



**ARITMA ÇAMURU KARIŞTIRILMIŞ İNCE BÜNYELİ BİR
TOPRAKTA FARKLI ARALIKLARLA ATIK SU
UYGULAMALARININ TOPRAK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU
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

**ARITMA ÇAMURU KARIŞTIRILMIŞ İNCE BÜNYELİ BİR
TOPRAKTA FARKLI ARALIKLARLA ATIK SU
UYGULAMALARININ TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü



TEZ ONAY FORMU

**ARITMA ÇAMURU KARIŞTIRILMIŞ İNCE BÜNYELİ BİR TOPRAKTA FARKLI
ARALIKLARLA ATIK SU UYGULAMALARININ TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Prof.Dr. Üstün ŞAHİN danışmanlığında, Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU tarafından hazırlanan bu çalışma, 08/07/2019 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. Sedat KARAMAN

İmza :

Üye : Prof.Dr. ÜSTÜN ŞAHİN

İmza :

Üye : Doç.Dr. Selda ÖRS CIRIK

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun **11.07/2019** tarih ve **...28.../...78....** nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2018-6843

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

ARITMA ÇAMURU KARIŞTIRILMIŞ İNCE BÜNYELİ BİR TOPRAKTA FARKLI ARALIKLARLA ATIK SU UYGULAMALARININ TOPRAK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU

Atatürk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Kil içeriği yüksek topraklarda tekstürden kaynaklanan olumsuz etkilerin toprak yapısını iyileştirmeye yönelik uygulamalarla düzeltilmesi, sürdürülebilir bir tarım için gereklidir. Bu kapsamda ince bünyeli (killi) bir toprağın (% 47,7 kil, % 18,8 silt, % 33,5 kum) yapısal özelliklerinin pratik uygulamalarla geliştirilmesi amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada, stabilize arıtma çamurunun farklı dozlarda (50, 100 ve 150 t/ha) killi toprağa karıştırılması sonrası iki farklı su tipiyle (temiz ve arıtılmış atık su) 3 farklı sulama aralığında (4, 8 ve 12 gün) ıslanma-kuruma süreçlerinin, toprağın kimyasal (pH, EC, organik madde, CaCO_3), fiziksel (kütle ve tane yoğunlukları, toplam porozite, makro porozite, ıslak agregat stabilitesi) ve hidrolik (tarla kapasitesi, infiltrasyon hızı) özellikleri üzerine etkileri laboratuvar koşullarında araştırılmıştır. Deneme faktöriyel düzenleme tam şansa bağlı deneme planında 3 tekrürlü yürütülmüştür. Arıtma çamuru içermeyen ve sulanmayan kontrol konusu da, 3 tekrürlü olarak deneme içerisinde yer almıştır.

Stabilize arıtma çamurunun karıştırılması killi toprağın kimyasal, fiziksel ve hidrolik özelliklerini geliştirmiştir. pH azalırken, organik madde ve CaCO_3 içeriği artmıştır. Islak agregat stabilitesi, porozite ve makro porozite, tarla kapasitesi, kararlı ve ortalama infiltrasyon hızlarında artışlar olmuş, kütle ve tane yoğunlukları azalmıştır. En fazla arıtma çamuru uygulama dozu en düşük pH ve tane yoğunluğu sağlarken, bu dozda organik madde, CaCO_3 , ıslak agregat stabilitesi, tarla kapasitesi, kararlı ve ortalama infiltrasyon hızı değerleri en yüksek belirlenmiştir. Ancak toprak tuzluluğunun da doz artışıyla arttığı görülmüş, en yüksek dozda ortalama 2,476 dS/m değeri tespit edilmiştir. Arıtılmış atık suların uygulanması temiz suya göre tuzlulukta, kireç içeriğinde ve kütle yoğunluğunda artış, porozite ve makro porozitede azalış eğilimine neden olmuştur. Yine sulama aralığının artması da tane yoğunluğunu azaltırken tuzluluk, organik madde, ıslak agregat stabilitesinde artışı teşvik etmiş, daha yüksek kararlı ve ortalama infiltrasyon hızı açısından da 8 günlük sulama aralığı en etkili olmuştur. Sonuçlar, killi topraklara arıtma çamuru karıştırılmasının stabilitenin güçlendirilerek su geçirgenliğinin iyileştirilmesinde uygun bir seçenek olacağını, toprak tuzluluğuna dikkat edilerek özellikle 150 ton/ha dozunun daha da etkili olacağını, arıtma çamuruyla birlikte arıtılmış atık suların da kullanılmasının mümkün olduğunu, sulama aralığının da organik maddenin daha uzun süreli korunarak stabilitenin güçlü kalması adına sık tutulmayabileceğini göstermiştir.

2019, 56 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Killi toprak, stabilize arıtma çamuru, arıtılmış atık su, ıslak agregat stabilitesi, kütle yoğunluğu, toplam porozite, makro porozite, tarla kapasitesi, infiltrasyon

ABSTRACT

MS Thesis

EFFECT OF WASTEWATER APPLICATION WITH DIFFERENT INTERVALS ON SOIL PROPERTIES IN FINE TEXTURED SOIL MIXED WITH SEWAGE SLUDGE

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU

Atatürk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Üstün ŞAHİN

Remediation of soil with high clay content to ameliorate negative impacts of soil texture is essential for sustainable agriculture. In this context a study was carried out to improve structural properties of fine textured soil (high clay content; (47,7% clay, 18,8% silt, 33,5% sand) with practical applications. In this study, after mixing of stabilized sewage sludge into clay soil in different doses (50, 100 and 150 t/ha) with two different water types (fresh and treated wastewater) in 3 different irrigation intervals (4, 8 and 12 days), the effects of wetting-drying cycles on chemical (pH, EC, organic matter, CaCO_3), physical (bulk and particle density, total porosity, macro porosity, wet aggregate stability) and hydraulic properties (field capacity and infiltration rate) of soil were investigated under laboratory conditions. The factorial experiment in a randomized complete block design was performed with three replications.

The mixing of stabilized sewage sludge into the soil improved chemical, physical and hydraulic properties of the fine textured soil. The organic matter and CaCO_3 content increased while the pH decreased. An increase was observed in wet aggregate stability, porosity, macro porosity, field capacity, stable and average infiltration rate while bulk and particle density were decreased. While the highest application dose provided the lowest pH and particle density, the highest organic matter, CaCO_3 , wet aggregate stability, field capacity, stable and average infiltration rate were obtained from the same application dose. However, soil salinity was increased gradually with increased application doses, the mean soil salinity were 2,476 dS/m at the highest application dose. The application of treated wastewater led to an increase in salinity, CaCO_3 content and bulk density and a decrease in porosity and macro porosity as compared to fresh water application. The increase in irrigation intervals decreased the particle density, while the increase in salinity, organic matter and wet aggregate stability was promoted, 8-day irrigation interval was the most effective in terms of higher stable and average infiltration rate. The results indicate that; a-mixing sewage sludge into clay soil is an appropriate option to improve infiltration by strengthening the stability, b-the application dose of 150 t/ha found to be more effective under controlled soil salinity conditions, c- the usage of sewage sludge with treated wastewater could be promising, d- partially wider irrigation intervals can be considered in order to maintain stability by keeping organic matter for longer time.

2019, 56 pages

Keywords: Clay soil, stabilized sewage sludge, treated wastewater, wet aggregate stability, bulk density, total porosity, macro porosity, field capacity, infiltration

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi tarafından, FYL-2018-6843 numaralı projeyle desteklenmiştir.

Çalışmamın her aşamasında faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, yardımlarını esirgemeyen yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren, destekçi, yanında çalışmaktan onur duyduğum ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Üstün ŞAHİN'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Hocalarım Sayın Prof.Dr. Mustafa Y. CANBOLAT'a, Doç.Dr. Müdahir ÖZGÜL'e, Prof.Dr. Ergün YILDIZ'a, Prof.Dr. Fatih Mehmet KIZILOĞLU'na, Doç.Dr. Selda ÖRS CIRIK'a, Prof.Dr. İlker ANGIN'a, Doç.Dr. Ekrem L. AKSAKAL'a, Dr.Öğr.Üyesi Aycan Mutlu YAĞANOĞLU'na ve Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümünün diğer bütün öğretim üyelerine, sekreteri Hakan GEDİK'e, katkı sağlayan Kenan ÖZÇELİK'e ve Dr. Gıda Mühendisi Banu TULUK'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca araştırmanın özellikle laboratuvar analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesi aşamasında yardımlarını esirgemeyen Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvar sorumlusu Teknisyen Cihan VURAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında sabır gösterdiği ve bana katlandığı için eşim Samiratou'a, sürekli çalışmamama izin verdiği için küçük kızım Sarah'a, motivasyon desteği için babam Aboubacar'a, ümit verdiği ve destek olduğu için annem Salamatou'a teşekkürlerimi sunarım.

Yine, birlikte çalışmaktan zevk aldığım sınıf arkadaşım Hassan Abdalla SABTOW'a ve küçük veya büyük yardımlarını esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

Son olarak Yurtdışı Türkler ve Akraba Topluluklar Başkanlığı'na, Türkiye Bursları programının tarafından bana bu mükemmel fırsat verdiği için teşekkürü bir borç bilirim.

Abdoul Nasser ABOUBACAR DAN BADAOU

Haziran 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Arıtma çamuru.....	10
2.2. Temiz ve Atık su Kaynakları.....	9
2.3. Sulama Aralığı	9
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Deneme Deseni ve Uygulamalar	11
3.2. Analiz ve Ölçümler	17
3.3. İstatistiksel Değerlendirmeler.....	20
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	21
4.1. Toprak Kimyasal Özellikleri.....	21
4.2. Toprak Fiziksel Özellikleri.....	27
4.3. Toprak Hidrolik Özellikleri.....	34
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	43
KAYNAKLAR	47
EKLER.....	54
EK 1.	54
EK 2.	55
EK 3.	56
ÖZGEÇMİŞ	57

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

EC : Elektriksel iletkenlik (dS/m)

SAR : Sodyum adsorbsiyon oranı



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Denemeden bir görünüş	11
Şekil 3.2. İnkübasyon aşamasından bir görünüm	14
Şekil 3.3. Kapların tartılması	14
Şekil 3.4. Erzurum kentsel atık su arıtma tesisi (http://www.eski.gov.tr/atesis/ 22.06.2019)	16
Şekil 3.5. Tane yoğunluğu analizi	18
Şekil 3.6. Islak agregat stabilitesi analizi.....	18
Şekil 3.7. Örneklerin saturasyonu ve basınç tablası	19
Şekil 3.8. İnfiltrometre düzeneği teknik detayları ve infiltrasyon ölçümleri	20
Şekil 4.1. pH değerinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi. Farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır.....	22
Şekil 4.2. Elektriksel iletkenliğin (EC) stabilize arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır	23
Şekil 4.3. Organik madde içeriğinin stabilize arıtma çamuru dozları ve sulama aralıklarıyla değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır	23
Şekil 4.4. CaCO_3 içeriğinin stabilize arıtma çamuru dozları ve su tipleriyle değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır	24
Şekil 4.5. pH ile organik madde ve CaCO_3 içeriği ilişkisi. **: Çok önemli ($p<0,01$)....	25
Şekil 4.6. Islak agregat stabilitesinin stabilize arıtma çamuru dozları ve sulama aralıklarıyla değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır	28
Şekil 4.7. Kütle yoğunluğunun su tipleriyle değişimi. Farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır	28
Şekil 4.8. Tane yoğunluğunun stabilize arıtma çamuru dozları ve sulama aralıklarıyla değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır	29

Şekil 4.9. Porozite ve makro porozitenin su tipleriyle değişimi. Her bir parametre için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır .	29
Şekil 4.10. Organik madde-ıslak agregat stabilitesi ilişkisi. **: Çok önemli ($p<0,01$) ..	30
Şekil 4.11. Tarla kapasitesi değerinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi. Her parametre için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır	34
Şekil 4.12. Kontrol konusu toprağın infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri	36
Şekil 4.13. 50 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, temiz suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri	37
Şekil 4.14. 50 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, arıtılmış atık suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri	38
Şekil 4.15. 100 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, temiz suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri	39
Şekil 4.16. 100 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, arıtılmış atık suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri	40
Şekil 4.17. 150 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, temiz suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri	41
Şekil 4.18. 150 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, arıtılmış atık suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri	42
Şekil 4.19. Kararlı ve ortalama infiltrasyon hızlarının stabilize arıtma çamuru dozları ve sulama aralıklarıyla değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır.....	43
Şekil 4.20. Kararlı ve ortalama infiltrasyon hızı ile agregat stabilitesi ilişkisi. **: Çok önemli ($p<0,01$), *: Önemli ($p<0,05$).....	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Deneme materyali toprak ve stabilize arıtma çamurunun bazı kalite analiz sonuçları	12
Çizelge 3.2. Sulama sularının bazı kalite analiz sonuçları	15
Çizelge 4.1. Toprak kimyasal özelliklerinin stabilize arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi	21
Çizelge 4.2. Toprak fiziksel özelliklerinin stabilize arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi.....	27
Çizelge 4.3. Toprak hidrolik özelliklerinin stabilize arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi	33

1. GİRİŞ

Kil içeriği yüksek topraklar su tutma kapasitesi yüksek ve verimlilik açısından da iyi özelliklere sahip olmasına karşın infiltrasyonu düşük, geç ısınan, geç tava gelen, işlenmesi zor ve özellikle kaymak tabakası oluşumuyla havalanmayı olumsuz etkileyen, dolayısıyla bu anlamada kötü sayılabilecek fiziksel özelliklere sahip topraklardır. Geçirgenlik probleminden dolayı atmosfer havasının yeterince toprağa nüfuz edememesinin yanında, özellikle yaz döneminde vejetasyona bağlı artan kök sistemi ve artan mikroorganizma faaliyeti nedeniyle ortamdaki CO₂ miktarının da artışı, bitkisel üretim açısından ciddi kısıtlamalar oluşturabilmektedir. Tarımsal alanlarda iyi bir havalanma, yüksek ve kaliteli bir üretimin temel gereksinimi olduğundan, kil içeriği yüksek ince bünyeli topraklarda geçirgenlik sorununun iyileştirilmesi, üzerinde durulması gereken bir konudur. Ayrıca bu topraklarda geçirgenliğin düşüklüğü, yüzey akışı su kayıplarını artırarak doğal yağışın etkinliğini de düşürmektedir. Ya da kuru olduğunda derin çatlaklar nedeniyle yüzey tabakalarda suyun birikmesini engelleyerek ve artan hava temas yüzeyi nedeniyle buharlaşmaya da ilave katkı sağlayarak, bitkisel üretimi sınırlandırmaktadır.

Toprakların geçirgenliğinin iyileştirilmesinde en etkili yollardan biri, strüktürel iyileştirmeyi sağlayan organik madde kaynaklarının toprağa karıştırılmasıdır. Ayrıca sürecin pratik başka uygulamalarla da desteklenmesi, kısmen kalıcı etkiler oluşturabilmektedir. Bu kapsamda yürütülen bu çalışmada, kentsel arıtma tesislerinin işlem görmüş atık materyallerinin kullanılması yanında, pratikte sık veya geniş aralıklarla sulamaların yapıldığı da bilindiğinden, sürecin farklı sulama aralıklarına bağlı ıslanma-kuruma döngüleriyle de desteklenerek yürütülmesi yoluyla geçirgenlik sorunun etkili ve sürdürülebilir çözümü amaçlanmıştır. Bu çalışmada; organik maddece zengin stabilize arıtma çamuru kullanılarak arıtılmış atık sularla farklı aralıklarla sulamaya bağlı olarak ıslanma-kuruma döngüleri ile birlikte toprağın kimyasal, fiziksel ve hidrolik özelliklerinin iyileştirilmesi ile toprakta iyi bir su-hava dengesi oluşturulmasına katkı yanında, su kullanım etkinliğinin artırılması da amaçlanmıştır.

Yürütülen bu çalışmada, stabilize arıtma çamurlarının yüksek organik maddesi, arıtılmış atık suların tuzluluğundan kaynaklanan elektrolit etkisi ve sulama aralığına bağlı ıslanma-kuruma süreçleriyle gerçekleşebilecek strüktürel iyileşmelerle, ince bünyeli killi topraklara yönelik daha kısa süreçte iyi drenaj-geçirgenlik ve havalanma anlamında pratik çözümler üretilmesi olasılığı çalışmanın şu ana kadar yapılanlardan farklılığını oluşturmaktadır. Pozitif sonuçlar, ince bünyeli topraklarda üretimin ve suyun etkinliğinin artırılması konusunda mevcut uygulamalara göre yeni ve pratik olabilecek bir yaklaşım sağlayabilecektir. Ayrıca atık suların ve arıtma çamurlarının, problemlili alanlarda sorun gidermek amacıyla kullanılarak, bertaraf edilmesi yoluyla söz konusu materyallerin çevresel olumsuz etkilerinin azaltılmasına olumlu katkılar yapılması da mümkün olacaktır. Yine kurak ve yarı-kurak bölgelerde bitkisel üretimin sürdürülebilirliği için yapılacak sulamalarda, temiz su yerine arıtılmış atık suların kullanılmasıyla zaten genel anlamda Dünya’da ve Türkiye’de kıt olan temiz su kaynaklarına talebin azaltılmasına yönelik katkılar da önemlidir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bir toprağın tekstürel tanımı; kum, silt ve kil parçacıklarının nispi oranlarıyla belirlenmektedir ve toprağın özelliklerini en çok üç fraksiyondan hangisinin etkilediğini göstermektedir. Örneğin, killi topraklar (genellikle % 40'dan fazla kil içeren) çoğu zaman zayıf drenaja sahiptir. Mainuri ve Owino (2013), duygun su iletkenliği ile toprakların kil içeriği arasında önemli bir negatif ilişki bulmuşlardır. Öte yandan, kabaca eşit oranlarda kum, silt ve kil fraksiyonlarından oluşan tınlı topraklar ise iyi drene olabilen topraklardır. Türkiye'deki toprakların büyük bir bölümü tınlı (% 50,49) olup, bunu sırasıyla killi tınlı (% 41,44), killi (% 4,74), kumlu (% 3,27) ve ağır killi topraklar (% 0,05) takip etmektedir (Haktanır vd 2000).

İnce bünyeli killi toprakların su tutma kapasiteleri yüksek olmasına karşın havalanması ve su geçirgenlikleri yeterince iyi değildir. Killi topraklarda toplam porozitenin yüksek olması ve gözeneklerin çoğunun mikro gözeneklerden oluşması su tutma kapasitesini artırırken, geçirgenliği önemli ölçüde düşürmektedir. Kil dokulu topraklarda yapı kaybı ve yoğun sıkışma su sızmasına, zayıf iç drenaja ve düşük toprak havalanmasına neden olmaktadır. Bütün bu olumsuzluklar, bitki gelişimini ve optimal kök fonksiyonunu kısıtlayabilmektedir. Aynı zamanda bitki hastalıklarının çoğalma vakalarına da etkide bulunabilmektedir (Sloan *et al.* 2016).

