



**TOPRAĞIN AGREGASYONU VE
BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ZEOLİTİN ETKİLERİ**

Yeliz BUDAK

**Yüksek Lisans Tezi
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Toprak Bilimi Bilim Dalı
Doç. Dr. Ekrem Lütfi AKSAKAL
2017
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TOPRAĞIN AGREGASYONU VE BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ZEOLİTİN ETKİLERİ**

Yeliz BUDAK

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI
Toprak Bilimi Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU



**TOPRAĞIN AGREGASYONU VE BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
ZEOLİTİN ETKİLERİ**

Doç. Dr. Ekrem Lütfi AKSAKAL danışmanlığında, Yeliz BUDAK tarafından hazırlanan bu çalışma, 06/10/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı – Toprak Bilimi Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Taşkın ÖZTAŞ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Hüseyin ŞENOL

İmza :

Üye : Doç. Dr. Ekrem Lütfi AKSAKAL

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu'nun 19/10/2017 tarih ve 41/23 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOPRAĞIN AGREGASYONU VE BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ZEOLİTİN ETKİLERİ

Yeliz BUDAK

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
Toprak Bilimi Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ekrem Lütfi AKSAKAL

Toprağın verimlilik ve üretkenliğinin artırılması ile sürdürülebilir bir tarım için toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geliştirilmesi temel şarttır. Bunun için pek çok organik ve inorganik toprak düzenleyici kullanılmasına rağmen zeolitin toprak fiziksel özellikleri üzerine etkilerini ortaya koyan araştırmalar çok sınırlıdır. Bu çalışma, farklı tekstürdeki (kil, tın, kumlu tın) toprakların agregasyonu ve bazı fiziksel özellikleri üzerine zeolit (klinoptilolit) uygulamalarının (%0, %1, %3, %5) etkilerini ortaya koymak amacıyla laboratuvar şartlarında yürütülmüştür. Zeolit uygulaması sonrasında araştırma toprağı I ve II'nin <0,42, 0,42-0,84, 0,84-2 ve 2-6,4 mm agregat fraksiyonları miktarlarında artışlar meydana gelirken, 6,4-12,7 ve >12,7 mm agregat fraksiyonları miktarlarında azalışlar meydana geldiği belirlenmiştir. Kum içeriği yüksek olan toprak III'de ise zeolit uygulaması <0,42, 0,42-0,84, 0,84-2, 2-6,4 ve 6,4-12,7 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarında azalışlara neden olduğu belirlenirken, >12,7 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarında artışlar sağladığı tespit edilmiştir. Ortalama ağırlıklı çap (OAÇ) değerleri toprak I'de 9,24 mm'den 5,06 mm'ye, toprak II'de 5,16 mm'den 4,14 mm'ye düşerken, toprak III'de ise 2,61 mm'den 2,77 mm'ye yükselmiştir. Zeolit uygulamaları araştırma topraklarının tüm agregat fraksiyonlarında agregat stabilitesi (AS) değerlerini kontrollerine göre önemli düzeyde ($p<0.05$) artırırken, dispersiyon oranı (DO) değerlerinde önemli düzeyde düşüşler meydana getirmiştir. Genel ortalama AS değeri kontrolde %26,64 iken zeolit uygulama dozlarının artışı ile artış göstermiş %5 uygulama dozunda %43,51 olarak belirlenmiş ve kontrole göre %63 oranında artışın meydana geldiği belirlenmiştir. Genel ortalama DO değeri kontrolde %38,46 iken %5 uygulama dozunda %30,20'ya düşmüş ve kontrole göre %21,5 oranında düşüşün meydana geldiği belirlenmiştir. Zeolit uygulamaları topraklarının hacim ağırlıklarını (HA) önemli ölçüde düşürdüğü, porozite ve hidrolik iletkenlik (Hİ) değerlerini ise önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Genel ortalamada, kontrol seviyesinde HA değeri $1,16 \text{ g/cm}^3$ iken %1, 3 ve 5 zeolit uygulamaları sonrasında 1,10, 1,08 ve $1,06 \text{ g/cm}^3$ olarak ölçülmüş olup oransal olarak %5,2, %6,9 ve %8,6 düşüşlerin meydana geldiği hesaplanmıştır. Genel ortalamada, kontrol seviyesinde Hİ değeri $21,45 \text{ cm/h}^{-1}$ iken %1, 3 ve 5 zeolit uygulamaları sonrasında 27,04, 30,51 ve $38,37 \text{ cm/h}^{-1}$ 'e yükseldiği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, toprağın fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla zeolitin toprak düzenleyici olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

2017, 39 sayfa

Anahtar Kelimeler: Zeolit, agregat büyüklük dağılımı, agregat stabilitesi, hacim ağırlığı, hidrolik iletkenlik

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECTS OF ZEOLITE ON SOIL AGGREGATION AND CERTAIN PHYSICAL PROPERTIES

Yeliz BUDAK

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition
Department of Earth Science

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ekrem Lütfi AKSAKAL

The development of the physical and chemical properties of the soil is not only essential for the sustainable agriculture but also for increasing the fertility and productivity of the soil. Despite the use of several organic and inorganic soil conditioners for this purpose, the investigations on the effects of zeolite on soil physical properties are very scarce. This laboratory study was carried out to determine the effects of zeolite (clinoptilolite) with different rates of 0%, 1%, 3% and 5% on soil aggregation and certain physical properties in soils with different textures (clay, loam and sandy loam). While zeolite application increased the rate of soil aggregates smaller than 6,4 mm, it decreased the rate of soil aggregates greater than 6,4 mm in Soils I and II. However, the effect of zeolite application on soil III, that had the highest sand content, showed different effects. While the rate of soil aggregates smaller than 12,7 mm showed decrease, aggregates greater than this fraction increased. Mean weight diameter of Soil I decreased from 9,24 mm to 5,06 mm with zeolite application. These values were obtained as 5,16 mm to 4,14 mm and 2,61 mm to 2,77 mm for Soils II and III, respectively. Zeolite applications significantly ($p<0.05$) increased aggregate stability of all the soils in all aggregate size fractions as compared to the controls. Dispersion ratio of soils amended with zeolite showed significant decreases. Whereas the aggregate stability of control was 26,64%, it increased to 43,51% with 5% zeolite application, which is almost 63% greater than that of control. While the dispersion ratio of control was 38,46%, it decreased to 30,20% with 5% zeolite application. Zeolite applications on all three soils significantly decreased bulk density and increased porosity and hydraulic conductivity. When means were compared it is seen that the control bulk density value ($1,16 \text{ g/cm}^3$) decreased to 1,10, 1,08 and $1,06 \text{ g/cm}^3$ with 1%, 3% and 5% zeolite application, respectively. While the hydraulic conductivity was determined as 21.45 cm/h^{-1} in control, it was determined as 27,4, 30,51 and $38,37 \text{ cm/h}^{-1}$ for 1%, 3% and 5% zeolite application rates, respectively. Results obtained in this study have shown that zeolite can be used as an amelioration material to improve soil physical properties.

2017, 39 pages

Keywords: Zeolite, aggregate size distribution, aggregate stability, bulk density, hydraulic conductivity

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmamın her aőamasında bilimsel ve kiőisel yardımlarını esirgemeyen hocalarım Sayın Doç. Dr. Ekrem Lütü AKSAKAL, Sayın Doç. Dr. İlker ANGIN ve Sayın Dr. Serdar SARI'ya ve her türlü yardımları için tüm bölüm öğretim üye ve personeline teşekkür ederim.

Yeliz BUDAK

Ekim, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAKLAR ÖZETLERİ.....	3
2.1. Zeolitin Tanımı, Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları.....	3
2.2. Zeolitin Tarımda Kullanımı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	8
3.1. Materyal.....	8
3.1.1. Araştırma toprakları.....	8
3.1.2. Toprak örneklerinin alındığı alanın coğrafi konumu ve iklim özellikleri.....	8
3.1.3. Toprak örneklerinin alındığı alanların toprak özellikleri.....	11
3.1.4. Toprak örneklerinin alınması ve analize hazırlanması.....	11
3.1.5. Zeolit (Klinoptilolit).....	11
3.2. Yöntemler.....	12
3.2.1. Laboratuvar analiz yöntemleri.....	12
3.2.1.a. Toprak tekstürü.....	12
3.2.1.b. Toprak reaksiyonu (pH).....	12
3.2.1.c. Kireç.....	12
3.2.1.d. Organik madde (OM).....	13
3.2.1.e. Katyon değişim kapasitesi (KDK).....	13
3.2.1.f. Elektriksel iletkenlik (EC).....	13
3.2.1.g. Tane yoğunluğu.....	13
3.2.1.h. Hacim ağırlığı (HA).....	13
3.2.1.i. Porozite.....	14
3.2.1.j. Ortalama ağırlıklı çap (OAÇ).....	14
3.2.1.k. Agregat stabilitesi (AS).....	14

3.2.1.1. Dispersiyon oranı (DO).....	15
3.2.1.m. Hidrolik iletkenlik (Hİ)	15
3.2.1.n. Penetrasyon direnci (PD).....	16
3.2.2. Denemenin kurulması ve yürütülmesi.....	16
3.2.3. İstatistiksel değerlendirme.....	16
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	18
4.1. Toprak Özellikleri	18
4.1.1. Fiziksel ve kimyasal özellikler	18
4.1.2. Zeolit uygulamalarının incelenen toprak özellikleri üzerine etkileri	20
4.1.2.a. Agregat büyüklük dağılımı (ABD) ve ortalama ağırlıklı çap (OAÇ).....	20
4.1.2.b. Agregat stabilitesi (AS)	23
4.1.2.c. Dispersiyon oranı (DO)	24
4.1.2.d. Hacim ağırlığı (HA)	29
4.1.2.e. Porozite	29
4.1.2.f. Hidrolik iletkenlik (Hİ)	30
4.1.2.g. Penetrasyon direnci (PD).....	32
5. SONUÇ	34
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	40

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Toprak Kolonunun Kesit Alanı
ABD	Agregat Büyüklük Dağılımı
AS	Agregat Stabilitesi
DO	Dispersiyon oranı
EC	Elektriksel İletkenlik
H	Sabit Hidrolik Yük
HA	Hacim Ağırlığı
HG	Hava geçirgenliği
Hİ	Hidrolik İletkenlik
KDK	Katyon Değişim Kapasitesi
K _s	Düzeltilmiş Hidrolik İletkenlik
K _t	t Sıcaklığındaki Hidrolik İletkenlik
L	Toprak Kolonunun Yüksekliği
n ₂₀	Suyun 20°C'deki Vizkozitesi
n _t	Suyun t Sıcaklığındaki Vizkozitesi
OAC	Ortalama Ağırlıklı Çap
OM	Organik Madde
PD	Penetrasyon Direnci
Q	Sızan Su Hacmi
t	Sıcaklık
T	Zaman

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Erzurum ili uzun yıllar (1975-2005) ortalama iklim verileri	10
Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan deneme topraklarının ve zeolitin bazı tanımlayıcı özellikleri.....	19
Çizelge 4.2. Toprakların agregat büyüklük dağılımı ve ortalama ağırlıklı çapları üzerine zeolitin etkileri	22
Çizelge 4.3. Parametreler arasındaki korelasyon matrisi.....	23
Çizelge 4.4. Toprakların agregat stabilitesi değerleri üzerine zeolitin etkileri	27
Çizelge 4.5. Toprakların dispersiyon oranı değerleri üzerine zeolitin etkileri	28
Çizelge 4.6. Toprakların hacim ağırlığı, porozite, hidrolik iletkenlik ve penetrasyon direnci değerleri üzerine zeolitin etkileri	32

1. GİRİŞ

Nüfusunun artışına paralel olarak ihtiyaçların artması kullanılabilir sınırlı tarım alanlarında uygulanan tarımsal faaliyetlerin yoğunluğunu ve tarım alanları üzerindeki baskıyı artırmıştır. Artan yoğun tarımsal uygulamalar toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik dengesinin bozulmasına, verimlilik ve üretkenlik potansiyelinin tahrip olmasına neden olmuştur. Verimlilik ve üretkenlik parametreleri bakımından tahrip olmuş tarım topraklarının yerine alternatifinin bulunamamış olması, toprakların verimlilik ve üretkenliğinin bozulmasına yol açan süreç ve faktörlerin belirlenmesi, tahrip olmuş toprakların ıslahı ve üretkenliğinin yeniden sağlanabilmesi için yapılması gereken sürdürülebilir tarımsal faaliyetlerin araştırılmasını zorunlu hale getirmiştir. Sürdürülebilir tarımsal faaliyetler ise ancak erozyonun önlenmesi, toprağın bozulan fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi ile sağlanmaktadır. Ayrıca, toprak kalitesinin artırılması, fonksiyonlarını optimal seviyede yerine getirebilmesi ve gelecekteki kullanımlar için iyi yönetilmesi ve bozulmasının önlenmesi ile mümkün olabilmektedir. Toprağın strüktürel parametreleri ve agregasyon derecesi toprağın fiziksel kalitesi ile sürdürülebilir kullanımını çok önemli düzeyde etkilemektedir.

