



**SIVI HAYVAN GÜBRESİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ BİYOÇARLARIN  
EKMEKLİK BUĞDAYIN GELİŞİMİ, BESİN ELEMENTİ ALIMI VE TOPRAK  
KALİTESİNE ETKİLERİ**

**ELİF GÜNAL**

**DOKTORA TEZİ**

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI**

**Doç. Dr. Halil ERDEM**

**Haziran - 2018**

**Her hakkı saklıdır**

**T.C.  
GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**SIVI HAYVAN GÜBRESİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ  
BİYOÇARLARIN EKMEKLİK BUĞDAYIN GELİŞİMİ, BESİN  
ELEMENTİ ALIMI VE TOPRAK KALİTESİNE ETKİLERİ**

**ELİF GÜNAL**

**TOKAT  
Haziran - 2018**


Her hakkı saklıdır

Elif GÜNAL tarafından hazırlanan “Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Bioçarların Ekmeklik Buğdayın Gelişimi, Besin Elementi Alımı ve Toprak Kalitesine Etkileri” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 01 HAZİRAN 2018 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Doç. Dr. Halil ERDEM  
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi  
Üye  
Prof. Dr. İsmail ÇELİK  
Çukurova Üniversitesi  
Üye  
Doç. Dr. Sezer ŞAHİN  
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi  
Üye  
Dr. Öğretim Üyesi Ahmet DEMİRBAŞ  
Cumhuriyet Üniversitesi  
Üye  
Dr. Öğretim Üyesi Ahmet KINAY  
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi











ONAY

  
Prof. Dr. Ebubekir ALTUNTAŞ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



## **TEZ BEYANI**

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

**ELİF GÜNAL**

**01 Haziran 2018**

## ÖZET

### DOKTORA TEZİ

# SIVI HAYVAN GÜBRESİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ BİYOÇARLARIN EKMEKLİK BUĞDAYIN GELİŞİMİ, BESİN ELEMENTİ ALIMI VE TOPRAK KALİTESİNE ETKİLERİ

ELİF GÜNAL

GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANA BİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. HALİL ERDEM)

Tarımsal atıkların pirolizi ile elde edilen biyoçar vasıtasıyla sıvı hayvan gübresi içerisindeki besin elementlerinin tutulması ve toprağa katkı maddesi olarak uygulanması hem sıvı hayvan gübresinden hem de bitkisel atıklardan kaynaklanan sorunların çözümüne katkı verecek bir uygulamadır. Zenginleştirilmiş biyoçarın toprağa uygulanması, bir yandan toprağa besin elementi takviyesi yaparken diğer yandan toprağın fonksiyon göstermesinde etkili olan birçok toprak özelliğinin de iyileşmesini sağlayacaktır. Toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinin uzun süreli geliştirilmesi ve karbon bağlama yeteneğinin artması, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğinin sağlanması adına oldukça önemlidir. Tez çalışmasının amacı, iki farklı tekstüre sahip toprağa sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmiş farklı biyoçar çeşitlerinin buğday bitkisinin gelişimine ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olan etkilerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda, çalışmanın ana materyalini mısır koçanı, fasulye hasat atığı ve çeltik kavuzundan oluşan 3 farklı tarımsal bitki atığı oluşturmaktadır. Biyoçar yapımında kullanılan bu materyallerin seçiminde, biyoçar haldeki spesifik yüzey alanları ve katyon değişim kapasiteleri ile ham madde olarak kolay elde edilebilirlik gibi özellikleri dikkate alınmıştır. Biyoçarın toprak özellikleri üzerine etkilerinin belirgin bir şekilde anlaşılabilmesi için sera denemelerinde tınlı ve kumlu tınlı topraklar kullanılmış ve denemeler iki yetiştirme dönemini kapsamıştır. Uygulamalar üç tekerrürlü, bölünen bölünmüş tesadüf parselleri deneme deseninde üç biyoçar çeşidi (BÇ), beş biyoçar dozu (BD) (0, %0.5, %1.0, %2.0 ve %3.0) ve beş gübre düzeyinin (GD) (sıvı hayvan gübresi (SHG), SHG + bitki gereksiniminin %25'i kadar N ve P (NP), SHG+%50NP, SHG+%100NP ve %100NP) faktöriyel bileşiminden oluşmuştur. Biyoçar çeşitlerinin tamamı ya besin elementlerince zengin SHG ile doyurulmuş veya yalın halde uygulanmıştır. Biyoçar uygulanmayan topraklar ise kontrol olarak adlandırılmıştır. Gübre uygulamaları her yetiştirme dönemi başında yapılmış, ancak biyoçarlar sadece denemenin ilk kurulumunda toprak ile karıştırılmıştır. Denemelerde kışlık ekmeçlik buğday (*Triticum aestivum* L.) çeşidi olan Bezostaja kullanılmış ve her deneme sonunda kuru madde (KM) verimi ile birlikte alınan bitki örneklerinin analizi ile bitkilerin demir (Fe), çinko (Zn), fosfor (P), potasyum (K) ve azot (N) elementlerini alım düzeyleri

belirlenmiştir. Ayrıca her dönem sonunda alınan toprak örneklerinde toprağın fonksiyon göstermesinde etkili olan bir kısım fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler de belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, biyoçarın buğdayın KM verimi üzerine etkisi iki ayrı toprakta yetiştirme dönemleri arasında önemli düzeyde farklılık göstermiştir. İlk dönem, her iki toprakta da en yüksek KM elde edilen biyoçar dozları BD3 (Kömeç 196 mg bitki<sup>-1</sup> ve Dökmetepe 285 mg bitki<sup>-1</sup>) ve BD4 olurken BD1 uygulaması en düşük KM üretimine neden olmuştur. KM verimi BD3'e kadar artış göstermiş, BD4 dozunda hemen hemen sabitlenmiş ancak daha yüksek dozda her iki toprakta da düşüşe neden olmuştur. BD5 uygulaması ile birlikte KM verimindeki azalma BD4'e kıyasla Kömeç toprağında %1.3 ve Dökmetepe toprağında ise %4.7 oranında olmuştur. Kömeç toprağında BD1, BD2 ve BD3 uygulamalarında KM verimi önemli oranda değişmemiş, ancak bu noktadan sonra artan biyoçar dozlarında KM verimi önemli oranda azalma göstermiştir. Dökmetepe toprağında ise istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşmamakla birlikte en düşük KM verimi (148 mg bitki<sup>-1</sup>) BD5 uygulamasında elde edilirken en yüksek KM verimi (148 mg bitki<sup>-1</sup>) BD2 uygulamasında bulunmuştur. Toprak tipi, BÇ, BD ve GD toprakların su tutma yetenekleri ve toplam gözenekliliği üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır. Her iki toprak tipinde de artan biyoçar dozlarında toplam gözeneklilik kontrole kıyasla daha yüksek olmuştur. Biyoçar çeşitlerinin üçü de iki ayrı toprakta da yarayışlı su içeriğinin artışına neden olmuştur. Ancak bu artışın etkisi tınlı toprakta çok daha belirgin olmuştur. İlk dönem, %2.0 ve %3.0 biyoçar dozlarının kontrole kıyasla su tutma yetenekleri karşılaştırıldığında artış oranının kumlu tın toprakta tınlı toprağa göre daha fazla olduğu görülmektedir. Sonuçlar denemede kullanılan her üç biyoçar çeşidinin de hem kumlu tın hem de tınlı tekstüre sahip toprakların yarayışlı su içeriklerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Biyoçar ilavesi ile  $\beta$ -glikosidaz enzim aktivitesi düşmüştür, ancak aktivitedeki düşüş kumlu-tın toprakta tınlı toprağa kıyasla daha yüksek olmuştur.  $\beta$ -glikosidaz aktivitesi üzerine olumsuz etki, %3.0 biyoçar dozunda daha düşük biyoçar dozlarına kıyasla yüksek olmuştur. Sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmiş hayvan gübresinin yanında gübre ilavesi  $\beta$ -glikosidaz aktivitesi üzerine önemli düzeyde etki etmiş ve  $\beta$ -glikosidaz aktivitesi gübre ilavesinin miktarının artması ile artış göstermiştir.  $\beta$ -glikosidaz enzim aktivitesinin organik maddenin parçalanmasındaki önemi dikkate alındığında, toprağa biyoçar ilavesinin toprak organik maddesinin artırılmasının sürdürülebilir bir yolu olduğu düşünülebilir. Elde edilen bulgular, maliyeti yüksek olmakla birlikte uzun süreli etkisinden dolayı biyoçarın tarım arazilerinin verimliliğinin sürdürülebilirliği adına önemli bir katkı maddesi olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

2018, 343 SAYFA

**ANAHTAR KELİMELER:** Biyoçar, Çeltik Kavuzu, Mısır Koçanı, Fasulye Hasat Atıkları, Sıvı Hayvan Gübresi, Zenginleştirme, Buğday, Toprak Kalitesi,

## **ABSTRACT**

### **DOCTORATE THESIS**

#### **EFFECTS OF LIQUID MANURE ENRICHED BIOCHARS ON GROWTH OF BREAD WHEAT, NUTRIENT UPTAKE AND SOIL QUALITY ELİF GÜNAL**

**GAZIOSMANPASA UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION**

**SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. HALİL ERDEM**

The use of biochar produced by the pyrolysis of agricultural wastes for recovery of excess nutrients in dairy manure effluent and application of nutrient-enriched biochar as soil amendment provide a solution both for dairy effluent (DE) and excess plant wastes. Applying enriched biochar to soil will add plant nutrition along with the improvement of many soil properties which are effective in soil functioning. Because, the long-term improvement of soil functioning and the increase of carbon sequestration abilities are very important to ensure the sustainability of agricultural production. Improving the functioning ability of soils for long term and also increasing the carbon sequestration ability of soils are very important in order to ensure the sustainability of agricultural production. In this context, the purposes of this study were to determine the effects of DE enriched different biochar types on i.) wheat growth, ii.) physical, chemical and biological properties and qualities of soils with two different textures. The materials selected as agricultural plant wastes are corncob, bean harvest residue and rice husks. The characteristics of specific surface area, cation exchange capacity of biochar materials and easy availability as a raw material were taken into consideration to determine the raw materials selected for the study. Two soils with different textures (loam and sandy loam) have been used as soil material in order to clearly observe the effects of biochar application on soil characteristics. Greenhouse experiments were conducted in two plant growing seasons. Treatments consisted of a factorial combination of three biochar types, five biochar levels (0, 0.5%, 1.0%, 2.0% and 3.0%), and five fertilizer levels (DE, DE+25% of plant requirement (PR), DE+50 of PR, DE+100 of PR and PR) arranged in a divided randomized experimental design with three replicates. All of the biochar types were either saturated with nutrient rich DE or kept unsaturated, while the soils with no addition of biochar types were regarded as control treatment during the study. The fertilizers were applied at the beginning of each season, while biochar types were saturated with DE and applied only at the beginning of the experiment. Bezostaja variety of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) was grown for two seasons and soil sampling was done following each harvest. Nutrient uptake levels of the plants were determined by analysis of sample plants to be taken at the end of each experiment period. Some of soil physical, chemical and biological properties effective in functioning of soils were determined. Soil fertility function was quantified using soil

management evaluation framework. In the soil quality assessments, the effects of different biochars on soil fertility function was determined. The effect of biochar on DM yield of wheat varied between two different soils in different growing season. The highest DM yield in both seasons (Kömeç 196 mg plant<sup>-1</sup> and Dökmetepe 285 mg plant<sup>-1</sup>) was obtained with BD3 and BD4 treatments while BD1 treatment caused to the lowest DM production. In the second growing season, the DM yield was increased up to BD3 and almost fixed at the BD4, but higher doses of biochar caused a decline of DM yield in both soils. The decrease in DM yield with BD5 treatment relative to BD4 was 1.3% in Kömeç soil and 4.7% in Dökmetepe soil. The DM yield did not significantly change in BD1, BD2, and BD3 treatments, but after this point the DM yield significantly decreased with the increasing biochar doses. The DM yield in Dökmetepe soil was not significantly different among different biochar doses at the second growing season. The highest DM yield (148 mg plant<sup>-1</sup>) was found in BD2 treatment while the lowest DM yield (148 mg plant<sup>-1</sup>) was obtained in BD5 treatment. Soil type, BT, BR and FR had significant effect on water retention and total porosity. In both soil types, total porosity was significantly lower at higher BRs than control. The addition of different biochar types continually increased the AWC both in sandy loam and loamy soils, though the effect was more obvious in the loamy soils. However, comparing the water retention with 2.0 and 3.0% BR relative to the control in the first season, the increase rate of AWC was much higher in sandy loam soil compared to loamy soil. The results revealed that all of the biochar types used in this experiment can be utilized to improve AWC in both sandy loam and loamy soils. Addition of biochars reduced the activity of  $\beta$ -glucosidase enzyme and the decline in activity was higher in sandy loam soil compared to loamy soils. The negative effect of biochar addition to  $\beta$ -glucosidase enzyme activity was greater at the highest application rate of 3.0% than the lower biochar doses. Inorganic fertilizer additions along with effluent enriched biochar had significant on  $\beta$ -glucosidase activity that increased with higher fertilizer additions. Given the importance of  $\beta$ -glucosidase enzyme activity in soil organic matter decomposition, biochar application to soils can be considered a sustainable way of increase in soil organic matter. The results revealed that although the production cost is high biochar can be utilized to obtain sustainable productivity of agricultural lands due to its lasting benefits.

2018, 343 PAGES

**KEYWORDS:** Biochar, Rice Husk, Corn Cub, Bean Harvest Residue, Liquid Manure, Enrichment, Wheat, Soil Quality



## ÖNSÖZ

Mücadele etmek, gaye kutsal ise harcanan zamanı, yorgunluğu ve katlanılan zorlukları güzel bir anı olarak hatırlamanıza neden olacaktır. Yüksek Lisans eğitimime başlayabilmek için lisans mezuniyetimin üzerinden tam 17 yıl geçmesini beklemem gerekti. Bu sürede bugün İstanbul Üniversitesi Hukuk Fakültesi son sınıf öğrencisi olan kızım Ayşe Nida, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi birinci sınıf öğrencisi olan Ömer Faruk ve orta öğretim 6. Sınıf öğrencisi olan kızım Melike'nin ruh ve beden sağlıkları yerinde birer evlat olarak yetişmeleri adına verdiğim mücadeleden gurur duyuyorum. Onlara mücadele etmenin ne kadar değerli olduğunu yaşayarak öğretebilmenin tarifi mümkün olmayan mutluluğu ile bu günlere gelebildiğim için Rabbime sonsuz şükranlarımı sunuyorum. Hayatta hep adım "ELİF" gibi dosdoğru olabilmek için gösterdiğim çabanın meyvesi olarak bana bahşettiği nimetlerinden dolayı Allaha minnettarım. Çalışmak, çalışmak ve yine çalışmak. Eğer insan başı dik, alnı açık ve kendinden emin adımlar ile yarınlara gidebilmek istiyor ise mutlaka çalışmalı ve çalışmalı. Doktora eğitimi bugüne kadar yaptığım çalışmaların en zorlusu ama daha çok öğrendiğimi hissettiğim için en değerlisi olmuştur. Bunca yıl sonra beni bu işi yapabileceğim konusunda ikna eden ve inandıran sevgili eşim Prof.Dr. Hikmet GÜNAL'a tüm desteklerinden dolayı çok teşekkür ediyorum. Onun yönlendirmesi, yol göstermesi ve örnek hayatı olmasa idi bu başarıyı yakalamam mümkün olmayabilirdi. Elbette doktora eğitiminin en önemli yapı taşlarının başında danışman gelir. Bu çalışmada her türlü samimi desteğini esirgemeyen sayın danışmanım Doç. Dr. Halil ERDEM'e katkılarından dolayı şükranlarımı sunuyorum. Her ne kadar farklı üniversitelerde olsalar da bilgi ve deneyimlerini gerektiğinde analizlerime yardımcı olarak bu doktora tezinin ortaya çıkmasını mümkün kılan sayın Prof.Dr. İsmail ÇELİK ve Dr. Öğretim Üyesi Nurullah ACIR'a da teşekkür ediyorum. Elbette sera ve laboratuvar çalışmalarında yardımları ile işimi kolaylaştıran Zir. Müh. Ali EROĞLU, Ali KAPLAN ve Ahmet ÇAĞLAYAN'a da çok teşekkür ediyor, kendi çalışmalarında başarılar diliyorum. Dr Shahid Farooq'a verilerimin istatistiksel analizleri esnasında yapmış olduğu katkılardan dolayı teşekkür ediyorum. Öğrenmenin en güzel yanı, öğrendiklerinizi birileri ile paylaşabilmek, onları bilmeyenlere öğretebilmek olsa gerek. Bu kapsamda bende hazırladığım bu tez ve beraberindeki yayınlar ile çalışmamın Toprak Bilimine faydalı olmasını temenni ediyorum. İnsan hayatı sona erdiğinde dünyada bırakacağı en değerli miraslarından biri "bilgisi veya bilgisi ile ortaya çıkardığı eserleridir".

Elif GÜNAL  
01 Haziran 2018

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGE VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Biyoçarın Tanımı, Özellikleri ve Önemi	5
2.2. Tarımsal Atıkların İdaresi ve Biyoçar Üretimi	9
2.3. Biyoçarın Çeşitli Kullanım Alanları	13
2.3.1. Biyoçarın toprağa uygulanması ve tarımsal uygulamalara etkileri	14
2.3.2. Biyoçar uygulamalarının bitki gelişimine ve verimliliğe etkileri	15
2.3.3. Biyoçarın bitki hastalıklarına etkileri	21
2.4. Biyoçarın Çevre Üzerine Etkileri	22
2.4.1. Biyoçarın karbon döngüsü, zenginleşmesi ve salınımına etkileri	22
2.4.2. Biyoçarın azot döngüsü, azot gazları salınımına ve azot yıkanmasına etkileri	24
2.4.3. Yüzey ve yüzey altı suları kirliliğine etkileri	26
2.5. Toprak Kalitesine Etkileri	29
2.5.1. Biyoçarın kimyasal özellikleri ve kimyasal toprak özelliklerine etkileri	30
2.5.1.1. Besin elementi kapsamı ve etkileri	30
2.5.1.2. Biyoçarın pH'sı ve toprak reaksiyonuna etkileri	36
2.5.1.3. Katyon değişim kapasitesi üzerine etkileri	37
2.5.2. Toprağın fiziksel özellikleri üzerine etkileri	38
2.5.2.1. Toprak yapısına etkileri	39
2.5.2.2. Toprak hacim ağırlığına etkileri	40
2.5.2.3. Toprak gözenek büyüklük dağılımı ve yüzey alanına etkileri	41
2.5.2.4. Su tutma kapasitesine etkileri	43
2.5.3. Biyolojik özellikler ve toprak biyolojisine etkileri	45
2.5.3.1. Biyoçarın toprakta enzim aktivitelerine etkileri	50
2.6. Biyoçar İnkübasyon Çalışmaları	54
2.7. Biyoçarın Zenginleştirilmesi	54
2.8. Biyoçar Üretimi ve Kullanımının Ekonomisi	57
3. MATERYAL VE YÖNTEM	60
3.1. Materyal	60
3.2. Yöntemler	63
3.2.1. Biyoçar materyallerinin sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmesi	63
3.2.2. Sera denemelerinin kurulması ve yürütülmesi	64
3.2.3. Laboratuvar analizleri	70
3.2.3.1. Biyoçarların karakterizasyonu	70
3.2.3.2. Sıvı hayvan gübresinin karakterizasyonu	70

3.2.3.3.	Bitki analizleri	71
3.2.3.4.	Toprak analizleri	71
3.2.3.5.	Veri değerlendirilmesi	77
4.	ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	78
4.1.	Uygulamaların Buğday Gelişimi ve Besin Elementi Alımına Etkileri	78
4.1.1.	Kuru madde verimi	79
4.1.2.	Bitkinin demir konsantrasyonuna etkileri	97
4.1.3.	Bitkinin çinko konsantrasyonuna etkileri	113
4.1.4.	Bitkinin potasyum konsantrasyonuna etkileri	125
4.1.5.	Bitkinin fosfor konsantrasyonuna etkileri	135
4.1.6.	Bitkinin azot konsantrasyonuna etkileri	146
4.2.	Uygulamaların Toprağın Kimyasal Özelliklerine Etkileri	158
4.2.1.	Toprağın çinko konsantrasyonuna etkileri	159
4.2.2.	Toprağın potasyum konsantrasyonuna etkileri	170
4.2.3.	Toprağın fosfor konsantrasyonuna etkileri	180
4.2.4.	Toprağın pH'sına etkileri	191
4.2.5.	Toprağın elektriksel iletkenliğine etkileri	201
4.3.	Uygulamaların Toprağın Fiziksel Özelliklerine Etkileri	211
4.3.1.	Toprağın tarla kapasitesi nem içeriğine etkileri	212
4.3.2.	Toprağın solma noktası nem içeriğine etkileri	224
4.3.3.	Toprağın yarayışlı su içeriğine etkileri	233
4.3.4.	Toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri	245
4.4.	Uygulamaların Toprağın Biyokimyasal Özelliklerine Etkileri	254
4.4.1.	Toprağın organik madde içeriğine etkileri	254
4.4.2.	Toprağın mineral azot konsantrasyonuna etkileri	265
4.4.3.	Toprağın biyokütle karbonu konsantrasyonuna etkileri	278
4.4.4.	Toprağın beta glikosidaz enzim aktivitesi konsantrasyonuna etkileri	290
4.5.	Korelasyon Analizleri	302
5.	SONUÇLAR	308
6.	KAYNAKLAR	313
7.	ÖZGEÇMİŞ	343

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

P	Fosfor
K	Potasyum
N	Azot
Fe	Demir
N	Çinko

### Açıklama

### Kısaltmalar

KM	Kuru Madde
T	Toprak
BÇ	Biyoçar Çeşidi
BD	Biyoçar Dozu
GD	Gübre Dozu

### Açıklama

## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
2.1.	Hayvansal üretim tesislerinde ihtiyaç fazlası sıvı dışkı	10
2.2.	Tokat-Kazova'da çürümeye terk edilen tarımsal atıklar	11
2.3.	Tokat Kazova'da yüzey sularında tarımsal kaynaklı kirlilik sonucu oluşan ötrofikasyon	12
3.1.	Biyοçar üretiminde kullanılan piroliz ünitesinin gösterimi	61
3.2.	Biyοçar ve sıvı gübrenin karıştırılması ve kurutulması işlemleri	64
3.3.	Deneme kurulması aşamasında saksılara biyοçar dozlarının uygulanması	65
3.4.	Denemenin kurulması aşamasında biyοçar bulunan saksılara gübre uygulaması	66
3.5.	Denemenin kurulması aşamasında tohum ekim işlemleri	67
3.6.	Denemenin ilk döneminde 9. gün görüntüsü	68
3.7.	Denemenin ilk döneminde 12. gün Kömeç toprağında bitki gelişimi	68
3.8.	Denemenin ilk döneminde 12. gün Dökmetepe toprağında bitki gelişimi	69
3.9.	İlk dönem, Kömeç toprağı 12. gün bitki gelişimi	69
4.1.	Biyοçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta b.) üç ayrı biyοçar çeşidi uygulamasında buğday bitkisinin kuru madde verimine (mg bitki g <sup>-1</sup> ) etkileri	81
4.2.	Beş biyοçar dozunun buğday bitkisinin kuru madde verimine (mg bitki g <sup>-1</sup> ) etkileri	83
4.3.	Beş gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin kuru madde verimine (mg bitki g <sup>-1</sup> ) etkileri	84
4.4.	Üç biyοçar çeşidinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin kuru madde verimine (mg bitki g <sup>-1</sup> ) etkileri	85
4.5.	Kömeç toprağı BD1 (%0.5) dozunda artan gübre dozu uygulamalarının etkileri	92
4.6.	Kömeç toprağı BD3 (%1.0) dozunda artan gübre dozu uygulamalarının etkileri	93
4.7.	Kömeç toprağı BD4 (%2.0) dozunda artan gübre dozu uygulamalarının etkileri	93
4.8.	Biyοçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprak ve b.) üç ayrı biyοçar çeşidi altında buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	98
4.9.	Biyοçar dozlarının buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	99
4.10.	Gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	100
4.11.	Biyοçar çeşitlerinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	101
4.12.	İki ayrı dönemde uygulanan biyοçar dozlarının iki farklı toprakta buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	102
4.13.	İki ayrı dönemde uygulanan gübre dozlarının iki farklı toprakta	103

4.14.	buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri İki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidinin beş dozunun	104
4.15.	buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri İki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidi ile beş gübre	106
4.16.	dozunun buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna etkileri Biyoçar uygulamalarının olduğu a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı	114
4.17.	biyoçar çeşidi altında yetiştirilen buğday bitkisinin çinko (Zn) konsantrasyonları ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).	115
4.18.	İki ayrı dönemde uygulanan beş biyoçar dozunun buğday bitkisinin çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	116
4.19.	İki ayrı dönemde uygulanan beş gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	117
4.20.	İki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	126
4.21.	Biyoçar uygulamalarının olduğu a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında yetiştirilen buğday bitkisinin potasyum (K) konsantrasyonları (%)	127
4.22.	İki ayrı dönemde uygulanan biyoçar dozlarının buğday bitkisinin potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri	127
4.23.	İki ayrı dönemde uygulanan gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin potasyum (K) konsantrasyonuna etkileri	128
4.24.	İki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri	136
4.25.	Biyoçar uygulamalarının olduğu a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında yetiştirilen buğday bitkisinin fosfor (P) konsantrasyonları (%)	137
4.26.	Biyoçar dozlarının buğday bitkisinin fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri	138
4.27.	Gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri	138
4.28.	Üç biyoçar çeşidinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin fosfor (P) konsantrasyonuna etkileri	147
4.29.	Biyoçar uygulamalarının olduğu a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında yetiştirilen buğday bitkisinin azot (N) konsantrasyonları (%)	148
4.30.	İki ayrı dönemde uygulanan biyoçar dozlarının buğday bitkisinin azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri	149
4.31.	İki ayrı dönemde uygulanan gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri	149
4.32.	İki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri	152
4.33.	Biyoçar dozu artışı ile buğday bitkisi kök gelişimi (Dökmetepe x mısır x BD1, BD2, BD3 ve BD4 dozlarının GD3 interaksyonları)	160
4.34.	Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyoçar çeşidi altında çinko (Zn) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	161
4.35.	Biyoçar dozu uygulamalarının toprakların çinko (Zn) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	162
	Gübre uygulamalarının toprakların çinko (Zn) konsantrasyonlarına	162

	(mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	
4.36.	Biyöçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprakta çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	163
4.37.	Biyöçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyöçar çeşidi altında potasyum (K) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	171
4.38.	Biyöçar dozu uygulamalarının toprak potasyum (K) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	172
4.39.	Gübre uygulamalarının toprakların çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	172
4.40.	Gübre uygulamalarının toprak potasyum (K) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	173
4.41.	Biyöçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyöçar çeşidi altında fosfor (P) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	181
4.42.	Biyöçar dozu uygulamalarının toprakların fosfor (P) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	183
4.43.	Gübre uygulamalarının toprakların fosfor (P) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	183
4.44.	Biyöçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprakta fosfor (P) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	184
4.45.	Biyöçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyöçar çeşidi altında pH'ya etkileri	192
4.46.	Biyöçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların pH'sına etkileri	193
4.47.	Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların pH'sına etkileri	193
4.48.	İki ayrı toprakta biyöçar çeşidi uygulamalarının toprakların pH'sına etkileri	194
4.49.	Biyöçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyöçar çeşidi altında toprağın elektriksel iletkenliğine (EC) etkileri	202
4.50.	Biyöçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların elektriksel iletkenliğine (EC) etkileri	203
4.51.	Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların elektriksel iletkenliğine (EC) etkileri	203
4.52.	Biyöçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprakta elektriksel iletkenliğe (EC) etkileri	204
4.53.	Biyöçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyöçar çeşidi altında toprağın tarla kapasitesi nem içeriklerine etkileri	213
4.54.	Biyöçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların tarla kapasitesi nem içeriklerine etkileri	214
4.55.	Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların tarla kapasitesi nem içeriklerine etkileri	215
4.56.	Biyöçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprakta tarla kapasitesi nem içeriklerine etkileri	216
4.57.	Biyöçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyöçar çeşidi altında toprağın solma noktası nem içeriğine etkileri	224
4.58.	Biyöçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların solma noktası nem içeriğine etkileri	225
4.59.	Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların solma noktası nem içeriğine etkileri	226
4.60.	Biyöçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprakta solma noktası	226

	nem içeriğine etkileri	
4.61.	Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında toprağın yarayışlı su içeriğine etkileri	234
4.62.	Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların yarayışlı su içeriğine etkileri	236
4.63.	Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların yarayışlı su içeriğine etkileri	236
4.64.	Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın yarayışlı su içeriğine etkileri	237
4.65.	Biyoçar uygulamalarının iki ayrı toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri	246
4.66.	Biyoçar çeşidi uygulamalarının toprakların hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri	246
4.67.	Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri	247
4.68.	Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri	248
4.69.	Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın hacim ağırlığına etkileri	248
4.70.	Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyoçar çeşidi altında toprağın organik madde içeriklerine etkileri	256
4.71.	Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların organik madde içeriklerine etkileri	257
4.72.	Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların organik madde içeriklerine etkileri	257
4.73.	Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın organik madde içeriklerine etkileri	258
4.74.	Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyoçar çeşidi altında toprağın mineral azot konsantrasyonlarına etkileri	267
4.75.	Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının mineral azot konsantrasyonlarına etkileri	268
4.76.	Gübre dozu (GD) uygulamalarının mineral azot konsantrasyonlarına etkileri	269
4.77.	Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın mineral azot konsantrasyonlarına etkileri	270
4.78.	Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında toprağın biyokütle karbonu konsantrasyonuna etkileri	279
4.79.	Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının biyokütle karbonu konsantrasyonuna etkileri	281
4.80.	Gübre dozu (GD) uygulamalarının biyokütle karbonu konsantrasyonuna etkileri	281
4.81.	Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın biyokütle karbonu konsantrasyonuna etkileri	282
4.82.	Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altındaki toprağın betaglikosidaz enzim aktivitesi konsantrasyonuna etkileri	291
4.83.	Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların betaglikosidaz	293



- enzim aktivitesi konsantrasyonuna etkileri  
4.84. Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların betaglikosidaz 294  
enzim aktivitesi konsantrasyonuna etkileri  
4.85. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın betaglikosidaz 295  
enzim aktivitesi konsantrasyonuna etkileri



## ÇİZELGE LİSTESİ

<b><u>Çizelge</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
3.1.	Çalışmada kullanılan biyoçar materyallerinin bir kısım fiziksel ve kimyasal özellikleri	62
3.2.	Çalışmada kullanılan sıvı hayvan gübresinin bir kısım özellikleri	62
3.3.	Deneme topraklarının bir kısım fiziksel ve kimyasal özellikleri	62
3.4.	Deneme topraklarının makro ve mikro besin elementi konsantrasyonları	63
3.5.	Deneme topraklarının başlangıç biyolojik özellikleri	63
3.6.	Proje kapsamında gerçekleştirilen denemelerin planı	66
4.1.	Uygulamaların iki ayrı dönemde kuru madde verimi ve bazı besin elementleri alımına etkilerini gösteren tek yönlü varyans analizi	78
4.2.	İki ayrı dönemde bitki kuru madde verimi ve bazı besin elementlerinin ortalama konsantrasyonları ve kritik düzeyleri	79
4.3.	Toprak, biyoçar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre dozu uygulamalarının buğday bitkisi kuru madde verimine etkilerini gösteren varyans analizi	80
4.4.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri	86
4.5.	Biyočar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri	87
4.6.	Biyočar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri	88
4.7.	Toprak tipi-biyočar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri	89
4.8.	Toprak tipi-biyočar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri	90
4.9.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri	91
4.10.	Biyočar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri	95
4.11.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri	96
4.12.	Uygulamaların buğday bitkisi demir konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi	97
4.13.	Toprak çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve toprak çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının iki yetiştirme döneminde buğdayın Fe konsantrasyonuna etkileri	102
4.14.	Biyočar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının buğdayın Fe konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	104
4.15.	Biyočar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	106
4.16.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi-biyočar dozu (BD) interaksiyonunun buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	107
4.17.	Toprak tipi-biyočar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun	108

4.18.	buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	109
4.19.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	110
4.20.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	112
4.21.	Uygulamaların buğday bitkisi çinko konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi	113
4.22.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	118
4.23.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	119
4.24.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna etkileri	119
4.25.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	120
4.26.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	121
4.27.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	122
4.28.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	123
4.29.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	124
4.30.	Uygulamaların buğday bitkisinin potasyum konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi	125
4.31.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri	129
4.32.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri	130
4.33.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna etkileri	130
4.34.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	131
4.35.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri	132
4.36.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri	132
4.37.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD)	133

	interaksiyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri	
4.38.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri	134
4.39.	Uygulamaların buğday bitkisi fosfor konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi	135
4.40.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	139
4.41.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri	140
4.42.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna etkileri	141
4.43.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri	141
4.44.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri	142
4.45.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri	143
4.46.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri	144
4.47.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri	145
4.48.	Uygulamaların buğday bitkisi azot konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi	146
4.49.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri	150
4.50.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (MD) interaksiyonlarının buğdayın azot (N) konsantrasyonuna etkileri	151
4.51.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri	153
4.52.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri	153
4.53.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri	154
4.54.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri	154
4.55.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri	155
4.56.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna etkileri	157
4.57.	Uygulamaların iki ayrı dönemde toprak kimyasal özellikleri üzerine etkileri arasındaki farklılığı gösteren tek yönlü varyans analizi	158
4.58.	İki ayrı dönemin kimyasal toprak özelliklerine ait ortalama değerleri	158
4.59.	Uygulamaların toprakların çinko konsantrasyonuna etkilerini gösteren	159

	varyans analizi	
4.60.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	164
4.61.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	165
4.62.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına etkileri	165
4.63.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	166
4.64.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	167
4.65.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	167
4.66.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	168
4.67.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	169
4.68.	Uygulamaların toprakların potasyum konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi	170
4.69.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	173
4.70.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	174
4.71.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna etkileri	175
4.72.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	175
4.73.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun dönemde toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	176
4.74.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	177
4.75.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	178
4.76.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	179
4.77.	Uygulamaların toprakların fosfor konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi	180
4.78.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg <sup>-1</sup> ) etkileri	184

	etkileri	
4.79.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	185
4.80.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna etkileri	186
4.81.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	186
4.82.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x mineral gübre dozu (GD) interaksyonunun döneminde toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	187
4.83.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	188
4.84.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	189
4.85.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	190
4.86.	Uygulamaların toprakların pH'sına etkilerini gösteren varyans analizi	191
4.87.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın pH'sına etkileri	195
4.88.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın pH'sına etkileri	196
4.89.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın pH'sına etkileri	196
4.90.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun toprağın pH'sına etkileri	197
4.91.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun döneminde toprağın pH'sına etkileri	197
4.92.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın pH'sına etkileri	198
4.93.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın pH'sına etkileri	199
4.94.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın pH'sına etkileri	200
4.95.	Uygulamaların toprakların elektriksel iletkenliklerine etkilerini gösteren varyans	201
4.96.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın elektriksel iletkenliğine ( $\text{dS m}^{-1}$ ) etkileri	205
4.97.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın elektriksel iletkenliğine ( $\text{dS m}^{-1}$ ) etkileri	205
4.98.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) toprağın elektriksel iletkenliğine ( $\text{dS m}^{-1}$ ) etkileri	206
4.99.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine ( $\text{dS m}^{-1}$ ) etkileri	207
4.100.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun	207

	toprağın elektriksel iletkenliğine ( $dS m^{-1}$ ) etkileri	
4.101.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine ( $dS m^{-1}$ ) etkileri	208
4.102.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine ( $dS m^{-1}$ ) etkileri	209
4.103.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine ( $dS m^{-1}$ ) etkileri	210
4.104.	İki ayrı dönem sonunda elde edilen toprak su içeriklerinin karşılaştırılması, eşleştirilmiş t-testi	211
4.105.	İki ayrı dönemde toprak nem içeriklerine ait ortalama değerler	211
4.106.	Uygulamaların toprakların tarla kapasitesi nem içeriklerine etkilerini gösteren varyans analizi	212
4.107.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri	217
4.108.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri	218
4.109.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri	218
4.110.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri	219
4.111.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri	220
4.112.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri	221
4.113.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri	222
4.114.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri	223
4.115.	Uygulamaların toprakların solma noktası nem içeriklerine etkilerini gösteren varyans analizi	224
4.116.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının solma noktası nem içeriğine (%) etkileri	227
4.117.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının solma noktası nem içeriğine (%) etkileri	228
4.118.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkileri	228
4.119.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkileri	229
4.120.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun dönemde solma noktası nem içeriğine (%) etkileri	229
4.121.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkileri	230
4.122.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkileri	231
4.123.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkileri	232
4.124.	Uygulamaların toprakların yarayırlı su içeriklerine etkilerini gösteren	233

	varyans analizi	
4.125.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının yarayışlı su içeriğine (%) etkileri	238
4.126	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının yarayışlı su içeriğine (%) etkileri	239
4.127.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkileri	240
4.128.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkileri	241
4.129.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkileri	241
4.130.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkileri	242
4.131.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkileri	243
4.132.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkileri	244
4.133.	Uygulamaların toprakların hacim ağırlıklarına etkilerini gösteren varyans analizi	245
4.134.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri	249
4.135.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın hacim ağırlığına etkileri	250
4.136.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri	250
4.137.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri	251
4.138.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri	251
4.139.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri	252
4.140.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri	252
4.141.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri	253
4.142.	İki ayrı dönem sonunda toprağın biyolojik özelliklerine ait ortalamaların karşılaştırılması	254
4.143.	İki ayrı dönemde toprağın biyolojik özelliklerine ait ortalama değerler	254
4.144.	Uygulamaların toprakların organik madde içeriklerine etkilerini gösteren varyans analizi	255
4.145.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının organik madde içeriğine (%) etkileri	258
4.146.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının organik madde içeriğine (%) etkileri	260



4.147.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun organik madde içeriğine (%) etkileri	260
4.148.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) organik madde içeriğine (%) etkileri	261
4.149.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) organik madde içeriğine (%) etkileri	261
4.150.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun organik madde içeriğine (%) etkileri	262
4.151.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun organik madde içeriğine (%) etkileri	263
4.152.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun organik madde içeriğine (%) etkileri	264
4.153.	Uygulamaların toprakların mineral azot konsantrasyonlarına etkilerini gösteren varyans analizi	266
4.154.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının mineral azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	271
4.155.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının mineral azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	272
4.156.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun mineral azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	272
4.157.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi-biyoçar dozu (BD) interaksyonunun mineral azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	273
4.158.	Toprak tipix biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun mineral azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	273
4.159.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun mineral azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	275
4.160.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun mineral azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	276
4.161.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi-biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun mineral azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	277
4.162.	Uygulamaların toprakların mikrobiyel biyokütle karbonu (MBC) konsantrasyonlarına etkilerini gösteren varyans analizi	278
4.163.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının biyokütle karbonu konsantrasyonuna ( $\text{mg C kg}^{-1}$ ) etkileri	283
4.164.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının biyokütle karbonu konsantrasyonuna ( $\text{mg C kg}^{-1}$ ) etkileri	284
4.165.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun biyokütle karbonu konsantrasyonuna ( $\text{mg C kg}^{-1}$ ) etkileri	285
4.166.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi-biyoçar dozu (BD) interaksyonunun biyokütle karbonu konsantrasyonuna ( $\text{mg C kg}^{-1}$ ) etkileri	285
4.167.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun biyokütle karbonu konsantrasyonuna ( $\text{mg C kg}^{-1}$ ) etkileri	286
4.168.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun biyokütle karbonu konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	287

4.169.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun biyokütle karbonu konsantrasyonuna ( $\text{mg C kg}^{-1}$ ) etkileri	288
4.170.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) biyokütle karbonu konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri	289
4.171.	Uygulamaların toprakların beta glikosidaz enzim aktivitesi konsantrasyonlarına etkilerini gösteren varyans analizi	290
4.172.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri	296
4.173.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri	297
4.174.	Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri	298
4.175.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri	298
4.176.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri	299
4.177.	Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri	299
4.178.	Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri	300
4.179.	Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri	301
4.180.	Kömeç toprağında I. dönem biyoçar uygulamalarında elde edilen bitki ve toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar	304
4.181.	Dökmetepe toprağında I. dönem biyoçar uygulamalarında elde edilen bitki ve toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar	305
4.182.	Kömeç toprağında II. dönem biyoçar uygulamalarında elde edilen bitki ve toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar	306
4.183.	Dökmetepe toprağında II. dönem biyoçar uygulamalarında elde edilen bitki ve toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar	307

## 1.GİRİŞ

İklim değişimi yağış desenini ve dolayısı ile toprak su kaynaklarını önemli düzeyde etkilemektedir (Haider ve ark., 2015). Bu nedenle gelecekte azalan yağış yarı kurak iklime sahip arazilerde ürün verimini ve gıda tedarikini daha fazla tehdit edecektir. Bu olumsuz etkileri giderebilmenin ve sorunu çözebilmenin bir yolu son yıllarda dünyanın birçok yerinde daha yaygın bir şekilde çalışılan ve artan ilgi ile araştırılan biyoçarı kullanmaktır (Xiao ve ark., 2016a). Özellikle sulama olanağı olmadığından dolayı yağmur suyuna bağımlı olarak tarımsal üretimin yapılabildiği kurak bölgelerdeki tarımsal arazilerde kuraklık ve su stresi üretkenliği önemli ölçüde sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, toprak kalitesini iyileştirme potansiyeli yüksek olan oldukça gözenekli yapıya sahip biyokütlenin piroliz edilmesi ile elde edilen biyoçarın kullanımı oldukça önemlidir.

Biyoçar, oksijenin çok az veya hiç olmadığı ortamda bir dizi sıcaklık altında organik ham maddenin piroliz edilmesi ile elde edilen gözenekli, düşük yoğunluğa sahip ve karbonca zengin olan bir üründür (Novak ve ark., 2009). Biyoçar aynı zamanda iyon değişim kapasitesini arttırdığından besin elementlerinin adsorpsiyonlarını ve toprakta besin elementlerinin yayarışlılıklarını geliştirir ve yıkanma nedeni ile gerçekleşecek besin elementi kayıplarını azaltır (Dong ve ark., 2015).

Yüksek miktarda karbon depolama potansiyeli yanında toprakta yer alan organik maddeye göre ayrışmasının çok daha uzun zaman alması vb. nedenlerle biyoçar küresel ısınma konusunda çalışmalar yapan araştırmacılar için ilgi odağı haline gelmiştir. Biyoçar terimi hem politik hem de akademik alanda birçok ülkede dikkatleri çekmeye devam etmekte, “biyoçar araştırma merkezleri kurulmakta” ve medyada ise mucize tedavi edici materyal olarak gösterilmektedir (Verheijen ve ark., 2010). Yapılan literatür taramasında oldukça gözenekli yapısı ve bir kısım kirleticileri adsorbe etme yeteneği vb. özellikleri nedeniyle biyoçarın son yıllarda çok farklı disiplinlerden bilim insanlarının dikkatini çektiği görülmektedir. Nitekim konuya ilişkin olarak oldukça fazla sayıda araştırma yapılmış, sonuçları yayınlanmış ve yayınlanmaya devam etmektedir. Yakın zamanda, Avrupa Birliği “Biochar As An Option For Sustainable Resource Management” başlıklı COST TD 1107 nolu bir çağrı ile Avrupa’daki bilim

insanlarının konu üzerine ortak araştırma yapabilmelerini sağlayacak bir ortam hazırlamıştır. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Konseyi ve daha birçok organizasyon sürdürülebilir arazi amenajmanı stratejileri içerisinde dünyanın birçok yerinde farklı toprak ve üretim sistemlerinde biyoçar uygulamalarını desteklemektedir.

Toprak kalitesinin iyileştirilmesi ve bitkisel üretkenliğin artırılması amacı ile biyoçar benzeri toprak katkı maddelerinin kullanımı dikkatleri çekmektedir (Liu ve ark., 2017a). Bu nedenle, biyoçarın tarımsal üretime etkisi konusunda da oldukça fazla çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Zira, lokal olarak bulunabilen fazla miktardaki biyokütleden üretilen biyoçar; tarım alanlarında yüzey akışı ile kaybolacak besin elementi miktarını azaltması, toprağın verimliliğini artırması ve uzun süreli karbon depolaması vb. nedenlerle tarımsal üretimde kullanımı yönüyle önemli bir potansiyele sahiptir. Biyoçar uygulamaları, biyoçarın karakteristikleri, uygulama dozu ve toprak tipine bağlı olarak toprak kalitesini ve ürün performansını farklı şeklide etkileyebilir (Ruqin ve ark., 2015). Woolf ve ark. (2010), biyoçar kullanımı ile net karbondioksit, metan ve azot oksit emisyonlarının %12 düzeyinde azaltılabileceğini ifade etmişlerdir. Biyoçarın azot döngüsünü etkileyeceği (Clough ve Condon, 2010), arazide N<sub>2</sub>O emisyonunu azaltacağı (Taghizadeh-Toosi ve ark., 2012), biyolojik azot fiksasyon oranlarını (Rondon ve ark., 2007), nitrifikasyon oranlarını (Ball ve ark., 2010) ve N yıkanma oranlarını etkileyebileceği açıklanmıştır (Singh ve ark., 2010).

Biyoçarın tarımsal üretimde kullanımına ilişkin çalışmalarda, öncelikle çok çeşitli biyokütlelerin farklı ortamlarda pirolizleri ile elde edilen biyoçarların farklı kültür bitkilerinin gelişimlerine etkileri üzerine odaklanılmıştır. Nitekim kültür bitkilerinin tohumlarının çimlenmeleri, gelişimleri ve verimleri üzerine yapılmış oldukça fazla miktarda araştırma sonucuna rastlamak mümkündür (Solaiman ve ark., 2012; Sun ve ark., 2017). Ancak, biyoçarların sıvı hayvan gübreleri ile muamele edilerek kullanımı konusunda yapılan çalışmalar hemen hemen yok denecek düzeydedir. Diğer yandan farklı tekstüre sahip topraklarda farklı biyo kütlelerden üretilen Biyoçarın besin elementlerini tutabilme yeteneklerinin araştırılması da bu tez projesi ile yapılan çalışmaların özgünlüğünü arttırmaktadır. Bu nedenle çalışmada elde edilen bulgular ve yapılan tartışmalar Biyoçar konusunda var olan literatüre önemli katkılar sunma potansiyeline sahiptir.

Tez çalışmasının konusu, bitkisel üretimde arazide veya işletme aşamasında ortaya çıkan organik atıklar ile özellikle süt sığırcılığı yapılan işletmelerde ortaya çıkan sıvı gübrenin uygun bir yöntem ile geri kazanımını sağlayabilmektir. Biyokütlenin çevreye zarar vermeden, toprakta oldukça uzun süre kalabileceği çevreye dost ürünlere dönüştürülmesi ile tanımlanabilecek biyoçarın sıvı gübre ile zenginleştirilmesi çalışmanın ana konusudur.

Çalışmanın kapsamı ise, Bayram (2016) tarafından, çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş olan ve özellikleri birbirlerinden önemli derecede farklı olan ve kolay elde edilebilen 3 adet biyoçar ile süt sığırcılığında ortaya çıkan yoğun sıvı gübrenin kullanımı şeklindedir. Bu kapsamda, biyoçarın bitki gelişimine etkisi, yürütülen sera denemeleri ile ortaya konulmuştur.

Çalışmanın amaçları ve bu amaçlara ulaşmayı sağlayacak hedefleri maddeler halinde sıralanmıştır.

1.) Tarımsal üretim sonunda ortaya çıkan atıkların sürdürülebilir ve ucuz yöntemlerle ortadan kaldırılması tüm dünyada önemli bir çevre sorunu olmaya başlamıştır. Tarımsal atıkların toprağa karıştırılmasının oldukça önemli faydalarının olduğu bilinmesine rağmen, modern tarımsal işletmelerde kapasitelerinin üzerinde biyokütle üretimi gerçekleştirilmektedir. Özellikle modern süt ve/veya et sığırcılığı yapılan işletmelerde ortaya çıkan sıvı gübre güvenle araziye uygulanabilecek seviyenin oldukça üzerinde olabilmektedir (Cao ve Harris, 2010). Günümüzde, tarımsal atıklar ve sıvı gübrenin güvenli bir şekilde idaresi önemli bir sorundur. Ancak bu materyaller içerisinde bulunan organik madde doğru idare edildiği takdirde tarım arazileri için önemli birer besin kaynağı da olabilmektedir. **Bu çerçevede çalışmanın temel amacı;** bitkisel üretimde ortaya çıkan biyolojik atıklar ile özellikle süt sığırcılığında ortaya çıkan sıvı atıkların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesini sağlayabilecek bir yöntemin geliştirilmesidir. Tez çalışması ile atıkların güvenli bir şekilde ortadan kaldırılması, çevre dostu ve katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi ve buna bağlı olarak tarımsal üretimde sürdürülebilirliğe katkı sağlanması hedeflenmiştir. Bu çalışmaya konu edilen sıvı gübre; katı ve sıvı dışkıların ahırlarda yüksek basınçlı su ile yıkanarak bir havuzda toplanması sonucu ortaya çıkan materyaldir. Çalışmada katı ve sıvı hayvan

atıkları kullanılmasına rağmen yöntemin diğer tarımsal kirlilik kaynaklarında da güvenle kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır.

2.) Süt sığırcılığı işletmelerinde üretilen atık sıvı yüksek düzeyde azot, fosfor ve diğer besin elementleri içermektedir. Tüm dünyada bu işletmelerdeki atık suyun işletme dışına çıkartılmadan besin yükünü azaltmak adına farklı teknolojiler kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemde, katı ve sıvı atıklar havuzlarda biriktirilir, sıvı kısımdaki koloidal bileşenleri uzaklaştırmak için sedimentasyon işlemi yapılır ve katı ile sıvı materyal mekanik yöntemlerle birbirinden ayrılır. Bu aşamadan sonra elde edilen sıvı atıklar sulama suyu ile araziye uygulanır. Bu işlem atıkların yüksek besin elementi içeriği nedeniyle dünyanın her yerinde uygulanan bir yöntemdir. Ancak atıkların yüksek düzeydeki besin elementi içeriklerinin bir sonucu olarak işletmelerin olduğu bölgede yer altı sularının kalitesinin zamanla bozulması önemli bir sorun olarak karşımıza çıkabilmektedir. Zira, topraklar genellikle negatif yüklü olduklarından özellikle nitrat gibi besin elementlerini tutma yetenekleri de oldukça düşüktür. Bu nedenle, sulama suyu ile verilen sıvı gübre içerisindeki nitratın önemli bir kısmı yıkanma riski ile karşı karşıyadır. Ayrıca, katyon değişim kapasitesi düşük olan kumlu topraklarda, sıvı atık içerisinde bulunan katyonlar içinde aynı akıbet söz konusudur. Çok uzun süre bu şekilde gübrelenen arazilerde doygunluktan dolayı, atık sulardaki besin elementlerinin tutunmaları mümkün olmayabilmektedir (Ghezzehei ve ark., 2014).

3.) Mısır koçanı, fasulye hasat atıkları ve çeltik kavuzundan elde edilen biyoçar materyallerinin *buğday bitkisinin verim ve besin elementi alınma* etkisinin belirlenmesi de tezin amaçları arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, iki farklı tekstüre sahip toprağa uygulanan mineral gübre ilaveli ve ilavesiz biyoçar dozlarının buğday gelişimine etkisi sera koşullarında saksı denemeleri ile belirlenmesi amaçlanmıştır.

4.) Biyoçar ilavesi ile toprağın fiziko kimyasal ve biyolojik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin toprak tekstürü ile yüzey alanı, gözeneklilik ve pH gibi temel biyoçar karakteristikleri biyoçar üretiminde kullanılan hammadde ve üretim sıcaklığına bağlı olarak büyük değişkenlikler göstermektedir (Gul ve ark., 2015). Bu nedenle, bu tez çalışmasında kumlu-tın ve tın tekstürüne sahip iki farklı toprağa uygulanan biyoçar dozlarının *toprağın çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik*

*özelliklerine etkilerinin belirlenmesi* çalışmanın dördüncü amacını oluşturmaktadır. Biyoçar uygulamalarının etkilerinin daha net anlaşılabilmesi amacı ile orta bünyeli topraklar tercih edilmiştir. Bugüne kadar yapılmış çalışmaların birçoğunda, biyoçar uygulamaları ile bitkisel üretimde elde edilen olumlu etkinin çoğunlukla, biyoçarın toprağın fiziksel özellikleri üzerine olan olumlu etkilerinin olduğu ifade edilmiştir. Bu olumlu etkilerin, toprağın su ve besin elementi tutma kapasitesinin artırılması, hacim ağırlığının düşürülerek sıkışma probleminin azaltılması, havalanmasının iyileştirilmesi şeklinde ortaya çıktığı ifade edilmiştir.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1. Biyoçar Tanımı, Özellikleri ve Önemi

Biyoçar terimi; toprak amenajmanı ve karbon (C) zenginleşmesi konuları ile ilişkili olarak ortaya çıkan nispeten yeni bir terimdir (Lehman ve ark., 2006). Odun, sap-saman, yapraklar ve hayvan gübresi gibi çeşitli biyokütlenin çok az oksijenin bulunduğu veya oksijenin hiç olmadığı kapalı bir ortamda ısıtılması ile elde edilen karbon bakımından zengin olan materyallere biyoçar adı verilmektedir. Daha teknik anlamda, kısıtlı miktarda oksijenin olduğu ve göreceli olarak düşük sıcaklıklarda (<700°C) organik materyallerin sıcaklıkla değişimi/pirolizi ile üretilen materyale biyoçar denilmektedir (Lehmann ve Joseph, 2009). Biyoçar tanımları yapılırken kullanılan piroliz terimi, oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıkta organik maddenin termo-kimyasal bozunması işlemine verilen isimdir. Ortamda oksijenin bulunmaması materyalin yanıp küle dönüşmesini engellemektedir. Piroliz olayı hem kimyasal hem de fiziksel durumun geri dönüşümsüz olarak değişmesine neden olur. Biyokütlenin termal bozunması işlemi ile katı kömürleşmiş materyal (biyoçar), sıvı biyo-yağlar, katran ve gaz halindeki singazlar (yanabilen sentetik gazlar) ortaya çıkmaktadır. Piroliz esnasında hammaddeki karbonun çoğu korunur ve CO<sub>2</sub> olarak uzaklaşmaz.

Üretilen materyalin niteliği uygulanan sıcaklığa göre değişmektedir. Nispeten düşük olan 400-500 °C gibi sıcaklıklarda kullanılan biyokütle ile daha fazla biyoçar üretilirken yüksek sıcaklıklarda (>700 °C) biyokütle daha fazla sıvı ve gaz ürünlere dönüşmektedir. Bu ürünlerin tipik oluşum oranları %60 biyo-yağ, %20 biyoçar ve %20 gaz şeklindedir. Düşük sıcaklıkta gerçekleşen yavaş piroliz işleminde ise üretilen biyoçar miktarı %50 civarındadır (Winsley, 2007). Modern sistemler piroliz ünitesinden üretilen singazın, piroliz sistemi için gerekli olan tüm enerjiyi üretmesini sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Kuru biyokütlenin hızlı piroliz işlemini gerçekleştirmek için gerekli olan enerji bu sistemden kazanılan enerjinin sadece %15'ine denk gelmektedir (Laird, 2008).

Piroliz olayı sıcaklık, katı materyalin sıcaklıkla muamele süresi, piroliz ünitesindeki buharın varlığı veya her ikisine bakılarak hızlı, orta ve yavaş piroliz ile



gazlaştırma şeklinde isimler almaktadır. Yavaş piroliz yaklaşık 400°C sıcaklıkta, katı materyalin piroliz ünitesinde kalış süresinin yüksek olduğu işlemdir. Yavaş pirolizde ortaya çıkan ürünün karbon içeriği çok yüksek olduğundan çoğu zaman karbonizasyon olarak da tanımlanır. Bu işlem esnasında piroliz olan materyalden %30 sıvı, %35 biyoçar ve %35 singaz üretilir. Hızlı piroliz, materyalin 1 saat süre içerisinde yaklaşık 500 °C sıcaklıkta tutulması ile gerçekleşir. Bu işlem ile biyokütleden %75 sıvı, %12 biyoçar ve %13 singaz üretildiği bildirilmektedir. Orta piroliz işlemi de 500°C sıcaklıkta 10 ile 20 saat sürede gerçekleştirilir ve %50 sıvı, %20 biyoçar ve %30 singaz ortaya çıkar. Gazlaştırma işlemi ise yüksek sıcaklıkta (~800 °C) uzun sürede tamamlanır ve %5 sıvı, %10 biyoçar ve %85 singaz üretimi gerçekleştirilir (Verheijen ve ark., 2010).

Doğada meydana gelen yangınlar ile kendiliğinden oluşan kömür pirojenik siyah karbon (PSK) olarak isimlendirilmektedir ve biyoçara büyük benzerlik göstermektedir. Dünyanın birçok yerinde doğal olarak toprakta bulunan PSK, bazı yerlerde Terra Prata'da olduğundan daha yüksek organik karbon içeriğine sahiptir (Verheijen ve ark., 2010). Preston ve Schimdt (2006), dünyanın değişik yerlerinde orman olmayan alanlarda yaptıkları çalışmalarda PSK'nın topraktaki toplam organik karbonun %1'i ile %80'nini oluşturduğunu rapor etmişlerdir. Biyoçar ve PSK arasındaki temel farklılıklar; hammadde ve piroliz koşullarıdır. PSK'da hammadde toprak yüzeyinde bulunan biyokütle iken biyoçar için hammadde herhangi bir organik materyal olabilmektedir. Bu organik materyal, odun ve samandan tavuk gübresine kadar çeşitli organik materyalleri kapsamaktadır. Buna ilaveten piroliz yapılan ortamın koşulları istendiği vakit değiştirilebilmektedir. En yüksek ve en düşük sıcaklıklar, sıcaklıkla muamele süresi ve sıcaklık artışının hızı, ortama buhar verilmesi, potasyum hidroksit ilavesi, aktivasyon ve oksijen durumu dışardan değiştirilebilmektedir (Verheijen ve ark., 2010).

Biyokütle kaynakları odunsu ve otsu türler, odun atıkları, enerji ürünleri, küspe, tarımsal ve endüstriyel atıklar, atık kâğıtlar, katı şehir atıkları, talaş, biyo-katılar, çimler, tarımsal ürün işleme atıkları, hayvan atıkları, su bitkileri ve algler gibi çeşitli doğal ve doğal ürünlerden elde edilmiş materyallerdir (Yaman, 2004). Karbon, hidrojen, oksijen ve azot içeren karbonhidratlı her materyal biyo-kütle kaynağı olarak kullanılabilir. Biyo-kütle içerisinde önemli miktarda selüloz, hemi-selüloz ve

lignin gibi organik bileşenler yer almaktadır (Klass, 1998). Hammadde içerisindeki selüloz ve ligninin bozulma sıcaklıkları 240-350°C ve 280-500 °C arasında gerçekleşmektedir (Demirbas, 2004). Bir kısım biyokütle çeşitlerinin önemli miktarlarda inorganik bileşenler içerdiği de rapor edilmiştir. Odunsu bitkilerde inorganik maddenin miktarı %1 gibi düşük düzeylerde iken, bu oranın tarımsal atıklarda ve otsu biyo-kütlerde %15'ler civarında olduğu rapor edilmektedir (Yaman, 2004). Mineral içeriği yüksek olan çeltik kavuzu, sap, saman atıklarının pirolizi ile kül içeriği yüksek biyoçar üretildiği bildirilmiştir (Demirbas, 2004). Bu materyallerden çeltik kavuzu %24 ile %41 gibi çok yüksek kül içerebilmektedir (Amonette ve Joseph, 2009).

Organik karbon açısından oldukça zengin olan biyoçarın aksine, biyokütlenin oksijenli bir ortamda yakılması ile organik materyal çoğunlukla kalsiyum, magnezyum ve inorganik karbonatlardan oluşan bir kül haline dönüşür. Birçok yangında, oksijenin kısıtlı olduğu durumlarda materyalin küçük bir kısmının kömürleştiğini görmek mümkündür. Oldukça farklı materyallerden çeşitli koşullar altında biyoçar üretildiğinden dolayı biyoçarın kimyasal olarak genel bir tanımının yapılması oldukça güçtür. Biyoçarın genel olarak tanımlanabilen ortak özelliği oksijen ve hidrojen olmadan altı karbon atomunun oluşturmuş olduğu aromatik yapısındaki yüksek karbon içerikli bir materyal olmasıdır (Lehmann ve Joseph, 2009).

Literatürde yer alan kömür (charcoal) ile biyoçar anlam olarak farklılık göstermektedir. Biyoçar, toprak özelliklerinin iyileştirilmesi amacı ile kullanılırken kömür ısıtma için yakıt, demir üretiminde bir filtreleyici olarak veya bir indirgeyici olarak veya endüstride renklendirici materyal olarak kullanılmaktadır. Tarımsal kömür ile biyoçar ifadeleri ise birbirine benzerlik göstermektedir. Ancak birçok araştırmacı, tarımsal kömür ifadesinden ziyade biyoçar ifadesini kullanmayı tercih etmektedir. Araştırmacıların tercih ettiği kömürleştirilen organik madde olan Biyoçar tarımın dışında toprak ıslahının etkinleştirilmesinde ve diğer birçok amaçlı uygulamalarda da kullanılabilir. Biyoçar kelimesi aynı zamanda biyolojik kökeni ifade ettiğinden, kömürleştirilen plastik ve biyolojik olmayan diğer materyallerden farklılaşmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009). "Aktif karbon" terimi de biyoçar ve aynı zamanda kömür benzeri bir terimdir. Karbon, buhar veya çeşitli kimyasallar ile yüksek sıcaklıklarda

(>700°C) aktifleştirilmektedir (Boehm, 1994). Burada amaç, endüstride özellikle filtrelemede kullanılmak üzere yüzey alanının artırılmasıdır (Lehman ve Joseph, 2009).

Biyoçar toprağın özelliklerinde iyileşmeye katkı sağlayan farklı bir kompost veya hayvan gübresi benzeri materyal olmasının yanında, toprağın kalitesinin artırılması adına diğer organik katkı maddelerinin tamamından daha etkilidir. Bunun nedenleri oldukça büyük olan yüzey alanı, yüksek yük yoğunluğu (Liang ve ark., 2006) buna bağlı yüksek besin elementi tutma kapasitesi (Lehman ve ark., 2003) ve spesifik kimyasal (Baldock ve Smernik, 2002) ve koloidal yapısından (Lehmann ve ark., 2005) dolayı diğer organik materyallere göre mikrobiyal parçalanmaya karşı olan direnci (Cheng ve ark., 2008) gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerdir.

## **2.2.Tarımsal Atıkların İdaresi ve Biyoçar Üretimi**

Tarım arazilerinde ortaya çıkan atıklar ile tarımsal endüstri atıklarının güvenli ve ekonomik bir şekilde ortadan kaldırılması ile ilgili yöntemlere olan gereksinim dünyanın her yerinde artmaktadır. Tarımsal atıkların toprağa karıştırılmasının önemli faydaları olmasına rağmen modern tarımsal işletmelerde veya ormancılık faaliyetlerinde ortaya çıkan ürünün tamamının toprağa uygulanması mümkün olamamaktadır (Perlack ve ark., 2005). Bugün birçok modern büyükbaş hayvan işletmesinde ortaya çıkan besin elementlerince oldukça zengin sıvı gübrenin tamamının araziye uygulanması mümkün olmadığından (Cao ve Harris, 2010) çevreye kontrolsüzce salıverilmektedir (Şekil 2.1). Bu nedenle hem katı hem de sıvı atıkların çevreye dost ve sürdürülebilir bir ürüne dönüştürülerek ortadan kaldırılması adına yapılacak çalışmalara oldukça fazla gereksinim duyulmaktadır.



Şekil 2.1. Hayvansal üretim tesislerinde ihtiyaç fazlası sıvı dışkı

İklim, topografya, toprak özellikleri ve vejetasyon bakımından geniş bir yelpazeye sahip olan Türkiye'nin tarımsal potansiyeli de oldukça yüksektir. İklimin müsait olduğu Akdeniz ve Ege Bölgelerinde yılın tamamında tarımsal üretim yapmak mümkündür. Diğer birçok bölgemizde ise, yoğun bir rotasyon ile tarım arazilerinden büyük miktarlarda biyokütle kaldırılmaktadır. Artan tarımsal üretimle beraber, hasat atıklarının da miktarı her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde serada yetiştiriciliğin en yoğun yapıldığı Antalya ve çevresinde sadece domates seralarından her yıl kuru madde olarak 111.480.99 ton, patlıcan seralarından 15.870.39 ton biyokütle atığının çıktığı bildirilmektedir (Kürklü ve ark., 2004). Tarımsal atıkların bir kısmı üreticiler tarafından arazide yakılmakta, tarla kenarlarında veya drenaj kanallarının çevresinde depolanarak çürütülmekte, yakacak olarak kullanılmakta veya küçük parçalara ayrılarak toprağa katılmaktadır. Toprak için önemli bir organik madde kaynağı olan bitkisel atıkların bu şekilde bertaraf edilmeleri çok hızlı bir şekilde ayrışıp kaybolmalarına ve aynı zamanda su ve havanın da önemli düzeyde kirletilmesine yol açmaktadırlar (Şekil 2.2 ve 2.3.).



Şekil 2.2. Tokat-Kazova'da tarla yakınlarında çürümeye terk edilen tarımsal atıklar

Türkiye'deki en önemli biyokütle kaynaklarından biri de gıda üretimi yapan endüstrilerdir. Kayısı çekirdeği ve fındık kabuğu Türkiye'de üretilen önemli biyokütle olup buldukları bölgede önemli birer enerji kaynağı olarak işlev görmektedirler. Bu ürünler, genelde fırınlarda veya evlerde direk yakılmak sureti ile enerjiye dönüştürülmektedir. Bu şekilde tüketimleri ekonomik olmadığından farklı dönüşüm teknolojilerinin kullanımı ile daha katma değerli ürünlere dönüştürülmeleri hem bölge hem de ülke ekonomisi açısından yararlar sağlayacaktır (Özçimen ve Meriçboyu, 2010). Hasat atıklarının yakacak olarak arazinin dışına çıkarılmaları, toprağın organik madde kapsamı ve verimliliğine de olumsuz etki yapmaktadır (Wilhelm ve ark., 2004). Organik atıkların piroliz edilmesi işlemi, üretilen yanıcı gaz ve biyo-yakıttan dolayı hem enerji üretimine hem de toprağa karbon ve besin elementlerinin geri dönüşümüne sağlayacak alternatif bir uygulamadır (Laird, 2008).





Şekil 2.3. Tokat Kazova'da yüzey sularında tarımsal kaynaklı kirlilik sonucu oluşan ötrofikasyon

Süt sığırcılığı yapan birçok işletmenin karşılaştığı en önemli sorunlardan biri olan sıvı atıkların yer altı ve yer üstü sularını kirletme potansiyellerinden dolayı güvenli bir şekilde ortadan kaldırılması ile ilgili yasal tedbirler günden güne ağırlaşmaktadır. Zira ortaya çıkan atık su başta azot ve fosfor olmak üzere birçok besin elementi açısından oldukça zengindir. Günümüzde bu işletmeler atık sudaki besin yükünü azaltabilmek için çeşitli yöntemler kullanmaktadırlar. İşletmelerin atık suları için yaptıkları geleneksel uygulama, katı ve sıvının mekanik olarak ayrılması aşamasından sonra kolloidlerin büyük havuzlarda çökertilmesinin ardından besin elementlerince zengin olan suların sulama suyu ile araziye uygulanması şeklindedir. Bu uygulama dünyanın hemen her yerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu atık sular ile uzun süreli sulama yapıldığında özellikle kum içeriği yüksek arazilerde yıkanmadan dolayı yer altı sularının ve aküferin kirlenme riski ortaya çıkmaktadır. Tarımsal atıkların biyoçar şekline dönüştürüldükten sonra sıvı gübrenin besin elementlerini adsorbe edebilmesi, besin elementlerince zenginleştirilmiş biyoçar üretimi için oldukça ucuz ve güvenilir bir yöntemdir (Sarkhot ve ark., 2012 ve 2013). Böyle bir uygulamayı oldukça küçük ölçekteki üreticiler dahi öğrenip kendi arazilerine tatbik edebilirler. Böyle bir uygulama ile tarımsal atıkların yakılması ile oluşan hava kirliliği ve sıvı atıkların araziye uygulanması ile oluşan yüzey (Şekil 2.3) ve yüzey altı suyu kirliliği gibi sorunlarının da önüne geçmek mümkün olabilecektir.

### 2.3. Biyoçarın Çeşitli Kullanım Alanları

Son 20 yıl içerisinde biyoçar konusunda oldukça fazla miktarda çalışma yapılmış ve yayınlanmıştır. Çok farklı disiplinlerden bilim insanları çeşitli biyo atıklardan farklı koşullarda ürettikleri biyoçarları kullanarak toprak ve su kalitesi, sera gazları emisyonlarına etkisi, bitkisel üretimdeki etkinlikleri ve çeşitli çevresel etkileri araştırmak amacı ile yaptıkları çalışmaları yayınlamışlardır. Biyoçar uygulamaları; çevre amenajmanı, toprağın iyileştirilmesi (üretimin artırılması ve aynı zamanda kirliliğin azaltılması için), atık amenajmanı, iklim değişimi ile mücadele ve enerji üretimi şeklinde dört hedefe yönelik olarak yapılmaktadır. Bu uygulama amaçlarının her biri veya birden fazlasının sosyal veya ekonomik veya sosyo-ekonomik faydasının olması beklenmektedir (Lehman ve Joseph, 2009). Yoğun bir şekilde yapılan ve yayınlanan araştırma sonuçları, biyokütlenin pirolizi ile elde edilen biyoçarın besin elementlerinin yıkanması ile kayıplarının azaltılması, çevre kirleticilerin biyo yararıyla düşürülmesi, toprakta karbon zenginleşmesi, sera gazı emisyonlarının azaltılması ve toprak verimliliğinin iyileştirilmesi gibi konularda olumlu katkı yapabileceğini göstermiştir (Ippolito ve ark., 2012). Biyoçarın çok farklı biyokütleden çeşitli koşullar altında üretilebileceğini göz önüne alan Novak ve ark. (2012), belirli bir çevresel veya tarımsal kullanım için üretilecek biyoçarın uygulama amacına uygun özelliklerde üretilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Biyoçar, hem toprakta C depolanmasına katkı verdiği hem de azot oksit gazlarının salınımını azalttığından dolayı çevre için önemli bir katkı maddesidir. Toprağa ilave edilen biyoçarın, besin elementlerinin ve ağır metallerin yıkanma oranlarını azalttığı ve sera gazlarının atmosfere çıkışını düşürdüğüne dair çalışmalar bulunmaktadır (Major ve ark., 2010; Singh ve ark., 2010). Biyoçarın toprak C ve N dinamikleri üzerine olan etkilerinin tatmin edici şekilde anlaşılması, biyoçar ilave edildikten sonra toprak C ve N stokları ve atmosfere çıkış ile ilgili olayların karmaşıklığından dolayı oldukça zordur.

### 2.3.1. Biyoçarın toprağa uygulanması ve tarımsal uygulamalara etkileri

Modern tarımda birim alandan daha yüksek miktarda ürün alabilmenin en önemli şartlarından biri, bitkinin gereksinim duyduğu besin elementlerinin gübre şeklinde ilave edilmesidir. Gübre uygulaması ile gübreleme yapılmayan koşullara kıyasla %30 ile %50 arasında verim artışı sağlamak mümkün olsa da organik madde ilavesi olmadan kimyasal gübrelere uzun süre olan bağımlılık, gübre kullanım etkinliğinin düşmesine ve çevre kirliliği sorunlarına neden olmaktadır (Chaudhary ve ark., 2017). Tarım arazilerinde uygulanan azotlu gübrelerin önemli bir kısmının yüzey akışı, NH<sub>3</sub> şeklinde volatilizasyonu, NO<sub>3</sub> şeklinde yıkanması nedeni ile bitkisel üretimde kullanılmadığı, yüzey ve yüzey altı sularında kirlenmeye neden olduğu bildirilmiştir (Tian ve ark., 2018). Bu nedenle, sürdürülebilir tarımsal üretim yapabilmek için toprağın organik maddesi ile temel besin elementlerinin biyolojik döngüsünü uygun bir seviyede tutmak çok önemlidir. Literatürde kompost, hayvan gübresi ve yeşil gübreleme gibi birçok uygulamanın mikroorganizma faaliyetlerini arttırdığı ve yetiştirilen ürünlerin besin gereksinimlerinin önemli bir kısmını karşıladıklarına dair araştırma raporları bulmak mümkündür. Ancak ilave edilen organik atıklar toprakta çok hızlı ayrıştıklarından dolayı bu katkı maddelerinin ömürleri çoğunlukla oldukça kısadır (Naeem ve ark., 2018).

Biyokütlenin yüksek sıcaklıkta ve oksijensiz ortamda ısıtılması (pirolizi) ile elde edilen biyoçar, bozulmaya karşı dirençli olan yapısı, yüksek spesifik yüzey alanı ve negatif yüzey yükü gibi özellikleri nedeni ile toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirebilecek ve bitkisel üretimin verimliliğini arttırabilecek bir katkı maddesi olarak düşünülmektedir (Madari ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2017). Biyoçarın ılıman bölgelerde ve tropikal ekosistemlerde toprak kalitesini ve ürün verimliliğini arttırdığına dair raporlar yayınlanmaktadır (Güereña ve ark., 2013). Biyoçarın toprağın verimliliğini arttırmak üzere kullanımına ait ilk bulgular ise Amazonlarda keşfedilen *Terra Preta* de Indio (yerli) toprakları üzerinde yapılan çalışmalara dayanmaktadır. *Terra Pretalar* kilometrelerce uzunluktaki koyu renkli ve verimli topraklardır (Kammann ve ark., 2017).



Global ölçekte bir meta analiz yapan Jeffrey ve ark. (2017), biyoçarın ılıman iklimlerde verim artışına hemen hemen hiçbir etkisinin olmadığını, ancak tropik iklime sahip bölgelerde ortalama %25 oranında verim artışı sağladığını belirtmişlerdir. Tropik bölgelerdeki toprakların pH'larının düşük olması (pH = 5.7) ve yüksek ayrışma ile birlikte verimlilik seviyelerinin düşük olması, yüksek pH'ya sahip biyoçarların (medyan pH=9.0) uygulamalarına olumlu tepki vermelerinin gerekçesi olarak açıklanmıştır. Bunun aksine daha yüksek pH'ya (medyan pH = 6.9) sahip olan ılıman bölge topraklarının doğal olarak daha verimli olmalarının yanında yüksek miktarda gübreleme yapılıyor olmasının biyoçarın yaptığı katkıyı gölgelediğini düşündürmektedir (Jeffery ve ark., 2017). Biyoçarın toprağın verimliliği üzerine olan etkisi, toprakta yarayışlı besin elementlerinin miktarı ve yarayışlılığı (Lehmann ve ark., 2003) ve biyokimyasal özelliklere olan (Luo ve Gu, 2016) etkisi ile ilişkilidir. İlave edilen biyoçar özelliklerine de bağlı olmakla birlikte, toprakta su ve besin elementi tutumu veya mikrobiyal aktivite gibi özelliklere biyoçarın doğrudan etki ettiği düşünülmektedir (Atkinson ve ark., 2010; Lehmann ve ark., 2011). Yüzey alanı ve C içeriği oldukça yüksek, yapısı çok gözenekli ve çoğunlukla alkali karakterde olan biyoçarın toprağa uygulanması; toprağın organik madde içeriğinin yükselmesine (Liu ve ark., 2017a), pH'nın artışına (Chan ve ark., 2008; Gaskin ve ark., 2010; Laird ve ark., 2010), hacim ağırlığının düşmesine (Asai ve ark., 2009; Laird ve ark., 2010), toprak sıkışmasının azalmasına (Olmo ve ark., 2014; Liu ve ark., 2017b), toprağın yüzey alanının (Lehmann ve ark., 2011) ve toplam gözenekliliğin artmasına (Githinji, 2014), gözenek büyüklük dağılımının (Sun ve Lu, 2014), su tutma kapasitesinin artmasına (Akhtar ve ark., 2015) ve toprak mikroorganizmalarının çeşidi ve miktarının değişmesine (Gul ve ark., 2015) neden olduğu bildirilmektedir. Bitkinin gelişimi için ortamın daha uygun hale gelmesi ise toprak verimliliğinin artması, bitkinin daha iyi gelişmesi ve nihayetinde bitkisel üretim miktarının önemli miktarda artmasına neden olacaktır.

### **2.3.2. Biyoçar uygulamalarının bitki gelişimine ve verimliliğe etkileri**

Biyoçar uygulamasının toprağın verimliliğine, bitki gelişimine ve ürün verimine etkileri; ürün çeşidi, biyoçar uygulama oranları ve biyoçarın özellikleri ile bitki yetiştirme

koşulları, edafik faktörler, kullanılan kimyasal gübreler ve incelenen yıla bağlı olarak değişmektedir (Jeffrey ve ark., 2011; Zhang et al., 2012). Biyoçarın çeşidi, üretim koşulları, uygulanan toprağın özellikleri ve denemenin yürütüldüğü ortamın koşullarına bağlı olarak biyoçar uygulamalarının bitkisel üretime ve ürünlerin performansına olan etkisinin olumlu olduğunu rapor eden çalışmalar olduğu gibi (Chan ve ark., 2007; Asai ve ark., 2009; Lin ve ark., 2015; Liu ve ark., 2017a), biyoçarın etkisinin önemsiz (Nelissen ve ark., 2015; Subedi ve ark., 2016a; Hansen ve ark., 2017) ve hatta olumsuz (Gaskin ve ark., 2010; Lin ve ark., 2015; Nelissen ve ark., 2015) olduğunu bildiren araştırma raporları da yayınlanmıştır. Bunlara ilaveten biyoçarın topraktaki fitotoksik organik molekülleri adsorbe edebilmesi (Oleszczuk ve ark., 2012) ve toprak kökenli patojenleri baskılaması da (Eo ve ark., 2018) bitki gelişimine olumlu etkileri olarak bildirilmiştir. Biyoçarın ürün verimine olumsuz veya nötr etkisinin çoğunlukla tropik bölgelerde karşılaşıldığını rapor eden Jeffery ve ark. (2017), yüksek pH'sı nedeni ile biyoçarın bu topraklarda fazla kireçleme etkisi ile pH'nın gereğinden fazla yükselmesine neden olduğunu bunun da mangan, demir, bor ve fosfor gibi besin elementlerinin alımını engelleyebileceğini bildirmişlerdir. Bu etkilerin yer aldığı araştırma sonuçlarına ait ilgi çekici örnekler aşağıda yer almaktadır.

Herhangi bir biyoçar çeşidinin toprak özelliklerine etkisi, uygulanan biyoçar materyalinin karakteristikleri, uygulama yapılan toprağın özellikleri ve uygulama yapılan bitkinin çeşidine bağlı olarak büyük değişkenlik gösterebilir (Prapagdee ve Tawinteung, 2017). İki farklı ürün için aynı toprakta kullanılan biyoçarın ürün gelişimi performansı farklı olabilir. Lin ve ark. (2015) tınlı bir toprağa ilave edilen 16 Mg ha<sup>-1</sup> mısır koçanı biyoçarının buğday verimini arttırdığını rapor ederken, benzer bir uygulamanın soya fasulyesi gelişimine etkisi olmadığını belirtmişlerdir.

Biyoçar ilave edilen topraklarda bitki gelişiminin artması, besin elementi kullanım etkinliğinin iyileşmesi ve toprağın kimyasal ve mikrobiyal özelliklerindeki pozitif etkisinin yanında besin elementlerinin yıkanmasının azaltılması ile de ilişkilidir (Gul ve ark., 2015). Lehmann ve ark. (2003) da biyoçar uygulamalarının verimlilik üzerine etkisinin biyoçarın yüksek su ve besin elementi tutma yeteneği nedeni ile

gübrelerle uygulanan besin elementlerinin yıkanmasının azalmasını gübre kullanım etkinliğini artırması şeklinde ifade etmişlerdir.

Yeni Zellanda'da okaliptus, mısır koçanı, taze çam ve söğüt kullanarak 550 °C'de üretilen biyoçarlar, ince kumlu ve ince tınlı iki tekstüre sahip toprakta mısırın çimlenmesi üzerine etkilerini görmek amacı ile kullanılmıştır (Free ve ark., 2010). Uygulamada 20 cm derinliğe olacak şekilde 0, 2.5, 5.0 ve 10 ton ha<sup>-1</sup> düzeyindeki biyoçarlar uygulanmıştır. Araştırmacılar çalışma sonunda, farklı biyoçarların ve dozlarının mısır tohumunun çimlenmesine kontrole göre önemli düzeyde etki ettiğini belirtmiş ve biyoçarın toprakta karbonun depolanması ve toprağın kalitesinin artırılması adına oldukça önemli etkileri olduğunu rapor etmişlerdir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin güney doğusunda yer alan organik madde içeriği ve verimliliği düşük Ultisol (Kandiudults)'lere uygulanan fıstık kabuğu ve çam atıklarından üretilen biyoçarın topraktaki besin elementi içeriğine, mısırın (*Zea Mays L.*) beslenme durumuna ve verimine etkileri, Gaskin ve ark. (2010) tarafından iki yetiştirme sezonu boyunca araştırılmıştır. Araştırmacılar biyoçar dozlarını 0, 11 ve 22 Mg ha<sup>-1</sup> olacak şekilde düzenleyerek biyoçarı azotlu gübre ile ve azotlu gübre kullanılmadan uygulamışlardır. Bu çalışmada, artan çam biyoçarı uygulama dozunun toprağın pH'sını düşürdüğü ve Ca'un yarayışlılığını arttırdığı görülmüştür. Araştırmanın ilk yılında artan çam biyoçar dozu ile mısır veriminin azaldığı görülmüştür. Fıstık kabuğu uygulamasının toprağın ilk 15 cm derinliğindeki Ca, Mg ve K seviyesini arttırdığı bildirilirken en yüksek biyoçar dozunun (22 Mg ha<sup>-1</sup> = 418 kg ha<sup>-1</sup>) verimde azalmaya neden olduğu rapor edilmiştir. Diğer yandan, Hansen ve ark. (2017) gazlaştırma ile elde edilen biyoçar uygulamasının toprak organik karbon içeriğini önemli düzeyde arttırmadığını bildirirken kışlık buğday ve kışlık kolza verimlerine de önemli bir etkisinin olmadığını rapor etmişlerdir.

Bir kısım araştırmalarda, biyoçarın sadece besin elementinin sınırlı olduğu koşullarda gübre olarak görev yapabileceğini ve kök bölgesindeki mikroorganizma topluluğunu değiştirerek bitki gelişimini teşvik edebileceği ifade edilmiştir (De Tender ve ark., 2016). Biyoçar ilavesinin ürün verimliliğine pozitif etkisini uygun fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak ortamı ve besin elementi yarayışlılığı ile toprak su

yarayışlılığının iyileşmesine bağlamışlardır (Lehmann ve ark., 2011; Novak ve ark., 2016). Bitki gelişimine en olumlu etkinin ise pH'sı en düşük olan biyoçar ilavesi ile yapıldığı görülmüş ve bu nedenle de piroliz koşullarının pH'yı yükseltmeyecek şekilde ayarlanmasının önemi vurgulanmıştır (Taghizadeh-Toosi ve ark., 2012). Subedi ve ark. (2016a), tavuk gübresi (400 ve 600 °C), domuz gübresi (400 ve 600 °C) ve kivi ağacı budama atıklarından (1000 °C) üretilen biyoçarları siltli tın ve kumlu tekstüre sahip iki ayrı toprağa uygulamış ve çavdar gelişimi ile toprağın kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Saksı denemesi sonunda, düşük sıcaklıkta (400 °C) hayvan gübresinden elde edilen biyoçarın hem sap hem de kök kuru madde verimini kontrole göre önemli düzeyde arttırdığı belirlenmiştir. Bunun yanında 600 °C'de üretilen hayvan gübresi biyoçarları ile odun biyoçarının ne sap ne de kök kuru madde verimine etkisi olmamıştır. Kontrole kıyasla en yüksek sap kuru madde artışı (%50,1) tavuk gübresinden 400 °C'de üretilen biyoçar ile siltli tın toprakta elde edilmiştir. Aynı biyoçarın kök kuru madde miktarında ise %127.2'lik bir artışa neden olduğu görülmüştür. Biyoçarın N içeriğinin hem sap kuru madde (siltli tın için  $r = 0.78$ , kumlu için  $r = 0.61$ ) hem de kök kuru madde verimi (siltli tın için  $r = 0.82$ , kumlu için  $r = 0.59$ ) ile pozitif bir korelasyonu olduğu görülmüştür.

Piroliz esnasında sıcaklık 200 °C'ye yaklaştığında hammaddede bulunan N'un uçucu gazlara dönüştüğü bildirilmekte olup, üretim sıcaklığına ve hammaddenin N içeriğine bağlı olarak biyoçarın N konsantrasyonu %0.2 ile %7.8 olduğu rapor edilmiştir (Chan ve ark., 2007). Hammaddenin piroliz edildiği sıcaklık düştüğünde ekstrakte edilebilir  $NH_4$  miktarının arttığı (Gundale ve Deluca, 2006) bu nedenle düşük sıcaklıkta üretilen biyoçar ilavesinin topraktaki toplam N miktarının artışına neden olduğu ve bitki gelişimi için gerekli olan N'un bir kısmını karşılayabileceği bildirilmiştir (Luo ve ark., 2014). Biyoçar, kompost ve mineral gübreleri birlikte uygulayan Naeem ve ark. (2018) da artan sap ve tane verimi ile N konsantrasyonunun direk olarak biyoçar ve kompost ile katılan N olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle düşük sıcaklıkta üretilen biyoçarların (400 °C) tınlı kum ve kumlu tekstüre sahip iki ayrı toprakta da çavdarın sap ve kök kuru madde verimlerinde önemli düzeyde artışa neden olmasını Subedi ve ark. (2016a), i.) biyoçar ile toprağa direk besin elementi katılması (Lehmann ve ark., 2003), ii.) biyoçar ilave edilen topraklarda N mineralizasyonunun daha da artmış olması (Ameloot ve ark.,

2015), iii.) toprak pH'sının artışı ile birlikte toprak-biyoçar-P'unun yararışlılığının artması (siltli tınlı toprakta) ve bunun ardından P alımının artması (Wang ve ark., 2012), ve iv.) toprak mikroorganizmalarının aktivitelerine bağlı olarak S'ün biyo-jeokimyasal döngüsünün gelişmesi (Lehmann ve ark., 2011; Subedi ve ark., 2016b) ile açıklamışlardır. Toprağa uygulanan biyoçarın fosforun yararışlılığını arttırdığını bildiren çok sayıda çalışma mevcuttur (Chan ve ark., 2007; Atkinson ve ark., 2010; Hossain ve ark., 2010). Fosfor yararışlılığının artmasının nedenlerinin; toprak pH'sındaki değişim, P'un diğer katyonlar ile olan etkileşimi ve anyon değişimi yoluyla P tutunmasının artması olabileceği bildirilmiştir (Atkinson ve ark., 2010).

Ürettikleri biyokütlenin doğasına bağlı olarak, biyoçarlar değişik oranlarda besin elementi içerebilmektedirler. Liu ve ark. (2017a) toprağa uygulanan 48 ton ha<sup>-1</sup> biyoçar ile 61 kg ha<sup>-1</sup> yararışlı P ve 594 kg ha<sup>-1</sup> yararışlı K ilave edildiğini rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, potasyumun buğday sapının gelişimi, selüloz oluşumunu desteklemesi ve hücre duvarının kalınlaşmasını sağladığından dolayı buğdayın vejetatif gelişimini arttırdığını bildirmişlerdir. Biyoçar uygulaması ile bitki boyu %5, kardeşlenme sayısı %19, sap biyokütlesi %12 ve kök biyokütlesi ise %10 oranında artmıştır. Ancak biyoçarın tane verimi, başak sayısı ve her başaktaki tane sayısı üzerine biyoçar uygulamasının önemli bir etki yapmadığı ifade edilmiştir. Elde edilen sonuç, topraktaki yararışlı N havuzu üzerine biyoçarın olumlu etkisinin olmadığını bir göstergesi olarak kabul edilmiştir. Liu ve ark. (2017a) biyoçarın kendi başına biyo yararışlı bir azot kaynağı olmadığını, bunun nedeninin N'un piroliz esnasında piroller, imidazoller ve piridinler gibi heterosiklik bileşiklere dönüşmesi (Knicker, 2010) olduğunu belirtmişlerdir. Diğer biyoçar uygulaması ile birlikte topraktaki azot yararışlılığının azalmasına yönelik farklı açıklamalar da yapılmıştır. Bu nedenlerin bazıları, (i) nitrifikasyon ve denitrifikasyon bakterilerinin popülasyonunun artışı ile birlikte azot dönüşümü ve tüketiminin artması, (ii) yükselen toprak pH'sı nedeniyle NH<sub>3</sub> formunda volatilizasyon ile N kaybının artması, (Chen ve ark., 2013); (iii) biyoçar yüzeyinde yüklü fonksiyonel grupların varlığında daha yüksek N adsorpsiyonu (Utomo ve ark., 2012); (iv) biyoçarda bulunan yüksek C:N oranına sahip kolay mineralize olabilen alifatik bileşenlerden dolayı N immobilizasyonunun artması (Deenik ve ark., 2010); ve (v) biyoçarın organik maddenin mikroorganizmalara maruz kalmasını

önlemesinden dolayı toprak organik azotunun mineralizasyonunun önlenmesi (Aguilar-Chavez ve ark., 2012) şeklinde özetlenebilir.

Yarayışlı besin elementi kapsamı düşük olmasına rağmen biyoçar uygulamalarından olumlu tepki alan araştırmacılar, bunu toksinlerin nötralize edilmesine (Wardle ve ark., 1998), özellikle su tutma kapasitesi gibi toprak fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesine (Carvalho ve ark., 2014) ve toprak sıkışmasının azaltılmasına (Chan ve ark., 2008) olan etkileri ile ilişkilendirmişlerdir. Biyoçarın toprağın su tutma kapasitesine ve adsorpsiyon kapasitesine etkisini değerlendiren araştırmacılar, elektron mikroskobu ile yaptıkları incelemede bu etkilerin biyoçarın oldukça gözenekli olan yapısından kaynaklandığını rapor etmişlerdir (Ogawa ve ark., 2006; Yu ve ark., 2006). Abel ve ark. (2013), kumlu topraklara ilave edilen biyoçarın toprağın hacim ağırlığını düşürdüğünü, toplam gözenekliliğini arttırdığını ve solma noktasında tutulan su miktarındaki artışla beraber toprağın yarayışlı su içeriğinin artışına neden olduğunu bildirmişlerdir. Üretildiği materyal ve üretim koşullarına bağlı olmakla birlikte biyoçar materyalinin hacim ağırlığının  $0.08 \text{ g cm}^{-3}$  ile (Gundale ve DeLuca, 2006)  $1.7 \text{ g cm}^{-3}$  (Oberlin, 2002) arasında değiştiği rapor edilmiştir. Toprakların hacim ağırlığının  $1.3 \text{ g cm}^{-3}$  ile  $2.0 \text{ g cm}^{-3}$  arasında değiştiği dikkate alındığında, böylesine düşük hacim ağırlığına sahip bir materyalin ilavesi ile toprağın hacim ağırlığının da azalması beklenmektedir. Bu nedenle de yapılan birçok araştırmada (Laird ve ark., 2010; Pereira ve ark., 2012), ilave edilen biyoçar miktarının artışı ile hacim ağırlığının azaldığı belirtilmiştir.

Mısır samanının  $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de piroliz ile üretilen biyoçarın  $20 \text{ ton ha}^{-1}$  ve  $30 \text{ ton ha}^{-1}$  dozları ile mısır veriminin artışı üst toprakta (0-10 cm) azalan hacim ağırlığı, artan toplam gözeneklilikle birlikte tutulan yüksek nem içeriği ile ilişkilendirilmiştir (Xiao ve ark., 2016b). Araştırmacılar ayrıca besin elementi durumunun iyileşmesinin kök gelişimini teşvik etmesi ile ince köklerin sayısının arttığını da belirterek bu durumun su adsorbsiyonunu iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Bunun neticesi olarak biyoçar ilave edilen uygulamalarda buğdayın tane veriminin önemli düzeyde yükseldiği rapor edilmiştir. Üç yıllık çalışma sonunda,  $20$  ve  $30 \text{ ton ha}^{-1}$  biyoçar uygulamalarında su

kullanım etkinliği %9.4 ve %12.3 oranında artarken tane veriminin de kontrole kıyasla %10.2 ve %14.2 oranında arttığı belirlenmiştir.

Bugüne kadar biyoçar uygulamasının toprak verimliliği ve bitki gelişimine etkisi çoğunlukla bir kez biyoçar uygulaması şeklinde çalışılmış ve raporlanmıştır. Farklı üretim sezonlarında üç yıl ardışık şekilde biyoçar uygulamasının pamuk verimine ve pamuğun lif kalitesine etkilerini araştıran Tian ve ark. (2018), siltli tın tekstürlü bir toprakta biyoçar uygulamasının pamuk gelişimi, toprak verimliliği ve N tutunmasını olumlu etkilediğini bildirmişlerdir. Pamuk verimi ve lif kalitesine en yüksek etkinin biyoçar uygulama dozu ve zamanı ile büyük oranda değişim gösterdiğini bildiren Tian ve ark. (2018), en yüksek verimi her üretim sezonunda en yüksek biyoçar dozu (20 t ha<sup>-1</sup>) uygulaması ile elde etmişlerdir. Biyoçar uygulamasının ilk 20 cm derinlikteki organik karbon, toplam N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ve yararılışlı K içeriklerinin önemli miktarda artışına neden olduğunu bildiren araştırmacılar, pamuk lif verimi kontrole kıyasla ilk yıl %8.0 ile %15.8, ikinci yıl %9.3 ile %13.9 ve üçüncü yıl ise %9.2 ile %21.9 arasında yüksek bulunmuştur.

### **2.3.3. Biyoçarın bitki hastalıklarına etkileri**

Biyoçar ilavesinin toprağın bitki gelişim ortamını iyileştirmesi ve hastalıkları baskılayarak bitki performansını arttırdığı ve bitki gelişimini teşvik ettiği bildirilmektedir (Jeffery ve ark., 2011; Kolton ve ark., 2017). De Tender ve ark. (2016), iki farklı üretim sisteminde, biyoçarın toprak ve substratın fiziko-kimyasal özellikleri, bitki gelişimi, hastalık hassasiyeti ve rizosfer mikrobiyolojisi üzerine etkilerini çalışmışlardır. Araştırmacılar çilek yetiştirilen peat ortamına meşe fıstığının 650 °C’de pirolizi ile elde edilen %3’lük biyoçarın ilavesinin i.) daha yüksek taze (%116.5 artış) ve kuru bitki ağırlığına (%114.3 artış), ii.) hem yapraklarında hem de meyvede mantar patojeni *Botrytis cinera*’ye daha düşük hassasiyete ve iii.) rizosfer mikrobiyolojisinde değişime yol açtığını bildirmişlerdir. Çeltik kavuzundan üretilen biyoçarın ginseng bitkisi (*Panax ginseng*) ve toprak organizmalarının *Cylindrocarpon destructans* ve *Fusarium solani*’nin neden olduğu kök çürüklüğu üzerine etkisini araştıran Eo ve ark. (2018), biyoçar uygulanan topraklarda biyoçar uygulanmayanlara kıyasla patojenik mantar oluşumunun bastırıldığını rapor etmişlerdir. Çeltik biyoçarının 5.2 Mg ha<sup>-1</sup>

uygulandığı topraklarda mantar nematodlarının çok yoğun olduğunu tespit eden Eo ve ark. (2018), mantar nematodlarının patojenik mantarlarla beslenmesinin mantar popülasyonunu bastırdığını belirtmişlerdir.

Rizosfere yapılan biyoçar ilavesi bakteri çeşitliliğine neden olurken, rizosfer bölgesinde yer alan mikroorganizmaların aktivitelerinde de önemli bir değişime yol açtığı belirlenmiştir. Kök bölgesindeki etkisinin yanında, yaprak mantar patojenlerine karşı etkili olabilecek çok çeşitli biyoçarların olduğu da rapor edilmiştir. Biyoçar toprağa uygulandığında domates ve biber bitkilerinin *Botrytis cinera* ve *Oidiopsis sicula*'ya karşı daha az hassas hale geldikleri görülmüştür (Elad ve ark., 2010). Benzer şekilde substrata biyoçar ilavesinin çilek bitkisinin *Botrytis cinera*, *Colletotrichum acutatum* ve *Podosphaera aphanis*'in neden olduğu 3 yaprak hastalığının şiddetini azalttığı da bildirilmiştir (Harel ve ark., 2012). Biyoçar ilavesi ile kök bölgesinde artan bakteri çeşitliliği ve popülasyonun karbonhidrat ve fenolik bileşiklerin tüketimini arttırdığı ve bu durumun fenolik bileşikleri parçalayan bakterileri teşvik ettiği rapor edilmiştir (Kolton ve ark., 2017).

#### **2.4. Biyoçarın Çevre Üzerine Etkileri**

Biyoçar, hem toprakta C depolanmasına katkı verdiği hem de azot oksit gazlarının salınımını azalttığından dolayı çevre için önemli bir katkı maddesidir. Toprağa ilave edilen biyoçarın besin elementlerinin ve ağır metallerin yıkanma oranlarını azalttığı ve sera gazlarının atmosfere çıkışını düşürdüğüne dair çalışmalar bulunmaktadır (Major ve ark., 2010; Singh ve ark., 2010). Biyoçarın toprak C ve N dinamikleri üzerine olan etkilerinin tatmin edici şekilde anlaşılması, biyoçar ilave edildikten sonra toprak C ve N stokları ve atmosfere çıkış ile ilgili olayların karmaşıklığından dolayı oldukça zordur.

##### **2.4.1. Biyoçarın karbon döngüsü, zenginleşmesi ve salınımına etkileri**

Yeryüzünde toprakta tutulan C miktarı (1,100 Gt; 1Gt=1,000,000 ton) atmosferdekenden (750 Gt) çok daha yüksek olduğundan (Sundquist, 1993), topraktan atmosfere yıllık ortalama 60 Gt CO<sub>2</sub> çıkışı gerçekleşmektedir. Atmosfere salınan bu CO<sub>2</sub> çoğunlukla toprakta mikroorganizmaların organik maddeyi parçalarken yaptıkları



solunum esnasında ortaya çıkmaktadır. Atmosferde artan CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun azaltılması için yapılabilecek en faydalı uygulamalardan bir tanesi biyokütlede fotosentez yolu ile depolanan CO<sub>2</sub>'in piroliz yolu ile biyoçar adı verilen daha kararlı bir C formuna dönüştürülmesidir (Spokas ve Reicosky, 2009). Biyoçar, toprak organik maddesine oranla daha fazla ve daha kararlı aromatik yapıda C içerdiğinden dolayı parçalanması da oldukça yavaş gerçekleşmektedir. Odundan üretilen biyoçarın toprakta kalma süresi 100 ile 1000 yıl arasında olduğu rapor edilmektedir. Bu süre çoğu toprak organik maddesinden 10 ile 1000 kat daha yüksektir. Bu nedenle, geleneksel olarak tarımda kullanılan organik materyallerden farklı olarak biyoçar, C'un zenginleşmesine ve toprağın kalitesinin olumlu etkilenmesine neden olacak bir katkı maddesidir (Lehmann ve Joseph, 2009; Verheijen ve ark., 2010). Piroliz işlemi yapılmayan biyokütlelerin C içerikleri yüksek olmasına rağmen yarılanma ömürlerinin oldukça kısa olduğunu belirten Grutzmacher ve ark. (2018)'da herhangi bir muameleden geçirilmeyen biyo kütleyle kıyasla biyoçarın toprak ortamında üç kat daha fazla C stabilize edebildiğini rapor etmişlerdir.

Son yıllarda atmosferik CO<sub>2</sub>'in azaltılması ile ilgili yapılan çalışmalarda, önemli miktarda biyoçar uygulamasına rastlanılmaktadır. Biyoçar uygulaması toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerinde önemli miktarda değişime neden olduğundan, topraktaki C ve N dinamiklerini de etkilemektedir (Van Zwieten ve ark., 2014). Yayımlanan araştırma raporlarında biyoçarın C depolamaya veya salınımına etkisi hakkında birbirleri ile çelişen sonuçlar bulunmaktadır. Biyoçar uygulamalarının sera gazlarının çıkışına etkisi konusunda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların birbirlerinden önemli düzeyde farklı olmasının temel nedenleri; kullanılan biyoçarların azot miktarları ile mikrobiyal aktivitenin miktarını etkileyecek glikoz miktarlarının farklı olmasıdır. Spokas ve Reicosky (2009)'de biyoçarın CO<sub>2</sub> emisyonuna etkisinde biyoçarın karakteristiklerinin ve toprak tipinin çok önemli olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar orman fidanı yetiştirilen toprak ve 3 biyoçar çeşidinin CO<sub>2</sub> emisyonunu arttırdığını, kullanılan diğer 13 çeşidin ise CO<sub>2</sub> çıkışını azalttığını bildirmişlerdir. Benzer bir çalışmada okaliptus odunu ve yaprakları, kâğıt endüstrisindeki atık çamur, tavuk gübresi, büyük baş hayvan gübresi gibi çeşitli biyokütlelerin 2 farklı sıcaklıkta pirolizi ile elde edilen biyoçarların toprakta kalma sürelerinin 90 ile 1600 yıl arasında

değişebileceği belirlenmiştir. Bu durumun uzun vadede tarımsal kaynaklı sera gazı salınımının önemli oranda azaltılmasını sağlayabileceği düşünülmektedir (Joseph ve ark., 2010).

Biyοçar aromatik yapıda kararlı C bileşiklerinden oluşmasına rağmen, toprağa uygulandıktan hemen sonra hareketli olan kısmın okside olması ile yüksek miktarda CO<sub>2</sub> çıkışı olduğu görülmüştür (Bruun ve ark., 2012). Benzer şekilde, biyoçar ilavesi ile CO<sub>2</sub> çıkışının kısa süreli inkübasyonlarda arttığı veya azaldığı ifade edilmesine rağmen (Steinbeiss ve ark., 2009), Sarkhot ve ark. (2012) çalıştıkları topraklara sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilen biyoçar ilavesinin C ve N gazlarının çıkışını önemli oranda azalttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar 8 haftalık inkübasyon sonunda, toprak+biyoçar ve toprak+zenginleştirilmiş biyoçar ilavelerinin her ikisinde de CO<sub>2</sub> çıkış miktarının önemli oranda azaldığını gözlemlemişlerdir. Toplam CO<sub>2</sub> çıkışı sırası ile %67 ve %68 oranında azalmıştır. Bu uygulamalar ile N<sub>2</sub>O çıkışı ise %26 oranında azaltılmıştır. Steinbeiss ve ark. (2009), yüksek miktarda azot katkılı biyoçar ilavesinin başlangıçta topraktan önemli düzeyde CO<sub>2</sub> kaybına neden olduğunu ve 4 haftalık inkübasyon sonunda bunun hızla azaldığını rapor etmişlerdir. Ancak azotça fakir glikoz ilavesinde CO<sub>2</sub> çıkışının önemli düzeyde etkilenmediği de görülmüştür.

Biyοçar uygulamaları ile karbon mineralizasyonunun önemli oranda azalması biyoçarın C zenginleştirme potansiyelini yansıtmaktadır. Uzun yıllar sonra dahi Terra Pretaları etraflarındaki topraklara kıyasla daha yüksek miktarda karbon içermesi, biyoçar ilavesi ile ortaya çıkan CO<sub>2</sub> çıkışının kısa süreli olduğunu ve toprağa ilave edilen biyoçarın uzun vadede karbon depolamaya negatif etkisi olmaksızın verimliliği arttıracığını göstermektedir (Sarkhot ve ark., 2012).

#### **2.4.2. Biyoçarın azot döngüsü, azot gazları salınımına ve azot yıkanmasına etkileri**

Biyοçarın toprakta C depolamaya etkisinin yanında gübreleme yapılan tarım arazilerinde N<sub>2</sub>O salınımına etkisini araştıran çok sayıda araştırma yayınlanmaktadır. Karbondioksite kıyasla küresel ısınmaya katkısı 298 kat daha yüksek olan N<sub>2</sub>O'nun atmosferde kalış süresinin de 100 yıl daha uzun olduğu bilinmektedir (IPCC, 2013).

Geçen yüzyılda tarım arazilerinde azotlu gübrelerin kullanımı nedeni ile atmosfere önemli miktarda N<sub>2</sub>O salınımı gerçekleştiği bildirilmektedir (Park ve ark., 2012).

Biyoçar ilavesinin toprakta N döngüsünü yavaşlattığını ve bu nedenle de N'un yıkanma ve gaz emisyonları şeklinde kaybını düşürdüğü belirtilmektedir (Riaz ve ark., 2017). Biyoçar topraktaki N<sub>2</sub>O üretimini, yüksek pH'sı nedeni ile kireçleme etkisi, toprağın su tutma kapasitesini arttırması, çözünmüş oksijen ile etkileşim, ortama bazı toksik ve önleyici bileşiklerin verilmesi, toprak mikroorganizmaları ile etkileşim (Cayuela ve ark., 2014), inorganik azotun adsorpsiyonu, toprak havalanmasının iyileştirilmesi (Brassard ve ark., 2016) nitrik formdaki azotun abiyotik yollar ile N<sub>2</sub> formuna dönüştürülmesi (Thomazini ve ark., 2015) ve denitrifikasyona neden olan ve tipik N<sub>2</sub>O indirgeyicilerinin oransal miktarlarının artması (Harter ve ark., 2016) gibi nedenlerle etkileyebileceği bildirilmektedir. Sarkhot ve ark. (2012) biyoçar ilavesinin 8 haftalık inkübasyonda N<sub>2</sub>O çıkışını önemli düzeyde azalttığını rapor etmişlerdir. Benzer şekilde Yanai ve ark. (2007)'da şehir atıkları ile ürettikleri biyoçarın N<sub>2</sub>O çıkışını %89 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Bu azalma, toprağın nem içeriği ve yüksek nem içeriğinde denitrifikasyon bakterilerinin engellenmesi ile ilişkilendirilmiştir. İki yıllık bir arazi çalışmasında dengeli bir gübreleme ve biyoçar uygulaması ile yağmura dayalı üretim sisteminde mısır veriminin sadece gübreleme yapılan uygulamaya kıyasla %23.7 oranında arttığını ifade eden Zhang ve ark. (2016), N<sub>2</sub>O salınımının da yarıya yakın oranda azaldığını bildirmişlerdir. Biyoçar uygulamalarının N<sub>2</sub>O çıkışına etkilerini araştıran Spokas ve ark. (2011) ve Van Zwieten ve ark. (2009)'da biyoçar ilave edilen topraklardan N<sub>2</sub>O çıkışının azaldığını rapor etmişlerdir. Bu konuda yapılan araştırma sonuçlarında farklı oranlarda N<sub>2</sub>O çıkışı rapor edilmiş olmasının temel nedeninin biyoçar materyallerindeki N konsantrasyonlarının farklı olmasına bağlanmıştır (Sarkhot ve ark., 2012). Araştırmacılar sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmiş biyoçarın da sera gazı emisyonunu önemli düzeyde azaltacağını ve karasal karbonu depolamayı arttıracığını açıklamışlardır. Biyoçar uygulaması ile havalanmanın iyileşmesi, methanojenik bakterilerin faaliyetlerinin azalmasına neden olacağından topraktan salınan CH<sub>4</sub> gazı miktarının da azalacağını göstermişlerdir. Biyoçarın nemi absorbe etmesi ve havalanmayı iyileştirmesi denitrifikasyon bakterilerinin faaliyetlerini sınırlandırmış ve N<sub>2</sub>O çıkışını azaltmıştır (Sarkhot ve ark., 2012).

Avustralya'da biyoçar ilavesinin Alfisol toprağında N<sub>2</sub>O emisyonunu %14 ile %73 oranında azalttığı rapor edilirken, Vertisol toprağında bu oranın %23 ile %52 arasında değiştiği bildirilmiştir (Singh ve ark., 2010). Aynı çalışmada NH<sub>4</sub> yıkanmasının ise %54 ile %94 arasında azaldığı belirtilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nin Georgia Eyaletinde tavuk gübresinin kompostlaştırılması esnasında biyoçar ilavesi yapan Steiner ve ark. (2010), NH<sub>3</sub> emisyonunun %64 ve toplam azot kaybının ise %52 oranında azaltıldığını rapor etmişlerdir. Laird ve ark. (2010) ise domuz gübresi ile birlikte verilen biyoçarın toplam azot kaybını sadece hayvan gübresi ilave edilen Mollisol toprağına oranla %11 oranında azalttığını ifade etmişlerdir.

Amonyanın insan kaynaklı emisyonu hem çevreye hem de ekonomiye zararlı olduğundan dolayı azaltılması gerekmektedir. Tarımsal üretimde; belirli sıcaklık altında ürenin hidroliz olması sonucu NH<sub>3</sub> oluşur. Örneğin; büyükbaş hayvanların idrarlarını yaptıkları alanlarda (Clough ve ark., 2003); hayvan dışıklarının toplandığı alanlarda ve gübre yığınlarında NH<sub>3</sub> oluşabilir. Biyoçar NH<sub>3</sub> oluşumu potansiyeli yüksek olan bu alanlara rahatlıkla uygulandığında oluşacak emisyonların en aza indirilmesi mümkün olabilir (Taghizadeh-Toosi ve ark., 2012). Tarımsal sistemlerdeki NH<sub>3</sub>'ün volatilizasyonu atmosferdeki NH<sub>3</sub>'in önemli bir kaynağıdır. Bu azot mineral gübre ve hayvan dışısındaki azotun %10'u ile %30'una denk gelmektedir. Tarımsal sistemlerden gübre kullanımı (11 Tg NH<sub>3</sub>-N yıl<sup>-1</sup>) ve hayvan üretimi (21 Tg NH<sub>3</sub>-N yıl<sup>-1</sup>) ile toplam 32.11 Tg NH<sub>3</sub>-N yıl<sup>-1</sup> yayılım olmaktadır. Yayılan NH<sub>3</sub> nihayetinde karada ve suda depolanarak N<sub>2</sub>O emisyonlarına neden olmaktadır. Bu birikim toprak ve suyun asitleşmesine ve bu ortamlardaki biyoçeşitliliğin kaybına da yol açtığı bilinmektedir (Beusen ve ark., 2008). Karbondioksite kıyasla daha fazla küresel ısınma etkisine sahip olduğundan NH<sub>3</sub> emisyonlarını ve N kayıplarını azaltacak uygulamalara gereksinim duyulmaktadır (Forster ve ark., 2007).

#### **2.4.3. Yüzey ve yüzey altı suları kirliliğine etkileri**

Ülkemizde büyük ölçekli işletmelerin sayısı son yıllarda artmaya başlamıştır. Yer altı sularının kirliliğinde hayvansal üretim yapan işletmelerin katkılarını içeren herhangi bir rapora rastlanmamakla birlikte, ülkemizde de bu tip bir sorunla karşılaşma olasılığı

yüksektir. Nitekim Sünal ve Erşahin (2012), “Türkiye’de Tarımsal Kaynaklı Yeraltı Suyu Nitrat Kirliliği” başlıklı çalışmalarında, bu konuya dikkat çekerek Mersin, İzmir, Ankara, Antalya ve Eskişehir’de yapılan çalışmalarda yer altı sularında nitrat konsantrasyonunun  $50 \text{ mg L}^{-1}$ ’yi aştığını belirtmişlerdir. Hayvansal üretim yapan işletmelerde ortaya çıkan sıvı atıklar yer altı ve yer üstü sularını önemli düzeyde kirletebilmektedir. Harter ve ark. (2014) tarafından yoğun süt sığırcılığı yapılan bir bölgede tarımsal kaynaklı nitrat ile oluşan yer altı suyu kirliliği ile ilgili olarak detaylı bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada araziye sıvı gübre ile birlikte yılda 127 Gg azot ilave edildiği ve bunun büyük bir kısmının yıkanarak yer altı suyuna karıştığı belirlenmiştir. Araştırmada, Kaliforniya Eyaletinde yaşayan insanların %57’sinin yer altı sularına bağımlı oldukları ancak 2006 ve 2010 yıllarında yer altı suyu nitrat seviyesinin sınır olarak kabul edilen ( $45 \text{ mg L}^{-1}$ )’yi aştığını rapor edilmiştir. Bu seviyede devam ettiği takdirde 2050 yılında kirlilikten etkilenecek nüfusun %80’i bulacağı ifade edilmiştir.

Sera gazlarının salınımlarının azaltılmasının yanında, biyoçarın toprakta var olması suyun kalitesinin iyileşmesine, toprak verimliliğinin artmasına, tarımsal üretimin yükselmesine (Laird, 2008) ve tarım arazileri üzerindeki baskıların azaltılmasına da neden olacaktır. Çeşitli çalışmalarda organik ve inorganik gübrelerin biyoçar ile karıştırılmasının ürün performansını arttırdığı rapor edilmiştir. Bu durum özellikle yıkanma potansiyeli yüksek olan topraklarda toprağa karıştırılan biyoçarın besin elementi tutunmasını artırması ile ilişkilendirilmiştir (Lehmann ve ark., 2006; Steiner ve ark., 2008). Biyoçar üretimi ile tarımsal atıkların ayrışması esnasında serbest kalan besin elementlerinin yüzey akışı ile uzaklaşması önlenebileceği gibi toprağın fiziksel ve kimyasal koşullarının düzeltilmesi ile üretkenliğinin artırılması mümkün olabilecektir (Ghezzehei ve ark., 2014). Lehmann ve ark. (2003), bir lizimetre çalışmasında inorganik ve organik gübrelerin kömür ile birlikte uygulanmasının çeltik yetiştiriciliğinde yıkanan azot miktarını azalttığını ve bitki tarafından azot alımını arttırdığını rapor etmişlerdir. Ancak Lehmann ve ark (2003)’a göre (%20 ağırlık olarak) daha düşük oranda (%3.2) biyoçar kullanan Doydora ve ark. (2011), benzer bir etki göremediklerini bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmalar, biyoçar uygulamasının besin elementlerinin (özellikle nitrat) ve kirleticilerin kök bölgesinin altına yıkanmasını azaltabileceğini göstermiştir. Biyoçarın besin elementlerinin yıkanmasına etkisi i.) biyoçar uygulaması ile su ve besin elementlerinin tutunması ve yarayışlılıklarının artması, ii.) besin elementi kullanım etkinliğinin artması, iii.) toprak biyoçar karışımında iç reaktif yüzey alanının artması, iv.) bitki su tüketiminin artmasından dolayı besin elementlerinin bitki kök bölgesinin altına inişinin azalması ve v.) bitki gelişiminin artması ile bitki besin elementi kullanımının artması şeklinde özetlenmiştir (Verheijen ve ark., 2010).

Tavuk gübresinin direk olarak toprağa uygulanması, volatilizasyon ile  $\text{NH}_3$  kaybına ve yüzey akış ile yüzey sularına fosfor karışmasına yol açabilir. Doydora ve ark. (2011), 400 °C'de elde edilmiş asit karakterli bir biyoçar ile karıştırılarak verilen tavuk gübresinin pH'sının düştüğünü bildirmişlerdir. Bu durumda tavuk gübresindeki fosforun toprakta tutunacağını ve fosforun yüzey akış ile yıkanmasının azalacağını ifade etmişlerdir. Çam talaşı ve fıstık kabuğundan üretilen asit karakterli biyoçarların  $\text{NH}_3$  kaybını yüzeye uygulamada sırası ile %88 ve %63 ve karıştırıldığında %56 ve %60 oranında azalttığı rapor edilmiştir. Ancak, araştırmacılar asitleştirilmiş biyoçarın P'un yüzey akışına önemli bir etki yapmadığını görmüşlerdir.

