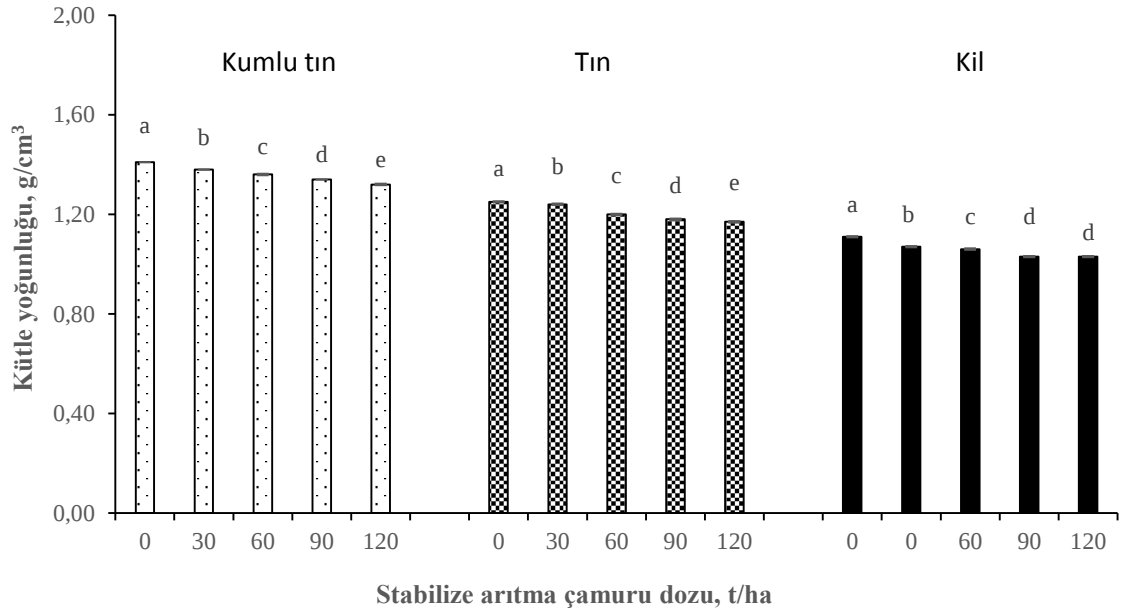
Stabilize arıtma çamuru doz artışıyla organik madde içeriği artışının aksine, CaCO_3 içeriğinde çok önemli azalışlar ($p < 0,01$) belirlenmiştir (Şekil 4.4). Kontrol (0 t/ha) uygulamasıyla kıyaslandığında 30, 60, 90 ve 120 t/ha dozlarında CaCO_3 azalış oranları sırasıyla, kumlu tın toprakta %3,1, %3,5, %7,0 ve %9,2, tın bünyeli toprakta %0,5, %3,8, %6,2 ve %9 ve kil bünyeli toprakta %3,3, %8,5, %10,4 ve %12,6 olmuştur. Abdel-Fattah (2012) organik madde ilavesiyle CaCO_3 çözünürlüğünde artışlar görülebileceğini belirtmiştir. Arıtma çamuru ilavesiyle, CaCO_3 içeriğindeki düşüş, pH'daki azalışla da desteklenmiştir (Şekil 4.1). Dan Badaou (2019) stabilize arıtma çamuruna karıştırılmış killi bir toprakta pH - CaCO_3 içeriği arasındaki ilişkiyi, negatif doğrusal bir denklemle ifade etmiştir.



Şekil 4.4. CaCO₃ içeriğinin uygulama dozlarıyla değişimi (p<0,01)

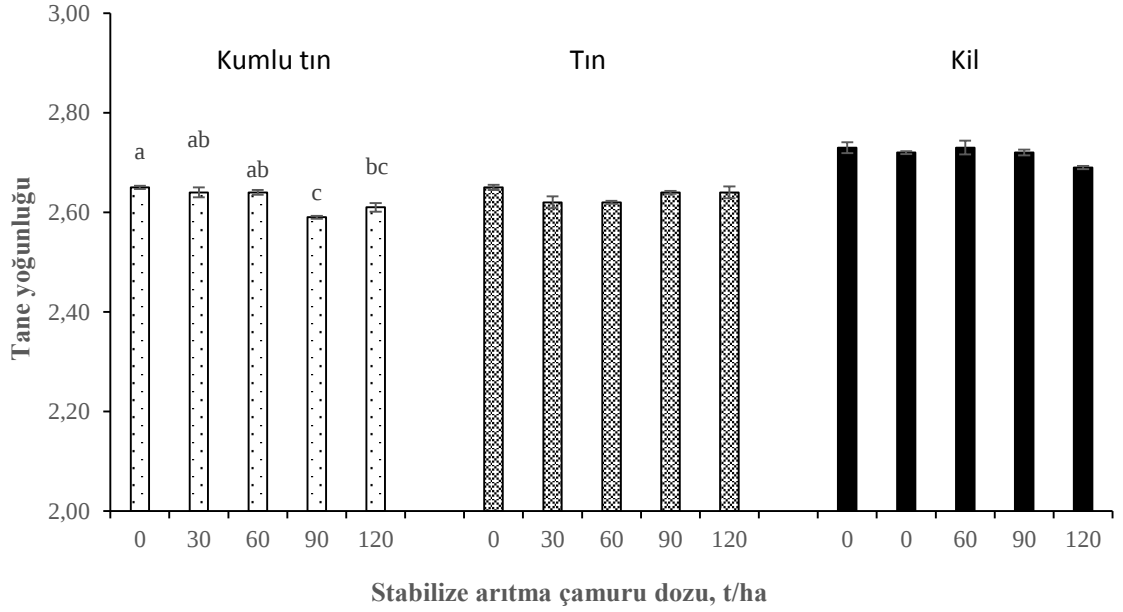
4.2 Toprakların Fiziksel Özellikleri

Stabilize arıtma çamuru doz artışı, her üç toprak tipinde de kütle yoğunluğunu çok önemli seviyede (p<0,01) azaltmıştır (Şekil 4.5). Kontrol (0 t/ha) konusuyla karşılaştırıldığında 30, 60, 90 ve 120 t/ha uygulama dozlarında, kumlu tın toprakta sırasıyla %2,1, %3,5 % 5 ve %6,4 tın bünyeli toprakta %0,8, %4, %5,6 ve % 6,4 ve kil bünyeli toprakta %3,6 ,%4,5, %7,2 ve %7,2 azalışlar belirlenmiştir. Her üç toprakta da doz artışıyla kütle yoğunluğunda azalışların gözlenmesi, arıtma çamuru karıştırılması sonrası artan agregasyonla açıklanabilir. Şekil 4.8’ den de görüleceği gibi ıslak agregat stabilitesi doz artışıyla artmıştır. Özdemir vd (2018)’de toprakta organik madde ile kütle yoğunluğu değeri arasında önemli istatistiksel ilişki belirlemişler ve bu ilişkinin organik maddenin toprak strüktürü üzerine olan etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Tsadilas *et al.* (2002), Bahremand *et al.* (2003), Zaeri *et al.* (2005) ve Delibacak vd (2009)’de yürüttükleri çalışmalarında, arıtma çamuru doz artışıyla kütle yoğunluğunda önemli azalışlar belirlemişlerdir.