Strüktür, toprakların su ve hava geçirgenliklerini, su ve hava kapasitelerini, bitki besin elementlerinin yayışlığını, mikroorganizma aktivitesini, kök nüfuzunu, toprağın işlenme kolaylığını önemli ölçüde etkilemektedir. Toprak strüktürü bitki büyüme faktörü olmamasına rağmen, bitki büyümesi ile dolaylı olarak yakından ilgili olmasından dolayı sürdürülebilir tarım için korunması ve geliştirilmesi için önemli bir bileşendir.

Toprakta agregasyonun oluşumu kadar, bu agregatların mekaniksel dış kuvvetlere ve suya karşı dayanıklılıkları da bitki yetiştiriciliği ve üretkenlik açısından çok önemlidir. Toprağın su tutma kapasitesi, su iletkenliği ve havalanma durumu toprak strüktürünün agregasyon derecesi ile yakından ilgilidir. Diğer yandan, primer toprak tanelerinin bağlanma dereceleri, agregatların su karşısında dağılmaya karşı olan dirençleri,

gözeneklerin stabilitesi ve devamlılığı toprak erozyonu açısından büyük önem taşımaktadır.

Toprak fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi; strüktür oluşumu ve stabil agregatların oranını arttırarak erozyonun azaltılması, bitkilere daha uygun bir gelişme ortamı ve daha yüksek üretkenlik sağlamak amacıyla ahır gübresi ve kompost gibi organik atıkların toprağa ilave edilmesi en yaygın yöntem olarak uygulanmaktadır. Ayrıca, son yıllarda polivinilalkol ve poliakrilamid gibi yapay kimyasal kompleksler ile diatomit, vermikülit ve perlit gibi doğal katkı maddeleri de geniş ölçüde deneme ve uygulamaya alınmıştır. Ancak, toprak düzenleyicisi olarak inorganik kökenli doğal zeolitin toprak fiziksel özellikleri üzerine etkilerini ortaya koymak için yapılmış çalışmalar çok sınırlı düzeydedir. Bu nedenle bu çalışmanın amacı; farklı tekstürel yapıya sahip (kil, tın, kumlu tın) topraklara ağırlık esasından farklı dozlarda (%0, %1, %3, %5) uygulanan zeolitin (klinoptilolit) bazı toprak fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır.

2. KAYNAKLAR ÖZETLERİ

2.1. Zeolitin Tanımı, Genel Özellikleri ve Kullanım Alanları

İlk zeolit minerali (stilbite) 1756 yılında İsveç’li kimyager ve mineralog Axel Fredicka Cronstedt tarafından bulunmuştur. Bu mineraller, ısıtıldıklarında yapılarında bulunan suyun çıkarken köpürmesinden dolayı Yunanca “kaynayan taş” anlamına gelen zeolit adını almıştır. Doğada 48 zeolit minerali türü tespit edilmesine rağmen 7 tür (klinoptilolit, mordenit, şabazit, erionit, ferrierit, flipsit ve analisit) bol miktarlarda ve yüksek saflıkta bulunmaktadır. Klinoptilolit tarımsal uygulamalarda toprak düzenleyici olarak en yaygın kullanılan doğal zeolittir (Abadzic and Ryan 2001; He *et al.* 2002; Wehtje *et al.* 2003; Polat *et al.* 2004; Alp 2005; Wang and Peng 2010).

Zeolit, milyonlarca yıl önce meydana gelen doğal bir mineral olup, volkanik küllerin su ortamında değişime uğraması sonucunda oluşmuştur. Zeolit mineralleri, alkali ve toprak alkali kationlarının K^+ , Na^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi elementleri değişebilir formda içeren, birbirine oksijen atomlarını paylaşarak bağlanan tetrahedral $(SiO_4)^{-4}$ ve oktahedral $(AlO_4)^{-5}$ ’in sınırsız uzayabilen üç boyutlu ağından oluşan sulu aluminosilikat yapısındadır. Bu $(SiO_4)^{-4}$ ve $(AlO_4)^{-5}$ dörtyüzlülerinin köşelerinde yer alan oksijen atomları Si ve Al atomları tarafından paylaşılmakta ve bu şekilde bu dörtyüzlüleri üç boyutlu bir yapı oluşturacak şekilde birbirine bağlanmaktadır. Her bir AlO_4 oktahedronu yapıya eksi bir yük kazandırmakta ve bu yük örgü yüzeyindeki zeolitin gözeneklerinde bulunun kationlar tarafından dengelenmektedir. Yapıları bal peteği, kafese benzeyen, geniş iç ve dış yüzey alanlara sahip mikro gözenekli yapıdadır (Chon *et al.* 1996). Zeolit minerallerinin boşluk oranı %18-50, ara kanalların serbest açıklığı 2.6-7.4 Å, iyon değiştirme kapasitesi 2.16-5.48 me/gr ve yoğunlukları 1.99-2.30 gr/cm³ arasında değişmektedir (Öter, 2002). Zeolitlerin genel yapısal formülü $x[(M^+, M^{++}).(AlO_2)].ySiO_2.zH_2O$ şeklinde olup, M^+ ; K^+ , Na^+ gibi tek değerlikli kation ve M^{++} ise Ca^{++} , Mg^{++} gibi iki değerlikli kationları simgelemektedir (Chon *et al.* 1996).

Dünyada ticari olarak üretimi ve kullanımı 1960'lı yıllarda başlamış, ülkemizde de özellikle Batı Anadolu 1970'li yıllardan itibaren yapılan çalışmalar ile geniş yayımlı çeşitli zeolit oluşumları ortaya konulmuştur. Dünya ülkeleri arasında Küba, Rusya, ABD, Japonya, İtalya, Güney Afrika, Macaristan ve Bulgaristan'ın önemli rezervlere sahip olduğu bilinmektedir. Ülkemizde ilk defa 1971 yılında Gölpaazarı-Göynük civarında analsim oluşumları saptanmış, daha sonra Ankara'da analsim ve klinoptilolit yatakları bulunmuştur. Manisa-Gördes ve Balıkesir-Bigadiç'te Türkiye'nin en önemli zeolit yatakları tespit edilmiş olup, buradaki zeolitler kolaylıkla işletilebilir türdendir. Doğal zeolit kaynakları bakımından Türkiye'nin zengin bir ülke olduğu belirtilerek, toplam rezervin 50 milyar ton civarında bulunduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'nin mevcut zeolit yatakları Ankara (Polatlı, Nallıhan, Beypazarı), Kütahya-Şaphane, Manisa-Gördes, İzmir-Urla, Balıkesir-Bigadiç ve Kapadokya Bölgesinde bulunmaktadır. Bu bölgelerde; zeolitin analsim, klinoptilolit türleri başta olmak üzere şabazit, erionit türleri önemli bir yer tutmaktadır (Köksaldı 1999; Polat *et al.* 2004).

Zeolitler, yüksek iyon değişim kapasiteleri, gözenekli yapısı, moleküler elek olma ve katalizör özellikleri, düşük yoğunluğu ve dehidratasyon özelliğinden dolayı inşaat, yer bilimlari, fizik, kimya, ziraat, hayvancılık ve sağlık sektörü gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabilir. Kağıt ve çimento sanayinde, inşaat sektöründe, seramik malzeme katkı maddesi, hayvan yemi katkı maddesi, antibiyotik malzeme ve diş macunu katkı maddesi olarak, doğal gaz saflaştırılması, petrol ürünleri üretimi, radyoaktif atık ayırma, atık ve kullanma sularının temizlenmesi, su kültürü, gübre ve tarımsal mücadelede ilaç taşıyıcısı olarak ve iyon değişimi uygulamaları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Chon *et al.* 1996; Mulligan *et al.* 2001; Yıldırım 2007; Wang and Peng 2010; Gülen *et al.* 2012).

2.2. Zeolitin Tarımda Kullanımı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Zeolitlerin iyon değişim kapasiteleri ile adsorpsiyon kapasitelerinin yüksek olması, iyon seçicilik özelliğinin olması, yarayıslı elementlerin hemen hepsini ve suyu bünyesinde depolayarak bitkilerin gerektiği zaman kullanmasına olanak veren özelliğinden dolayı

toprak düzenleyicisi olarak kullanılmalarını olanak sağlamaktadır (Mumpton 1999; Ok *et al.* 2003; Susana *et al.* 2015). Zeolitin söz konusu özellikleri bitki besin elementlerinin topraktan yıkanmasını azalttığı ve besin elementlerinin etkinliğini artırdığı için çalışmaların özellikle bitkisel gelişim ile üretimi ve toprak verimliliği üzerine yoğunlaşmasına neden olmuştur (Allen *et al.* 1995; Leggo 2000; He *et al.* 2002; Torma *et al.* 2014).

Yeter miktarda besin elementi içeren, organik madde içeriğinin ve biyolojik aktivitenin yüksek seviyede olduğu, bitki köklerinin kolaylıkla gelişme gösterebildiği yapıya sahip topraklar verimli topraklar olarak kabul edilmektedir (Lewandowski and Zumwinkle, 1999). Zeolit uygulamalarının toprakların kation değişim kapasitelerini (DeSutter and Pierzynski 2005), bitki besin elementi ve su tutma kapasitelerini (Dwyer and Dyer 1984), yararlı N, P, Ca ve Mg miktarlarını (Abdi *et al.* 2006), kullanılan gübrelerin etkinliğini (Bansiwal *et al.* 2006), mikrobiyal aktivite ve mikrobiyal biyokütleyi artırarak (Chander and Joergensen 2002), besin elementlerinin özellikle amonyum N'unun yıkanmasını ve topraktan kaybını azaltarak (Kithome *et al.* 1998) daha iyi bitki gelişimi sağladığı ve verimi arttırdığı bildirilmektedir.

Zeolitler tahıl, sebze, üzüm ve meyveler gibi çok çeşitli bitkilerin yetiştiriciliğinde toprak düzenleyici olarak başarıyla kullanılmakta ve iyi sonuçlar elde edilmektedir (Burriesci *et al.* 1984). Torii (1978) toprak düzenleyici olarak dekara 1 ve 2 ton uygulanan zeolitin ürün verimini buğdayda %13-15, patlıcanda %19-55, elmada %13-38 ve havuçta %63 oranında artırdığı belirlenmiştir. Mazur *et al.* (1986) kumlu tınlı toprağa 15 ton/ha dozunda zeolit uygulamasının yonca, arpa, buğday ve patatesten, Bouzo *et al.* (1994) oksisol ordosundaki toprağa 6 ton/ha zeolit uygulamasının şeker kamışı verimini önemli düzeyde artırdığını belirtmektedirler. Turk *et al.* (2006) farklı dozlarda zeolit uygulamasının yoncada yeşil ot verimi üzerine yaptıkları çalışmalarında doz artışı ile ot veriminin arttığını en yüksek verimin %20 zeolit dozunda meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Zeolit minerallerinin özellikle klinoptilolit yüksek katyon değişim kapasitesi ve özellikle amonyuma seçicilik göstermesinden dolayı besin elementi yıkanması ve gübre etkinliği üzerine pek çok araştırma yapılmış olup, klinoptilolit besin elementi yıkanmasını azalttığı ve gübre elementlerinin etkinliğini önemli düzeyde artırdığı belirlenmiştir (MacKown and Tucker 1985; Ferguson and Pepper 1987; Rehakova *et al.* 2004; Jha and Hayashi 2009). Malekian *et al.* (2011) yaptıkları araştırmalarında klinoptilolit uygulamasının (20-60 g/kg) topraktan nitrojen ve amonyum yıkanmasını önemli düzeyde azaltırken mısırın dane verimini önemli düzeyde arttırdığını saptamışlardır. Ayrıca, bitkide ve toprakta azot içeriğinin kontrollere göre daha yüksek bulunduğunu, bunun sebebini klinoptilolit uygulamasının gübre elementi etkinliğini artırmasıyla açıklamışlardır. Gholamhoseini *et al.* (2013) ayçiçeği tarımı yapılan alanda zeolit, ahır gübresi ve üre gübresinin farklı oranlardaki kombinasyonları ile yürütmüş oldukları çalışmalarında, zeolitin bitkiler tarafından alınabilir azot miktarını artırarak bitki gelişimini olumlu yönde etkilediğini ve kuru madde miktarını artırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca, zeolit uygulamasının toprağın katyon değişim kapasitesini artırdığını ve nitrat ile fosfor yıkanmasının azaldığını belirlemişlerdir.