Laboratuvar koşulları altında, yüzeye uygulandığında tavuk gübresindeki toplam azotun %4 ile %60'ı kadarının kaybolduğu rapor edilmektedir (Brinson ve ark., 1994). Tavuk gübresinin biyoçar ile birlikte karıştırılması ile pH'sının düşürülmesi sonunda  $\text{NH}_4$ 'un bağlanacağı yüzey artacağından dolayı  $\text{NH}_3$  şeklinde kayıpta azalacaktır (Lehmann ve ark., 2006). Doydora ve ark. (2011), 21 günlük inkübasyon sonunda yüzeye uygulanan tavuk gübresinden  $226 \mu\text{g N g}^{-1}$  toprak volatilize olurken, pH'sı düşürülen çam talaşı ve fıstık kabuğu biyoçarları ile birlikte uygulanan tavuk gübresinden 83 ile  $95 \mu\text{g N g}^{-1}$  kayıp olduğunu belirlemişlerdir. İki farklı biyoçar uygulaması ile oluşan kaybın istatistiksel olarak önemli olmadığı bildirilirken,  $\text{NH}_3$  kaybının muhtemel nedenleri; pH'nın düşmesi, hidrojen tamponlama kapasitesinin artması ve kation değişim kapasitesinin artması şeklinde açıklanmıştır.  $\text{NH}_3$ 'un volatilizasyonu pH'ya bağımlı bir olaydır ve pH 7.0 civarında olduğunda  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ 'a dönüşmektedir. Biyoçar ilavesi ile tavuk gübresinin pH'sı 8.55'den 7.26'ya düşmüştür.

Bu durumda muhtemelen  $\text{NH}_4\text{N}$ 'unun  $\text{NH}_3$  formuna dönüşmesini azalttığından kayıp miktarı düşmüştür.

Biyočar ilave edilmemiş ve doğal olarak düşük fosfor içeren bir toprağın yaklaşık  $600\text{ mg kg}^{-1}\text{ PO}_4^{-3}$  adsorbe edebildiği belirtilirken, biyoçarın  $40\text{ mg L}^{-1}$  gibi düşük konsantrasyonlu bir çözeltilerden dahi  $>3000\text{ mg kg}^{-1}\text{ PO}_4^{-3}$  adsorbe edebileceği bildirilmiştir (Lehman, 2007). Biyoçarın bu yüksek sorbe etme kapasitesi besin elementlerince zenginleşmiş olan çözeltilerden besinlerin uzaklaştırılması adına oldukça değerlidir. Sarkhot ve ark. (2013), biyoçarın bir gramının  $5\text{ mg NH}_4$  ve  $0.2\text{ mg PO}_4^{-3}$ 'dan daha fazlasını sorbe edebileceğini göstermişlerdir. Bu şekilde besin elementlerince zenginleştirilen biyoçardaki besin elementlerinin bitkiler için yavaş yavaş yararılı bir besin kaynağı olacağı bildirilmektedir (Spokas ve ark., 2011; Biederman ve Harpole, 2013). Benzer bir çalışmayı yapan Ghezzehei ve ark. (2014)'da  $300\text{ }^\circ\text{C}$ 'de elde ettikleri biyoçar materyalinin süt sığırcılığı işletmesinden alınan gübrenin sıvı kısmında yer alan  $\text{NH}_4$ 'un %20 ile %43 ve fosforun ise %19 ile %65'ini sorbe edebileceğini göstermişlerdir.

## 2.5. Biyoçarın Toprak Kalitesine Etkileri

Biyočarın temel bileşenleri; karbon, uçucu maddeler, mineral madde (kül) ve nemdir (Antal ve Gronli, 2003). Biyoçarın bileşenlerinin oransal miktarları ile fiziksel ve kimyasal özellikleri tarımsal ürün atığı, kereste atığı, şehir atığı, hayvan gübresi gibi tercih edilen biyokütlenin doğası ve temel olarak sıcaklık ve süre gibi piroliz işleminin gerçekleştirildiği koşullara bağlı olarak büyük değişkenlikler göstermektedir (Lehmann, 2007; Ueno ve ark., 2007; Brown, 2009; Chan ve Xu, 2009). Biyoçarın özelliklerinin ne olacağını belirleyen koşullar aynı zamanda uygulandığı ortamdaki etkinliğini ve topraktaki sonunu belirlemektedir (Brown, 2009). Ham maddelerin heterojen yapısı ve piroliz esnasında meydana gelen bir dizi kimyasal reaksiyon, üretilen her bir biyoçarın kendine özgü bir yapı ve kimyasal özellik kazanmasına neden olmaktadır (Demirbas, 2004). Bu özellikler aynı zamanda biyoçarın ne tip araziler için uygun olduğu veya olmadığına anlaşılmasına da yardımcı olurken doğadaki kaderini de belirlemektedir (Downie, 2009). Örneğin ağaç odunundan yapılan biyoçarlar daha kabadır ve daha dayanıklıdır (Winsley, 2007). Bunun yanında ürün atıkları, hayvan gübresi ve deniz

bitkilerinden, odunsu ham maddelere kıyasla daha ince ve daha dayanıksız biyoçarlar üretilebilmektedir. Bu biyoçarlar besin elementlerince de zengin olduklarından dolayı mikroorganizmalarca kolaylıkla parçalanabilmektedir (Sohi ve ark., 2009).

Ham madde içerisindeki biyoçarın 250-350 °C'deki sıcaklıkta bozulması esnasında önemli miktarda uçucu bileşik kaybolur ve geride amorf olan katı bir materyal kalır. Sıcaklık artmaya başladığında uçucu bileşiklerin kaybı da artar. Öncelikle su, ardından hidrokarbonlar, katran buharı, H<sub>2</sub>, CO ve CO<sub>2</sub> kaybı bunu takip eder (Baldock ve Smernik, 2002; Demirbas, 2004). Bu noktada alkil ve O-alkil C, aril C'na dönüşür. Poli aromatik grafin tabakalar 330 °C civarında yatay olarak genişlemeye başlar ve zamanla bunlar da yıkılır. Asıl karbonizasyon işlemi ise 600 °C'nin üzerinde gerçekleşir. Karbonizasyon, C olmayan atomların çoğunun uzaklaşması ile dikkati çeker ve bunun neticesinde C içeriği göreceli olarak artar. Bazı odunsu hammaddelerden üretilen biyoçarlarda C içeriği ağırlık olarak %90'ları bulabilmektedir (Antal ve Gronli, 2003; Demirbas, 2004).

### **2.5.1. Biyoçarın kimyasal özellikleri ve kimyasal toprak özelliklerine etkileri**

Ham maddeleri farklı olmasına rağmen üretilen biyoçarların yüksek karbon içeriği ve kuvvetli aromatik yapıları en önemli ortak özellikleridir (Sohi ve ark., 2009). Bu özelliklerinin biyoçarların kimyasal kararlılıklarına neden olduğu bildirilmiştir. Piroliz işlemi esnasında biyokütlerdeki kimyasal bağların kırılması ve yeniden düzenlenmesi dış yüzeylerde ve gözeneklerin yüzeylerinde (Van Zwieten ve ark., 2009) çok sayıda fonksiyonel grubun oluşmasına neden olmaktadır (Harris ve Tsang, 1997). Bu grupların bir kısmı elektron verici diğer bir kısmı ise elektron alıcı olduklarından dolayı iki özelliğin aynı anda olması biyoçarın asitten bazike, hidofilikten hidrofobiliğe çok farklı özellikler kazanmasına neden olmaktadır (Amonette ve Joseph, 2009). Biyoçar uygulaması çoğunlukla toprak pH'sının artışına ve katyon değişim kapasitesinin (KDK) artmasına neden olduğundan dolayı, başta fosfor olmak üzere bir kısım besin elementinin yararışlılığına olumlu etki yapabilmektedir (Van Zwieten ve ark., 2010).

#### **2.5.1.1. Besin elementi kapsamı ve etkileri**



Biyoçar ile ilave edilen mikro ve makro besin elementlerinin yararlılığı biyoçarın pH, yüzey alanı, gözeneklilik, KDK ve biyoçar ilave edilen toprağa besin elementlerinin transferi gibi birçok fiziko kimyasal özelliğine bağlıdır (DeLuca ve ark., 2009). Biyoçarın kendisi de direk olarak besin elementi kaynağı olarak düşünülebilir. Biyoçarların azot (N), fosfor (P), potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve kükürt (S) gibi makro elementler ile birlikte birçok mikro besin elementini içerdikleri rapor edilmiştir (Gaskin ve ark., 2008). Bu nedenle de birçok çalışmada biyoçar uygulaması ile birlikte besin elementi yararlılığının ve bitkilerin besin elementi alımlarının arttığı bildirilmiştir (Gaskin ve ark., 2010; Hossain ve ark., 2010).

Biyoçar üretimi esnasında biyokütle içerisindeki materyallerin bir kısmı volatilizasyon ile uzaklaşır. Sıcaklık 100 °C olduğunda materyal içerisindeki C değişmeye ve belirli bileşenler uzaklaşmaya başlar. Materyal içerisindeki N ve S'ün önemli bir kısmı 200 ve 375 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda volatilize olurken, K ve P ise 700 ve 800 °C arasında buharlaşarak uzaklaşır (DeLuca ve ark., 2009). Biyoçarların büyük bir kısmı 450 ile 550 °C arasındaki sıcaklıklarda üretildiğinden N ve S bakımından genelde yetersizdirler. Bununla birlikte, N açısından zengin olan hayvansal atıklardan düşük sıcaklıklarda üretilen biyoçarların orijinal materyaldeki N'un %50'sini ve S'ün ise tamamını tutabildiği rapor edilmiştir. Bu nedenle düşük sıcaklıkta üretilen hayvansal atıklardan elde edilen biyoçarların yüksek sıcaklıkta odunsu materyallerden üretilen biyoçarlara göre daha fazla besin elementi içerdikleri belirtilmektedir (Bridle ve Pritchard, 2004). Ancak biyoçar içerisinde tutulan N ve S, organik moleküllerin yapısında bulunduğundan tamamı piroliz öncesinde olduğu gibi yararlı değildir (Chan ve Xu, 2009). Zira %6.4 toplam N içermesine rağmen atık çamurundan elde edilen biyoçarın 56 günlük inkübasyon sonunda ihmal edilebilir düzeyde mineral N saldığı belirlenmiştir (Bridle ve Pritchard, 2004). Bununla birlikte biyoçarların yararlı K içeriğinin yüksek olduğu ve uygulama ile birlikte topraktaki yararlı K konsantrasyonunun ve K alımının arttığı bildirilmiştir (Lehmann ve ark., 2003).

Farklı materyaller ve koşullarda üretilen biyoçarların C içeriğinin 172 g kg<sup>-1</sup> ile 905 g kg<sup>-1</sup> (Varyasyon Katsayısı CV: %106.5) arasında değiştiği belirtilmiştir. Bu değişim aralığının toplam N için 1.8 g kg<sup>-1</sup> ile 56.4 g kg<sup>-1</sup>, toplam P için 2.7 g kg<sup>-1</sup> ile 480 g kg<sup>-1</sup> ve toplam K için 1.0 g kg<sup>-1</sup> ile 58 g kg<sup>-1</sup> arasında değiştiği ve hepsinde CV

değerinin %100'den yüksek olduğu bildirilmiştir. Özellikle tavuk gübresi gibi hayvansal atıklardan elde edilen biyoçarların P içeriğinin bitkisel kökenli biyo-kütleye oranla çok daha yüksek olduğu belirtilmektedir (Chan ve Xu, 2009). Farklı organik atıklardan elde edilen biyoçarların besin elementi içerikleri farklı olduğu gibi aynı tür atıklardan elde edilen biyoçarların besin elementi içeriklerinde de büyük farklılıklar olabileceği rapor edilmiştir. Örneğin, Chan ve ark. (2007) tavuk gübresinden elde edilen biyoçarın N içeriğini  $20 \text{ g kg}^{-1}$  olarak rapor ederken Lima ve Marshall (2005) iki farklı tavuk gübresinden elde edilen biyoçarların sırası ile  $7.5$  ve  $6.0 \text{ g N kg}^{-1}$  içeriğini rapor etmişlerdir. Tamamı tavuk gübresi olmasına rağmen farklılığın temel nedeni, kullanılan ham maddenin kalitesi ve piroliz koşullarıdır. Zira, Lima ve Marshall (2005) tavuk gübresini  $700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de piroliz ederken Chan ve ark. (2007)  $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de pirolize tabi tutmuşlardır. Farklı üretim tesislerinden elde edilen tavuk gübrelerinin piroliz sıcaklıklarının farklılığı N içeriklerinin önemli düzeyde değişmesine yol açmıştır.

Odun ve kabuk türü materyallerden elde edilen biyoçarların C/P ve C/N oranlarının oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir. Bunun aksine, hayvan gübresi, ürün atıkları ve gıda atığı olan materyallerden elde edilen biyoçarlarda ise bu oranların önemli düzeyde düşük olduğu ve özellikle hayvan gübresi kaynaklı biyoçarların P ve N içeriklerinin yüksek olduğu bildirmiştir. De Luca ve ark. (2009)'da yüksek sıcaklıkta ( $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) elde edilen biyoçarların genel olarak yüksek pH, EC ve ekstrakte edilebilir  $\text{NO}_3$  içerdiğini, düşük sıcaklıkta ( $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) elde edilen biyoçarların ise daha yüksek ekstrakte edilebilir fosfor,  $\text{NH}_4$  ve fenoller içerdiğini rapor etmişlerdir. Magnezyum, Ca ve Mn gibi elementlerin uzaklaşması için ise çok daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç olduğu ( $1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde) ve bu elementlerin göreceli olarak yüksek olması birçok biyoçardaki yüksek pH'yı açıklamaya yeterli olduğu belirtilmiştir (Knoepp ve ark., 2005).

Subedi ve ark. (2016a) tavuk gübresi, domuz gübresi ve kivi budama atığından (odun) üretilen biyoçarı %2 oranında uyguladıkları denemenin sonunda (150 gün) kumlu toprakta kontrole kıyasla en yüksek toprak C artışının (%198) odun biyoçarından olduğunu ve bunu %116'lık artışla domuz gübresinden  $400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de üretilen biyoçar uygulamasının takip ettiğini bildirmişlerdir. Biyoçar ilave edilen topraklarda N tutunmasının artması, N'un mikroorganizmalar tarafından immobilize edilmesine neden

olur. Bu ortamda karbonun yüksek miktarda olmasından nitrat döngüsünün artmasına yol açar. Biyoçar ilavesi ile (50 g kg<sup>-1</sup>) fasulye yetiştirilen alanda biyolojik azot fiksasyonunun arttığı, C:N oranının iki katına çıktığı ve azot alımının %50 oranında azaldığı rapor edilmiştir (Rondon ve ark., 2007). Biyoçarın C:N oranı yüksek olduğundan dolayı, biyoçarın ayrışması esnasında ortaya çıkan N immobilize olacaktır. Bu nedenle biyoçar ilave edilen topraklarda bitkilerin N alımı azalır ve bitkilerde N noksanlığı belirtileri görülür (Asai ve ark., 2009; Lehmann ve ark., 2003; De Tender ve ark., 2016). Parçalanmış mısır saplarının 400 °C’de pirolizi ile elde edilen biyoçarı uygulayan Liu ve ark. (2017a), biyoçar ilavesinin toprağın NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve çözünmüş organik karbon içeriklerini sırası ile %50 (P < 0.001), %29 (P < 0.033) ve %15 (P < 0.04) oranında azalttığını bildirmişlerdir. Bu sonuçların aksine Subedi ve ark. (2016a) düşük sıcaklıkta üretilen (400 °C) hayvan gübresi biyoçarını uyguladıkları çavdarın azot alım etkinliğinin kumlu tınlı ve kumlu tekstüre sahip topraklarda arttığını bildirdiler. Clough ve ark. (2013), düşük sıcaklıkta üretilen hayvan gübresi ve biyo katılardan üretilen biyoçarların aminoasitler gibi hidrolize olabilen organik N içerdiğini rapor etmişlerdir. Bu organik N kaynakları mikroorganizmalar tarafından mineralize olabilirler ve böylece dolaylı olarak yarayışlı olabilir ve hatta direk olarak bitki kökleri tarafından alınabilirler. Bu hidrolize olabilen N artan piroliz sıcaklığı ile birlikte azalmaktadır (Hossain ve ark., 2011; Wang ve ark., 2012).

Mısır koçanı biyoçarının ilave edildiği tınlı kumlu toprakta P konsantrasyonunda istatistiksel olarak önemli bir değişme görülmemesine rağmen, ince tınlı toprakta istatistiksel olarak önemli bir artış tespit edilmiştir (Nelson ve ark., 2011). Araştırmacılar, biyoçar uygulaması sonrası P miktarında kısa dönemde görülen bu artışın biyoçarın P fiksasyonunu engellemesi veya gübrelemeden sonraki çökeltme reaksiyonlarının önlenmesi ile ilişkili olabileceğini açıklamışlardır. Benzer şekilde orman yangınlarının ardından kömürleşen biyokütle tarafından P’un adsorbe edilmesi ve çözünmeyen Ca-fosfatların oluşumu ile P’un yarayışlılığının azaldığı rapor edilmiştir (Beaton, 1959). Biyoçarın yüksek miktarda P adsorbe ettiğine dair konu Lehmann ve ark. (2006) tarafından da teyit edilmiş ve siyah keçi boynuzu biyoçarının fosfat adsorbe kapasitesini 3 g kg<sup>-1</sup> olarak bildirmişlerdir. Bu çalışmaların aksine, Subedi ve ark. (2016a), 150 günlük denemenin sonunda çavdar yetiştirilen siltli tınlı toprakta %2’lik

domuz gübresi biyoçarının (600 °C) kontrole kıyasla yarayışlı P konsantrasyonunu (ortalama 106.4 mg P kg<sup>-1</sup>) ortalama 20.8 mg kg<sup>-1</sup> arttığını belirlemişlerdir. Kumlu toprakta da kontrol ve odun biyoçarına kıyasla hayvan gübresi biyoçarları uygulamasında P konsantrasyonu önemli düzeyde artmıştır.

Değişebilir K konsantrasyonu siltli tınlı toprakta tavuk gübresi (600 °C) ve domuz gübresi (400 °C) biyoçarları uygulandığında önemli düzeyde artış gösterirken, kumlu toprakta 400 ve 600 °C’de üretilen tüm hayvan gübresi biyoçarları değişebilir K konsantrasyonunu önemli düzeyde arttırmıştır. Tarla toprağına %3 oranında ilave edilen meşe fıstığı biyoçarı P, K, Ca ve Mg gibi makro besin elementlerinin yarayışlı konsantrasyonlarında önemli düzeyde artışa neden olmuştur. Potasyum konsantrasyonu diğer besin elementlerinin aksine %1’lik karışımında da artmıştır (De Tender ve ark., 2016). Subedi ve ark. (2016a) da siltli tın toprağa uygulanan tüm hayvan gübresi biyoçar uygulamalarının değişebilir Ca ve Mg konsantrasyonlarını önemli düzeyde arttırdığını bildirdiler. Kumlu toprakta ise uygulanan hiçbir biyoçarın değişebilir Ca üzerine etkisi gözlemlenmemiş, bunun aksine kontrole kıyasla Ca konsantrasyonunda düzenli bir azalış tespit edilmiştir. Kalsiyumun aksine tüm hayvan gübresi uygulamalarında değişebilir Mg konsantrasyonu önemli düzeyde artış göstermiştir.

Biyoçarın amonyum (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) ve nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)’tan oluşan toprak inorganik azot kapsamı üzerine etkileri ile ilgili raporlar birbirleri ile çelişmektedir. Elli farklı çalışmada 1080 deneme sonucunda 2010-2015 yılları arasında yayınlanmış raporları inceleyen Nguyen ve ark. (2017), deneme koşullarından bağımsız olarak biyoçar uygulamalarının NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N’unu yaklaşık %11±2.0 ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N’unu %10.0±1.6 oranında azalttığını belirlemişlerdir. Bu çalışmaların çoğunluğunun uygulama yapıldıktan sonraki bir yıl içerisindeki ölçümleri yansıttığını açıklayan araştırmacılar, inorganik azot miktarının biyoçarın uygulandığı toprağın özelliklerine, biyoçarın piroliz sıcaklığına, uygulama oranına, gübre tipine ve toprak pH’sına bağlı olarak değişeceğini bildirmişlerdir. Biyoçar, NH<sub>4</sub> kaynaklı bir gübre ile birlikte uygulandığında ise biyoçarın tek başına uygulandığı duruma göre inorganik azot kaybının daha fazla olduğu yorumu yapılmıştır. Ancak biyoçar organik gübreler ile birlikte uygulandığında inorganik azot miktarının arttığı ifade edilmiştir.

Biyoçar uygulamasının P üzerine olan etkilerinin yarayışlı N üzerine olan etkilerine göre daha küçük olduğu da bildirilmiştir. Azot yarayışlılığı %2.0'lik biyoçar uygulaması ile 5 ile 10 mg N kg<sup>-1</sup> düzeyinde azalma göstermiştir. Biyoçar ilave edilen toprakta 3. günde NO<sub>3</sub> konsantrasyonu azalmış ve deneme boyunca bu düşük düzeyde kalmıştır. Bu nedenle biyoçar uygulamasından sonra bitkisel üretimde verimliliği sağlayabilmek için 10 ile 20 kg N ha<sup>-1</sup> ilave edilmesi gerektiği belirtilmiştir (Nelson ve ark., 2011). Gundale ve De Luca (2007) ve Deenik ve ark. (2010)'da benzer şekilde biyoçarın N'u immobilize ettiğini ve gübresiz uygulandığında verim düşüşüne neden olduğunu rapor etmişlerdir. Lehmann ve ark. (2002) ise toprağa saf bir şekilde biyoçar uyguladıklarında *Inga edulis* fidelerinin gelişimlerinin azaldığını görmüşlerdir. Araştırmacılar, biyoçar uygulamasının P ve K'un yarayışlılığını arttırdığını, bununla birlikte bitkilerin N ve Mg alımlarının azaldığını bildirmişlerdir. Biyoçar ile birlikte mineral gübre kullanımı, biyoçarın NH<sub>4</sub> tutumunu artırarak kaybını azalttığından bitki N alımını arttırdığı bildirilmektedir. Van Zwieten ve ark. (2010), 10 ton ha<sup>-1</sup> biyoçar ile birlikte gübre uygulandığı vakit N alımının artmasından dolayı buğday veriminin de %250 oranında arttığını rapor etmişlerdir. Bunun aksine bir başka çalışmada, tavuk gübresinden üretilen yüksek N içeriğine sahip biyoçar uygulandığında turpun kuru madde miktarı gübre kullanılmadığı halde %42 ile 96 arasında arttığı rapor edilmiştir (Chan ve ark., 2008).

Sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilen biyoçar uygulamaları net amonifikasyon, nitrifikasyon ve mineralizasyon miktarını kontrole göre önemli miktarda azaltmıştır (Sarkhot ve ark. 2012). Toprak+biyoçar ve toprak+sıvı gübre ile zenginleştirilmiş biyoçar uygulamalarının net amonifikasyonu  $\geq$ %220 oranında azalttığını bulmuşlardır. Bu iki uygulamada da inorganik NH<sub>4</sub> ve NO<sub>3</sub> miktarları ise kontrole göre (sadece toprak) önemli düzeyde düşük olmuş ancak farklılık istatistiksel olarak önemli düzeyde farklı bulunmamıştır. Biyoçar uygulamaları ile NO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub> konsantrasyonlarının azalmasının nedeni ise immobilizasyondan ziyade biyoçar yüzeylerinde gerçekleşen adsorpsiyon olarak açıklanmıştır.

Düşük sıcaklıkta üretilen 1 ton biyoçarın 8.7 kg NH<sub>3</sub>-N tutabildiği gösterilmiştir. Tipik bir tavukçuluk işletmesi yılda 1135 kg NH<sub>3</sub> üretmektedir ki, bunu

uzaklaştırabilmek için 130 ton biyoçara gereksinim duyulmaktadır. Bir mera için yıllık 200 kg ha<sup>-1</sup> azotun bitki gereksinimini karşılayacağı varsayımı ile hareket edildiğinde işletmede kullanılan ve NH<sub>3</sub> adsorbe eden biyoçar ile potansiyel olarak 24 ha arazinin azot gereksiniminin karşılanacağı belirlenmiştir (Ritz ve ark., 2004). Amonyagın araziye direk olarak enjekte edildiği koşullarda toprakta serbest halde çok fazla NH<sub>3</sub> olmaktadır. Bu NH<sub>3</sub>'ün volatilize olma potansiyeli ise yüksektir. Eğer daha önce toprağa uygulanan biyoçar NH<sub>3</sub>'ü adsorbe ederse bu biyoçar bitkiler için yavaş yavaş bir N havuzu olarak görev yapacaktır (Taghizadeh-Toosi ve ark., 2012). Biyoçar tarafından adsorbe edilen NH<sub>3</sub>'ün biyo yararıllılığını anlayabilmek için <sup>15</sup>N stable izotopları kullanılmıştır. Yapılan çalışmada biyoçar tarafından adsorbe olunan NH<sub>3</sub>'ün toprağa uygulandığı vakit bitkiler için bir N kaynağı olabileceği gösterilmiştir. Bitkinin dokusunda ve toprakta tespit edilen <sup>15</sup>N izotoplarının artan kuru madde verimini desteklediği ve N'un bitkiler için yararlı olduğu açık bir şekilde gösterilmiştir (Taghizadeh-Toosi ve ark., 2012).

#### **2.5.1.2. Biyoçarın pH'sı ve toprak reaksiyonuna etkileri**

Üretildiği materyalin özellikleri ve piroliz koşullarına bağlı olarak biyoçarların besin elementi ve fiziksel özelliklerinde büyük miktarlarda değişkenlik görülmesine rağmen en önemli ortak özellikleri materyalin pH'sıdır (Chan ve Xu, 2009). Tipik olarak biyoçarların pH'ları  $\geq 7.0$ 'dir. Ancak Lehmann (2007), pH'nın 4 ile 12 arasında değişebileceği bir dizi biyoçar üretiminin mümkün olduğunu açıklarken, Cheng ve ark. (2006)'da yaklaşık 70 °C'de 4 ay gibi kısa bir inkübasyon sürecinin ardından biyoçarın pH'sının 2.5 birim düşürülebileceğini göstermişlerdir.

Biyoçarın alkali pH'sı üretim sıcaklığı ve ham madde tipi ile pozitif bir şekilde ilişkilidir. Genel olarak odun kökenli ham maddelerden üretilen biyoçarların pH'ları ürün atıkları ve hayvan gübresinden üretilen biyoçarların pH'larından daha yüksektir (Gul ve ark., 2015). Biyoçar ilave edilen topraklarda pH'nın yükselmesinin bir diğer nedeni biyoçar yüzeylerinde yer alan negatif yüklü fenolik, karboksil ve hidroksil gruplarının toprak çözeltisindeki H<sup>+</sup> iyonlarını bağlaması ile çözeltideki H<sup>+</sup> iyonları konsantrasyonunu azaltmasıdır (Brewer ve Brown, 2012). Biyoçardan kaynaklanan silikatlar, karbonatlar ve bikarbonatlarda çözeltideki H<sup>+</sup> iyonlarını bağlar ve çözeltiden H<sup>+</sup> iyonlarını uzaklaştırarak toprak pH'sının artmasına neden olurlar.

Dünya’da yer alan toprakların büyük bir kısmı asit karakterlidir ( $pH < 5.5$ ) ve toprakların üretkenlikleri ile ilgili en önemli sorunların başında toprak asitleşmesi gelmektedir. Asit topraklar veya asitleşme eğilimindeki topraklar genellikle düşük verimlilik düzeyine sahiptirler. Biyoçarların tarımda toprak özelliklerinin özellikle de asitleşme eğilimindeki ve doğal olarak asit olan toprakların iyileştirilmesinde önemli bir potansiyeli olduğu rapor edilmektedir (Dai ve ark., 2017). Biyoçarların çoğunun pH’sı nötr veya baziktir. Biyoçarın kireçleme etkisi asit karakterli toprakların verimliliklerinin artmasının temel nedeni olarak kabul edilmektedir. Biyoçardaki pH’nın düşük olması KDK’yı düşürür ve besin elementlerinin yayılmasını azaltır. Tropik bölgelerde bulunan toprakların çoğunda biyoçar ilavesi alüminyum toksikliğinin azalmasına neden olmuştur (Verheijen ve ark., 2010). Denemelerin büyük bir kısmında, pH’sı düşük olan arazilere biyoçar uygulaması ile başlangıçta pH’nın artış gösterdiği görülmüştür. Uzun süreli bir çalışmada Gaskin ve ark. (2010) biyoçar uygulaması ile başlangıçta toprak pH’sının arttığını ancak zamanla pH’nın yeniden azalmaya başladığını rapor etmişlerdir. Nelson ve ark. (2011)’da mısır koçanının 305 °C’de 20 dk. süre ile hidrotermal pirolizinden elde ettikleri biyoçarı uyguladıkları tınlı kum ve ince tınlı tekstüre sahip iki ayrı toprakta gerçekleşen nitrifikasyon nedeni ile pH’nın önemli düzeyde düştüğünü rapor etmişlerdir. Bu durumda, sürdürülebilir kireçleme etkisi arzu edildiğinde biyoçarın düzenli olarak uygulanması gerekebilir.

Alkali topraklar için biyoçarın yüksek pH’ya sahip olması arzu edilmeyen bir etki yaratabilir (Verheijen ve ark., 2010). Meşe, kayın gibi ağaçların odunlarının 500-600 °C’de hızlı pirolizi ile elde edilen biyoçarın toprağa ilavesinin toprak pH’sını 0-15 ve 15-30 cm derinliklerde sadece NPK veya sıvı hayvan gübresi uygulamalarına kıyasla ortalama 0.3-0.8 birim arttırdığı görülmüştür (Bera ve ark., 2016). Toprak pH’sındaki bu artışın inorganik karbonat ve organik anyonlardan kaynaklandığı ifade edilmiştir (Yuan ve ark., 2011). Benzer şekilde, Hansen ve ark. (2017) de gazlaştırma ile elde edilen biyoçarın yüksek dozda uygulanmasının toprağın değişebilir K konsantrasyonu ile pH’sını arttığını belirtmişlerdir. Liu ve ark. (2017a)’da toprak pH’sının biyoçar ilavesi ile ortalama 0.77 birim ( $P < 0.001$ ) arttığını rapor etmişlerdir.

### **2.5.1.3. Katyon değişim kapasitesi üzerine etkileri**

Toprakların KDK'sı besin elementlerinin toprağa ne kadar iyi bağlandığının, bu nedenle bitkilerin alımı için uygun olup olmadığının bir göstergesidir. Aynı zamanda besin elementlerinin yıkanıp yüzey ve yüzey altı sularına da karışıp karışmaması ile de yakından ilişkilidir. Biyoçarın aktif yüzey alanlarındaki negatif yüklü olan bölgelerde kationlar elektrostatik olarak bağlanabilir ve değiştirilebilirler (Verheijen ve ark., 2010). Biyoçar toprağın pH'ya bağlı yük miktarının artmasına neden olduğu için KDK'nın da artmasına neden olur (Liang ve ark., 2006; Chan ve ark., 2007; Nelissen ve ark., 2014). Biyoçarın oksidasyonu dış yüzey alanı ile ilişkilidir ve dış yüzeylerinin KDK'sı iç yüzeylerinden yaklaşık yedi kat daha yüksektir (Cheng ve ark., 2008). Biyoçardaki KDK değişimi ihmal edilebilir düzeyden 40 cmol<sub>c</sub> g<sup>-1</sup>'e kadar değişebilmektedir. Biyoçarın toprağa katılması ile birlikte KDK'nın değişme eğiliminde olduğu rapor edilmektedir (Lehmann, 2007). Bu değişim hidrofobik bileşenlerin biyoçardan yıkanması işlemi (Briggs ve ark., 2012) veya abiyotik oksidasyon yolu ile karbonun karboksilasyonunun artması yolu ile (Chan ve ark., 2008) gerçekleşmektedir. Doğal yangınlar ile oluşan odun biyoçarı killi tın bir toprağa gömüldükten 4 ay sonra, 70 gün süre ile inkübasyonda bırakıldığında KDK'sı aynı ham maddeden 450 °C'de üretilen taze biyoçarın KDK'sına göre %10 oranında azalmıştır. Yaşlanmış ve taze biyoçarların pH'ları aynı olmasına rağmen, yaşlanmış biyoçarın yüzey alanı taze biyoçarın yüzey alanından yaklaşık 2 kat daha düşük olmuştur (Zhao ve ark., 2015). Bu durum biyoçarın toprağın fiziko kimyasal ve biyolojik özelliklerinde neden olduğu değişimin ne denli değişken olduğunun anlaşılması adına önemlidir (Gul ve ark., 2015).

Anyonlar nötr ve bazik pH koşullarında toprağa çok zayıf bir şekilde bağlandıklarından dolayı, bitkilerin gelişimi için gerekli olan fosfat ve nitrat gibi anyon formundaki besin elementleri toprağa gübre şeklinde verilir. Bu besin elementleri toprakta tutunamadıklarından dolayı, toprak yüzeyinden yıkanıp yüzey sularına veya sızıp taban sularına karışabilmektedirler (Verheijen ve ark., 2010; Cheng ve ark., 2012). Biyoçarın anyon değiştirme kapasitesine sahip olduğunu (pH 3.5'da) ancak biyoçarın yaşlanması ile birlikte bunun çok azalacağı ve kaybolacağı bildirilmiştir.

### **2.5.2. Toprağın fiziksel özellikleri üzerine etkileri**



Toprağın fiziksel özellikleri, bitki gelişimi ve su amenajmanı üzerine önemli düzeyde etki etmektedir. Toprağa biyoçar ilavesi gözenek büyüklük dağılımı, strüktür ve yoğunluğunu değiştirerek toprak havalanması, su tutma kapasitesi, bitki gelişimi ve topraktaki çalışabilirliği değiştirmektedir. Biyokütle ham maddesinin ve pirolizin koşulları biyoçarın gözenek büyüklük dağılımının ve dolayısı ile toplam yüzey alanının ne olacağına karar veren temel faktörlerdir (Downie ve ark., 2009). Biyokütle sıcaklıkla birlikte parçalanırken kütle kaybı çoğunlukla organik uçucular şeklinde gerçekleşir ve gerisinde gözenekler oluşur. Bu gözenekler çok yaygın bir gözenek ağı oluşturur (Verheijen ve ark., 2010). Toprağa ilave edilen biyoçarın miktarı arttıkça toprağın hacim ağırlığının azaldığı belirtilmiştir (Xiao ve ark., 2016a).

### **2.5.2.1. Toprak yapısına etkileri**

Toprak agregatlaşması topraktaki C ve N döngüsünde yer alan mikroorganizmaların faaliyetlerini desteklediğinden toprak kalitesinin iyi bir göstergesidir (Demisie ve ark., 2014). Biyoçar, agregatlaşmada çekirdek şeklinde görev yapabileceğinden dolayı agregatlaşmayı artırması beklenir (Lehmann ve ark., 2011). Biyoçar ilavesinin ardından kökler ve mikroorganizmalar tarafından organik madde katılımının daha da artması agregat oluşumunu teşvik edecektir (Abiven ve ark., 2015). Toprakta stabilizasyona neden olan biyoçar ve toprak matriksi arasındaki etkileşimin mekanizması 1.) agregatların tıkanması (Bachmann ve ark., 2008), 2.) biyoçar-kasyon kompleksleri (toprak minerallerinin çok değerli kasyonlar ile etkileşimleri), veya 3.) mineral yüzeyleri ile çok değerli kasyonların etkileşimleri (organik madde mineral ilişkileri) (von Lützow ve ark., 2007) ile açıklanabilir. Biyoçar agregat oluşumu ve stabilizasyon için bağlayıcı bir madde olarak görev yapabilir. Toprağa biyoçar ilavesi Ca gibi toprağın değişebilir kasyonlarının artmasına neden olduğundan dolayı (Obia ve ark., 2016) kilin disperse olmasını önleyip agregatların parçalanmasını engellediğinden toprak agregat stabilitesinin artmasına neden olmaktadır (Fungo ve ark., 2017). Aynı zamanda kil ve agregatların yüzeyindeki Na ve Mg'un biyoçar yüzeyinde adsorbe edilerek

uzaklaştırılması da agregatlaşmayı etkilemektedir. Humid tropikal bölgelerin çok ayrılmış asit karakterli topraklarında okside olmuş biyoçar yüzeyindeki hidroksil ve karboksil grupları kil parçacıklarını adsorbe ederek, makro agregat oluşumunu teşvik etmektedir (Jien ve Wang, 2013).

Biyoçar ilavesi ile artan agregat stabilitesi toprakta organik karbonun stabilizasyonunu arttırır (Zhang ve ark., 2015). Tüm bu değişimler ise toprakta havalanma, suyun sızması ve bitkiye yarayışlı suyun tutulmasını etkilemektedir. Farklı tekstüre sahip olan topraklara ilave edilen biyoçarın infiltrasyona etkilerinde önemli farklılıkların olduğu gözlemlenmiştir. Kumlu topraklarda biyoçar ilavesi ile infiltrasyon azalırken, killi topraklarda infiltrasyon artmış ve ince tınlı topraklarda bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür (Laird ve ark., 2010; Xiao ve ark., 2016a). Ortalama ağırlık, çapı ve biyokütle gelişimi arasındaki pozitif ilişki, ilave edilen kolaylıkla mineralize olabilen karbon ile ilişkilidir. Biyoçarın toprağın yapısını ve infiltrasyonunu geliştirme yeteneği suyun akışkanlığını arttırabilir ve böylelikle de toprak agregatlaşmasını arttırabilir (Regelink ve ark., 2015).

Okalıptus odununun 550 °C'de pirolizi ile elde edilen biyoçarın uygulandığı bir tarla denemesinde, %71 kil içeren deneme toprağının agregat stabilitesinin ilk yıl sonunda önemli düzeyde değişmediği görülmüştür. Bu durum ilk dönemde oluşan agregatların ekim ve yabancı ot kontrolü sırasında yeniden parçalanması ile ilişkilendirmişlerdir (Fungo ve ark., 2017). Fungo ve ark. (2017)'nin bulgularına benzer şekilde Peng ve ark. (2016) da biyoçarın mikro agregat oluşumuna etkisi olmadığını rapor etmişlerdir. Ancak, biyoçar ilavesi ile agregat boyutunun arttığını rapor eden araştırmalar da bulunmaktadır (Sun ve Lu, 2014). Araştırmalarda rapor edilen farklılık muhtemelen biyoçarın toprakta kalma zamanı, uygulanan biyoçar parçacık büyüklüğü ve kullanılan biyoçarın dozu ile ilişkilidir. Örneğin; Liu ve ark. (2014) 40 ton ha<sup>-1</sup> uygulama ile agregatlaşmanın arttığını ancak 20 ton ha<sup>-1</sup> uygulandığında bu artışın olmadığını bildirmişlerdir. Sun ve Lu (2014), 90 ton ha<sup>-1</sup> buğday sapı biyoçarı uygulamasında agregatlaşmanın arttığını ancak aynı oranda odun parçası biyoçarında bu etkinin görülmediğini bildirmişlerdir. Fungo ve ark. (2017), kullandıkları ham maddenin ve biyoçar yapımında uyguladıkları yüksek sıcaklığın (550 °C) etkisi ile

uygulanan biyoçarın KDK'sının düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Bu nedenle de zaman içerisinde biyoçar ilavesi ile agregatlaşmanın da düşük kaldığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, yeşil gübre ve üre ile birlikte biyoçar uygulandığı durumda mikro agregat oranının arttığını belirtmişlerdir. Bu da yeşil gübrenin ve bitki köklerinin parçalanması sonrası mikrobiyal karbondan dolayı artan biyokütle karbonu ile ilişkilendirilmiştir. Agregatlaşmayı sağlayan organik karbonun ise mikro agregatlarda depolandığı bildirilmiştir. Bu mikro agregatlar ise zamanla kendi aralarında birleşerek makro agregatları oluşturmaktadır. Mikroorganizmalar tarafından toprak organik maddesinin parçalanması süresince sentezlenen hidrofilik polisakkaritler mineral maddelere adsorpsiyon yolu ile bağlanmaktadır. Bu durum mineral parçacıklar arasındaki kohezyonu teşvik ettiğinden topraktaki agregatlaşma da artmaktadır (Demisie ve ark., 2014). Ancak, biyoçar uygulaması ile birlikte C'un çoğunlukla makro agregatlarda depolandığını belirten araştırmacılar da bulunmaktadır (Herath ve ark., 2013; Zhang ve ark., 2015). Araştırmacılar makroagregatlarda organik C'un serbest organik madde parçacıkları halinde depolandığını bildirdiler.

#### **2.5.2.2. Toprak hacim ağırlığına etkileri**

Biyoçarın hacim ağırlığı mineral toprakların hacim ağırlığından çok daha düşüktür. Bu nedenle toprağa biyoçar uygulaması toprağın da hacim ağırlığının düşmesine neden olacaktır (Verheijen ve ark., 2010). Biyoçar toprağın hacim ağırlığını seyreltme, elektriksel yük ve sürtünme etkisi ile değiştirmektedir. Biyoçarın hacim ağırlığının toprağın hacim ağırlığından çok daha düşük olması seyreltme etkisi olarak bilinmektedir. Elektriksel yük etkisi ise, organik bileşiklerin çözeltileri kil parçacıklarının yüzeyindeki elektriksel yükü arttırarak kil parçacıklarının birbirlerine daha yakın hareket etmelerine neden olur. Bu da floküle olmalarına, büzüşmelerine ve sonuçta çatlakların oluşmasına ve dolayısı ile ikincil makro gözeneklerin artmasına neden olur (Soane, 1990). Araştırmalarda, biyoçar dozu ile hacim ağırlığı ve toplam gözeneklilik arasında önemli ( $P < 0.001$ ) bir doğrusal ilişkili olduğu görülmüştür. Hacim ağırlığı kontrol parsellerinde 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde ortalama 1.37 ve 1.38 g cm<sup>-3</sup> iken 30 ton ha<sup>-1</sup> biyoçar ilavesi ile hacim ağırlığı sırası ile 1.22 ve 1.28 g cm<sup>-3</sup>'e düşmüştür (Xiao ve ark., 2016a). Rogovska ve ark. (2014)'da ABD'nin orta batı kuşağında biyoçar ilavesi ile hacim ağırlığında benzer bir azalmanın olduğunu rapor

etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise, Liu ve ark. (2017b) biyoçar ilavesinin toprak hacim ağırlığında %21 oranında azalmaya, toprak gözenekliliğinde %7 artışa ve toprak nem içeriğinde ise %28 zenginleşmeye neden olduğunu belirlemişlerdir. Fiziksel özelliklerdeki bu gelişme buğdayda kardeşlenme ve kök uzamasına olumlu etki yaptığından buğdayın gelişimi biyoçar uygulanmayan topraklara kıyasla çok daha iyi olmuştur.

### **2.5.2.3. Toprak gözenek büyüklük dağılımı ve yüzey alanına etkileri**

Toprağın gözenek ağı, biyoçarın genetik gözenekliliği ve aynı zamanda diğer karakteristiklerince çeşitli şekillerde etkilenebilir. Aynı ham maddeden üretim koşullarına bağlı olarak farklı yüzey alanı ve mikro gözenekliliğe sahip biyoçarlar üretilir (Downie ve ark., 2009). Chun ve ark. (2004), sıcaklık ile birlikte yüzey alanının arttığını bildirirken 700 °C civarındaki yüzey alanının, 600 °C'dekinden daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bunun nedeninin ise mikro gözenekli yapının bozulması olarak açıklamışlardır. Toprağa biyoçar ilavesi toprağın net yüzey alanını artırabilir (Chan ve ark., 2007) ve nihayetinde toprağın su tutunmasını (Downie ve ark., 2009) ve özellikle ince tekstürlü topraklarda havalanmasını (Kolb, 2007) artırabilir. Bu olumlu etkinin aksine gözeneklerin çok ince biyoçar parçalarınca tıkanması nedeni ile infiltrasyon hızının ve hidrolik iletkenliğin azalabileceği de gündeme getirilmiştir (Verheijen ve ark., 2010).

Toprağın toplam gözenekliliği genel olarak hacim ağırlığı ile ters bir ilişkiye sahiptir. Hacim ağırlığının azalması, sıkışma miktarının azalmasına yol açabilir ve gözeneklilikteki değişim toprakların havalanmasını ve su tutmasını etkileyecektir (Lehmann ve ark., 2011). Ortalama toplam gözeneklilik 0-10 ve 10-20 cm derinliklerde kontrol parsellerinde %48.23 ve %47.86 iken 30 ton ha<sup>-1</sup> biyoçar uygulaması ile gözeneklilik önemli düzeyde artarak %53.91 ve %51.7 düzeyine çıktığı bildirilmiştir (Xiao ve ark., 2016a). Nelissen ve ark. (2015)'da biyoçar ilavesinin toplam gözenek ve makro gözenek miktarını arttırdığını bildirmişlerdir. Xiao ve ark. (2016a)'da biyoçar ile muamele edilen toprakların toplam gözenek hacminin biyoçarın iç gözenekliliğinden dolayı arttığını belirtmişlerdir.

Yüzey alanı toprağın verimlilik, su, hava ve besin döngüsü ve mikrobiyal aktivite gibi tüm temel fonksiyonlarını etkileyen oldukça önemli bir özelliktir. Kum içeriği yüksek olan toprakların su ve besin elementlerini tutabilme yeteneklerinin zayıf olmasının nedeni, kısmen parçacıklarının yüzey alanının oldukça küçük olması (kaba um,  $0.01 \text{ g m}^{-2}$ ; ince kum,  $0.1 \text{ g m}^{-2}$ ) ile ilişkilidir. Yüksek yüzey alanından dolayı organik madde ilavesi ile yüzey alanı çok düşük olan kumlu toprakların daha fazla su ve besin elementi tutabilecekleri gösterilmiştir (Troeh ve Thompson, 2005). Toprakta organik maddenin sağladığı etkiye benzer bir etki yapacağı düşünülen özellikle yüksek sıcaklıkta ( $>550 \text{ }^\circ\text{C}$ ) üretilen biyoçarın yüzey alanının  $>400 \text{ } 0.1 \text{ g m}^{-2}$  olduğu bildirilmektedir. Yüzey alanı kumdan ve hatta kilden dahi yüksek olan biyoçarın toprağa ilavesinin, toprağın spesifik yüzey alanında net bir artış sağlayacağı bildirilmektedir (Downie ve ark., 2009). Biyoçarın yüksek yüzey alanı ve mikro gözenekliliği, su ve topraktaki organik kirleticilerin arıtılmasında etkili bir tutucu olarak değerlendirilmesini sağlamıştır (Ahmad ve ark., 2014).

#### **2.5.2.4. Su tutma kapasitesine etkileri**

Kurak arazilerde tarımsal üretimin önündeki en önemli sınırlayıcı faktör, sık sık tekrarlanan kuraklıklar ve su noksanlığıdır (Zhang ve ark., 2014). Artan erozyon nedeni ile oluşan toprak bozunması su noksanlığı sorununu daha da şiddetlendirmektedir (Xiao ve ark., 2016a). Yetersiz ve erozyona neden olan yağışlar, bölgenin ana su kaynaklarının yeterince depolanması önündeki en önemli kısıtlardır. Bu nedenle bitkisel üretim için toprak neminin korunması hayati öneme sahiptir (Bu ve ark., 2013). Biyoçarın tarımsal faydaları, su ve besin elementi tutunmasının iyileştirilmesi ile yakından ilişkilidir. Biyoçar suyu fiziksel olarak yüzeyinde, gözeneklerinde ve biyoçar parçaları arasında kapillar güç ile tutabilir. Su tutunmasının artması, yağışların düzensizliğinden kaynaklanan sorunların azaltılmasına ve tutulan suyun miktarına bağlı olarak tamamen ortadan kaldırılmasına katkı sağlayabilir. Xiao ve ark. (2016a), biyoçarın su tutunmasına etkisinin 0-10 cm'de 10-20 cm derinliğe kıyasla daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Yüzey toprağında suyun fazla tutulması, toprak yüzeyinde bitki örtüsünün daha yoğun olmasına neden olmaktadır. Bu da daha fazla suyun

tutulmasına ve kök bölgesine hareket etmesine yol açar. Bitki örtüsünün yoğun olması, toprak yüzeyinin gölgelenmesine yol açacağından güneş enerjisinin direk toprak yüzeyine etki edip evaporasyonun azalmasına neden olur (Xiao ve ark., 2016a). Bu durumda bitki kök bölgesinde su miktarı artacağından dolayı bitkinin su kullanım etkinliği de artmış olacaktır.

Toprakta suyun tutulması, toprak gözenek dağılımı ve gözeneklerin bağlanma durumu ile ilişkilidir. Biyoçar uygulamasının direk etkisi, biyoçarın oldukça geniş olan iç yüzey alanı ile ilişkilidir. Biyoçarların sahip olduğu bir dizi gözenek yapısı ve toplam gözenek miktarı biyoçarın üretildiği saman, odun veya hayvan gübresi gibi ham maddelere bağlı olarak değişmektedir (Van Zwieten ve ark., 2009).

Toprağa biyoçar ilavesi su tutma kapasitesi üzerine kısa veya uzun süreli direk veya dolaylı etkiye neden olmaktadır. Biyoçar dozunun artması ile birlikte tutulan su miktarının da arttığını gözlemleyen araştırmacılar, 30 ton ha<sup>-1</sup> biyoçar ilave edilen uygulamalarda toprak suyunun kontrole kıyasla zamanla daha belirgin şekilde arttığını bildirmişlerdir. (Xiao ve ark., 2016a). Uygulanan biyoçar dozundaki artışla birlikte saturasyon noktası, tarla kapasitesi, daimî solma noktası ve su tutma kapasitesinin yükseldiği bildirilmektedir. Su tutma kapasitesinde artış biyoçarın su tutma yeteneğini geliştirebildiğini ve su kısıtı olan yerlerde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu durum suyun tutulması için artan gözeneklilikle açıklanabilir (Adrias ve del Rosario, 2017). Biyoçar uygulamasının toprağın su tutması üzerine dolaylı etkileri; agregatlaşmanın veya yapının iyileştirilmesi ile ilişkilidir. Biyoçar, tüm mineraller ve mikroorganizmalarla ilişkisinden dolayı toprak agregatlaşması ile de ilişkilidir. Yüzey yük özellikleri ve zaman içinde bunların gelişimi uzun dönemde toprak agregatlaşması üzerine etkilerini belirlemektedir. Yaşlanmış biyoçar genellikle yüksek KDK'ya sahiptir. Artan KDK, organik madde ve mineraller arasında bağlanmayı sağlayacak bir materyal olma potansiyelini arttırmaktadır (Verheijen ve ark., 2010).

Biyoçar çoğunlukla mikro gözeneklere sahiptir. Bitkiye yararlı fazla suyun gerçek miktarı, biyoçarın yapıldığı ham maddeye ve uygulanacak toprağın tekstürüne bağlıdır. Kumlu topraklarda, biyoçarın mikro gözeneklerinde depolanan ilave su ve besin elementlerinin hacmi toprak kurduğunda ve matrik potansiyeli arttığında

yarayışlı hale gelebilir. Bu durum, kurak dönemlerde su yarayışlılığının artmasına neden olabilir (Verheijen ve ark., 2010). De Tender ve ark. (2016) meşe fıstığı biyoçarı ilave ettikleri marul denemesinde, su kullanımı ile taze marul biyo kütlesi arasında çok zayıf bir korelasyon olduğunu bildirdiler. Ancak %1 ve %3 biyoçar ilave edilen topraklar kontrol ile kıyaslandığında su kullanımı önemli düzeyde düşmüştür. Biyoçar ilavesi su tüketimini azaltmaktan ziyade topraktan olan buharlaşmayı azaltmıştır.

Toprağın su tutma kapasitesinin artırılması teorik olarak sulama sıklığının veya sulama hacminin azalmasına neden olabilir. Bununla birlikte, birbirinden bağımsız haldeki biyoçar parçacıkları toprağı çimentolayabilir veya gözeneklerini tıkayabilir. Bu da yüzey akışın artmasına ve infiltrasyon oranının azalmasına neden olabilir. Abel ve ark. (2013)'da biyoçarın bitkiye yarayışlı suyu depolamakla ilişkili olan 0.2-5.0 µm boyutunda çok sayıda gözeneğe sahip olduğunu göstermiştir. Birçok araştırmacı da toprağı biyoçar ilavesi ile birlikte toprağın bitkiye yarayışlı su içeriğinin önemli düzeyde arttığını rapor etmişlerdir (Glaser ve ark., 2002; Laird ve ark., 2010).

Çoğunlukla kumlu topraklarda yapılan çalışmalar, biyoçar ilavesinin toprağın infiltrasyon kapasitesini düşüreceğini ve toprak erozyonuna etkisini azaltacağını (Novak ve ark., 2009) veya tarla koşullarında doymuş hidrolik iletkenliği etkilemediğini bildirmişlerdir (Jeffrey ve ark., 2015). Ancak Xiao ve ark. (2016a) biyoçar ilavesi yapılan tınlı toprakta hidrolik iletkenliğin artışının kil parçacıklarına göre daha iri olan biyoçar parçacıklarının makro gözenekliliği artırması ile ilişkili olduğunu bildirmişlerdir. Biyoçar ilave edilen toprakta gözenekliliğin ve hidrolik iletkenliğin daha yüksek olması, alt toprağı daha fazla yağmur suyu akışına neden olmaktadır. Bu durum, yağış hasadını ve toprakta su depolanmasını teşvik ederek yağmur suyunun toprak profilinin alt kısımlarına taşınmasını sağlayacaktır (Xiao ve ark., 2016a).

Toprak suyunun itilmesi veya hidrofobisite; suyun toprağı çekiciliğinin azalması, böylelikle birkaç saniye, saat, gün veya haftalar boyunca ıslanmaya direnmeyi ifade etmektedir (King, 1981). Toprak suyunun itilmesi, infiltrasyon oranının azalması, infiltrasyon akışının parmak şeklinde olması ve yüzey akışının artmasına neden olmaktadır. Hidrofobisite, biyoçarın ilk uygulandığı yıl çok daha etkilidir, zira taze biyoçar çok yüksek miktarda hidrofobik grup içermektedir (Major ve ark., 2010).

### 2.5.3. Biyolojik özellikler ve toprak biyolojisine etkileri

Besin döngüsü, organik maddenin parçalanması, filtreleme ve tamponlama gibi toprak işlemleri, toprağın biyokimyasal özellikleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Toprağın çoğu fiziksel özelliklerine kıyasla amenajmandaki değişime çok daha hassas olduklarından dolayı laboratuvarında kolaylıkla belirlenebilen bir kısım toprak biyokimyasal özellikleri toprakta süregiden işlemlerdeki değişimi izlemede önemli göstergeler olarak kabul edilirler. Toprak sağlığının en önemli göstergeleri; mikrobiyal biyokütle karbonu, mikrobiyal biyokütle azotu, toprak solunumu, azot mineralizasyonu,  $\beta$ -glukosidaz, alkalın fosfataz ve üreaz gibi hücre dışı enzim aktiviteleridir (Nannipieri ve ark., 2002).

Biyoçarın toprakta bulunan mikroorganizmaların faaliyetleri üzerine etkileri konusunda birbirleri ile çelişen sonuçlar yayınlanmaktadır. Araştırmalar arasındaki farklılıkların nedenleri; kullanılan biyoçarlar, uygulamaların yapıldığı toprakların farklılığı ve aynı zamanda çalışılan mikroorganizmaların farklılığı olduğu bildirilmektedir (Kookana ve ark., 2011; Lehmann ve ark., 2011). Toprak solunumunda artış (Kolb ve ark., 2009; Ventura ve ark., 2014), azalış (Dempster ve ark., 2011; Carlsson ve ark., 2012) veya değişimin olmadığını (Galvez ve ark., 2012) rapor eden araştırmacılar olmuştur. Benzer şekilde aynı araştırmacılar tarafından mikrobiyal biyokütleye de artış, azalış veya değişim olmadığı bildirilmiştir. Rapor edilen bu çalışmaların çoğunluğu kısa dönemde sera koşullarında saksılarda gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilmiş bulgular olduğundan, arazide uzun dönemli çalışmalar ile teyit edilemeyebilirler (Jenkins ve ark., 2017). Görünen şu ki biyoçarın üretildiği ham maddenin tipine, besin elementi kapsamına, piroliz sıcaklığına, uygulama esnasındaki toprağın pH'sı, organik madde kapsamı, toprak nemi, hacim ağırlığı ve havalanması gibi koşullara, arazi kullanımı ve amenajman düzenine, yetiştirilen bitkinin çeşidine ve topraktaki mikroorganizma topluluğuna bağlı olarak biyoçarın toprak mikroorganizmaları üzerine etkilerinde büyük değişkenlikler görmek mümkündür.

Biyoçarların gözenekli fiziksel yapısı ve oldukça aromatik olan mikro yapıları nedeni ile kumlu topraklar ile kıyaslandıklarında çok daha geniş yüzey alanına sahip



oldukları görülür. Liang ve ark. (2010), kumlu bir toprağa biyoçar ilavesinin spesifik yüzey alanını arttırdığı ve bunun bir sonucu olarak da biyoçar ilave edilmeyen toprağa kıyasla daha yüksek katyon değişim kapasitesine sahip olduğu ve daha büyük miktarda çözünmüş organik maddeyi tuttuğunu bildirmişlerdir. Bu durum ise mikroorganizmalar için daha zengin C substratı ve besin kaynağı anlamına gelmektedir. Bu nedenle de biyoçar uygulamaları ile mikrobiyal aktivitenin ve biyokütlenin arttığı rapor edilmiştir (Lehman ve ark., 2011). Kısa dönemde biyoçar ile toprağa organik C ilave edilmesinin mikroorganizmaları uyaracağı ifade edilirken (Smith ve ark., 2010), biyoçarın yüzeyinde bulunan (Deenik ve ark., 2010) veya toprağa uygulandıktan sonra salınan (Spokas ve ark., 2010) engelleyici maddelerden dolayı mikroorganizma aktivitesine olumsuz etki yapacağını bildiren araştırmacılar da olmuştur.

Oldukça heterojen bir yapıya sahip olan toprak, organizmalar için de oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Mikro ölçekte toprak genelde aquatik bir habitattır ve toprakta bulunan mikroorganizmalar için her zaman su bulunmaktadır. Su çoğu mikroorganizmanın hareketliliği ve fonksiyon gösterebilmesi için gereklidir. Biyoçarın toprakta su tutunmayı artırması; toprak mikroorganizmalarının aktivitesi üzerine olumlu etki yapmaktadır. Bu durum, aynı zamanda toprağın fonksiyon göstermesinin de artmasına ve ekosistem servislerinin daha iyi gerçekleştirilmesine de neden olmaktadır (Verheijen ve ark., 2010). Hayvan gübresi ve tarımsal ürünlerin atıklarından üretilen biyoçarlar odun kökenli materyallerden elde edilen biyoçarlara kıyasla mikroorganizma popülasyonunu daha fazla teşvik etmektedir. Odun ve diğer lignoselülozca zengin ham maddelerden üretilen biyoçarlar hayvan gübresi ve ürün atıkları ham maddelerinden elde edilen biyoçara kıyasla mikroorganizmanın miktarı üzerine daha geç (> 60 gün) etki yapmaktadır (Gul ve ark., 2015).

Biyoçarın mikroorganizmalar üzerine etkilerini inceleyen araştırmalarda topraktaki biyoçarın mikroorganizmaların çeşidi ve miktarı üzerine pozitif etki yaptığı ifade edilmiştir. Bu etkinin nedenleri; i.) mikroorganizmalar ile beslenen düşmanlardan korunmak için uygun habitat olmaları (Warnock ve ark., 2007) ii.) biyoçar mikroorganizmaların hücre içi sinyallerine etki edebilir (Masiello ve ark., 2013), iii.) kimyasal bileşiminden dolayı biyoçar mikroorganizmalar üzerine etki edebilir. Bitki ve

mantar arasındaki etkileşimin artması ile biyoçar üzerindeki allelo kimyasalların detoksifikasyonu mümkün olabilir. Biyoçar kökenli organik kimyasallar mikroorganizma topluluğunun bir kısmının yaşamını baskılarken diğer bazılarının varlığını teşvik edebilir (Warnock ve ark., 2007; Kolton ve ark., 2011), iv) biyoçar pH ve EC gibi bir kısım fiziko kimyasal özellikleri değiştirebilir ve bu değişim de mikroorganizma popülasyonunu etkileyebilir (Graber ve ark.; 2014; Warnock ve ark., 2007) v.) biyoçarın besin elementi ve substrat üzerine olan etkisi mikroorganizma topluluğuna etki yapmaktadır (De Tender ve ark., 2016) ve vi.) diğer mikro organizmalar üzerine etkisinden dolayı dolaylı etki, söz konusu olabilir (Warnock ve ark., 2007). De Tender ve ark. (2016) saf biyoçarda 82 farklı mikroorganizmanın varlığına rastlamışlardır. Biyoçar çok gözenekli doğasından dolayı çok küçük organizmaların düşmanlarından saklanmaları için uygun yaşam yerleri oluşturur. Bu küçük gözeneklerde yaşayan mikroorganizmalara kendileri için gerekli olan besin elementlerinin gelmesi için difüzyona gereksinim olduğundan gelişimleri sınırlı olur. Ancak bu yaşam ortamı, mikrobiyal biyokütlenin arttığının bir göstergesidir (Steiner ve ark., 2008; Kolb ve ark., 2009).

Meşe fıstığından üretilen biyoçarı %1 ve %3 dozlarında uygulayan De Tender ve ark. (2016), biyoçarın mikroorganizmalar üzerine önemli etki yapmadığını tespit etmişlerdir. Ancak araştırmacılar bu dozların arbuscular mikorizayı teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Piroлиз olayının hemen sonrasında biyoçar yüzeyinde çok miktarda bileşik bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı şekerler ve aldehytler gibi mikroorganizmalar tarafından kolaylıkla metabolize edilebilen bileşiklerdir. Ancak, yüzeyde formaldehit ve kresol gibi bakterisit ve fungusit şeklinde bileşiklerde bulunmaktadır (Painter, 2001). Bu maddelerin biyoçar yüzeyinde kalma süreleri bir veya iki sezon ile sınırlıdır. Bu nedenle de bu kimyasalların toprak biyotası üzerine etkilerinin uzun süreli olma olasılığı bulunmamaktadır (Zackrisson ve ark., 1996). Bir kısım çalışmalarda biyoçardaki uçucu maddelerin mikroorganizmalar için hazır kullanılabilir bir C kaynağı olduğu, ancak bu kaynağın çok kısa sürede tükendiği gösterilmiştir (Farrell ve ark., 2013). Ancak yüksek sıcaklıkta üretilen biyoçarların uçucu madde miktarı düşük sıcaklıktakilere kıyasla daha az olarak rapor edilmiştir (Ameloot ve ark., 2013).

Biyoçarın kendine has karbon içeriğinden kaynaklanan özelliklerinin yanında biyoçarın toprak canlıları ile nasıl ilişki içinde olacağını etkileyen diğer bir etmen ise piroliz sıcaklığıdır. Bu ifade özellikle de odunsu ham maddelerden üretilen biyoçarlar için geçerlidir. Düşük sıcaklıkta üretilen bu biyoçarların iç tabakalarında tutulan biyo yağlar mikroorganizmaların gelişmesi üzerine glikoz etkisi yaparlar. Daha yüksek sıcaklıklarda piroliz yapıldığında ise bu iç tabakalardaki biyo yağlar kaybolur. Bu biyoçarın toprak verimliliğine etki yapma potansiyeli iç tabakalarında biyo yağ tutan biyoçarlara nazaran daha zayıftır (Steiner, 2004).

Toprağa ilave edildiğinde biyoçarın mikroorganizma etkinliğini önemli düzeyde arttırdığı görülmüştür. Bunun göstergesi olarak, topraktaki her mikrobiyal biyokütle karbonu için salınan karbondioksit miktarında artma ölçülmüştür. Aynı zamanda bazal solunumda önemli miktarda artmıştır. Biyoçara ek olarak organik gübre ilavesinin mikrobiyal biyoküttele, her birim mikrobiyal karbonuna denk gelen karbondioksit çıkışı ve popülasyon artışı tespit edilmiştir (Steiner ve ark., 2008). Araştırmacılar özellikle gübreleme yapılan tarımsal sistemlerde biyoçarın toprak sisteminin önemli bir bileşeni olarak fonksiyon göstereceğini bildirmişlerdir. Bazal solunum ve mikrobiyal etkinliğin artmasının yanında toprağa biyoçar ilavesi hem serbest hem de simbiyotik yaşayan azot bağlayan bakterilerin N<sub>2</sub> fiksasyonunu arttırmıştır. Fasulye yetiştirilen toprağa 50 g kg<sup>-1</sup> biyoçar ilavesinin fasulyenin verimini %30 ile %40 arasında artmasına neden olduğu rapor edilmiştir. Ancak uygulama miktarı 90 g kg<sup>-1</sup> olduğunda ise verim açısından olumsuz bir etki görülmüştür (Randon ve ark., 2007).

Biyoçarın hem uygulama miktarı hem de ham maddesi toprak biyolojisi üzerine etki yapmaktadır. Tavuk gübresinden üretilen biyoçar 67 ton ha<sup>-1</sup> olarak uygulandığında solucanların yaşama oranı üzerine önemi düzeyde olumsuz etki yaptığı belirlenmiştir (Weyers ve ark., 2009). Araştırmacılar bu olumsuz etkinin nedeninin artan pH ve tuzluluk olabileceğini bildirmişlerdir. Bununla birlikte çam ağacı odunundan yapılan biyoçarın uygulandığı toprakta solucan aktivitesinin çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum, ham maddenin değişmesinin toprak canlıları üzerine farklı etki yapabileceğini göstermiştir. Van Zwieten ve ark. (2009)'nın yaptığı çalışmada ise ham maddenin yanında toprak tipine göre de biyoçarın solucan aktivitesi üzerine olan

etkisinin farklı olabileceği belirtilmiştir. Hansen ve ark. (2017) ise sap ve gazlaştırılmış biyoçar uygulamalarının bakteri ve protist popülasyonlarına önemli bir pozitif etkisinin olduğunu bildirirken, solucanlar üzerine bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir.

Biyoçar ilavesi ile mikrobiyal kütle artışı, artan yarayışlı C seviyesi (Farrel ve ark., 2013), su ve besin elementi yarayışlılığının artışı (Maestrini ve ark., 2015) ve mikroorganizmaların kendilerini avlayan canlılardan korunması (Pietikainen ve ark., 2000) gibi gelişen fiziko-kimyasal özelliklerle ilişkilendirilmiştir (Chen ve ark., 2017). Bununla birlikte, Chen ve ark. (2017) yüksek biyoçar dozunda (%9) toprak özelliklerinde güçlü değişimler gerçekleşmesine rağmen mikroorganizma sayısı ve mikroorganizma topluluğunun yapısında önemli bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Bunun nedeninin muhtemelen inkübasyon için uygulanan sürenin mikrobiyal bileşimde önemli bir değişime neden olmaya yetecek kadar uzun olmadığı şeklinde açıklanmıştır. Bu sonuçlar biyoçar uygulamasından 30 ay sonra dahi yüksek biyoçar dozunda mikrobiyal topluluğun yapısında önemli değişiklik olmadığını rapor eden Jiang ve ark. (2016)'nın sonuçları ile uyumludur. De Tender ve ark. (2016)'da biyoçar ilavesinin çilek kök bölgesinde mikroorganizma bileşimi ve çeşitliliğini etkilediğini gözlemlemişlerdir. Daha önce de toprağın bütün olarak mikrobiyal bileşimini değiştirdiği rapor edilmiş olmasına rağmen etki eden faktörler tam olarak açıklanamamıştır (Graber ve ark., 2014). Biyoçar ilavesinin N<sub>2</sub>O gazı emisyonu üzerine etkisini araştıran Liu ve ark. (2017a), parçalanmış mısır saplarından 400 °C'de elde edilen biyoçar materyalini çeltik-buğday rotasyonu olan Inseptisol bir toprağa uygulamışlardır. Biyoçarın toprağa katılmasının hem nitrifikasyona hem de denitrifikasyona neden olan mikroorganizmaların bulunduğu tüm mikroorganizma topluluğunun miktarını önemli ölçüde arttırdığını rapor ettiler.

İnce biyoçar parçacıkları, orta ve kaba parçacıklara kıyasla önemli miktarda daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonuna yol açmaktadır. İnce parçacıklar agregatların parçalanmasını takiben toprak matriksi ile daha fazla temas etmektedir. Bu durum, toprakta daha fazla C substratının yarayışlı hale gelmesine yol açar ve biyoçar parçacıkları toprak mikroorganizmalarının kolonileşmesi için daha uygun hale gelir. Böylelikle mikrobiyal biyokütle artar ve bu da CO<sub>2</sub> emisyonunun artmasına yol açar

(Chen ve ark., 2017). Sigua ve ark. (2014)'da toz şeklindeki biyoçarın kaba biyoçara kıyasla daha hızlı mineralize olabileceğini göstermişlerdir. Toprak organik maddesinin parçalanması ile üretilen CO<sub>2</sub> hem mikrobiyal topluluğun bolluğu ve aktivitesi ile hem de C substratların yarayışlılığı tarafından kontrol edilmektedir. Genel olarak artan mikroorganizma sayısı, toprak organik maddesinin daha fazla mineralize olmasına ve daha yüksek miktarda CO<sub>2</sub> emisyonuna yol açar. Bununla birlikte, kısa süreli birçok çalışmada biyoçar ilavesinin mikrobiyal biyokütlelerin daha yüksek ve CO<sub>2</sub> emisyonunun daha düşük olmasına neden olduğu bildirilmiştir (Zimmerman ve ark., 2011; Chen ve ark., 2017).

### **2.5.3.1. Biyoçarın toprakta enzim aktivitelerine etkileri**

Topraktaki C ve besin elementlerinin döngüleri, bitki ve hayvan atıkları ile toprak organik maddesini mineralize eden heterotrofik parçalayıcı mikroorganizmalar tarafından kontrol edilmektedir. Bu mineralizasyon işlemi, toprağın besin elementi koşullarına bağlı olarak bakteriler ve mantarlar üretilen hücre dışı enzimlerin varlığı ile kontrol edilmektedir. Topraktaki hücre dışı enzimler organik maddenin ayrışması ve besin elementi döngüsünün en önemli göstergeleridir (Burns ve ark., 2013). Özellikle hücre dışı enzimlerin varlığı ve miktarı genetik olarak çevresel koşullara ve mikroorganizmalara bağlıdır. Bu nedenle, bu enzimler doğal ve insan etkisi altındaki döngülerde C ve besin elementlerinin döngüleri hakkında çok değerli bilgiler vermektedir (Arnosti ve ark., 2014).

Biyoçarın toprak enzim aktivitesi üzerine etkisi substrat ve enzimin biyoçar ile etkileşimi (substratın biyoçar yüzeyine sorpsiyonu ve desorpsiyonu, hücre dışı enzimlerin biyoçar yüzeylerine bağlanması gibi) (Bailey ve ark., 2011), biyoçarın gözenekliliği ve yüzey alanına bağlıdır (Lammirato ve ark., 2011). Yüksek gözeneklilik ve yüzey alanına sahip olan biyoçarın fonksiyonel gruplarının substratları ve hücre dışı enzimleri bağlamasından dolayı, bu tip biyoçarların toprakta hücre dışı enzim aktivitesini azaltması beklenmektedir (Lammirato ve ark., 2011; Bailey ve ark., 2011). Yapılan bir çalışmada 700 °C'de üretilen biyoçarın 117 günlük bir laboratuvar inkübasyonunda dehidrogenaz enzim aktivitesinin %47 azalmasına neden olduğu ve aynı ham maddeden 350 °C'de üretilen biyoçarın ise dehidrogenaz aktivitesini %73 arttırdığı

bildirilmiştir (Ameloot ve ark., 2013). Araştırmacılar 700 °C'de üretilen biyoçarın mikrobiyal biyokütle üzerine önemli bir etkisinin olmadığını belirtirken 350 °C'de üretilen biyoçarın ise mikrobiyal biokütleyi önemli düzeyde arttırdığını bildirmişlerdir.

Bugüne kadar yapılmış olan birçok çalışmada biyoçar ilavesi ile birlikte pH, çözünebilir fenolikler ve besin elementlerinin yarayışlılıkları gibi toprak karakteristiklerinde önemli bir fark olduğu ve bunun da mikrobiyal topluluk ve enzim aktivitelerini değiştirdiği rapor edilmiştir (Biederman ve Harpole, 2013). Kookana ve ark., 2011; Quilliam ve ark., 2013). Daha önce yapılan çalışmalarda biyoçarın fenollerin konsantrasyonunu azalttığı belirtilmiştir. Çözünebilir fenoller ise belirli mikroorganizma çeşitlerinin (nitrifikasyona neden olanlar) ve besin elementleri ile ilişkili hidroliz aktivitelerinin inhibitörleri olarak bilinirler (Mackenzia ve ark., 2006). Luo ve Gu (2016), bamboo atıklarının 600 °C'de pirolizi ile elde ettikleri biyoçar ilavesi ile fenoliklerin miktarının azalmasının nedeninin biyoçarın yüksek yüzey alanı ve gözenekli yapısı olduğunu bildirmişlerdir. Biyoçarın bu özellikleri fenolik bileşiklerin adsorbe olmasına yol açmaktadır (Lehmann ve ark., 2011; Pietikainen ve ark., 2000). Luo ve Gu (2016), çalışmalarında mikroorganizmaların yoğunluğu ve enzim aktivitelerinin çözünebilir fenolikler tarafından kontrol edildiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar biyoçar ilavesinin fenol oksidaz ve  $\beta$ -glükosidaz enzimlerinde artışa neden olurken peroksidaz, N-asetil-glukosaminidaz ve asit fosfotaz enzim aktivitelerinde ise azalmaya neden olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, çalıştıkları enzimlerin tamamının toprağa katılan biyoçar miktarı ile önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) ilişkili olduğunu belirttiler. Aynı çalışmada Luo ve Gu (2016), bakteri ve mantar sayılarının kontrole kıyasla önemli düzeyde azaldığını da tespit etmişlerdir.

Hücre dışında üretilen enzimlerden biri olan ve selülozun parçalanmasında görev yapan beta-glikosidaz organik karbon döngüsünde önemli görevler üstlenmektedir. Selüloz biyosferde en yoğun bulunan organik bileşiklerde yer alır ve enzimatik hidrolizinin bir ürünü olarak toprak mikroorganizmalarının enerji kaynaklarından (Tabatabai, 1994; Russel ve ark., 2005). Topraktaki enzim aktiviteleri üzerine en fazla etki eden faktörlerden biri hem mineral hem de organik gübrelemedir. Özellikle hayvan atıkları gibi organik gübreleme topraktaki organik karbon ve azot konsantrasyonunun

artışına neden olur. Bu nedenle gübreleme toprak biyolojik özellikleri ve enzim aktivitesi üzerine önemli düzeyde etki etmektedir. Beta-glikosidazlar da doğal ve antropojenik faktörlere oldukça hassas olan proteinler olduğundan, aktivitelerinin belirlenmesinin toprak kalitesindeki değişimin izlenmesinde oldukça yararlı olacağına inanılmaktadır (Bandick ve Dick, 1999).

Biyoçar ilavesi ile birlikte erken dönemde beta-glikosidaz enzim aktivitesinin artmasının nedeni, biyoçar ile uygulanan hareketli C havuzunun (glikoz) başlangıçta mikroorganizmalar tarafından çok hızlı tüketilmelerinin mikrobiyal aktiviteyi teşvik etmesi ile ilişkilidir (Masiello ve ark., 2013). Biyoçar ilavesi neticesinde toprak mikroorganizmalarının substrat kullanım deseninin değişmesinden dolayı mikroorganizmalar yüksek molekül ağırlığına sahip olan bileşikler (lignin ve selüloz gibi) parçalamaya başlarlar (Lehmann ve ark., 2011). Bu enzimin teşvik edilmesi yüksek düzeyde glikoz bulunmasından dolayı katabolik baskısından hareketli organik bileşiklerin birikmesinden önemli düzeyde etkilenirler (Ameloot ve ark., 2014). Bailey ve ark. (2011), 7 gün %2'lik biyoçar ile inkübe ettikleri deneme toprağında  $\beta$ -glikosidaz aktivitesinin arttığını tespit etmişlerdir. Ancak araştırmacılar çalıştıkları iki ayrı toprak serisinde de biyoçar etkisinin istatistiksel olarak önemli düzeyde olmadığını bildirmişlerdir. Kestane ağacından üretilen biyoçar uygulandığında selüloz parçalanmasında  $\beta$ -glikosidazın %30 azaldığı rapor edilmiştir (Lammirato ve ark., 2011). Reaksiyondaki azalma,  $\beta$ -glikosidazdaki azalmadan ziyade kestane odun kömüründeki selülobiyozun adsorpsiyonu ile ilişkili olduğu şeklinde açıklanmıştır. Başka bir çalışmada, %4 ve %8'lik arıtma çamuru biyoçarının ilavesi ile toprak mikrobiyal kütlelerinde bir artış ile birlikte  $\beta$ -glikosidaz aktivitesi ve bazal solunumda bir azalış olduğu bildirilmiştir (Güerano ve ark., 2013). Bir sera çalışmasında ise okaliptus ve tavuk gübresi biyoçarlarının (%1.5 hacim olarak) invertase,  $\beta$ -glikosidaz ve fasmoeesteraz enzim aktivitelerinde bir artışa neden oldukları rapor edilmiştir (Lu ve ark., 2015). Chen ve ark. (2013) ise çeltik yetiştirilen asit Aquept toprağa 20 ve 40 Mg ha<sup>-1</sup> biyoçar uyguladıklarında alkalın fosfataz enzim aktivitesinde 1.7 kat artış olduğunu bulmuşlardır. Buğday, mısır, inci darı atıklarından elde edilen biyoçarın uygulandığı (20 Mg ha<sup>-1</sup>) Typic Haplustept toprakta 67 günlük inkübasyon sonunda alkalın fosfataz aktivitesinin önemli düzeyde arttığı bildirilmiştir (Purakayastha ve ark., 2015).

Biyoçarın biyokimyasal özelliklere etkilerini esas alan çalışmalar genellikle kısa süreli inkübasyon çalışmalarıdır. Ekili tarım arazilerine biyoçar ilavesinin uzun süreli etkisini araştıran çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. Bu çalışmalardan birinde Bera ve ark. (2016), 3 yıllık mısır üretiminde biyoçar, mineral gübre veya hayvan gübresi uygulamaları ile toprak biyokimyasal özelliklerindeki değişimi incelemişlerdir. Hızlı piroliz ile 500-600 °C'de meşe, akça ağaç ve kayın ağaçlarının karışımından oluşan odunlardan üretilen biyoçarın kullanıldığı bu çalışmada biyoçar uygulamasının toprağın kimyasal, biyokimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine önemli etkileri olduğu görülmüştür. Araştırmacılar, biyoçar olmadan yapılan NPK ve sıvı hayvan gübresi uygulamalarında asit fosfataz enzim aktivitesinin (AFEA) daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Biyoçarlı ve biyoçarsız uygulamaların tamamında 0-15 cm derinlikteki AFEA (185 µg p-nitrofenol/g toprak/saat) 15-30 cm derinliktekinden %53 oranında daha yüksek bulunmuştur. Sıvı hayvan gübresi ve NPK ile birlikte biyoçar uygulandığında AFEA, sadece biyoçarın uygulandığı uygulamalara kıyasla daha yüksek olmuştur. En yüksek AFEA (389 µg p-nitrofenol/g toprak/saat) 0-15 cm derinlikte NPK+biyoçar uygulamasında gerçekleşmiştir. Tüm uygulamalarda 0-15 cm derinlikteki AFAE 15-30 cm derinliktekinden ortalama %35 daha yüksek bulunmuştur. AFAE'ye benzer şekilde tüm uygulamalarda β-glikosidaz aktivitesi de 0-15 cm derinlikte 15-30 derinliğe kıyasla %119 daha fazla bulunmuştur.

## **2.6. Biyoçar İnkübasyon Çalışmaları**

Toprağa uygulanan biyoçarın etkileri zaman içerisinde artmaktadır. Cheng ve Lehmann (2009), 12 ay süreli kontrollü inkübasyon koşullarında aerobik ortamda biyoçara dönüştürülen meşe parçalarının yüzeyinde fonksiyonel grupların, asitliğin ve negatif yüklerin arttığını göstermişlerdir. Bu sonuçlar, deneme alanında daha önceden uygulanan biyoçarları inceleyen Joseph ve ark. (2010)'nın sonuçlarını da desteklemektedir. Bu çalışmada da taze üretilen biyoçarlara göre deneme alanından alınan biyoçarların negatif yüzey yükünün ve fonksiyonel gruplarının miktarının daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Araştırmacılar, araziye uygulandıktan sonra zamanla yüzeyde meydana gelen bu değişimin biyoçar yüzeylerinde organo-mineral agregatlaşmayı teşvik edeceğini bildirmişlerdir. Bu sonuç Amazonlardaki koyu renkli



topraklarda yapılan araştırmalarda da desteklenmiştir. Karboksilik grupların kenarlarında meydana gelen oksidasyon KDK'nın artmasına ve organo-mineral komplekslerin oluşumuna neden olmuştur (Glaser ve ark., 2001). Liang ve ark. (2006), koyu renkli Amazon topraklarının yakınındaki topraklara kıyasla daha yüksek su tutma kapasitesine, daha yüksek KDK'ya ve daha yüksek verimliliğe sahip olduğunu göstermişlerdir.

Toprakta biyoçar yapılmadan önceki hallerine göre oldukça uzun süre kalabilen materyallerin etkilerinin zamanla artıyor olması, tarımsal üretimde sürdürülebilirliğin sağlanması adına biyoçar uygulamalarının önemini açıkça vurgulamaktadır.

## **2.7. Biyoçarın Zenginleştirilmesi**

Piroliz işlemi ile üretilen biyoçarlara çeşitli katkı maddelerinin ilavesi ile arzu edilen özellikler kazandırılması mümkündür. Sizmur ve ark. (2017) biyoçarların buhar, asitler, bazlar, metal oksitler, karbonlu bileşikler, kil mineralleri, organik bileşikler ve biyo-filmler gibi çok çeşitli materyaller ile muamele edildiğini bildirirken, bu uygulamaların temel hedeflerini şu şekilde özetlemiştir:

- Biyoçarın yüzey alanının arttırılması,
- Biyoçarın yüzey özelliklerinin modifiye edilmesi veya iyileştirilmesi,
- Biyoçar yüzeyini faydalı yüzey özellikleri olan başka bir materyal veya organizmanın tutunacağı bir ortam haline getirmektir.

Biyoçar yüzeylerinde çözeltideki katyonları kimyasal olarak bağlayacak ve onları uzaklaştırabilecek çok sayıda fonksiyonel grup (karboksil, hidroksil ve fenoller gibi) bulunmaktadır. Asit ile yapılan muamele biyoçar yüzeyinde daha fazla oksijenlenmiş fonksiyonel grup oluşumuna neden olmaktadır ve bu durum biyoçarın spesifik adsorpsiyon yolu ile pozitif yüklü kirleticileri bağlama potansiyelini de arttırmaktadır. Biyoçar yüzeyinin asit çözeltilere maruz kalması ile modifiye edilmesi biyoçar yüzeyinde karboksil gruplarının (Hadjittofi ve ark., 2014) ve aynı zamanda yüzey alanının artmasına neden olan mikro gözeneklerin oluşumuna (Iriarte-Velasco ve ark., 2016) neden olmaktadır. Bir başka çalışmada ise am ağacı talaşının seyreltilmiş

asit ile muamele edilmesi ile elde edilen biyoçarın yüzey alanı, toplam gözenek hacmi ve mikro gözenek hacminin arttığı bildirilmiştir (Zhao ve ark., 2017).

Karbonlu materyallerin kimyasal olarak aktive edilmeleri, özellikleri üzerine önemli düzeyde etki etmektedir. Chia ve ark. (2014), akasya (*Acacia saligna*) ağacı odunundan 380 °C'de üretilen biyoçar ham maddesini piroliz öncesi 1:1 oranında %10'luk fosforik asit ön muameleye tabi tutmuşlardır. Asit ile muamele edilmesinin nedenini ise; yüzeyin okside edilmesi, karboksil grupların stabilitesinin sağlanması ve biyoçarın yüzeyinden hidrojen kayıplarının teşvik edilmesi şeklinde açıklamışlardır (Toles ve ark., 1996). Araştırmacılar elde ettikleri zenginleştirilmiş biyoçarın toprakta ortalama kalış süresini 150 yıl olarak belirtmişlerdir. Bu ürünün hem besin elementi yayarışlılığını arttırmak hem de uzun süre toprakta karbonu depolamak için uygun bir materyal olduğu bildirilmiştir (Chia ve ark., 2014).

Zenginleştirilmiş taze biyoçarın KDK'sı (40.60 cmols(+)/kg) odun biyoçarı (10 cmols(+)/kg) ve yüksek kül içeriğine sahip tavuk biyoçarı (17-30 cmols(+)/kg) gibi biyoçarların KDK'larından daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Chia ve ark., 2014). Bu değerler, Silber ve ark. (2010)'nın mısır sapından elde edilen biyoçarın KDK'sına benzer olmakla birlikte okaliptusdan 600 C'de üretilen zenginleştirilmiş biyoçarın KDK'sından (50-52 cmols(+)/kg) ise daha düşüktür. Araştırmacılar yayarışlı P ve ekstrakte edilebilir NH<sub>4</sub> konsantrasyonlarının ise yeşil atık, biyo katılar ve kâğıt atığı biyoçarlarına göre önemli miktarda yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Van Zwieten ve ark., 2010). Chia ve ark. (2014) inceledikleri zenginleştirilmiş biyoçarın iç alanlarının çoğunlukla 5 µm ile 20 µm arasında değışen boyutlardaki gözeneklerden oluştuğunu rapor etmişlerdir. Bu gözeneklerin ise mikroorganizmaların gelişimi için çok uygun olduğunu aynı zamanda da kılcal köklerin (kök kıllarının) girmesine yetecek kadar geniş olduğunu rapor etmişlerdir.

Son dönemlerde süt sığırcılığı, tavuk gübresi ve diğere atık ürünlerden üretilen biyoçarların etkinlikleri test edilmiştir (Ro ve ark., 2010; Singh ve ark., 2010; Sarkhot ve ark., 2012;2013). Sarkhot ve ark. (2012), süt sığırcılığı işletmesinin sıvı atıkları ile zenginleştirilmiş temel bitki besin elementlerince zenginleştirilmiş biyoçarları test etmişlerdir. Süt sığırcılığının sıvı atıklarının biyoçarı zenginleştirmek için kullanımı ile

aynı zamanda ciddi sorunlara neden olan sıvı atıkların besin yükünün azaltılması da mümkündür. Ancak, zenginleştirilmiş biyoçarın yüksek labil N konsantrasyonu topraktan atmosfere daha fazla N<sub>2</sub>O geçişine neden olabilir. Bu durum, özellikle su ile doygun koşullarda topraktaki oksijensiz mikro gözeneklerde daha fazla gerçekleşecektir. Singh ve ark. (2010)'da yüksek labil N içeren tavuk gübresinden gerçekleşen N<sub>2</sub>O emisyonunun labil N miktarı düşük olan odun biyoçarından gerçekleşen N<sub>2</sub>O emisyonuna göre daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Spokas ve Reicosky (2009)'de N içeriği yüksek olan biyoçardan N<sub>2</sub>O kaybının yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Biyoçarın sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmesi konusunda yapılan nadir çalışmalardan birinde biyoçarın her bir gramının 5 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ve 0.2 mg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> adsorbe edebileceği belirlenmiştir (Sarkhot ve ark., 2013). Spokas ve ark. (2012) ve Biederman ve Harpole (2013) yayınladıkları çalışmalarında, biyoçar tarafından tutulan su ve besin elementlerinin bitkilere yavaş yavaş yarayışlı hale geçtiğini rapor etmişlerdir. Dolayısıyla sıvı gübre içerisindeki besin elementlerini adsorbe eden biyoçarın; toprağa uygulanması suretiyle hem tarımsal üretim ile ortaya çıkan hasat atıklarının hem de özellikle hayvancılıkta sorun olan sıvı gübrenin güvenli bir şekilde bertaraf edilmesini sağlayarak, sorunun çözümüne katkı verecek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Dünish ve ark. (2007), kömür ile kül karışımının veya odun atıklarına N, P ve K gibi besin elementlerinin emdirilmesi ile yavaş salınımlı N ve K'lu gübrelerin yapılabileceğini belirtmişlerdir. Buna benzer şekilde katı veya çamur halindeki hayvan gübresi, odunsu materyaller, kil ve diğer minerallerin karıştırılıp 240 °C'de ısıtılması ile özellikleri Terra Preta'ya benzer olan organo-mineral bir gübrenin oluşturulabileceği gösterilmiştir (Chia ve ark., 2010).

Çok farklı kaynakları içeren katı atıklardan (Gazete, karton, odun talaşı ve peyzaj kalıntıları) biyoçar üretmek sureti ile zenginleştirilmiş biyoçar üretmenin mümkün olduğu düşünülmektedir. Bu durumun, katı atıkların amenajmanı konusundaki sorunların çözümünde bir alternatif olabileceği ve aynı zamanda uzun süreli C zenginleşmesi sağlaması bakımından önemlidir. Atık karışımından elde edilen biyoçarın uygulandığı toprakta pH'nın arttığı, elektriksel iletkenliğin, agregat

stabilitesinin, su tutumunun ve mikro besin elementi içeriklerinin geliştirildiği rapor edilmektedir (Randolph ve ark., 2017).

## **2.8. Biyoçar Üretimi ve Kullanımının Ekonomisi**

Biyoçarın ekonomik fizibilitesine karar verebilmek için biyokütlenin üretilmesi, hazırlanması, piroliz ünitesine taşınması, piroliz işleminde üretilen ve tüketilen enerji miktarı, biyoçarın depolanması, taşınması ve uygulama masraflarını içine alan tüm sistemin gözden geçirilmesi gerekmektedir. Bu masrafların bir kısmı biyoçar üretilirken üretilen diğer ürünler ile telafi edilebilir. Bu durum biyoçarın potansiyel sürdürülebilirliğinin bir göstergesidir. Enerji üretimini hedefleyen piroliz sistemlerinde biyoçar elde etmek bir kayıp olarak düşünülebilir. Bunun yanında, biyoçarın kendisi de bir enerji kaynağı olarak düşünülebilir (Boateng, 2007; Abdullah ve ark., 2010). Ancak, biyoçarın bir yakıt olarak kullanılması, karbon depolama ile ilgisi olmadığından biyoçar tanımına uymamaktadır. Biyoçarın direk enerji için kullanılması, karbon depolama olayına tam ters bir uygulamadır.

Kurak ve yarı kurak alanlarda, uygulanan biyoçarın toprak agregatlaşmasını iyileştirmesi, su infiltrasyonunu geliştirmesi ve su tutma kapasitesini arttırması sulama masraflarının azalmasına neden olacaktır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde kuraklık ve su stresi bitkisel üretimde önemli kısıtlardır. Bu nedenle bitkinin gereksinimi olan su, sulama yoluyla karşılanmaktadır. Kil içeriği yüksek olan toprakların ise genetik olarak su tutma kapasiteleri yüksektir. Ancak bu topraklarda da su kolaylıkla buharlaştığından sulama veya yağış ile toprağa giren suyun bitkiler için yararlı olma süresi kısalmaktadır. Brockhoff ve ark. (2010) laboratuvarında kolonlarda yaptıkları bir yıkanma denemesinde, kumlu bir toprağa %25 (v/v) oranında biyoçar ilave edildiğinde su tutma kapasitesinin %370 oranında arttığını rapor etmişlerdir. Su tutma kapasitesindeki bu artış, özellikle de kurak bölgelerde yer alan ve sulama imkânı olmayan üreticiler için çok önemli katkı anlamına gelmektedir. Tarımsal üretimle ilgilenen insanlar için biyoçarın maliyetinin düşük olması önemlidir. Zira üretici için biyoçar maliyeti, biyoçar ile elde edilecek faydadan daha fazla olmamalıdır (Spokas ve ark., 2012).

Biyoçar için maliyet-gelir yapısı; a.) biyoçar üretilirken elde edilen enerjinin satılması, b.) biyoçarın toprak katkı maddesi olarak değeri ve c.) biyoçarın karbon kredisi olarak değeri dikkate alınarak belirlenmelidir. Üreticiler için potansiyel değeri ise ürün artışı ile ilişkilendirilmektedir. Buna ilave faydalar ise gübre kullanımının azalması gibi üretim maliyetlerinin azaltılmasından kaynaklanabilir. Daha önce de değinildiği gibi eğer biyoçar toprağın su tutma kapasitesinin artmasına katkı sağlıyorsa bu durumda sulama masraflarının da azaltılması söz konusu olabilir (Verheijen ve ark., 2010).

Biyoçar adaptasyonu ile ilgili çalışmaların geçmişi çok fazla olmadığından maliyet ve fayda analizlerini kapsayan çalışmaların sayısı da çok fazla değildir. McCarl ve ark. (2009) Iowa'da mısır hasat atıkları ile üretilen biyoçarın uygulanmasında fayda maliyet analizi yapmışlardır. Araştırmacılar 5 ton/ha uygulama dozu ile %5'lik verim artışı sağlandığı durumda hem hızlı hem de yavaş piroliz ile üretimin hali hazırdaki enerji fiyatları ile kıyaslandığında karlı olmadığını rapor etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise Roberts ve ark. (2009) üç farklı hammaddeden (mısır atığı, çim atığı ve bahçe atıkları) piroliz ile üretilen biyoçarın ekonomisini incelemiştir. Araştırmacılar, ekonomik olarak karlılığın çoğunlukla bağlanan karbon ile ilişkili olduğunu rapor etmişlerdir. Eğer 1 ton CO<sub>2</sub> için 20 dolar fiyat düşünülüğünde sadece bahçe atıklarının karlı olduğu görülmüştür. Ancak CO<sub>2</sub> fiyatı 80 dolar/ton olduğunda mısır atıklarının orta düzeyde karlı olduğu (35 dolar ton<sup>-1</sup>) ve bu seviyede dahi çim atıklarının karlı olmadığı açıklanmıştır. Daha az karmaşık bir şekilde maliyet ve fayda analizi yapan Collison ve ark. (2009), İngiltere'nin doğusunda biyoçar uygulamasını belirlemiştir. Araştırmacılar, maliyet hesabına biyoçar üretimi, dağıtımı ve uygulamasını katmamışlardır. Bu durumda, patates için 545 pound ha<sup>-1</sup> ve buğday için 143 pound ha<sup>-1</sup> karlılık olacağını bildirmişlerdir.

Kolaylıkla ulaşılabilen biyokütlenin pirolizi ile elde edilecek biyoçar üretimi ile tarımsal atıkların ayrışması esnasında serbest kalan besin elementlerinin yüzey akışı ile uzaklaşması önlenebileceği gibi toprağın fiziksel ve kimyasal koşullarının düzeltilmesi ile üretkenliğinin artırılması ve uzun süreli karbon depolanması mümkün olabilecektir (Ghezzehei ve ark., 2014). Biyoçar haline getirilen bu atıkların tarım arazilerine

uygulanması ise, onların çok uzun yıllar toprak düzenleyici olarak görev yapmalarına, yüzey sularının kirlenmelerinin önlenmesine ve biyo-kütle içerisinde depolanan karbonun toprakta zenginleştirilmesi mümkün olabilecektir.

Bayram (2016), öncelikle Tokat ilinde temin edebildiği toplam 22 farklı biyokütleden ürettiği biyoçar materyallerinin bir kısım fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemiştir. Tarımsal faaliyetler ile ortaya çıkan hasat atıklarından özellikle domates atıkları bölgede önemli miktarda kirliliğe neden olmaktadır (Şekil 2.2.). Bu tez ile yapılan çalışma sonucunda, büyük miktarda var olan hasat atıkları ile hayvancılık işletmelerinde önemli bir sorun haline gelen sıvı gübrenin çevreye dost ürünlere dönüştürülme potansiyeli ortaya konulmuştur. Bu nedenle tez çıktılarının bölge ve ülke ekonomisine önemli katkılar yapması beklenirken, çevre ile ilgili önemli bir sorunun çözümüne de katkı sağlaması beklenmektedir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Materyal

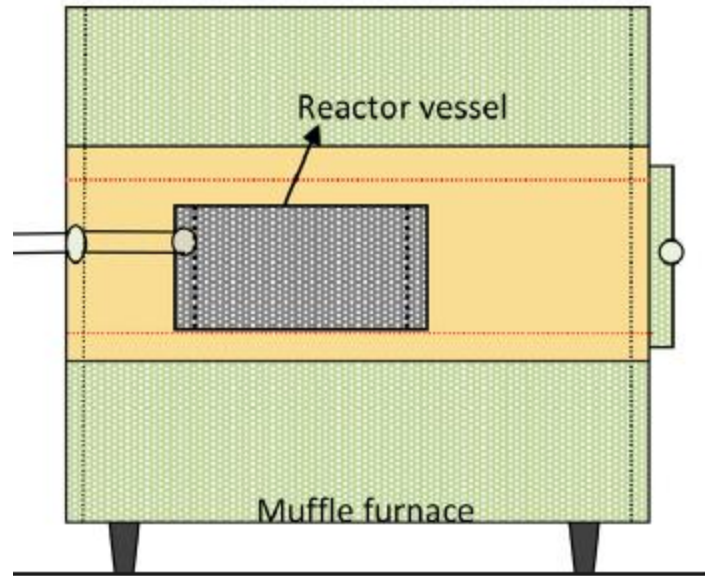
Denemelerde kullanılan biyoçarlar, Bayram (2016) tarafından yürütülen bir tez çalışmasında Tokat ve çevresinden kolaylıkla temin edilebilen toplam 22 farklı biyo-kütleden elde edilen biyoçarlar arasından seçilmiştir. Bunlar içerisinde 3 farklı biyoçar materyali (mısır koçanı, fasulye hasat atığı ve çeltik kavuzu) spesifik yüzey alanları, kation değişim kapasiteleri ve kolay elde edilebilirlikleri gibi özellikleri göz önünde bulundurularak deneme materyali olarak seçilmiş ve kullanılmıştır.

Piroliz işlemi ile üretilen biyoçar materyallerinin özellikleri, üretilen hammaddenin doğası, piroliz koşulları, piroliz sıcaklığı, piroliz süresi gibi birçok özelliğe bağlı olduğundan dolayı, bugüne kadar yapılan çalışmalarda kullanılacak biyoçarın sıcaklığının ne olması konusunda kesin bir yargıya varılmamıştır. Ancak yapılan çalışmalarda, sıcaklığın 400 ile 700 °C arasında değiştiği piroliz koşullarında üretilen biyoçarların sıcaklık artışı ile birlikte çoklu sıkıştırılmış aromatik yapıya sahip oldukları ve daha yüksek karbon içerdikleri rapor edilmiştir. Ancak bu materyallerin dehidrate olmaları ve dekarboksilasyon olayları nedeni ile iyon değişiminde aktif olan fonksiyonel gruplar açısından yetersiz oldukları ifade edilmiştir (Glaser ve ark., 2002; Baldock ve Smernick, 2002; Hammes ve ark., 2006). Ayrıca bu biyoçarların besin elementlerini tutma potansiyellerinin zayıf olacağı da belirtilmiştir (Novak ve ark., 2009). Bununla birlikte, düşük sıcaklıklarda üretilen (250 ile 400 °C) biyoçar materyallerinin ise veriminin (hammadde/biyoçar ağırlığı), daha yüksek C=O ve C-H fonksiyonel gruplarına sahip olduğu ve bunlarında oksidasyon sonrası besin elementlerinin tutulmasını sağlayacak yüzeyleri oluşturacağı ifade edilmiştir (Glaser ve ark., 2002). Bu konuda oldukça kapsamlı bir araştırma yapan Novak ve ark. (2009)'de benzer açıklamalar ile birlikte yüksek sıcaklıkta üretilen biyoçar materyallerinin daha yüksek yüzey alanlarının olduğunu, pH'sının daha yüksek olduğunu ve kül miktarının arttığı bilgisini paylaşmışlardır. Bu değerlendirmeler ile birlikte, biyoçar uygulamaları ile ilgili yapılan çalışmaların büyük çoğunluğunda piroliz sıcaklığı 500 °C olarak seçildiğinden bu çalışmada da biyoçar üretimi için piroliz sıcaklığı 500 °C olarak

belirlenmiştir. Bu şekilde elde edilen sonuçların literatürde yer alan araştırma bulguları ile karşılaştırılabilmeleri mümkün olmuştur.

Nispeten düşük olan bu sıcaklıkta üretilen biyoçar kullanılmasının diğer nedenleri ise biyolojik olarak faydalı karbon konsantrasyonu yüksek olacağından mikrobiyal aktivitenin ve azotun immobilizasyonunun artmasına neden olmasının yanında (Deenik ve ark., 2009) sıvı hayvan gübresindeki fazla miktardaki azotun ve diğer besin elementlerinin immobilizasyonunu ve adsorbsiyonunu arttıracak olması (Sarkhot ve ark., 2012) şeklinde özetlenebilir.

Tez çalışması kapsamında kullanılan biyoçar materyalleri, Tokat ve yakın çevresinden hammaddeler temin edilerek çalışma kapsamında planlanan işlerde kullanılmak üzere üretilmiştir. Temin edilen ham maddeler kurutulup öğütüldükten sonra biyoçar ünitesinde 500 °C'de piroliz işlemine tabi tutularak biyoçar haline getirilmiştir. Biyoçar üretimi esnasında ortaya çıkan katran ve singazlar depolanmamıştır. Piroliz işlemi kül fırınında özel hazırlanmış krom çelik kaplarda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Biyoçar üretiminde kullanılan piroliz ünitesinin gösterimi

Çalışmada kullanılan biyoçarlara ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Biyoçar materyallerinin spesifik yüzey alanları 118 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (fasulye atıkları) ile 398 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (mısır koçanı) arasında değişmektedir. Aynı materyallerin katyon



değişim kapasiteleri ise 10 me 100 g<sup>-1</sup> (mısır koçanı) ile 74.7 me 100 g<sup>-1</sup> (fasulye hasat atıkları) arasında değişmektedir. Çalışmada kullanılan biyoçar materyallerinin C ve N düzeyleri C için %56 ile 85 arasında, N ise %0.19 ile 0.77 arasında değişmektedir. Bu değerlerin literatürde verilen C ve N düzeyleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Biyoçar uygulamalarında zenginleştirme işlemlerinde kullanılan sıvı hayvan gübresinden katı kısım tamamen uzaklaştırıldıktan sonra yapılan analiz sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan biyoçar materyallerinin bir kısım fiziksel ve kimyasal özellikleri\*

Biyoçar Materyali	KDK	Yüzey Alanı	N	C	P	K	Fe	Zn	pH	EC
	me Na 100g <sup>-1</sup>	m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>		%			mg kg <sup>-1</sup>			dS m <sup>-1</sup>
Fasulye Hasat Atığı	74.7	118	0.19	79	0.56	3.65	2247	80	12.1	8.75
Çeltik Kavuzu	15.2	212	0.45	56	0.01	0.39	308	37	10.2	3.29
Mısır Koçanı	10.0	398	0.77	85	0.04	0.95	321	84	9.21	9.30

\* N, C, P, K, Fe ve Zn konsantrasyonları total değerlerdir

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan sıvı hayvan gübresinin bir kısım özellikleri

Özellik	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P	K	Zn	pH
Birim	mg l <sup>-1</sup>					
	450	1300	58	483	6.0	7.24

Denemede bitki materyali olarak ekmeklik buğday çeşidi olan bezostaja kullanılmıştır. Sera çalışmalarında, tınlı ve kumlu tın tekstürlü iki farklı toprağa uygulanan biyoçar dozlarının toprağın verimlilik fonksiyonuna ve buğday bitkisinin gelişimine olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sera çalışmalarında kullanılan topraklar Tokat-Kazova’da yer alan aktif olarak tarımsal üretim yapılan arazilerden alınmıştır. Denemede kullanılan toprakların çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri deneme öncesinde belirlenmiştir. Bu analiz sonuçları Çizelge 3.3, 3.4 ve 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneme topraklarının bir kısım fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak Özelliği	pH	EC	Kireç	Org. Madde	Kum	Silt	Kil	Bünye Sınıfı
Birim	1:2.5	dS m <sup>-1</sup>	%					
Kömeç	8.22	0.17	2.36	1.13	40.6	39.2	20.2	Tınlı
Dökmetepe	8.15	0.17	5.98	0.75	65.0	23.0	12.0	Kumlu tın

Çizelge 3.4. Deneme topraklarının bitkiye yararlı makro ve mikro besin elementi konsantrasyonları

Besin Elementi	Cu	Fe	Mn	Zn	K	Mg	Ca	P
<b>Birim</b>	<b>mg kg<sup>-1</sup></b>							
<b>Kömeç</b>	1.88	5.53	14.94	0.47	73.59	365.45	3095.50	7.82
<b>Dökmetepe</b>	2.46	4.65	18.57	0.35	35.90	245.10	2802.50	1.44

Çizelge 3.5. Deneme topraklarının başlangıç biyolojik özellikleri

	Beta Glikosidaz	Beta Glikosidaz	Biyokütle C
<b>Birim</b>	<b>mikrogr p-NF g</b>	<b>mikrogr p-NF/g</b>	<b>mg kg<sup>-1</sup></b>
	<b>kuru toprak<sup>-1</sup></b>	<b>kuru toprak .1 saat</b>	
<b>Dökmetepe</b>	46.91	26.45	89.92
<b>Kömeç</b>	18.88	10.76	40.93

## 3.2. Yöntemler

### 3.2.1. Biyoçar materyallerinin sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmesi

Üç farklı biyoçar materyali sera çalışmalarında kullanılmak üzere seçildikten sonra bu materyaller sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmiştir. Çalışmada, süt sığırcılığı yapan işletmelerde katı ve sıvı kısmın mekanik olarak ayrılması ile ortaya çıkan hayvan gübresinin sıvı kısmı kullanılmıştır. Biyoçarın sıvı gübre ile zenginleştirme işlemi Sarkhot ve ark. (2012) tarafından belirtildiği şekilde yapılmıştır. Bu yöntem çerçevesinde öncelikle hayvancılık ünitesinden temin edilen sıvı hayvan gübresi santrifüj tüplerine konulmuş ve 8000 rpm devirde 10 dk. boyunca santrifüj edilmiştir. Buradaki amaç sıvı hayvan gübresinde bulunan katı partiküllerin çöktürülmesi ve homojen bir sıvı hayvan gübresi elde etmektir.

Sıvı hayvan gübresi laboratuvarında santrifüj edildikten sonra kaba filtre kağıdından süzölmüş ve pH, EC, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, P, K, Zn ve Fe analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.2). Bu işlemden sonra 3 farklı biyoçar materyalleri ayrı ayrı geniş bir kovaya konulmuş, daha sonra bu materyaller üzerine 1/3 oranında (1 kg biyoçar/3 lt sıvı hayvan gübresi) sıvı hayvan gübresi ilave edilerek iyice karıştırılmıştır (karışım oranı olan 1/3 ön çalışma ile belirlenmiştir). Karıştırılan materyaller daha sonra düz bir zemin üzerine serilerek hava kuru olana kadar kurutulmuştur (Şekil 3.2). Deneme öncesi biyoçar materyali 2 mm'den küçük olacak şekilde hafifçe parçalanmış ve homojen bir parçacık

dağılımı elde edilmeye çalışılmıştır. Hava kuru olan materyaller sera denemesinde kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Biyoçar ve sıvı gübrenin karıştırılması ve kurutulması işlemleri

### 3.2.2. Sera denemelerinin kurulması ve yürütülmesi

Sera denemeleri iki ayrı dönemde ve %20.2 kil, %40.6 kum ve %39.2 silt içeren (tın) Kömeç toprağı ile %12.0 kil, %65.0 kum ve %23.0 silt içeren (kumlu tın) Dökmetepe toprağı kullanılarak yürütülmüştür (Çizelge 3.1). İlk sera denemesinde ekim tarihi 28 Ekim 2015 (hasat 25 Aralık 2015) ve ikinci denemede ekim tarihi 16 Mart 2016 (hasat 8 Haziran 2017)'dir.

Sera denemelerinde 5 farklı biyoçar dozu ve 5 farklı gübre uygulama dozuna (N, P, Zn ve Fe gübrelemesi) yer verilmiştir. Topraklara farklı dozlarda biyoçarlar sadece ilk bitki yetiştirme döneminin başlangıcında uygulanmıştır (Şekil 3.3). İkinci bitki

yetiştirme döneminde ise, deneme saksılarına sadece birinci dönemdeki gibi gübre uygulamaları yapmıştır. Bu şekilde sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmiş biyoçarın atık (residual) etkisinin de görülmesi mümkün olmuştur. Deneme planı Çizelge 6'da verilmiştir.

Denemede kullanılan sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmiş biyoçarın dozları (BD) şu şekildedir: 1.) Kontrol (%0 Biyoçar); 2.) %0.5 Biyoçar; 3.) %1.0 Biyoçar; 4.) %2.0 Biyoçar; 5.) %3.0 Biyoçar



Şekil 3.3. Deneme kurulması aşamasında saksılara biyoçar dozlarının uygulanması

Denemede kullanılan gübre dozları (GD) şu şekildedir:

GD-1; Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG)

GD-2; SHG + Tam gübrelemenin yarısı\*\*

GD-3; SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri\*\*\*

GD-4; SHG + Tam gübreleme\*\*\*\*

GD-5; **Zenginleştirilmemiş** Biyoçar + Tam Gübreleme

(\*\*) Tam gübrelemenin yarısı: N, P, Fe ve Zn dozlarının yarısı verilmiştir.

(\*\*\*) Tam gübrelemenin dörtte biri: N, P, Fe ve Zn dozlarının dörtte biri verilmiştir.

(\*\*\*\*) Tam gübreleme: N, P, Fe ve Zn dozlarının tamamı verilmiştir.

Sera denemesi tesadüf parselleri deneme desenine göre 3'er tekerrürlü olarak kurulmuştur (Çizelge 3.6). Plastik saksıların (üst çapı 170 mm, alt çapı 120 mm, yüksekliği 160 mm) kullanıldığı denemede her saksıya 4 mm elekten geçirilmiş hava kuru toprak konulmuştur. Kumlu tın tekstüre sahip topraktan her saksı için 1700 gr

toprak tartılmış, tınlı tekstüre sahip olan topraktan ise 1478 g tartılmıştır. Saksılardaki topraklar için belirlenen bu toprak ağırlıkları toprakların saksı içindeki kütle yoğunluğu hesaplanarak belirlenmiştir. Deneme öncesi uygulanacak biyoçar materyali 2 mm'den küçük olacak şekilde hafifçe parçalanmış ve homojen bir parçacık dağılımı elde edilmeye çalışılmıştır (Chan ve ark., 2007).

Çizelge 3.6. Proje kapsamında gerçekleştirilen denemelerin planı\*\*

Biyoçar Dozu (%)	SHG	SHG+Tam Gübreleme	SHG+1/2 Gübreleme	SGH+1/4 Gübreleme	Zenginleştirilmemiş Biyoçar+ Tam Gübre
0	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
0.5	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
1	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
2	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x
3	x x x	x x x	x x x	x x x	x x x

\*\*Yukarıda verilen deneme her bir toprak tekstürü ve farklı biyoçar materyali için ayrı ayrı kurulmuştur.

Tam gübrelemede  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  N ve  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  P, tam gübrelemenin yarısında ise bu dozların yarısı olan  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  N,  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  P, 1/4 gübrelemede ise  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  N ve  $25 \text{ mg kg}^{-1}$  P verilmiştir. Azot formu  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , P formu ise  $\text{CaH}_4\text{O}_8\text{P}_2$  formunda verilmiştir. Ayrıca denemedeki tüm saksılara  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  K ( $\text{K}_2\text{SO}_4$  formunda),  $2 \text{ mg kg}^{-1}$  Zn ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  formunda) ve  $2 \text{ mg kg}^{-1}$  Fe (Fe-EDTA formunda) verilmiştir (Şekil 3.4). Denemeye konu olan biyoçar uygulamaları denemenin kurulması esnasında diğer gübreler ile birlikte homojen bir şekilde toprakla karıştırılarak yapılmıştır.



Şekil 3.4. Denemenin kurulması aşamasında biyoçar bulunan saksılara gübre uygulaması



Saksı başına 10 adet tohum ekilmiş daha sonra bu sayı bitkiler 10 cm boya geldiğinde 7'ye seyreltilmiştir. Bitki gelişimi yakından takip edilmiş ve gözlemler alınmıştır (Şekil 3.5-3.10).



Şekil 3.5. Denemenin kurulması aşamasında tohum ekim işlemleri

Deneme topraklarının tarla kapasiteleri (TK) belirlendikten sonra bitkiler günlük olarak tarla kapasitesine gelecek şekilde saf su ile sulanmıştır. Denemeye başlamadan önce toprakların tarla kapasitesi şu şekilde belirlenmiştir. Plastik saksılara topraklar tartılarak azar azar su ilave edilmiştir. Toprak tam doygun hale geldiğinde (saksı altından su drene olduğu an) su ilavesi kesilmiş ve saksıdan suyun yerçekimi etkisi ile uzaklaşması durduğunda saksı tartılmıştır. Bu noktada toprağın makro gözenekleri hemen hemen tamamen boşaldığından toprağın tarla kapasitesi veya hemen yakınında olduğu kabul edilmiştir. Saksı ağırlığı tartıldıktan sonra toprağın tarla kapasitesi hesaplanmış ve bu değer %100 TK olarak kabul edilmiştir (Kirkham, 2014).

Not: Kirkham (2014), tarla kapasitesi teriminin aslında sera koşullarındaki saksılar için kullanılmayacağını ifade etmiştir. Zira saksıların altında toprak olmadığından, suyun kapiler gözenekler ile profilin alt kısmına ulaşması mümkün olamaz. Bununla birlikte sera için bir "Saksı Kapasitesinden" bahsedilebileceğini

belirten Kirkham (2014), bununda yukarıda belirtildiği gibi sulama sonrası drenajın gözle görünür bir şekilde durduğu nokta olduğunu ifade etmiştir.



Şekil 3.6. Denemenin ilk döneminde 9. gün görüntüsü



Şekil 3.7. Denemenin ilk döneminde 12. gün Kömeç toprağında bitki gelişimi





Şekil 3.8. Denemenin ilk döneminde 12. gün Dökmetepe toprağında bitki gelişimi



Şekil 3.9. İlk dönem, Kömeç toprağı 12. gün bitki gelişimi

Bitkiler sapa kalkma dönemi sonunda hasat edilmiştir. Bitki örneklemeleri her yetiştirme dönemi sonunda yapılmış ve analiz edilmiştir.



### 3.2.3. Laboratuvar analizleri

#### 3.2.3.1. Biyoçarların Karakterizasyonu

Denemede kullanılan biyoçar materyallerinin uygulama öncesinde bir kısım fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir. Bu özellikler ve kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

**Spesifik Yüzey Alanı:** Etilen Glikol Monoetilen Eter (EGME) yöntemine göre yapılmıştır (Cerato ve Lutenegger, 2002).

**pH:** 1/5 (materyal/su) oranındaki karışımdan pH metre ile belirlenmiştir (Thomas, 1996).

**Elektriksel İletkenlik (EC):** 1/5 (materyal/su) oranındaki karışımdan EC metre ile belirlenmiştir (Thomas, 1996).

**Katyon Değişim Kapasitesi:** Amonyum Asetat yöntemine göre yapılmıştır (Sumner ve Miller, 1996).

**Toplam Karbon ve toplam azot:** Toplam karbon ve toplam azot Dumas yanma yöntemi ile Thermo marka bir Elementel Analiz Cihazı kullanılarak yapılmıştır (EA 3000 Eurovector SpA, Milan, Italy).

**Toplam Fosfor, Kalsiyum, Magnezyum, Potasyum, Çinko, Demir, Bakır ve Manganyum:** Örnekler agat değirmeninde öğütülmüş ve 0.2 g tartılmıştır. Sonrasında mikro dalgada yaş yakma metoduna göre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-HNO<sub>3</sub> asit karışımı ile yakılmış ve ICP-OES cihazında okunmuştur (Kacar ve İnal, 2008).

#### 3.2.3.2. Sıvı hayvan gübresinin karakterizasyonu

Sera denemelerinde kullanılan sıvı hayvan gübresi analiz edilmeden önce 8000 rpm devirde 10 dk santifrüj edilmiş ve altta kalan katı kısım atılarak üstte kalan sıvı kısım plastik kapaklı saklama şişelerinde muhafaza edilmiştir. Elde edilen sıvı hayvan gübresinde pH ve tuz ölçümü pH ve EC metre ile yapılmıştır. Sıvı hayvan gübresinden 10 ml alınıp NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N için MgO, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N için devarda ilave edilerek bu formların borik

asit ile toplanması ve 0.005 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile titrasyonu ile NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N'u belirlenmiştir (Bremner, 1965). Sıvı hayvan gübresinde toplam N analizi ise Kjeldahl destilasyon yöntemine göre yapılmıştır (Bremner, 1965).