Topraktaki belirli bir oranda kil bulunması faydalıdır. Çünkü killi topraklar yüksek su tutma kabiliyetine sahip olmalarının yanında aynı zamanda verimli de sayılabilecek topraklardır. Bu özellikler bitkisel üretim için üstünlük gibi görülse de, ortamda fazla kilin olması aşağıda sıralanan birtakım sorunları da beraberinde getirebilmektedir.

- Kil, köklerin toprağa nüfuz etmesini zorlaştırabilir.
- Killi toprak alkali eğilim gösterir, bu da demiri bitkilere daha az elverişli hale getirebilir.
- Kil, oksijenin köklere ulaşan miktarını sıkışmayla azaltabilir.
- Kil, uzun sürelerle su absorpsiyonu ve hapsini sağlayabilir.
- Kil, kurduğunda sert bir kütle haline gelebilir.
- Kil, ayrıca su birikintisi ve ciddi drenaj sorunlarına da neden olabilir.

Toprak yapısı, toprak fraksiyonlarının agrega olarak birleştirilmiş şekli olarak tanımlanmaktadır. Killi topraklarda, kil parçacıkları tipik olarak yatay bir düzlem boyunca düzenlenmektedir. Bu yatay kümelenmeler zamanla fazlaca istiflendiğinde ve konsolide olduğunda, oldukça sıkı ve yapışkan hal alabilmektedirler. Toprak yapısını iyileştirmedeki amaç daha fazal gevşek, daha ufalanan veya taneli bir yapısal agregasyon sağlamaktır. Killi bir toprak için doğru yönetim stratejisiyle iyi drene olan, kabuklanmayan, suyu hızlı şekilde alabilen, havalandırmayı kolaylaştıran ve kesetlenmeyen bir yapı kazanılması mümkün görülmektedir.

Toprağın tekstürel özelliklerini değiştirmek için yapılabilecek uygulamalar sınırlıdır ve gerçekleştirilmeleri de oldukça zordur. Ancak mevcut toprağın havalanma ve su geçirgenliği ile ilgili fiziksel ve hidrolik özelliklerini iyileştirmede ve aynı zamanda sürdürülebilir kılmada organik madde içeren materyallerin toprağa ilave edilmesi, pratikte en fazla başvurulacak yollardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Alagöz vd 2006). Amaç, olanaklar ölçüsünde organik maddenin toprağa uygulanması ile hem yapıyı, hem de genel toprak sağlığını kalıcı olarak iyileştirmeye çalışmaktır. Organik madde, toprağı birkaç yolla iyileştirebilmektedir. İlk olarak, organik madde toprak fraksiyonlarını kaplayarak kil parçacıklarını ve agregatları fiziksel olarak birbirinden ayırmakta, ikincisi ve daha önemlisi organik maddeyi parçalayan mikroorganizmalar, ayrı ayrı kil parçacıklarını bir araya toplayan, glomalin adı verilen yan ürünler üretmektedir. Üst topraktaki agregasyon oluşumu da kabuklanmayı azaltarak infiltrasyon hızını arttırırken, erozyon ve yüzey akış kaybını azaltmaktadır. Sonuçta organik madde dahil edildiğinde toprak partiküllerinin agregasyonu, agregatların stabilizasyonu, toprağın su tutma kapasitesi, drenajı, besin tutulması ve bitki kök büyümesi artmaktadır.

Başlangıçta toprağa katılan organik maddenin önemli bir kısmı hızla parçalanırken, kalan organik madde yıllarca ve hatta on yıllarca daha fazla bozulmaya karşı koyabilir. Bu nedenle toprakta stabil bir organik madde artışı sağlamak, uzun vadeli bir amaçtır.

2.1. Arıtma Çamuru

Organik madde içeren doğal materyallerin sınırlı olması, organik maddece zengin atık materyallerin kullanılmasını stratejik olarak zorunlu kılmaktadır. Bu durumda kentsel arıtma tesislerinin arıtma çamurlarının kullanılması özellikle düşünülmektedir. Çünkü atık sularının arıtıldığı tesislerden arıtım sonrasında çıkan arıtma çamurları bertaraf edilemediği takdirde, çevresel sorunlara yol açtığı bilinmektedir (Norouzian *et al.* 2018). Bu nedenle, dünyada arıtma çamurlarının bertaraf edilmesinde kontrollü depolama, yakarak imha etme, denizlere boşaltım, arazilere uygulama yapılması ve giderek artan bir şekilde de tarım alanlarında kullanım seçenekleri söz konusudur (Göçmez 2006). Tarımda arıtma çamuru kullanılmasının, çamurun bertaraf edilmesinde çok uygun bir yol olduğu ifade edilmiştir (Mondal *et al.* 2015; Outhman 2016). Poggere *et al.* (2019) tarafından da arıtma çamurunun toprak düzenleyici ve bitkiler için besin kaynağı olarak topraklara uygulanmasının üzerinde en çok çalışılan seçenek haline geldiği belirtilmiştir. Yine Mondal *et al.* (2015)'da atıkların tarımda ve arazi ıslahında kullanılmasını, hem toprağın korunması, hem de atık bertarafı için önemi giderek artan bir konu olarak tanımlamıştır. Ayrıca Filho *et al.* (2010)'da tarımsal geri dönüşümünün arıtma çamurunun teknik, ekonomik ve çevresel açıdan bertaraf edilmesinin daha uygun bir yolu olduğu vurgulanmıştır.

Arıtma tesislerinden çıkan ham arıtma çamurlarının % 99,9 'u su ve % 0,1'i katılardan, katıların da % 70'i organik, % 30'u inorganik maddelerden oluşmaktadır (Filho *et al.* 2010). von Spreling and Andreoli (2007)'de genel olarak arıtma tesisine giren atık suyun % 1-2 'sini çamurun oluşturduğunu ifade etmiştir. Ham haldeki bu çamurların depolama alanına veya kullanıma gönderilmeden önce arıtma tesislerinde stabilize edilerek biyokatı haline dönüştürülmesi sağlanmaktadır. Stabilizasyonun amacı, arıtma çamurundaki aktif organik bileşikleri biyolojik-kimyasal işlemlerle gidererek koku yaymayacak, çürümeyecek ve bozulmayacak forma dönüştürmektir. Bu amaçla pratikte kireçle stabilizasyon, termal kurutma, anaerobik veya aerobik çürütme ve kompostlaştırma şeklinde çeşitli stabilizasyon metotları uygulanmaktadır (Göçmez 2006; Öztürk vd 2015). Kompostlaştırılmış artıma çamuru toprağın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerinde olumlu etkileri olan yüksek miktarda organik madde sağlamaktadır

(Gascó *et al.* 2005). Stabilize arıtma çamurları, yüksek oranda organik madde yanında, toprak verimliliği veya bitki beslenmesi açısından önemli olan azot, fosfor, potasyum ve ayrıca eser elementleri de içermektedir (Angin 2016). Bu durumda topraklara stabilize arıtma çamurlarının karıştırılması ile toprakların fiziksel özellikleri yanında kimyasal ve biyolojik özelliklerini de iyileştirebilmektedir (Özyazıcı 2013). Toprakta organik madde artışı agregat stabilitesini doğrudan etkilemektedir (Yılmaz vd 2005). Agregat stabilitesi ve büyüklüğünde olabilecek değişimler de, gözenek büyüklük dağılımı üzerine etki ederek infiltrasyonda önemli değişmelere yol açabilmektedir. Özellikle de ince bünyeli killi topraklarda drenaj ve havalanmayı sağlayan makro gözeneklerin oranının artırılması, geçirgenliğin artırılmasında en önemli etkiyi oluşturmaktadır.

Birçok çalışma, arıtma çamurlarının kullanılmasıyla toprakların hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi, kolay alınabilir su içeriği, kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, havalanma, infiltrasyon gibi fiziksel ve hidrolik özelliklerinin geliştirilebildiğini ortaya koymuştur (Sort and Alcaniz 1999; Aggelides and Londra 2000; Sahin *et al.* 2008; Shirani vd 2010; Angin and Yaganoglu 2011; Mondal *et al.* 2015; Ors *et al.* 2015; Fan *et al.* 2016; Outhman 2016; Cherfouh *et al.* 2018; Norouzian *et al.* 2018). Ancak, Filho *et al.* (2010) tarafından belirtilen toprağın organik madde içeriğinin artırılmasının kolloidleri iterek kil dispersiyonuna neden olan aşırı negatif elektrik yükleri oluşturabileceği riski de göz önüne alınmalıdır. Yine arıtma çamuru, uygulandığı topraktaki bitkiler için toksik tehdit oluşturabilecek yüksek metal ve çözünür tuz içeriğine de sahip olabilmektedir (Gascó *et al.* 2005; da Silva *et al.* 2007). Ayrıca arıtma çamuru, toprak mikrobiyal topluluklarını ve ekosistem fonksiyonlarını sürdürmek için gerekli olan süreçleri etkileyebilecek kirletici maddeler de içerebilmektedir (da Silva *et al.* 2007; Mondal *et al.* 2015). Arıtma çamurunun insanlarda, hayvanlarda ve bitkilerin sağlığında potansiyel tehlikelere yol açabilecek içerikleri, parazitik helmintlerin yanı sıra patojen bakteriler, virüsler ve protozoalar olarak tanımlanmıştır (Pescod 1992).

Türkiye İstatistik Kurumu 2016 yılı atıksu istatistiklerine göre evsel-kentsel kaynaklı arıtma çamuru miktarının günlük yaklaşık 4033 ton olduğu ve dolayısıyla 2016 yılında atıksu arıtma tesislerinden toplam 1 472 045 ton çamur üretiminin gerçekleştirildiği tahmin edilmektedir (Anonim 2018). Brezilya, Ürdün, Meksika ve Türkiye gibi ülkelerde

tarımda biyokatıların kullanımının çok fazla olmadığı (< % 5), ancak arıtma çamurunu daha fazla kullanan Japonya, Hollanda, İsviçre, Avusturya ve Almanya'da ise tarımsal kullanımların kirletici maddelerle ilgili endişeler nedeniyle azaldığı ifade edilmektedir (Mateo-Sagasta *et al.* 2015). Dolayısıyla arıtma çamurlarının iyi bir toprak düzenleyicisi olması söz konusu iken, içeriklerine uyulmadan kullanıldıklarında kolayca ciddi çevresel sorunlar da oluşturabilmektedir (Muyen and Wrigley 2016). Bazı ülkelerde toprak, bitki örtüsü, hayvanlar ve insanlar üzerinde zararlı etkilerden kaçınmak için tarımda arıtma çamuru kullanımını standartları oluşturulmuştur. Türkiye’de de arıtma çamuru kullanımına 3 Ağustos 2010 tarih ve 27661 sayılı Resmi Gazetede yayımlanmış olan” Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” ile düzenleme getirilmiştir (Anonim 2010). Bu yönetmelikle ham çamurun kullanılması yasaklanırken, topraklara uygulanabilmesi için stabilize arıtma çamurunda organik madde içeriğinin de >% 40 olması gerektiği belirtilmiştir. Yine arıtma çamurlarının kullanımı ile sınırlamalardan FAO kaynaklarında da geniş şekilde bahsedilmiştir (Pescod 1992).

2.2. Temiz ve Atık Su Kaynakları

Dünyada tahmini olarak 1400 milyon km³ su bulunmakta, ancak bu büyük miktarın sadece % 0,003’ü, yaklaşık 45 000 km³’ü içme, hijyen, tarım ve sanayi için kullanılabilecek temiz (tatlı) su kaynaklarını oluşturmaktadır (FAO 2017). Temiz su kaynaklarının ortalama % 70’i hatta bazı ülkelerde veya bölgelerde daha fazlası tarımsal sulamada kullanılmaktadır (Kameli *et al.* 2017). Son 30 yılda, gıda üretimi yüzde 100’den fazla artmıştır. FAO, artış gösteren küresel nüfusun beslenme gereksinimlerini karşılamak için 2050 yılına kadar yaklaşık % 60 daha fazla gıdaya gereksinim duyulacağını tahmin etmektedir (FAO 2017). Bu nedenle su talebinin yükseleceğini ifade eden FAO, sulanan koşullarda gıda üretiminin 2050 yılına kadar % 50’den daha fazla artacağını, ancak tarımsal sulama için gereksinilen su miktarının, sulama uygulamalarının iyileştirilmesi ve verimin artması koşuluyla, sadece % 10 artabileceğini öngörmektedir.

Dünyada artan nüfusun gıda gereksiniminin karşılanmasında temiz su kaynakları giderek yetersiz kaldığından, arıtılmış atık suların tarımsal sulamada kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Dolayısıyla su kaynaklarının azlığı, geri dönüşümlü atık suları uygun bir

kaynak alternatifi olarak giderek daha fazla teşvik etmiştir (Cherfouh *et al.* 2018). Bu durum kurak ve yarı kurak bölgelerde sulama için temiz su kullanımının optimize edilmesine de katkıda bulunmakta, böylece tatlı su kullanımındaki azalmanın yanı sıra, atık suların tatlı su ekosistemlerine deşarjını da azaltarak çevresel katkı yanında toprağı organik madde, makro ve mikro besinlerle de zenginleştirebilmektedir (Abd-Elwahed 2018).

Atık suyun toprağı uygulanması durumunda ortamda farklı biyolojik, fiziksel ve kimyasal etkileri söz konusu olmaktadır. Özellikle uzun süre atık su uygulaması, toprak özelliklerini kalıcı olarak değıştirebilmektedir. Toprak yapısı, toprak porozitesi ve toprak gözenek büyüklük dağılımı gibi atık su ile sulanan toprağın fiziksel özelliklerinde oluşan değışiklikler infiltre olan çözeltilerin bileşimindeki farklılıkların bir sonucu olarak ortaya çıkabilmektedir. Dolayısıyla atık su sulamasına toprak tepkisi, kullanılan atık suyun kalitesine bağılıdır. Toprağın hidrolik özelliklerine göre, su kalitesindeki bu farklılık, toprakta su hareketini etkileyebilmektedir (Razzaghi *et al.* 2016). Çalışmaların çoğı yağmur, yüzey akış veya atık su uygulamasından sonra toprak geçirgenliğinde önemli bir düşüş olduğunu belirtmektedir (Mamedov 2014).

Atık suyun temiz suya göre daha fazla çözünebilir tuzları içermesi, toprakta tuzluluk artışına veya diğerkatyonlara göre Na'un nisbi artışına yol açabilmektedir (Ganjegunte *et al.* 2018). Özellikle montmorillonit kil tipli topraklar Na'dan daha fazla etkilenmektedir (Warrence *et al.* 2002). Na artışı toprağın dağılmasını teşvik ederken, tuzluluk toprak topaklanmasını teşvik etmektedir. Dolayısıyla toprak suyu tuzluluğı, ince toprak partiküllerinin agregat halinde birbirine bağlanmasına neden olarak toprağın fiziksel özelliklerini geliştirebilmektedir. Bu işlem flokülasyon olarak bilinir ve toprak havalanması, kök penetrasyonu ve kök büyümesi açısından faydalıdır (Warrence *et al.* 2002). Bu durumda atık suların sulamada kullanılmasıyla, tuzluğun artması genel tuzluluktan kaynaklanan toprak geçirgenliğı artırılmasını olası kılmaktadır (Koç 2011). Sorunlu toprakların iyileştirilmesine yönelik olarak, atık suların kullanım etkinliğini gösteren bazı çalışma bulguları da bu tespiti desteklemektedir (Chaganti *et al.* 2015; Kameli *et al.* 2017).

Küresel olarak, tarımda yeniden kullanım için mevcut kentsel atık su hacmi az olmasına karşın, yerel düzeyde, özellikle kurak ve yarı kurak alanlarda potansiyel olarak önemli olabilmektedir (FAO 2017). Global ölçekte belediye ve sanayi atıkları ile drenaj suyu şeklinde çevreye yılda 2212 milyar m³ atık su bırakılmaktadır (Anonim 2017). Türkiye’de atık suların arıtımında başta kentler gibi yoğun nüfus bölgeleri olmak üzere, çoğu bölgede çok sayıda arıtım tesisi aktif olarak faaliyet göstermektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2016 yılı verilerine göre 881 adet (biyolojik arıtma: 492, doğal arıtma: 199, gelişmiş arıtma: 135 ve fiziksel arıtma:55) atık su arıtma tesisiyle Türkiye’de yıllık olarak arıtılan atık suyun miktarı 3,842 milyar m³’tür. Genel olarak doğal temiz sulara göre tuz içeriği daha fazla olan ancak bitki besleme parametreleri açısından üstünlükleri bulunan bu suların göz önüne alınabilecek miktardaki mevcut potansiyeli, özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde temiz su kaynaklarının yetersizliğine bağlı olarak tarımsal alanlarda kullanımını zorunlu kılmaktadır.

2.3. Sulama Aralığı

Sulama aralığı, iki ardışık sulama arasındaki zaman aralığını ifade etmektedir. Çoğunlukla sulama, toprak neminin yarısının tükenmesinden sonra yapılırsa da, sulama aralığının bitkinin su stresi çekmeyeceği şekilde ayarlanması önemlidir. Su, özellikle killi toprakların büzülüp-şişmesi ile çatlakları yönlendiren ana faktör olduğundan, sulama rejimi de toprak kil içeriği kadar önemlidir. Montmorillonit ve illit gibi yüksek oranda hidrofilik kil minerallerini içeren topraklar su aldığı anda ve kurduğunda belirgin şişme veya büzülme özellikleri göstermektedir (Ye *et al.* 2018). Islanma-kuruma döngüleri sırasında, ortaya çıkan çatlakların artması, su ve besin maddelerinin alt toprağa sızmasına izin vererek, daha yüksek penetrasyon oranına neden olmaktadır. Aşağı kök bölgesine bu şekilde suyun süzülmesi, suyu ve besin maddelerine sığ köklerin erişmesini azaltarak su verimliliğinde azalmalara neden olmaktadır. Ayrıca, kuruma çatlakları, suyun çatlamış topraklardan buharlaşmasını arttırmak için ikincil buharlaşma plakaları olarak işlev görmektedir, su kullanım verimini iyice düşürebilmektedir (Hamoud *et al.* 2018).

Islanma-kuruma süreçleri sırasında ortaya çıkan iç kuvvetlerle topraklarda hacimsel değişimler söz konusu olmaktadır (Aksakal 2004). Topraklarda ıslanma ve kurumaya bağlı üniform olmayan şişme ve büzülme, özellikle keseklerin parçalanmalarına yol

açmaktadır (Özdemir ve Canpolat 1997). Agregatların dayanıklılığı ve toprakların strüktürünün oluşumunu ve tahribini de ıslanma-kuruma döngüleri dinamik bir şekilde etkilemektedir. Bazı çalışmalarda ıslanma-kuruma döngülerinin agregat stabilitesini artırdığı, bazılarında azalttığı ve bazılarında ise durumun karmaşık olduğu ifade edilmiştir (Yılmaz vd. 2005; Bal 2010; Parlak vd 2014).

