

Zeolitin Farklı Tekstür Sınıfındaki Toprakların Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri

Ekrem Lütfi AKSAKAL*^{ID} Yeliz BUDAK

Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Erzurum, Türkiye

(*Sorumlu yazar e-mail: elaksakal@atauni.edu.tr)

DOI: 10.17097/ataunizfd.480777

Geliş Tarihi (Received Date): 09.11.2018

Kabul Tarihi (Accepted Date): 14.05.2019

ÖZ: Toprağın fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi için pek çok organik ve inorganik toprak düzenleyici kullanılmasına rağmen zeolitin toprak fiziksel özellikleri üzerine etkilerini ortaya koyan araştırmalar çok sınırlıdır. Bu çalışma, kil (toprak I), tın (toprak II) ve kumlu tın (toprak III) tekstür sınıfındaki toprakların bazı fiziksel özellikleri üzerine zeolit (klinoptilolit) uygulamalarının etkilerini ortaya koymak amacıyla laboratuvar şartlarında yürütülmüştür. Zeolit uygulamaları ortalama ağırlıklı çap değerlerini toprak I'de 9.24 mm'den 5.06 mm'ye, toprak II'de 5.16 mm'den 4.14 mm'ye düşürürken, toprak III'de 2.61 mm'den 2.77 mm'ye yükseltmiştir. Zeolit uygulamaları araştırma topraklarının tüm agregat fraksiyonlarında agregat stabilitesi değerlerini önemli seviyede artırırken, dispersiyon oranını ise önemli seviyede düşürmüştür. Genel ortalama agregat stabilitesi değeri kontrolde %26.64 iken zeolit uygulama dozunun artışı ile artış göstermiş, %5 uygulama dozunda %43.51 olarak belirlenmiş ve kontrole göre %63 oranında artışın meydana geldiği belirlenmiştir. Zeolit uygulamaları topraklarının hacim ağırlıklarını önemli ölçüde düşürdüğü, porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerini ise önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Genel ortalama, kontrol seviyesinde hacim ağırlığı 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 ölçülmüştür. Genel ortalama, kontrol seviyesinde hidrolik iletkenlik 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 belirlenmiştir. Sonuçlar, toprağın fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla zeolitin toprak düzenleyici olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Zeolit, Agregat büyüklük dağılımı, Agregat stabilitesi, Dispersiyon oranı, Hacim ağırlığı, Hidrolik iletkenlik

Effects of Zeolite on Physical Properties of Different Textured Soils

ABSTRACT: Despite the use of several organic and inorganic soil conditioners for development of the physical properties of the soil, 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 on soil physical properties in soils with different textures [clay (soil I), loam (soil II), sandy loam (soil III)]. 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 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. 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 g cm⁻³) decreased to 1.10, 1.08 and 1.06 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 cm h⁻¹ for 1%, 3 and 5 zeolite application rates, respectively. Results have shown that zeolite can be used as an amelioration material to improve soil physical properties.

Keywords: Zeolite, Aggregate size distribution, Aggregate stability, Dispersion ratio, Bulk density, Hydraulic conductivity

GİRİŞ

Nüfus 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 toprak kalitesinin artırılması, fonksiyonlarını optimal seviyede yerine getirebilmesi ve gelecekteki kullanımlar için iyi yönetilmesi ve bozulmasının önlenmesi ile mümkün olabilmektedir.

Toprak fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi ve stabil agregatların oranını artırarak 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 (Wallace and Terry, 1998; Hosseinpur et al., 2012). 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 (Zhao and Xu, 1995; Sojka and Lentz, 1997). Ancak, toprak düzenleyicisi olarak doğal zeolitin toprak fiziksel özellikleri üzerine etkilerini ortaya koymak için yapılmış çalışmalar çok sınırlı düzeydedir.

Isıtıldıklarında yapılarında bulunan suyun çıkarken köpürmesinden dolayı Yunanca “kaynayan taş” anlamına gelen zeolit, ilk olarak 1756 yılında İsveç’li kimyager ve mineralog Axel Fredricka Cronstedt tarafından bulunmuştur. 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 zeolit türüdür (Wehtje et al., 2003; Wang and Peng 2010).

