

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

**BİYOKÖMÜR VE POLİAKRİLAMİD'İN DONMA VE
ÇÖZÜNME DÖNGÜSÜNDE TOPRAKLARIN AGREGAT
STABİLİTESİ VE SU TUTMA KAPASİTESİ ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MUHİTTİN GÖÇÜK**

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

**TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Yasin DEMİR**

BİNGÖL-2021

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYOKÖMÜR VE POLİAKRİLAMİD'İN DONMA VE
ÇÖZÜNME DÖNGÜSÜNDE TOPRAKLARIN AGREGAT
STABİLİTESİ VE SU TUTMA KAPASİTESİ ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MUHİTTİN GÖÇÜK

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Yasin DEMİR

BİNGÖL-2021



T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ



BİYOKÖMÜR VE POLİAKRİLAMİD'İN DONMA VE ÇÖZÜNME
DÖNGÜSÜNDE TOPRAKLARIN AGREGAT STABİLİTESİ VE SU
TUTMA KAPASİTESİ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Yasin DEMİR danışmanlığında, Muhittin GÖÇÜK tarafından hazırlanan bu çalışma 05/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. Ramazan MERAL	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Yasin DEMİR	İmza	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi M. Zahid MALASLI	İmza	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun .../ .../ tarih ve / ... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Yüksek Lisans Tez projeleri kapsamında desteklenmiştir. Proje No: BAP-ZF. 2020.00.002

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

ÖNSÖZ

Araştırma konumun seçiminde, planlanıp yürütülmesinde, çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan, lisansüstü eğitimim süresince güler yüz ve samimiyetini benden esirgemeyen ve ileriki çalışma hayatım boyunca örnek alacağım çok kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasin DEMİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar çalışmalarında bana her türlü kolaylığı sağlayan Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölüm Başkanlığına teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Hasan ER'e, tez yazma konusunda yardımcı olan değerli yüksek lisans arkadaşlarım Zeynelabidin KURT, Feyziye DAVRAN ÇAĞLAR'a ve Fen Bilimleri Enstitü Sekreteri Sn Fatoş DAVRAN 'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yapılmasında gerekli finansal desteği sağlayan Bingöl Üniversitesi Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAP-ZF. 2020.00.002) teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca bana maddi ve manevi her türlü destek veren başta rahmetli babam H.Ali GÖÇÜK ve annem Emine GÖÇÜK olmak üzere bütün aile fertlerine sonsuz teşekkür ederim.

Muhittin GÖÇÜK

Bingöl - 2021

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Donma Çözünme İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	4
2.2. Biyokömür İle İlgili Çalışmalar	9
2.3. Poliakrilamid (PAM) İle İlgili Çalışmalar	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. Materyal	15
3.1.1. Toprak	15
3.1.2. Biyokömür.....	16
3.1.3. Poliakrilamid	17
3.2. Yöntem	18
3.2.1. Deneme Düzeni ve Denemenin Yürütülmesi	18
3.2.2. Toprak Analizleri.....	20
3.2.3. Sonuçların Değerlendirilmesi.....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	21

4.1. Toprakların Tarla Kapasitesinde Meydana Gelen Değişimler	21
4.2. Toprakların Solma Noktası Özelliklerinde Meydana Gelen Değişimler.....	23
4.3. Toprakların Yarayışlı Su İçeriğinde Meydana Gelen Değişimler	24
4.4. Toprakların Agregat Stabilesinde Meydana Gelen Değişimler	26
4.5. Toprakların Hacim Ağırlığında Meydana Gelen Değişimler	28
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	31
KAYNAKLAR.....	33
EKLER.....	42
ÖZGEÇMİŞ	45

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Atm	: Atmosfer basıncı
%	: Yüzdelik
°C	: Derece
µm	: Mikrometre
AS	: Agregat Stabilitesi
Bc	: Biyokömür (Biochar)
CaCO ₃	: Kireç
CEC	:Kasyon Değişim Kapasitesi
cm	: Santimetre
Db	: Hacim Ağırlığı
DÇ	: Donma-çözünme
DO	: Dispersiyon Oranı
DSN	: Devamlı Solma Noktası
EC	: Elektriksel İletkenlik
gr	: Gram
Ha	: Hektar
HK	: Havalanma kapasitesi
kg	: Kilogram

kPa	: Kilopaskal
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
mol	: Molarite
OM	: Organik Madde
PAM	: Poliakrilamid
pH	: Toprak Reaksiyonu
ppm	: Milyonda Bir Kısım
PVA	: Polivinilalkol
SN	: Solma Noktası
TK	: Tarla Kapasitesi
TP	: Toplam Gözeneklilik
YS	: Yarayırlı Su

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3. 1.	Çalışma kullanılmak üzere hazırlanan toprak materyali (a-Toprak örneklerinin plastik kaplara eklenmesi, b- Toprak örneklerinin analize hazırlanması).....	15
Şekil 3. 2.	Çalışmada Kullanılan Biyokömür (Ceviz kabuğunun kül fırınında yakılması sonrası) materyali.....	16
Şekil 3. 3.	Çalışmada kullanılan poliakrilamid materyali.....	17
Şekil 3. 4.	Toprak ve katkı maddesi karışımlarının eklendiği plastik kaplar.....	19
Şekil 3. 5.	Çalışmada iç (derin dondurucu) ve dış (oda/labaratuvan iç sıcaklık) sıcaklığın takibi için kullanılan dijital termometre.....	19

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3. 1. Çalışmada kullanılan toprak, biyokömür ve poliakrilamid materyalleri- ne ait genel özellikler.....	18
Tablo 4. 1. Uygulamalara ait varyans analizi	21
Tablo 4. 2. Uygulamaların tarla kapasitesi üzerine etkisi (Ortalama Değerler ve Tukey (%5) testine göre oluşan gruplar)	22
Tablo 4. 3. Uygulamalara ait varyans analizi	23
Tablo 4. 4. Uygulamaların solma noktası üzerine etkisi (Ortalama Değerler ve Tukey (%5) testine göre oluşan gruplar)	24
Tablo 4. 5. Uygulamalara ait varyans analizi	25
Tablo 4. 6. Uygulamaların yarıyışlı su miktarı üzerine etkisi (Ortalama Değerler ve Tukey (%5) testine oluşan gruplar)	25
Tablo 4. 7. Uygulamalara ait varyans analizi	26
Tablo 4. 8. Uygulamaların agregat stabilitesi üzerine etkisi (Ortalama Değerler ve Tukey (%5) testine oluşan gruplar)	27
Tablo 4. 9. Uygulamalara ait varyans analizi	29
Tablo 4.10. Uygulamaların hacim ağırlığı üzerine etkisi (Ortalama Değerler ve Tukey (%5) testine göre oluşan gruplar).....	29

BIYOKÖMÜR VE POLİAKRİLAMİD’İN DONMA VE ÇÖZÜNME DÖNGÜSÜNDE TOPRAKLARIN AGREGAT STABİLİTESİ VE SU TUTMA KAPASİTESİ ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Toprakların oluşum ve karakterizasyonu üzerine iklimin önemli bir etkisi vardır. Yağış, nem, kar ve don gibi iklim olayları toprakların birçok fiziksel, kimyasal ve fiziksel 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), solma noktası (SN) ve yarayışlı su (YS) özellikleri üzerine olan etkisini belirlemektir. Bu amaçla 0 (kontrol), 2 gr.kg⁻¹, 4 gr.kg⁻¹ ve 8 gr.kg⁻¹ 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, YS ve AS nin azaldığı tespit edilmiştir (p<0,05). Bununla birlikte PAM katkılı topraklarda, doz miktarı arttıkça TK, YS ve AS’nin arttığı belirlenmiştir (p<0,05). Toprakların Db ve SN özellikleri ise uygulamalardan istatistiksel olarak etkilenmemiştir. DÇ nin TK, YS ve AS üzerine olan olumsuz etkisini, uygulanan her iki toprak katkı maddesinin de önlemediği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Donma-çözünme, biyokömür, poliakrilamid, agregat stabilitesi, su tutma kapasitesi.

EFFECT OF BIOCAL AND POLYACRYLAMIDE ON AGREGATE STABILITY AND WATER HOLDING CAPACITY OF SOILS THE FREEZE AND THAW CYCLE

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 physical, chemical and physical properties of soils. Today, some organic and inorganic soil additives are used to improve soil properties that deteriorate as a result of climate and improper agricultural practices. Recently, biochar (Bc) and polyacrylamide (PAM) materials have been used to protect or improve the physical, chemical and biological properties of soils. The aim of this study is to determine the Aggregate Stability (AS), bulk weight (Db), field capacity (TK), wilting point (SN) and available water (YS) properties of soils during the freeze and thaw (DO) cycle of Bc and PAM substances mixed with increasing doses of soil. to determine its effect on For this purpose, soil-Bc and soil-PAM mixtures prepared at doses of 0 (control), 2 gr.kg⁻¹, 4 gr.kg⁻¹ and 8 gr.kg⁻¹ were exposed to 5, 10 and 15 times OD cycles after the incubation period. As a result of the analysis, it was determined that TK, YS and AS decreased as the DI cycle increased in Bc and PAM added soils ($p<0.05$). On the other hand, it was determined that TK, YS 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 negative effects of DS on TK, YS and AS.

Keywords: Freeze-thaw, biochar, polyacrylamide, aggregate stability, water holding capacity.

1. GİRİŞ

Tarım, insanoğlunun varoluşundan itibaren en önemli geçim kaynağından 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 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. 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 toprakta tuzlulaşma ve çoraklaşmaya neden olmaktadır. Toprak iklim 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 et al. 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 and 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 et al. 1984). Donma anında topraktaki boşluklarda meydana gelen buz kristalleri boşluk hacmini büyütür ve toprağın kütle yoğunluğunun küçülmesine, doğal şekilde sabit olmayan boşluklar yüksek keseklerin oluşmasına küçük kristallerin erimesiyle gözenek geometrisi drenaj ile bir değişim gözlenmektedir (Kay et al. 1985). Agregat stabilitesi ile donma-çözünme arasındaki bağlantıyı donma anındaki toprak nem içeriği, donma-çözünme sayısı ve donma hızı etkiler (Benoit 1973; Lehrs et al. 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 kesekleri 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 özöldüđünde alt katmandaki donmuş tabaka su geçişini ve infiltrasyonun önüne geçerek drenaja ihtiyaç olmayan bir evre 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. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Donma Çözünme İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Literatürlerde donma-çözünme süreçlerinin toprak strüktürü üzerine etkileri hakkında çeşitli görüşler olup, Lynch and Bragg (1985) ve Oades (1993) toprak strüktürünün şekillenmesinde donma-çözünme gibi fiziksel güçlerin etkin olduğunu ifade etmektedirler. Toprakta fiziksel yapının etkilenmesi, toprağın büyüklük dağılımının, infiltrasyon hızının, erozyona hassaslığın ve gözenek büyüklük dağılımının değişimi ile sonuçlanır (Lehrsch ve ark. 1991). Toprak mekanizması içerisinde iklim şartlarıyla bağımlı olarak meydana gelen ve toprağın dinamik yapısı üzerinde etkili olan en önemli olaylardan biri donma-çözünmedir. Yapılan araştırmalar donma-çözünme süreçlerinin, toprak fiziksel durumunu, özellikle strüktür ve agregat yapısını etkilediğini göstermektedir (Benoit 1973; Bullock et al. 1988; Mostaghimi et al. 1988; Sönmez 1994; Şahin vd. 1999; Cruse et al. 2001; Bronick and Lal 2005; Kvaerno and Oygarden 2006).