Agregat stabilitesini etkileyen faktörler arasında sayılan toprak tekstürü, organik madde, atık suya bağlı gelişebilecek durum (mikrobiyal faaliyet, tuzluluk) ve ıslanma-kuruma olaylarının birbirleriyle etkileşimleri göz önüne alındığında, agregat stabilitesinin dolayısıyla geçirgenliğin nasıl değişeceğinin belirlenmesi önemli olmaktadır. Abu and Malgwi (2012) kumlu killi tınlı toprakta artan sulama aralıklarında tarla kapasitesinde tutulan nem, infiltrasyon hızı, toplam porozite ve mikro porozite de önemli artışlar, hacim ağırlığında azalışlar belirlerken, makro porozite de ise değişim olmadığını gözlemlemiştir. Rajaram and Erbach (1999) toprak sertliği ve agregat boyutunun, kuruma stres seviyesi ile arttığını ancak bu koşulda toprağın kütle yoğunluğunun önemli ölçüde değişmediğini belirlemiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Drenaj laboratuvarında yürütülmüştür (Şekil 3.1). Laboratuvar ortamının deneme periyodunda ortalama sıcaklığı 24 ± 3 °C ve nispi nemi $< \% 40$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.1. Denemeden bir görünüş

3.1. Deneme Deseni ve Uygulamalar

Üç farklı dozda stabilize arıtma çamuru karıştırılmış killi bir toprakta temiz su ve arıtılmış atık sularla, 3 farklı aralıkla sulama uygulamalarının etkileri, faktöriyel düzenleme ($3 \times 2 \times 3$) tam şansa bağlı deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuş bir denemeyle araştırılmıştır. Deneme faktörlerine ilişkin detaylar aşağıda verilmiştir.

Stabilize arıtma çamuru dozları (ana konu):

- 1) 50 t/ha
- 2) 100 t/ha
- 3) 150 t/ha

Su tipleri:

- 1) Temiz su
- 2) Arıtılmış atık su

Sulama aralıkları:

- 1) 4 günde bir sulama
- 2) 8 günde bir sulama
- 3) 12 günde bir sulama

Yine arıtma çamuru içermeyen (0 t/ha) ve sulama işlemine tabi tutulmayan kontrol konusu da 3 tekerrürlü olarak denemede yer almıştır.

Deneme materyallerinin genel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiş olan ince bünyeli (killi) toprak, Erzurum Daphan ovasının tarımsal üretim yapılan uygun bir bölgesinden 30 cm’lik derinliği temsil edecek şekilde üst katmandan sağlanmıştır.

Çizelge 3.1. Toprak ve stabilize arıtma çamurunun bazı kalite analiz sonuçları

Parametre	Toprak	Arıtma çamuru
Kil (%)	47,7	-
Silt (%)	18,8	-
Kum (%)	33,5	-
Bünye sınıfı	Kil	-
Agregat stabilitesi (%)	62,8	-
pH [#]	7,79	7,03
Elektriksel iletkenlik [#] (dS/m)	0,273	8,69
CaCO ₃ (%)	1,27	1,98
Organik madde (%)	2,87	40,5

[#] 1:2,5 saturasyon ekstraktında belirlenmiştir

Erzurum şehir merkezinin 25 km batısında, Aziziye ve Aşkale ilçeleri arasında yer alan Daphan ovası, Erzurum-Erzincan-Rize Karayolu üzerinde bulunmaktadır. İzdüşüm olarak yaklaşık 10 800 ha’lık bir alanı kaplamaktadır (Şahin ve Hanay 1995). Plato görünümünde olan ovanın büyük bölümü, gölsel üst miosen birikimleri üzerinde yer alan,

üst pliosen yaşlı aglomera, bazalt, tüfit, killi kireç taşı, kumtaşı ve çakıltası içerikli alüviyal ve kuzeyinde kalan bölümleri ise benzer içerikli kolüflüviyal materyallerden oluşmuştur (Akgül 1994). Ovanın bulunduğu bölgenin uzun yıllar (1929-2018) ortalama sıcaklığı 5,7 °C ve yıllık yağış miktarı 432 mm'dir. Yılın en soğuk ayı ocak (- 9,2 °C) ve en sıcak ayı ağustos'tur (19,5 °C). En fazla yağış 73,8 mm ile mayıs ayında en az 17,7 mm ile ağustos ayında düşmektedir (Anonim 2019). Bölgede yıllık ortalama bağıl nem % 64 ve yıllık toplam buharlaşma ise 1059 mm'dir (Kızıloğlu vd 2018).

Deneme materyali toprağın kil tipi montmorillonit'tir (Ergene 1993). Araziden derlenen toprak laboratuvara getirilip hava kurusu duruma gelinceye kadar kurutulmuş, 1 cm'lik elekten elenerek denemeye hazır hale getirilmiştir. Laboratuvar ortamında elenen toprak 50, 100 ve 150 ton/ha dozlarında (Sahin *et al.* 2008; Ors *et al.* 2015) yine hava kurusu durumda ve 1 cm'lik elekten elenmiş stabilize arıtma çamuru ile homojen şekilde karıştırıldıktan sonra 25 cm çapındaki drenaj tipli plastik kaplara 15 cm derinliğinde yerleştirilmiştir. Drenajı kolaylaştırmak için kap tabanına 2-3 cm kum-çakıl malzeme serilmiştir. Toprak doldurma işleminde bütün kaplar 2,5 cm'den 20 kez düşürülerek eşit bir sıkıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Böylece 3 arıtma çamuru dozu, 2 su tipi, 3 sulama aralığı ve 3 tekrür olarak $3 \times 2 \times 3 \times 3 = 54$ kaba ilave olarak kontrol konusunun 3 tekrür ile birlikte toplam 57 kap hazırlanmıştır (Şekil 3.1). Toprak doldurulmuş kaplar daha sonra ıslatma leğenlerine yerleştirilmiş, leğenlere temiz su konularak alttan kapillariye yoluyla yüzeyde tam bir ıslanma sağlanıncaya kadar kaplar 2 gün leğenlerde bekletilmiştir. Islanma sonrası kaplar leğenlerden çıkarılarak serbest drenajı sağlanmış, yüzeyleri hava geçirmez şekilde streç filmle kaplanıp ve ışık geçirmeyecek şekilde de gazete kâğıdıyla örtülerek laboratuvar koşullarında en az bir ay süreyle inkübasyonda bekletilmiştir (Şekil 3.2). Zaman içerisinde kaplar kontrol edilmiş, topraklarda bir kuruma olup olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 3.2. İnkübasyon aşamasından bir görünüm

İnkübasyon sonrası yaklaşık tarla kapasitesinde nem içeren toprakla dolu kapların başlangıç ağırlıkları tartılarak belirlenmiştir (Şekil 3.3). Sonrasında 3 farklı sulama aralığı göz önüne alınarak ıslanma-kuruma süreçlerine geçilmiştir.



Şekil 3.3. Kapların tartılması

Topraklara, ıslatma aşamasında özellikleri Çizelge 3.2’ de verilen temiz su veya arıtılmış atık su uygulanarak 4, 8 ve 12 gün aralıklar için sırasıyla toplamda 12, 6 ve 4 kez sulama (ıslatma) uygulanmıştır. Verilecek su miktarları için, sulama zamanı gelen kapların tartımıyla başlangıca göre eksilen nemler göz önüne alınmıştır. Bu amaçla, her bir sulama aralığında, temiz su ile sulanan kaplar (her sulama aralığında 9 kap) tartılıp ortalaması alınmıştır. Eksilen nemler hem temiz ve hem de atık suyla sulanan kaplara aynı miktarlarda uygulanmıştır. Böylece ıslanma-kuruma sürecinde her kaba 4, 8 ve 12 gün aralıklarla toplamda sırasıyla 3,59 litre (73,3 mm), 3,66 litre (74.7 mm) ve 3,40 litre (69,4 mm) sulama suyu uygulanmıştır. Sulama uygulamaları toprak yüzeyinden, süzgeçli bir su kabıyla kontrollü olarak düşük hızlarda gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.2. Sulama sularının bazı kalite analiz sonuçları

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

Stabilize arıtma çamuru ve yıkama suyu Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı'na bağlı Erzurum-İlca'da yer alan atık su arıtım tesisinden temin edilmiştir (Şekil 3.4). Denemenin yürütüldüğü laboratuvara yaklaşık 15 km uzaklıkta bulunan Erzurum Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi, Biyolojik Proses Havuzlarında max. 130 000 m³/gün atıksu debisini arıtabilecek biçimde planlanmıştır (Anonim 2016). 423 000 merkez nüfuslu Erzurum ilinin kentsel atık suyu, İl sanayisi az sayıda gıda (et ve süt ürünleri) tesisi dışında gelişmemiş olduğundan, daha çok evsel atık kaynaklı olmakta, dolayısıyla atık su ve çamurun kalite özelliklerinde yıl boyunca yaklaşık bir kararlılık görülmektedir. Erzurum ili Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı kalite analiz sonuçları da bu durumu teyit etmekte ve ayrıca ağır metal ve organizma kirliliği açısından da risk seviyesinin kirlilik üst sınır değerleri dikkate alındığında düşük olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca Çizelge 3.2'deki analiz sonuçlarına göre de arıtılmış atık suların pH, elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranı değerlerinin sulama açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür (Ayers and Westcot 1985; Kanber ve Ünlü 2010).



Şekil 3.4. Erzurum kentsel atık su arıtma tesisi (<http://www.eski.gov.tr/atesis/> 22.06.2019)

3.2. Analiz ve Ölçümler

Temiz su ve arıtılmış atık suda yapılan analizlerde; bu suların pH, elektriksel iletkenlik (EC), askıda katı madde, katyon (Na, Ca, Mg, K), anyon (CO_3 , HCO_3 , Cl, SO_4 , NO_3) içerikleri belirlenmiş, sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve Langelier saturasyon indeksi (LSI) hesaplanmıştır (Çizelge 3.2). Suların pH'sı pH-metre ve EC'si de EC-metre ile doğrudan ölçülmüştür (Tüzüner 1990). Askıda katı madde içeriği Whatman filtre kâğıdında suyun süzdürülerek biriken katı materyalin fırında kurutulup tartılmasıyla (APHA 1995), NO_3 , Dionex ICS 3000 iyon kromatografi cihazında EPA 300.1 yöntemiyle (EPA 1999), Ca ve Mg EDTA çözeltisi ile titrasyon yöntemiyle, Na ve K fleymfotometrik yöntemle göre (Eltan 1998), CO_3 ve HCO_3 sülfirik asitle yapılan titrasyonla, Cl potasyum kromat indikatörü kullanılarak gümüş nitrat çözeltisi ile titrasyonla (Tüzüner 1990), SO_4 baryum klorür çözeltisi kullanılarak spektrofotometrede ölçülmüştür (Eltan 1998). SAR değeri Na, Ca ve Mg içerikleri kullanılarak hesaplanmıştır (Kanber ve Ünlü 2010). LSI değeri ölçülen (gerçek) pH değerinden suyun kireç ile dengeye ulaştığındaki tepkimesi olan teorik pH (pH_c) değerinin çıkarılmasıyla hesaplanmıştır (Kanber vd 1992; Kanber ve Ünlü 2010).

Deneme sonunda toprakların bazı kimyasal (pH, EC, organik madde ve CaCO_3), fiziksel (kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite, drenaj ve havalanmayı sağlayan gözenek (makro porozite) miktarı ve ıslak agregat stabilitesi) ve hidrolik (infiltrasyon ve tarla kapasitesinde tutulan nem) özellikleri belirlenmiştir. Toprakların pH'sı saturasyon ekstraktında (1:2,5) pH metre ile (McLean 1982) ve EC değeri de yine saturasyon ekstraktında (1:2,5) kondüktivimetre ile ölçülerek belirlenmiştir (Rhoades 1996). Organik maddenin belirlenmesinde Smith-Weldon yöntemi (Nelson and Sommers 1982), CaCO_3 'ün belirlenmesinde Scheibler kalsimetresi yöntemi (Nelson 1982) kullanılmıştır. Arıtma çamurunun Çizelge 3.2'de verilen pH, EC, organik madde ve CaCO_3 parametrelerine ilişkin kalite analizleri içinde topraklardaki analiz yöntemleri kullanılmıştır. Toprakların kütle yoğunluğu silindir yöntemiyle, tane yoğunluğu piknometre yöntemiyle (Şekil 3.5) (Blake and Hartge 1986), porozitesi kütle ve tane yoğunlukları kullanılarak hesaplama yoluyla (Danielson and Sutherland 1986) belirlenmiştir.



Şekil 3.5. Tane yoğunluğu analizi

Islak agregat stabilitesinin belirlenmesinde ıslak eleme yöntemi (Şekil 3.6) ve deneme öncesi toprağın tekstürünün belirlenmesinde Bouyoucos hidrometre yöntemi kullanılmıştır (Demiralay 1993).



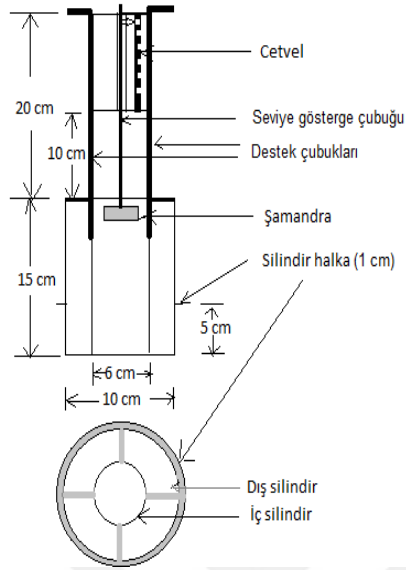
Şekil 3.6. Islak agregat stabilitesi analizi

Tarla kapasitesinde tutulan nem miktarının belirlenmesinde basınçlı membran aleti kullanılmıştır (Şekil 3.7). Bu amaçla bozulmamış örnek alma silindirleriyle kaplardan alınan örnekler satüre edilip 0.33 atm'lik basınçlı havaya tabi tutulmuştur (Klute 1986).



Şekil 3.7. Örneklerin saturasyonu ve basınç tablası

Drenaj ve havalanmayı sağlayan gözenek miktarı olarak teorik saturasyon noktası (porozite) ile hacimsel olarak tarla kapasitesi arasındaki gözenek hacmi (sızan suya karşılık gelen) göz önüne alınmıştır (Lawal and Lawal 2017). Deneme sonrasında bozulmuş ve bozulmamış örnekler alınmadan önce, toprakların infiltrasyon ölçümleri de yapılmıştır. Ölçümlerde, uygulamada hızlı ve pratik kullanım olanağı sağlayan metal çift silindirli infiltrometre (Turf-Tec Infiltrometer) boyutları göz önüne alınarak, ince krom malzemeden özel imal edilen infiltrometreler kullanılmıştır. İnfiltrometreler kapların merkezine yüzeyden 5 cm derinliğe kadar toprağa yerleştirilmiş, üst kısmına doldurulan temiz suyun zamanla toprağa giren miktarları 2 saat boyunca ölçülmüştür (Şekil 3.8). Ölçüm verileri Kostiakov modeli ile değerlendirilerek, kararlı (sabit) ve ortalama infiltrasyon hızları belirlenmiştir.



Şekil 3.8. İnfiltrometre düzeneği teknik detayları ve infiltrasyon ölçümleri

3.3. İstatistiksel Değerlendirmeler

Deneme sonrası ölçülmüş veriler SPSS (Ver. 20) programı kullanılarak varyans (ANOVA) analizine tabi tutulmuş, önemli ortalamalar Duncan çoklu karşılaştırma testiyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca regresyon modeliyle ikili ilişkiler araştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Toprak Kimyasal Özellikleri

Killi bir toprağa farklı dozlarda stabilize arıtma çamuru karıştırılmış koşullarda, temiz ve arıtılmış atık suların farklı aralıklarla uygulanmalarının etkileri değerlendirildiğinde, arıtma çamuru karıştırılmayan (0 t/ha) ve sulama yapılmayan duruma (kontrol konusu) göre pH değerleri azalırken EC, organik madde ve CaCO₃ içerikleri artmıştır (Çizelge 4.1).

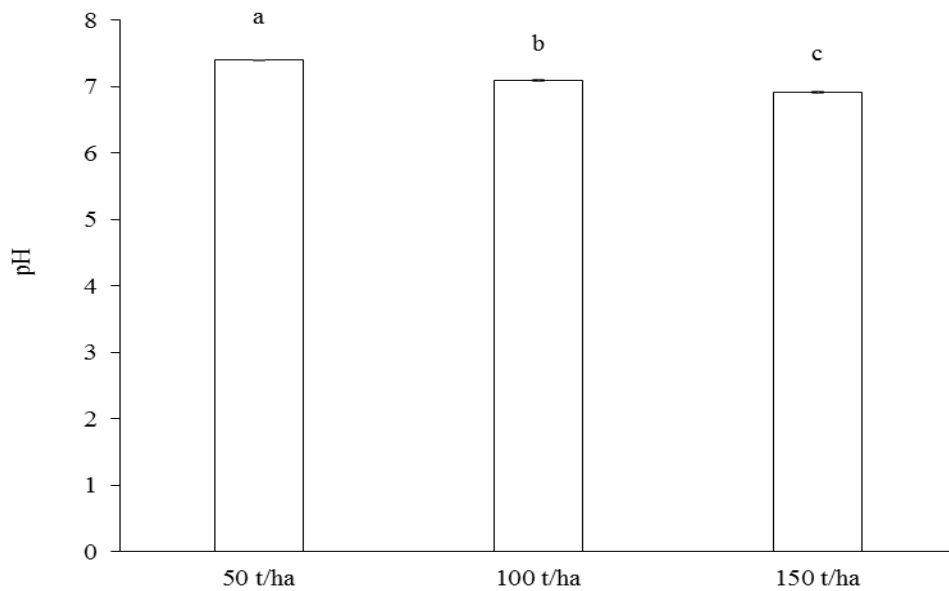
Çizelge 4.1. Toprak kimyasal özelliklerinin stabilize arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi

Doz	Su Tipi	Sulama Aralığı	pH	EC (dS/m)	Organik madde (%)	CaCO ₃ (%)
50 t/ha	TS	4 gün	7,47	1,115	3,21	1,33
		8 gün	7,33	1,061	3,33	1,35
		12 gün	7,38	1,286	3,31	1,40
	AS	4 gün	7,37	1,138	3,47	1,45
		8 gün	7,45	1,143	3,38	1,49
		12 gün	7,43	1,343	3,47	1,55
	<i>Ortalama</i>		7,41	1,181	3,36	1,43
	TS	4 gün	7,15	1,946	3,61	1,71
		8 gün	7,16	1,975	3,77	1,69
		12 gün	7,06	1,977	3,96	1,69
100 t/ha	AS	4 gün	7,07	2,253	3,44	1,82
		8 gün	7,07	2,216	3,65	1,85
		12 gün	7,08	2,189	3,79	1,82
	<i>Ortalama</i>		7,10	2,093	3,70	1,76
	TS	4 gün	6,94	2,360	4,24	1,99
		8 gün	6,87	2,390	4,59	2,02
		12 gün	6,96	2,374	4,33	2,06
	AS	4 gün	6,88	2,580	4,03	2,27
		8 gün	6,88	2,563	4,38	2,53
		12 gün	6,97	2,588	4,42	2,41
	<i>Ortalama</i>		6,92	2,476	4,33	2,21
Kontrol	-	-	7,85	0,240	2,89	1,18

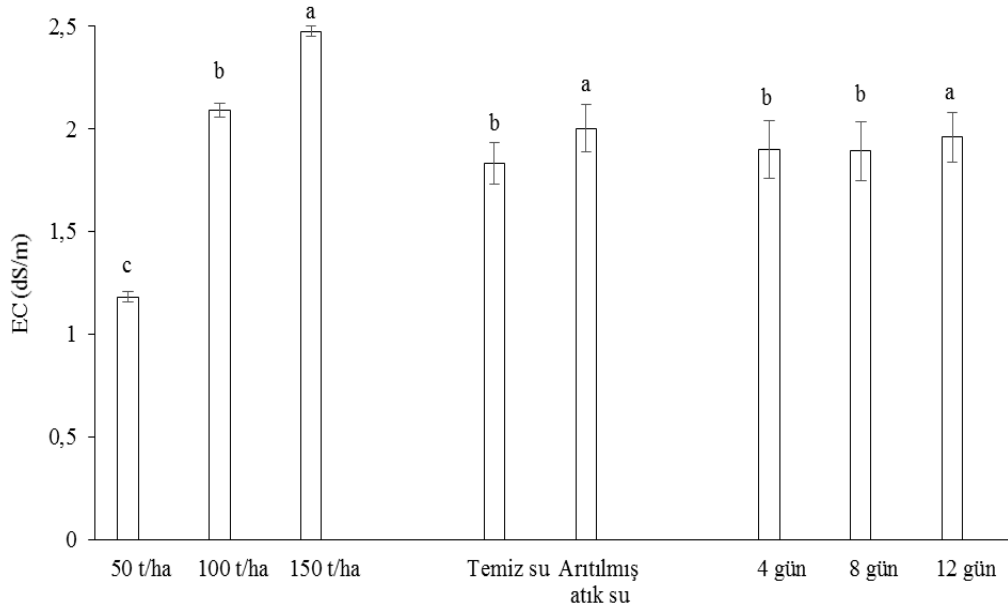
TS: Temiz Su; AS: Arıtılmış Atık Su

Bu değişimler denemede kullanılan arıtma çamurunun kimyasal özelliklerinden kaynaklanmıştır (Çizelge 3.1). Özellikle yüksek organik madde ve tuzluluk değerlerinin doğrudan etkileri söz konusu olmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlara benzer olarak Angin and Yaganoglu (2011) arıtma çamuru ilavesiyle toprakların pH değerlerinde düşüşler tespit ederken, organik madde, CaCO_3 ve tuzlulukta önemli artışlar belirlemişler ve bu sonuçların arıtma çamuru özellikleriyle ilgili olduğuna vurgu yapmışlardır. Yine, Veeresh *et al.* (2003) ve Singh and Agrawal (2008)'da arıtma çamuru ilavesinin pH'yı azaltabildiğini ve tuzlulukta da artışlar sağladığını ifade etmişlerdir.