Zeolit, volkanik küllerin su ortamında değişime uğramasıyla oluşmuş doğal bir mineraldir. Zeolit mineralleri, alkali ve toprak alkali kationların Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} gibi elementleri değişebilir formda içeren, birbirine oksijen atomlarını paylaşarak bağlanan tetrahedral $(SiO_4)^{-4}$ ve $(AlO_4)^{-5}$ ’in sınırsız uzayabilen üç boyutlu ağından oluşan sulu aluminosilikat yapısındadır. Yapıları bal peteği, kafese benzeyen, geniş iç ve dış yüzey alanlara sahip mikro gözenekli yapıdadır. Zeolitlerin genel formülü $x[(M^+, M^{++}).(AlO_2)].ySiO_2.zH_2O$ şeklinde olup, M^+ ; Na^+ , K^+ gibi tek değerlikli kationları ve M^{++} ise Ca^{++} , Mg^{++} gibi iki değerlikli kationları simgelemektedir (Chon et al., 1996).

Zeolitler, yüksek iyon değişim kapasiteleri, gözenekli yapısı, moleküler elek olma özelliği, katalizör özelliği, düşük yoğunluğu ve dehidratasyon özelliğinden dolayı inşaat, yer bilimleri, fizik, kimya, ziraat, hayvancılık ve sağlık sektörü gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabilir (Chon et al., 1996; Wang and Peng, 2010).

Zeolitlerin iyon değişim kapasiteleri ile adsorpsiyon kapasitelerinin yüksek olması, iyon seçicilik özelliğinin olması, yarıyışlı elementlerin hemen hepsini ve suyu bünyesinde depolayarak bitkilerin gerektiği zaman kullanmasına olanak veren özelliğinden dolayı toprak düzenleyicisi olarak kullanılmalarına olanak sağlamaktadır (Susana et al., 2015). Zeolit uygulamalarının toprakların kation değişim kapasitelerini (DeSutter and Pierzynski, 2005), bitki besin elementi ve su tutma kapasitelerini (Dwyer and Dyer, 1984), yarıyışlı 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 yıkanmasını ve topraktan kaybını azaltarak (Kithome et al., 1998) daha iyi bitki gelişimi sağladığı ve verimi artırdığı bildirilmektedir. Zeolitin 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; Torma et al., 2014).

Toprak strüktürü bitki büyüme faktörü olmamasına rağmen, bitki büyümesi ile dolaylı olarak yakından ilgili olmasından dolayı sürdürülebilir tarım için korunması ve geliştirilmesi zorunludur. Strüktürel parametreler toprakların su ve hava geçirgenliklerini, su ve hava kapasitelerini, bitki besin elementlerinin yarıyışlılığını, mikroorganizma aktivitesini, kök nüfuzunu, toprağın işlenme kolaylığını önemli ölçüde etkilemektedir (Bronick and Lal, 2005). Toprak düzenleyicisi olarak doğal zeolitin toprak fiziksel özellikleri üzerine etkilerini belirlemek için yapılan çalışmaların çok sınırlı düzeyde olmasından dolayı; bu çalışmada, zeolitin farklı tekstüre sahip toprakların bazı fiziksel özellikleri üzerine etkilerini ortaya koymak amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Araştırma toprakları

Araştırmada bazaltik, kireçtaşı ve kollulüvial ana materyal üzerinde oluşmuş Haplustert, Ustorthent ve Fluvaquent büyük toprak gruplarına ait topraklar kullanılmıştır. Toprak örnekleri benzer toprak nem ve sıcaklık rejimine sahip, %2-4 hafif eğimli tarım arazilerinin 0-20 cm’lik işleme katmanından alınmıştır. Araştırma konusu topraklara ait tanımlayıcı bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1’de verilmiştir.

Zeolit (Klinoptilolit)

Araştırmada tektosilikat yapısında tabakalı yapı gösteren zeolit (Klinoptilolit) kullanılmıştır. Kullanılan klinoptilolit %95 saflıkta olup (%5 oranında kristobalit ve tridimit içermekte) kimyasal formülü $(Ca,K_2,Na_2,Mg)_4Al_3Si_{14}O_{96}.24H_2O$ ’dir. Klinoptilolitin bazı özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Araştırma topraklarının ve zeolitin bazı tanımlayıcı özellikleri

Parametreler	Toprak I	Toprak II	Toprak III	Zeolit
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	Haplustert	Fluvaquent	Ustorthent	
Tarla kapasitesi (%)	44.12±1.21	26.96±1.15	19.12±0.93	
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	1.23±0.07
Organik madde (%)	1.44±0.07	1.51±0.11	1.96±0.09	0.18±0.03
pH [§]	7.46±0.02 [§]	7.59±0.04 [§]	7.24±0.06 [§]	7.41±0.08 [§]
EC (mS cm ⁻¹) ^ψ	1.19±0.04 ^ψ	1.03±0.02 ^ψ	0.59±0.04 ^ψ	0.49±0.02 ^ψ
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

[§] 1:2.5 (toprak:su) süspansiyonda belirlenmiştir.