Sıvı hayvan gübresinde bulunan yarayışlı fosfor konsantrasyonları ise santifrüj edilen numuneden 50 ml alınıp üzerine aktif karbon (0.5 g) ilave edilerek 30 dk çalkalanıp süzük alınmıştır. Elden edilen süzükte bulunan yarayışlı P, ICP-OES cihazında belirlenmiştir. Sıvı hayvan gübresinde bulunan toplam P ise, santifrüj edilen sıvı hayvan gübresinden 10 ml alınıp mikrodalga cihazında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-HNO<sub>3</sub> asit karışımında yaş yakma yöntemine göre yakılıp süzük alınmıştır. Elde edilen süzükte K, P, Zn ve Fe okuması yine ICP-OES cihazında yapılmıştır (Kaçar ve Kütük, 2010).

### **3.2.3.3. Bitki analizleri**

Hasat edilen bitki örnekleri saf su ile yıkandıktan sonra 48 saat boyunca 70 °C'de etüvde kurutulmuş, hassas terazi ile kuru madde verimleri belirlendikten sonra agat değirmeninde öğütülmüştür. Öğütülen örneklerde 0.2 g tartılarak mikrodalga cihazında (Mars Xpress) yaş yakma metoduna göre H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-HNO<sub>3</sub> asit karışımında yakılmıştır. Daha sonra bu örneklerde ICP cihazında P, Zn ve Fe okuması yapılmıştır (Kaçar ve İnal, 2008). Yeşil aksam örneklerinde N analizi ise Kjeldahl destilasyon yöntemine göre yapılmıştır (Bremner, 1965).

### **3.2.3.4. Toprak analizleri**

Deneme başlangıcında birinci yetiştirme dönemi öncesi, denemede kullanılacak olan toprakların detaylı analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.3, 3.4 ve 3.5). Ayrıca her bitki yetiştirme döneminin sonunda da her saksıdan bitki hasadının ardından bozulmuş toprak örnekleri alınarak aşağıda belirtilen analizler yapılmıştır.

**pH:** 1/2.5 (toprak/su) oranındaki karışımdan pH metre ile belirlenmiştir (Rhoades, 1996).

**EC:** 1/2.5 (toprak/su) oranındaki karışımdan EC metre ile belirlenmiştir (Rhoades, 1996).

**DTPA ile Ekstrakte Edilen Çinko:** Lindsay ve Norvell (1978) tarafından bildirildiği şekilde; 20 g toprak örneği 40 ml ekstraksiyon çözeltisi (0.005 M DTPA+0.01 M CaCl<sub>2</sub> +0.1 M TEA, pH=7.3) ile 2 saat çalkalanmış ve daha sonra Whatman 42 filtre kağıdından süzölmüştür.

**Yarayışlı Fosfor:** Topraklarda bitkiye yarayışlı P miktarı Olsen ve ark. (1954) tarafından geliştirilen yöntemle yapılmıştır.

**Yarayışlı Potasyum:** 1N amonyum asetat ile ekstraksiyon yöntemine göre yapılmıştır (Thomas, 1982).

**Organik Madde:** Modifiye edilmiş Walkey-Black metoduna göre yapılmıştır (Nelson ve Sommers, 1982).

**Hacim Ağırlığı:** Sabit hacimli (100 cm<sup>3</sup>) silindirlerle alınmış, bozulmamış toprak örneklerinde belirlenmiştir (Blake ve Hartge, 1986).

**Tarla Kapasitesi:** Basınçlı plakalar sistemi ile 1/3 atmosferde tutulan su miktarına göre hesaplanmıştır (Klute, 1986).

**Solma Noktası:** Basınçlı plakalar sistemi ile 15 atmosferde tutulan su miktarına göre hesaplanmıştır (Klute, 1986)

**Yarayışlı Su Tutma Kapasitesi:** Tarla kapasitesindeki nem içeriğinden solma noktasındaki nem içeriğinin çıkarılması ile bulunmuştur (Klute, 1986).

**Toplam Gözeneklilik:** Su dolu gözenek hacmi hesaplamasında; gerekli olan hacim ağırlığının belirlenmesi için yaklaşık 150-160 g bozulmamış toprak örneğine gereksinim olduğundan, sadece ikinci dönem sonunda belirlenmiştir. Her dönem sonunda toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin analizleri içinde yaklaşık 100 g toprak örneği kullanıldığından, denemenin sağlıklı devam edebilmesi için ilk dönem bozulmamış toprak örnekleri alınmamıştır. Toplam gözeneklilik Danielson ve Sutherland (1986) tarafından geliştirilen hacim ağırlığı ve parçacık yoğunluğunun (2.65 g cm<sup>-3</sup>) kullanıldığı eşitlik ile hesaplanmıştır.

Toplam Gözeneklilik= (1-(Hacim Ağırlığı (g cm<sup>-3</sup>)/(2.65 g cm<sup>-3</sup>))

**Beta Glikosidaz Enzim Aktivitesi:** P-nitrophenol'ün kolorimetrik tahmini yolu ile hesaplanmıştır (Tabatabai, 1982). Yönteme ait detaylı bilgi aşağıda verilmiştir:

### **Gerekli Kimyasallar**

#### **1. (MUB STOK): Modifiye Üniversal tampon stok çözeltisi,**

- a. 12 g TRİS (Hidroksimetil aminometan)
- b. 11.6 g Maleik Asit
- c. 14 g Sitrik Asit
- d. 6.3 g Borik Asit
- e. 488 ml 1N NaOH içerisinde çözünür ve çözelti hacmi 1 L'ye saf su ile tamamlanır. Çözelti ışık geçirmeyen koyu renkli şişelerde buzdolabında saklanır.

#### **2. MUB Tampon Çözeltisi (pH 6.0):**

- a. MUB stok çözeltisinden 200 ml alınarak 500 ml behere konulur.
- b. MUB için 0,1 N HCl ile pH'sı 6.0'a ayarlandıktan sonra çözeltinin son hacmi 1 L'ye tamamlanır. (MUB tampon çözeltisinin 1 L'si için 1 g  $\text{NaN}_3$  konur, bu durumda tolüen damlatmaya gerek yoktur.)

#### **3. Substrat Çözeltisi (0,025 M p-nitrofenol B-D-Gliko pyranoside)**

- a. 0,377 g di sodyum p-nitrofenol B-D-Gliko pyranoside 40 ml MUB tampon çözeltisi içerisinde çözüldükten sonra çözelti hacmi 50 ml'ye saf su ile tamamlanır. (Çözelti günlük hazırlanır, analiz aşamasında beklemesi durumunda ise ışık geçirmeyen koyu renkli şişelerde buzdolabında bekletilir.

4. **0.5 M  $\text{CaCl}_2$  çözeltisi:** 73.5 g  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  700 ml saf su içerisinde çözüldükten sonra hacmi saf su ile 1 L'ye tamamlanır.

5. **THAM-NaOH çözeltisi:** 12.2 g Trishidroksimetil aminometan alınır 800 ml saf su içerisinde çözüldükten sonra çözeltinin pH'sı 12'ye 0.5 M'lık NaOH (20 g NaOH 1 L saf suda çözünür) ile ayarlanır. Çözelti ışık geçirmeyen koyu renkli şişelerde laboratuvar koşullarında saklanır.

6. **Standart depo p-nitrofenol çözeltisi:** 1 g p-nitrofenol 70 ml saf su içerisinde tamamen çözüldükten sonra son hacmi 1 L'ye saf su ile tamamlanır. Çözeltinin 1 ml'si 1 mg p-nitrofenol kapsamaktadır. Çözelti ışık geçirmeyen koyu şişelerde buzdolabında saklanır.

7. **Standart kullanma p-nitrofenol çözeltisi:** Standart depo p-nitrofenol çözeltisinden 1ml alınır ve 100 ml'ye saf su ile seyreltilir. Çözeltinin 1 ml si  $10\mu\text{g}$

p-nitrofenol kapsamaktadır. Çözelti günlük hazırlanır. Analiz aşamasında beklemesi durumunda ışık geçirmeyen koyu renkli şişelerde buzdolabında saklanır.

### **Analizin Yapılışı**

1. 2 mm'lik elekten geçirilmiş 1 g taze toprak örneği alınır ve deney tüpüne (polipropilen, ağzı O<sub>2</sub> giriş çıkışına izin vermeyen kapaklı) içerisine yerleştirilir.
2. Üzerine 4 ml tampon çözeltisi ve 1 ml substrat çözeltisi ilave edilir.
3. Karışım birkaç saniye çalkalanır.
4. Deney tüpünün ağzı kapatılarak 37 derecede 1 saat süreyle inkübasyona bırakılır.
5. İnkübasyon sonunda tüpler 15 dakika 3500 devir/dakikada santrifüj edilir.
6. Aynı işlem topraksız kontrol ve çözeltiler yerine saf su kullanılarak kör deneyde yapılır.
7. Santrifüj sonunda örneklerin bulunduğu tüplere 1 ml CaCl<sub>2</sub> ve 4 ml THAM-NaOH çözeltisi ilave edilir ve karıştırılır.
8. Oluşan sarı rengin yoğunluğu, standart seriye karşılık 410 nm dalga boyunda spektrofotometrede belirlenir.
9. Sonuç µg (ya da g) p-nitrofenol g<sup>-1</sup> kuru toprak h<sup>-1</sup> olarak ifade edilir.

**Mineral Azot:** 2 N KCl ile ekstrakte edilen toprak numunelerinde NO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub> okumaları kjeldahl buhar destilasyon cihazında yapılmıştır (Bremner, 1965). Yöntemde KCl çözeltisiyle işleme tabi tutarak toprak örneğinde değişebilir şekilde bulunan amonyumu, nitratı ve nitriti çözeltiliye geçirmektedir. Analizin yapılışına ait detaylı bilgi aşağıda verilmiştir:

### **Kimyasal Maddeler:**

1. Potasyum Klorür (KCl) ekstrakt çözeltisi 2 M: Kimyaca arı 750 g KCl son hacmi 5000 ml olarak şekilde saf su içerisinde çözülür.
2. Magnezyum Oksit (MgO): Kimyaca arı yeterli miktarda MgO 600-700 derece fırında 2 saat bırakılır. Desikatörde soğuduktan sonra ağzı sıkıca kapanabilen bir cam şişede saklanır.
3. Devarda Alaşımı: İyi kalite devarda alışımlı

4. Sülfamik Asit ( $\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$ ): Kimyaca arı 2 g sülfamik asit 100 ml saf suda çözülür. Bu çözelti buzdolabında saklanır.
5. Sülfürik Asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,005 N
6. Mix İndikatör: 5 ml mix indikatör 1 L saf su içerisinde çözülür.

#### **Analizin Yapılışı:**

1. Havada kurutulmuş 10 g toprak örneği 250 ml'lik ağzı kapatılabilen kaplara konular ve 100 ml 2 M KCl çözeltisi katılır. Daha sonra 1 saat süreyle 125 devir/dakikada çalkalanır. Süspansiyon filtre kâğıdı yardımıyla süzülür.
2. Destilasyon balonuna toprak ekstraktından 20 ml konular. Üzerine 1 ml sülfamik asit eklenir ve birkaç saniye çalkalanır. Daha sonra üzerine 0.2 g MgO ve 0.2 g devarda alaşımı katılır. Destilasyon balonu hemen mikro Kjeldahl destilasyon ünitesine bağlanır. Destilasyon ünitesinden gelen soğutucu borusuna 10 ml mix indikatör çözeltisi bağlanır. Destilasyon cihazı çalıştırılır ve 5 dk boyunca distile edilir.
3. Destilasyon cihazının soğutucu ucundaki mix indikatör çözeltisi 0,005 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ile titre edilir ve harcanan asit miktarı not edilir. Titrasyonda renk son noktada yeşilden durağan soluk pembeye dönüşür. (Destilasyon balonuna toprak ekstraktı dışında diğer kimyasal maddeler konularak aynı işlemler tekrarlanır. Bu işlem ile tanık hazırlanır ve sülfürik asit ile titre edilerek harcanan asit miktarı da not edilir ve gerekli hesaplamalar yapılır.)

#### **Hesaplama:**

$(T-B) \times n = m.e.N / 2$  g toprak örneğinde

$m.e.N / 2 \times 50 = m.e.N/100$  g toprak örneğinde

$1 m.e.N = 0,014$  g

Toprakta  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3$  % =  $m.e.N/100 \times 0.014$

**Burada;** T= destilasyon sonucu titrasyonda harcanan örneğin asit miktarı

**B**= tanık titrasyonu için harcanan asit miktarı

**n**= Standart asidin (Sülfürik Asit) normalitesi

**Mikrobiyal Biyokütle Karbonu:** Detayları aşağıda verilmiş olan SIR yöntemine (Substrate Induced Respiration) göre yapılmıştır (Anderson, 1982).

**Kullanılan Kimyasallar:**

- 1- 0.05 M NaOH,
- 2- 0.05 M HCl;
- 3- 0.5 M Baryum Klorit Solüsyonu (122.14 g BaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O saf su içerisinde çözülür ve saf su ile 1000 ml'ye tamamlanır.
- 4- Fenolftaleyn İndikatörü (0.1 g fenolftaleyn 80 ml etanol (%60 v/v) içerisinde çözülür ve etanolle 100 ml'ye tamamlanır.)
- 5- %0.5'lik glikoz çözeltisi

**Analizin Yapılışı:**

- 5 g taze toprak tartılarak karbondioksit şişelerine konulur.
- Toprak üzerine 1 ml glikoz çözeltisi ilave edilerek şişelerin kapağı açık bir şekilde 2 saat bekletilir.
- Küçük tüplere 2.5 ml NaOH konulur ve kavanozların ağzı hava almayacak şekilde kapatılarak şişeler inkübatöre yerleştirilir. İnkübatör içerisinde 25°C'de 4-6 saat inkübasyona terk edilir.
- Kontrol deneyi olarak 4-5 şişe içerisine toprak konmadan küçük tüplere 2.5 ml NaOH konularak topraklı koşullarda ve aynı sürede inkübasyona terk edilir.
- 100 ml'lik erlenmayerlerin içerisine 5 ml baryum klorit solüsyonu ilave edilir ve daha sonra da birkaç damla fenolftaleyn indikatörü ilave edilir. İnkübasyon sonunda inkübatörden çıkarılan şişelerin içindeki tüplerde bulunan NaOH bir erlenmayer içerisine çok hızlı bir şekilde boşaltılır. Bu amaçla kalsimetrenin pensi rahatlıkla kullanılır.
- Erlenmayer içerisindeki karışım, HCl ile renk pembeden renksiz oluncaya kadar titrasyona tabi tutulur. Titrasyon sonunda harcanan 0.05 M HCl miktarı not edilir.
- Aynı şekilde kontrol şişelerindeki NaOH'de HCl ile titrasyona tabi tutulur, sarf edilen asit miktarı not edilir.

Not: Örnekler için sarf edilen HCl miktarının kontrol için sarf edilen miktarın %50-75'i arasında olması gerekir. Bu amaçla, analizlere başlanmadan önce, fazla sayıda (min. 8-10 adet) şişe içerisine konulan topraklarda ön titrasyon yapılarak kontrol için harcanan titrasyonun %50-75 arasında olduğu kontrol örnekleri ile (Kontrol içinde min. 8-10 adet

örnek hazırlanır) test edilir. Bu amaçla 6., 12., 24. 36. .... Saatlerde titrasyonlar yapılarak inkübasyonun sonuçlanacağı zaman belirlenir.

Not: Toprak örneklerinin şişelere konulduğu saat ile en son yapılan titrasyon zamanı saat olarak not edilir.

- Analizi yapılan toprak örneğinin nem kapsamı belirlenir ve sonuçlar kuru toprak cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanarak not edilir.
- Toprakların CO<sub>2</sub> üretim miktarı mg (veya µg) CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> kuru toprak 24h<sup>-1</sup> olarak ifade edilir. Bu amaçla, analizde kullanılan 5 g taze toprağın fırın kuru ağırlığına ihtiyaç vardır. Bu miktar basit hesaplama ile 1.0 g kuru toprağa çevrilir. Ayrıca ön titrasyonlar ile test edilen inkübasyon süresi sonunda inkübasyon sonunda sarf edilen asit miktarından 24 saatteki sarfiyat hesaplanarak belirlenir.
- Toprak üzerine ilave edilen glikoz ile açığa çıkan CO<sub>2</sub> miktarından Biyokütle C'na aşağıdaki eşitlik vasıtası ile geçilir. SIR yöntemine göre biyokütle C sonucu tıpkı solunumda olduğu gibi mg (veya µg) CO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> kuru toprak 24h<sup>-1</sup> cinsinden ifade edilir.

**Hesaplama:**

$$CO_2(mg)/SW/t = \frac{(V_o - V) \times 1.1}{dwt}$$

SW : Gramdaki kuru toprak ağırlığı  
t : İnkübasyon süresi  
V<sub>o</sub> : Kör için harcanan HCl  
V : Örnekler için harcanan HCl  
dwt : Kuru toprak ağırlığı  
1.1 : Dönüşüm faktörü  
B : CO<sub>2</sub> üretim miktarı  
A : Biyokütle C

$$A = 40.04 \times B + 0.37$$

### **3.2.3.5. Veri değerlendirilmesi**

İstatistiksel değerlendirmelere geçilmeden önce verilerin normal dağılımları kontrol edilmiştir. Verilerin normal dağılım gösterdikleri anlaşıldıktan sonra, her bir özelliğin ölçümleri arasında varyansların eşitliklerinin kontrolü Levene's testi ile belirlenmiştir. Toprak tipi, biyoçar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre uygulama dozlarının bitki ve toprak özellikleri üzerine etkilerini ortaya koyabilmek amacı ile dört yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. ANOVA sonrasında, homojenlik testi yapılarak etki bakımından benzer olan uygulamalar LSD testi (0.05 olasılık düzeyinde) ile gruplandırılmıştır. İki



yetişirme sezonu sonunda belirlenen özelliklerin istatistiksel olarak farklı olup olmadıklarını görebilmek amacı ile eşleştirilmiş t-testi uygulanmıştır. Tüm istatistiksel analizler SPSS (version 21.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) ve Excell Stat programları kullanılarak yapılmıştır.



## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Biyoçarın toprak fonksiyonlarına ve bitkisel üretime etkisi biyoçarın ve uygulama yapılan toprağın özellikleri ile yetiştirilen bitkinin gereksinimlerine bağlıdır. Çalışmaya ait veriler, biyoçarın bitki gelişimi, besin elementi alımı ve toprak özellikleri üzerine etkileri şeklinde iki ana başlıkta verilmiş ve her bir özellik ayrı bir alt başlıkta tartışılmıştır. Her bir özellik için öncelikle iki ayrı dönemde elde edilen veriler karşılaştırılmış, ikinci aşamada; denemede yer alan faktörlerin etkisi varyans analizi ile değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

### 4.1. Uygulamaların Buğday Gelişimi ve Besin Elementi Alımına Etkileri

İki ayrı dönemde, biyoçar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre dozu uygulamalarının Kömeç ve Dökmetepe topraklarında yetiştirilen buğday bitkisinin gelişimine ve bazı besin elementlerinin alımına etkileri arasındaki farklılık Çizelge 4.1’de yer alan tek yönlü varyans analizinde gösterilmektedir. İki ayrı yetiştirme dönemi sonunda elde edilen kuru madde verimi (KM), bitkinin demir (Fe), çinko (Zn), potasyum (K), fosfor (P) ve azot (N) konsantrasyonları önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) farklıdır.

Çizelge 4.1. Uygulamaların iki ayrı dönemde kuru madde verimi ve bazı besin elementleri alımına etkilerini gösteren tek yönlü varyans analizi

	<b>Kareler Toplamı</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
<b>Kuru Madde</b>	384813.44	55.67	< 0.0001
<b>Demir</b>	115525.21	355.24	< 0.0001
<b>Çinko</b>	11695.85	100.93	< 0.0001
<b>Potasyum</b>	487.47	255.36	< 0.0001
<b>Fosfor</b>	3.85	440.31	< 0.0001
<b>Azot</b>	248.2830	315.2739	< 0.0001

İki ayrı dönemde elde edilen bitki KM verimi ile bazı besin elementleri konsantrasyonları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Sıvı hayvan gübresi ile birlikte biyoçarın uygulandığı ilk dönemdeki KM verimi ve besin elementi konsantrasyonları ikinci döneme kıyasla önemli düzeyde yüksektir. İki dönem arasında en yüksek farklılık %37.1 ile P konsantrasyonunda iken en düşük farklılık Fe konsantrasyonu (%17.8) ve KM veriminde (%17.8) gerçekleşmiştir. Buğday bitkisinin belirlenen ortalama K ve N konsantrasyonlarının fazla ve P, Zn ve Fe konsantrasyonlarının ise her iki dönemde de yeterli düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

İki dönem arasındaki farklılığın temel nedeni, biyoçar uygulamalarının ilk dönemin başında yapılması ve bir kısım biyoçar uygulamalarında biyoçar materyallerinin sıvı hayvan gübresi ile doyurulmuş olmasıdır. Biyoçarların kendi yapılarında bulunan besin

elementlerinin yanında, besin elementlerince zengin olan sıvı hayvan gübresi ile muamele edilmiş olmaları iki dönem arasında önemli farklılıkların oluşmasına yol açmıştır. Uygulanan biyoçarların besin elementi kapsamları incelendiğinde, özellikle fasulye biyoçarının önemli miktarda fosfor (0.56%), potasyum (3.56%) ve demir (2247 mg kg<sup>-1</sup>) içerdiği görülmektedir (Çizelge 3.4). Uygulanan sıvı hayvan gübresinin de azot, fosfor ve potasyum bakımından zengin olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 3.2).

Çizelge 4.2. İki ayrı dönemde bitki kuru madde verimi ve bazı besin elementlerinin ortalama konsantrasyonları ile kritik düzeyleri\*

Dönem	Kuru Madde mg bitki <sup>-1</sup>	Demir mg kg <sup>-1</sup>	Çinko	Potasyum	Fosfor %	Azot
1	232.47	88.87	31.56	6.46	0.35	4.59
2	191.12	66.21	24.35	4.99	0.22	3.54
<b>Noksanlık</b>		<10	11-20	1.00-1.50	0.11-0.20	1.25-1.74
<b>Yeterli</b>		10-300	21-70	1.51-3.00	0.21-0.50	1.75-3.00
<b>Fazla</b>		301-500	71-150	3.01-5.00	0.51-0.80	>3.00

\* Kaynak: Jones ve ark. 1991.

#### 4.1.1. Kuru madde verimi

İki ayrı dönemde tekstürleri farklı iki toprağa (T) ilave edilen biyoçar çeşidi (BÇ), dozları (BD) ve gübre dozu (GD) uygulamalarının serada yetiştirilen buğday bitkisinin KM verimine etkisinin değerlendirildiği varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3’de verilmiştir. Her iki dönemde de bireysel indikatörlerin tamamı buğdayın KM verimini önemli düzeyde (P<0.01) etkilemişlerdir. Yapılan çalışmada, biyoçar uygulamalarının bitki gelişimine etkileri hakkında birbirleri ile çelişen çok sayıda araştırma raporu yayınlanmıştır. Tek yıllık bir sera denemesinde buğday sapı, karışık odun parçaları ve bağ budama atıklarından elde edilen 3 farklı biyoçarın arpa ve hardalın verimini azalttığı, yoncanın verimine ise önemli bir etki yapmadığı bildirilmiştir (Kloss ve ark., 2014). Benzer şekilde, Almanya’da sera ve Kuzey Amerika’da tarlada gerçekleştirilen denemelerde ise biyoçar uygulamasının mısırın verimine etki yapmadığı rapor edilmiştir (Güerena ve ark., 2013; Borchard ve ark., 2014). Bir başka çalışmada ise kumlu bir toprakta tesis edilen 3 yıllık tarla denemesinde odun ve mısır silajı biyoçarlarını azotlu gübre ile birlikte uygulayan Sängler ve ark. (2017), uygulamaların kışlık buğday, kışlık çavdar ve mısır verimini etkilemediğini belirtirken azotlu gübre ilavesinde de önemli bir interaksiyon tespit edemediklerini açıklamışlardır. Bununla birlikte besin elementlerince zenginleştirilmiş olan biyoçarın verim artışına neden olduğunu rapor eden çok sayıda araştırmalar da yayınlanmaktadır (Reverchon ve ark., 2014). Sängler ve ark. (2017)’nin aksine buğday sapının 450 °C’de pirolizi ile elde edilen biyoçarın hem tek tek hem de ara

ürün olarak yetiştirilen mısır, soya fasulyesi ve yer fıstığının verimlerini biyoçar uygulanmayan koşullara kıyasla arttırdığı bildirilmiştir (Liu ve ark., 2017a). Araştırmacılar, 20 ve 40 ton ha<sup>-1</sup> biyoçar uygulamalarında mısır veriminin mono kültür altında %6.1 ve %6.8 ve mısır/soya fasulyesi ara ürün sistemlerinde ise %9.0 ve %11.1 oranlarında arttığını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada soya fasulyesi veriminin ise mono kültür altında %7.2 ve %7.6 ve ara ürün sistemi altında ise %14.7 ve %13.7 oranında verim artışı kayıt etmişlerdir.

Çizelge 4.3. Toprak, biyoçar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre dozu uygulamalarının buğday bitkisinin kuru madde verimine etkilerini gösteren varyans analizi

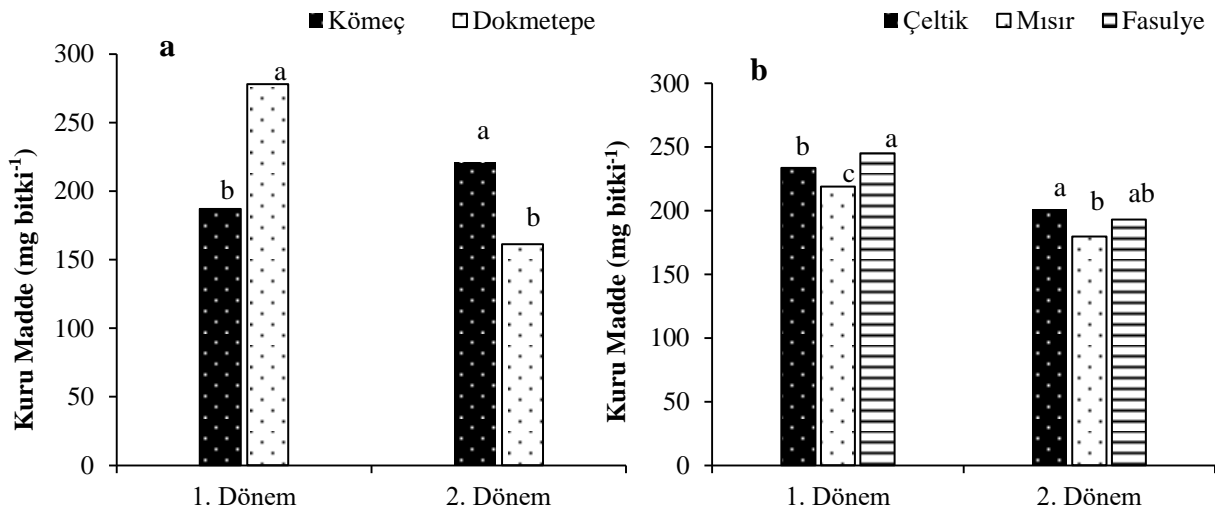
Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P
Toprak (T)	1	931885.5	931885.5	1233.2	<0.0001**	399046.04	399046.04	175.47	<0.0001**
Biyochaer Çeşidi (BÇ)	2	50825.71	25412.85	33.63	<0.0001**	33230.74	16615.37	7.31	0.0008**
Biyochaer Dozu (BD)	4	25305.49	6326.37	8.37	<0.0001**	58183.50	14545.88	6.40	<0.0001**
Gübre Dozu (GD)	4	703977.36	175994.34	232.91	<0.0001**	1379790.14	344947.54	151.68	<0.0001**
T*BÇ	2	58137.66	29068.83	38.47	<0.0001**	13972.89	6986.45	3.07	0.0478*
T*BD	4	6283.41	1570.85	2.08	0.0835 <sup>OD</sup>	8189.19	2047.30	0.90	0.4641 <sup>OD</sup>
T*GD	4	325966.01	81491.50	107.84	<0.0001**	404443.44	101110.86	44.46	<0.0001**
BÇ*BD	8	20553.47	2569.18	3.40	0.0009**	15701.83	1962.73	0.86	0.5481 <sup>OD</sup>
BÇ*GD	8	52703.80	6587.98	8.72	<0.0001**	98679.30	12334.91	5.42	<0.0001**
BD*GD	16	51392.94	3212.06	4.25	<0.0001**	100761.59	6297.60	2.77	0.0004**
T*BÇ*BD	8	20741.92	2592.74	3.43	0.0009**	28891.47	3611.43	1.59	0.1277 <sup>OD</sup>
T*BÇ*GD	8	20708.50	2588.56	3.43	0.0009**	181884.45	22735.56	10.00	<0.0001**
T*BD*GD	16	53020.15	3313.76	4.39	<0.0001**	53086.78	3317.92	1.46	0.1138 <sup>OD</sup>
BÇ*BD*GD	32	45357.79	1417.43	1.88	0.0038**	58828.21	1838.38	0.81	0.7621 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD*GD	32	22794.93	712.34	0.94	0.5601 <sup>OD</sup>	74235.69	2319.87	1.02	0.4417 <sup>OD</sup>

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir, OD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Toprak çeşidi ile BD interaksiyonunun buğdayın KM verimi üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmadığı görülmektedir (P=0.0835 ve P=0.4641). Denemede yer alan faktörlerin tamamının interaksiyonunun da (T x BÇ x BD x GD) KM verimi üzerine her iki yetiştirme döneminde de önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir (P=0.5601 ve P=0.4417). İlk dönemde bu iki interaksiyon haricindeki tüm interaksiyonların buğdayın KM verimi üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yaptığı anlaşılmaktadır. İkinci dönemde ise T x BD ve T x BÇ x BD x GD interaksiyonlarına ilaveten BÇ x BD (P=0.5481), T x BÇ x BD (P=0.1277), T x BD x GD (0.1138) ve BÇ x BD x GD (P=0.7621) interaksiyonları KM verimi üzerine önemli etki yapmamıştır. Bunların haricindeki tüm interaksiyonların KM verimi üzerine önemli düzeyde etki yaptığı ve KM veriminin farklılaşmasına neden olduğu bulunmuştur. İlk dönemin başında uygulanan biyoçar ve beraberindeki sıvı hayvan gübresi, uygulamaların KM verimi üzerine daha fazla etkili olmasını sağlamıştır. Bununla birlikte, ikinci dönem bu kaynaklardan toprağa geçen besin elementi miktarının azalması, uygulamaların KM verimi üzerine etkisinin de azalmasına neden olmuştur. İkinci dönem

uygulamalar arasında gözlemlenen farklılıkların nedeninin ise bu kaynaklardan gelen atık besin elementi ve biyoçarların fiziksel özelliklerinin etkisi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Biyoçar çeşidi, BD ve GD uygulamaları dikkate alınmadan sadece tekstürleri farklı olan iki ayrı toprakta yetiştirilen buğday bitkisinin KM verimi Şekil 4.1a'da gösterilmiştir. Her iki dönemde de iki ayrı tekstüre sahip topraklarda yetiştirilen buğday bitkilerinin KM verimleri arasında istatistiksel olarak önemli farklılık olduğu görülmektedir. Besin elementi açısından yetersiz olan ve %65 kum içeren Dökmetepe toprağında (Çizelge 3.4), ilk dönem sonunda biyoçar uygulamalarında elde edilen KM verimi ortalama  $278 \text{ mg bitki}^{-1}$  iken ikinci dönem KM verimi  $161 \text{ mg bitki}^{-1}$  'ye düşmüştür. İlk dönem Dökmetepe toprağına kıyasla %47.8 oranında daha düşük ortalama KM verimine sahip olan Kömeç toprağında ise ikinci dönem KM verimi ilk döneme kıyasla %18.2 düzeyinde artmıştır. İkinci dönem Kömeç toprağındaki verim Dökmetepe toprağından %36.9 oranında yüksek bulunmuştur. İlk dönem kum içeriğı daha yüksek olan Dökmetepe toprağının biyoçar ve sıvı gübre uygulamalarına karşı Kömeç toprağına kıyasla çok daha hızlı tepki verdiği anlaşılmaktadır. İkinci dönemde ise, Dökmetepe'ye kıyasla daha ince bir bünyeye sahip olan Kömeç toprağında biyoçar uygulamalarının olumlu etkisinin devam ettiği görülmektedir. Dökmetepe toprağında ise biyoçar uygulamalarının KM verimi üzerine olumlu etkisinin nerede ise tamamen tükendiğı söylenebilir.



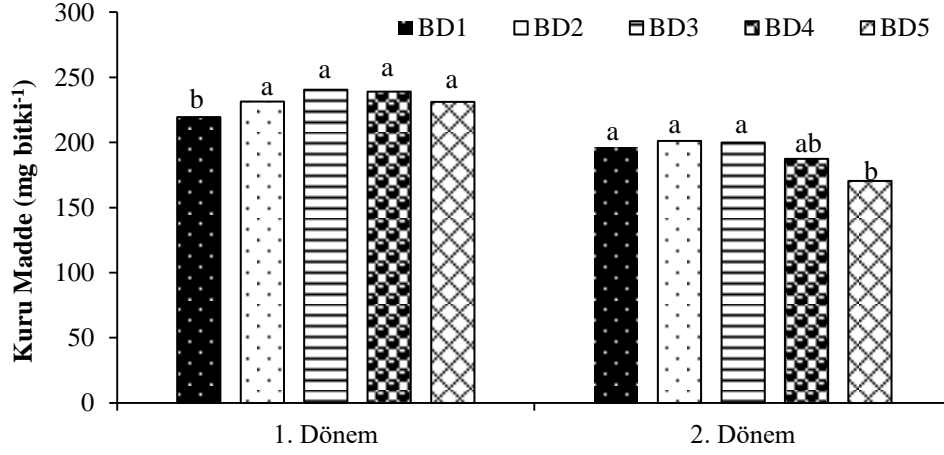
Şekil 4.1. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta b.) üç ayrı biyoçar çeşidi uygulamasında buğday bitkisinin kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri

Toprak, BD ve GD dikkate alınmadan, sadece biyoçar çeşidinin KM verimi üzerine etkileri Şekil 4.1b'de gösterilmiştir. Her iki dönemde de biyoçar çeşitlerinin KM verimi üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuş (Çizelge 4.3), her üç biyoçar çeşidi

uygulanmasında da ikinci dönem KM verimi ilk döneme kıyasla önemli düzeyde azalmıştır. İlk dönem en yüksek ortalama KM verimi 245 mg kg<sup>-1</sup> ile fasulye biyoçarı uygulamalarında elde edilirken ikinci dönem en yüksek KM verimi 201 mg kg<sup>-1</sup> ile çeltik biyoçarı uygulamalarından elde edilmiştir. KM verimindeki azalma fasulye biyoçarı uygulamalarında ortalama %26.9, çeltikte %14.1 ve mısırdaki %9.9 olmuştur. Uygulanan biyoçarların besin elementi konsantrasyonları incelendiğinde, fasulye biyoçarının mısır ve çeltik biyoçarlarına kıyasla daha yüksek oranda yarayışlı P, K ve Fe içeriği görülecektir (Çizelge 3.4). İlk dönem uygulanan biyoçar ile birlikte toprağa geçen besin elementi miktarının daha yüksek olması, fasulye biyoçarı uygulamalarında daha yüksek KM verimi oluşmasına neden olmuştur.

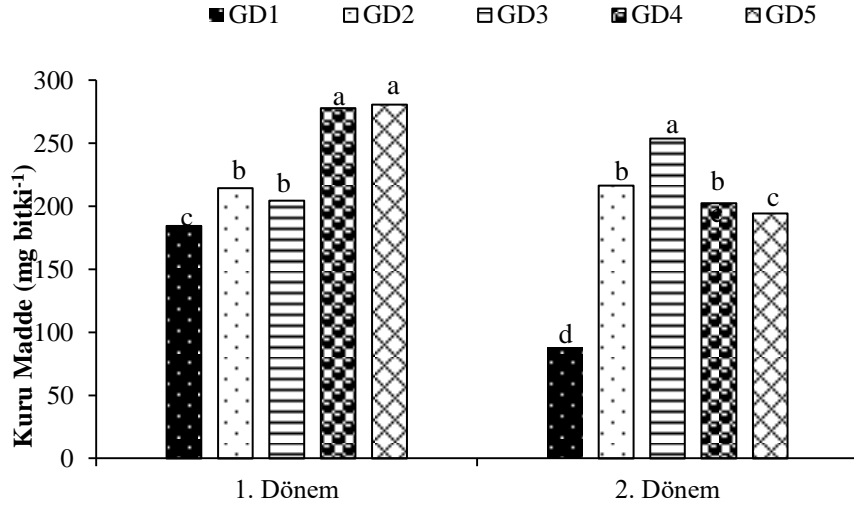
Her iki bitki yetiştirme döneminde toprak, BÇ ve GD dikkate alınmadan sadece biyoçar dozlarının buğdayın kuru madde verimine etkileri Şekil 4.2’de gösterilmiştir. İlk dönem en düşük ortalama KM verimi 220 mg kg<sup>-1</sup> ile biyoçar bulunmayan kontrol (BD1) uygulamasından alınmış ve KM verimi BD2 (232 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD3 (241 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarında BD1’e kıyasla sırası ile %55.5 ve %9.6 oranında artmıştır. Biyoçar dozunun bir miktar daha artması ile KM verimi yine BD1’e kıyasla BD4 uygulamasında (239 mg kg<sup>-1</sup>) %8.9 ve BD5 uygulamasında (231 mg kg<sup>-1</sup>) %5.3 oranında artmış ancak BD3 dozundaki KM verimine göre bir miktar azalmıştır. İkinci dönem de BD2 (201 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD3 (200 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarında ortalama KM verimi kontrolden (196 mg kg<sup>-1</sup>) sırası ile %2.6 ve %2.0 oranında yüksek olmasına rağmen BD4 (188 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD5 (170 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamalarında KM verimi kontrole kıyasla %4.4 ve %13.1 oranında azalmıştır. Prapagdee ve Tawinteung (2017), gereğinden fazla yapılacak olan biyoçar uygulamasının biyoçar materyalinin yüksek alkaliliğinden dolayı verimde azalmaya ve uzun dönemde toprakta alkalilik sorununa neden olabileceğini bildirmişlerdir. Bunun aksine çok düşük dozdaki biyoçar uygulamasının ise bitki üretimi için yeterli olmayacağına dikkat çekilmiştir.

Biyoyoçar dozu artışı ile ürün verimindeki değişim konusunda birbirleri ile çelişen araştırma sonuçları yayınlanmıştır. Gaskin ve ark. (2010), iki dönem boyunca fıstık kabuğu ve çam atıklarından ürettikleri biyoçarın mısırın besin elementi alımına ve verimine etkilerini incelemişlerdir. Çam biyoçarının artan doz miktarının (kullanılan dozlar 0, 11 Mg ha<sup>-1</sup> ve 22 Mg ha<sup>-1</sup>) denemenin ilk yılında mısır veriminde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir. Fıstık kabuğu uygulamasında ise en yüksek doz olan 22 Mg ha<sup>-1</sup>’ın verimde önemli bir azalmaya neden olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4.2. Beş biyoçar dozunun buğday bitkisinin kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

Biyoçar çeşitlerinin uygulandığı topraklara sıvı hayvan gübresi ile birlikte buğday bitkisinin gereksinimi olan besin elementlerinin farklı oranlarda yer aldığı GD uygulamalarının KM verimi üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ( $P < 0.01$ ) bulunmuştur (Şekil 4.3). Her iki dönemde de en düşük ortalama KM verimi ( $185 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $88 \text{ mg kg}^{-1}$ ) sadece sıvı hayvan gübresi ile doyurulmuş biyoçarların yer aldığı GD1 uygulamasında elde edilmiştir. Bu sonuç, denemede kullanılan biyoçarların sıvı hayvan gübresi ile doyurulsalar dahi bitkinin gereksinimi olan besin elementleri ilavesi yapılmadan bitki yetiştiriciliğinde kullanılamayacağını da açık bir şekilde göstermektedir. İlk dönem en yüksek KM verimi  $278 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $281 \text{ mg kg}^{-1}$  ile sırası ile GD4 ve GD5 uygulamaları ile elde edilmiştir. Her iki uygulamada da bitki gereksinimi için gerekli besin elementlerinin tamamı ilave edilmiştir. Denemenin ikinci döneminde ise ilk dönem sıvı hayvan gübresi ile muamele edilen biyoçarın bulunduğu GD1 uygulamasında KM verimi ilk döneme kıyasla %52.4 oranda azalmıştır. Diğer uygulamalarda ise gübre takviyesi dozunun artması ile KM verimi GD3 ( $254 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasına kadar düzenli olarak artmış, ancak tam gübre uygulamalarında verim önemli düzeyde düşmüştür.



Şekil 4.3 Beş gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin kuru madde verimine ( $\text{mg bitki g}^{-1}$ ) etkileri

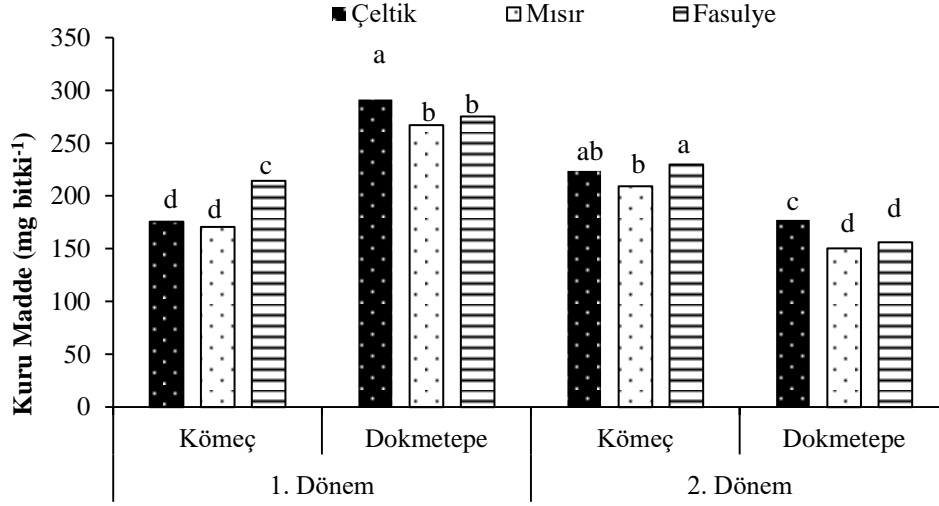
GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Biyoçar dozları ve GD dikkate alınmadan iki ayrı toprakta biyoçar çeşitlerinin KM verimi üzerine etkileri Şekil 4.4’de gösterilmektedir. Denemenin ilk döneminde Dökmetepe toprağında KM verimi  $267 \text{ mg bitki}^{-1}$  (mısır) ile  $291 \text{ mg bitki}^{-1}$  (çeltik) arasında iken Kömeç toprağında  $171 \text{ mg bitki}^{-1}$  (mısır) ile  $215 \text{ mg bitki}^{-1}$  (fasulye) arasında değişmiştir. Denemenin ikinci döneminde Dökmetepe toprağında üç biyoçar çeşidi uygulamasında da ortalama KM veriminin ilk döneme kıyasla önemli oranda azaldığı görülmektedir. Dökmetepe toprağının aksine Kömeç toprağında ise her üç biyoçar çeşidi uygulamasında da elde edilen KM verimi ikinci dönemde ilk döneme kıyasla önemli oranda artmıştır. Kum içeriği yüksek olan ve Kömeç toprağına kıyasla besin elementi kapsamı daha düşük olan Dökmetepe toprağında denemenin ilk döneminde biyoçar uygulamaları ile alınabilir besin elementi konsantrasyonunun önemli miktarda yükselmesi buğday bitkisinin gelişimini önemli düzeyde arttırmıştır. Toprağına biyoçar ilavesinin besin elementi miktarının artmasına neden olduğu aynı zamanda, toprakta besin elementlerini harekete geçirmekten sorumlu toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini de teşvik ettiği bildirilmiştir (Lehmann ve ark., 2015; Schmalenberger ve Fox, 2016). Bu durumun besin elementlerinin bitkilere daha yararlı hale gelmesine neden olduğu ve kök gelişimini sağlayarak ürün verimine olumlu katkı yaptığı görüşü ile uyumludur (Subedi ve ark., 2017).

Her iki toprakta da iki dönemde de en düşük KM verimi mısır biyoçarı uygulamalarında elde edilmiştir (Şekil 4.4). Biyoçarın bitkisel üretime ve besin elementleri döngüsü üzerine etkileri konusunda yapılmış 371 çalışmanın yer aldığı 114 bağımsız yayını inceleyen Biederman ve Harpole (2013), biyoçarın olası etkisi ile ilgili oldukça farklı



sonuçların rapor edildiğini bildirmişlerdir. İki ayrı toprakta biyoçarın buğday KM verimine etkisinin bu kadar yüksek olması denemelerde kullanılan toprakların tekstürü başta olmak üzere katyon değişim kapasiteleri, su tutma kapasiteleri, kil tipi gibi birçok genetik özelliği ile yakından ilişkilidir.



Şekil 4.4. Üç biyoçar çeşidinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin kuru madde verimine (mg bitki g<sup>-1</sup>) etkileri

Biyoçar çeşidi dikkate alınmadan toprak ve BD uygulamaları ile toprak ve GD uygulamalarının KM verimi üzerine etkileri Çizelge 4.4'de verilmektedir. Birinci dönem sonunda, tüm biyoçar dozlarında Dökmetepe toprağında elde edilen KM verimi Kömeç toprağındaki KM'ye kıyasla önemli oranda yüksektir. Her iki toprakta da en yüksek KM elde edilen biyoçar dozları BD3 (Kömeç 196 mg bitki<sup>-1</sup> ve Dökmetepe 285 mg bitki<sup>-1</sup>) ve BD4 olurken BD1 uygulaması en düşük KM üretimine neden olmuştur. KM verimi BD3'e kadar artış göstermiş, BD4 dozunda hemen hemen sabitlenmiş ancak daha yüksek dozda her iki toprakta da düşüşe neden olmuştur. BD5 uygulaması ile birlikte KM verimindeki azalma BD4'e kıyasla Kömeç toprağında %1.3 ve Dökmetepe toprağında ise %4.7 oranında olmuştur. Denemenin ikinci döneminde ise tüm biyoçar dozlarında KM verimi Kömeç toprağında ilk döneme kıyasla artarken, Dökmetepe toprağında önemli oranda KM veriminin azalmasına neden olmuştur. Kömeç toprağında BD1, BD2 ve BD3 uygulamalarında KM verimi önemli oranda değişmemiş, ancak bu noktadan sonra artan biyoçar dozlarında KM verimi önemli oranda azalma göstermiştir. Dökmetepe toprağında ise istatistiksel olarak önemli bir farklılık oluşmama ile birlikte en düşük KM verimi (170 mg bitki<sup>-1</sup>) BD5 uygulamasında elde edilirken en yüksek KM verimi (148 mg bitki<sup>-1</sup>) BD2 uygulamasında bulunmuştur.

Sadece GD dikkate alındığında, ilk dönem her iki toprakta da en yüksek KM verimi GD4 ve GD5 uygulamalarında en düşük verim ise GD1 uygulamasında elde edilmiştir. Her iki toprakta da tam gübreleme yapılan GD4 ve GD5 uygulamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamaktadır. Ancak GD1 uygulaması ile kıyaslandığında tam gübreleme Kömeç toprağında Dökmetepe toprağına kıyasla daha büyük etki yaptığı görülmektedir (Çizelge 4.4). Sadece sıvı hayvan gübresi uygulanan kontrol uygulamasına (GD1) kıyasla GD5 uygulamasında KM verimi Kömeç'te %144 ve Dökmetepe'de %13.6 oranında artışa neden olmuştur. Denemenin ikinci döneminde de ilk döneme benzer şekilde en düşük KM verimleri GD1 uygulamalarında (82 ve 94 mg bitki<sup>-1</sup>) gerçekleşmiştir. Kömeç toprağında GD1 uygulamasında 82 mg bitki<sup>-1</sup> olan KM verimi doz artışı ile artmış ve GD3 uygulamasında 274 mg bitki<sup>-1</sup> ye ulaşmıştır. Daha yüksek dozlarda KM verimi hafif bir azalmaya neden olsa da bu azalma istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Dökmetepe toprağında da KM verimindeki değişim benzer bir eğilim göstermiştir. Ancak KM verimi azalması GD3 ile kıyaslandığında GD4 uygulamasında %40 ve GD5 uygulamasında %45 gibi önemli düzeylere ulaştığı görülmektedir.

Çizelge 4.4. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) etkilerinin kuru madde verimine (mg bitki g<sup>-1</sup>) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	171 f	268 c	<b>232 a</b>	161 d
<b>BD2</b>	182 ef	282 ab	<b>232 a</b>	170 cd
<b>BD3</b>	196 d	<b>285 a</b>	<b>232 a</b>	168 cd
<b>BD4</b>	194 d	<b>284 a</b>	<b>215 a</b>	160 d
<b>BD5</b>	192 de	271 bc	193 b	148 d
<b>GD1</b>	<b>109 e</b>	260 c	<b>82 e</b>	<b>94 e</b>
<b>GD2</b>	150 d	279 b	221 bc	212 c
<b>GD3</b>	143 d	266 c	<b>274 b</b>	234 b
<b>GD4</b>	266 c	290 ab	<b>265 a</b>	140 d
<b>GD5</b>	267 c	<b>295 a</b>	<b>262 a</b>	127 d

Üç ayrı biyoçarın çeşidinin beş farklı biyoçar dozunun bulunduğu saksılarda yetiştirilen buğdayın KM verimi üzerine etkileri Çizelge 4.5'de verilmiştir. Tüm biyoçar dozu uygulamalarında en yüksek ortalama KM verimi BD3 fasulye (261 mg bitki<sup>-1</sup>), BD4 fasulye (256 mg bitki<sup>-1</sup>), BD1 fasulye (247 mg bitki<sup>-1</sup>) ve BD5 çeltik (245 mg bitki<sup>-1</sup>) biyoçar dozları ile elde edilmiştir. İlk dönem en düşük KM verimi çeltik biyoçarı BD1 (214 mg bitki<sup>-1</sup>) ile mısır biyoçarı BD5 (215 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamalarında elde edilmiştir. Fasulye biyoçarı uygulanan topraklarda BD5 uygulaması haricinde diğer BD ile elde edilen KM verimleri çeltik ve mısır biyoçarlarından yüksek olmuştur. Çeltik biyoçarında artan doz ile birlikte KM verimi düzenli olarak artmış ve kontrol (BD1) uygulamasında 214 mg bitki<sup>-1</sup> olan KM verimi

%3.0 biyoçar (BD5) ile 245 mg bitki<sup>-1</sup> ye yükselmiştir. Mısır biyoçarı dozları KM verimi üzerine önemli bir etki yapmamıştır. Farklı dozlarda uygulanan mısır biyoçarı KM veriminde BD3'e kadar önemsiz olmakla birlikte artışa neden olmuş ancak artan dozla KM azalmış ve hatta BD5 uygulamasında KM verimi kontrolden dahi daha düşük olmuştur. Fasulye biyoçarında KM verimi mısır biyoçarına benzer şekilde BD3'e kadar artmış ve daha yüksek dozlarda KM miktarı önemli oranda azalmıştır. Olmo ve ark. (2016) yaptıkları bir çalışmada yüksek oranda uygulanan biyoçarın gübreleme düzeyine bakılmaksızın buğdayın spesifik kök uzunluğunun artmasına neden olduğunu, hem kök çapı hem de kök dokusu kütle yoğunluğunun azaldığını ve bununla ince köklerin artmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir. Bu durumun biyoçar-kök etkileşimi, topraktan faydalanma ve gübre etkinliğinin artması gibi nedenler ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Ancak araştırmacılar zeytin ağacı budama atıklarından üretilen biyoçarın kök uzunluğunun artmasına neden olduğunu rapor ederken, buğday sapından üretilen biyoçarda bu etkiyi tespit edemediklerine de dikkat çekmişlerdir. Bu çalışmada da fasulye biyoçarı uygulamasında artan biyoçar dozları ile KM verimi düzenli bir artış gösterirken, mısır biyoçarında benzer bir etki görülemediği görülmüştür.

Denemenin ikinci döneminde ise en düşük KM verimi mısır biyoçarı BD5 (157 mg bitki<sup>-1</sup>) ve en yüksek KM verimi ise çeltik biyoçarı BD2 (213 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamalarında elde edilmiştir. İkinci dönem uygulamalarında çeltik ve fasulye biyoçar dozlarının KM verimi üzerine etkileri benzer olmuştur. KM verimi BD artışı ile başlangıçta bir miktar artmış ancak yüksek dozlardaki biyoçar uygulamalarında KM verimi önemli oranda azalmıştır. Mısır biyoçarı uygulamasında ise artan her biyoçar dozu KM veriminde azalmaya yol açmıştır. Biyoçar bulunmayan BD1 uygulamasında ortalama KM verimi 198 mg bitki<sup>-1</sup> iken BD5 uygulamasında %20.6 oranında azalarak 180 mg bitki<sup>-1</sup> olmuştur. İki ayrı toprakta uygulanan üç biyoçar çeşidinin GD ile etkileşiminin buğdayın KM verimi üzerine etkileri Çizelge 4.5'de verilmiştir. İlk dönem, en yüksek KM verimi fasulye biyoçarın GD4 (291 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamasında ve en düşük KM verimi mısır biyoçarının GD3 (172 mg bitki<sup>-1</sup>), GD1 (178 mg bitki<sup>-1</sup>) ve GD2 (188 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamalarında elde edilmiştir. Çeltik ve mısır biyoçarlarında en yüksek verim GD5 uygulamasında elde edilmiştir.

Çizelge 4.5. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) etkileşimlerinin kuru madde verimine (mg bitki g<sup>-1</sup>) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	<b>214 g</b>	219 fg	227 d-g	203 abc	198 a-d	188 b-e
<b>BD2</b>	228 def	219 fg	247 abc	<b>213 a</b>	190 a-d	200 abc
<b>BD3</b>	238 cd	223 fgh	<b>261 a</b>	206 ab	189 b-e	206 ab
<b>BD4</b>	243 bc	219 fg	256 ab	201 abc	165 ef	197 a-d

<b>BD5</b>	245 bc	215 fg	234 cde	180 c-f	<b>157 f</b>	175 def
<b>GD1</b>	189 f	177.66 fg	187 f	<b>100 e</b>	<b>85 e</b>	<b>80 e</b>
<b>GD2</b>	219 e	188.19 f	236 d	248 b	209 c	193 cd
<b>GD3</b>	207 e	<b>172 g</b>	234 d	<b>272 a</b>	235 b	254 ab
<b>GD4</b>	272 bc	271 c	<b>291 a</b>	190 cd	180 d	237 b
<b>GD5</b>	280 abc	285 ab	277 abc	193 cd	188 cd	201 cd

İkinci dönem sonunda tüm uygulamalar içerisinde en yüksek KM verimi 272 mg bitki<sup>-1</sup> ile çeltik biyoçarı GD3 uygulamasında elde edilirken en düşük KM verimi sırası ile 80, 85 ve 100 mg bitki<sup>-1</sup> ile fasulye, mısır ve çeltik biyoçarlarının GD1 uygulamasından elde edilmiştir. İkinci dönem her üç biyoçar çeşidinde de GD3 uygulamasına kadar KM verimi düzenli olarak artmış bu noktadan sonra azalma göstermiştir.

Biyοçar çeşidi ve toprağı dikkate almadan BD ve GD uygulamalarının interaksiyonlarının KM verimi üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli (P<0.01) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.6). Denemenin ilk döneminde, en yüksek ortalama KM verimi 294 mg bitki<sup>-1</sup> ve 290 mg bitki<sup>-1</sup> ile BD3 uygulamasının GD4 ve GD5 uygulamalarında elde edilmiştir. Bununla birlikte en düşük ortalama KM verimi ise BD1 dozunun GD1 (173 mg bitki<sup>-1</sup>) ve GD3 (171 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamalarında olduğu görölmüştür. Hemen her biyoçar dozunda küçük istisnalar olmakla birlikte gübre dozu artışı ile birlikte buğdayın KM veriminin düzenli olarak arttığı anlaşılmaktadır. Denemenin ikinci döneminde tüm biyoçar dozlarında GD uygulamaları altında KM verimi ilk döneme göre önemli oranda azalma göstermiştir. Tüm uygulamalar içerisinde en yüksek KM verimi BD1 biyoçar dozunun GD3 (275 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamasında elde edilmiştir. En düşük KM verimi ise sadece sıvı hayvan gübresinin yer aldığı GD1 uygulamalarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.6. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun kuru madde verimine (mg bitki g<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem					
	<b>BD1</b>	<b>BD2</b>	<b>BD3</b>	<b>BD4</b>	<b>BD5</b>
<b>GD1</b>	172 jk	184 ijk	193 ghi	190 hij	182 ijk
<b>GD2</b>	193 ghi	209 fg	219 ef	224 ef	229 e
<b>GD3</b>	<b>171 k</b>	194 ghi	207 fgh	228 e	222 ef
<b>GD4</b>	280 abc	283 abc	<b>294 a</b>	275 bcd	258 d
<b>GD5</b>	282 abc	288 ab	290 ab	280 abc	265 cd
2. Dönem					
	<b>GD1</b>	<b>GD2</b>	<b>GD3</b>	<b>GD4</b>	<b>GD5</b>
<b>BD1</b>	<b>73 h</b>	<b>88 h</b>	<b>90 h</b>	<b>89 h</b>	<b>101 h</b>
<b>BD2</b>	222 b-e	214 cde	218 cde	215 cde	214 cde
<b>BD3</b>	252 ab	<b>275 a</b>	<b>271 a</b>	238 bc	233 bcd
<b>BD4</b>	220 cde	202 def	223 b-e	196 ef	172 f
<b>BD5</b>	213 cde	227 b-e	199 ef	200 ef	133 g

İki farklı toprakta üç farklı biyoçarın beş farklı dozunun interaksiyonunun buğdayın KM verimi üzerine P<0.01 önem düzeyinde etki ettiği belirlenmiştir (Çizelge 4.7). İlk

dönemde, tüm uygulamalar içerisinde en yüksek KM verimleri Dökmetepe toprağında çeltik BD5 (309 mg bitki<sup>-1</sup>), çeltik BD4 (305 mg bitki<sup>-1</sup>), fasulye BD3 (296 mg bitki<sup>-1</sup>) ve çeltik BD2 (291 mg bitki<sup>-1</sup>) şeklinde olmuştur. Kömeç toprağında çeltik ve mısır biyoçarı uygulamalarının farklı biyoçar dozlarının KM verimine önemli bir etkisi olmamıştır. Mısır biyoçarında BD1 uygulamasında KM verimi (171 mg bitki<sup>-1</sup>) iken BD5 uygulamasında 174 mg bitki<sup>-1</sup> olarak kayıt edilmiştir. Mısır biyoçarı Dökmetepe toprağında da KM verimi üzerine önemli bir katı yapmamıştır. BD3 uygulaması (274 mg bitki<sup>-1</sup>) ile ortalama KM verimi kontrole kıyasla (267 mg bitki<sup>-1</sup>) bir miktar yükselmiş ancak BD5 dozunda KM verimi kontrolün de altına inerek 256 mg bitki<sup>-1</sup> olmuştur. Fasulye biyoçarı ile Kömeç toprağında en yüksek verim BD4 uygulamasında (235 mg bitki<sup>-1</sup>) elde edilirken Dökmetepe’de en yüksek verim BD3 (256 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 4.7). Bu sonuç toprağın tekstürünün en uygun doz belirlenmesinde ne denli önemli olduğunu göstermektedir.

Denemenin ikinci döneminde en yüksek KM verimi (245 mg bitki<sup>-1</sup>) Kömeç toprağında fasulye biyoçarının BD3 uygulamasında elde edilmiştir. Bununla birlikte en düşük KM verimi (121 mg bitki<sup>-1</sup>) ise Dökmetepe toprağında mısır biyoçarının BD5 uygulamasında elde edilmiştir (Çizelge 4.7). Denemenin ikinci döneminde Dökmetepe toprağında çeltik ve fasulye biyoçarlarının biyoçar dozları arasında KM verimi açısından önemli bir farklılık görülmemiştir. Mısır biyoçarında ise sadece BD5 biyoçar uygulaması diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde düşük KM verimi elde edilmesine yol açmıştır.

Çizelge 4.7. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun kuru madde verimine (mg bitki g<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	<b>159 k</b>	171 jk	183 jk	268 cde	267 cde	271 b-e
<b>BD2</b>	166 jk	170 jk	209 hi	291 abc	269 cde	285 abc
<b>BD3</b>	191 ij	173 jk	226 gh	285 abc	274 b-e	296 ab
<b>BD4</b>	181 jk	167 jk	235 fgh	<b>305 a</b>	271 b-e	277 bcd
<b>BD5</b>	181 jk	174 jk	220 h	<b>309 a</b>	256 def	248 efg
2. Dönem						
<b>BD1</b>	222 a-e	<b>241 ab</b>	233 abc	185 e-h	154 ghi	143 hi
<b>BD2</b>	<b>240 ab</b>	221 a-e	235 abc	187 d-h	160 ghi	1658 ghi
<b>BD3</b>	235 abc	217 a-f	<b>245 a</b>	176 e-h	161 ghi	167 gh
<b>BD4</b>	230 a-d	175 fgh	240 ab	171 g-h	155 ghi	153 ghi
<b>BD5</b>	191 c-g	193 c-g	196 b-g	168 g-h	<b>121 i</b>	154 ghi

Biyoçar çeşidi ve GD uygulamaları iki ayrı toprakta KM verimi üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki etmişlerdir (Çizelge 4.8). İlk dönemde, en yüksek KM verimi Kömeç toprağında fasulye biyoçarı GD4 (282 mg bitki<sup>-1</sup>) ve GD5 (272 mg bitki<sup>-1</sup>)

uygulamaları ile mısır biyoçarı GD5 (272 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamasında elde edilmiştir. Dökmetepe toprağında ise çeltik biyoçarı GD2 (305 mg bitki<sup>-1</sup>) ve GD5 (304 mg bitki<sup>-1</sup>), mısır biyoçarı GD5 (299 mg bitki<sup>-1</sup>) ve fasulye biyoçarı GD4 (299 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamaları ile elde edilmiştir (Çizelge 4.8). Her iki toprakta da bir iki istisna haricinde uygulanan biyoçar çeşitlerinde ilave edilen besin elementi miktarının artışı ile birlikte KM veriminin arttığı görülmektedir. En yüksek verimlerin çoğunlukla tam gübrelemenin yapıldığı GD4 ve GD5 uygulamalardan elde edildiği anlaşılmaktadır. Bu durum, tüm uygulamalarda sıvı gübreli veya sıvı gübresiz uygulanan biyoçarın bitkinin gereksinimi olan besin elementlerini tedarik etmekten uzak olduğunu da ayrıca göstermektedir. Denemenin ikinci döneminde tüm uygulamalar içerisinde en yüksek KM verimi Kömeç toprağında fasulye biyoçarının GD3 (303 mg bitki<sup>-1</sup>) ve GD4 (302 mg bitki<sup>-1</sup>) dozlarında elde edilmiştir. Bu dönemde en düşük KM verimi ise her iki toprakta da GD1 uygulamalarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.8. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun kuru madde verimine (mg bitki g<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	<b>105 kl</b>	<b>98 l</b>	124 jk	274 b-g	257 e-h	249 g-h
<b>GD2</b>	133 j	119 jkl	198 i	<b>305 a</b>	257 e-h	274 b-g
<b>GD3</b>	125 jk	107 jkl	196 i	289 abc	238 h	272 c-g
<b>GD4</b>	259 d-h	257 e-h	282 a-e	285 abc	285 a-d	299 ab
<b>GD5</b>	256 fgh	272 c-g	272 cg	<b>304 a</b>	299 ab	282 a-f
2. Dönem						
<b>GD1</b>	<b>82 kl</b>	<b>76 kl</b>	<b>90 k-l</b>	118 ijk	95 kl	<b>69 l</b>
<b>GD2</b>	213 d-g	239 b-e	211 d-g	282 ab	180 fgh	175 fgh
<b>GD3</b>	266 ab	253 bcd	<b>303 a</b>	278 ab	218 c-f	205 efg
<b>GD4</b>	274 ab	219 c-f	<b>302 a</b>	106 jkl	142 hij	172 gh
<b>GD5</b>	283 b	260 abc	243 b-e	103 jkl	117 ijk	160 hi

İki ayrı toprakta BD ve GD uygulamaları etkileşiminin KM verimi üzerine önemli düzeyde (P<0.01) etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Denemenin ilk döneminde, biyoçar uygulanmayan ve besin elementi ilavesi yapılmayan GD1 uygulamaları kıyaslandığında Kömeç toprağında KM veriminin Dökmetepe toprağına kıyasla oldukça düşük olduğu görülmektedir. Tüm uygulamalar içerisinde en düşük KM verimi Kömeç toprağında BD1 dozunun GD1 (93 mg bitki<sup>-1</sup>) ve GD3 (95 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamalarında, en yüksek KM veriminin ise Dökmetepe toprağında BD3 dozunun GD4 (307 mg bitki<sup>-1</sup>) dozunda elde edildiği görülmektedir. Kömeç toprağında, biyoçarın olmadığı BD1 uygulamasında besin elementi takviyesi yapılmayan GD1 uygulaması ile %50 besin elementi takviyesi yapılan GD3 uygulamaları arasında ortalama KM verimi bakımından önemli bir farklılık bulunmamaktadır. Ancak tam gübrelemenin yapıldığı GD4 ve GD5 uygulamalarında

KM verimi GD3 uygulamasına kıyasla sırası ile %189.5 ve %199 oranında daha yüksektir. Benzer durum diğer biyoçar dozu uygulamalarında da bulunmakla birlikte farklılık bir miktar daha düşüktür. Biyoçar uygulanan saksılarda gübre takviyesi yapıldığında bitkinin topraktaki besin elementlerinden faydalanmasının daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Zira BD1 uygulamasında GD1 ile GD3 arasındaki fark ihmal edilebilecek kadar düşük düzeyde (%2.1) iken BD2’de GD1 ve GD3 uygulamaları arasındaki KM verimi farkı %12.8, BD3’de %24.4, BD4’de %48.8 ve BD5’de ise %55.2 olmuştur (Çizelge 4.9, Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7). Bu uygulamalar arasındaki farkın artması, biyoçar dozu artışı ile birlikte bitkinin toprakta bulunan besin elementlerinden faydalanma yeteneğinin geliştiğini göstermektedir. Biyoçar konusunda yapılan çalışmaların raporlarında da ticari olarak odun ve tarım ürünleri atıklarından üretilen biyoçarlar genelde besin elementi bakımından yetersiz olarak nitelendirilmişlerdir. Ancak toprağa uygulama öncesi besin elementlerince zenginleştirilirse veya gübreler ile birlikte uygulanırlarsa besin elementlerinin yararlılıklarını ve ürün gelişimini olumlu etkileyebilecekleri bildirilmiştir (Deenik ve ark., 2010; Kammann ve ark., 2015).

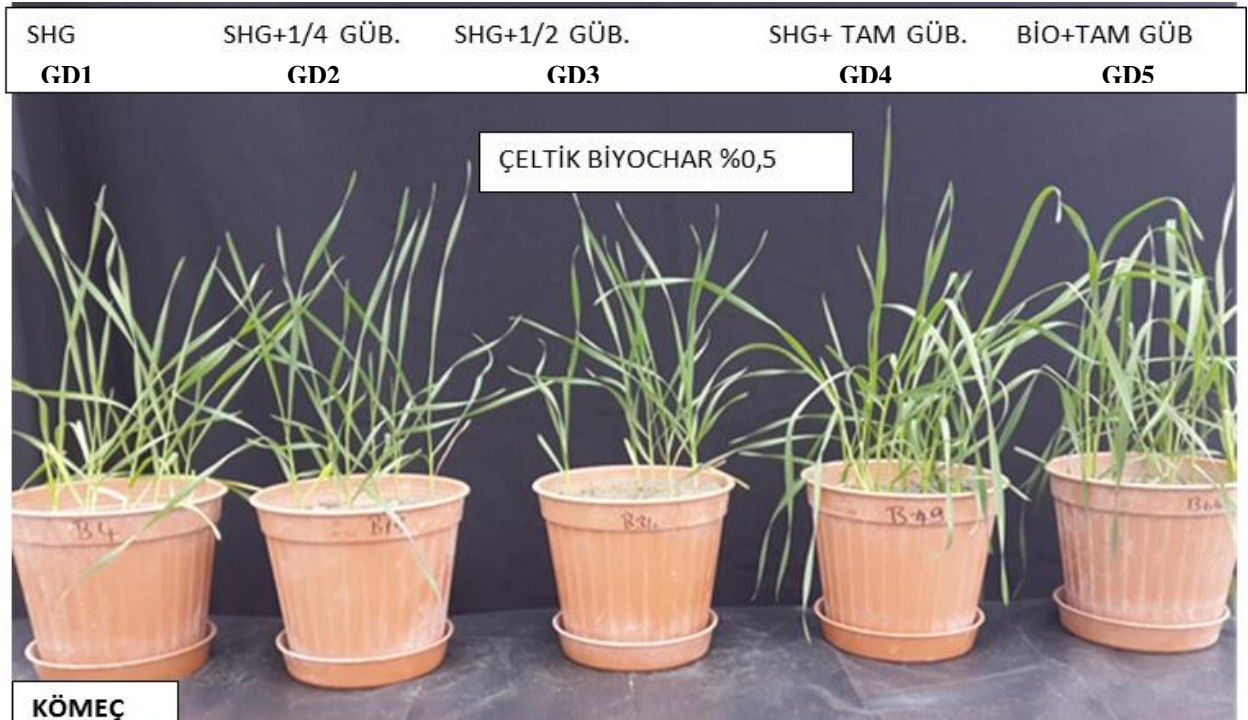
Çizelge 4.9. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun kuru madde verimine (mg bitki g<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	93 o	102 no	115	121	116	252	267	271	260	248
GD2	107 no	134	164	161	184	278	283	274	287	273
GD3	95 o	115	143	180	180	247	274	271	276	264
GD4	275	275	281	252	248	286	291	307 a	298	268
GD5	284	282	279	258	231	280	294	301 ab	301 ab	300 abc
2. Dönem										
GD1	68 r	76 qr	89	84 pqr	95	78 qr	100	90	93	107
GD2	225	209	228	216	228	220	219	207	215	200
GD3	266	293 ab	280	268	262	238	257	261	208	204
GD4	310 a	271	285 abc	248	211	130	133	161	144	133
GD5	290 abc	310 a	278	260	172	137	143	120	1403	93

Çalışmada biyoçarlar süt sığırcılığı işletmesinden alınan besin elementlerince zengin sıvı atıklar ile zenginleştirilmiş ve aynı zamanda buğday gelişimi için gerekli besin elementleri ile de takviye yapılarak uygulanmışlardır. Aynı biyoçar dozu uygulamasında, besin elementi takviyesi yapılmadan sadece sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirildikten sonra yapılan uygulamalarda (GD1) buğdayın KM verimi, besin elementi takviyesi yapılan uygulamalara kıyasla önemli düzeyde düşük kalmıştır. Bu bulgu, sadece biyoçar uygulamasına kıyasla biyoçar+ gübreleme uygulamalarında KM veriminin yüksek olması ile birlikte düşünüldüğünde biyoçarın bir gübre olarak görev yapmaktan ziyade toprakta besin

elementlerinin yararlılıklarını arttıran veya toprak özelliklerini geliştiren bir katkı maddesi olarak düşünülmesi gerektiği gerçeğini ortaya net bir şekilde koymaktadır.

Toprakta besin elementinin bitki gelişimi için yetersiz olduğu MG1, GD2 ve GD3 uygulamalarında biyoçar dozunun artışı ile birlikte KM verimi artmaktadır. Buğdayın gelişimi için gerekli olan besin elementi takviyesinin yapıldığı GD4 ve GD5 uygulamalarında ise KM verimi BD1, BD2 ve BD3 uygulamalarında önemli düzeyde benzerken BD4 ve BD5 dozlarında KM verimi BD1 uygulamasından çok daha düşüktür. Özellikle BD5 dozunda GD4 ve GD5 uygulamalarında BD1'e kıyasla KM verimindeki azalma sırası ile %10.9 ve %22.9 olmuştur (Çizelge 4.9). Biyoçar uygulamaları ile bitki gelişimindeki bu farklılık yayınlanmış araştırma raporlarında da göze çarpmaktadır. Son dönemde yapılan birçok çalışmada biyoçar uygulaması ile verim artışı rapor edilirken (Subedi ve ark., 2016a; Usman ve ark., 2016; Genesio ve ark., 2015; De La Rosa ve ark., 2014; Lin ve ark., 2015; Laghari ve ark., 2015) başka bir grup araştırmacı ise biyoçarın verime etki etmediğini bildirmiştir (Cornelissen ve ark., 2013; Subedi ve ark., 2016a; Tammeorg ve ark., 2014; Bass ve ark., 2016). Bu iki sonucun aksine biyoçar uygulamasının ürün veriminde azalmaya neden olduğunu gösteren araştırmacılar da bulunmaktadır (Deenik ve ark., 2010; Marks ve ark., 2014; Nelissen ve ark., 2014; Bass ve ark., 2016; Laghari ve ark., 2015). Sonuçlar, biyoçar uygulamaları ile verim artışının biyoçar, toprak, ürün, gübre gibi faktörlerin bileşimi, biyoçar ve gübrelerin uygulama dozları ve diğer çevre koşullarına bağlı olarak önemli oranda değişebileceğini göstermektedir.





Şekil 4.5. Kömeç toprağı BD2 (%0.5) dozunda artan gübre dozu uygulamalarının etkileri



Şekil 4.6. Kömeç toprağı BD3 (%1.0) dozunda artan gübre dozu uygulamalarının etkileri



Şekil 4.7. Kömeç toprağı BD4 (%2.0) dozunda artan gübre dozu uygulamalarının etkileri

Dökmetepe toprağında da biyoçar ilave edilmeyen GD1 (252 g bitki<sup>-1</sup>) ve GD3 (247 g bitki<sup>-1</sup>) uygulamaları arasında ortalama KM verimi bakımından farklılık bulunmamaktadır. Tam gübreleme yapılan GD4 ve GD5 uygulamalarında ise ortalama KM verimi GD3'e kıyasla sırası ile %15.8 ve %13.4 oranında artmıştır (Çizelge 4.9). Bu artışlar Kömeç toprağı

ile kıyaslandığında oldukça düşüktür. Dökmetepe toprağında Kömeç toprağından farklı olarak biyoçar ilavesi ile birlikte GD4 ve GD5 uygulamalarında da ortalama KM veriminin arttığı tespit edilmiştir. Yukardaki değerlendirmeler, biyoçar uygulamalarında toprak tipinin ne kadar önemli bir faktör olduğunu çok açık bir şekilde göz önüne sermektedir.

Denemenin ikinci döneminde ortalama en düşük KM verimi Kömeç toprağında BD1 dozunun GD1 (68 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamasında ve en yüksek ortalama KM veriminin ise Kömeç toprağında BD2 dozunun GD5 (310 mg bitki<sup>-1</sup>) ve BD1 dozunun GD4 (310 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamalarında olduğu belirlenmiştir. Her iki toprakta da tüm biyoçar dozlarında en düşük ortalama KM verimi GD1 uygulamasında olduğu görülmektedir. Kömeç toprağında, besin elementinin yetersiz uygulandığı GD1, GD2 ve GD3 uygulamalarında biyoçar dozu artışı ile birlikte KM veriminin ilk döneme kıyasla daha az belirgin olmakla birlikte bir artışı söz konusudur (Çizelge 4.9).

Toprak tipi dikkate alınmadan biyoçar çeşidi, BD ve GD uygulamaları etkileşiminin KM verimi üzerine önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etkili olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.10). İlk dönem, tüm uygulamalar içinde en yüksek ortalama KM verimi (319 mg bitki<sup>-1</sup>) fasulye biyoçarı BD3 dozunun GD4 uygulamasında elde edilmiştir. Çeltik biyoçarında tüm biyoçar dozlarında besin elementi takviyesi ile birlikte buğdayın KM veriminin arttığı ve en yüksek KM verimlerine GD4 ve GD5 uygulamalarında ulaşıldığı görülmektedir.

Fasulye biyoçarının BD5 dozu haricinde mısır ve fasulye biyoçar çeşit ve dozlarında da benzer durum söz konusudur. Fasulye biyoçarının BD5 haricindeki biyoçar dozlarında ortalama KM verimi besin elementi takviyesi ile birlikte artmıştır. Denemenin ikinci döneminde ise en düşük KM verimi fasulye biyoçarı BD1 dozunun GD1 (57 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamasında en yüksek KM verimi ise çeltik biyoçarının BD1 (305 mg bitki<sup>-1</sup>) ve BD2 (299 mg bitki<sup>-1</sup>) dozlarında GD3 uygulamasında elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun kuru madde verimine (mg bitki g<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	155 y	194	194	201	203
	GD2	195	208	224	230	238
	GD3	178	191	194	230	242
	GD4	277	277	287	262	258
	GD5	262	272	290	291	286
Mısır	GD1	183	171	196	180	159 xy
	GD2	184	186	193	185	194
	GD3	165 wxy	167	167	186	177
	GD4	264	271	277	260	283
	GD5	298	302 ab	283	285	260
Fasulye	GD1	179	189	190	1900	185
	GD2	199	232	239	257	255
	GD3	170	225	260	267	248
	GD4	300	301 a-d	319 a	301 abc	233
	GD5	285	289	298	263	250
2. Dönem						
Çeltik	GD1	82	100	107	103	106
	GD2	245	2467	242	262	243
	GD3	305 a	299 a	269 a-d	247	240
	GD4	201	184	200	195	171
	GD5	184	236	210	197	139
Mısır	GD1	81	83	81	90	92
	GD2	242	203	206	190	205
	GD3	215	259	279 ab	202	222
	GD4	214	206	194	152	136
	GD5	236	202	183	192	129
Fasulye	GD1	56 t	82 rst	82 rst	73 st	105
	GD2	180	193	204	194	193
	GD3	237	268	265	265	237
	GD4	246	216	274 abc	241	209
	GD5	220	241	204	211	130

Denemenin ilk döneminde tekli, ikili ve üçlü interaksiyonların KM verimi üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuş olmasına rağmen, dört faktörün interaksiyonunun her iki dönemde de KM verimi üzerine önemli bir etki yapmadığı (P=0.5601) anlaşılmaktadır. İlk dönem, tüm uygulamalarda Dökmetepe toprağında elde edilen KM verimi Kömeç toprağına kıyasla önemli düzeyde yüksektir. En düşük KM verimi Kömeç toprağında çeltik biyoçarının BD1 x GD1 (77 mg bitki<sup>-1</sup>) ile mısır biyoçarının BD1 x GD1 (83 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamalarında ve en yüksek ortalama KM veriminin ise Dökmetepe toprağında fasulye biyoçarının BD3 x GD4 (343 mg bitki<sup>-1</sup>), çeltik biyoçarının BD5 x GD5 (342 mg bitki<sup>-1</sup>) ile çeltik biyoçarının BD4 x GD5 (331 mg bitki<sup>-1</sup>) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.11). İkinci dönemde en yüksek ortalama KM verimi Dökmetepe toprağında fasulye biyoçarının BD1 x GD1 uygulamasında (42 mg bitki<sup>-1</sup>) ve en yüksek ortalama KM verimi ise Kömeç toprağında çeltik biyoçarının BD2 x GD5 uygulamasında (358 mg bitki<sup>-1</sup>) elde edilmiştir. Her iki toprakta da uygulanan biyoçar çeşitlerinin tüm dozlarında en düşük ortalama KM veriminin GD1 uygulamasında olduğu görülmektedir.



Çizelge 4.11. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun kuru madde verimine (mg bitki g<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	77.20	103.33	117.67	116.70	111.10	93.33	83.33	103.33	112.20	98.93	109.23	118.17	123.23	133.27	138.10
	GD2	97.77	114.97	153.90	134.97	162.77	108.33	112.80	122.23	112.23	140.43	116.13	175.70	215.10	236.10	249.03
	GD3	91.67	93.90	113.90	159.77	166.67	96.67	93.33	97.23	123.20	124.07	96.33	157.10	218.13	255.87	250.67
	GD4	266.13	267.53	279.43	244.97	237.80	268.90	255.63	270.57	222.37	267.73	289.83	302.43	293.90	287.33	238.03
	GD5	263.77	249.47	288.90	249.80	229.10	285.47	303.20	269.77	264.23	237.17	301.27	292.23	278.43	260.80	226.30
Dökmetepe	GD1	233.33	283.77	270.57	285.77	294.07	272.23	258.90	287.77	247.67	218.90	249.43	259.43	256.00	246.13	232.20
	GD2	292.43	301.70	295.00	325.57	312.37	258.90	258.30	264.43	257.23	246.97	281.70	287.80	263.37	277.23	260.57
	GD3	263.90	288.33	274.33	300.10	317.23	232.80	241.10	236.70	248.33	230.57	244.43	292.20	301.33	278.33	245.57
	GD4	288.33	286.10	294.43	279.97	277.23	258.90	287.23	283.57	297.77	297.80	310.00	299.33	<b>343.33 a</b>	315.27	228.33
	GD5	261.00	293.90	291.67	<b>331.33 ab</b>	<b>342.23 a</b>	310.13	300.00	295.57	305.67	283.43	267.77	286.63	316.63	266.13	273.90
2. Dönem																
Kömeç	GD1	69.73	76.63	89.67	91.60	80.27	<b>61.70</b>	66.87	81.63	77.37	91.63	71.33	85.33	97.00	83.87	111.90
	GD2	204.73	204.77	198.43	228.27	229.07	260.27	237.57	240.40	214.03	242.97	209.57	184.83	244.40	204.73	211.43
	GD3	286.03	302.60	250.13	250.57	242.07	221.83	277.03	297.87	206.53	261.13	291.57	300.77	292.70	<b>347.87 ab</b>	282.27
	GD4	278.90	256.97	322.30	285.10	227.33	327.50	243.40	195.47	149.70	176.50	322.90	313.07	<b>337.77 abc</b>	309.10	228.23
	GD5	268.33	<b>358.27 a</b>	315.10	295.97	178.67	333.73	278.70	268.67	226.87	191.37	267.30	292.73	251.67	256.67	146.10
Dökmetepe	GD1	94.33	123.67	123.93	114.90	131.27	99.50	98.67	80.33	102.97	92.13	<b>41.57</b>	78.07	67.10	<b>61.37</b>	98.53
	GD2	284.27	288.77	286.17	295.40	256.83	224.07	167.63	171.90	166.83	167.63	150.57	201.40	164.03	182.53	175.43
	GD3	323.90	295.20	287.83	244.17	237.80	208.40	240.83	259.27	197.30	183.53	182.30	234.37	236.80	181.87	191.63
	GD4	122.37	110.73	78.40	105.00	113.70	100.33	168.67	193.40	154.20	95.43	168.17	119.33	210.30	173.27	190.37
	GD5	99.67	114.70	105.80	97.43	99.50	139.07	124.53	98.17	156.17	66.43	171.83	190.23	156.83	165.90	113.60

#### 4.1.2 Bitkinin demir konsantrasyonuna etkileri

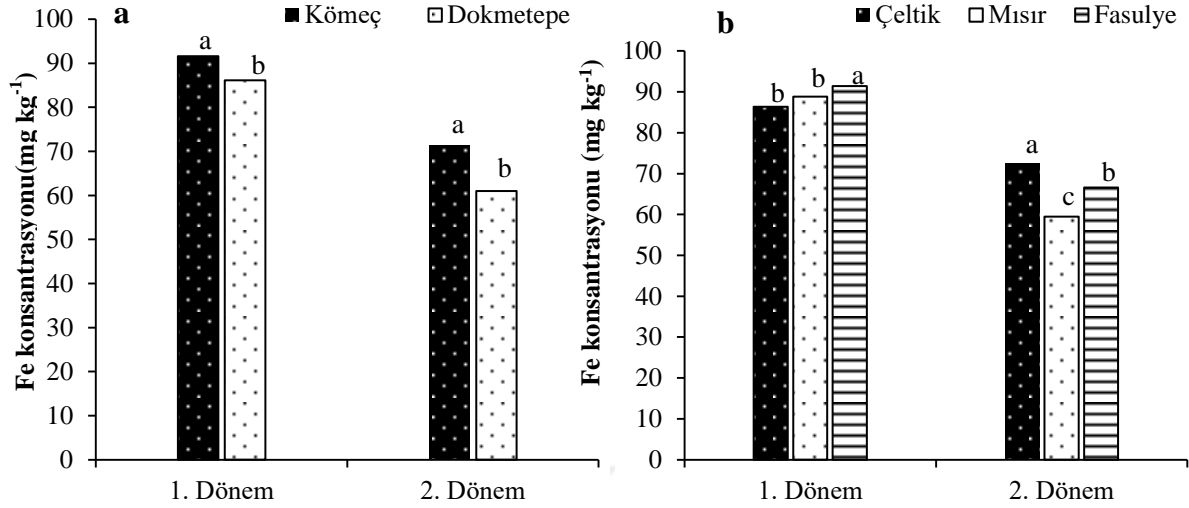
Bitkinin topraktan kaldırdığı demir (Fe) konsantrasyonuna ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12’de verilmiştir. Denemenin ilk yılında T x BD, BÇ x BD, T x BÇ x BD ve BÇ x BD x GD haricindeki tüm faktörler ve interaksyonlar buğday bitkisinin Fe konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiş ve farklılaşmasına neden olmuştur. Biyoçar uygulamalarından sonraki ikinci yetiştirme döneminde ise BD, BÇ x BD ve T x BÇ x BD faktör ve interaksyonlarının bitkinin Fe konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisi olmaz iken, diğer tüm faktör ve interaksyonların etkisinin önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Uygulamaların buğday bitkisi demir konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	3346.71	3346.71	28.78	<0.0001**	12139.94	12139.94	153.12	<0.0001**
Biyoçar Çeşidi (BÇ)	2	1928.65	964.32	8.29	0.0003**	12876.90	6438.45	81.21	<0.0001**
Biyoçar Dozu (BD)	4	2611.17	652.79	5.61	0.0002**	83.55	20.89	0.26	0.9013 <sup>OD</sup>
Gübre Dozu (GD)	4	7813.86	1953.46	16.80	<0.0001**	3658.67	914.67	11.54	<0.0001**
T*BÇ	2	59010.56	29505.28	253.73	<0.0001**	52379.20	26189.60	330.33	<0.0001**
T*BD	4	264.28	66.07	0.57	0.6859 <sup>OD</sup>	999.33	249.83	3.15	0.0147*
T*GD	4	1599.17	399.79	3.44	0.0091**	2843.72	710.93	8.97	<0.0001**
BÇ*BD	8	1531.49	191.44	1.65	0.1113 <sup>OD</sup>	693.25	86.66	1.09	0.3678 <sup>OD</sup>
BÇ*GD	8	7043.77	880.47	7.57	<0.0001**	11308.15	1413.52	17.83	<0.0001**
BD*GD	16	3454.29	215.89	1.86	0.0241*	2345.79	146.61	1.85	0.0248*
T*BÇ*BD	8	1315.64	164.46	1.41	0.1898 <sup>OD</sup>	485.41	60.68	0.77	0.6337 <sup>OD</sup>
T*BÇ*GD	8	8160.46	1020.06	8.77	<0.0001**	6531.77	816.47	10.30	<0.0001**
T*BD*GD	16	3858.63	241.16	2.07	0.0094**	2581.15	161.32	2.03	0.0112*
BÇ*BD*GD	32	4282.26	133.82	1.15	0.2697 <sup>OD</sup>	5457.57	170.55	2.15	0.0005**
T*BÇ*BD*GD	32	7184.25	224.51	1.93	0.0026**	5568.56	174.02	2.19	0.0004**

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

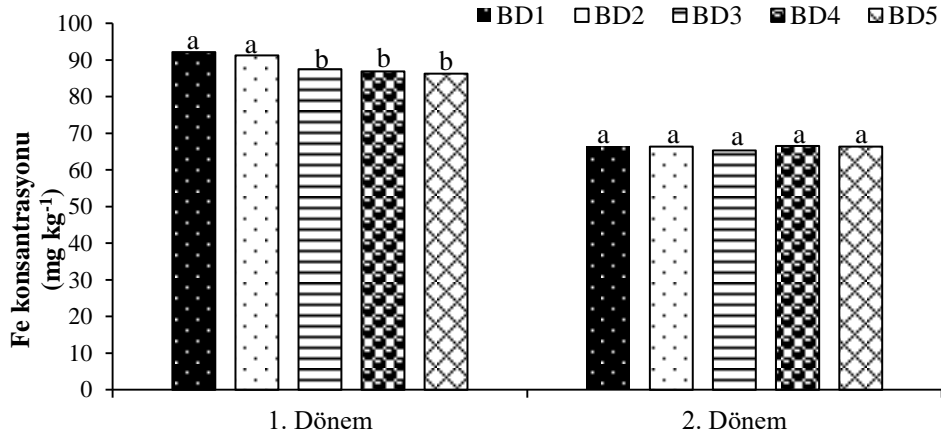
Her iki yetiştirme döneminde de Kömeç toprağında yetiştirilen buğday bitkisinin Fe konsantrasyonu (91.59 ve 74.40 mg kg<sup>-1</sup>) Dökmetepe toprağında yetiştirilen buğday bitkisinin Fe konsantrasyonundan (86.14 ve 61.01 mg kg<sup>-1</sup>) önemli düzeyde yüksek olmuştur (Şekil 4.8a). Denemenin ikinci döneminde, her iki toprakta da ortalama Fe konsantrasyonu önemli düzeyde azalmıştır.



Şekil 4.8. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprak ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

Biyoçar çeşitleri bitkinin Fe konsantrasyonuna her iki dönemde de önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) etki etmiştir. Kullanılan 3 biyoçar çeşidinin olduğu topraklarda da buğday bitkisinin ikinci dönem ortalama Fe konsantrasyonu ilk dönemden önemli düzeyde düşüktür. Bitkinin Fe alımında en büyük azalma %33 ile mısır biyoçarı uygulamasında gerçekleşirken, fasulye biyoçarı uygulamasında Fe alımı %27.2 ve çeltik biyoçarında %16 düzeyinde azalmaya neden olmuştur. İlk dönem en yüksek ortalama Fe konsantrasyonu ( $91.43 \text{ mg kg}^{-1}$ ) fasulye biyoçarı uygulamasında elde edilirken ikinci dönem çeltik biyoçarı uygulamasında ortalama Fe konsantrasyonu ( $72.56 \text{ mg kg}^{-1}$ ) diğer iki biyoçar çeşidine göre önemli düzeyde yüksek olmuştur (Şekil 4.8b).

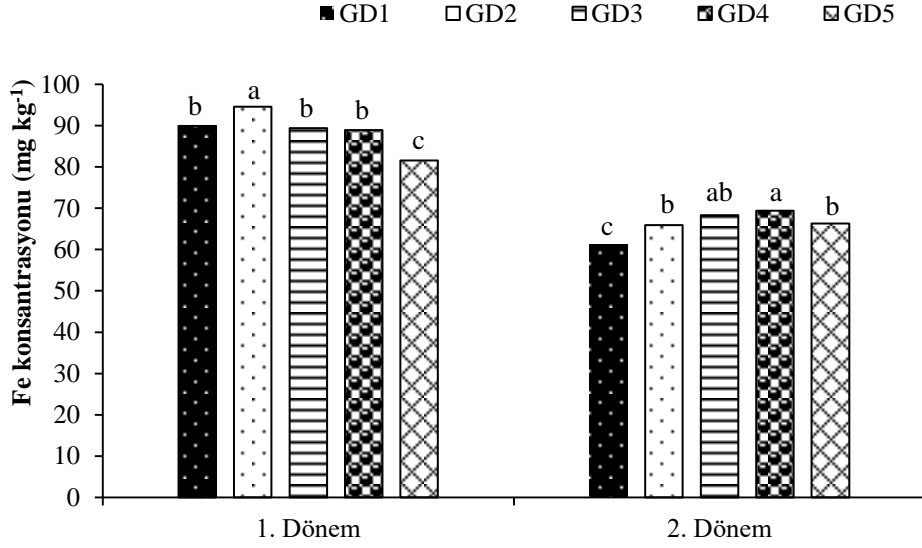
Biyoçar dozları ilk dönem buğday bitkisinin Fe konsantrasyonunun önemli düzeyde farklılaşmasına neden olurken ( $P < 0.01$ ), ikinci dönem tüm dozlarda Fe konsantrasyonu birbirlerine benzer bulunmuştur ( $P = 0.9013$ ) (Çizelge 4.12). İlk dönem en yüksek Fe konsantrasyonu sırası ile kontrol ( $92.19 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve BD2 ( $91.32 \text{ mg kg}^{-1}$ ) dozlarında elde edilmiş ve bu iki uygulama arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olmadığı tespit edilmiştir. Artan biyoçar dozlarında ise bitkinin Fe konsantrasyonu ilk iki doza kıyasla önemli oranda azalmıştır (Şekil 4.9). İkinci dönem yetiştirilen buğday bitkilerinin Fe alımlarına biyoçar dozlarının bir etkisi olmamıştır ve ortalama Fe konsantrasyonu  $65.37 \text{ mg kg}^{-1}$  (BD2) ile  $66.60 \text{ mg kg}^{-1}$  (BD3) arasında değişmiştir.



Şekil 4.9. Biyoçar dozlarının buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri  
BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

Sıvı hayvan gübresi ile buğday bitkisinin gereksinimi olan besin elementleri uygulamalarından oluşan gübre dozu uygulamaları (GD) her iki dönemde de buğday bitkisinin Fe konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiş ve farklılaşmasına neden olmuştur ( $P < 0.01$ ) (Şekil 4.10). Tüm GD uygulamalarında ilk dönem bitki Fe konsantrasyonları ikinci döneme kıyasla önemli düzeyde yüksektir. İlk dönem en yüksek Fe konsantrasyonu ( $94.54 \text{ mg kg}^{-1}$ ) sıvı hayvan gübresi ile birlikte bitkinin gereksinimi olan besin elementlerinin %25 oranında yer aldığı GD2 uygulamasında elde edilmiş, GD1, GD3 ve GD4 uygulamaları arasında ortalama Fe konsantrasyonu bakımından bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Sıvı gübre olmadan biyoçar ile besin elementi gereksiniminin tamamının yer aldığı GD5 uygulamasında ise ortalama Fe konsantrasyonu diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde düşük ( $81.57 \text{ mg kg}^{-1}$ ) bulunmuştur. İkinci dönem en yüksek ortalama Fe konsantrasyonu GD4 ( $69.37 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında iken diğer uygulamalardaki Fe konsantrasyonlarının birbirlerine benzer oldukları ve sadece sıvı hayvan gübreli biyoçarın yer aldığı GD1 ( $61.11 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında önemli düzeyde yüksek oldukları görülmektedir (Şekil 4.10).

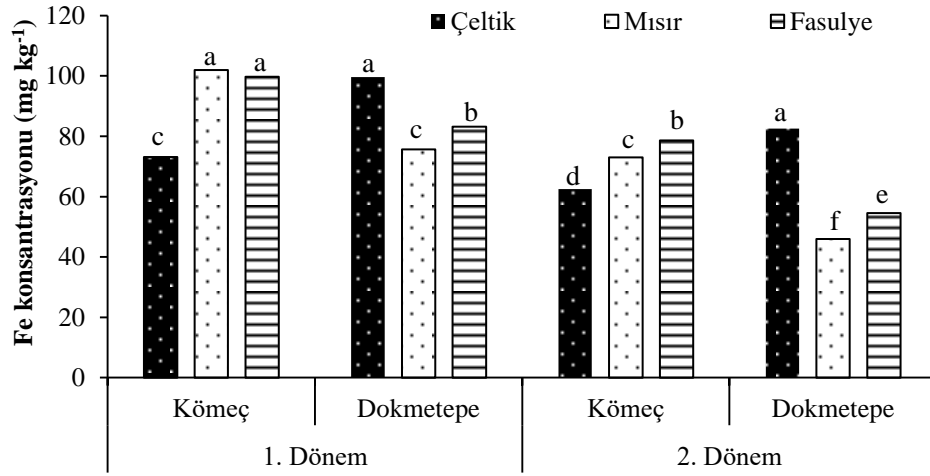




Şekil 4.10. Gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

İki farklı toprağa iki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidinin, buğdayın Fe konsantrasyonuna etkileri Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Her iki dönemde de toprak x biyoçar çeşidi interaksyonu bitkinin Fe konsantrasyonu üzerine önemli ( $P < 0.01$ ) etki yapmıştır. İlk dönem en yüksek ortalama Fe konsantrasyonu Kömeç toprağında mısır ( $101.92 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve fasulye ( $99.73 \text{ mg kg}^{-1}$ ) biyoçarları, Dökmetepe toprağında ise çeltik ( $99.59 \text{ mg kg}^{-1}$ ) biyoçarı uygulamasında elde edilmiştir. İkinci dönem ise en yüksek Fe konsantrasyonu Dökmetepe toprağında çeltik ( $82.60 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında olduğu görülmektedir. Her iki dönem için en düşük ortalama Fe konsantrasyonu ( $45.92 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ikinci dönemde Dökmetepe toprağında mısır biyoçarı uygulamasında gerçekleşmiştir. İkinci dönem Fe konsantrasyonları her iki toprakta da tüm biyoçar çeşidi uygulamalarında ilk döneme kıyasla önemli miktarda azalmıştır. Bununla birlikte en yüksek ve en düşük Fe konsantrasyonuna neden olan uygulamalar büyük ölçüde benzerdir. Çeltik biyoçarı uygulaması tın tekstürüne sahip Kömeç toprağında her iki dönemde de en düşük Fe konsantrasyonuna neden olurken, kumlu tın tekstüründeki Dökmetepe toprağında en yüksek Fe konsantrasyonuna neden olması, biyoçar çeşidinin bitkinin besin elementi alımına etkisinde toprağın genetik özelliklerinin etkisini göstermektedir.



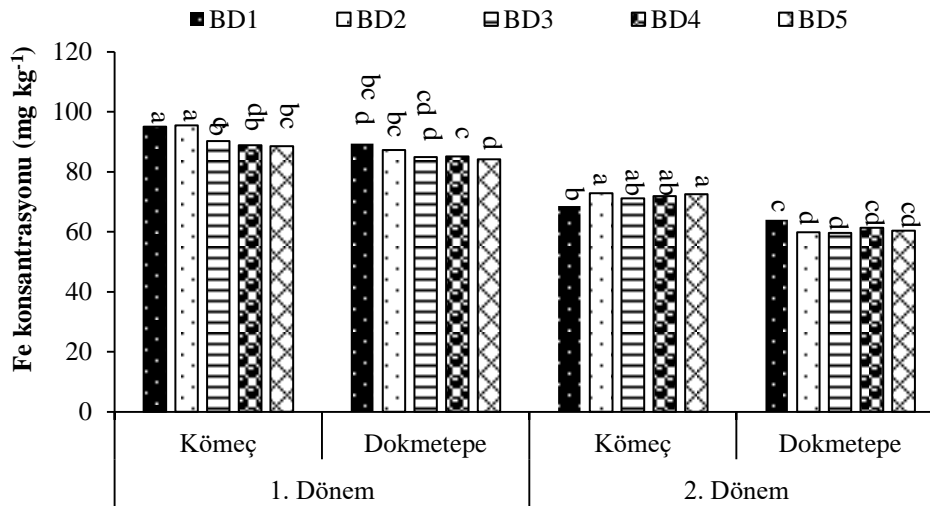
Şekil 4.11. Biyoçar çeşitlerinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

Tınlı tekstüre sahip Kömeç ve kumlu tınlı tekstüre sahip Dökmetepe topraklarında uygulanan beş farklı biyoçar dozunun buğday bitkisinin Fe konsantrasyonu üzerine etkisi Çizelge 4.13 ve Şekil 4.13’de gösterilmektedir. Toprak x BD interaksiyonu ilk dönem bitkinin Fe konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli bir etkiye sahip değil iken ( $P=0.6859$ ) bu etkinin ikinci dönemde önemli düzeyde ( $P<0.05$ ) olduğu görülmüştür. İlk dönem her iki toprakta da en yüksek ortalama bitki Fe konsantrasyonu kontrol (BD1) ve %0.5 biyoçar dozlarında (BD2) elde edilmiş ve artan biyoçar dozu ile bitkinin Fe konsantrasyonu azalmıştır. İkinci dönemde ise biyoçar dozları Fe konsantrasyonu üzerine çok belirgin bir etki yapmamışlardır. Her iki dönem içinde en yüksek Fe konsantrasyonu ilk dönem Kömeç toprağında BD1 ve BD2 uygulamalarında en düşük Fe konsantrasyonu ise ikinci dönem Dökmetepe toprağında BD2 ve BD3 dozlarında elde edilmiştir. Kum içeriği nispeten daha yüksek olan Dökmetepe toprağında ikinci dönem biyoçar uygulamaları ilk döneme kıyasla bitki Fe konsantrasyonunda daha düşük oranda azalmaya neden olmuşlardır (Çizelge 4.13, Şekil 4.12).

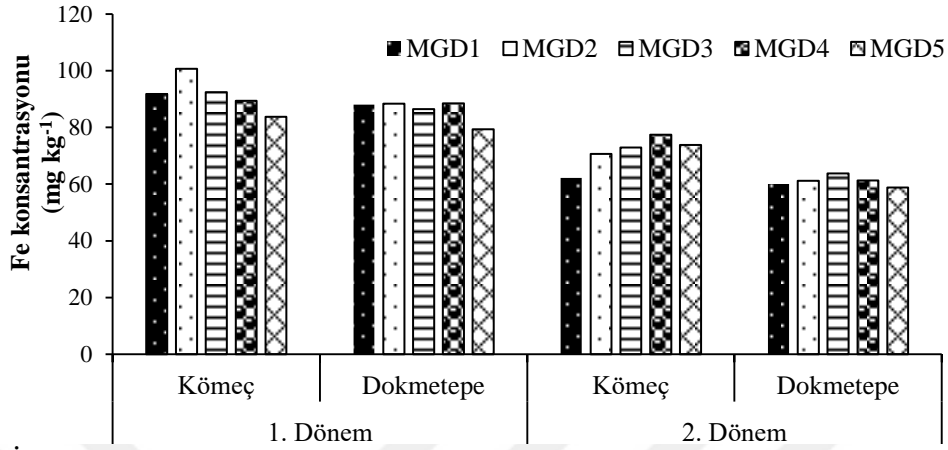
Çizelge 4.13. Toprak çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve toprak çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun iki yetiştirme döneminde buğdayın Fe konsantrasyonuna etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	<b>95.02 a</b>	89.36 bc	68.63 b	63.98 c
<b>BD2</b>	<b>95.43 a</b>	87.22 bcd	<b>72.88 a</b>	<b>59.84 d</b>
<b>BD3</b>	90.21 b	84.94 cd	71.14 ab	<b>59.60 d</b>
<b>BD4</b>	88.84 bc	85.08 cd	71.88 ab	61.32 cd
<b>BD5</b>	88.47 bcd	<b>84.11 d</b>	<b>72.49 a</b>	60.34 cd
<b>GD1</b>	91.80 b	88.05 bcd	62.18 cd	<b>60.04 d</b>
<b>GD2</b>	<b>100.66 a</b>	88.42 bc	70.62 b	61.21 cd
<b>GD3</b>	92.38 b	86.40 cd	72.90 b	63.79 c
<b>GD4</b>	89.37 bc	88.46 bc	<b>77.48 a</b>	61.26 cd
<b>GD5</b>	83.76 de	<b>79.38 e</b>	73.83 ab	<b>58.77 d</b>

Bitkinin Fe alımına toprak x GD interaksiyonunun etkisi her iki dönemde de önemli ( $P<0.01$ ) bulunmuştur. İlk dönem en yüksek Fe alımı ( $100.66 \text{ mg kg}^{-1}$ ) Kömeç toprağında GD2 uygulaması ile en düşük Fe alımı ( $79.38 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ise Dökmetepe toprağında GD5 uygulaması ile gerçekleşmiştir (Şekil 4.13 ve Çizelge 4.14). Kömeç toprağında artan gübre dozu ile bitkinin topraktan kaldırdığı Fe konsantrasyonunun azaldığı görülmektedir. Dökmetepe toprağında ise ilk dört dozda Fe konsantrasyonu birbirlerine önemli düzeyde benzer iken GD5 uygulamasında önemli oranda düşüş meydana gelmiştir. Denemenin ikinci döneminde ise ortalama en yüksek Fe alımı Kömeç toprağında GD4 ( $77.48 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulaması altında ve ortalama en düşük Fe alımı ise Dökmetepe toprağında GD1 ( $58.77 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve GD5 ( $60.04 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamaları altında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.14).



Şekil 4.12. İki ayrı dönemde uygulanan biyoçar dozlarının iki farklı toprakta buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri



Şekil 4.13. İki ayrı dönemde uygulanan gübre dozlarının iki farklı toprakta buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

Üç biyoçar çeşidine ait beş farklı dozun iki yetiştirme dönemi sonunda buğdayın Fe konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.14 ve Şekil 4.14’de verilmiştir. Biyoçar çeşidi ve biyoçar dozu interaksiyonu her iki dönemde de bitkinin Fe konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P=0.1113$  birinci dönem ve  $P=0.3678$  ikinci dönem) etki etmemiştir. Ancak iki dönem arasındaki Fe konsantrasyonu farkı önemli düzeydedir. İkinci dönem tüm biyoçar çeşitlerinin bütün dozları altında yetiştirilen bitkinin Fe alımı ilk döneme kıyasla önemli oranda azalma göstermiştir.

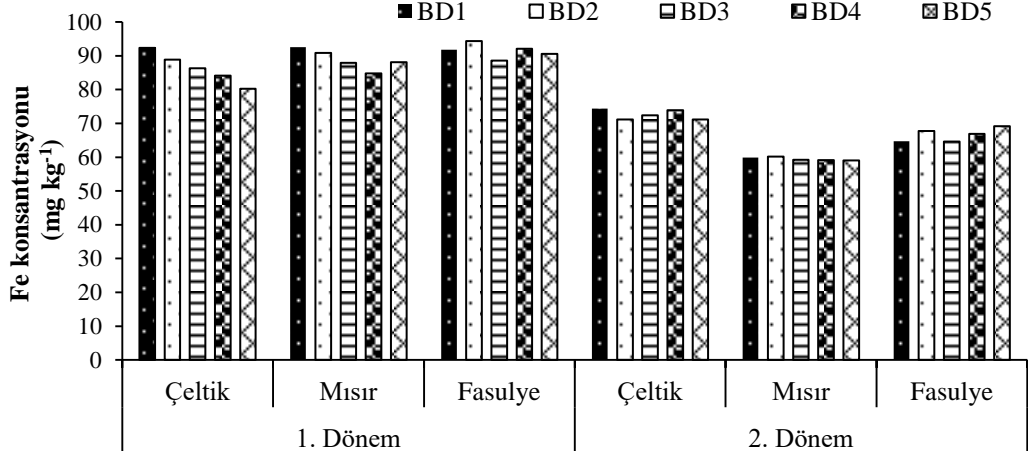
İlk dönem en yüksek ortalama Fe konsantrasyonu fasulye biyoçarının BD2 dozu ( $94.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında elde edilirken en düşük Fe konsantrasyonu ise ( $80.20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) çeltik biyoçarının BD5 dozunda olmuştur. Kömeç toprağında ilk dönem artan biyoçar dozu bitki Fe konsantrasyonunun düzenli bir şekilde azalmasına neden olurken, mısır biyoçarında bu azalma BD4 dozuna kadar devam etmiş, ancak BD5 dozunda Fe konsantrasyonu yine artmıştır. Fasulye biyoçarında ise doz artışı ile Fe konsantrasyonunda artma veya azalma anlamında belirgin bir eğilim gözlemlenmemiştir.

Çizelge 4.14. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının buğdayın Fe konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	92.31 ab	92.52 ab	91.73 abc	<b>74.38 a</b>	59.86 d	64.67 cd
<b>BD2</b>	88.87 a-d	90.80 a-d	<b>94.30 a</b>	71.14 ab	60.19 d	67.74 bc
<b>BD3</b>	86.30 b-e	87.87 a-d	88.55 a-d	72.33 ab	59.20 d	64.58 cd
<b>BD4</b>	84.12 de	84.73 cde	92.02 ab	<b>73.87 a</b>	59.09 d	66.83 bc
<b>BD5</b>	80.20 e	88.12 a-d	90.55 ad	71.09 ab	59.03 d	69.12 abc
<b>GD</b>						
<b>GD1</b>	94.35 ab	88.51 b-e	86.91 c-f	72.03 ab	58.77 e	<b>52.53 f</b>
<b>GD2</b>	<b>96.73 a</b>	93.59 abc	93.30 abc	<b>76.72 a</b>	60.32 de	60.70 de
<b>GD3</b>	83.84 ef	90.47 a-e	93.87 abc	<b>76.70 a</b>	59.64 de	68.70 bc
<b>GD4</b>	83.93 def	91.10 a-d	91.71 abc	72.01 ab	61.80 de	74.30 ab
<b>GD5</b>	<b>72.96 g</b>	<b>80.38 f</b>	91.37 bc	65.35 cd	56.85 ef	<b>76.70 a</b>

İkinci dönem BD uygulamalarında çeltik biyoçar dozları mısır ve fasulye biyoçar dozlarına kıyasla buğdayın Fe konsantrasyonunun daha fazla artmasına neden olmuşlardır. İkinci dönem BD uygulamaları ile bitkinin Fe konsantrasyonları arasında belirgin bir artış ya da azalış eğilimi tespit edilmemiştir.

Şekil



4.14.  
İki  
ayrı

dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidinin beş dozunun buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

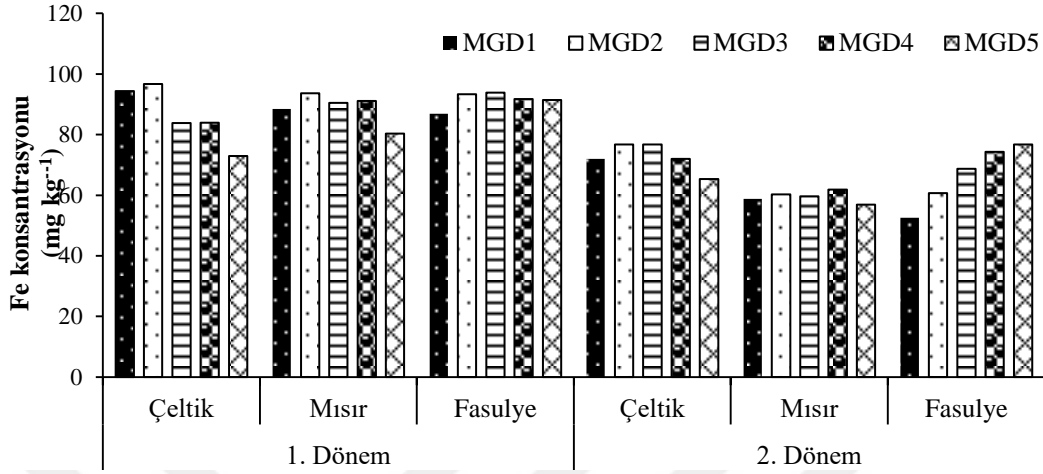
BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

Üç farklı biyoçar çeşidi ve GD uygulamalarının iki ayrı dönemde buğday bitkisinin Fe konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.14 ve Şekil 4.16'da özetlenmiştir. Biyoçar çeşidi ve

GD uygulamalarının interaksyonu her iki dönemde de bitkinin Fe alımı üzerine önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etki etmiş ve farklılaşmasına yol açmıştır. Her iki dönem birlikte değerlendirildiğinde ilk GD2 uygulamasında bitkinin Fe konsantrasyonu ( $96.71 \text{ mg kg}^{-1}$ ) diğer tüm uygulamalardan daha yüksektir. İlk dönem çeltik biyoçarı uygulamasında bitki besin elementi uygulaması ile birlikte bitkinin Fe konsantrasyonu düzenli olarak azalmıştır. Bitkinin kuru madde veriminin de GD artışı ile arttığı daha önce ifade edilmiş idi. Bitkinin kuru madde veriminin artması ile bitki içerisindeki Fe konsantrasyonun seyrelmesi söz konusu olabilir. İlk dönem mısır ve fasulye biyoçarı bulunan saksılarda GD bitkinin Fe konsantrasyonuna önemli düzeyde etki etmiş olmasına rağmen çeltik biyoçarında belirlenen eğilime benzer bir eğilim tespit edilememiştir. Mısır biyoçarı bulunan saksılarda, sıvı hayvan gübresi kullanılmadan besin elementlerinin uygulandığı GD5 uygulamasında en düşük Fe konsantrasyonu görülürken, fasulye biyoçarı bulunan saksılarda ise GD1 uygulamasında Fe konsantrasyonu diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde düşük bulunmuştur.

İkinci dönem fasulye biyoçarı bulunan topraklarda GD uygulamalarının bitki Fe konsantrasyonu üzerine etkisi ilk dönem çeltik biyoçarı bulunan topraklarda görülen etkinin tam tersi olmuştur. Fasulye biyoçarı bulunan topraklarda en düşük Fe konsantrasyonu ( $52.53 \text{ mg kg}^{-1}$ ) GD1 uygulamasında bulunmuş ve Fe konsantrasyonu artan GD ile artış göstermiştir. En yüksek konsantrasyona ise sıvı gübre uygulanmayan biyoçarın bulunduğu topraklara bitki gereksinimi için tam gübreleme yapılan GD5 uygulamasında rastlanmıştır (Çizelge 4.14).

Biyoçar dozu ile GD uygulamalarının interaksyonunda bitkinin ortalama Fe konsantrasyonuna ait değerler Çizelge 4.15 ve Şekil 4.15’de verilmektedir. Her iki yetiştirme döneminde de BD ile GD uygulamalarının interaksyonunun bitkinin Fe konsantrasyonu üzerine  $P<0.05$  düzeyinde önemli etki yaptığı belirlenmiştir. İlk dönem en yüksek Fe konsantrasyonu BD1 dozunun GD1 uygulamasında ( $98.04 \text{ mg kg}^{-1}$ ) elde edilirken en düşük Fe konsantrasyonu BD4 ( $79.21 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve BD5 ( $80.26 \text{ mg kg}^{-1}$ ) dozlarının GD5 uygulamasında tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. İki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidi ile beş gübre dozunun buğday bitkisinin demir (Fe) konsantrasyonuna etkileri

Çizelge 4.15. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın demir (Fe) konsantrasyonlarına (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	98.04 a	93.79 abc	87.97 b-g	85.71 c-g	84.11 d-g
GD2	92.46 a-d	95.87 ab	91.27 a-f	96.49 ab	96.60 ab
GD3	95.33 ab	96.38 ab	85.21 c-g	84.99 c-g	85.05 c-g
GD4	91.73 a-e	88.35 b-g	90.64 a-f	88.40 b-g	85.44 c-g
GD5	83.39 d-g	82.22 f-h	82.77 efg	<b>79.21 g</b>	<b>80.26 g</b>
2. Dönem					
GD1	60.76 fg	<b>59.44 h</b>	60.27 g-h	63.73 c-h	61.36 e-h
GD2	63.23 c-h	70.63 abc	65.59 b-h	65.47 b-h	64.64 b-h
GD3	66.67 a-h	64.63 b-h	70.57 abc	71.51 ab	68.36 a-f
GD4	<b>73.84 a</b>	69.43 a-d	65.00 b-h	69.60 a-d	68.98 a-e
GD5	67.02 a-h	67.64 a-g	65.42 b-h	62.68 d-h	68.74 a-e

Genel olarak bitkinin Fe konsantrasyonu birçok biyoçar dozunda gübre ilavesi artışı ile artış göstermiştir. İkinci dönem en yüksek Fe konsantrasyonu BD1 dozunun GD4 (73.84 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında ve en düşük Fe konsantrasyonu ise BD2 dozunun GD1 (59.44 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında elde edilmiştir. Tüm biyoçar dozlarında yer alan GD uygulamalarında bitkinin Fe konsantrasyonu ilk dönem Fe konsantrasyonlarına kıyasla önemli düzeyde azalma göstermiştir (Çizelge 4.15).

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de (P=0.1898 I. Dönem ve P=0.6337 II. Dönem) bitkinin Fe konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yapmamıştır. İlk dönem en düşük Fe konsantrasyonu Kömeç toprağında çeltik biyoçarının BD5 dozunda

(65.87 mg kg<sup>-1</sup>) elde edilirken en yüksek Fe konsantrasyonu mısır biyoçarının BD2 dozunda (106.28 mg kg<sup>-1</sup>) elde edilmiştir (Çizelge 4.16). Kömeç toprağında, ilk dönem Fe konsantrasyonları içinde çeltik biyoçarı uygulamaları tüm dozlarda mısır ve fasulye biyoçarlarının dozları altında bitkinin Fe konsantrasyonundan daha düşüktür. Bunun tam aksine Dökmetepe toprağında ise, çeltik biyoçarının tüm dozlarında mısır ve fasulye biyoçarı dozlarına kıyasla bitkinin Fe konsantrasyonu daha yüksektir. Toprak tekstüründeki farklılık aynı biyoçar çeşidi ve dozu altında bitkinin topraktan kaldırdığı Fe konsantrasyonunu önemli ölçüde etkilemektedir.