Fu et al. (2019), çalışmalarında bir donma-çözünme periyodu sırasında saman biyokömürünün toprak su tutma ve toprak hidrolik iletkenliği üzerindeki etkisini belirlemiştir. Sonuçlar, biyokömür doz artışının ve donma-çözünme kombinasyonunun toprak mikro gözenek boyutunu ($\geq 0,3-5 \mu\text{m}$), toprak boşluklarını ($> 100 \mu\text{m}$) ve toplam gözenekliliği (TP) önemli ölçüde arttırdığını ve böylece toprağın su tutma kapasitesini iyileştirdiğini göstermiştir. Kontrol uygulamasıyla karşılaştırıldığında, biyokömür topraktaki tarla kapasitesini ve kullanılabilir su içeriğini önemli ölçüde arttırdığı rapor edilmiştir.

Momeni et al. (2016), çalışmalarında, İran'ın batısındaki Alvand granitoidleri sert kayalarının fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki donma-çözünme döngülerinin etkisini araştırmıştır. Bu amaçla üç farklı Alvand granitoid kaya türü seçilmiş ve çalışılmıştır. Donma-çözünme etkilerinin değerlendirilmesi için, 300 döngü için uzun süreli bir donma-çözünme testi yapılmıştır. Numunelerin gözeneklilik, su emme, kuru

yoğunluk, tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı, test yapılmadan önce ve her 50 döngüden sonra ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda, donma-çözünme döngülerinin sayısındaki artışla, tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı, kuru yoğunluk ve P-dalga hızının azaldığını, buna karşın su emme ve gözenekliliğin arttığı tespit edilmiştir.

Xiao et al. (2020), çalışmalarında farklı bitki örtüsü altında donma-çözünme döngülerinin ve toprak nem içeriğinin toprak agregat stabilitesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda toprak nem içeriği ve bitki örtüsünün donma-çözünme döngüsünde toprakların agregat boyutu ve ortalama çapı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Artan donma çözünme döngüsü topraktaki büyük makro kümeleri bozarak ortalama ağırlık çaplarını azaltmıştır.

Xie et al. (2015), çalışmalarında donma ve çözünme döngüsünün toprakların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırmıştır. Sonuçlar, çeşitli donma-çözünme döngüleri uyguladıktan sonra toprağın hacmi ve gözenekliliği arttıkça kohezyon ve tek eksenli basınç dayanımının azaldığını göstermiştir. Sonuç olarak donma çözünme döngüleri toprakların mekanik ve fiziksel özelliklerini önemli ölçüde değiştirmiştir.

Lehrsch et al. (1991), yaptıkları altı ayrı tekstürdeki toprak çalışmalarında, donma-çözünme sayısının agregasyon üzerindeki etkisinin toprak tekstürüne bağlı olarak farklılık gösterdiğini, ince ve orta bünyeli topraklarda donma anındaki nem içeriği artışıyla agregat stabilitesinin doğrusal olarak azaldığını saptamışlardır. Donma anında topraktaki boşluklarda meydana gelen buz kristalleri boşluk hacmini büyütürken toprağın kütle yoğunluğunun küçülmesine rağmen, doğal şekilde sabit olmayan boşluklar keseklerin oluşmasına küçük kristallerin erimesiyle gözenek geometrisi drenaj ile eğişim gözlenmektedir (Kay et al. 1985).

Donma sırasında daha ıslak olan topraklarda donmanın etkisi daha bariz olmaktadır (Voorhees 1983). Bullock et al. (1988), yaptıkları çalışmada, agregat stabilitesi ile donma sırasındaki nem seviyesi arasında negatif bir ilişki belirlemişlerdir. Agregat stabilitesi ile donma-çözünme sayısı arasındaki ilişki ile ilgili değişik neticeler, farklı araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Richardson (1976), Perfect et al. (1990), Lehrsch et al. (1991) ve Lehrsch (1998), ilk birkaç donma-çözünme döngüsü ile agregat stabilitesinin arttığını belirtirlerken pek çok araştırmacı ise (Bullock et al. 1988; Benoit 1991; Edwards 1991;

Mulla et al. 1992; Staricka and Benoit 1995; Dagesse et al. 1997; Bajracharya et al. 1998; Oztas and Fayetorbay 2003; Kvaerno and Oygarden 2006) donma-çözünme sayısı arttıkça agregat stabilitesi değerinin azaldığını ifade etmektedir.

Özdemir ve Akgül (1995) ile Fitzhugh et al. (2001) tarafından yapılan çalışmalarda, donma-çözünme olaylarının toprakların suya stabil agregatlar miktarı ile strüktürel stabilite ölçütü değerini önemli ölçüde azalttığını, dispersiyon oranı ile erozyon oranı değerlerini ise önemli ölçüde arttırdığı ve bu azalış ile artışların donma-çözünme sayısı tarafından önemli ölçüde etkilendiği bildirilmektedir. Ayrıca, donma-çözünme olaylarının toprakların strüktürel dayanıklılığını azaltarak erozyona karşı hassaslığını artırdığı hatta bu artışın donma-çözünme sayısına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.

Mostaghimi et al. (1988), toprak tipinin (tınlı, siltli tın ve killi tın) donma anında toprağın sahip olduğu nem içeriğinin, donma hızının ve donma-çözünme olayları sayısının agregat stabilitesi üzerindeki etkilerini incelemiş, donma hızının agregat stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını, donma olayının genelde toprak agregatlarını parçaladığını ve donma-çözünme olayı sayısının ise toprak tipine bağlı olarak etkisinin değiştiğini bildirmişlerdir. Donma anında toprağın sahip olduğu nem içeriği ile agregat stabilitesi arasında ters ilişki olmasına rağmen zayıf agregatlaşmış toprakların donma-çözünme sürecinde daha stabil olduklarını belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar, donma-çözünme süreç sayısı arttıkça killi-tınlı toprağın agregat stabilitesinin azaldığını, siltli-tınlı toprakta ise 1-3 arasında oluşan donma-çözünme olaylarının agregat stabilitesini artırdığını ancak 6'dan fazla donma-çözünmeden sonra agregat stabilitesinin azaldığını belirtmektedirler.

Benoit and Bornstein (1970), yaptıkları çalışmada, donma-çözünmenin oluşmasıyla büyük agregatların parçalandığı ve strüktürün bozulma derecesinin donma sırasındaki su içeriği ve agregat büyüklüğü artışıyla ve daha düşük donma derecelerinde arttığı, hidrolik iletkenliğin azaldığı belirlenmiştir. Bundan dolayı da donma-çözünme olaylarının gerçekleştiği bölgelerin ıslak topraklarında drenaj problemlerinin arttığı ifade edilmektedir.

Benoit (1973), yaptığı çalışmada genel olarak maksimum su tutma kapasitesinde suya dayanıklı agregatlarda dağılmanın istatistiksel olarak daha fazla olduğu, daha düşük donma derecesinde, yüksek su içeriğinde ve agregat büyüklüğünün fazla olduğu durumlarda

donma-çözünmenin düşey infiltrasyon hızında en fazla azalmaya neden olduğu bildirilmektedir.

Şahin vd (1999), orta bünyeli bir toprakta farklı nem içeriklerinde (0,01, 0,33 ve 0,65 atm) farklı donma-çözünme döngüleri (3, 6, 9, 12 ve 15) uyguladıkları çalışmalarında, nem düzeyindeki azalma porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerini artırırken, kuru elemeye ait ortalama ağırlık çapı, kütle yoğunluğu, tarla kapasitesi ve yarayışlı nem değerlerini azalttığını bulmuşlardır. Ayrıca, donma-çözünme sayısındaki artışa bağlı olarak agregat stabilitesi, ıslak elemeye ait ortalama ağırlık çap, kütle yoğunluğu, tarla kapasitesi ve yarayışlı nem değerlerinde genel olarak bir azalma, porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerinde ise genel olarak bir artışın olduğunu bildirmektedirler.

Oztas ve Fayetörbay (2003), farklı ana materyallerden oluşmuş 4 toprak örneğinde 3 farklı agregat büyüklüğü (0-1, 1-2 ve 2-4 mm), 3 farklı nem seviyesi (HK, TK ve 0,9xSN), 2 farklı donma sıcaklığı (-4 ve -18°C) ve 3 farklı donma-çözünme sayısı (3, 6 ve 9) uyguladıkları çalışmalarında, donma-çözünme süreçlerinin agregat stabilitesi üzerinde genellikle bozucu etki yaptığını belirtmektedirler. Ayrıca, donma-çözünmenin agregat stabilitesi üzerine etkisinin toprağın başlangıç agregasyon durumu, donma anında toprağın sahip olduğu nem içeriği, donma-çözünme süreç sayısı ve donma sıcaklığı tarafından önemli derecede etkilendiğini vurgulamaktadırlar.

Wischeimer and Smith (1978), donmuş katman üzerinde uzanan hemen hemen doymuş haldeki çözülmüş katmanın erozyona uğrama potansiyelinin çok daha büyük olduğunu bildirmektedirler. Ayrıca, çözünmeye başlamış katman üzerine düşen yağış veya mevcut karın erimesinin daha şiddetli erozyona yol açacağını belirtmektedirler.

Özdemir ve Akgül (1995), donma-çözünmenin toprağın strüktürel dayanıklılığı ve erozyona duyarlılığı üzerine yapmış oldukları bir çalışmada, donma-çözünme sayısındaki artışa bağlı olarak toprakların strüktürel dayanıklılıklarının azaldığını ve erozyona duyarlılıklarının arttığını kaydetmişlerdir. Bullock et al. (1999)'da yaptıkları benzer çalışmalarda agregat parçalanmasının arttığını ve dolayısıyla toprakların rüzgar erozyonuna uğrama risklerinin arttığını belirtmektedirler.