^ψ Saturasyon ekstraktında belirlenmiştir.

Denemenin kurulması

Araştırmada kullanılan toprak örnekleri, araziden getirilerek laboratuvar şartlarında kurutulmuş ve 8 mm'lik elekten geçirilmiştir. Toprak örnekleri fırın kuru ağırlık esasına göre kil tekstür sınıfı toprak için 14000 g (Toprak I), tın tekstür sınıfı toprak için 16000 g (Toprak II) ve kumlu tın tekstür sınıfı toprak için 17000 g (Toprak III) 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. Denemede 3 toprak × 4 doz × 3 tekrür olarak toplamda 36 örnek üzerinde çalışılmıştır. Plastik kaplara yerleştirilen toprak-zeolit karışımları yaklaşık tarla kapasitesi nem seviyesinde bağıl nemin %60±5 ve ortalama sıcaklığın 25±2°C olduğu laboratuvar koşullarında 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. İnkübasyon periyodu sonrasında deneme kaplarındaki topraklar yaklaşık tarla kapasitesi nem seviyesinde iken 100 cm³'lük silindireler ile bozulmamış toprak örnekleri alınarak hacim ağırlığı (HA), porozite ve hidrolik iletkenlik (Hİ) değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, deneme toprakları hava kuru nem seviyesine kadar kurduğunda ise küre ile bozulmuş toprak örnekleri alınarak agregat büyüklük dağılımı (ABD), ortalama ağırlık çap (OAC), agregat stabilitesi (AS) ve dispersiyon oranı (DO) değerleri belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan zeolit dozları Xiubin and Zhanbin (2001), Sepaskhah and Barzegar

(2010), Razmi and Sepaskhah (2012), Susana et al. (2015) tarafından yapılan çalışma sonuçları değerlendirilerek belirlenmiştir.

Analiz yöntemleri

Tane büyüklük dağılımı Bouyoucos Hidrometre yöntemiyle (Gee and Bauder, 1986), kation değişim kapasitesi sodyum asetatla (1N, pH=8.2) sodyum adsorbsiyonu sağlandıktan sonra, amonyum asetatla (1N, pH=7.0) ekstrakte edilen solusyonlarda alev fotometresiyle Na⁺ okuması yapılarak belirlenmiştir (Rhoades, 1982a). Kireç içeriği Scheibler kalsimetresi kullanılarak (Nelson, 1982), organik madde içeriği Smith-Weldon yöntemiyle belirlenmiştir (Nelson and Sommers, 1982). pH ölçümleri 1:2.5 toprak:su süspansiyonunda (McLean, 1982), EC ölçümleri saturasyon macunundan elde edilen ekstraksiyon süzüklerinde elektrikli kondüktivite aleti kullanılarak yapılmıştır (Rhoades, 1982b). Tane yoğunluğu piknometre yöntemiyle (Blake and Hartge, 1986a), hacim ağırlığı 100 cm³'lük bozulmamış örnekler alınarak belirlenmiştir (Blake and Hartge, 1986b). Tane yoğunluğu ve hacim ağırlığı değerleri kullanılarak porozite hesaplanmıştır (Danielson and Sutherland, 1986). Tarla kapasitesi basınçlı tablada -0.033 MPa basınç altında toprak örneklerinin hidrolik dengeye gelmesinden sonra hacim esasına göre belirlenmiştir (Cassel and Nelson, 1986). Kuru agregat büyüklük dağılımı Rotary eleği (<0.42, 0.42-0.84, 0.84-2.0, 2.0-6.4, 6.4-12.7 ve >12.7 mm) kullanılarak belirlenmiş ve daha sonra aşağıdaki eşitlik kullanılarak kuru ortalama ağırlık çap hesaplanmıştır (Kemper and Rosenau, 1986).