Sepaskhah and Yousefi (2007) tınlı toprağa 4 ve 8 g/kg zeolit uygulamasının gözeneklerde tutulan suyu %35 ve %74 oranında artırdığını, amonyum ve nitrat yıkanmasının önemli oranda azaldığını belirtmektedirler. Xiubin and Zhanbin (2001) yaptıkları çalışmalarında zeolit uygulamasının toprakların katyon değişim kapasitesini ve su tutma kapasitesini artırdığını belirlemişlerdir. Ayrıca, toprakların infiltrasyonunu %7 ile %50 arasında değişen oranlarda artırırken yüzey akış ile sediment taşınımını %85 oranına kadar azalttığını belirlemişlerdir.

Moritani *et al.* (2010) farklı kil içeriği ile tipine ve farklı oranlarda değişebilir sodyum içeriğine sahip tuzlu-sodik toprakların fizikokimyasal özellikleri üzerine zeolit uygulamalarının etkilerini araştırdıkları çalışmalarında; zeolit uygulamalarının toprakların değişebilir sodyum içeriklerini ve agregatların dispersiyonunu azalttığını, %10 zeolit uygulamasının ortalama ağırlık çap değerlerini kontrollerine göre %22.4 ile %59.4 arasında değişen oranlarda ve hidrolik iletkenliği de 2-2.5 kat artırdığını

belirlemişlerdir. Ayrıca, zeolit uygulaması sonrasında yüzey akış miktarlarının %9.2-%23.2 arasında ve erozyonla meydana gelen toprak kayıplarının da %31.5-%37.4 arasında değişen oranlarda düşüşlerin meydana geldiğini belirlemişlerdir. Yapılan çalışmalar, toprak verimliliğinin ve üretkenliğinin artırılmasında, sürdürülebilir tarımsal faaliyetler için toprak düzenleyici olarak zeolit kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırma toprakları

Araştırmada, Erzurum yöresinde yaygın olarak bulunan bazalt, kireçtaşı ve kollüvial ana materyal üzerinde oluşmuş, benzer toprak nem ve sıcaklık rejimine sahip, %2-4 hafif eğimli tarım arazilerinden; Daphan Ovasından Vertisol ordosu Pellustert, Erzurum Ovasından Entisol ordosu Ustorthent ve Fluvaquent büyük toprak gruplarından 0-20 cm'lik işleme katmanından alınan 3 farklı toprak grubuna ait örnekler kullanılmıştır. Örnekleme noktaları Akgül (1992) ve Özgül (2003) tarafından yapılan çalışma sonuçları dikkate alınarak belirlenmiştir.

3.1.2. Toprak örneklerinin alındığı alanın coğrafi konumu ve iklim özellikleri

Erzurum, Doğu Anadolu Bölgesinde 39°10'-40°57' kuzey enlemleri ve 40°15'-42°30' doğu boylamları arasında yer almaktadır. İl, kuzeyden Artvin-Rize, kuzeydoğudan Ardahan, batıdan Gümüşhane-Erzincan, güneyden Bingöl-Muş, doğudan Ağrı-Kars illeri ile çevrilmiş olup genel sınırları içinde kalan alan 24 768 km², merkez ilçenin alanı ise 2 892 km²'dir.

Erzurum ili Türkiye'nin sıcaklık ortalaması en düşük illerinden birisi olup, karasal iklim tipine sahiptir. Kış mevsimi soğuk ve kar yağışlı, yaz ayları ise serin ve kurak geçmektedir. Gece ile gündüz, yaz ile kış mevsimleri arasındaki sıcaklık farkı oldukça yüksek olup, yüksek basınç şartları etkili olduğundan dolayı kış aylarının şiddeti fazladır. Toprak aylarca karla kaplı kalmakla birlikte donlu günlerin sayısı fazladır. İklimin bu özelliği bitki örtüsü üzerine olumsuz etki yapmaktadır. Dolayısıyla tarım yapılan bitki paterni sınırlı kalmaktadır. Erzurum ili uzun yıllar (1975-2005) ortalama iklim verileri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Erzurum'un otuz yıllık iklim verilere göre

yıllık ortalama yağış 435,6 mm'dir. Aylık ortalama yağış en fazla Mayıs (71,7 mm) en az Ağustos (17,9 mm) ayında düşmektedir. Sıcaklık ortalaması 5,7°C, en sıcak aylar Temmuz (19,3°C) ve Ağustos (19,4°C), en soğuk ay ise Ocak (-9,1°C) ayıdır. Yıllık buharlaşma 987,2 mm, ortalama nispi nem %63,9, ortalama donlu gün sayısı 112 gündür. İlk don olayı Ekim ayının sonlarında, son don olayı da Nisan ayının ortalarında görülmektedir (Anonymous 2006).



Çizelge 3.1. Erzurum ili uzun yıllar (1975-2005) ortalama iklim verileri (Anonymous 2006)

İklim verileri	AYLAR												Yıllık Ort./Top.	
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Ortalama yağış, mm	22,8	27,0	35,6	53,6	71,7	49,7	28,4	17,9	24,7	45,5	35,2	23,5	435,6	
Ortalama sıcaklık, °C	-9,1	-7,7	-2,8	5,2	10,6	14,4	19,3	19,4	14,7	8,1	1,1	-5,4	5,7	
Ortalama maksimum sıcaklık, °C	-4,0	-2,5	2,1	10,6	16,6	21,4	26,2	26,8	22,4	14,9	6,6	-1,0	11,7	
Ortalama minimum sıcaklık, °C	-13,7	-12,5	-7,3	0,2	4,5	7,5	11,3	11,2	6,7	1,9	-3,4	-9,7	-0,2	
Extrem maksimum sıcaklık, °C	8,0	10,6	21,4	23,5	29,6	32,2	35,6	35,4	32,0	27,0	20,7	12,3	35,6	
Extrem minimum sıcaklık, °C	-36,0	-37,0	-33,2	-18,5	-7,0	-5,6	-1,8	-1,1	-6,8	-12,6	-34,3	-37,2	-37,2	
Toprak sıcaklığı, °C	5 cm	-10,6	-8,6	1,8	8,6	12,6	19,7	25,2	23,4	17,9	10,2	2,3	-5,8	8,1
	10 cm	-10,5	-8,6	1,2	8,1	12,1	19,0	24,3	23,2	18,0	10,3	2,5	-5,4	7,8
	20 cm	-10,0	-8,2	0,1	7,1	11,2	17,6	22,7	22,1	17,5	10,4	3,1	-4,3	7,4
Ortalama nispi nem, %	76,2	75,2	74,2	65,3	61,2	56,3	50,3	47,5	50,3	61,5	72,2	76,5	63,9	
Ortalama buharlaşma, mm	0,0	0,0	0,0	11,3	119,1	160,9	237,9	235,8	168,6	55,3	0,0	0,0	987,2	
Ortalama rüzgar hızı, m s ⁻¹	1,9	2,2	2,5	3,2	3,0	2,8	3,0	3,0	2,7	2,6	2,2	2,0	2,6	
Kar yağışlı günler sayısı	11,4	10,6	10,5	3,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	3,9	10,0	50,6	
Karla örtülü gün sayısı	28,5	26,5	21,7	3,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	6,5	23,3	111,2	
En yüksek kar örtüsü, cm	63,0	102,0	77,0	54,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	41,0	68,0		

3.1.3. Toprak örneklerinin alındığı alanların toprak özellikleri

Erzurum Ovası allüviyal karakterde olup, Karasu civarındaki organo-mineral topraklar hariç, arazinin büyük kısmının toprağı Halosen genç allüviyonlardan oluşmaktadır. Allüviyal materyalin bileşimi; aglomera, bazalt, volkanik tuf, konglomera ve kireç taşının parçalanma ayrışma ürünlerini içermektedir (Atalay 1978).

Daphan ovası toprakları zonal toprak gruplarından kestanerengi ve kahverengi büyük toprak grubuna girmektedirler. Ova topraklarının büyük bir bölümü ağır bünyeli olup üst horizonları hafif ve orta derecede alkalın sınıfına girmektedir. Yüzey topraklarının organik madde içerikleri %1.0-3.6 arasındadır. Düz kesimlerde kireç yüzey horizonlarından yıkanmış olup değişebilir sodyum yüzdesi %1.5'in altındadır. Bitkiye elverişli potasyum bakımından zengin olan ova toprakları, fosfor bakımından ise gübrelemeye ihtiyaç göstermektedir. Ovada tuzluluk problemi yoktur (Akgül 1994).

3.1.4. Toprak örneklerinin alınması ve analize hazırlanması

Araştırmada kullanılmak üzere Daphan ovasından Pellustert, Erzurum ovasından Ustorthent ve Fluvaquent büyük toprak gruplarına ait alanlardan 0-20 cm'lik işleme katmanından bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır.

Alınan örnekler plastik torbalara konulup etiketlendikten sonra laboratuvara getirilerek oda sıcaklığında kurutulmuş ve 8.0 mm'den elenmiştir. Ayrıca, her toprak örneği için 2 mm'lik elekten geçirilmiş alt örneklerde toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

3.1.5. Zeolit (Klinoptilolit)

Araştırmada tektosilikat yapısında olup tabakalı yapı gösteren klinoptilolit minerali kullanılmıştır. Klinoptilolit tabakalar birbirlerine birkaç yerinden bağlanmakta ve

araları oldukça açıktır. Tabakalar 8-10 kenarlı açık halkalardan oluşmaktadır. Bu halkalar, istiflenerek tabakaları, tabakalar da istiflenerek kristal içinde kanal ve boşluklar oluşturmaktadır. Klinoptilolit yüksek iyon değişim kapasitesi ve spesifik yüzey alanına sahiptir (Bish and Ming 2001; Alp 2005). Araştırmada kullanılan klinoptilolit %95 saflıkta olup (%5 oranında kristobalit ve tridimit içermekte) kimyasal formülü $(Ca, K_2, Na_2, Mg)_4Al_8Si_{40}O_{96}.24H_2O$ 'dir. Araştırmada kullanılan klinoptilolit bazlı özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

3.2. Yöntemler

3.2.1. Laboratuvar analiz yöntemleri

3.2.1.a. Toprak tekstürü

Toprakların tekstürleri Bouyoucos Hidrometre yöntemiyle belirlenmiştir (Gee and Bauder 1986).

3.2.1.b. Toprak reaksiyonu (pH)

Toprakların pH'ları 1:2.5'lük toprak-su süspansiyonunda ve arıtma çamurunun pH'sı saturasyon ekstraktında elde edilen süzüklerden cam elektrotlu pH metre ile ölçülmüştür (McLean 1982).

3.2.1.c. Kireç

Toprakların kireç içerikleri Scheibler kalsimetresi ile volümetrik olarak saptanmıştır (Nelson 1982).

3.2.1.d. Organik madde (OM)

Toprakların organik madde içerikleri Smith-Weldon yöntemiyle, arıtma çamurunun organik madde içeriği kül fırınında yakılarak ağırlık kaybından belirlenmiştir (Nelson and Sommers 1982).

3.2.1.e. Katyon değişim kapasitesi (KDK)

Toprakların katyon değişim kapasiteleri, örneklerde sodyum asetatla (1 N, pH=8.2) sodyum adsorpsiyonu sağlandıktan sonra, amonyum asetatla (1 N, pH=7.0) ekstrakte edilen solusyonlarda alev fotometresiyle Na okuması yapılarak belirlenmiştir (Rhoades 1982a).

3.2.1.f. Elektriksel iletkenlik (EC)

Toprakların EC'leri 1:2.5'lük toprak-su süspansiyonunda, arıtma çamurunun EC değeri saturasyon macunundan elde edilen ekstraksiyon süzüklerinde elektriki kondüktivite aleti ile mS cm^{-1} olarak belirlenmiştir (Rhoades 1982b).

3.2.1.g. Tane yoğunluğu

Tane yoğunluğu analizleri piknometre yöntemiyle yapılmıştır (Blake and Hartge 1986a).

3.2.1.h. Hacim ağırlığı (HA)

Toprakların hacim ağırlıkları 100 cm^3 'lük bozulmamış örnekler de belirlenmiştir (Blake and Hartge 1986b).

3.2.1.i. Porozite

Toprakların tane yoğunlukları ve hacim ağırlıkları kullanılarak hesaplanmıştır (Danielson and Sutherland 1986).