Denemenin ikinci döneminde ise en düşük ortalama Fe konsantrasyonu Dökmetepe toprağında mısır biyoçarının BD3 (44.33 mg kg<sup>-1</sup>), BD4 (44.23 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD5 (45.87 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarında elde edilmiştir. İlk dönemdekine benzer şekilde Kömeç toprağında en düşük ortalama Fe konsantrasyonu çeltik biyoçarında elde edilirken, Dökmetepe toprağında Fe konsantrasyonu Mısır ve fasulye biyoçarı altındaki tüm dozlardan daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.16. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	81.06 fh	104.96 ab	99.04 abc	103.57 abc	80.09 fgh	84.43 efg
<b>BD2</b>	77.43 f-i	<b>106.28 a</b>	102.58 abc	100.32 abc	75.31 g-j	86.01 def
<b>BD3</b>	68.99 i-j	102.17 abc	99.47 abc	103.61 abc	73.57 hij	77.63 f-i
<b>BD4</b>	72.33 hij	96.21 a-d	97.97 abc	95.91 bcd	73.25 hij	86.07 def
<b>BD5</b>	<b>65.87 j</b>	99.97 abc	99.58 abc	94.54 cde	76.26 f-i	81.53 fgh
2. Dönem						
<b>BD1</b>	60.58 fg	71.23 de	74.07 cd	<b>88.18 a</b>	48.48 hij	55.27 gh
<b>BD2</b>	64.72 ef	73.70 cd	80.21 abc	77.55 bcd	46.69 ij	55.27 gh
<b>BD3</b>	62.11 fg	74.07 cd	77.23 bcd	82.55 ab	<b>44.33 j</b>	51.92 hij
<b>BD4</b>	62.59 fg	73.96 cd	79.10 bcd	85.16 ab	<b>44.23 j</b>	54.56 ghi
<b>BD5</b>	62.61 fg	72.19 cde	82.65 ab	79.56 bcd	<b>45.87 j</b>	55.59 gh

Toprak tipi, BÇ ve GD uygulamalarının etkileşimleri buğday bitkisinin Fe konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde (P<0.001) etki etmiştir (Çizelge 4.17). İlk dönem en yüksek Fe konsantrasyonu Kömeç toprağında mısır biyoçarı GD2 (107.67 mg kg<sup>-1</sup>) uygulaması ile elde edilmiştir. En düşük Fe konsantrasyonu ise Kömeç toprağında çeltik biyoçarı GD5 uygulaması ile elde edilmiştir. Biyoçar dozlarındaki sonuçlara benzer şekilde Kömeç toprağında çeltik biyoçarının tüm GD uygulamaları altında bitkinin Fe konsantrasyonu mısır ve fasulye biyoçarına kıyasla daha düşüktür. Dökmetepe toprağında ise



Kömeç toprağında elde edilen sonucun tam aksine çeltik biyoçarında tüm GD uygulamaları altında elde edilen bitki Fe konsantrasyonu mısır ve fasulye uygulamalarından yüksektir. Benzer durum ikinci yetiştirme dönemindeki Fe konsantrasyonu sonuçları ile de uyumludur. İkinci dönem en düşük ortalama Fe konsantrasyonu Dökmetepe toprağında mısır biyoçarı GD5 (33.65 mgkg<sup>-1</sup>) uygulamasında ve en yüksek ortalama Fe konsantrasyonu ise Kömeç toprağında fasulye biyoçarı GD4 (93.45 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında elde edilmiştir.

Çizelge 4.17. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	83.05 hi	95.32 c-f	97.01 b-e	105.65 ab	81.70 ij	76.80 ij
<b>GD2</b>	94.18 d-g	<b>107.67 a</b>	100.14 a-e	99.28 a-e	79.52 ij	86.45 f-i
<b>GD3</b>	72.47 jk	102.44 a-e	102.23 a-e	95.20 c-f	78.49 ij	85.51 f-i
<b>GD4</b>	62.99 kl	103.83 a-d	101.29 a-e	104.88 abc	78.36 ij	82.13 ij
<b>GD5</b>	<b>52.98 l</b>	100.34 a-e	97.97 a-e	92.94 e-h	60.41 l	84.77 ghi
2. Dönem						
<b>GD1</b>	59.82 i-l	67.28 gj	59.45 jkl	84.23 bcd	50.26 mno	45.62 o
<b>GD2</b>	73.13 e-g	70.68 fgh	68.05 ghi	80.31 cde	49.95 mno	53.36 l-o
<b>GD3</b>	66.84 g-j	70.66 fgh	81.19 cde	86.56 abc	48.61 mno	56.21 klm
<b>GD4</b>	62.49 h-k	76.49def	<b>93.45 a</b>	81.52 cde	47.11 no	55.15 k-n
<b>GD5</b>	50.33 mno	80.05 cde	91.13 ab	80.38 cde	<b>33.65 p</b>	62.27 h-k

Toprak tipi, BD ve GD uygulamalarının interaksiyonlarına ait ortalama Fe konsantrasyonu değerleri Çizelge 4.18'de verilmiştir. ANOVA testi, birinci (P<0.01) ve ikinci dönem (P<0.05) interaksiyonun bitkinin Fe konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki ettiğini göstermiştir. Bu interaksiyonda ilk dönem en yüksek Fe konsantrasyonu Kömeç toprağında BD2 dozunun GD3 (106.01 mg kg<sup>-1</sup>) uygulaması altında ve en düşük Fe konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağında BD4 dozunun GD5 (75.84 mg kg<sup>-1</sup>) uygulaması altında elde edilmiştir. İkinci dönem ise en yüksek ortalama Fe konsantrasyonu Kömeç toprağında BD1 dozunun GD4 (81.91 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında buna karşılık en düşük Fe konsantrasyonunun ise Dökmetepe toprağının BD4 dozunun GD5 (53.13 mg kg<sup>-1</sup>) uygulaması altında olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.18. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	101.01 a-d	98.59 a-g	94.20 a-j	82.63 i-n	82.54 i-n	95.07 a-i	88.99 d-n	81.74 j-n	88.78 d-n	85.67 g-n
<b>GD2</b>	100.63 a-e	98.09 a-g	96.14 a-h	103.48 abc	104.97 ab	84.29 h-n	93.66 a-j	86.40 f-n	89.51 d-m	88.23 d-n
<b>GD3</b>	99.51 a-f	<b>106.01 a</b>	87.54 e-n	83.11 h-n	85.73 g-n	91.14 c-l	86.76 f-n	82.88 i-n	86.87 f-n	84.37 h-n
<b>GD4</b>	90.87 c-l	87.69 e-n	86.93 f-n	92.40 b-l	88.96 d-n	92.60 b-k	89.01 d-n	94.36 a-j	84.40 h-n	81.92 i-n
<b>GD5</b>	83.08 h-n	86.77 f-n	86.23 g-n	82.58 i-n	80.17 k-n	83.70 h-n	77.67 mn	79.31 lmn	<b>75.84 n</b>	80.36 k-n
2. Dönem										
<b>GD1</b>	59.88 k-o	62.09 h-o	65.02 f-n	60.29 j-o	63.63 f-o	61.63 h-o	56.80 mno	55.51 no	67.17 d-m	59.08 l-o
<b>GD2</b>	59.02 mno	79.78 ab	73.53 a-f	69.93 b-l	70.83 b-j	67.43 c-m	61.49 h-o	57.66 mno	61.01 i-o	58.46 mno
<b>GD3</b>	69.99 b-k	67.39 c-m	73.49 a-g	80.41 ab	73.21 a-g	63.34 f-o	61.87 h-o	67.64 c-n	62.61 g-o	63.50 f-o
<b>GD4</b>	<b>81.91 a</b>	78.19 abc	72.19 a-h	76.54 a-e	78.56 ab	65.78 e-n	60.67 i-o	57.81 mno	62.66 f-o	59.40 k-o
<b>GD5</b>	72.33 a-h	76.93 a-d	71.47 a-i	72.23 a-h	76.20 a-e	61.70 h-o	58.36 mno	59.38 k-o	<b>53.13 o</b>	61.28 i-o

Biyotaar eşidi, BD ve GD uygulamalarının karşılıklı etkileşimlerinde elde edilen bitki Fe konsantrasyonu değerleri izelge 4.19’da gsterilmiştir. Bu faktörlerin interaksiyonları bitkinin Fe konsantrasyonu üzerine ilk dönem istatistiksel olarak önemli bir etki yapmaz (P=0.2697) iken ikinci dönem önemli düzeyde etki yapmış (P<0.01) ve farklılaşmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.19. Biyotaar eşidi x biyotaar dozu (BD) x gbre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	<b>103.92 a</b>	97.43	91.93	87.70	90.77
	GD2	<b>101.52 abc</b>	97.57	92.80	97.97	93.80
	GD3	91.18	91.97	76.82	81.10	78.12
	GD4	86.65	82.88	92.00	80.47	77.67
	GD5	78.30	74.52	77.93	<b>73.38 nop</b>	<b>60.67 p</b>
Mısır	GD1	97.97	85.07	89.80	85.73	83.98
	GD2	93.17	97.73	92.22	91.03	93.82
	GD3	93.85	98.40	87.55	83.52	89.02
	GD4	93.88	89.70	92.98	92.17	86.75
	GD5	83.75	83.08	76.82	<b>71.22 op</b>	87.02
Fasulye	GD1	92.23	98.87	82.18	83.68	77.57
	GD2	82.70	92.32	88.80	<b>100.48 a-d</b>	<b>102.18 ab</b>
	GD3	<b>100.95 a-d</b>	98.78	91.27	90.35	88.02
	GD4	94.67	92.47	86.95	92.57	91.90
	GD5	88.12	89.05	93.57	93.03	93.10
eltik	GD1	76.35	68.53	74.70	75.88	64.67
	GD2	71.23	<b>80.13 ab</b>	71.12	79.68	<b>81.45 a</b>
	GD3	78.78	73.32	<b>80.88 ab</b>	73.67	76.85
	GD4	77.07	68.17	66.48	75.60	72.72
	GD5	68.47	65.53	68.48	64.53	59.75
Mısır	GD1	53.77	52.87	60.12	62.60	64.50
	GD2	61.30	69.92	61.93	55.93	52.50
	GD3	63.48	56.35	60.18	64.32	53.85
	GD4	66.30	64.08	59.17	62.83	56.63
	GD5	54.43	57.75	54.60	<b>49.78</b>	67.68
Fasulye	GD1	52.15	56.93	<b>45.98</b>	<b>52.70</b>	54.90
	GD2	57.15	61.85	63.73	60.80	59.98
	GD3	57.73	64.22	70.63	76.55	74.37
	GD4	78.17	76.03	69.35	70.37	77.58
	GD5	78.15	<b>79.65 abc</b>	73.18	73.73	78.78

Tüm faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin buğday bitkisinin Fe konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de istatistiksel olarak önemli düzeyde (P 0.01) etki ettiği görölmektedir (izelge 4.20). İlk dönem en düşük ortalama Fe konsantrasyonu Kömeç toprağında eltik biyotaarının BD3 dozunda yer alan GD4 uygulaması (125.83 mg kg<sup>-1</sup>) altında gerçekleşmiştir. En yüksek ortalama Fe konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağında mısır biyotaarının BD4 dozunda yer alan GD5 (45.70 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında elde edilmiştir. İkinci dönemde de en düşük ortalama Fe

konsantrasyonu Dökmetepe toprağında çeltik biyoçarının BD3 dozunda bulunan GD3 uygulaması (100.13 mg kg<sup>-1</sup>) altında gerçekleşmiştir. Buna karşılık en yüksek ortalama Fe konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağında mısır biyoçarının BD4 dozundaki GD5 uygulaması (25.77 mg kg<sup>-1</sup>) altında yetiştirilen buğday bitkilerinde elde edilmiştir.



Çizelge 4.20. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın demir (Fe) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>1. Dönem</b>																
Kömeç	<b>GD1</b>	92.60	85.10	86.60	79.67	71.30	106.07	97.97	99.73	83.57	89.27	104.37	112.70	96.27	84.67	87.07
	<b>GD2</b>	110.33	93.90	82.87	95.07	88.73	108.40	103.43	107.43	106.93	112.13	83.17	96.93	98.13	108.43	<b>114.03</b>
	<b>GD3</b>	81.27	91.33	63.63	67.40	58.73	108.90	<b>119.47ab</b>	94.20	86.30	103.33	108.37	107.23	104.80	95.63	95.13
	<b>GD4</b>	66.40	63.67	58.17	66.53	60.17	101.73	96.90	108.17	107.53	104.83	104.47	102.50	94.47	103.13	101.87
	<b>GD5</b>	54.70	53.13	53.67	53.00	50.40	99.70	<b>113.63a-d</b>	101.33	96.73	90.30	94.83	93.53	103.70	98.00	99.80
Dökmetepe	<b>GD1</b>	115.23	109.77	97.27	95.73	<b>110.23</b>	89.87	72.17	79.87	87.90	78.70	80.10	85.03	68.10	82.70	68.07
	<b>GD2</b>	92.70	101.23	102.73	100.87	98.87	77.93	92.03	77.00	75.13	75.50	82.23	87.70	79.47	92.53	90.33
	<b>GD3</b>	101.10	92.60	90.00	94.80	97.50	78.80	77.33	80.90	80.73	74.70	93.53	90.33	77.73	85.07	80.90
	<b>GD4</b>	106.90	102.10	<b>125.83a</b>	94.40	95.17	86.03	82.50	77.80	76.80	68.67	84.87	82.43	79.43	82.00	81.93
	<b>GD5</b>	101.90	95.90	102.20	93.77	70.93	67.80	52.53	52.30	<b>45.70</b>	83.73	81.40	84.57	83.43	88.07	86.40
<b>2. Dönem</b>																
Kömeç	<b>GD1</b>	59.67	62.07	68.50	56.30	52.57	55.40	60.23	75.00	70.13	75.63	64.57	63.97	51.57	54.43	62.70
	<b>GD2</b>	48.57	85.50	68.93	77.27	85.40	72.73	81.23	73.30	63.87	62.27	55.77	72.60	78.37	68.67	64.83
	<b>GD3</b>	71.33	65.23	61.63	69.47	66.53	77.47	64.27	72.53	78.87	60.17	61.17	72.67	86.30	92.90	92.93
	<b>GD4</b>	71.30	62.30	58.43	58.27	62.17	77.83	77.00	69.67	83.13	74.83	96.60	95.27	88.47	88.23	98.67
	<b>GD5</b>	52.03	48.50	53.07	51.63	46.40	72.73	85.77	79.87	73.80	88.07	92.23	96.53	81.47	91.27	94.13
Dökmetepe	<b>GD1</b>	93.03	75.00	80.90	95.47	76.77	52.13	45.50	45.23	55.07	53.37	39.73	49.90	40.40	50.97	47.10
	<b>GD2</b>	93.90	74.77	73.30	82.10	77.50	49.87	58.60	50.57	48.00	42.73	58.53	51.10	49.10	52.93	55.13
	<b>GD3</b>	86.23	81.40	<b>100.13</b>	77.87	87.17	49.50	48.43	47.83	49.77	47.53	54.30	55.77	54.97	60.20	55.80
	<b>GD4</b>	82.83	74.03	74.53	92.93	83.27	54.77	51.17	48.67	42.53	38.43	59.73	56.80	50.23	52.50	56.50
	<b>GD5</b>	84.90	82.57	83.90	77.43	73.10	36.13	29.73	29.33	<b>25.77</b>	47.30	64.07	62.77	64.90	56.20	63.43

#### 4.1.3 Bitkinin çinko konsantrasyonuna etkileri

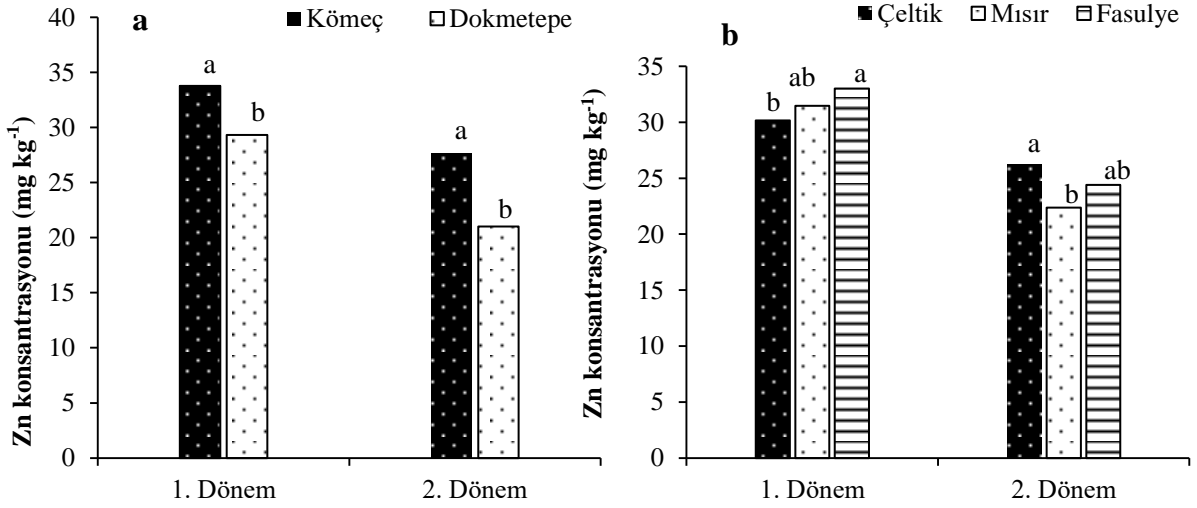
Denemenin ilk döneminde yetiştirilen buğday bitkisinin çinko (Zn) konsantrasyonu üzerine deneme toprağı (T), biyoçar çeşidi (BÇ), biyoçar dozu (BD) ve gübre dozlarının (GD) bireysel olarak önemli düzeyde etki ettikleri ve farklılaşmasına neden oldukları belirlenmiştir. Bu faktörlerin birlikte etkileşimlerinden ise T x BÇ, BÇ x GD, T x BÇ x GD ve BÇ x BD x GD interaksiyonları Zn konsantrasyonu üzerine önemli etki yaparken diğer yedi interaksiyonun Zn konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Denemenin ikinci döneminde ise bireysel faktörlerden T, BÇ ve GD ile T x BÇ, BÇ x GD ve T x BÇ x GD interaksiyonlarının buğday bitkisinin Zn konsantrasyonu üzerine önemli etki yapmıştır (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21. Uygulamaların buğday bitkisi çinko konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	DF	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P
Toprak (T)	1	2234.68	2234.68	34.4493	<0.0001**	4980.02	4980.02	71.91	<0.0001**
Biyöçar Çeşidi (BÇ)	2	616.60	308.30	4.7527	0.0093**	1122.43	561.22	8.10	0.000**
Biyöçar Dozu (BD)	4	1497.40	374.35	5.7709	0.0002**	282.54	70.64	1.02	0.397 <sup>OD</sup>
Gübre Dozu (GD)	4	7910.04	1977.51	30.4848	<0.0001**	5152.57	1288.14	18.60	<0.0001**
T*BÇ	2	6807.54	3403.77	52.4717	<0.0001**	6595.74	3297.87	47.62	<0.0001**
T*BD	4	47.07	11.77	0.1814	0.9480 <sup>OD</sup>	194.91	48.73	0.70	0.590 <sup>OD</sup>
T*GD	4	261.95	65.49	1.0095	0.4027 <sup>OD</sup>	405.79	101.45	1.46	0.213 <sup>OD</sup>
BÇ*BD	8	561.29	70.16	1.0816	0.3758 <sup>OD</sup>	396.97	49.62	0.72	0.677 <sup>OD</sup>
BÇ*GD	8	1266.57	158.32	2.4406	0.0143*	1766.37	220.80	3.19	0.002**
BD*GD	16	949.59	59.35	0.9149	0.5524 <sup>OD</sup>	1078.76	67.42	0.97	0.486 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD	8	435.51	54.44	0.8392	0.5687 <sup>OD</sup>	245.60	30.70	0.44	0.894 <sup>OD</sup>
T*BÇ*GD	8	2371.31	296.41	4.5694	<0.0001**	1492.93	186.62	2.69	0.007**
T*BD*GD	16	1171.60	73.23	1.1288	0.3272 <sup>OD</sup>	808.19	50.51	0.73	0.763 <sup>OD</sup>
BÇ*BD*GD	32	4441.11	138.79	2.1395	0.0005**	3150.84	98.46	1.42	0.071 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD*GD	32	2507.97	78.37	1.2082	0.2100 <sup>OD</sup>	3070.81	95.96	1.39	0.086 <sup>OD</sup>

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil

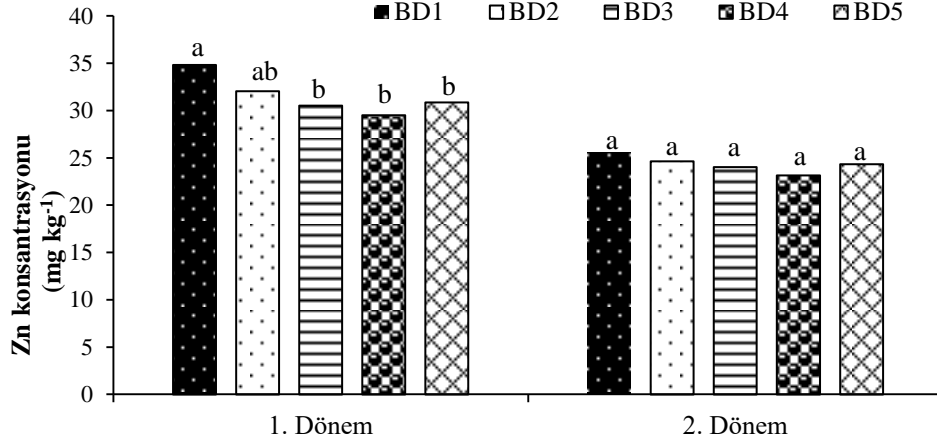
Toprak tipi bitkilerin topraktan kaldırdıkları Zn konsantrasyonu üzerine her iki dönemde önemli düzeyde (P<0.01) etki etmiş ve Zn konsantrasyonunun farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.21). Tekstür bakımından farklılıkları olan iki deneme toprağında yetiştirilen buğday bitkisinin ilk dönem ortalama Zn konsantrasyonları ikinci döneme göre önemli düzeyde yüksektir. Sıvı hayvan gübresi ile doyurulmuş biyoçar uygulamasını yapıldığı ilk yetiştirme döneminde bitkinin Fe'i olduğu gibi topraktan Zn'yu da daha fazla kaldırdığı görülmektedir. Her iki yetiştirme döneminde de Kömeç (dönem 1 ve 2 için 33.79 ve 27.68 mg kg<sup>-1</sup>) toprağında yetiştirilen buğday bitkisinin Zn konsantrasyonu Dökmetepe (29.33 ve 21.02 mg kg<sup>-1</sup>) toprağında yetiştirilene kıyasla önemli düzeyde yüksek olmuştur (Şekil 4.16a).



Şekil 4.16. Biyoçar uygulamalarının olduğu a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında yetiştirilen buğday bitkisinin çinko (Zn) konsantrasyonları ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Biyoçar çeşitlerinin uygulandığı topraklarda yetişen buğdayın iki ayrı dönemde topraktan kaldırdıkları Zn konsantrasyonunu Şekil 4.16b’de verilmiştir. Biyoçar çeşidi her iki dönemde de bitkinin topraktan kaldırdığı Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) etki etmiştir (Çizelge 4.21). İlk yetiştirme döneminde fasulye biyoçarı uygulanan topraklarda bitkinin topraktaki Zn’den daha iyi yararlandığı görülürken, ikinci dönem çeltik biyoçarı uygulanan topraklarda yetiştirilen buğday bitkisi diğer uygulamalara kıyasla daha yüksek Zn kaldırmıştır. İlk dönem Zn konsantrasyonu sırası ile fasulye ( $33.04 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > mısır ( $31.47 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > çeltik ( $30.17 \text{ mg kg}^{-1}$ ) biyoçarları ile elde edilirken ikinci dönem bu sıralama çeltik ( $26.25 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > fasulye ( $24.43 \text{ mg kg}^{-1}$ ) > mısır ( $22.38 \text{ mg kg}^{-1}$ ) şeklinde olmuştur.

Biyoçar dozu artışı ilk dönem bitkinin Zn konsantrasyonunu önemli düzeyde etkilemiş ( $P < 0.01$ ) ve artan dozla birlikte (BD4’e kadar) bitkinin Zn konsantrasyonu azalma göstermiştir. Biyoçar bulunmayan kontrol uygulamasında (BD1)  $34.83 \text{ mg kg}^{-1}$  olan Zn konsantrasyonu, BD2 dozunda  $32.05 \text{ mg kg}^{-1}$ ’a, BD3 dozu ile  $30.54 \text{ mg kg}^{-1}$ ’a ve BD4 dozu ile  $29.53 \text{ mg kg}^{-1}$ ’a düşmüştür (Şekil 4.17). Bu aşamadan sonra biyoçar miktarının %1.0’lik artışı (%3.0 BD5) bitkinin kaldırdığı Zn konsantrasyonunda istatistiksel olarak önemsiz bir artışa neden olmuştur.



Şekil 4.17. İki ayrı dönemde uygulanan biyoçar dozlarının buğday bitkisinin çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri.

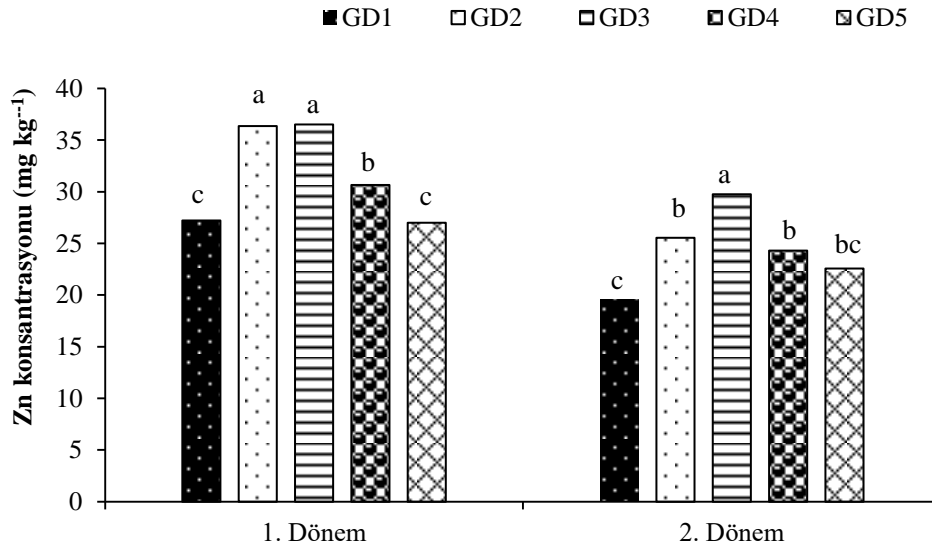
BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

İkinci dönem BD uygulamalarının bitkinin topraktan kaldırdığı Zn konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir. BD artışı ile bitkinin kaldırdığı Zn konsantrasyonundaki azalma miktarı istatistiksel olarak önemli bulunmasa dahi kontrolden BD4 dozuna kadar ortalama Zn konsantrasyonu bir azalma göstermiş ve BD5 dozunda hafif bir artış göstermiştir.

Beş gübre dozu uygulamasının iki ayrı yetiştirme döneminde buğday bitkisinin Zn konsantrasyonuna etkileri Şekil 4.18’de gösterilmektedir. Uygulanan GD her iki dönemde de bitkinin kaldırdığı Zn konsantrasyonunu önemli ( $P < 0.01$ ) düzeyde etkilemiştir. İlk dönem artan besin elementi takviyesi ile GD3 dozuna kadar bitkinin kaldırdığı Zn konsantrasyonu düzenli olarak artmış ancak GD4 uygulamasında Zn konsantrasyonu kontrole kıyasla yüksek kalmış ancak GD3’ten önemli düzeyde düşük kalmıştır. Sıvı hayvan gübresi bulunmayan ancak besin elementlerinin tam olarak ilave edildiği GD5 uygulamasında ise bitkinin Zn konsantrasyonu BD1’in de altına inmiştir.

İkinci dönem Zn konsantrasyonu tüm GD uygulamalarında BD1’e kıyasla önemli düzeyde azalmıştır. Şekil 4.18 incelendiğinde Zn konsantrasyonunun GD3’e kadar düzenli bir artış gösterdiği ve bu noktadan sonra ise azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Her iki dönemde de en yüksek Zn konsantrasyonu (1. Dönem  $36.52 \text{ mg kg}^{-1}$  ve 2. Dönem  $29.78 \text{ mg kg}^{-1}$ ) GD3 uygulamasında elde edilmiştir. Tüm GD uygulamalarında ikinci dönem bitkinin kaldırdığı Zn konsantrasyonu ilk döneme kıyasla önemli düzeyde azalma göstermiştir. İki dönemde de GD uygulamaları ile bitkinin Zn konsantrasyonundaki değişim benzer bir eğilim göstermiştir.



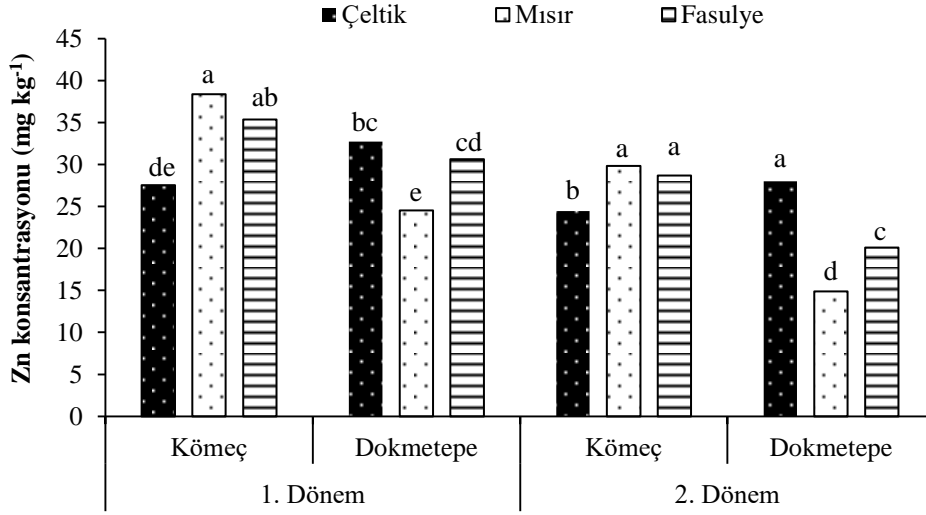


Şekil 4.18. İki ayrı dönemde uygulanan gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Kömeç ve Dökmetepe topraklarına iki ayrı dönemde uygulanan biyoçar çeşitleri bitkinin kaldırdığı Zn konsantrasyonuna önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) etki etmişlerdir (Çizelge 4.19). Biyoçar çeşidi uygulamalarında iki ayrı toprakta bitkinin Zn konsantrasyonu değişimleri Şekil 4.19’da gösterilmektedir. İkinci dönem konsantrasyonlar ilk döneme kıyasla düşük olmakla beraber, biyoçar çeşidi uygulamaları ile topraktan kaldırılan Zn konsantrasyonu oranlarının değişimleri her iki dönemde birbirine oldukça benzerdir. Kömeç toprağında en yüksek bitki Zn konsantrasyonu her iki dönemde de mısır biyoçarı ( $38.40$  ve  $29.84 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında elde edilirken, Dökmetepe toprağında çeltik biyoçarı ( $32.78$  ve  $28.02 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamaları bitkinin daha yüksek miktarda Zn kaldırmasına neden olmuştur.

Her iki dönemde de bir toprakta en yüksek Zn alımına neden olan uygulama, diğer toprakta en düşük Zn alımına yok açmıştır. Çeltik biyoçarı her iki dönemde de Dökmetepe toprağında bitkinin Zn alımını diğer iki biyoçar uygulamasına kıyasla önemli düzeyde arttırmıştır. Ancak Kömeç toprağında çeltik biyoçarı uygulamasında yetiştirilen bitkinin Zn konsantrasyonu ( $27.57$  ve  $24.48 \text{ mg kg}^{-1}$ ) her iki dönemde de diğer iki uygulamadan önemli düzeyde düşük kalmıştır. Diğer yandan Kömeç toprağında en yüksek Zn alımına neden olan mısır biyoçarı uygulaması ise Dökmetepe toprağında her iki dönemde de diğer iki biyoçar çeşidinden daha düşük Zn ( $24.56$  ve  $14.92 \text{ mg kg}^{-1}$ ) alımına neden olmuştur.



Şekil 4.19. İki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

Toprak tipi ve BD interaksiyonu bitkilerin topraktan kaldırdıkları Zn konsantrasyonuna her iki dönemde de istatistiksel olarak önemli düzeyde etki etmemiştir (1. Dönem  $P=0.948$  ve 2. Dönem  $P=0.590$ ) (Çizelge 4.21). Denemenin ilk döneminde en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu Kömeç toprağında BD1 dozunda ( $37.38 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük ortalama Zn konsantrasyonu Dökmetepe toprağının BD4 dozunda ( $27.50 \text{ mg kg}^{-1}$ ) elde edilmiştir. Her iki toprakta da artan biyoçar dozları Zn konsantrasyonunun düzenli olarak azalmasına yol açmıştır. İkinci dönemde ise en yüksek ortalama Zn Kömeç toprağında BD2 dozunda ( $28.76 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük ortalama Zn ise Dökmetepe BD4 dozunda ( $20.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) elde edilmiştir (Çizelge 4.22).

Toprak tipi ve GD uygulamalarının bitkinin Zn konsantrasyonuna etkileri her iki dönemde de istatistiksel olarak önemsiz düzeyde kalmıştır (1. Dönem  $P=0.4027$  ve 2. Dönem  $P=0.213$ ) (Çizelge 4.21). Toprak tipi ve biyoçar çeşidi interaksiyonunda bitkinin kaldırdığı ortalama Zn konsantrasyonuna ait değerler Çizelge 4.22’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu Kömeç toprağında GD2 ( $39.14 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve GD3 ( $39.28 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamaları ile en düşük ortalama Zn konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağında GD1 ( $24.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında bulunmuştur. Her iki toprakta da ilave edilen besin elementi miktarının artması ile bitki Zn konsantrasyonu artmış ve bitki gereksiniminin %50’sinin karşılandığı GD3 uygulamasında en yüksek düzeyde çıkmıştır. Bitki gereksiniminin %100 karşılandığı GD4 ve GD5 uygulamalarında ise Zn konsantrasyonları önemli oranda azalma göstermiştir. Denemenin ikinci döneminde ise en yüksek Zn konsantrasyonu ilk dönem sonuçlarına benzer bir şekilde Kömeç toprağı GD3 ( $34.65 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük Zn konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağı GD1 ( $16.65 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında elde edilmiştir.

İkinci dönemde de bitkide Zn konsantrasyonu artan GD ile artmış ve her iki toprakta da en yüksek konsantrasyona GD3 uygulamasında ulaşmış, ancak GD4 ve GD5 uygulamalarında azalma göstermiştir.

Çizelge 4.22. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	<b>37.38 a</b>	32.29 bcd	<b>27.90 a</b>	23.27 bc
<b>BD2</b>	34.31 ab	29.79 cde	<b>28.76 a</b>	<b>20.55 c</b>
<b>BD3</b>	32.26 bcd	28.81 de	27.54 ab	<b>20.54 c</b>
<b>BD4</b>	31.55 b-e	<b>27.50 e</b>	26.01 ab	<b>20.30 c</b>
<b>BD5</b>	33.44 abc	28.27 de	<b>28.19 a</b>	<b>20.47 c</b>
<b>GD1</b>	30.16 bcd	<b>24.30 e</b>	22.42 def	<b>16.65 g</b>
<b>GD2</b>	<b>39.14 a</b>	33.61 b	27.82 bc	23.30 d-f
<b>GD3</b>	<b>39.28 a</b>	33.76 b	<b>34.65 a</b>	24.90 b-e
<b>GD4</b>	32.38 bc	28.93 cd	28.24 b	20.37 efg
<b>GD5</b>	27.99 cde	26.06 de	25.26 bcd	19.90 fg

Biyoçar çeşitleri ve dozları arasındaki interaksiyon bitkinin Zn konsantrasyonuna her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P=0.3758$  ve  $P=0.677$ ) (Çizelge 4.21). Çeşit x doz interaksiyonunda elde edilen ortalama Zn konsantrasyonları Çizelge 4.22’de gösterilmektedir. Buna göre ilk dönem en yüksek Zn konsantrasyonu fasulye biyoçarı BD1 dozunda ( $37.50 \text{ mgkg}^{-1}$ ) en düşük ortalama Zn ise çeltik biyoçarı BD4 ( $28.38 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve BD5 ( $28.24 \text{ mgkg}^{-1}$ ) dozlarında olduğu belirlenmiştir. Üç biyoçar çeşidinde de en yüksek Zn konsantrasyonları BD1 uygulamasında gerçekleşmiştir. Çeltik ve fasulye biyoçarı uygulamalarında en yüksek KM verimi en yüksek Zn konsantrasyonunun elde edildiği BD1 uygulamasında olmuştur. Bu durum bitkinin vejetatif aksamının artması ile bitki içerisindeki Zn konsantrasyonunun azaldığının bir göstergesidir. İkinci dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu çeltik ve fasulye biyoçarlarının BD1 ( $27.39$  ve  $26.71 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında en düşük Zn konsantrasyonu ise mısır biyoçarının BD4 ( $20.58 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında elde edilmiştir. Bu dönemde de Zn konsantrasyonu bitkinin KM verimi ile büyük oranda benzerlik göstermektedir.

Biyoçar çeşidi ve GD uygulamaları Zn konsantrasyonu üzerine ilk dönem  $P<0.05$  ve ikinci dönem  $P<0.01$  önem düzeyinde etkili olmuştur (Çizelge 4.21). İlk dönem en yüksek Zn konsantrasyonu fasulye biyoçarı GD3 ( $38.94 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en düşük Zn ise çeltik biyoçarı GD5 ( $24.45 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında elde edilmiştir. İkinci dönem ise en yüksek Zn konsantrasyonu çeltik biyoçarı GD3 ( $31.53 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük Zn konsantrasyonu ise fasulye biyoçarı GD1 ( $17.02 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında bulunmuştur (Çizelge 4.23). Her üç biyoçar çeşidindeki GD uygulamaları ile Zn konsantrasyonu değişimleri incelendiğinde, Zn

konsantrasyonunun gübre ilavesi ile başlangıçta arttığı GD3 uygulamasında en yüksek düzeye çıktığı, ancak GD4 ve GD5 uygulamalarında düştüğü görülecektir.

Çizelge 4.23. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	32.13 a-d	34.87 ab	<b>37.50 a</b>	<b>27.39 a</b>	22.65 ab	<b>26.71 a</b>
<b>BD2</b>	32.01 bcd	30.02 bcd	34.11 abc	25.93 ab	22.70 ab	25.34 ab
<b>BD3</b>	30.10 bcd	31.68 bcd	29.84 bcd	25.93 ab	24.09 ab	22.10 ab
<b>BD4</b>	<b>28.38 d</b>	29.20 cd	31.00 bcd	26.03 ab	<b>20.58 b</b>	22.85 ab
<b>BD5</b>	<b>28.24 d</b>	31.60 bcd	32.73 a-d	25.97 ab	21.89 ab	25.13 ab
<b>GD1</b>	26.75 ef	28.66 def	26.29 ef	21.91 d-g	19.67 fg	<b>17.02 g</b>
<b>GD2</b>	<b>37.74 ab</b>	36.15 abc	35.24 abc	29.64 ab	24.05 c-f	23.00 def
<b>GD3</b>	33.20 bcd	37.40 abc	<b>38.94 a</b>	<b>31.53 a</b>	29.19 abc	28.61 abc
<b>GD4</b>	28.72 def	29.54 def	33.71 a-d	25.28 b-e	20.20 efg	27.44 a-d
<b>GD5</b>	<b>24.45 f</b>	25.62 ef	31.00 cde	22.88 def	18.80 fg	26.05 a-d

Biyoçar dozları ve GD uygulamalarının interaksiyonu her iki dönemde de bitki Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P=0.5524$  ve  $P=0.486$ ) (Çizelge 4.21). BD x GD interaksiyonunda bitkinin ortalama Zn konsantrasyonu Çizelge 4.24'de sunulmuştur. İlk dönem en yüksek Zn konsantrasyonu BD1 dozunun GD3 ( $41.99 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında ve en düşük Zn ise BD3 ( $25.13 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve BD4 ( $24.91 \text{ mg kg}^{-1}$ ) dozlarının GD1 uygulamalarında elde edilmiştir. Denemenin ikinci dönemde en yüksek Zn konsantrasyonu BD3 dozunun GD3 ( $33.55 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında ve en düşük Zn konsantrasyonu ise BD3 ( $17.94 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve BD4 ( $18.93 \text{ mg kg}^{-1}$ ) dozlarının GD1 uygulamalarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.24. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna etkileri

	1. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	31.42 d-h	27.94 e-h	<b>25.13 h</b>	<b>24.91 h</b>	26.76 fgh
<b>GD2</b>	38.97 abc	39.44 ab	33.48 b-g	33.61 b-f	36.38 a-d
<b>GD3</b>	<b>41.99 a</b>	36.88 a-d	36.35 a-d	33.76 b-e	33.60 b-f
<b>GD4</b>	33.39 b-g	28.06 e-h	31.17 d-h	28.28 e-h	32.38 c-g
<b>GD5</b>	28.41 e-h	27.93 e-h	26.56 gh	27.07 e-h	25.16 h
	2. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	21.78 d-i	19.17 ghi	<b>17.94 i</b>	<b>18.93 hi</b>	19.84 f-i
<b>GD2</b>	26.27 b-g	29.06 abc	24.06 b-i	23.06 b-i	25.36 b-h
<b>GD3</b>	29.30 ab	28.87 a-d	<b>33.55 a</b>	29.26 ab	27.90 a-e
<b>GD4</b>	26.60 a-f	22.17 b-i	23.46 b-i	22.48 b-i	26.82 a-f
<b>GD5</b>	23.97 b-i	23.99 b-i	21.19 c-i	22.03 c-i	21.72 d-i

İkinci dönem bitkinin Zn alımı ilk döneme kıyasla tüm biyoçar dozlarında yer alan GD uygulamaları altında önemli düzeyde azalmıştır. Her iki dönemde de Zn konsantrasyonu artan gübre takviyesi ile artmış ancak %100 besin elementi ilavesi yapılan GD4 ve GD5 uygulamaları ile azalmıştır.

Toprak tipi, biyoçar çeşidi ve biyoçar dozu faktörleri interaksyonu her iki yetiştirme döneminde de bitkinin topraktan kaldırdığı Zn konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yapmamıştır (P=0.5687 ve P=0.897) (Çizelge 4.21). Toprak tipi x biyoçar çeşidi x BD interaksyonunda bitkinin topraktan kaldırdığı ortalama Zn konsantrasyonları Çizelge 4.25’de gösterilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu Kömeç toprağında mısır biyoçarının BD1 (42.67 mg kg<sup>-1</sup>) dozunda ve en düşük ortalama Zn konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağında mısır biyoçarının BD4 (22.33 mg kg<sup>-1</sup>) dozunda elde edilmiştir. Üç biyoçar çeşidinde her iki toprakta da (Dökmetepe- çeltik hariç) en yüksek Zn konsantrasyonu BD1 dozunda gerçekleşmiştir. İkinci dönem en yüksek Zn konsantrasyonu mısır biyoçarı BD3 dozu (33.30 mg kg<sup>-1</sup>) ve en düşük Zn ise Dökmetepe toprağı mısır biyoçarı BD3 (14.88 mg kg<sup>-1</sup>), BD4 (13.54 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD5 (14.49 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarında gerçekleşmiştir. Her iki dönemde de Kömeç toprağında en yüksek Zn konsantrasyonu elde edilmesine neden olan uygulamanın Dökmetepe toprağında en düşük Zn konsantrasyonu elde edilmesine neden olduğu görülmüştür. Deneme başlangıcında her iki toprağın Zn konsantrasyonlarının da bitkisel üretim için yetersiz olduğu düşünüldüğünde aynı uygulamada farklı Zn konsantrasyonları oluşması, biyoçarın etkisinin toprağın tekstürü ile olan ilişkisine güzel bir örnektir. Kum içeriği daha yüksek olan Dökmetepe toprağında bitkinin Zn’den faydalanması Kömeç toprağına kıyasla çok daha düşük düzeyde kalmıştır.

Çizelge 4.25. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	31.05 d-j	<b>42.67 a</b>	38.43 a-d	33.22 b-h	27.07 g-k	36.57 a-e
<b>BD2</b>	30.55 e-j	35.47 a-f	36.91 a-e	33.47 b-g	24.58 jk	31.31 c-j
<b>BD3</b>	25.06 jk	38.70 abc	33.03 b-i	35.14 a-f	24.65 jk	26.65 g-k
<b>BD4</b>	25.41 ijk	36.07 a-f	33.18 b-h	31.35 c-j	<b>22.33 k</b>	28.81 f-k
<b>BD5</b>	25.77 h-k	39.05 ab	35.49 a-f	30.70 e-j	24.14 jk	29.98 e-j
2. Dönem						
<b>BD1</b>	25.46 a-e	28.86 ab	29.38 ab	29.32 ab	16.43 fgh	24.04 b-f
<b>BD2</b>	25.70 a-e	30.14 ab	30.44 ab	26.15 a-d	15.26 gh	20.23 c-h
<b>BD3</b>	23.02 b-g	<b>33.30 a</b>	26.30 abc	28.84 ab	<b>14.88 h</b>	17.90 e-h
<b>BD4</b>	23.07 b-g	27.62 abc	27.33 abc	28.99 ab	<b>13.54 h</b>	18.37 d-h
<b>BD5</b>	25.15 b-e	29.28 ab	30.12 ab	26.78 abc	<b>14.49 h</b>	20.14 c-h

Toprak tipi, biyoçar çeşidi ve GD uygulamaları her iki dönemde de bitkinin Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde (P<0.01) etki etmiştir (Çizelge 4.21). Toprak tipi x biyoçar çeşidi x GD interaksyonunda bitkinin topraktan kaldırdığı ortalama Zn konsantrasyonları Çizelge 4.26’da verilmiştir. İlk dönem en yüksek Zn konsantrasyonu Kömeç toprağında mısır biyoçarının GD2 (44.65 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında ve en düşük

ortalama Zn konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağında mısır biyoçarının GD5 (17.83 mg kg<sup>-1</sup>) ve Kömeç toprağında çeltik biyoçarının GD5 (19.65 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamalarında gerçekleşmiştir. Kömeç toprağında tüm çeşitlerde en düşük Zn konsantrasyonunun GD5 uygulamasında gerçekleştiği görülmüştür. Denemenin ikinci döneminde en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu Kömeç toprağında mısır biyoçarı GD3 (38.97 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında ve en düşük ortalama Zn konsantrasyonunun ise Dökmetepe toprağında mısır biyoçarı GD5 (9.95 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında bulunmuştur.

Çizelge 4.26. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	24.61 i-m	33.80 c-h	32.07 c-i	28.89 g-k	23.51 j-m	20.51 lm
<b>GD2</b>	39.62 abc	<b>44.65 a</b>	33.15 c-h	35.86 b-g	27.65 h-l	37.32 a-e
<b>GD3</b>	31.19 d-i	43.40 ab	43.23 abc	35.21 c-h	31.41 d-i	34.65 c-h
<b>GD4</b>	22.76 klm	36.71 b-f	37.67 a-d	34.67 c-h	22.37 klm	29.75 e-k
<b>GD5</b>	<b>19.65 m</b>	33.41 c-h	30.91 d-j	29.25 f-k	<b>17.83 m</b>	31.09 d-j
2. Dönem						
<b>GD1</b>	20.60 g-l	24.90 d-j	21.75 f-k	23.22 d-j	14.44 k-n	12.29 mn
<b>GD2</b>	30.16 b-e	30.76 bcd	22.56 e-j	29.11 b-f	17.34 j-n	23.45 d-j
<b>GD3</b>	30.27 b-e	<b>38.97 a</b>	34.71 abc	32.79 abc	19.42 i-m	22.50 e-j
<b>GD4</b>	22.78 e-j	26.93 c-i	35.01 ab	27.78 b-g	13.46 lmn	19.88 h-m
<b>GD5</b>	18.58 j-m	27.65 j-m	29.54 b-f	27.19 b-i	<b>9.95 n</b>	22.57 e-j

Toprak tipi, BD ve GD interaksiyonunun bitkinin Zn konsantrasyonu üzerine etkisinin her iki dönemde de istatistiksel olarak önemsiz düzeyde olduğu (P=0.3272 ve P=0.763) tespit edilmiştir (Çizelge 4.21). Toprak tipi x BD x GD interaksiyonunda bitkinin topraktan kaldırdığı ortalama Zn konsantrasyonuna ait ortalama değerler Çizelge 4.27’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek Zn konsantrasyonu Kömeç toprağında BD1 dozunun GD3 (45.74 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında ve en düşük Zn konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağının BD3 dozunun GD1 (21.60 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında elde edilmiştir. İkinci dönem ise buğday bitkisinin topraktan en yüksek Zn konsantrasyonunu Kömeç toprağında BD3 dozunun GD3 (39.18 mg kg<sup>-1</sup>) uygulaması altında kaldırmıştır. Bununla birlikte en düşük Zn konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağının BD3 dozunun GD1 (14.76 mg kg<sup>-1</sup>) uygulaması altında gerçekleşmiştir.

Biyoçar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre dozu faktörlerinin karşılıklı etkileşimleri bitkinin topraktan kaldırdığı Zn konsantrasyonu üzerine ilk dönem P<0.01 önem düzeyinde etki ederken, ikinci dönem bu etki istatistiksel olarak önemsiz (P=0.071) düzeyde kalmıştır (Çizelge 4.21). Çeşit x BD x GD interaksiyonunda bitkinin kaldırdığı Zn konsantrasyonuna ait ortalama değerler Çizelge 4.28’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek Zn konsantrasyonu elde edilmesine neden olan uygulama fasulye biyoçarında BD1 dozunun GD3 (53.15 mg kg<sup>-1</sup>)

uygulaması olmuştur. Bununla birlikte çeltik biyoçarının BD2 dozunun GD2 (47.10 mg kg<sup>-1</sup>) uygulaması ile fasulye biyoçarının BD5 dozunun GD2 (43.18 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamaları altında da önemli düzeyde yüksek bitki Zn konsantrasyonları elde edilmiştir.

Çizelge 4.27. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
GD	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
1	33.38cn	31.28c-p	28.66e-p	27.62h-p	29.87d-p	29.47d-p	24.61m-p	21.60p	22.19op	23.64nop
2	43.64ab	40.61abc	37.34a-h	37.78a-f	36.33a-i	34.29b-m	38.27a-e	29.62d-p	29.44d-p	36.43a-i
3	<b>45.74a</b>	40.80abc	37.57a-g	35.50b-j	36.77a-i	38.23c-n	32.97c-n	35.13b-k	32.02c-o	30.43d-p
4	34.57b-l	28.20f-p	29.71d-p	30.53d-p	38.88a-d	32.21g-p	27.91g-p	32.62c-n	26.03j-p	25.88j-p
5	29.58d-p	30.67d-p	28.03f-p	26.33j-p	25.34k-p	27.23i-p	25.19l-p	25.09l-p	27.81g-p	24.98l-p
2. Dönem										
1	24.15d-l	22.64f-l	21.12g-l	20.79g-l	23.39e-l	19.41h-l	15.70kl	<b>14.76l</b>	17.07jkl	16.29kl
2	25.39b-k	32.71a-f	28.30b-i	25.87b-k	26.85b-j	27.15b-k	25.41b-k	19.82h-l	20.26h-l	23.86e-l
3	32.88a-e	34.17a-d	<b>39.18a</b>	35.42ab	31.58a-f	25.71e-l	23.57e-l	27.92b-i	23.10e-l	24.21d-l
4	30.47a-g	25.30b-k	25.57b-k	24.98c-k	34.88abc	22.72e-l	19.05h-l	21.34g-l	19.98h-l	18.77i-l
5	26.61b-j	28.96b-h	23.52e-l	22.96e-l	24.23d-l	21.33g-l	19.01h-l	18.85h-l	21.10g-l	19.20h-l

Denemenin ikinci döneminde ise en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu mısır biyoçarının BD3 dozunun GD3 (38.96 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında elde edilmiştir. İlk deneme benzer şekilde çeltik biyoçarının BD2 dozunun GD2 (38.06 mg kg<sup>-1</sup>) uygulaması altında da diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde yüksek Zn konsantrasyonu elde edilmiştir. Diğer yandan bitki Zn konsantrasyonunun diğer uygulamalara göre daha düşük kalmasına neden olan uygulamanın ise fasulye biyoçarının BD3 (12.46 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD5 (14.33 mg kg<sup>-1</sup>) dozlarında GD1 uygulamaları olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.28. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	27.97	24.82	24.95	27.18	28.83
	GD2	41.05	<b>47.10 ab</b>	34.55	32.78	33.22
	GD3	37.95	33.70	30.17	33.60	30.60
	GD4	27.85	25.85	35.42	26.30	28.17
	GD5	25.85	28.60	25.42	<b>22.03 opq</b>	<b>20.37 q</b>
Mısır	GD1	36.50	24.83	27.65	23.08	31.22
	GD2	40.18	33.18	36.10	38.55	32.75
	GD3	34.87	40.18	40.78	33.92	37.27
	GD4	34.35	27.42	28.12	28.62	29.18
	GD5	28.45	24.50	25.73	<b>21.85 pq</b>	27.57
Fasulye	GD1	29.80	34.18	22.78	24.45	<b>20.22 q</b>
	GD2	35.67	38.03	29.80	29.50	<b>43.18 abc</b>
	GD3	<b>53.15 a</b>	36.77	38.10	33.77	32.93
	GD4	37.97	30.90	29.97	29.93	39.78
	GD5	30.92	30.68	28.53	37.33	27.55
2. Dönem						
Çeltik	GD1	27.69	17.47	20.39	23.43	20.57
	GD2	27.49	<b>38.06 ab</b>	26.58	26.94	29.11
	GD3	32.54	27.73	32.02	32.47	32.90
	GD4	24.81	21.35	27.97	25.16	27.10
	GD5	24.42	25.03	22.68	22.14	20.15
Mısır	GD1	20.03	<b>15.39 opq</b>	20.98	17.33	24.62
	GD2	26.53	23.83	24.30	24.30	21.29
	GD3	23.80	<b>34.79 abc</b>	<b>38.96 a</b>	26.13	22.28
	GD4	24.29	19.78	17.93	19.57	19.41
	GD5	18.58	19.68	18.30	<b>15.58</b>	21.85
Fasulye	GD1	17.63	24.65	<b>12.46 p</b>	16.04	<b>14.33 op</b>
	GD2	24.79	25.30	21.31	17.95	25.67
	GD3	31.55	24.10	29.68	29.18	28.52
	GD4	30.68	25.39	24.47	22.71	33.96
	GD5	28.91	27.25	22.59	28.36	23.16

Denemede yer alan tüm faktörlerin karşılıklı etkileşimleri her iki yetiştirme döneminde de bitkilerin topraktan kaldırdıkları Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki edememiştir ( $P=0.210$  ve  $P=0.086$ ) (Çizelge 4.21). Tüm faktörlerin interaksyonunda bitkinin ortalama Zn konsantrasyonu Çizelge 4.29’da verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonuna neden olan uygulamalar Kömeç toprağında gerçekleşmiştir. En yüksek 3 Zn konsantrasyonu sırası ile Kömeç toprağı, fasulye biyoçarı, BD1 dozu GD3 uygulaması ( $55.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Kömeç toprağı, mısır biyoçarı, BD1 dozu GD2 uygulaması ( $52.77 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve Kömeç toprağı, çeltik biyoçarı, BD2 dozu GD2 uygulaması ( $51.70 \text{ mg kg}^{-1}$ ) şeklinde olmuştur. Diğer yandan en düşük Zn konsantrasyonuna neden olan uygulamalar ise Dökmetepe toprağında mısır biyoçarının BD4 ( $10.77 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve BD2 ( $15.00 \text{ mg kg}^{-1}$ ) dozlarında GD5 uygulamasında gerçekleşmiştir.



Çizelge 4.29. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın çinko (Zn) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömçe	GD1	23.23	21.17	23.60	28.97	26.10	39.20	27.97	34.50	25.97	41.37	37.70	44.70	27.87	27.93	22.13
	GD2	48.40	<b>51.70 abc</b>	32.80	31.90	33.30	<b>52.77 ab</b>	36.70	46.53	49.63	37.63	29.77	33.43	32.70	31.80	38.07
	GD3	40.53	31.63	26.93	30.77	26.10	41.40	48.17	45.33	35.30	46.80	<b>55.30 a</b>	42.60	40.43	40.43	37.40
	GD4	22.90	20.70	23.40	20.57	26.23	43.70	30.50	33.40	36.53	39.40	37.10	33.40	32.33	34.50	<b>51.00 a-d</b>
	GD5	20.17	27.57	18.57	<b>14.83</b>	17.13	36.30	34.00	33.73	32.93	30.07	32.27	30.43	31.80	31.23	28.83
Dökmetepe	GD1	32.70	28.47	26.30	25.40	31.57	33.80	21.70	20.80	20.20	21.07	21.90	23.67	17.70	20.97	18.30
	GD2	33.70	42.50	36.30	33.67	33.13	27.60	29.67	25.67	27.47	27.87	41.57	42.63	26.90	27.20	48.30
	GD3	35.37	35.77	33.40	36.43	35.10	28.33	32.20	36.23	32.53	27.73	51.00	30.93	35.77	27.10	28.47
	GD4	32.80	31.00	47.43	32.03	30.10	25.00	24.33	22.83	20.70	18.97	38.83	28.40	27.60	25.37	28.57
	GD5	31.53	29.63	32.27	29.23	23.60	20.60	<b>15.00</b>	17.73	<b>10.77</b>	25.07	29.57	30.93	25.27	43.43	26.27
2. Dönem																
Kömçe	GD1	28.14	15.42	18.75	21.52	19.17	20.19	17.20	30.19	21.98	34.95	24.12	35.29	14.43	18.88	16.04
	GD2	20.77	44.26	27.21	26.32	32.23	35.31	28.84	31.75	31.09	26.79	20.08	25.04	25.94	20.20	21.53
	GD3	35.13	24.07	26.72	34.89	30.55	29.82	<b>49.35 ab</b>	<b>56.47 a</b>	32.23	26.95	33.69	29.10	34.36	39.14	37.25
	GD4	24.21	20.19	23.69	17.98	27.81	32.77	24.45	21.54	27.70	28.21	34.41	31.26	31.49	29.26	<b>48.60 abc</b>
	GD5	19.04	24.56	18.71	14.61	16.00	26.20	30.85	26.57	25.11	29.51	34.58	31.49	25.29	29.14	27.19
Dökmetepe	GD1	27.23	19.52	22.03	25.34	21.97	19.86	13.59	11.77	12.67	14.29	11.14	14.00	<b>10.49</b>	13.20	12.62
	GD2	34.21	31.85	25.96	27.56	25.98	17.74	18.83	16.85	17.52	15.78	29.49	25.56	16.67	15.70	29.82
	GD3	29.96	31.38	37.32	30.04	35.24	17.78	20.22	21.45	20.03	17.60	29.40	19.09	25.00	19.22	19.80
	GD4	25.41	22.50	32.26	32.34	26.38	15.81	15.12	14.33	11.44	<b>10.61</b>	26.95	19.52	17.44	16.15	19.32
	GD5	29.80	25.50	26.65	29.67	24.31	10.96	<b>8.52</b>	<b>10.02</b>	<b>6.05</b>	14.18	23.23	23.00	19.89	27.57	19.13

#### 4.1.4. Bitkinin potasyum konsantrasyonuna etkileri

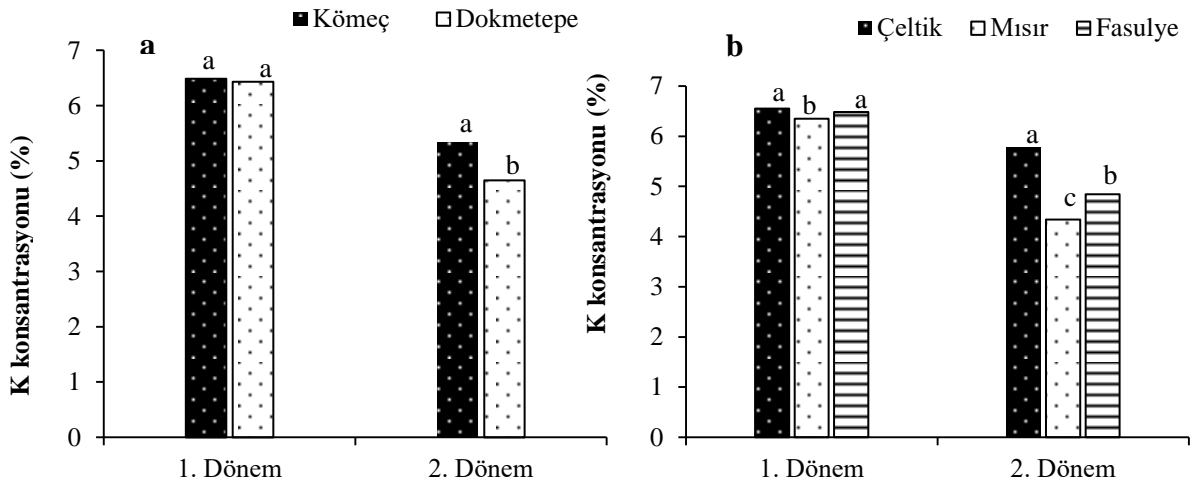
Denemenin ilk döneminde toprak faktörü haricindeki tüm bireysel faktörler ve T x BÇ x BD interaksyonu haricindeki tüm interaksyonlar bitkinin potasyum (K) konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır. İkinci dönem toprakta dahil olmak üzere, tüm bireysel faktörler ile BÇ x BD ve T x BÇ x BD interaksyonları haricindeki tüm interaksyonlar bitkinin topraktan kaldırdığı K konsantrasyonuna önemli etki yapmıştır (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30. Uygulamaların buğday bitkisinin potasyum konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P
Toprak (T)	1	0.37	0.37	1.4139	0.2353 <sup>OD</sup>	51.32	51.32	47.83	<0.0001**
Biyoçar Çeşidi (BÇ)	2	3.12	1.56	5.9198	0.0030**	161.13	80.57	75.09	<0.0001**
Biyoçar Dozu (BD)	4	29.81	7.45	28.3200	<0.0001**	47.96	11.99	11.18	<0.0001**
Gübre Dozu (GD)	4	62.72	15.68	59.5824	<0.0001**	145.34	36.34	33.87	<0.0001**
T*BÇ	2	144.21	72.10	273.9860	<0.0001**	195.07	97.53	90.90	<0.0001**
T*BD	4	8.38	2.09	7.9584	<0.0001**	20.95	5.24	4.88	0.0008**
T*GD	4	15.58	3.90	14.8048	<0.0001**	57.46	14.37	13.39	<0.0001**
BÇ*BD	8	13.71	1.71	6.5086	<0.0001**	5.10	0.64	0.59	0.7822 <sup>OD</sup>
BÇ*GD	8	11.57	1.45	5.4972	<0.0001**	30.13	3.77	3.51	0.0007**
BD*GD	16	15.85	0.99	3.7634	<0.0001**	29.61	1.85	1.72	0.0414*
T*BÇ*BD	8	2.13	0.27	1.0105	0.4280 <sup>OD</sup>	8.55	1.07	1.00	0.4386 <sup>OD</sup>
T*BÇ*GD	8	21.14	2.64	10.0399	<0.0001**	18.86	2.36	2.20	0.0276*
T*BD*GD	16	11.69	0.73	2.7763	0.0003**	35.04	2.19	2.04	0.0109*
BÇ*BD*GD	32	29.81	0.93	3.5393	<0.0001**	65.06	2.03	1.89	0.0033**
T*BÇ*BD*GD	32	14.77	0.46	1.7543	0.0089**	56.95	1.78	1.66	0.0168*

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir, OD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Denemede kullanılan Kömeç ve Dökmetepe topraklarında iki ayrı dönemde yetiştirilen buğday bitkisinin topraktan kaldırdığı ortalama K konsantrasyonları Şekil 4.20a'da gösterilmektedir. Toprak tipinin bitkinin K konsantrasyonuna etkisi ilk dönem istatistiksel olarak önemsiz düzeyde (P=0.2353) iken, ikinci dönem bu etki önemli düzeye (P<0.01) çıkmıştır. Deneme başlangıcında yapılan toprak analizlerinde her iki toprakta da yarıyıllı potasyum konsantrasyonunun çok düşük olduğu görülmüştür (Çizelge 3.4). Deneme başında uygulanan biyoçar materyalleri ve sıvı hayvan gübresi ile birlikte toprağa ilave edilen K, uygulamalar arasında farklılığın düşük olmasına neden olmuştur. Ancak bu kaynaklardan gelen K, ikinci yetiştirme döneminde nispeten azaldığından dolayı bitki K konsantrasyonu üzerine toprağın etkisi önemli düzeye çıkmıştır. İkinci yetiştirme döneminde kil içeriği daha yüksek olan (tınlı bünye) Kömeç toprağında yetiştirilen buğday bitkisinin K konsantrasyonu (%5.33) kumlu tın tekstüre sahip Dökmetepe toprağında yetiştirilen buğday bitkisinin K konsantrasyonundan (%4.65) önemli düzeyde yüksektir.

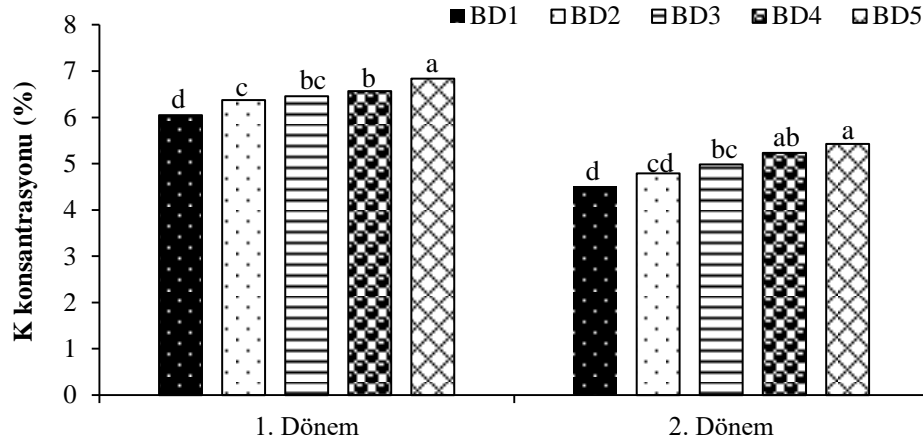


Şekil 4.20. Biyoçar uygulamalarının olduğu a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında yetiştirilen buğday bitkisinin potasyum (K) konsantrasyonları (%)

Biyoçar çeşidinin topraktan kaldırılan K konsantrasyonuna etkisi her iki dönemde de önemlidir (Şekil 4.20b). İstatistiksel olarak önemli olmasına rağmen ilk dönem farklı biyoçarların uygulandığı topraklarda yetiştirilen buğday bitkisinin kaldırdığı K konsantrasyonu birbirlerine oldukça yakındır. Toprakta kaldırılan K konsantrasyonları çeltik biyoçarında %6.55, mısır biyoçarında %6.35 ve fasulye biyoçarında ise %6.48'dir. İkinci dönem farklı biyoçarların uygulandığı topraklarda yetiştirilen bitkilerin kaldırdıkları K konsantrasyonları ise birbirlerinden önemli düzeyde farklıdır. Bu dönemde çeltik biyoçarı uygulanan toprakta yetiştirilen buğday bitkilerinin kaldırdıkları ortalama K konsantrasyonu %5.78, mısırdaki %4.34 ve fasulyede ise %4.84'tür. Daha önce tartışılan Fe ve Zn konsantrasyonlarında olduğu gibi ikinci dönem bitkilerin K konsantrasyonları da ilk döneme göre önemli düzeyde düşük olduğu görülmektedir.

Biyoçar dozlarının bitkinin K konsantrasyonu üzerine etkileri her iki dönemde de istatistiksel olarak önemlidir ( $P < 0.01$ ). Biyoçar dozlarının buğday bitkisinin K alımına etkisi Şekil 4.21'de gösterilmektedir. Her iki dönemde de artan biyoçar dozları bitkinin topraktan daha yüksek oranda K kaldırmasına neden olmuştur. İlk dönem kontrol uygulamasında %6.05 olan K konsantrasyonu BD5 uygulamasında %6.84'e çıkmıştır. İlk dönem BD2, BD3 ve BD4 dozlarının etkisi istatistiksel olarak benzerdir. İkinci dönem BD1 uygulamasında %4.50 olan K konsantrasyonu %3.0 biyoçar uygulanan BD5 dozunda %5.43'e yükselmiştir. Bu artış büyük oranda biyoçar ile birlikte toprağa katılan potasyumdan dolayı bitkinin K alımının iyileşmesi ile ilişkilidir. Tayland'da önemli bir tarımsal atık olan Cassava bitkisinin gövdesinden 350 °C'de piroliz ile üretilen biyoçarı siltli killi tın tekstüre sahip toprağın yer aldığı saksılara 0, %1.0, %5.0 ve %10 dozlarında uygulamış ve yeşil fasulye (*Vigna radiata* L.) bitkisinin çimlenme ve besin elementi alımına etkisini araştırılmıştır (Prapagdee ve

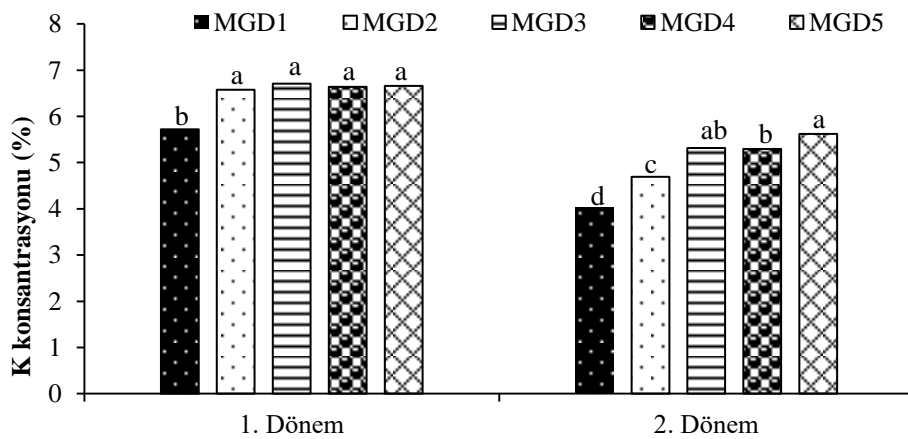
Tawinteung, 2017). Araştırmacılar artan biyoçar dozunun topraktaki toplam N ve K'un miktarını ve bitkinin K kullanım etkinliğini önemli düzeyde arttırdığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.21. İki ayrı dönemde uygulanan biyoçar dozlarının buğday bitkisinin potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri

BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

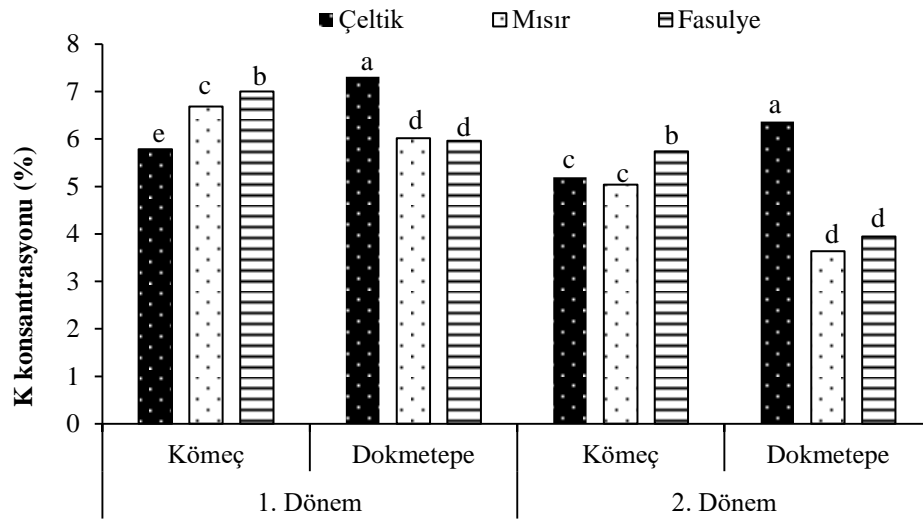
Gübre uygulamaları bitkinin K konsantrasyonuna her iki dönemde de istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) etki yapmıştır (Çizelge 4.30). Her iki yetiştirme döneminde de en düşük bitki K konsantrasyonu (%5.72 ve %4.03) sadece sıvı hayvan gübresi ile zenginleştirilmiş biyoçarın bulunduğu GD1 uygulamasında gerçekleşmiştir (Şekil 4.22). İlk dönem GD1 uygulaması haricindeki tüm uygulamalar istatistiksel olarak aynı grupta yer almış ve GD1'den önemli düzeyde yüksek bulunmuştur. İkinci dönem ise GD2 uygulaması, kontrole kıyasla daha yüksek (%4.69) olmasına rağmen bu değer besin elementlerinin daha fazla bulunduğu GD3, GD4 ve GD5 uygulamalarına kıyasla önemli düzeyde düşük bulunmuştur.



Şekil 4.22. İki ayrı dönemde uygulanan gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin potasyum (K) konsantrasyonuna etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak ve biyoçar çeşidi faktörlerinin karşılıklı etkileşimleri bitkinin K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etki yapmıştır (Çizelge 4.30). Biyoçar çeşitlerinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin K konsantrasyonuna etkileri Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Kömeç toprağında her iki dönemde de en yüksek bitki K konsantrasyonu fasulye biyoçarı uygulamasında, Dökmetepe toprağında ise çeltik biyoçarı uygulamasında elde edilmiştir. Tüm uygulamalar içerisinde her iki dönemde de en yüksek bitki K konsantrasyonuna (%7.32) neden olan uygulamanın Dökmetepe toprağındaki çeltik biyoçarı ve en düşük bitki K konsantrasyonuna (%3.64) neden olan uygulamanın ise ikinci dönem mısır biyoçarı uygulamasında olduğu görülmektedir.



Şekil 4.23. İki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksiyonu her iki dönemde de bitkinin K konsantrasyonu üzerine önemli ( $P<0.01$ ) etki etmiş ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.30). Toprak x BD interaksiyonunda elde edilen ortalama bitki K konsantrasyonları Çizelge 4.31’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ve en düşük ortalama bitki K konsantrasyonları Kömeç toprağında sırası ile BD1 (%7.04) ve BD5 (%5.89) dozlarında elde edilmiştir. İkinci dönem ise en yüksek K konsantrasyonu ilk dönem olduğu gibi Kömeç toprağının BD5 (%6.02) ve en düşük K konsantrasyonu BD1 (%4.45) dozlarında elde edilmiştir. Bununla birlikte Dökmetepe toprağında da tüm dozlarda bitki K konsantrasyonu oldukça düşük çıkmıştır. Dökmetepe toprağında artan biyoçar dozu ile birlikte bitkinin K konsantrasyonu ihmal edilebilecek düzeyde düşük kalmıştır.

Toprak tipi ve GD arasındaki interaksiyon bitkinin K alımını her iki dönemde de önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etkilemiştir. Toprak x GD interaksiyonunda bitkinin ortalama K konsantrasyonuna ait değerler Çizelge 4.31’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem buğday

bitkisinin topraktan en yüksek K kaldırmasına neden olan uygulama Kömeç toprağında GD5 (%6.96) uygulaması olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Kömeç toprağında sadece sıvı hayvan gübresinin yer aldığı GD1 uygulamasında ise ortalama bitki K konsantrasyonu %5.48 olmuştur. Gübre miktarının artışı ile birlikte Kömeç toprağında bitki K konsantrasyonunun artışı söz konusudur.

Çizelge 4.31. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
BD1	5.89 f	6.21 e	4.45 e	4.55 e
BD2	6.28 de	6.48 bcd	5.11 cd	4.47 e
BD3	6.60 b	6.32 cde	5.45 bc	4.52 e
BD4	6.64 b	6.50 bc	5.59 b	4.88 de
BD5	7.04 a	6.65 b	6.02 a	4.84 de
GD1	5.48 g	5.95 f	3.92 e	4.14 e
GD2	6.47 de	6.68 bc	4.71 cd	4.67 cd
GD3	6.77 ab	6.65 bcd	5.60 b	5.03 c
GD4	6.77 ab	6.51 cde	6.00 ab	4.58 d
GD5	6.96 a	6.36 e	6.40 a	4.84 cd

Biyoçar çeşidi ve biyoçar dozu uygulamaları ilk dönem bitki K konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) etki yaparken ikinci dönem bu etkinin önemsiz düzeye ( $P = 0.7822$ ) indiği görülmüştür (Çizelge 4.30). İlk dönem en yüksek K konsantrasyonu mısır ve fasulye biyoçarlarının BD5 (%6.91 ve %6.90) ve fasulye biyoçarının BD4 (%6.89) dozunda elde edilirken, en düşük K konsantrasyonu ise fasulye biyoçarının BD1 (%5.81) dozunda elde edilmiştir. Her üç biyoçar çeşidi için iki yetiştirme döneminde de en düşük K konsantrasyonları BD1 dozlarında oluşmuştur. İkinci dönem en yüksek K konsantrasyonu çeltik biyoçarının BD4 (%6.24) ve BD5 (%6.17) dozlarında ve en düşük K konsantrasyonu ise mısır biyoçarının BD1 ( $4.01 \text{ mg kg}^{-1}$ ) dozunda elde edilmiştir (Çizelge 4.32).

Biyoçar çeşidi ve GD uygulamaları arasındaki interaksiyon her iki dönemde de bitkinin K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.30). İlk dönem en yüksek K konsantrasyonu fasulye biyoçarının GD3 (%6.89) uygulamasında ve en düşük ise fasulye biyoçarının GD1 (%5.42) uygulamasında elde edilmiştir. İkinci dönem ise en yüksek K konsantrasyonuna çeltik biyoçarının GD3 (%6.35) ve GD5 (%6.26) uygulamaları, en düşük K konsantrasyonuna fasulye biyoçarının GD1 (%3.44) uygulaması neden olmuştur (Çizelge 4.32). Her iki dönemde de K konsantrasyonunun en düşük olduğu uygulamalar tüm biyoçar çeşitleri için GD uygulamaları olmuştur.

Çizelge 4.32. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	6.17 de	6.17 de	<b>5.81 f</b>	5.28 bcd	<b>4.01 f</b>	4.22 ef
<b>BD2</b>	6.68 abc	6.10 ef	6.36 cde	5.47 bc	4.16 ef	4.75 de
<b>BD3</b>	6.52 bc	6.40 b-e	6.46 bcd	5.76 ab	4.37 ef	4.83 cde
<b>BD4</b>	6.66 abc	6.17 de	<b>6.89 a</b>	<b>6.24 a</b>	4.36 ef	5.10 bcd
<b>BD5</b>	6.71 ab	<b>6.91 a</b>	<b>6.90 a</b>	<b>6.17 a</b>	4.81 cde	5.32 bcd
<b>GD1</b>	6.02 ef	5.72 fg	<b>5.42 g</b>	4.70 ef	3.94 gh	<b>3.44 h</b>
<b>GD2</b>	<b>6.80 ab</b>	6.30 de	6.63 a-d	5.56 bc	4.16 fg	4.35 fg
<b>GD3</b>	6.72 abc	6.52 bcd	<b>6.89 a</b>	<b>6.35 a</b>	4.38 fg	5.23 cde
<b>GD4</b>	6.76 abc	6.45 cd	6.71 abc	6.06 ab	4.38 fg	5.44 bcd
<b>GD5</b>	6.46 bcd	6.75 abc	<b>6.76 ab</b>	<b>6.26 a</b>	4.84 def	5.76 abc

Biyoçar dozu ve GD interaksiyonu bitki K konsantrasyonu üzerine ilk dönem  $P < 0.01$  düzeyinde ve ikinci dönem  $P < 0.05$  düzeyinde önemli etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.30). BD x GD interaksiyonuna ait ortalama K konsantrasyonu değerleri Çizelge 4.33’de verilmiştir. En yüksek bitki K konsantrasyonuna neden olan interaksiyon ilk dönem BD5 dozunda GD2 (%7.29) ve ikinci dönem BD4 dozunda GD3 (%6.05) uygulamaları olmuştur. Buna karşılık BD2 dozu GD1 (%5.58) ve BD1 dozu GD1 (%3.62) uygulamaları K konsantrasyonunun diğer uygulamalara kıyasla daha düşük olmasına neden olmuştur. Her iki dönemde tüm biyoçar dozlarında GD1 uygulamaları altında bitkinin K konsantrasyonu diğer GD uygulamalarına kıyasla daha düşük olmuştur.

Çizelge 4.33. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna etkileri

	1. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	5.69 kl	<b>5.58 l</b>	5.64 kl	5.74 jkl	5.94 i-l
<b>GD2</b>	6.30 f-i	6.31 e-i	6.60 d-g	6.38 e-h	<b>7.29 a</b>
<b>GD3</b>	6.02 h-l	6.73 b-f	6.75 b-e	7.08 abc	6.98 a-d
<b>GD4</b>	6.07 h-k	6.62 def	6.40 e-h	7.01 a-d	7.10 ab
<b>GD5</b>	6.17 g-j	6.66 b-f	6.91 a-d	6.66 c-f	6.89 a-d
	2. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	<b>3.62 k</b>	3.74 jk	4.02 ijk	4.42 f-k	4.33 g-k
<b>GD2</b>	4.50 f-k	4.62 e-j	4.76 d-i	4.43 f-k	5.13 b-h
<b>GD3</b>	4.31 h-k	4.65 e-i	5.72 abc	<b>6.05 a</b>	5.86 ab
<b>GD4</b>	4.87 c-i	5.29 a-f	4.89 c-i	5.58 a-d	5.81 ab
<b>GD5</b>	5.21 a-g	5.66 abc	5.51 a-e	5.68 abc	6.02 ab

Toprak tipi, BÇ ve BD arasındaki interaksiyon her iki dönemde de bitkinin K konsantrasyonu üzerine önemli bir etki ( $P=0.4280$  ve  $P=0.4386$ ) yapmamıştır (Çizelge 4.30). Toprak x çeşit x BD interaksiyonuna ait ortalama bitki K konsantrasyonları Çizelge 4.34’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek K konsantrasyonuna neden olan uygulamalar Dökmetepe toprağında çeltik biyoçarının BD2 (%7.55) dozu, Kömeç toprağında fasulye biyoçarının BD4 (%7.54) ve BD5 (%7.48) dozları olmuştur. Bu dönem en düşük K

konsantrasyonuna neden olan interaksiyon ise Kömeç toprağında çeltik biyoçarının BD1 (%5.09) dozu olarak bulunmuştur. Kömeç toprağında tüm biyoçar çeşitlerinde en düşük K konsantrasyonuna neden olan uygulama BD1 dozu olmuştur.

Çizelge 4.34. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	<b>5.09 l</b>	6.42 d-g	6.16 f-j	7.26 ab	5.92 hk	5.46 kl
<b>BD2</b>	5.81 ijk	6.31 e-h	6.72 cde	<b>7.55 a</b>	5.88 hk	6.00 f-j
<b>BD3</b>	5.80 jk	6.89 bcd	7.10 abc	7.24 ab	5.91 hk	5.81 jk
<b>BD4</b>	6.00 g-j	6.46 d-g	<b>7.48 a</b>	7.32 ab	5.88 hk	6.30 e-i
<b>BD5</b>	6.23 f-j	7.34 ab	<b>7.54 a</b>	7.20 abc	6.49 def	6.25 e-j
2. Dönem						
<b>BD1</b>	4.10 ijk	4.44 h-k	4.81 f-j	6.46 ab	<b>3.57 k</b>	<b>3.62 k</b>
<b>BD2</b>	5.03 e-i	4.69 g-j	5.62 b-g	5.91 b-e	<b>3.63 k</b>	3.88 jk
<b>BD3</b>	5.43 c-g	5.18 d-h	5.74 b-f	6.08 a-d	<b>3.55 k</b>	3.91 jk
<b>BD4</b>	5.42 c-g	5.17 d-h	6.18 abc	<b>7.06 a</b>	<b>3.54 k</b>	4.02 jk
<b>BD5</b>	6.00 b-e	5.73 b-f	6.35 abc	6.34 abc	3.89 jk	4.29 hk

Denemenin ikinci döneminde ise Dökmetepe toprağında çeltik biyoçarının BD4 dozu en yüksek ortalama bitki K konsantrasyonuna neden olurken, yine Dökmetepe toprağında mısır biyoçarının BD5 haricindeki dört dozu ile fasulye biyoçarının BD1 dozları diğer uygulamalara kıyasla çok daha düşük K konsantrasyonu elde edilmesine neden olmuşlardır.

Toprak tipi, biyoçar çeşidi ve GD uygulamalarının interaksiyonları, bitki K alımına ilk dönem  $P < 0.01$  düzeyinde ve ikinci dönem  $P < 0.05$  düzeyinde önemli etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur. Toprak x çeşit x GD interaksiyonunda elde edilen ortalama K konsantrasyonlarına ait değerler Çizelge 4.35’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek bitki K konsantrasyonu Dökmetepe toprağında çeltik biyoçarının GD3 (%7.66) uygulaması altında ve en düşük bitki K konsantrasyonu ise Kömeç toprağında çeltik (%4.70) ve Dökmetepe toprağında fasulye (%4.97) biyoçarlarının GD1 uygulamalarında elde edilmiştir. İkinci dönemde ise Dökmetepe toprağında çeltik biyoçarı GD3 (%7.18) uygulaması en yüksek bitki K konsantrasyonuna bununla birlikte en düşük bitki K konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağında fasulye biyoçarının GD1 (%2.99) uygulaması olmuştur.



Çizelge 4.35. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	<b>4.70 j</b>	5.88 hi	5.86 hi	7.33 abc	5.57 i	<b>4.97 j</b>
<b>GD2</b>	6.03 ghi	6.12 gh	7.25 abc	7.57 ab	6.48 efg	6.00 ghi
<b>GD3</b>	5.79 hi	6.94 cde	7.58 ab	<b>7.66 a</b>	6.10 gh	6.19 gh
<b>GD4</b>	6.22 gh	7.10 bcd	6.98 cd	7.30 abc	5.80 hi	6.45 fg
<b>GD5</b>	6.19 gh	7.37 abc	7.31 abc	6.72 def	6.13 gh	6.22 gh
2. Dönem						
<b>GD1</b>	3.43 lm	4.42 h-k	3.89 j-m	5.97 cde	3.45 klm	<b>2.99 m</b>
<b>GD2</b>	4.90 ghi	4.27 i-l	4.96 f-i	6.22 a-e	4.06 i-l	3.73 j-m
<b>GD3</b>	5.51 d-g	4.96 f-i	6.33 a-d	<b>7.18 a</b>	3.79 j-l	4.12 i-l
<b>GD4</b>	6.17 b-e	5.29 e-h	6.54 abc	5.94 c-f	3.47 klm	4.33 h-l
<b>GD5</b>	5.97 cde	6.26 a-e	6.97 ab	6.55 abc	3.42 l-m	4.55 g-j

Toprak tipi, BD ve GD uygulamalarının interaksiyonları bitki K alımına ilk dönem  $P < 0.01$  düzeyinde ve ikinci dönem  $P < 0.05$  düzeyinde önemli etki yapmıştır (Çizelge 4.30). İlk dönem en yüksek bitki K konsantrasyonu Kömeç toprağında BD5 dozunun GD2 (%7.48) uygulamasında en düşük bitki K konsantrasyonu ise Kömeç toprağında BD2 (%5.20) dozunun GD1 uygulamasında gerçekleşmiştir. İkinci dönem ise en yüksek bitki K konsantrasyonu, Kömeç toprağında BD5 dozunun GD5 (%7.19) uygulamasında en düşük K konsantrasyonu ise Kömeç toprağının BD1 (%3.40) ve BD2 (%3.64) dozlarının GD1 uygulamasında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.36).

Çizelge 4.36. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	5.58qrs	<b>5.20s</b>	5.59qrs	5.40r-s	5.64p-s	5.81m-s	5.96l-r	5.69o-s	6.08j-q	6.23hp
<b>GD2</b>	6.03k-q	5.96l-r	6.89a-g	5.97l-r	<b>7.48a</b>	6.56e-l	6.66d-j	6.31g-o	6.79b-i	7.10a-e
<b>GD3</b>	5.82m-s	6.62d-k	6.71d-j	7.37abc	7.34abc	6.22h-p	6.83b-i	6.78c-i	6.78c-i	6.63d-k
<b>GD4</b>	5.79n-s	6.69d-j	6.58d-l	7.41ab	7.35abc	6.35f-n	6.55e-l	6.22i-p	6.60d-k	6.85b-e
<b>GD5</b>	6.22i-p	6.94-f	7.20a-d	7.06a-e	7.36abc	6.12j-q	6.38f-n	6.61d-k	6.25h-p	6.43f-m
2. Dönem										
<b>GD1</b>	<b>3.40p</b>	<b>3.64op</b>	4.10k-p	4.07k-p	4.37i-p	3.83m-p	3.83m-p	3.95m-p	4.76	4.30j-p
<b>GD2</b>	3.69nop	4.84f-o	5.31c-k	4.17k-p	5.55b-j	5.31c-k	4.41i-p	4.22k-p	4.69	4.71g-o
<b>GD3</b>	4.22k-p	4.34j-p	5.82b-g	<b>7.19a</b>	6.43abc	4.39i-p	4.95e-n	5.62b-i	4.91	5.30c-k
<b>GD4</b>	5.26c-l	6.10a-f	5.79b-g	6.19a-e	6.68ab	4.49h-p	4.48h-p	4.00l-p	4.98	4.95e-n
<b>GD5</b>	5.69b-h	6.64a-b	6.24a-d	6.33abc	<b>7.10a</b>	4.74g-o	4.68g-o	4.79g-o	5.04	4.94e-n

Biyoçar çeşidi, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları bitkinin K konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de  $P < 0.01$  düzeyinde etkilidir (Çizelge 4.30). Biyoçar çeşit x BD x GD interaksiyonunda bitkinin K konsantrasyonuna ait ortalama değerler Çizelge 4.37’de verilmiştir. En yüksek ortalama bitki K konsantrasyonuna neden olan interaksiyonlar fasulye biyoçarının BD5 dozunun GD3 (%7.55) ve çeltik biyoçarının BD5 dozunun GD4 (%7.54) uygulamaları iken en düşük K konsantrasyonuna ise mısır biyoçarının BD4 dozunun GD2 (%5.06) uygulaması neden olmuştur. İkinci dönemde ise en yüksek bitki K konsantrasyonu,

çeltik biyoçarının BD5 dozunun GD4 (%7.22) uygulamasında ve en düşük bitki K konsantrasyonu ise fasulye biyoçarının BD3 (%2.83) ve BD1 (%3.11) dozlarının GD1 uygulamasında elde edilmiştir.

Deneme faktörlerinin karşılıklı etkileşimleri her iki dönemde de bitkinin K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etki etmiştir (Çizelge 4.37). Denemenin ilk döneminde en yüksek bitki K konsantrasyonu, Kömeç toprağında fasulye biyoçarının BD5 dozunda yer alan GD3 (%8.51) ve Kömeç toprağında fasulye biyoçarının BD dozundaki GD3 (%8.43) uygulamalarıdır. En düşük bitki K konsantrasyonuna neden olan interaksiyonlar Kömeç toprağında çeltik biyoçarının BD4 dozunda GD1 (%4.25) ve Kömeç toprağında mısır biyoçarının BD4 dozunda GD2 (%3.83) uygulamaları olmuştur (Çizelge 4.38).

Çizelge 4.37. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	6.07	6.05	5.98	5.96	6.02
	GD2	6.41	6.71	6.56	7.16	7.16
	GD3	6.13	6.99	6.71	7.00	6.78
	GD4	5.61	6.82	6.56	7.25	<b>7.54 ab</b>
	GD5	6.65	6.85	6.80	5.93	6.06
Mısır	GD1	5.68	5.24	5.85	5.65	6.18
	GD2	6.40	5.87	6.74	<b>5.06</b>	7.44
	GD3	6.27	6.42	6.55	6.76	6.62
	GD4	6.16	6.35	6.06	6.63	7.06
	GD5	6.34	6.60	6.80	6.74	7.27
Fasulye	GD1	<b>5.33</b>	<b>5.46</b>	<b>5.08</b>	5.61	5.60
	GD2	6.08	6.36	6.52	6.91	7.27
	GD3	5.67	6.78	6.98	<b>7.46 abc</b>	<b>7.55 a</b>
	GD4	6.45	6.69	6.58	7.14	6.71
	GD5					
2. Dönem						
Çeltik	GD1	4.59	4.27	4.95	5.38	4.30
	GD2	5.06	5.44	5.06	5.89	6.33
	GD3	5.33	5.72	<b>7.14 ab</b>	6.44	<b>7.10 ab</b>
	GD4	5.02	5.80	5.39	<b>6.85 abc</b>	<b>7.22 a</b>
	GD5	6.39	6.12	6.25	<b>6.64 a-d</b>	5.90
Mısır	GD1	<b>3.14</b>	3.29	4.29	4.24	4.72
	GD2	4.20	4.15	4.52	<b>3.18</b>	4.78
	GD3	4.29	3.75	4.52	5.31	4.02
	GD4	4.34	4.59	3.86	4.49	4.62
	GD5	4.05	5.00	4.66	4.57	5.91
Fasulye	GD1	<b>3.11</b>	3.65	<b>2.83</b>	3.63	3.98
	GD2	4.23	4.29	4.72	4.22	4.28
	GD3	3.30	4.46	5.50	6.40	6.47
	GD4	5.26	5.48	5.43	5.41	5.59
	GD5	5.19	5.87	5.64	5.84	6.26

Çizelge 4.38. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın potasyum (K) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	4.99	4.96	4.71	<b>4.25</b>	<b>4.61</b>	5.93	5.03	6.24	6.09	6.11	5.82	5.61	5.82	5.86	6.21
	GD2	5.16	5.50	6.22	6.44	6.81	6.48	5.73	7.09	<b>3.83</b>	7.49	6.46	6.65	7.37	7.65	<b>8.14abc</b>
	GD3	4.76	5.92	5.72	6.46	6.07	6.58	6.70	6.80	7.20	7.44	6.12	7.24	7.61	<b>8.43ab</b>	<b>8.51a</b>
	GD4	<b>4.38</b>	6.19	5.90	7.05	7.56	6.48	6.88	6.93	7.47	7.75	6.53	6.99	6.92	7.71	6.75
	GD5	6.15	6.49	6.46	5.77	6.08	6.66	7.21	7.36	7.69	7.93	5.86	7.12	7.78	7.72	8.07
Dökmetepe	GD1	7.15	7.13	7.26	7.67	7.44	5.43	5.46	5.46	5.22	6.26	4.84	5.30	<b>4.34</b>	5.36	4.99
	GD2	7.65	7.92	6.90	7.88	7.50	6.31	6.01	6.38	6.30	7.39	5.71	6.07	5.66	6.17	6.40
	GD3	7.49	8.05	7.70	7.54	7.50	5.97	6.13	6.30	6.31	5.80	5.22	6.31	6.34	6.50	6.59
	GD4	6.85	7.44	7.23	7.44	7.52	5.84	5.82	5.18	5.80	6.37	6.36	6.39	6.25	6.57	6.66
	GD5	7.15	7.21	7.13	6.09	6.03	6.02	5.98	6.23	5.79	6.61	5.18	5.94	6.46	6.88	6.64
2. Dönem																
Kömeç	GD1	3.30	3.61	3.74	3.09	3.40	3.13	3.13	5.48	5.19	5.19	3.76	4.18	3.08	3.94	4.51
	GD2	<b>2.34</b>	5.01	5.18	5.32	6.63	4.36	4.49	4.84	<b>2.34</b>	5.35	4.37	5.03	5.91	4.86	4.66
	GD3	4.27	4.38	5.64	6.69	6.59	4.83	3.65	5.31	6.68	4.34	3.58	5.00	6.52	<b>8.20abc</b>	<b>8.36ab</b>
	GD4	4.75	6.18	5.97	6.18	7.78	4.97	5.56	4.47	5.77	5.67	6.05	6.56	6.91	6.61	6.58
	GD5	5.85	5.97	6.62	5.82	5.60	4.90	6.60	5.82	5.88	8.09	6.32	7.36	6.28	7.29	7.62
Dökmetepe	GD1	5.88	4.92	6.16	7.67	5.20	3.16	3.45	3.10	3.29	4.25	<b>2.46</b>	3.12	<b>2.59</b>	3.32	3.46
	GD2	7.78	5.87	4.94	6.46	6.03	4.05	3.81	4.19	4.02	4.21	4.09	3.55	3.53	3.59	3.90
	GD3	6.38	7.07	<b>8.64a</b>	6.20	7.61	3.75	3.85	3.73	3.93	3.69	3.03	3.92	4.49	4.60	4.58
	GD4	5.30	5.42	4.80	7.52	6.66	3.70	3.62	3.25	3.21	3.57	4.47	4.41	3.95	4.21	4.61
	GD5	6.94	6.26	5.88	7.46	6.20	3.21	3.40	3.49	3.27	3.74	4.07	4.39	5.01	4.39	4.90

#### 4.1.5 Bitkinin fosfor konsantrasyonuna etkileri

Biyoçar (çeşit, doz) uygulamalarının bitkinin iki ayrı topraktan (Kömeç ve Dökmetepe) kaldırdığı fosfor (P) konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.39’da verilmiştir. Bu sonuçlara göre her iki dönemde de biyoçar dozu (BD) faktörü ile T x BD interaksyonu bitkinin yeşil aksam P konsantrasyonuna önemli bir etki yapmamıştır. Buğday sapından elde ettikleri biyoçarı mısır, soya fasulyesi ve yer fıstığı yetiştiriciliğinde uygulayan Liu ve ark. (2017a), biyoçar uygulanan topraklarda hem monokültür hem de ara ürün sistemleri altında biyoçar uygulamalarının bitkilerin P ve N alımlarını istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) arttırdığını bildirmişlerdir. Bitkilerin P ve N alımlarının ise biyoçar dozu artışı ile arttığı rapor edilmiştir. Buna ilaveten ilk dönem T x BÇ x BD ile ikinci dönem BÇ x BD ve BÇ x BD x GD interaksyonlarının da bitki P konsantrasyonu üzerine önemli etki yapmadığı görülmektedir. Yukarıda konu edilen faktör ve interaksyonların haricindeki tüm faktör ve interaksyonlar bitkilerin topraktan P alımını önemli düzeyde etkilemiştir.

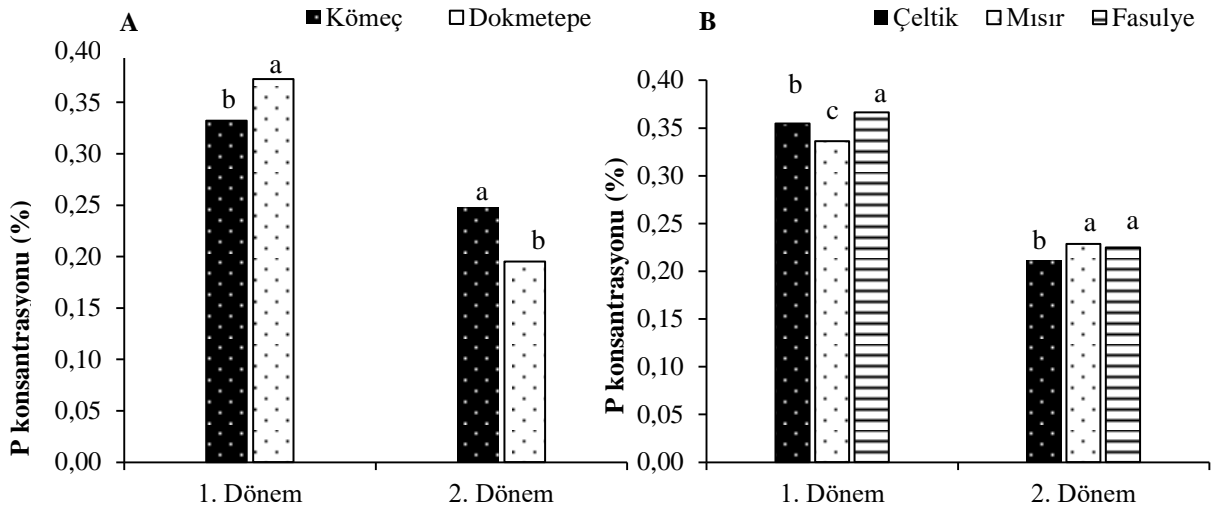
Çizelge 4.39. Uygulamaların buğday bitkisi fosfor (P) konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	0.18	0.18	99.055	<0.0001**	0.311	0.311	186.003	<0.0001**
Biyoçar Çeşidi (BÇ)	2	0.07	0.035	18.788	<0.0001**	0.024	0.012	7.139	0.0009**
Biyoçar Dozu (BD)	4	0.01	0.001	1.738	0.1415 <sup>OD</sup>	0.005	0.001	0.714	0.5832 <sup>OD</sup>
Gübre Dozu (GD)	4	3.51	0.88	474.801	<0.0001**	0.370	0.093	55.338	<0.0001**
T*BÇ	2	0.10	0.05	25.949	<0.0001**	0.084	0.042	25.174	<0.0001**
T*BD	4	0.01	0.001	1.803	0.1281 <sup>OD</sup>	0.005	0.001	0.681	0.6056 <sup>OD</sup>
T*GD	4	0.47	0.12	64.221	<0.0001**	0.110	0.027	16.410	<0.0001**
BÇ*BD	8	0.08	0.01	5.344	<0.0001**	0.014	0.002	1.072	0.3826 <sup>OD</sup>
BÇ*GD	8	0.25	0.03	17.164	<0.0001**	0.061	0.008	4.576	<0.0001**
BD*GD	16	0.24	0.02	8.258	<0.0001**	0.121	0.008	4.534	<0.0001**
T*BÇ*BD	8	0.02	0.001	1.459	0.1717 <sup>OD</sup>	0.043	0.005	3.249	0.0015**
T*BD*GD	8	0.04	0.01	2.973	0.0032**	0.077	0.010	5.792	<0.0001**
T*BÇ*GD	16	0.05	0.003	1.725	0.0413*	0.058	0.004	2.167	0.0062**
BÇ*BD*GD	32	0.15	0.005	2.477	<0.0001**	0.076	0.002	1.411	0.0750 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD*GD	32	0.17	0.005	2.951	<0.0001**	0.064	0.002	1.204	0.2141 <sup>OD</sup>

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P<0.01$  ve  $P<0.05$  düzeyinde önemlidir, OD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Toprak tipi bitkinin topraktan kaldırdığı P konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etki etmiştir. Denemede yer alan uygulamaların kumlu tın ve tın tekstürüne sahip Dökmetepe ve Kömeç topraklarında yetiştirilen buğday bitkilerinin topraktan kaldırdıkları P konsantrasyonlarına etkileri Şekil 4.24a’da gösterilmektedir. Biyoçarın ilk uygulandığı yetiştirme döneminde Dökmetepe toprağında (%0.372) yetiştirilen buğday bitkisi Kömeç toprağına (%0.332) kıyasla önemli oranda daha yüksek P kaldırırken, ikinci yetiştirme dönemi sonunda bunun tam tersi bir durum söz konusu

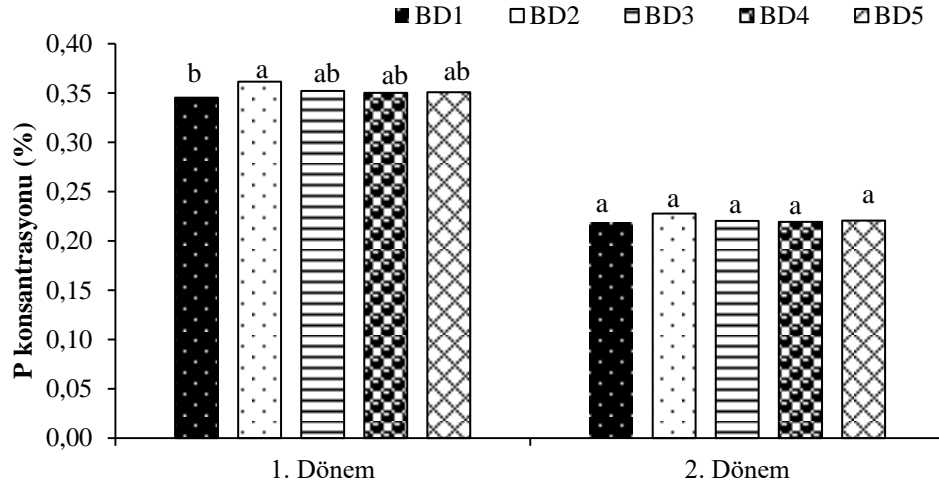
olmuştur. Bununla birlikte her iki toprakta da ikinci dönem bitkilerin kaldırdıkları ortalama P konsantrasyonları (%0.248 ve %0.195 Kömeç ve Dökmetepe) ilk döneme kıyasla önemli oranda azalmıştır.



Şekil 4.24. Biyoçar uygulamalarının olduğu a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında yetiştirilen buğday bitkisinin fosfor (P) konsantrasyonları (%)

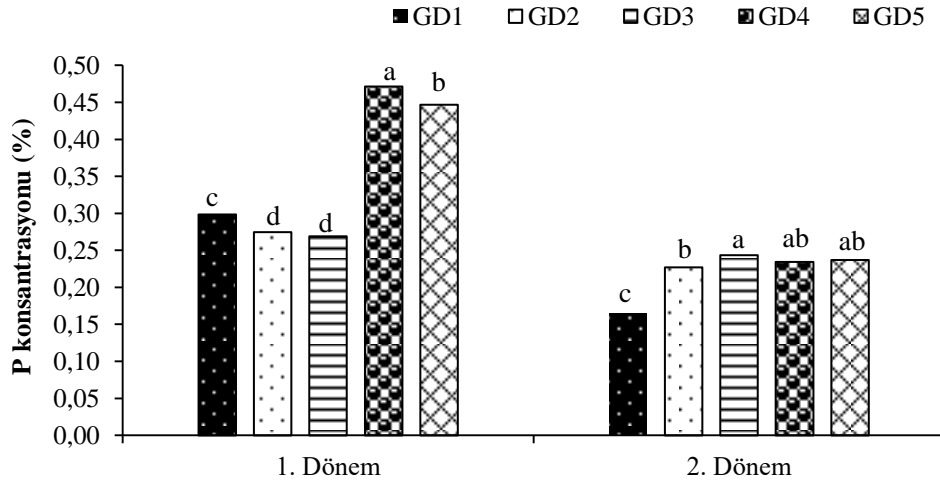
Biyoçar çeşitlerinin bitkinin kaldırdığı P konsantrasyonu üzerine etkileri her iki dönemde de  $P < 0.01$  düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.39). İki ayrı yetiştirme dönemi sonunda üç farklı biyoçarın buğday bitkisinin topraktan kaldırdıkları P konsantrasyonlarına etkileri Şekil 4.24b’de gösterilmektedir. İlk dönem en yüksek P konsantrasyonu sırası ile fasulye (%0.37) ve çeltik biyoçarı (%0.35) uygulamalarında elde edilmiştir. İkinci dönem her üç biyoçar uygulamasında da ilk döneme kıyasla P konsantrasyonu azalmıştır. Bu dönem çeltik biyoçarı (%0.21) mısır ve fasulye biyoçarlarına kıyasla daha düşük bitki P alımına neden olmuştur. En yüksek P konsantrasyonu ilk dönem en düşük P alımına neden olan mısır biyoçarı (%0.23) uygulamasında elde edilmiştir.

Biyoçar dozlarının topraktan kaldırılan P konsantrasyonu üzerine her iki yetiştirme döneminde de önemli bir etkisinin olmadığı ( $P = 0.1414$  ve  $P = 0.5835$ ) görülmüştür (Çizelge 4.39). Biyoçarların farklı dozları altında yetiştirilen buğday bitkisinin topraktan kaldırdığı ortalama P konsantrasyonu Şekil 4.25’de verilmiştir. İki dönem arasında bitki P konsantrasyonları açısından önemli farklılık bulunmasına rağmen, iki ayrı dönemdeki BD arasında P konsantrasyonları farklılık bulunmamıştır.



Şekil 4.25. Biyoçar dozlarının buğday bitkisinin fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri  
BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

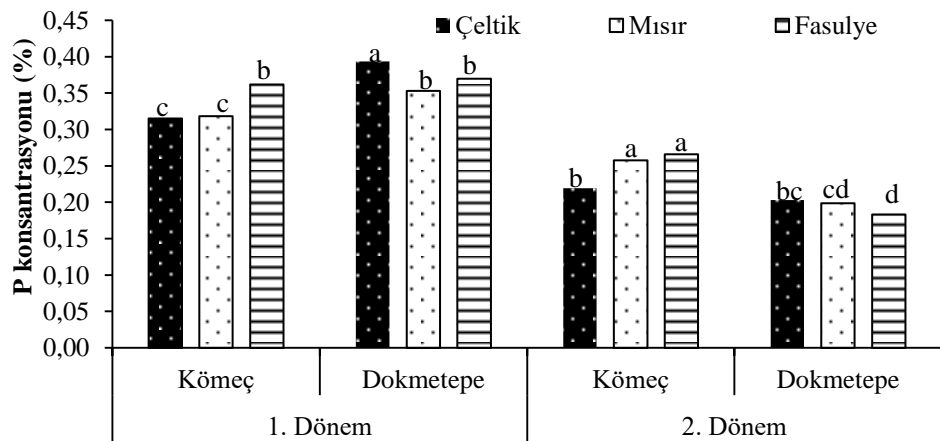
Gübre dozu uygulamalarının bitkinin P konsantrasyonu üzerine etkileri istatistiksel olarak önemli ( $P < 0.01$ ) bulunmuştur (Çizelge 4.39). Gübre dozu uygulamalarının bitkinin P konsantrasyonu üzerine etkileri Şekil 4.26’da gösterilmektedir. Bu iki uygulamada bitki gereksinimi için gerekli olan P miktarı tam olarak verilmiştir. En yüksek P konsantrasyonu (%0.472) GD4 uygulamasında elde edilmiştir. Bu uygulamada GD5’den farklı olarak biyoçarlar toprağa uygulanmadan önce besin elementlerince zengin olan sıvı hayvan gübresi ile ön muameleye tabi tutulmuşlardır. İkinci yetiştirme dönemi sonunda ise en belirgin farklılık GD1 uygulamasında görülmüş ve diğer dört uygulamaya kıyasla önemli düzeyde daha düşük (%0.165) P konsantrasyonuna neden olmuştur. İkinci dönemde tüm GD uygulamaları altında bitkinin P konsantrasyonu ilk döneme kıyasla önemli derecede azalmıştır. Bu durum ilk dönem toprakta sıvı hayvan gübresi ve biyoçarların kendilerinde var olan P’un katılımı ile ilişkilidir. Belirtilen kaynaklardan birinci dönemde toprağa katılan P ikinci yetiştirme döneminde olmadığından bitkinin P alımında da önemli oranda düşüş gerçekleşmiştir. İkinci dönem en yüksek bitki P konsantrasyonu GD3 (%0.244) uygulamasında elde edilirken en düşük bitki P ise GD1 (%0.165) uygulamasında elde edilmiştir.



Şekil 4.26. Gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak ve biyoçar çeşidi faktörlerinin interaksyonu her iki dönemde de  $P < 0.01$  önem düzeyinde bitkinin P alımına etki yapmıştır (Çizelge 4.39). İki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidinin iki farklı toprakta yetiştirilen buğday bitkisinin P konsantrasyonuna etkisi Şekil 4.27’de gösterilmiştir. Her iki dönemde de Kömeç toprağında en yüksek P konsantrasyonu fasulye biyoçarı uygulamasında elde edilirken (ilk dönem %0.362 ve ikinci dönem %0.203) elde edilmesine neden olan uygulama mısır biyoçarı olmuştur. Tüm biyoçar çeşidi uygulamaları her iki toprakta da ilk dönem daha yüksek bitki P alımına neden olmuşlardır.



Şekil 4.27. Üç biyoçar çeşidinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin fosfor (P) konsantrasyonuna etkileri

Toprak tipi ve biyoçar dozu faktörlerinin interaksyonu hem birinci ( $P=1281$ ) hem de ikinci ( $P=0.6056$ ) dönemde bitkinin P alımına önemli düzeyde etki yapmamıştır (Çizelge

4.39). Toprak x BD interaksiyonunda elde edilen ortalama bitki P konsantrasyonları Çizelge 4.40’da verilmiştir. İlk dönem en yüksek P (%0.39) alımı Dökmetepe toprağında BD2 uygulamasında gerçekleşirken Kömeç toprağında BD1 (%0.32), BD3 (%0.33) ve BD5 (%0.33) konsantrasyonları en düşük P alımına neden olmuşlardır. İlk dönem her biyoçar dozu altında Dökmetepe toprağında bitkinin ortalama P konsantrasyonu Kömeç toprağına kıyasla daha yüksek olmuştur. İkinci dönemde ise Kömeç toprağı altında tüm biyoçar dozları Dökmetepe toprağına kıyasla önemli düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Hem Kömeç toprağında hem de Dökmetepe toprağında ortalama P konsantrasyonları birbirlerine oldukça benzer olmuştur. İki ayrı dönemin ortalama P konsantrasyonları kıyaslandığında, ilk dönemin P konsantrasyonlarının her iki toprakta da ikinci döneme kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte iki dönem arasında P konsantrasyonu bakımından farklılık Dökmetepe toprağında yer yer %50’ye kadar yükselmiştir.

Toprak tipi ve GD uygulamalarının interaksiyonu her iki dönemde de  $P < 0.01$  önem düzeyinde bitkinin P alımına etki yapmıştır (Çizelge 4.39). İlk dönem en yüksek ortalama P konsantrasyonu Kömeç toprağında GD4 (%0.49) uygulamasında ve en düşük P konsantrasyonu da yine Kömeç toprağında GD2 (%0.22) uygulamasında elde edilmiştir. İkinci dönemde ise en yüksek P konsantrasyonu Kömeç toprağında GD3 (%0.27), GD4 (%0.27) ve GD5 (%0.29) uygulamalarında ve en düşük P konsantrasyonu ise Dökmetepe toprağında GD1 (%0.15) uygulamasında elde edilmiştir (Çizelge 4.40).

Çizelge 4.40. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	<b>0.32 d</b>	0.37 ab	<b>0.25 a</b>	0.19 b
<b>BD2</b>	0.34 cd	<b>0.39 a</b>	<b>0.25 a</b>	0.20 b
<b>BD3</b>	<b>0.33 cd</b>	0.37 ab	<b>0.25 a</b>	0.19 b
<b>BD4</b>	0.34 c	0.36 b	<b>0.24 a</b>	0.19 b
<b>BD5</b>	<b>0.33 cd</b>	0.37 ab	<b>0.24 a</b>	0.20 b
<b>GD1</b>	0.25 f	0.34 d	0.18 e	<b>0.15 f</b>
<b>GD2</b>	<b>0.22 g</b>	0.33 e	0.23 c	0.22 c
<b>GD3</b>	<b>0.23 g</b>	0.31 e	0.27 b	0.22 c
<b>GD4</b>	<b>0.49 a</b>	0.45 bc	0.27 b	0.20 d
<b>GD5</b>	0.46 b	0.43 c	<b>0.29 a</b>	0.19 de

Biyochaar çeşidi ve biyoçar dozu faktörlerinin interaksiyonu buğday bitkisinin P alımını ilk dönem  $P < 0.01$  önem düzeyinde etkilemiş ve farklılaşmasına neden olmuştur. Ancak ikinci yetiştirme döneminde bu etkinin ortadan kalktığı ve interaksiyonun bitki P konsantrasyonu üzerine önemli bir etkisinin olmadığı ( $P = 0.3826$ ) görülmüştür (Çizelge 4.39). Biyoçar çeşit x BD interaksiyonunda bitkinin ortalama P konsantrasyonuna ait değerler Çizelge 4.41’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama bitki P konsantrasyonuna neden olan



biyoçar çeşit x BD interaksyonu fasulye x BD5 (%0.39) iken en düşük P konsantrasyonu mısır x BD5 (%0.31) interaksyonunda oluşmuştur. İkinci dönemde ise mısır x BD2 (%0.24) interaksyonu diğer uygulamalara kıyasla bir miktar daha yüksek bitki P konsantrasyonu elde edilmesine neden olmuştur. Ancak bu dönemde üç çeşidin altındaki beş biyoçar dozunda ortalama bitki P konsantrasyonu %0.21 ile %0.24 arasında değişmiştir. Üç biyoçar çeşidindeki tüm biyoçar dozlarında ortalama P konsantrasyonu ilk döneme kıyasla önemli miktarda azalmıştır.