Bajracharya and Lal (1992), siltli tın tekstürdeki bir toprakta mevsimsel toprak kayıpları ile toprağın aşınmaya karşı duyarlılığındaki değişimi incelemişler ve donma-çözünme ile ıslak şartların hâkim olduğu kış-ilkbahar aylarında toprak kayıplarının ve toprakların aşınmaya karşı duyarlılıklarının en yüksek düzeyde olduğunu ortaya koymuşlardır.

Froese and Cruse (1997) ve Chow et al. (2000), çözünme süreci boyunca yüzey toprağın strüktür ve hidrolojik özelliklerinin değiştiğini ve yağışın erozyona uğrama hassasiyetini daha da arttırabileceğini bildirmektedirler.

Aldrich and Slaughter (1983), yaptıkları çalışmada, ilkbahar aylarında kar erimelerinden oluşan yüzey akışın, toplam yüzey akışın %40'ını oluşturmasına karşın toplam toprak kayıplarının %90'ını oluşturduğunu belirtmişlerdir. Aynı konuda, Kirby and Mehuys (1987), yürüttükleri bir araştırmada, ince tekstürlü topraklarda toprak kaybının %90'ının kış aylarında meydana geldiğini açıklamışlardır.

Pikul and Allmaras (1985), siltli-tınlı topraklarda birbirini takip eden ıslanma-kuruma ve donma-çözünme süreçlerinin agregatların parçalanmasına ve bunun bir sonucu olarak kaymak tabakası oluşumuna ve infiltrasyonun azalmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Toprakta donma ve çözünme olaylarının etkinliğini azaltan herhangi bir toprak ve bitki koruma önlemi (bitki atıklı tarım gibi) infiltrasyonun artmasına ve dolayısıyla erozyonun azalmasına yol açar. Pikul and Almaras (1985), yüzey örtüsünün son kış dönemindeki donma ve çözünme süreçlerini azaltan önemli bir yönetim önlemi olduğunu belirtmektedirler. Bu araştırmacılar çalışmalarında, mart ayında 7 kez donma olayının yaşandığını, bitki atıklarıyla örtülmüş durumda toprak yüzeyinin donmadığını, buna karşılık çıplak toprak yüzeyinin her seferinde yaklaşık 1,5 cm donduğunu kaydetmektedirler.

Kanber (1997a), yaptığı çalışmada donma-çözünmenin toprak fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi bütün topraklarda aynı boyutta olmayıp toprağın tekstürüne bağlı olarak değişim gösterdiğini bildirmiştir. Bu etki, orta ve ağır bünyeli topraklarda büyük, kaba bünyeli topraklarda ise daha az olduğunu saptamıştır. Kanber (1997b) yaptığı başka bir çalışmada devamlı solma noktası, tarla kapasitesi ve yarayıslı nemin sulama uygulamaları için toprak suyunun uygun bulunan gösterge noktalarından olduğunu ve sulama

sistemlerinin tasarlanmasında doymun halde bulunan topraklardaki hidrolik iletkenlikle de ilgilendiğini ifade etmiştir. Bu değişkenler üstünde toprak yapısının etkisi söz konusu olduğundan donma-çözünme değişkeninden sonra bu değişkenlerin değerlendirilmesine ihtiyaç duyulabildiğini belirtmiştir.

2.2. Biyokömür İle İlgili Çalışmalar

Biyokömürün bir toprak katkı maddesi olarak kullanılması, toprak özelliklerini ve işlevlerini eşzamanlı olarak iyileştirirken, aynı zamanda iklim değişikliğini azaltmanın bir yolu olarak önerilmiştir (Jeffery et al. 2011; Kookana vd. 2011; Verheijen et al. 2010). Biyokömür oldukça gözeneklidir, bu nedenle toprağa uygulanmasının, toplam gözeneklilik, gözenek boyutu dağılımı, toprak yoğunluğu, toprak nem içeriği, su tutma kapasitesi veya bitki mevcut su içeriği ve infiltrasyon dâhil olmak üzere bir dizi toprak fiziksel özelliğini iyileştirdiği düşünülmektedir. Hidrolik iletkenlik (Atkinson et al. 2010; Major et al. 2009; Sohi et al. 2009b, 2010; Zwieten et al. 2012). Bununla birlikte, biyokömür uygulamasının yerinde tarım topraklarının fiziksel özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini gösteren az sayıda literatür vardır (Atkinson et al. 2010; Shackley and Sohi 2010; Sohi et al. 2009a). Ayrıca, biyokömür'ün toprak gözenek boyutu dağılımını etkileyebileceği mekanizmalar veya süreçler açıkça belirlenmemiş veya gösterilmemiştir (Verheijen et al. 2010).

Biyokömürün su tutma, makro toplanma ve toprak stabilitesini etkilediği spesifik mekanizmalar tam olarak anlaşılamamıştır (Sohi et al. 2009b). Biyokömür uygulamasının toprak gözenekliliğini ve dolayısıyla üç mekanizma yoluyla toprak suyu tutulmasını etkileyebilecektir; (1) biyokömür içindeki gözeneklerden doğrudan gözenek katkısı, (2) biyokömür ve çevreleyen toprak agregatları arasında dolgu veya barınma gözenekleri oluşturma ve (3) artan agregat stabilitesi nedeniyle toprak gözeneklerinin kalıcılığı yoluyla iyileştirilmiştir.

Bazı araştırmacılar, biyokömürün yüksek gözenekli yapısı nedeniyle, toprağa uygulanmasının oluşacak yeni gözeneklerin doğrudan katkısı ile toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirebileceğini öne sürmüşlerdir (Atkinson et al. 2010; Downie et al. 2009; Major et al. 2009; Sohi et al. 2010; Verheijen et al. 2010).

Biyokömür gözenekliliği ve toprak gözenekliliği arasındaki açık ilişkiye rağmen, şaşırtıcı bir şekilde çok az çalışma, toprak ıslahı için kullanılan biyokömürün gözenek boyutu dağılımını bildirmiştir. Biyokömür gözenek boyutunun, besleme stoğu ve piroliz sıcaklığına bağlı olarak birkaç büyüklük düzeyinde değiştiği bilinmektedir (Thies and Rillig 2009). Major et al. (2009) çoğu biyokömürdeki gözeneklerin% 95'inin 0,002 μm çapından daha düşük olduğunu öne sürmüştür; Bununla birlikte, biyolojik savaşların 1 ila 10 μm aralığında büyük ölçüde makro gözeneklilik içerdiği de gösterilmiştir (Downie et al. 2009;). Verheijen et al. (2010), biyokömür kaynaklı doğrudan gözenek kirliliğinin potansiyel olarak su depolamasını-10.000 ila -1.000.000 kPa arasında artırdığını ve böylece değiştirilen toprakta 0,03 ila 0,0003 μm çap arasındaki gözenek sayısını potansiyel olarak artırdığını öne sürmüşlerdir. Bununla birlikte, çoğu bitki, 0,2 μm 'den küçük gözeneklerden (kalıcı solma noktasının altında) toprak suyunu çekemez.

Toprağa biyokömür uygulamasının biyokömür parçacıkları ile toprak agregatları arasında gözenekleri oluşturabileceği az sayıda çalışma vardır. Yerleşim gözeneklerinin boyutu ve oranı, potansiyel olarak toprak agregatlarının boyutu, biyokömür parçacıklarının boyutu ve katılmayı takiben sıkıştırma veya sertleşme derecesinden etkilenir. biyokömür uygulamasını takiben konaklama gözeneklerinin oluştuğuna dair kanıtlar sınırlıdır. Jones vd. (2010), 40 ve 80 Mg ha^{-1} yeşil atık biyokömürünün boksit işleme kalıntısı iri kuma uygulanmasının, makro gözenekliliği (gözenek çapları > 29 μm) önemli ölçüde azalttığını, buna karşılık mezoporoziteyi önemli ölçüde artırdığını (gözenek çapları arasında 0.2 ve 0.29 μm). Artan mezoporozite, biyokömürün kısmen kaba kum parçacıkları arasındaki büyük boşlukları doldurmasına bağlanmıştır. Saksı denemelerinden elde edilen kanıtlar ayrıca, biyokömür uygulamasından sonra gözenek boyutu dağılımındaki kısa vadeli değişikliklerin agregat çökmesinden ve dolayısıyla konaklama gözeneklerindeki değişikliklerden kaynaklanabileceğini göstermektedir (Eastman 2011; Novak et al. 2012). Bununla birlikte, biyokömür uygulamasının bozulmuş toprakların yeniden iyileştirmesini ne ölçüde etkilediği özel olarak araştırılmamıştır.

Verheijen et al. (2010), biyokömür uygulamasının agregat stabilitesini ve dolayısıyla toprak gözenekliliğini iyileştirebileceğini öne sürmüştür. Biyokömürün birleştirilmesinin kültür ve toprak işleme gerektirdiği göz önüne alındığında, biyokömürle değiştirilmiş topraklarda geliştirilmiş agregat stabilitesi, birleştirme sırasında oluşturulan gözenekleri korumak için hareket edebilir. Bununla birlikte, biyokömürün toplam stabiliteyi

iyileştirdiğini gösteren çok az ve çoğu zaman çelişkili kanıt vardır. Liu et al. (2012), 8 ile 16 g/kg⁻¹ arasında talaş biyokömür uygulamasının 12 toprak tipi biyokömür kombinasyonundan sadece 3'ünde agregat stabilitesini önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir. Busscher et al. (2010), Peng et al. (2011) ve Eastman (2011), biyokömür'ün toplam stabilite üzerinde önemli bir etkisi olmadığını bildirmişlerdir.

Demir (2021), çalışmasında biyokömürün atık su ile sulanan topraklarda topraktan sızan suyun ağır metal içeriğine olan etkisini araştırmıştır. Topraklara artan dozda ilave edilen biyokömürün toprağa atıksu ile verilen ağır metallerin önemli bir kısmını tuttuğu saptanmıştır. Bunun nedeni olarak biyokömürün toprakların pH düzeylerinde değişim ve biyokömürün su geçirgenliğini azaltma olarak açıklanmıştır.

Alaboz ve Öz (2020), yaptıkları çalışmada Biyokömür uygulamalarının toprakların bazı fiziksel özellikleri üzerine olan etkisini araştırmıştır. Biyokömür uygulamaları ile toprakların penetrasyon direncinin azaldığı saptanmıştır. Uygulamaların hacim ağırlığı üzerine etkileri penetrasyon direnci ile benzerlik göstermiş fakat istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır.