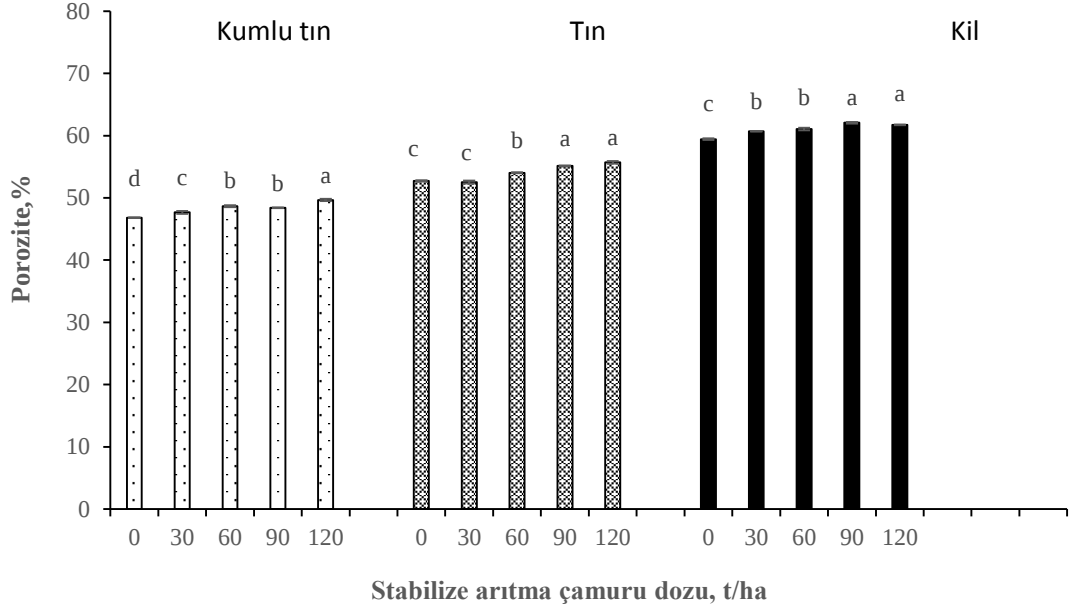
Şekil 4.5. Kütle yoğunluğunun uygulama dozlarıyla değişimi ($p<0,01$)

Tane yoğunluğu tın ve kil bünyeli toprakta doz artışından etkilenmemiş, kumlu tın bünyeli toprakta ise 60 t/ha'a kadar stabilize arıtma çamuru katılması tane yoğunluğu değerinde herhangi bir değişim oluşturmamış, 60 t/ha dozdan sonra çok önemli azalmalar belirlenmiştir (Şekil 4.6). Kontrol uygulamasına (0 t/ha) göre 90 ve 120 t/ha uygulama dozlarında tane yoğunluğu azalış oranları, kumlu tın toprakta sırasıyla % 2,3 ve %1,5 olmuştur. Angın ve Yağanoğlu (2009)'da killi tın bünyeli bir toprağın tane yoğunluğunda en büyük azalışı, en fazla arıtma çamuru uygulama düzeyi olan 120 t/ha dozunda belirlemiştir. Tane yoğunluğunda gözlemlenen bu değişim, artan arıtma çamuru uygulama dozlarına bağlı olarak artan organik madde içeriğiyle açıklanabilir (Şekil 4.3). Çünkü tane yoğunluğu, topraktaki organik madde içeriği arttıkça azalmaktadır (Schjønning *et al.* 2017). Ancak bu değişim, tam lineer olarak gerçekleşmemektedir. Zaten, Rühlmann *et al.* (2006)'da, farklı konumlardaki 170 toprağa dayalı olarak, toprak organik madde içeriğinden tane yoğunluğunu tahmin etmek için doğrusal olmayan bir modeli geliştirmiş ve önermişlerdir.



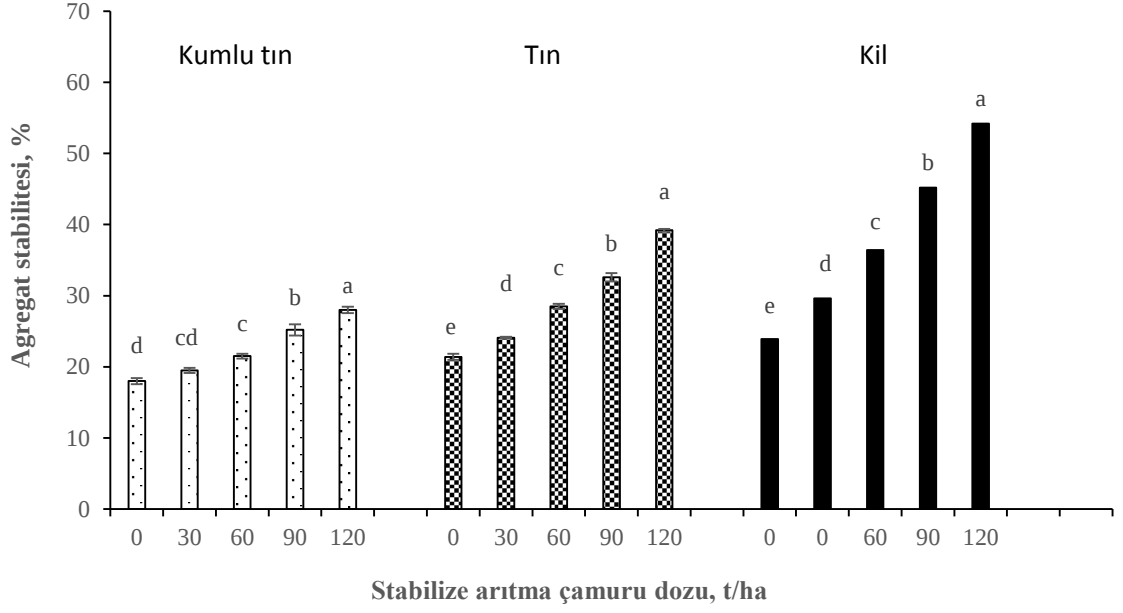
Şekil 4.6. Tane Yoğunluğu'nun uygulama dozlarıyla değişimi ($p < 0,01$)