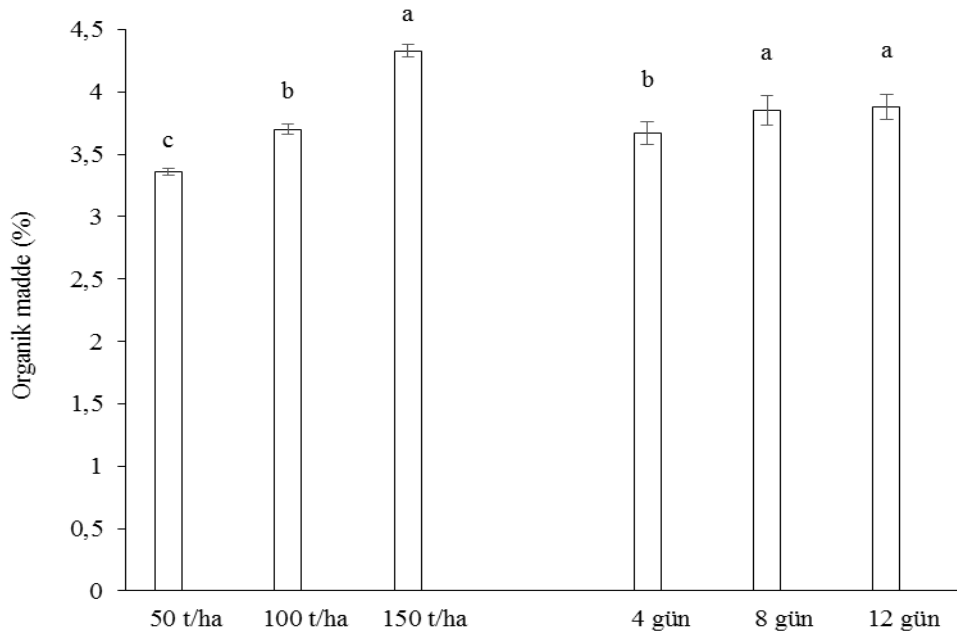
Doz artışıyla pH değerinde çok önemli seviyede ($p<0,01$) azalmalar olurken EC, organik madde ve CaCO_3 içeriklerinde de çok önemli seviyede ($p<0,01$) artışlar olmuştur. Yine su tipinin EC ve CaCO_3 içeriği ve sulama aralığının da EC ve organik madde içeriği üzerine çok önemli ($p<0,01$) ve önemli ($p<0,05$) etkileri olmuştur (EK 1, Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4)



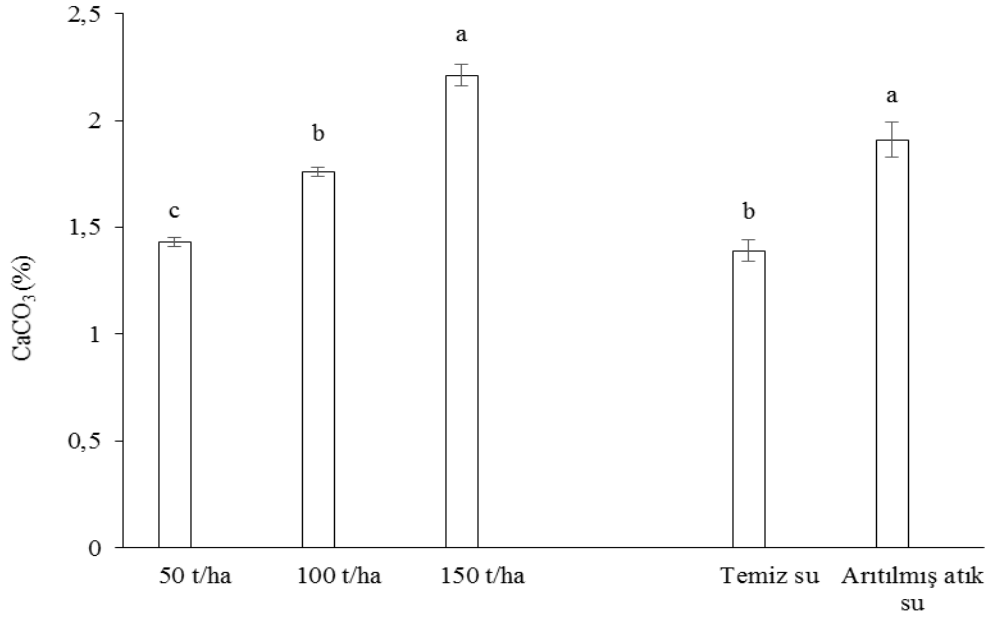
Şekil 4.1. pH değerinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi. Farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır



Şekil 4.2. Elektriksel iletkenliğin (EC) stabilize arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır

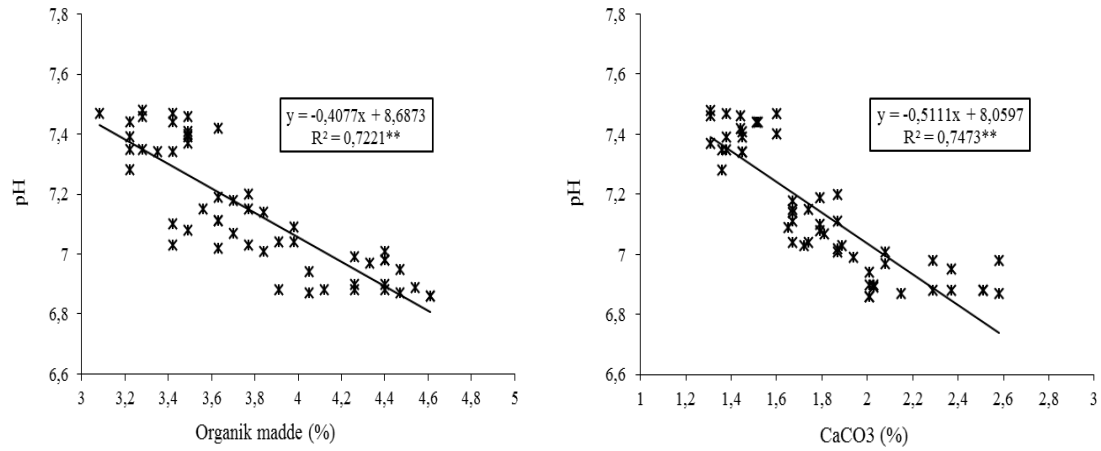


Şekil 4.3. Organik madde içeriğinin stabilize arıtma çamuru dozları ve sulama aralıklarıyla değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır



Şekil 4.4. CaCO₃ içeriğinin stabilize arıtma çamuru dozları ve su tipleriyle değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p < 0,05$) seviyesinde farklıdır

Arıtma çamuru uygulamaları sonucu tüm uygulamalarda pH değerleri kontrol konusu değerinden daha düşük bulunmuş ve oluşan fark doz artışıyla artmıştır (Çizelge 4.1). Toprak pH'sını etkileyen faktörler arasında organik madde ayrışması, NH₄ gübreleri, minerallerin ve ana materyallerin ayrışması, iklim ve arazi yönetimi uygulamaları bulunmaktadır (McCauley *et al.* 2009). Yürütülen bu çalışmada organik madde içeriğindeki artışla pH değerlerinde önemli seviyede ($p < 0,01$) doğrusal azalışlar tespit edilmiştir (Şekil 4.5). Karaca *et al.* (2018)'da benzer şekilde pH ile organik madde içeriği arasında önemli negatif korelasyon olduğunu belirtmiştir. Ortamdaki organik maddenin mineralizasyonu sonucu organik ve inorganik asitlerin oluşmasının pH'yı düşüren en önemli faktör olduğu bilinmektedir (Kiziloglu *et al.* 2008; Singh and Agrawal 2008; 2012; Czekala *et al.* 2010; Khurana and Singh 2012; Al Saadi and Al Wardy 2019). Yine arıtma çamuru içerisindeki NH₄'ün nitrifikasyonunun da pH'da azalış sağlayabildiği vurgulanmıştır (Hussein 2009; Dhillon *et al.* 2017). Yapılan birçok çalışmada da toprağa arıtma çamuru eklenmesiyle organik maddede artışlar gözlenirken, pH değerinde önemli düşüşler belirlenmiştir (Mazen *et al.* 2010; Fan *et al.* 2016).



Şekil 4.5. pH ile organik madde ve CaCO₃ içeriği ilişkisi. **: Çok önemli ($p < 0,01$)

Arıtma çamurunun yüksek tuz içeriği (Çizelge 3.1), doz artışıyla önemli miktarda tuzluluk artışını destekleyen ana faktör olmuştur. Geçmişte yapılmış birçok çalışmada da topraklara arıtma çamuru karıştırılmasıyla tuzlulukta artışlar olduğu ortaya konulmuştur (Hussein 2009; Angin and Yagaoglu 2011; Tziachris et al. 2017). Arıtılmış atık suyla sulama koşullarında tuzluluğun önemli seviyede artmış olması da kullanılan suyun temiz suya göre daha tuzlu olmasının sonucu olarak görülmüştür (Çizelge 3.2). Sodyum, Mg ve Ca gibi çözülebilir katyonların atık suda temiz suya göre daha yüksek oranda bulunması, bu sonucun ortaya çıkmasına katkı sağlamış olabilir (Galavi et al. 2010). Kiziloglu et al. (2008), Tunc and Sahin (2015, 2016, 2017) yaptıkları çalışmada atık su uygulanmış koşullarda temiz suya göre toprak tuzluluğunda artışlar tespit etmişlerdir.

Toprak organik madde içeriğindeki değişimler, çamur içeriğine ve uygulama oranına bağlı olarak değişmektedir (Czekala et al. 2010). Doz artışına bağlı olarak organik madde içeriğinde çok önemli ($p < 0,01$) artışlar olmuştur (EK 1, Şekil 4.3). Dolayısıyla artan dozlarda organik maddenin artış göstermesi, arıtma çamurunun yüksek organik madde içeriğinden (% 40,5) kaynaklanmıştır (Çizelge 3.1). 50, 100 ve 150 t/ha uygulama dozlarında kontrol konusuna göre artış oranları sırasıyla % 16,3, % 28 ve % 49,8 olarak gerçekleşmiştir. Çok sayıda çalışmada da arıtma çamuru doz artışıyla organik madde içeriğinde önemli artışlar gözlenmiştir (Tsadilas et al. 2005; Hussein et al. 2009; Mazen et al. 2010; Salhab 2014; Muyen and Wringley 2016; Carabassa et al. 2018).

Toprak sıcaklığı ve nemin, toprak organik madde ayrışma sürecinde diğer faktörlerden daha çok öneme sahip olduğu bilinmektedir (Dan *et al.* 2016). Organik madde ayrışması, sulu topraklarda daha fazla gerçekleşmektedir (McCauley *et al.* 2009). Bu durumda, Şekil 4.3'den görüleceği gibi, artan sulama aralığında organik maddenin daha fazla birikmiş olması, organik maddenin daha uzun süreli kuru kalınan koşullarda daha az ayrışmasıyla açıklanabilir. Paul *et al.* (2003), toprak nemi ile toprak organik madde ayrışma hızını başarılı şekilde simüle etmek için doğrusal ve sigmoidal fonksiyonları kullanmışlardır.

CaCO_3 içeriğindeki artışta da arıtma çamuru doz artışının çok önemli etkisi tespit edilmiştir (EK 1, Şekil 4.4). CaCO_3 içeriklerinde doz artışıyla yükselme görülmesi, arıtma çamurunun kireç içeriğinden kaynaklı olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 3.2). Kontrol konusu CaCO_3 içeriğine göre artış oranları 50, 100 ve 150 t/ha doz uygulamalarında sırasıyla % 21,2, % 49,2 ve % 87,3 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.1). Benzer olarak Angin and Yaganoglu (2011) arıtma çamurunun doz artışıyla toprak CaCO_3 içeriğinde çok önemli artışlar belirlemişlerdir. Yine su tipine bağlı olarak da arıtılmış atık suyun uygulandığı koşullarda CaCO_3 içeriği çok önemli seviyede artmıştır (EK 1, Şekil 4.4). Yapılan hesaplamalar sonucu suyun teorik pH (pH_c) değerine bağlı olarak Langelier saturasyon indeksi (LSI) değeri pozitif olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Kanber ve Ünlü (2010), pozitif LSI değerlerinde suyun kireci çökelteceğini ifade etmiştir. Dolayısıyla arıtılmış atık su uygulanan koşullarda CaCO_3 artışı, kirecin çökmesiyle açıklanabilmektedir.

pH değerleri ile CaCO_3 içeriği arasında da önemli ($p < 0,01$) doğrusal negatif ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.5). Bu durumda kireç artışının pH'yı artırması beklenirse de, organik maddenin daha yoğun olarak ortama girmesi ve mineralizasyonunun etkisiyle kirecin toprak pH'sını artırma etkisinin baskılandığı anlamı ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde Moreira *et al.* (2013) tarafından da çamur uygulamasının, atıkdaki kireçten dolayı toprak pH'ı sını artırdığı, ancak atığın organik fraksiyonunun biyo-bozunması işlemi sırasında organik asitlerin üretilmesi ve nitrifikasyondan dolayı, toprağın asitleşmesine daha fazla katkıda bulunulabileceği ifade edilmiştir.

4.2. Toprak Fiziksel Özellikleri

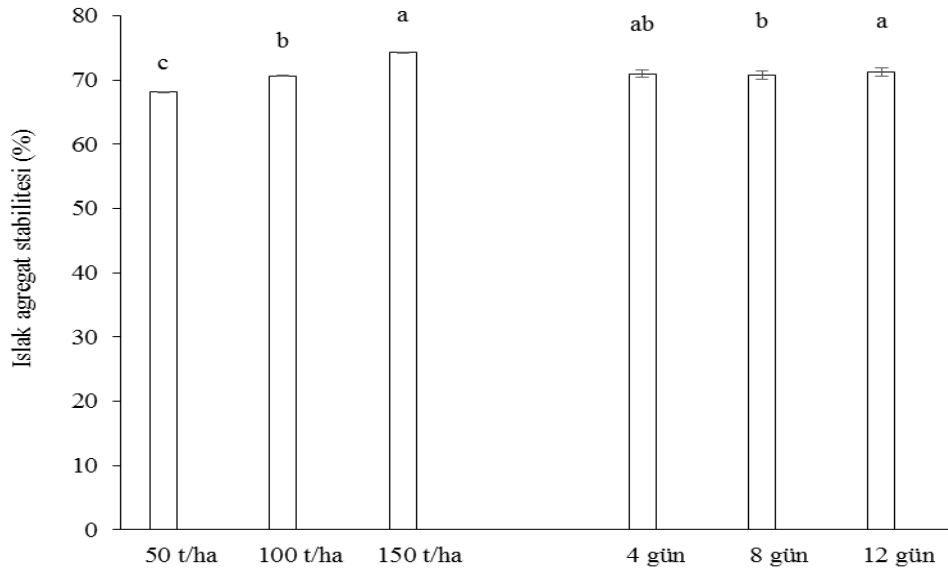
Denemeler sonrası yapılan ölçümlerde kontrol konusuna göre toprakların ıslak agregat stabilitesi, porozite ve makro porozite değerlerinde artışlar görülürken, kütle yoğunluğu ve tane yoğunluğu değerleri azalmıştır (Çizelge 4.2). Bu değişimlerde, yüksek organik madde içerikli arıtma çamuru karıştırılmasının ana faktör olduğu ifade edilebilir (Çizelge 3.1). Daha önce yapılan çalışmalarda da organik madde karıştırılmasıyla bahsedilen özelliklerde önemli iyileşmeler belirlendiği görülmüştür (Singh and Agrawal 2008; Mondal *et al.* 2015; Yazdanpanah *et al.* 2016; Mujdeci *et al.* 2017).