Jien and Wang (2013), çalışmalarında beyaz kurşun ağaçlarının (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) atık odunlarından elde edilen biyokömürün, uzun süreli ekilmiş, asidik Ultisol'un fizikokimyasal ve biyolojik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Biyokömür uygulamasının, toprak pH'sında 3,9'dan 5,1'e, katyon değişim kapasitesinde 7,41'den 10.8 cmol'e kg⁻¹'e, baz katyon yüzdesinde 6,40'tan 5,1'e önemli artışlar dahil olmak üzere, aşırı derecede yıpranmış toprakların fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Kontrol ile karşılaştırıldığında biyokömür uygulaması kütle yoğunluğunu 1,4'ten 1,1 Mg.m⁻³'e düşürmüş, Hidrolik iletkenliği 1,8 kat, toprak agregatlarının ortalama ağırlık çapını ise 2,6 cm'den 4,0 cm'ye çıkarmıştır. Biyokömürün toprağa katılması, kontrole kıyasla %2,5 ve %5 uygulama oranlarında toprak kaybını sırasıyla %50 ve %64 oranında önemli ölçüde azaltmıştır.

Adekiya et al. (2020) çalışmalarında sert ağaçtan üretilen biyokömürün toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, erozyon potansiyeli ve kokoyam (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott) üzerindeki etkilerini değerlendirmek için Nijerya'nın güneybatısındaki Owo'da kumlu bir balçık Alfisol üzerinde iki yıllık saha çalışması yapmıştır. Sonuçlar biyokömür

uygulamasının her iki yılda da kokoyam bitkisi verimini ve toprağın fiziksel (hacim ağırlığı, gözeneklilik, nem içeriği, toprak agregatlarının ortalama ağırlık çapı, dağılım oranı ve infiltrasyon) ve kimyasal (toprak organik maddesi, pH) verimini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir.

2.3. Poliakrilamid (PAM) İle İlgili Çalışmalar

Vleeschauwer et al. (1978), tarafından yapılan PAM'ın toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkisinin incelendiği bir araştırmada, uygulamaların fiziksel özelliklere çok fazla etki ettiği fakat kimyasal özelliklerin değiştiği saptanmıştır. Uygulamaların toprağın porozite ve infiltrasyon oranını artırdığı, bitüm ve PAM'ın toprak agregasyonuna pozitif etki yaptığı belirlenmiştir.

Dodd et al. (2004), sodik ve sodik olmayan topraklara ağırlık esasına göre %0,2- %0,001 ve %0,00005 oranında poliakrilamid uygulamış ve polimer uygulamasının toprağın suya dayanıklı agregat yüzdesini, infiltrasyonunu ve hidrolik iletkenlik değerini önemli derecede artırdığını kaydetmişlerdir.

Lentz and Sojka (1994), PAM kullanımının erozyon üzerine etkilerini incelerken, PAM uygulamalarının aynı zamanda yüzey akış suyunda toplam fosfor, nitrat, sediment konsantrasyonunu azaltarak yüzey akış suyu kalitesini iyileştirdiğini belirlemişlerdir.

Trankel et al. (1995), siltli tınlı tekstüre sahip bir toprakta 0.11 g m^{-2} PAM uygulaması ve 16.8 g m^{-2} malçlamanın sediment taşınımı ve infiltrasyon üzerine etkisini incelemiş, malçlamanın sediment taşınımını %33, PAM uygulamasının %61 ve Malç+PAM uygulamasının ise %91 oranında azalttığını belirlemişlerdir. PAM uygulamasının toprağa sızan su miktarına etkisi görülmezken malçlamanın %42-45, Malç+PAM uygulamasının ise %42-56 oranında artırdığı belirtilmiştir.

Ben-Hur and Keren (1997), toprakların agregasyon derecesi infiltrasyon hızları üzerine P-101, CP-14 ve CG gibi farklı polimerlerin etkisini inceledikleri bir çalışmada, 50-75 kg/ha uygulama dozunda ve 40 mm toplam yağış altında araştırma konusu toprakların infiltrasyon hızlarının ve agregasyonlarının arttığını ve bu artışta P-101 polimerinin diğer iki polimerden daha etkili olduğunu rapor etmişlerdir. Benzer bir çalışmada, Green *et al.* (2000), farklı dozlarda poliakrilamid (PAM) uyguladıkları toprakların infiltrasyon

hızlarının arttığını ve farklı yağış yoğunluğu altında su ile aşınıp taşınan toprak miktarının da azaldığı belirtilmiştir.

Uysal et al,(1998), PAM uygulamasının farklı tekstürel bileşime sahip topraklarda agregat stabilitesi, süspansiyon yüzdesi, dispersiyon oranı ve perkolasyon oranı gibi toprak erodibilitesini belirleyen özellik ve parametreleri önemli derecede etkilediğini, başlangıçta %33,49 dispersiyon oranına (DO) sahip olan bir toprağın DO değerinin PAM uygulamasından sonra %3,44'e kadar düşürebildiğini, toprakların agregat stabilitesi değerlerinin ise %30 dolayından %100'e kadar çıkarabildiğini belirtmektedir.

Orts et al. (2000), chitosan, starch xanthate, cellulose xanthate ve acid-hydrolyzed cellulose microfibrils'den oluşan bir seri biopolimeri ve sentetik PAM polimerini sulama suyuna katarak laboratuvar ortamında kanal içerisinde taşınan toprak kayıplarının azaltılması üzerine etkinliğini incelemiş ve biopolimerler arasında hiçbirinin sentetik polimer kadar yüzey akış sediment kaybını azaltamadığını oysa 5 ppm gibi çok düşük konsantrasyonlarda uygulanan PAM'in bile bu kayıpları %90'dan daha fazla bir oranla azaltabildiğini belirlemişlerdir.

Santos and Serralheiro (2000), erozyona karşı duyarlı Akdeniz topraklarında 1 mg l^{-1} PAM'ın sulama suyu ile toprağa uygulanması sonucu toprağın hidrolik iletkenlik değerinin %168 kat arttırılabileceğine dikkat çekmektedirler.

Nishimura et al. (2005), jips ve poliakrilamid'in asit toprakların infiltrasyonu ve erodibilitesi üzerine etkisini incelemiş, 40 mm h^{-1} yapay yağış uygulamasıyla $2,5 \text{ ton ha}^{-1}$ jips ve 15 kg ha^{-1} poliakrilamid uygulanmış topraklarda, jips uygulanan toprakların dispersleştigi, buna karşılık poliakrilamid uygulamasının infiltrasyonu hızlandırarak sediment kayıplarını azalttığını saptamışlardır.

Uysal (1986), Gediz havzasında yer alan büyük toprak gruplarına ait su erozyonuna maruz kalan eğimli tarım alanlarında polimer kullanarak yapmış olduğu çalışmada, solüsyon halindeki PVA'nın çok küçük miktarının toprağa uygulanması ile işlenen toprakların zayıf strüktürlerinin ıslah edilebildiğini, agregatlaşmanın artırıldığını, su hareketinin ve havalanmanın önemli ölçüde değiştiğini tespit etmiştir. Diğer bir çalışmada Uysal ve Taysun (1995), toprağa hidrofobik özellikte kümeleşmeyi sağlayan PVA ve PAM

uygulanmasının yüzey akışı ve toprak kayıplarının önemli ölçüde azalttığını belirlemişlerdir.

Bu bölümde özetlenen literatür bilgileri ışığında 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.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Toprak

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 vd. 2019). Söz konusu alandan çalışmada kullanılmak üzere toprak örneği alınarak laboratuvar ortamına taşınmıştır. Topraklar Tenedero and Surtida (1986)'de detaylı olarak tarif edildiği şekilde kurutma, öğütme ve eleme (2 mm) işleminden sonra çalışmaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 3. 1). Topraklara ait genel özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Çalışmada kullanılmak üzere hazırlanan toprak materyali (a-Toprak örneklerinin plastik kaplara eklenmesi, b- toprak örneklerinin analize hazırlanması)

3.1.2. Biyokömür

Biyokömür (Biochar), düşük oksijen koşulları altında 300 ila 1.000 °C arasındaki sıcaklıklarda biyokütlenin pirolizi ile oluşturulan, ağırlıklı olarak stabil, inatçı bir organik karbon bileşiğidir (Jeffery et al. 2011; Verheijen et al. 2010). Çalışma kapsamında toprak düzenleyicisi katkı materyali olarak kullanılan biyokömür materyali Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü envanterinden temin edilmiştir (Şekil 2). 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 Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3. 2. Çalışmada kullanılan biyokömür (Ceviz kabuğunun kül fırınında yakılması sonrası) materyali

3.1.3. Poliakrilamid

Çalışmada kullanılan toprak düzenleyicisi bir polimer olan poliakrilamid (PAM) satın alma yoluyla temin edilmiştir (Şekil 3. 3). 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 su infiltrasyonunun arttırılmasında etkilidir ve ayrıca ürün büyümesi ve verimi üzerinde dolaylı olarak önemli bir etkiye sahiptir (Seybold 1994). PAM'a ait bazı özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3. 3. Çalışmada kullanılan poliakrilamid materyali

Tablo 3. 1. Çalışmada kullanılan toprak, biyokömür ve poliakrilamid materyallerine ait genel özellikler

	Toprak	Biyokömür	Poliakrilamid
Kum (%)	46	-	-
Silt (%)	28	-	-
Kil (%)	26	-	-
Tekstür Sınıfı	Tınlı	-	-
Db (gr/cm³)	1,38	-	0,5
TK (%)	36,92	-	-
DSN (%)	16,15	-	-
pH	7,95	9,5	4-6
EC (µS/cm)	59,7	1,825	-
Kireç (%)	8,5	-	-
OM (%)	2,35	77,5	-
KDK (cmol/kg)	41,5	35,5	-
AS (%)	41,65	-	-
Hidroliz derecesi (%)	-	-	>98,0
Molekül ağırlığı (Mg/mol)	-	-	10000

3.2. Yöntem

3.2.1. Deneme Düzeni ve Denemenin Yürütülmesi

Araştırma Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Fiziği Laboratuvarında yürütülmüştür. Çapakçur havzasından alınan toprak örnekleri üzerine 0, 2, 4 ve 8 gr/kg Biyokömür ve PAM eklenerek farklı dozlarda karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan toprak karışımları 1 kg kapasiteli plastik kaplara doldurularak tarla kapasitesi düzeyinde nemlendirilmiştir (Şekil 3. 4). 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 (± 2°C) 24 saat çözünme işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3. 5). Uygulamalar sırasında topraktan su kaybını önlemek amacıyla kasalar plastik örtü ile kaplanmış dış atmosferden tecrit edilmiştir (Şahin vd. 1999). Donma çözünme döngüsü tamamlanan örnekler analiz edilmek üzere değerlendirilmiştir.