Deneme topraklarında stabilize arıtma çamuru dozu artışıyla toplam porozite de artış gözlenmiştir (Şekil 4.7). Kontrol (0 t/ha) uygulaması ile kıyaslandığında 30, 60, 90 ve 120 t/ha uygulama dozlarında porozite için artış oranları sırasıyla, kumlu tın toprakta %1,8, %4, %3,4 ve %6,1, tın bünyeli toprakta %0,4, %2,5, %4,6 ve %5,6 ve kil bünyeli toprakta %2,2, %2,7, %4,4 ve %3,9 olarak belirlenmiştir. Bu sonuç, arıtma çamuru uygulamasıyla özellikle toprak kütle yoğunluğunda oluşan pozitif değişimlerin, toplam poroziteye olumlu yansımaları olarak değerlendirilebilir. Daha önce yapılmış çok sayıda çalışmada da, toprağa arıtma çamuru karıştırılmasıyla toplam porozite iyileşmeler belirlenmiştir (Tsadilas *et al.* 2002; Angın ve Yağanoğlu, 2009; Delibacak vd 2009).



Şekil 4.7. Porozitenin uygulama dozlarıyla değişimi ($p < 0,01$)

Kumlu tın, tın ve kil tekstürlü toprakların, stabilize arıtma çamuru doz artışıyla ıslak agregat stabilitesi değerlerinde çok önemli seviyede ($p < 0,01$) artışlar gözlenmiştir (Şekil 4.8). Kontrol (0 t/ha) konusuna göre 30, 60, 90 ve 120 t/ha uygulama dozlarında ıslak agregat stabilitesi için artış oranları sırasıyla, kumlu tın toprakta %8,3, %19,4, %40,0 ve %55,6 tın bünyeli toprakta %12,6, %33,2, %52,3 ve %83,2 ve kil bünyeli toprakta %33,2, %52,3, %89,1 ve %126,8 olarak gerçekleşmiştir. Killi toprakta daha fazla artışların görülmesi, kil içeriğinin yüksek olmasının sonucu olarak değerlendirilmiştir (Yılmaz vd 2005). Artan arıtma çamuru dozlarında artan toprak organik madde içeriğinin (Şekil 4.3) ve azalan CaCO_3 içeriğinden dolayı (Şekil 4.4) ortama geçen Ca ıslak agregat stabilitesi değerlerinin daha yüksek elde edilmesinde ana faktörler olduğu söylenebilir. Giglo *et al.* (2014), Hrabovska *et al.* (2014) ve Dan Badaou (2019) çalışmalarında, organik madde içeriği ile ıslak agregat stabilitesi arasında önemli doğrusal ilişkiler belirlemişlerdir. Yılmaz vd (2005) ve Gutiérrez *et al.* (2016) tarafından da Ca'nın kolloidleri birbirine bağlama ve biyolojik aktiviteyi artırma yoluyla, agregat stabilitesini destekleyen bir diğer unsur olduğu belirtilmiştir. Organik madde artışıyla ıslak agregat stabilitesinde artış görülmesi, çok sayıda araştırmacının da bulguları arasında yer almıştır (Hanay *et al.* 2004; Sahin *et al.* 2008; Annabi *et al.* 2011; Candemir and Gülser 2011; Gupta *et al.* 2014; Mondal *et al.* 2015; Yazdanpanah *et al.* 2016).

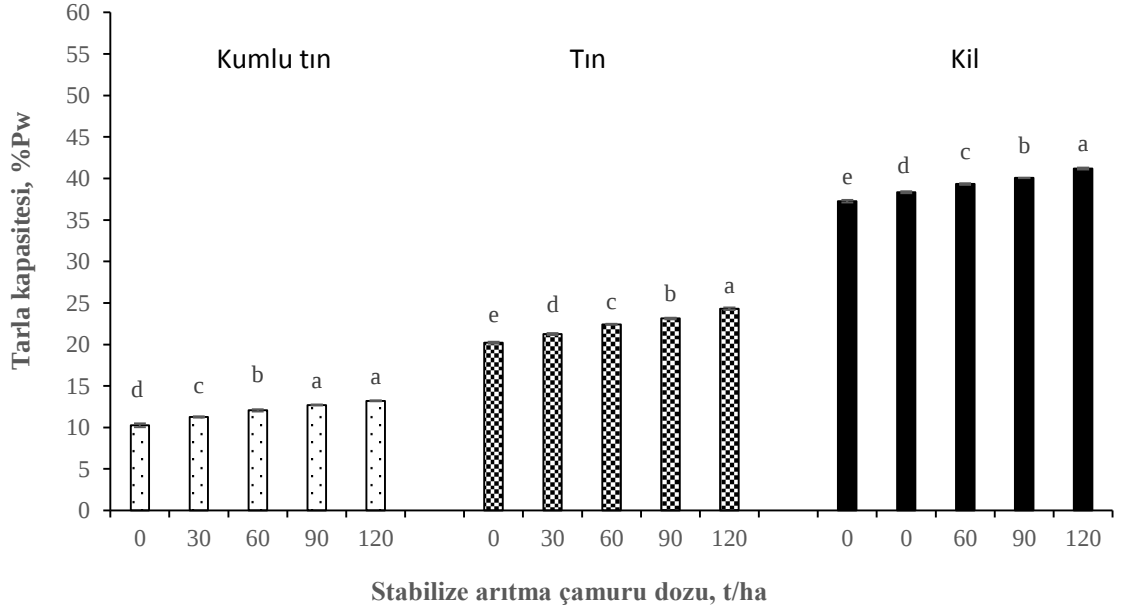


Şekil 4.8. Agregat stabilitesinin uygulama dozlarıyla değişimi ($p < 0,01$)