Çizelge 4.2. Toprak fiziksel özelliklerinin stabilize arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi

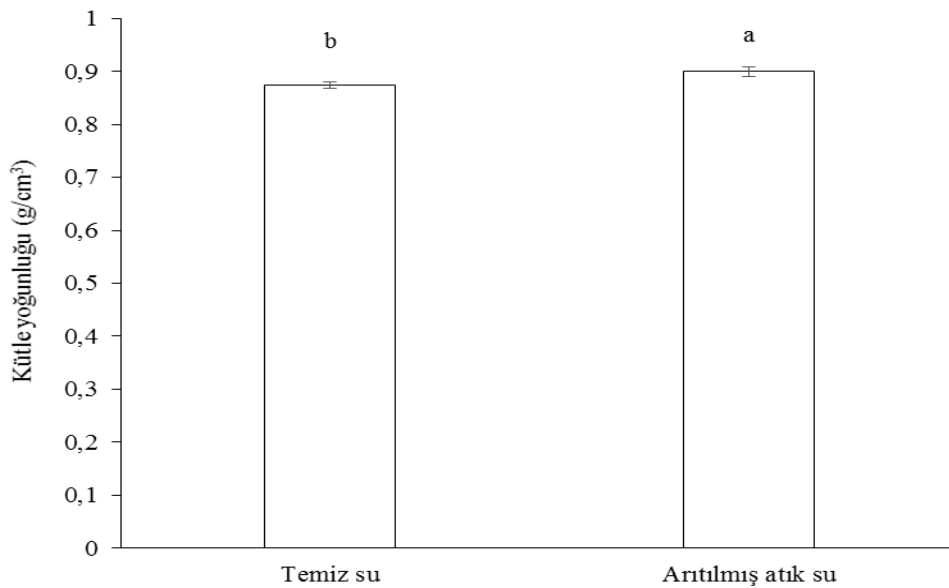
Doz	Su Tipi	Sulama Aralığı	Islak agregat stabilitesi (%)	Kütle yoğunluğu (g/cm ³)	Tane yoğunluğu	Porozite (%)	Makro porozite (%)	
50 t/ha	TS	4 gün	68,5	0,854	2,644	67,7	30,5	
		8 gün	67,8	0,870	2,643	67,1	29,4	
		12 gün	68,1	0,887	2,643	66,5	28,1	
	AS	4 gün	68,2	0,898	2,645	66,1	27,8	
		8 gün	67,8	0,942	2,644	64,4	26,0	
		12 gün	68,4	0,876	2,641	66,9	28,0	
	Ortalama		68,1	0,888	2,643	66,5	28,3	
	100 t/ha	TS	4 gün	70,3	0,876	2,635	66,8	28,6
			8 gün	70,6	0,885	2,633	66,4	28,2
12 gün			70,7	0,862	2,630	67,2	28,9	
AS		4 gün	70,7	0,909	2,636	65,5	28,4	
		8 gün	70,3	0,873	2,631	66,8	29,1	
		12 gün	70,8	0,911	2,629	65,4	27,6	
Ortalama		70,6	0,886	2,632	66,4	28,5		
150 t/ha		TS	4 gün	74,4	0,894	2,620	65,9	28,8
			8 gün	74,1	0,858	2,616	67,2	28,1
	12 gün		74,8	0,884	2,607	66,1	26,6	
	AS	4 gün	74,0	0,901	2,613	65,5	25,9	
		8 gün	74,1	0,885	2,608	66,1	25,3	
		12 gün	74,6	0,904	2,610	65,4	24,5	
	Ortalama		74,3	0,888	2,612	66,0	26,5	
	Kontrol	-	-	63,2	0,960	2,657	65,0	26,0

TS: Temiz Su; AS: Arıtılmış Atık Su

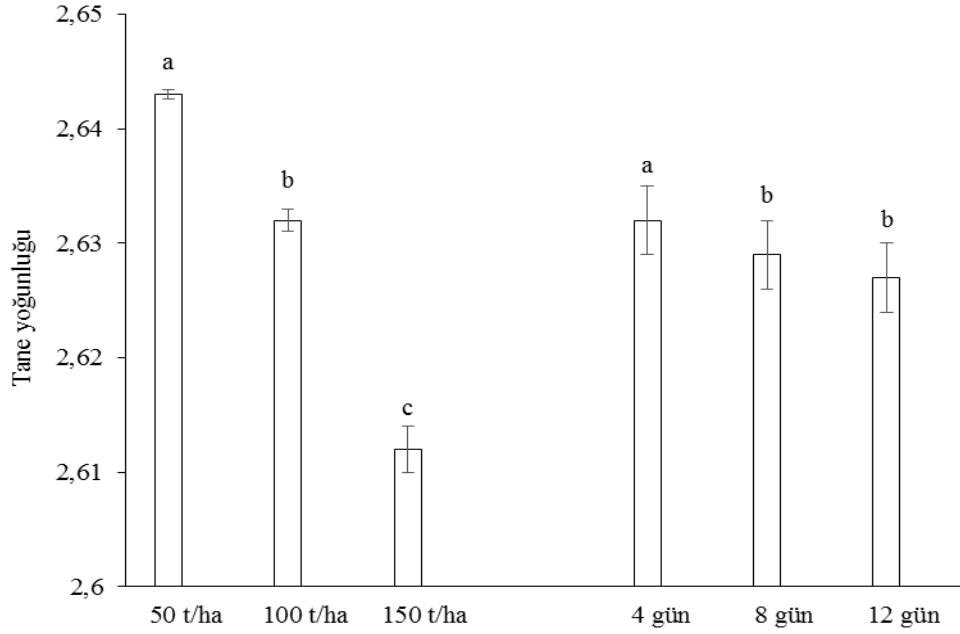
Arıtma çamuru dozları ve sulama aralıklarının ıslak agregat stabilitesi ve tane yoğunluğu üzerine, su tiplerinin de kütle yoğunluğu, porozite ve makro porozite üzerine çok önemli ($p<0,01$) ve önemli ($p<0,05$) etkileri söz konusu olmuştur (EK 2, Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9).



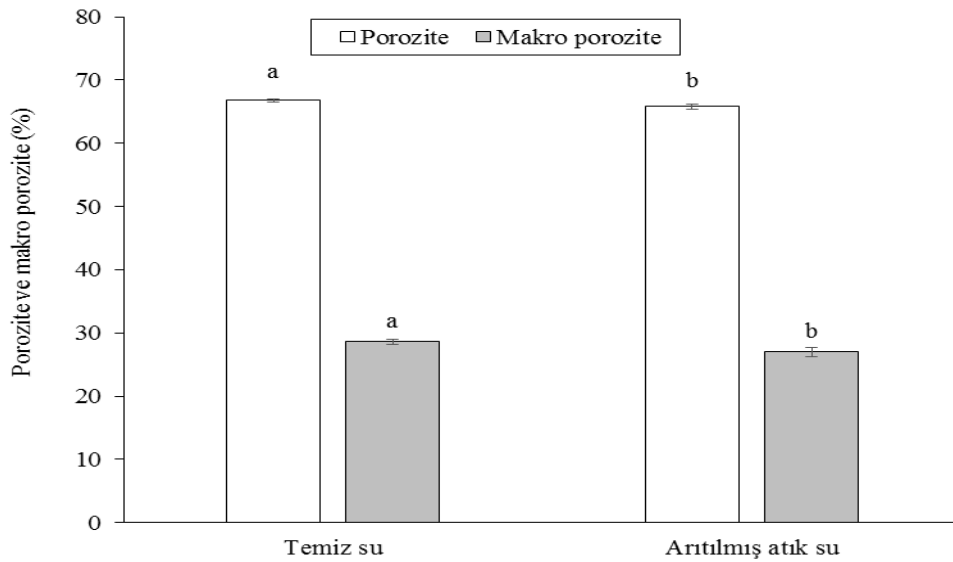
Şekil 4.6. Islak agregat stabilitesinin stabilize arıtma çamuru dozları ve sulama aralıklarıyla değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır



Şekil 4.7. Kütle yoğunluğunun su tipleriyle değişimi. Farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p<0,05$) seviyesinde farklıdır

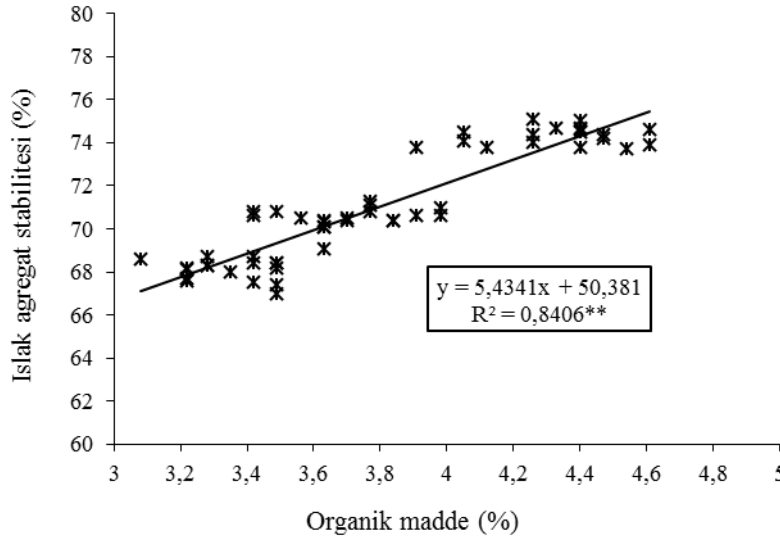


Şekil 4.8. Tane yoğunluğunun stabilize arıtma çamuru dozları ve sulama aralıklarıyla değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p < 0,05$) seviyesinde farklıdır



Şekil 4.9. Porozite ve makro porozitenin su tipleriyle değişimi. Her bir parametre için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p < 0,05$) seviyesinde farklıdır

Islak agregat stabilitesi değerleri (Çizelge 4.2) 50, 100 ve 150 t/ha arıtma çamuru dozlarında kontrol konusu değerine göre sırasıyla % 7,6, % 11,5 ve % 17,4 oranında artışlar sağlamıştır (Şekil 4.6). Arıtma çamuruyla toprağa organik madde ilavesinin daha yüksek ıslak agregat stabilitesi değerinin elde edilmesinde başlıca faktör olduğu çok sayıda araştırmacının tespitleri arasında yer almaktadır (Singh and Agrawal 2008; Annabi *et al.* 2011; Gupta *et al.* 2014; Mondal *et al.* 2015; Yazdanpanah *et al.* 2016). Yürütülen bu çalışmada organik madde artışıyla agregat stabilitesi artışı arasında yüksek seviyede ($p<0,01$) doğrusal pozitif ilişki bulunmuş olması önemli olmuştur (Şekil 4.10). Benzer şekilde Giglo *et al.* (2014) ve Hrabovska *et al.* (2014) organik madde ile agregasyon arasında pozitif korelasyon belirlemiştir.



Şekil 4.10. Organik madde-ıslak agregat stabilitesi ilişkisi. **: Çok önemli ($p<0,01$)

Islak agregat stabilitesi üzerine sulama aralıklarının etkisi göstermiştir ki kuru kalma süreci fazla olduğunda agregat stabilitesi biraz daha geliştirilebilmektedir (Şekil 4.6). Ancak Çizelge 4.2'deki kontrol değerine göre en düşük ile en yüksek değerler arasındaki farkın % 0,6 gibi çok düşük oran oluşturması pratikte bu farkın çok anlamlı değişim olarak yorumlanamayabileceğini ortaya koymaktadır. Bu durumun daha fazla ıslanma-kuruma döngüleri koşullarında elde edilen değerlerle kontrol edilmesinin daha anlamlı olacağı düşünülmektedir.

Toprağa arıtma çamuru karıştırılması kütle yoğunluğunu 50, 100 ve 150 t/ha dozlarında kontrol değerine göre (Çizelge 4.2) ortalama % 7,6 düşürmüş, ancak doz artışlarının etkisi önemsiz bulunmuştur (EK 2; Çizelge 4.2). Arıtma çamuru uygulamasının sonucu olarak kütle yoğunluğunun azalması, toprak parçacıkları arasında dağılmış gübre bileşenlerinden ve mikroorganizma ayrışmasından birçok önemli çimentolama materyalinin üretilmesinden kaynaklanabilir (Outhman 2016). Kontrole göre belirlenen bu düşüşler, arıtma çamuruyla yürütülen birçok çalışmada da gözlenmiştir. Singh and Agrawal (2008), Delibacak *et al.* (2009), Hussein (2009), De Maria *et al.* (2010) ve Mondal *et al.* (2015)'da çalışmalarında arıtma çamuru uygulanmasının kütle yoğunluğunu azalttığını belirtmişlerdir. Arıtma çamurunun kütle yoğunluğu üzerine doz artışıyla önemsiz etkisi, zamanla çamur kaynaklı organik maddenin mineralleşmesiyle açıklanabilmektedir (Angin and Yaganoglu, 2011). Delibacak *et al.* (2009) tarafından arıtma çamuruyla yürütülen bir çalışmada da, zaman içerisinde organik maddenin toprakta ayrışmasına bağlı olarak, doz değişimleriyle kütle yoğunluklarındaki değişimlerin azaldığı görülmüştür.

Kütle yoğunluğu üzerine su tiplerinin etkisi önemli ($p < 0,05$) olmuştur (EK 2, Şekil 4.7). Kütle yoğunluğu, arıtılmış atık su uygulanan koşullarda temiz suya göre % 3 daha yüksek bulunmuştur. Çizelge 3.2'den görüleceği gibi arıtılmış atık su içerisinde bulunan askıda katı maddenin, genel olarak killi toprağın fazlaca içerdiği küçük çaplı gözeneklerinde birikerek kütle yoğunluğunda artışa yol açabileceği düşünülmektedir. Benzer yaklaşımla atık suların arazi uygulaması sırasında asılı katı madde yükünün sonucu olarak toprak gözeneklerinin fiziksel olarak tıkanmasının söz konusu olabileceği Abedi-Koupai *et al.* (2006) tarafından da ifade edilmiştir.

Tane yoğunluğu değerlerinin arıtma çamuru karıştırılmasıyla ve karıştırılan miktarın da artışıyla çok önemli seviyede azaldığı bu azalışın 50, 100 ve 150 t/ha dozlarında kontrole göre sırasıyla % 0,5, % 0,9 ve % 1,7 olarak gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 4.8, Çizelge 4.2). Delibacak *et al.* (2009) ve Angin and Yaganoglu (2011)'da arıtma çamuru doz artışıyla tane yoğunluğu değerlerinde önemli azalışlar belirlemişlerdir. Arıtma çamurunun yüksek organik madde içeriği (Çizelge 3.1) toprağın parçacık yoğunluğunu azaltmıştır. Çünkü eşit hacimli mineral katılardan çok daha az ağırlığa sahip olan organik

madde, toprakların parçacık yoğunluğunu azaltmaktadır (Delibacak *et al.* 2009). Toprak tane yoğunluğu üzerine sulama aralıklarının da çok önemli ($p<0,01$) etkisi olmuş, sulama aralığı artışıyla tane yoğunluğu azalmıştır (EK 2, Şekil 4.8). Tane yoğunluğunu, artan sulama aralıklarının azaltıcı etkisi, arıtma çamuruyla toprağa eklenen organik maddenin kuru koşullarda daha az ayrışmasıyla açıklanabilir (McCauley *et al.* 2009).

Toplam porozite değerlerinde kontrol konusuna göre 50, 100 ve 150 t/ha arıtma çamuru uygulamalarında artışlar sırasıyla % 2,2, % 2,2 ve % 1,5 olarak belirlenmiştir. Makro porozite değerlerinde artışlar ise yine sırasıyla % 8,8, % 9,6 ve % 2,3 olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 4.2). Özellikle organik madde katkısından dolayı topraklara arıtma çamuru karıştırılmasının porozite ve/veya makro porozite üzerine pozitif etkileri, yapılmış birçok çalışmada da belirlenmiştir (Delibacak *et al.* 2009; De Maria *et al.* 2010; Yazdanpanah *et al.* 2016; Mujdeci *et al.* 2017). Minasny and Mcbratney (2018) tarafından da daha çok makro porlar üzerine organik maddenin etkileri olabileceği özellikle vurgulanmıştır. Ancak killi toprakların genel olarak mikro gözeneklilikten kaynaklı porozite değerlerinin yüksek olması, denemede kullanılan toprağın hem toplam porozitesinin, hem de makro porozitesinin istatistiksel olarak doz artışıyla önemli seviyede artmasını sağlayamamıştır. Toplam porozite ve makro porozite değişiminde daha ziyade su tipinin önemli farkı ortaya çıkmıştır (EK 2, Şekil 4.9). Arıtılmış atık suyla sulama koşullarında temiz suyla sulama koşullarına göre % 1,5' lik bir azalma söz konusu olmuştur. Bu durum atık suyla sulama koşullarında mikro gözenekliliğin korunmasının bir sonucu olabilir. Çünkü arıtılmış atık suyla sulama koşullarında makro gözeneklilik değeri temiz suyla sulama koşullarına göre önemli seviyede ($p<0,05$) daha düşük bulunmuştur (Şekil 4.9). Arıtılmış atık su uygulamasında makro porozitede azalış temiz suya göre % 5,6 düzeyinde gerçekleşmiştir. Toprak porozitesi, atık sudaki askıda katı maddeler tarafından boşlukların tıkanması nedeniyle değişebilir. Yapılan araştırmalar, atık suyla yapılan sulamada atık suyla sulanmayan alanlara göre daha düşük makro porozite olduğunu bildirilmiştir (Adhikari *et al.* 2014). Yine toprağa daha fazla sodyum içerikli atık su uygulanması da, sodyumluluğu artırır, kil dağılımına neden olur, gözenek geometrisini değiştirir ve azaltır. Guo *et al.* (2018)' da atık suyla sulanan tarım arazilerinde makro gözeneklilikte azalma belirlemişlerdir.

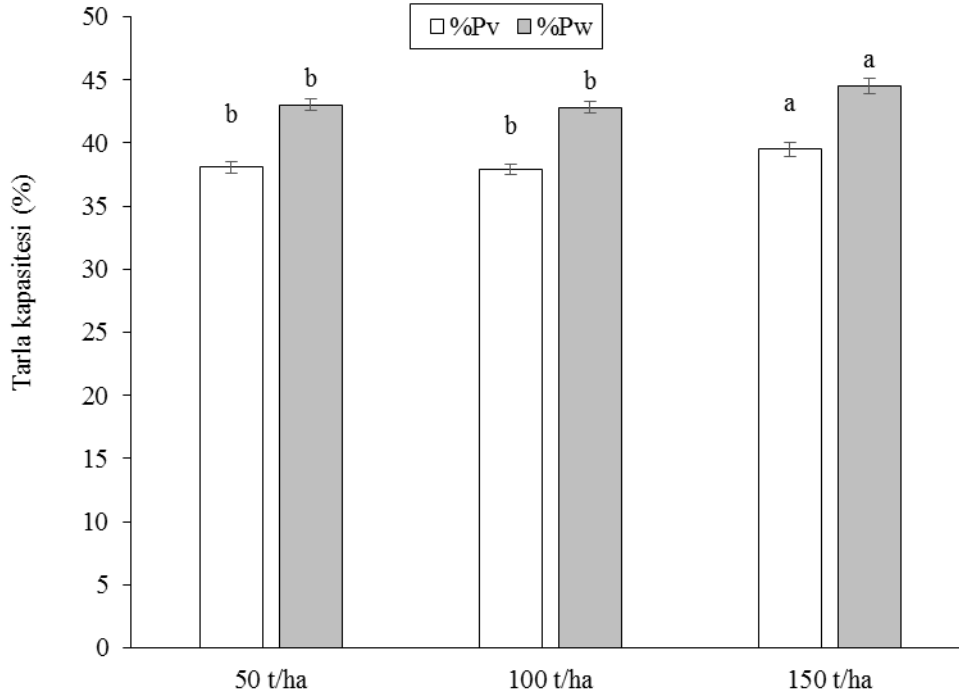
4.3. Toprak Hidrolik Özellikleri

Toprakların hidrolik özelliklerinden tarla kapasitesinde hacim yüzdesi olarak tuttıkları nem miktarı üzerine arıtma çamuru dozlarının önemli ($p < 0,05$) etkisi olmuştur (EK 3, Şekil 4.11). 150 t/ha uygulaması istatistiksel olarak daha yüksek değer sağlamış, kontrol konusu değerine göre de değişim % 1,5 artışı ortaya çıkarmıştır. 50 ve 100 t/ha uygulamalarında ise kontrol konusuna göre sırasıyla % 2,1 ve % 2,6' lık azalışlar belirlenmiştir (Çizelge 4.3, Şekil 4.11).