Şekil 3. 4. Toprak ve katkı maddesi karışımlarının eklendiği plastik kaplar



Şekil 3. 5. Çalışmada iç (derin dondurucu) ve dış (oda/laboratuvar iç sıcaklık) sıcaklığın takibi için kullanılan dijital termometre

3.2.2. Toprak Analizleri

- a) Toprak Bünyesi:** Toprakların kum, silt ve kil fraksiyonlarının oransal dağılımı Bouyoucus hidrometre yöntemi ile belirlenmiştir (Demiralay 1993). Analizler Bouyoucus hidrometre düzeneği kullanılarak yapılmıştır.
- b) pH:** Toprak örneklerinin 1:2.5 oranında saf su ile karıştırılması sonucu elde edilen solüsyonda belirlenmiştir (Horneck 1989).
- c) Elektriksel İletkenlik ($\mu S/cm$):** Toprak örneklerinin 1:2.5 oranında saf su ile karıştırılması sonucu elde edilen solüsyonda EC metre probu kullanılarak belirlenmiştir (Tüzüner 1990).
- d) Organik Madde (%):** Toprağı potasyum dikromat ve sülfürik asit ile tepkimeye sokarak toprak içerisindeki organik karbonun potasyum dikromat ile oksitlenmesini sağlamak ve oksitlenme için kullanılan miktardan arta kalan potasyum dikromatı standart demir sülfat ile titre etmek suretiyle toprakta bulunan organik karbonu saptayarak organik madde miktarı belirlenmiştir (Walkley and Black 1934).
- e) Kireç (%) :** Scheibler kalsimetresinde toprağın seyreltik hidroklorik asitle reaksiyona tabi tutulması ile karbonatlardan çıkan CO₂ gazının hacminin ölçülmesi ve ölçülen değerlerin hesaplanması ile belirlenmiştir (Allison 1965)
- f) Tarla Kapasitesi ve Solma Noktası:** Basınçlı membran aletiyle bozulmamış toprak örneklerinin 1/3 atm'de içerdiği nem miktarıyla toprağın tarla kapasitesi, benzer şekilde toprak örneklerinin 15 atm'de içerdiği nem miktarıyla devamlı solma noktası belirlenmiştir (Tinsley 1967).
- g) Yarayışlı Su Miktarı:** Toprakların tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri kullanılarak hesaplanmıştır (Demiralay 1993)
- h) Agregat Stabilitesi:** Islak eleme cihazı kullanılarak belirlenmiştir (Kemper, 1986).

3.2.3. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çalışmaya ait elde edilen analiz sonuçları JMP 5,0 istatistik paket programı kullanılarak varyans analizi yapılmıştır. Uygulama ortalamaları arasındaki farklar ($P < 0,05$) Tukey testi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. 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 Tablo 4.1’de verilmiştir. Uygulama ortalamalarının karşılaştırılması ise Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.1. 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	<,0001
Tekrar	2	2	11,21758	0,5098	0,6075
DÇ*Doz	6	6	39,38298	0,5967	0,7298

Tablo 4.2. 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 artsada 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 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 2 gr/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 arttırılmasında 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 vd (1999) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarıyla örtüşmektedir. Diğer yandan BC dozunun artmasıyla ortalama tarla kapasitesi değerinin de arttığı gözlemlenmiş ancak

istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bununla birlikte PAM dozunun artmasıyla tarla kapasitesi değerlerinde 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 kapasitenin azaldığı saptanmıştır. Topraklara daha yüksek dozda PAM veya BC ilavesinin donma-çözünmenin olumsuz etkisini azaltıp azaltmayacağı bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmıştır.

4.2. 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 Tablo 4.3'te verilmiştir. Uygulama ortalamalarının karşılaştırılması ise Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Uygulamalara ait varyans analizi

Kaynak	Nparam	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

Tablo 4.4. 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. Hâlbuki Şahin vd. (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 noktasınının değişimi üzerinde önemsiz olduğunu göstermektedir.

4.3. Toprakların Yarayışlı Su İçeriğinde Meydana Gelen Değişimler

Farklı dozlarda biyokömür (BC) ve poliakrilamid (PAM) katkılı topraklarda donma çözünme döngüsü sonrası yarayışlı su miktarının nasıl değiştiği araştırılmıştır. Artan dozlarda BC ve PAM maddeleri ile donma-çözünme döngüsü uygulamalarının yarayışlı su miktarı üzerine olan önemlilik etkisi Tablo 4,5.'te verilmiştir. Uygulama ortalamalarının karşılaştırılması ise Tablo 4,6'da verilmiştir.

Tablo 4.5. Uygulamalara ait varyans analizi

Kaynak	Nparm	DF	Kareler ortalaması	F Ratio	Prob > F
Biyokömür					
DÇ	2	2	181,96191	9.1056	0,0013
Doz	3	3	58,62270	1,9557	0,1502
Tekrar	2	2	12,46996	0,6240	0,5450
DÇ*Doz	6	6	21,64469	0,3610	0,8956
Poliakrilamid					
DÇ	2	2	146,15960	5,5617	0,0111
Doz	3	3	316,43476	8,0273	0,0009
Tekrar	2	2	10,37409	0,3948	0,6785
DÇ*Doz	6	6	78,32489	0,9935	0,4539

Tablo 4.6. Uygulamaların yarayırlı su miktarı 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	17,73±1,85	17,71±2,10	20,06±5,31	19,69±1,75	18,80±2,75A
10	14,57±4,10	16,53±5,49	14,70±3,86	18,77±2,42	16,14±3,97AB
15	11,59±0,46	12,29±1,28	13,44±0,52	15,85±2,70	13,29±1,24B
Ort	14,63±2,14	15,51±2,96	16,07±3,23	18,10±2,29	
Poliakrilamid					
5	18,73±3,37	25,41±0,60	22,55±2,26	24,34±2,70	22,76±2,23A
10	13,57±4,10	25,61±2,55	19,66±7,61	17,35±6,02	19,05±5,07AB
15	13,59±0,46	19,51±1,29	18,51±2,48	20,72±0,31	18,08±1,14B
Ort	15,30±2,64B	23,51±1,48A	20,24±4,12A	20,80±3,01A	

Yapılan araştırma sonucunda donma-çözünme olaylarının yarayırlı su üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli olarak bulunmuştur. Bu durum tarla kapasitesinde meydana gelen değişimin sonucudur. Yani tarla kapasitesi ve solma noktasının farkı olan yarayırlı su miktarı tarla kapasitesinin uygulamalardan etkilendiği ölçüde etkilenmiştir. Bu durumda BC karıştırılan topraklarda dozun yarayırlı su üzerine etkisinin olmadığını sadece donma-çözünme sayısının etki ettiği bulunmuştur. En yüksek yarayırlı su 5. döngüde (18,80±2,75) meydana gelmiş, en düşük ise 15. döngüde (13,29±1,24) bulunmuştur.

PAM eklenen topraklarda donma-çözünme sayısının yarayışlı su üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkisi vardır. Donma çözünme sayısı arttıkça toprağın su tutma kapasitesi azalmaktadır. En yüksek yarayışlı su miktarı 5. döngüde ($22,76 \pm 2,23$) en düşük miktar ise 15. döngüde ($18,08 \pm 1,14$) olarak bulunmuştur. PAM da aynı zamanda dozun da yarayışlı su üzerine önemli etkisi vardır. En yüksek su içeriği 2 gr/kg ($23,51 \pm 1,48$) en düşük ise kontrol uygulamasında ($15,30 \pm 2,64$) meydana gelmiştir.

4.4. 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 Tablo 4.7.'de verilmiştir. Uygulama ortalamalarının karşılaştırılması ise Tablo 4.8.'de verilmiştir.

Tablo 4.7. Uygulamalara ait varyans analizi

Kaynak	Nparm	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	<,0001
Tekrar	2	2	155,7775	3,1887	0,0608
DÇ*Doz	6	6	546,4883	3,7288	0,0104

Tablo 4.8. Uygulamaların agregat stabilitesi 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	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 ($37,29\pm7,60$), en düşük ise 15. döngüde ($29,10\pm4,21$) 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 ($46,01\pm6,00A$), 10. döngüde ($39,83\pm1,71B$) en düşük ise 15. döngüde ($37,61\pm5,39B$) 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 agregat stabilitesi en yüksek ($49,55\pm4,20A$), %4 te ($44,16\pm5,05AB$), %2 de ($40,13\pm5,17B$) en düşük ise PAM katılmayan ($30,75\pm3,04C$) topraklarda meydana gelmiştir.

Donma-çözünme sayısı - doz agregat stabilitesi üzerine etkili olmuştur. 5. döngüde enyüksek %8 katkılı PAM' da ($61,77 \pm 9,55A$) iken %4 katkılı PAM'da ($44,59 \pm 7,11BC$), %2 katkılı pam'da ($42,78 \pm 2,97BC$) en düşük ise pam katkılı olmayan toprakta meydana gelmiştir. 10. döngüde en yüksek %8 katkılı pam'da ($47,79 \pm 1,44AB$), %4 katkılı pam'da ($41,12 \pm 1,91BC$), %2 katkılı pam'da ($38,60 \pm 2,06BCD$) en düşük ise pam katkılı olmayan toprakta ($31,79 \pm 1,44CD$) meydana gelmiştir. 15. döngüde en yüksek %4 katkılı pam'da ($46,78 \pm 6,11B$), %8 katkılı pam'da ($39,10 \pm 1,62BCD$), %2 katkılı pam'da ($39,00 \pm 10,50BCD$), en düşük 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; Şanin vd. 1999; Xiao et al. 2020). Birçok araştırmacı toprakların strüktürel yapısı üzerine donma-çözünme olaylarının etkili olduğunu bildirmiştir. Yapılan çalışmalarda donma-çözünme döngüleriyle birlikte toprakların agregat yapısı bozulmakta buda toprakaların hem verimlilik hemde erozyona karşı duyarlılığını arttırmaktadır. Lynch and Bragg (1985) ve Oades (1993) toprak strüktürünün şekillenmesinde donma-çözünme gibi fiziksel güçlerin etkin olduğunu ifade etmektedirler.

4.5. 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 Tablo 4.9'da verilmiştir. Uygulama ortalamalarının karşılaştırılması ise Tablo 4.10.'da verilmiştir.