4.3 Toprakların Hidrolik Özellikleri

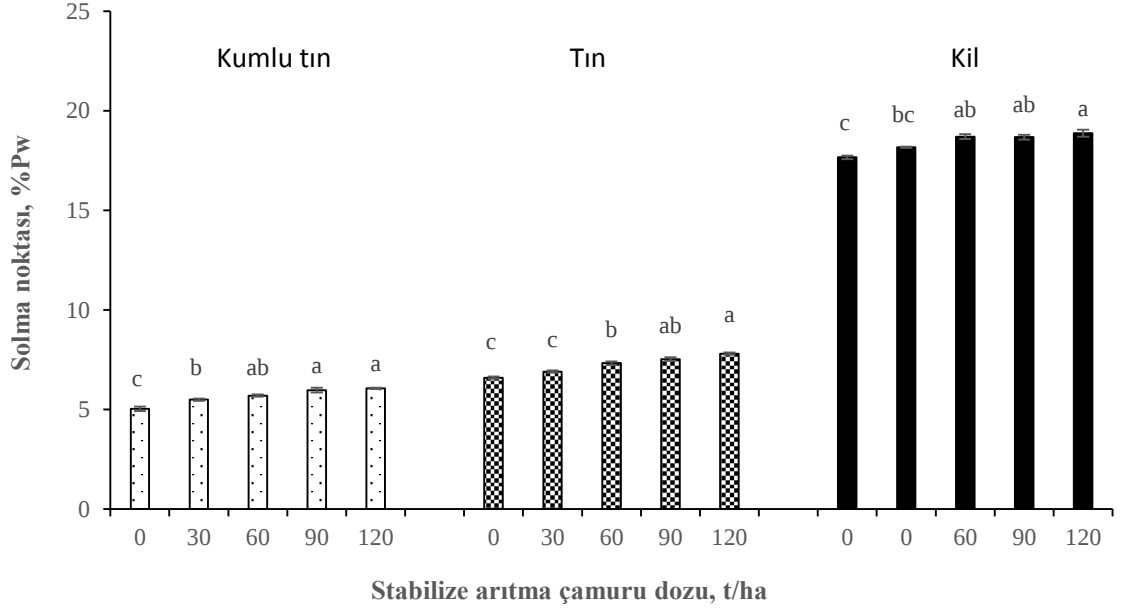
Deneme materyali üç toprak tekstüründe de stabilize arıtma çamuru doz artışıyla tarla kapasitesi değerlerinde çok önemli ($p < 0,01$) artışlar meydana gelmiştir (Şekil 4.9). Kontrol (0 t/ha)'a göre 30, 60, 90 ve 120 t/ha uygulama dozlarında tarla kapasitesi için artış oranları sırasıyla, kumlu tın toprakta %9,7, %17,5, %23,9 ve %28,7 tın bünyeli toprakta %5,2, %11,0, %14,5 ve %20,3 ve kil bünyeli toprakta %2,9, %5,6, %7,5 ve %10,6 olmuştur. Toprakların kil içeriği arttıkça, tarla kapasitesinde tuttukları su miktarları da artmıştır. Tarla kapasitesinde tutulan suyun artırılmasında, toprak strüktürünün gelişmesiyle artan gözeneklilik ve iyileşen gözenek büyüklük dağılımı, önemli rol oynamaktadır. Özdemir vd (2018)'de toprakta tutulan su miktarının gözenek büyüklük dağılımının bir fonksiyonu olduğunu, belirli nem sabitelerinde tutulan su miktarı ile kütle yoğunluğu değerleri arasında önemli ilişkiler olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçları, hem agregasyonun (Şekil 4.8) hem de porozitenin (Şekil 4.7) arıtma çamuru doz artışıyla arttığını göstermiştir. Daha önce yapılmış birçok çalışmada da tarla kapasitesinde tutulan suyun arıtma çamuru doz artışıyla iyileştirilebileceği ortaya konulmuştur (Bahremand *et al.* 2003; Angın ve Yağanoğlu 2009; Delibacak vd 2009).

Candemir ve Gülser (2011)'de, organik atık ilavelerinin kil ve tınlı kum bünyeli toprakların tarla kapasitesi değerini artırdığını bildirmişlerdir.



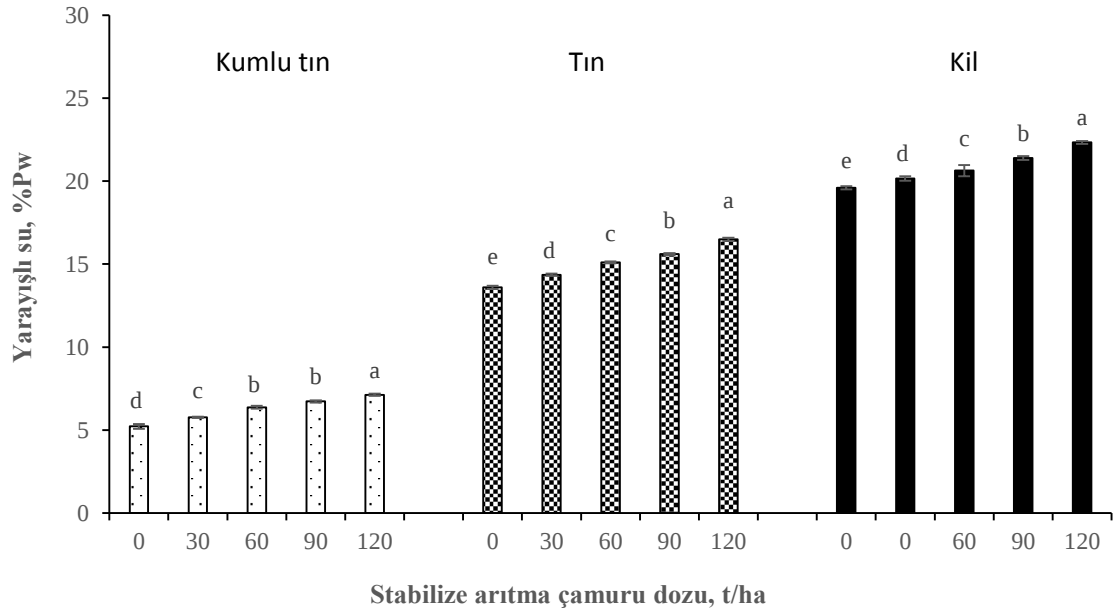
Şekil 4.9. Tarla kapasitesinde tutulan suyun uygulama dozlarıyla değişimi ($p < 0,01$)

Her üç toprakta tarla kapasitesinde olduğu gibi solma noktasında tutulan su miktarında, stabilize arıtma çamuru doz artışıyla çok önemli ($p < 0,01$) artışlar belirlenmiştir (Şekil 4.10). Kontrol (0 t/ha)'a göre 30, 60, 90 ve 120 t/ha dozlarında artışlar sırasıyla, kumlu tın toprakta %9,3, %13,3, %18,7 ve %20,7, tın bünyeli toprakta %4,5, %11,0, %14,1 ve %18,2, kil bünyeli toprakta %2,8, %5,9, %5,7 ve %6,9 olarak gerçekleşmiştir. Özdemir vd. (2014)'de biyokatı uygulamasında artan dozla birlikte solma noktasında tutulan suyun miktarında önemli artışlar belirlemişlerdir. Benzer şekilde Bahremand *et al.* (2003), Angın ve Yağanoğlu (2009) ve Delibacak vd (2009) arıtma çamuru doz artışıyla solma noktasında tutulan nem miktarlarında önemli artışlar tespit etmişlerdir.