3.2.1.j. Ortalama ağırlıklı çap (OAÇ)

Agregat büyüklük dağılımının indeks değeri olarak Rotary eleği ile agregatlara ait çeşitli büyüklük gruplarının her birinin miktarı tayin edilmiş ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunmuştur (Kemper and Rosenau 1986).

$$OAÇ = \sum_{i=1}^n \bar{X}_i \cdot W_i$$

Xi : Herbir agregat fraksiyonunun ortalama çapı, mm

Wi : Xi ortalama çaptaki büyüklük sınıfına ait agregatların oranı, %

3.2.1.k. Agregat stabilitesi (AS)

Toprakların agregat stabilitesi değerleri hava kurusu <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2, 2-6.4, 6.4-12.7 ve >12.7 mm büyüklüğündeki agregat fraksiyonlarında 0.25 mm elek açıklığında, 12.7 mm darbe uzunluğu ve 42 devir/dak. darbe frekansına sahip Yoder tipi ıslak eleme aleti kullanılarak belirlenmiştir (Kemper and Rosenau 1986).

$$AS = \frac{P_1 - P_2}{P - P_2} \times 100$$

AS: Agregat stabilitesi, %

P₁: Stabil agregat + Kum miktarı, g

P₂: Kum miktarı, g

P: Fırın kuru toprak miktarı, g

3.2.1.l. Dispersiyon oranı (DO)

Toprak örneklerinin su içerisinde disperse edilmesinden önce ve sonra, 50 mikrondan daha küçük fraksiyonların hidrometre yardımıyla ölçülmesi ve aşağıdaki eşitliğin kullanılmasıyla hesaplanmıştır (Lal 1988).

$$DO = \frac{\text{Süspansiyonda ölçülen toplam (silt + kil), \%}}{\text{Mekanik analizde ölçülen toplam (silt + kil), \%}} \times 100$$

3.2.1.m. Hidrolik iletkenlik (Hİ)

Toprakların hidrolik iletkenlikleri sabit su seviyeli permeametre yöntemi ile belirlenmiştir (Klute ve Dirksen 1986). Belli bir zaman (T) içerisinde toprak örneği içinden sızan suyun hacmi (Q), toprak kolonunun yüksekliği (L), sabit hidrolik yük (H) ve silindirlerin kesit alanından (A) yararlanılarak, ölçüm yapılan sıcaklıktaki (t) hidrolik iletkenlik katsayısı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$K_t \text{ (cm/h)} = Q.L / A.T.H$$

Laboratuvar koşullarındaki, düzeltilmiş hidrolik iletkenlik değerleri (K_s) suyun t sıcaklığındaki viskozitesi (n_t) standart sıcaklık derecesindeki (20°C) suyun viskozitesi (n₂₀) ve K_t değerlerinden yararlanılarak,

$$K_s \text{ (cm/h)} = K_t (n_t/n_{20})$$

belirlenmiştir.

3.2.1.n. Penetrasyon direnci (PD)

Toprakların giriş penetrasyon direnci değerleri pocket penetrometre kullanılarak kg/cm^{-2} olarak belirlenmiştir (Lowery and Morrison 2002).

3.2.2. Denemenin kurulması ve yürütülmesi

Araştırmada kullanılmak üzere seçilen kumlu tın, tın ve kil tekstür sınıfındaki toprakların agregasyon ve bazı fiziksel özellikleri üzerine zeolitın etkisini incelemek amacıyla deneme kurulmuştur.

Denemenin kurulması için 8 mm'den elenen toprak örnekleri ayrı ayrı fırın kuru ağırlık esasına göre kumlu tın tekstür toprak için 17 kg, tın tekstür sınıfı toprak için 16 kg ve kil tekstür sınıfı toprak için 14 kg tartılmıştır. Toprak örneklerine 0,5 mm'den elenmiş fırın kuru ağırlık esasına dört farklı dozda (%0, %1, %3 ve %5) zeolit uygulanmış ve homojen karışımları sağlanmıştır. Toprak-zeolit karışımları 40 cm uzunluğunda, 25 cm genişliğinde ve 15 cm derinliğindeki plastik kaplara yerleştirilmiştir. Deneme 3 tekerrürlü olarak laboratuvar koşullarında yürütülmüştür. Denemede 3 toprak \times 4 doz \times 3 tekerrür olarak toplamda 36 örnek üzerinde çalışılmıştır. Plastik kaplara yerleştirilen toprak-zeolit karışımları yaklaşık tarla kapasitesi nem seviyesinde laboratuvar şartlarında 4 ay inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sürecinde örneklerin nem içerikleri sürekli olarak kontrol edilerek buharlaşmadan meydana gelen kayıplar için 3'er gün arayla tarla kapasitesinde olacak şekilde su ilavesi yapılmıştır. Deneme sonrasında plastik kaplardan gerekli miktarlarda bozulmamış ve bozulmuş örnekler alınarak araştırma konusu parametreler için analizler yapılmıştır.

3.2.3. İstatistiksel değerlendirme

Faktöriyel deneme desenine uygun olarak planlanan bu çalışmada; muamele faktörlerinin incelenen özellikler üzerindeki etki değerlerini belirlemek için SPSS

istatistik paket programı kullanılarak ANOVA ve Tukey'in çoklu karşılaştırma test yöntemi uygulanmıştır (IBM 2011).



4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Toprak Özellikleri

4.1.1. Fiziksel ve kimyasal özellikler

Araştırma konusu topraklara ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir. Söz konusu çizelgeden görüleceği üzere I nolu toprak örneğinin kil içeriği %61,39, silt içeriği %21,31 ve kum içeriği ise %17,30 olarak tesbit edilmiş olup tekstür sınıfı kil (C) olarak belirlenmiştir. Kil içeriği %25,68, silt içeriği %41,96 ve kum içeriği %32,36 olarak bulunan II nolu toprak örneğinin tekstür sınıfı tın (L) ve kil içeriği %13,64, silt içeriği %24,93, kum içeriği %61,43 olarak bulunan III nolu toprak örneğinin tekstür sınıfı kumlu tın (SL) olarak tespit edilmiştir. Toprakların pH değerleri 1:2.5 toprak:su karışım oranına göre hafif alkalin karakterde, kireç içerikleri ise %1,49, %2,14 ve %0,65 olup kireç içerikleri bakımından çok az sınıfa girmektedir. Araştırma konusu toprakların organik madde içerikleri %1,44, %1,51 ve %1,96 olarak belirlenmiş olup az sınıfına girmektedir. Toprakların katyon değişim kapasiteleri 52,94, 30,73 ve 19,25 cmol/kg⁻¹ olup kil içeriği en fazla olan Pellustert büyük toprak grubunda en yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Araştırmada kullanılan deneme topraklarının ve zeolitinin bazı tanımlayıcı özellikleri

Parametreler	Topraklar ve Materyal				
	Toprak I	Toprak II	Toprak III	Zeolit (Klinoptilolit)	
Kil (%)	61,39±1,29	25,68±1,20	13,64±0,60		
Silt (%)	21,31±0,03	41,96±1,50	24,93±1,14		
Kum (%)	17,30±1,25	32,36±1,28	61,43±1,32		
Tekstür sınıfı	Kil	Tın	Kumlu tın		
Büyük toprak grubu	Pellustert	Fluvaquent	Ustorthent		
KDK (cmol kg ⁻¹)	52,94±1.30	30,73±0,96	19,25±0,71	83,69±1,45	
CaCO ₃ (%)	1,49±0,02	2,14±0,06	0,65±0,03		
Organik madde (%)	1,44±0,07	1,51±0,11	1,96±0,09		
pH	7,46±0,02 ^s	7,59±0,04 ^s	7,24±0,06 ^s	7.41±0,08 ^e	
EC (mS cm ⁻¹)	1,19±0,04 ^s	1,03±0,02 ^s	0,59±0,04 ^s		
Tane yoğunluğu (g cm ⁻³)	2,67±0,02	2,63±0,02	2,66±0,02	2,31±0,03	
Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	1,06±0,05	1,17±0,03	1,26±0,04	0,72±0,04	
XRF analizi (%)	O	47,71	46,96	47,29	50,38
	Ca	2,10	4,88	3,85	2,65
	Si	32,51	30,25	31,67	34,42
	Mg	1,77	1,51	1,44	0,67
	K	1,93	1,75	2,09	2,32
	Al	8,90	8,32	8,43	6,69
	P	0,05	0,16	0,17	0,01
	S	0,07	0,05	0,04	0,04
	Fe	2,18	2,42	1,82	0,39
	Na	0,48	1,42	1,75	0,10
	Mn	0,05	0,06	0,04	0,01
	Sr	0,01	0,01	0,01	0,02

^s 1:2.5 (toprak:su) ekstraktında belirlendi.

^e Saturasyon ekstraktında belirlendi.

4.1.2. Zeolit uygulamalarının incelenen toprak özellikleri üzerine etkileri

4.1.2.a. Agregat büyüklük dağılımı (ABD) ve ortalama ağırlıklı çap (OAÇ)

Zeolit uygulamalarının agregat büyüklük dağılımı (ABD) ve ortalama ağırlıklı çap (OAÇ) üzerine etkileri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Araştırma toprağı I’e uygulanan zeolit dozu arttıkça <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2 ve 2-6.4 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarında kontrollerine göre önemli düzeyde artışlar meydana gelirken, 6.4-12.7 ve >12.7 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarında ise azalışların meydana geldiğı belirlenmiştir. Zeolit uygulaması ile 6.4-12.7 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarında meydana gelen azalışların istatistiksel olarak önemsiz olduğı belirlenirken, >12.7 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarında meydana gelen azalışların istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) olduğı tespit edilmiştir. Kontrol düzeyinde >12.7 mm agregat fraksiyonu miktarı %52,13’den %1, %3 ve %5 zeolit uygulamaları sonrasında sırasıyla %49.17, %39.79 ve %15.35’e düşmüştür. Toprak II’de %1 dozunda zeolit uygulamasının <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2 ve 2-6.4 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarını kontrole göre azalttığı, 6.4-12.7 ve >12.7 mm agregat fraksiyonların miktarlarını ise artırdığı belirlenmiştir. Söz konusu toprağı %3 ve %5 oranında zeolit uygulamaları ise <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2 ve 2-6.4 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarını kontrole göre artırdığı, 6.4-12.7 ve >12.7 mm agregat fraksiyonların miktarlarını ise azalttığı belirlenmiştir. Kumlu tın tekstür sınıfında olan Toprak III’e uygulanan zeolitin <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2, 2-6.4 ve 6.4-12.7 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarında azalışlara neden olduğı belirlenirken, >12.7 mm agregat fraksiyonların miktarlarında artışlar sağladığı tespit edilmiştir. Toprak I, II ve III’ün kontrol örneklerinde >12.7 mm agregat fraksiyonlarının miktarı %52,13, %23,53 ve %0,75 olarak belirlenmiştir. Özellikle, toprak I’de yüksek kil içeriğı inkübasyon sürecinde kesek olarak nitelendirilebilecek büyük agregatların oluşmasına neden olmuştur. Kil ve silt içeriğı daha az, kum içeriğı daha fazla olan toprak III’de büyük agregat oluşumu toprak I ve II’den çok daha az olmuştur. Zeolit uygulaması toprak I ve II’de büyük agregat oluşumunu azaltmış ve buna bağılı olarak söz konusu topraklarda ortalama ağırlıklı çap değerlerinin (OAÇ) düşmesine neden olmuştur ($p<0.05$). Toprak

III'de ise zeolit uygulaması büyük agregat oluşumunu artırmış ve buna bağlı olarak söz konusu toprakta OAÇ değerinin artmasına neden olmuştur. Genel ortalama verileri incelendiğinde de, zeolit uygulamaları <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2 ve 2-6.4 mm agregat fraksiyonları miktarlarının kontrollerine göre daha yüksek, 6.4-12.7 ile >12.7 mm agregat fraksiyonlarının ise daha düşük olduğu görülmektedir. Zeolit uygulamasıyla büyük agregatların oranlarının azalması OAÇ değerlerini Toprak I'de 9,24 mm'den 5,06 mm'ye, Toprak II'de 5,16 mm'den 4,14 mm'ye düşürmüştür. Toprak III'de ise zeolit uygulaması ile OAÇ değeri 2,61 mm'den 2,77 mm'ye yükselmiştir. Genel ortalamada kontrol düzeyinde 5.67 mm olan OAÇ değeri zeolit uygulaması ile 4,17 mm'ye düşmüştür ($p<0.05$). Zeolit ile OAÇ arasındaki korelasyon katsayıları Toprak I, II ve III için sırasıyla -0.935^{**} , -0.465 ve 0.587^{*} olarak belirlenirken, zeolit uygulaması ile OAÇ arasındaki genel korelasyon katsayısı -0.267 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Topraklara uygulanan toprak düzenleyicilerin değişim komplekslerinde meydana getirdiği değişikliklerden dolayı büyük agregatların kırılmasına neden olabileceği belirtilmektedir (Whalen ve Chang, 2002; Hurisso *et al.*, 2013; Aksakal *et al.*, 2016). Bu sonuçlar, zeolit Toprak I ve II gibi yüksek kil ve silt içeren topraklarda büyük agregat ve kesek oluşumunu azaltmak için kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, yüksek spesifik yüzeyi ve yüksek negatif elektrik yükü sayesinde Toprak III gibi yüksek kum içeriğine sahip topraklara uygulanan zeolit agregatlaşmayı artıracakı görülmektedir.