Biyoçar çeşidi ve GD faktörlerinin interaksyonu her iki dönemde de bitkinin topraktan P alımına önemli düzeyde ( $P<0.011$ ) etki etmiştir. Biyoçar çeşidi x GD interaksyonunda ilk dönem en yüksek bitki P konsantrasyonu mısır x GD4 (%0.49) ve en düşük mısır GD3 (%0.23) interaksyonunda elde edilmiştir. Her üç çeşitte de GD artışı ile bitkinin topraktan kaldırdığı P miktarında önemli düzeyde artış olmuştur. İkinci yetiştirme döneminde ise en yüksek bitki P fasulye x GD5 (%0.27) interaksyonunda gerçekleşmiştir. Her üç çeşidin GD1 dozları ise diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde düşük bitki P alımına neden olmuştur (Çizelge 4.41). Bu durum sadece biyoçarlara emdirilmiş halde uygulanan sıvı hayvan gübresinin ilk uygulandığı yıl kısmen yeterli olduğunu, ancak bir sonraki dönemde bitkinin P gereksinimini karşılamaya yeterli olmadığını ve buğday bitkisinin gelişimi için mutlaka gübre takviyesi yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.41. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	0.35 b-e	0.34 c-f	0.34 cde	0.21 b	0.23 ab	0.22 ab
<b>BD2</b>	0.34 bcd	0.36 a-d	0.38 ab	0.22 ab	<b>0.24 a</b>	0.22 ab
<b>BD3</b>	0.37 abc	0.34 def	0.36 bcd	0.21 b	0.23 ab	0.22 ab
<b>BD4</b>	0.36 a-e	0.33 ef	0.36 a-e	0.21 b	0.22 ab	0.23 ab
<b>BD5</b>	0.35 a-e	<b>0.31 f</b>	<b>0.39 a</b>	0.21 b	0.22 ab	0.23 ab
<b>GD1</b>	0.30 ef	0.26 g	0.34 d	<b>0.17 e</b>	<b>0.17 e</b>	<b>0.15 e</b>
<b>GD2</b>	0.27 fg	0.25 gh	0.31 de	0.22 cd	0.23 bcd	0.23 bcd
<b>GD3</b>	0.26 gh	<b>0.23 h</b>	0.32 de	0.24 bc	0.26 ab	0.24 bc
<b>GD4</b>	0.48 ab	<b>0.49 a</b>	0.45 b	0.22 cd	0.25 ab	0.24 bc
<b>GD5</b>	0.47 ab	0.45 b	0.42 c	0.21 d	0.23 bcd	<b>0.27 a</b>

Biyoçar dozu ve GD interaksyonu her iki yetiştirme döneminde de bitkinin P konsantrasyonu üzerine önemli ( $P<0.01$ ) düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.39). BD x GD interaksyonunda bitkinin ortalama P konsantrasyonuna ait değerler Çizelge 4.42'de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama bitki P konsantrasyonu BD1 x GD5 (%0.50) interaksyonunda en düşük bitki P ise BD1 x GD3 (%0.22) interaksyonunda bulunmuştur. İkinci dönemde ise yine en yüksek ve en düşük bitki P konsantrasyonları BD1 dozunda elde edilmiştir. Bu dönemde en yüksek bitki P konsantrasyonu, BD1 x GD5 (%0.27)

ve en düşük bitki P konsantrasyonu ise BD1 x GD1 (%0.13) interaksyonunda oluşmuştur. İlk dönem biyoçar dozu artışı ile bitki P konsantrasyonu değişimi arasında belirgin bir ilişki görülmesi de ikinci dönem özellikle GD1 dozunda biyoçar ilavesi ile topraktan kaldırılan P konsantrasyonunun düzenli olarak artışı söz konusu olmuştur. BD1 x GD1 uygulamasında %0.13 olan P konsantrasyonu sırası ile BD2’de %0.16, BD3’de %0.17, BD4’de %0.18 ve BD5’de ise %0.20’ye yükselmiştir.

Çizelge 4.42. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	0.28 ghi	0.31 fg	0.28 ghi	0.30 fgh	0.33 f
GD2	0.25 ij	0.27 ghi	0.28 ghi	0.28 ghi	0.30 fgh
GD3	<b>0.22 j</b>	0.28 ghi	0.27 hi	0.29 gh	0.29 gh
GD4	0.48 ab	0.49 ab	0.47 abc	0.47 abc	0.44 cd
GD5	<b>0.50 a</b>	0.46 bc	0.46 abc	0.42 dh	0.40 e
2. Dönem					
GD1	<b>0.13 g</b>	0.16 fg	0.17 f	0.18 f	0.20 ef
GD2	0.22 de	0.23 bcd	0.23 bcd	0.22 de	0.23 bcd
GD3	0.23 bcd	0.25 a-d	0.23 bcd	0.24 a-d	0.26 ab
GD4	0.25 a-d	0.24 a-d	0.23 bcd	0.23 bcd	0.22 de
GD5	<b>0.27 a</b>	0.26 abc	0.24 a-d	0.23 bcd	0.19 ef

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörlerinin interaksyonu, ilk dönem bitki P konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yapmaz ( $P=0.1717$ ) iken ikinci dönem  $P<0.01$  düzeyinde etkili olmuştur (Çizelge 4.43). Toprak x çeşit x BD interaksyonuna ait ortalama bitki P konsantrasyonu değerleri Çizelge 48’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama P konsantrasyonu Dökmetepe x çeltik x BD1 (%0.40), BD3 (%0.40) ve BD4 (%0.40) interaksyonlarında gerçekleşmiştir. Buna karşılık en düşük bitki P konsantrasyonu ise Kömeç x mısır x BD5 (%0.28) interaksyonunda elde edilmiştir. İkinci dönem ise en yüksek bitki P konsantrasyonu Kömeç x mısır x BD5 (%0.27) ve en düşük bitki P konsantrasyonu ise Dökmetepe x fasulye x BD3 (%0.16) interaksyonunda oluşmuştur.

Çizelge 4.43. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
BD1	0.31 ijk	0.32 h-k	0.33 f-j	<b>0.40 a</b>	0.36 a-f	0.36 b-h
BD2	0.29 jk	0.35 d-i	0.37 e-i	0.39 abc	0.38 a-d	0.39 abc
BD3	0.33 e-j	0.31 ijk	0.35 d-i	<b>0.40 a</b>	0.36 a-f	0.36 a-g
BD4	0.32 g-k	0.34 d-i	0.36 a-f	<b>0.40 a</b>	0.33 f-j	0.36 a-g
BD5	0.32 e-k	<b>0.28 k</b>	0.39 abc	0.39 ab	0.34 d-i	0.39 abc
2. Dönem						
BD1	0.23 c-g	0.26 a-d	0.27 ab	0.19 gj	0.20 g-j	0.17 ij
BD2	0.23 b-g	0.26 abc	0.27 a	0.21 efg	0.22 c-g	0.17 ij
BD3	0.21 efg	0.26 a-d	0.28 a	0.21 ghi	0.20 ghi	<b>0.16 j</b>
BD4	0.22 d-h	0.25 a-f	0.27 ab	0.20 g-j	0.19 g-j	0.20 g-j
BD5	0.21 f-i	<b>0.27 a</b>	0.25 a-e	0.21 ghi	0.17 hij	0.21 e-h

Toprak tipi, BÇ ve GD interaksyonu bitkinin topraktan kaldırdığı P konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.39). Toprak x biyoçar çeşit x GD interaksyonunda elde edilen ortalama bitki P konsantrasyonu değerleri Çizelge 4.44’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek bitki P konsantrasyonu Kömeç x mısır x GD4 (%0.53) interaksyonunda ve en düşük bitki P konsantrasyonu ise Kömeç x çeltik x GD3 (%0.19), Kömeç x mısır x GD2 (%0.20) ve GD3 (%0.19) interaksyonlarında gerçekleşmiştir. Tüm biyoçar çeşitlerde bitkinin Dökmetepe toprağında topraktan daha yüksek miktarda P kaldırdığı görülmektedir. İkinci dönemde ise en yüksek bitki P Kömeç x fasulye x GD5 (%0.31) ve en düşük bitki P ise Dökmetepe x fasulye x GD1 (%0.12) interaksyonunda gerçekleşmiştir.

Toprak tipi, BD ve GD faktörlerinin interaksyonu, ilk dönem  $P < 0.05$  ve ikinci dönem ise  $P < 0.01$  önem düzeyinde bitkinin P konsantrasyonu üzerine etkili olmuştur (Çizelge 4.39). İlk dönem en yüksek bitki P konsantrasyonu, Kömeç x BD1 x GD5 (%0.56) ve Kömeç x BD4 x GD4 (%0.53) interaksyonları ile elde edilmiştir. Buna karşılık Kömeç x BD1 x GD3 (%0.16) interaksyonu bitki P konsantrasyonun diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde düşük olmasına yol açmıştır (Çizelge 4.45). İkinci dönem ise Kömeç x BD1 x GD5 (%0.34), Kömeç x BD2 x GD4 (%0.30) ve GD5 (%0.30) interaksyonları bitkinin diğer uygulamalardan daha yüksek P alımına neden olmuştur. Bu dönemde en düşük P alımı ise Dökmetepe x BD1 x GD1 (%0.11) ve Dökmetepe x BD3 x GD1 (%0.13) interaksyonlarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.44. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
GD1	0.24 lm	0.21 mn	0.31 hij	0.36 fg	0.31 hij	0.36 fg
GD2	0.21 mn	<b>0.20 n</b>	0.27 kl	0.33 ghi	0.30 ijk	0.35 gh
GD3	<b>0.19 n</b>	<b>0.19 n</b>	0.31 ijk	0.33 ghi	0.28 jkl	0.33 ghi
GD4	0.47 bc	<b>0.53 a</b>	0.48 b	0.48 b	0.44 bcd	0.42 de
GD5	0.48 b	0.47 bc	0.44 bcd	0.46 bc	0.44 bcd	0.39 ef
2. Dönem						
GD1	0.17 k	0.19 ijk	0.18 ijk	0.17 k	0.16 k	<b>0.12 l</b>
GD2	0.20 h-k	0.25 def	0.25 d-g	0.23 e-h	0.21 g-j	0.21 ghi
GD3	0.23 fgh	0.28 a-d	0.30 ab	0.26 c-f	0.23 e-f	0.17 jk
GD4	0.25 d-g	0.27 b-e	0.29 abc	0.18 ijk	0.22 fgh	0.18 ijk
GD5	0.25 def	0.30 ab	<b>0.31 a</b>	0.17 k	0.16 k	0.23 fgh

Çizelge 4.45. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	0.24r-u	0.25r-u	0.23s-v	0.27p-t	0.28n-r	0.32l-p	0.37i-l	0.33j-n	0.33l-o	0.38h-k
<b>GD2</b>	0.18vw	0.21u-w	0.23r-v	0.24r-u	0.26q-t	0.32l-p	0.34j-m	0.33k-o	0.32l-p	0.33j-n
<b>GD3</b>	<b>0.16w</b>	0.25q-u	0.22tuv	0.25r-u	0.25r-u	0.28o-s	0.30m-q	0.32l-p	0.33l-o	0.33k-o
<b>GD4</b>	0.49abc	0.51ab	0.49abc	<b>0.51ab</b>	0.47b-e	0.48a-e	0.48a-e	0.45c-f	0.43e-h	0.41f-i
<b>GD5</b>	<b>0.53a</b>	0.48a-e	0.49a-d	0.44d-g	0.39g-j	0.47bcd	0.44c-f	0.44efg	0.40f-i	0.41f-i
2. Dönem										
<b>GD1</b>	0.14u-w	0.17q-v	0.20k-s	0.19n-u	0.20l-t	<b>0.11w</b>	0.15s-w	<b>0.13vw</b>	0.17r-v	0.19l-t
<b>GD2</b>	0.23g-o	0.22i-p	0.24f-m	0.24f-m	0.25d-k	0.21j-r	0.24e-l	0.23g-o	0.20j-r	0.22i-q
<b>GD3</b>	0.25d-k	0.26b-i	0.25c-j	0.27b-h	0.29a-d	0.22i-p	0.24e-l	0.21i-r	0.21j-r	0.22h-p
<b>GD4</b>	0.29b-e	<b>0.30abc</b>	0.27b-g	0.25d-k	0.24f-l	0.20k-s	0.18p-v	0.19l-t	0.21j-r	0.21j-r
<b>GD5</b>	<b>0.34a</b>	<b>0.30ab</b>	0.28b-f	0.27b-h	0.24f-m	0.20k-s	0.21j-r	0.19m-t	0.18o-u	0.15t-w

Biyoçar çeşidi, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonu bitkinin P alımı üzerine ilk dönem  $P < 0.01$  önem düzeyinde etki etmiş ancak ikinci dönem bu etki istatistiksel olarak önemsiz ( $P = 0.075$ ) bulunmuştur (Çizelge 4.39). Birinci dönemde en yüksek bitki P konsantrasyonu mısır x BD4 x GD4 (%0.54) ve çeltik x BD1 x GD5 (%0.53) interaksiyonlarında ve en düşük bitki P konsantrasyonu ise çeltik x BD1 x GD3 (%0.22) ve mısır x BD4 x GD2 (%0.22) interaksiyonlarında oluşmuştur (Çizelge 4.46). Her üç biyoçar çeşidinde uygulanan tüm biyoçar dozlarında en yüksek bitki P alımı toprağa bitki gereksinimi için gerekli olan besin elementlerinin %100 olarak verildiği GD4 ve GD5 uygulamalarında elde edilmiştir. İkinci dönemde ise en yüksek bitki P alımı mısır x BD1 x GD5 (%0.30), fasulye x BD1 x GD5 (%0.29) ve fasulye x BD2 x GD5 (%0.29) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Buna karşın en düşük bitki P konsantrasyonu ise fasulye x BD1 x GD1 (%0.09) interaksiyonunda oluşmuştur. İkinci dönem her üç biyoçar çeşidinde de ilave bitki besin elementi verilmeyen GD1 uygulamaları her biyoçar dozunda da en düşük bitki P alımının gerçekleştiği uygulama olmuştur. Bunun yanında bitki gereksiniminin tam karşılandığı uygulamalarda bitkinin P alımı önemli düzeyde artmıştır.

Çizelge 4.46. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	0.29	0.28	0.28	0.30	0.34
	GD2	0.24	0.25	0.28	0.28	0.29
	GD3	<b>0.22</b>	0.25	0.27	0.28	0.28
	GD4	0.49	0.46	<b>0.50</b>	0.48	0.44
	GD5	<b>0.53 ab</b>	0.47	<b>0.50</b>	0.45	0.41
Mısır	GD1	0.27	0.28	0.25	0.25	0.26
	GD2	0.23	0.26	0.27	<b>0.22</b>	0.24
	GD3	0.23	0.24	0.23	0.23	0.23
	GD4	0.46	<b>0.52 ab</b>	0.47	<b>0.54 a</b>	0.45
	GD5	0.50	<b>0.50 abc</b>	0.46	0.42	0.37
Fasulye	GD1	0.27	0.36	0.32	0.34	0.39
	GD2	0.27	0.30	0.29	0.33	0.36
	GD3	<b>0.20</b>	0.35	0.31	0.36	0.36
	GD4	0.50	0.49	0.44	0.39	0.43
	GD5	0.47	0.41	0.42	0.38	0.40
2. Dönem						
Çeltik	GD1	<b>0.14 stu</b>	0.17	0.16	0.17	0.20
	GD2	0.22	0.24	0.22	0.20	0.21
	GD3	0.25	0.25	0.25	0.23	0.23
	GD4	0.22	0.23	0.20	0.22	0.21
	GD5	0.22	0.22	0.22	0.22	0.18
Mısır	GD1	<b>0.15 r-u</b>	0.18	0.19	0.19	0.17
	GD2	0.22	0.23	0.23	0.24	0.24
	GD3	0.22	<b>0.28 abc</b>	0.24	0.25	<b>0.28 a-d</b>
	GD4	0.26	0.26	0.27	0.22	0.23
	GD5	<b>0.30 a</b>	0.26	0.22	0.19	0.18
Fasulye	GD1	<b>0.09 u</b>	<b>0.13 tu</b>	<b>0.14 r-u</b>	0.16	0.21
	GD2	0.21	0.23	0.25	0.23	0.24
	GD3	0.24	0.21	0.21	0.25	0.26
	GD4	0.25	0.23	0.23	0.25	0.23
	GD5	<b>0.29 ab</b>	<b>0.29 ab</b>	0.27	0.27	0.21

Denemede yer alan dört faktörün interaksyonu ilk dönem bitki P konsantrasyonuna önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) etki etmiş ve farklılaşmasına neden olmuştur. İkinci dönem ise bu etki istatistiksel olarak önemsiz düzeyde ( $P = 0.2141$ ) kalmıştır (Çizelge 4.39). İlk dönem en yüksek bitki P konsantrasyonuna neden olan interaksyonlar Kömeç x mısır x BD4 x GD4 (%0.68) ve Kömeç x mısır x BD2 x GD4 (%0.58) olarak belirlenmiştir. Buna karşılık Kömeç x çeltik x BD1 x GD3 (%0.14), Kömeç x çeltik x BD2 x GD3 (%0.16) ve Kömeç x fasulye x BD1 x GD3 (%0.14) interaksyonları diğer uygulamalara kıyasla bitkinin daha düşük P alımına neden olmuşlardır (Çizelge 4.47). Denemenin ikinci döneminde ise Kömeç x mısır x BD1 x GD5 (%0.39) ve Kömeç x fasulye x BD1 x GD4 (%0.36) interaksyonları en yüksek P alımına neden olan interaksyonlar olarak öne çıkmışlardır. Bu dönemde Dökmetepe x fasulye x BD1 x GD1 (%0.07), Dökmetepe x fasulye x BD2 x GD4 (%0.10) ve Dökmetepe x mısır x BD5 x GD5 (%0.11) interaksyonları ise diğer uygulamalara kıyasla daha düşük bitki P alımına neden olmuşlardır.

Çizelge 4.47. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın fosfor (P) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	0.22	0.22	0.22	0.25	0.28	0.24	0.23	<b>0.17</b>	0.19	0.22	0.25	0.30	0.30	0.36	0.35
	GD2	<b>0.17</b>	0.19	0.22	0.21	0.24	0.19	0.19	0.21	0.20	0.19	0.19	0.24	0.26	0.30	0.35
	GD3	<b>0.14</b>	<b>0.16</b>	0.20	0.22	0.21	0.20	0.20	0.18	0.19	0.18	<b>0.14</b>	0.40	0.28	0.35	0.36
	GD4	0.50	0.42	0.51	0.46	0.45	0.43	<b>0.58 b</b>	0.49	<b>0.68 a</b>	0.48	<b>0.54 bc</b>	0.53	0.48	0.38	0.47
	GD5	0.53	0.49	0.52	0.46	0.40	0.53	<b>0.54 bcd</b>	0.49	0.44	0.34	0.52	0.40	0.45	0.41	0.42
Dökmetepe	GD1	0.35	0.35	0.34	0.35	0.40	0.30	0.33	0.32	0.30	0.31	0.29	0.42	0.34	0.33	0.43
	GD2	0.31	0.32	0.34	0.35	0.34	0.28	0.34	0.32	0.25	0.28	0.35	0.35	0.32	0.35	0.38
	GD3	0.31	0.34	0.33	0.34	0.35	0.26	0.28	0.28	0.27	0.28	0.26	0.29	0.34	0.37	0.36
	GD4	0.49	0.50	0.49	0.50	0.43	0.49	0.47	0.44	0.40	0.42	0.45	0.46	0.40	0.40	0.39
	GD5	0.52	0.44	0.48	0.44	0.43	0.47	0.47	0.44	0.40	0.41	0.42	0.42	0.39	0.35	0.38
2. Dönem																
Kömeç	GD1	0.15	0.18	0.18	0.17	0.18	0.15	0.18	0.20	0.21	0.19	<b>0.12</b>	0.14	0.23	0.18	0.23
	GD2	0.20	0.21	0.21	0.20	0.19	0.24	0.23	0.24	0.27	0.29	0.25	0.23	0.26	0.25	0.26
	GD3	0.24	0.22	0.21	0.22	0.24	0.21	0.30	0.27	0.28	0.33	0.30	0.27	0.27	0.32	0.32
	GD4	0.27	0.27	0.23	0.24	0.23	0.30	0.27	0.29	0.21	0.28	0.31	<b>0.36 ab</b>	0.31	0.29	0.21
	GD5	0.28	0.27	0.24	0.26	0.21	<b>0.39 a</b>	0.31	0.28	0.26	0.26	<b>0.35 abc</b>	0.33	0.32	0.30	0.24
Dökmetepe	GD1	0.13	0.17	0.15	0.18	0.23	0.14	0.17	0.18	0.17	0.16	<b>0.07</b>	0.13	0.06	0.15	0.19
	GD2	0.24	0.27	0.23	0.20	0.23	0.21	0.23	0.21	0.21	0.20	0.18	0.22	0.24	0.21	0.22
	GD3	0.26	0.28	0.28	0.23	0.22	0.23	0.27	0.22	0.22	0.24	0.18	0.16	0.14	0.18	0.21
	GD4	0.18	0.18	0.18	0.19	0.19	0.22	0.25	0.25	0.23	0.18	0.20	<b>0.10</b>	0.15	0.21	0.25
	GD5	0.15	0.17	0.20	0.18	0.16	0.21	0.21	0.15	0.13	<b>0.11</b>	0.23	0.25	0.22	0.24	0.19

#### 4.1.6 Bitkinin azot konsantrasyonuna etkileri

İki ayrı toprakta biyoçar çeşidine (BÇ) ait beş biyoçar dozu (BD) ile birlikte uygulanan beş gübre dozunun bitkinin topraktan kaldırdığı azot (N) konsantrasyonuna etkisini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.48’de verilmektedir. Her iki dönemde de BD faktörü bitki P konsantrasyonuna olduğu gibi bitki N konsantrasyonu üzerine de önemli etki yapmamıştır. Diğer üç faktör ise (T, BÇ ve GD), bitkinin topraktan kaldırdığı N miktarını önemli düzeyde etkilemişlerdir. Bir başka çalışmada da bitki gelişimi için gerekli olan besin elementlerinin yer aldığı gübrelemenin biyoçar ilavesine bakılmaksızın ekstrakte edilebilir nitrat konsantrasyonunu arttırdığı, ancak amonyum ve fosfat konsantrasyonlarında önemli bir değişime neden olmadığı belirtilmiştir (Olmo ve ark., 2016). İlk yetiştirme döneminde, BD faktörünün yer aldığı denemede yer alan faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinden T x BD, BD x GD, T x BÇ x BD, T x BD x GD, BÇ x BD x GD ve T x BÇ x BD x GD interaksiyonlarının bitki N konsantrasyonu üzerine önemli etki yapmadığı görülmektedir. İkinci yetiştirme döneminde ise sadece BD x GD ve T x BD x GD interaksiyonlarının bitki N konsantrasyonu üzerine etkisi olmamıştır. Geri kalan tüm interaksiyonlar bitkinin topraktan N kaldırması üzerine önemli düzeyde etki yapmışlardır.

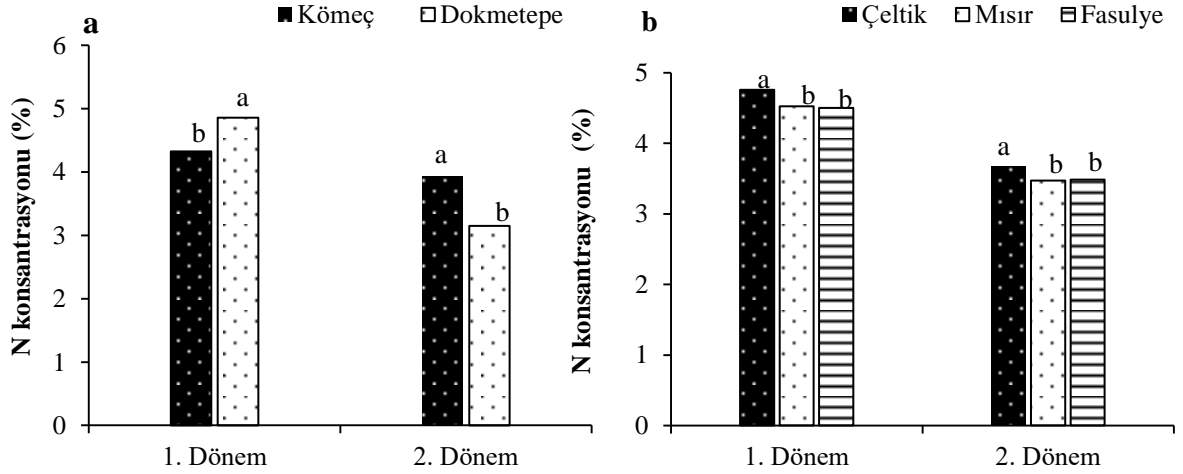
Çizelge 4.48. Uygulamaların buğday bitkisi azot konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	31.96	31.96	97.7175	<0.0001**	69.66	69.66	272.69	<0.0001**
Biyçoar Çeşidi (BÇ)	2	6.03	3.02	9.2210	0.0001**	3.86	1.93	7.55	0.0006**
Biyçoar Dozu (BD)	4	1.08	0.27	0.8252	0.5099 <sup>ÖD</sup>	1.51	0.38	1.48	0.2080 <sup>ÖD</sup>
Gübre Dozu (GD)	4	107.09	26.77	81.8616	<0.0001**	144.65	36.16	141.57	<0.0001**
TxBÇ	2	10.19	5.09	15.5773	<0.0001**	8.40	4.20	16.43	<0.0001**
TxBD	4	0.87	0.22	0.6632	0.6180 <sup>ÖD</sup>	4.96	1.24	4.85	0.0008**
TxGD	4	12.28	3.07	9.3852	<0.0001**	4.78	1.20	4.68	0.0011**
BÇxBD	8	7.77	0.97	2.9690	0.0033**	4.18	0.52	2.05	0.0411*
BÇxGD	8	13.91	1.74	5.3150	<0.0001**	8.16	1.02	3.99	0.0002**
BDxGD	16	6.34	0.40	1.2122	0.2570 <sup>ÖD</sup>	5.99	0.37	1.46	0.1115 <sup>ÖD</sup>
TxBÇxBD	8	4.71	0.59	1.8013	0.0763 <sup>ÖD</sup>	4.80	0.60	2.35	0.0184*
TxBÇxGD	8	8.45	1.06	3.2304	0.0015**	6.58	0.82	3.22	0.0016**
TxBDxGD	16	3.26	0.20	0.6229	0.8650 <sup>ÖD</sup>	4.13	0.26	1.01	0.4456 <sup>ÖD</sup>
BÇxBDxGD	32	9.31	0.29	0.8897	0.6426 <sup>ÖD</sup>	13.07	0.41	1.60	0.0246*
TxBÇxBDxGD	32	10.44	0.33	0.9971	0.4761 <sup>ÖD</sup>	14.04	0.44	1.72	0.0114*

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir, ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Tınlı ve kumlu tın tekstüründeki iki ayrı toprakta biyoçar uygulamaları bitkinin N konsantrasyonu üzerine her iki yetiştirme döneminde de istatistiksel olarak önemli düzeyde

etki etmiştir (Şekil 4.28a). İlk dönem tınlı kum tekstüründeki Dökmetepe toprağında yetiştirilen bitkilerin ortalama bitki N konsantrasyonları (%4.86) tınlı tekstürdeki Kömeç toprağında yetiştirilen bitkilerin N konsantrasyonundan (%4.33) önemli düzeyde yüksek olmuştur. Denemenin ikinci döneminde her iki toprakta yetiştirilen bitkilerinde topraktan kaldırdıkları ortalama N miktarında önemli düzeyde azalma olmuştur. Ancak bitki N konsantrasyonundaki azalma Kömeç toprağında sadece %9.0 oranında iken Dökmetepe toprağında %35.2 oranındadır. İlk dönem biyoçarlara uygulanan sıvı hayvan gübresi ile birlikte önemli miktarda azot da toprağa ilave edilmiştir. Kum içeriği daha yüksek olan Dökmetepe toprağında bu azot toprağa daha hızlı salınmış ve bitki bundan daha fazla faydalanmıştır. Ancak kum içeriği daha düşük olan Kömeç toprağında bu etkinin daha uzun süreli olması iki dönem arasında bitki N konsantrasyonunun bu denli açılmasına neden olmuştur. Backer (2016), tınlı kum tekstüründeki bir toprakta üç yıl süren tarla denemelerinin başlangıcında 20 Mg ha<sup>-1</sup> dozunda yumuşak tahta parçalarından üretilen biyoçar uygulamışlardır. Bu uygulamanın mısır verimini ve mısır danelerinin N alımını sırası ile %14.2 ve %18.2 düzeyinde artırdığını bildirmiştir. Bununla birlikte aynı çalışmada soya fasulyesi ve dallı darının verim ve dane N alımının ise etkilenmediği bildirilmiştir. Sonuçlar biyoçar uygulamalarında etkinin toprak özelliklerine bağlı olarak değişebildiği gibi, yetiştirilen bitkiye bağlı olarak da büyük oranda değişkenlik gösterebileceğini göstermektedir.

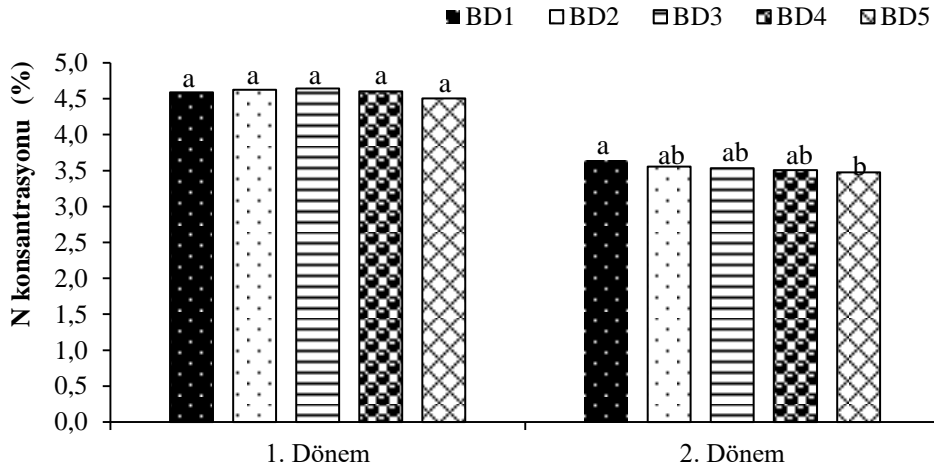


Şekil 4.28. Biyoçar uygulamalarının olduğu a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında yetiştirilen buğday bitkisinin azot (N) konsantrasyonları (%)

Biyoçar çeşidi bitkinin topraktan N alımına her iki dönemde de önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) etki etmiştir (Çizelge 4.48). Biyoçar çeşitlerinde ilk dönem bitki N alımı çeltik (%4.76) > mısır (%4.53) > fasulye (%4.50) ve ikinci dönem çeltik (%3.67) > fasulye (%3.48) > mısır (%3.47) şeklinde olmuştur (Şekil 4.28b). Tüm biyoçar çeşitleri altında bitkinin N alımı ikinci yetiştirme döneminde önemli oranda azalmıştır.



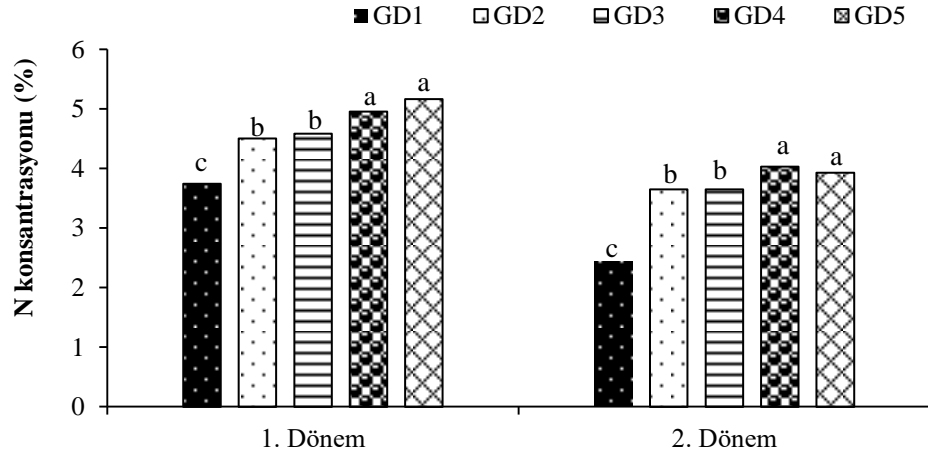
Üç biyoçar çeşidinde uygulanan beş biyoçar dozu her iki dönemde de buğday bitkisinin N alımı üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmamıştır (İlk dönem  $P=0.5099$  ve İkinci dönem  $P=2080$ ) (Çizelge 4.48). Biyoçar çeşitleri altında bitki N konsantrasyonları Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Tüm biyoçar dozları altında ilk dönem N konsantrasyonu ikinci döneme kıyasla önemli düzeyde daha yüksek bulunmuştur. Her iki dönemde de biyoçar dozları arasında bitkinin N alımı istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. Bununla birlikte her iki dönemde de en düşük bitki N alımı BD5 (I ve II. Dönem için %4.50 ve %3.47) dozunda gerçekleşmiştir.



Şekil 4.29. İki ayrı dönemde uygulanan biyoçar dozlarının buğday bitkisinin azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri

BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

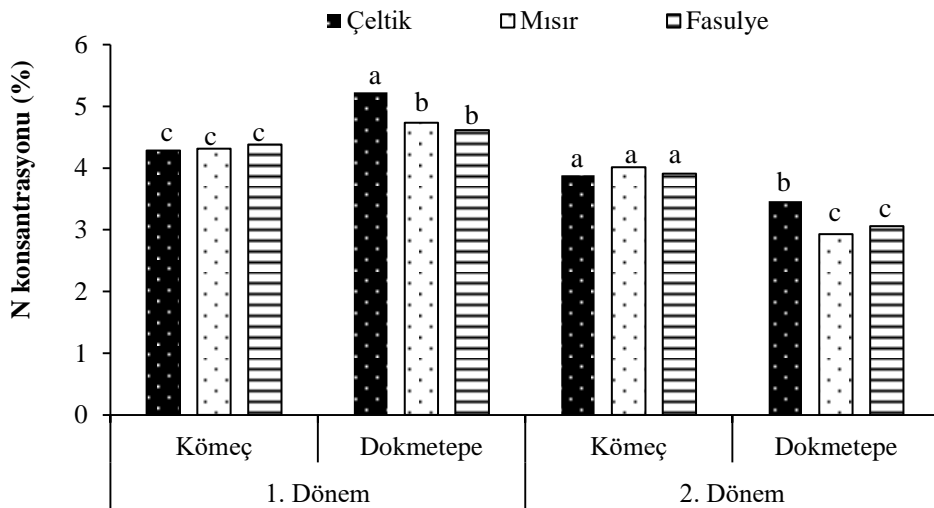
Biyoçarlar toprağa uygulanmadan önce sıvı hayvan gübresi ile doyurulmuşlardır. Ayrıca bitkinin gereksinimi olan besin elementi miktarları da farklı oranlarda toprağa uygulanmıştır. Gübre dozları adı verilen bu uygulama her iki dönemde de bitkinin N alımı üzerine önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etki yapmıştır (Çizelge 4.48). Her iki dönemde de en düşük bitki N alımı (%3.75 ve %2.45) sadece sıvı hayvan gübresinin uygulandığı GD1 uygulamasında elde edilmiştir (Şekil 4.30). Bitki gereksinimi olan besin elementi uygulama miktarının artışı ile birlikte bitkinin N alımı da artmıştır. En yüksek bitki N konsantrasyonları her iki dönemde de GD4 ve GD5 uygulamalarında elde edilmiştir.



Şekil 4.30. İki ayrı dönemde uygulanan gübre dozu uygulamasının buğday bitkisinin azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak tipi ve biyoçar çeşidi faktörlerinin interaksiyonu her iki dönemde de bitkinin N alımı üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.48). Bu interaksiyonda elde edilen bitki N konsantrasyonları Şekil 4.31’de gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek bitki N konsantrasyonu Dökmetepe x çeltik (%5.23) interaksiyonu ve en düşük bitki N ise Kömeç x çeltik (%4.28) ile Kömeç x mısır (% 4.30) interaksiyonlarında elde edilmiştir. İkinci dönemde ise Kömeç x mısır (%4.01) interaksiyonu en yüksek ve Dökmetepe x mısır (%2.93) interaksiyonu ise en düşük bitki N alımına neden olan interaksiyonlar olmuştur. İlk dönem çeltik ve ikinci dönem mısır biyoçarı uygulamaları hem en yüksek hem de en düşük bitki N alımına neden olmuşlardır. Toprak tekstüründeki önemli değişim bitkinin toprağa uygulanan besin elementinden faydalanmasını önemli oranda değiştirmiştir.



Şekil 4.31. İki ayrı dönemde uygulanan üç biyoçar çeşidinin iki farklı toprakta buğday bitkisinin azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri

Toprak tipi ve biyoçar dozu faktörlerinin interaksyonu ilk dönem (P=0.6180) bitki N alımı üzerine önemli bir etki yapmaz iken, ikinci dönem bu etki istatistiksel olarak önemli (P<0.01) bulunmuştur (Çizelge 4.48). Toprak x BD interaksyonuna ait ortalama N konsantrasyonu verileri Çizelge 4.49’da verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek bitki N konsantrasyonu Dökmetepe x BD1 interaksyonunda gerçekleşmiştir. Her iki toprakta da biyoçar dozu artışı ile birlikte bitki N konsantrasyonu bir miktar değişmiş olsa da bu değişim kendi içinde önemsiz düzeyde kalmıştır. Kömeç (%4.24) ve Dökmetepe (%4.77) topraklarında en düşük bitki N alımı BD5 dozunda olmuştur. İkinci dönem ise en yüksek bitki N alımı Kömeç x BD4 (%4.07) ve en düşük bitki N alımı Dökmetepe x BD4 (%2.94) interaksyonlarında meydana gelmiştir. Dökmetepe toprağında doz değişimi ile bitki N konsantrasyonun da istatistiksel olarak bir miktar değişim olsa de Kömeç toprağındaki değişim istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Toprak tipi ve GD faktörlerinin interaksyonu her iki dönem de de bitki N alımı üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde (P<0.01) etki etmiştir (Çizelge 4.48). Toprak x GD interaksyonuna ait ortalama bitki N değerleri Çizelge 4.49’da verilmiştir. Her iki dönemde de GD doz artışı ile birlikte bitkinin topraktan kaldırdığı N konsantrasyonu artmıştır. İlk dönem en yüksek bitki N alımına Dökmetepe x GD5 (%5.21) interaksyonu ve düşük bitki N alımına ise Kömeç x GD1 (%3.26) interaksyonu neden olmuştur. İkinci dönem ise en yüksek bitki N konsantrasyonu Kömeç x GD4 (%4.56) ve Kömeç x GD5 (%4.42) interaksyonlarında ve en düşük bitki N ise Dökmetepe x GD1 (%2.14) interaksyonunda elde edilmiştir.

Çizelge 4.49. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	4.26 b	<b>4.92 a</b>	<b>3.88 a</b>	3.41 b
<b>BD2</b>	4.43 b	<b>4.82 a</b>	<b>3.92 a</b>	3.19 c
<b>BD3</b>	4.39 b	<b>4.90 a</b>	<b>3.92 a</b>	3.15 cd
<b>BD4</b>	4.32 b	<b>4.89 a</b>	<b>4.07 a</b>	2.94 d
<b>BD5</b>	4.24 b	<b>4.77 a</b>	<b>3.89 a</b>	3.06 cd
<b>GD1</b>	<b>3.26 f</b>	4.23 e	2.76 e	<b>2.14 f</b>
<b>GD2</b>	4.11 e	4.90 bcd	4.04 b	3.26 c
<b>GD3</b>	4.31 e	4.87 cd	3.90 b	3.40 cd
<b>GD4</b>	4.83 d	5.09 abc	<b>4.56 a</b>	3.51 c
<b>GD5</b>	5.13 ab	<b>5.21 a</b>	<b>4.42 a</b>	3.44 cd

Biyçoar çeşidi ve biyoçar dozu interaksyonu ilk dönem P<0.01 ve ikinci dönem P<0.05 önem düzeyinde bitki N alımına önemli etki yapmıştır (Çizelge 4.48). İlk dönem en yüksek bitki N konsantrasyonu çeltik x BD3 (%5.12) ve en düşük bitki N ise mısır x BD5 (%4.31) interaksyonunda elde edilmiştir. İkinci dönem ise en yüksek bitki N çeltik x BD1

(%3.91) ve en düşük bitki N ise mısır x BD3 (%3.40) ve BD5 (%3.31) ile fasulye BD3 (%3.42) ve BD4 (%3.43) interaksyonlarında oluşmuştur (Çizelge 4.50). Her iki dönemde de fasulye biyoçarının tüm biyoçar dozlarında bitki N konsantrasyonu oldukça küçük bir aralıkta değişmiş ve tüm BD dozları istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır.

Biyoçar çeşidi ve gübre dozu faktörlerinin karşılıklı etkileşimleri bitkinin N alımına  $P < 0.01$  önem düzeyinde etki etmiştir (Çizelge 4.48). Buna göre ilk dönem en yüksek bitki N alımı çeltik x GD5 (%5.41) ve en düşük bitki N alımı ise fasulye x GD1 (%3.90) interaksyonlarında gerçekleşmiştir. İkinci dönemde ise en yüksek bitki N alımı fasulye x GD4 (%4.29) ve en düşük bitki N alımı ise fasulye x GD1 (%2.33) ve mısır x GD1 (%2.31) interaksyonlarında olmuştur. En düşük bitki N alımı her iki dönemde de tüm biyoçar çeşitlerinde GD1 uygulamasında meydana gelmiştir (Çizelge 4.50).

Çizelge 4.50. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının buğdayın azot (N) konsantrasyonuna etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	4.73 b	4.56 bc	4.48 bc	<b>3.91 a</b>	3.48 bc	3.55 bc
<b>BD2</b>	4.61 bc	4.70 b	4.57 bc	3.60 abc	3.57 bc	3.50 bc
<b>BD3</b>	<b>5.12 a</b>	4.45 bc	4.37 bc	3.78 ab	<b>3.40 c</b>	<b>3.42 c</b>
<b>BD4</b>	4.61 bc	4.61 bc	4.59 bc	3.48 bc	3.61 abc	<b>3.43 c</b>
<b>BD5</b>	4.72 b	<b>4.31 c</b>	4.48 bc	3.59 abc	<b>3.31 c</b>	3.52 bc
<b>GD1</b>	4.14 fg	3.90 g	<b>3.19 h</b>	2.71 g	<b>2.31 h</b>	<b>2.33 h</b>
<b>GD2</b>	4.64 cde	4.43 ef	4.45 ef	3.80 b-e	3.73 c-f	3.42 f
<b>GD3</b>	4.65 cde	4.50 def	4.61 cde	3.70 def	3.74 c-f	3.51 ef
<b>GD4</b>	4.94 bc	4.83 bcd	5.10 ab	4.07 abc	3.75 c-f	<b>4.29 a</b>
<b>GD5</b>	<b>5.41 a</b>	4.96 bc	5.14 ab	4.10 ab	3.84 b-e	3.86 bcd

Biyoçar dozu ve gübre dozu faktörlerinin interaksyonları her iki döneme de bitkinin topraktan kaldırdığı N miktarına istatistiksel olarak önemli (I. Dönem  $P=0.2570$  ve II. Dönem  $P=0.1115$ ) düzeyde etki etmemiştir (Çizelge 4.48). BD x GD interaksyonuna ait ortalama bitki N konsantrasyonları Çizelge 4.51’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek bitki N konsantrasyonu BD3 x GD5 (%5.25) ve en düşük bitki N ise BD3 (%3.70), BD4 (%3.74) ve BD5 (%3.55) dozlarının GD1 ile interaksyonunda oluşmuştur. Her biyoçar dozunda GD artışı ile bitkinin N alımı artmıştır. Sıvı hayvan gübresi bulunmayan ancak tam gübreleme yapılan GD4 uygulamalarında bitki N konsantrasyonu sadece biyoçar ve tam gübreleme yapılan GD5 uygulamasına kıyasla daha düşük olmuştur. Backer (2016), biyoçar ile birlikte 75 ve 150 kg ha<sup>-1</sup> azotlu gübre uygulandığında gübre geri kazanım etkinliğinin arttığını bildirmiştir. Araştırmacı biyoçarın erken kök gelişimini teşvik ettiğini belirtirken biyoçar tarafından toprakta daha fazla tutulan NH<sub>4</sub>-N’den bitkilerin faydalandığı da ifade edilmiştir.

Bu çalışmada kök gelişimi ayrı bir parametre olarak çalışılmamıştır. Ancak hasat zamanı kök gelişimi dikkat çekici şekilde farklı olan bir kısım uygulamalardan örnek resimler alınmıştır. Şekil 4.32’de görüldüğü gibi Backer (2016)’nın belirttiği şekilde dışardan besin elementi takviyesi yapıldığında biyoçar dozu artışı ile birlikte bitki gelişiminin artması daha yoğun ve belirgin kök gelişim ile de kendini göstermektedir.



Şekil 4.32. Biyoçar dozu artışı ile buğday bitkisi kök gelişimi (Dökmetepe x mısır x BD1, BD2, BD3 ve BD4 dozlarının GD3 interaksiyonları)

İkinci dönemde de en düşük bitki N konsantrasyonları GD1 uygulamalarında gerçekleşmiştir. En yüksek bitki N konsantrasyonları ise BD1 x GD4 (%4.19) ve BD1 x GD5 (%4.21 interaksiyonlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.51). Bu dönemde ise biyoçar bulunan uygulamalardan BD2, BD3 ve BD4’de GD4 uygulaması istatistiksel olarak önemsiz olmakla birlikte GD5 uygulamasından daha yüksek bitki N alımına neden olmuştur. Bunun nedeninin bir önceki dönemden sıvı hayvan gübresi ile toprağa verilen N’un bir kısmının ikinci yetiştirme döneminde salıverildiği düşünülmektedir.

Çizelge 4.51. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	3.99 fg	3.76 g	<b>3.70 g</b>	<b>3.74 g</b>	<b>3.55 g</b>
GD2	4.38 ef	4.59 de	4.52 de	4.60 de	4.44 def
GD3	4.54 de	4.45 def	4.54 de	4.79 a-e	4.62 cde
GD4	4.93 a-d	5.16 ab	5.21 ab	4.75 b-e	4.74 b-e
GD5	5.11 abc	5.17 ab	<b>5.25 a</b>	5.13 ab	5.18 ab
2. Dönem					
GD1	<b>2.58 g</b>	<b>2.62 g</b>	<b>2.34 g</b>	<b>2.28 g</b>	<b>2.44 g</b>
GD2	3.75 b-f	3.69 c-f	3.64 c-f	3.57 ef	3.60 def
GD3	3.50 f	3.63 c-f	3.63 c-f	3.70 c-f	3.78 a-f
GD4	<b>4.19 a</b>	4.03 a-d	4.06 abc	4.17 ab	3.72 c-f
GD5	<b>4.21 a</b>	3.80 a-f	4.00 a-e	3.82 a-f	3.82 a-f

Toprak tipi, biyoçar çeşidi ve biyoçar dozu faktörlerinin bitkinin N alımına etkileri ilk dönem istatistiksel olarak önemli bir etki yapmaz iken (P=0.0763) ikinci dönem P<0.05 düzeyinde etki yapmıştır (Çizelge 4.48). Buna göre ilk dönem en yüksek bitki N alımı Dökmetepe x çeltik x BD3 (%5.70) ve Dökmetepe x mısır x BD3 (%5.50) interaksiyonlarında ve en düşük bitki N ise Kömeç x mısır x BD5 (%3.93) interaksiyonunda elde edilmiştir. İkinci dönem ise en yüksek bitki N konsantrasyonu Kömeç x mısır x BD2 (%4.24) ve BD4 (%4.26) interaksiyonlarında ve en düşük bitki N konsantrasyonu ise Dökmetepe x mısır uygulamasının BD1 haricindeki tüm biyoçar dozları ile Dökmetepe x fasulye x BD3 ve BD4 interaksiyonlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.52).

Çizelge 4.52. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
BD1	4.14 jk	4.22 h-k	4.42 e-k	5.31 ab	4.90 ab	4.55 d-j
BD2	4.32 f-k	4.57 b-j	4.39 e-k	4.90 b-e	4.82 b-e	4.75 c-h
BD3	4.54 d-j	4.39 e-k	4.24 g-k	<b>5.70 a</b>	<b>5.50 a</b>	4.50 e-j
BD4	4.16 ijk	4.45 e-k	4.35 f-k	5.06 bcd	4.77 bcd	4.83 b-f
BD5	4.27 g-k	<b>3.93 k</b>	4.51 e-j	5.17 abc	4.69 abc	4.44 e-k
2. Dönem						
BD1	3.79 abc	3.92 abc	3.93 abc	4.04 ab	3.04 fg	3.16 efg
BD2	3.72 bcd	<b>4.24 a</b>	3.82 abc	3.48 c-f	<b>2.90 g</b>	3.18 efg
BD3	3.96 ab	3.94 abc	3.87 abc	3.60 b-e	<b>2.87 g</b>	<b>2.97 g</b>
BD4	4.02 ab	<b>4.26 a</b>	3.94 abc	<b>2.95 g</b>	<b>2.95 g</b>	<b>2.93 g</b>
BD5	3.95 abc	3.71 bcd	3.99 ab	3.24 d-g	<b>2.90 g</b>	3.05 fg

Toprak tipi, biyoçar çeşidi ve GD faktörlerinin interaksiyonu her iki dönemde de bitkinin N alımını önemli düzeyde etkilemiştir (Çizelge 4.48). İlk dönem Dökmetepe x çeltik x GD5 (%5.60) interaksiyonu en yüksek bitki N alımına ve Dökmetepe x fasulye x GD1 (%3.33) ise en düşük bitki N konsantrasyonu yol açmıştır. İkinci dönemde ise en yüksek bitki

N alımı Kömeç x fasulye x GD4 (%5.05) ve en düşük bitki N konsantrasyonu ise Dökmetepe x mısır x GD1 (%1.81) interaksyonlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.53). Her iki dönemde de Kömeç ve Dökmetepe topraklarında uygulanan üç biyoçar çeşidinde en yüksek bitki N alımları GD4 ve GD5 uygulamalarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.53. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	<b>3.17 k</b>	3.55 jk	3.05 k	5.11 a-e	4.25 hi	<b>3.33 k</b>
<b>GD2</b>	4.09 ij	4.01 ij	4.23 h-i	5.19 a-d	4.86 b-g	4.66 d-h
<b>GD3</b>	4.07 ij	4.37 ghi	4.47 f-i	5.23 abc	4.63 e-h	4.75 c-h
<b>GD4</b>	4.87 b-g	4.73 c-h	4.89 b-g	5.01 b-f	4.93 b-f	5.31 ab
<b>GD5</b>	5.22 abc	4.91 b-g	5.26 abc	<b>5.60 a</b>	5.01 b-f	5.01 b-f
2. Dönem						
<b>GD1</b>	3.02 hi	2.81 ij	2.45 jk	2.40 jk	<b>1.81 l</b>	2.22 kl
<b>GD2</b>	3.87 cde	4.42 b	3.85 cde	3.73 def	3.04 hi	3.00 hi
<b>GD3</b>	3.71 def	4.17 bcd	3.83 cde	3.70 def	3.31 fgh	3.18 ghi
<b>GD4</b>	4.40 b	4.22 bc	<b>5.05 a</b>	3.73 def	3.28 f-i	3.53 efg
<b>GD5</b>	4.44 b	4.46 b	4.37 b	3.75 c-f	3.21 ghi	3.35 fgh

Toprak tipi, biyoçar dozu ve gübre dozu faktörlerinin interaksyonu her iki dönemde de bitkinin N alımı üzerine istatistiksel olarak önemli bir etki ( $P=0.865$  ve  $P=4456$ ) yapmamıştır (Çizelge 4.48). Bu interaksyonlara ait ortalama bitki N değerleri Çizelge 4.54’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek bitki N konsantrasyonu Dökmetepe x BD3 x GD4 (%5.50) ve en düşük bitki N konsantrasyonu ise Kömeç x BD4 x GD1 (%3.11) ve Kömeç x BD5 x GD1 (%2.98) interaksyonlarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.54. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	3.57 n-q	3.34 opq	3.31 pq	<b>3.11q</b>	<b>2.98q</b>	4.42 e-m	4.17i-n	4.09 k-n	4.37f-m	4.11j-n
<b>GD2</b>	3.93 m-p	4.20 h-n	4.18 h-n	4.17i-n	4.06k-n	4.83 a-i	4.99a-g	4.87a-h	5.03a-g	4.81a-j
<b>GD3</b>	4.04 n-o	4.21 h-n	4.34 g-m	4.54d-m	4.40e-m	5.05 a-f	4.70b-l	4.75b-k	5.03a-g	4.83a-i
<b>GD4</b>	4.73 b-l	5.08 a-e	4.93 a-g	4.80a-j	4.61g-m	5.12 a-d	5.24abc	<b>5.50a</b>	4.71b-l	4.87a-h
<b>GD5</b>	5.02 a-g	5.32 ab	5.20 a-d	4.98a-g	5.14a-d	5.20 a-d	5.03a-g	5.30abc	5.29abc	5.22abc
2. Dönem										
<b>GD1</b>	2.75 p-t	3.09 o-r	2.69 q-t	2.64 rst	2.63rst	2.41stu	2.15tu	<b>1.99u</b>	<b>1.91u</b>	2.25tu
<b>GD2</b>	4.08 b-i	3.98 c-j	3.88 d-m	4.17 b-f	4.12b-h	3.42j-o	3.40j-o	3.40j-o	2.97o-s	3.09o-r
<b>GD3</b>	3.53 g-o	3.94 c-l	3.92 c-l	4.07 b-i	4.06b-h	3.48i-o	3.33l-p	3.35k-p	3.32l-p	3.51h-o
<b>GD4</b>	4.41 bcd	4.50 a-d	4.60 ab	<b>5.05 a</b>	4.22b-e	3.96c-k	3.57f-o	3.52g-o	3.30m-q	3.21n-r
<b>GD5</b>	4.64 ab	4.13 b-g	4.53 abc	4.42 bcd	4.40bcd	3.79e-n	3.48i-o	3.47i-o	3.21n-r	3.24n-r

İkinci dönemde ise en yüksek bitki N konsantrasyonu Kömeç x BD4 x GD4 (%5.05) ve en düşük bitki N konsantrasyonu ise Dökmetepe x BD3 x GD1 (%1.99) ve Dökmetepe x BD4 x GD1 (%1.91) interaksyonlarında gerçekleşmiştir. Her iki toprakta tüm biyoçar dozlarına en

düşük bitki N alımı sadece sıvı hayvan gübresi bulunan GD1 uygulamalarında elde edilirken en yüksek bitki N konsantrasyonları ise bitki besin elementi gereksiniminin %100 olarak ilave edildiği GD4 ve GD5 uygulamalarında gerçekleşmiştir.

Biyotaar eşidi, BD ve GD faktörleri bitkinin N alımı üzerine her iki dönemde de (P=0.6426 ve P=0.246) önemli düzeyde etki yapmamıştır (Çizelge 4.48). En yüksek bitki N alımı eltik x BD3 x GD5 (%5.79) ve en düşük bitki N alımı fasulye x BD3 x GD1 (%2.83) ve fasulye x BD5 x GD1 (% 2.88) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir. İkinci dönemde ise en yüksek bitki N konsantrasyonu fasulye x BD4 x GD4 (%4.62) ve en düşük bitki N konsantrasyonları ise sırası ile mısır x BD3 x GD1 (%1.99), mısır x BD4 x GD1 (%2.16), fasulye x BD4 x GD1 (%2.08) ve fasulye x BD5 x GD1 (%2.11) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.55). Her iki dönemde de tüm biyotaar dozlarında gübre ilavesinin artması ile bitkinin N konsantrasyonunu artmıştır.

Çizelge 4.55. Biyotaar eşidi x biyotaar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	4.12 m-u	3.94 p-u	4.53 d-r	3.97 o-u	4.16 l-t
	GD2	4.46 f-r	4.33 h-s	4.85 c-m	4.87 b-m	4.69 c-q
	GD3	4.76 c-p	4.38 f-s	4.70 c-q	4.59 d-r	4.83 c-n
	GD4	5.07 a-k	5.16 a-h	5.72 ab	4.27 j-t	4.48 e-r
	GD5	5.22 a-f	5.23 a-f	<b>5.79 a</b>	5.36 a-d	5.44 abc
Mısır	GD1	4.30 i-t	3.89 q-u	3.74 r-u	3.99 n-u	3.60 s-v
	GD2	4.27 j-t	4.91b-m	4.41 f-s	4.35 g-s	4.22 k-t
	GD3	4.59 c-r	4.48 e-r	4.36 g-s	4.82 c-o	4.25 k-t
	GD4	4.86 c-m	4.99 a-l	4.73 c-q	4.99 a-l	4.60 c-q
	GD5	4.78 c-p	5.23 a-f	4.99 a-l	4.92 b-m	4.89 b-m
Fasulye	GD1	3.56 s-v	3.44 tuv	<b>2.83 v</b>	3.27 uv	<b>2.88 v</b>
	GD2	4.39 f-s	4.55 d-r	4.31 h-s	4.58 d-r	4.41 f-s
	GD3	4.28 i-t	4.49 e-r	4.57 d-r	4.96 a-m	4.77 c-p
	GD4	4.85 c-m	5.34 a-e	5.19 a-g	5.00 a-l	5.14 a-i
	GD5	5.33 a-e	5.06 a-k	4.98 a-l	5.13 a-j	5.20 a-g
2. Dönem						
eltik	GD1	2.62opq	2.69n-q	2.65n-q	2.60o-q	2.99l-p
	GD2	4.01a-i	3.77 c-k	4.11 a-g	3.56 d-l	3.54d-l
	GD3	3.91a-j	3.52 e-l	3.59 d-l	3.71 d-l	3.79c-k
	GD4	4.56ab	4.11 a-g	4.27 a-e	3.72 d-l	3.68d-l
	GD5	4.47abc	3.90 a-j	4.30 a-d	3.84 b-k	3.97a-i
Mısır	GD1	2.47pq	2.72 m-q	<b>1.99 q</b>	<b>2.16 q</b>	2.22q
	GD2	3.61d-l	3.72 d-l	3.58 d-l	3.87 a-j	3.87 a-j
	GD3	3.11k-p	3.98 a-j	3.83 b-k	4.04 a-i	3.74 c-l
	GD4	4.10a-g	3.71 d-l	3.74 c-l	4.18 a-f	3.00 l-p
	GD5	4.10a-h	3.73 c-l	3.88 a-j	3.78 c-k	3.69d-l
Fasulye	GD1	2.65n-q	2.44 p-q	2.39 pq	<b>2.08 q</b>	<b>2.11q</b>
	GD2	3.62d-l	3.59 d-l	3.23 j-o	3.28 i-o	3.40g-n
	GD3	3.50f-l	3.40 g-n	3.48 f-m	3.34 h-o	3.82 b-k
	GD4	3.90a-j	4.28 a-d	4.18 a-f	<b>4.62 a</b>	4.48 abc
	GD5	4.07a-h	3.78 c-k	3.83 b-k	3.83 b-k	3.80 c-k



Denemede yer alan toprak tipi, biyoçar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre dozu faktörlerinin interaksyonları ilk dönem bitkinin N alımına önemli etki yapmaz ( $P=0.4761$ ) iken ikinci dönem bu etkinin  $P<0.05$  düzeyinde önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.48). Tüm faktörlerin interaksyonlarında bitkinin topraktan kaldırdığı ortalama N konsantrasyonlarına ait değerler Çizelge 4.56'da verilmiştir. Bitkinin topraktan en yüksek N alımına Dökmetepe x çeltik x BD3 x GD4 (%6.31) ve en düşük N alımına Kömeç x fasulye x BD3 (%2.77), BD4 (%2.76) ve BD5 (% 2.81) dozlarının GD1 interaksyonları olmuştur. İkinci dönem ise Kömeç x fasulye x BD4 x GD4 (%5.72) interaksyonu en yüksek bitki N alımına ve Dökmetepe x mısır x BD4 x GD2 (% 1.56) ve Dökmetepe x mısır x BD3 x GD1 (%1.65) interaksyonları ise bitki N alımının diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde düşük olmasına yol açmıştır.



Çizelge 4.56. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun buğdayın azot (N) konsantrasyonuna (%) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	3.09	3.30	3.60	2.99	2.89	3.78	3.64	3.55	3.57	3.24	3.84	3.09	<b>2.77</b>	<b>2.76</b>	<b>2.81</b>
	GD2	4.06	3.89	3.97	4.14	4.39	3.61	4.41	4.39	4.01	3.60	4.11	4.31	4.17	4.36	4.20
	GD3	3.84	3.83	4.26	4.14	4.29	4.38	4.36	4.27	4.81	4.02	3.90	4.43	4.48	4.67	4.89
	GD4	4.81	5.08	5.13	4.71	4.62	4.86	5.03	4.78	4.98	4.00	4.53	5.12	4.88	4.71	5.21
	GD5	4.90	5.51	5.71	4.82	5.14	4.45	5.42	4.98	4.89	4.81	5.71	5.02	4.91	5.22	5.46
Dökmetepe	GD1	5.15	4.58	5.46	4.95	5.44	4.81	4.13	3.93	4.40	3.96	3.29	3.79	2.88	3.77	2.95
	GD2	4.87	4.77	<b>5.73 a-d</b>	5.59	4.98	4.93	5.40	4.43	4.69	4.84	4.68	4.78	4.45	4.80	4.61
	GD3	5.68	4.94	5.13	5.03	5.37	4.80	4.60	4.46	4.83	4.48	4.67	4.55	4.65	5.24	4.65
	GD4	5.33	5.24	<b>6.31 a</b>	3.83	4.34	4.86	4.94	4.68	5.00	5.19	5.16	5.55	5.49	5.29	5.06
	GD5	5.55	4.95	<b>5.86 abc</b>	<b>5.90 ab</b>	<b>5.74 a-d</b>	5.11	5.04	4.99	4.94	4.97	4.95	5.10	5.05	5.03	4.94
2. Dönem																
Kömeç	GD1	2.54	3.24	3.19	3.00	3.10	2.93	3.60	2.32	2.76	2.46	2.77	2.43	2.56	2.16	2.32
	GD2	3.61	3.50	3.74	4.31	4.17	4.57	4.35	4.18	4.41	4.58	4.04	4.09	3.72	3.78	3.61
	GD3	3.77	3.36	3.58	3.90	3.95	2.88	4.72	4.48	4.59	4.16	3.93	3.73	3.70	3.72	4.07
	GD4	4.47	4.47	4.48	4.31	4.26	4.53	4.33	4.23	<b>5.12 abc</b>	2.87	4.24	4.69	<b>5.09 a-d</b>	<b>5.72 a</b>	<b>5.53 ab</b>
	GD5	4.54	4.02	4.82	4.56	4.25	4.68	4.22	4.47	4.40	4.51	4.69	4.14	4.28	4.29	4.45
Dökmetepe	GD1	2.69	2.14	2.10	2.19	2.88	2.02	<b>1.84</b>	<b>1.65</b>	<b>1.56</b>	<b>1.98</b>	2.53	2.45	2.22	1.99	1.91
	GD2	4.40	4.04	4.47	2.82	2.92	2.65	3.08	2.98	3.32	3.16	3.20	3.09	2.74	2.78	3.19
	GD3	4.05	3.69	3.60	3.52	3.62	3.33	3.24	3.18	3.48	3.33	3.06	3.06	3.25	2.96	3.57
	GD4	4.66	3.74	4.06	3.12	3.09	3.67	3.09	3.24	3.24	3.14	3.55	3.88	3.27	3.53	3.42
	GD5	4.41	3.78	3.77	3.11	3.69	3.51	3.25	3.29	3.15	2.88	3.44	3.41	3.37	3.37	3.16

## 4.2. Uygulamaların Toprağın Kimyasal Özelliklerine Etkileri

Sera denemelerinde kullanılan 3 ayrı biyoçar çeşidinin beş farklı dozu ya sıvı hayvan gübresi ile emdirilerek veya olduğu gibi toprağa uygulanmıştır. Buğday bitkisinin gelişimi için gerekli olan besin elementleri miktarının %25, %50 ve %100 gibi farklı oranları da ayrı bir faktör olarak denemeye dahil edilmiştir. Sıvı hayvan gübrelili veya gübresiz biyoçarlar denemenin başlangıcında toprağa uygulanmış ve ikinci yetiştirme dönemi öncesi yukarıda belirtildiği şekilde sadece besin elementleri çözelti halinde verilmiştir. İki ayrı yetiştirme dönemi sonunda saksılardan alınan toprakların bir kısım kimyasal özellikleri belirlenmiş ve iki dönem arasındaki değerlerin farklılıkları Çizelge 4.57’de verilmiştir. Buna göre değerlendirilen tüm özellikler (çinko, potasyum, fosfor, pH ve elektriksel iletkenlik) iki dönem arasında önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) farklılaşmıştır.

Çizelge 4.57. Uygulamaların iki ayrı dönemde toprak kimyasal özellikleri üzerine etkileri arasındaki farklılığı gösteren tek yönlü varyans analizi

	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F	P
<b>Çinko</b>	1	837.58	837.58	297.35	< 0.0001**
<b>Potasyum</b>	1	409036.99	409036.99	34.41	< 0.0001**
<b>Fosfor</b>	1	94523.25	94523.25	229.44	< 0.0001**
<b>pH</b>	1	26.88	26.88	534.27	< 0.0001**
<b>Elektriksel İletkenlik</b>	1	9.98	9.98	53.46	< 0.0001**

\*\* Uygulamalar arasındaki fark  $P<0.01$  düzeyinde önemlidir; SD: Serbestlik Derecesi

İki ayrı yetiştirme dönemi sonunda saksılardan alınan toprakların kimyasal özelliklerine ait ortalama değerler Çizelge 4.58’de verilmektedir. Toprağın önemli bir mikro besin elementi olan yarayışlı çinko (Zn) konsantrasyonu ilk yıl ortalama  $0.65 \text{ mg kg}^{-1}$  iken ikinci dönem  $2.58 \text{ mg kg}^{-1}$  olmuştur. Buna benzer şekilde yarayışlı potasyum (K), pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri de ikinci yetiştirme dönemi sonunda önemli düzeyde artış göstermişlerdir. İkinci yetiştirme dönemi sonunda ilk döneme kıyasla topraktaki konsantrasyonu azalan tek besin elementi yarayışlı fosfor (P) olmuştur.

Çizelge 4.58. İki ayrı dönemin kimyasal toprak özelliklerine ait ortalama değerleri

Dönem	Çinko	Potasyum	Fosfor	pH	Elektriksel İletkenlik
	$\text{mg kg}^{-1}$			1 toprak/1 su	$\text{dS m}^{-1}$
<b>1</b>	0.65	168.93	34.30	8.32	0.59
<b>2</b>	2.58	211.57	13.81	8.66	0.80

#### 4.2.1. Toprağın çinko konsantrasyonuna etkileri

Denemenin ilk dönemi sonunda yer alan bireysel faktörlerin tamamının (T, BÇ, BD ve GD) topraktaki yarayışlı Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki ettikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.59). İkinci yetiştirme dönemi sonunda ise BD etkisinin ortadan kaybolduğu, ancak diğer faktörlerin bu dönemde de etkili oldukları görülmektedir. Faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinden ise ilk dönem T x BÇ, T x GD ve BD x GD ile ikinci dönem T x BÇ ve BÇ x GD interaksyonları Zn konsantrasyonu üzerine etkili olmuş, diğer tüm interaksyonların etkisi önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.59. Uygulamaların toprakların çinko konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi

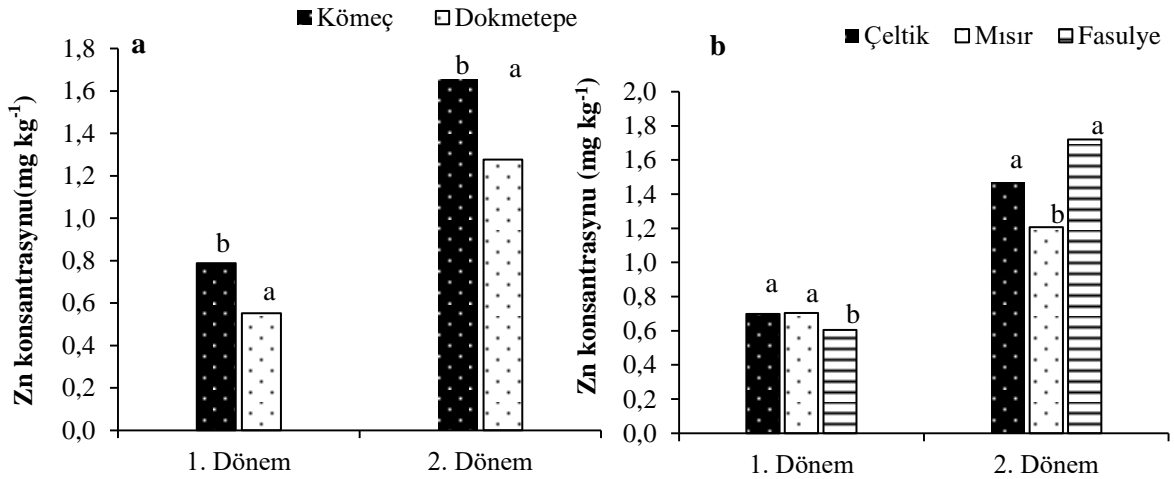
Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P
Toprak (T)	1	5.0244	5.0244	185.1250	<0.0001**	12.9732	12.9732	147.0344	<0.0001**
Biyotaar Çeşidi (BÇ)	2	0.7504	0.3752	13.8246	<0.0001**	15.8334	7.9167	89.7255	<0.0001**
Biyotaar Dozu (BD)	4	0.4451	0.1113	4.0998	0.0031**	0.7643	0.1911	2.1655	0.0736 <sup>OD</sup>
Gübre Dozu (GD)	4	10.8881	3.6294	133.7230	<0.0001**	138.6021	46.2007	523.6245	<0.0001**
T*BÇ	2	0.3933	0.1967	7.2457	0.0009**	8.7615	4.3808	49.6501	<0.0001**
T*BD	4	0.0311	0.0078	0.2861	0.8869 <sup>OD</sup>	0.0860	0.0215	0.2437	0.9133 <sup>OD</sup>
T*GD	3	0.2966	0.0989	3.6432	0.0134*	1.3498	0.4499	5.0995	0.0019**
BÇ*BD	8	0.1535	0.0192	0.7071	0.6852 <sup>OD</sup>	1.2191	0.1524	1.7271	0.0928 <sup>OD</sup>
BÇ*GD	6	1.4336	0.2389	8.8032	<0.0001**	15.9216	2.6536	30.0750	<0.0001**
BD*GD	16	0.2370	0.0198	0.7277	0.7237 <sup>OD</sup>	1.2212	0.1018	1.1534	0.3180 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD	8	0.2532	0.0317	1.1664	0.3202 <sup>OD</sup>	0.4220	0.0527	0.5978	0.7793 <sup>OD</sup>
T*BÇ*GD	6	0.2750	0.0458	1.6886	0.1244 <sup>OD</sup>	5.4149	0.9025	10.2286	<0.0001**
T*BD*GD	12	0.1788	0.0149	0.5488	0.8810 <sup>OD</sup>	0.6646	0.0554	0.6277	0.8178 <sup>OD</sup>
BÇ*BD*GD	24	0.5785	0.0241	0.8880	0.6186 <sup>OD</sup>	2.9120	0.1213	1.3752	0.1194 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD*GD	20	0.4343	0.0181	0.6668	0.8810 <sup>OD</sup>	2.0825	0.0868	0.9835	0.4888 <sup>OD</sup>

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P<0.01$  ve  $P<0.05$  düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil; SD: Serbestlik Derecesi

Toprak faktörü her iki dönemde de topraktaki Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etki etmiştir (Çizelge 4.59). Her iki dönemde de Kömeç toprağının ortalama Zn konsantrasyonu Dökmetepe toprağının Zn konsantrasyonuna kıyasla önemli düzeyde daha yüksektir. Bununla birlikte her iki toprağında Zn konsantrasyonu ikinci dönem ilk döneme kıyasla önemli düzeyde artış göstermiştir (Şekil 4.33a). Bu artışta temel etken her dönem başında bitki gereksinimi için toprağa uygulanmış olan 2 mg kg<sup>-1</sup> düzeyindeki ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O formundaki gübredir. gübre şeklinde ilave edilen Zn

ile birlikte, biyoçar materyallerindeki Zn’da toprağın Zn bakımından zenginleşmesine katkı vermiştir. Laird ve ark. (2010), piroliz esnasında Zn, Fe ve Mn gibi mikrobesein elementlerinin N ve S gibi uçucu bileşiklere dönüşmediklerinden dolayı biyoçar ile birlikte toprağa katıldıklarını bildirmişlerdir.

Deneme başlangıcında her iki toprağın Zn konsantrasyonu da bitkisel üretimde noksanlık diye tabir edilen sınır değerin ( $0.5 \text{ mg kg}^{-1}$ ) altında olduğu görülmektedir. Kömeç toprağının  $0.47 \text{ mg kg}^{-1}$  olan Zn konsantrasyonu ilk dönem  $0.79 \text{ mg kg}^{-1}$  ve ikinci dönem  $1.66 \text{ mg kg}^{-1}$ ’a yükselmiştir. Dökmetepe toprağında ise başlangıçta  $0.35 \text{ mg kg}^{-1}$  olan Zn konsantrasyonu ilk dönem sonunda  $0.55 \text{ mg kg}^{-1}$  ve ikinci dönem sonunda  $1.28 \text{ mg kg}^{-1}$ ’a kadar yükselmiştir. İlk dönem biyoçar materyallerinin kendilerinde ve sıvı hayvan gübresinde bulunan Zn’nun da katılımı ile Zn konsantrasyonunda artış olduğu göz önüne alındığında, topraklardaki Zn konsantrasyonu artışında gübrelemenin ne denli önemli olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır. İlk dönem sonunda toprakta bulunan değişim komplekslerinin de Zn ile doyurulduğu düşünüldüğünde ikinci dönem gübrelemesi ile Kömeç toprağının Zn konsantrasyonu başlangıca kıyasla %52.4 ve Dökmetepe toprağının Zn konsantrasyonu ise %57 oranında artmıştır.

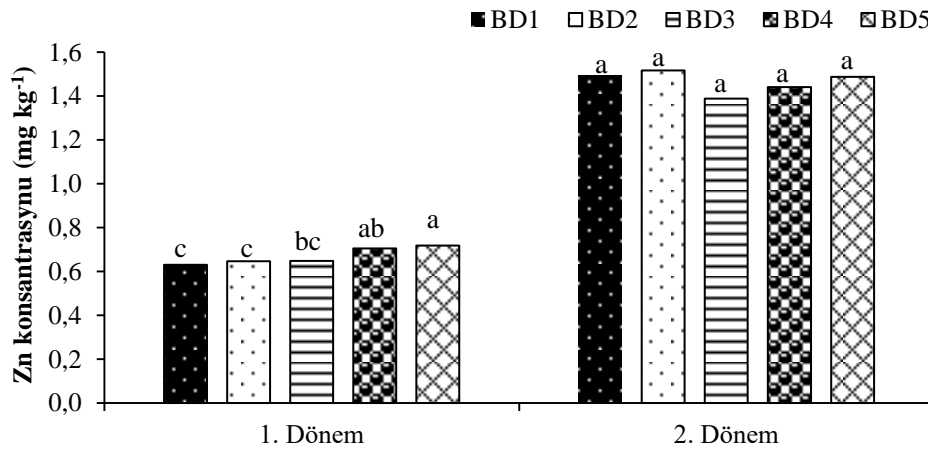


Şekil 4.33. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyoçar çeşidi altında çinko (Zn) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

Biyoçar çeşidi faktörü her iki dönemde toprak Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiş ( $P < 0.01$ ) ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.59). Biyoçar çeşitleri altında elde edilen toprak Zn konsantrasyonuna ait ortalama değerler Şekil 4.33b’de gösterilmiştir. Buna göre ilk dönem en düşük Zn konsantrasyonu ( $0.61$

mg kg<sup>-1</sup>) elde edilen fasulye biyoçarı uygulaması ikinci dönem diğer iki uygulamaya kıyasla daha yüksek Zn konsantrasyonu (1.72 mg kg<sup>-1</sup>) elde edilmesine neden olmuştur. Uygulanan biyoçar materyallerinin Zn konsantrasyonları sırası ile fasulye biyoçarı 80 mgkg<sup>-1</sup>, mısır biyoçarı 84 mg kg<sup>-1</sup> ve çeltik biyoçarı 37 mg kg<sup>-1</sup> şeklindedir (Çizelge 3.4). Biyoçar materyallerindeki Zn konsantrasyonları ile bu materyallerin uygulandığı toprakların ortalama Zn konsantrasyonları arasında belirgin bir ilişki gözlemlenememiştir.

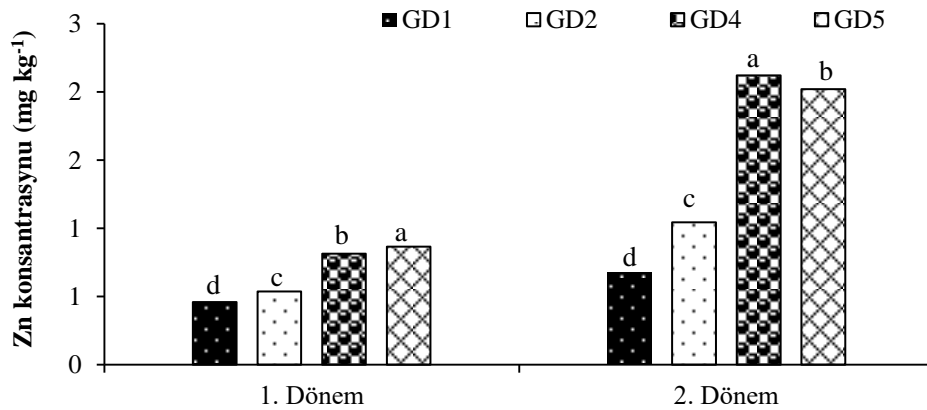
Biyoçar dozları toprak Zn konsantrasyonu üzerine ilk dönem P<0.01 nem düzeyinde etki yaparken ikinci dönem bu etkinin önemsiz düzeye (P=0.0736) indiği görülmüştür (Çizelge 4.59). Biyoçar dozları altında toprak Zn konsantrasyonunun değişimi Şekil 4.34’de gösterilmektedir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu BD5 (0.72 mg kg<sup>-1</sup>) ve en düşük ortalama Zn konsantrasyonu ise BD1 (0.63 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında elde edilmiştir. İlk dönem tüm biyoçar dozlarında gübreleme ile katılan Zn konsantrasyonu eşit olduğuna göre, doz artışı ile Zn konsantrasyonunun artmış olması, biyoçar içersindeki Zn’nun yarıyıllı hale geçtiğini göstermektedir. İkinci dönem beş biyoçar dozu ortalama Zn konsantrasyonu açısından istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. İkinci dönem Zn konsantrasyonunun artışında biyoçar dozunun önemsiz olması, bu artışın kaynağının gübreleme olduğunu net bir şekilde ortaya koymaktadır.



Şekil 4.34. Biyoçar dozu uygulamalarının toprakların çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

Bitki gelişimi için gerekli besin elementlerinin ilave edildiği gübre dozu uygulamaları her iki dönemde de toprağın Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etki etmiştir (Çizelge 4.59). Denemenin ikinci döneminde bitki besin elementlerinin %50 düzeyinde verildiği GD3 uygulamasında çinko gübrelemesi sehven fazladan yapıldığından bu uygulama Zn ile ilgili değerlendirmelere alınmamıştır. GD uygulamaları altında toprağın ortalama Zn konsantrasyonu Şekil 4.35’de gösterilmiştir. Buna göre her iki dönemde de en düşük toprak Zn konsantrasyonu sadece sıvı hayvan gübresi ilavesi yapılmış biyoçarların yer aldığı GD1 (ilk dönem  $0.46 \text{ mg kg}^{-1}$  ve ikinci dönem  $0.68 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında elde edilmiştir. Buna karşılık en yüksek toprak Zn konsantrasyonu ise her iki dönemde de sıvı hayvan gübresi ile doyurulmuş biyoçara ilaveten bitki gereksinimi olan besin elementlerinin %100 verildiği GD4 uygulamalarında ( $0.82 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $2.12 \text{ mg kg}^{-1}$ ) elde edilmiştir. Sıvı hayvan gübresi ile doyurulmamış biyoçarların yer aldığı GD5 uygulamaları GD4’e kıyasla bir miktar daha düşük Zn konsantrasyonuna neden olmuştur. Bu farklılığın temel nedeni ise GD4 uygulamasında yer alan sıvı hayvan gübresinin içerdiği Zn konsantrasyonudur. Sıvı hayvan gübresi  $6.0 \text{ mg l}^{-1}$  Zn içerdiğinden GD4 uygulamalarında toprak Zn konsantrasyonu GD5’e kıyasla bir miktar daha yüksek bulunmuştur.

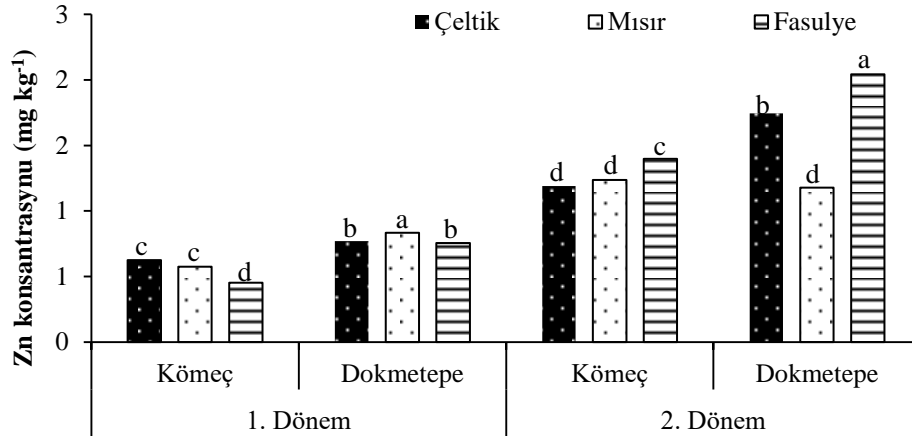


Şekil 4.35. Gübre uygulamalarının toprakların çinko (Zn) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

GD1, Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG+Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG+Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG+Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar+Tam Gübreleme

Toprak tipi ve BÇ faktörlerinin interaksyonu her iki dönemde de toprağın Zn konsantrasyonu üzerine oldukça önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etki etmiştir (Çizelge 4.59). Bu interaksyonda elde edilen ortalama Zn konsantrasyonları Şekil 4.36’da

gösterilmiştir. Buna göre ilk dönem her iki toprakta da en düşük Zn konsantrasyonuna (Kömeç,  $0.45 \text{ mg kg}^{-1}$  ve Dökmetepe,  $0.76 \text{ mg kg}^{-1}$ ) neden olan fasulye biyoçarı uygulaması ikinci dönem her iki toprakta da en yüksek toprak Zn konsantrasyonu (Kömeç- $1.40 \text{ mg kg}^{-1}$  ve Dökmetepe- $2.04 \text{ mg kg}^{-1}$ ) elde edilmesine neden olmuştur. Her iki toprakta da ilk dönem üç biyoçar çeşidinin uygulandığı toprakların Zn konsantrasyonu ikinci dönem uygulamaları sonunda önemli düzeyde artmıştır. İlk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu Dökmetepe x mısır ( $0.83 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Dökmetepe x fasulye ( $2.04 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük ortalama Zn konsantrasyonları ise ilk dönem Kömeç x fasulye ( $0.45 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Dökmetepexmısır ( $1.18 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonları ile görülmüştür. İlk dönem en yüksek Zn konsantrasyonunun olduğu Dökmetepe x mısır etkileşiminde ikinci dönemde Zn konsantrasyonu ilk döneme kıyasla yüksek olmakla birlikte diğer uygulamalardan önemli düzeyde düşük kalmıştır.



Şekil 4.36. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprakta çinko (Zn) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprağın Zn konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yapmamıştır ( $P=0.8869$  ve  $P=0.9133$ ) (Çizelge 4.59). Bu interaksiyonlarda elde edilen ortalama Zn konsantrasyonları Çizelge 4.60'da verilmiştir. Buna göre her iki dönemde de Dökmetepe toprağında tüm BD altında Zn konsantrasyonları Kömeç toprağının Zn konsantrasyonuna kıyasla önemli derecede yüksek bulunmuştur. İlk dönem Dökmetepe toprağında BD artışı ile Zn konsantrasyonu arasında bir ilişki görülmesine rağmen Kömeç toprağında ve Dökmetepe ikinci dönemde böyle bir ilişki bahsetmek mümkün olmamıştır.



Toprak tipi ve GD faktörlerinin interaksyonu ilk dönem  $P<0.05$  ve ikinci dönem  $P<0.01$  önem düzeyinde toprak Zn konsantrasyonu üzerine etki yapmıştır (Çizelge 4.59). Ortalama Zn konsantrasyonu verileri Çizelge 4.60'te verilmiştir. İlk dönem en yüksek Zn Dökmetepe x GD4 ( $0.98 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve GD5 ( $0.99 \text{ mg kg}^{-1}$ ), ikinci dönem ise Dökmetepe x GD5 ( $2.34 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonlarında elde edilmiştir. Her iki dönemde de GD ve GD5 uygulamaları ile birlikte toprağın Zn konsantrasyonu önemli düzeyde artış göstermiştir. En düşük Zn konsantrasyonu ise her iki dönemde de Kömeç x GD1 (1. Dönem  $0.36 \text{ mg kg}^{-1}$  ve 2. Dönem  $0.53 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonlarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.60. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	<b>0.50d</b>	<b>0.76a</b>	1.32b	<b>1.67a</b>
<b>BD2</b>	<b>0.52cd</b>	<b>0.77a</b>	1.34b	<b>1.69a</b>
<b>BD3</b>	0.54bcd	<b>0.76a</b>	<b>1.18c</b>	<b>1.60a</b>
<b>BD4</b>	0.59bc	<b>0.82a</b>	1.24bc	<b>1.64a</b>
<b>BD5</b>	0.61b	<b>0.83a</b>	1.30bc	<b>1.68a</b>
<b>GD1</b>	<b>0.36f</b>	0.56d	<b>0.53f</b>	0.82e
<b>GD2</b>	0.45e	0.63c	0.77e	1.32d
<b>GD4</b>	0.65c	<b>0.98a</b>	1.91c	<b>2.34a</b>
<b>GD5</b>	0.74b	<b>0.99a</b>	1.90c	2.14b

Biyoçar çeşidi ve BD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de toprağın Zn konsantrasyonu üzerine önemli etki yapmamıştır ( $P=0.6852$  ve  $P=0.0928$ ) (Çizelge 4.59). Bu interaksyonlara ait ortalama Zn konsantrasyonları Çizelge 4.61'de verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu çeltik x BD4 ( $0.76 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük Zn konsantrasyonu ise fasulye x BD3 ( $0.55 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonlarında elde edilmiştir. İkinci dönemde ise en yüksek toprak Zn konsantrasyonu fasulye x BD5 ( $1.80 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük Zn konsantrasyonları ise mısırxBD4 ( $1.11 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ile mısır x BD3 ( $1.18 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonlarında görülmüştür.

Biyoçar çeşidi ve GD interaksyonu her iki dönemde de toprağın Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki ( $P<0.01$ ) yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.59). Her üç biyoçar çeşidinde de GD dozu artışı ile birlikte yarıyıllık Zn konsantrasyonu önemli düzeyde artış göstermiştir. Çinko konsantrasyonu artışında iki etkenin etkili olduğu düşünülmektedir. Birincisi, bitkilerin ihtiyacı olduğu düşünülen

Zn her iki dönemde de  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  formunda ( $2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Zn}$ ) verilmiştir. Bitki tüketiminden geri kalan miktar toprağın Zn konsantrasyonu artışından birinci derecede sorumludur. Her üç biyoçar çeşidinin uygulandığı toprakta da pH, GD artışı ile önemli oranda azalmıştır (Çizelge 4.61). Sadece sıvı hayvan gübresi ile doyurulmuş biyoçarın yer aldığı GD1 uygulamasında pH çeltik biyoçarında 8.48, mısırdaki 8.47 ve fasulyede 8.57 iken GD5 uygulaması ile pH sırası ile 8.16, 8.15 ve 8.28'e inmiştir. İkinci dönemde de benzer şekilde pH azalması gözlemlenmiştir. pH azalması ile yarıyıllık Zn konsantrasyonundaki artış arasında negatif bir ilişki gözlemlenmektedir. Genel anlamda pH artışı, özellikle de pH 6.5'den sonra Zn'nun ekstrakte edilmesini zorlaştırır ve bitkilere olan yarıyıllıklığının azalmasına neden olur (Lindsay, 1979).

Çizelge 4.61. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	0.66b-e	0.65cde	0.58ef	1.57cd	1.26fgh	1.65abc
<b>BD2</b>	0.67a-e	0.66b-e	0.61def	1.58cd	1.21gh	1.76ab
<b>BD3</b>	0.67a-e	0.72abc	<b>0.55f</b>	1.37efg	<b>1.18h</b>	1.61bc
<b>BD4</b>	<b>0.76a</b>	<b>0.75ab</b>	0.61def	1.43de	<b>1.11h</b>	1.78ab
<b>BD5</b>	0.74abc	0.74abc	0.67a-d	1.39ef	1.27e-h	<b>1.80a</b>
<b>GD1</b>	<b>0.42 h</b>	0.50 gh	0.46 gh	0.73 g	0.73 g	<b>0.56 h</b>
<b>GD2</b>	0.46 gh	0.62 f	0.53 g	0.94 f	0.97 f	1.22 e
<b>GD4</b>	0.93 ab	0.83 cd	0.69 ef	2.20 b	1.56 d	<b>2.61 a</b>
<b>GD5</b>	<b>0.98 a</b>	0.87 bc	0.75 de	2.00 c	1.56 d	<b>2.50 a</b>

Biyoçar dozu ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprağın Zn konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yapmamıştır ( $P=0.7237$  ve  $P=3180$ ) (Çizelge 4.59). Biyoçar dozu x GD interaksiyonlarına ait ortalama toprak Zn konsantrasyonları Çizelge 4.62'de verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu BD5 x GD5 ( $0.93 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük Zn ise BD1 x GD1 ( $0.40 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında elde edilmiştir. İkinci dönemde ise tüm biyoçar dozlarının GD1 interaksiyonlarında diğer uygulamalardan önemli düzeyde daha düşük olan Zn konsantrasyonları elde edilmiştir. İkinci dönem en yüksek Zn konsantrasyonu ise BD2 x GD4 ( $2.28 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonunda gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.62. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5

<b>GD1</b>	<b>0.40 f</b>	0.46 def	0.42 ef	0.51 de	0.50 def
<b>GD2</b>	0.53 d	0.54 d	0.55 d	0.54 d	0.54 dd
<b>GD4</b>	0.77 c	0.76 c	0.76 c	0.88 ab	0.90 ab
<b>GD5</b>	0.82 bc	0.83 abc	0.86 abc	0.89 ab	<b>0.93 a</b>
<b>2. Dönem</b>					
<b>GD1</b>	<b>0.69 f</b>	<b>0.66 f</b>	<b>0.60 f</b>	<b>0.71 f</b>	<b>0.72 f</b>
<b>GD2</b>	0.98 e	1.07 e	1.04 e	1.03 e	1.11 e
<b>GD4</b>	2.17 ab	<b>2.28 a</b>	2.05 bcd	2.08 bc	2.03 bcd
<b>GD5</b>	2.14 abc	2.06 bc	1.87 d	1.95 cd	2.09 abc

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de toprak Zn konsantrasyonu üzerine önemli etki yapmamıştır ( $P=0.3202$  ve  $P=0.7793$ ) (Çizelge 4.59). Toprak x BÇ x BD interaksyonlarında elde edilen toprak Zn konsantrasyonlarına ait ortalama değerler Çizelge 4.63’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu Dökmetepe x mısır x BD4 ( $0.91 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük ortalama Zn konsantrasyonu ise Kömeç x fasulye x BD1 ( $0.42 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonunda elde edilmiştir. İkinci dönemde ise en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu Dökmetepe x fasulye x BD4 ( $2.16 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük Zn konsantrasyonu ise Kömeç x çeltik x BD3 ( $1.03 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonunda bulunmuştur.

Çizelge 4.63. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

<b>1. Dönem</b>						
	<b>Kömeç</b>			<b>Dökmetepe</b>		
	<b>Çeltik</b>	<b>Mısır</b>	<b>Fasulye</b>	<b>Çeltik</b>	<b>Mısır</b>	<b>Fasulye</b>
<b>BD1</b>	0.54 hij	0.54 hij	<b>0.42 j</b>	0.78a-d	0.77b-e	0.73c-f
<b>BD2</b>	0.59 gh	0.54 hij	0.44 ij	0.74b-f	0.78b-e	0.79a-d
<b>BD3</b>	0.60 gh	0.60 gh	0.43 ij	0.74b-f	0.85abc	0.68d-g
<b>BD4</b>	0.75 d-f	0.58 gh	0.43 ij	0.77b-e	<b>0.91a</b>	0.79a-d
<b>BD5</b>	0.65 e-h	0.62 fgh	0.56 ghi	0.83abc	0.87ab	0.79a-d
<b>2. Dönem</b>						
	<b>Çeltik</b>	<b>Mısır</b>	<b>Fasulye</b>	<b>Çeltik</b>	<b>Mısır</b>	<b>Fasulye</b>
	<b>Çeltik</b>	<b>Mısır</b>	<b>Fasulye</b>	<b>Çeltik</b>	<b>Mısır</b>	<b>Fasulye</b>
<b>BD1</b>	1.26 h-l	1.31 hij	1.39 hi	1.88cde	1.20i-l	1.92b-e
<b>BD2</b>	1.37 hij	1.21 i-l	1.46 gh	1.79def	1.22i-l	2.06ab
<b>BD3</b>	<b>1.03 l</b>	1.22 i-l	1.28 h-k	1.72def	1.14jkl	1.94a-d
<b>BD4</b>	1.17 i-l	1.15 jkl	1.40 hi	1.69efg	1.08kl	<b>2.16a</b>
<b>BD5</b>	1.14 jkl	1.29 h-k	1.46 gh	1.64fg	1.26h-l	2.13ab

Toprak tipi, biyoçar çeşidi ve gübre dozu interaksyonları ilk dönem toprak Zn konsantrasyonu üzerine önemli etki yapmaz ( $P=0.1244$ ) iken ikinci dönem etki istatistiksel olarak önemli hale ( $P<0.01$ ) gelmiştir (Çizelge 4.59). Toprak x BÇ x GD interaksyonunda elde edilen ortalama Zn konsantrasyonuna ait veriler Çizelge 4.64’de verilmiştir. Buna göre, en yüksek Zn konsantrasyonu Dökmetepe x çeltik x GD4 ( $1.04$

mg kg<sup>-1</sup>) ve GD5 (1.09 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında en düşük ortalama Zn konsantrasyonu ise Kömeç x fasulye x GD1 (0.33 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonunda elde edilmiştir. İkinci dönem ise en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu Dökmetepe x fasulye x GD4 (2.98 mg kg<sup>-1</sup>) ve en düşük ortalama Zn ise Kömeç x fasulye x GD1 (0.46 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir. Her iki toprakta tüm biyoçar çeşitlerinde GD artışı ile birlikte ortalama Zn konsantrasyonunun arttığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.64. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	0.36 lm	0.40 j-m	<b>0.33 m</b>	0.48 hij	0.60 e-h	0.59 fgh
<b>GD2</b>	0.45 i-l	0.54 ghi	0.36 klm	0.48 hij	0.71 de	0.69 eh
<b>GD4</b>	0.83 cd	0.66 ef	0.47 i-l	<b>1.04 a</b>	0.99 ab	0.90 bc
<b>GD5</b>	0.87 c	0.71 ef	0.65 efg	<b>1.09 a</b>	1.04 a	0.84 c
<b>GD1</b>	0.51 n	0.62 mn	<b>0.46 n</b>	0.95 jk	0.85 kl	0.66 lmn
<b>GD2</b>	0.73 lm	0.96 jk	0.61 mn	1.15 ij	0.98 jk	1.84 e
<b>GD4</b>	1.90 e	1.58 fg	2.24 d	2.50 bc	1.54 gh	<b>2.98 a</b>
<b>GD5</b>	1.62 fg	1.78 ef	2.30 cd	2.38 cd	1.35 h-i	2.70 b

Toprak tipi, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları toprağın Zn konsantrasyonuna her iki dönemde de önemli bir etki yapmamıştır (P=0.8810 ve P=0.8178) (Çizelge 4.59). Toprak x BD x GD interaksiyonlarına ait ortalama toprak Zn konsantrasyonları Çizelge 4.65’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu Dökmetepe x BD5 x GD5 (1.09 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonunda ve en düşük Zn ise Kömeç x BD1 x GD1 (0.32 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonunda elde edilmiştir. Her iki toprakta tüm biyoçar dozları altındaki GD1 uygulamaları ilgili biyoçar dozunda en düşük Zn konsantrasyonuna neden olmuşlardır. İkinci dönem en yüksek ortalama Zn Dökmetepe x BD2 x GD4 (2.47 mg kg<sup>-1</sup>) ve en düşük Zn konsantrasyonu ise Kömeç x BD3 x GD1 (0.44 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonunda gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.65. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	<b>0.32r</b>	<b>0.34qr</b>	<b>0.34 qr</b>	0.41pqr	0.41 pqr	0.48 k-q	0.58 i-n	0.50 j-p	0.62 g-m	0.60 h-n
<b>GD2</b>	0.42pqr	0.43o-r	0.47 m-r	0.45n-r	0.48 l-q	0.64 f-j	0.65 f-j	0.63 f-k	0.62 g-m	0.60 h-n
<b>GD4</b>	0.57i-o	0.61h-m	0.61 h-m	0.68e-i	0.79 def	0.97 ab	0.91 bcd	0.91 bcd	1.09 a	1.02 ab
<b>GD5</b>	0.68e-i	0.72e-h	0.75 e-h	0.80cde	0.77 d-g	0.96 abc	0.95 abc	0.97 abc	0.97 abc	<b>1.09 a</b>
2. Dönem										
<b>GD1</b>	0.62jkl	0.56jkl	<b>0.44 l</b>	0.50 kl	0.52 jkl	0.76 ijk	0.75 ijk	0.77 ijk	0.92 i	0.92 i
<b>GD2</b>	0.67i-l	0.79ij	0.76 ijk	0.72 i-l	0.91 i	1.29 h	1.35 h	1.31 h	1.35 h	1.31 h

<b>GD4</b>	1.91efg	2.09c-f	1.84 fg	1.87 fg	1.83 fg	2.43 ab	<b>2.47 a</b>	2.26 abc	2.28 abc	2.24 abc
<b>GD5</b>	2.09c-f	1.94d-g	1.67 g	1.87 fg	1.93 d-g	2.19 bcd	2.19 b-e	2.06 c-f	2.02 c-f	2.24 abc

Biyotaar eşidi, biyotaar dozu ve gbre dozu faktrlerinin interaksiyonu her iki dönemde de toprağın Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmamıştır (P=0.6186 ve P=0.1194) (izelge 4.59). Biyotaar eşidi x BD x GD interaksiyonunda elde edilen ortalama Zn konsantrasyonlarına ait veriler izelge 4.66’da gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu eltik x BD4 x GD4 (1.09 mg kg<sup>-1</sup>) ve en düşük Zn ise eltik x BD2 x GD1 (0.37 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonunda elde edilmiştir. İkinci dönemde ise en yüksek ortalama Zn konsantrasyonu fasulye x BD2 x GD4 (2.89 mg kg<sup>-1</sup>) ve en düşük Zn konsantrasyonu ise fasulye x BD1 x GD1 (0.40 mg kg<sup>-1</sup>) ile fasulye x BD2 x GD1 (0.41 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.66. Biyotaar eşidi x biyotaar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprak inko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dnem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
eltik	<b>GD1</b>	<b>0.39 vw</b>	<b>0.37 w</b>	<b>0.37 w</b>	0.48	0.51
	<b>GD2</b>	0.50	0.47	0.49	0.40	0.46
	<b>GD4</b>	0.82	0.89	0.91	<b>1.09 a</b>	0.97
	<b>GD5</b>	0.94	0.96	0.90	<b>1.07 ab</b>	<b>1.02 abc</b>
Mısır	<b>GD1</b>	0.43	0.45	0.49	0.54	0.57
	<b>GD2</b>	0.58	0.63	0.66	0.63	0.62
	<b>GD4</b>	0.81	0.76	0.78	0.93	0.84
	<b>GD5</b>	0.78	0.80	0.95	0.89	0.94
Fasulye	<b>GD1</b>	<b>0.39 vw</b>	0.57	0.40	0.52	0.43
	<b>GD2</b>	0.50	0.52	0.51	0.57	0.53
	<b>GD4</b>	0.69	0.63	0.59	0.64	0.89
	<b>GD5</b>	0.74	0.74	0.72	0.71	0.83
2. Dnem						
eltik	<b>GD1</b>	0.80	0.73	0.69	0.71	0.73
	<b>GD2</b>	0.89	1.06	0.92	0.91	0.94
	<b>GD4</b>	2.25	2.39	2.03	2.23	2.10
	<b>GD5</b>	2.35	2.14	1.86	1.86	1.80
Mısır	<b>GD1</b>	0.86	0.82	0.63	0.69	0.66
	<b>GD2</b>	0.93	0.95	0.92	0.88	1.17
	<b>GD4</b>	1.78	1.56	1.67	1.44	1.36
	<b>GD5</b>	1.46	1.53	1.49	1.45	1.90
Fasulye	<b>GD1</b>	<b>0.40 ac</b>	<b>0.41 ac</b>	0.49	0.72	0.77
	<b>GD2</b>	1.11	1.21	1.26	1.32	1.21
	<b>GD4</b>	2.50 bc	<b>2.89 a</b>	2.45	2.56 abc	2.65 ab
	<b>GD5</b>	2.61 ab	2.52	2.25	2.53	2.56 abc

Toprak tipi, B, BD ve GD interaksiyonları her iki dönemde de toprağın Zn konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmemiştir (P=0.8810 ve P=0.4888) (izelge 4.59). En yüksek ortalama Zn konsantrasyonu ilk dönem Dökmetepe x eltik x

BD5 x GD5 ( $1.25 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Dökmetepe x fasulye x BD2 x GD4 ( $3.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük Zn ise ilk dönem Kömeç x çeltik x BD3 x GD1 ( $0.31 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x fasulye x BD3 x GD1 ( $0.35 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında bulunmuştur (Çizelge 4.67).



Çizelge 4.67. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprak çinko (Zn) konsantrasyonlarına (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

		1. Dönem														
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	0.32	0.32	0.31	0.44	0.41	0.33	0.36	0.38	0.43	0.47	0.31	0.33	0.32	0.35	0.34
	GD2	0.41	0.42	0.49	0.41	0.51	0.48	0.51	0.56	0.57	0.56	0.36	0.35	0.35	0.38	0.37
	GD4	0.64	0.79	0.78	1.03	0.90	0.71	0.61	0.67	0.66	0.65	0.37	0.43	0.38	0.35	0.81
	GD5	0.78	0.83	0.81	1.12	0.79	0.64	0.67	0.78	0.66	0.80	0.63	0.64	0.65	0.63	0.71
Dökmetepe	GD1	0.45	0.41	0.43	0.52	0.61	0.54	0.54	0.60	0.64	0.67	0.46	0.80	0.48	0.69	0.52
	GD2	0.60	0.51	0.48	0.40	0.40	0.69	0.74	0.76	0.70	0.69	0.63	0.69	0.66	0.77	0.70
	GD4	0.99	0.98	1.05	1.14 abc	1.04	0.91	0.92	0.89	1.20 ab	1.03	1.00	0.82	0.80	0.92	0.98
	GD5	1.10	1.08	0.99	1.02	1.25 a	0.92	0.92	1.13 abc	1.12 abc	1.09	0.85	0.84	0.79	0.79	0.95
		2.. Dönem														
Kömeç	GD1	0.62	0.51	0.51	0.50	0.42	0.84	0.70	0.42	0.55	0.60	0.41	0.48	0.39	0.45	0.55
	GD2	0.64	0.84	0.73	0.67	0.78	0.84	0.90	0.95	0.89	1.23	0.51	0.62	0.58	0.59	0.73
	GD4	1.77	2.31	1.66	1.98	1.78	1.78	1.47	1.66	1.51	1.50	2.18	2.48	2.19	2.13	2.20
	GD5	2.00	1.80	1.21	1.53	1.58	1.79	1.76	1.83	1.67	1.84	2.47	2.26	1.96	2.41	2.37
Dökmetepe	GD1	0.99	0.95	0.86	0.93	1.04	0.88	0.95	0.85	0.84	0.72	0.40	0.35	0.59	0.98	0.99
	GD2	1.13	1.27	1.11	1.15	1.10	1.03	0.99	0.88	0.87	1.12	1.70	1.80	1.94	2.04	1.70
	GD4	2.72	2.47	2.39	2.49	2.42	1.78	1.65	1.67	1.37	1.22	2.81	3.30 a	2.70	2.98 abc	3.10 ab
	GD5	2.69	2.48	2.51	2.20	2.01	1.13	1.29	1.14	1.23	1.96	2.75	2.79 bcd	2.54	2.64	2.75

#### 4.2.2 Toprağın potasyum konsantrasyonuna etkileri

Uygulamaların toprakların yarayışlı potasyum (K) konsantrasyonları üzerine etkileri Çizelge 4.68'de yer alan varyans analizinde gösterilmiştir. Yarayışlı K konsantrasyonu tüm bireysel faktörler ve T x BD x GD interaksyonu haricindeki 10 interaksiyon tarafından önemli düzeyde etkilenmiş ve farklılaşmıştır.

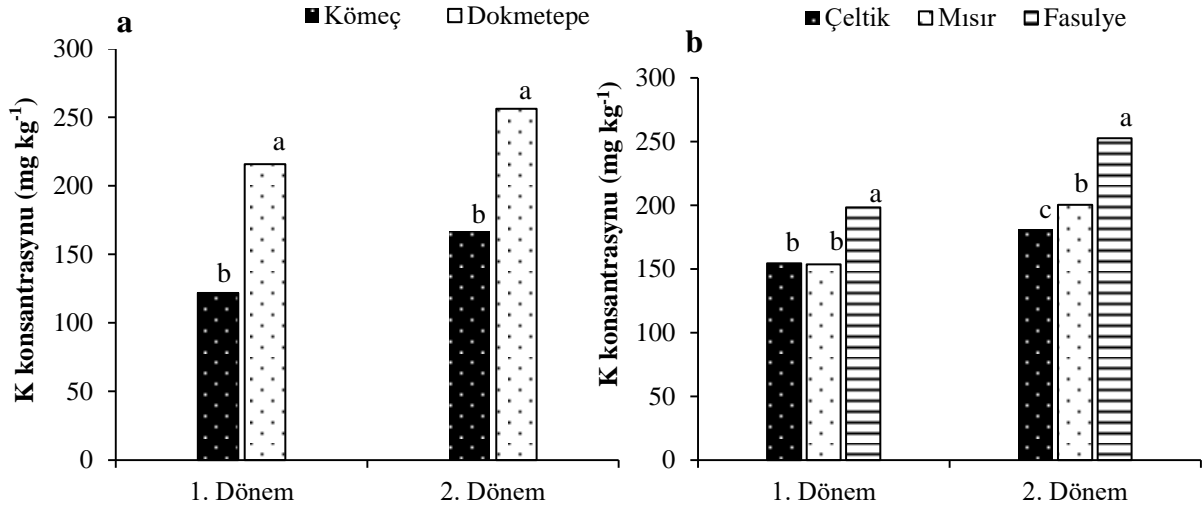
Çizelge 4.68. Uygulamaların toprakların potasyum konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ort	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ort	F	P
Toprak (T)	1	993570.66	993570.66	2591.65	<0.0001**	900419.37	900419.37	588.15	<0.0001**
Biyoyar Çeşidi (BÇ)	2	197102.76	98551.38	257.06	<0.0001**	414055.42	207027.71	135.23	<0.0001**
Biyoyar Dozu (BD)	4	1170056.42	292514.11	763.00	<0.0001**	1010396.49	252599.12	165.00	<0.0001**
Gübre Dozu (GD)	4	343766.81	85941.70	224.17	<0.0001**	1887054.01	471763.50	308.15	<0.0001**
T*BÇ	2	197926.53	98963.27	258.14	<0.0001**	64388.86	32194.43	21.03	<0.0001**
T*BD	4	180243.45	45060.86	117.54	<0.0001**	216477.40	54119.35	35.35	<0.0001**
T*GD	4	43142.96	10785.74	28.13	<0.0001**	420486.34	105121.58	68.66	<0.0001**
BÇ*BD	8	338207.31	42275.91	110.27	<0.0001**	277675.55	34709.44	22.67	<0.0001**
BÇ*GD	8	90785.18	11348.15	29.60	<0.0001**	115197.37	14399.67	9.41	<0.0001**
BD*GD	16	70131.66	4383.23	11.43	<0.0001**	278587.03	17411.69	11.37	<0.0001**
T*BÇ*BD	8	63584.91	7948.11	20.73	<0.0001**	110528.39	13816.05	9.02	<0.0001**
T*BC*GD	8	40817.23	5102.15	13.31	<0.0001**	161157.19	20144.65	13.16	<0.0001**
T*BD*GD	16	6457.14	403.57	1.05	0.4009 <sup>OD</sup>	38618.79	2413.67	1.58	0.0738 <sup>OD</sup>
BÇ*BD*GD	32	101418.97	3169.34	8.27	<0.0001**	195092.60	6096.64	3.98	<0.0001**
T*BÇ*BD*GD	32	36470.90	1139.72	2.97	<0.0001**	137886.20	4308.94	2.81	<0.0001**

\*. \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Toprak faktörü her iki yetiştirme döneminde de topraktaki K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.68). Her iki dönemde de Kömeç toprağının (121.84 ve 166.83 mg kg<sup>-1</sup>) ortalama K konsantrasyonu Dökmetepe toprağına (215.92 ve 256.30 mg kg<sup>-1</sup>) kıyasla önemli düzeyde düşük kalmıştır (Şekil 4.37a). Deneme öncesi Kömeç toprağı ortalama K konsantrasyonu 73.59 mg kg<sup>-1</sup> ve Dökmetepe toprağı K konsantrasyonu 35.90 mg kg<sup>-1</sup> olduğu dikkate alındığında (Çizelge 3.4), her iki toprakta da biyoyar, sıvı hayvan gübresi ve bitki için yapılan gübreleme neticesinde K konsantrasyonunun önemli düzeyde artışı söz konusudur. Başlangıca kıyasla Dökmetepe toprağındaki K konsantrasyonu artışı ise Kömeç toprağından çok daha yüksek olmuştur. Kömeç toprağının nispeten daha yüksek oranda kil içeriyor olması uygulanan bir kısım K'un kil leri tarafından fikse edilmesine neden olabilir. Bu durum ise iki toprak arasında böyle bir farklılığın nedeni olarak düşünülebilir.

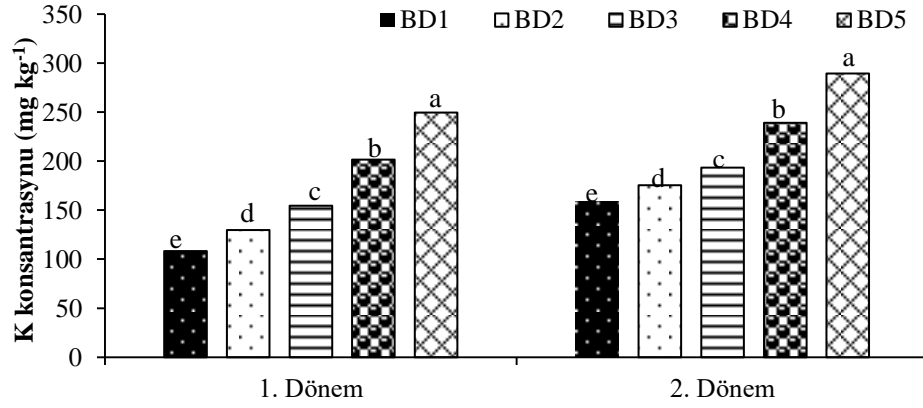




Şekil 4.37. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında potasyum (K) konsantrasyonlarına (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

Biyoçar çeşidi toprak K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiştir. Her iki dönemde de en yüksek toprak K konsantrasyonu fasulye biyoçarı (198.52 ve 252.95 mg kg<sup>-1</sup>) uygulaması olan topraklarda bulunmuştur (Çizelge 4.68). Fasulye biyoçarı uygulanan toprakların ortalama K konsantrasyonunun diğer iki biyoçar uygulamalarına kıyasla bu kadar yüksek olması büyük oranda uygulanan fasulye biyoçarının %3.65 oranındaki K konsantrasyonu ile ilişkilidir (Şekil 4.37b). Zira çeltik (%0.39) ve mısır (%0.95) biyoçarları fasulye biyoçarına kıyasla çok daha düşük K içermektedirler (Çizelge 3.1). İlk dönem çeltik ve mısır biyoçarı uygulanan topraklarda K konsantrasyonu birbirlerine çok yakın iken ikinci dönem sonunda mısır uygulanan toprakların ortalama K konsantrasyonu çeltik uygulanan topraklara kıyasla yaklaşık %10 daha yüksek olmuştur. Bu durumda mısır biyoçarının çeltik biyoçarına kıyasla daha yüksek K içermesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

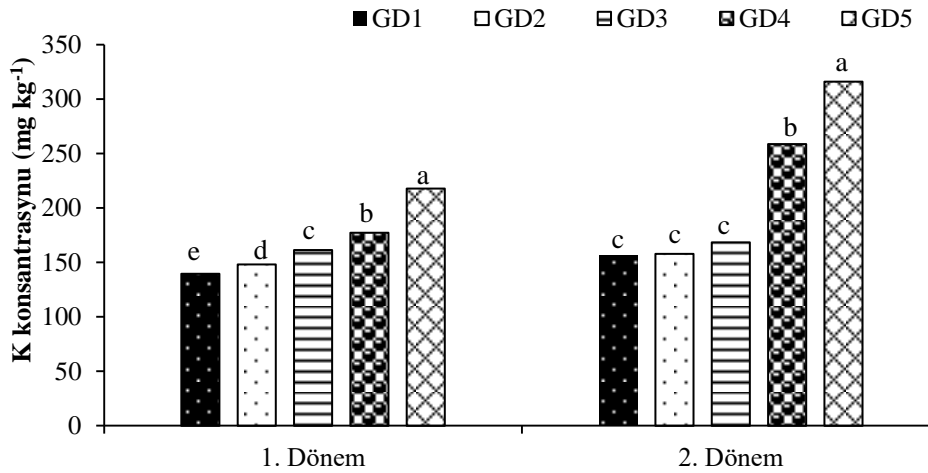
Uygulanan biyoçar dozları toprağın K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiştir. Biyoçar dozu artışı ile birlikte toprağın potasyum konsantrasyonu düzenli olarak artmıştır. İlk dönem 108.43 mg kg<sup>-1</sup> ve 159.24 mg kg<sup>-1</sup> olan kontrol uygulaması K konsantrasyonları %3.0 biyoçar ilave edilen BD5 uygulamaları ile 249.68 mg kg<sup>-1</sup> ve 289.70 mg kg<sup>-1</sup> e yükselmiştir (Şekil 4.38). Kontrol uygulamasındaki artış tamamen bitki gereksinimi için yapılan gübreleme ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Zira her yetiştirme dönemi öncesi 50 mg kg<sup>-1</sup> K (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> formunda) ilave edilmiştir. Buğday sapından elde ettikleri biyoçarı uygulayan Hansen ve ark. (2017), biyoçar uygulaması ile toprağın K konsantrasyonunun önemli düzeyde arttığını belirtirken, tahılların sapından elde edilen biyoçarların K-gübreleme potansiyellerine dikkat çekmişlerdir. Araştırmacılar tahıl kökenli biyoçarların yüksek dozda uygulanmasının yıkanma ile K kaybına yol açma olasılığından bahsetmişlerdir.