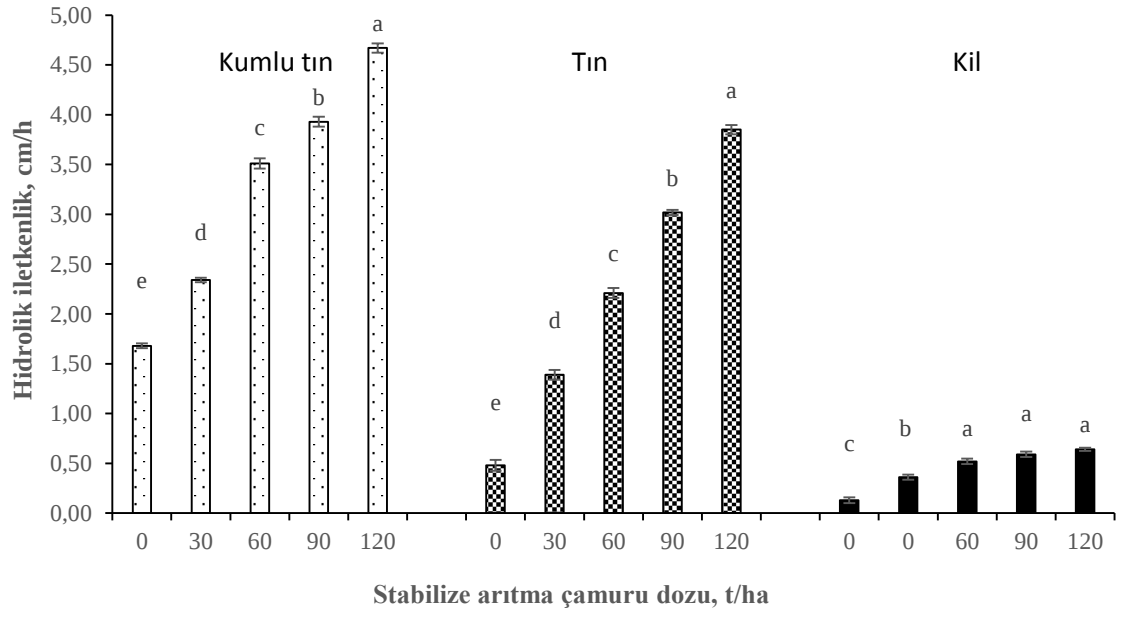
Şekil 4.10. Solma noktasında tutulan suyun uygulama dozlarıyla değişimi ($p < 0,01$)

Tarla kapasitesi ve solma noktası farkından hesaplanan yarayışlı su miktarındaki değişim, arıtma çamurunun doz artışının etkileri her üç toprak tipinde de çok önemli ($p < 0,01$) olmuştur (Şekil 4.11). Kontrol (0 t/ha)'a göre 30, 60, 90 ve 120 t/ha uygulama dozlarında yarayışlı su miktarında artış oranları sırasıyla kumlu tın toprakta %10,3, %21,8 % 28,7 ve %36,3, tın bünyeli toprakta %5,6, %11,0, %14,7, %21,3, kil bünyeli toprakta %2,9, %5,3, %9,2 ve %13,9 olarak belirlenmiştir. Solma noktası değerlerinde de artış olmasına karşın iyileşen gözenekliliğin etkisiyle tarla kapasitesi değerlerinde daha fazla artışların gerçekleşmesi, artan dozlarla birlikte yarayışlı su miktarlarında daha fazla artışları ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer olarak birçok araştırmacı, arıtma çamuru uygulanmış koşullarda doz artışıyla yarayışlı su miktarında artışlar belirlemişlerdir (Tsadilas *et al.* 2002; Bahremand *et al.* 2003; Delibacak vd 2009; Salazar *et al.* 2012).



Şekil 4.11. Yarayışlı suyun uygulama dozlarıyla değişimi ($p<0,01$)

Deneme topraklarından alınan bozulmamış örneklerde ölçülen değerler, stabilize arıtma çamuru doz artışıyla hidrolik iletkenlikte çok önemli ($p<0,01$) artışlar olduğunu da göstermektedir (Şekil 4.12). Kontrol (0 t/ha) uygulamasına göre 30, 60, 90 ve 120 t/ha uygulama dozların da hidrolik iletkenlik değerleri sırasıyla kumlu tın toprakta 1,4, 2,1 2,4 ve 2,8 kat, tın bünyeli toprakta 2,9, 3,6, 5,3 ve 7 kat, kil bünyeli toprakta 2,7, 3,0, 3,5 ve %3,9 kat daha yüksek belirlenmiştir. Tın bünyeli toprakta doz artışının etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum, su iletimini sağlayan gözenek miktarının orta bünyede daha fazla olmasıyla açıklanabilir (Kutilek and Jendele 2008). Yazdanpanah *et al.* (2016), toprağa organik madde girişinin agregat stabilitesini geliştirildiğini ve bundan dolayı da hidrolik iletkenliğin arttığını ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Fan *et al.* (2019)'da arıtma çamuru uygulamasının hidrolik iletkenlikteki artışa katkısının, gelişen agregat yapısının bir sonucu olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.12. Hidrolik iletkenliğin uygulama dozlarıyla değişimi ($p < 0,01$)

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tarım alanlarının sürdürülebilir yönetimine katkı sağlayacak uygulamalar geliştirmeye yönelik pratiklerden birisi olan arıtma çamurlarının toprakta kullanımı, atıkların geri dönüşümünü sağlama açısından büyük önem taşımaktadır. Öncelikle arıtma çamurlarının yüksek organik madde içeriği, ülkemizde genel olarak topraklardaki düşük organik madde içeriğini yükseltme açısından önemlidir.

Erzurum ağır sanayinin olmadığı bir şehirdir. Kentsel atıklar ve kanalizasyonun geri dönüşümünden elde edilen arıtma çamurunun içerisindeki ağır metaller, arazide kullanıma engel olmayacak seviyelerdedir (EK 1). Bölgede arıtma çamurunun farklı tekstürdeki topraklarda kullanımı konusunda herhangi bir çalışma yapılmamış olması ve Erzurum Biyolojik Arıtma Tesisindeki arıtma çamurunun da bertaraf edilme gereksinimi, bu çalışmanın yapılmasında önemli olmuştur.