Çizelge 4.3. Toprak hidrolik özelliklerinin stabilize arıtma çamuru dozları, su tipleri ve sulama aralıklarıyla değişimi

Doz	Su Tipi	Sulama Aralığı	Tarla kapasitesi (% P_v)	Kararlı infiltrasyon hızı (mm/h)	Ortalama infiltrasyon hızı (mm/h)
50 t/ha	TS	4 gün	37,2	7,20	9,97
		8 gün	37,6	7,57	11,4
		12 gün	38,3	6,50	9,00
	AS	4 gün	38,3	7,03	9,57
		8 gün	38,4	8,43	12,9
		12 gün	38,9	6,87	10,5
	<i>Ortalama</i>		38,1	7,27	10,6
	TS	4 gün	38,2	8,50	11,7
		8 gün	38,2	9,83	14,5
		12 gün	38,3	7,77	10,7
100 t/ha	AS	4 gün	37,1	8,33	11,5
		8 gün	37,8	9,63	13,5
		12 gün	37,8	8,20	11,5
	<i>Ortalama</i>		37,9	8,71	12,2
	TS	4 gün	37,1	10,3	14,5
		8 gün	39,1	12,6	16,7
		12 gün	39,5	10,0	13,9
	AS	4 gün	39,5	8,93	11,7
		8 gün	40,8	12,0	15,2
		12 gün	40,9	8,67	11,1
	<i>Ortalama</i>		39,5	10,4	13,9
Kontrol	-	-	38,9	6,27	7,70

TS: Temiz Su; AS: Arıtılmış Atık Su



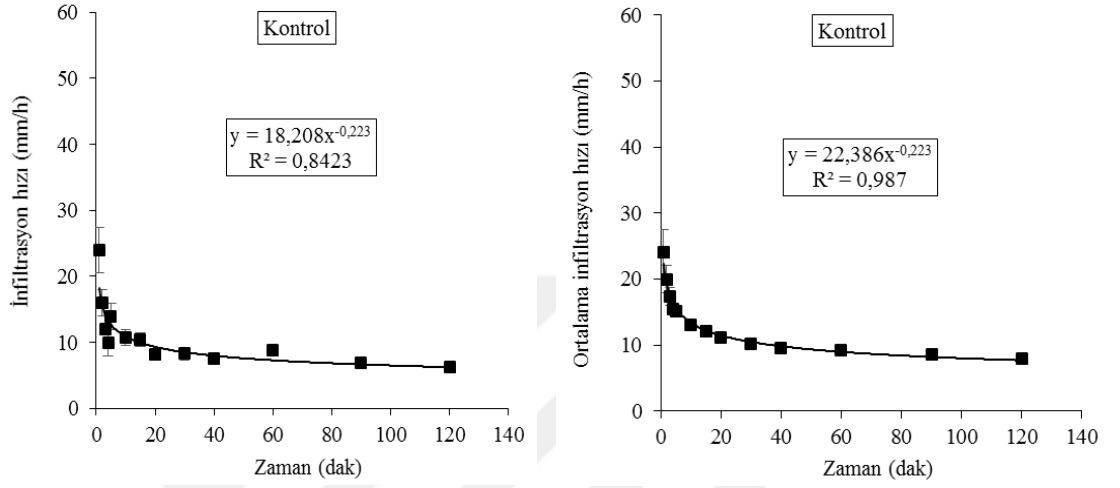
Şekil 4.11. Tarla kapasitesi değerinin stabilize arıtma çamuru dozlarıyla değişimi. Her parametre için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p < 0,05$) seviyesinde farklıdır

Uygulamalar sonrasında kontrole göre kütle yoğunluklarında oluşan azalmalar (Çizelge 4.2) hacim yüzdesi nem miktarlarında bu değişimi ortaya çıkarmıştır. Ancak ağırlık yüzdesi tarla kapasitesi nem miktarları kontrole göre (% 40,6) hacim yüzdesinin aksine tüm dozlarda artış sağlamış ve bu artışlar 50, 100 ve 150 t/ha dozlarında sırasıyla % 5,9, % 5,4 ve % 9,6 olmuştur (Şekil 4.11). Ağırlık yüzdesi nem miktarlarında da dozların etkisi önemli ($p < 0,05$) bulunmuştur (EK 3). En yüksek dozda makro porlarda bir azalma gözlenmiştir (Çizelge 4.2). Dolayısıyla gözenek büyüklük dağılımının bu dozda daha küçük çaplara doğru artış eğilimi göstermesi, tarla kapasitesinde daha yüksek nem tutma değerlerinin belirlenmesini sağlamış olabilir. Elde edilen sonuçlara benzer olarak birçok araştırmacı da tarla kapasitesi ve/veya su tutma kapasitesinin arıtma çamuru uygulamasıyla artırılabilirliğini belirlemiştir (Tsadilas *et al.* 2005; Delibacak *et al.* 2009). Ancak, Minasny and Mcbratney (2018) tarafından çok sayıda araştırma ve veri tabanının analiziyle organik maddeyle su tutma kapasitesinin belirgin olarak geliştirilmesinde beklentinin düşük tutulması gerektiğini, hatta killi topraklarda iyileşmenin daha çok sınırlı olacağı ifade edilmiştir.

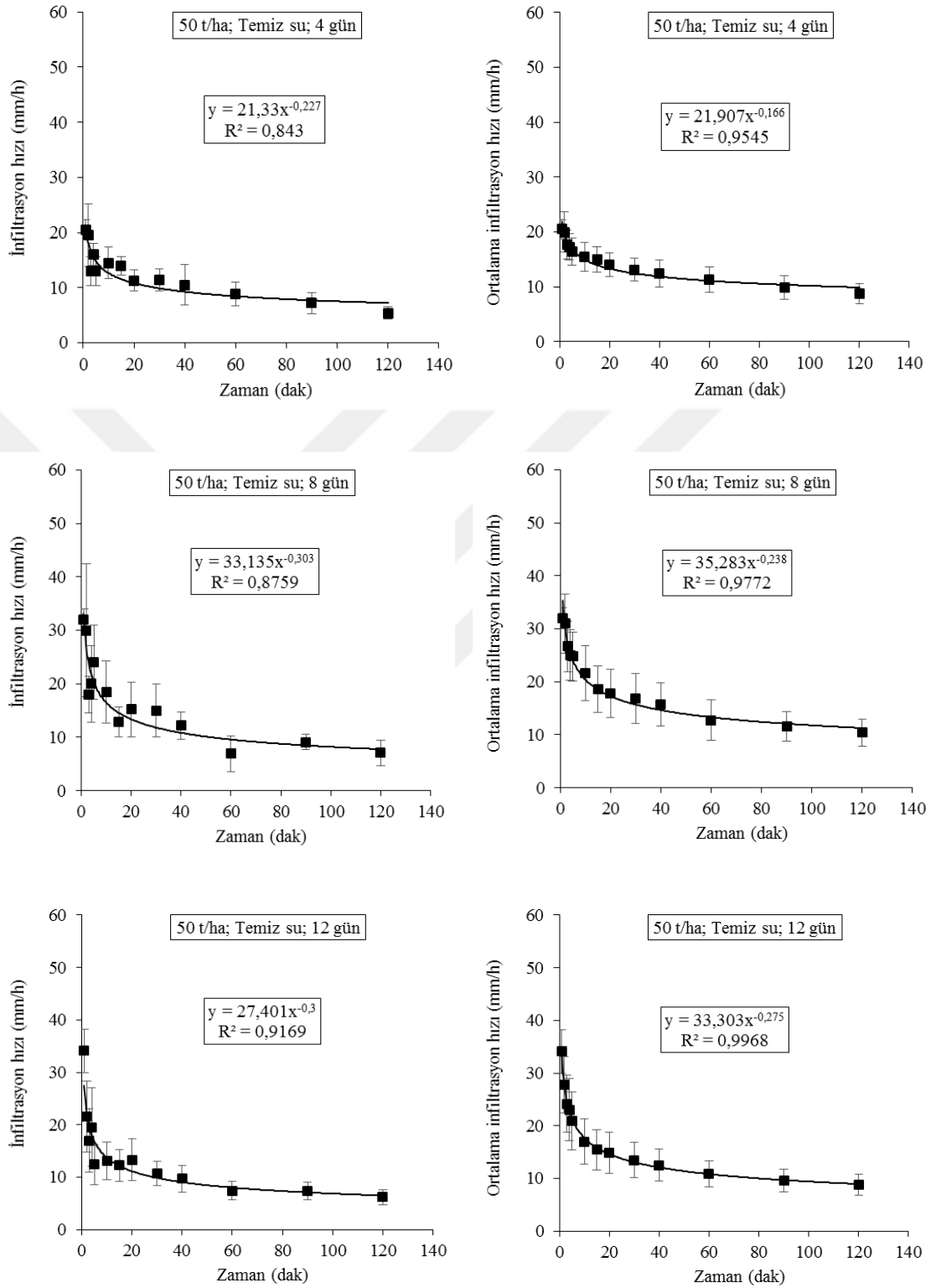
Toprakların uygulamalar sonrası çift silindirli infiltrometrelerle (Şekil 3.8) belirlenmiş 120 dakikalık ölçüm verilerinden infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızının zamansal değişimleri ve bu değişimlerin Kostiakov modeli esas alınarak çıkarılmış eşitlikleri Şekil 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18’de verilmiştir. Bütün eşitliklerin yüksek ilişki katsayılarına sahip olması, ölçüm verilerinin modele yüksek seviyede uygunluğunu göstermiştir. Bu model yaklaşımıyla farklı uygulamalar için 120 dakikalık ölçüm sürecinin sonucu olarak belirlenmiş olan kararlı (sabit) ve ortalama infiltrasyon hız değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Kararlı ve ortalama infiltrasyon hızlarının varyans analiz sonuçları, infiltrasyon hızının dozlarla çok önemli ($p<0,01$) sulama aralıklarıyla önemli ($p<0,05$) seviyede değiştiğini, ortalama infiltrasyon hızının da hem dozlarla ve hem de sulama aralıklarıyla önemli ($p<0,05$) seviyede değiştiğini göstermiştir (EK 3). Doz artışıyla kararlı ve ortalama infiltrasyon hızlarında önemli artışlar olmuş, kontrol konusuna göre 50, 100, 150 t/ha dozları için artış oranları kararlı infiltrasyon hızında sırasıyla % 16, % 38,9, % 65,9 ve ortalama infiltrasyon hızında % 37,7, % 58,4, % 80,5 olarak gerçekleşmiştir (Şekil 4.19, Çizelge 4.3). Kontrole göre gelişen agregat stabilitesi ve porozitenin, bu sonucu ortaya çıkardığı söylenebilir (Çizelge 4.2). Özellikle agregat stabilitesinde artan dozlarda artıştan dolayı infiltrasyon hızlarında da daha yüksek değerler belirlenmiştir. Islak agregat stabilitesi ile kararlı ve ortalama infiltrasyon hızları arasındaki önemli pozitif doğrusal ilişkiler de bu durumu teyit etmiştir (Şekil 4.20). Sarı (2017) tarafından yürütülen çalışmada da doymuş su geçirgenliği ve agregat stabilitesi arasındaki korelasyonlar göz önüne alınarak, ilişkilerin pozitif ve anlamlı seviyelerde olduğu belirtilmiştir. Yazdanpanah *et al.* (2016), toprak organik maddesinin gelişen agregat stabilitesinden dolayı çoğu tarım alanlarında doymuş su geçirgenliğini artırdığını ifade etmiştir. Yine Fan *et al.* (2019)’da arıtma çamuru uygulamasında doymuş su geçirgenliğindeki artışın, agregat yapısının gelişimine bağlı olduğunu vurgulamıştır.

Sulama aralıklarının da kararlı ve ortalama infiltrasyon hızı üzerine önemli etkileri olurken (EK 3), en yüksek değerler 8 gün sulama aralığında belirlenmiştir (Çizelge 4.3, Şekil 4.19). Kontrol konusu değerine göre kararlı infiltrasyon hızında % 59,5 ve ortalama infiltrasyon hızında da % 81,8 artış tespit edilmiştir. Jang *et al.* (2011) tarafından doymuş su geçirgenliğinin gözeneklerin boyutuna, yersel dağılımlarına ve gözenek sürekliliğine bağlı olduğu ifade edilmiştir. Dolayısıyla toprağın sürekli ıslak veya uzun süreli çok kuru

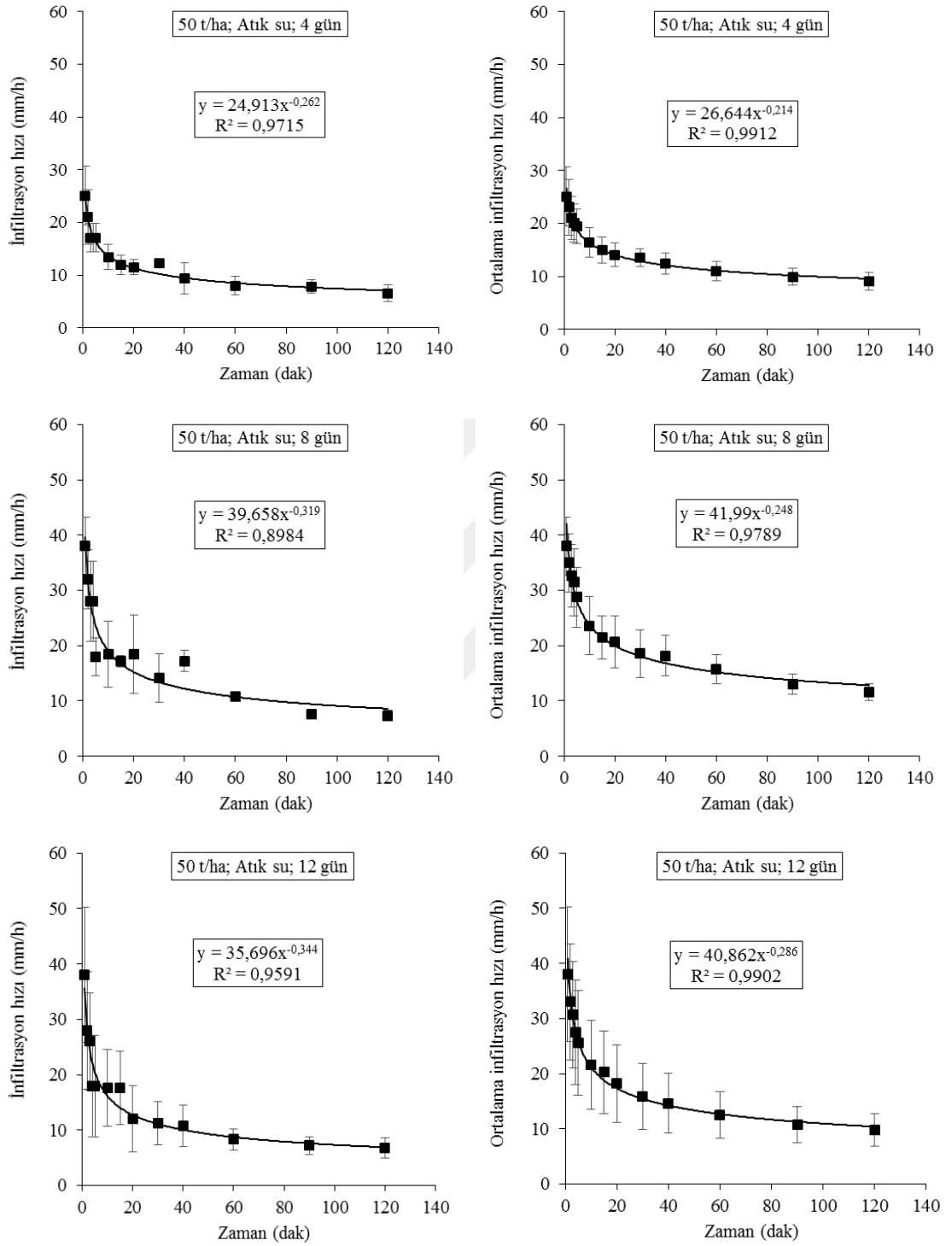
olmadığı koşullarda, toprak içi su iletimini sağlayan gözenekler arasında daha iyi bir bağlantı oluşması olasılığı bu sonucu ortaya çıkarmış olabilir.