Şekil 4.38. Biyoçar dozu uygulamalarının toprak potasyum (K) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

Gübre dozu uygulamaları toprağın K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.68). Her iki dönemde de özellikle GD4 ve GD5 uygulamaları ile topraktaki K konsantrasyonu önemli oranda artmıştır (Şekil 4.39). İlk dönem GD1 uygulamasında  $139.63 \text{ mg kg}^{-1}$  olan K konsantrasyonu GD5 ile  $218.00 \text{ mg kg}^{-1}$ 'e ikinci dönem ise  $156.26 \text{ mg kg}^{-1}$ 'den  $316.20 \text{ mg kg}^{-1}$ 'ye yükselmiştir.

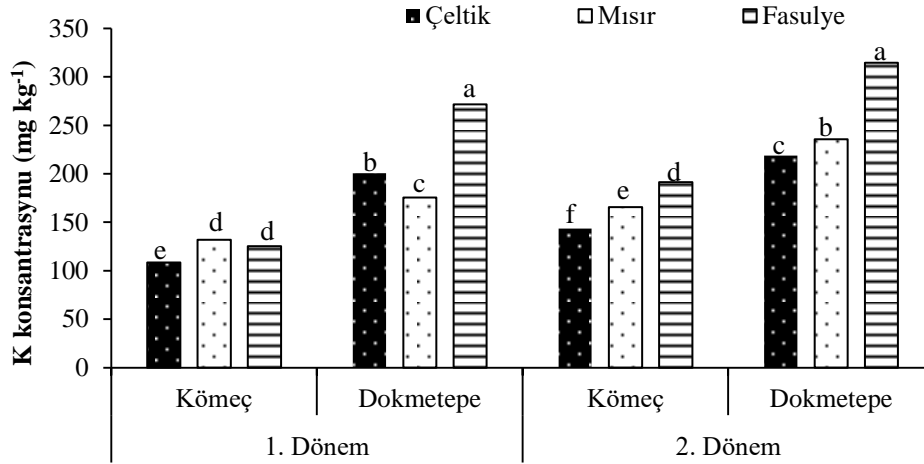


Şekil 4.39. Gübre uygulamalarının toprakların çinko (Zn) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak ve biyoçar çeşidi toprağın K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.68). Her iki dönemde de Kömeç toprağında ortalama K konsantrasyonu Dökmetepe toprağına kıyasla önemli miktarda düşük kalmıştır. Her iki dönemde de en yüksek toprak K konsantrasyonu Dökmetepe x fasulye ( $271.66$  e  $314.53 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük K konsantrasyonu ise Kömeç x çeltik ( $108.55$  ve  $143.47 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyionunda bulunmuştur

(Şekil 4.40). Bu bulgular fasulye biyoçarının en yüksek ve çeltik biyoçarının ise en düşük K konsantrasyonu kapsamına sahip olmaları ile ilişkilidir.



Şekil 4.40. gübre uygulamalarının toprak potasyum (K) konsantrasyonlarına (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksiyonu her iki dönemde de toprak K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.68). Bu interaksiyonlara ait ortalama K konsantrasyonları Çizelge 4.69’da verilmiştir. Toprakta en yüksek K konsantrasyonuna neden olan interaksiyon ilk dönem Dökmetepe x BD5 (329.19 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Dökmetepe x BD5 (372.64 mg kg<sup>-1</sup>) olmuştur. Bunun karşılık en düşük K konsantrasyonu her iki dönemde de Kömeç x BD1 (84.46 ve 140.60 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonunda gerçekleşmiştir. Biyoçar dozu artışı her iki toprakta da her dönem toprak K konsantrasyonunun artışına yol açmıştır.

Toprak tipi ve GD faktörlerinin interaksiyonu her iki dönemde de toprak K konsantrasyonunu önemli düzeyde etkilemiştir (Çizelge 4.68). Toprak ve biyoçar dozu interaksiyonundakine benzer şekilde en yüksek toprak K konsantrasyonu Dökmetepe x GD5 (278.10 ve 407.68 mg kg<sup>-1</sup>) ve en düşük K konsantrasyonu Kömeç x GD1 (104.54 ve 141.52 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.69). Bitki gereksinimi olarak ilave edilen besin elementi miktarının artışı ile toprakta kalan K konsantrasyonu arasında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.69. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	<b>84.46 i</b>	132.39 f	<b>140.60 f</b>	177.89 e
<b>BD2</b>	99.51 h	160.16 d	<b>144.11 f</b>	207.18 d
<b>BD3</b>	111.64 g	197.87 c	<b>155.21 f</b>	232.35 c
<b>BD4</b>	143.92 e	259.99 b	187.50 de	291.43 b
<b>BD5</b>	170.17 d	<b>329.19 a</b>	206.75 d	<b>372.64 a</b>

<b>GD1</b>	<b>104.54 h</b>	174.71 e	<b>141.52 e</b>	170.99 d
<b>GD2</b>	<b>110.91 h</b>	185.58 d	<b>131.16 e</b>	184.79 d
<b>GD3</b>	114.57 gh	208.40 c	<b>148.37 e</b>	188.70 d
<b>GD4</b>	121.77 g	232.79 b	188.40 d	329.32 b
<b>GD5</b>	157.91 f	<b>278.10 a</b>	224.71 c	<b>407.68 a</b>

Biyotaar eşidi ve BD faktörlerinin interaksyonları topraktaki K konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.68). Her iki dönemde de en yüksek toprak K konsantrasyonu fasulye x BD5 (342.44 ve 384.48 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonunda elde edilmiş, en düşük toprak K ise ilk dönem fasulye x BD1 (92.43 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem eltik x BD1 (158.20 mg kg<sup>-1</sup>) ile mısır x BD1 (152.80 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonlarında görülmüştür (Çizelge 4.70). Tüm biyotaar çeşitlerinde artan biyotaar dozu toprakta daha fazla K konsantrasyonuna neden olmuştur.

Biyotaar eşidi ve GD interaksyonu toprağın K konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.68). Biyotaar dozunda olduğu gibi her iki dönemde de fasulye x GD5 (286.72 ve 39.04 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonu ile en yüksek toprak K konsantrasyonu elde edilmiştir. Buna karşılık mısır x GD1 (128.10 ve 136.02 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonları ise toprak K konsantrasyonunun diğer uygulamalara kıyasla daha düşük olmasına neden olmuştur. Tüm biyotaar çeşitlerindeki GD uygulamaları altında ikinci dönem toprak K konsantrasyonu ilk döneme kıyasla önemli düzeyde yüksektir (Çizelge 4.70).

Çizelge 4.70. Biyotaar eşidi x biyotaar dozu (BD) ve biyotaar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	eltik	Mısır	Fasulye	eltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	122.36 gh	110.49 h	<b>92.43 i</b>	<b>158.20 i</b>	<b>152.80 i</b>	166.73 ghi
<b>BD2</b>	131.82 fg	123.56 gh	134.12 fg	164.53 hi	175.73 f-i	186.69 fgh
<b>BD3</b>	142.26 ef	151.65 e	170.35 d	168.48f-i	191.60 f-g	221.26 d
<b>BD4</b>	178.33 d	174.27 d	253.26 b	193.97 de	218.82 de	305.59 b
<b>BD5</b>	198.16 c	208.42 c	<b>342.44 a</b>	220.31 c	264.30 c	<b>384.48 a</b>
<b>GD1</b>	<b>128.84 j</b>	<b>128.10 j</b>	161.95 efg	146.70 fg	<b>136.02 g</b>	186.06 de
<b>GD2</b>	136.37 ij	145.78 hi	162.59 ef	<b>142.13 g</b>	<b>142.76 g</b>	189.05 de
<b>GD3</b>	153.84 fgh	148.98 ghi	181.64 cd	134.29 g	170.63 ef	200.68 d
<b>GD4</b>	170.39 d	161.74 efg	199.71 b	231.20 c	250.50 c	294.88 b
<b>GD5</b>	183.49 cd	183.80 c	<b>286.72 a</b>	251.16 c	303.35 b	<b>394.09 a</b>

Biyotaar dozu ve GD interaksyonu her iki dönemde de toprağın K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.68). BD x GD interaksyonunda ilk dönem en yüksek toprak K konsantrasyonu her iki dönemde de BD5 x GD5 (333.63 ve 464.11 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonlarında bulunmuştur (Çizelge 4.71). Buna karşılık en düşük toprak K konsantrasyonu ise ilk dönem BD1 x GD1 (85.89 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem ise BD1 x GD3 (117.87 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonlarında gerçekleşmiştir. Her biyotaar dozunda GD artışı ile

birlikte toprak K konsantrasyonu artmıştır. Benzer şekilde her GD dozunda BD artışı ile toprak K konsantrasyonu artmıştır.

Çizelge 4.71. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	<b>85.89 m</b>	106.56 kl	119.96 jk	171.92 f	213.81 d
GD2	97.83 lm	122.36 jk	144.24 hi	164.71 f	212.11 d
GD3	108.42 kl	121.19 jk	147.72 ghi	194.61 e	235.51 c
GD4	119.08 jk	139.71 i	164.61 fg	209.68 de	253.33 b
GD5	130.92 ij	159.36 fgh	197.24 de	268.86 b	<b>333.63 a</b>
2. Dönem					
GD1	132.01 ij	127.19 ij	141.31 ij	176.35 gh	204.43 fg
GD2	133.93 ij	139.03 ij	144.55 hij	158.79 hi	213.59 f
GD3	<b>117.87 j</b>	141.54 ij	156.35 hi	196.73 fg	230.18 ef
GD4	199.58 fg	221.50 ef	254.78 ef	282.28 d	336.17 b
GD5	212.83 f	248.98 de	271.91 de	383.17 b	<b>464.11 a</b>

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörlerinin interaksyonu her iki dönemde de toprak K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.68). Bu üçlü interaksyon ile elde edilen toprak K konsantrasyonuna ait ortalama K konsantrasyonları Çizelge 4.72’de verilmiştir. En yüksek toprak K konsantrasyonuna her iki dönemde de Dökmetepe x fasulye x BD5 ( $473.71$  ve  $518.41 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonları neden olmuştur. En düşük toprak K konsantrasyonları ilk dönem Kömeç x fasulye x BD1 ( $62.67 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Kömeç x çeltik x BD3 ( $126.13 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonları ile elde edilmiştir. Her biyoçar çeşidinde doz artışı toprak K konsantrasyonunda önemli düzeyde artışa neden olurken bu artış K konsantrasyonu diğerlerine kıyasla oldukça yüksek olan fasulye biyoçarı uygulamasında çok daha belirgin olmuştur.

Çizelge 4.72. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
BD1	86.46 q	104.27 pq	<b>62.67 r</b>	158.26 i	116.72 k-o	122.19 k-n
BD2	97.18 pq	113.39 opq	87.97 q	166.46 ghi	133.73 jk	180.28 fgh
BD3	100.98 opq	126.29 m-p	107.65 m-p	183.53 fg	177.02 gh	233.05 d
BD4	123.39 n-q	150.91 h-n	157.45 i	233.27 d	197.63 ef	349.07 b
BD5	134.76 l-p	164.57 g-n	211.17 e	261.57 c	252.28 c	<b>473.71 a</b>
2. Dönem						
BD1	132.64 pq	136.41 pq	152.75 n-q	183.77 i-n	169.19 l-p	180.71 j-n
BD2	134.47pq	140.79 opq	157.07 n-q	194.58 g-m	210.66 g-k	216.31 f-j
BD3	<b>126.13 q</b>	163.83 m-p	175.67 k-o	210.82 g-k	219.37 f-i	266.85 de
BD4	156.79 n-q	184.88 h-n	220.82 fgh	231.15 efg	252.77 def	390.37 b
BD5	167.29 l-p	202.41 g-l	250.55 def	273.32 d	326.19 c	<b>518.41 a</b>

Toprak tipi, BÇ ve GD faktörlerinin interaksyonu her iki yetiştirme döneminde de toprağı K konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge

4.68). Bu interaksiyona ait ortalama toprak K konsantrasyonları Çizelge 4.73’de verilmiştir. İki dönemde de Dökmetepe x fasulye x GD5 (393.39 ve 535.79 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonu diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde yüksek toprak K konsantrasyonu elde edilmesine yol açarken, ilk dönem Kömeç x çeltik x GD1 (83.71 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Kömeç x çeltik x GD2 (105.53 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonları diğer uygulamalara kıyasla daha düşük toprak K konsantrasyonu elde edilmesine neden olmuşlardır. GD4 ve GD5 uygulamaları arasındaki farklılık, GD4 uygulamasında kullanılan biyoçarların öncelikle sıvı hayvan gübresi ile muamele edilmiş olmaları idi. Normal şartlarda sıvı hayvan gübresinden gelen K’un da ilavesi ile GD5’de uygulanan biyoçardan daha yüksek bir K ilavesi söz konusu iken, her 3 biyoçar çeşidinde iki dönemde de K konsantrasyonu GD5 uygulaması altında daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.73. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun döneminde toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	<b>83.71 r</b>	113.67 m-q	116.25 m-p	173.96 gh	142.53 jk	207.65 ef
<b>GD2</b>	95.15 qr	129.58 k-n	108.00 opq	177.59 gh	161.98 hi	217.18 de
<b>GD3</b>	100.87 pqr	132.04 klm	110.80 opq	206.80 ef	165.93 hi	252.49 c
<b>GD4</b>	122.33 l-o	131.15 klm	111.82 n-q	218.45 de	192.33 fg	287.61 b
<b>GD5</b>	140.69 jkl	152.98 i-j	180.05 gh	226.29 d	214.61 de	<b>393.39 a</b>
2. Dönem						
<b>GD1</b>	106.39 mn	141.77 j-n	176.41 g-j	187.00 ghi	130.26 lmn	195.71 f-i
<b>GD2</b>	<b>105.53 n</b>	121.85 m-n	166.11 i-l	178.73 g-j	163.67 i-l	211.99 efg
<b>GD3</b>	142.67 j-m	137.95 k-n	164.48 i-l	125.91 mn	203.31 e-h	236.89 de
<b>GD4</b>	169.78 h-k	197.95 f-i	197.49 f-i	292.63 c	303.05 c	392.28 b
<b>GD5</b>	192.95 f-i	228.81 def	252.38 d	309.37 c	377.89 b	<b>535.79 a</b>

Toprak tipi, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonu her iki dönemde de toprağın K konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.68). Bu interaksiyona ait ortalama toprak K konsantrasyonu değerleri Çizelge 4.74’de verilmiştir. Her iki dönem de en yüksek toprak K konsantrasyonuna Dökmetepe x BD5 x GD5 (433.93 ve 621.01 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonu neden olmuştur. Hem biyoçarların en yüksek dozunun yer aldığı hem de bitki gereksinimi için gerekli olan besin elementlerinin tam olarak verildiği uygulamalar Kömeç toprağında da iki dönem de en yüksek toprak K konsantrasyonu elde edilmesine neden olmuştur. Bununla birlikte Kömeç x BD1 x GD1 (71.87 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonu ilk dönem ve Dökmetepe x BD1 x GD3 (108.56 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonu ikinci dönem en düşük toprak K konsantrasyonlarının elde edildiği interaksiyonlar olmuştur.

Çizelge 4.74. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	<b>71.87</b>	<b>84.52</b>	93.67	122.46	150.21	99.92	128.59 <sub>r-w</sub>	146.26 <sub>o-t</sub>	221.39 <sub>gh</sub>	277.40 <sub>de</sub>
<b>GD2</b>	<b>81.90</b>	95.84	107.54	123.10	146.17	113.76	148.87 <sub>o-r</sub>	180.93 <sub>klm</sub>	206.31 <sub>hij</sub>	278.04 <sub>d</sub>
<b>GD3</b>	<b>86.69</b>	94.26	106.31	130.34	155.26	130.14	148.12 <sub>o-r</sub>	189.13 <sub>jkl</sub>	258.87 <sub>de</sub>	315.76 <sub>c</sub>
<b>GD4</b>	<b>85.16</b>	101.18	110.18	146.47	165.87	153.00	178.24 <sub>k-n</sub>	219.03 <sub>ghi</sub>	272.89 <sub>de</sub>	340.80 <sub>b</sub>
<b>GD5</b>	96.71	121.77	140.50	197.22	233.33	165.12	196.96 <sub>ijk</sub>	253.99 <sub>e-f</sub>	340.49 <sub>b</sub>	<b>433.93 a</b>
2. Dönem										
<b>GD1</b>	140.13	<b>118.74</b>	129.86	150.41	168.48	123.89	135.63 <sub>q-v</sub>	152.76 <sub>n-v</sub>	202.29 <sub>klm</sub>	240.39 <sub>ijk</sub>
<b>GD2</b>	130.09	<b>118.62</b>	124.48	133.68	148.96	137.77	159.44 <sub>m-u</sub>	164.62 <sub>m-u</sub>	183.91 <sub>lp</sub>	278.22 <sub>f-i</sub>
<b>GD3</b>	127.19	139.49	134.56	173.74	166.86	<b>108.56</b>	143.59 <sub>o-v</sub>	178.14 <sub>l-q</sub>	219.71 <sub>jkl</sub>	293.51 <sub>fgh</sub>
<b>GD4</b>	144.62	168.02	188.16	198.97	242.26	254.54	274.98 <sub>f-i</sub>	321.41 <sub>def</sub>	365.59 <sub>d</sub>	430.08 <sub>c</sub>
<b>GD5</b>	160.97	175.69	199.01	280.69	307.21	264.69	322.28 <sub>def</sub>	344.80 <sub>de</sub>	485.64 <sub>b</sub>	<b>621.01 a</b>

Biyoçar çeşidi, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprağın K konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.68). Bu interaksiyona ait ortalama toprak K konsantrasyonları Çizelge 4.75’de verilmiştir. İki dönemde de en yüksek toprak K konsantrasyonu fasulye x BD5 x GD5 ( $533.70$  ve  $672.70 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük toprak K konsantrasyonları ise ilk dönem fasulye x BD1 x GD1 ( $70.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem çeltik x BD1 x GD3 ( $105.85 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında görülmüştür.

Toprak tipi, BÇ, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki yetiştirme döneminde de topraktaki K konsantrasyonları üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.68). Toprak x çeşit x BD x GD interaksiyonlarında elde edilen ortalama K konsantrasyonlarına ait değerler Çizelge 4.76’de verilmiştir. Buna göre en yüksek ortalama K konsantrasyonu elde edilmesine neden olan interaksiyonlar her iki dönemde de Dökmetepe x fasulye x BD5 x GD5 ( $720.73$  ve  $984.07 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonu olmuştur. Buna karşılık en düşük K konsantrasyonuna neden olan uygulamalar ise ilk dönem Kömeç x fasulye x BD1 x GD1 ( $58.83 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x mısır x BD1 x GD1 ( $77.67 \text{ mg kg}^{-1}$ ) olmuştur.

Çizelge 4.75. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	91.90	106.15	110.55	154.98	180.60
	GD2	101.32	118.68	142.17	149.12	170.57
	GD3	128.85	127.98	137.87	171.68	202.80
	GD4	126.22	148.83	151.50	206.77	218.63
	GD5	163.52	157.45	169.20	209.08	218.22
Mısır	GD1	95.48	104.00	116.10	147.22	177.70
	GD2	110.77	126.37	145.02	156.75	190.00
	GD3	107.72	121.33	141.63	174.18	200.05
	GD4	120.42	123.37	170.48	169.05	225.38
	GD5	118.08	142.73	185.03	224.15	248.98
Fasulye	GD1	<b>70.30</b>	109.52	133.23	213.57	283.12
	GD2	<b>81.40</b>	122.02	145.53	188.25	275.75
	GD3	<b>88.68</b>	114.25	163.67	237.95	<b>303.67</b>
	GD4	110.60	146.93	171.83	253.22	<b>315.98 c</b>
	GD5	111.15	177.90	237.50	<b>373.33 b</b>	<b>533.70 a</b>
2. Dönem						
Çeltik	GD1	152.12	123.12	130.20	156.98	171.07
	GD2	125.60	140.98	139.87	122.60	181.60
	GD3	<b>105.85</b>	117.70	115.08	176.57	156.27
	GD4	187.97	221.35	224.48	237.57	284.65
	GD5	219.48	219.48	232.75	276.15	307.95
Mısır	GD1	<b>109.53</b>	<b>108.77</b>	129.75	153.18	178.85
	GD2	<b>111.75</b>	120.60	129.55	152.35	199.53
	GD3	123.63	163.07	154.92	171.23	240.28
	GD4	208.30	215.63	264.33	273.08	291.15
	GD5	210.78	270.57	279.43	<b>344.27 d</b>	<b>411.68 c</b>
Fasulye	GD1	134.38	149.68	163.97	218.88	263.38
	GD2	164.43	155.52	164.23	201.43	259.63
	GD3	124.13	143.85	199.05	242.38	294.00
	GD4	202.48	227.52	275.53	336.18	<b>432.70 c</b>
	GD5	208.22	256.90	303.53	<b>529.08 b</b>	<b>672.70 a</b>



Çizelge 4.76. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın potasyum (K) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömçe	GD1	<b>65.60</b>	74.97	76.93	100.30	100.77	91.17	96.13	107.03	123.40	150.63	<b>58.83</b>	82.47	97.03	143.67	199.23
	GD2	79.13	95.77	101.90	94.67	104.30	100.37	111.60	121.70	140.00	174.23	<b>66.20</b>	80.17	99.03	134.63	159.97
	GD3	87.77	88.70	96.67	105.63	125.60	109.67	112.67	127.50	149.43	160.93	<b>62.63</b>	81.40	94.77	135.97	179.23
	GD4	86.50	104.83	98.17	151.47	170.70	111.00	117.67	125.43	145.53	156.13	<b>57.97</b>	81.03	106.93	142.40	170.77
	GD5	113.30	121.63	131.23	164.87	172.43	109.13	128.90	149.77	196.20	180.90	67.70	114.77	140.50	230.60	346.67
Dökmetepe	GD1	118.20	137.33	144.17	209.67	260.43	99.80	111.87	125.17	171.03	204.77	81.77	136.57	169.43	283.47	367.00
	GD2	123.50	141.60	182.43	203.57	236.83	121.17	141.13	168.33	173.50	205.77	96.60	163.87	192.03	241.87	391.53
	GD3	169.93	167.27	179.07	237.73	280.00	105.77	130.00	155.77	198.93	239.17	114.73	147.10	232.57	339.93	<b>428.10 cd</b>
	GD4	165.93	192.83	204.83	262.07	266.57	129.83	129.07	215.53	192.57	294.63	163.23	212.83	236.73	364.03	<b>461.20 c</b>
	GD5	213.73	193.27	207.17	253.30	264.00	127.03	156.57	220.30	252.10	317.07	154.60	241.03	334.50	<b>516.07 b</b>	<b>720.73 a</b>
2. Dönem																
Kömçe	GD1	138.73	<b>85.00</b>	<b>89.57</b>	102.57	116.10	141.40	121.53	137.07	148.80	160.07	140.27	149.70	162.93	199.87	229.27
	GD2	98.10	95.70	107.10	109.10	117.67	113.97	119.07	119.17	120.40	136.63	178.20	141.10	147.17	171.53	192.57
	GD3	118.00	145.70	120.10	196.83	132.73	126.00	124.50	131.97	146.83	160.43	137.57	148.27	151.60	177.57	207.40
	GD4	134.17	173.37	148.83	158.33	234.20	145.90	172.27	213.33	227.87	230.37	153.80	158.43	202.30	210.70	262.20
	GD5	174.20	172.60	165.07	217.13	235.77	154.80	166.60	217.60	280.50	324.53	153.90	187.87	214.37	344.43	361.33
Dökmetepe	GD1	165.50	161.23	170.83	211.40	226.03	<b>77.67</b>	96.00	122.43	157.57	197.63	128.50	149.67	165.00	237.90	297.50
	GD2	153.10	186.27	172.63	136.10	245.53	109.53	122.13	139.93	184.30	262.43	150.67	169.93	181.30	231.33	326.70
	GD3	93.70	89.70	110.07	156.30	179.80	121.27	201.63	177.87	195.63	320.13	110.70	139.43	246.50	307.20	380.60
	GD4	241.77	269.33	300.13	316.80	335.10	270.70	259.00	315.33	318.30	351.93	251.17	296.60	348.77	461.67	<b>603.20 c</b>
	GD5	264.77	266.37	300.43	335.17	380.13	266.77	374.53	341.27	408.03	<b>498.83 d</b>	262.53	325.93	392.70	<b>713.73 b</b>	<b>984.07 a</b>

#### 4.2.3 Toprağın fosfor konsantrasyonuna etkileri

Biyοçar çeşidi, biyoçar dozu, gübre dozu uygulamalarının iki ayrı toprakta toprağın yarayışlı fosfor (P) konsantrasyonu üzerine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.77’de verilmiştir. Buna göre P konsantrasyonu ilk dönem tüm faktörler ve ikinci dönem ise BD haricindeki tüm faktörler tarafından önemli düzeyde etkilenmiştir. İlk dönem BÇ x GD, BD x GD, T x BD x GD ve BÇ x BD x GD interaksiyonları yarayışlı P konsantrasyonu üzerine önemli etki yapmışlardır. İkinci yetiştirme döneminde ise BD faktörünün olduğu Tx BD, T x BÇ x BD, T x BÇ x GD ve T x BD x GD interaksiyonlarının P konsantrasyonu üzerine etkileri olmaz iken diğere interaksiyonlar P konsantrasyonunu önemli düzeyde etkilemişlerdir. Büyükbaş hayvan gübresi ve çam ağacı kabuklarının karşımının 500 °C’de pirolizi ile hazırladıkları biyoçarı dört ayrı seri toprağına 0, %2.5, %5.0 ve %10.0 (ağırlık esası) dozlarında uygulayan Kolb ve ark. (2009), biyoçar uygulama dozu, toprak tipi, inkübasyon süresi ve tüm olası interaksiyonların (doz x toprak tipi x inkübasyon süresi hariç) ekstrakte edilebilir N, yarayışlı fosfor ve çözünmüş organik karbon konsantrasyonlarını önemli düzeyde etkilediğini bildirmişlerdir. Çalışılan faktörler içerisinde N, P ve C’u en fazla etkileyen faktörün ise toprak olduğu bildirilmiştir.

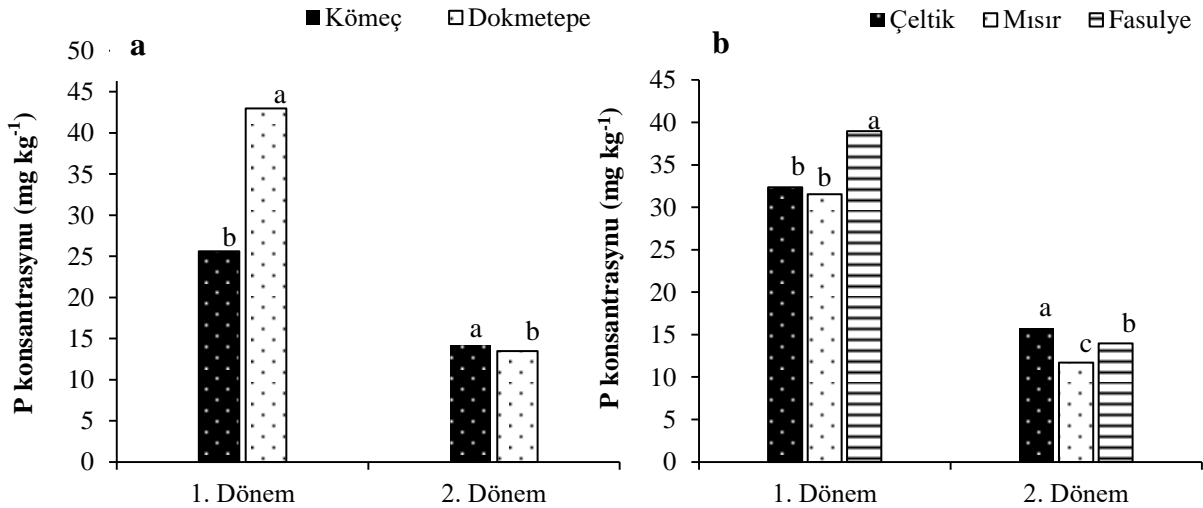
Çizelge 4.77. Uygulamaların toprakların fosfor konsantrasyonuna etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P
Toprak (T)	1	33938.46	33938.46	439.68	<0.0001**	42.01	42.01	5.44	0.0204*
Biyοçar Çeşidi (BÇ)	2	5007.74	2503.87	32.44	<0.0001**	1237.16	618.58	80.10	<0.0001**
Biyοçar Dozu (BD)	4	3706.09	926.52	12.00	<0.0001**	14.40	3.60	0.47	0.7605 <sup>OD</sup>
Gübre Dozu (GD)	4	265780.28	66445.07	860.81	<0.0001**	6578.79	1644.70	212.96	<0.0001**
T*BÇ	2	479.28	239.64	3.10	0.0463*	484.05	242.03	31.34	<0.0001**
T*BD	4	892.95	223.24	2.89	0.0225*	23.36	5.84	0.76	0.5546 <sup>OD</sup>
T*GD	4	2071.95	517.99	6.71	<0.0001**	1604.99	401.25	51.95	<0.0001**
BÇ*BD	8	4314.29	539.29	6.99	<0.0001**	165.30	20.66	2.68	0.0075**
BÇ*GD	8	643.06	80.38	1.04	0.4048 <sup>OD</sup>	215.77	26.97	3.49	0.0007**
BD*GD	16	1472.47	92.03	1.19	0.2728 <sup>OD</sup>	494.41	30.90	4.00	<0.0001**
T*BÇ*BD	8	1709.91	213.74	2.77	0.0057**	90.08	11.26	1.46	0.1721 <sup>OD</sup>
T*BÇ*GD	8	1399.66	174.96	2.27	0.0229*	72.74	9.09	1.18	0.3124 <sup>OD</sup>
T*BD*GD	16	1914.07	119.63	1.55	0.0816 <sup>OD</sup>	154.22	9.64	1.25	0.2304 <sup>OD</sup>
BÇ*BD*GD	32	3393.13	106.04	1.37	0.0922 <sup>OD</sup>	407.60	12.74	1.65	0.0178*
T*BÇ*BD*GD	32	5663.48	176.98	2.29	0.0002**	507.51	15.86	2.05	0.0010**

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Toprak tipi toprağın P konsantrasyonu üzerine ilk dönem P<0.01 ve ikinci dönem P<0.05 önem düzeyinde etki etmiştir (Çizelge 4.77). Her iki toprakta da ilk dönem ortalama P konsantrasyonu ikinci döneme kıyasla daha yüksek bulunmuştur. İlk dönem en yüksek P konsantrasyonu 42.99 mg kg<sup>-1</sup> ile Dökmetepe toprağında ve ikinci dönem ise 14.11 mg kg<sup>-1</sup>

ile Kömeç toprağında bulunmuştur (Şekil 4.41a). Deneme başlangıcında biyoçar materyalleri, sıvı hayvan gübresi ve gübreleme ile toprağa yapılan P ilavesi ilk dönem P konsantrasyonunun ikinci dönemden çok daha yüksek olmasına neden olmuştur. Deneme başlamadan önce yapılan analiz sonuçlarına göre her iki toprak yarıyışlı fosfor kapsamı açısından yetersizdir. Kömeç toprağında  $7.82 \text{ mg kg}^{-1}$  ve Dökmetepe toprağında  $1.44 \text{ mg kg}^{-1}$  yarıyışlı P konsantrasyonu olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.4). Her iki toprakta da biyoçar ilaveleri ile birlikte toprağın P konsantrasyonu önemli oranda artış göstermiştir. Toprağa buğday bitkisinin ihtiyacı olan temel besin elementlerinden birisi olan P,  $\text{CaH}_4\text{O}_8\text{P}_2$  formunda  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  P olacak şekilde uygulanmıştır. Ayrıca uygulanan sıvı hayvan gübresinde  $58 \text{ mg kg}^{-1}$  P (Çizelge 3.2) ve biyoçarlardan fasulyede %0.56, çeltikte %0.01 ve mısırdaki %0.04 oranında P bulunmakta idi. İkinci dönem sadece  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  P ( $\text{CaH}_4\text{O}_8\text{P}_2$  formunda) katılımı olmuştur. Tüm bu kaynaklardan katılan P iki dönem arasındaki farkın da büyük olmasına neden olmuştur. Biyoçar uygulaması ile toprağın P konsantrasyonunun değişimi konusunda farklı sonuçlar rapor edilmiştir. Tınlı bir toprağa  $30 \text{ Mg ha}^{-1}$  çam odunu biyoçarı uygulayan Foster ve ark. (2016), biyoçar uygulamasının toprağın P konsantrasyonunda önemli bir değişime neden olmadığını bildirmişlerdir. Başlangıçta biyoçar ile birlikte ilave edilen küçük bir miktar P'un mikroorganizma tarafından immobilize edildiği ve hızlı bitki alımı ile dengelendiği belirtilmiştir. Bu durumun yarıyışlı fosfor konsantrasyonunun değişmesini önlediğini bildirmişlerdir. Jay ve ark. (2015) ise biyoçar uygulamasında artan pH nedeni ile P'un biyoçar yüzeyinde adsorbe olduğunu bildirmiş ve bu olayın ekstrakte edilebilir P konsantrasyonunun azalmasına yol açtığını bildirmişlerdir.



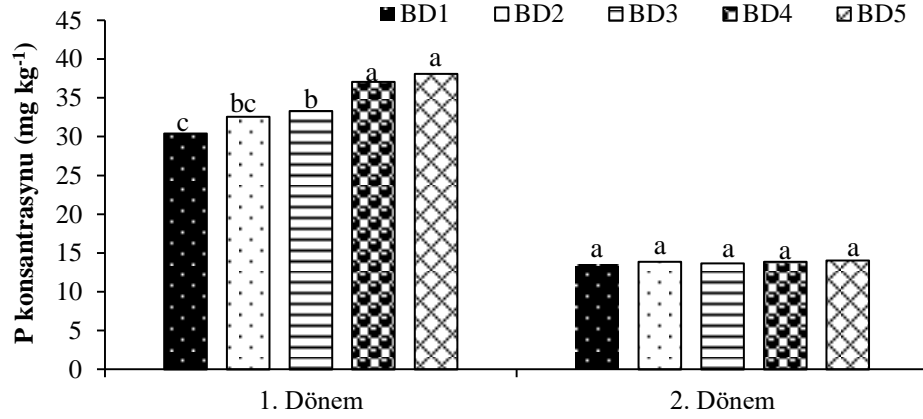
Şekil 4.41. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyoçar çeşidi altında fosfor (P) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

Biyoçar çeşidi her iki dönemde de topraktaki P konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.77). Biyoçar çeşitleri altında toprak P konsantrasyonuna ait ortalama değerler Şekil 4.41b’de gösterilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek P konsantrasyonu fasulye biyoçarı ( $32.37 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulanan topraklarda ikinci dönem ise çeltik biyoçarı ( $15.76 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulanan topraklarda elde edilmiştir. Her iki dönemde de en düşük P konsantrasyonu mısır biyoçarı ( $31.54$  ve  $11.71 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulanan topraklarda bulunmuştur.

Biyoçar dozu faktörü topraktaki P konsantrasyonu üzerine  $P < 0.01$  önem düzeyinde etkili olurken, ikinci dönem biyoçar dozunun P konsantrasyonu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ( $P = 0.7605$ ) (Çizelge 4.77). İlk dönem biyoçar dozu artışı ile doğru orantılı bir şekilde toprağın P konsantrasyonu artışı söz konusu iken, ikinci dönem farklı biyoçar dozu uygulanan topraklar arasında önemli bir farkın kalmadığı görülmüştür. İlk dönem en düşük P konsantrasyonu  $30.42 \text{ mg kg}^{-1}$  ile BD1 ve en yüksek P konsantrasyonu ise  $38.11 \text{ mg kg}^{-1}$  ile BD5 uygulamalarında elde edilmiştir (Şekil 4.42). Yakın zamanda üretilmiş olan biyoçar materyallerinin toprağa katılmasının çözünmüş organik madde ilavesinden dolayı mikroorganizma aktivitesini dolayısı ile besin elementi miktarını arttırdığı rapor edilmiştir (Jenerette ve Chatterjee, 2012). İlk dönem tespit edilen biyoçar dozu ile artan P konsantrasyonu Kolb ve ark. (2009)’nın sonuçları ile uyumludur. Dört ayrı toprak serisinde biyoçar uygulamaları yapan araştırmacılar, yarayışlı P konsantrasyonunun biyoçar miktarı ve inkübasyon süresi ile artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, denemede kullanılan biyoçarın hayvan gübresi katkısından dolayı P bakımından zengin olmasının BD artışı ile toprağın yarayışlı P konsantrasyonunu arttırdığını belirtmişlerdir. En yüksek dozda ilave edilen P miktarının toprağa  $275 \text{ mg P kg}^{-1}$  elementel P ilavesine eş değer olduğu bildirilmiştir. En yüksek dozda biyoçar ilavesinde, yarayışlı fosforun %12 ile %16’sının serbest hale geçtiği bildirilirken, 3 aylık inkübasyon sonunda toplam yarayışlı fosforun %18 ile %25’inin yarayışlı hale geçtiği görülmüştür. Bu nedenle de inkübasyon süresi artışı ile toprağın yarayışlı P konsantrasyonunu arttırmıştır.

İkinci dönem P konsantrasyonu, tüm biyoçar dozlarında ilk döneme kıyasla önemli düzeyde azalma göstermiştir. İlk dönem biyoçar uygulamaları kontrole kıyasla daha yüksek P konsantrasyonuna sahip olmalarına rağmen ikinci dönem sonunda biyoçar dozları arasında herhangi bir farkın kalmadığı görülmüştür. Üç yıl devam ettirdikleri tarla denemesinde Hansen ve ark. (2017), biyoçar uygulamasının yarayışlı P konsantrasyonunda önemli bir değişime neden olmadığını ifade etmişlerdir. Benzer şekilde Prapagdee ve Tawinteung (2017)’da fosforun N ve K’a nazaran daha hareketli olmasından dolayı biyoçar

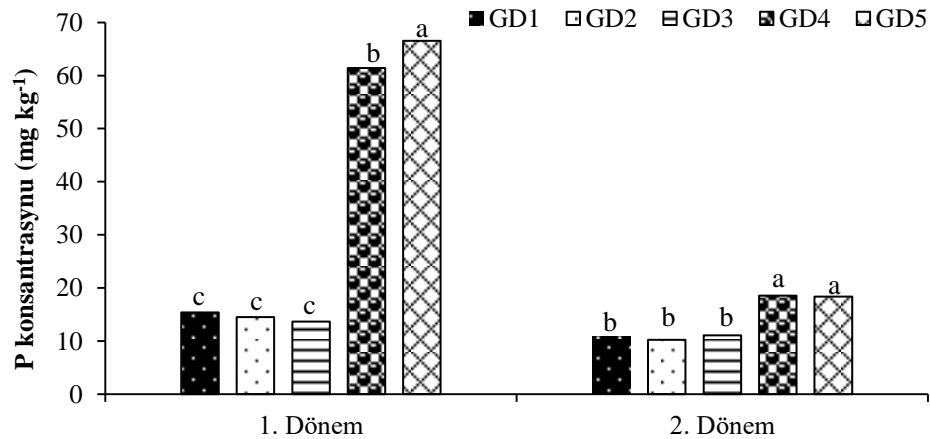
uygulamalarından etkilenmediğini belirtmişlerdir. Bu çalışmada da daha önce belirtildiği gibi ilk uygulama döneminde farklı kaynaklardan katılan yarayışlı P'nin bitki tarafından tüketilmesi, ikinci dönem biyoçar dozları arasındaki P konsantrasyonu farkının ortadan kalkmasına neden olmuştur.



Şekil 4.42. Biyoçar dozu uygulamalarının toprakların fosfor (P) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

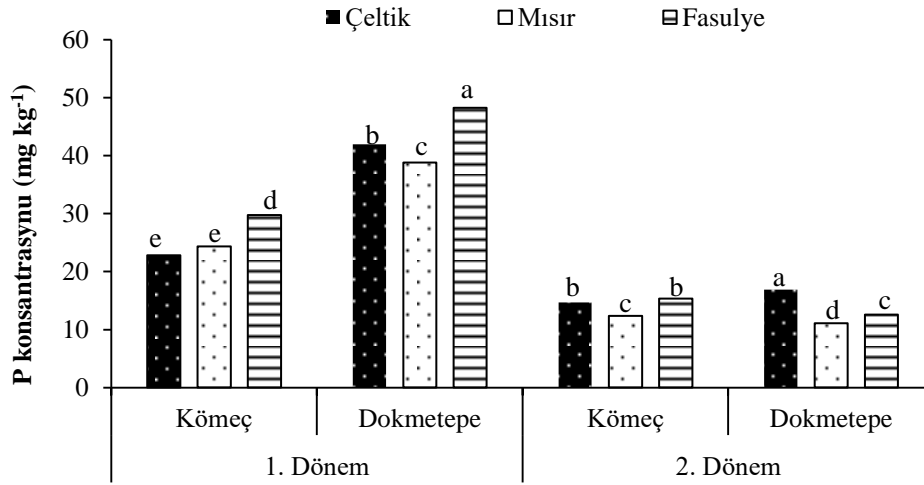
BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

Gübre dozu uygulamaları topraktaki P konsantrasyonu üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.77). Besin elementi takviyesinin %100 şeklinde yapıldığı GD4 ve GD5 uygulamaları altında toprağın P konsantrasyonu diğer uygulamalara kıyasla her iki dönemde de önemli düzeyde farklılık göstermiştir. İlk dönem, besin elementi takviyesinin yapılmadığı sadece sıvı hayvan gübresi ve biyoçardan gelen P katılımının olduğu GD1 uygulamasında ilk dönem  $15.39 \text{ mg kg}^{-1}$  olan P konsantrasyonu GD4 ve GD5 uygulamalarında sırası ile  $61.44$  ve  $66.55 \text{ mg kg}^{-1}$ 'a yükselmiştir (Şekil 4.43). İkinci dönemde de GD1 ve GD ile BGD5 uygulamaları arasında farklılık oluşmasına rağmen bu farkın ilk dönemdeki kadar yüksek olmadığı görülmüştür.



Şekil 4.43. Gübre uygulamalarının toprakların fosfor (P) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri  
GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak tipi ve BÇ faktörlerinin interaksyonu ilk dönem kısmen ( $P=0.0463$ ) ancak ikinci dönem önemli düzeyde topraktaki P konsantrasyonu üzerine etki yapmıştır (Çizelge 4.77). Bu interaksyona ait ortalama P konsantrasyonları Şekil 4.44’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek P konsantrasyonu Dökmetepe x fasulye ( $48.24 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonunda ikinci dönem ise Dökmetepe x çeltik ( $16.86 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonunda elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük P konsantrasyonu ilk dönem Kömeç x çeltik ( $22.80 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x mısır ( $11.07 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonunda gerçekleşmiştir. İkinci dönem her iki toprakta da tüm biyoçar çeşitleri altında P konsantrasyonu ilk döneme kıyasla önemli düzeyde azalmıştır.



Şekil 4.44. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprakta fosfor (P) konsantrasyonlarına ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksyonu toprak P konsantrasyonu üzerine ilk dönem istatistiksel olarak önemli ( $P=0.0225$ ) etki yapmış ancak ikinci dönem bu etki önemsiz ( $P=0.5546$ ) olmuştur (Çizelge 4.77). Toprak x BD interaksyonuna ait ortalama toprak P konsantrasyonu verileri Çizelge 4.78’te verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama toprak P konsantrasyonu Dökmetepe x BD4 ( $48.11 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük P ise Kömeç x BD1 ( $23.15 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonlarında gerçekleşmiştir. İkinci dönemde ise her iki toprakta uygulanan tüm BD altında istatistiksel olarak benzer bulunmuştur. İlk dönem BD artışı ile birlikte toprak P konsantrasyonu artarken ikinci dönemde böyle bir eğilim her iki toprakta da tespit edilememiştir.

Çizelge 4.78. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	<b>23.15 f</b>	37.69 d	13.39 a	13.66 a
<b>BD2</b>	<b>24.42 f</b>	40.72 cd	14.40 a	13.37 a
<b>BD3</b>	<b>23.85 f</b>	42.83 bc	14.12 a	13.26 a
<b>BD4</b>	<b>26.04 f</b>	<b>48.11 a</b>	14.25 a	13.53 a

<b>BD5</b>	30.64 e	45.59 ab	14.40 a	13.68 a
<b>GD1</b>	<b>8.08 e</b>	22.70 d	<b>9.46 d</b>	12.06 c
<b>GD2</b>	<b>7.50 e</b>	21.47 d	<b>8.83 d</b>	11.66 c
<b>GD3</b>	<b>7.06 e</b>	20.24 d	<b>10.12 d</b>	12.03 c
<b>GD4</b>	50.63 c	72.25 b	<b>21.44 a</b>	15.67 b
<b>GD5</b>	54.81 c	<b>78.29 a</b>	<b>20.72 a</b>	16.09 b

Biyotaar eesidi ve biyotaar dozu faktörlerinin interaksyonunda her iki dönemde de toprak P konsantrasyonu önemli düzeyde etkilenmiş ( $P<0.01$ ) ve farklılaşmıştır (Çizelge 4.77). İlk dönem en yüksek ortalama toprak P konsantrasyonu fasulye x BD4 (46.56 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD5 (47.85 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonlarında ve en düşük P konsantrasyonu ise fasulye x BD1 (29.35 mg kg<sup>-1</sup>) ve mısır x BD2 (29.53 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonlarında elde edilmiştir. İkinci dönemde ise en yüksek P, eeltik x BD4 (16.43 mg kg<sup>-1</sup>) ve en düşük P ise mısır x BD1 (11.42 mg kg<sup>-1</sup>), BD3 (11.44 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD5 (11.07 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.79).

Biyotaar eesidi ve gübre dozu faktörlerinin interaksyonu ilk dönem toprak P konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yapmaz ( $P=0.4048$ ) iken ikinci dönem istatistiksel olarak önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etki yapmıştır (Çizelge 4.77). En yüksek P konsantrasyonu ilk dönem fasulye x GD5 (74.05 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem eeltik x GD4 (21.04 mg kg<sup>-1</sup>) ve GD5 (21.78 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonlarında görülmüştür. En düşük P konsantrasyonları ise her iki dönemde de mısır x GD3 (I. Dönem 10.85 ve II. Dönem 8.37 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamasında gerçekleşmiştir. Her iki dönemde de tüm biyotaar çeşitleri altında GD4 ve GD5 uygulamaları diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde daha yüksek toprak P konsantrasyonuna neden olmuşlardır (Çizelge 4.79).

Çizelge 4.79. Biyotaar eesidi x biyotaar dozu (BD) ve biyotaar eesidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	30.26 bc	31.66 bc	<b>29.35 c</b>	15.72 ab	<b>11.42 f</b>	13.44 cde
<b>BD2</b>	32.54 bc	<b>29.53 c</b>	35.64 b	14.49 bcd	12.83 def	14.34 bcd
<b>BD3</b>	31.57 bc	32.86 bc	35.59 b	16.10 ab	<b>11.44 f</b>	13.53 cde
<b>BD4</b>	33.16 bc	31.49 bc	<b>46.56 a</b>	<b>16.43 a</b>	11.76 ef	13.48 cde
<b>BD5</b>	34.31 bc	32.18 bc	<b>47.85 a</b>	16.05 ab	<b>11.07 f</b>	15.00 abc
<b>GD1</b>	14.63 d-g	12.61 efg	18.93 d	11.90 de	9.23 fg	11.15 de
<b>GD2</b>	12.20 fg	12.78 efg	18.48 de	11.45 de	8.73 fg	10.56 ef
<b>GD3</b>	13.18 d-g	<b>10.85 g</b>	16.92 def	12.62 d	<b>8.37 g</b>	12.23 de
<b>GD4</b>	58.69 bc	59.03 c	66.60 b	<b>21.04 a</b>	16.43 bc	18.18 b
<b>GD5</b>	63.14 c	62.46 bc	<b>74.05 a</b>	<b>21.78 a</b>	15.76 c	17.67 b

Biyotaar dozu ve GD interaksyonu ilk dönem toprak P konsantrasyonu üzerine önemli bir etki yapmamış ( $P=0.2728$ ), ancak bu etki ikinci dönem önemli ( $P<0.01$ ) hale gelmiştir

(Çizelge 4.77). Biyoçar dozu x GD interaksiyonunda elde edilen ortalama toprak P konsantrasyonuna ait veriler Çizelge 4.80'de gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek P konsantrasyonuna neden olan interaksiyon BD5 x GD5 (73.56 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem ise BD1 x GD5 (20.55 mg kg<sup>-1</sup>) olmuştur. En düşük toprak P konsantrasyonları ise ilk dönem BD2 x GD3 (10.18 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD1 x GD3 (8.57 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.80). Tüm BD için en yüksek P konsantrasyonları GD4 ve GD5 uygulamalarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.80. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	11.62 ef	13.20 def	13.18 def	18.35 de	20.62 d
GD2	11.41 ef	12.48 ef	15.59 def	17.10 def	15.86 def
GD3	12.81 ef	<b>10.18 f</b>	12.84 ef	16.46 def	15.95 def
GD4	57.88 c	58.69 c	62.19 bc	63.86 bc	64.58 bc
GD5	58.40 c	68.30 ab	62.92 bc	69.58 ab	<b>73.56 a</b>
2. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	9.39 fg	10.63 d-g	10.09 efg	11.48 def	12.21 de
GD2	9.65 fg	10.24 d-g	10.51 d-g	10.10 efg	10.72 d-g
GD3	<b>8.57 g</b>	10.17 efg	11.66 def	12.39 de	12.58 d
GD4	19.47 ab	19.44 ab	17.89 bc	18.25 abc	17.72 bc
GD5	<b>20.55 a</b>	18.96 abc	18.30 abc	17.24 bc	16.97 c

Toprak, BÇ ve BD faktörlerinin interaksiyonu toprağın P konsantrasyonu üzerine ilk dönem P<0.01 önem seviyesinde etki ederken, ikinci dönem bu interaksiyonlar toprak P konsantrasyonu üzerine önemli etki (P=0.1721) yapmamıştır (Çizelge 4.77). Toprak x çeşit x BD interaksiyonlarında elde edilen ortalama P konsantrasyonları Çizelge 4.81'de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek P konsantrasyonları Dökmetepe x fasulye x BD4 (61.64 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD5 (58.62 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında, ikinci dönem ise Dökmetepe x çeltik x BD4 (18.42 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonunda elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük P konsantrasyonları ise ilk dönem Kömeç x çeltik x BD3 (20.27 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x mısır x BD4 (10.25 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD5 (10.60 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında bulunmuştur. İkinci dönem P konsantrasyonları her iki toprakta uygulanan 3 biyoçar çeşidinin beş dozunda da ikinci döneme kıyasla oldukça düşük düzeydedir.

Çizelge 4.81. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
BD1	20.84 hi	24.74 ghi	23.88 ghi	39.68 bcd	38.58 bcd	34.81 c-f
BD2	23.21 ghi	21.21 hi	28.83 e-h	41.88 bc	37.84 bcd	42.45 bc
BD3	<b>20.27 i</b>	23.79 ghi	27.49 f-i	42.88 bc	41.93 cd	43.68 b
BD4	23.97 ghi	22.66 hi	31.48 d-g	42.36 bc	40.32 cd	<b>61.64 a</b>
BD5	25.71 ghi	29.13 e-h	37.08 b-e	42.91 bc	35.24 c-f	<b>58.62 a</b>



2. Dönem						
<b>BD1</b>	14.05 d-k	11.58 klm	14.54 c-j	17.39 ab	11.26 lm	12.34 i-m
<b>BD2</b>	13.67 e-l	13.70 e-l	15.84 a-g	15.31 b-h	11.96 j-m	12.85 h-m
<b>BD3</b>	16.04 a-f	11.62 klm	14.70 c-	16.16 a-e	11.27 lm	12.36 i-m
<b>BD4</b>	14.44 c-j	13.28 g-l	15.04 b-h	<b>18.42 a</b>	<b>10.25 m</b>	11.92 j-m
<b>BD5</b>	15.10 b-h	11.55 klm	16.55 a-d	17.00 abc	<b>10.60 m</b>	13.45 f-l

Toprak tipi, BÇ ve GD faktörlerinin interaksyonları toprak P konsantrasyonu üzerine ilk dönem  $P < 0.05$  ( $P = 0.0229$ ) düzeyinde etkili olurken, ikinci dönem bu etki istatistiksel olarak önemsiz ( $P = 0.3124$ ) düzeyde kalmıştır (Çizelge 4.77). İlk dönem en yüksek P konsantrasyonu Dökmetepe x fasulye x GD5 ( $90.26 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Kömeç x fasulye x GD4 ( $22.06 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonlarında bulunmuştur. İki dönemde de her iki toprağın tüm biyoçar çeşitlerinde en yüksek P, GD4 ve GD5 uygulamaları ile elde edilmiştir. İlk dönem en düşük P konsantrasyonu Kömeç x mısır x GD1 ( $5.12 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Kömeç x mısır x GD3 ( $7.55 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.82).

Çizelge 4.82. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun döneminde toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	<b>6.13 k</b>	<b>5.12 k</b>	13.00 h-k	23.14 fg	20.10 fgh	24.87 f
<b>GD2</b>	<b>5.53 k</b>	<b>5.96 k</b>	11.03 ijk	18.87 f-i	19.60 fgh	25.94 f
<b>GD3</b>	<b>5.21 k</b>	<b>6.44 k</b>	9.53 jk	21.15 fgh	15.25 g-j	24.30 f
<b>GD4</b>	46.40 e	48.14 de	57.36 c	70.98 b	69.91 b	75.84 b
<b>GD5</b>	50.72 cde	55.88 cd	57.84 c	75.55 b	69.05 b	<b>90.26 a</b>
2. Dönem						
<b>GD1</b>	9.21 hij	8.23 ij	10.94 fgh	14.59 cd	10.23 ghi	11.37 e-h
<b>GD2</b>	9.13 hij	<b>7.57 j</b>	9.77 hij	13.76 cde	9.89 g-j	11.34 e-h
<b>GD3</b>	9.65 hij	<b>7.55 j</b>	13.17 c-f	15.60 c	9.19 hij	11.29 e-h
<b>GD4</b>	<b>22.93 a</b>	19.33 b	<b>22.06 a</b>	19.16 b	13.54 c-f	14.31 cd
<b>GD5</b>	<b>22.38 a</b>	19.04 b	20.73 ab	21.18 ab	12.49 d-g	14.60 cd

Toprak tipi, biyoçar dozu ve gübre dozu faktörlerinin interaksyonu toprağın P konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de (I. Dönem  $P = 0.0816$  ve II. Dönem  $0.2304$ ) önemli düzeyde etki etmemiştir (Çizelge 4.77). Bu interaksyonlara ait ortalama P konsantrasyonu verileri Çizelge 4.83'de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek P konsantrasyonuna neden olan interaksyon Dökmetepe x BD4 x GD5 ( $87.52 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük P konsantrasyonuna neden olan interaksyon ise Kömeç x BD1 x GD3 ( $5.21 \text{ mg kg}^{-1}$ ) olmuştur. İkinci dönem ise en yüksek P Kömeç x BD1 x GD5 ( $23.31 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük P ise Kömeç x BD1 x GD2 ( $6.49 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksyonları ile gerçekleşmiştir.

Biyoçar çeşidi, BD ve GD interaksyonları ilk dönem toprağın P konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmaz iken ikinci dönem  $P < 0.05$  düzeyinde etki yapmıştır (Çizelge 4.77). Bu interaksyona ait ortalama P konsantrasyonu verileri Çizelge 4.84'da

verilmiştir. İlk dönem fasulye x BD5 x GD4 (85.01 mg kg<sup>-1</sup>) ve GD5 (83.16 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonları ve ikinci dönem çeltik x BD1 x GD5 (24.32 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonu en yüksek P konsantrasyonuna neden olmuştur. En düşük P konsantrasyonuna ise ilk dönem fasulye x BD1 x GD3 (9.78 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem fasulye x BD1 x GD3 (6.81 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonlarında elde edilmiştir.



Çizelge 4.83. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	<b>5.89q</b>	7.01hq	7.17pq	8.91n-q	11.43m-q	17.35k-p	19.39j-n	19.18j-o	27.78jk	29.82j
<b>GD2</b>	<b>5.35q</b>	5.48q	8.57opq	8.77n-q	9.37n-q	17.47k-p	19.48j-n	22.61j-l	25.44jkl	22.35jkl
<b>GD3</b>	<b>5.21q</b>	<b>5.34q</b>	<b>6.44q</b>	8.93n-q	9.40n-q	20.41j-m	15.03l-q	19.24j-o	24.00jkl	22.50jkl
<b>GD4</b>	45.89i	49.01hi	49.44hi	51.95hi	56.89fgh	69.87ced	68.37cde	74.94bcd	75.78bcd	72.27b-e
<b>GD5</b>	53.43ghi	55.25ghi	47.64hi	51.63hi	66.12def	63.37efg	81.35ab	78.19abc	<b>87.52a</b>	81.01ab
2. Dönem										
<b>GD1</b>	8.06stu	9.24p-u	8.60r-u	10.25n-t	11.14m-s	10.73n-s	12.01k-q	11.59l-r	12.70j-o	13.28h-n
<b>GD2</b>	<b>6.49u</b>	9.09q-u	9.62o-u	8.88q-u	10.05n-t	12.81i-o	11.40l-s	11.40l-s	11.32m-s	11.38m-s
<b>GD3</b>	6.88tu	9.00q-u	10.14n-t	12.62j-p	11.98k-r	10.26n-t	11.34m-s	13.19h-n	12.17k-q	13.18h-n
<b>GD4</b>	22.21ab	<b>22.69a</b>	21.37abc	20.27a-d	20.65a-d	16.72efg	16.19e-i	14.42g-m	16.22e-h	14.79f-l
<b>GD5</b>	<b>23.31a</b>	21.99ab	20.88a-d	19.24b-e	18.17c-f	17.79d-g	15.93e-j	15.72f-j	15.24f-k	15.77f-j

Çizelge 4.84. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	11.49m-p	13.20k-p	11.69l-p	12.90k-p	23.88i-n
	GD2	11.01nop	12.37k-p	13.41k-p	11.55l-p	12.67k-p
	GD3	18.40i-p	10.49op	10.95nop	12.83k-p	13.25k-p
	GD4	51.10h	57.75e-h	59.42e-h	64.87c-g	60.30e-h
	GD5	59.30e-h	68.90b-f	62.39d-h	63.65d-h	61.44d-h
Mısır	GD1	13.02k-p	12.49k-p	11.87l-p	12.84k-p	12.82k-p
	GD2	12.28k-p	11.29nop	18.25i-p	11.83l-p	10.25op
	GD3	10.24op	9.59p	10.64o-p	13.73k-p	10.03op
	GD4	66.48c-g	56.17fgh	61.76d-h	57.14e-h	53.58gh
	GD5	56.27fgh	58.10e-h	61.81d-h	61.91d-h	74.24a-d
Fasulye	GD1	10.34op	13.91k-p	15.97j-p	29.29i	25.16ijk
	GD2	10.94nop	13.78k-p	15.11j-p	27.93ij	24.65i-l
	GD3	<b>9.78op</b>	10.47op	16.92i-p	22.84i-o	24.59i-m
	GD4	56.06fgh	62.14d-h	65.38c-g	69.58b-e	79.85ab
	GD5	59.62e-h	77.89abc	64.56d-g	<b>83.16a</b>	<b>85.01a</b>
2. Dönem						
Çeltik	GD1	11.39p-c	10.43s-d	12.01m-b	13.35l-v	12.31m-z
	GD2	10.46a-d	10.75r-d	11.33p-c	11.86n-c	12.84l-w
	GD3	10.25t-d	10.89q-d	14.30j-t	12.72l-x	14.97h-q
	GD4	22.20abc	20.01b-f	20.51a-e	21.92a-d	20.58a-e
	GD5	<b>24.32a</b>	20.37a-e	22.35a-d	22.30ab	19.56b-g
Mısır	GD1	8.19z-d	9.34v-d	8.78w-d	9.47v-d	10.38s-d
	GD2	8.40y-d	9.66v-d	9.52v-d	7.98a-d	8.08a-d
	GD3	8.65x-d	7.94a-d	8.24z-d	9.23v-d	7.77a-d
	GD4	16.04f-m	18.51b-i	14.96h-q	18.05c-k	14.63h-r
	GD5	15.82g-n	18.68b-h	15.72g-o	14.09j-u	14.51i-s
Fasulye	GD1	8.61x-d	12.11m-a	9.48v-d	11.62o-c	13.95k-u
	GD2	10.10u-d	10.32t-d	10.70r-d	10.45s-d	11.23p-c
	GD3	<b>6.81ad</b>	11.67n-c	12.44m-y	15.23h-p	15.00h-q
	GD4	20.17a-f	19.80b-g	18.21b-j	14.77h-r	17.97d-k
	GD5	21.51a-d	17.82d-k	16.84e-l	15.33h-p	16.83e-l

Toprak tipi, BÇ, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprağın P konsantrasyonu üzerine  $P < 0.01$  önem düzeyinde etkili olmuştur (Çizelge 4.77). Bu interaksiyonlarda elde edilen ortalama P konsantrasyonuna ait veriler Çizelge 4.85’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama P konsantrasyonu Dökmetepe x fasulye x BD4 x GD5 ( $110.24 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve BD5 x GD5 ( $114.49 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında ve en düşük P konsantrasyonu ise Kömeç x çeltik x BD1 x GD3 ( $4.39 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve Kömeç x mısır x BD2 x GD1 ( $4.44 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir. İkinci dönemde ise en yüksek P konsantrasyonu Kömeç x fasulye x BD1 x GD5 ( $26.76 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve en düşük P konsantrasyonu ise Kömeç x çeltik x BD1 x GD2 ( $4.96 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.85. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın fosfor (P) konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	4.93	6.66	5.99	6.01	7.06	5.40	4.44	5.11	5.52	5.14	7.34	9.94	10.43	15.20	22.09
	GD2	5.04	4.97	5.69	5.29	6.65	5.00	4.79	10.28	4.81	4.91	6.00	6.67	9.74	16.19	16.54
	GD3	4.39	4.75	5.14	4.92	6.87	5.47	4.89	5.34	10.84	5.68	5.77	6.38	8.84	11.02	15.66
	GD4	36.19	45.93	43.46	53.50	52.94	59.07	48.08	47.94	43.47	42.13	42.40	53.01	56.91	58.88	75.59
	GD5	53.64	53.73	41.08	50.12	55.03	48.75	43.86	50.30	48.67	87.79 b	57.90	68.14	51.54	56.09	55.53
Döknetepe	GD1	18.05	19.75	17.39	19.80	40.71	20.64	20.53	18.63	20.17	20.51	13.35	17.87	21.52	43.37	28.23
	GD2	16.98	19.76	21.13	17.81	18.70	19.56	17.78	26.21	18.85	15.59	15.87	20.90	20.48	39.68	32.76
	GD3	32.42	16.23	16.76	20.73	19.63	15.02	14.29	15.95	16.62	14.37	13.79	14.56	25.00	34.65	33.51
	GD4	66.01	69.58	75.39	76.25	67.67	73.90	64.25	75.58	70.81	65.03	69.71	71.27	73.86	80.28	84.10 bc
	GD5	64.96	84.06	83.71	77.19	67.85	63.78	72.34	73.31	75.15	60.68	61.35	87.64 b	77.57	110.24 a	114.49 a
2. Dönem																
Kömeç	GD1	8.20	8.48	9.38	9.39	10.60	7.01	7.69	7.81	8.85	9.78	8.96	11.56	8.61	12.53	13.06
	GD2	4.96	9.32	10.07	9.30	12.01	7.13	8.08	8.01	7.06	7.58	7.40	9.85	10.80	10.27	10.55
	GD3	7.02	6.84	10.36	11.46	12.57	8.29	6.45	7.55	9.40	6.04	5.32	13.71	12.50	17.00	17.32
	GD4	25.80 ab	21.87	24.82	19.77	22.40	16.57	22.36	15.80	24.62 a-e	17.30	24.26	23.85	23.48	16.42	22.27
	GD5	24.29	21.83	25.58 abc	22.28	17.93	18.88	23.90	18.94	16.45	17.05	26.76 a	20.23	18.13	19.00	19.53
Döknetepe	GD1	14.57	12.39	14.65	17.31	14.02	9.36	10.98	9.76	10.08	10.98	8.26	12.66	10.35	10.71	14.85
	GD2	15.96	12.17	12.58	14.43	13.66	9.67	11.25	11.04	8.90	8.59	12.80	10.79	10.59	10.63	11.90
	GD3	13.47	14.94	18.25	13.99	17.36	9.00	9.44	8.94	9.06	9.50	8.30	9.63	12.38	13.46	12.69
	GD4	18.59	18.15	16.20	24.07	18.76	15.50	14.66	14.11	11.47	11.95	16.08	15.75	12.93	13.12	13.67
	GD5	24.35	18.90	19.13	22.31	21.19	12.76	13.47	12.49	11.73	11.97	16.25	15.41	15.54	11.67	14.13

#### 4.2.4. Toprağın pH'sına etkileri

Sera denemesinde uygulamaların ve karşılıklı interaksiyonlarının toprağın pH'sı üzerine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.86'da verilmiştir. Biyoçar uygulamaları ile bitki besin elementleri yayarışlılığının artışı asidik topraklarda pH artışı, yüzey alanı ve kation değişim kapasitesindeki artıştan dolayı besin elementlerinin yıkanmayarak toprakta tutunması veya biyoçar yüzeyinde bulunan besin elementlerinin direk olarak toprağa salıverilmeleri ile açıklanmıştır (DeLuca ve ark., 2015; Clough ve ark., 2013; Subedi ve ark., 2016b). Alkali karakterinden dolayı biyoçar bugüne kadar çoğunlukla asit karakterli topraklarda uygulanmış ve pH artışı nedeni ile besin elementlerinin yayarışlılıklarını arttırdığı rapor edilmiştir. Toprak pH'sı ilk dönemde BD haricindeki üç faktör tarafından önemli düzeyde etkilenmiştir. Faktörlerin karşılıklı etkileşiminden ise sadece T x GD ve BÇ x BD toprak pH'sı üzerine önemli etki yapmışlardır. Diğer interaksiyonların hiçbirinin pH üzerine etkisi önemli bulunmamıştır. İkinci yetiştirme dönemi sonunda ise bireysel faktörlerden BÇ ve GD toprak pH'sının farklılaşmasına neden olmuşlardır. Bu dönemde bireysel faktörlerin interaksiyonlarından BD x GD, T x BÇ x BD, BÇ x BD x GD ve T x BÇ x BD x GD toprak pH'sı üzerine önemli düzeyde etki yapmışlardır.

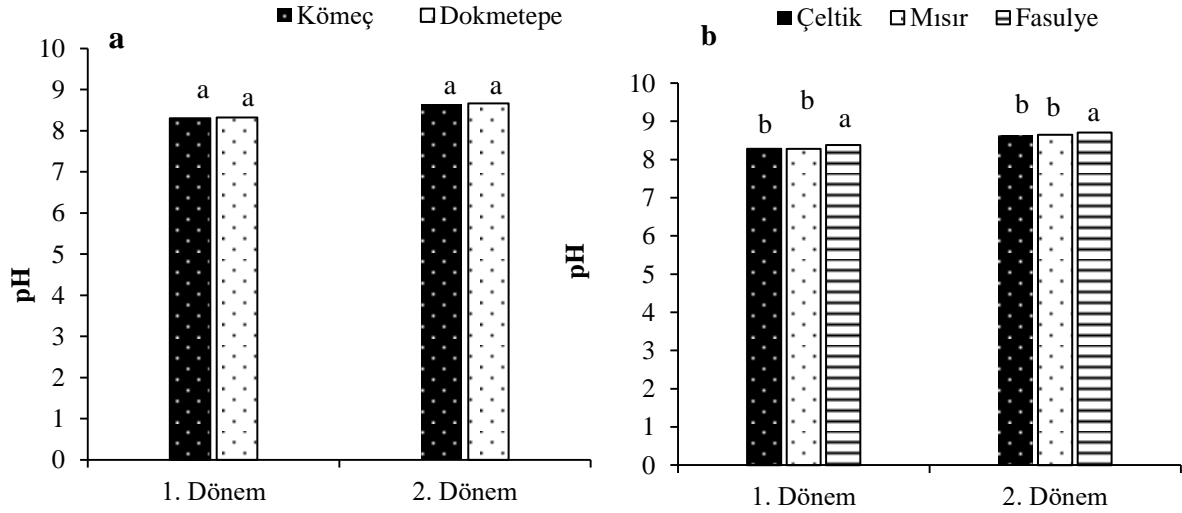
Çizelge 4.86. Uygulamaların toprakların pH'sına etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	0.04	0.04	4.69	<b>0.0311*</b>	0.035	0.035	3.312	0.0698 <sup>OD</sup>
Biyoçar Çeşidi (BÇ)	2	1.11	0.56	64.19	<b>&lt;0.0001**</b>	0.589	0.295	27.724	<b>&lt;0.0001**</b>
Biyoçar Dozu (BD)	4	0.03	0.01	0.87	0.4811 <sup>OD</sup>	0.069	0.017	1.631	0.1664 <sup>OD</sup>
Gübre Dozu (GD)	4	6.18	1.54	178.04	<b>&lt;0.0001**</b>	26.313	6.578	619.029	<b>&lt;0.0001**</b>
T*BÇ	2	0.001	0.00	0.05	0.9555 <sup>OD</sup>	0.016	0.008	0.770	0.4639 <sup>OD</sup>
T*BD	4	0.05	0.01	1.49	0.2048 <sup>OD</sup>	0.216	0.054	5.077	<b>0.0006**</b>
T*GD	4	0.12	0.03	3.53	<b>0.0078**</b>	0.313	0.078	7.364	<b>&lt;0.0001**</b>
BÇ*BD	8	0.40	0.05	5.79	<b>&lt;0.0001**</b>	0.207	0.026	2.439	<b>0.0144*</b>
BÇ*GD	8	0.05	0.01	0.71	0.6837 <sup>OD</sup>	0.661	0.083	7.778	<b>&lt;0.0001**</b>
BD*GD	16	0.07	0.01	0.50	0.9445 <sup>OD</sup>	0.172	0.011	1.010	0.4460 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD	8	0.07	0.01	0.95	0.4792 <sup>OD</sup>	0.093	0.012	1.098	0.3645 <sup>OD</sup>
T*BÇ*GD	8	0.10	0.01	1.37	0.2110 <sup>OD</sup>	0.358	0.045	4.208	<b>&lt;0.0001**</b>
T*BD*GD	16	0.18	0.01	1.32	0.1824 <sup>OD</sup>	0.436	0.027	2.563	<b>0.0010**</b>
BÇ*BD*GD	32	0.33	0.01	1.17	0.2451 <sup>OD</sup>	0.442	0.014	1.300	0.1355 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD*GD	32	0.28	0.01	1.02	0.4468 <sup>OD</sup>	0.462	0.014	1.360	0.0992 <sup>OD</sup>

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Toprak faktörü denemenin ilk döneminde pH üzerine bir miktar önemli etki yapmış ( $P=0.0311$ ) olmasına rağmen, ikinci yetiştirme dönemi sonunda bu etkinin ortadan kalktığı ( $P=0.0698$ ) görülmüştür (Çizelge 4.86). Deneme başlangıcında Kömeç toprağının ortalama pH'sı 8.22 ve Dökmetepe toprağının ise 8.15 olarak ölçülmüştür. Alkali karakterdeki biyoçar ilavesi ile her iki toprağın pH değerlerinde de artış olduğu görülmüştür Kömeç toprağı pH'sı ilk dönem sonunda 8.31 ve ikinci dönem sonunda 8.65'e yükselmiştir. Dökmetepe toprağının

ise ilk dönem sonunda ortalama pH'sı 8.33 ve ikinci dönem sonunda 8.67 olarak kayıt edilmiştir (Şekil 4.45a). Brewer ve Brown (2012), biyoçar ilavesi ile toprağın pH'sının yükselmesinin nedenini biyoçar yüzeylerinde yer alan negatif yüklü fenolik, karboksil ve hidroksil gruplarının toprak çözeltisindeki H<sup>+</sup> iyonlarını bağlaması ve çözeltideki H<sup>+</sup> iyonları konsantrasyonunu azaltması ile açıklamışlardır. Birçok çalışmada biyoçar uygulaması ile birlikte toprak pH'sının artışı bildirilmiş olmasına rağmen, tınlı bir toprağa 30 Mg ha<sup>-1</sup> çam odunu biyoçarı uygulayan Foster ve ark. (2016), biyoçar uygulamasının toprağın pH'sında önemli bir değişime neden olmadığını bildirmişlerdir.

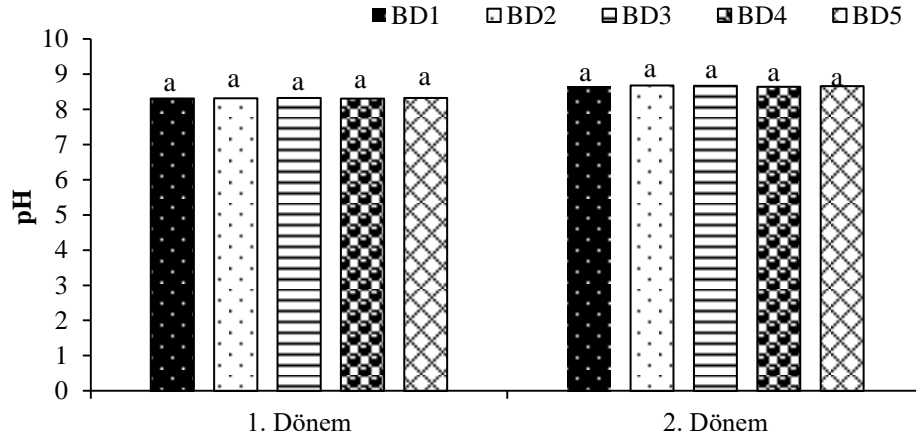


Şekil 4.45. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyoçar çeşidi altında pH'ya etkileri

Biyoçar çeşitleri toprakların pH değerleri üzerine ilk dönem önemli bir etki yapmaz ( $P=0.589$ ) iken ikinci dönem sonunda bu etki oldukça önemli düzeye ( $P<0.01$ ) çıkmıştır (Çizelge 4.86). Biyoçar çeşidi uygulamalarında iki ayrı dönemde toprak pH'sının değişimi Şekil 4.45b'de gösterilmiştir. Her iki dönemde de en yüksek toprak pH'sı (ilk dönem 8.39 ve ikinci dönem 8.71) fasulye biyoçarı uygulanan topraklarda bulunmuştur. Toprak pH'sı uygulanan materyallerin pH'ları ile uyumlu bir değişim göstermiştir. Toprağa uygulanan fasulye biyoçarının pH'sı 12.1, çeltik biyoçarının 10.2 ve mısır biyoçarının ise 9.21 olduğu belirlenmiş idi. Diğer iki uygulamaya kıyasla önemli oranda pH yükselişinin fasulye biyoçarı uygulamasında gerçekleşmiş olması, bu materyalin pH'sının yüksekliği ile ilişkilidir.

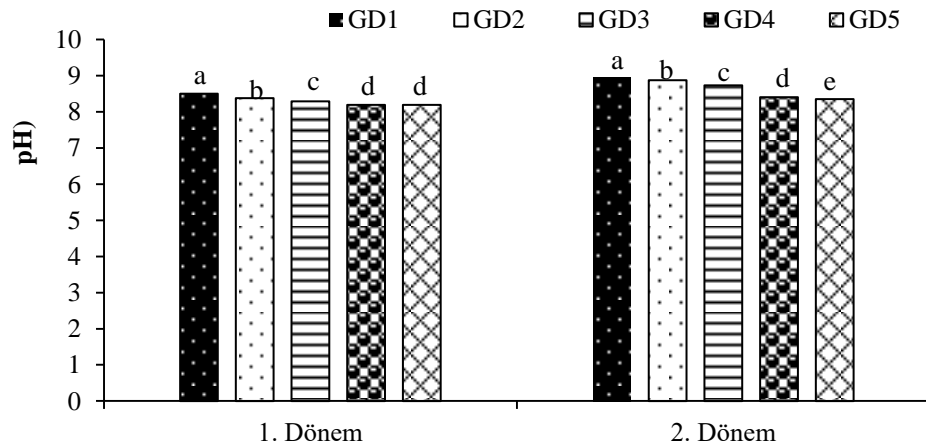
Biyoçar dozu uygulamaları her iki dönemde de toprağın pH'sı üzerine önemli bir etki yapmamıştır ( $P=0.4811$  ve  $P=0.1664$ ) (Çizelge 4.86). Biyoçar uygulamaları ile toprak pH'sı deneme başlangıcına kıyasla yükselmiş ancak doz artışı ile bir artış veya azalış söz konusu olmamıştır. Her iki dönemde de tüm biyoçar dozlarındaki ortalama pH değeri kontrol uygulamasından farklı olmamıştır (Şekil 4.46). Üç yıllık bir tarla denemesinde yılda 5 ton ha<sup>-1</sup> buğday sapı biyoçarı uygulayan Hansen ve ark. (2017), ortalama pH değerinin biyoçarın

yüksek alkali karakterde olmasından dolayı arttığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde Prapagdee ve Tawiteung (2017)'da, karbonizasyon ve kalsinasyon işlemlerinden sonra ortaya çıkan atık külün ve biyoçarın alkali doğasından dolayı %5.0 ve %10.0 biyoçar dozları ile siltli killi tın tekstürdeki deneme topraklarında pH'nın önemli düzeyde arttığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.46. Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların pH'sına etkileri  
BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

Gübre dozu uygulamaları her iki yetiştirme döneminde de toprağın pH'sı üzerine önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) etki yapmıştır (Çizelge 4.86). Her iki dönemde de toprak pH'sı artan gübre dozu ile önemli düzeyde azalma göstermiştir. En yüksek pH her iki dönemde de GD1 (8.50 ve 8.94) ve en düşük pH ise GD5 (8.20 ve 8.35) uygulamaları altında gerçekleşmiştir (Şekil 4.47). Uygulanan azotun  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  formunda olması artan  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ile birlikte pH'nında bir miktar azalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

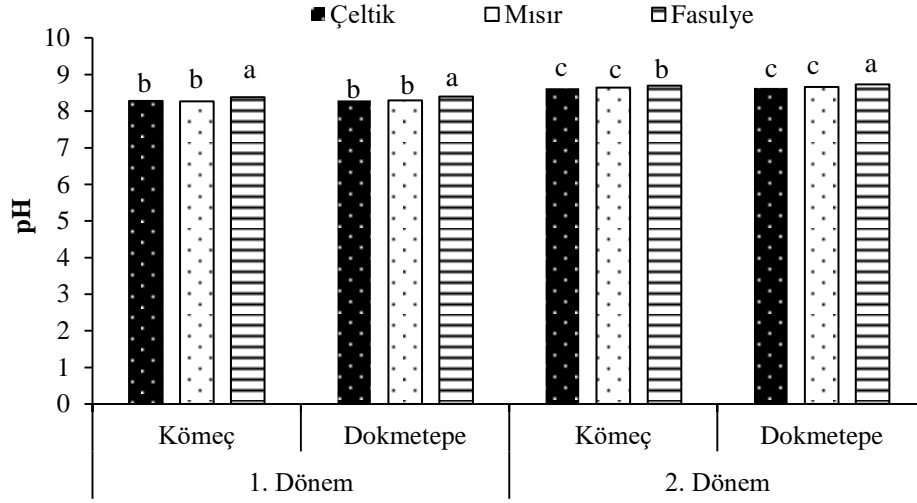


Şekil 4.47. Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların pH'sına etkileri  
GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak ve BÇ faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprağın pH'sı üzerine önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P = 0.9555$  ve  $P = 0.4639$ ). Toprak x BÇ interaksiyonuna ait



ortalama toprak pH'sı değerleri Şekil 4.48'da gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek pH Dökmetepe x fasulye (8.40) ve ikinci dönem yine Dökmetepe x fasulye (8.73) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir. Fasulye biyoçarının yüksek pH'sı her iki toprakta da diğer uygulamalara kıyasla fasulye biyoçarının toprak pH'sını daha fazla arttırmasına neden olmuştur.



Şekil 4.48. İki ayrı toprakta biyoçar çeşidi uygulamalarının toprakların pH'sına etkileri

Toprak tipi ve BD faktörleri ilk dönem toprak pH'sı üzerine önemli bir etki yapmaz ( $P=0.2048$ ) iken bu etki ikinci dönemde oldukça önemli ( $P<0.01$ ) bulunmuştur (Çizelge 4.86). Toprak x BD interaksiyonunda elde edilen ortalama toprak pH'sı değerleri Çizelge 4.87'de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama pH Dökmetepe x BD5 (8.35) ve ikinci dönem Dökmetepe x BD2 (8.71) interaksiyonlarında oluşmuştur. Buna karşılık en düşük ortalama pH her iki dönemde de Kömeç BD1 (8.29 ve 8.63) interaksiyonunda olduğu görülmüştür. Hayvan gübresi ve çam kabuğu karışımından hazırlanan biyoçarı dört farklı toprak ordosundan aldıkları örnekler ile muamele eden Kolb ve ark. (2009), deneme başında 5.1 ile 6.8 arasında olan pH değerlerinin tüm topraklarda artan biyoçar dozu ile birlikte artış gösterdiğini görmüşlerdir. En dikkat çeken artış ise 96 günlük inkübasyon sonunda Entisol ordosuna ait toprakların pH değerlerinin ortalama 6.3'den 8.9'a çıkan pH değerleri olmuştur. Alfisol, Mollisol ve Spodosol ordosuna ait diğer topraklarda da %10'luk biyoçar uygulaması ile pH artışı olduğu görülmüş ancak en yüksek pH artışının 0.4 birimlik olduğu kayıt edilmiştir. Diğer uygulamalarda ise pH ya değişmemiş veya zamanla bir miktar azalma eğiliminde olmuştur.

Toprak tipi ve GD uygulamaları interaksiyonu her iki dönemde de toprak pH'sı üzerine önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) etki etmiştir (Çizelge 4.86). Bu interaksiyona ait ortalama toprak pH'sı değerleri Çizelge 4.87'de verilmiştir. Her iki dönemde de en yüksek ortalama

toprak pH'sı Dökmetepe x GD1 (8.53 e 8.97) interaksyonunda ve en düşük toprak pH'sı ise ilk dönem Dökmetepe x GD4 (8.18) ve ikinci dönem Dökmetepe x GD5 (8.32) interaksyonlarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.87. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının toprağın pH'sına etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	<b>8.29 b</b>	8.34 ab	<b>8.63 d</b>	8.70 ab
<b>BD2</b>	8.31 ab	8.32 ab	8.64 cd	<b>8.71 a</b>
<b>BD3</b>	8.33 ab	8.32 ab	8.69 abc	8.65 bcd
<b>BD4</b>	8.30 ab	8.31 ab	8.64 cd	8.64 cd
<b>BD5</b>	8.31 ab	<b>8.35 a</b>	8.66 a-d	8.66 a-d
<b>GD1</b>	8.48 b	<b>8.53 a</b>	8.91 b	<b>8.97 a</b>
<b>GD2</b>	8.37 c	8.40 c	8.85 c	8.92 ab
<b>GD3</b>	8.28 d	8.32 d	8.71 d	8.76 d
<b>GD4</b>	<b>8.22 e</b>	<b>8.18 e</b>	8.43 e	8.39 e
<b>GD5</b>	<b>8.19 e</b>	<b>8.20 e</b>	8.38 ef	<b>8.32 f</b>

Biyoçar çeşidi ve BD faktörlerinin interaksyonu ilk dönem  $P < 0.01$  ve ikinci dönem  $P < 0.05$  önem düzeyinde toprak pH'sı üzerine etkili olmuş ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.86). Bu interaksyona ait ortalama pH değerleri Çizelge 4.88'de verilmiştir. En yüksek ortalama pH değerleri iki dönem de fasulye x BD5 (8.44 ve 8.76) interaksyonunda ve en düşük pH ise ilk dönem çeltik x BD4 (8.25) ile mısır x BD5 (8.25) ve ikinci dönem çeltik x BD4 (8.59) ve BD5 (8.59) interaksyonlarında elde edilmiştir. Biyoçar dozu artışı ile pH değişimi arasında biyoçar çeşitlerinden sadece fasulye için ilk dönem belirgin bir artış söz konusu iken çeltik ve mısır için böyle bir durum bulunmamaktadır.

Biyoçar çeşidi ve GD interaksyonu ilk dönem toprak pH'sı üzerine önemli bir etki yapmaz iken ( $P = 0.6837$ ) ikinci dönem önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.86). Her iki dönemde de en yüksek pH değerleri fasulye x GD1 (8.57 ve 8.99) interaksyonunda görülmüştür. GD dozu artışı ile birlikte tüm biyoçar çeşitlerinde toprak pH'sı önemli düzeyde azalma göstermiştir. İlk dönem çeltik biyoçarı GD1 uygulamasında 8.48 olan pH GD5 ile 8.16'ya, mısırdaki 8.47'den 8.15'e ve fasulyede 8.57'den 8.28'e inmiştir. İkinci dönemde ise pH değerleri çeltikte 8.93'den 8.28'e, mısırdaki 8.90'dan 8.34'e ve fasulyede 8.99'dan 8.43'e inmiştir.

Çizelge 4.88. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının toprağın pH'sına etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	8.30 de	8.32 cd	8.31 cd	8.66 bc	8.65 bcd	8.68 bc
<b>BD2</b>	8.29 de	8.29 de	8.36 bc	8.64 cd	8.67 bc	8.72 ab
<b>BD3</b>	8.29 de	8.27 de	8.40 ab	8.65 bcd	8.65 bcd	8.71 ab
<b>BD4</b>	<b>8.25 e</b>	8.26 de	8.41 ab	<b>8.59 d</b>	8.64 cd	8.69 abc
<b>BD5</b>	8.29 de	<b>8.25 e</b>	<b>8.44 a</b>	<b>8.59 d</b>	8.63 cd	<b>8.76 a</b>
<b>GD1</b>	8.48 b	8.47 b	<b>8.57 a</b>	8.93 ab	8.90 b	<b>8.99 a</b>
<b>GD2</b>	8.36 c	8.35 c	8.45 b	8.92 ab	8.82 c	8.90 b
<b>GD3</b>	8.28 d	8.26 d	8.35 c	8.68 e	8.78 cd	8.74 de
<b>GD4</b>	<b>8.15 e</b>	<b>8.17 e</b>	8.28 d	<b>8.31 h</b>	8.41 g	8.50 f
<b>GD5</b>	<b>8.16 e</b>	<b>8.15 e</b>	8.28 d	<b>8.28 h</b>	8.34 h	8.43 fg

Biyoçar dozu ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprak pH'sı üzerine önemli bir etki yapmamıştır ( $P=0.9445$  ve  $P=0.4460$ ) (Çizelge 4.86). Her iki dönemde de uygulanan tüm biyoçar dozlarında yer alan GD uygulamalarında artan GD ile pH'nın önemli oranda azalması söz konusudur (Çizelge 4.89). İlk dönem en yüksek pH tüm BD'lerinin GD1 uygulamaları altında gerçekleşirken ikinci dönem BD2 x GD1 (8.97) ve BD4 x GD1 (8.96) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük pH ise ilk dönem BD4 x GD4 (8.17) ile BD4 x GD5 (8.19) interaksiyonlarında ve ikinci dönem ise BD4 x GD5 (8.31) interaksiyonunda elde edilmiştir.

Çizelge 4.89. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın pH'sına etkileri

	1. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	<b>8.53 a</b>	<b>8.50 a</b>	<b>8.50 a</b>	<b>8.49 a</b>	<b>8.50 a</b>
<b>GD2</b>	8.36 bcd	8.38 bc	8.39 b	8.38 bc	8.40 b
<b>GD3</b>	8.27 efg	8.29 def	8.31 cde	8.29 def	8.33 b-e
<b>GD4</b>	8.19 gh	8.19 gh	8.22 fgh	<b>8.17 h</b>	8.21 gh
<b>GD5</b>	8.21 gh	8.19 gh	8.19 gh	<b>8.19 h</b>	8.21 gh
	2. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	8.90 ab	<b>8.97 a</b>	8.92 ab	<b>8.96 a</b>	8.94 ab
<b>GD2</b>	8.89 ab	8.89 ab	8.91 ab	8.87 b	8.86 b
<b>GD3</b>	8.76 c	8.76 c	8.76 c	8.68 c	8.70 c
<b>GD4</b>	8.41 d	8.41 d	8.41 d	8.38 de	8.42 d
<b>GD5</b>	8.36 de	8.35 de	8.37 de	<b>8.31 e</b>	8.37 de

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprak pH'sı üzerine önemli düzeyde etki etmemişlerdir ( $P=0.4792$  ve  $P=0.3645$ ) (Çizelge 4.86). Bu interaksiyonlara ait ortalama toprak pH'sı değerleri Çizelge 4.90'da verilmiştir. İki dönemde de en yüksek pH Dökmetepe x fasulye x BD5 (8.45 ve 8.79) interaksiyonlarında gerçekleşirken, en düşük pH ise ilk dönem Kömeç x mısır x BD5 (8.22) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x çeltik x BD4 (8.57) ve BD5 (8.57) interaksiyonlarında elde edilmiştir. İki

toprakta da her iki dönem en yüksek pH değerleri fasulye biyoçarı uygulamasında elde edilirken, diğer biyoçarlarda böyle bir eğilim tespit edilememiştir.

Çizelge 4.90. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun toprağın pH'sına etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	8.29 e-j	8.30 e-j	8.27 g-j	8.30 d-h	8.34 c-h	8.36 b-g
<b>BD2</b>	8.28 e-j	8.28 f-j	8.37 a-e	8.29 e-j	8.30 e-j	8.36 b-f
<b>BD3</b>	8.31 d-i	8.27 f-j	8.39 a-d	8.27 g-j	8.27 f-j	8.42 abc
<b>BD4</b>	8.23 ij	8.26 hij	8.42 abc	8.27 g-j	8.26 hij	8.39 a-d
<b>BD5</b>	8.26 hij	<b>8.22 j</b>	8.44 ab	8.32 d-h	8.27 g-j	<b>8.45 a</b>
2. Dönem						
<b>BD1</b>	8.62 d-h	8.61 e-h	8.66 c-h	8.70 a-f	8.70 a-g	8.70 a-e
<b>BD2</b>	8.60 gh	8.66 c-h	8.67 c-h	8.67 b-g	8.69 b-g	8.77 ab
<b>BD3</b>	8.68 b-g	8.69 b-g	8.72 a-d	8.63 c-h	8.62 e-h	8.70 a-g
<b>BD4</b>	8.60 fgh	8.62 e-h	8.70 a-f	<b>8.57 h</b>	8.66 c-h	8.68 b-g
<b>BD5</b>	8.61 e-h	8.64 c-h	8.73 bc	<b>8.57 h</b>	8.61 e-h	<b>8.79 a</b>

Toprak tipi, BÇ ve GD interaksiyonları ilk dönem toprak pH'sı üzerine önemli bir etki yapmaz ( $P=0.2110$ ) iken ikinci dönem etki oldukça önemli ( $P<0.01$ ) hale gelmiştir (Çizelge 4.86). Her iki dönemde de en yüksek pH Dökmetepe x fasulye x GD1 (8.92 ve 9.02) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Buna karşılık ilk dönem Kömeç x mısır x GD5 (8.12) ve ikinci dönem Dökmetepe x çeltik x GD4 (8.12) ve GD5 (8.15) interaksiyonları diğer uygulamalara göre toprak pH'sının çok daha düşük olmasına yol açmıştır (Çizelge 4.91).

Çizelge 4.91. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun döneminde toprağın pH'sına etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	8.46 bcd	8.45 bcd	8.52 b	8.50 bc	8.48 bc	<b>8.62 a</b>
<b>GD2</b>	8.33 f-k	8.35 e-h	8.43 cde	8.38 def	8.35 e-i	8.47 bcd
<b>GD3</b>	8.25 j-n	8.24 k-o	8.34 fj	8.31 f-k	8.28 g-k	8.36 efg
<b>GD4</b>	8.17 m-p	8.17 m-p	8.30 f-k	<b>8.12 p</b>	8.16 op	8.26 i-m
<b>GD5</b>	8.17 nop	<b>8.12 p</b>	8.30 f-k	<b>8.15 p</b>	8.19 l-p	8.27 h-l
2. Dönem						
<b>GD1</b>	8.91 b-f	8.85 d-g	8.95 abc	8.96 ab	8.94 a-e	<b>9.02 a</b>
<b>GD2</b>	8.85 efg	8.84 fg	8.86 c-g	8.99 ab	8.81 g-h	8.94 a-l
<b>GD3</b>	8.65 i	8.72 hi	8.76 gh	8.71 hi	8.83 fg	8.73 h-i
<b>GD4</b>	8.37 klm	8.45 jk	8.46 jk	8.26 no	8.37 klm	8.53 j
<b>GD5</b>	8.34 lmn	8.35 lmn	8.44 jkl	<b>8.23 o</b>	8.32 mno	8.42 kl

Toprak tipi, BD ve GD interaksiyonları ilk dönem toprak pH'sına önemli bir etki yapmamış ( $P=0.1824$ ) ancak ikinci dönem bu interaksiyonun pH üzerine oldukça önemli etkisinin ( $P<0.01$ ) olduğu görülmüştür (Çizelge 4.86). Bu interaksiyonda elde edilen toprak pH'sına ait ortalama değerler Çizelge 4.92'de verilmiştir. Buna göre her iki dönemde de en yüksek pH değerleri Dökmetepe x BD1 x GD1 interaksiyonlarında elde edilmiştir. Her iki toprakta da tüm biyoçar dozları altında GD artışı ile pH'nın önemli oranda azaldığı

görülmüştür. En düşük pH değerleri ilk dönem Dökmetepe x BD2 x GD4 (8.13) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x BD4 x GD4 (8.28) interaksyonlarında görülmüştür.

Çizelge 4.92. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun toprağın pH'sına etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	8.48a-g	8.49a-f	8.46b-h	8.46b-h	8.49a-f	<b>8.58a</b>	8.52a-d	8.54ab	8.53abc	8.50a-e
<b>GD2</b>	8.32i-n	8.35h-m	8.39j-k	8.40e-j	8.39e-j	8.39f-k	8.42c-i	8.40d-j	8.37g-l	8.41d-i
<b>GD3</b>	8.21n-s	8.25m-r	8.33i-n	8.28k-q	8.32i-n	8.33i-n	8.33i-n	8.29j-p	8.30i-o	8.34i-m
<b>GD4</b>	8.20o-s	8.26l-r	8.25l-r	8.19o-s	8.18qrs	8.18p-s	<b>8.13s</b>	8.19p-s	8.16rs	8.24m-s
<b>GD5</b>	8.22n-s	8.19o-s	8.20o-s	8.20o-s	8.17qrs	8.20o-s	8.19o-s	8.19p-s	8.18p-s	8.25m-r
2. Dönem										
<b>GD1</b>	8.79e-i	8.95abc	8.93a-d	8.94abc	8.93a-d	<b>9.02a</b>	8.99ab	8.91a-d	8.98ab	8.95abc
<b>GD2</b>	8.83c-g	8.86b-f	8.88b-e	8.80d-h	8.86c-f	8.94abc	8.92a-d	8.93abc	8.93abc	8.86c-f
<b>GD3</b>	8.75e-i	8.67i	8.74f-i	8.68hi	8.72ghi	8.78e-i	8.85c-f	8.77e-i	8.69hi	8.69hi
<b>GD4</b>	8.44j-n	8.38j-p	8.50j	8.45jkl	8.37k-p	8.39j-p	8.44j-m	8.32m-p	8.31nop	8.46jk
<b>GD5</b>	8.35k-p	8.35k-p	8.42j-o	8.33l-p	8.43j-o	8.37k-p	8.35k-p	8.31o-p	<b>8.28p</b>	8.32m-p

Biyçoar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre dozu faktörlerinin interaksyonu her iki dönemde de toprak pH'sı üzerine önemli bir etki yapmamıştır ( $P=0.2451$  ve  $0.1355$ ) (Çizelge 4.86). Bu interaksyonlarda elde edilen ortalama toprak pH'sı değerleri Çizelge 4.93'de verilmiştir. İlk dönem en yüksek toprak pH'sı fasulye x BD4 x GD1 (8.61) ve ikinci dönem en yüksek pH ise fasulye x BD5 x GD1 (9.02) interaksyonlarında gerçekleşmiştir. En düşük toprak pH'sına neden olan interaksyonların ise ilk dönem çeltik x BD4 x GD4 (8.09), çeltik x BD4 x GD5 (8.08) ve ikinci dönem çeltik x BD4 x GD5 (8.15) oldukları görülmüştür.

Toprak tipi, BÇ, BD ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de toprak pH'sı üzerine önemli bir etki yapmamıştır ( $P=0.4468$  ve  $P=0.992$ ) (Çizelge 4.86). İlk dönem en yüksek toprak pH'sına neden olan interaksyonun Dökmetepe x fasulye x BD4 x GD1 (8.65) olduğu görülmüştür (Çizelge 4.94). Bu dönemde en düşük toprak pH'sı ise Dökmetepe x çeltik x BD2 x GD4 (8.04), Dökmetepe x çeltik x BD4 x GD5 (8.04) ve Kömeç x mısır x BD5 x GD5 (8.04) interaksyonlarında elde edilmiştir. İkinci dönem sonunda ise en yüksek toprak pH'sı Dökmetepe x fasulye x BD3 x GD1 (9.05) ve Dökmetepe x çeltik x BD1 x GD1 (9.05) interaksyonlarında görülmüştür. Diğer yandan Dökmetepe x çeltik x BD4 ve BD5 x GD5 (8.14) interaksyonları ise diğer uygulamalara kıyasla daha düşük toprak pH'sının oluşumuna yol açmıştır.

Çizelge 4.93. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın pH'sına etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	8.51	8.51	8.45	8.46	8.47
	GD2	8.31	8.37	8.33	8.35	8.42
	GD3	8.26	8.25	8.29	8.28	8.32
	GD4	8.16	8.15	8.20	<b>8.09</b>	8.14
	GD5	8.25	8.15	8.19	<b>8.08</b>	<b>8.13</b>
Mısır	GD1	<b>8.55 abc</b>	8.46	8.48	8.42	8.43
	GD2	8.41	8.36	8.35	8.34	8.29
	GD3	8.31	8.27	8.25	8.24	8.23
	GD4	8.18	8.20	<b>8.12</b>	8.15	8.19
	GD5	8.17	8.15	8.17	8.16	8.11
Fasulye	GD1	<b>8.54 abc</b>	<b>8.55 abc</b>	<b>8.57 ab</b>	<b>8.61 a</b>	<b>8.59 ab</b>
	GD2	8.34	8.42	8.51	8.46	8.51
	GD3	8.24	8.35	8.38	8.35	8.43
	GD4	8.24	8.23	8.34	8.29	8.31
	GD5	8.21	8.28	8.22	8.33	8.39
2. Dönem						
Çeltik	GD1	8.91	8.95	8.96	8.95	8.89
	GD2	8.93	8.97	8.90	8.92	8.87
	GD3	8.75	8.69	8.77	8.58	8.61
	GD4	8.36	8.30	<b>8.27</b>	8.35	<b>8.28</b>
	GD5	8.35	<b>8.28</b>	8.36	<b>8.15</b>	<b>8.28</b>
Mısır	GD1	8.85	<b>8.97 a-d</b>	8.81	8.93	8.91
	GD2	8.84	8.83	8.85	8.84	8.75
	GD3	8.81	8.81	8.76	8.77	8.74
	GD4	8.42	8.42	8.51	8.33	8.37
	GD5	8.34	8.32	8.32	8.33	8.36
Fasulye	GD1	<b>8.95 a-g</b>	<b>8.98 a-d</b>	<b>8.99 abc</b>	<b>9.00 ab</b>	<b>9.02 a</b>
	GD2	8.88	8.87	8.96	8.85	8.94
	GD3	8.74	8.77	8.74	8.70	8.76
	GD4	8.46	8.51	8.44	8.47	8.59
	GD5	8.39	8.44	8.41	8.44	8.47

Çizelge 4.94. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın pH'sına etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	8.48	8.49	8.39	8.43	8.48	8.50	8.49	8.47	8.38	8.41	8.45	8.50	8.52	8.56	8.56
	GD2	8.34	8.32	8.35	8.30	8.35	8.40	8.32	8.35	8.39	8.30	8.23	8.41	8.47	8.51	8.53
	GD3	8.23	8.21	8.32	8.21	8.29	8.26	8.26	8.22	8.26	8.22	8.15	8.29	8.44	8.37	8.45
	GD4	8.17	8.26	8.26	8.10	8.09	8.18	8.20	8.18	8.16	8.15	8.26	8.32	8.32	8.31	8.30
	GD5	8.23	8.14	8.24	8.12	8.11	8.16	8.11	8.15	8.12	<b>8.04</b>	8.26	8.33	8.21	8.35	8.35
Dökmetepe	GD1	8.53	8.53	8.51	8.48	8.46	8.59	8.42	8.49	8.45	8.44	<b>8.63 ab</b>	<b>8.60 a-d</b>	<b>8.62 abc</b>	<b>8.65 a</b>	<b>8.62 abc</b>
	GD2	8.29	8.43	8.31	8.40	8.48	8.42	8.39	8.34	8.30	8.27	8.46	8.43	8.56	8.40	8.49
	GD3	8.30	8.29	8.26	8.35	8.36	8.36	8.28	8.29	8.23	8.23	8.32	8.41	8.33	8.33	8.42
	GD4	8.14	<b>8.04</b>	8.14	<b>8.08</b>	8.18	8.18	8.20	<b>8.06</b>	8.13	8.22	8.23	8.14	8.36	8.27	8.31
	GD5	8.27	8.16	8.15	<b>8.04</b>	8.14	8.17	8.20	8.19	8.19	8.19	8.16	8.23	8.22	8.30	8.42
2. Dönem																
Kömeç	GD1	8.77	8.96	8.97	8.94	8.91	8.68	8.93	8.89	8.89	8.88	8.91	8.96	8.92	8.98	8.99
	GD2	8.86	8.90	8.84	8.84	8.78	8.79	8.87	8.84	8.84	8.84	8.84	8.81	8.95	8.73	8.95
	GD3	8.72	8.56	8.73	8.57	8.67	8.74	8.72	8.74	8.69	8.72	8.79	8.72	8.75	8.78	8.76
	GD4	8.43	8.29	8.34	8.51	8.26	8.47	8.41	8.64	8.33	8.39	8.41	8.43	8.51	8.51	8.45
	GD5	8.32	8.30	8.50	<b>8.16</b>	8.43	8.36	8.34	8.33	8.34	8.37	8.37	8.40	8.44	8.50	8.48
Dökmetepe	GD1	<b>9.05 a</b>	8.94	8.96	8.95	8.87	<b>9.03 abc</b>	9.02	8.73	8.98	8.94	8.99	9.00	<b>9.05 a</b>	9.02	<b>9.04 ab</b>
	GD2	9.00	9.03	8.97	9.00	8.97	8.89	8.79	8.86	8.83	8.67	8.93	8.93	8.97	8.96	8.93
	GD3	8.78	8.82	8.81	8.60	8.56	8.87	8.90	8.79	8.84	8.75	8.68	8.83	8.73	8.62	8.77
	GD4	8.30	8.31	8.21	<b>8.18</b>	8.30	8.36	8.42	8.38	8.33	8.36	8.52	8.59	8.37	8.43	8.73
	GD5	8.38	8.26	8.22	<b>8.14</b>	<b>8.14</b>	8.33	8.30	8.32	8.31	8.34	8.40	8.48	8.38	8.39	8.47

#### 4.2.5 Toprağın elektriksel iletkenliğine etkileri

Uygulamaların serada toprakların elektriksel iletkenlikleri (EC) üzerine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.95’de verilmiştir. Buna göre, ilk dönem bireysel faktörlerin tamamı toprak EC’sinin farklılaşmasına neden olmuştur. Faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinden ise sadece BÇ x GD ve BD x GD toprak EC’sinin önemli düzeyde değişmesinde etkili olmuşlardır. Denemenin ikinci dönemi sonunda ise biyoçar çeşidi toprakların EC değerlerine etki yapmaz iken diğer faktörler EC’nin önemli oranda değişmesine neden olmuşlardır. Buna ilaveten BÇ x BD, T x BÇ x GD ve BÇ x BD x GD interaksiyonlarında EC değeri üzerine önemli etki yapmışlardır.

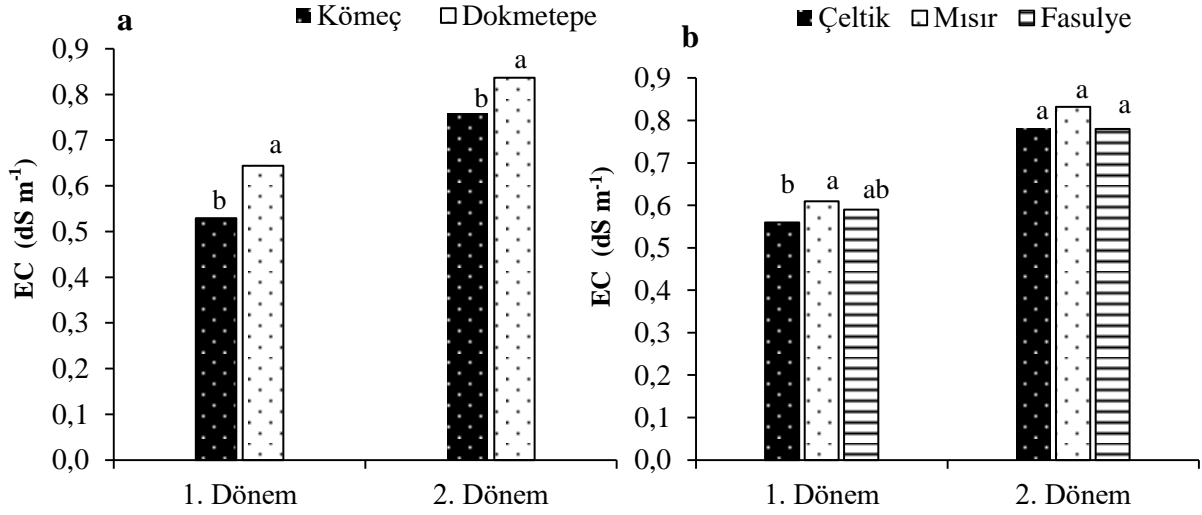
Çizelge 4.95. Uygulamaların toprakların elektriksel iletkenliklerine etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	1.48	1.48	60.90	<0.001**	0.70	0.70	10.85	0.0011**
Biyoçar Çeşidi (BÇ)	2	0.20	0.10	4.08	0.0179*	0.27	0.14	2.09	0.1252 <sup>OD</sup>
Biyoçar Dozu (BD)	4	0.52	0.13	5.37	0.0003**	1.32	0.33	5.12	0.0005**
Gübre Dozu (GD)	4	18.68	4.67	192.10	<0.001**	97.14	24.28	375.86	<0.0001**
T*BÇ	2	0.06	0.03	1.19	0.3060 <sup>OD</sup>	0.30	0.15	2.34	0.0982 <sup>OD</sup>
T*BD	4	0.03	0.01	0.35	0.8440 <sup>OD</sup>	0.56	0.14	2.15	0.0749 <sup>OD</sup>
T*GD	4	0.17	0.04	1.75	0.1386 <sup>OD</sup>	0.25	0.06	0.95	0.4326 <sup>OD</sup>
BÇ*BD	8	0.29	0.04	1.51	0.1537 <sup>OD</sup>	1.43	0.18	2.77	0.0057**
BÇ*GD	8	0.11	0.01	0.56	0.8122 <sup>OD</sup>	0.58	0.07	1.11	0.3534 <sup>OD</sup>
BD*GD	16	0.91	0.06	2.34	0.0028**	1.05	0.07	1.01	0.4406 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD	8	0.39	0.05	1.99	0.0477*	0.78	0.10	1.51	0.1528 <sup>OD</sup>
T*BÇ*GD	8	0.18	0.02	0.89	0.5258 <sup>OD</sup>	1.71	0.21	3.30	0.0012**
T*BD*GD	16	0.27	0.02	0.70	0.7938 <sup>OD</sup>	1.37	0.09	1.33	0.1781 <sup>OD</sup>
BÇ*BD*GD	32	0.67	0.02	0.85	0.6960 <sup>OD</sup>	4.11	0.13	1.99	0.0017**
T*BÇ*BD*GD	32	0.94	0.03	1.20	0.2149 <sup>OD</sup>	4.58	0.14	2.21	0.0003**

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Toprak faktörü her iki dönemde de toprağın EC’si üzerine önemli düzeyde etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.95). Her iki dönemde de Kömeç toprağının ortalama EC değerleri (ilk dönem 0.53 dS m<sup>-1</sup>, ikinci dönem 0.64 dS m<sup>-1</sup>) Dökmetepe toprağının (0.76 dS m<sup>-1</sup> ve 0.84 dS m<sup>-1</sup>) EC’sine kıyasla daha düşük kalmıştır (Şekil 4.49a). Deneme başlangıcında her iki toprağın ortalama EC’si 0.17 dS m<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Uygulanan biyoçar materyalleri, sıvı hayvan gübresi ve gübrelerden kaynaklanan ilave tuzluluk neticesinde toprakların EC değerleri başlangıca kıyasla önemli düzeyde yükselmiştir.



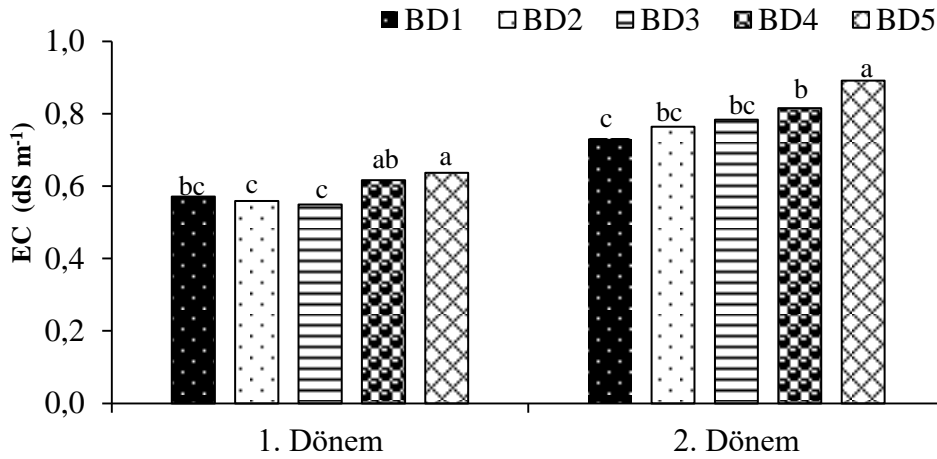


Şekil 4.49. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyoçar çeşidi altında toprağın elektriksel iletkenliğine (EC) etkileri

Biyoçar çeşidi toprağın EC'si üzerine ilk dönem  $P < 0.05$  önem seviyesinde etki ederken bu etki ikinci dönem önemsiz ( $P = 0.1252$ ) kalmıştır (Çizelge 4.95). Biyoçar çeşitlerinin uygulandığı topraklarda iki ayrı dönemde ölçülen ortalama EC değerleri Şekil 4.49b'de gösterilmiştir. Her iki dönemde de en yüksek EC değerleri ( $0.61 \text{ dS m}^{-1}$  ve  $0.83 \text{ dS m}^{-1}$ ) mısır biyoçarı uygulanan topraklarda ölçülmüştür. Deneme başlangıcında uygulanan biyoçar materyallerinden çeltiğin EC'si  $3.29 \text{ dS m}^{-1}$ , fasulyenin EC'si  $8.75 \text{ dS m}^{-1}$  ve mısırın EC'si ise  $9.30 \text{ dS m}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. En yüksek EC değerine sahip olan mısır biyoçarının uygulandığı toprakların EC değerleri her iki dönemde de fasulye ve mısırın uygulandığı toprakların EC değerlerinden daha yüksektir. İkinci dönem en yüksek EC değeri mısır biyoçarı uygulamasında elde edilmiş olmasına rağmen, üç biyoçar çeşidinin EC değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık bulunmamaktadır.

Biyoçar dozu faktörü her iki dönemde de toprağın EC değeri üzerine önemli düzeyde ( $P < 0.01$ ) etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.95). Beş farklı biyoçar dozu altında toprakların ölçülen ortalama EC değerleri Şekil 4.50'de verilmiştir. Her iki dönemde de artan biyoçar dozu ile birlikte toprakta EC değerlerinin önemli miktarda artmasına neden olmuştur. Denemede toprak EC'sinde meydana gelen değişimin ana nedenlerinden birinin biyoçar dozu uygulaması olduğu anlaşılmaktadır. İlk dönem biyoçar bulunmayan BD1 uygulamasında  $0.56 \text{ dS m}^{-1}$  iken BD5 uygulamasında  $0.64 \text{ dS m}^{-1}$ 'e ulaşmıştır. İkinci dönem EC artışı bir miktar daha fazla olmuştur. Bu dönemde de BD1 uygulamasında  $0.73 \text{ dS m}^{-1}$  olan EC değeri BD5 uygulamasında  $0.89 \text{ dS m}^{-1}$ 'ye yükselmiştir. Biyoçar dozu artışı ile EC değerlerinin artışı Prapagdee ve Tawiteung (2017) gibi bir çok araştırmacı tarafından da teyit edilmiştir. Araştırmacılar çözülebilir haldeki N ve K'un

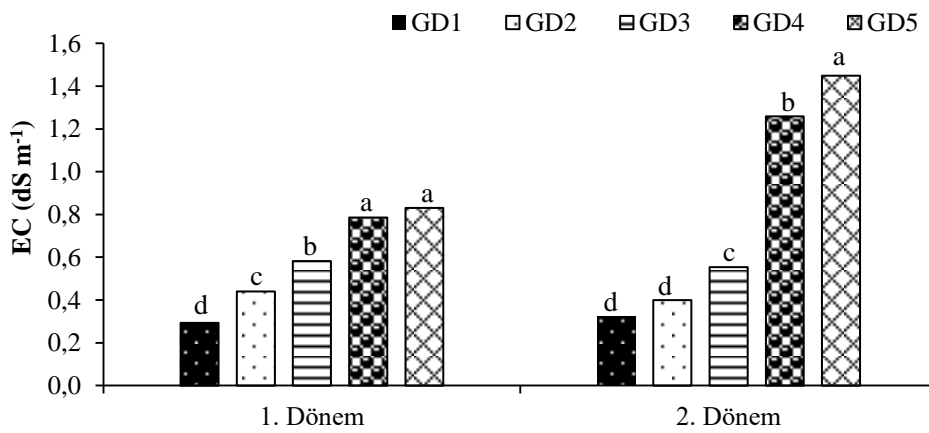
toprağın tuzluluğunu etkilediğini belirtirken, uyguladıkları en yüksek biyoçar dozunda (%10) toprağın K ve N konsantrasyonunun da çok yüksek olduğunu bildirmişlerdir.



Şekil 4.50. Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların elektriksel iletkenliğine (EC) etkileri

BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

Gübre dozu faktörü her iki dönemde de EC değeri üzerine önemli düzeyde etki etmiş ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.95). Her iki dönemde de artan GD uygulaması ile birlikte toprağın EC değeri artış göstermiştir. Bitkinin gereksinimi olan besin elementlerinin yer aldığı gübrelere bir çeşit tuz bileşikleri olduğu düşünülürse GD uygulamaları ile meydana gelen EC artışı açıklanabilir. İlk dönem GD1 uygulamasında  $0.29 \text{ dS m}^{-1}$  olan EC değeri GD5 uygulaması ile  $0.83 \text{ dS m}^{-1}$ 'e ve ikinci dönem GD1 uygulamasında  $0.32 \text{ dS m}^{-1}$  olan EC değeri GD5 uygulaması ile birlikte  $1.45 \text{ dS m}^{-1}$ 'e yükselmiştir (Şekil 4.51).

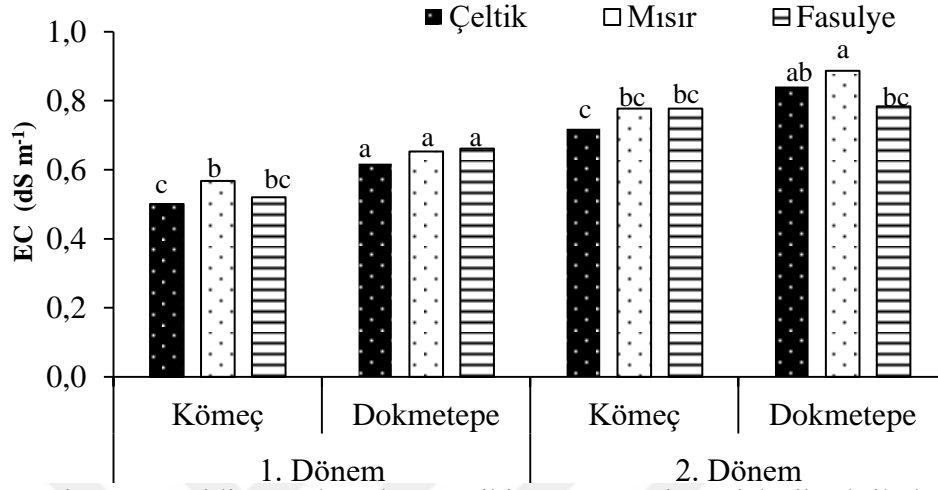


Şekil 4.51. Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların elektriksel iletkenliğine (EC) etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak tipi ve BÇ faktörlerinin interaksyonu her iki yetiştirme döneminde de toprağın EC değeri üzerine önemli bir etki yapmamıştır ( $P=0.3060$  ve  $P=0.0982$ ) (Çizelge 4.95).