Tablo 4.9. 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

Tablo 4.10. 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 döngü 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.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

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 maddeler halinde sıralanmıştır. Bununla birlikte araştırma sonuçlarına ait elde edilen verilerin grafikleştirilmiş sonuçları EK’te 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 hemde 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 satbilitesi 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.

KAYNAKLAR

Adekiya AO, Agbede TM, Olayanju-Ejue WS, Adekanye TA, Adenusi TT, Ayeni JF (2020) Effect of biochar on soil properties, soil loss, and cocoyam yield on a tropical sandy loam Alfisol. The Scientific World Journal 2: 133-171. aggregate stability. Catena 52(1): 1-8

Alaboz P, Hasan ÖZ (2020) Biyokömür ve Solarizasyon Uygulamalarının Bazı Toprak Fiziksel Özellikler Üzerine Etkileri. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi 35(2):208-214

Aldrich JW, Slaughter CW (1983) Soil erosion on subarctic forest slopes. Journal of Soil and Water Conservation 38(2): 115-118

Allison LE, Moodie CD (1965) Carbonate In: CA Black (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Agronomy. 9, Asa, Sssa, Wi, Usa, s. 1379–1400

Arshad MA, Martin S, (2002) Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment 88: 153-160

Atkinson CJ, Fitzgerald JD, Hipps NA (2010) Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. Plant and Soil 33(7): 1-18

Ayodele A, Oguntunde P, Joseph A, Dias Junior MS (2009) Numerical analysis of the impact of charcoal production on soil hydrological behavior, runoff response and erosion susceptibility. Rev Bras Cienc Solo 33: 137 – 145

Bajracharya RM, Lal R (1992) Seasonal soil loss and erodibility variation on a Belyaeva ON, Haynes RJ (2012) Comparison of the effects of conventional organic amendments and biochar on the chemical, physical and microbial properties of coal fly ash as a plant growth medium. Environmental Earth Sciences 66: 1987-1997

Ben-Hur M, Keren R (1997) Polymer effects on water infiltration and soil aggregation. Soil science society america journal. 61(2): 565-570

Benoit GR (1973) Effect of Freeze-Thaw Cycles on Aggregate Stability and Hydraulic Conductivity of Three Soil Aggregate Sizes. Soil Science Society America Proce 37: 3-5

Benoit GR (1991) Freezing-Drying Caused Changes in Soil Aggregates Mean Weight Diameter. Agronomy Abstract, Annual Meeting, 325

Benoit GJ, Bornstein (1970) Freezing and Thawing Effects on Drainage. Soil science society america journal. 34: 551-557

Blake GR, Hartge KH (1986) Particle Density in Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods (Ed. A, Klute). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA p. 363-382

Bullock MS, Kempe WD, Nelson SD (1988) Soil Cohesion as Affected by Freezing, Water Content, Time and Tillage. Soil science society america journal. 52: 770-776

Busch D, Kammann C, Gtiinhage L, Millier C (2012) Simple biotoxicity tests for evaluation of carbonaceous soil additives: establishment and reproducibility of four test procedures. Journal of Environmental Quality 41: 23 –1032

Busscher WJ, Novak JM, Evans DE, Watts DW, Niandou MAS, Ahmedna M (2010) Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand. Soil Science 175: 10-14

Chan KY, Van Zwieten L, Meszaros I, Downie A, Joseph S (2007) Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Soil Research 45: 629- 634
chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. Biol Fertil Soils 35: 219-230

Chen HX, Du ZL, Guo W, Zhang QZ (2011) Effects of biochar amendment on cropland soil bulk density, cation exchange capacity, and particulate organic matter content in the North China Plain. Chinese Journal of Applied Ecology 22: 2930-2934

Cox J, Downie A, Jenkins A, Hickey M, Lines-Kelly R, McClintock A, Powell J, Singh BP, van Zwieten L (2012) Biochar in horticulture: prospects for the use of biochar in Australian horticulture. NSW trade and Investment, Horticulture Australia, NSW Department of Primary Industries, Project No: AH11006

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

Demir Y, Doğan DA (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 DA, 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: 259

Demiralay İ (1977) 192 sayfa, Erzurum. action on soil aggregate satability. Transactions of ASAE 31(2): 435-439

Demiralay İ (1977) Toprak Fiziği Ders Notları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Erzurums, s.232

Demiralay İ (1993) Toprak fiziksel analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları, Erzurum No: 143: 22-40.

Downie A, Crosky A, Munroe P (2009) Physical properties of biochar. In ‘Biochar for Environmental Management Science and Technology’.Eds, J Lehmann and S Joseph, Earthscan Publishing: London, Sterlin, VA, p. 13-32.

Eden, M, Gerke HH, 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 LM (1991) The Effect of Alternate Freezing and Thawing on Aggregate Stability and Aggregate Size Distribution of Some Prince Edward Island Soils. Journal Soil Science society, 42: 193- 204

Ergene A (1993) Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: Erzurum 267: 158-179

Formanek GE, McCool DK, Papendick Dİ (1984) Freeze-Thaw and Consolidation Effects on Strength of a Wet Silt Loam. Transactions of the ASAE 27: 1749-1752

Froese JC, Cruse RM (1997) Erosion impact of the soil-thawing process. In I.K. Iskandar et al.. (ed.) Proceedins of the International Symposium on Physics, Chemistry, and Ecology of Seasonally Frozen Soils. Fairbanks, AK. 10- 12 June 1997. U.S. Army Cold Regions Res. and Eng. Lab. Spec. Rep. 97-10. NTIS, Springfield VA, p. 231- 234

Fu Q, Zhao H, Li T, Hou R, Liu D, Ji Y, Yang L (2019) Effects of biochar addition on soil hydraulic properties before and after freezing-thawing. Catena, 176: 112-124

Gaskin J, Speir A, Morris LM, Ogden L, Harris K, Lee D, Das KC(2007) Potential for pyrolysis char to affect soil moisture and nutrient status of loamy sand soil. Georgia Water Resources Conference, held March 27

Hill JNS, Sumner ME (1967) Effect of bulk density on moisture characteristics of soils. *Soil Science*, 103(4): 234-238

Hinman WC, Bisal F (1968) Alterations of Soil Structure Upon Freezing and Thawing and Subsequent Drying. *Can. Journal Soil Science*. 48: 193- 197

Horneck DA, Hart JM, Topper K, Koepsell B (1989) Methods of Soil Analysis Used in the Soiltesting Laboratory at Oregon State University. Sm 89: 4 Agricultural Experiment Station. Corvallis, Pgs. 21

Jeffery S, Verheijen FGA, van der Velde M, Bastos AC (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

Jien SH, Wang CS (2013) Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110: 225-233

Jones BEH, Haynes RJ, Phillips IR (2010) Effect of amendment of bauxite processing sand with organic materials on its chemical, physical and microbial properties. *J Environ Manage* 91:2281-2288

Kanber R (1997a) Sulama. Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Ders Kitapları Yayın No: 52, 158-168: 314- 319

Kanber R (1977b) Çukurova Koşullarında Bazı Toprak Serilerinin Değişik kullanılabilir Nem Düzeylerinde Yapılan Sulamaların Pamuğun Verim ve Su Tüketimine Etkileri Üzerinde Bir Lizimetre Araştırması. *Topraksu Kartografya Müd. Basımevi. Ankara*. s.169

Karlen DL, Mausbach MJ, Doran JW, Cline RG, Harris RF, Schuman GE (1997) Soil quality: A concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61: 4-10

Kay BD, Grant CD, Groenevelt PH (1985) Significance of Ground Freezing on Soil Bulk Density Under Zero Tillage. *Soil science society america journal*. 49: 973-978

Kemper WD, Rosenau RC (1986) Aggregate stability and size distribution. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Methods*, 5: 425-442

Kookana RS, Sarmah AK, Van Zwieten L, Krull E, Singh B (2011) Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Advances in Agronomy* 112: 103-143

Laird DA, Fleming P, Davis DD, Horton R, Wang B, Karlen DL (2010) Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158:443-449

Lehrsch, G.A (1998) Freeze-Thaw Cycles Increase Near-Surface Aggregate Stability. *Soil Science*, 163:1, 63-70

Lehrsch GA, Sojka RE, Carter DL, Jolley PM (1991) Freezing Effects on Aggregate Stability Affected by Texture, Mineralogy and Organic Matter. *soil science society america journal*. 55: 1401-1406

Lentz RD, Sojka RE (1994) Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration. *Soil Science*.158: 274-282

Liu XH, Han FP, Zhang XC (2012) Effect of biochar on soil aggregates in the Loess Plateau: results from incubation experiments. *International Journal of Agriculture and Biology* 14: 975-979

Lynch, J.M, Bragg, E. (1985) Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Science*, 2, 133-171.

Major J, Steiner C, Downie A, Lehmann J (2009) Chapter 15. Biochar effects on nutrient leaching. In: J Lehmann, S Joseph (eds) *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, London, p. 271-282

Mbagwu JSC, Bazzoffi P (1989) Effect of Antecedent Matric Potential on the Stability of Soil Aggregates Subjected to Cycles Freezing and Thawing as Evaluated by Three Structural Indices. *Soil Technol*, 2: 59-70. miamian silty loam soil. *soil science society america journal*. 56: 1560-1565

Momeni A, Abdilor Y, Khanlari GR, Heidari M, Sepahi AA (2016) The effect of freeze–thaw cycles on physical and mechanical properties of granitoid hard rocks. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 75(4): 1649-1656

Mostaghimi S, Young RA, Wiltts AR, Kenime AL (1988) Effects of frost action on soil aggregate stability," *Trans. ASAE*, No. 31(2): 435-439

Mukherjee A, Lal R (2013) Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions. *Agronomy* 3: 313-339

Nishimura T, Yamamoto T, Suzuki S, Kato M (2005) Effect of gypsum and polyacrylamide application on erodibility of an acid Kunigami mahji soil. *Soil Science and Plant Nutrition* 51(5): 641-644

Novak JM, Busscher WJ, Watts DW, Amonette JE, Ippolito JA, Lima IM, Gaskin J, Das KC, Steiner C, Ahmedna M, Rehrh D, Schomberg H (2012) Biochars impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. *Soil Science* 177:310- 320

Novak JM, Watts DW (2013) Augmenting soil water storage using uncharred switchgrass and pyrolyzed biochars. *Soil Use and Management* 29: 98-104

Oades JM (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

Orts WJ, Sojka RE, Glenn GM (2000) Biopolymer additives to reduce erosion-induced soil losses during irrigation. *Industrial Crops and Products* 11: 19-29

Oztas T, Fayetorbay F (2003) Effect of freezing and thawing processes on soil aggregate stability. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ataturk University, 25240, Erzurum, Turkey, 52(1):1-8