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

X_i : Herbir agregat fraksiyonunun ortalama çapı, mm

W_i : X_i ortalama çaptaki büyüklük sınıfına ait agregatların oranı, %

Agregat stabilitesi Yoder tipi ıslak eleme aleti kullanılarak belirlenmiştir (Kemper and Rosenau, 1986). Örneklerinin dispers edilmesinden önce ve sonra kil+silt fraksiyonları hidrometre ile ölçülmüş ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak dispersiyon oranı hesaplanmıştır (Lal, 1988).

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

Hidrolik iletkenlik doygun koşullarda sabit su seviyeli permeametre yöntemi ile belirlenmiştir (Klute and Dirksen, 1986).

İstatistiksel değerlendirme

Muamele faktörlerinin incelenen parametreler üzerindeki etki değerlerini belirlemek için SPSS istatistik paket programı kullanılarak ANOVA ve Tukey'in çoklu karşılaştırma test yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca, zeolit uygulamalarının toprak özellikleri üzerine etkilerini değerlendirmek için ABD, OAC, AS, DO, HA ve Hİ değerleri arasında regresyon ve korelasyon analizleri yapılmıştır. (IBM, 2011).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Zeolit uygulamalarının incelenen toprak özellikleri üzerine etkileri

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

Zeolit uygulamalarının agregat büyüklük dağılımı (ABD) ve ortalama ağırlıklı çap (OAC) üzerine etkileri Çizelge 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 geldiği belirlenmiştir. Zeolit uygulaması ile 6.4-12.7 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarında meydana gelen azalışların istatistiksel olarak önemsiz olduğu belirlenirken, >12.7 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarında meydana gelen azalışların istatistiksel olarak önemli ($p < 0.05$) olduğu 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 azalttığı, 6.4-12.7 ve >12.7 mm agregat fraksiyonlarının 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 artırdığı, 6.4-12.7 ve >12.7 mm agregat fraksiyonlarının miktarlarını ise azalttığı belirlenmiştir. Kumlu tın tekstür sınıfında olan Toprak III'e uygulanan zeolit <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 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 içeriğinin neden olduğu yüksek kohezyon, inkübasyon süreci sonrasında kesek olarak nitelendirilebilecek 12.7 mm'den büyük agregasyon yapılarının oluşmasına neden olmuştur. Kil ve silt içeriği daha az, kum içeriği 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 bağlı olarak söz konusu topraklarda OAC değerlerinin düşmesine neden olmuştur ($p < 0.05$). Toprak III'de ise zeolit uygulaması büyük agregat oluşumunu artırmış ve buna bağlı olarak söz konusu toprakta OAC 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 OAC 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 OAC değeri 2.61 mm'den 2.77 mm'ye yükselmiştir. Genel ortalama kontrol düzeyinde 5.67 mm olan OAC değeri zeolit uygulaması ile 4.17 mm'ye düşmüştür ($p < 0.05$). Zeolit ile OAC arasındaki korelasyon katsayıları Toprak I, II ve III için sırasıyla -0.935**, -0.465 ve 0.587* olarak belirlenirken, zeolit uygulaması ile OAC arasındaki genel korelasyon katsayısı -0.267 olarak belirlenmiştir. Topraklara uygulanan toprak düzenleyicilerin değişim komplekslerinde meydana getirdiği değişikliklerden dolayı büyük agregatların kırılmasına neden olabileceği belirtilmektedir (Whalen and Chang, 2002; Hurisso et al., 2013; Aksakal et al., 2016).

Çizelge 2. Toprakların agregat büyüklük dağılımı ve ortalama ağırlıklı çapları üzerine zeolitlin 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: önemsiz

Bu sonuçlar, zeolitin 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 zeolitin agregatlaşmayı artırabileceği görülmektedir.

b. Agregat stabilitesi (AS)

Zeolit uygulamaları araştırma topraklarının tüm agregat fraksiyonlarında agregat stabilitesi (AS) değerlerini kontrollerine göre önemli düzeyde ($p<0.05$) artırmıştır (Çizelge 3; Şekil 1). 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. 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.

c. Dispersiyon oranı (DO)

Zeolit uygulamalarının dispersiyon oranı (DO) değerlerine etkileri Çizelge 4 ve Şekil 1’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.

