

Biyokömür ve Poliakrilamid'in Donma ve Çözünme Döngüsünde Toprakların Agregat Stabilitesi ve Su Tutma Kapasitesi Özellikleri Üzerine Etkisi*

Effect of Biocal and Polyacrylamide on Agregate Stability and Water Holding Capacity of Soils The Freeze and Thaw Cycle

 Muhittin GÖÇÜK¹,  Yasin DEMİR²

Özet

Toprakların oluşum ve karakterizasyonu üzerine iklimin önemli bir etkisi vardır. Yağış, nem, kar ve don gibi iklim olayları toprakların birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine doğrudan ya da dolaylı olarak etki yapmaktadır. Gerek iklim gerekse yanlış tarım uygulamaları neticesinde bozulan toprak özelliklerini iyileştirmek için günümüzde bazı organik ve inorganik toprak katkı maddeleri kullanılmaktadır. Son zamanlarda toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini korumak veya iyileştirmek için Biyokömür (Bc) ve Poliakrilamid (PAM) maddeleri kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, artan dozlarda toprağa karıştırılan Bc ve PAM maddelerinin donma ve çözünme (DÇ) döngüsünde toprakların agregat stabilitesi (AS), hacim ağırlığı (Db), tarla kapasitesi (TK) ve solma noktası (SN) özellikleri üzerine olan etkisini belirlemektir. Bu amaçla 0 (kontrol), 2 gr/kg, 4 gr/kg ve 8 gr/kg dozlarında hazırlanan toprak-Bc ve toprak-PAM karışımları inkübasyon süreci sonrasında 5, 10 ve 15 defa DÇ döngüsüne maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda yapılan analizlerde Bc ve PAM katkılı topraklarda DÇ döngüsü arttıkça TK ve AS'nin azaldığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Bununla birlikte PAM katkılı topraklarda, doz miktarı arttıkça TK ve AS'nin arttığı belirlenmiştir ($p < 0.05$). Toprakların Db ve SN özellikleri ise uygulamalardan istatistiksel olarak etkilenmemiştir. DÇ'nin TK ve AS üzerine olan olumsuz etkisini, uygulanan her iki toprak katkı maddesinin de önlemediği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Donma-çözünme, biyokömür, poliakrilamid, agregat stabilitesi,

Abstract

Climate has an important effect on the formation and characterization of soils. Climatic events, such as precipitation, humidity, snow, and frost, directly or indirectly affect many soils' physical, chemical, and physical properties. Today, some organic and inorganic soil additives are used to improve soil properties that deteriorate due to climate and improper agricultural practices. Recently, biochar (Bc) and polyacrylamide (PAM) materials have been used to protect or improve the soils' physical, chemical, and biological properties. This study aims is to determine the Aggregate Stability (AS), bulk weight (Db), field capacity (TK), and wilting point (SN) properties of soils during the freeze and thaw (FT) cycle of Bc and PAM substances mixed with increasing doses of soil. To determine its effect for this purpose, soil-Bc and soil-PAM mixtures prepared at doses of 0 (control), 2 gr/kg, 4 gr/kg, and 8 gr/kg were exposed to 5, 10, and 15 times FT cycles after the incubation period. As a result of the analysis, it was determined that TK and AS decreased as the FT cycle increased in Bc and PAM-added soils ($p < 0.05$). On the other hand, it was determined that TK and AS increased as the dose amount increased in PAM added soils ($p < 0.05$). The Db and SN properties of the soils were not statistically affected by the treatments. It was determined that both applied soil additives did not prevent the adverse effects of FT on TK and AS.

Keywords: Freeze-thaw, biochar, polyacrylamide, aggregate stability

Geliş Tarihi: 31.07.2021, Düzeltme Tarihi: 20.10.2021, Kabul Tarihi: 21.10.2021

Adres: ¹Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl, Türkiye

²Bingöl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Bingöl, Türkiye

E-mail: ydemir@bingol.edu.tr

*Bu çalışma, Muhittin GÖÇÜK'ün Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda yapmış olduğu Yüksek Lisans Tez çalışmasından hazırlanmıştır.

1. Giriş

Tarım ve Ormancılık, insanoğlunun varoluşundan itibaren en önemli geçim kaynaklarından biri olup, ülkelerin kalkınması açısından en büyük ekonomik etkene sahiptir. Tarım, bir ülkenin iklim koşullarına ve toprak koşullarına bağlı olarak gelişmektedir. Toprak kalitesi, belirli bir ürünün yetiştirilme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Toprağın sonlu ve yaşayan bir kaynak olarak görülmesi, sürekli kapasite olarak tanımlanan “toprak sağlığı kavramı” biyolojik yaşamı sürdürmek için ekosistem ve arazi kullanım sınırları içinde hayati bir öneme sahiptir. Türkiye’de tuzlulaşma ve erozyon önemli toprak sorunlarından biridir. Salma sulamayla birlikte verimli topraklar su ile birlikte taşınıp geriye verimsiz toprak kalmaktadır. Bilinçsizce yapılan tarım uygulamalarından (sulama, gübreleme mekanizasyon vb.) dolayı toprakların karışımında (toprak strüktürü, organik madde düzeyi, asit baz dengesi vb.) bozunmalar ortaya çıkmaktadır. Bu durum toprakta tuzlulaşma ve çoraklaşmaya neden olmaktadır.

İklim koşullarına ve çevre şartlarına bağlı olarak gelişen hadiseler toprağın hareketli kuruluşu üzerinde etkilidir. Donma-çözünme, gerçekleştiği mevcut şartlara bağlı olarak, toprağın hareketli özelliklerinden olan strüktür üzerine etkilidir. Toprak içinde tekrar eden donma-çözünmeler, agregat yapısını pozitif veya negatif yönde etkileyerek toprağın fiziksel özelliklerini yönlendirebilir (Sönmez, 1994). Toprakta fiziksel yapının etkilenmesi, toprağın büyüklük dağılımının, infiltrasyon hızının, erozyona hassaslığının ve gözenek büyüklük dağılımının değişimi ile sonuçlanır (Lehrsch ve ark., 1991).