Çizelge 4.2. Toprakların agregat büyüklük dağılımı ve ortalama ağırlıklı çapları üzerine zeolitin etkileri (Ortalama±Std)

Topraklar	Uygulama oranları (w/w)	Agregat büyüklük dağılımı (mm) (%)						Ortalama ağırlıklı çap (mm)
		<0.42	0.42-0.84	0.84-2.00	2.00-6.4	6.4-12.7	>12.7	
Toprak I	Kontrol	7,31±0,68d	2,85±0,23c	6,14±0,34c	9,76±0,41c	21,82±4,94	52,13±4,01a	9,24±0,04a
	%1	10,12±1,13c	4,06±0,51b	8,08±0,68bc	10,98±0,58bc	17,60±3,84	49,17±1,77ab	8,55±0,21ab
	%3	12,73±0,42b	4,90±0,64b	10,97±1,97b	14,84±2,46b	16,76±1,76	39,79±6,88b	7,49±0,58b
	%5	17,88±1,69a	7,72±1,02a	17,14±1,56a	22,81±2,47a	19,09±2,42	15,35±4,20c	5,06±0,63c
	Ortalama	12,01±4,17C	4,88±1,96C	10,58±4,49C	14,60±5,54C	18,82±3,58A	39,11±15,60A	7,58±1,70A
<i>p</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	ns (0,360)	<0,05	<0,05	
Toprak II	Kontrol	21,46±2,93ab	6,66±0,64	16,85±0,67	21,62±2,44	9,88±2,42	23,53±1,87ab	5,16±0,31ab
	%1	18,18±3,26b	6,08±0,90	16,12±1,88	21,25±1,33	9,99±1,42	28,38±5,84a	5,76±0,78a
	%3	25,62±2,61a	7,83±0,67	19,39±1,46	23,01±0,20	8,59±1,29	15,56±4,69b	4,14±0,57b
	%5	21,92±1,11ab	6,95±0,23	17,49±0,12	24,99±2,04	10,60±0,38	18,05±1,79ab	4,69±0,16ab
	Ortalama	21,80±3,54B	6,88±0,86B	17,46±1,65B	22,72±2,13B	9,76±1,53B	21,38±6,19B	4,94±0,76B
<i>p</i>	<0,05	ns (0,062)	ns (0,057)	ns (0,102)	ns (0,488)	<0,05	<0,05	
Toprak III	Kontrol	30,15±2,37	8,92±0,20	22,34±0,15	28,75±1,13	9,09±1,89	0,75±0,66	2,61±0,15
	%1	29,62±1,43	8,84±0,12	22,54±0,11	28,74±1,04	8,52±0,94	1,74±0,59	2,68±0,08
	%3	29,22±0,10	8,77±0,08	22,89±0,92	28,46±0,58	8,39±0,89	2,26±0,27	2,73±0,09
	%5	29,35±0,28	8,90±0,44	22,20±0,30	28,44±1,48	8,65±0,93	2,47±1,55	2,77±0,06
	Ortalama	29,59±1,24A	8,86±0,22A	22,49±0,50A	28,60±0,95A	8,66±1,09B	1,81±1,04C	2,70±0,10C
<i>p</i>	ns (0,849)	ns (0,883)	ns (0,399)	ns (0,973)	ns (0,909)	ns (0,171)	ns (0,300)	
Genel Ortalama	Kontrol	19,64±10,17b	6,14±2,68b	15,11±7,15b	20,04±8,42c	13,60±6,83	25,47±22,40a	5,67±2,90a
	%1	19,31±8,69b	6,33±2,14b	15,58±6,35b	20,32±7,78bc	12,04±4,71	26,43±20,82a	5,66±2,57a
	%3	22,52±7,62a	7,17±1,81a	17,75±5,46a	22,10±6,07b	11,25±4,30	19,21±16,99b	4,79±2,16b
	%5	23,05±5,14a	7,85±1,82a	18,94±2,60a	25,41±3,02a	12,78±4,98	11,95±7,60c	4,17±1,12c
	<i>p</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	ns (0,192)	<0,05	<0,05

Farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($p<0.05$); ns: not significant.

Çizelge 4.3. Parametreler arasındaki korelasyon matrisi

	Zeol	OAÇ	AS	DO	HA	Por	Hİ	PD
Toprak I	Zeol	-						
	OAÇ	-,935**	-					
	AS	,953**	-,832**	-				
	DO	-,417	,241	-,612*	-			
	HA	-,728**	,628*	-,830**	,783**	-		
	Por	,728**	-,628*	,830**	-,783**	-1,00**	-	
	Hİ	,747**	-,815**	,753**	-,509	-,800**	,800**	-
	PD	-,612*	,592*	-,543	-,107	,319	-,319	-,508
Toprak II	Zeol	-						
	OAÇ	-,465	-					
	AS	,955**	-,299	-				
	DO	-,929**	,481	-,914**	-			
	HA	-,747**	,628*	-,759**	,841**	-		
	Por	,747**	-,628*	,760**	-,841**	-1,00**	-	
	Hİ	,648*	-,492	,703*	-,829**	-,926**	,926**	-
	PD	-,711**	,780**	-,564	,629*	,506	-,506	-,413
Toprak III	Zeol	-						
	OAÇ	,587*	-					
	AS	,875**	,462	-				
	DO	-,970**	-,618*	-,857**	-			
	HA	-,836**	-,785**	-,783**	,811**	-		
	Por	,837**	,785**	,783**	-,811*	-1,00**	-	
	Hİ	,537	,827**	,353	-,503	-,684*	,683*	-
	PD	-,666*	-,016	-,624*	,652*	,349	-,349	-,080
Genel Korelasyon	Zeol	-						
	OAÇ	-,267	-					
	AS	,867**	-,015	-				
	DO	-,301	-,710**	-,452**	-			
	HA	-,374*	-,651**	-,572**	,939**	-		
	Por	,361*	,645**	,550**	-,951**	-,998**	-	
	Hİ	,416*	-,690**	,193	,502**	,369*	-,390*	-
	PD	-,170	-,288	-,135	,727**	,572**	-,624**	,459**

Zeol: Zeolit; OAÇ: Ortalama ağırlıklı çap; AS: Agregat stabilitesi; DO: Dispersiyon oranı; HA: Hacim ağırlığı; Por: Porozite; Hİ: Hidrolik iletkenlik; PD: Penetrasyon direnci;

** Korelasyon 0.01 seviyesinde önemlidir.

* Korelasyon 0.05 seviyesinde önemlidir.

4.1.2.b. Agregat stabilitesi (AS)

Zeolit uygulamaları araştırma topraklarının tüm agregat fraksiyonlarında agregat stabilitesi (AS) değerlerini kontrollerine göre önemli düzeyde ($p < 0.05$) artırmıştır

(Çizelge 4.4). Zeolitin agregat stabilitesi üzerine etkinliğinin genel olarak doz arttıkça artış gösterdiği belirlenmiştir. Kontrolleri ile karşılaştırıldığında, Toprak I >12.7 mm ve Toprak III <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2 ve >12.7 mm agregat fraksiyonları dışındaki diğer agregat fraksiyonlarında en yüksek AS değerleri en yüksek uygulama dozu %5’de elde edilmiştir. Toprak I >12.7 mm ve Toprak III <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2 ve >12.7 mm agregat fraksiyonlarında en yüksek AS değerleri %3 uygulama dozunda elde edilmiştir. Zeolit uygulaması sonrasında elde edilen en yüksek AS değerleri kontrolleriyle karşılaştırıldığında Toprak I’de <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2, 2-6.4, 6.4-12.7 ve >12.7 mm agregat fraksiyonlarında AS değerlerindeki artış oranları sırasıyla %126, 85, 76, 66, 85 ve 137 olarak belirlenmiştir. Söz konusu artış oranları Toprak II için %50, 81, 40, 50, 55, 66 ve Toprak III için %46, 18, 57, 69, 49 ve 84 olarak belirlenmiştir. Ortalama olarak Toprak I’de kontroldeki AS %25,20 iken %5 zeolit uygulama dozunda %47,36 olarak belirlenmiş ve zeolit uygulaması AS’de %88 oranında artış sağlamıştır. Toprak II’de ortalama AS değeri %29,64’den %46,10’a yükselerek %56 oranında, Toprak III’de de kontrolde ortalama AS değeri %25,10 iken %3 uygulama dozunda AS değeri %39,04’e yükselerek %56 oranında artışın olduğu tespit edilmiştir. Genel ortalama AS değeri kontrolde %26,64 iken zeolit uygulama dozlarının artışı ile artış göstermiş %5 uygulama dozunda %43,51 olarak belirlenmiş ve kontrole göre %63 oranında artışın meydana geldiği belirlenmiştir. Zeolit uygulaması ile AS arasındaki korelasyon katsayısı Toprak I, II ve III için sırasıyla 0.953**, 0.955** ve 0.875** olarak belirlenirken, zeolit-AS arasındaki genel korelasyon katsayısı ise 0.867** olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Kırkık (2011) yapmış olduğu çalışmada, toprağa uygulanan farklı boyut ve dozlardaki zeolitin strüktür stabilite indeksi değerini %16 oranında artırdığını ve toprakta agregatlaşmanın artış gösterdiğini tespit etmiştir.

4.1.2.c. Dispersiyon oranı (DO)

Zeolit uygulamalarının dispersiyon oranı (DO) değerlerine etkileri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Tüm toprakların farklı boyutlardaki agregat fraksiyonlarında en yüksek DO değerleri kontrol seviyelerinde belirlenmiştir. Zeolit uygulamaları ile DO değerlerinde genellikle önemli düzeyde düşüşler meydana gelmiştir ($p<0.05$). Toprak I’de en düşük

DO değerleri <0.42, 6.4-12.7 ve >12.7 mm agregat fraksiyonlarında %1 uygulama dozunda belirlenirken; 0.42-0.84, 0.84-2 ve 2-6.4 mm agregat fraksiyonlarında %3 dozunda belirlenmiştir. Toprak I'in kontrol düzeyinde ortalama DO değeri %24,13 olarak belirlenirken en düşük ortalama DO değeri %1 dozunda %17,74 olarak belirlenmiş ve zeolit uygulaması DO değerinde kontrole göre %26,5 oranında azalış meydana getirmiştir. Toprak II'de zeolit uygulama dozu arttıkça tüm agregat boyutlarının DO değerlerinde azalışlar meydana gelmiş ve en düşük DO değerleri %5 uygulama dozunda belirlenmiştir. Toprak II'nin kontrol düzeyinde <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2, 2-6.4, 6.4-12.7 ve >12.7 mm agregat fraksiyonlarında DO değerleri sırasıyla %57.47, %49.29, %40.87, %39.22, %43.74 ve %41.65 belirlenirken zeolit uygulaması sonrasında %48.39, %36.94, %31.39, %27.96, %31.17 ve %35.42 olarak belirlenmiştir. Kontrolleri ile karşılaştırıldığında %5 zeolit uygulaması sonrasında Toprak II'nin <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2, 2-6.4, 6.4-12.7 ve >12.7 mm agregat fraksiyonlarında DO değerlerindeki azalış oranları sırasıyla %15.8, 25.1, 23.2, 28.7, 28.7 ve 15.0 olarak belirlenmiştir. Toprak III'de en düşük DO değerleri <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2 ve 2-6.4 mm agregat fraksiyonlarında %5 uygulama dozunda belirlenirken; 6.4-12.7 ve >12.7 mm agregat fraksiyonlarında %3 dozunda belirlenmiştir. Zeolit uygulaması sonrasında belirlenen en düşük DO değerleri kontrolleri ile kıyaslandığında %20.6, 29.7, 31.6, 29.3, 17.2 ve 20.0 oranlarında düşüşlerin meydana geldiği belirlenmiştir. Ortalama olarak Toprak I'de kontroldeki DO %24.13 iken %1 zeolit uygulama dozunda %17.74 olarak belirlenmiş ve zeolit uygulaması DO'da %26.5 oranında azalış sağlamıştır. Toprak II'de ortalama DO değeri %45.37'den %5 zeolit uygulaması sonrasında %35.21'e düşerek %22.4 oranında, Toprak III'de ise %45.87'den %34.86'a düşerek %24.0 oranında azalışların olduğu tespit edilmiştir. Genel ortalama DO değeri kontrolde %38.46 iken zeolit uygulama dozlarının artışı ile düşüşler göstermiş %5 uygulama dozunda %30.20 olarak belirlenmiş ve kontrole göre %21.5 oranında düşüşün meydana geldiği belirlenmiştir.