Çizelge 3. Toprakların agregat stabilitesi değerleri üzerine zeolitin etkileri (Ortalama±Std)

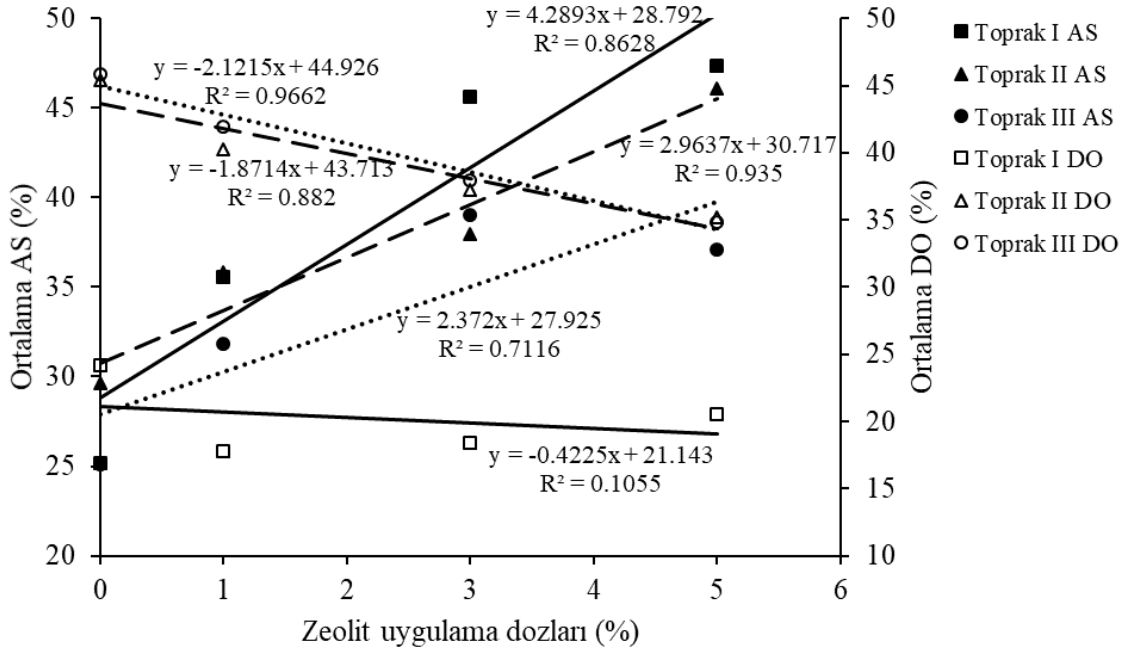
Topraklar	Agregat stabilitesi (Fraksiyon büyüklüğü, mm) (%)							Ortalama
	Uygulama oranları (w/w)	<0.42	0.42-0.84	0.84-2.00	2.00-6.4	6.4-12.7	>12.7	
Toprak I	Kontrol	13.99±1.31c	29.65±4.08c	30.75±2.90c	29.79±1.93c	25.93±1.68b	21.07±2.46c	25.20±0.86c
	%1	25.10±0.52b	42.27±2.50b	40.32±4.20b	40.30±2.43b	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
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	

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

Çizelge 4. Toprakların dispersiyon oranı değerleri üzerine zeolitin etkileri (Ortalama±Std)

Topraklar	Dispersiyon oranı (Fraksiyon büyüklüğü, mm) (%)							Ortalama
	Uygulama oranları (w/w)	<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	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
Ortalama	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	
<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).



Şekil 1. Zeolit uygulama dozları ile ortalama agregat stabilitesi ve ortalama dispersiyon oranları arasındaki ilişkiler

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. Gülser (2006), Opara (2009), Aksakal et al. (2016) tarafından yapılan araştırmalarda da benzer sonuçların elde edildiği görülmektedir.

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 5; Şekil 2). Toprak I'in kontrol seviyesindeki HA değeri 1.06 g cm^{-3} iken, %1, 3 ve 5 zeolit uygulama dozları sonrasında 0.98 , 0.96 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 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. Topraklara uygulanan toprak düzenleyicilerin HA değerlerini düşürdüğü Shirani vd., (2002); Blanco-Canqui and Lal (2004); Angin (2008); Candemir and Gülser (2011); Aksakal vd., (2016) tarafından yapılan araştırmalar tarafından da bildirilmektedir. Kırkık (2011) yaptığı çalışmada, toprağa uygulanan zeolitin hacim ağırlığı değerini %6.9 oranında düşürdüğünü tespit etmiştir.