İklim; toprağın tipini, strüktürel yapısını ve agregasyon derecesini önemli ölçüde etkileyen toprak oluşum faktörlerinden biridir. Toprak su içeriğinin değişmesiyle meydana gelen ıslanma-kuruma ve hava sıcaklığının değişmesiyle meydana gelen donma çözünme olayları toprak strüktürünün şekillenmesi veya bozulmasında etkilidir. Topraklar mevsimsel değişimlere bağlı olarak farklı sıcaklık ve nem rejimlerine maruz kalmaktadırlar ve bu değişimler toprakların fiziksel durumlarını ve özelliklerini etkilemektedir. Toprak nem durumundaki değişimler yağış, sulama, kapillar yükselme, güneşlenme ve rüzgâra bağlı olarak ıslanma ve kuruma ile sonuçlanmaktadır. Sıcaklık tarafından etkilenen bu süreçler donma-çözünme olaylarında da etkili olmaktadır (Utomo ve Dexter, 1982).

Toprağın erozyon potansiyelinin en fazla olduğu, çevresel şartlar tarafından strüktürel özellikleri ile agregat yapısının en fazla değişebileceği dönemler, bir bitki örtüsü tarafından korunmadığı geç sonbahar, kış ve erken ilkbahar dönemleridir. Bu dönemlerde çevresel şartlar toprağın donma-çözünme sayısını ve donma anındaki su içeriğini etkilemektedir

(Staricka and Benoit, 1995). Donma-çözünmede toprağın dış görünüşü üzerindeki etkisi tüm topraklarda birebir olmayıp toprağın kum, kil, silt oranına bağlı olarak değişir. Bu değişim, kumlu toprakta az, killi ve siltli topraklarda ise daha yüksek olmaktadır (Demiralay, 1977). Topraklar genellikle donmadan önce yüksek stabiliteye sahipken çözüldükten sonra daha düşük stabiliteye sahip olurlar ve zamanla elverişli drenaj şartlarıyla başlangıçtaki stabilitelere gelirler (Formanek ve ark., 1984). Donma anında topraktaki boşluklarda meydana gelen buz kristalleri boşluk hacmini büyüterek toprağın kütle yoğunluğunun küçülmesine, doğal şekilde sabit olmayan boşluklar yüksek keseklerin oluşmasına ve küçük kristallerin erimesiyle gözenek geometrisi drenaj ile bir değişim göstermektedir (Kay ve ark., 1985). Agregat stabilitesi ile donma-çözünme arasındaki bağlantıyı; donma anındaki toprak nem içeriği, donma-çözünme sayısı ve donma hızı etkiler (Benoit, 1973; Lehrsch ve ark., 1991; Edwards, 1991; Ergene, 1993). Donma yavaş gerçekleştiğinde büyük kristaller meydana gelirken, donma hızlı gerçekleşirse agregatlar kırılarak çok miktarda küçük kristaller meydana gelmektedir (Demiralay, 1977). Donma yavaş gerçekleştiğinde, toprakta bulunan su donarken kristaller çevresine basınç uygulayıp kesikleri kırar, bir yandan da buz kristallerin çevresindeki suyun çekilmesine ve yeni agregatların ortaya çıkmasında aktif rol oynar (Ergene, 1993).

Toprağın üst kısmında uygun nem ve sıcaklık şartlarındaki, donma ve çözünme olayı, üst kısımdaki toprağın hacim ağırlığının azalmasına sebep olur. Su içeriği yüksek toprak hacim ağırlığı düşük toprağın üst kısmının yağmur damlaları damlatılması ve taşınması için elverişli bir ortam oluşturur. Toprak kıvamındaki farklılık, donmuş kısım çözüldükten sonra da devam eder. Bu şartlar ilkbahar yağmurları ile birleştiğinde büyük bir oranda toprak kaybına sebep olur. Üst üste yapılan donma ve çözünme ile ıslanma ve kuruma yöntemleri bu hadiseleri teşvik eder. Bu hadiselerin karşılıklı tesirleri agregat stabilitesinin toprak aşınımını etkiler. Aniden donmaya maruz kalan topraklarda, donma başladığı andaki su içeriği geçirimsiz bir don tabakanın oluşmasına sebep olur. Donan toprakta aşınım en az seviyededir. Buna ek olarak donan toprak katmanı çözüldüğünde alt katmandaki donmuş tabaka, su geçişi ve infiltrasyonun önüne geçerek drenaja ihtiyaç olmayan bir çevre oluşturur. Bu şekilde toprak aşınabilirliği maksimum seviyeye gelir ve çok miktarda toprak kayıplarına neden olur. Geç sonbahar ve erken ilkbaharda birbirini takip eden donma-çözünme süreçleri, toprağın donma anındaki nem içeriği ve donma süresine bağlı olarak genellikle toprak strüktürü ve agregasyonu bozucu bir etkiye sahip olmakla birlikte ağır bünyeli ve kötü strüktürlü toprakların durumunun iyileşmesi yönünde de olumlu etki yapmaktadır.