Toprak tipi x BÇ interaksiyonunda ölçülen ortalama toprak EC değerleri Şekil 4.52’de gösterilmiştir. Her iki toprakta uygulanan tüm biyoçar çeşitlerinde ilk dönem toprak EC değeri ikinci döneme kıyasla önemli düzeyde düşük kalmıştır. İlk dönem en yüksek EC değeri  $0.66 \text{ dS m}^{-1}$  ile Dökmetepe x fasulye ve ikinci dönem en yüksek EC değeri ise Dökmetepe x mısır interaksiyonunda elde edilmiştir.



Şekil 4.52. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprakta elektriksel iletkenliğe (EC) etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksiyonu her iki dönemde de toprak EC değerleri üzerine önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P=0.8440$  ve  $P=0.0742$ ) (Çizelge 4.95). Toprak x BD interaksiyonuna ait ortalama EC değerleri Çizelge 4.96’da verilmiştir. Buna göre her iki dönemde de en yüksek EC değeri Dökmetepe x BD5 ( $0.71 \text{ dS m}^{-1}$  ve  $0.98 \text{ dS m}^{-1}$ ) interaksiyonunda ve en düşük EC değerleri ise ilk dönem Kömeç x BD2 ( $0.51 \text{ dS m}^{-1}$ ) ve BD3 ( $0.50 \text{ dS m}^{-1}$ ) ile ikinci dönem Kömeç x BD1 ( $0.72 \text{ dS m}^{-1}$ ), BD2 ( $0.77 \text{ dS m}^{-1}$ ) ve BD3 ( $0.72 \text{ dS m}^{-1}$ ) interaksiyonlarında elde edilmiştir. İki toprakta da her iki dönemde tüm biyoçar dozlarında doz artışı ile toprağın EC değeri düzenli bir artış göstermiştir.

Toprak tipi ve GD interaksiyonu her iki dönemde de toprağın EC değerleri üzerine önemli düzeyde etki etmemiştir ( $P=0.1386$  ve  $P=0.4326$ ) (Çizelge 4.95). Toprak tipi x GD interaksiyonunda ölçülen ortalama EC değerlerine ait veriler Çizelge 4.96’da verilmiştir. En yüksek EC değerleri her iki dönemde de Dökmetepe x GD5 ( $0.88 \text{ dS m}^{-1}$  ve  $1.51 \text{ dS m}^{-1}$ ) interaksiyonlarında ve en düşük EC değerleri ise Kömeç x GD1 ( $0.26 \text{ dS m}^{-1}$  ve  $0.31 \text{ dS m}^{-1}$ ) interaksiyonlarında oluşmuştur. Gübre dozu artışı toprakta EC değerinin de artmasına neden olmuştur. Sıvı gübre ile muamele edilen biyoçar uygulaması yapılan ve tam gübre ilave edilen GD4 ve sıvı gübre ile muamele edilmeyen biyoçarın uygulandığı ve tam gübreleme yapılan GD5 uygulamalarında her iki dönemde ve her iki toprakta GD5 uygulamalarında EC değeri GD4’e kıyasla bir miktar daha yüksek bulunmuştur. Bu durum EC değeri daha düşük olan bir

sıvı ile muamele edildiğinde biyoçarın yüzeyinde EC'nin yükselmesine neden olan bir kısım kimyasalların ya yıkandığını veya etkisini yitirdiğini göstermektedir.

Çizelge 4.96. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının toprağın elektriksel iletkenliğine ( $dS m^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	0.52 de	0.62 abc	<b>0.72 b</b>	0.74 b
<b>BD2</b>	<b>0.51 e</b>	0.61 bc	<b>0.77 b</b>	0.76 b
<b>BD3</b>	<b>0.50 e</b>	0.60 bcd	<b>0.72 b</b>	0.84 b
<b>BD4</b>	0.55 cde	0.68 ab	0.77 b	0.86 ab
<b>BD5</b>	0.57 cde	<b>0.71 a</b>	0.80 b	<b>0.98 a</b>
<b>GD1</b>	<b>0.26 f</b>	0.32 ef	<b>0.31 f</b>	<b>0.34 f</b>
<b>GD2</b>	0.39 e	0.49 d	<b>0.38 f</b>	0.42 ef
<b>GD3</b>	0.51 d	0.65 c	0.52 de	0.58 d
<b>GD4</b>	0.70 bc	<b>0.87 a</b>	1.19 c	1.33 b
<b>GD5</b>	0.78 b	<b>0.88 a</b>	1.39 ab	<b>1.51 a</b>

Biyoçar çeşidi ve BD faktörlerinin interaksiyonu ilk dönem toprağın EC değeri üzerine önemli bir etki yapmaz iken ikinci dönem bu interaksiyonun etkisi önemli hale gelmiştir (Çizelge 4.95). Çeşit x BD interaksiyonuna ait ortalama EC değerleri Çizelge 4.97'de verilmiştir. İlk dönem en yüksek EC değeri mısır x BD5 ( $0.71 dSm^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise mısır x BD4 ( $0.92 dS m^{-1}$ ) ve BD5 ( $0.92 dS m^{-1}$ ) ile fasulye x BD5 ( $0.94 dS m^{-1}$ ) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük EC değeri ise ilk dönem çeltik x BD2 ( $0.53 dS m^{-1}$ ) ve ikinci dönem fasulye x BD2 ( $0.68 dS m^{-1}$ ) interaksiyonunda görülmüştür.

Biyoçar çeşidi ve GD faktörlerinin interaksiyonu her iki dönemde toprak EC değerleri üzerine önemli etki yapmamıştır ( $P=0.8122$  ve  $P=0.3534$ ) (Çizelge 4.95). Biyoçar çeşidi x GD interaksiyonunda elde edilen ortalama EC değerleri Çizelge 4.97'de verilmiştir. Buna göre ilk dönem fasulye x GD5 ( $0.71 dS m^{-1}$ ) ve ikinci dönem mısır x GD5 ( $1.50 dS m^{-1}$ ) interaksiyonlarında en yüksek EC değerleri elde edilmiştir. Buna karşılık çeltik x MG1 ( $0.29 dSm^{-1}$ ) ile fasulye x GD1 ( $0.29 dS m^{-1}$ ) uygulamaları ilk dönem ve çeltik x GD1 ( $0.29 dS m^{-1}$ ) uygulaması ikinci dönem en düşük EC değerlerinin elde edilmesine neden olmuştur.

Çizelge 4.97. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının toprağın elektriksel iletkenliğine ( $dS m^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	0.58 bcd	0.58 bcd	0.55 bcd	0.75 bc	0.75 bc	0.71 bc
<b>BD2</b>	<b>0.53 d</b>	0.56 bcd	0.59 bcd	0.87 ab	0.74 bc	<b>0.68 c</b>
<b>BD3</b>	0.56 bcd	0.55 bcd	0.54 cd	0.70 bc	0.83 abc	0.82 abc
<b>BD4</b>	0.57 bcd	0.64 ab	0.63 abc	0.77 abc	<b>0.92 a</b>	0.75 bc
<b>BD5</b>	0.56 bcd	<b>0.71 a</b>	0.64 abc	0.81 abc	<b>0.92 a</b>	<b>0.94 a</b>
<b>GD1</b>	<b>0.29 e</b>	<b>0.31 e</b>	<b>0.29 e</b>	<b>0.29 h</b>	0.37 fgh	0.32 gh
<b>GD2</b>	0.41 d	0.47 cd	0.44 d	0.32 gh	0.47 efg	0.41 e-h
<b>GD3</b>	0.55 bc	0.61 b	0.59 b	0.53 ef	0.55 e	0.58 e
<b>GD4</b>	<b>0.78 a</b>	<b>0.80 a</b>	<b>0.78 a</b>	1.31 bcd	1.27 cd	1.19 d

<b>GD5</b>	<b>0.77 a</b>	<b>0.87 a</b>	<b>0.86 a</b>	1.45 ab	<b>1.50 a</b>	1.40 abc
------------	---------------	---------------	---------------	---------	---------------	----------

Biyoçar dozu ve GD faktörlerinin interaksiyonları toprak EC'si üzerine ilk dönem önemli düzeyde etki yapmış ( $P=0.0028$ ) ancak ikinci dönem bu etki ortadan kalkmıştır ( $P=0.4406$ ) (Çizelge 4.95). Biyoçar dozu x GD interaksiyonuna ait ortalama toprak EC değerleri Çizelge 4.98'de verilmiştir. İlk dönem en yüksek EC değeri BD2 x GD5 ( $0.92 \text{ dS m}^{-1}$ ) ile BD5 x GD4 ( $0.92 \text{ dS m}^{-1}$ ) ve en düşük EC ise BD1 x GD1 ( $0.25 \text{ dS m}^{-1}$ ) interaksiyonlarından elde edilmiştir. İkinci dönem ise en yüksek EC değeri BD5 x GD5 ( $1.60 \text{ dS m}^{-1}$ ) ve en düşük EC ise BD2 x GD1 ( $0.29 \text{ dS m}^{-1}$ ) interaksiyonlarında oluşmuştur. Genel olarak tüm biyoçar dozlarında en düşük EC değerleri GD1 ve en yüksek EC değerleri tam gübreleme yapılan GD4 ve GD5 uygulamalarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.98. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) toprağın elektriksel iletkenliğine ( $\text{dS m}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	<b>0.25 j</b>	0.27 ij	0.27 ij	0.31 hij	0.36 g-j
<b>GD2</b>	0.45 fgh	0.39 ghi	0.41 g-h	0.49 efg	0.46 fg
<b>GD3</b>	0.56 c-f	0.55 def	0.57 c-f	0.62 cde	0.62 cde
<b>GD4</b>	0.80 ab	0.67 bcd	0.69 bc	<b>0.86 a</b>	<b>0.92 a</b>
<b>GD5</b>	0.80 ab	<b>0.92 a</b>	<b>0.82 a</b>	0.79 ab	<b>0.82 a</b>
2. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	0.33 hi	<b>0.29 i</b>	0.35 hi	0.32 hi	0.33 hi
<b>GD2</b>	0.36 hi	0.37 ghi	0.35 hi	0.44 f-i	0.48 f-i
<b>GD3</b>	0.50 f-i	0.53 fgh	0.52 fgh	0.58 f-g	0.64 f
<b>GD4</b>	1.19 de	1.19 de	1.18 e	1.33 b-e	1.41 a-d
<b>GD5</b>	1.28 cde	1.44 abc	1.53 ab	1.41 a-d	<b>1.60 a</b>

Toprak tipi, BÇ ve BD interaksiyonu toprak EC'si üzerine ilk dönem kısmen etkili ( $P=0.0477$ ) olsa da bu etki ikinci dönem önemsiz düzeye ( $P=0.1528$ ) inmiştir (Çizelge 4.95). Toprak x çeşit x BD interaksiyonunda ortalama toprak EC değerlerine ait veriler Çizelge 4.99'da verilmiştir. İlk dönem en yüksek EC değerine neden olan interaksiyon Dökmetepe x mısır x BD5 ( $0.79 \text{ dS m}^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x mısır x BD4 ( $1.01 \text{ dS m}^{-1}$ ) ve BD5 ( $1.02 \text{ dS m}^{-1}$ ) interaksiyonları olmuştur. En düşük EC değerleri ise ilk dönem Kömeç x çeltik x BD3 ( $0.44 \text{ dS m}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Dökmetepe x fasulye x BD2 ( $0.61 \text{ dS m}^{-1}$ ) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir. Her iki toprakta her dönem en yüksek EC değerleri en yüksek doz olan BD5'de elde edilmiştir.

Çizelge 4.99. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine ( $dS m^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	0.53 e-i	0.54 d-i	0.49 f-i	0.63 b-f	0.63 b-g	0.61 b-h
<b>BD2</b>	0.48 ghi	0.50 f-i	0.56 d-i	0.57 d-i	0.63 b-g	0.61 b-h
<b>BD3</b>	<b>0.44 i</b>	0.57 d-i	0.48 hi	0.67 a-e	0.54 d-i	0.60 b-h
<b>BD4</b>	0.52 e-i	0.61 b-h	0.52 f-i	0.62 b-h	0.68 a-d	0.75 ab
<b>BD5</b>	0.53 e-i	0.62 b-g	0.55 d-i	0.59 c-h	<b>0.79 a</b>	0.73 abc
2. Dönem						
<b>BD1</b>	0.75 e-i	0.73 b-g	0.69 c-g	0.74 b-g	0.76 b-g	0.72 b-g
<b>BD2</b>	0.85 ghi	0.69 d-g	0.76 b-g	0.89 a-e	0.79 a-g	<b>0.61 g</b>
<b>BD3</b>	0.67 efg	0.73 b-g	0.76 b-g	0.73 b-g	0.93 a-d	0.87 a-e
<b>BD4</b>	<b>0.61 g</b>	0.90 a-e	0.81 a-g	0.93 abc	0.94 ab	0.69 c-g
<b>BD5</b>	0.71 b-g	0.83 a-g	0.86 a-e	0.91 a-e	<b>1.01 a</b>	<b>1.02 a</b>

Toprak tipi, BÇ ve GD interaksiyonları ilk dönem EC değerleri üzerine önemli bir etkiye sahip değil ( $P=0.5258$ ) iken ikinci dönem etkileri önemli düzeye çıkmıştır ( $P<0.05$ ) (Çizelge 4.95). Toprak x çeşit x GD interaksiyonuna ait ortalama EC değerleri Çizelge 4.100'da verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek EC değeri Dökmetepe x mısır x GD5 ( $0.91 dS m^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x çeltik x GD5 ( $1.58 dS m^{-1}$ ) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir. Buna karşın en düşük EC değerleri ise her iki dönemde de Kömeç x çeltik x GD1 ( $0.25 dS m^{-1}$  ve  $0.27 dS m^{-1}$ ) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir. Her iki toprakta da tam gübreleme ile birlikte EC değerlerinde ortalama %50'lik bir artış gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.100. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine ( $dS m^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	<b>0.25 o</b>	0.27 no	0.27 no	0.32 mno	0.34 l-o	0.30 mno
<b>GD2</b>	0.39 j-o	0.41 j-n	0.36 k-o	0.44 i-m	0.53 g-j	0.52 g-j
<b>GD3</b>	0.48 h-l	0.57 f-i	0.50 h-k	0.62 e-h	0.65 efg	0.68 c-f
<b>GD4</b>	0.68 def	0.76 a-e	0.66 efg	<b>0.88 a</b>	0.84 ab	<b>0.90 a</b>
<b>GD5</b>	0.70 b-f	0.83 abc	0.82 a-d	0.83 ab	<b>0.91 a</b>	<b>0.90 a</b>
2. Dönem						
<b>GD1</b>	<b>0.27 i</b>	0.35 ghi	0.31 hi	0.31 hi	0.39 ghi	0.32 hi
<b>GD2</b>	0.32 hi	0.40 ghi	0.42 ghi	0.32 hi	0.54 fgh	0.40 ghi
<b>GD3</b>	0.52 fgh	0.59 fg	0.46 f-i	0.55 fgh	0.51 fgh	0.69 f
<b>GD4</b>	1.17 de	1.11 e	1.29 cde	1.46 abc	1.44 abc	1.09 e
<b>GD5</b>	1.32 b-e	1.44 abc	1.40 a-d	<b>1.58 a</b>	1.56 ab	1.41 a-d

Toprak tipi, BD ve GD interaksiyonları toprağın elektriksel iletkenliği üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P=0.7938$  ve  $P=0.1781$ ) (Çizelge 4.95). İlk dönem en yüksek EC değeri Dökmetepe x BD5 x GD4 ( $1.05 dS m^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x BD5 x GD5 ( $1.74 dS m^{-1}$ ) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Bununla birlikte ilk dönem Kömeç x BD1 ve BD2 x GD1 ( $0.23 dS m^{-1}$ ) interaksiyonları ile ikinci dönem

Kömeç x BD2 x GD1 (0.27 dS m<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında diğer uygulamalara kıyasla çok daha düşük EC değerleri elde edilmiştir. İki toprakta uygulanan biyoçar dozlarında en yüksek EC değerleri GD4 ve GD5 uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.101).

Çizelge 4.101. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine (dS m<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	<b>0.23t</b>	<b>0.23t</b>	<b>0.24t</b>	0.29rst	0.33rst	0.28st	0.31rst	0.29rst	0.34q-t	0.40o-t
<b>GD2</b>	0.42nt	0.37p-t	0.34q-t	0.40o-t	0.41n-t	0.47m-r	0.42n-t	0.47m-r	0.59h-o	0.52k-q
<b>GD3</b>	0.52k-q	0.52l-q	0.45n-s	0.53j-p	0.54j-p	0.60g-n	0.57i-o	0.68e-l	0.72d-j	0.69d-l
<b>GD4</b>	0.67e-l	0.57i-o	0.66f-m	0.81b-f	0.79b-f	0.92abc	0.77c-h	0.71d-k	0.92abc	<b>1.05a</b>
<b>GD5</b>	0.76c-i	0.88a-d	0.78b-g	0.72d-j	0.78b-g	0.85b-f	0.96ab	0.87a-d	0.86d-e	0.87a-d
2. Dönem										
<b>GD1</b>	0.37f-i	<b>0.27i</b>	0.30ghi	0.29hi	0.31ghi	0.30hi	0.30hi	0.40f-i	0.35hi	0.35ghi
<b>GD2</b>	0.36ghi	0.37f-i	0.34ghi	0.47e-i	0.37f-i	0.36ghi	0.37ghi	0.36ghi	0.41f-i	0.59e-h
<b>GD3</b>	0.48e-i	0.61efg	0.49e-i	0.49e-i	0.55e-i	0.52e-i	0.46e-i	0.55e-i	0.67ef	0.72e
<b>GD4</b>	1.04d	1.22bcd	1.16cd	1.22bcd	1.30bcd	1.34bcd	1.16bcd	1.19cd	1.44abc	<b>1.51ab</b>
<b>GD5</b>	1.36bc	1.37bc	1.33bcd	1.40bc	1.47abc	1.19cd	1.51cd	<b>1.72a</b>	1.41bc	<b>1.74a</b>

Biyoçar çeşidi, BD ve GD interaksiyonları ilk dönem toprak EC'si üzerine önemli düzeyde etki yapmaz (P=0.6960) iken bu etki ikinci dönem istatistiksel olarak önemli düzeyde (P=0.0017) bulunmuştur (Çizelge 4.95). İlk dönem en yüksek EC değeri mısır x BD5 x GD4 (1.07 dS m<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem ise fasulye x BD5 x GD5 (1.76 dS m<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük EC değerleri ise ilk dönem fasulye x BD1 x GD1 (0.22 dS m<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem çeltik x BD1 x GD1 (0.27 dSm<sup>-1</sup>) uygulamalarında bulunmuştur (Çizelge 4.102). Tüm biyoçar çeşitlerinin dozlarında en düşük EC değerleri GD1 ve en yüksek EC değerleri ise GD4 veya GD5 uygulamaları ile elde edilmiştir.

Toprak tipi, BÇ, BD ve GD interaksiyonları ilk dönem toprak EC'si üzerine önemli bir etki yapmaz iken ikinci dönem bu faktörlerin interaksiyonları EC üzerine P<0.01 önem düzeyinde etki yapmışlardır (Çizelge 4.95). Tüm faktörlerin interaksiyonlarında oluşan EC değerlerine ait ortalamalar Çizelge 4.103'de verilmiştir. Buna göre en yüksek EC değerleri ilk dönem Dökmetepe x mısır x BD5 x GD4 (1.27 dS m<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Dökmetepe x fasulye x BD5 x GD5 (1.89 dSm<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük EC değerleri ise ilk dönem Kömeç x mısır x BD1 x GD1 (0.21 dS m<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Kömeç x çeltik x BD4 x GD1 (0.25 dS m<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.102. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine ( $dS m^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	0.28	<b>0.26 yz</b>	<b>0.26 yz</b>	0.28	0.35
	GD2	0.50	0.37	0.42	0.41	0.38
	GD3	0.59	0.54	0.55	0.55	0.54
	GD4	0.83	0.56	0.79	0.91	0.81
	GD5	0.70	0.91	0.78	0.71	0.73
Mısır	GD1	0.26	0.27	0.29	0.35	0.36
	GD2	0.43	0.42	0.43	0.54	0.53
	GD3	0.51	0.58	0.60	0.65	0.68
	GD4	0.81	0.72	0.58	0.83	<b>1.07 a</b>
	GD5	0.90	0.83	0.87	0.85	0.90
Fasulye	GD1	<b>0.22 z</b>	0.28	<b>0.26 yz</b>	0.30	0.38
	GD2	0.41	0.39	0.37	0.53	0.48
	GD3	0.58	0.52	0.55	0.67	0.63
	GD4	0.75	0.73	0.69	0.85	0.89
	GD5	0.81	<b>1.02 ab</b>	0.83	0.80	0.84
2. Dönem						
Çeltik	GD1	<b>0.27 n</b>	<b>0.29 lmn</b>	0.30	<b>0.28 lm</b>	0.30
	GD2	0.33	0.30	0.34	0.30	0.33
	GD3	0.46	0.64	0.43	0.53	0.60
	GD4	1.44	1.59	1.02	1.25	1.27
	GD5	1.23	1.54	1.41	1.51	1.56
Mısır	GD1	0.45	<b>0.28 lm</b>	0.44	0.34	0.34
	GD2	0.38	0.43	0.42	0.45	0.67
	GD3	0.51	0.48	0.55	0.56	0.65
	GD4	1.15	0.98	1.17	<b>1.60 abc</b>	1.47
	GD5	1.24	1.52	1.57	<b>1.67 ab</b>	1.49
Fasulye	GD1	0.29	0.30	0.30	0.34	0.35
	GD2	0.37	0.38	0.29	0.58	0.45
	GD3	0.53	0.48	0.57	0.65	0.66
	GD4	0.99	1.01	1.34	1.15	1.47
	GD5	1.36	1.26	<b>1.60 abc</b>	1.03	<b>1.76 a</b>



Çizelge 4.103. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın elektriksel iletkenliğine (dS m<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömçe	GD1	0.26	0.24	<b>0.22</b>	0.23	0.31	<b>0.21</b>	0.23	0.26	0.34	0.33	<b>0.22</b>	0.23	0.25	0.30	0.34
	GD2	0.48	0.35	0.33	0.44	0.36	0.35	0.41	0.38	0.44	0.47	0.43	0.34	0.30	0.33	0.38
	GD3	0.50	0.45	0.43	0.49	0.52	0.48	0.56	0.56	0.63	0.59	0.58	0.55	0.37	0.47	0.51
	GD4	0.76	0.52	0.57	0.83	0.72	0.73	0.59	0.80	0.82	0.87	0.52	0.60	0.61	0.77	0.79
	GD5	0.63	0.84	0.67	0.62	0.72	0.93	0.71	0.83	0.81	0.86	0.72	<b>1.08 ab</b>	0.84	0.73	0.74
Dökmetepe	GD1	0.31	0.28	0.30	0.33	0.38	0.31	0.32	0.32	0.37	0.39	<b>0.22</b>	0.32	0.26	0.31	0.42
	GD2	0.52	0.38	0.51	0.38	0.39	0.52	0.43	0.47	0.63	0.59	0.39	0.44	0.43	0.74	0.58
	GD3	0.67	0.63	0.66	0.60	0.55	0.54	0.60	0.64	0.67	0.78	0.57	0.49	0.73	0.87	0.74
	GD4	0.90	0.60	1.00	0.99	0.90	0.89	0.85	0.37	0.84	<b>1.27 a</b>	0.98	0.86	0.76	0.93	0.99
	GD5	0.77	0.98	0.89	0.80	0.74	0.87	0.95	0.90	0.90	0.93	0.90	0.96	0.82	0.88	0.93
2. Dönem																
Kömçe	GD1	<b>0.26</b>	0.27	0.28	<b>0.25</b>	0.27	0.60	<b>0.26</b>	0.31	0.31	0.30	<b>0.26</b>	0.29	0.32	0.31	0.36
	GD2	0.32	0.30	0.34	0.31	0.35	0.40	0.42	0.41	0.39	0.39	0.36	0.39	<b>0.26</b>	0.72	0.38
	GD3	0.48	0.81	0.43	0.41	0.47	0.59	0.56	0.57	0.58	0.65	0.38	0.46	0.47	0.47	0.54
	GD4	1.10	1.51	1.30	0.86	1.08	0.95	0.79	0.76	1.59	1.44	1.08	1.36	1.43	1.20	1.37
	GD5	1.59	1.37	1.03	1.24	1.37	1.12	1.41	1.61	1.64	1.39	1.38	1.32	1.35	1.33	1.63
Dökmetepe	GD1	0.27	0.31	0.32	0.30	0.33	0.30	0.30	0.58	0.37	0.38	0.31	0.31	0.29	0.37	0.35
	GD2	0.33	0.31	0.34	0.29	0.31	0.37	0.44	0.44	0.50	0.95	0.37	0.36	0.31	0.44	0.52
	GD3	0.45	0.47	0.44	0.65	0.72	0.43	0.40	0.54	0.54	0.65	0.67	0.50	0.66	0.83	0.79
	GD4	1.78	1.66	0.75	1.63	1.46	1.35	1.17	1.57	1.60	1.51	0.89	0.65	1.25	1.10	1.58
	GD5	0.88	1.70	<b>1.79 abc</b>	<b>1.79 abc</b>	1.74	1.35	1.63	1.53	1.70	1.58	1.34	1.21	<b>1.86 a</b>	0.74	<b>1.89 a</b>

### 4.3. Uygulamaların Toprağın Fiziksel Özelliklerine Etkileri

Biyoçar materyallerinin öncelikle karbonun toprakta depolanması veya toprağın karbonca zenginleşmesi (Woolf ve ark., 2010) ve toprak verimliliğinin artırılması amacı ile kullanımı ilgi çekmiştir (Liu ve ark., 2013). Ancak biyoçar gözeneklilik, hidrolik iletkenlik ve su tutma kapasitesi gibi fiziksel toprak karakteristiklerinin değişmesine de etki yaptığından (Githinji, 2014) toprağın fonksiyon gösterme yeteneğinin iyileşmesine katkı vermektedir. Biyoçarların toprağa katılmasının hemen ardından gerçekleştirilen birinci sera denemesinde buğday hasadından yaklaşık üç ay sonra aynı topraklarda denemenin ikinci dönem buğday ekimleri gerçekleştirilmiştir. İkinci dönemde toprağa yeniden biyoçar uygulaması yapılmamıştır. Sadece GD uygulamasında açıklandığı şekilde bitki besin elementleri çözelti halinde deneme başlangıcında toprağa karıştırılmış ve ekim işlemi gerçekleştirilmiştir. İlk ve ikinci yetiştirme dönemleri sonunda saksılardan alınan bozulmuş topraklarda tarla kapasitesi (TK) ve solma noktası (SN) nem içerikleri belirlenmiş ve iki nem içeriği arasındaki fark yarayışlı su içeriği (YSİ) olarak kayıt edilmiştir. Bunlara ilaveten deneme sonunda 100 cm<sup>3</sup>'lük silindire alınan bozulmamış toprak örneklerinde hacim ağırlığı belirlenmiştir. Her iki dönemde belirlenen nem içerikleri arasındaki farklılığı tespit için yapılan test sonuçları Çizelge 4.104'de verilmiştir. Biyoçar uygulamaları sonunda iki sera denemesi sonunda elde edilen TK, SN ve YSİ değerlerinin birbirlerinden önemli düzeyde farklı (P<0.01) oldukları görülmektedir.

Çizelge 4.104. İki ayrı dönem sonunda elde edilen toprak su içeriklerinin karşılaştırılması, eşleştirilmiş t-testi

Dönem	Değişken	SD	Ortalama	Ortalama Farkı	t (gözlenen)	t  (kritik)	P
1	Tarla Kapasitesi	449	17.5251	-0.7198	-6.6065	1.9653	<0.0001
2		449	18.2449				
1	Solma Noktası	449	7.5173	0.3851	11.2610	1.9653	<0.0001
2		449	7.1323				
1	Yarayışlı Su İçeriği	449	10.0650	-1.0482	-10.9260	1.9653	<0.0001
2		449	11.1132				

\*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 düzeyinde önemlidir, SD: Serbestlik Derecesi

Dönemler arası nem içerikleri birbirlerinden istatistiksel olarak önemli görülmele birlikte farklılık çok yüksek değildir. İkinci dönem toprağın TK'si %0.71 artarken aksine SN %0.40 azalmıştır. YSİ bu iki nem içeriği arasındaki fark olduğundan ortalama %1.04 artmıştır (Çizelge 4.105).

Çizelge 105. İki ayrı dönemde toprak nem içeriklerine ait ortalama değerler

Dönem	Tarla Kapasitesi	Solma Noktası	Yarayışlı Su
		%	
1	17.53	7.52	10.07
2	18.24	7.13	11.11

### 4.3.1 Toprağın tarla kapasitesi nem içeriğine etkileri

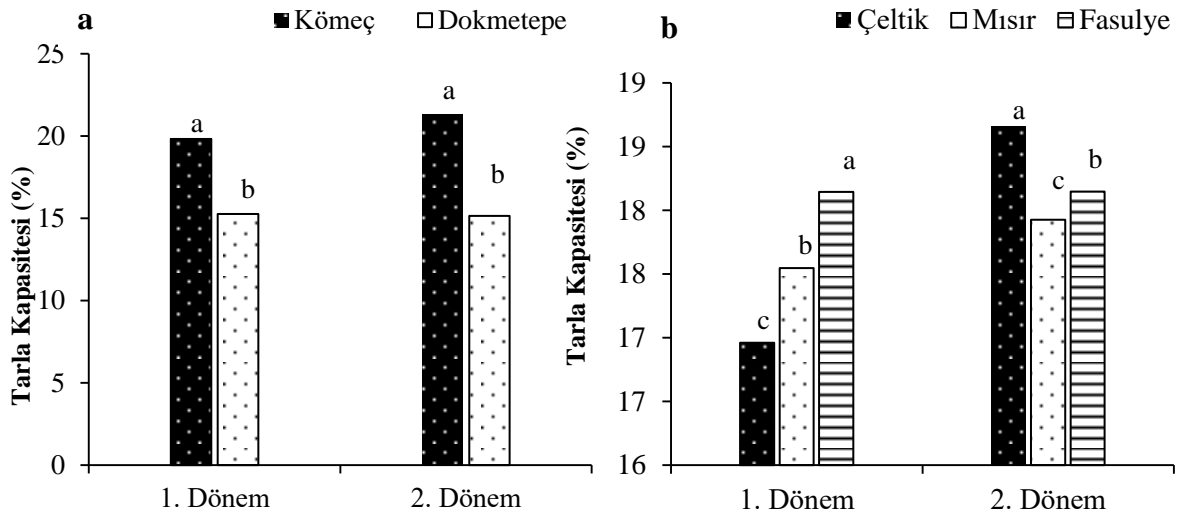
Üç ayrı biyoçar çeşidinin iki ayrı toprağa beş farklı dozda uygulanması ile kurulan denemede iki dönem buğday bitkisi yetiştirilmiştir. Biyoçar çeşidi (BÇ), biyoçar dozu (BD), gübre dozu (GD) ve toprak (T) faktörlerinin ve bu faktörlerin karşılıklı interaksiyonlarının toprağın TK nem içeriği üzerine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.106'da verilmiştir. İlk dönem T x BD ve T x BÇ x BD interaksiyonları haricinde tüm interaksiyonlar TK nem içeriği üzerine önemli düzeyde etki etmiş ve farklılaştırmışlardır. İkinci dönemde ise tüm faktörler ve interaksiyonlar TK nem içeriği üzerine önemli düzeyde etki etmiştir.

Çizelge 4.106. Uygulamaların toprakların tarla kapasitesi nem içeriklerine etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	2275.43	2275.43	2382.26	<0.0001**	4323.20	4323.20	10847.74	<0.0001**
Biyoçar Çeşidi (BÇ)	2	120.31	60.16	62.98	<0.0001**	42.23	21.11	52.98	<0.0001**
Biyoçar Dozu (BD)	4	176.83	44.21	46.28	<0.0001**	93.76	23.44	58.82	<0.0001**
Gübre Dozu (GD)	4	19.18	4.80	5.02	<0.0001**	53.99	13.50	33.87	<0.0001**
T*BÇ	2	168.48	84.24	88.19	<0.0001**	132.90	66.45	166.74	<0.0001**
T*BD	4	7.30	1.83	1.91	0.1650 <sup>OD</sup>	18.67	4.67	11.71	<0.0001**
T*GD	4	113.36	28.34	29.67	<0.0001**	101.11	25.28	63.43	<0.0001**
BÇ*BD	8	26.05	3.26	3.41	<0.0001**	40.57	5.07	12.73	<0.0001**
BÇ*GD	8	103.69	12.96	13.57	<0.0001**	156.87	19.61	49.20	<0.0001**
BD*GD	16	51.35	3.21	3.36	<0.0001**	80.84	5.05	12.68	<0.0001**
T*BÇ*BD	8	9.84	1.23	1.29	0.0575 <sup>OD</sup>	22.01	2.75	6.90	<0.0001**
T*BÇ*GD	8	200.75	25.09	26.27	<0.0001**	206.27	25.78	64.70	<0.0001**
T*BD*GD	16	34.83	2.18	2.28	<0.0001*	59.65	3.73	9.36	<0.0001**
BÇ*BD*GD	32	77.09	2.41	2.52	<0.0001**	169.11	5.28	13.26	<0.0001**
T*BÇ*BD*GD	32	62.01	1.94	2.03	<0.0001**	172.19	5.38	13.50	<0.0001**

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir. OD: Farklılık önemli değil, SD: Serbestlik Derecesi

Tarla kapasitesi nem içeriği; toprak tam doymuş hale geldikten bir iki gün sonra kendi halinde drene olduktan sonra tutulan nem içeriği olarak tarif edilir (Cassel ve Nielsen, 1986). Toprak tekstürü suyun tutunmasında en etkili toprak fiziksel özelliği olarak kabul edilmektedir. Denemede yer alan toprak faktörü her iki dönemde de toprakların TK nem içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.106). Tınlı ve kumlu tın tekstüre sahip Kömeç ve Dökmetepe topraklarının ardışık iki dönemde yapılan sera denemesi sonunda sahip oldukları TK nem içeriği değerleri Şekil 4.53a'da gösterilmiştir. Kum içeriği daha yüksek olan Dökmetepe toprağının (%65 kum) TK nem içeriği Kömeç toprağının TK'ine oranla ilk dönem %22.95 ikinci dönem ise %29.04 daha düşük olduğu görülmektedir.

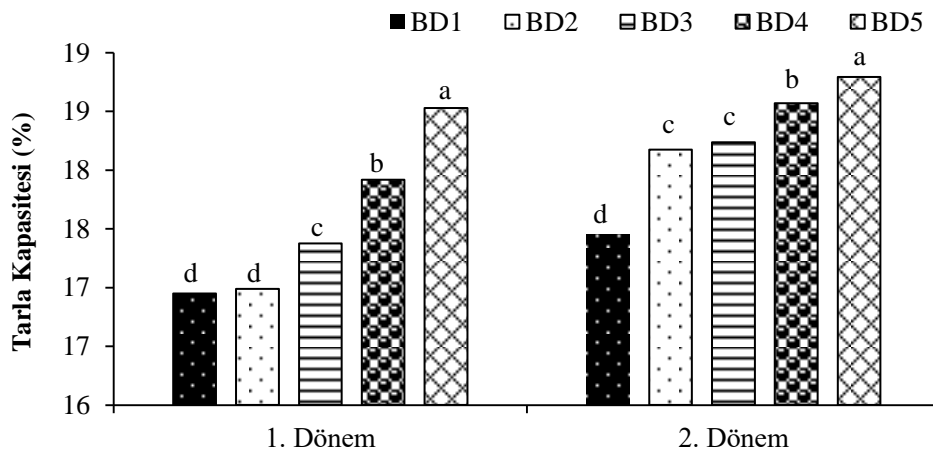


Şekil 4.53. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyoçar çeşidi altında toprağın tarla kapasitesi nem içeriklerine etkileri

Biyoçar çeşidi, toprağın TK nem içeriği üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.106). Biyoçar çeşitlerinin uygulandığı toprakların ortalama TK nem içerikleri Şekil 4.53b’de gösterilmiştir. Buna göre ilk dönem en düşük ortalama TK nem içeriği çeltik biyoçarı (%16.96) uygulamasında ve ikinci dönem ise mısır biyoçarı (%17.93) uygulamasında elde edilmiştir. Toprakta suyun tutulması toplam yüzey alanı ve toplam gözeneklilik ile doğru orantılı olarak bilinir. Özellikle tarla kapasitesinde tutulan suyun miktarı toplam gözeneklilik toprak bünyesinden ziyade daha çok strüktürel faktörlerin etkisi ve mikro gözeneklerin miktarı ile ilişkilidir. Yüzey alanının artışı ile tutulan suyun da miktarının artacağı düşünülmektedir. Uygulanan biyoçar materyallerinden mısırın spesifik yüzey alanı  $398 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , çeltik  $212 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  ve fasulyenin yüzey alanı  $118 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.1). En büyük yüzey alanına sahip materyal mısır biyoçarı olmasına rağmen mısır biyoçarı uygulanan toprakların nem içeriği yüzey alanı ile orantılı değildir. İlk dönem en yüksek ortalama TK nem içeriği en düşük yüzey alanına sahip olan fasulye biyoçarında (%18.15) ikinci dönem ise çeltik biyoçarı (%18.65) uygulanan topraklarda olmuştur. Bu durum biyoçar materyallerinin hidrofobik doğası ile ilişkili olabilir. Orman atıklarından üretilmiş olan biyoçarların doğal olarak hidrofobik oldukları bildirilmektedir (Page-Dumroese ve ark., 2015). Ancak Kinney ve ark. (2012), biyoçarın suyu itmesinin hem hammaddeye hem de piroliz koşullarına bağlı olarak değişebileceğini bildirmişlerdir. Jeffery ve ark. (2015)’da çalışmalarında kullandıkları biyoçarın hidrofobik olmasının suyun biyoçar parçalarının içerisine infiltrasyonunu önemli ölçüde azalttığı ve bu durumun toprakta suyun tutulmasını da engellediği bildirilmiştir. Ancak, bir başka çalışmada mesic Typic Hapludoll bir toprağa uygulanan biyoçarın tarla kapasitesi nem içeriğini %15 ve 1 ve 5 bar basınç

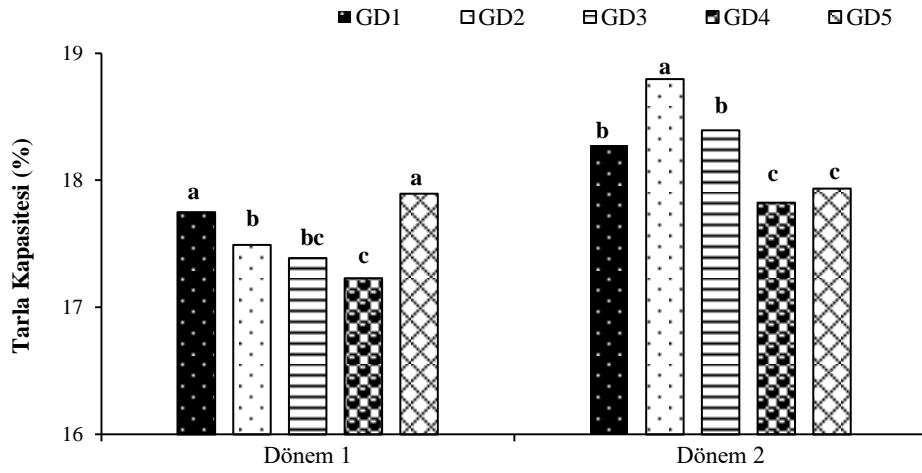
altında tutulan nem miktarlarını ise sırası ile %13 ve %10 oranında arttırdığı rapor edilmiştir (Laird ve ark., 2010).

Biyoçar dozunun TK nem içeriği üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yaptığı belirlenmiştir (Çizelge 4.106). En yüksek ortalama TK nem içerikleri her iki dönemde de BD5 (%18.53 ve %18.79) ve en düşük ortalama TK nem içerikleri ise biyoçar bulunmayan BD1 (%16.95 ve %17.45) uygulamasında elde edilmiştir (Şekil 4.54). Her iki dönemde de BD artışı TK nem içeriğinin artmasına neden olmuştur. Oldukça gözenekli bir yapıya sahip olan biyoçar materyallerinin toprağa ilavesi, toprakta gözenekliliğin artmasına neden olması TK nem içeriğinin de artışına neden olmuştur. Biyoçar ilavesi ile TK nem içeriği artışı BD1 uygulamasına kıyasla ilk dönem sırası ile %0.24 (BD2), %2.51 (BD3), %5.72 (BD4) ve %9.32 (BD5) olmuştur. İkinci dönemde benzer şekilde bir artış gözlemlenmiştir. Çalışmamızda elde ettiğimiz sonuca benzer şekilde, kırımızı meşe ağacının 500 °C’de pirolizi ile üretilen biyoçarı %3 ve %6 oranlarında kumlu tın tekstürlü bir toprağa uygulayan Dokoohaki ve ark. (2017), kontrol uygulamasına kıyasla biyoçar uygulamalarının toprağın gözenekliliğini arttırdığını ve hem doyumluk hem de tarla kapasitesinde tutulan nem miktarında önemli düzeyde artışa neden olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar biyoçar uygulamalarının gözenekliliği arttırmasından dolayı hacim ağırlığının da azalmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir. Tarla kapasitesi gibi düşük basınç altında tutulan su miktarının artmasının toprakta toplam gözenekliliğin artmasından kaynaklandığı başka araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Hardie ve ark., 2014; Sun ve ark., 2015; Igalavithana ve ark., 2017). Topraklardaki toplam gözenekliliğin artmasında temel etken ise biyoçar parçacıklarının gözenekliliği olduğu düşünülmektedir. Buna ilaveten, biyoçar ilave edilen topraklarda agregat stabilitesinin artması ve daha zengin biyolojik aktivitenin olması da toprakların toplam gözenekliliğinin artmasına yol açmaktadır (Hardie ve ark., 2014).



Şekil 4.54. Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların tarla kapasitesi nem içeriklerine etkileri

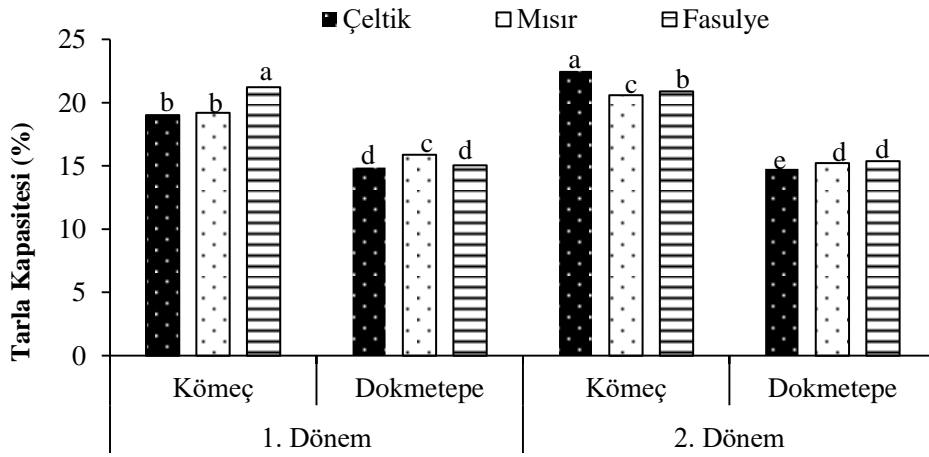
Gübre dozu uygulamaları her iki dönemde de TK nem içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.106). GD uygulamalarında toprakların ortalama TK nem içerikleri Şekil 4.55’de gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama YSİ, GD5 (%17.90) ve ikinci dönem ise GD2 (%18.80) uygulamaları ile elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük ortalama YSİ her iki dönemde de GD4 (%17.23 ve %17.82) uygulamasında gerçekleşmiştir. Her iki dönemde de GD dozlarının değişimi ile YSİ arasında belirgin bir ilişki tespit edilememiştir. gübre uygulamalarında TK değerleri çoğunlukla kontrol (GD1) uygulamasına kıyasla düşük kalmıştır.



Şekil 4.55. Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların tarla kapasitesi nem içeriklerine etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak tipi ve BÇ faktörlerinin interaksiyonu TK nem içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.106). Toprak x BÇ interaksiyonunda belirlenen TK nem içerikleri Şekil 4.56’da gösterilmiştir. İki dönemde de en düşük TK nem içerikleri Dökmetepe x çeltik (%14.89 ve %14.79) interaksiyonunda gerçekleşirken, ilk dönem en yüksek TK nem içeriği Kömeç x fasulye (%21.24) ve ikinci dönem ise Kömeç x çeltik (%20.90) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Her iki dönemde de kum içeriği yüksek olan Dökmetepe toprağı TK nem içerikleri tüm biyoçar çeşitlerinde Kömeç toprağına kıyasla önemli düzeyde daha düşüktür.



Şekil 4.56. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprakta tarla kapasitesi nem içeriklerine etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksiyonları ilk dönem TK nem içeriği üzerine etkisi önemli değil iken ( $P=0.1650$ ), ikinci dönem bu etki oldukça önemli düzeye çıkmıştır (Çizelge 4.106). Toprak x BD interaksiyonunda elde edilen TK nem içeriklerine ait değerler Çizelge 4.107’de verilmiştir. Buna göre her iki dönemde en yüksek ortalama TK nem içerikleri Kömeç x BD5 (%20.86 ve %22.00) ve en düşük TK değerleri Dökmetepe x BD1 (%14.61 ve %14.03) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Her iki toprak içinde en yüksek TK nem içerikleri biyoçar dozunun en yüksek olduğu BD5 (%3.0 biyoçar) ve en düşük ortalama TK nem içerikleri ise biyoçar bulunmayan kontrol uygulamasında (BD1) elde edilmiştir. Biyoçar miktarının artması toprakta toplam gözenekliliğin artmasına ve strüktürel iyileşmeye neden olduğundan TK nem içeriğinin de artmasına neden olmuştur. Tarla kapasitesinde tutulan nem içeriğinin artış miktarı uygulanan her biyoçar dozu için Dökmetepe toprağında Kömeç toprağına kıyasla daha yüksek olmuştur. Kontrol uygulamasına kıyasla en yüksek TK nem içeriği artışı her iki dönemde de %10.85 ve %11.07 ile Dökmetepe x BD5 interaksiyonunda gerçekleşmiştir. Kum içeriği yüksek olan Dökmetepe toprağında düşük dozlar ilk döneme kıyasla daha fazla su tutumuna neden olmuşlardır. İşte bu sonuç, strüktürel özellikleri zayıf olan hafif bünyeli topraklara uygulanan iyileştirici materyallerin toprakta kaldıkça uzun süre içerisinde strüktürel özelliklerde iyileşme sağladığını gösterir. Atık etkisi düşünüldüğünde %0.5 veya %1.0’lik biyoçar dozu uygulaması ile dahi biyoçar bulunmayan toprağına kıyasla %8.29 ve %9.88 oranında daha fazla su tutulmasının mümkün olduğu anlaşılmıştır.

Toprak tipi ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprağın TK nem içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.106). Toprak x GD interaksiyonuna ait ortalama TK nem içerikleri Çizelge 4.107’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama TK nem içeriği Kömeç x GD5 (%20.71) ve ikinci dönem Kömeç x GD3 (%22.26)

interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük ortalama TK nem içerikleri ise ilk dönem Dökmetepe x GD4 (%14.55) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x GD3 (%14.53) interaksiyonunda elde edilmiştir. GD doz artışı ile TK nem içerikleri arasında belirgin bir ilişki gözlemlenmemiştir. Kömeç toprağında her iki dönemde de en düşük TK nem içerikleri GD1 uygulamasında elde edilmiştir. GD uygulamaları toprakta nemin tutulması ile ilişkili bir uygulama olmadığından dolayı, TK nem içeriğinde belirgin bir değişime neden olmamaktadır. Kömeç toprağında GD doz artışı her iki dönemde de toprağın TK nem içeriğinin artışına neden olurken, Dökmetepe toprağında azalmaya neden olmuştur.

Çizelge 4.107. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	19.29 c	<b>14.61 e</b>	20.87 d	<b>14.03 g</b>
<b>BD2</b>	19.19 c	<b>14.79 e</b>	21.16 c	15.19 f
<b>BD3</b>	19.75 b	<b>15.00 e</b>	21.06 cd	15.42 ef
<b>BD4</b>	20.04 b	15.79 d	21.63 b	15.51 e
<b>BD5</b>	<b>20.86 a</b>	16.19 e	<b>22.00 a</b>	15.58 e
<b>GD1</b>	19.18 c	16.32 d	20.83 c	15.71 e
<b>GD2</b>	19.40 c	15.59 e	21.45 b	16.14 d
<b>GD3</b>	19.94 b	14.84 fg	<b>22.26 a</b>	<b>14.53 f</b>
<b>GD4</b>	19.91 b	<b>14.55 g</b>	20.92 c	<b>14.73 f</b>
<b>GD5</b>	<b>20.71 a</b>	15.08 f	21.25 b	<b>14.62 f</b>

Biyoçar çeşidi ve BD faktörlerinin interaksiyonları TK nem içeriği üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.106). Biyoçar çeşidi x BD interaksiyonlarında elde edilen ortalama TK değerleri Çizelge 4.108’de verilmiştir. Denemenin ilk döneminde her üç çeşitte de en yüksek TK nem içerikleri (Çeltik %17.51, mısır %18.52 ve fasulye %19.56) BD5 uygulamasında oluşmuştur. En düşük TK değerleri ise çeltik x BD2 (%16.52), mısır x BD1 ve BD2 (%16.94 ve 16.93) ve fasulye x BD1 (%17.12) interaksiyonlarında elde edilmiştir. İkinci dönem en düşük ortalama TK nem içerikleri her üç çeşitte de BD1 uygulamasında gerçekleşmiştir. Buna karşılık en yüksek TK değerleri ilk dönemden farklı olarak çeltik biyoçarında BD2 (%19.06), mısır biyoçarında BD4 (%18.36) ve fasulye biyoçarında ise BD5 (%19.23) uygulamalarında gerçekleşmiştir. Biyoçar dozu ile TK nem içeriği artışının en belirgin olduğu çeşit fasulyedir. Fasulye biyoçarında BD4 ve BD5 uygulamaları BD1’e kıyasla TK nem içeriğinin ilk dönem %9.42 ve %14.23 ile %11.01 ve %13.82 oranında artmasına neden olmuşlardır. Tarla kapasitesi nem içeriği artışında fasulye biyoçarını sırası ile mısır ve çeltik biyoçarları takip etmiştir.

Biyoçar çeşidi ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprağın TK nem içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.106). Çeşit x GD interaksiyonunda elde edilen ortalama TK nem içerikleri Çizelge 4.108’de verilmiştir. İlk



dönem en yüksek ortalama TK değerleri mısır x GD1 (%18.68) ve ikinci dönem ise çeltik x GD2 interaksiyonlarında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük ortalama TK nem içerikleri ise ilk dönem mısır GD4 (%16.43) ile çeltik x GD2 (%16.42) ve ikinci dönem ise fasulye GD1 (%16.96) interaksiyonlarında gerçekleşmiştir. Fasulye biyoçarında her iki dönemde de GD doz artışı ile TK nem içeriği artmıştır. Buna karşılık mısır biyoçarında her iki dönemde de GD artışı ile TK nem içeriği azalma göstermiştir. Çeltik biyoçarında ise ilk dönem GD artışı çoğulukla TK değerinde artışa neden olurken ikinci dönem bunun tam tersi yaşanmıştır.

Çizelge 4.108. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	16.79 gh	16.94 fg	17.12 efg	18.14 fg	17.31 j	16.90 k
<b>BD2</b>	16.52 h	16.93 fg	17.52 cde	19.06 ab	17.68 i	17.79 hi
<b>BD3</b>	16.78 gh	17.53 cd	17.81 c	18.65 cd	17.99 ghi	18.07 fgh
<b>BD4</b>	17.21 def	17.81 c	18.73 b	18.59 cde	18.36 def	18.76 bc
<b>BD5</b>	17.51 cde	18.52 b	<b>19.56 a</b>	18.85 bc	18.29 efg	<b>19.23 a</b>
<b>GD1</b>	16.72 gh	<b>18.68 a</b>	17.85 de	<b>19.52 a</b>	18.34 de	<b>16.96 j</b>
<b>GD2</b>	<b>16.43 h</b>	18.18 bcd	17.86 de	<b>19.58 a</b>	18.54 cd	18.27 def
<b>GD3</b>	17.12 fg	16.94 g	18.11 cd	18.94 b	17.74 g	18.50 d
<b>GD4</b>	16.91 g	<b>16.42 h</b>	18.36 abc	17.97 fg	17.35 hi	18.15 ef
<b>GD5</b>	17.63 e	17.51 ef	18.55 ab	17.29 i	17.66 gh	18.86 bc

Biyoçar dozu ve GD faktörleri toprağın TK nem içeriği üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.106). BD x GD interaksiyonlarına ait ortalama TK değerleri Çizelge 4.109'da verilmiştir. Buna göre en yüksek ortalama TK değerleri ilk dönem BD5 x GD5 (%19.10) ve ikinci dönem BD5 x GD2 (%19.72) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük ortalama TK nem içerikleri ilk dönem BD1 x GD3 (%16.47) ve ikinci dönem ise BD2 x GD5 (%17.22) interaksiyonlarının olduğu deneme topraklarında gerçekleşmiştir. Çeşitlerde olduğu gibi biyoçar dozlarında da GD uygulamalarına bağlı olarak TK nem içeriklerinde belirli bir değişim söz konusu değildir. Ancak her iki dönemde de tüm GD dozlarında en yüksek TK nem içeriği BD4 ve BD5 dozlarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.109. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri

	1. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	17.03 efg	17.18 d-g	17.37 def	18.17 b	19.00 a
<b>GD2</b>	17.20 d-g	17.34 def	17.05 efg	17.61 cd	18.27 b
<b>GD3</b>	<b>16.47 h</b>	16.70 gh	17.43 de	18.19 b	18.15 b
<b>GD4</b>	17.18 d-g	16.77 gh	16.93 e-h	17.14 d-g	18.12 bc
<b>GD5</b>	16.87 fgh	16.96 e-h	18.08 bc	18.47 b	<b>19.10 a</b>
	2. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	17.44 ijk	17.65 h-k	18.35 efg	18.72 b-e	19.22 ab
<b>GD2</b>	17.70 h-k	19.11 bc	18.61 cde	18.84 b-e	<b>19.72 a</b>

<b>GD3</b>	17.34 jk	17.99 fgh	18.65 cde	19.03 bc	18.98 bcd
<b>GD4</b>	17.39 ijk	18.90 bcd	17.67 h-k	17.80 hij	17.36 j-k
<b>GD5</b>	17.38 ijk	<b>17.22 k</b>	17.91 ghi	18.47 def	18.69 b-e

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörlerinin interaksyonları TK üzerine ilk dönem önemli bir etki yapmamış ( $P=0.2496$ ) ancak bu etki ikinci dönem önemli ( $P<0.01$ ) bulunmuştur (Çizelge 4.106). Toprak x çeşit x BD interaksyonlarına ait ortalama TK değerleri Çizelge 4.110'da verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama TK değerleri Kömeç x fasulye x BD5 (% 22.71) ve ikinci dönem ise Kömeç x çeltik x BD5 (% 22.88) interaksyonlarında gerçekleşmiştir. En düşük ortalama TK değerleri ise iki dönemde de Dökmetepe x fasulye x BD1 (% 13.87 ve % 13.38) interaksyonlarında elde edilmiştir. Her iki toprakta da uygulanan 3 biyoçar çeşidinin en yüksek değerleri BD'nun en yüksek olduğu BD5 ve ortalama en düşük TK değerleri ise biyoçar bulunmayan BD1 uygulamasında elde edilmiştir.

Çizelge 4.110. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	19.06 ef	18.43 g	20.37 d	14.51 k	15.45 i	<b>13.87 l</b>
<b>BD2</b>	18.61 fg	18.60 fg	20.35 d	14.42 kl	15.27 i	14.69 jk
<b>BD3</b>	18.90 efg	19.39 e	20.97 c	14.66 jk	15.68 i	14.65 k
<b>BD4</b>	19.19 e	19.13 ef	21.81 b	15.23 ij	16.49 h	15.66 i
<b>BD5</b>	19.40 e	20.49 cd	<b>22.71 a</b>	15.63 i	16.55 h	16.41 h
2. Dönem						
<b>BD1</b>	22.34 bc	19.86 h	20.41 g	<b>13.94 o</b>	14.76 n	<b>13.38 p</b>
<b>BD2</b>	22.79 ab	20.42 g	20.26 gh	15.32 lm	14.94 mn	15.32 lm
<b>BD3</b>	21.97 cd	20.54 fg	20.66 fg	15.32 lm	15.45 kl	15.48 kl
<b>BD4</b>	22.64 ab	20.94 ef	21.33 e	14.55 n	15.78 jk	16.19 ij
<b>BD5</b>	<b>22.88 a</b>	21.27 e	21.85 d	14.82 n	15.31 lm	16.61 i

Toprak tipi, BÇ ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de toprakların TK nem içerikleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.106). Bu interaksyonlarda elde edilen ortalama TK değerleri ise Çizelge 4.111'de verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama TK, Kömeç x fasulye x GD5 (%22.01) ve ikinci dönem Kömeç x çeltik x GD3 (% 25.14) interaksyonlarında elde edilmiştir. En düşük ortalama TK değerleri ise her iki dönemde de Dökmetepe x çeltik x GD3 (%13.73 ve % 12.74) interaksyonunda gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.111. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	17.41 i	19.01 fg	21.11 bc	16.03 j	18.35 h	14.59 lm
<b>GD2</b>	18.31 h	19.09 efg	20.80 cd	14.56 lm	17.27 i	14.93 kl
<b>GD3</b>	20.51 d	18.40 h	20.90 bcd	<b>13.73 n</b>	15.48 jk	15.33 k
<b>GD4</b>	19.63 e	18.73 gh	21.38 b	14.19 mn	14.11 mn	15.34 k
<b>GD5</b>	19.31 ef	20.81 bcd	<b>22.01 a</b>	15.94 j	14.21 mn	15.09 kl
2. Dönem						
<b>GD1</b>	21.80 c	20.40 efg	20.30 fg	17.23 h	16.28 i	<b>13.63 o</b>
<b>GD2</b>	23.20 b	20.85 de	20.31 fg	15.96 i	16.22 i	16.23 i
<b>GD3</b>	<b>25.14 a</b>	20.55 ef	21.10 d	<b>12.74 p</b>	14.93 jk	15.91 i
<b>GD4</b>	21.67 c	20.07 g	21.01 d	14.28 lm	14.64 kl	15.28 j
<b>GD5</b>	20.82 de	21.15 d	21.78 c	13.76 no	14.16 mn	15.93 i

Toprak tipi, BD ve GD interaksyonları her iki dönemde de toprakların TK nem içerikleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.106). Bu interaksyonlara ait ortalama TK değerleri ise Çizelge 4.112’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek ortalama TK nem içeriği, Kömeç x BD5 x GD3 (%21.78) ve ikinci dönem ise Kömeç x BD5 x GD3 (%23.37) interaksyonlarında elde edilmiştir. Buna karşın en düşük ortalama TK değerleri ise Dökmetepe x BD1 x GD5 (%13.64) ve ikinci dönem Dökmetepe x BD1 x GD3 (% 13.03) interaksyonlarında gerçekleşmiştir. Her iki toprakta da en yüksek TK değerleri BD5 ve en düşük TK değerleri BD1 ile elde edilirken GD uygulamaları ile bu düzen değişmemiştir.

Çizelge 4.112. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	18.27kl	18.52jk	18.86h-k	19.79d-g	20.44bcd	15.79n-q	15.83m-p	15.89m-p	16.56lm	17.56l
<b>GD2</b>	18.94h-k	18.71ijk	19.01hij	19.94def	20.39bcd	15.46o-r	15.97m-p	15.09qr	15.27pqr	16.16mno
<b>GD3</b>	19.10g-j	19.40f-i	19.96def	20.43bcd	20.79bc	13.84t	14.00t	14.91rs	15.96m-p	15.51o-r
<b>GD4</b>	20.04def	19.48e-h	20.14cde	18.98h-k	20.92b	14.31st	14.07t	13.72t	15.31pqr	15.32pqr
<b>GD5</b>	20.09c-f	19.82d-g	20.79bc	21.08ab	<b>21.78a</b>	<b>13.64t</b>	14.09t	15.38pqr	15.87m-p	16.42mn
2. Dönem										
<b>GD1</b>	20.61i-l	20.25lm	20.26l-m	21.09g-k	21.97cde	14.27stu	15.06pqr	16.43n	16.34n	16.46n
<b>GD2</b>	20.38j-m	21.72d-g	20.90h-l	21.52d-h	22.75ab	15.02q-s	16.51n	16.31n	16.16no	16.69n
<b>GD3</b>	21.65d-g	21.88c-f	21.82d-g	22.60abc	<b>23.37a</b>	<b>13.03w</b>	14.09tuv	15.47op	15.46op	14.59q-t
<b>GD4</b>	21.35e-i	21.23e-i	21.10g-k	21.15f-j	19.76m	13.43vw	16.57n	14.25stu	14.44q-u	14.97p-s
<b>GD5</b>	20.36klm	20.71i-l	21.22e-i	21.80d-g	22.16bcd	14.40r-u	13.73uvw	14.61q-t	15.14pqr	15.21pq

Biyotaar eşidi, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprakların TK nem içerikleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.106). İlk dönem en yüksek ortalama TK nem içeriği fasulye x BD5 x GD5 (%19.90) ve ikinci dönem ise eltik x BD2 x GD4 (%21.65) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük ortalama TK değerleri ise ilk dönem eltik x BD2 x GD5 (%14.88) ve ikinci dönem ise eltik x BD5 x GD4 (%15.53) interaksiyonlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.113).

Çizelge 4.113. Biyotaar eşidi x biyotaar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	17.10	16.18	16.28	16.70	17.33
	GD2	16.38	16.18	16.53	16.35	16.72
	GD3	16.37	17.00	17.08	17.57	17.57
	GD4	16.98	16.33	16.53	17.28	17.42
	GD5	17.10	16.88	17.47	18.15	18.53
Mısır	GD1	17.60	18.22	18.60	19.18	19.78
	GD2	18.43	17.30	17.48	19.03	18.67
	GD3	16.58	16.32	16.75	17.48	17.57
	GD4	<b>15.62</b>	16.40	17.00	<b>15.38</b>	17.70
	GD5	16.47	16.43	17.83	17.97	18.87
Fasulye	GD1	16.38	17.13	17.23	18.63	<b>19.88a</b>
	GD2	16.78	18.53	17.13	17.43	19.43
	GD3	16.47	16.78	18.47	<b>19.53</b>	19.32
	GD4	18.93	17.58	17.27	18.77	19.25
	GD5	17.03	17.55	18.95	19.30	<b>19.90a</b>
2. Dönem						
eltik	GD1	18.78	18.67	19.49	19.89	<b>20.75</b>
	GD2	18.98	19.26	19.71	19.29	<b>20.67</b>
	GD3	18.12	18.40	18.79	19.31	20.06
	GD4	18.20	<b>21.65a</b>	17.15	17.34	<b>15.53</b>
	GD5	16.63	17.30	18.11	17.14	17.27
Mısır	GD1	17.34	17.79	18.99	18.77	18.81
	GD2	18.05	18.77	18.85	18.99	18.04
	GD3	16.71	18.02	18.01	18.23	17.75
	GD4	16.52	17.22	17.14	17.47	18.42
	GD5	17.95	16.60	16.98	18.34	18.44
Fasulye	GD1	16.19	16.50	16.56	17.49	18.09
	GD2	16.08	19.31	17.26	18.24	<b>20.46</b>
	GD3	17.19	17.54	19.14	19.54	19.12
	GD4	17.46	17.83	18.74	18.58	18.14
	GD5	17.57	17.77	18.65	19.95	20.35

Toprak tipi, B, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de TK nem içeriği üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (P=0.0001) (Çizelge 4.106). İlk dönem en yüksek ortalama TK nem içeriği Kömeç x fasulye x BD5 x GD5 (% 23.43) ve ikinci dönem ise Kömeç x eltik x BD5 x GD3 (% 27.22) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Bununla birlikte en düşük ortalama TK nem içeriği ilk dönem Dökmetepe x mısır x BD1 x GD5 (%12.87) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x eltik x BD1 x GD4 (%11.40) interaksiyonlarında görülmüştür.

Çizelge 4.114. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun tarla kapasitesi nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	17.50	17.03	17.10	17.50	17.90	17.53	18.33	19.00	19.80	20.37	19.77	20.20	20.47	22.07	<b>23.07</b>
	GD2	17.80	17.87	17.77	18.83	19.27	18.77	18.10	18.67	20.07	19.87	20.27	20.17	20.60	20.93	22.03
	GD3	19.47	20.50	20.70	21.27	20.60	18.00	17.87	18.23	18.77	19.13	19.83	19.83	20.93	21.27	22.63
	GD4	20.90	18.77	19.50	19.17	19.83	17.80	19.20	20.00	16.07	20.57	21.43	20.47	20.93	21.70	22.37
	GD5	19.63	18.90	19.43	19.20	19.40	20.07	19.50	21.03	20.97	<b>22.50</b>	20.57	21.07	21.90	<b>23.07</b>	<b>23.43a</b>
Dökmetepe	GD1	16.70	15.33	15.47	15.90	16.77	17.67	18.10	18.20	18.57	19.20	<b>13.00</b>	14.07	14.00	15.20	16.70
	GD2	14.97	14.50	15.30	13.87	14.17	18.10	16.50	16.30	18.00	17.47	13.30	16.90	13.67	13.93	16.83
	GD3	13.27	13.50	13.47	13.87	14.53	15.17	14.77	15.27	16.20	16.00	<b>13.10</b>	13.73	16.00	17.80	16.00
	GD4	<b>13.07</b>	13.90	13.57	15.40	15.00	13.43	13.60	14.00	14.70	14.83	16.43	14.70	13.60	15.83	16.13
	GD5	14.57	14.87	15.50	17.10	17.67	<b>12.87</b>	13.37	14.63	14.97	15.23	13.50	14.03	16.00	15.53	16.37
2. Dönem																
Kömeç	GD1	21.24	21.48	21.39	22.07	22.84	20.10	20.16	19.74	20.65	21.36	20.48	19.10	19.65	20.56	21.71
	GD2	21.80	24.19	21.53	22.99	25.51	20.19	20.89	21.10	20.97	21.10	19.16	20.07	20.06	20.61	21.65
	GD3	23.99	24.10	<b>24.25</b>	<b>26.12</b>	<b>27.22a</b>	19.72	20.85	20.67	20.80	20.74	21.24	20.70	20.55	20.87	22.15
	GD4	<b>24.99</b>	23.39	21.60	20.61	17.73	18.56	19.64	20.19	21.00	20.98	20.51	20.66	21.50	21.85	20.55
	GD5	19.68	20.81	21.09	21.40	21.11	20.74	20.56	21.01	21.27	22.19	20.66	20.76	21.55	22.74	23.19
Dökmetepe	GD1	16.32	15.86	17.59	17.71	18.65	14.58	15.43	18.23	16.89	16.26	<b>11.90</b>	13.89	13.48	14.41	14.47
	GD2	16.16	14.33	17.89	15.59	15.82	15.90	16.65	16.59	17.01	14.98	13.00	18.54	14.46	15.87	19.27
	GD3	12.26	12.70	13.32	12.50	12.90	13.70	15.18	15.36	15.66	14.77	13.13	14.38	17.73	18.20	16.09
	GD4	<b>11.40</b>	19.92	12.69	14.07	13.32	14.48	14.80	14.10	13.95	15.86	14.41	15.01	15.97	15.30	15.72
	GD5	13.58	13.79	15.13	12.87	13.43	15.16	12.63	12.95	15.40	14.68	14.47	14.78	15.75	17.15	17.51

### 4.3.2 Toprağın solma noktası nem içeriğine etkileri

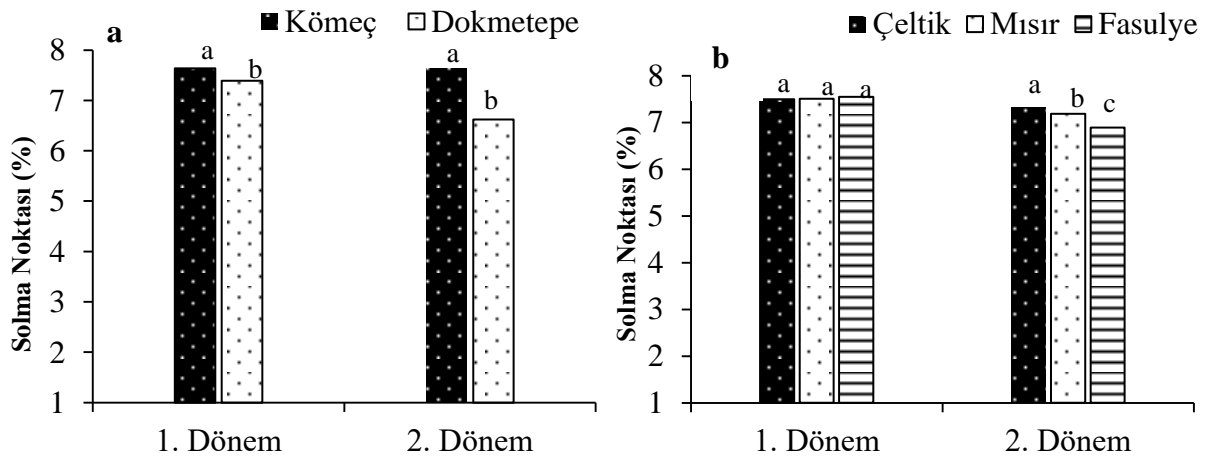
Solma noktası nem içeriği; topraktaki nemin bitkilerin solmasına neden olduğu ve yeterli su verilse dahi geri dönüşümün olmadığı nem içeriği olarak tanımlanır. Deneme topraklarının SN nem içerikleri üzerine uygulanan faktörlerden sadece bitki çeşidi ilk dönem etkili olmamış, diğer tüm faktörler ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri SN üzerine önemli düzeyde etki yapmışlardır (Çizelge 4.115).

Çizelge 4.115. Uygulamaların toprakların solma noktası nem içeriklerine etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	6.72	6.72	111.87	<0.0001**	115.93	115.93	3192.96	<0.0001**
Biyοçar Çeşidi (BÇ)	2	0.25	0.13	2.08	0.1270 <sup>OD</sup>	14.55	7.27	200.35	<0.0001**
Biyοçar Dozu (BD)	4	17.21	4.30	71.58	<0.0001**	9.01	2.25	62.01	<0.0001**
Gübre Dozu (GD)	4	7.25	1.81	30.16	<0.0001**	7.38	1.84	50.80	<0.0001**
T*BÇ	2	34.65	17.33	288.33	<0.0001**	17.25	8.62	237.52	<0.0001**
T*BD	4	1.50	0.38	6.23	<0.0001**	0.63	0.16	4.37	0.0019**
T*GD	4	41.48	10.37	172.58	<0.0001**	23.42	5.86	161.28	<0.0001**
BÇ*BD	8	3.26	0.41	6.78	<0.0001**	3.12	0.39	10.73	<0.0001**
BÇ*GD	8	21.60	2.70	44.93	<0.0001**	52.37	6.55	180.32	<0.0001**
BD*GD	16	14.61	0.91	15.20	<0.0001**	4.30	0.27	7.40	<0.0001**
T*BÇ*BD	8	3.36	0.42	6.98	<0.0001**	1.40	0.17	4.80	<0.0001**
T*BÇ*GD	8	7.66	0.96	15.94	<0.0001**	18.68	2.33	64.30	<0.0001**
T*BD*GD	16	6.19	0.39	6.44	<0.0001**	4.46	0.28	7.68	<0.0001**
BÇ*BD*GD	32	9.62	0.30	5.00	<0.0001**	10.33	0.32	8.89	<0.0001**
T*BÇ*BD*GD	32	18.09	0.57	9.41	<0.0001**	11.60	0.36	9.99	<0.0001**

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil  
SD: Serbestlik Derecesi

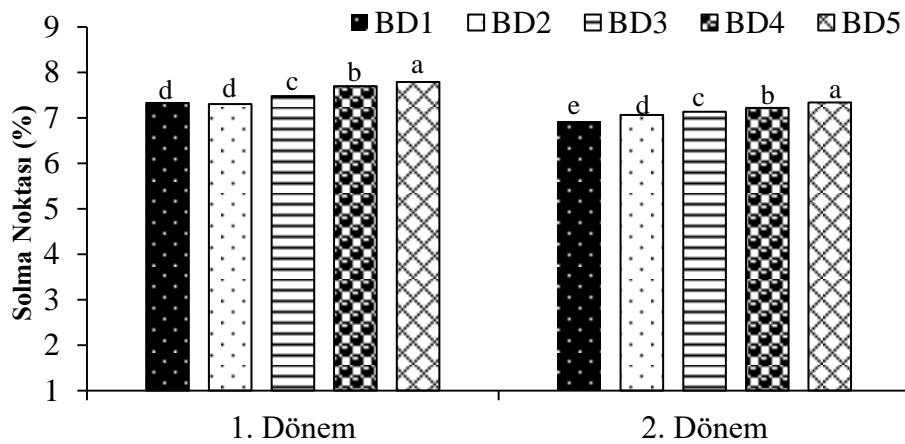
Toprak faktörü her iki dönemde de toprağın SN nem içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.115). İki ayrı toprakta elde edilen ortalama SN değerleri Şekil 4.57a'da gösterilmiştir. Buna göre her iki dönemde de Kömeç toprağının SN'da tutulan nem içeriğinin (her iki dönemde de %7.64) Dökmetepe toprağına (ilk dönem %7.40 ve ikinci dönem %6.62) kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 4.57. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında toprağın solma noktası nem içeriğine etkileri

Biyoçar çeşidi faktörü ilk dönem toprakların SN nem içerikleri üzerine önemli bir etki yapmaz ( $P=0.1270$ ) iken ikinci dönem çeşit faktörünün SN nem içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ( $P<0.01$ ) bulunmuştur (Çizelge 4.115). Biyoçar çeşitlerinin uygulandığı toprakların ortalama SN nem içeriklerine ait değerler Şekil 4.57b’de gösterilmiştir. Buna göre ilk dönem biyoçar çeşitleri arasında SN değerleri açısından önemli bir farklılık olmamasına rağmen fasulye biyoçarı uygulanan toprakların SN nem içeriği diğer iki çeşide kıyasla kısmen yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte ikinci dönem çeşitler arasındaki farklılık önemli bulunmuş ve en yüksek ortalama SN değeri (%7.32) çeltik biyoçarı uygulanan topraklarda en düşük değer ise fasulye biyoçarı (%6.89) uygulanan topraklarda elde edilmiştir. Her üç biyoçar çeşidinin uygulandığı topraklarda da ikinci dönem SN nem içerikleri ilk döneme kıyasla azalma göstermiştir. Bu azalma çeltik biyoçarında %2.44, mısır biyoçarında %4.18 ve fasulye biyoçarında ise %8.72 oranında olmuştur.

Biyoçar dozu faktörü her iki dönemde de toprakların SN değerleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.115). Her iki dönemde de BD artışı SN nem içeriğinde artışa neden olmuştur (Şekil 4.58). İlk dönem, BD1 ile BD5 uygulamaları arasında %6.29, BD1 ile BD4 arasında %5.08, BD1 ve BD3 arasında %2.08 düzeyinde nem farklılığı oluşmuştur. BD1 ve BD2 uygulamaları arasında önemli bir farklılık oluşmamıştır. İkinci dönemde de BD artışı ile SN nem içeriği arasında benzer bir ilişki bulunmuştur. İkinci dönemin ilk dönemde en belirgin farklılığı ise ilk dönem oluşmayan BD1 ve BD2 dozları arasındaki % 2.0’lik nem farkıdır.

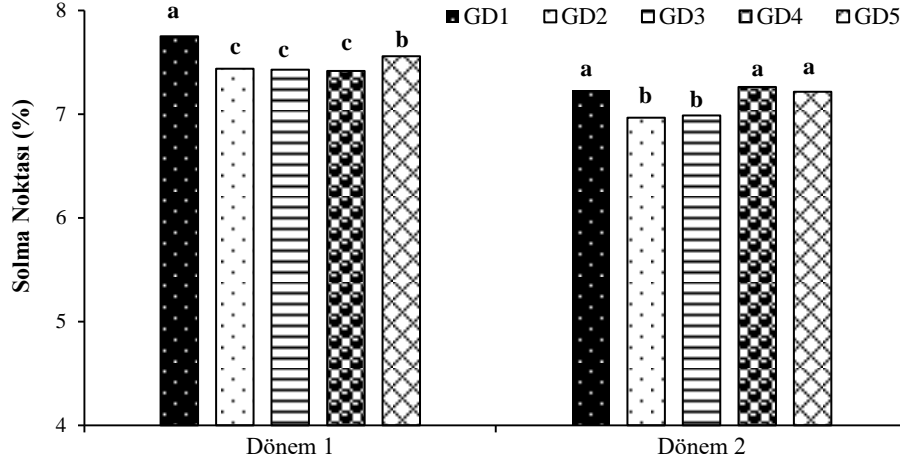


Şekil 4.58. Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların solma noktası nem içeriğine etkileri

BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar



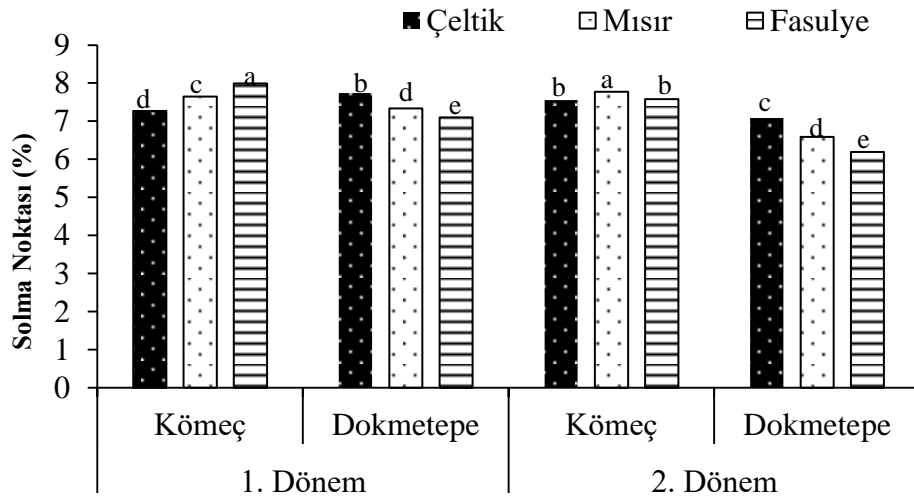
gübre dozu uygulamaları toprakların SN nem içerikleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.115). Belirgin bir artış ve azalış olmasa da GD1 uygulamasında elde edilen ortalama SN değeri diğerlerinden genelde daha yüksek olmuştur (Şekil 4.59).



Şekil 4.59. Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların solma noktası nem içeriğine etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak tipi ve BÇ faktörlerinin SN nem içeriği üzerine her iki dönemde de etkisi olduğu görülmüştür (Çizelge 4.115). Toprak tipi x BÇ interaksiyonunda belirlenen ortalama SN değerleri Şekil 4.60'da gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama SN değeri Kömeç x fasulye (% 7.99) ve ikinci dönem Kömeç x mısır (%7.77) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük ortalama SN değerleri ise her iki dönemde de Dökmetepe x fasulye (%7.11 ve %6.20) interaksiyonunda olduğu bulunmuştur. Kömeç toprağında çeltik ve mısır biyoçarlarında ikinci dönem SN değerleri ilk döneme kıyasla %3.96 ve %1.56 artış gösterirken fasulye biyoçarında %5.06 azalma kayıt edilmiştir. Dökmetepe toprağında ise her üç biyoçar çeşidinde de ikinci dönem SN nem içerikleri ilk döneme kıyasla sırası ile %8.4 (çeltik), %10.2 (mısır) ve %12.8 (fasulye) oranlarında azalma göstermiştir.



Şekil 4.60. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprakta solma noktası nem içeriğine etkileri

Toprak ve BD faktörlerinin interaksiyonu toprakların SN nem içerikleri üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.115). Toprak x BD interaksiyonunda elde edilen ortalama SN nem içerikleri Çizelge 4.116'da verilmiştir. Her iki toprakta da en yüksek SN değerleri BD5 ve en düşük SN değerleri BD1 dozlarında (ilk dönem Kömeç toprağı hariç) olduğu görülmüştür. En yüksek biyoçar dozu Kömeç toprağında BD1 uygulamasına kıyasla SN nem içeriğinde ilk dönem %7.66 ve ikinci dönem %5.70 artış olmasına neden olmuştur. Benzer şekilde Dökmetepe toprağında ise ilk dönem %4.89 ve ikinci dönem %6.47 oranında artış gerçekleşmiştir.

Toprak tipi ve GD faktörleri de her iki dönemde de SN nem içeriklerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.115). İlk dönem en yüksek ortalama SN değeri Dökmetepe x GD1 (%8.02) ve ikinci dönem ise Kömeç x GD4 (% 8.04) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük SN değerleri ise ilk dönem Dökmetepe x GD4 (% 6.93) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x GD3 (%6.29) uygulamalarında olduğu görülmüştür (Çizelge 4.116).

Çizelge 4.116. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının solma noktası nem içeriğine (%) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	7.42 d	<b>7.23 f</b>	7.46 d	<b>6.38 h</b>
<b>BD2</b>	7.34 de	7.26 ef	7.57 c	6.55 g
<b>BD3</b>	7.58 c	7.37 d	7.61 bc	6.65 f
<b>BD4</b>	7.86 b	7.53 c	7.66 b	6.77 e
<b>BD5</b>	<b>7.99 a</b>	7.58 c	<b>7.89 a</b>	6.79 e
<b>GD1</b>	7.48 d	<b>8.02 a</b>	7.36 c	7.11 d
<b>GD2</b>	7.24 e	7.64 c	7.40 c	6.54 f
<b>GD3</b>	7.68 c	7.18 e	7.69 b	<b>6.29 g</b>
<b>GD4</b>	7.91 b	<b>6.93 f</b>	<b>8.04 a</b>	6.49 f
<b>GD5</b>	7.90 b	7.21 e	7.72 b	6.71 e

Biyoc ar  eşidi ve BD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de SN nem içeriğinde önemli düzeyde değişime neden olmuştur ( izelge 4.115).  eşit x BD interaksyonunda elde edilen ortalama SN nem içerikleri  izelge 4.117’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek SN değeri fasulye x BD5 (%7.89) ve ikinci dönem  eltik x BD5 (%7.54) uygulamalarında elde edilmiştir. En d şuk SN nem içerikleri ise ilk dönem mısır x BD2 (%7.20) ve ikinci dönem fasulye x BD1 (%6.53) interaksyonlarında olduğu görülmüştür. Her  c biyoc ar çeşidi içinde toprağa uygulanan miktarın artışı ile toprakta SN’da tutulan nem miktarının artışı arasında düzenli bir ilişki olduğu görülmektedir.

Biyoc ar dozu ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de topraktaki SN nem içeriği üzerine önemli etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuşlardır ( izelge 4.115). İki dönemde de en yüksek SN değerleri mısır x GD1 (%8.07 ve %7.84) ve en d şuk SN değerleri ise ilk dönem mısır x GD3 (%7.16) ve ikinci dönem fasulye x GD1 (%6.52) uygulamalarında elde edilmiştir ( izelge 4.117).

Çizelge 4.117. Biyoc ar  eşidi x biyoc ar dozu (BD) ve biyoc ar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının solma noktası nem içeriğine (%) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	�eltik	Mısır	Fasulye	�eltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	7.42 de	7.26 f	7.30 ef	7.15 de	7.09 e	<b>6.53 g</b>
<b>BD2</b>	7.43 d	<b>7.20 f</b>	7.27 f	7.24 cd	7.10 e	6.84 f
<b>BD3</b>	7.50 cd	7.41 de	7.53 cd	7.42 b	7.15 de	6.82 f
<b>BD4</b>	7.58 c	7.76 b	7.76 b	7.28 c	7.29 c	7.07 e
<b>BD5</b>	7.61 c	7.86 ab	<b>7.89 a</b>	<b>7.54 a</b>	7.28 c	7.20 cd
<b>GD1</b>	<b>7.96 a</b>	<b>8.07 a</b>	7.22 hi	7.33 c	<b>7.84 a</b>	<b>6.52 f</b>
<b>GD2</b>	7.40 ef	7.48 de	7.43 def	6.93 e	7.37 c	<b>6.59 f</b>
<b>GD3</b>	7.36 efg	<b>7.16 i</b>	7.76 b	6.89 e	6.98 e	7.09 d
<b>GD4</b>	7.26 ghi	7.32 fgh	7.66 bc	7.66 b	7.15 d	6.97 e
<b>GD5</b>	7.55 cd	7.45 def	7.67 bc	<b>7.80 a</b>	<b>6.57 f</b>	7.28 c

Biyoc ar dozu ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de SN nem içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır ( izelge 4.115). Bu interaksyonlarda elde edilen ortalama SN değerleri ise  izelge 4.118’de verilmiştir Buna göre iki dönemde de en yüksek SN değeri BD5 x GD5 (%8.03 ve %7.65) ve en d şuk SN değerleri ise ilk dönem BD1 x GD3 (%6.93) ile BD1 x GD2 (%6.74) interaksyonlarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.118. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	7.63 bcd	7.68 bc	7.62 cd	7.84 ab	<b>7.98 a</b>
GD2	7.64 bcd	7.43 def	7.24 f-i	7.36 efg	7.52 cde
GD3	<b>6.93 j</b>	7.08 ij	7.69 bc	7.72 bc	7.72 bc
GD4	7.35 e-h	7.14 hi	7.29 f-i	7.62 cd	7.68 bc
GD5	7.08 i-j	7.16 ghi	7.55 cde	<b>7.96 a</b>	<b>8.03 a</b>
2. Dönem					
GD1	6.98 c-g	7.23 c-g	7.15 e-h	7.43 b	7.37 bcd
GD2	<b>6.74 m</b>	7.07 g-j	6.95 jkl	6.84 klm	7.22 d-g
GD3	6.81 lm	6.85 klm	7.08 f-j	7.14 e-i	7.06 hij
GD4	7.10 f-j	7.10 f-j	7.30 b-e	7.42 b	7.39 bc
GD5	6.97 jkl	7.04 hij	7.17 e-h	7.24 c-f	<b>7.65 a</b>

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörleri iki dönemde de toprakların SN nem içerikleri üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.115). İlk dönem en yüksek ortalama SN nem içeriği Kömeç x fasulye x BD5 (%8.35) ve ikinci dönem Kömeç x mısır x BD5 (%7.97) uygulamalarında elde edilmiştir. Buna karşılık iki dönemde de Dökmetepe x fasulye x BD1 (%6.89 ve %5.73) uygulamasında SN nem içeriği diğer uygulamalara kıyasla çok daha düşük kalmıştır (Çizelge 4.119). Her iki toprakta uygulanan 3 biyoçar çeşidinde de SN nem içeriği BD artışı ile artış göstermiştir. En düşük SN değerleri BD1 ve en yüksek SN değerleri ise BD5 uygulamalarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.119. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
BD1	7.20 ln	7.35 im	7.71 efg	7.63 fgh	7.17 mn	<b>6.89 o</b>
BD2	7.21 kn	7.17 mn	7.63 fgh	7.65 fgh	7.22 k-n	<b>6.91 o</b>
BD3	7.08 no	7.55 ghi	8.12 bc	7.92 cde	7.27 j-n	<b>6.93 o</b>
BD4	7.45 hij	8.00 bcd	8.14 abc	7.71 efg	7.51 ghi	7.37 i-m
BD5	7.42 hl	8.20 ab	<b>8.35 a</b>	7.80 def	7.51 ghi	7.43 h-k
2. Dönem						
BD1	7.35 ghi	7.71 bcd	7.32 hi	6.94 j	6.46 k	<b>5.73 o</b>
BD2	7.53 efg	7.71 b-e	7.47 f-h	6.94 j	6.49 k	<b>6.21 o</b>
BD3	7.56 c-f	7.75 b	7.54 def	7.28 i	6.56 k	<b>6.10 o</b>
BD4	7.54 def	7.74 bc	7.72 bcd	7.02 j	6.85 j	6.43 k
BD5	7.82 ab	<b>7.97 a</b>	7.88 ab	7.25 i	6.59 k	6.53 k

Toprak tipi, BÇ ve GD interaksiyonları SN nem içeriği üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.115). Her iki dönemde de en yüksek SN değeri Kömeç x fasulye x GD5 (%8.64 ve %8.26) ve ilk dönem en düşük SN Dökmetepe x mısır x GD4 (%6.64) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x fasulye x GD1 (%6.01) uygulamalarında bulunmuştur (Çizelge 4.120).

Çizelge 4.120. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun döneminde solma noktası nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	7.29 gh	7.91 c	7.23 hi	<b>8.62 a</b>	8.23 b	7.22 hi
<b>GD2</b>	7.02 ij	7.30 gh	7.39 fgh	7.78 cd	7.65 de	7.48 fgh
<b>GD3</b>	7.28 gh	7.47 efg	8.28 b	7.45 e-h	6.85 jkl	7.23 hi
<b>GD4</b>	7.30 gh	7.99 c	8.43 ab	7.23 hi	<b>6.65 l</b>	6.90 jk
<b>GD5</b>	7.47 efg	7.59 def	<b>8.64 a</b>	7.63 de	7.30 gh	6.71 kl
2. Dönem						
<b>GD1</b>	7.30 gh	7.73 ef	7.04 ij	7.36 g	7.94 cd	<b>6.01 s</b>
<b>GD2</b>	7.18 hi	<b>8.21 a</b>	6.80 kl	6.69 lm	6.53 mn	6.39 nop
<b>GD3</b>	7.31 gh	7.82 de	7.92 cd	6.46 no	6.14 qrs	6.26 pq
<b>GD4</b>	8.03 bc	8.17 ab	7.91 cd	7.29 gh	6.13 qrs	6.03 rs
<b>GD5</b>	7.97 cd	6.93 jk	<b>8.26 a</b>	7.63 f	6.20 qr	6.30 opq

Toprak tipi, BD ve GD interaksiyonları toprakların SN nem içerikleri üzerine her iki dönemde de istatistiksel olarak önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.115). İlk dönem Kömeç x BD5 x GD5 (%8.59) ve ikinci dönem Kömeç x BD3 x GD4 (%8.20) interaksiyonlarında SN nem içerikleri diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde yüksektir (Çizelge 4.121). Buna karşılık Dökmetepe x BD2 x GD4 (%6.63) ilk dönem ve Dökmetepe x BD1 x GD3 (%5.97) ikinci dönem en düşük SN nem içeriği elde edilmesine neden olmuşlardır.

Çizelge 4.121. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	7.33 o-v	7.48 l-r	7.44 m-s	7.52 k-q	7.61 i-o	7.92d-h	7.88e-i	7.80gk	8.16cde	8.36abc
<b>GD2</b>	7.59 i-o	7.07 v-y	6.92 w-z	7.23 q-v	7.37 n-u	7.69g-m	7.79g-k	7.56j-p	7.49l-r	7.67g-m
<b>GD3</b>	7.21 r-w	7.28 p-v	7.77 g-l	7.96 d-g	8.18 cd	<b>6.64z</b>	6.89xyz	7.61i-o	7.48l-r	7.26q-v
<b>GD4</b>	7.62 i-o	7.66 h-n	7.93 d-h	8.11 c-f	8.21 bcd	7.08u-y	<b>6.63z</b>	<b>6.64z</b>	7.12t-x	7.16s-x
<b>GD5</b>	7.36 o-v	7.21 r-w	7.84 f-j	8.50 ab	<b>8.59 a</b>	6.81yz	7.11u-x	7.26q-v	7.41m-t	7.48l-r
2. Dönem										
<b>GD1</b>	7.12 mno	7.44 h-k	7.31 j-m	7.41 i-l	7.51 g-j	6.83pqr	7.01nop	7.00opq	7.44h-k	7.24kn
<b>GD2</b>	7.19 l-o	7.40 i-l	7.22 k-o	7.41 i-l	7.77 def	6.30wxy	6.74r-s	6.68rst	6.27xy	6.68rst
<b>GD3</b>	7.65 e-h	7.63 f-i	7.63 f-i	7.60 f-i	7.93 bcd	<b>5.97z</b>	6.07yz	6.54s-v	6.68rst	6.18xyz
<b>GD4</b>	7.93 bcd	7.87 cde	<b>8.20 a</b>	<b>8.08 a</b>	8.12 ab	6.27xy	6.34vwx	6.39u-x	6.77qrs	6.66rst
<b>GD5</b>	7.44 h-k	7.51 g-j	7.72 d-g	7.81 d-g	8.12 ab	6.51t-w	6.58stu	6.62r-u	6.66rst	7.18l-o

Biyçoar çeşidi, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprakların SN nem içerikleri üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.115). Bu interaksiyonlara ait ortalama SN değerleri Çizelge 4.122'de verilmiştir. İlk dönem çeltik x BD5 x GD1 (%8.37) ve ikinci dönem mısır x BD4 x GD1 (%8.17) uygulamalarında elde edilen SN nem içerikleri diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde yüksek olmuştur. Buna karşılık ilk dönem mısır x BD1 x GD3 (%6.55) ve ikinci dönem fasulye x BD1 x GD2 (%6.06) interaksiyonları en düşük SN nem içeriği oluşumuna neden olmuşlardır.

Toprak tipi, BÇ, BD ve GD interaksiyonları her iki dönemde de toprakların SN nem içerikleri üzerine önemli düzeyde etki etmiş ve uygulamalar arasında önemli düzeyde farklılıklar tespit edilmiştir (Çizelge 4.115 ve 4.123). En yüksek ortalama SN nem içeriği ilk dönem Dökmetepe x çeltik x BD5 x GD1 (%9.37) ve ikinci dönem Kömeç x fasulye x BD5 x GD5 (8.92) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük SN nem içerikleri ise ilk dönem Dökmetepe x fasulye x BD1 x GD5 (%6.07) ve ikinci dönem Dökmetepe x fasulye x BD1 x GD2 (%5.51) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.123).

Çizelge 4.122. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	7.88	7.88	7.72	7.93	<b>8.37 a</b>
	GD2	7.68	7.43	7.47	7.28	7.13
	GD3	7.12	7.22	7.63	7.33	7.52
	GD4	7.12	7.17	7.13	7.50	7.40
	GD5	7.28	7.43	7.55	7.85	7.63
Mısır	GD1	7.88	7.95	7.95	<b>8.35 a</b>	<b>8.22 abc</b>
	GD2	8.02	7.27	7.15	7.48	7.47
	GD3	<b>6.55 aa</b>	<b>6.72 zaa</b>	7.22	7.55	7.77
	GD4	7.10	7.03	7.27	7.52	7.70
	GD5	<b>6.75 yzaa</b>	7.02	7.45	7.88	8.13
Fasulye	GD1	7.12	7.20	7.20	7.23	7.37
	GD2	7.22	7.58	7.10	7.32	7.95
	GD3	7.12	7.32	<b>8.22 abc</b>	<b>8.27 ab</b>	7.87
	GD4	7.83	7.23	7.47	7.83	7.95
	GD5	7.22	7.03	7.65	8.13	<b>8.33 a</b>
2. Dönem						
Çeltik	GD1	7.06	7.12	7.31	7.45	7.73
	GD2	6.70	6.93	7.28	6.74	7.03
	GD3	6.74	6.81	6.96	6.83	7.11
	GD4	7.41	7.40	7.71	<b>8.04 abc</b>	7.75
	GD5	7.82	7.93	7.84	7.34	<b>8.06 ab</b>
Mısır	GD1	7.69	7.81	7.81	<b>8.17 a</b>	7.71
	GD2	7.47	7.44	7.33	7.33	7.29
	GD3	6.97	6.91	7.03	7.09	6.92
	GD4	7.07	7.11	7.13	7.10	7.35
	GD5	<b>6.24 agahai</b>	<b>6.22 agahai</b>	6.48	6.76	7.12
Fasulye	GD1	<b>6.18 ahai</b>	6.74	6.35	6.67	6.68
	GD2	<b>6.06 ai</b>	6.85	<b>6.24 agahai</b>	6.46	7.35
	GD3	6.72	6.82	7.27	7.50	7.15
	GD4	6.81	6.80	7.06	7.13	7.07
	GD5	6.86	6.97	7.19	7.61	7.77

Çizelge 4.123. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun solma noktası nem içeriğine (%) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	7.27	7.43	7.13	7.27	7.37	7.60	7.70	7.90	8.20	8.17	7.13	7.30	7.30	7.10	7.30
	GD2	7.27	7.07	6.63	7.20	6.93	8.37	6.77	6.73	7.10	7.53	7.13	7.37	7.40	7.40	7.63
	GD3	7.07	7.23	7.17	7.40	7.53	6.53	6.53	7.57	8.30	8.43	8.03	8.07	8.57	8.17	8.57
	GD4	7.40	7.30	7.30	7.23	7.27	7.57	7.77	7.93	8.30	8.40	7.90	7.90	8.57	8.80	8.97
	GD5	7.00	7.00	7.17	8.17	8.00	6.70	7.10	7.60	8.10	8.47	8.37	7.53	8.77	<b>9.23 abc</b>	<b>9.30 ab</b>
Dökmetepe	GD1	8.50	8.33	8.30	8.60	<b>9.37 a</b>	8.17	8.20	8.00	8.50	8.27	7.10	7.10	7.10	7.37	7.43
	GD2	8.10	7.80	8.30	7.37	7.33	7.67	7.77	7.57	7.87	7.40	7.30	7.80	6.80	7.23	8.27
	GD3	7.17	7.20	8.10	7.27	7.50	6.57	6.90	6.87	6.80	7.10	<b>6.20 auav</b>	6.57	7.87	8.37	7.17
	GD4	6.83	7.03	6.97	7.77	7.53	6.63	6.30	6.60	6.73	7.00	7.77	6.57	6.37	6.87	6.93
	GD5	7.57	7.87	7.93	7.53	7.27	6.80	6.93	7.30	7.67	7.80	<b>6.07 av</b>	6.53	6.53	7.03	7.37
2. Dönem																
Kömeç	GD1	7.13	7.33	7.19	7.24	7.63	7.48	7.89	7.74	7.86	7.69	6.75	7.09	7.00	7.14	7.20
	GD2	6.73	7.41	7.09	7.12	7.55	8.22	8.08	7.97	8.17	<b>8.63 ab</b>	6.61	6.71	6.59	6.95	7.12
	GD3	7.08	7.19	7.43	7.25	7.63	8.07	7.75	7.71	7.70	7.88	7.79	7.94	7.74	7.85	8.29
	GD4	7.98	7.80	8.14	8.10	8.14	8.05	8.08	8.31	8.05	8.36	7.75	7.72	8.15	8.09	7.85
	GD5	7.84	7.91	7.95	7.98	8.16	6.75	6.73	7.00	6.90	7.29	7.72	7.88	8.22	<b>8.56 ab</b>	<b>8.92 a</b>
Dökmetepe	GD1	6.99	6.91	7.43	7.66	7.83	7.90	7.73	7.88	<b>8.48 bcd</b>	7.72	<b>5.61 bibj</b>	6.40	5.69	6.19	6.16
	GD2	6.67	6.44	7.46	6.36	6.50	6.72	6.80	6.69	6.50	5.96	<b>5.51 bj</b>	6.99	5.89	5.96	7.58
	GD3	6.39	6.44	6.48	6.41	6.59	5.88	6.08	6.34	6.48	5.95	5.65	5.70	6.79	7.15	6.01
	GD4	6.84	6.99	7.28	7.98	7.36	6.09	6.14	5.94	6.16	6.35	5.87	5.88	5.96	6.17	6.28
	GD5	7.80	7.94	7.74	6.70	7.97	5.72	5.72	5.96	6.62	6.96	6.00	6.07	6.15	6.66	6.62

### 4.3.3. Toprağın yarayışlı su içeriğine etkileri

Yarayışlı su içeriği; toprağın tarla kapasitesi ve solma noktası arasında tuttuğu nem miktarı - olarak bilinir. Toprak tekstürü toprakta tutulabilen yarayışlı suyun miktarını etkileyen en önemli bileşenlerin başında gelmektedir. Yarayışlı su kapasitesi toprağın tekstürünün incelenmesi ile orantılı olarak artar. Kaba tekstürlü topraklar suyun serbest halde drenajını sağlayacak makro gözenekleri daha fazla barındırdığından dolayı, YSİ'leri daha düşüktür. İnce tekstürlü topraklar ise suyun serbest bir şekilde drene olmasını önleyecek ince gözeneklere sahip olduklarından dolayı YSİ'leri yüksektir (Cassel ve Nielsen, 1986). Uygulamalardan sadece Toprak tipi x BD interaksiyonu TK ve SN nem içeriklerinin farkı alınarak hesaplanan YSİ üzerine etkili olmamış, diğer tüm bireysel faktörler ve interaksiyonlar önemli düzeyde etki etmişlerdir (Çizelge 4.124).

Çizelge 4.124. Uygulamaların toprakların yarayışlı su içeriklerine etkilerini gösteren varyans analizi

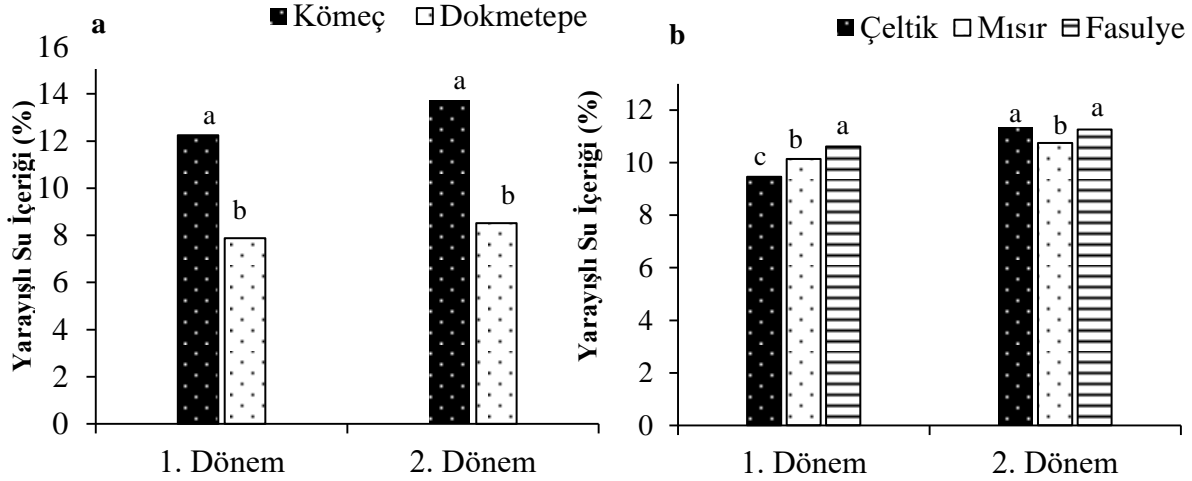
Kaynak	DF	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	2142.29	2142.29	6755.99	<0.0001**	3023.72	3023.72	7035.14	<0.0001**
Biyoçar Çeşidi (BÇ)	2	100.15	50.07	157.91	<0.0001**	31.03	15.51	36.10	<0.0001**
Biyoçar Dozu (BD)	4	80.29	20.078	63.30	<0.0001**	46.41	11.60	27.00	<0.0001**
Gübre Dozu (GD)	4	9.14	2.28	7.20	<0.0001**	95.45	23.86	55.52	<0.0001**
T*BÇ	2	87.24	43.62	137.56	<0.0001**	242.75	121.37	282.39	<0.0001**
T*BD	4	2.09	0.52	1.64	0.1636 <sup>OD</sup>	14.93	3.73	8.68	<0.0001**
T*GD	4	32.36	8.09	25.51	<0.0001**	55.25	13.81	32.14	<0.0001**
BÇ*BD	8	15.54	1.94	6.13	<0.0001**	28.68	3.59	8.34	<0.0001**
BÇ*GD	8	62.97	7.87	24.82	<0.0001**	174.90	21.86	50.87	<0.0001**
BD*GD	16	12.10	0.76	2.38	0.0023**	77.17	4.82	11.22	<0.0001**
T*BÇ*BD	8	8.45	1.06	3.33	0.0011**	16.29	2.04	4.74	<0.0001**
T*BÇ*GD	8	203.70	25.46	80.30	<0.0001**	212.08	26.51	61.68	<0.0001**
T*BD*GD	16	27.24	1.70	5.37	<0.0001**	47.87	2.99	6.96	<0.0001**
BÇ*BD*GD	32	47.31	1.48	4.66	<0.0001**	147.95	4.62	10.76	<0.0001**
T*BÇ*BD*GD	32	48.75	1.52	4.80	<0.0001**	126.32	3.95	9.18	<0.0001**

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil SD: Serbestlik Derecesi

Toprak faktörü her iki dönemde de YSİ üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.124). İki ayrı toprak için belirlenen ortalama YSİ değerleri Şekil 4.61a'da gösterilmiştir. Her iki dönemde de ya daha az kum ve nispeten daha fazla kil içeren Kömeç toprağı Dökmetepe toprağına kıyasla daha fazla YSİ'ne sahip olduğu görülmektedir. Biyoçar çeşidi toprağın YSİ üzerine önemli düzeyde etki etmiş ve çeşitler arasında YSİ miktarının farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.124). Üç biyoçar çeşidinin uygulandığı topraklarda belirlenen ortalama YSİ değerleri Şekil 4.61b'de gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek YSİ değerine sahip uygulama fasulye biyoçarı (%10.61) iken, ikinci dönem çeltik biyoçarı olmuştur. Zaman içerisinde biyoçar uygulamalarının toprağın yarayışlı su içeriğine pozitif katkı yaptığı görülmektedir. İlk döneme kıyasla ikinci dönem elde edilen ortalama YSİ, çeltik



biyoçarında %19.9, mısır biyoçarın %6.0 ve fasulye biyoçarında ise %6.1 oranında daha yüksek olmuştur. İki dönem arasında YSİ'nin önemli oranda artmış olması, uzun süreli çalışmaların önemini göstermektedir. Aller ve ark. (2017), yaşlanmış (daha eski) biyoçar materyallerinin taze biyoçar materyallerine kıyasla daha farklı tepki verebileceğini belirtmiş ve bu nedenle kısa süreli çalışmalarda elde edilen sonuçların biyoçarın uzun süredeki etkilerini tahmin etmede kullanımının faydalı olmadığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.61. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında toprağın yarayırlı su içeriğine etkileri

Biyoçarların toprakta su tutulması üzerine yayınlanan raporlar arasında biyoçar çeşitlerinde, biyoçarın uygulama dozlarında ve biyoçarın toprakta kalma sürelerindeki farklılıklardan dolayı önemli düzeyde çelişkiler bulunmaktadır. Jeffery ve ark. (2015) kullandıkları biyoçar materyallerinin yüksek düzeyde hidrofobik olmasının suyun biyoçar parçalarının içerisine girmesini engellediğini ve bu nedenle toprağın suyu tutamadığını rapor etmişlerdir. Bunun aksine, biyoçar uygulamasının Typic Hapludols toprakların tarla kapasitesi nem içeriğinde %15, 1 ve 5 bar basınç altında tutulan nem miktarlarını ise sırası ile %13 ve %15 oranında arttırdığı rapor edilmiştir (Laird ve ark., 2010).

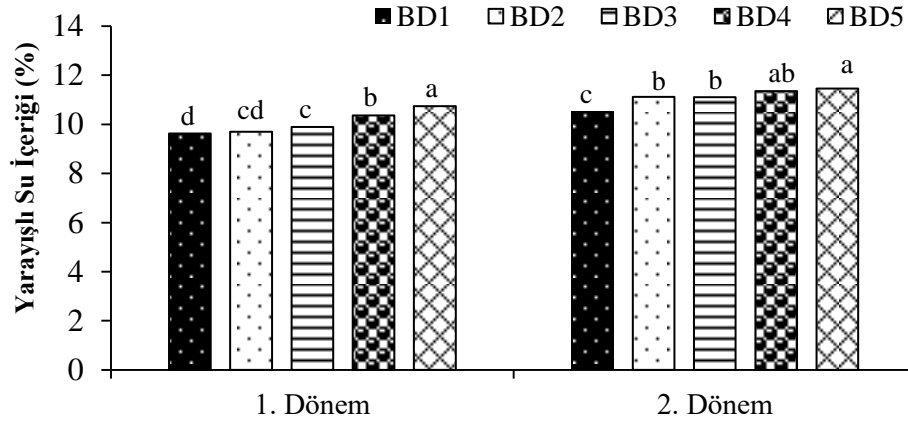
Toprakta suyun tutulmasının toprağın yüzey alanı ve toplam gözenekliliği ve strüktürel özellikler ile doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Toprakta tutulan suyun miktarı yüzey alanının artması ile artar. Mısır biyoçarının yüzey alanı  $398 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , çeltik biyoçarının  $212 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  ve fasulye biyoçarının ise  $118 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Yapılan çalışmalarda, biyoçar ilavesi ile toprakta tutulan su miktarının arttığı bildirilirken, bu artış biyoçarların gözenekli olan yapıları ve yüksek yüzey alanları ile ilişkilendirilmiştir (Verheijen ve ark., 2010; Sandhu ve ark., 2017). Ancak bu çalışmada ilk dönem en yüksek YSİ yüzey alanı en düşük olan fasulye biyoçarı uygulamasında, ikinci dönem ise çeltik biyoçarı uygulamasında elde edilmiştir. Yani her iki dönemde de en yüksek YSİ, yüzey alanı çeltik ve

fasulye ye göre çok daha yüksek olan mısır biyoçarından elde edilmemiştir. Biyoçar uygulanan topraklarda nem içeriği ve gözeneklilikteki artış veya azalma sadece yüzey alanı ile ilişkilendirilemeyebilir. Bu değişim biyoçarın parçacık boyutu, parçacık şekli ve iç yapısı gibi toprakların gözenekliliği üzerine önemli düzeyde etki edebilen diğer özellikler ile de ilişkili olabilir (Liu ve ark., 2017b; Sandhu ve ark., 2017). Biyoçar materyallerinin hidrofobik doğası da biyoçar çeşitleri arasında su tutma bakımından farklılıkların oluşumuna yol açabilir. Genellikle orman atıklarından elde edilen biyoçar materyallerinin hidrofobik olduğu bildirilmiş olmasına rağmen (Page-Dumroese ve ark., 2015), biyoçar materyallerinin hidrofobik özelliği biyoçarın üretildiği hammaddenin doğasına ve piroliz koşullarına da bağlı olarak değişebileceğine vurgu yapılmıştır (Kinney ve ark., 2012).

Biyoçar dozu uygulamaları toprağın YSİ'ne her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.124). Her iki dönemde de en düşük YSİ, biyoçar bulunmayan BD1 uygulamasında ve en yüksek YSİ ise biyoçarın en yüksek dozu olan BD5 uygulamasında elde edilmiştir. Biyoçar miktarının artışı toprakta gözenekliliğin artışına neden olduğundan tutulan su miktarının da kontrole kıyasla önemli miktarda arttığı görülmektedir. Oldukça gözenekli yapıya sahip biyoçar materyallerinin toprağa katılması toplam gözeneklilikte ve aynı zamanda doğrusal bir artışa neden olmuştur. Toplam gözeneklilikteki artış, agregatlaşmanın iyileşmesi, biyoçar materyallerinin toprak parçacıkları ile etkileşimi ve sıkışmanın azalması ile de ilişkilidir (Blanco-Canqui, 2017). İlk dönem kontrol uygulamasında ortalama YSİ %9.63 iken %0.5 oranında biyoçar ilavesi ile %9.70'e, %1.0 biyoçar ilavesi ile %9.90, %2.0 ile %10.36 ve %3.0 biyoçar ilavesi ile %10.74'e yükselmiştir. En yüksek doz olan %3.0 biyoçar ilavesi ile toprakta tutulan su kontrol uygulamasına kıyasla %11.54 oranında artmıştır. İlk döneme de benzer şekilde ikinci dönemde biyoçar dozu artışı ile birlikte toprakta tutulan YSİ'nde önemli düzeyde artış olduğu görülmektedir. İkinci dönem sonunda BD1 uygulamasına kıyasla BD4 ve BD5 uygulamalarındaki YSİ artışı sırası ile %7.84 ve %8.79 olmuştur (Şekil 4.62). Okalipthus ağacı odunundan 450 °C'de piroliz ile elde ettikleri biyoçarı kumlu tın tekstürdeki Vytric Plinthosol toprağına uygulayan Carvalho ve ark. (2014), uygulamadan 2 ve 3 yıl sonra her bir Mg/ha biyoçara karşılık YSİ'nin %0.8 oranında arttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar biyoçarın YSİ üzerine bu etkisini, kumlu tın tekstüründeki toprağın toplam gözenekliliğine olan etkisi ile ilişkilendirmişlerdir. Her bir Mg/ha biyoçar uygulamasına karşılık doyunluktaki toprak nemi ve makro gözenekliliğin %0.5 ve %1.6 oranında arttığı belirtilmiştir.

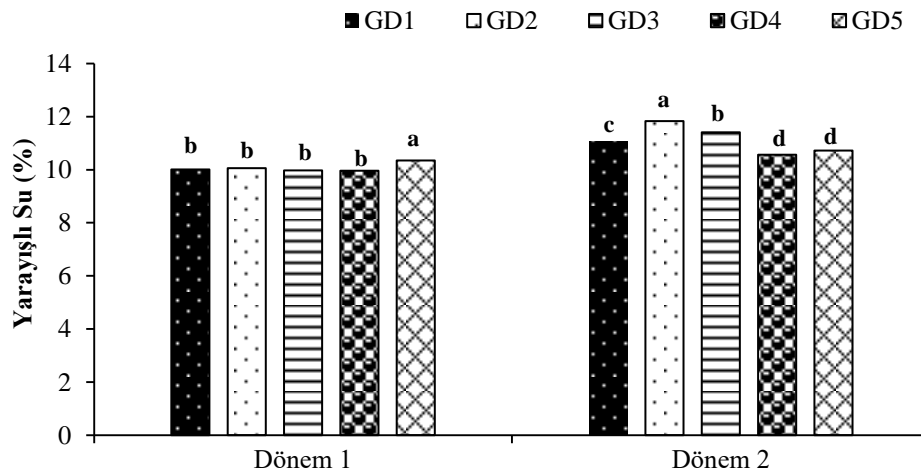
Biyoçarın toprakta kalma süresi arttıkça, yeni uygulandığı zamana kıyasla daha fazla su tutması beklenir. Mia ve ark. (2017) da zamanla biyoçarın fiziko kimyasal yapısında

meydana gelen değişimlerden dolayı toprakların su tutma kapasitelerinde artış görüleceğini bildirmişlerdir. Ancak ilk dönem sonunda kontrol uygulamasına kıyasla BD5 uygulaması ile YSİ'nde görülen artış miktarı (%11.5), ikinci döneme (%8.0) kıyasla daha yüksek olmuştur. Kerré ve ark. (2017)'nin bulguları da biyoçarın yaşlanması ile daha yüksek miktarda su tutulduğunu desteklemektedir. Yüzelli yıldan daha uzun süredir eski bir fırının atıklarının yer aldığı koyu renkli toprakların hemen yanı başındaki topraklara kıyasla %11.0 oranında daha fazla yararışlı su tuttıkları bildirilmiştir (Kerré ve ark., 2017).