Özdemir N, Akgül M (1995) Donma ve Çözünmenin Toprağın Strüktürel Dayanıklılığı ve Erozyona Duyarlılığı Üzerine Etkisi. *Turkish Journal. Agriculture and Forestry*, 19: 429-435

Peng X, Ye LL, Wang CH, Zhou H, Sun B (2011) Temperature and duration-dependent rice straw-derived biochar: characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil and Tillage Research*, 112:159-166

Pikul JL, Allmaras RR (1985) Hydraulic Potential in Unfrozen Soil in Response to Diurnal Freezing and Thawing of the Soil Surface. *Transactions of the ASAE*, 28: 164-168

Radke JK, Berry EC (1998) Soil Water and Solute Movement and Bulk Density Changes in Repacked Soil Columns as a Result of Freezing and Thawing Under Field Conditions. *Soil Science*, 163(8): 611-624

Sağlam T (1994) Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Tekirdağ, Yayın No:189

Santos FL, Serralheiro RP (2000) Improving infiltration of irrigated Mediterranean soils with polyacrylamide. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76(1): 83-90

Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW (2012) NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods*, 9: 671-675

Shackley S. and Sohi S. (2010) An assessment of the benefits and issues associated with the application of biochar to soil. UK Biochar Research Centre, Edinburgh, p.132

Sohi S, Lopez-Capel E, Krull E, Bot R (2009a) Biochar, climate change and soil: a review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 5: 17-31 Sohi

SP, Krull E, Lopez-Capel E, Bot R, Donald LS (2010) Chapter 2 a review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, Pages 47-82

Sohi SP, Lopez-Capel E, Krull E, Bot R (2009b) Biochar, climate change and soil: a review to guide future research. *CSIRO Land and Water Science Report 05/09*, 64 p soil structure. *Geoderma*, 56(1-4): 377-400

Sönmez K (1994) *Toprak Koruma*. Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Yayınları No: 169
Staricka JA, Benoit GR (1995) Freeze-Drying Effects on Wet and Dry Soil Aggregate Stability. *Soil science society america journal*. 59: 218-223

Streubel JD, Collins HP, Garcia-Perez M, Tarara J, Granatstein D, Kruger CE (2011) Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rates of application. *Soil Science Society of America Journal* 75: 1402-1413

Şahin Ü, Canbolat M, Anapalı Ö (1999) Donma-Çözünme Koşullarının Bazı Toprak-Su Parametreleri Üzerine Etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30 (1): 41-47

Tenedero RA, Surtida MB (1986) Soil sampling and preparation for laboratory analysis. *Aquaculture Technology Module No. 5* Tigbauan, Iloilo, Philippines: Aquaculture Department, p.11

Thies J, Rillig MC (2009) Characteristics of biochar: biological properties. In: Lehmann J, Joseph A (eds) *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, London, p. 22

Tinsley J (1967) *Soil Science Manual of Experiment*. Department of Soil Science, University of Aberdeen

Torkashvand AM, 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

Trankel J, Burton D, Shock C (1995) PAM and/or low rates straw furrow mulching to reduce soil erosion and increase water infiltration in a furrow irrigated field. *Malheur Experiment Station Annual Report*, Oregon State University, Oregon, p. 167-173

Tryon EH (1948) Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecological Monographs* 18: 81-115

Tüzüner A (1990) *Toprak ve su analiz laboratuvarları el kitabı*. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Utomo WH, Dexter AR (1982) Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil, *journal. Soil Science*, 33: 623-637

Uysal H, Taysun A, Yocu G, Yönter G (1998) Toprakların erozyonla ilgili kimi özellikleri üzerine poliakrilamid (PAM)'in etkileri. M. Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soils, Menemen-İzmir, Turkey, 274-278

Uzoma KC, Inoue M, Andry H, Zahoor A, Nishihara E (2011) Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 9: 1137-1143

Van Genuchten MT (1980) Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity van Zwieten L, Kimber S, Morris S, Chan KY, Downie A, Rust J, Joseph S, Cowie A (2010) Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, 327: 235-246

Verheijen FGA, Jeffery S, Bastos AC, van der Velde M, Dias I (2010) Biochar application to soils: a critical scientific review on effects on soil properties, processes and functions. Joint Research Centre (JRC) Scientific and Technical Report. Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, p.149

Vleeschauwer D, DeLal R, De Boodt M (1978) Comparison of detachability indices in relation to soil erodibility for some important Nigerian soils. *Pedologie*, XXVIII 1:5-20

Walkley AA, Black IA (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

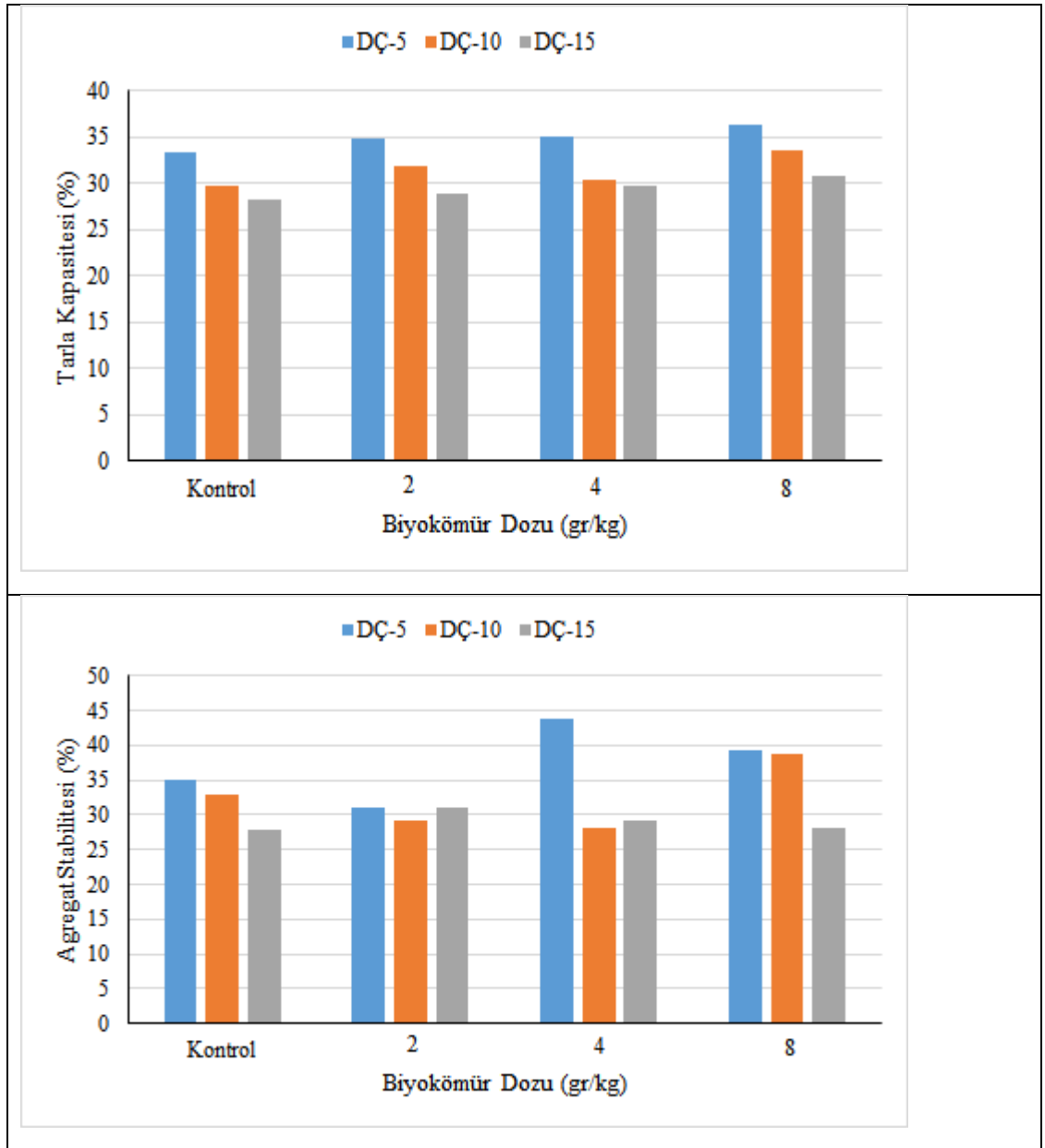
Xie SB, Jian-Jun Q, Yuan-Ming L, Zhi-Wei Z, Xiang-Tian Xn (2015) Effects of freeze-thaw cycles on soil mechanical and physical properties in the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Mountain Science*, 12(4): 999-1009

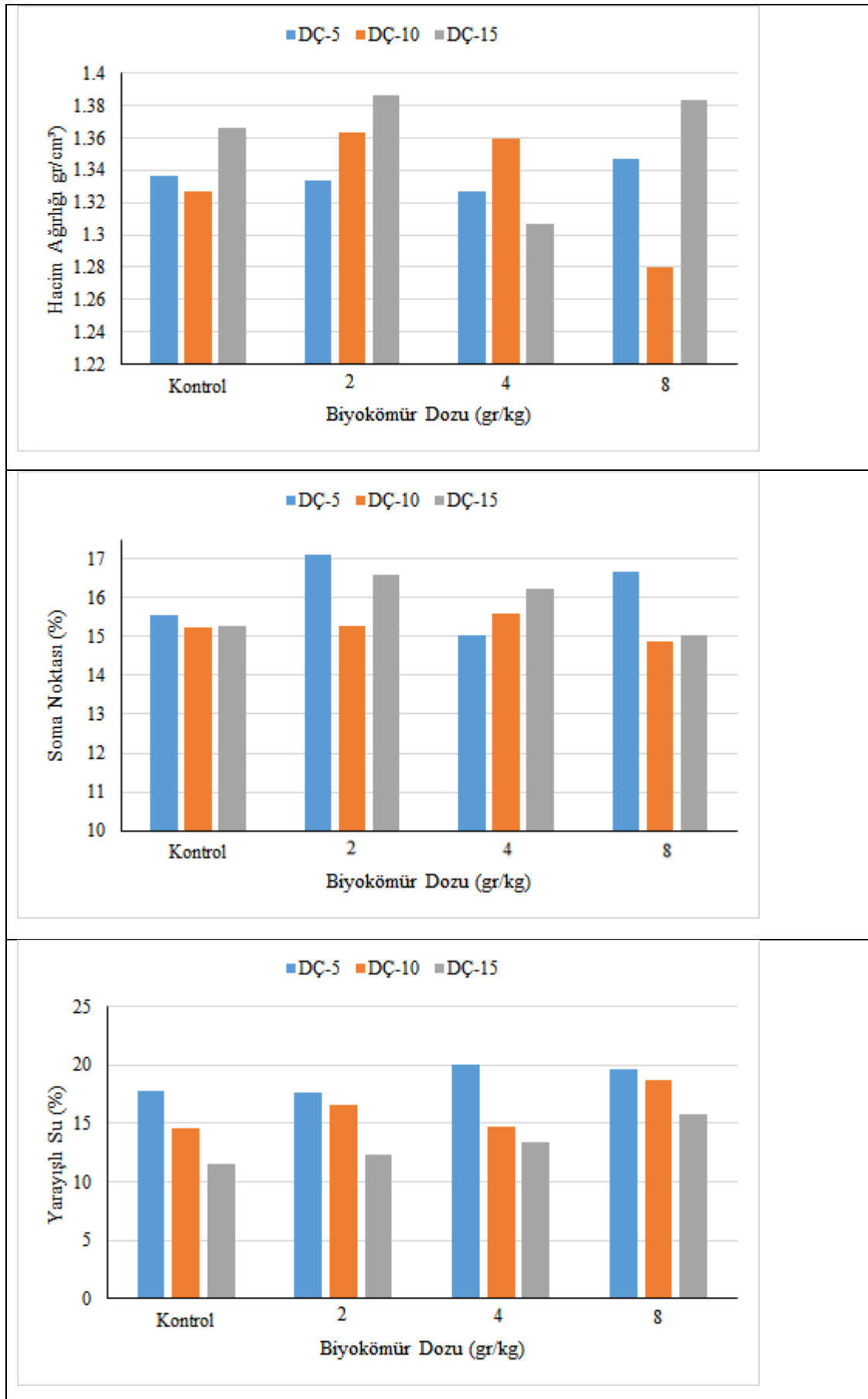
Zimmerman RP, Kardos LT (1961) Effect of bulk density on root growth. *Soil science*, 91(4): 280-288