Bu çalışmada topraklarda donma-çözünme döngüsünün, artan dozlarda biyokömür ve poliakrilamid toprak düzenleyicisi ilave edilen topraklarda, agregat stabilitesi ve su tutma kapasitesi özellikleri üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Araştırmada kullanılan toprak materyali Bingöl Merkez Sınırları içerisinde bulunan Çapakçur havzası Yelesen ile Şaban köyü kırsalında erozyon riski yüksek olan bir bölgeden alınmıştır. Bu bölgede erozyon ve bazı iklim faktörleri (yağış, don ve kar) nedeniyle toprak oluşum süreci olumsuz etkilenmiştir (Demir ve ark., 2019). Söz konusu bölgede arazilerin büyük bir kısmı bozuk orman vasfını taşımaktadır (Demir ve Mirici, 2020). Söz konusu alandan çalışmada kullanılmak üzere toprak örneği alınarak laboratuvar ortamına taşınmıştır. Topraklar, Tenedero and Surtida (1986)'da detaylı olarak tarif edildiği şekilde kurutma, öğütme ve eleme (2 mm) işleminden sonra çalışmaya hazır hale getirilmiştir. Topraklara ait genel özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Biyokömür (Bc), düşük oksijen koşulları altında 300 ila 1.000 °C arasındaki sıcaklıklarda biyokütlenin pirolizi ile oluşturulan, ağırlıklı olarak stabil, inatçı bir organik karbon bileşimidir (Jeffery ve ark., 2011; Krull 2011; Verheijen ve ark., 2010). Çalışma kapsamında toprak düzenleyicisi katkı materyali olarak kullanılan biyokömür materyali bölüm envanterinden temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan biyokömür, kül fırınında 500 °C'de kömürleşmesinin meydana geldiği yavaş piroliz işlemi ile üretilmiştir. Piroliz işleminde karbonize olan ceviz kabuğu kül fırınından çıkarılarak oda sıcaklığında soğutulmuş ve kullanımdan önce 2 mm elekten geçirilerek öğütülmüştür (Demir, 2021). Biyokömüre ait bazı özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan toprak düzenleyicisi bir polimer olan poliakrilamid (PAM) satın alma yoluyla temin edilmiştir. Polimerler, esas olarak toprakların kil fraksiyonu ile etkileşime giren suda çözünür, yüksek molekül ağırlıklı sentetik organik maddelerdir. Etkileşim derecesi hem polimerin özelliklerine hem de toprağın özelliklerine bağlıdır. Toprak agregatlarının stabilize edilmesinde, toprak erozyonunun azaltılmasında ve infiltrasyonun artırılmasında etkilidir. Ayrıca ürün büyümesi ve verimi üzerinde dolaylı olarak önemli bir etkiye sahiptir (Seybold, 1994). PAM'a ait bazı özellikler Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan toprak, biyökömür ve poliakrilamid materyallerine ait genel özellikler

	Toprak	Biyökömür	Poliakrilamid
Kum (%)	46.00	-	-
Silt (%)	28.00	-	-
Kil (%)	26.00	-	-
Tekstür Sınıfı	Tınlı	-	-
Db (gr/cm³)	1.38	-	0.5
TK (%)	36.92	-	-
DSN (%)	16.15	-	-
pH	7.95	9.50	4-6
EC (µS/cm)	59.70	1.82	-
Kireç (%)	8.50	-	-
OM (%)	2.35	77.5	-
KDK (cmol/kg)	41.50	35.5	-
AS (%)	41.65	-	-
Hidroliz derecesi (%)	-	-	>98.0
Molekül ağırlığı (Mg/mol)	-	-	10000

Db: Hacim ağırlığı, TK: Tarla kapasitesi, DSN: Daimi solma noktası, EC: Elektriksel iletkenlik, OM: Organik madde, KDK: Katyon değişim kapasitesi, AS: Agregat stabilitesi

2.2. Metod

Araştırma Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Fiziği Laboratuvarında yürütülmüştür. Çapakçur havzasından alınan toprak örnekleri üzerine 0, 2, 4 ve 8 gr/kg Biyökömür ve PAM eklenerek farklı dozlarda karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan toprak karışımları 1 kg kapasiteli plastik kaplara doldurularak tarla kapasitesi düzeyinde nemlendirilmiştir. Kaplardaki örnekler bir ay süreyle yaklaşık tarla kapasitesindeki nemde tutulmuş olup, örneklerin istiflenmesi sağlanmıştır. Daha sonra donma çözünme işlemine geçilmiştir. Donma çözünme için sıcaklık ayarlanabilir derin dondurucu kullanılmıştır. Donma- çözünme uygulamalarında örnekler her bir tekrar için -5 °C'de 24 saat donma ve 15 °C' de ($\pm 2^\circ\text{C}$) 24 saat çözünme işlemine tabi tutulmuştur. Çalışma süresince topraktan meydana gelebilecek buharlaşmayı önlemek için karışımlar plastik örtü ile kaplanmış dış atmosferden tecrit edilmiştir (Şahin ve ark., 1999). Donma çözünme döngüsü tamamlanan örnekler analiz edilmek üzere değerlendirilmiştir.

Toprakların tane büyüklük dağılımı Bouyoucus hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Demiralay, 1993). pH, Toprak örneklerinin 1:2,5 oranında saf su ile karıştırılması sonucu elde edilen solüsyonda belirlenmiştir (Horneck, 1989). Elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S/cm}$), toprak örneklerinin 1:2,5 oranında saf su ile karıştırılması sonucu elde edilen solüsyonda EC metre probu kullanılarak belirlenmiştir (Tüzüner, 1990). Organik Madde (%), standart yakma yağı yakma yöntemi ile belirlenmiştir (Walkley ve Black, 1934). Toprakların kireç içeriği (%), kalsimetrik yöntem ile belirlenmiştir. (Allison, 1965).

Tarla kapasitesi ve Solma noktası, basınçlı tencere seti kullanılarak tespit edilmiştir (Tinsley, 1967). Agregat stabilitesi, ıslak eleme cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Kemper, 1986).

2.2.1. Araştırma Deseni ve İstatistiksel Değerlendirme

Bu çalışma deseni iki farklı toprak düzenleyicisinin ($a=2$) toprağa artan dozlarda ($b=4$) üç tekrarlı olarak ($c=3$) uygulanmasıyla oluşturulmuştur (Şekil 1). Her bir deneme deseni üç farklı ($d=3$) donma çözünme döngüsüne tabi tutulmuştur. Bu bağlamda çalışma için toplamda 72 ($axbxcxd$) toprak numunesi hazırlanmıştır. Çalışmaya ait elde edilen analiz sonuçlarında JMP 5.0 istatistik paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmıştır.