Zeolit uygulaması ile DO arasındaki korelasyon katsayısı Toprak I, II ve III için sırasıyla -0.417, -0.929** ve -0.970** olarak belirlenirken, zeolit-DO arasındaki genel korelasyon katsayısı ise -0.301 olarak belirlenmiştir. Söz konusu bu ilişkilerin

toprakların AS değerleri ile uyumlu oldukları tespit edilmiştir. Dispersiyon oranı ile AS arasında önemli düzeyde negatif korelasyon belirlenmiştir. Dispersiyon oranı ile AS arasındaki korelasyon katsayıları Toprak I, II ve III için sırasıyla -0.612^* , -0.914^{**} ve -0.857^{**} olarak belirlenirken, DO-AS arasındaki genel korelasyon katsayısı -0.452^{**} olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Gülser (2006), Opara (2009) Aksakal *et al.* (2016) tarafından yapılan araştırmalarda da benzer sonuçların elde edildiği görölmektedir.



Çizelge 4.4. Toprakların agregat stabilitesi değerleri üzerine zeolitin etkileri (Ortalama±Std)

Topraklar	Uygulama oranları (w/w)	Agregat stabilitesi (Fraksiyon büyüklüğü, mm) (%)						Ortalama
		<0.42	0.42-0.84	0.84-2.00	2.00-6.4	6.4-12.7	>12.7	
Toprak I	Kontrol	13,99±1,31c	29,65±4,08c	30,75±2,90c	29,79±1,93c	25,93±1,68b	21,07±2,46c	25,20±0,86c
	%1	25,10±0,52b	42,27±2,50b	40,32±4,20b	40,30±2,43b	32,59±5,43b	32,91±4,76bc	35,59±2,59b
	%3	30,49±1,21a	51,08±4,35ab	49,43±3,84a	47,83±2,17a	44,99±5,10a	49,89±4,78a	45,62±1,16a
	%5	31,67±3,27a	54,87±3,03a	54,19±2,20a	49,51±2,68a	47,95±4,64a	45,96±7,66ab	47,36±1,71a
	Ortalama	25,31±7,48A	44,47±10,58B	43,67±9,80A	41,86±8,36B	37,87±10,13AB	37,46±12,68A	38,44±9,38A
<i>p</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Toprak II	Kontrol	17,63±3,83	27,83±3,09c	39,15±1,58c	37,44±1,17c	33,12±2,48b	22,63±1,86c	29,64±1,53c
	%1	25,57±7,19	39,87±4,23b	43,12±1,95bc	39,22±2,18bc	38,05±3,72b	29,33±3,36bc	35,86±2,46b
	%3	24,85±1,91	38,58±4,34b	45,78±2,44b	44,74±2,07b	41,94±5,02b	31,75±2,76ab	37,94±1,07b
	%5	26,49±2,86	50,29±3,09a	54,79±2,37a	56,04±3,35a	51,36±1,24a	37,62±2,26a	46,10±0,74a
	Ortalama	23,64±5,26A	39,14±8,90C	45,71±6,27A	44,36±7,84A	41,12±7,57A	30,33±6,04B	37,38±6,29A
<i>p</i>	ns (0,131)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Toprak III	Kontrol	13,02±2,54b	44,80±3,55b	23,32±1,21b	24,10±2,58c	27,93±4,86b	17,41±2,90b	25,10±0,11c
	%1	18,65±2,17ab	49,66±2,34ab	33,26±2,94a	33,86±0,81b	32,69±5,07ab	22,88±3,02b	31,83±1,72b
	%3	25,06±2,90a	56,91±2,36a	37,80±2,05a	38,42±2,28ab	41,46±7,26a	34,58±2,77a	39,04±1,99a
	%5	18,99±3,41ab	52,69±3,07a	36,59±3,11a	40,72±1,18a	41,55±1,63a	31,95±2,64a	37,08±0,57a
	Ortalama	18,93±5,05B	51,02±5,22A	32,74±6,30B	34,27±6,84C	35,91±7,50B	26,71±7,60B	33,26±5,76B
<i>p</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Genel Ortalama	Kontrol	14,88±3,19b	34,09±8,64c	31,07±7,08d	30,44±6,04d	29,00±4,30b	20,37±3,14c	26,64±2,41d
	%1	23,11±5,04a	43,94±5,19b	38,90±5,19c	37,80±3,43c	34,45±4,96b	28,37±5,49b	34,43±2,78c
	%3	26,80±3,33a	48,86±8,75a	44,34±5,72b	43,66±4,56b	42,80±5,36a	38,74±9,00a	40,86±3,81b
	%5	25,72±6,17a	52,62±3,31a	48,52±9,23a	48,75±7,02a	46,95±5,01a	38,51±7,41a	43,51±4,95a
<i>p</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	

Farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

Çizelge 4.5. Toprakların dispersiyon oranı değerleri üzerine zeolitinin etkileri (Ortalama±Std)

Topraklar	Uygulama oranları (w/w)	Dispersiyon oranı (Fraksiyon büyüklüğü, mm) (%)						Ortalama
		<0.42	0.42-0.84	0.84-2.00	2.00-6.4	6.4-12.7	>12.7	
Toprak I	Kontrol	32,23±4,53a	28,03±1,81a	22,56±1,75a	20,18±1,45	20,89±1,33a	20,87±1,53	24,13±1,00a
	% 1	20,44±3,62b	19,76±2,49b	17,15±2,45ab	16,97±2,34	15,05±2,86b	17,05±2,42	17,74±1,23b
	% 3	25,36±3,55ab	19,07±0,44b	16,32±2,00b	15,55±2,04	16,26±2,30ab	17,68±1,29	18,37±1,46b
	% 5	25,82±2,25ab	22,66±3,97ab	18,02±2,42ab	18,47±1,17	17,45±1,83ab	20,75±2,32	20,53±1,57b
	Ortalama	25,96±5,33C	22,38±4,27C	18,52±3,13C	17,79±2,37C	17,42±2,93C	19,09±2,47C	20,19±2,85B
<i>p</i>	<0,05	<0,05	<0,05	ns (0,065)	<0,05	ns (0,084)	<0,05	
Toprak II	Kontrol	57,47±3,00a	49,29±3,34a	40,87±1,26a	39,22±2,44a	43,74±1,27a	41,65±1,86a	45,37±2,02a
	% 1	52,48±3,95ab	38,51±2,69b	36,89±1,48b	35,40±2,61ab	37,86±4,25ab	40,08±1,63a	40,21±1,60b
	% 3	49,03±2,91b	37,97±1,84b	33,95±0,21bc	31,61±3,20bc	32,86±1,61bc	37,91±0,55ab	37,22±0,93bc
	% 5	48,39±1,68b	36,94±2,24b	31,39±1,38c	27,96±1,24c	31,17±0,96c	35,42±2,49b	35,21±1,41c
	Ortalama	51,84±4,55B	40,68±5,67B	35,78±3,82A	33,55±4,87A	36,41±5,51A	38,76±2,88A	39,50±4,21A
<i>p</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Toprak III	Kontrol	88,28±5,73a	54,32±2,75a	40,31±3,12a	31,10±2,67	29,88±1,79a	31,33±1,85a	45,87±0,17a
	% 1	80,28±4,65ab	50,81±1,10ab	35,57±1,38ab	28,34±2,85	29,56±1,27ab	27,06±2,29ab	41,93±0,40b
	% 3	76,50±2,53b	45,69±3,63b	29,12±3,73bc	26,58±2,52	24,74±2,10c	25,06±2,83b	37,95±1,73c
	% 5	70,09±2,01b	38,18±1,81c	27,57±1,67c	21,99±5,62	25,69±0,85bc	25,64±0,76b	34,86±1,71c
	Ortalama	78,79±7,68A	47,25±6,69A	33,14±5,80B	27,00±4,65B	27,47±2,73B	27,27±3,11B	40,15±4,46A
<i>p</i>	<0,05	<0,05	<0,05	ns (0,079)	<0,05	<0,05	<0,05	
Genel Ortalama	Kontrol	59,33±24,63a	43,88±12,31a	34,58±9,21a	30,17±8,50a	31,51±10,05a	31,29±9,12a	38,46±10,81a
	% 1	51,07±26,17b	36,36±13,67b	29,87±9,69b	26,90±8,36ab	27,49±10,34b	28,06±10,17b	33,29±11,74b
	% 3	50,30±22,32b	34,24±12,04bc	26,47±8,17c	24,58±7,47bc	24,62±7,40c	26,88±9,00b	31,18±9,69c
	% 5	48,10±19,25b	32,59±7,86c	25,66±6,18c	22,81±8,09c	24,77±6,09c	27,27±6,70b	30,20±7,38c
	<i>p</i>	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

Farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

4.1.2.d. Hacim ağırlığı (HA)

Zeolit uygulamalarının araştırma konusu toprakların hacim ağırlıklarını (HA) istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) ölçüde düşürdüğü ve uygulama dozu arttıkça hacim ağırlığında düşüşlerin meydana geldiği belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Toprak I'in kontrol seviyesindeki HA değeri 1.06 g/cm^{-3} iken, %1, 3 ve 5 zeolit uygulama dozları sonrasında 0.98 g/cm^{-3} , 0.96 g/cm^{-3} ve 0.96 g/cm^{-3} olarak belirlenmiştir. Kontrolü ile kıyaslandığında %1 uygulama dozu sonrasında toprağın HA değerinde %7.5 oranında, %3 ve %5 uygulama dozu sonrasında %9.4 oranında düşüşlerin meydana geldiği hesaplanmıştır. Toprak II ve III'ün kontrol seviyelerinde HA değerleri sırasıyla 1.17 g/cm^{-3} ve 1.26 g/cm^{-3} olarak belirlenirken, uygulamalar sonrasında en düşük HA değerleri %5 uygulama dozunda 1.10 g/cm^{-3} ve 1.13 g/cm^{-3} olarak belirlenmiştir.

Toprak II ve III'de %5 zeolit uygulaması sonrasında HA değerlerinde kontrollerine göre %6.0 ve %10.3 oranlarında düşüşlerin meydana geldiği tespit edilmiştir. Genel ortalamada, kontrol seviyesinde HA değeri 1.16 g/cm^{-3} iken %1, 3 ve 5 zeolit uygulamaları sonrasında 1.10 , 1.08 ve 1.06 g/cm^{-3} olarak ölçülmüş olup oransal olarak %5.2, %6.9 ve %8.6 düşüşlerin meydana geldiği hesaplanmıştır. Zeolit ile HA arasında arasındaki korelasyon katsayıları Toprak I, II ve III için sırasıyla -0.728^{**} , -0.747^{**} ve -0.836^{**} olarak belirlenirken, zeolit-HA arasındaki genel korelasyon katsayısı -0.374^* olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Topraklara uygulanan toprak düzenleyicilerin HA değerlerini düşürdüğü Shirani *et al.*, (2002); Blanco-Canqui and Lal (2004); Angın (2008); Candemir and Gülser (2011); Aksakal *et al.* (2016) tarafından yapılan araştırmalar tarafından da bildirilmektedir. Kırkık (2011) yapmış olduğu çalışmada, toprağa uygulanan zeolitin hacim ağırlığı değerini %6.9 oranında düşürdüğünü tespit etmiştir.

4.1.2.e. Porozite

Zeolit uygulamaları araştırma konusu toprakların porozitelerini önemli ölçüde ($p<0.05$) artırdığı, uygulama dozu artışı ile poroziteki artışın daha fazla meydana geldiği

belirlenmiş olup en yüksek porozite değerleri en yüksek uygulama dozunda (%5) elde edilmiştir. Toprak I'in kontrol seviyesinde porozite %60.30 iken %1, 3 ve 5 zeolit uygulama dozları sonrasında %63.42, %63.92 ve %64.04'e yükseldiği belirlenmiştir. Kontrolü ile kıyaslandığında %5 uygulama dozu sonrasında toprağın porozitesinde %6.2 oranında artışın meydana geldiği hesaplanmıştır. Kontrolleri ile kıyaslandığında Toprak II ve III'de %5 zeolit uygulaması sonrasında porozite %4.5 ve %9.3 oranlarında artışların meydana geldiği belirlenmiştir. Genel ortalamada, kontrol seviyesinde porozite %56.19 iken %1, 3 ve 5 zeolit uygulamaları sonrasında %58.61, %59.11 ve %59.91'e yükselmiştir (Çizelge 4.6). Kırkık (2011) yapmış olduğu çalışmada, toprağa uygulanan zeolitın poroziteyi ortalama olarak %5.5 oranında artırdığını tespit etmiştir. Zeolit ile porozite arasındaki korelasyon katsayıları Toprak I, II ve III için sırasıyla 0.728**, 0.747** ve 0.837** olarak belirlenirken, zeolit-porozite arasındaki genel korelasyon katsayısı 0.361* olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Topraklara ilave edilen toprak düzenleyicilerin toprakların hacim ağırlığı değerlerini düşürdüğü ve porozitelerini artırdığı yönündeki bulgular Haynes and Naidu (1998); Blanco-Canqui and Lal (2004); Gülser (2006); Angin (2008); Aksakal *et al.* (2016) tarafından yapılan araştırma sonuçları ile örtüşmektedir.