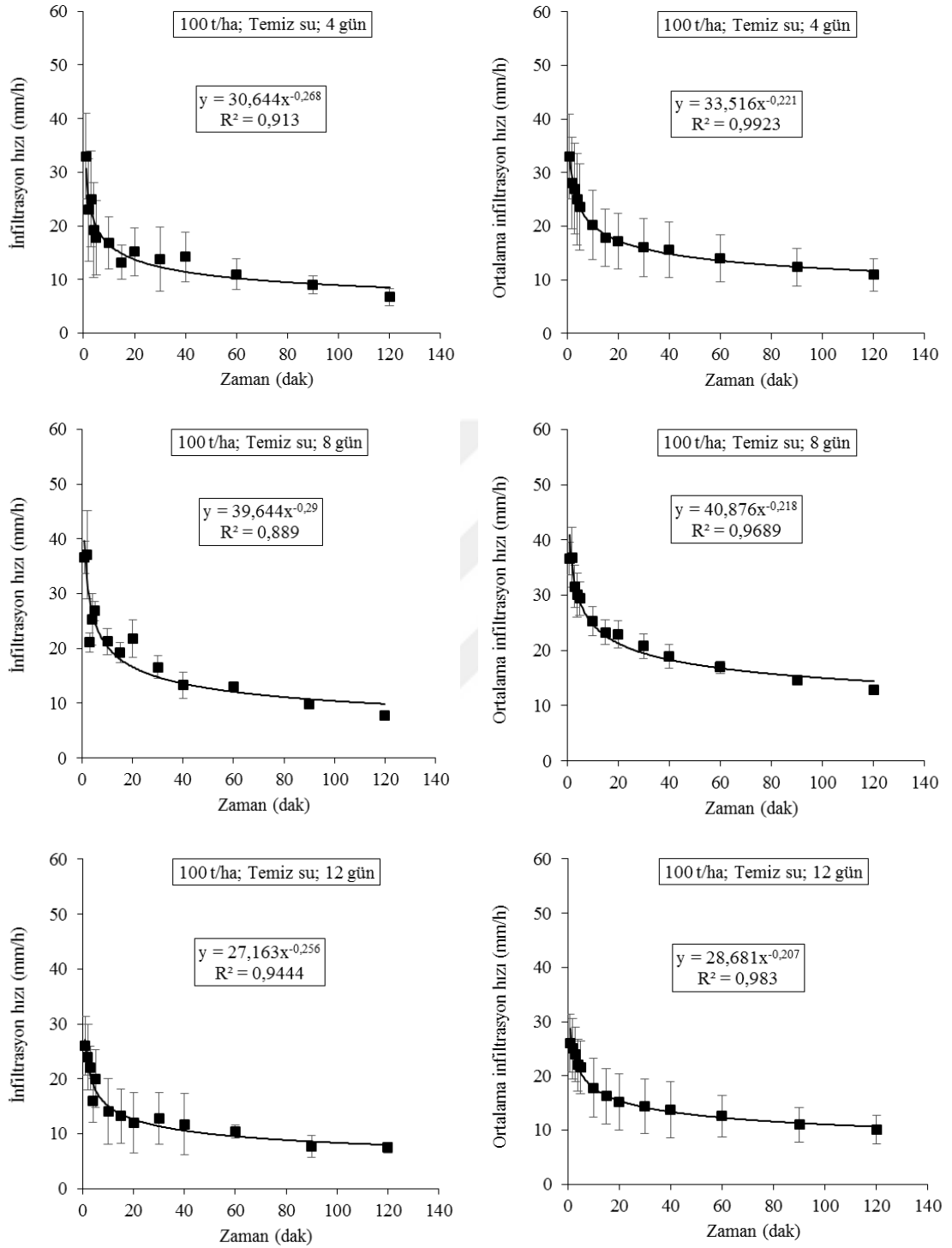
Şekil 4.12. Kontrol konusu toprağın infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri



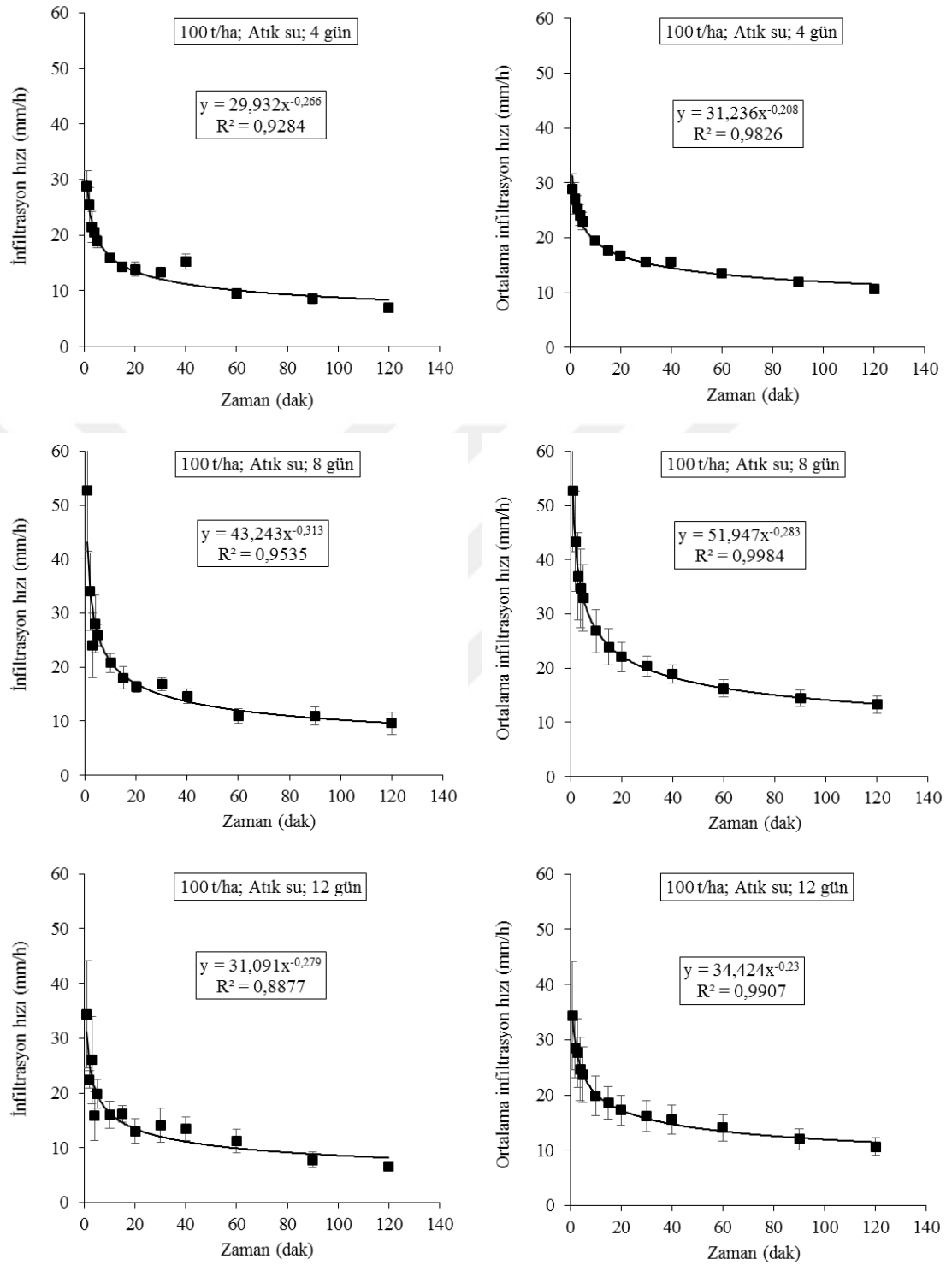
Şekil 4.13. 50 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, temiz suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri



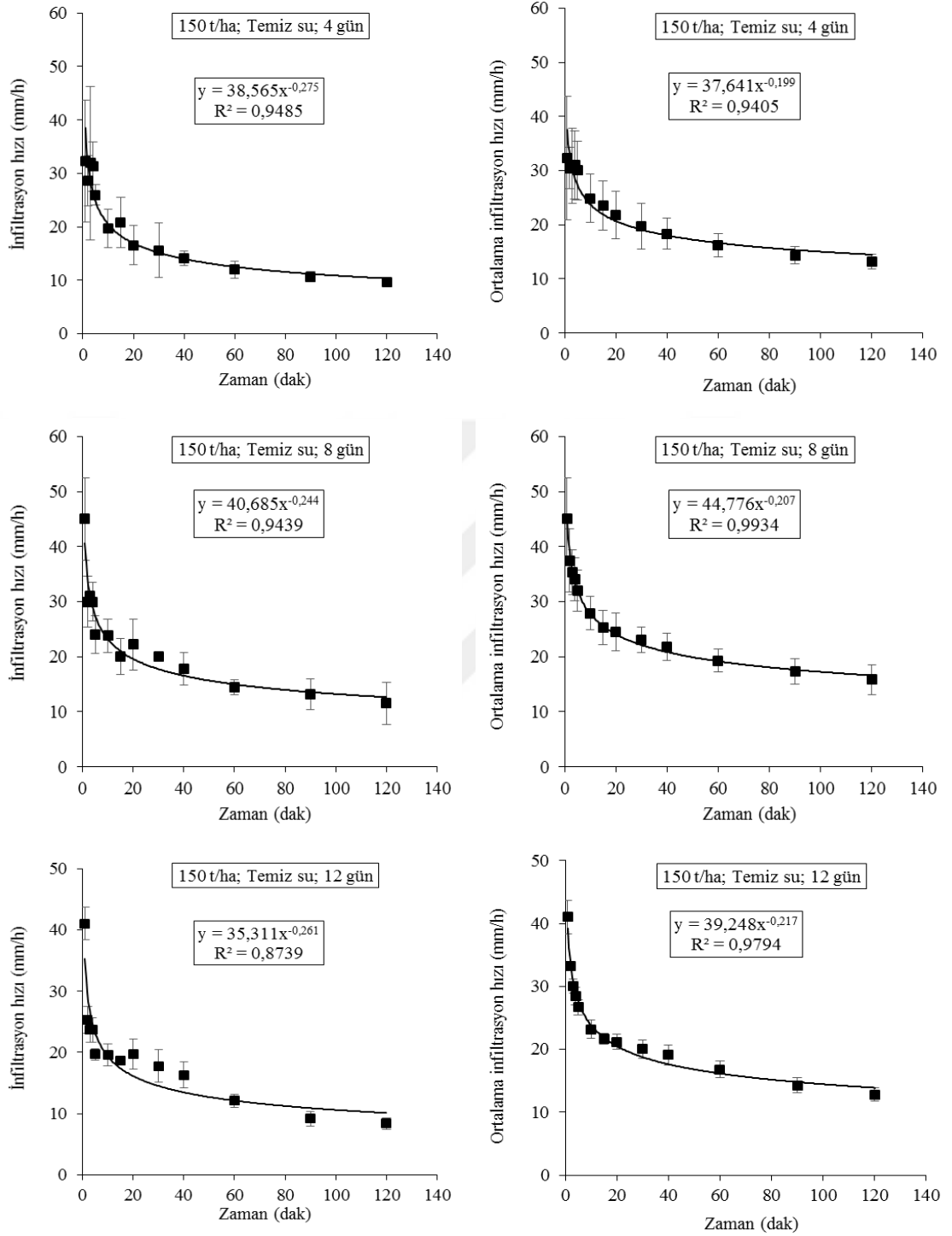
Şekil 4.14. 50 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, arıtılmış atık suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri



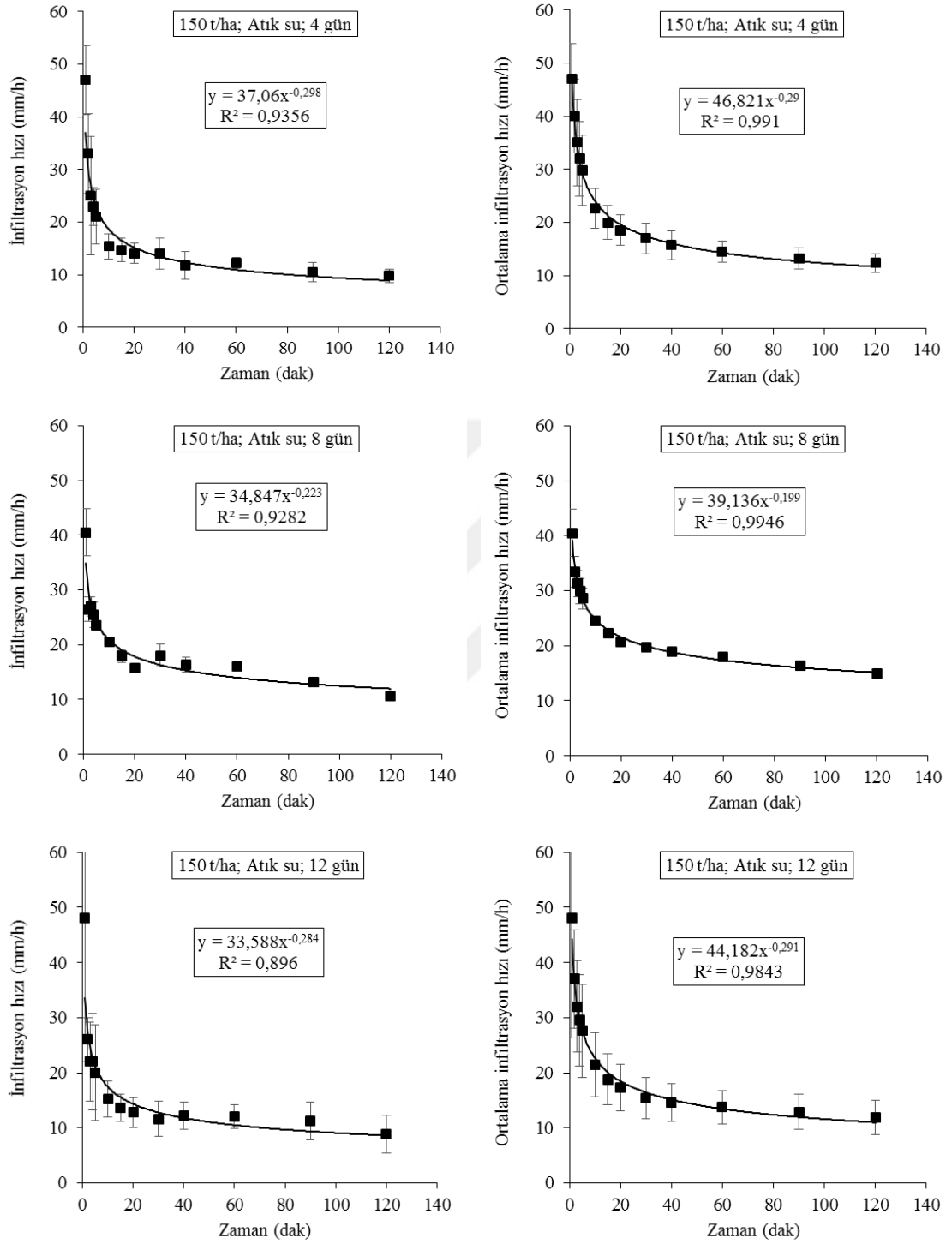
Şekil 4.15. 100 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, temiz suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri



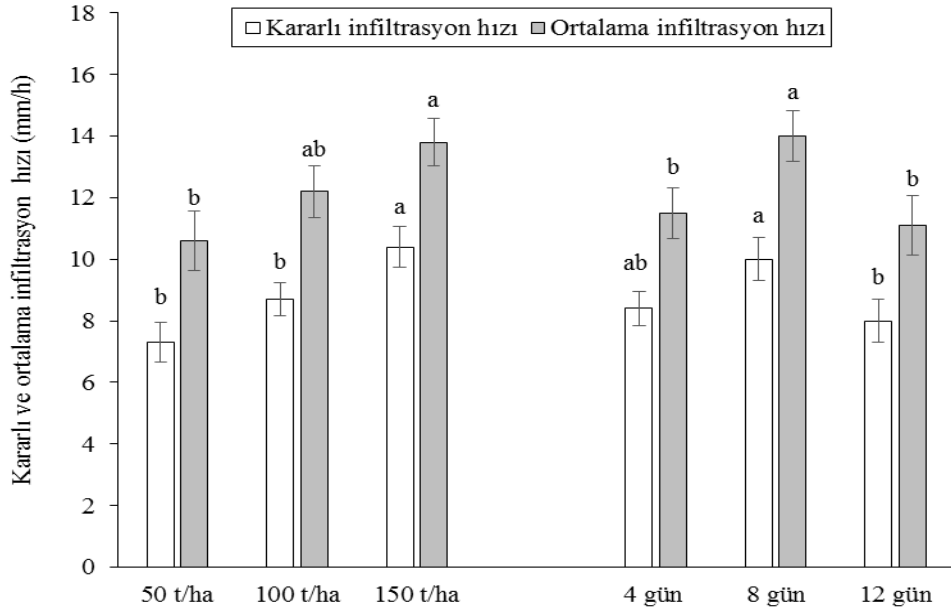
Şekil 4.16. 100 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, arıtılmış atık suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri



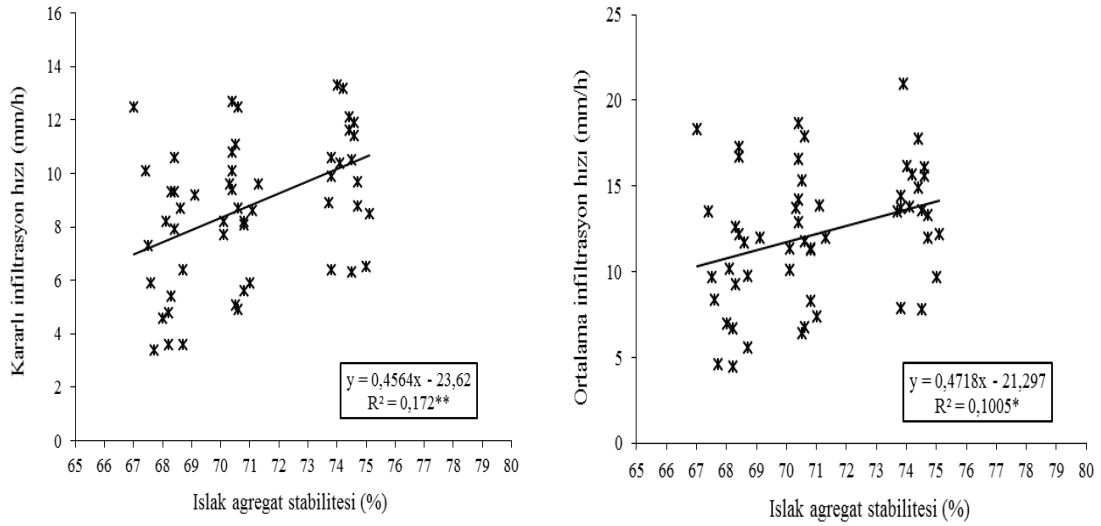
Şekil 4.17. 150 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, temiz suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri



Şekil 4.18. 150 t/ha stabilize arıtma çamuru uygulamasında, arıtılmış atık suyla sulama koşullarında, farklı sulama aralıklarında infiltrasyon hızı ve ortalama infiltrasyon hızlarının zamansal değişimleri



Şekil 4.19. Kararlı ve ortalama infiltrasyon hızlarının stabilize arıtma çamuru dozları ve sulama aralıklarıyla değişimi. Her konu için farklı harfle gösterilen ortalamalar önemli ($p < 0,05$) seviyesinde farklıdır



Şekil 4.20. Kararlı ve ortalama infiltrasyon hızı ile agregat stabilitesi ilişkisi. **: Çok önemli ($p < 0,01$), *: Önemli ($p < 0,05$)

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Muamele edilmemiş (kontrol) koşullara göre; killi bir toprağa % 40,5 organik madde, % 1,98 CaCO_3 içeren ve 7,03 pH değerli, elektriksel iletkenliği (EC) 8,69 dS/m olan stabilize arıtma çamuru karıştırılması toprakta pH değerini azaltmış EC, organik madde ve CaCO_3 içeriklerini artmıştır. Uygulamalar sonrası pH değerleri 6,87-7,47, EC değerleri 1,061-2,588 dS/m, organik madde % 3,21-4,59 ve CaCO_3 % 1,33-2,53 arasında değişmiştir. Muamelesiz koşulda pH, EC, organik madde ve CaCO_3 içeriği sırasıyla 7,85, 0,240 dS/m, % 2,89 ve % 1,18 olarak belirlenmiştir.

Stabilize arıtma çamuru karıştırılması toprak fiziksel özelliklerinden ıslak agregat stabilitesi, porozite ve makro porozitede artışlara, kütle ve tane yoğunluklarında azalışlara neden olmuştur. Kontrol konusunda ıslak agregat stabilitesi, kütle yoğunluğu, tane yoğunluğu, porozite ve makro porozite değerleri sırasıyla % 63,2, 0,960 g/cm³, 2,657, % 65 ve % 26 olarak tespit edilmiş, deneme sonrası değerler bu parametreler için sırasıyla % 67,8-74,8, 0,854-0,942 g/cm³, 2,607-2,645, % 64,4-67,7 ve % 24,5-30,5 aralığında değişmiştir.