Toprak düzenleyicisi	Doz	Tekrar	Kombinasyonlar
a	b1 (kontrol)	c1	axb1xc1
		c2	axb1xc2
		c3	axb1xc3
	b2	c1	axb2xc1
		c2	axb2xc2
		c3	axb2xc3
	b3	c1	axb3xc1
		c2	axb3xc2
		c3	axb3xc3
	b4	c1	axb4xc1
		c2	axb4xc2
		c3	axb4xc3

Şekil 1. Çalışmada her bir toprak düzenleyicisi ve donma çözünme döngüsü için oluşturulan deneme deseni ve elde edilen kombinasyonlar

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Toprakların tarla kapasitesinde meydana gelen değişimler

Farklı dozlarda biyokömür (BC) ve poliakrilamid (PAM) katkılı topraklarda donma çözünme döngüsü sonrası tarla kapasitesi özelliğinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında topraklara 0 (kontrol), 2, 4 ve 8 gr/kg dozlarında BC ve PAM karıştırılarak donma-çözünme döngüsüne maruz bırakılmıştır. Artan dozlarda BC ve PAM maddeleri ile donma-çözünme döngüsü uygulamalarının tarla kapasitesi üzerine olan önemlilik etkisi Çizelge 2’de verilmiştir. Uygulama ortalamalarının karşılaştırılması ise Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 2. Uygulamalara ait varyans analizi

Kaynak	Nparm	DF	Kareler ortalaması	F Ratio	Prob > F
Biyokömür					
DÇ	2	2	183.56022	12.1085	0.0003
Doz	3	3	45.85719	2.0166	0.1410
Tekrar	2	2	0.09532	0.0063	0.9937
DÇ*Doz	6	6	6.41247	0.1410	0.9890
Poliakrilamid					
DÇ	2	2	103.93234	4.7237	0.0196
DOZ	3	3	414.86395	12.5703	<0.0001
Tekrar	2	2	11.21758	0.5098	0.6075
DÇ*Doz	6	6	39.38298	0.5967	0.7298

Çizelge 3. Uygulamaların tarla kapasitesi üzerine etkisi (Ortalama Değerler ve Tukey (%5) testine göre oluşan gruplar)

DÇ	Kontrol	2 gr/kg	4 gr/kg	8 gr/kg	Ort
Biyokömür					
5	33.29±0.61	34.83±1.31	35.09±2.19	36.34±1.78	34.88±1.25A
10	29.81±2.96	31.8±6.13	30.32±1.88	33.66±2.81	31.39±1.72B
15	28.28±0.8	28.89±2.84	29.67±1.33	30.88±2.14	29.42±1.12B
Ort	30.46±2.57	31.83±2.97	31.69±2.95	33.62±2.73	
Poliakrilamid					
5	34.29±1.27	41.84±1.13	39.22±3.39	40.51±3.54	38.97±2.33A
10	28.81±2.96	41.50±2.90	37.68±5.34	38.99±4.85	36.75±4.02AB
15	30.28±0.81	36.48±1.86	36.11±3.19	36.36±4.02	34.81±2.47B
Ort	31.13±1.68B	39.94±1.96A	37.67±3.97A	38.62±4.14A	

Çalışmada BC katkılı topraklarda donma-çözünme döngüsü ortalamalarının tarla kapasitesi üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur ($p<0.05$). BC dozunun artmasıyla tarla kapasitesi miktarı artsa da elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. En yüksek tarla kapasitesi düzeyi 5. döngüde ($34.88±1.25$) meydana gelirken 10. döngüde ($31.39±1.72$) 15. döngüde ise ($29.42±1.12$) olarak bulunmuştur. PAM eklenmiş topraklarda DÇ döngüsü ortalamalarının tarla kapasitesi üzerine istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bir etkisi olduğu bulunmuştur. En yüksek tarla kapasitesi 5. döngüde ($38.97±2.33$) en düşük değer ise 15. Döngüde ($34.81±2.47$) belirlenmiştir. Çalışmada PAM doz ortalamalarının da tarla kapasitesi üzerine etkisinin olduğu saptanmıştır ($p<0.05$). En yüksek tarla kapasitesi değeri 2gr/kg uygulamasında ($39.94±1.96$), en düşük değer ise kontrol uygulamasında meydana gelmiştir. Bu bağlamda topraklara 2 gr/kg dozunda PAM eklenmesi tarla kapasitesinin artırılmasında yeterli doz düzeyi olarak görülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre BC ve PAM katkılı topraklarda DÇ sayısı arttıkça toprakların tarla kapasitesi değeri düşmüştür.

Bu bağlamda BC ve PAM maddeleri, DÇ uygulamasının tarla kapasitesi değerlerini düşürmesine engel olmamıştır. Bu maddeler topraklara eklenmesine rağmen DÇ sayısı arttıkça tarla kapasitesi miktarı azalmıştır. Bu sonuçlar Şahin ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarıyla örtüşmektedir. Diğer yandan BC dozunun artmasıyla ortalama tarla kapasitesi değerinin de arttığı gözlemlenmiş ancak istatistiksel olarak önemsiz olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte PAM dozunun artmasıyla tarla kapasitesi değerlerinin de arttığı istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Toprakların tarla kapasitesi düzeyinde tutmuş olduğu su miktarı bitkisel üretim için oldukça önemlidir. Birçok çalışmada özellikle kumlu bünyeye sahip toprakların su tutma kapasitelerini arttırmak için denemeler yapılmıştır (Torkashvand ve Shadparvar, 2013; Eden ve ark., 2017; Demir ve Doğan Demir, 2019). Bu çalışmada da topraklara BC ve PAM ilavesinin toprakların tarla kapasitesi düzeyini arttırdığı görülmüştür. Diğer yandan PAM ve BC ilavesine rağmen donma-çözünme sayısının artmasıyla tarla kapasitesinin azaldığı saptanmıştır. Topraklara daha yüksek dozda PAM veya BC ilavesinin donma-çözünmenin olumsuz etkisini azaltıp azaltmayacağı bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmıştır.