Yapılan bu çalışmada kumlu tın, tın ve kil bünyeli topraklara farklı dozlarda (0, 30, 60, 90, 120 t/ha) stabilize arıtma çamuru karıştırılmasının toprakların kimyasal (pH, EC, organik madde, CaCO_3), fiziksel (kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, ıslak agregat stabilitesi) ve hidrolik (tarla kapasitesi ve solma noktasında tutulan nem miktarları, yarayışlı su, hidrolik iletkenlik) özelliklerine etkisi çok önemli ($p<0,01$) olmuş, artan dozlarla birlikte etkiler daha belirgin hale gelmiş ve en yüksek doz, en etkili sonuçları ortaya çıkarmıştır.

Kontrol uygulamasına (0 t/ha) göre EC, organik madde, porozite, ıslak agregat stabilitesi, tarla kapasitesi, solma noktası, yarayışlı su ve hidrolik iletkenlik değerlerinde artışlar, pH, CaCO_3 , kütle yoğunluğu ve tane yoğunluğu değerlerinde azalışlar tespit edilmiştir. Kontrol konusunda pH, EC, organik madde, CaCO_3 , kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, ıslak agregat stabilitesi, tarla kapasitesi, solma noktası, yarayışlı su ve hidrolik iletkenlik değerleri sırasıyla kumlu tın bünyeli toprakta 6,92, 0,229 dS/m, %1,95, %2,28, 1,41 g/cm³, 2,65, %46,8, %18,0, %10,3, %5,03, %5,23, 1,68 cm/h, tın bünyeli toprakta 7,58, 0,211 dS/m, %1,53, %2,11, 1,25 g/cm³, 2,65, %52,7, %21,4, %20,2, %6,6, %13,6,

0,48 cm/h ve kil bünyeli toprakta 7,43, 0,216 dS/m, %1,66, %2,7, 1,11 g/cm³, 2,73, %59,4, %23,9, %37,3, %17,7, %19,6, 0,13 cm/h olarak belirlenmiştir. En yüksek dozda (120 t/ha) kontrole göre değişimler sırasıyla, kumlu tın bünyeli toprakta %21,4, %8,5, %43,6, %9,2, %6,4, %1,5, %6,1, %55,6, %28,7, %20,7, %36,3, %178, tın bünyeli toprakta %18,9, %17,0, %40,5, %9, %6,4, %0,4, %5,6, %83,2, %20,3, %18,2, %21,3, %702 ve kil bünyeli toprakta %12,8, %19,9, %34,9, %12,6, %7,2, %1,14, %3,9, %126,8, %10,6, %6,85, %13,9, %392 olarak gerçekleşmiştir.

Deneme topraklarının arıtma çamuru uygulamaları sonrası pH değerleri nötr seviyelerde olduğundan, topraktaki bitki besin maddelerinin bitkilere elverişliliği açısından bir kısıt oluşturmamaktadır. Toprak tuzluluk değerleri oldukça düşük seviyelerde kaldığından, her türlü sulama yöntemiyle her bitkinin sulanarak yetiştirilmesi mümkün olacaktır. Arıtma çamurundan kaynaklı toprağa organik madde girişi, deneme topraklarını organik madde içeriği açısından az sınıftan orta sınıfa yükseltmiş, azalan CaCO₃ içeriğiyle de az kireçli sınıfa sokmuştur.

Artan organik madde ve ilave olarak kireç çözülmesinden kazanılan Ca ile tüm toprak tiplerinde ıslak agregat stabilitesinin artması mümkün olmuş, bu artış kütle yoğunluğu azaltarak porozitenin artmasına pozitif katkı sağlamıştır. Porozitenin gelişmesi toprağın su tutma kapasitesinin geliştirilmesine ilave olarak, doymuş su geçirgenliğinin iyileştirilmesine de önemli yararlar sağlamıştır.

Stabilize arıtma çamurlarının yüksek dozlarda kullanımının kumlu tın, tın ve kil bünyeli toprakların kimyasal, fiziksel ve hidrolik özelliklerinin geliştirilmesine potansiyel katkı sağlaması yanında, içerdiği besin elementleriyle toprak verimliliğine de katkılar sağlayarak üreticilerin gübre girdi maliyetlerini de azaltılabilecek olması önemlidir. Artan toprak geçirgenliği ve su tutma kapasitesi yağış sularının toprakta etkin depolamasını sağlayarak, sulu tarımda sulama gereksiniminin azaltılması yanında erozyonla toprakların taşınım riskinin azaltılmasına da katkı sağlayabilecektir. Ayrıca arıtma tesislerinin katı atıklarının bertaraf edilmesi noktasında da elde edilecek çevresel katkılar da önemli

olacaktır. Dolayısıyla, Ulusal ve Uluslararası Yönetmeliklerde belirtilen kurallara bağı kalınarak, 120 t/ha doza kadar Erzurum ili kentsel stabilize arıtma çamurlarının bölgede kaba, orta ve ince bünyeli topraklarda kullanılmasının toprakların korunması ve geliştirilen toprak özellikleriyle de bitkisel üretimin artırılmasına pozitif katkılar sağlayacağı söylenebilir. Ancak uzun süreli kullanımlarda, atıklardan kaynaklı toprakta ağır metal kirlilikleri ile bölgede yeraltı sularında nitrat kirliliği açısından denetimlerin yapılması gerektiği de unutulmamalıdır.