Zwieten LV, Singh BP, Cox J (2012) Chapter four: biochar effects on soil properties. In: J Cox (ed) *Biochar in horticulture: prospects for the use of biochar in Australian horticulture*. Horticulture Australia, NSW Department of Primary Industries, p.27-36

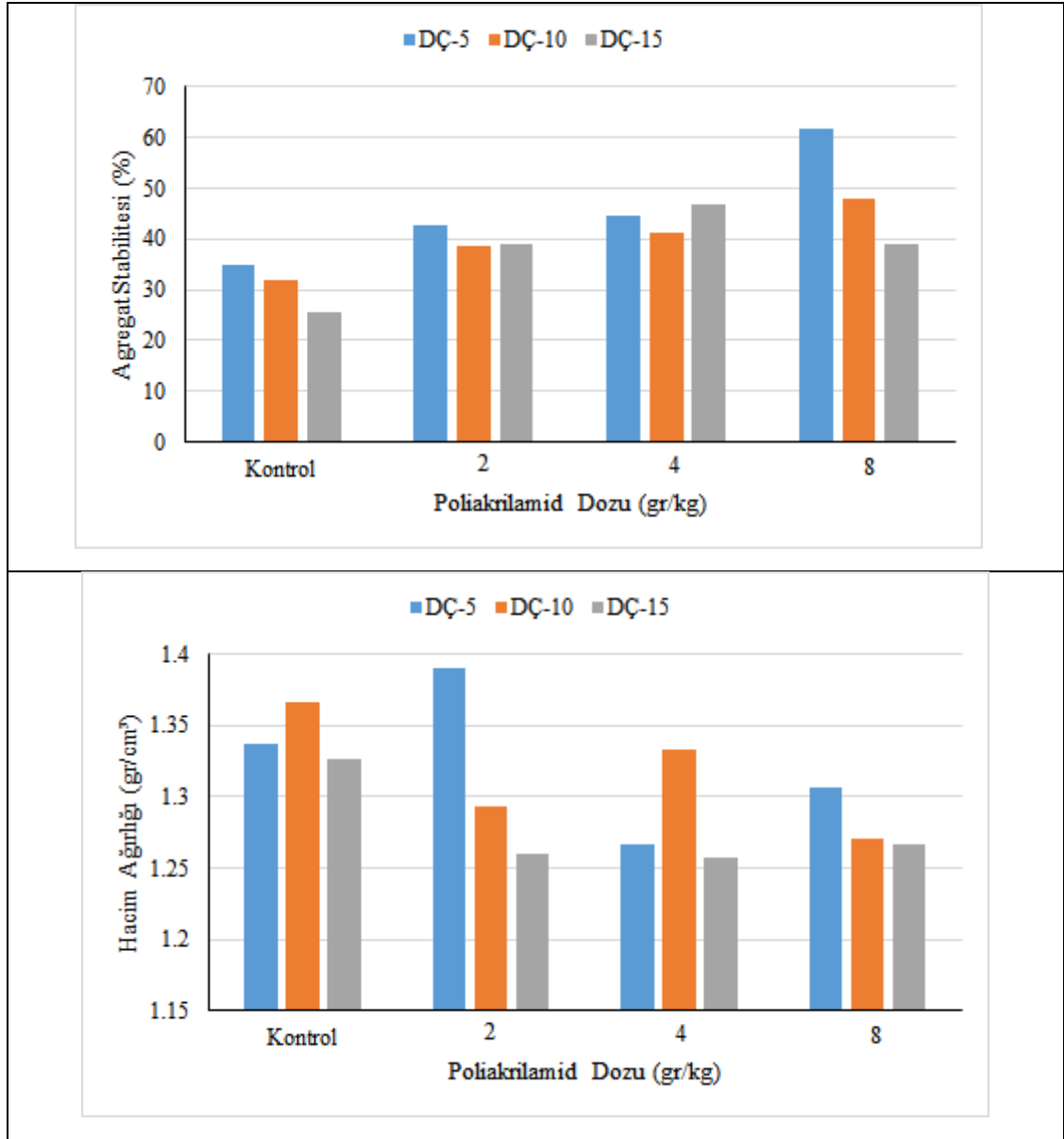
EKLER

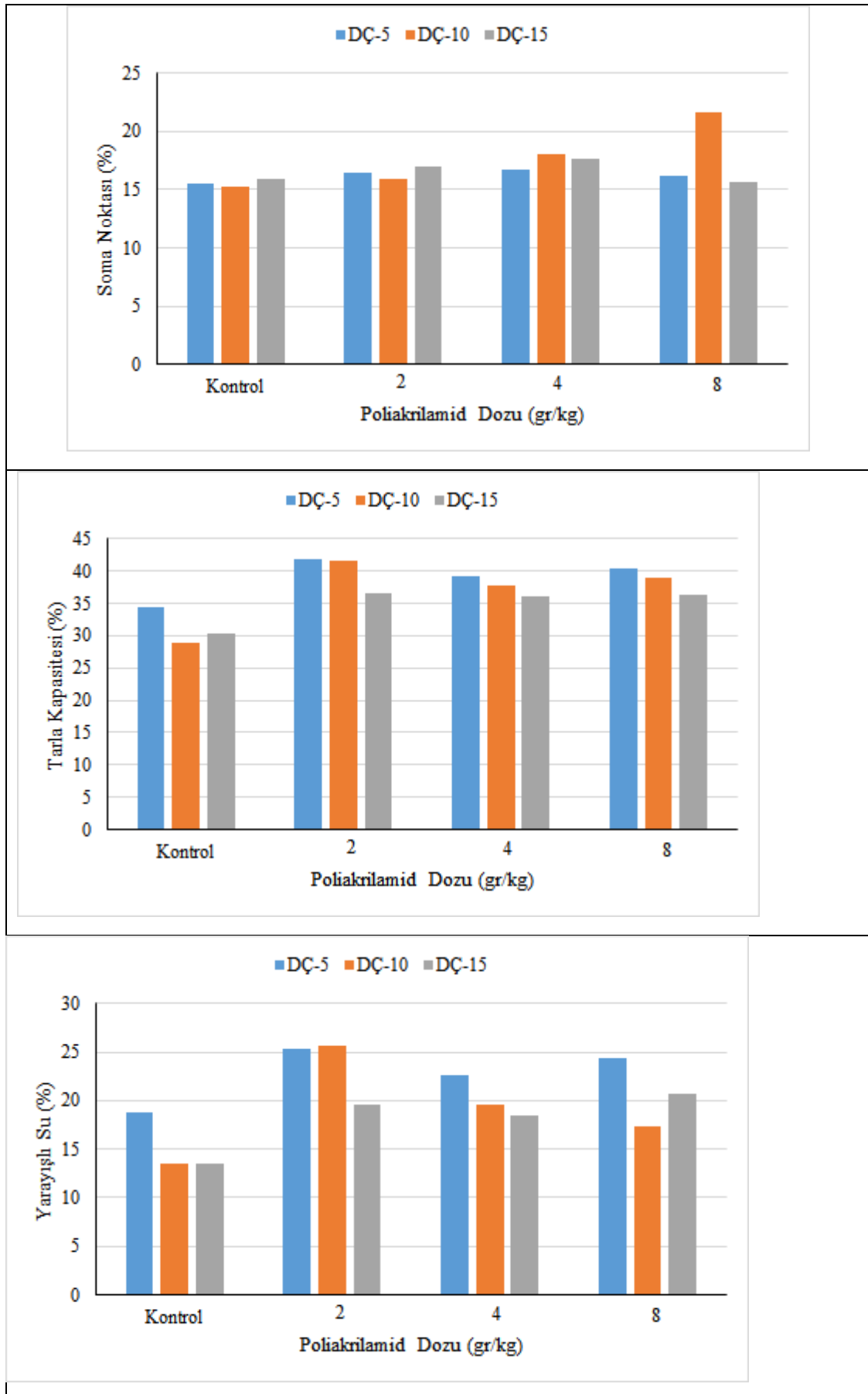
Ek 1. Biyokömür karıştırılan topraklarda donma çözünme döngülerininin toprak hidrolik özelliklerine etkisi





Ek 2. Poli akrilamid karıştırılan topraklarda donma çözünme döngülerinin toprak hidrolik özelliklerine etkisi





ÖZGEÇMİŞ

Muhittin GÖÇÜK, 1993 yılında Bingöl Merkez’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Genç Yatılı İlköğretim Bölge Okulunda lise öğrenimini Muş İmkb Anadolu Lisesinde tamamladı. 2014 yılında girdiği Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümünü 2018 yılında tamamladı. 2019 yılında başladığı Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü’nde Yüksek Lisans’ını 2021 yılında tamamladı.