3.2. Toprakların solma noktası özelliklerinde meydana gelen değişimler

Farklı dozlarda biyokömür (BC) ve poliakrilamid (PAM) katkılı topraklarda donma çözünme döngüsü sonrası solma noktası özelliğinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında topraklara 0 (kontrol), 2, 4 ve 8 gr/kg dozlarında BC ve PAM karıştırılarak donma-çözünme döngüsüne maruz bırakılmıştır. Artan dozlarda BC ve PAM maddeleri ile donma-çözünme döngüsü uygulamalarının solma noktası üzerine olan önemlilik etkisi Çizelge 4’de verilmiştir. Uygulama ortalamalarının karşılaştırılması ise Çizelge 5’te verilmiştir.

Çizelge 4. Uygulamalara ait varyans analizi

Kaynak	Nparm	DF	Kareler ortalaması	F Ratio	Prob > F
Biyokömür					
DÇ	2	2	5.917489	0.3291	0.7230
Doz	3	3	3.482600	0.1291	0.9418
Tekrar	2	2	11.390339	0.6335	0.5401
DÇ*Doz	6	6	10.936467	0.2028	0.9723
Poliakrilamid					
DÇ	2	2	13.757172	1.0452	0.3684
Doz	3	3	22.300475	1.1295	0.3588
Tekrar	2	2	14.235539	1.0816	0.3564
DÇ*Doz	6	6	60.529783	1.5329	0.2140

Çizelge 5. Uygulamaların solma noktası üzerine etkisi (Ortalama Değerler ve Tukey (%5) testine göre oluşan gruplar)

DÇ	Kontrol	2 gr/kg	4 gr/kg	8 gr/kg	Ort
Biyokömür					
5	15.57±2.46	17.12±3.34	15.02±3.11	16.66±2.38	16.09±2.82
10	15.24±2.38	15.27±3.97	15.61±4.79	14.89±1.07	15.26±3.05
15	15.27±1.25	16.60±1.76	16.23±1.60	15.03±4.80	15.78±2.35
Ort	15.36±2.03	16.33±3.02	15.62±3.17	15.53±2.75	
Poliakrilamid					
5	15.57±2.46	16.43±0.87	16.67±2.94	16.17±1.86	16.21±2.03
10	15.24±1.86	15.89±2.06	18.02±3.30	21.64±4.45	17.70±2.92
15	15.89±1.25	16.97±2.76	17.60±0.77	15.64±3.73	16.52±2.13
Ort	15.57±1.86	16.43±1.90	17.43±2.34	17.82±3.35	

Çalışmada donma-çözünme olaylarının ve dozların solma noktası üzerine istatistiksel olarak hiçbir etkisinin olmadığı bulunmuştur. Başka bir ifade ile toprağa karıştırılan BC ve PAM maddeleri DÇ'nin solma noktası düzeyini azaltmasını engellemiştir. Halbuki Şahin ve ark. (1999) çalışmalarında DÇ döngüsünün artmasıyla solma noktasının azaldığını bildirmiştir. Bu durum BC ve PAM maddelerinin DÇ'ye karşı toprakların solma noktasını koruduğunu göstermektedir. Bununla birlikte BC ve PAM maddelerinin doz artışının solma noktasının değişimi üzerinde önemsiz olduğunu göstermektedir.

3.3. Toprakların agregat stabilitesinde meydana gelen değişimler

Farklı dozlarda BC ve PAM katkılı topraklarda DÇ döngüsü sonrası agregat stabilitesinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Artan dozlarda BC ve PAM maddeleri ile donma-çözünme döngüsü uygulamalarının agregat stabilitesi üzerine olan önemlilik etkisi Çizelge 6.'de verilmiştir. Uygulama ortalamalarının karşılaştırılması ise Çizelge 7.'de verilmiştir.

Çizelge 6. Uygulamalara ait varyans analizi

Kaynak	Nparam	DF	Kareler ortalaması	F Ratio	Prob > F
Biyokömür					
DÇ	2	2	408.65901	5.2216	0.0139
Doz	3	3	125.73421	1.0710	0.3817
Tekrar	2	2	145.59736	1.8604	0.1793
DÇ*Doz	6	6	372.62895	1.5871	0.1980
Poliakrilamid					
DÇ	2	2	455.3151	9.3201	0.0012
Doz	3	3	1699.9430	23.1980	<0.0001
Tekrar	2	2	155.7775	3.1887	0.0608
DÇ*Doz	6	6	546.4883	3.7288	0.0104

Çizelge 7. Uygulamaların agregat stabilitesi üzerine etkisi (Ortalama Değerler ve Tukey (%5) testine göre oluşan gruplar)

DC	Kontrol	2 gr/kg	4 gr/kg	8 gr/kg	Ort
Biyokömür					
5	34.91±4.38	31.13±0.43	43.93±5.15	39.17±10.43	37.29±7.60A
10	32.79±3.12	29.29±1.62	28.17±0.72	38.82±3.12	32.27±2.15AB
15	27.89±5.29	31.04±3.91	29.24±4.15	28.24±3.47	29.10±4.21B
Ort	31.86±4.26	30.49±1.99	33.78±6.68	35.41±5.67	
Poliakrilamid					
5	34.91±4.38BCD	42.78±2.97BC	44.59±7.11BC	61.77±9.55A	46.01±6.00A
10	31.79±1.44CD	38.60±2.06BCD	41.12±1.91BC	47.79±1.44AB	39.83±1.71B
15	25.56±3.32D	39.00±10.50BCD	46.78±6.11B	39.10±1.62BCD	37.61±5.39B
Ort	30.75±3.04C	40.13±5.17B	44.16±5.05AB	49.55±4.20A	

Elde edilen analizler sonucunda donma çözünme olaylarının agregat stabilitesi üzerine BC katkılı topraklarda sadece donma-çözünme olaylarının istatistiksel olarak önemli etkisinin olduğu saptanmıştır ($p < 0.05$). En yüksek agregat stabilitesi değeri 5. döngüde (37.29 ± 7.60), en düşük ise 15. döngüde (29.10 ± 4.21) bulunmuştur. Bu durum donma çözünme döngüsünün artmasıyla agregat stabilitesinin azaldığını göstermektedir.