KAYNAKLAR

- Abdallh, A.H.M., 2018. Tuzlu-Sodyumlu Toprakların İslahında Stabilize Arıtma Çamuru ve Arıtılmış Atık Suların Kullanımı Etkinliğinin Belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Abdel-Fattah, M. K., 2012. Role of gypsum and compost in reclaiming saline-sodic soils. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science, 1 (3): 30-38.
- Aggelides, S.M., Londra, P.A., 2000. Effect of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. Bioresource Technology, 71: 253-259.
- Angin İ., 2008. Arıtma çamurlarının fiziksel ve kimyasal toprak düzenleyicisi olarak kullanımı. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum.
- Angin, İ., Yağanoğlu, A.V., 2009. Arıtma çamurlarının fiziksel ve kimyasal toprak düzenleyicisi olarak kullanımı. Ekoloji, 19: 39-47.
- Angin, I., Yaganoglu, A.V., 2011. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. Journal of Agricultural Science and Technology, 13(5): 757-768.
- Anonim, 1996. Use of reclaimed water and sludge in food crop production. National Academy Press, Washington, D.C.
- Anonim, 2000. Working document on sludge. 3rd Draft. Brussels.
- Anonim, 2003. State of the World 2003. Worldwatch Institute, Eds: Linda Stark. New York & London. Rome.
- Anonim, 2010. Evsel ve Kentsek Arıtma çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/08/20100803-5.htm>.
- Anonim, 2016. Erzurum Biyolojik Atık Su Tesisi Tanıtım El Kitabı. Erzurum Büyükşehir Belediyesi, 1-16.
- Anonim, 2019. Erzurum ili meteorolojik verileri. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Annabi, M., Bissonnais, Y. le., Villio-Poitrenaud, M. le., Houot, S., 2011. Improvement of soil aggregate stability by repeated applications of organic amendments to a cultivated silty loam soil. Agriculture, Ecosystems & Environment, 144: 382-389.
- Arslan, G., Atakol, O., 2005. Şehir içme suyu arıtma tesislerindeki çamur atıklarının değerlendirme yollarının araştırılması. S.Ü. Fen.Ed. Fak. Fen Dergisi, 25: 73-78.
- Bahremand, M.R., Afyuni, M., Hajabbassi, M.A., Rezaeinejad, Y., 2003. Effect of sewage sludge on soil physical properties. Journal of Water and Soil Science, 6: 1-9.
- Bilgin, N., Eyüpoğlu, H., Üstün, H., 2002. Biyokatıların (Arıtma Çamurlarının) Arazide Kullanımı. ASKİ Arıtma Tesisi Başkanlığı – KHGM Ankara Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Blake, G.R., Hartge K.H., 1986a. Particle density. In 'Methods of soil analysis, Part 1-Physical and mineralogical methods(2nd edn.).'(Ed. A Klute) Agronomy Monograph No. 9, (American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Medison.

- Blake, G.R., Hartge K.H., 1986b. Bulk density. In 'Methods of soil analysis, Part 1-Physical and mineralogical methods (2nd edn.)' (Ed. A Klute) Agronomy Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Medison.
- Brady, N.C., Weil R.R., 2008. The Nature and Properties of Soils. 14th ed. Upper Saddle River, NJ. pp.9990, ISBN 13-978-0-13-227938-3, Prentice Hall.
- Candemir, F., Gülser, C., 2011. Effects of different agricultural wastes on some soil quality indexes at clay and loamy sand fields. *Communication of Soil Science and Plant Analysis*, 42(1): 13-28.
- Cassel, D.K., Nielsen, D.R., 1986. Field Capacity and Available Water Capacity. In: Klute A., Ed., *Methods of soil analysis part I. Physical and Mineralogical methods* no, 9. Soil Science of America Madison. 901-926.
- Cebel, N., 2011. Toprakların kalitesinin korunması ve geliştirilmesi, *Bilim ve Aklın Aydınlığı dergisi*, 134: 34-38.
- Da Silva, S.M.C.P., Fernandes, F., Soccol, V.T., Morita, D.M., 2007. Main Contaminants in Sludge. *Biological Wastewater Treatment Series. Volume six Sludge Treatment and Disposal*. Cleverston Vitorio Andreoli, Marcos von Sperling, Fernando Fernandes, London, UK, 31- 47.
- Dan Badaou, A.N.A., 2019 Arıtma çamuru karıştırılmış ince bünyeli bir toprakta farklı aralıklarla atık su uygulamasının toprak özellikleri üzerine etkisi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Dan, W., Nianpeng, H., Qing, W., Yuliang, L., Qiufeng, W., Zhiwei, X., Jianxing, Z., 2016. Effects of temperature and moisture on soil organic matter decomposition along elevation gradients on the changbai mountains, Northeast China. *Pedosphere*, 26 (3): 399-407.
- Danielson, R.E., Sutherland, P.L., 1986. Porosity. In: A. Klute, ed., *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods* second edition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 443-446.
- Delibacak, S., Okur, B., Ongun, A.R., 2009. Effects of treated sewage sludge levels on temporal variations of some soil properties of a Typic Xerofluvent soil in Menemen Plain, Western Anatolia, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148: 85-95.
- Delibacak, S., Ongun, A.R., 2016. Influence of treated sewage sludge applications on corn and second crop wheat yield and some soil properties of sandy loam soil. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25: 43-54.
- Dengiz, O., 2015. Türkiye topraklarının bazı fiziksel, kimyasal ve verimlilik özellikleri. *Toprak Amenajmanı*, 3; 95-109.
- Dogan, O., 2011. Türkiye'de erozyon sorunu ve çözüm önerileri, *Bilim ve Aklın Aydınlığı dergisi*, 134: 62-69.
- 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.
- EPA, 1994. *Land Application of Biosolids. Process Design Manual*. Cincinnati, Ohio.
- Epstein, E., 2003. *Land Application of Sewage Sludge and Biosolids*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Erşahin Y.S., Kavdır, Y., 2015. Alternatif Bitki Besin Elementi Kaynakları ve Toprak Düzenleyiciler. *Toprak Amenajmanı*, 14: 449-506.

- FAO, 2000. Food Production and Security. (<http://www.fao.org/ag/AGL/agll/spush/topic1.htm>)
- Fan, X., Zhu, W., Qian, Y., Wu, S., Shu, S., Lin, N., 2019. Increasing the hydraulic conductivity of solidified sewage sludge for use as temporary landfill cover. *Advances in Civil Engineering*, 8163563: 1-10.
- Ferreira, S. R. D. M., J. T. R. D. Oliveira, A. S. Messias, H. A. Silva, A. E. D. Nascimento, and M. C. A. Feitosa. 2011. Hydraulic conductivity and soil-sewage sludge interactions. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35 (5): 1569-1577.
- Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Particle-Size Analysis. *Methods of Soil Analysis*. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd Edition. Agronomy No: 9. 383-411, 1188 p, Madison, Wisconsin USA.
- Giglo, B.F., Arami, A., Akhzari, D., 2014. Assessing the role of some soil properties on aggregate stability using path analysis (Case study: silty-clay- loam and clay-loam soil from Gully Lands in north west of Iran). *Ecopersia*, 2(2): 513-523.
- 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.
- Hanay, A., Şahin, Ü., Canbolat, M. ve Anapalı, Ö., 1996. Sabit seviyeli permeametre yönteminde farklı potansiyometrik yüklerin toprakların hidrolik iletkenliklerine etkisi. *Atatürk Üni. Zir. Fak. Derg.*, 27(2): 272-283.
- Holz, S.C., Ingelmo, F. and Canet, R., 2000. Long term effects of the application of sewage sludge and vegetal cover on some physical and physicochemical properties of a degraded arid soil. *Agrochimica*, 44: 133-139.
- Hrabovska, B., Hammerova, A., Jandak, J., Simeckova, J., Vlcek, V., 2014. Soil aggregate stability and soil organic matter on Chernozems of South Moravia. *Mendel University in Brno*, 260-265.
- 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.
- İşgenç, M.F., Kınay, E.H., 2005. Türkiye’de Arıtma Çamurları, I. Ulusal Arıtma Çamurları Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, İzmir, 519-528.
- Karaca, S., Gülsel, F., Selçuk, R., 2018. Relationships between soil properties. Topography and land use in the Van Lake Basin, Turkey. *Eurasian Journal Soil Science*, 7 (2). 115-120.
- Kemper, D.W., Rosenau, R.C., 1986. Aggregate Stability and Size Distribution, In: A. Klute, Ed., *Methods of Soil Analysis*, Part 1, American Society of Agronomy, Madison, 425-442.
- 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.

- Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory methods. In: Klute, A., Ed., *Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods*, ASA and SSSA, Madison, 635-662.
- Kutílek, M., Jendele L., 2008. The Structural Porosity in Soil Hydraulic Functions– a Review. *Soil & Water Res*, 3: 7–20.
- Leogrande, R., Vitti, C., 2019. Use of organic amendments to reclaim saline and sodic soils: a review. *Arid Land Research and Management*, 33(1): 1-21.
- 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.
- Mondal, S., Singhb, R.D., Patrab, A.K., Dwivedi, B.S., 2015. Changes in soil quality in response to short-term application of municipal sewage sludge in a typic haplustept under cowpea-wheatcropping system. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 4: 37-41.
- 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, D.W., Sommers. L.E., 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds) *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edn. *Agronomy Monograph 9*, American Society of Agronomy Inc., Madison, WI, 539-580.
- Nelson, R.E., 1982. Carbonate and gypsum. *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd edn. *Agronomy Monograph 9*, American Society of Agronomy Inc., Madison, WI, 181-198.
- Ors, S., Sahin, U., Khadra, R., 2015. Reclamation of saline sodic soils with the use of mixed fly ash and sewage sludge. *Arid Land Research and Management*, 29 (1), 41-54.
- Özdemir, N., Ekberli, İ., Kop Durmuş, Ö.T., 2018. Bazı toprak özellikleri ile kütle yoğunluğunun tahmini için pedotransfer modeller. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(1): 46–51.
- Özdemir, N., Gülser, C., Ekberli, İ., Kop, Ö.T., 2014. Asit toprakta düzenleyici uygulamalarının bazı toprak özellikleri ve verime etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 2(1): 27-32.
- Özyazıcı, M. A., Özyazıcı, G., 2012. Arıtma çamurunun toprağın bazı temel verimlilik parametreleri üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilim Dergisi*, 22 (2): 101-109.
- Özyazıcı, M. A., Özyazıcı, G., Bayraklı, B., 2012. Effects of sewage sludge applications on extractable iron, copper, zinc and manganese content of soil. *Soil Water Journal* 1 (2): 110-118.
- Paul, K.I., Polglase P.J., O'Connell, A.M., Carlyle, J.C., Smethurst, P.J., Khanna, P.K., 2003. Defining the relation between soil water content and net nitrogen mineralization. *European Journal of Soil Science*, 54: 39-47.
- Rühlmann, J., Korschens, M., Graefe, J., 2006. A new approach to calculate the particle density of soils considering properties of the soil organic matter and the mineral matrix. *Geoderma*, 130: 272–283.
- Salazar, I., Millar, D., Lara, V., Nuñez, M., Parada, M., Alvear, M., Baraona, J., 2012. Effects of the application of biosolids on some chemical, biological and physical properties in an Andisol from southern Chile. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12: 441-450.

- 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.
- 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.
- Schjønning, P., McBride, R.A., Keller, T., Obour, P.B., 2017. Predicting soil particle density from clay and soil organic matter contents. *Geoderma*, 286: 83–87.
- Sezen, Y., 1995. Toprak Kimyası. Atatürk Üniversitesi Yayınları No:790. Ziraat Fakültesi Yayın No:322 Ders Kitapları Serisi No:71. Erzurum.
- 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
- Singh, R.P., Agrawal, M., 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, 28, 347-358.
- Soyergin, S., 2003. Organik Tarımda Toprak Verimliliğinin Korunması ve Organik Toprak İyileştiricileri. Atatürk Bahçe Kùltürleri Merkez Araştırma Enstürüsü.Yalova, 2003.
- SPSS, 2011. IBM SPSS Statistics 21 core system user's guide. 424 p, New York.
- Topcuoğlu, B., Önal, M.K., Arı, N., 2003. Toprağa Uygulanan Kentsel Arıtma Çamurunun Domates Bitkisine Etkisi I. Bitki Besinleri ve Ağır Metal İçerikleri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(1) 87-96
- Tsadilas, C.D., Samaras, V., Kazai, P., Sgouras, J., 2002. Fly ash and sewage sludge application on an acid soil and their influence on some soil properties and wheat biomass production. 12th ISCO Conference, Beijing, p.118-123.
- Türkmen, T., Arcak, S., 2006. Kentsel Arıtma Çamuru ve Azot Uygulamalarının Kireçli Topraklarda Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20: 121-130.
- Tüzüner, A., 1990. Soil and water analysis laboratories handbook. Ministry of Agriculture, Forestry and Rural Affairs, General Directorate of Rural Services, Ankara.
- Tziachris, P., Lekakis, E., Zambetoglou, K., Metaxa, I., Papadopoulos, F., 2017. A case study of the effects of sewage sludge application on soil properties and heavy metal availability in the Thessaloniki plain (Greece). *Waste and Biomass Valorization*, 8: 1803-1811.
- Uzun, P., Bilgili, U., 2011. Arıtma Çamurlarının Tarımda Kullanma Olanakları. U.Ü.Ziraat Fakültesi Dergisi, 25(2): 135-146.
- Yazdanpanah, N., Mahmoodabadi, M., Cerdà, A., 2016. The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. *Geoderma*, 266: 58-65.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z., Öktüren, F., 2005. Toprakta agregat oluşumu ve stabilitesi. Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 19(36): 78-86.
- Zaeri, A.A.R., Rezaeinezhad, Y., Afyuni, M., Shariat, M.H., 2005. The effect of cumulative and residual sewage sludge on aggregate stability, bulk density, and infiltration rate. *The Scientific Journal of Agriculture*, 28: 101-110.

ÖZGEÇMİŞ

30 Ağustos 1983 tarihinde Erzurum’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimlerini Erzurum’da tamamladıktan sonra 2002 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesini 2008 yılında bitirdi. 2016 yılında Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2009-2013 arasında Gıda ve Telekomünikasyon sektörlerinde çalıştı. 2016 yılında Ziraat Ekspertliğine başladı ve halen Ekspertlik görevini sürdürmektedir.