4.1.2.f. Hidrolik iletkenlik (Hİ)

Araştırma konusu toprakların hidrolik iletkenlik (Hİ) değerlerinde zeolit uygulamaları sonrasında kontrollerine göre artışlar belirlenmiştir. Söz konusu artışların Toprak II ve III'de istatistiksel olarak önemsiz olduğu, Toprak I'de ise önemli seviyede ($p < 0.05$) olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.6). Zeolit uygulama dozları arttıkça Hİ değerlerinde genellikle artışlar olduğu ve en yüksek Hİ değerleri en yüksek uygulama dozu %5'de elde edilmiştir. Toprak I'in kontrol seviyesinde Hİ 8.58 cm/h^{-1} iken %1, 3 ve 5 zeolit uygulama dozları sonrasında 13.29, 15.24 ve 21.05 cm/h^{-1} 'e yükseldiği belirlenmiştir. Kontrolü ile kıyaslandığında %5 uygulama dozu sonrasında toprağın Hİ değerinde %145.3 oranında artışın meydana geldiği hesaplanmıştır. Toprak II'de %5 dozunda elde edilen en yüksek Hİ değeri (46.17 cm/h^{-1}) kontrolü ile kıyaslandığında %80.0 oranında, Toprak III'de en yüksek Hİ değeri (47.91 cm/h^{-1}) kontrolü ile kıyaslandığında %59.1

oranında artışın meydana geldiği belirlenmiştir. Genel ortalama, kontrol seviyesinde Hİ değeri 21.45 cm/h^{-1} iken %1, 3 ve 5 zeolit uygulamaları sonrasında 27.04, 30.51 ve 38.37 cm/h^{-1} 'e yükseldiği, oransal olarak en fazla artışın %5 uygulama dozunda %78.9 oranında olduğu belirlenmiştir. Razmi ve Sepaskhah (2012) siltli kil tekstür sınıfındaki toprağa farklı oranlarda uyguladıkları zeolitin hidrolik iletkenliği önemli düzeyde artırdığını, en fazla artışın %130 oranında 8 g/kg uygulama dozunda meydana geldiğini belirtmektedirler. Hidrolik iletkenlik değerlerinde meydana gelen bu artışların, agregasyonun ve agregat stabilitesinin iyileşmesi, hacim ağırlığındaki azalma ve porozitedeki artış ile ilişkili olduğu Hati *et al.* (2007), Angın (2008) ve Aksakal *et al.* (2016) tarafından bildirilmektedir. Toprak I için Hİ ile zeolit, AS, HA, porozite arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla 0.747^{**} , 0.753^{**} , -0.800^{**} ve 0.800 olarak belirlenmiştir. Toprak II için söz konusu katsayılar 0.648^* , 0.703^* , -0.926 , 0.926 olarak, Toprak III için 0.537 , 0.353 , -0.684^* , 0.683 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Moritani *et al.* (2010) tuzlu-sodik topraklara %10 zeolit ilavesinin ortalama ağırlık çap değerini %22.4 ile %59.4 arasında, agregat stabilitesini 1.9 ile 3.9 kat arasında ve hidrolik iletkenliği 2 ile 2.5 kat arasında artırdığını belirlemişlerdir.

Çizelge 4.6. Toprakların hacim ağırlığı, porozite, hidrolik iletkenlik ve penetrasyon direnci değerleri üzerine zeolitin etkileri (Ortalama±Std)

Topraklar	Uygulama oranları (w/w)	Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	Porozite (%)	Hidrolik iletkenlik (cm h ⁻¹)	Penetrasyon direnci (kg cm ⁻²)
Toprak I	Kontrol	1,06±0,05a	60,30±1,72b	8,58±2,73b	1,12±0,06ab
	%1	0,98±0,02b	63,42±0,78a	13,29±5,04ab	1,30±0,05a
	%3	0,96±0,04b	63,92±1,31a	15,24±4,67ab	0,99±0,21ab
	%5	0,96±0,01b	64,04±0,38a	21,05±5,79a	0,89±0,11b
	Ortalama	0,99±0,05C	62,92±1,88A	14,54±6,15B	1,07±0,19C
<i>p</i>		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toprak II	Kontrol	1,17±0,03	55,64±1,16	25,65±12,95	4,43±0,53
	%1	1,15±0,03	56,14±1,16	34,96±10,03	4,58±0,41
	%3	1,13±0,03	57,03±1,14	37,76±9,22	3,68±0,18
	%5	1,10±0,01	58,17±0,39	46,17±8,08	3,76±0,06
	Ortalama	1,14±0,03B	56,75±1,33B	36,14±11,60A	4,14±0,53A
<i>p</i>		<i>ns</i> (0,066)	<i>ns</i> (0,066)	<i>ns</i> (0,185)	<i>ns</i> (0,052)
Toprak III	Kontrol	1,26±0,04a	52,63±1,35b	30,12±11,07	2,41±0,39
	%1	1,16±0,02b	56,27±0,58a	32,88±10,84	2,31±0,16
	%3	1,16±0,02b	56,39±0,65a	38,53±15,02	2,09±0,22
	%5	1,13±0,02b	57,52±0,75a	47,91±12,70	1,89±0,26
	Ortalama	1,18±0,05A	55,70±2,06B	37,36±12,83A	2,17±0,31B
<i>p</i>		<0,05	<0,05	<i>ns</i> (0,376)	<i>ns</i> (0,164)
Genel Ortalama	Kontrol	1,16±0,09a	56,19±3,57b	21,45±13,09b	2,69±1,53a
	%1	1,10±0,09b	58,61±3,69a	27,04±12,96ab	2,73±1,47a
	%3	1,08±0,10b	59,11±3,73a	30,51±14,64ab	2,25±1,19b
	%5	1,06±0,08b	59,91±3,15a	38,37±15,31a	2,18±1,27b
	<i>p</i>		<0,05	<0,05	<0,05

Farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır (p<0.05).

4.1.2.g. Penetrasyon direnci (PD)

Araştırma konusu toprakların penetrasyon direnci (PD) değerlerinde zeolit uygulamaları sonrasında değişimler meydana geldiği belirlenmiştir. Toprak I ve II'de %1 oranında zeolit uygulaması sonrası PD değerleri kontrol seviyesi PD değerlerinden daha yüksek ölçülürken %3 ve %5 uygulama dozları sonrası PD değerlerinin kontrol seviyesi PD değerlerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Toprak I'in kontrol seviyesindeki PD değeri 1.12 kg/cm⁻² iken, %1, 3 ve 5 zeolit uygulama dozları sonrasında 1.30, 0.99 ve 0.89 kg/cm⁻² olarak belirlenmiş olup en düşük değer %5 uygulama dozunda ölçülmüştür. Kontrolü ile kıyaslandığında %5 uygulama dozu sonrasında toprağın PD

değerinde %20.5 oranında düşüşün meydana geldiği hesaplanmıştır. Toprak II'in kontrol seviyesindeki PD değeri 4.43 kg/cm^{-2} iken, %1, 3 ve 5 zeolit uygulama dozları sonrasında 4.58 , 3.68 ve 3.76 kg/cm^{-2} olarak belirlenmiş olup en düşük değer %3 uygulama dozunda ölçülmüştür. Kontrolü ile kıyaslandığında %3 uygulama dozu sonrasında toprağın PD değerinde %16.9 oranında düşüşün meydana geldiği hesaplanmıştır. Toprak III'ün kontrol seviyesinde PD değeri 2.41 kg/cm^{-2} ölçülürken uygulama dozu arttıkça PD'inde düşüşlerin meydana geldiği belirlenmiş olup en düşük PD değeri %5 zeolit uygulama dozunda 1.89 kg/cm^{-2} ölçülmüştür. Kontrolü ile kıyaslandığında %5 uygulama dozu sonrasında toprağın PD değerinde %21.6 oranında düşüşün meydana geldiği hesaplanmıştır. Zeolit uygulaması sonrasında PD değerlerinde meydana gelen değişimlerin Toprak I'de önemli seviyede ($p < 0.05$) olduğu, Toprak II ve III'de ise istatistiksel olarak önemsiz olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.6). Genel ortalamada, kontrol seviyesinde PD değeri 2.69 kg/cm^{-2} iken %1, 3 ve 5 zeolit uygulamaları sonrasında 2.73 , 2.25 ve 2.18 kg/cm^{-2} olarak ölçülmüştür. Kontrol ile kıyaslandığında %1 zeolit uygulamasının PD değerini %1.5 oranında artırdığı, %3 ve %5 oranında zeolit uygulamalarının ise %16.4 ve %19.0 oranında düşürdüğü hesaplanmıştır. Zeolit ile PD arasındaki korelasyon katsayıları Toprak I, II ve III için sırasıyla -0.612^* , -0.711^{**} ve -0.666^{**} olarak belirlenirken, zeolit-PD arasındaki genel korelasyon katsayısı -0.170 olarak belirlenmiştir. Toprakların HA değerlerinin PD değerlerini etkileyen en önemli özelliklerden biri olduğu Zhang (1994); Bandyopadhyay *et al.* (2010); Aksakal *et al.* (2016) tarafından belirtilerek, daha düşük hacim ağırlığı değerlerinde daha düşük PD değerlerinin ölçüleceği ifade edilmektedir. Toprak I için PD-AS ve PD-HA arasındaki korelasyon katsayıları sırasıyla -0.543 , 0.319 olarak belirlenmiştir. Toprak II için söz konusu korelasyon katsayıları -0.564 , 0.506 olarak, Toprak III için -0.624^* , 0.349 olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

5. SONUÇ

Farklı büyük toprak grubu ve farklı tekstür sınıfındaki topraklara zeolit uygulamalarının yapıldığı bu çalışmada; zeolit uygulaması, kil ve tın tekstür sınıfındaki topraklarda büyük agregat oluşumunu azaltmış ve buna bağlı olarak söz konusu topraklarda ortalama ağırlıklı çap değerlerinin düşmesine neden olmuştur. Kumlu tın tekstür sınıfındaki toprakta ise büyük agregat oluşumunu artırmış ve buna bağlı olarak söz konusu toprakta ortalama ağırlıklı çap değerinin artmasına neden olmuştur. Genel olarak; zeolit uygulamaları <0.42, 0.42-0.84, 0.84-2 ve 2-6.4 mm agregat fraksiyonları miktarlarının kontrollerine göre daha yüksek, 6.4-12.7 ile >12.7 mm agregat fraksiyonlarının ise daha düşük olduğu görülmüştür.

Zeolit uygulamaları araştırma topraklarının tüm agregat fraksiyonlarında agregat stabilitesi değerlerini kontrollerine göre önemli düzeyde artırmıştır. Agregat stabilitesi üzerine etkinliğin genel olarak doz arttıkça artış gösterdiği belirlenmiştir. Tüm toprakların farklı boyutlardaki agregat fraksiyonlarında en yüksek dispersiyon oranı değerleri kontrol seviyelerinde belirlenirken, zeolit uygulamaları ile dispersiyon oranı değerlerinde genellikle önemli düzeyde düşüşler meydana gelmiştir. Zeolit uygulamaları araştırma konusu toprakların hacim ağırlıklarını önemli ölçüde düşürürken porozite ile hidrolik iletkenlik değerlerini artırmıştır.