Poliakrilamid katkılı topraklarda donma- çözünme süreçlerinin agregat stabilitesi üzerine donma-çözünme olaylarının, PAM dozunun, donma çözünme PAM-doz interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli etkisi vardır. Donma-çözünme olaylarının agregat stabilitesi üzerine etkisi donma-çözünme sayısı arttıkça agregat stabilitesi azalmaktadır. En yüksek agregat stabilitesi 5. döngüde ($46.01 \pm 6.00A$), 10. döngüde ($39.83 \pm 1.71B$) en düşük ise 15. döngüde ($37.61 \pm 5.39B$) bulunmuştur.

PAM katkılı topraklarda aynı zamanda dozunda agregat stabilitesi üzerine önemli bir etkisinin olduğu bulunmuştur. Doz miktarı arttıkça agregat stabilitesi de artmaktadır. %8 katkılı PAM da en yüksek agregat stabilitesi değeri ($49.55 \pm 4.20A$) elde edilirken, bunu sırasıyla %4 ($44.16 \pm 5.05AB$) ve %2 ($40.13 \pm 5.17B$) izlemiş, en düşük değer ise PAM katılmayan ($30.75 \pm 3.04C$) topraklarda elde edilmiştir.

Donma-çözünme sayısı – doz, agregat stabilitesi üzerine etkilidir. 5. döngüde en yüksek %8 katkılı PAM' da ($61.77 \pm 9.55A$) elde edilirken, bunu sırasıyla %4 katkılı PAM ($44.59 \pm 7.11BC$) ve %2 katkılı PAM ($42.78 \pm 2.97BC$) izlemiş, en düşük değer ise PAM katkılı olmayan toprakta meydana gelmiştir. 10. döngüde en yüksek değer %8 katkılı PAM' da ($47.79 \pm 1.44AB$) elde edilirken bunu sırasıyla %4 katkılı PAM ($41.12 \pm 1.91BC$) ve %2 katkılı PAM ($38.60 \pm 2.06BCD$) izlemiş ve en düşük değer ise PAM katkılı olmayan toprakta ($31.79 \pm 1.44CD$) meydana gelmiştir.

15. döngüde ise en yüksek değer %4 katkılı PAM'da ($46.78 \pm 6.11B$) elde edilirken bunu sırasıyla, %8 katkılı PAM ($39.10 \pm 1.62BCD$), ve %2 katkılı PAM ($39.00 \pm 10.50BCD$) izlemiş ve en düşük değer ise PAM katkılı olmayan toprakta ($25.56 \pm 3.32D$) meydana gelmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre PAM ve BC maddeleri DÇ'nin agregat stabilitesini zayıflatmaya engel olmamıştır. Daha önceden yapılan birçok çalışmada belirli bir nem düzeyine sahip topraklarda donma çözünmenin artmasıyla agregatların bozulduğu ve stabilitenin bozulduğu rapor edilmiştir (Benoit, 1995; Şahin ve ark., 1999; Xiao ve ark., 2020). Birçok araştırmacı, toprakların strüktürel yapısı üzerine donma-çözünme olaylarının etkili olduğunu bildirmiştir. Yapılan çalışmalarda donma-çözünme döngüleriyle birlikte toprakların agregat yapısı bozulmakta bu da toprakların hem verimlilik hem de erozyona karşı duyarlılığını arttırmaktadır. Lynch ve Bragg (1985) ve Oades (1993) toprak strüktürünün şekillenmesinde, donma-çözünme gibi fiziksel güçlerin etkin olduğunu ifade etmektedirler.

3.4. Toprakların hacim ağırlığında meydana gelen değişimler

Farklı dozlarda BC ve PAM katkılı topraklarda DÇ döngüsü sonrası hacim ağırlığının nasıl değiştiği araştırılmıştır. Çalışma kapsamında topraklara 0 (kontrol), 2, 4 ve 8 gr/kg dozlarında BC ve PAM karıştırılarak donma-çözünme döngüsüne maruz bırakılmıştır. Artan dozlarda BC ve PAM maddeleri ile donma-çözünme döngüsü uygulamalarının hacim ağırlığı üzerine olan önemlilik etkisi Çizelge 8'de verilmiştir. Uygulama ortalamalarının karşılaştırılması ise Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 8. Uygulamalara ait varyans analizi

Kaynak	Nparm	DF	Kareler ortalaması	F Ratio	Prob > F
Biyokömür					
DÇ	2	2	0.00575556	0.6483	0.5327
Doz	3	3	0.00458611	0.3444	0.7935
Tekrar	2	2	0.01660556	1.8704	0.1778
DÇ*Doz	6	6	0.02195556	0.8243	0.5633
Poliakrilamid					
DÇ	2	2	0.01512467	2.2191	0.1325
Doz	3	3	0.02244033	2.1950	0.1173
Tekrar	2	2	0.00008467	0.0124	0.9877
DÇ*Doz	6	6	0.02809400	1.3740	0.2686

Çizelge 9. Uygulamaların hacim ağırlığı üzerine etkisi (Ortalama Değerler ve Tukey (%5) testine göre oluşan gruplar)