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 5; Şekil 2). Kırkık (2011) yapmış olduğu çalışmada, toprağa uygulanan zeolitin 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. 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.

Çizelge 5. Toprakların hacim ağırlığı, porozite ve hidrolik iletkenlik değerleri üzerine zeolitin etkileri (Ortalama±Std)

Topraklar	Uygulama oranları (w/w)	Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	Porozite (%)	Hidrolik iletkenlik (cm h ⁻¹)
Toprak I	Kontrol	1.06±0.05a	60.30±1.72b	8.58±2.73b
	%1	0.98±0.02b	63.42±0.78a	13.29±5.04ab
	%3	0.96±0.04b	63.92±1.31a	15.24±4.67ab
	%5	0.96±0.01b	64.04±0.38a	21.05±5.79a
	Ortalama	0.99±0.05C	62.92±1.88A	14.54±6.15B
<i>p</i>		<0.05	<0.05	<0.05
Toprak II	Kontrol	1.17±0.03	55.64±1.16	25.65±12.95
	%1	1.15±0.03	56.14±1.16	34.96±10.03
	%3	1.13±0.03	57.03±1.14	37.76±9.22
	%5	1.10±0.01	58.17±0.39	46.17±8.08
	Ortalama	1.14±0.03B	56.75±1.33B	36.14±11.60A
<i>p</i>		<i>ns</i> (0.066)	<i>ns</i> (0.066)	<i>ns</i> (0.185)
Toprak III	Kontrol	1.26±0.04a	52.63±1.35b	30.12±11.07
	%1	1.16±0.02b	56.27±0.58a	32.88±10.84
	%3	1.16±0.02b	56.39±0.65a	38.53±15.02
	%5	1.13±0.02b	57.52±0.75a	47.91±12.70
	Ortalama	1.18±0.05A	55.70±2.06B	37.36±12.83A
<i>p</i>		<0.05	<0.05	<i>ns</i> (0.376)
Genel Ortalama	Kontrol	1.16±0.09a	56.19±3.57b	21.45±13.09b
	%1	1.10±0.09b	58.61±3.69a	27.04±12.96ab
	%3	1.08±0.10b	59.11±3.73a	30.51±14.64ab
	%5	1.06±0.08b	59.91±3.15a	38.37±15.31a
	<i>p</i>		<0.05	<0.05

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

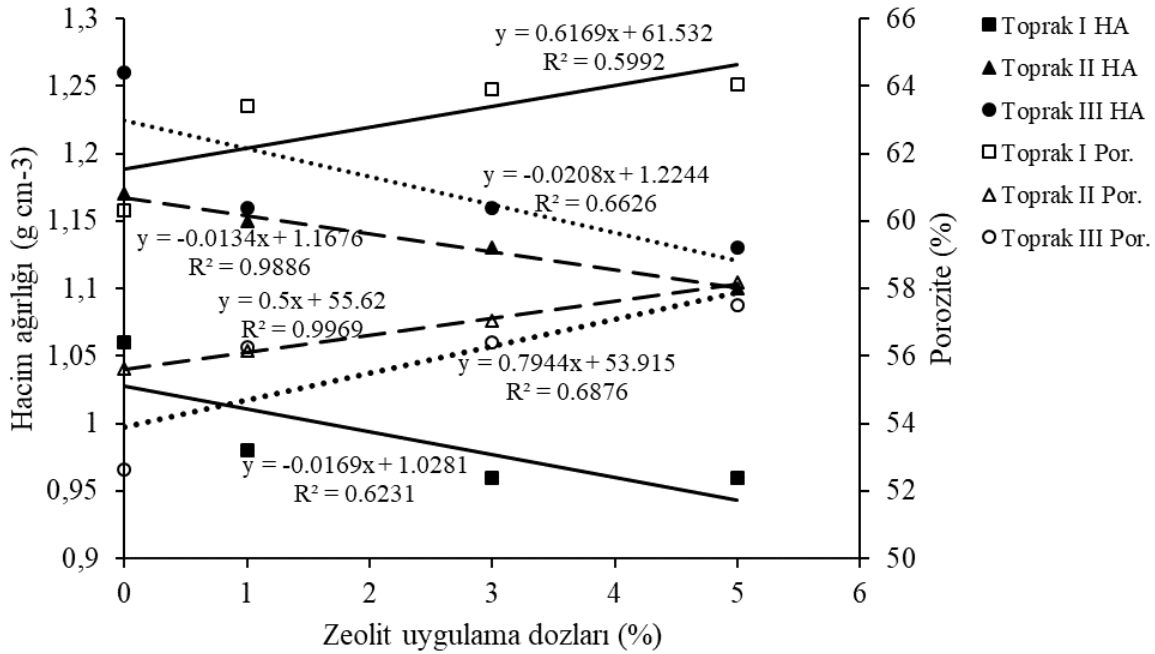
f. Hidrolik iletkenlik (Hİ)