Toprakların hidrolik özelliklerinden tarla kapasitesinde tutulan nem miktarı ve infiltrasyon hızları da stabilize arıtma çamuru karıştırılmasıyla pozitif yönde etkilenmiştir. Deneme öncesi koşulda tarla kapasitesinde tutulan nem miktarı % 40,6 iken (% 38,9 hacim yüzdesi), arıtma çamuru uygulanmasıyla bu değer artarak % 40,8-46,1 aralığında değişmiştir. Hacim yüzdesi olarak tarla kapasitesi nem miktarları ise % 37,1-40,9 arasında değişmiştir. Yine uygulamalar öncesi kararlı (sabit) ve ortalama infiltrasyon hızları sırasıyla 6,27 ve 7,70 mm/h olarak ölçülmüş, uygulamalar sonrasında ise bu değerler 6,50-12,6 ve 9,0-16,7 mm/h arasında değişmiştir.

Stabilize arıtma çamuru doz artışıyla toprakların kimyasal özelliklerinde, fiziksel özelliklerinden ıslak agregat stabilitesi ve tane yoğunluğunda, hidrolik özelliklerinden kararlı infiltrasyon hızında çok önemli ($p < 0,01$), tarla kapasitesi ve ortalama infiltrasyon hızlarında önemli ($p < 0,05$) değişimler belirlenmiştir. En yüksek dozda pH ve tane yoğunluğu en az; EC, organik madde, CaCO_3 , ıslak agregat stabilitesi, tarla kapasitesi, kararlı ve ortalama infiltrasyon hızı değerleri en fazla belirlenmiştir.

Arıtılmış atık sularla yapılan sulamalarda temiz suya göre atık suların daha fazla tuz, kireç, çözünmüş organik madde ve askıda katı madde içeriklerinden dolayı, EC ve CaCO_3 içeriklerinde çok önemli ($p<0,01$), kütle yoğunluğunda önemli ($p<0,05$) artışlar, porozite ve makro porozitede önemli ($p<0,05$) azalışlar tespit edilmiştir.

Sulama aralıklarının organik madde, ıslak agregat stabilitesi ve tane yoğunluğu üzerine çok önemli ($p<0,01$); EC, kararlı ve ortalama infiltrasyon hızları üzerine de önemli ($p<0,05$) etkileri olmuştur. Kuru kalma sürecinin toprakta organik maddenin mineralizasyonunu yavaşlatıcı etkisiyle daha geniş aralıklarla sulama EC, organik madde, ıslak agregat stabilitesinde en fazla artışları sağlarken, tane yoğunluğunda en fazla azalmaya neden olmuştur. Kararlı ve ortalama infiltrasyon hızları da, sulama aralığının kısmen artırıldığı koşullarda daha fazla belirlenmiştir.

Deneme sonrasında toprakların pH değerleri nötr seviyelerde olduğundan bitki beslenmesi açısından uygun bulunurken, EC değerleri yıkama olmayan koşullarda tuza çok hassas bitki ve türlerinde verimi kısmen olumsuz etkileyebilir seviyeye ulaşmıştır. Uygulamaların etkisiyle toprağın organik madde içeriği yeterli ve fazla sınıfa ulaşmış, kireç içeriği açısından az kireçli grupta yer almıştır.

Organik madde-ıslak agregat stabilitesi ile ıslak agregat stabilitesi-kararlı veya ortalama infiltrasyon hızları arasındaki güçlü pozitif doğrusal ilişkiler, killi bir toprağa organik madde içeriği yüksek stabilize arıtma çamurlarının özellikle yüksek dozlarda (150 t/ha) karıştırılmasıyla stabilitesinin güçlendirilerek su geçirgenliğinin iyileştirebileceğini göstermiştir. Yapısal düzenlemeyle ilgili sağlanacak avantajlara ilave olarak, toprakta artan organik maddenin bitkilere sağlayacağı besin elementleriyle de tarımsal üretimin daha da artırılması mümkün olabilecektir. Bu durum aynı zamanda gübreleme maliyetlerinden de tasarruf sağlamış olacaktır. Aynı zamanda arıtılmış atık suların askıda katı madde ve tuzluluk değerlerine dikkat edilerek doğrudan kullanılmasıyla veya temiz suyla seyreltilerek kullanılmasıyla da temiz su kaynakları üzerinde giderek artan talebin oluşturduğu baskılar hafifletilebileceği gibi, atık suların bitki besleyici özelliklerinden de ayrıca yararlanılmış olunacaktır. Böylece arıtma tesislerinin arıtım sonrası katı ve sıvı çıktı ürünlerinin doğada serbest bırakılarak oluşturabilecekleri çevresel sorunlar da tarımda kontrollü kullanılmalarıyla azaltılmış olacaktır. Ancak atık materyallerin ağır

metal ve tuzlulukla ilgi riskleri de toprakta ve bitki de sürekli takibi gerektirmektedir. Bu çıktıların İyi bir izleme-değerlendirme sistemiyle, ulusal ve uluslararası kullanım standartlarına da uyarak maksimum fayda ile kullanılması olası görülmektedir.



KAYNAKLAR

- Abd-Elwahed, M.S., 2018. Influence of long-term wastewater irrigation on soil quality and its spatial distribution. *Annals of Agricultural Sciences*, 63, 191-199.
- Abedi-Koupai, J., Fard, B.M., Afyuni, M., Bagheri, M.R., 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. *Plant Soil and Environment*, 52 (8), 335-344.
- Abu, S.T., Malgwi, W.B., 2012. Effects of irrigation regime and frequency on soil physical quality, water use efficiency, water productivity and economic returns of paddy rice. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 7 (2), 1-14.
- Adhikari, P., Shukla, M.K., Mexal, J.G., Daniel D., 2014. Irrigation with Treated Wastewater: Quantification of Changes in Soil Physical and Chemical Properties. *Irrigation and Drainage Systems Engineering*, 3 (117), 1-10.
- Aggelides, S.M., Londra, P.A., 2000. Effects of compost produced from own wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource Technology*, 71, 253-259.
- Akgül, M., 1994. Daphan ovası topraklarının temel toprak etüdleri. Bazı fiziksel ve kimyasal özellikler. *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 25 (2), 223-23.
- Aksakal, E.L., 2004. Toprak Sıkışması ve Tarımsal Açidan Önemi. *Atatürk Üniv.Ziraat Fak. Derg.*, 35 (3-4), 247-252.
- Al Saadi, M.M., Al Wardy, M.M., 2019. Influence of sludge compost on soil properties and tomato plant uptake of metals. *American Journal of Biomedical Science and Research*, 2 (2), 86-92.
- Alagöz, Z., Yılmaz, E., Öktüren, F., 2006 Organik materyal ilavesinin bazı fiziksel ve kimyasal toprak özellikleri üzerine etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 19 (2), 245-254.
- Angın, İ., 2016. Arıtma çamurlarının stabilizasyonuna alternatif bir yaklaşım: vermistabilizasyon. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg.*, 47 (2), 123-129.
- Angin, I., Yaganoglu, A.V., 2011. Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13 (5), 757-768.
- Annabi, M., Le Bissonnais, Y., Le Villio-Poitrenaud, M., Houot, S., 2011. Improvement of soil aggregate stability by repeated applications of organic amendments to a cultivated silty loam soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144 (1), 382-389.
- Anonim, 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, 2017. Wastewater: The Untapped Resource. The United Nations World Water development Report, Colombella, Perugia, Italy.
- 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).

- Anonim, 2019. Erzurum ili meteorolojik verileri. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ERZURUM> (25.06.2019).
- 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.
- Bal, L., 2010. Sarıcalar çiftliği topraklarının kabuk bağlama probleminin araştırılması. Yüksek lisans tezi, Toprak Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Blake, G.R., Hartge, K.H., 1986. Bulk density. In: A. Klute, ed., Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 363-375.
- Carabassa, V., Ortiz, O., Alcañiz, J.M., 2018. Sewage sludge as an organic amendment for quarry restoration: Effects on soil and vegetation. Land Degradation Development, 29, 2568-2574.
- Chaganti, V.N., Crohn, D.M., Simunek, J., 2015. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water. Agricultural Water Management, 158, 255-265.
- Cherfouh, R., Lucas, Y., Derridj, A., Merdy, P., 2018. Long-term, low technicality sewage sludge amendment and irrigation with treated wastewater under Mediterranean climate: impact on agronomical soil quality. Environmental Science and Pollution Research, 25 (35), 35571-35581.
- Czekała, J., Mocek, A., Owczarzak, W., 2010. Effect of long-term sewage sludge application on soil chemical indices. Ecological Chemistry and Engineering A, 17 (4-5), 1-9.
- Da Silva, S.M.C.P., Fernandes, F., Socol, V.T., Morita, D.M., 2007. Main Contaminants in Sludge. Biological Wastewater Treatment Series. Volume 6 Sludge Treatment and Disposal. Cleveron Vitorio Andreoli, Marcos von Sperling, Fernando Fernandes. London. UK. 31- 47.
- 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.
- De Maria, I.C., Chiba, M. K., Costa, A., Berton, R.S., 2010. Sewage sludge application to agricultural land as soil physical conditioner. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34 (3), 967-974.
- 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.
- Demiralay, İ., 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 143, Erzurum.

- Dhillon, J., Corso, M.R.D., Figueiredo, B., Nambi, E., Raun, W., 2017. Soil organic carbon, total nitrogen, and soil pH, in a long-term continuous winter wheat (*Triticum Aestivum* L.) experiment. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49 (7), 803-813.
- Eltan, E., 1998. İçme ve Sulama Suyu Analiz Yöntemleri. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Yayın No: 18, Ankara.
- EPA, 1999. Method 300.1. Determination of inorganic anions in drinking water by ion chromatography. National Exposure Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Ergene, A., 1993. Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üni. Zir. Fak. Yayın No: 586. Ziraat Fakültesi Yayın No: 267. Ders Kitapları Serisi No: 42. Erzurum.
- 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*, Volume 2019, 8163563, 1-10.
- 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.
- FAO, 2017. Water for sustainable food and agriculture. A report produced for the G20 Presidency of Germany. ISBN 978-92-5-109977-3.
- Filho, J.T., Barbosa, M.C.G., Ribon, A.A., 2010. Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 1527-1534.
- Galavi, M., Jalali, A., Ramroodi, M., Mousavi, S.R., Galavi, H., 2010. Effects of treated municipal wastewater on soil chemical properties and heavy metal uptake by sorghum (*Sorghum Bicolor* L.). *Journal of Agricultural Science, Canadian Center of Science and Education*, 2 (3), 235-241.
- Ganjugunte, G., Ulery, A., Niu, G., Wu Y., 2018. Organic carbon, nutrient, and salt dynamics in saline soil and switchgrass (*Panicum virgatum* L.) irrigated with treated municipal wastewater. *Land Degradation Development*, 29, 80-90.
- Gascó, G., Lobo M.C., Guerrero, F., 2005. Land application of sewage sludge: A soil columns study. *Water SA*, 31 (3), 309-318.
- 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.
- 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.
- Guo X., Zhao T., Liu L., Xiao C., He Y., 2018. Effect of Sewage Irrigation on the CT-Measured Soil Pore Characteristics of a Clay Farmland in Northern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15 (5), 1-14.
- 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.
- Haktanır, K., Cangir, C., Arcak, Ç., Arcak, S., 2000. Toprak kaynakları ve kullanımı. Türkiye Ziraat Mühendisliği V. Teknik Kongresi, Ankara, 1 (38), 203-230.

- Hamoud, Y.A., Guo, X., Wang, Z., Chen, S., Rasool, G., 2018. Effects of irrigation water regime, soil clay content and their combination on growth, yield, and water use efficiency of rice grown in South China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(4), 144-155.
- 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.
- Jang, J., Narsilio, G.A., Santamarina J.C., 2011. Hydraulic conductivity in spatially varying media: a pore scale investigation. *Geophysical Journal International*, 184, 1167-1179.
- 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., Kırdı, C., Tekinel, O., 1992. Sulama suyu niteliği ve sulamada tuzluluk sorunları. *Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Genel Yayın No: 21*, Adana.
- Kanber, R., Ünlü, M., 2010. Tarımda su ve toprak tuzluluğu. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 281*, Adana.
- Karaca, S., Gülser, 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.
- Khurana, M.P.S. Singh, P., 2012. Wastewater use in crop production: a review. *Resources and Environment*, 2 (4), 116-131.
- Kızıloğlu, F.M., Şahin, Ü., Diler, S., Öztaşkın, S., 2018. Erzurum Daphan sulama birliği birinci ve ikinci etap sulama şebekesinin performansının değerlendirilmesi (2012-2016). *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (10), 1381-1387.
- Kızıloğlu 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: A. Klute, ed., *Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods*. Madison, Wisconsin, 635-660.
- Koç, D.L., 2011. Aşağı Seyhan ovası tuzlu-sodyumlu topraklarının farklı yöntemlerle iyileştirilmesi. *Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniv, Adana*.
- Lawal, H.M., Lawal, A.B., 2017. Pore size distribution and soil hydro physical properties under different tillage practices and cover crops in a typic haplusult in Northern Nigeria. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20, 111-129.
- Mainuri, Z.G., Owino, J.O., 2013. Effects of land use and management on aggregate stability and hydraulic conductivity of soils within River Njoro watershed in Kenya. *International Soil and Water Conservation Research*, 1(2), 80-87.
- Mamedov, A.I., 2014. Soil water retention and structure stability as affected by water quality. *Eurasian Journal Soil Science*, 3, 89-94.

- Mateo-Sagasta, J., Raschid-Sally, L., Thebo, A., 2015. Global Wastewater and Sludge Production, Treatment and Use. In Drechsel, P., Qadir, M., Wichelns, D., ed., Wastewater: Economic asset in an urbanizing world. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 15-38.
- 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.
- McCauley, A., Jones C., Jacobsen, J., 2009. Soil pH and Organic Matter. Nutrient Management Module No. 8, Montana State University.
- 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.
- Minasny, B., McBratney, A.B., 2018. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*, 69, 39-47.
- 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.
- Moreira, R.S., Mincato, R.L., Santos, B.R., 2013. Heavy metals availability and soil fertility after land application of sewage sludge on Dystroferic Red Latosol. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 37(6), 512-520.
- Mujdeci, M., Simsek, S., Uygur, V., 2017. The effects of organic amendments on soil water retention characteristics under conventional tillage system. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 (10), 6205-6211.
- 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.
- Norouzian, K., Abbasi, N., Koupai, J.A., 2018. Evaluation of softening of clayey Soil stabilized with sewage sludge ash and lime. *Civil Engineering Journal*, 4 (4), 743-754.
- Ors, S., Sahin, U., Khadra, R., 2015. Reclamation of saline sodic soils with the use of mixed fly ash and sewage sludge. *Arid Land Research and Management*, 29 (1), 41-54.
- Outhman, A.M., 2016. Impact of use sewage sludge in agriculture on physical properties of soil. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 10 (1), 78-86.
- Özdemir, N., Canbolat, M.Y., 1997. Toprak strüktürünün oluşum süreçleri ve yönetimi. *Atatürk Ü.Zir. Fak. Der.*, 28 (3), 413-419.

- 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., 2013. Effects of sewage sludge on the yield of plants in the rotation system of wheat-white head cabbage-tomato. Eurasian Journal of Soil Science, 2, 35-44.
- Parlak, M., Yiğini, Y., Ekinci, H., 2014. Çanakkale Umurbey ovası topraklarının erozyona duyarlılığının mevsimsel değişimi. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 2 (1), 123-131.
- 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.
- Pescod, M.B., 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. Irrigation and drainage paper 47. FAO, Rome.
- Poggere, G.C., Melo, Serrat, V.F., Mangrich, B.M., França, A.S., Corrêa A.A., Prapagar, K., Indraratne, S.P., Premanandharajah, P., 2019. Effect of soil amendments on reclamation of saline-sodic soil. Tropical Agricultural Research, 23 (2), 168-176.
- Rajaram, G., Erbach, D.C., 1999. Effect of wetting and drying on soil physical properties. Journal of Terramechanics 36, 39-49.
- Razzaghi, S., Khodaverdiloo, H., Dashtaki, S.G., 2016. Effects of long-term wastewater irrigation on soil physical properties and performance of selected infiltration models in a semi-arid region. Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques, 61 (10), 1778-1790.
- 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.
- 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.
- 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.
- Sari, H., 2017. The effect of some soil characteristics on the hydraulic conductivity of soil in Tekirdağ Province. Alinteri Journal of Agricultural Sciences, 32 (2), 95-103.
- Shirani, H., Hajabbasi, M., Afyouni, M., Dashti, H., 2010. Cumulative effects of sewage sludge on soil physical and chemical characteristics. Journal of Water and Wastewater, 21(3), 28-36.
- 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.
- Sloan, J.J., Ampim, P.A.Y., Boerth, T., Heitholt, J.J., Wu, Y., 2016. Improving the physical and chemical properties of a disturbed soil using drying-bed biosolids. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47 (11), 1451-1464.

- Sort, X., Alcaniz, J.M., 1999. Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. *Land Degradation and Development*, 10, 3-12.
- Şahin, Ü., Hanay A., 1995. Daphan ovasi sulama sahasında uygun toprak ve su koruma önlemleri, kullanım şekli ile sulama yöntemlerinin seçimi. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 26 (1), 76-89.
- Tsadilas C.D., Mitsios, I.K., Golia E., 2005. Influence of biosolids application on some soil physical properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36 (4-6), 709-716.
- 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, 6264-6276.
- Tunc, T., Sahin, U., 2017. Yield and heavy metal content of wastewater-irrigated cauliflower and soil chemical properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48 (10), 1194-1211.
- 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 Biomass Valor*, 8, 1803-1811.
- Veeresh, H., Tripathy, S., Chaudhuri, D., Ghosh, B.C., Hart, B.R., Powell, M.A., 2003. Change in physical and chemical properties of three soil types in India as a result of amendment with fly ash and sewage sludge. *Environmental Geology*, 43, 513-520.
- Von Sperling, M., Andreoli, C.V., 2007. Introduction to sludge management. *Biological Wastewater Treatment Series. Volume six Sludge Treatment and Disposal*. Cleverston Vitorio Andreoli, Marcos von Sperling, Fernando Fernandes. London. UK. 1-3.
- Warrence, N.J., Bauder, D.J.W., Pearson, K.E., 2002. Basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties. *Land Resources and Environmental Sciences Department, Montana State University, Bozeman*.
- 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.
- Ye, H., Chu, C., Xu, L., Guo, K., Li, D., 2018. Experimental studies on drying-wetting cycle characteristics of expansive soils improved by industrial wastes. *Advances in Civil Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1155/2018/2321361>.
- Yılmaz, E., Alagöz, Z., Öktüren, F., 2005. Toprakta agregat oluşumu ve stabilitesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 19 (36), 78-86.

ÖZGEÇMİŞ

Nijer'in başkenti Niamey şehrinde 1990 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Niamey'de tamamladı. 2010 yılında girdiği Niamey Abdou Moumouni Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Ziraat Bilimleri Bölümünü 2013 yılında birincilikle bitirdi. 2014 yılında Niamey Abdou Moumouni Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Ziraat Bilimleri Bölümünde Yüksek Lisans eğitime başladı. 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Yabancı Diller Yüksekokulunda 1 yıl Türkçe hazırlık eğitimi aldı. 2016 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim dalında Bilimsel Hazırlık okudu. 2017 yılında da Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim dalında Yüksek Lisans eğitime başladı. Evli ve 1 kız çocuğu babasıdır.