DÇ	Kontrol	2 gr/kg	4 gr/kg	8 gr/kg	Ort
Biyokömür					
5	1.34±0.04	1.33±0.05	1.33±0.05	1.35±0.05	1.34±0.05
10	1.33±0.05	1.36±0.11	1.36±0.07	1.28±0.08	1.33±0.08
15	1.37±0.08	1.39±0.11	1.31±0.04	1.38±0.07	1.36±0.07
Ort	1.34±0.05	1.36±0.09	1.33±0.05	1.34±0.07	
Poliakrilamid					
5	1.34±0.04	1.39±0.11	1.27±0.04	1.31±0.04	1.33±0.06
10	1.37±0.08	1.29±0.05	1.33±0.08	1.27±0.01	1.32±0.05
15	1.33±0.05	1.26±0.03	1.26±0.06	1.27±0.03	1.28±0.04
Ort	1.34±0.05	1.31±0.06	1.29±0.06	1.28±0.02	

Yapılan çalışmada donma-çözünme olaylarının ve BC-PAM dozların hacim ağırlığı üzerine istatistiksel olarak hiçbir etkisinin olmadığı bulunmuştur. Ancak PAM karıştırılan topraklarda doz miktarı arttıkça hacim ağırlığının azaldığı görülmüştür. Aynı şekilde donma ve çözünme döngüsü sayısı arttıkça hacim ağırlığının azaldığı saptanmıştır. Ancak meydana gelen bu değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu durum PAM maddesinin topraklarda gözenek hacminin artmasına neden olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte PAM maddesinin donması sonucu artan mikro gözenek hacmin çözünme sırasında tekrar azalmaması, donma- çözünme döngüleriyle ters orantılı olarak değiştiğini göstermiştir. Toprakların hacim ağırlığı birçok toprak özelliği ile yakından ilişkilidir. Toprakların su tutma kapasiteleri, infiltrasyon, hidrolik iletkenlik, sıkışma havalanma ve ısı iletimi gibi özellikler toprakların hacim ağırlığı tarafından yönlendirilir (Hill ve Summer, 1967; Zimmerman ve Kardos, 1961). Bu çalışmada her ne kadar yapılan uygulamalarda hacim ağırlığında istatistiksel bir değişikliğin olmadığı görülse de PAM dozlarının artmasıyla hacim ağırlığında bir azalmanın olduğu görülmüştür.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada toprakların donma-çözünme döngüsüne maruz bırakıldığında bazı hidrolik özelliklerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Bununla birlikte topraklara biyokömür ve poliakrilamid toprak düzenleyicisi maddelerinin karıştırılması ile yine aynı donma ve çözünme döngüsü sonucunda nasıl bir farklılığın oluşacağı araştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Poliakrilamid ve biyokömür karıştırılan topraklarda donma çözünme sayısının artmasıyla tarla kapasitesi değerinin azaldığı saptanmıştır. Diğer yandan biyokömür ve

poliakrilamid'in artan dozlarda topraklara eklenmesi sonucunda toprakların tarla kapasitesi değerini arttırmıştır. Sonuç olarak, biyokömür ve poliakrilamid maddeleri toprakların tarla kapasitesi düzeylerini arttırmalarına rağmen donma çözünme olaylarına maruz bırakıldıklarında o toprakların tarla kapasitesi düzeyleri azalmıştır. Bu çalışmada da topraklara BC ve PAM ilavesinin toprakların tarla kapasitesi düzeyini arttırdığı görülmüştür. Diğer yandan PAM ve BC ilavesine rağmen donma-çözünme sayısının artmasıyla tarla kapasitesinin azaldığı saptanmıştır. Topraklara daha yüksek dozda PAM veya BC ilavesinin donma-çözünmenin olumsuz etkisini azaltıp azaltmayacağı bir araştırma konusu olarak çalışılmalıdır.

Toprakların solma noktası ve hacim ağırlığı hem donma çözünme olaylarından hem de toprak katkı maddelerinden etkilenmemiştir. Dolayısıyla toprağa karıştırılan katkı maddeleri toprağın söz konusu bu özelliklerini donma-çözünmenin meydana getirdiği olumsuz duruma karşı korumuştur şeklinde yorum yapılabilir.

Toprakların agregat stabilitesi değerleri donma-çözünme döngü sayısı arttıkça azalmıştır. Bu durumda toprakların donma çözünme döngüsü arttıkça erozyona karşı dayanıklılığı azalmaktadır. Diğer yandan topraklara karıştırılan katkı maddelerinin agregat stabilitesini arttırdığı gözlemlenmiştir. Biyokömür karıştırılan topraklarda agregat stabilitesi artışı istatistiksel olarak önemsiz, poliakrilamid karıştırılan topraklarda söz konusu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Bu çalışmada yapılan uygulamalarda donma-çözünme sayısı ve topraklara karıştırılan maddelerin dozları önceki çalışmalardan yararlanılarak ayarlanmıştır. En uygun doz miktarının belirlenmesinde veya daha geniş donma-çözünme aralığındaki toprak davranışlarının izlenmesi için çalışmalar yapılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Yüksek Lisans Tez projeleri kapsamında desteklenmiştir. (Proje No: BAP-ZF. 2019.00.003)