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 5). 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 ortalamada, 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 and 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), 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. 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 belirlemiştir.



Şekil 2. Zeolit uygulama dozları ile hacim ağırlığı ve porozite arasındaki ilişkiler

SONUÇ

Farklı tekstür sınıfındaki topraklara zeolit uygulamasının 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 sağlamanın yanında toprakların mekaniksel kuvvetlere ve erozyona karşı direncini artırmaktadır. Zeolit uygulaması topraklarda

agregasyonu ve agregat stabilitesini geliştirmiş, özellikle kesekleşmeyi 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

- 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.
- Aksakal, E.L., Sari, S., Angin, I., 2016. Effects of vermicompost application on soil aggregation and certain physical properties. *Land Degrad. Develop.*, 27: 983-995.
- Allen E., Ming, D., Hossner, L., Henninger, D., Galindo, C., 1995. Growth and nutrient uptake of wheat in a clinoptilolite-phosphate rock substrate, *Agronomy Journal*, 87: 1052-1059.
- Angin, 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, 96 s.
- Bansiwal, A.K., Rayalu, S.S., Labhasetwar, 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.
- Blake, G.R., 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., 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.
- Bronick, C.J., Lal, R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124: 3-22.
- 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.
- Cassel, D.K., Nielsen, D.R., 1986. Field Capacity and Available Water Capacity, in: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods. ASA, SSSA, Agronomy No: 9, Madison, WI: pp. 901-926.*
- Chander, K., Joergensen, R.G., 2002. Decomposition of ¹⁴C 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., 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.
- Gee, G.W., 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.*
- 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, R.J., 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.
- Hosseinpur, A.R., Kiani Sh., Halvaei, M., 2012. Impact of municipal compost on soil phosphorus availability and mineral phosphorus fractions in some calcareous soils. *Environmental Earth Sciences*, 67 (1): 91-96.
- Hurisso, T.T., Davis, J.G., Brummer, J.E., Stromberger, M.E., Mikha, M.M., Haddix, M.L., Booher, M.R., Paul, E.A., 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.
- Kemper, W.D., 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, 91 sayfa.
- 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., 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.
- 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.
- 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.
- Nelson, D.W., 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.
- Opara, C.C., 2009. Soil microaggregates stability under different land use types in southeastern Nigeria. *Catena*, 79: 103-112.
- 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.
- 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., Barzegar, M. 2010. Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 98: 38-44.
- Shirani, H., Hajabbasi, M.A., 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.
- Sojka, R.E., Lentz, R.D., 1997. Reducing furrow irrigation erosion with polyacrylamide (PAM). *Journal of Production Agriculture*, 10 (1): 47-52.
- Susana, S., Roxana, V., Mignon, S., Vlad, S., Valentina, S., Bogdan, M., 2015. Using assessment of zeolite amendments in agriculture. *ProEnvironment*, 8: 85-88.
- Torma, S., Vilcek, J., Adamisin, P., Huttmanova, E., Hronec, O., 2014, Influence of natural zeolite on nitrogen dynamics in soil *Turk Journal Agric For.*, 38: 739-744.
- Wallace, A., Terry, R.E., 1998. *Handbook of Soil Conditioners: Substances that Enhance the Physical Properties of Soil*. Marcel Dekker, New York.
- 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, J.K., 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. *Resources Conservation and Recycling*, 34 (1): 45-52.
- Zhao, B.Z., Xu, F.A., 1995. Improvement of soil physical properties with soil conditioners. *Pedosphere*, 5 (4): 363-370.