Toprakta agregasyonun artırılması ve fiziksel özelliklerin iyileştirilmesi bitkiler için daha iyi bir gelişme ortamı sağlamasının yanında toprakların mekaniksel kuvvetlere ve erozyona karşı direncini artırmaktadır. Zeolit uygulaması topraklarda agregasyonu ve agregat stabilitesini geliştirmiş, özellikle kesekleşmeyi ve penetrasyon direncini azaltarak tohum çıkışı ve kök gelişimini teşvik edecek yönde iyileşme sağlamıştır. Uygulama sonrasında hacim ağırlığının düşmesi ve porozite ile hidrolik iletkenliğin artması toprak gözenekliliğinin arttığının göstergesi olup; toprak içerisinde bitki kök gelişimini ve hava ile su hareketini olumlu yönde etkileyecektir. Sonuç olarak; zeolit toprak fiziksel kalite parametrelerinin iyileştirilmesi ve toprakların erozyona karşı daha dirençli hale getirilmesi için mineral toprak düzenleyici olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Abadzic, S.D., Ryan, J.N., 2001. Particle release and permeability reduction in a natural zeolite (clinoptilolite) and sand porous medium. *Environmental Science and Technology*, 35: 4501-4508.
- Abdi, G.H., Khui, M.K., Eshghi, S., 2006. Effects on natural zeolite on growth and flowering on strawberry. *International Journal of Agricultural Research*, 1: 384-389.
- Akgül, M., 1992. Daphan Ovası Topraklarının Sınıflandırılması ve Haritalanması. Atatürk Üni. Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi.
- Akgül, M., 1994. Daphan ovası topraklarının temel toprak etütleri I. Bazı fiziksel ve kimyasal özellikler. Atatürk Üni. Ziraat Fak. Der. No: 2, 223-236.
- Aksakal, E.L., Sari, S., Angin, I., 2016. Effects of vermicompost application on soil aggregation and certain physical properties. *Land Degradation & Development*, 27: 983-995.
- Allen E., D. Ming, L. Hossner, D. Henninger, C. Galindo, 1995, Growth and nutrient uptake of wheat in a clinoptilolite-phosphate rock substrate, *Agronomy Journal*, 87: 1052-1059.
- Alp, E., 2005. Aromatik Bileşiklerin Zeolit Katalizörler Üzerinde Transalkilasyonu ve Disproporsiyonu. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Angın, İ., 2008. Arıtma çamurlarının fiziksel ve kimyasal toprak düzenleyicisi olarak kullanımı. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Doktora Tezi, Erzurum.
- Anonymous, 2006. T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Erzurum Bölge Müdürlüğü Raporları.
- Atalay, İ., 1978. Erzurum ovası ve çevresinin jeolojisi ve jeomorfolojisi. Atatürk Üni. Yayınları No: 91.
- Bandyopadhyay K.K., Misra A.K., Ghosh P.K., Hati K.M., 2010. Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and productivity of soybean. *Soil and Tillage Research* 110: 115-125.
- Bansiwal, A.K., Rayalu, S.S., Labhassetwar, N.K., Juwarkar, A.A., Devotta, S. 2006. Surfactant-modified zeolite as a slow release fertilizer for phosphorus. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 4773-4779.
- Bish, D.L., Ming, D.W., 2001. Natural zeolites: occurrence, properties, applications. *Reviews in mineralogy and geochemistry*, vol. 45. The Mineralogical Society of America, New York.
- Blake, G.R., and Hartge, K.H., 1986a. Particle Density. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edition. Agronomy No: 9. 377-382, 1188 p, Madison, Wisconsin USA.
- Blake, G.R., and Hartge, K.H., 1986b. Bulk Density. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edition. Agronomy No: 9. 363-375, 1188 p, Madison, Wisconsin USA.
- Blanco-Canqui H, Lal R. 2004. Mechanisms of carbon sequestration in soil aggregates. *Critical Reviews in Plant Sciences* 23(6): 481-504.

- Bouzo, L., Lopez, M., Villegas, R., 1994. Use of natural zeolites to increase yields in sugarcane crop minimizing environmental pollution, World Congress of Soil Science, vol. 15: 695-701, Acapulco.
- Burriesci, N., Valente, S., Ottana, R., 1984. Utilization of zeolites in spinach growing. *Zeolites*, 4(1): 5-8.
- Candemir F, Gülser C. 2011. Effects of different agricultural wastes on some soil quality indexes in clay and loamy sand fields. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42: 13-28.
- Chander, K., Joergensen, R.G., 2002. Decomposition of ^{14}C labelled glucose in a Pb-contaminated soil remediated with synthetic zeolite and other amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 643-649.
- Chon, H., Woo, S.I., Park, S.E., 1996. Recent Advances and New Horizons in Zeolite Science and Technology. Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands
- Danielson, R.E., and Sutherland, P.L., 1986. Porosity. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edition. Agronomy No: 9. 443-461, 1188 p, Madison, Wisconsin USA.
- DeSutter, T.M., Pierzynski, G.M., 2005. Evaluation of soils for use as liner materials: A soil chemistry approach. *Journal of Environmental Quality*, 34: 951-962.
- Dwyer, J., Dyer, A., 1984. Zeolites-An introduction. *Chemistry and Industry*, 2: 237-240.
- Ferguson, G.A., Pepper, I.L., 1987. Ammonium retention in sand amended with clinoptilolite, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51(1): 231-234.
- Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Particle-Size Analysis. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edition. Agronomy No: 9. 383-411, 1188 p, Madison, Wisconsin USA.
- Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Khodaei-Joghan, A., Dolatabadian, A., Zakikhani, H., Farmanbar, E., 2013. Zeolite-amended cattle manure effects on sunflower yield, seed quality, water use efficiency and nutrient leaching. *Soil and Tillage Research*, 126: 193-202.
- Gülen, J., Zorbay, F., Arslan, S., 2012. Zeolitler ve kullanım alanları. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(1): 63-68.
- Gülser C. 2006. Effect of forage cropping treatments on soil structure and relationships with fractal dimensions. *Geoderma* 131: 33-44.
- Hati K.M., Biswas A.K., Bandyopadhyay K.K., Misra A.K., 2007. Soil properties and crop yields on a vertisol in India with application of distillery effluent. *Soil and Tillage Research* 92: 60-68.
- Haynes RJ, Naidu R. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51: 123-137.
- He, Z.L., Calvert, D.V., Li, A.K., Alva-Banks, D.J., 2002. Clinoptilolite zeolite and cellulose amendments to reduce ammonia volatilization in a calcareous sandy soil. *Plant and Soil*, 247: 253-260.
- Hurisso TT, Davis JG, Brummer JE, Stromberger ME, Mikha MM, Haddix ML, Booher MR, Paul EA. 2013. Rapid changes in microbial biomass and aggregate size distribution in response to changes in organic matter management in grass pasture. *Geoderma* 193-194: 68-75.
- IBM, 2011. IBM Statistics for Windows, version 20.0. IBM Corporation. Armonk, NY.

- Jha, V.K., Hayashi, S., 2009. Modification on natural clinoptilolite zeolite for its NH_4^+ retention capacity, *J. Hazard. Mater.* 169(1-3): 29-35.
- Kemper, W.D., and Rosenau, R.C., 1986. Aggregate Stability and Size Distribution. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* 2nd Edition. Agronomy No: 9. 425-442, 1188 p, Madison, Wisconsin USA.
- Kırkık, E.B., 2011. Doğal Zeolit Uygulamasının Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Kithome, M., Paul, J.W., Lavkulich, L.M., Bomke, A.A., 1998. Kinetics of ammonium adsorption and desorption by the natural zeolite clinoptilolite. *Soil Sciences Society of American Journal*, 62: 622-629.
- Klute, A., and Dirksen, C., 1986. Hydraulic Conductivity and Diffusivity: Laboratory Methods. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* 2nd Edition. Agronomy No: 9. 687-734, 1188 p, Madison, Wisconsin USA.
- Köksaldı, V., 1999. Gördes ve Yenikent Zeolitlerinin Temel Tarımsal Özellikleri ve Bitki Yetiştirme Ortamı Olarak Kullanım Olanakları. Ankara Üniversitesi Fen Bil. Ens., Toprak Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Lal, R., 1988. *Soil Erosion Research Methods.* Soil and Water Conservation Society, Iowa-USA.
- Leggo P.J., 2000, An investigation of plant growth in an organo-zeolitic substrate and its ecological significance. *Plant and Soil*, 219: 135-146
- Lewandowski, A., Zumwinkle, M., 1999. Assessing the Soil System. A Review of Soil Quality Literature. Minnesota Department of Agriculture Energy and Sustainable Agriculture Program. pp. 1-63.
- Lowery, B., and Morrison, J.E., 2002. Soil penetrometers and penetrability. In *Methods of soil analysis, part 4, physical methods*, Dane JH, Topp GC (eds). SSSA Inc.: Madison, WI; 363-388.
- MacKown, C.T., Tucker, T.C., 1985. Ammonium nitrogen movement in a coarse textured soil amended with zeolite, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49(1): 235-238.
- Malekian, R., Abedi-Koupai, J., Eslamian, S.S., 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. *Journal of Hazardous Materials*, 185: 970-976.
- Mazur, G.A., Medvid, G.K., Gvigor, I.T., 1986. Use of natural zeolites to increase the fertilizer of coarse soil. *Soviet Soil Science*, 16: 105-111.
- McLean, E.O., 1982. Soil pH and Lime Requirement. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* 2nd Edition. Agronomy No: 9. 199-224, 1159 p, Madison, Wisconsin USA.
- Moritani, S., Yamamoto, T., Andry, H., Inoue, M., Yuya, A., Kaneuchi, T., 2010. Effectiveness of artificial zeolite amendment in improving the physicochemical properties of saline-sodic soils characterised by different clay mineralogies. *Australian J. of Soil Research*, 48: 470-479.
- Mulligan, C.N., Yong, R.N., Gibbs, B.F., 2001. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation, *Eng. Geol.*, 60: 193-207.
- Mumpton, F.A., 1999, La roca magica: Uses of natural previous zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America*, 96: 3463-3470.

- Nelson, D.W., and Sommers, L.E., 1982. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd Edition. Agronomy No: 9. 539-579, 1159 p, Madison, Wisconsin USA.
- Nelson, R.E., 1982. Carbonate and Gypsum. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd Edition. Agronomy No: 9. 181-197, 1159 p, Madison, Wisconsin USA.
- Ok, C.H., Anderson, S.H., Ervin, E.H., 2003. Amendments and construction systems for improving the performance of sand-based putting greens. *Agronomy Journal*, 95: 1583-1590.
- Opara CC. 2009. Soil microaggregates stability under different land use types in southeastern Nigeria. *Catena* 79: 103–112.
- Öter, Ö., 2002. Zeolitin Asit-Baz Modifikasyonu ve Modifiye Zeolitin Çevre Koruma Uygulamaları. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Özgül, M., 2003. Erzurum Yöresinde Yaygın Olarak Bulunan Büyük Toprak Gruplarının Sınıflandırılması ve Haritalanması. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Doktora Tezi.
- Polat E., Karaca, M., Demir, H., Onus, A.N., 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 12: 183-189.
- Razmi, Z., Sepaskhah, A.R., 2012. Effect of zeolite on saturated hydraulic conductivity and crack behavior of silty clay paddled soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(7): 805-816.
- Rehakova, M., Cuvanová, S., Dzivak, M., Rimar, J., Gavalova, Z., 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type, *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.*, 8(6): 397-404.
- Rhoades, J.D., 1982a. Cation Exchange Capacity. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. 2nd Edition. Agronomy No: 9, 149-157, 1159 p, Madison, Wisconsin USA.
- Rhoades, J.D., 1982b. Soluble Salts, In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed.: ASA, SSSA, Agronomy No: 9. Madison, Wisconsin, pp. 167-179.
- Sepaskhah, A.R., Yousefi, F., 2007. Effects of zeolite application on nitrate and ammonium retention of a loamy soil under saturated conditions. *Aust J Soil Res.* 45: 368-373.
- Shirani H, Hajabbasi MA, Afyuni M, Hemmat A. 2002. Effects of farmyard manure and tillage systems on soil physical properties and corn yield in central Iran. *Soil and Tillage Research* 68: 101-108.
- Susana, S., Roxana, V., Mignon, S., Vlad, S., Valentina, S., Bogdan, M., 2015. Using assessment of zeolite amendments in agriculture. *ProEnvironment*, 8: 85-88.
- Torii K., 1978, Utilization of Natural Zeolites in Japan. In: *Natural Zeolites: Occurrence, Properties, Use*, L.B. Sand and F.A. Mumpton (eds.) (Elmsford, NY: Pergamon Press).
- Torma S., J. Vilcek, P. Adamisin, E. Huttmanova, O. Hronec, 2014, Influence of natural zeolite on nitrogen dynamics in soil *Turk Journal Agric For.*, 38: 739-744.

- Turk, M., Bayram, G, Budakli, E., Celik, N., 2006. A study on effects of different mixtures of zeolite with soil rates on some yield parameters of Alfalfa (*Medicago sativa*). *Journal of Agronomy*, 5(1): 118-121.
- Wang, S., Peng, Y., 2010. Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 156: 11-24.
- Wehtje, G.R., Shaw, J.N., Walker, R.H., Williams, W., 2003. Bermudagrass growth in soil supplemented with inorganic amendments. *Horticultural Science*, 38(4): 613-617.
- Whalen JK, Chang C. 2002. Macroaggregate characteristics in cultivated soils after 25 annual manure applications. *Soil Science Society of America Journal* 66: 1637-1647.
- Xiubin, H., Zhanbin, H., 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. *Resour Conserv Recyc*. 34: 45-52.
- Yıldırım, S.F., 2007. Puzolanik Zeolitin Çimentoda Katkı Uygunluğunun Araştırılması. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Antakya, Hatay.
- Zhang H., 1994. Organic matter incorporation affects mechanical properties of soil aggregates. *Soil and Tillage Research* 31: 263-275.

ÖZGEÇMİŞ

10.07.1992 tarihinde Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 2010 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'ndan 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.