Kaynaklar

- Allison, L.E. & Moodie, C.D. (1965). Carbonate In: CA Black (Ed.), *Methods of Soil Analysis*, Part 2, Agronomy. 9, Asa, Sssa, Wi, Usa, 1379–1400.
- Benoit, G.R. (1973). Effect of Freeze-Thaw Cycles on Aggregate Stability and Hydraulic Conductivity of Three Soil Aggregate Sizes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 3-5
- Benoit, G.R. (1991). *Freezing-Drying Caused Changes in Soil Aggregates Mean Weight Diameter*. Agronomy Abstract, Annual Meeting, 325.
- Benoit, G.R. & Bornstein, J. (1970). Freezing and Thawing Effects on Drainage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 34: 551-557.
- Blake, G.R. & Hartge, K.H. (1986). *Particle Density in Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods (Ed. A, Klute)*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA
- Demir, Y. (2021). The Effects of The Applications of Zeolite and Biochar to The Soils Irrigated With Treated Wastewater on The Heavy Metal Concentrations of The Soils and Leaching Waters from The Soils. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 16(1):223-236 DOI: 1026471/cjees/2021/016/169.
- Demir, Y. ve Mirici, M.E. (2020). Effect of land use and topographic factors on soil organic carbon content and mapping of organic carbon distribution using regression kriging method. *Carpathian Journal of Earth And Environmental Sciences*, 15(2), 311-322.
- Demir, Y. ve Doğan Demir, A. (2019). The effect of organic matter applications on the saturated hydraulic conductivity and available water-holding capacity of sandy soils. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 3137-3146.
- Demir, Y. Yüksel, A. Doğan D.A. ve Meral, A. (2019). *Topographical structure and land use status of Çapakçur basin (Bingöl) of the basin-based agricultural development scope*, Proceedings 3rd International UNIDOKAP Black Sea Symposium “Sustainable Agriculture and Environment, Turkey, 08-2019, 259 pp.
- Demiralay, İ. (1977). *Toprak Fiziği Ders Notları*. Atatürk Üni. Ziraat Fak. Toprak Böl. 232 s, Erzurum.
- Demiralay, İ. (1993). *Toprak Fiziksel Analizleri*. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 143, Erzurum
- Eden, M. Gerke, H. & H. Houot, S. (2017). Organic waste recycling in agriculture and related effects on soil water retention and plant available water: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(2), 11.

- Edwards, L.M. (1991). The Effect of Alternate Freezing and Thawing on Aggregate Stability and Aggregate Size Distribution of Some Prince Edward Island Soils. *J. Soil Sci.*, 42: 193- 204.
- Ergene, A. (1993). *Toprak Biliminin Esasları*. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 267, 158-179, Erzurum.
- Formanek, G.E, McCool, D.K. & Papendick, D.İ. (1984). Freeze-Thaw and Consolidation Effects on Strength of a Wet Silt Loam. *Transactions of the ASAE*, 27: 1749-1752.
- Hill, J.N.S. & Sumner, M.E. (1967). Effect of bulk density on moisture characteristics of soils. *Soil Science*, 103(4), 234-238.
- Horneck, D.A, Hart, J.M. Topper, K. & Koepsell, B. (1989). *Methods of Soil Analysis Used in the Soiltesting Laboratory at Oregon State University*. Sm 89: 4 Agric. Expt. Sta. 21 Pgs. Osu, Corvallis, Or.
- Jeffery, S. Verheijen, F.G.A. van der Velde, & M. Bastos, A.C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144:175-187.
- Kay, B.D. Grant, C.D. & Groenevelt, P.H. (1985). Significance of Ground Freezing on Soil Bulk Density Under Zero Tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 973-978.
- Kemper, W.D. & Rosenau, R.C. (1986). *Aggregate stability and size distribution*. Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods, 5, 425-442.
- Lehrsch, G.A. (1998). Freeze-Thaw Cycles Increase Near-Surface Aggregate Stability. *Soil Science*, 163(1): 63-70
- Lehrsch, G.A, Sojka, R.E. Carter, D.L. & Jolley, P.M. (1991). Freezing Effects on Aggregate Stability Affected by Texture, Mineralogy and Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55: 1401-1406.
- Lynch, J.M. & Bragg, E. (1985). Microorganisms and soil aggregate stability. In Advances in soil science (pp. 133-171). *Springer*, New York, NY.
- Oades, J.M. (1993). The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. Interrelationships, *Held at the International Agricultural Centre, Wageningen*, Pages 377-400.
- Sönmez, K. (1994). *Toprak Koruma*. Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları No: 169.
- Staricka, J.A. & Benoit, G.R. (1995) Freeze-Drying Effects on Wet and Dry Soil Aggregate Stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59: 218-223.

- Şahin, Ü. Canbolat, M. ve Anapalı, Ö. (1999). Donma-Çözünme Koşullarının Bazı Toprak-Su Parametreleri Üzerine Etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30(1).
- Tenedero, R.A. & Surtida, M.B. (1986). *Soil sampling and preparation for laboratory analysis*. Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center.
- Tinsley, J. (1967). *Soil Science Manual of Experiment*. Department of Soil Science, University of Aberdeen, Aberdeen.
- Torkashvand, A. & M. Shadparvar, V. (2013). Effect of some organic waste and zeolite on water holding capacity and PWP delay of soil. *Current Biotica*, 6(4), 459-465
- Tüzüner, A. (1990). *Toprak ve su analiz laboratuvarları el kitabı*. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Utomo, W.H. & Dexter, A.R. (1982). Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil, *J. Soil Sci.*, 33, 623-637.
- Verheijen, F.G.A. Jeffery, S. Bastos, A.C. van der Velde, M. & Diafas, I.(2010). *Biochar application to soils: a critical scientific review on effects on soil properties, processes and functions*. JointResearch Centre (JRC) Scientific and Technical Report. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxemburg.
- Walkley, A.A. & Black, I.A. (1934). An examination of the degtjareff method for determining ricka organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Sci.* 63: 251-263.
- Xiao, L. Yao, K. Li, P. Liu, Y. & Zhang, Y. (2020). Effects of freeze-thaw cycles and initial soil moisture content on soil aggregate stability in natural grassland and Chinese pine forest on the Loess Plateau of China. *Journal of Soils and Sediments*, 20(3), 1222-1230.
- Zimmerman, R.P. & Kardos, L.T. (1961). Effect of bulk density on root growth. *Soil science*, 91(4), 280-288.