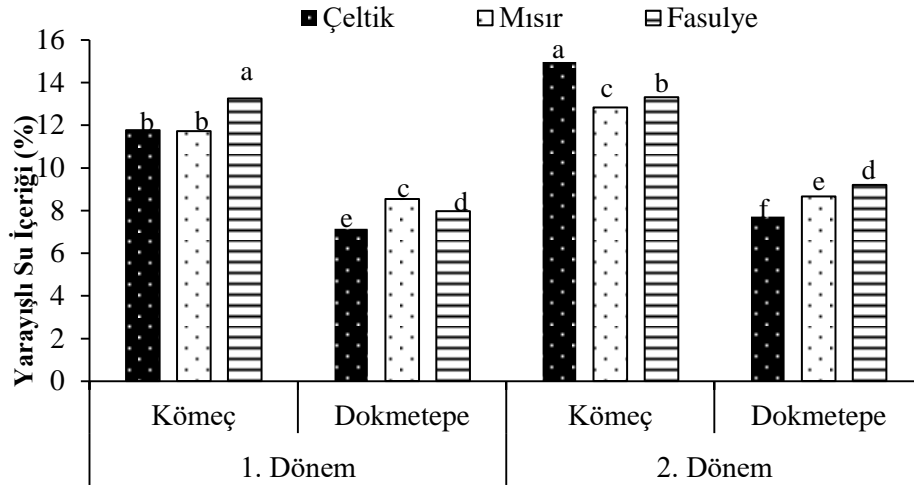
Şekil 4.62. Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların yararışlı su içeriğine etkileri  
BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

gübre dozu uygulamaları toprağın YSİ üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.124). gübre dozları altında toprağın ortalama YSİ değerleri Şekil 4.63'te verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama YSİ, GD5 (%10.34) ve ikinci dönem GD2 (%11.83) uygulamasında elde edilmiştir. İlk dönem ilk dört uygulama istatistiksel olarak birbirine oldukça benzer iken GD5 uygulaması GD1'e kıyasla YSİ'nin %3.34 oranında artışına neden olmuştur. İkinci dönemde ise GD2 ve GD3 dozlarında YSİ, kontrole kıyasla yüksek olmasına rağmen tam gübreleme yapılan GD4 ve GD5 uygulamalarında YSİ GD1 uygulamasına kıyasla sırası ile %4.33 ve %2.92 oranında azalmıştır.



Şekil 4.63. Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların yarayışlı su içeriğine etkileri  
GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak ve BÇ faktörlerinin interaksiyonları toprakların YSİ üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.124). Kömeç toprağında, ilk dönem en yüksek YSİ fasulye biyoçarında (%13.25) elde edilirken ikinci dönem çeltik biyoçarı (%14.97) uygulanan toprakların YSİ diğerlerine kıyasla daha yüksek olmuştur (Şekil 4.64). Dökmetepe toprağında ise ilk dönem en yüksek ortalama YSİ mısır biyoçarı (%8.54) uygulamasında ikinci dönem ise fasulye biyoçarı (%9.20) uygulamasında elde edilmiştir. Biyoçar uygulamalarında iki dönem arasında en yüksek farklılık Kömeç toprağında %27.20 ile çeltik biyoçarı ve Dökmetepe toprağında %15.55 ile fasulye biyoçarı uygulamasında olmuştur. Tüm uygulamalarda ikinci dönem elde edilen YSİ değerleri ilk döneme göre daha yüksek olmuştur.



Şekil 4.64. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın yarayışlı su içeriğine etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin YSİ üzerine etkileri ilk dönem istatistiksel olarak önemli düzeyde değil iken bu etki ikinci dönem önemli düzeyde bulunmuştur (Çizelge 4.124). Toprak x BD interaksiyonunda oluşan ortalama YSİ değerleri Çizelge 4.125’de verilmiştir. İki dönemde de kum içeriği daha yüksek olan Dökmetepe topraklarında tüm BD altında elde edilen YSİ değerleri Kömeç toprağına kıyasla önemli düzeyde düşük kalmıştır. İki toprakta da BD artışı toprağın YSİ’inde önemli miktarda artış olmasını sağlamıştır (Çizelge 4.125). İlk dönem sonunda, biyoçar bulunmayan kontrol uygulaması ile (BD1) ile BD4 ve BD5 dozlarında tutulan YSİ miktarları karşılaştırıldığında, Dökmetepe toprağında YSİ artışının (BD4 ile %27.57 ve BD5 ile %16.56) Kömeç toprağına (BD4 ile %5.03 ve BD5 ile %5.71) kıyasla çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Glaser ve ark. (2002)’da biyoçar uygulamalarının özellikle kaba tekstürlü topraklarda toprağın su tutma kapasitesini daha fazla iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Moragues-Saitua ve ark. (2017)’da biyoçarın su tutma yeteneğinin toprak tipine bağlı olarak önemli düzeyde değişkenlik göstereceğini

bildirmişlerdir. Bu etki genel olarak biyoçarın diğer organik atıklara kıyasla daha yüksek olan gözenekliliği, yüzey alanı ve sorpsiyon kapasitesi ile ilişkilendirilmiştir (Downie ve ark., 2009).

Toprak tipi ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprağın YSİ üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.124). gübre dozundaki değişimler ile YSİ miktarı arasında önemli bir ilişki gözlemlenmemiştir. İlk dönem Kömeç x GD5 (%12.81) ve ikinci dönem Kömeç x GD3 (%14.58) interaksiyonları en yüksek YSİ oluşumuna neden olmuştur. Bununla birlikte ilk dönem Dökmetepe x GD4 (%7.62) ve ikinci dönem Dökmetepe x GD5 (%7.91) uygulamaları diğer uygulamalara kıyasla daha düşük YSİ elde edilmesine neden olmuşlardır. GD uygulamaları ile YSİ belirli bir azalma veya artma eğilimi göstermemiş olmasına rağmen, Kömeç toprağında çoğu zaman GD artışı YSİ’nde artışa, Dökmetepe toprağında ise azalmaya neden olmuştur.

Çizelge 4.125. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının yarayıklı su içeriğine (%) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	11.87 d	<b>7.38 h</b>	13.41 b	7.65 d
<b>BD2</b>	11.86 d	7.54 gh	13.59 b	8.64 c
<b>BD3</b>	12.18 c	7.62 g	13.44 b	8.77 c
<b>BD4</b>	12.46 b	8.26 f	<b>13.97 a</b>	8.74 c
<b>BD5</b>	<b>12.87 a</b>	8.60 e	<b>14.12 a</b>	8.79 c
<b>GD1</b>	11.70 c	8.31 d	13.48 c	8.61 f
<b>GD2</b>	12.17 b	7.94 e	14.06 b	9.60 e
<b>GD3</b>	12.26 b	7.67 fg	<b>14.58 a</b>	8.24 g
<b>GD4</b>	12.29 b	<b>7.62 g</b>	12.88 d	8.25 g
<b>GD5</b>	<b>12.81 a</b>	7.87 ef	13.53 c	<b>7.91 h</b>

Biyochaar çeşidi ve BD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de YSİ değerleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.124). Biyoçaar çeşidi x BD interaksiyonunda belirlenen ortalama YSİ değerleri Çizelge 4.126’de verilmiştir. Buna göre iki dönemde de ortalama en yüksek YSİ değeri fasulye x BD5 (%11.66 ve %12.03) interaksiyonunda elde edilmiştir. Her üç biyoçaar çeşidinde de biyoçaar ilavesi ile toprakların YSİ büyük çoğunlukla önemli oranda artış göstermiştir. Bu artışlar mısır ve fasulye biyoçaarı uygulanan topraklarda BD artışı ile doğru orantılıdır. Yani biyoçaar ilavesi arttıkça toprakta tutulan suyun miktarının da arttığı görülmektedir. Örneğin fasulye biyoçaarında ilk dönem BD1 uygulamasına kıyasla diğer uygulamalar sırası ile %4.34 (BD2), %4.75 (BD3), %11.73 (BD4) ve %18.54 (BD5) oranında daha yüksek YSİ depolamaya neden olmuşlardır. Bu eğilim ikinci dönemde de benzer şekilde devam etmiştir. İkinci dönemde ise BD1’e kıyasla YSİ artışı oranı sırası ile %5.59 (BD2), %8.48 (BD3), %12.67 (BD4) ve %15.98 (BD5) şeklinde olmuştur.

Biyoçar çeşidi ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de YSİ üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.124). Biyoçar çeşidi x GD interaksyonunda belirlenen ortalama YSİ değerleri Çizelge 4.126'da verilmiştir. İlk dönem fasulye x GD5 (%10.87) ve ikinci dönem çeltik x GD2 (%12.65) interaksyonları en yüksek ortalama YSİ elde edilmesine neden olmuştur. Bununla beraber ilk dönem çeltik x GD1 (%8.77) ve ikinci dönemde ise çeltik x GD5 (%9.49) ile elde edilen YSİ'leri diğer uygulamalara kıyasla daha düşüktür. GD uygulamaları çeltik biyoçarında ilk dönem YSİ artışına neden olurken ikinci dönem YSİ miktarında önemli oranda azalmaya yol açmıştır. İlk dönem GD4 ve GD5 uygulamaları GD1'e kıyasla %10.0 ve %14.98 oranında YSİ artışına neden olurken ikinci dönem %15.32 ve %22.09 oranında azalma olmuştur. Mısır ve fasulye biyoçarlarında da GD artışı ile YSİ miktarındaki değişim arasında belirli bir ilişki tespit edilememiştir.

Çizelge 4.126. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının yarayışlı su içeriğine (%) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	9.37 hij	9.68 gh	9.83 fg	11.00 cde	<b>10.22 f</b>	10.37 f
<b>BD2</b>	<b>9.10 j</b>	9.74 fgh	10.26 de	<b>11.82 a</b>	10.58 ef	10.95 cde
<b>BD3</b>	9.28 ij	10.11 def	10.30 cd	11.23 cd	10.84 de	11.25 bcd
<b>BD4</b>	9.63 ghi	10.46 cd	10.99 b	11.31 bc	11.07 cd	11.69 ab
<b>BD5</b>	9.90 fgh	10.66 bc	<b>11.66 a</b>	11.32 bc	11.01 cde	<b>12.03 a</b>
<b>GD1</b>	<b>8.77 f</b>	10.60 abc	10.65 abc	12.18 b	10.50 fg	10.44 fg
<b>GD2</b>	<b>9.04 f</b>	10.70 ab	10.42 bc	<b>12.65 a</b>	11.16 d	11.68 g
<b>GD3</b>	9.75 e	9.78 e	10.38 c	12.05 b	10.76 ef	11.41 cd
<b>GD4</b>	9.65 e	9.50 e	<b>10.71 a</b>	10.32 g	10.20 g	11.18 d
<b>GD5</b>	10.08 d	10.07 d	<b>10.87 a</b>	<b>9.49 h</b>	11.09 de	11.58 c

Biyoçar dozu ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de YSİ değerleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.124). Biyoçar dozu x GD interaksyonunda belirlenen ortalama YSİ değerleri Çizelge 4.127'de verilmiştir. Her iki dönemde de biyoçar dozları altında GD artışı ile YSİ değerlerindeki değişim arasında belirgin bir azalma veya artma gözlemlenmemiştir. Bir kısım uygulamalarda YSİ artışı görülürken diğer bazı uygulamalarda YSİ değerinde azalma olmuştur. Ancak GD sabit kalıp BD artışına bakıldığında aynı miktarda besin elementi verilen topraklarda BD artışı daha fazla YSİ tutulmasına neden olduğu görülmektedir. Besin elementi yetersiz olan GD1, GD2 ve GD3 uygulamalarında dahi biyoçar ilavesi ile toprakta tutulan YSİ miktarının artışı bitkilerin var olan kaynaktan daha optimal düzeyde yararlanmasını sağlayacaktır. İlk dönem en yüksek ortalama YSİ miktarı, BD5 x GD1 (%11.03) ve GD5 (%11.06) uygulamalarında elde edilirken ikinci dönem en yüksek ortalama YSİ ise BD5 x GD2 (%12.50) uygulamasında elde edilmiştir. Bununla birlikte en düşük YSİ ilk dönem BD1 x GD1 (%9.41) ve ikinci dönem BD5 x GD4 (%9.98) uygulamalarında olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.127. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	9.41 g	9.51 fg	9.75 efg	10.33 bcd	11.03 a
GD2	9.56 fg	9.92 def	9.82 efg	10.23 cde	10.74 ab
GD3	9.53 fg	9.64 fg	9.77 efg	10.48 bc	10.42 bc
GD4	9.83 efg	9.63 fg	9.64 fg	10.24 cde	10.44 bc
GD5	9.80 efg	9.81 efg	10.52 bc	10.52 bc	11.06 a
2. Dönem					
GD1	10.46 ijk	10.43 ijk	11.19 efg	11.29 c-g	11.84 bc
GD2	10.96 ghi	12.04 ab	11.66 b-e	12.00 ab	12.50 a
GD3	10.53 h-k	11.14 efg	11.56 b-f	11.89 b	11.92 b
GD4	10.29 j-k	11.80 bcd	10.38 j-k	10.37 j-k	9.98 k
GD5	10.41 ijk	10.18 jk	10.75 g-j	11.23 d-g	11.03 fgh

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksiyonu ilk dönem toprağın YSİ üzerine önemli düzeyde değil ( $P=0.1636$ ) iken ikinci yetiştirme döneminde bu etkinin istatistiksel olarak önemli boyuta ulaştığı görülmektedir (Çizelge 4.124). Toprak x BD interaksiyonuna ait ortalama YSİ verileri Çizelge 4.128’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek YSİ Kömeç x fasulye x BD5 (%14.35) ve ikinci dönem Kömeç x BD2 (%15.26), BD4 (%15.10) ve BD5 (%15.07) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük YSİ değerleri ise ilk dönem Dökmetepe x BD1 (%6.87), BD2 (%6.78) ve BD3 (%6.73) interaksiyonlarında ikinci dönem Dökmetepe x BD1 (%7.01) interaksiyonunda oluşmuştur. Toprak x BD interaksiyonunun YSİ üzerine etkisi ilk dönem önemli düzeyde olmasa da her iki toprakta uygulanan 3 biyoçar çeşidinde de en yüksek YSİ içerikleri en yüksek BD ile elde edilmiştir. Buna karşın en düşük YSİ değerleri ise çoğunlukla ya biyoçarın hiç yer almadığı BD1 veya çok az bulunduğu BD2 veya BD3 uygulamalarında bulunmuştur. Toprağın su tutma kapasitesi toprak kalitesi ve dolayısı ile üretkenliğinin bir göstergesi olarak kabul edilir. Özellikle kaba tekstürlü toprakların doğal olarak su tutma kapasiteleri düşük olduğundan dolayı, su tutma kapasitelerinin iyileştirilmesi önemli bir kalite göstergesi olarak kabul edilir. Bugün sıfır toprak işleme, malç kullanımı ve örtü bitkisi gibi tarımsal uygulamaların çoğu toprağın fiziksel özelliklerini geliştirmeyi düşünülerek geliştirilmiştir (Carvalho ve ark., 2014). Tarım arazilerinde biyoçar kullanımı da toprağın fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi adına anlamlı bir alternatif olarak görülmektedir. Yapılan bir kısım çalışmalarda odunsu

materyallerden elde edilen biyoçarların kumlu toprakların su tutma kapasitelerini önemli düzeyde arttırdığı bildirilmiştir (Pereira ve ark., 2012; Basso ve ark., 2013)

Çizelge 4.128. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	11.87 e-h	11.08 i	12.66 cd	<b>6.87 p</b>	8.27 klm	7.01 op
<b>BD2</b>	11.42 hi	11.43 ghi	12.73 cd	<b>6.78 p</b>	8.05 k-o	7.79 lmn
<b>BD3</b>	11.84 e-h	11.83 e-h	12.85 c	<b>6.73 p</b>	8.39 k	7.75 mn
<b>BD4</b>	11.73 fgh	11.96 efg	13.67 b	7.53 no	8.96 j	8.30 kl
<b>BD5</b>	11.97 ef	12.29 de	<b>14.35 a</b>	7.83 lmn	9.02 j	8.96 j
2. Dönem						
<b>BD1</b>	14.99 ab	12.15 g	13.09 ef	<b>7.01 p</b>	8.30 mn	7.65 o
<b>BD2</b>	<b>15.26 a</b>	12.71 fg	12.79 f	8.38 lmn	8.44 lmn	9.11 jk
<b>BD3</b>	14.42 bc	12.79 f	13.12 ef	8.05 no	8.88 j-m	9.38 ij
<b>BD4</b>	<b>15.10 a</b>	13.20 ef	13.61 de	7.53 op	8.93 jkl	9.76 hi
<b>BD5</b>	<b>15.07 a</b>	13.30 ef	13.97 cd	7.58 op	8.72 klm	10.09 h

Toprak tipi, BÇ ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de YSİ üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.124). İlk dönem en yüksek YSİ, Kömeç x fasulye x GD1 (%13.90) ve ikinci dönem ise Kömeç x çeltik x GD3 (%17.82) ile elde edilmiştir. En düşük ortalama YSİ miktarı ilk dönem Dökmetepe x çeltik x GD3 (%6.27) ve ikinci dönem Dökmetepe x çeltik x GD5 (%6.13) uygulamaları ile elde edilmiştir( Çizelge 4.129).

Çizelge 4.129. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	10.11 j	11.09 hi	<b>13.90 a</b>	7.43 l	10.11 j	7.39 l
<b>GD2</b>	11.31 ghi	11.80 fg	13.41 ab	6.77 mn	9.61 j	7.44 l
<b>GD3</b>	13.23 b	10.93 i	12.64 cd	<b>6.27 n</b>	8.63 k	8.12 k
<b>GD4</b>	12.33 de	11.56 fgh	12.96 bc	6.96 lm	7.44 l	8.47 k
<b>GD5</b>	11.85 ef	13.22 b	13.36 b	8.31 k	6.91 lm	8.39 k
2. Dönem						
<b>GD1</b>	14.50 c	12.67 fg	13.26 ef	9.86 i	8.34 kl	7.62 m
<b>GD2</b>	16.02 b	12.63 g	13.51 e	9.27 ij	9.69 i	9.84 i
<b>GD3</b>	<b>17.82 a</b>	12.73 fg	13.18 efg	<b>6.28 o</b>	8.79 jk	9.65 i
<b>GD4</b>	13.64 de	11.90 h	13.10 efg	6.99 n	8.50 kl	9.25 ij
<b>GD5</b>	12.85 fg	14.22 cd	13.52 e	<b>6.13 o</b>	7.97 lm	9.63 i

Toprak tipi, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de YSİ değerleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.124). Her iki dönemde de en yüksek ortalama YSİ miktarları Kömeç toprağında (Kömeç x BD5 x GD5 ve Kömeç x BD5 x GD3)



ve en düşük ortalama YSI miktarları ise Dökmetepe toprağında (Dökmetepe x BD1 x GD5 ve Dökmetepe x BD1 x GD3) elde edilmiştir. En yüksek konsantrasyona neden olan biyoçar dozu %3.0 iken en düşük YSI değerleri kontrol uygulaması olan BD1’de bulunmuştur (Çizelge 4.130).



Çizelge 4.130. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun yarayırlı su içeriğine (%) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	10.93 k	11.03jk	11.43h-k	12.27c-g	12.84a-d	7.89n-s	7.99n-r	8.07n-q	8.40mno	9.21l
<b>GD2</b>	11.36 ijk	11.67g-j	12.11e-h	12.70a-e	13.02ab	7.77o-t	8.18nop	7.53p-u	7.77o-t	8.46mn
<b>GD3</b>	11.88 f-i	12.16efg	12.21d-g	12.48b-f	12.60a-e	7.19tuv	7.12tuv	7.32r-v	8.48mn	8.24no
<b>GD4</b>	12.43 b-f	11.82f-i	12.20d-g	12.26c-g	12.71a-e	7.22s-v	7.43q-v	7.08uv	8.21nop	8.17nop
<b>GD5</b>	12.76 a-e	12.62-e	12.92abc	12.58a-e	<b>13.18a</b>	<b>6.84v</b>	6.99u-v	8.11n-q	8.47mn	8.94lm
2. Dönem										
<b>GD1</b>	13.49i-k	12.81k	12.95jk	13.68d-j	14.46bcd	7.43vwx	8.05s-v	9.44nop	8.89o-r	9.23n-q
<b>GD2</b>	13.20ijk	14.32bcd	13.68d-j	14.11d-g	14.98abc	8.72p-s	9.76mn	9.64mno	9.88mn	10.01mn
<b>GD3</b>	14.00d-h	14.26b-e	14.19c-f	15.00ab	<b>15.44 a</b>	<b>7.06x</b>	8.02s-v	8.93o-r	8.78p-s	8.41r-u
<b>GD4</b>	13.42f-k	13.36g-k	12.90j-k	13.07jk	11.66 l	7.16wx	10.24m	7.86t-x	7.67u-x	8.30r-u
<b>GD5</b>	12.92jk	13.20h-k	13.50e-k	13.99d-i	14.04 d-g	7.89t-w	7.16wx	7.99s-v	8.48q-t	8.02s-v

Biyoçar çeşidi, BD ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de YSI değerleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.124). İlk dönem fasulye x BD5 x GD1 (%12.55) ve ikinci dönem çeltik x BD2 x GD4 (%14.26) interaksyonları en yüksek YSI elde edilmesine neden olmuşlardır. En düşük ortalama YSI ise ilk dönem mısır x BD1 x GD4 (%8.50) ve ikinci dönem çeltik x BD5 x GD4 (%7.80) interaksyonlarında bulunmuştur (Çizelge 4.131).

Çizelge 4.131. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun yarayışlı su içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	9.22	<b>8.32</b>	8.57	8.77	8.98
	GD2	8.70	8.75	9.10	9.08	9.57
	GD3	9.23	9.78	9.47	10.23	10.02
	GD4	9.87	9.17	9.38	9.78	10.03
	GD5	9.83	9.48	9.90	10.30	10.90
Mısır	GD1	9.73	10.28	10.63	10.82	11.55
	GD2	10.43	10.05	10.32	11.52	11.20
	GD3	10.00	9.63	9.53	9.92	9.80
	GD4	<b>8.50</b>	9.35	9.72	9.96	9.98
	GD5	9.72	9.40	10.37	10.10	10.75
Fasulye	GD1	9.28	9.93	10.05	11.42	<b>12.55</b>
	GD2	9.55	10.97	10.05	10.10	11.45
	GD3	9.37	9.50	10.30	11.28	11.45
	GD4	11.12	10.37	9.82	10.97	11.30
	GD5	9.85	10.53	11.28	11.17	11.53
2. Dönem						
Çeltik	GD1	11.72	11.55	12.18	12.44	13.02
	GD2	12.28	12.34	12.44	12.55	13.64
	GD3	11.39	11.59	11.83	12.48	12.96
	GD4	10.78	<b>14.26</b>	9.44	9.30	<b>7.80</b>
	GD5	<b>8.81</b>	9.37	10.27	9.79	9.21
Mısır	GD1	9.65	9.99	11.18	10.60	11.11
	GD2	10.57	11.33	11.52	11.66	10.75
	GD3	9.74	11.11	10.99	11.14	10.84
	GD4	9.45	10.11	10.02	10.37	11.07
	GD5	11.71	10.37	10.50	11.57	11.31
Fasulye	GD1	10.02	9.75	10.22	10.82	11.41
	GD2	10.02	12.46	11.02	11.79	13.11
	GD3	10.47	10.72	11.87	12.04	11.97
	GD4	10.65	11.03	11.68	11.45	11.07
	GD5	10.70	10.80	11.47	12.34	12.58

Toprak tipi, BÇ, BD ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de YSI değerleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.124). İlk dönem Kömeç x fasulye x BD5 x GD1 (%15.80) ve ikinci dönem Kömeç x çeltik x BD5 x GD3 (%19.59) interaksyonları diğer tüm uygulamalara göre daha yüksek YSI miktarı elde edilmesine neden olmuşlardır. Bununla birlikte Dökmetepe x çeltik x BD3 x GD3 (%5.37) ve Dökmetepe x çeltik x BD1 x GD4 (%4.56) interaksyonlarında ise diğer uygulamalara kıyasla daha düşük YSI değerleri elde edilmiştir (Çizelge 4.132).

Çizelge 132. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun yarayırlı su içeriğine (%) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	10.20	9.60	10.00	10.23	10.53	9.97	10.60	11.10	11.60	12.20	12.63	12.90	13.20	<b>14.97 ab</b>	<b>15.80 a</b>
	GD2	10.57	10.80	11.20	11.67	12.30	10.40	11.37	11.93	12.93	12.37	13.10	12.83	13.20	13.50	<b>14.40 bc</b>
	GD3	12.40	13.27	13.57	13.87	13.03	11.43	11.40	10.67	10.43	10.70	11.80	11.80	12.40	13.13	14.07
	GD4	13.53	11.47	12.20	11.90	12.57	10.23	11.43	12.03	11.95	12.17	13.53	12.57	12.37	12.93	13.40
	GD5	12.67	11.97	12.23	11.00	11.40	13.37	12.37	13.43	12.90	14.03	12.23	13.53	13.10	13.83	<b>14.10 bcd</b>
Dökmetepe	GD1	8.23	7.03	7.13	7.30	7.43	9.50	9.97	10.17	10.03	10.90	<b>5.93 brbs</b>	6.97	6.90	7.87	9.30
	GD2	6.83	6.70	7.00	6.50	6.83	10.47	8.73	8.70	10.10	10.03	<b>6.00</b>	9.10	6.90	6.70	8.50
	GD3	<b>6.07</b>	6.30	<b>5.37 bs</b>	6.60	7.00	8.57	7.87	8.40	9.40	8.90	6.93	7.20	8.20	9.43	8.83
	GD4	6.20	6.87	6.57	7.67	7.50	6.77	7.27	7.40	7.97	7.80	8.70	8.17	7.27	9.00	9.20
	GD5	7.00	7.00	7.57	9.60	10.40	<b>6.07</b>	6.43	7.30	7.30	7.47	7.47	7.53	9.47	8.50	8.97
2. Dönem																
Kömeç	GD1	14.11	14.15	14.20	14.83	15.21	12.62	12.27	12.00	12.79	13.67	13.74	12.01	12.64	13.42	14.51
	GD2	15.07	16.78	14.44	15.87	<b>17.96 bc</b>	11.97	12.81	13.13	12.80	12.47	12.55	13.36	13.47	13.66	14.52
	GD3	16.91	16.91	16.82	<b>18.87 ab</b>	<b>19.59 a</b>	11.65	13.10	12.95	13.10	12.86	13.45	12.76	12.81	13.02	13.86
	GD4	17.01	15.58	13.47	12.51	9.65	10.50	11.56	11.88	12.95	12.63	12.76	12.94	13.35	13.76	12.70
	GD5	11.84	12.90	13.15	13.42	12.96	13.99	13.83	14.01	14.37	14.90	12.94	12.88	13.33	14.18	14.27
Dökmetepe	GD1	9.33	8.95	10.16	10.05	10.83	6.68	7.70	10.35	8.41	8.54	6.29	7.50	7.79	8.22	8.31
	GD2	9.49	7.89	10.43	9.23	9.32	9.18	9.85	9.90	10.51	9.02	7.49	11.55	8.57	9.91	11.69
	GD3	5.87	6.26	6.84	6.09	6.32	7.83	9.11	9.02	9.18	8.82	7.48	8.68	10.94	11.05	10.08
	GD4	<b>4.56 bp</b>	12.93	<b>5.41 bobp</b>	6.09	5.95	8.39	8.66	8.16	7.80	9.51	8.54	9.13	10.01	9.13	9.44
	GD5	5.78	5.85	7.39	6.17	<b>5.46</b>	9.44	6.91	6.99	8.77	7.72	8.46	8.71	9.60	10.49	10.89

#### 4.3.4. Toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri

Bundan önce de belirtildiği gibi hacim ağırlığı sadece deneme bitiminde belirlenmiştir. Zira hacim ağırlığı için her saksıdan silindir ile 100 cm<sup>3</sup> toprak alınmaktadır. Hacim ağırlığı (HA) verisi özellikle toprak kalitesi hesaplamalarında kullanılacağından dolayı önem arz etmektedir. İkinci dönem sonunda uygulamaların ve interaksiyonlarının HA değeri üzerine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.133’de verilmiştir. Buna göre tüm bireysel faktörler ve bu faktörlerin interaksiyonları HA değerleri üzerine önemli düzeyde etki yapmışlardır.

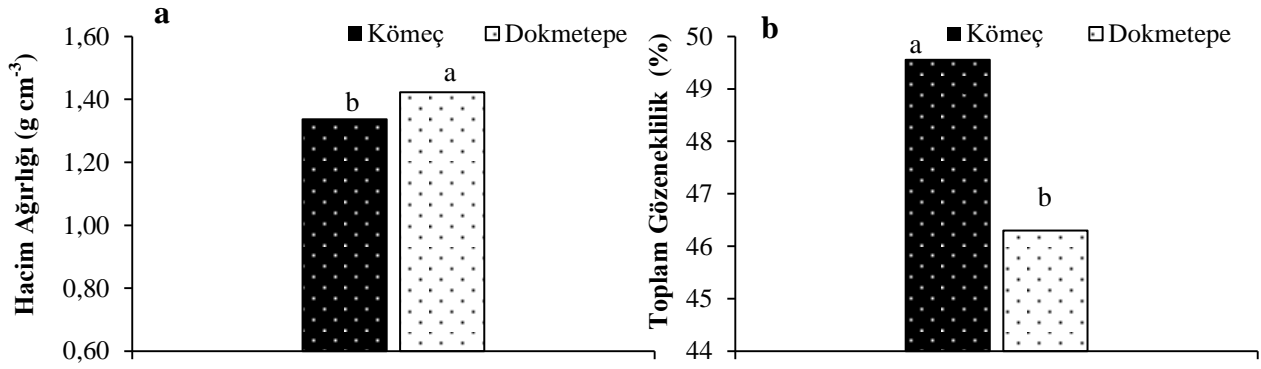
Çizelge 4.133. Uygulamaların toprakların hacim ağırlıklarına etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Hacim Ağırlığı				Toplam Gözeneklilik			
		Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortalama	F	P
Toprak (T)	1	0.84	0.84	997.45	<0.0001**	1193.42	1193.42	997.45	<0.0001**
Biyočar Çeşidi (BÇ)	2	0.52	0.26	310.59	<0.0001**	743.22	371.61	310.59	<0.0001**
Biyočar Dozu (BD)	4	0.44	0.11	131.22	<0.0001**	628.02	157.00	131.22	<0.0001**
Gübre Dozu (GD)	4	0.05	0.01	15.15	<0.0001**	72.52	18.13	15.15	<0.0001**
T*BÇ	2	0.39	0.19	229.62	<0.0001**	549.46	274.73	229.62	<0.0001**
T*BD	4	0.06	0.01	16.86	<0.0001**	80.67	20.17	16.86	<0.0001**
T*GD	4	0.11	0.03	34.12	<0.0001**	163.31	40.83	34.12	<0.0001**
BÇ*BD	8	0.14	0.02	21.31	<0.0001**	203.96	25.50	21.31	<0.0001**
BÇ*GD	8	0.89	0.11	131.90	<0.0001**	1262.50	157.81	131.90	<0.0001**
BD*GD	16	0.39	0.02	29.18	<0.0001**	558.62	34.91	29.18	<0.0001**
T*BÇ*BD	8	0.09	0.01	12.86	<0.0001**	123.06	15.38	12.86	<0.0001**
T*BÇ*GD	8	0.22	0.03	32.75	<0.0001**	313.49	39.19	32.75	<0.0001**
T*BD*GD	16	0.14	0.01	10.72	<0.0001**	205.31	12.83	10.72	<0.0001**
BÇ*BD*GD	32	1.01	0.03	37.58	<0.0001**	1438.76	44.96	37.58	<0.0001**
T*BÇ*BD*GD	32	0.89	0.03	33.00	<0.0001**	1263.56	39.49	33.00	<0.0001**

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil SD: Serbestlik Derecesi

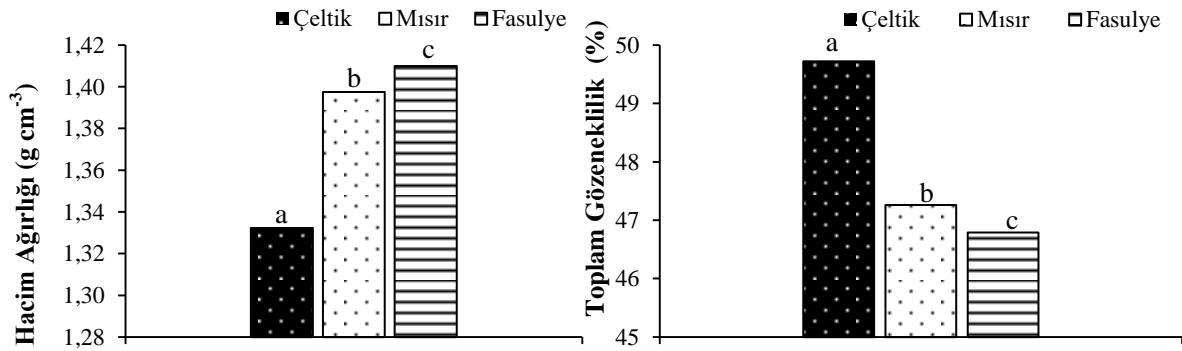
Toprak faktörü HA üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.133). Toprakların ortalama HA değerleri Şekil 4.65a’da gösterilmiştir. Buna göre Kömeç toprağının ortalama HA değeri 1.34 g cm<sup>-3</sup> ve Dökmetepe toprağının ise 1.42 g cm<sup>-3</sup> olarak belirlenmiştir. Toprağın hacim ağırlığı kum, silt, kil ve organik madde içeriği ile bu maddelerin yoğunluklarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Gözenekli yapıya sahip olan organik maddece zengin olan toprakların HA değerleri düşük olur. Kumlu toprakların toplam gözenek miktarı siltli ve killi toprakların toplam gözenek miktarından daha az olduğundan HA değerleri nispeten daha yüksek olur. Bu nedenle “killi tın” tekstürü gibi nispeten killi olan toprakların toplam gözenekliliği daha yüksek olduğundan HA değerleri kumlu topraklara kıyasla daha düşük olur (Logsdon ve Karlen, 2004). Bu çalışmada kullanılan Kömeç toprağı sırası ile ortalama %40.6 kum, %39.2 silt ve %20.2 kil ve Dökmetepe toprağı ise 65 kum, %23 silt ve %12.1 kil içermektedir (Çizelge 3.3). Doğal olarak toplam gözenek miktarının kil

içeriği nispeten yüksek olan Kömeç toprağında daha fazla olması HA'nın da düşük olmasına neden olmuştur (Şekil 4.65b).



Şekil 4.65. Biyoçar uygulamalarının iki ayrı toprağın a.) hacim ağırlığı ve b.) toplam gözenekliliğine etkileri

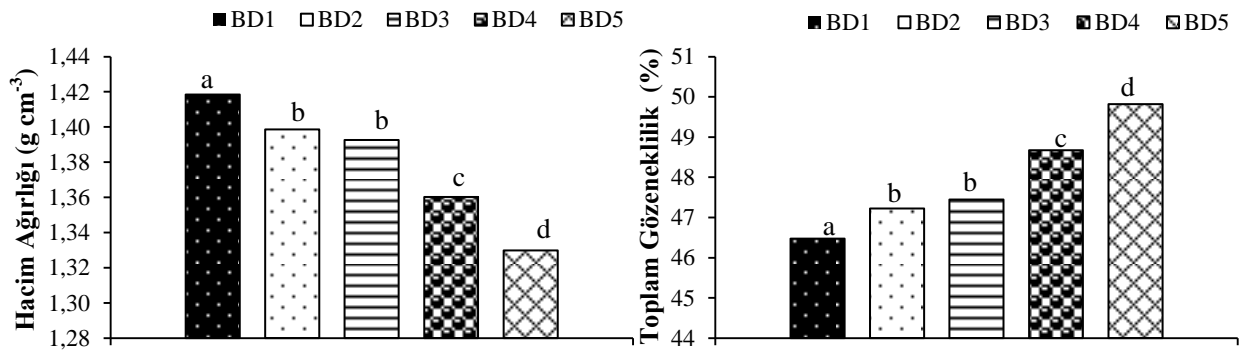
Biyoçar çeşitlerinin HA ve TG üzerine etkileri  $P < 0.01$  önem düzeyinde etkili olmuştur (Çizelge 4.133). Üç ayrı biyoçar çeşidinin uygulandığı toprakların ortalama hacim ağırlığı ve toplam gözeneklilik değerleri Şekil 4.66'da verilmiştir. Buna göre ortalama hacim ağırlığı sırası ile fasulye biyoçarı ( $1.41 \text{ g cm}^{-3}$ ), mısır biyoçarı ( $1.40 \text{ g cm}^{-3}$ ) ve çeltik biyoçarı ( $1.33 \text{ g cm}^{-3}$ ) şeklinde olmuştur. Bu durum uygulanan biyoçarların spesifik yüzey alanları ile ilişkili görülmektedir. Zira denemede kullanılan biyoçar materyallerinin de ortalama spesifik yüzey alanı değerleri sırası ile fasulye biyoçarı  $118 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , çeltik biyoçarı  $212 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  ve mısır biyoçarı ise  $398 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  şeklindedir. Yüzey alanı yüksek olan bir materyalin uygulanması toprağın birim hacmindeki toplam gözenekliliği arttıracığından hacim ağırlığının azalmasına neden olacaktır.



Şekil 4.66. Biyoçar çeşidi uygulamalarının toprakların hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri

Biyoçar dozu faktörü toprağın HA ve TG üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.133). Beş ayrı biyoçar dozu uygulamasında elde edilen ortalama HA ve toplam gözeneklilik değerleri Şekil 4.67'de gösterilmiştir. Yüksek miktardaki gözenekliliğinden dolayı biyoçar ilavesinin HA'nı azalması beklenir. Hacim ağırlığı değerleri biyoçar dozu artışı ile

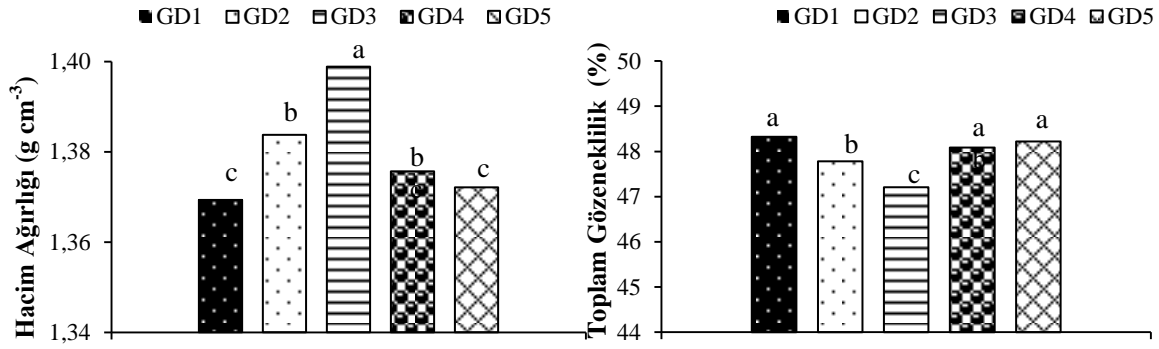
doğru orantılı bir şekilde azalmıştır. Biyoçar bulunmayan BD1 uygulamasında ortalama HA değeri  $1.41 \text{ g cm}^{-3}$  iken bu değer BD3 uygulamasında  $1.39 \text{ g cm}^{-3}$ 'a ve BD5 uygulamasında ise  $1.33 \text{ g cm}^{-3}$ 'a inmiştir. Biyoçar dozu artışının toprağın HA değerlerinde azalmaya neden olduğu farklı araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (Dokoohaki ve ark., 2017). Zhang ve ark. (2012), çeltik yetiştirilen topraklara uyguladıkları biyoçarın iki ayrı dönem de ölçülen toprak hacim ağırlığında önemli düzeyde azalmaya neden olduğunu rapor etmişlerdir. Mısır ve silaj mısırdan üretilen biyoçarı %1.0, %2.5 ve %5.0 oranlarında kumlu bir toprak ile karıştıran Abel ve ark. (2013), 6 aylık inkübasyon süresinin sonunda HA değerlerinde azalma, toplam gözeneklilikte ve solma noktasında tutulan nem içeriğinde önemli düzeyde artış olduğunu kaydetmişlerdir. Araştırmacılar bu durumu biyoçarın oldukça gözenekli olan yapısı ile ilişkilendirmişlerdir. Corsican çamı talaşının 1 saat süreyle  $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de pirolizi ile elde edilen biyoçarı %0.1, %0.5 ve %2.5 oranlarında uygulayan Peake ve ark. (2014) toprağın HA değerinde biyoçar bulunmayan kontrole ( $1.52 \text{ g cm}^{-3}$ ) kıyasla %0.1 ve %0.5 biyoçar dozlarında ( $1.47 \pm 0.15 \text{ g cm}^{-3}$ ) ortalama %3.3 ve %2.5 biyoçar dozunda ( $1.37 \pm 0.16 \text{ g cm}^{-3}$ ) ise ortalama %10.2 azalma olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise %1.0 biyoçar dozu (BD3) uygulamasında HA kontrole kıyasla %1.4 ve %3.0 biyoçar uygulamasında kontrole kıyasla %5.7 oranında azalma göstermiştir. Bunların aksine Moragues-Saitua ve ark. (2017) iki ayrı deneme alanında *Miscanthus sp.*'den  $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de yavaş piroliz ile elde edilen biyoçarı uyguladıktan 15 ve 30 ay sonra dahi HA değerlerinde önemli bir değişim olmadığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.67. Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri

BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

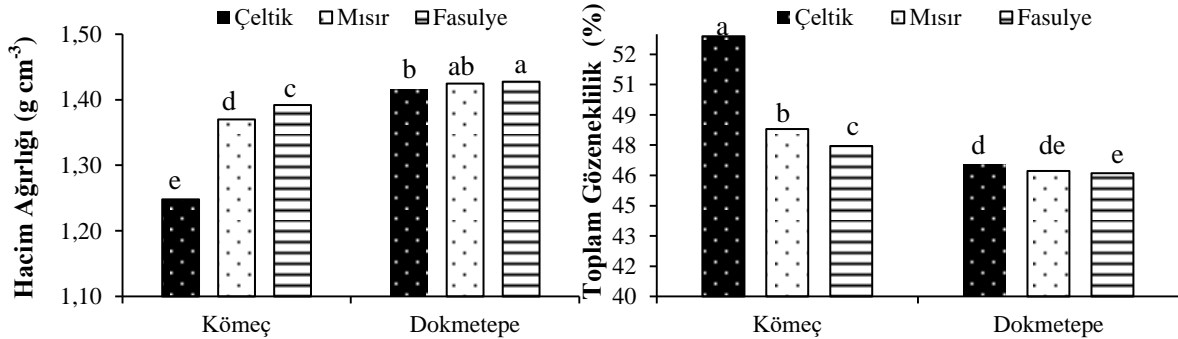
gübre dozu uygulamaları toprağın HA ve TG değerleri üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.133). En yüksek ortalama HA değerleri bitki besin elementi gereksinimlerinin %50 oranında karşılandığı GD3 ( $1.40 \text{ g cm}^{-3}$ ) uygulamasında gerçekleşirken sadece sıvı hayvan gübresi bulunan biyoçar uygulamasında (GD1,  $1.37 \text{ g cm}^{-3}$ ) hacim ağırlığı diğer uygulamalara oranla düşük kalmıştır (Şekil 4.68).



Şekil 4.68. Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak tipi ve BÇ interaksiyonu toprağın HA ve toplam gözeneklilik üzerine oldukça önemli etki yapmıştır (Çizelge 4.133). Toprak x çeşit interaksiyonuna ait ortalama HA ve toplam gözeneklilik değerleri Şekil 4.69'da gösterilmiştir. Buna göre en yüksek HA (1.43 g cm<sup>-3</sup>) Dökmetepe toprağında fasulye biyoçarı uygulamasında elde edilirken en düşük ortalama HA (1.25 g cm<sup>-3</sup>) Kömeç toprağında çeltik biyoçarı uygulamasında elde edilmiştir. Kum içeriği daha düşük olan kömeç toprağında tüm biyoçar çeşitlerinde ortalama HA değerleri Dökmetepe toprağına kıyasla önemli derecede düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.69. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın hacim ağırlığına ve toplam gözenekliliğine etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksiyonları toprağın HA değerleri ve toplam gözenekliliği üzerine oldukça önemli düzeyde etki yapmışlardır (Çizelge 4.133). Bu interaksiyonlara ait ortalama HA ve TG değerleri Çizelge 4.134'da verilmiştir. Buna göre en yüksek ortalama HA Dökmetepe x BD2 (1.45 g cm<sup>-3</sup>) ve en düşük değer ise Kömeç x BD5 (1.29 g cm<sup>-3</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Her iki toprakta da biyoçar dozu artışı ile önemli düzeyde HA azalması ve beraberinde toplam gözeneklilik artışı söz konusudur. Kırmızı meşe odununun 500 °C'de hızlı pirolizi ile elde ettikleri biyoçarı kontrol, %3.0 ve %6.0 oranlarında kumlu tın (%68 kum) tekstüründeki bir toprağı uygulayan Dokoohaki ve



ark. (2017), biyoçar uygulanan topraklarda kontrol uygulamasına kıyasla toplam porozitenin ve düşük basınç altında tutulan (tarla kapasitesi gibi) nem miktarının arttığını rapor etmişlerdir.

Toprak tipi ve GD faktörlerinin interaksiyonları toprağın HA ve TG değerleri üzerine önemli etki yapmış ve HA ve TG değerleri uygulamalar arasında önemli düzeyde farklı olmuştur (Çizelge 4.133). Toprak tipi x GD interaksiyonuna ait ortalama HA ve TG değerleri Çizelge 4.134'da gösterilmiştir. Buna göre en yüksek HA Kömeç x GD1 (1.44 g cm<sup>-3</sup>) ve en düşük değer ise Dökmetepe x GD5 uygulamasında elde edilmiştir.

Çizelge 4.134. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri

	Hacim Ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> )		Toplam Gözeneklilik (%)	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	1.40 c	1.40 c	47.31 e	<b>45.64 g</b>
<b>BD2</b>	1.35 e	1.35 e	49.11 c	<b>45.33 g</b>
<b>BD3</b>	1.35 e	1.35 e	49.22 c	<b>45.67 g</b>
<b>BD4</b>	1.31 f	1.31 f	50.73 b	46.62 f
<b>BD5</b>	<b>1.29 g</b>	<b>1.29 g</b>	<b>51.40 a</b>	48.23 d
<b>GD1</b>	<b>1.44 a</b>	<b>1.44 a</b>	<b>50.97 a</b>	45.69 f
<b>GD2</b>	1.43 ab	1.43 ab	48.65 c	46.92 d
<b>GD3</b>	1.42 b	1.42 b	48.42 c	46.00 ef
<b>GD4</b>	1.42 b	1.42 b	49.73 b	46.45 e
<b>GD5</b>	1.41 c	1.41 c	50.01 b	46.43 e

Biyoçar çeşidi ve BD faktörlerinin interaksiyonları HA ve TG üzerine etkileri önemli bulunmuştur (Çizelge 4.133). Biyoçar çeşidi x BD interaksiyonunda oluşan ortalama HA ve TG değerleri Çizelge 4.135'de verilmiştir. Buna göre en yüksek HA fasulye x BD1 ve en düşük HA ise çeltik x BD5 interaksiyonlarında elde edilmiştir. Uygulanan 3 biyoçar çeşidinde de BD artışı ile birlikte HA önemli oranda azalma göstermiştir.

Biyoçar çeşidi ve GD interaksiyonları da HA ve TG değerleri üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.133). Çeşit x GD interaksiyonunda elde edilen ortalama HA ve TG değerlerine ait veriler Çizelge 140'da verilmiştir. Biyoçar çeşitlerinde GD'deki değişimle ilişkili sayılabilecek belirgin bir azalma veya artma eğilimi gözlemlenmemektedir. En yüksek HA fasulye x GD1 (1.48 g cm<sup>-3</sup>) ve en düşük HA ise çeltik x BD5 (81.30 g cm<sup>-3</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.135. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının toprağın hacim ağırlığına etkileri

	Hacim Ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> )			Toplam Gözeneklilik (%)		
	Çeltik	Çeltik	Mısır	Fasulye	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	1.35 g	1.35 g	1.42 c	49.02 c	46.34 g	<b>44.06 i</b>
<b>BD2</b>	1.36 fg	1.36 fg	1.42 cd	48.75 cd	46.39 fg	46.52 fg
<b>BD3</b>	1.32 h	1.32 h	1.41 d	50.01 b	46.93 fg	45.40 h
<b>BD4</b>	1.33 h	1.33 h	1.38 e	49.71 b	47.95 e	48.35 de
<b>BD5</b>	<b>1.30 i</b>	<b>1.30 i</b>	1.36 fg	<b>51.12 a</b>	48.70 cd	49.64 b
<b>GD1</b>	<b>1.24 g</b>	<b>1.24 g</b>	1.39 c	<b>53.25 a</b>	47.52 e	44.21 g
<b>GD2</b>	1.36 e	1.36 e	1.37 d	48.83 c	48.19 d	46.33 f
<b>GD3</b>	1.33 f	1.33 f	<b>1.47 a</b>	49.64 b	44.53 g	47.47 e
<b>GD4</b>	1.34 f	1.34 f	1.36 de	49.43 b	48.57 cd	46.26 f
<b>GD5</b>	1.39 c	1.39 c	1.39 c	47.47 e	47.51 e	49.69 b

Biyoçar dozu ve GD faktörlerinin interaksiyonları HA ve TG üzerine önemli etki yapmıştır (Çizelge 4.133). Biyoçar dozu x GD interaksiyonlarına ait ortalama HA ve TG değerleri Çizelge 4.136’da verilmiştir. Buna göre en yüksek HA, BD1 x GD3 (1.46 g cm<sup>-3</sup>) ve en düşük HA, BD5 x GD1 (1.26 g cm<sup>-3</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.136. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri

	Hacim Ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> )					Toplam Gözeneklilik (%)				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	1.42bc	1.35ij	1.42bc	1.39efg	<b>1.26m</b>	46.33kl	49.06de	46.35kl	47.53ghi	<b>52.37a</b>
<b>GD2</b>	1.43b	1.39def	1.39def	1.35ijk	1.35ij	45.89l	47.46hij	47.38hij	49.18cd	48.99de
<b>GD3</b>	<b>1.46a</b>	1.42bc	1.41cde	1.33k	1.37gh	<b>44.74m</b>	46.44kl	46.88ijk	49.81c	48.20fg
<b>GD4</b>	1.36hi	1.41cde	1.35ij	1.40def	1.36hi	48.66ef	46.90ijk	48.95de	47.27hij	48.66ef
<b>GD5</b>	1.41cd	1.42bc	1.39fg	1.34jk	1.30l	46.75jk	46.25kl	47.67gh	49.56cd	50.88b

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörlerinin interaksiyonları toprakların HA ve TG değerleri üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.133). Bu interaksiyonlara ait ortalama veriler Çizelge 4.137’de gösterilmiştir. En yüksek HA değeri Dökmetepe x fasulye x BD1 (1.51 g cm<sup>-3</sup>) ve en düşük HA değeri ise Kömeç x çeltik x BD5 (1.20 g cm<sup>-3</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Her iki toprakta da uygulanan tüm biyoçar çeşitlerinde en yüksek HA değerleri BD1 (kontrol) ve en yüksek HA değerleri ise BD5 (%3.0) biyoçar dozu uygulamalarında elde edilmiştir. Biyoçar dozu artışı ile topraktaki toplam organik materyal oranının artması, toplam gözenekliliği arttırdığından HA değerlerinde önemli miktarda düşüşe neden olmuştur.

Çizelge 4.137. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri

Hacim Ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> )						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	1.30 l	1.43 de	1.46 bc	1.40 fgh	1.41 efg	<b>1.51 a</b>
<b>BD2</b>	1.28 l	1.37 ij	1.39 hi	1.43 de	1.47 b	1.44 cd
<b>BD3</b>	1.23 m	1.39 hi	1.42 def	1.42 def	1.43 def	1.47 b
<b>BD4</b>	1.23 m	1.33 k	1.35 jk	1.43 de	1.43 de	1.39 hi
<b>BD5</b>	<b>1.20 n</b>	1.33 k	1.34 k	1.39 hi	1.39 hi	1.33 k
Toplam Gözeneklilik (%)						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	50.94 c	45.99 jk	45.01 lm	47.09 ghi	46.69 hij	43.12 n
<b>BD2</b>	51.55 c	48.40 ef	47.37 gh	45.96 jk	44.38 m	45.66 kl
<b>BD3</b>	53.69 b	47.65 fg	46.34 ijk	46.34 ijk	46.21 jk	44.45 m
<b>BD4</b>	53.46 b	49.71 d	49.01 de	45.96 jk	46.19 jk	47.70 fg
<b>BD5</b>	<b>54.87 a</b>	49.74 d	49.61 d	47.37 ghi	47.67 fg	49.66 d

Toprak tipi, BÇ ve GD faktörlerinin interaksiyonları toprağın HA üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.133). Bu interaksiyonlara ait ortalama HA ve TG değerleri Çizelge 4.138’de verilmiştir. Buna göre en yüksek HA, Dökmetepe x fasulye x GD1 (1.56 g cm<sup>-3</sup>) ve en düşük HA, Kömeç x çeltik x GD1 (1.16 g cm<sup>-3</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.138. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğine etkileri

Hacim Ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> )						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	<b>1.16 n</b>	1.34 k	1.40 gh	1.32 l	1.44 de	<b>1.56 a</b>
<b>GD2</b>	1.31 l	1.35 k	1.42 ef	1.40 gh	1.40 gh	1.42 ef
<b>GD3</b>	1.25 m	1.45 d	1.40 ghi	1.42 fg	1.49 c	1.39 hi
<b>GD4</b>	1.25 m	1.35 k	1.39 hi	1.43 ef	1.38 ij	1.45 d
<b>GD5</b>	1.26 m	1.36 jk	1.35 k	1.52 b	1.42 ef	1.31 l
Toplam Gözeneklilik (%)						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	<b>56.28 a</b>	49.33 d	47.30 gh	50.21 c	45.71 jk	<b>41.13 n</b>
<b>GD2</b>	50.39 c	49.16 d	46.39 ij	47.27 gh	47.22 gh	46.26 ij
<b>GD3</b>	52.70 b	45.21 k	47.35 fgh	46.57 hi	43.85 l	47.60 fg
<b>GD4</b>	52.75 b	49.03 d	47.40 fgh	46.11 ij	48.10 ef	45.13 k
<b>GD5</b>	52.38 b	48.75 de	48.91 d	42.57 m	46.26 ij	50.47 c

Toprak tipi, BD ve GD interaksiyonu toprağın HA ve TG üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.133). Bu interaksiyona ait ortalama HA ve TG değerleri Çizelge 4.139’da verilmiştir. En yüksek HA, Dökmetepe x BD3 x GD1 (1.56 g cm<sup>-3</sup>) ve en düşük HA, Kömeç x BD5 x GD1 (1.22 g cm<sup>-3</sup>) interaksiyonlarında görülmüştür.

Çizelge 4.139. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri

Hacim Ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> )										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	1.35 m-p	1.26x	1.34n-q	1.32q-t	<b>1.22y</b>	1.49ab	1.44efg	<b>1.50a</b>	1.46cde	1.31s-v
<b>GD2</b>	1.43fgh	1.36mno	1.38klm	1.30tuv	1.33p-s	1.44efg	1.42ghi	1.41g-j	1.39jkl	1.37k-n
<b>GD3</b>	1.48abc	1.36mno	1.40ijk	1.30tuv	1.30tuv	1.45c-f	1.48a-d	1.42ghi	1.36m-p	1.45efg
<b>GD4</b>	1.35m-p	1.38klm	1.29uvw	1.34o-r	1.30tuv	1.37lmn	1.44efg	1.42g-j	1.46c-f	1.42g-j
<b>GD5</b>	1.37k-n	1.38klm	1.32q-t	1.26wx	1.29vwx	1.45c-f	1.47bcd	1.45def	1.41hij	1.32r-u
Toplam Gözeneklilik (%)										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	48.97j-m	52.41b	49.31i-l	50.06f-i	54.09a	43.69xy	45.70stu	43.40y	44.99uvw	50.65d-g
<b>GD2</b>	46.08rst	48.51klm	48.09mno	50.90def	49.64g-j	45.70stu	46.42qrs	46.67p-s	47.46nop	48.34l-o
<b>GD3</b>	44.28wxy	48.55klm	40pq7.34	50.86def	51.07def	45.20t-w	44.32v-y	46.42qrs	48.76j-m	45.32tuv
<b>GD4</b>	48.93j-m	48.09mno	51.32cde	49.48h-k	50.82def	48.39lmn	45.70stu	46.58p-s	45.07t-w	46.50p-s
<b>GD5</b>	48.30l-o	47.97mno	50.06f-i	52.33bc	51.40bcd	45.20t-w	44.53vwx	45.28t-w	46.79pqr	50.36e-h

Biyoçar çeşidi, BD ve GD interaksiyonu HA ve TG değerlerini önemli düzeyde etkilemiştir (Çizelge 4.133). En yüksek HA, fasulye x BD1 x GD1 (1.56 g cm<sup>-3</sup>), fasulye x BD3 x GD1 (1.52 g cm<sup>-3</sup>) ve fasulye x BD4 x GD1 (1.52 g cm<sup>-3</sup>) interaksiyonlarında bulunmuştur. Buna karşılık en düşük HA ise mısır x BD5 x GD1 (1.20 g cm<sup>-3</sup>) interaksiyonunda elde edilmiştir (Çizelge 4.140).

Çizelge 4.140. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri

Hacim Ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> )											
		Hacim Ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> )					Toplam Gözeneklilik (%)				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>Çeltik</b>	<b>GD1</b>	<b>1.19</b>	1.25	1.30	1.25	<b>1.22</b>	<b>55.28</b>	53.02	51.07	52.70	54.15
	<b>GD2</b>	1.38	1.39	1.35	1.33	1.34	48.05	47.61	49.06	50.00	49.43
	<b>GD3</b>	1.40	1.37	1.40	1.28	1.24	47.36	48.49	47.30	51.64	53.40
	<b>GD4</b>	1.39	1.40	1.26	1.37	1.29	47.74	47.23	52.64	48.36	51.19
	<b>GD5</b>	1.41	1.39	1.33	1.44	1.39	46.67	47.42	50.00	45.85	47.42
<b>Mısır</b>	<b>GD1</b>	1.52	1.39	1.45	1.40	<b>1.20</b>	42.64	47.48	45.22	47.36	<b>54.91</b>
	<b>GD2</b>	1.42	1.44	1.37	1.27	1.38	46.60	45.85	48.24	52.14	48.11
	<b>GD3</b>	1.47	1.45	1.45	1.46	1.52	44.47	45.35	45.16	44.97	42.70
	<b>GD4</b>	1.29	1.34	1.29	1.45	1.45	51.32	49.50	51.45	45.28	45.28
	<b>GD5</b>	1.41	1.49	1.47	1.33	1.26	46.67	43.77	44.59	50.00	52.52
<b>Fasulye</b>	<b>GD1</b>	<b>1.56</b>	1.41	<b>1.52</b>	<b>1.52</b>	1.38	<b>41.07</b>	46.67	42.77	42.52	48.05
	<b>GD2</b>	1.51	1.35	1.46	1.45	1.34	43.02	48.93	44.84	45.41	49.43
	<b>GD3</b>	1.53	1.45	1.37	1.25	1.37	42.39	45.47	48.18	52.83	48.49
	<b>GD4</b>	1.41	1.49	1.52	1.37	1.34	46.92	43.96	42.77	48.18	49.50
	<b>GD5</b>	1.41	1.39	1.37	1.25	1.25	46.92	47.55	48.43	52.83	52.70

Denemede yer alan dört faktörün karşılıklı etkileşimleri HA ve TG değerleri üzerine önemli düzeyde etki etmiş ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.133). Bu interaksiyonlarda elde edilen ortalama HA ve TG değerleri Çizelge 4.141'de verilmiştir. Buna göre en yüksek ortalama HA Dökmetepe x fasulye x BD1 x GD1 interaksiyonunda buna karşın en düşük HA ise Kömeç x çeltik x BD1 x GD1 (1.12 g cm<sup>-3</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir.

Çizelge 4.141. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun toprağın hacim ağırlığı ve toplam gözenekliliğe etkileri

Hacim Ağırlığı (g cm <sup>-3</sup> )																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	1.09	1.15	1.19	1.24	1.12	1.55	1.36	1.34	1.29	1.18	1.42	1.27	1.50	1.44	1.35
	GD2	1.34	1.35	1.36	1.25	1.27	1.37	1.33	1.45	1.27	1.31	1.57	1.41	1.31	1.39	1.42
	GD3	1.43	1.26	1.25	1.17	1.16	1.50	1.45	1.44	1.42	1.45	1.50	1.38	1.50	1.32	1.28
	GD4	1.35	1.34	1.14	1.24	1.20	1.35	1.28	1.27	1.44	1.41	1.36	1.51	1.46	1.34	1.30
	GD5	1.29	1.32	1.20	1.27	1.23	1.38	1.42	1.43	1.25	1.31	1.44	1.40	1.34	1.27	1.33
Dökmetepe	GD1	1.28	1.34	1.40	1.27	1.31	1.49	1.43	1.57	1.50	1.21	1.70	1.55	1.53	1.61	1.40
	GD2	1.41	1.43	1.34	1.40	1.41	1.46	1.54	1.29	1.27	1.44	1.45	1.29	1.61	1.51	1.26
	GD3	1.36	1.47	1.55	1.39	1.31	1.44	1.45	1.46	1.50	1.59	1.55	1.51	1.25	1.18	1.45
	GD4	1.42	1.46	1.37	1.50	1.39	1.23	1.40	1.30	1.46	1.49	1.45	1.46	1.57	1.41	1.38
	GD5	1.54	1.47	1.45	1.60	1.56	1.44	1.56	1.51	1.40	1.21	1.38	1.38	1.39	1.23	1.18
Toplam Gözeneklilik (%)																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	58.99	56.48	54.97	53.21	57.74	41.51	48.81	49.56	51.32	55.47	46.42	51.95	43.40	45.66	49.06
	GD2	49.31	49.06	48.68	52.83	52.08	48.18	49.81	45.16	52.20	50.44	40.75	46.67	50.44	47.67	46.42
	GD3	46.04	52.45	52.96	55.85	56.23	43.40	45.28	45.53	46.54	45.28	43.40	47.92	43.52	50.19	51.70
	GD4	49.06	49.56	57.11	53.33	54.72	49.06	51.70	51.95	45.66	46.79	48.68	43.02	44.91	49.43	50.94
	GD5	51.32	50.19	54.72	52.08	53.58	47.80	46.42	46.04	52.83	50.69	45.79	47.30	49.43	52.08	49.94
Dökmetepe	GD1	51.57	49.56	47.17	52.20	50.57	43.77	46.16	40.88	43.40	54.34	35.72	41.38	42.14	39.37	47.04
	GD2	46.79	46.16	49.43	47.17	46.79	45.03	41.89	51.32	52.08	45.79	45.28	51.19	39.25	43.14	52.45
	GD3	48.68	44.53	41.64	47.42	50.57	45.53	45.41	44.78	43.40	40.13	41.38	43.02	52.83	55.47	45.28
	GD4	46.42	44.91	48.18	43.40	47.67	53.58	47.30	50.94	44.91	43.77	45.16	44.91	40.63	46.92	48.05
	GD5	42.01	44.65	45.28	39.62	41.26	45.53	41.13	43.14	47.17	54.34	48.05	47.80	47.42	53.58	55.47

#### 4.4. Uygulamaların Toprağın Biyokimyasal Özelliklerine Etkileri

Toprakta devam eden besin döngüsü, organik maddenin parçalanması ve ayrışması, filtreleme ve tamponlama gibi işlemler toprağın biyokimyasal özellikleri tarafından yönetilmektedir. Bu nedenle de toprak biyokimyasal özellikleri toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerine kıyasla amenajmandaki değişkenliğe karşı çok daha hassas olduklarından dolayı toprakta devam eden işlemlerin izlenmesi içinde önemlidirler (Paz-Ferreiro ve ark., 2009).

İki ayrı dönem sonunda belirlenen toprağın biyolojik özellikleri arasındaki farkı gösteren sonuçları Çizelge 4.142’de verilmiştir. Buna göre ilk ve ikinci dönem sonunda elde edilen organik madde (OM), biyokütle karbonu (MBC) ve betaglikosidaz enzim aktivitesi (BEGA) değerleri arasında istatistiksel olarak önemli düzeyde farklılık bulunmaktadır. Bununla birlikte ize olabilir azot (Nmin) konsantrasyonunda önemi bir değişkenlik tespit edilememiştir.

Çizelge 4.142. İki ayrı dönem sonunda toprağın biyolojik özelliklerine ait ortalamaların karşılaştırılması

	Kaynak	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortala	F	P
<b>Organik Madde</b>	Yıl	1	9.33	9.33	72.00	<0.0001**
<b>Nmin mg kg<sup>-1</sup></b>	Yıl	1	10507.96	10507.96	0.23	0.6316 <sup>OD</sup>
<b>Biyokütle mg kg<sup>-1</sup></b>	Yıl	1	105864042.31	105864042.31	3496.55	<0.0001**
<b>BETA p-NF/g Kuru Toprak</b>	Yıl	1	69520.46	69520.46	240.67	<0.0001**

\*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Toprağın biyolojik özelliklerinin ilk ve ikinci dönem ortalama değerleri Çizelge 4.143’de verilmiştir. Biyolojik özelliklerden OM, Nmin ve MBC ilk döneme göre yükselirken BEGA ilk döneme göre önemli oranda azalmıştır.

Çizelge 4.143. İki ayrı dönemde toprağın biyolojik özelliklerine ait ortalama değerler

Dönem	Organik Madde	Nmin	Biyokütle C	BEGA
	%	mg kg <sup>-1</sup>		p-NF/g Kuru Toprak
<b>1</b>	1.12	984.54	136.37	57.21
<b>2</b>	1.32	991.38	822.31	39.63

##### 4.4.1 Toprağın organik madde içeriğine etkileri

Biyoçar, biyokütlenin oksijenin çok az olduğu veya hiç olmadığı bir ortamda yavaş pirolizi ile üretilen yüksek karbon içeriğine sahip materyallerdir (Chan ve ark., 2008). Piroliz işlemi ile daha kararlı bir yapıya dönüşen organik bileşiklerin toprakta kalma sürelerinin yüksek olması tarım topraklarının kalitesinin iyileştirilmesinde bir toprak katkı maddesi olarak düşünülmelerine neden olmuştur (Lehmann ve ark., 2003). Toprak, biyoçar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre dozu faktörlerinin ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimleri olan

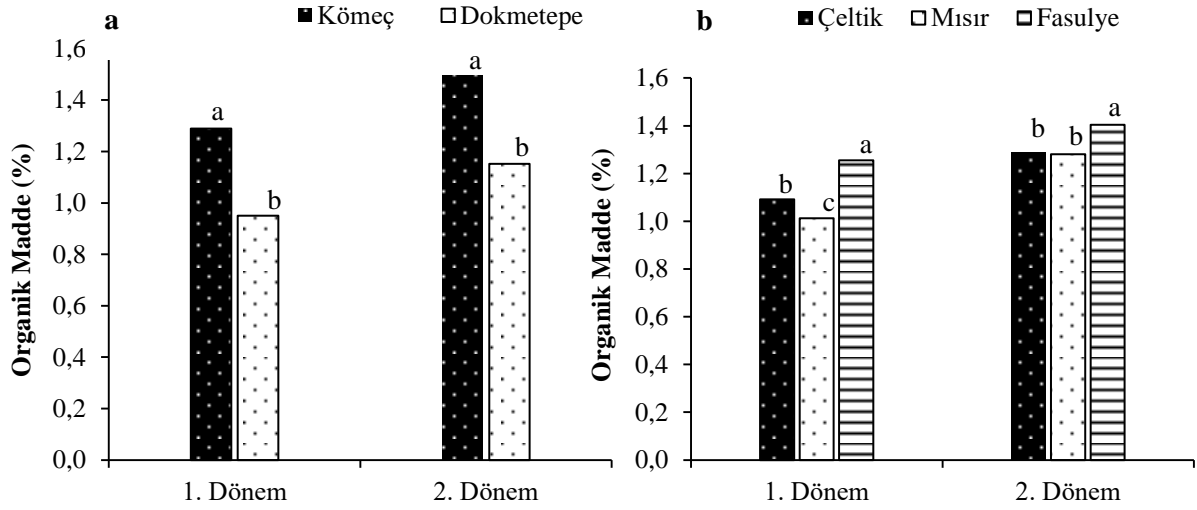
interaksiyonların toprağın organik madde içeriği üzerine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.144’de verilmiştir. Denemenin ilk dönemi sonunda toprakların OM içeriği üzerine T x BD ve T x BÇ x BD interaksiyonlarının önemli bir etkisi bulunmaz iken diğer tüm bireysel faktör ve interaksiyonların OM üzerine önemli etkisi olduğu bulunmuştur. Denemenin ikinci dönemi sonunda elde edilen sonuçlara göre ise toprağın organik madde içeriği üzerine BÇ x GD ve T x BÇ x BD x GD interaksiyonları haricindeki tüm interaksiyonlar ve bireysel faktörler önemli düzeyde etki etmişlerdir.

Çizelge 4.144. Uygulamaların toprakların organik madde içeriklerine etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	12.92	12.92	573.64	<0.0001**	13.16	13.16	281.36	<0.0001**
Biyoçar Çeşidi (BÇ)	2	4.59	2.30	101.93	<0.0001**	1.48	0.74	15.80	<0.0001**
Biyoçar Dozu (BD)	4	1.06	0.27	11.78	<0.0001**	3.11	0.78	16.61	<0.0001**
Gübre Dozu (GD)	4	0.73	0.18	8.14	<0.0001**	1.86	0.47	9.95	<0.0001**
T*BÇ	2	2.13	1.07	47.38	<0.0001**	9.41	4.70	100.59	<0.0001**
T*BD	4	0.12	0.03	1.31	0.2645 <sup>OD</sup>	0.91	0.23	4.86	0.0008**
T*GD	4	0.54	0.14	6.03	0.0001**	3.06	0.77	16.38	<0.0001**
BÇ*BD	8	2.19	0.27	12.16	<0.0001**	2.16	0.27	5.78	<0.0001**
BÇ*GD	8	4.79	0.60	26.58	<0.0001**	8.95	1.12	23.92	<0.0001**
BD*GD	16	1.23	0.08	3.42	<0.0001**	1.05	0.07	1.41	0.1354 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD	8	0.38	0.05	2.08	0.0374*	1.22	0.15	3.26	0.0014**
T*BÇ*GD	8	1.62	0.20	8.98	<0.0001**	3.36	0.42	9.00	<0.0001**
T*BD*GD	16	0.76	0.05	2.10	0.0084**	2.23	0.14	2.98	0.0001**
BÇ*BD*GD	32	2.25	0.07	3.12	<0.0001**	4.20	0.13	2.81	<0.0001**
T*BÇ*BD*GD	32	1.21	0.04	1.68	0.0149*	2.88	0.09	1.93	0.0026**

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir. OD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Toprak faktörü, toprağın organik madde (OM) içeriği üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.144). Kömeç ve Dökmetepe topraklarının uygulamalar neticesinde belirlenen ortalama OM içerikleri Şekil 4.70a’da gösterilmiştir. Her iki dönemde de Kömeç toprağının OM kapsamı (ilk dönem %1.29 ve ikinci dönem %1.50) Dökmetepe toprağından daha yüksektir. Kömeç toprağının deneme başlangıcında belirlenen ortalama OM içeriği %1.13 ve Dökmetepe toprağının ise %0.75 idi. Her iki toprağı da organik madde açısından fakir olarak nitelendirmek mümkündür. Biyoçar ilavesi ile Kömeç ve Dökmetepe topraklarının organik madde kapsamı başlangıca göre ilk dönem sırası ile %13 ve %32.7 ve ikinci dönem %26.7 ve %53.3 oranında artmıştır.

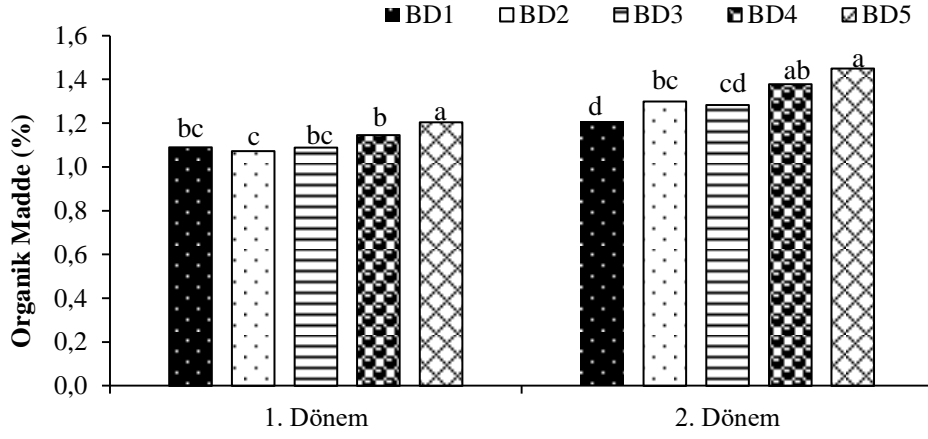


Şekil 4.70. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyoçar çeşidi altında toprağın organik madde içeriklerine etkileri

Biyoçar çeşidi faktörü toprağın OM içeriği üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.144). Biyoçar çeşitlerinin uygulandığı topraklarda ortalama OM içeriği değerleri Şekil 4.70b’de verilmiştir. Her iki dönemde de en yüksek ortalama OM içeriği fasulye biyoçarı (ilk dönem %1.26 ve ikinci dönem %1.41) uygulanan topraklarda elde edilmiştir.

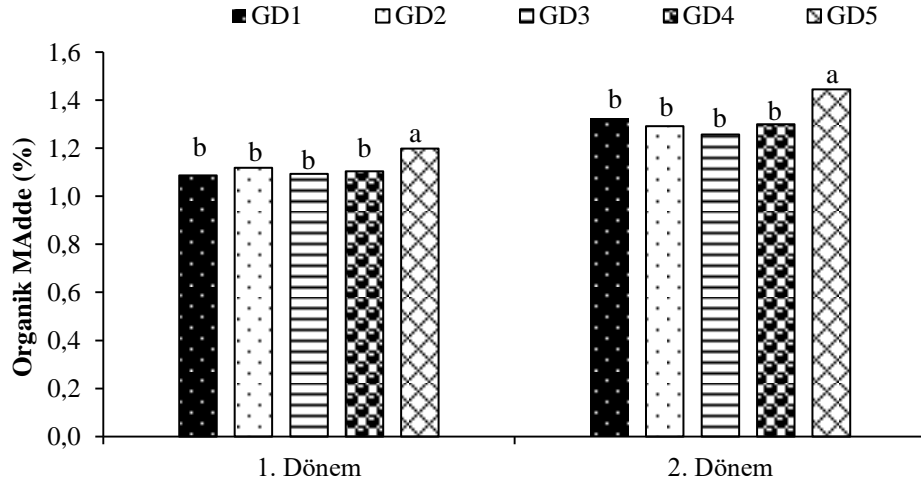
Biyoçar dozu faktörü toprak organik madde içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmış ve uygulamalar arasında farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.144). Biyoçar dozu uygulamalarında elde edilen ortalama organik madde içeriğine ait veriler Şekil 4.71’de gösterilmiştir. Her iki dönemde de artan biyoçar dozu topraktaki organik maddenin miktarında artışa neden olmuştur. Biyoçar ve sıvı hayvan gübresi ilk dönem uygulanmış olmasına rağmen ikinci dönem organik madde artışı devam etmiştir. Bu durum kökler ile toprağa katılan organik madde ile ilk dönem biyoçar ile katılan ve toprağa zamanla katılan organik kısım ile ilişkili olabilir. Zira organik madde miktarı ilk dönem BD1 uygulamasında %1.09’dan BD5 ile %1.20’ye yükselmiştir. İkinci dönemde ise BD1 uygulamasında ortalama %1.21 olan OM içeriği BD5 ile %1.45’e yükselmiştir. Chan ve ark. (2008)’da >50 ton/ha biyoçar uygulaması ile pH, organik karbon ve değişebilir katyon gibi toprak kalitesinin önemli bileşenlerinde değişmelere neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Cassava gövdesinden 350 °C’de ürettikleri biyoçarı uygulayan Prapagdee ve Tawiteung (2017)’da artan biyoçar dozu ile birlikte toprağın organik madde içeriğinin önemli düzeyde arttığını bildirmişlerdir.





Şekil 4.71. Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların organik madde içeriklerine etkileri  
BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

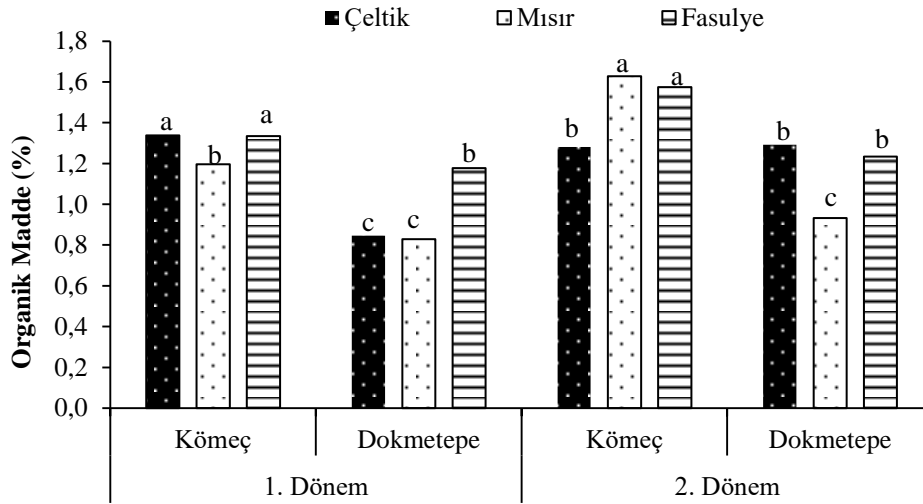
Gübre dozu faktörü toprağın OM içeriği üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.144). gübre dozu uygulamalarında belirlenen toprakların ortalama OM içeriklerine ait veriler Şekil 4.72’de gösterilmiştir. Her iki dönemde de GD artışı ile OM içeriği arasında belirgin bir ilişki gözlemlenmemiş olmakla birlikte en yüksek OM içerikleri (%1.20 ve %1.45) iki dönemde de GD5 uygulamalarında bulunmuştur. GD5 uygulamasını diğer GD uygulamalarından ayıran en önemli farklılık GD5 içerisinde sıvı hayvan gübresinin bulunmamasıdır.



Şekil 4.72. Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların organik madde içeriklerine etkileri  
GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak ve biyoçar çeşidi faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de toprağın OM içeriği üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.144). Toprak x BÇ interaksiyonunda elde edilen ortalama OM içerikleri Şekil 4.73’de verilmiştir. Her iki dönemde de en düşük OM içeriği Dökmetepe x mısır (ilk dönem %0.83 ve %0.93)

interaksiyonunda bulunmuştur. En yüksek OM içeriği ise ilk dönem Kömeç x çeltik (%1.34) ve ikinci dönem Kömeç x mısır (%1.63) interaksiyonlarında elde edilmiştir.



Şekil 4.73. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın organik madde içeriklerine etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksiyonlarının OM içeriği üzerine etkileri ilk dönem önemsiz ( $P=0.2645$ ) iken ikinci dönem  $P<0.01$  düzeyinde önemli hale gelmiştir (Çizelge 4.144). Her iki dönemde de en yüksek OM içeriği Kömeç x BD5 (%1.38 ve %1.67) ve en düşük OM içeriği ise ilk dönem Dökmetepe x BD2 (%0.90) ve ikinci dönem Dökmetepe x BD1 (%0.99) interaksiyonlarında elde edilmiştir. İki toprakta da her iki dönemde OM içeriği BD artışı ile düzenli olarak artmış ve en yüksek OM içerikleri BD5 uygulamasında elde edilmiştir. Toprak tipi ve GD faktörlerinin interaksiyonu her iki dönemde de toprağın OM içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır. Bu interaksiyonda belirlenen toprak OM içeriklerine ait veriler Çizelge 4.145’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek OM içeriği Kömeç x BD4 (%1.33) ve BD5 (%1.33), ikinci dönem ise Kömeç x BD2 (%1.54) ve BD3 (%1.53) interaksiyonlarında oluşmuştur. En düşük OM içeriği ise ilk dönem Dökmetepe x GD4 (%0.88) ve ikinci dönem Dökmetepe x GD3 (%0.98) interaksiyonunda elde edilmiştir (Çizelge 4.145).

Çizelge 4.145. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının organik madde içeriğine (%) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	1.27 b	<b>0.91 d</b>	1.43 b	<b>0.99 d</b>
<b>BD2</b>	1.24 b	<b>0.90 d</b>	1.43 b	1.17 c
<b>BD3</b>	1.27 b	<b>0.91 d</b>	1.39 b	1.17 c
<b>BD4</b>	1.28 b	1.01 c	1.56 a	1.20 c
<b>BD5</b>	<b>1.38 a</b>	1.03 c	<b>1.67 a</b>	1.23 c
<b>GD1</b>	1.22 b	<b>0.96 d</b>	1.50 ab	1.15 cd
<b>GD2</b>	1.30 ab	<b>0.94 d</b>	<b>1.54 a</b>	1.05 de
<b>GD3</b>	1.28 ab	<b>0.91 d</b>	<b>1.53 a</b>	<b>0.98 e</b>

<b>GD4</b>	<b>1.33 a</b>	<b>0.88 d</b>	1.41 b	1.19 cd
<b>GD5</b>	<b>1.33 a</b>	1.07 c	1.50 ab	1.39 b

Biyotaar eesidi ve BD interaksyonu toprağın OM ierigi uzerine iki donemde de  $P < 0.01$  duzeyinde etkili olmuştur (Çizelge 4.144). Bu interaksyonlarda elde edilen ortalama OM ierikleri Çizelge 4.146'da verilmiştir. İki donem de en yüksek OM ierigi fasulye x BD5 interaksyonu (%1.52 ve %1.64) ile elde edilmiştir. Buna karşılık ilk donem en düşük OM mısır x BD2 (%0.9), BD3 (%0.9) ve BD5 (%1.0) interaksyonlarında ikinci donem ise eeltik x BD1 (%1.0) interaksyonunda elde edilmiştir. Fasulye biyotarda her iki donemde de biyotarda dozu artışı ile OM ierigi duzenli olarak artmıştır. Çeltik biyotarda uygulamasında ilk donem dozlar arasında önemli bir farklılık bulunamamış olmasına rağmen, ikinci donem BD artışı ile OM'nin duzenli olarak arttığı görülmüştür. Buna karşılık mısır biyotarda uygulamasında her iki donemde de böyle bir eğilim gözlemlenmemiştir. Denemede kullanılan fasulye biyotardının karbon (C) ierigi %79.1 ve azot (N) ierigi %0.19 olarak belirlenmiş ve C/N oranı 416 olarak hesaplanmıştır. Çeltik ve mısır biyotardlarının C ve N ierikleri sırası ile %56, %85 ve %0.77, %0.45 olarak belirlenmiş olup C/N oranları 124 ve 110 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.1). Kullanılan 3 biyotarda materyali ierisinde en kararlı olan biyotarda fasulye biyotarda olduğu görülmektedir. En kararlı olan fasulye biyotardının dozu artışı ile toprakta OM ierigi artarken en kararsız olan mısır biyotarda dozu artışı ile OM ierigi arasında bir ilişki görülmemektedir.

Biyotaar eesidi ve GD faktörlerinin interaksyonları toprağın organik madde ierigi uzerine her iki donemde de  $P < 0.01$  duzeyinde etki yapmıştır (Çizelge 4.144). Çeşit x GD interaksyonuna ait OM ierikleri Çizelge 151'de verilmiştir. Buna göre ilk donem en yüksek ortalama OM ierigi fasulye x GD5 ve ikinci donem fasulye x GD1 interaksyonlarında elde edilmiştir. Fasulyede olduğu gibi diğer biyotarda uygulamalarında da GD dozu artışı veya azalışı ile OM ieriginin değişimi arasında birbirleri ile eelişen sonuçlar elde edilmiştir. Fasulye biyotarda ilk donem GD artışı ile OM ierigi duzenli olarak artış göstermiş buna mukabil ikinci donem GD1 fasulye x GD1 uygulamasında %1.65 olan OM ieriginin fasulye x GD4 ve GD5 uygulamalarında sırası ile %1.14 ve %1.34'e indiği görülmektedir. Benzer şekilde eeltik biyotarda uygulamasında ilk donem GD1 ile %1.16 olan OM ierigi GD4'de %0.93 ve GD5 uygulamasında ise %1.12 olarak belirlenmiştir. İkinci donem eeltik uygulamasında ise GD1'de %1.17 olan OM ierigi GD artışı ile artmış ve GD4 ve GD5'te sırası ile %1.36 ve %1.47'ye çıkmıştır. gübre dozu uygulamalarında yer alan GD'lerin tamamında aynı oranda biyotarda bulunmaktadır. Buradaki temel farklılık GD4 ve GD5 uygulamalarında sıvı hayvan gübresi ile muamele edilme durumu ve GD1-GD4 arasındaki dozlarda ise toprağa uygulanan

besin elementi miktarıdır. Toprağa ilave edilen azot miktarının artışı topraktaki toplam C/N miktarının düşmesine neden olacaktır. Bu durum organik maddenin izasyonunu hızlandırabilir, ancak böyle bir durumda GD artışı ile OM içeriği arasında negatif bir ilişki beklenirdi. Nitekim ikinci dönem fasulye x GD ve ilk dönem çeltik ve mısır x GD interaksiyonlarında bu durum görülmektedir. Bununla beraber GD artışı ile OM içeriğinin artması bu durum ile çelişmektedir.

Çizelge 4.146. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının organik madde içeriğine (%) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	1.12 cde	1.04 ef	1.11 cde	<b>1.17 d</b>	1.23 cd	1.22 cd
<b>BD2</b>	1.06 ef	<b>0.99 f</b>	1.17 cd	1.28 bcd	1.35 bc	1.27 bcd
<b>BD3</b>	1.09 def	<b>0.99 f</b>	1.19 bc	1.26 cd	1.26 cd	1.33 bc
<b>BD4</b>	1.11 cde	1.04 ef	1.28 b	1.31 bcd	1.27 bcd	<b>1.56 a</b>
<b>BD5</b>	1.09 def	<b>1.00 f</b>	<b>1.52 a</b>	1.41 b	1.30 bcd	<b>1.64 a</b>
<b>GD1</b>	1.16 de	<b>1.00 g</b>	1.11 ef	1.17 gh	1.16 gh	<b>1.65 a</b>
<b>GD2</b>	1.27 bc	<b>0.95 g</b>	1.14 e	1.21 fgh	<b>1.09 h</b>	1.58 ab
<b>GD3</b>	<b>0.99 g</b>	<b>0.95 g</b>	1.34 b	1.22 fgh	1.23 fg	1.32 ef
<b>GD4</b>	<b>0.93 g</b>	1.15 de	1.24 cd	1.36 def	1.40 cde	1.14 gh
<b>GD5</b>	1.12 ef	1.02 fg	<b>1.46 a</b>	1.47 bcd	1.52 abc	1.34 def

Biyoçar dozu ve GD interaksiyonları her iki dönemde de toprağın OM içeriği üzerine ilk dönem önemli düzeyde etki etmiş, ancak bu etki ikinci dönem sonunda önemsiz ( $P=0.1354$ ) hale gelmiştir (Çizelge 4.144). İki dönem de en yüksek OM BD5 x GD5 (%1.38 ve %1.69) interaksiyonlarında bulunmuştur. Buna karşın en düşük OM içeriği ise ilk dönem BD1 x GD2 (%1.01) ve ikinci dönem ise BD1 x GD3 (%1.12) interaksiyonlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.147).

Çizelge 4.147. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun organik madde içeriğine (%) etkileri

	1. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	1.07 cd	1.10 cd	1.12 cd	1.06 cd	1.08 cd
<b>GD2</b>	<b>1.01 d</b>	1.07 cd	1.09 cd	1.12 cd	<b>1.30 a</b>
<b>GD3</b>	1.06 cd	1.08 cd	1.04 cd	1.16 bc	1.12 cd
<b>GD4</b>	1.15 bc	1.05 cd	1.06 cd	1.13 cd	1.14 bcd
<b>GD5</b>	1.16 bc	1.06 cd	1.13 bcd	1.26 ab	<b>1.38 a</b>
	2. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	1.18 fg	1.34 b-f	1.32 c-f	1.41 bc	1.38 b-e
<b>GD2</b>	1.24 c-g	1.27 c-g	1.27 c-g	1.30 c-g	1.38 b-e
<b>GD3</b>	<b>1.12 g</b>	1.22 d-g	1.22 d-g	1.32 c-f	1.40 bcd
<b>GD4</b>	1.27 c-g	1.28 c-g	1.21 efg	1.34 c-f	1.41 bcd
<b>GD5</b>	1.22 d-g	1.39 b-e	1.40 bcd	1.53 ab	<b>1.69 a</b>

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörlerinin interaksiyonları toprağın OM içeriği üzerine her iki dönemde de  $P<0.01$  düzeyinde etkili olmuştur (Çizelge 4.144). İki dönemde de en yüksek OM içeriği Kömeç x fasulye x BD5 (%1.69 ve %1.89) uygulamasında elde edilmiştir. En

düşük OM içeriği ise ilk dönem Dökmetepe x mısır x BD2 (%0.79) ve ikinci dönem Dökmetepe x mısır x BD1 (%0.85) uygulamalarında bulunmuştur (Çizelge 4.148). Biyoçar çeşitleri uygulamaları ile OM içeriğindeki değişim, tekstürleri farklı olan iki ayrı toprakta benzer olmuştur. Fasulye biyoçarı her iki toprakta da BD artışı ile OM artışına neden olurken çeltik ve mısır biyoçarı uygulamalarında OM içeriğindeki değişim belirli bir düzende olmamıştır.

Çizelge 4.148. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksyonunun organik madde içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	1.31 bcd	1.28 cde	1.24 c-f	0.93 ij	<b>0.81 j</b>	0.99 hi
<b>BD2</b>	1.31 bcd	1.19 d-g	1.24 c-f	<b>0.82 j</b>	<b>0.79 j</b>	1.10 fgh
<b>BD3</b>	1.37 bc	1.15 efg	1.30 cd	<b>0.80 j</b>	<b>0.83 j</b>	1.09 gh
<b>BD4</b>	1.36 bc	1.19 d-g	1.30 cd	0.86 ij	0.89 ij	1.27 cde
<b>BD5</b>	1.35 bc	1.18 d-g	<b>1.60 a</b>	<b>0.83 j</b>	<b>0.82 j</b>	1.44 b
2. Dönem						
<b>BD1</b>	1.19 k-o	1.62 bcd	1.47 c-g	1.15 l-p	<b>0.85 q</b>	0.96 pq
<b>BD2</b>	1.29 g-n	1.60 b-e	1.39 e-k	1.27 h-n	1.10 nop	1.15 m-p
<b>BD3</b>	1.23 j-n	1.50 c-f	1.45 d-i	1.29 g-n	1.01 opq	1.21 j-o
<b>BD4</b>	1.36 f-l	1.65 bc	1.68 bc	1.26 i-n	<b>0.89 q</b>	1.45 d-i
<b>BD5</b>	1.33 f-m	1.78 ab	<b>1.89 a</b>	1.49 c-g	<b>0.82 q</b>	1.40 e-j

Toprak tipi, BÇ ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de toprağın OM içeriği üzerine  $P < 0.01$  düzeyinde etkili olmuş ve uygulamalar arasında önemli farklılıkların oluşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.144). En yüksek OM ilk dönem Kömeç x fasulye x GD5 (%1.49) ve ikinci dönem Kömeç x fasulye x GD1 (%1.89) interaksyonlarında görülmüştür. En düşük OM içerikleri ise ilk dönem Dökmetepe x çeltik x GD4 (%0.59) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x mısır x GD3 (%0.63) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.149). Kömeç ve Dökmetepe topraklarının başlangıç OM içeriklerinin farklı olması uygulamalar sonunda Kömeç toprağının daha yüksek OM içeriğine sahip olmasına yol açmaktadır.

Çizelge 4.149. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun organik madde içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	1.23 e-g	1.23 e-g	1.19 g-j	1.08 i-l	0.77 no	1.02 kl
<b>GD2</b>	1.49 ab	1.21 f-i	1.19 g-j	1.05 jkl	0.69 op	1.08 i-l
<b>GD3</b>	1.30 c-g	1.10 h-k	1.43 abc	0.67 op	0.80 no	1.25 efg
<b>GD4</b>	1.27 d-g	1.35 b-f	1.37 a-e	<b>0.59 p</b>	0.95 lm	1.11 h-k
<b>GD5</b>	1.41 a-d	1.10 h-k	<b>1.49 a</b>	0.83 mn	0.95 lm	1.42 abc
2. Dönem						
<b>GD1</b>	1.27 g-j	1.34 fgh	<b>1.89 a</b>	1.07 jk	0.98 k	1.41 efg
<b>GD2</b>	1.36 fg	1.48 def	1.77 abc	1.07 jk	<b>0.69 l</b>	1.39 efg
<b>GD3</b>	1.14 h-k	1.84 a	1.62 bcd	1.29 f-i	<b>0.63 l</b>	1.02 k
<b>GD4</b>	1.28 g-j	1.69 abc	1.26 g-j	1.44 d-g	1.11 ijk	1.03 k

<b>GD5</b>	1.36 fg	1.80 ab	1.34 fgh	1.58 cde	1.25 fgh	1.33 fgh
------------	---------	---------	----------	----------	----------	----------

Toprak tipi, biyoçar dozu ve gübre dozu faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de toprağın OM içerikleri üzerine önemli düzeyde etki yapmış ve ortalama OM içerikleri Çizelge 4.150’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek OM içeriği Kömeç x BD5 x GD2 (%1.54) ve GD5 (%1.53) interaksyonlarında ikinci dönem ise Kömeç x BD5 x GD2 (%1.82) interaksyonlarında elde edilmiştir. En düşük OM içerikleri ise ilk dönem Dökmetepe x BD2 x GD4 (%0.75) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x BD1 x GD3 (%0.75) interaksyonlarında görülmüştür.

Çizelge 4.150. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun organik madde içeriğine (%) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	1.18d-j	1.25b-f	1.33bcd	1.14e-l	1.18d-j	0.95m-q	0.91-q	0.91n-r	0.98k-p	0.99k-p
<b>GD2</b>	1.16d-k	1.19d-i	1.34bcd	1.26b-f	<b>1.54a</b>	0.87o-r	0.95m-q	0.85o-r	0.97l-q	1.06h-n
<b>GD3</b>	1.34bcd	1.24b-g	1.21c-i	1.29b-f	1.31b-e	0.79qr	0.92n-r	0.86o-r	1.03i-o	0.94m-r
<b>GD4</b>	1.38abc	1.34bcd	1.27b-f	1.32b-e	1.33bcd	0.92n-r	<b>0.75r</b>	0.85pqr	0.94m-q	0.95m-q
<b>GD5</b>	1.32b-e	1.19c-i	1.21c-i	1.41ab	<b>1.53a</b>	1.00j-p	0.93m-r	1.06g-n	1.11f-m	1.23c-h
2. Dönem										
<b>GD1</b>	1.38e-l	1.38e-l	1.47c-h	1.68a-d	1.58a-f	0.98opq	1.30g-m	1.17i-o	1.15j-o	1.18i-o
<b>GD2</b>	1.49b-h	1.39e-k	1.42d-i	1.55b-g	<b>1.82a</b>	1.00n-q	1.15j-o	1.12m-p	1.04m-p	0.94opq
<b>GD3</b>	1.50b-h	1.56a-g	1.41e-j	1.47c-h	1.74ab	<b>0.75q</b>	0.88pq	1.03i-o	1.18i-o	1.06m-p
<b>GD4</b>	1.51b-h	1.42d-i	1.25h-n	1.43c-i	1.45c-h	1.04m-p	1.14k-p	1.17h-n	1.25h-n	1.36f-l
<b>GD5</b>	1.26h-n	1.38e-l	1.43c-i	1.69abc	1.74ab	1.18i-o	1.39e-k	1.38e-l	1.37e-l	1.63a-e

Biyoçar çeşidi, BD ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de toprak OM içeriği üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.144). Biyoçar çeşidi x BD x GD interaksyonunda elde edilen ortalama OM içeriği verileri Çizelge 4.151’de verilmiştir. İki dönemde de en yüksek OM içeriği fasulye x BD5 x GD5 (%2.02 ve %1.96) interaksyonunda elde edilmiştir. Ancak en düşük OM içerikleri ise ilk dönem çeltik x BD3 x GD4 (%0.83) ve ikinci dönem fasulye x BD1 x GD1 (%0.86) interaksyonlarında tespit edilmiştir.

Çizelge 4.151. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun organik madde içeriğine (%) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	1.16	1.19	1.12	1.15	1.16
	GD2	1.31	1.25	1.31	1.21	1.27
	GD3	1.02	0.98	1.01	0.98	0.96
	GD4	0.92	<b>0.83 aa</b>	<b>0.88</b>	0.99	1.01
	GD5	1.17	1.06	1.10	1.21	1.06
Mısır	GD1	1.01	1.00	1.00	1.01	0.96
	GD2	<b>0.85</b>	0.94	0.89	1.02	1.04
	GD3	0.96	0.99	0.92	1.02	0.88
	GD4	1.21	1.08	1.20	1.17	1.08
	GD5	1.17	0.94	0.94	1.00	1.05
Fasulye	GD1	1.03	1.12	1.24	1.01	1.13
	GD2	<b>0.88</b>	1.02	1.08	1.11	<b>1.59 b</b>
	GD3	1.21	1.28	1.19	1.49	1.54
	GD4	1.31	1.23	1.10	1.23	1.33
	GD5	1.14	1.18	1.36	<b>1.58 bc</b>	<b>2.02 a</b>
2. Dönem						
Çeltik	GD1	<b>0.89 vw</b>	1.17	1.29	1.22	1.29
	GD2	1.11	1.29	1.20	1.18	1.29
	GD3	1.12	1.25	1.15	1.23	1.35
	GD4	1.29	1.36	1.24	1.39	1.52
	GD5	1.46	1.35	1.45	1.51	1.59
Mısır	GD1	1.19	1.23	1.16	1.11	1.11
	GD2	1.07	1.12	<b>0.95 uvw</b>	1.10	1.19
	GD3	1.25	1.25	1.18	1.22	1.26
	GD4	1.29	1.41	1.36	1.56	1.40
	GD5	1.35	<b>1.73 abc</b>	1.64	1.38	1.52
Fasulye	GD1	1.45	1.63	1.51	<b>1.92 ab</b>	1.72
	GD2	1.55	1.41	1.66	1.61	1.67
	GD3	<b>0.99 t-w</b>	1.17	1.33	1.52	1.58
	GD4	1.25	1.07	1.03	1.06	1.30
	GD5	<b>0.86 w</b>	1.08	1.12	1.69	<b>1.94 a</b>

Toprak tipi, biyoçar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre dozu faktörlerinin interaksyonları toprağın OM içeriği üzerine ilk dönem  $P < 0.05$  ve ikinci dönem  $P < 0.01$  düzeyinde etkili olmuştur (Çizelge 4.144). İlk dönem en yüksek OM içeriği, Dökmetepe x fasulye x BD5 x GD5 (%2.06) ve ikinci dönem Kömeç x fasulye x BD4 x GD1 (%2.22) interaksyonlarında elde edilmiştir. En düşük OM içerikleri ise ilk dönem Dökmetepe x çeltik x BD2 x GD4 (%0.49) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x mısır x BD5 x GD2 (%0.37) interaksyonlarında görülmüştür (Çizelge 4.152).

Çizelge 4.152. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun organik madde içeriğine (%) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	1.12	1.33	1.35	1.24	1.12	1.33	1.24	1.18	1.21	1.19	1.10	1.19	1.47	0.98	1.22
	GD2	1.43	1.42	1.65	1.43	1.52	1.15	1.20	1.18	1.25	1.28	0.89	0.95	1.18	1.10	<b>1.82 abc</b>
	GD3	1.34	1.29	1.34	1.29	1.25	1.18	1.11	1.08	1.16	0.99	1.49	1.32	1.22	1.42	1.70
	GD4	1.28	1.17	1.25	1.25	1.39	1.41	1.36	1.33	1.32	1.31	1.44	1.49	1.23	1.39	1.29
	GD5	1.35	1.33	1.28	1.60	1.47	1.31	1.03	0.97	1.04	1.13	1.28	1.23	1.37	1.61	<b>1.98 ab</b>
Dökmetepe	GD1	1.20	1.05	0.90	1.07	1.19	0.69	0.76	0.83	0.82	0.73	0.96	1.06	1.01	1.05	1.04
	GD2	1.19	1.08	0.97	0.99	1.03	0.56	0.69	0.60	0.80	0.79	0.87	1.09	0.98	1.12	1.35
	GD3	0.70	0.67	0.68	0.66	0.66	0.74	0.86	0.76	0.88	0.77	0.93	1.24	1.15	1.56	1.38
	GD4	0.56	<b>0.49</b>	<b>0.52</b>	0.74	0.64	1.01	0.80	1.06	1.02	0.84	1.18	0.97	0.96	1.06	1.38
	GD5	0.98	0.79	0.92	0.83	0.65	1.03	0.86	0.91	0.96	0.97	0.99	1.14	1.35	1.54	<b>2.06 a</b>
2. Dönem																
Kömeç	GD1	1.12	1.25	1.30	1.41	1.26	1.37	1.12	1.31	1.41	1.48	1.65	1.78	1.79	<b>2.22 a</b>	1.98
	GD2	1.16	1.43	1.35	1.46	1.39	1.37	1.37	1.22	1.46	2.00	1.94	1.39	1.69	1.73	<b>2.08 abc</b>
	GD3	1.15	1.22	0.92	1.11	1.31	2.00	1.93	1.74	1.73	1.78	1.33	1.54	1.57	1.57	<b>2.11 ab</b>
	GD4	1.18	1.30	1.17	1.25	1.48	1.78	1.70	1.45	1.89	1.64	1.57	1.25	1.12	1.14	1.22
	GD5	1.34	1.28	1.41	1.55	1.22	1.56	1.86	1.79	1.79	1.98	0.88	1.00	1.08	1.72	<b>2.03 a-d</b>
Dökmetepe	GD1	0.66	1.09	1.27	1.03	1.32	1.02	1.34	1.01	0.80	0.74	1.25	1.47	1.23	1.62	1.46
	GD2	1.06	1.15	1.05	0.90	1.20	0.77	0.86	0.68	0.74	<b>0.37</b>	1.16	1.42	1.63	1.48	1.26
	GD3	1.08	1.27	1.37	1.35	1.39	<b>0.50</b>	<b>0.56</b>	<b>0.63</b>	0.70	0.73	<b>0.65</b>	0.81	1.10	1.47	1.06
	GD4	1.39	1.42	1.30	1.52	1.55	0.81	1.11	1.27	1.23	1.16	0.93	0.89	0.94	0.99	1.38
	GD5	1.57	1.43	1.48	1.47	1.97	1.14	1.60	1.49	0.96	1.07	0.84	1.15	1.17	1.66	1.85



#### 4.4.2. Toprağın azot konsantrasyonuna etkileri

Azot, bitkilerin gelişimi için en çok gereksinim duydukları besin elementlerinin başında gelmektedir (Reverchon ve ark., 2014). Bitkiler kök sistemleri ile inorganik azotu direk olarak alabildiklerinden dolayı özellikle toprağın inorganik azot konsantrasyonu bitkiler için önemli bir azot kaynağıdır (Lynch, 1995). Joseph ve ark. (2013) biyoçarın topraktaki azot kayıplarını azaltabilecek ve toprağın verimliliğini arttıracak önemli bir katkı maddesi olduğunu belirtmişlerdir. Toprağa biyoçar uygulamasının azotun yararlılığı konusunda yayınlanmış çalışma sonuçları birbirleri ile çelişmektedir (Clough ve ark., 2013; Bai ve ark., 2015; Xu ve ark., 2015). Biyoçar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre dozu uygulamalarının ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin iki farklı topraktaki Nmin konsantrasyonu üzerine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.153’de gösterilmektedir.

Her iki yetiştirme döneminde belirlenen Nmin konsantrasyonları üzerine bireysel faktörlerden BD haricindeki tüm faktörler önemli düzeyde etki etmişlerdir. Biyoçar uygulamalarının toprağın inorganik azot konsantrasyonuna etkisini inceleyen Nguyen ve ark. (2017), 2010-2015 yılları arasında yayınlanan ve 1080 denemenin yer aldığı 56 çalışma sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarda genel olarak deneme koşulları ne olursa olsun bir yıllık deneme süresi sonunda (%95’i tek yıllık) biyoçar uygulamasının inorganik azot konsantrasyonunda azalmaya ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$  konsantrasyonu  $\%11 \pm 2$  ve  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  konsantrasyonu  $\%10 \pm 1.6$ ) neden olduğunu bildirmişlerdir.

İlk dönem, toprak tipi x BD, BÇ x BD, toprak tipi x BÇ x BD, toprak tipi x BD x GD ve BÇ x BD x GD interaksiyonları Nmin konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır. İkinci dönem sonunda elde edilen Nmin konsantrasyonları üzerine ise Toprak tipi x BÇ, toprak tipi x BD, BÇ x GD, toprak tipi x BÇ x GD ve toprak tipi x BÇ x BD x GD interaksiyonları Nmin konsantrasyonuna istatistiksel olarak önemli düzeyde etki yapmıştır.

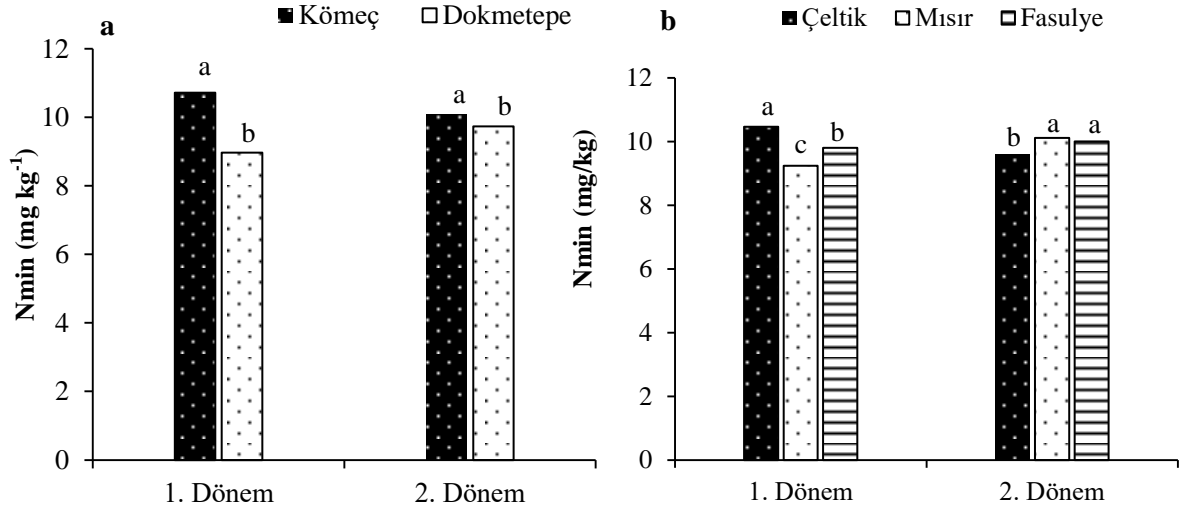
Toprak faktörü her iki dönemde de Nmin konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiş ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.153). Kömeç ve Dökmetepe topraklarının ortalama Nmin konsantrasyonları Şekil 4.74a’da gösterilmiştir. Buna göre her iki dönemde de tınlı tekstüre sahip Kömeç toprağında ( $10.72$  ve  $10.08 \text{ mg kg}^{-1}$ ) Nmin konsantrasyonunun kumlu tın tekstüründeki Dökmetepe’ye ( $8.97$  ve  $9.74 \text{ mg kg}^{-1}$ ) kıyasla önemli düzeyde yüksek olmuştur.

Çizelge 4.153. Uygulamaların toprakların azot konsantrasyonlarına etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	345.348	345.349	102.430	<0.0001**	12.899	12.899	7.286	0.0073**
Biyοçar Çeşidi (BÇ)	2	112.733	56.367	16.718	<0.0001**	23.325	11.662	6.587	0.0016**
Biyοçar Dozu (BD)	4	11.050	2.763	0.819	0.5136 <sup>OD</sup>	8.246	2.062	1.164	0.3266 <sup>OD</sup>
Gübre Dozu (GD)	4	63.767	15.942	4.728	0.0010**	738.342	184.586	104.256	<0.0001**
T*BÇ	2	1.650	0.825	0.245	0.7831 <sup>OD</sup>	166.882	83.441	47.128	<0.0001**
T*BD	4	55.429	13.857	4.110	0.0029**	2.368	0.592	0.334	0.8547 <sup>OD</sup>
T*GD	4	8.043	2.011	0.596	0.6655 <sup>OD</sup>	28.721	7.180	4.056	0.0032**
BÇ*BD	8	10.911	1.364	0.405	0.9176 <sup>OD</sup>	19.319	2.415	1.364	0.2119 <sup>OD</sup>
BÇ*GD	8	112.527	14.066	4.172	<0.0001**	60.224	7.528	4.252	<0.0001**
BD*GD	16	64.487	4.031	1.195	0.2702 <sup>OD</sup>	45.921	2.870	1.621	0.0623 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD	8	64.607	8.076	2.395	0.0162*	15.748	1.968	1.112	0.3549 <sup>OD</sup>
T*BÇ*GD	8	81.081	10.135	3.006	0.0029**	77.150	9.644	5.447	<0.0001**
T*BD*GD	16	95.922	5.995	1.778	0.0333*	15.303	0.956	0.540	0.9246 <sup>OD</sup>
BÇ*BD*GD	32	206.437	6.451	1.913	0.0029**	62.963	1.968	1.111	0.3167 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD*GD	32	140.389	4.387	1.301	0.1345 <sup>OD</sup>	95.304	2.978	1.682	0.0144*

\*. \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Kaba tekstürlü olan Dökmetepe toprağında ortalama inorganik azot konsantrasyonunun her iki dönemde Kömeç toprağına kıyasla önemli düzeyde düşük olması, 2010-2015 yılları arasında yayınlanmış 56 farklı çalışmayı inceleyen Nguyen ve ark. (2017)'nin yorumları ile de uyumludur. Araştırmacılar, biyoçar uygulamasının özellikle de kaba tekstürlü topraklarda NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N konsantrasyonunu ince tekstürlü topraklara kıyasla daha fazla düşürdüğü bildirilmiştir. Aynı raporda, inorganik azotun bileşeni olan NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N'un konsantrasyonunun artan toprak pH'sı ile azaldığına dikkat çekilmiştir. Biyoçar, uygulamaları öncesi Kömeç toprağının 8.20 olan pH'sı ilk dönem sonunda 8.31'e ve ikinci dönem sonunda 8.65'e yükselmiştir. Benzer şekilde Dökmetepe toprağının başlangıç pH'sı da 8.15'den önce 8.33'e ve ikinci dönem sonunda ise 8.67'ye yükselmiştir. Bu yükselişler toplam azot konsantrasyonundaki azalma ile uyumlu görülmektedir.

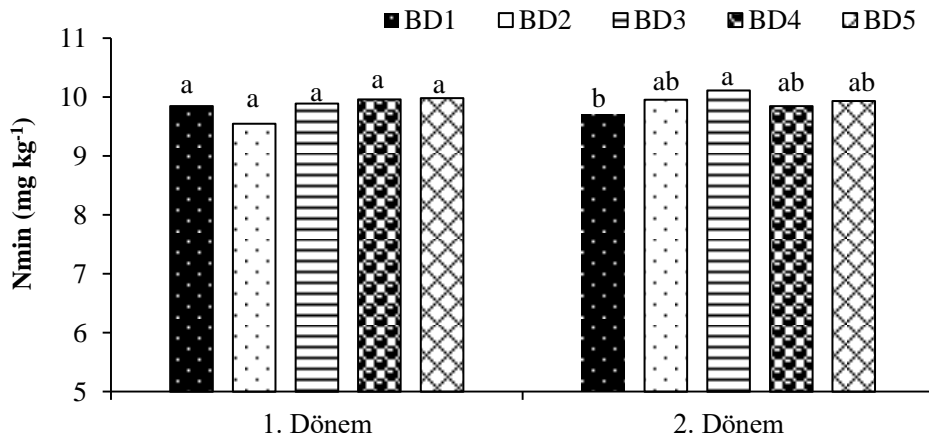


Şekil 4.74. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç biyoçar çeşidi altında toprağın azot konsantrasyonlarına etkileri

Biyoçar çeşidi faktörü toprakların Nmin konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.153). Üç farklı biyoçarın uygulandığı toprakların ortalama Nmin konsantrasyonlarına ait ortalama değerleri Şekil 4.74b’de gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama Nmin çeltik biyoçarı ( $10.47 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulanan topraklarda elde edilmiştir. İkinci dönem sonunda Nmin konsantrasyonu mısır ve fasulye biyoçarı uygulanan topraklarda ilk döneme kıyasla %9.49 ve %1.98 artış gösterirken, çeltik biyoçarı uygulanan topraklarda %8.38 oranında azalmıştır.

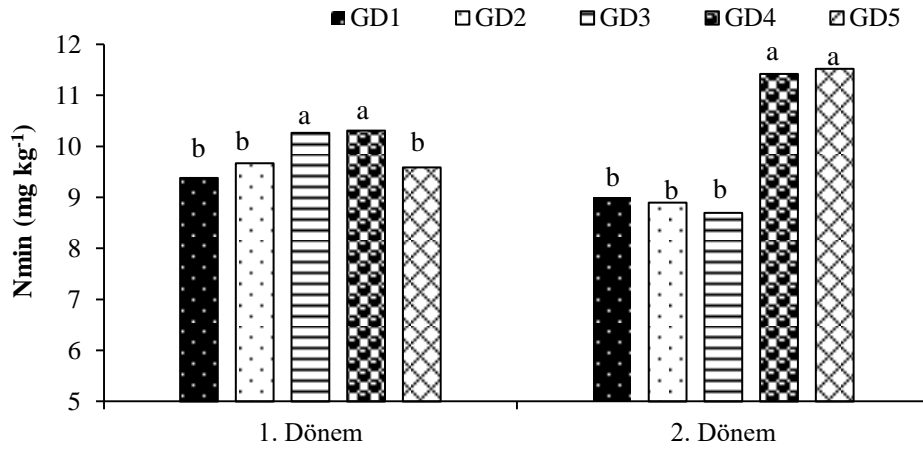
Biyoçar dozu faktörü toprakların Nmin konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de önemli etki yapmamıştır ( $P=0.5136$  ve  $P=0.3266$ ) (Çizelge 4.153). Beş farklı biyoçar dozu altında iki ayrı dönemde belirlenen ortalama Nmin değerleri Şekil 4.75’de gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek Nmin BD5 ( $9.98 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem BD3 ( $10.12 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük Nmin ise ilk dönem BD2 ( $9.55 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem BD1 ( $9.70 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında olduğu görülmüştür. İlk dönem BD2 uygulamasında kontrole kıyasla daha düşük Nmin belirlenmiş, diğer biyoçar dozlarında ise kontrol uygulamasından daha yüksek Nmin elde edilmiştir. İkinci dönem ise tüm biyoçar dozları BD1 uygulamasından daha yüksek Nmin oluşumuna neden olmuştur. Ancak Nmin konsantrasyonundaki artış biyoçar dozu ile orantılı değildir. İlk dönem kontrol uygulaması da dahil olmak üzere tüm uygulamalar istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. İkinci dönemde ise sadece BD3 uygulaması kontrole kıyasla önemli bir artış göstermiş, diğer uygulamalarla oluşan artış önemsiz bulunmuştur. Toprağa uygulanan biyoçarın amonyum ( $\text{NH}_4^+-\text{N}$ ) ve nitrat ( $\text{NO}_3^--\text{N}$ )’tan oluşan inorganik azot kapsamı üzerine etkileri konusunda birbirleri ile çelişen raporlar yayınlanmıştır. Biyoçar uygulamaları sonrasında toprağın inorganik azot miktarının biyoçarın uygulandığı toprağın özelliklerine, biyoçarın piroliz

sıcaklığına, uygulama oranına, gübre tipine ve toprak pH'sına bağlı olarak değişeceğini belirtilmiştir (Nguyen ve ark., 2017). Bu tez çalışmasında Nmin konsantrasyonunda belirgin bir artış kayıt edilmemiş olmasına rağmen biyoçarın amonifikasyon ve nitrifikasyon olaylarını teşvik etmesinin toprakların  $\text{NH}_4^+$  ve  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonlarını arttıracakı belirtilmiştir (DeLuca ve ark., 2009; Van Zwieten ve ark., 2015). Prapagdee ve Tawinteung (2017)'da cassava bitkisinin gövdesinden hazırladıkları biyoçarın doz artışı ile topraktaki N miktarının arttığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar en yüksek N konsantrasyonunun, en yüksek uygulama dozu olan %10 biyoçar ile alındığını görmüşlerdir.



Şekil 4.75. Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının azot konsantrasyonlarına etkileri  
BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

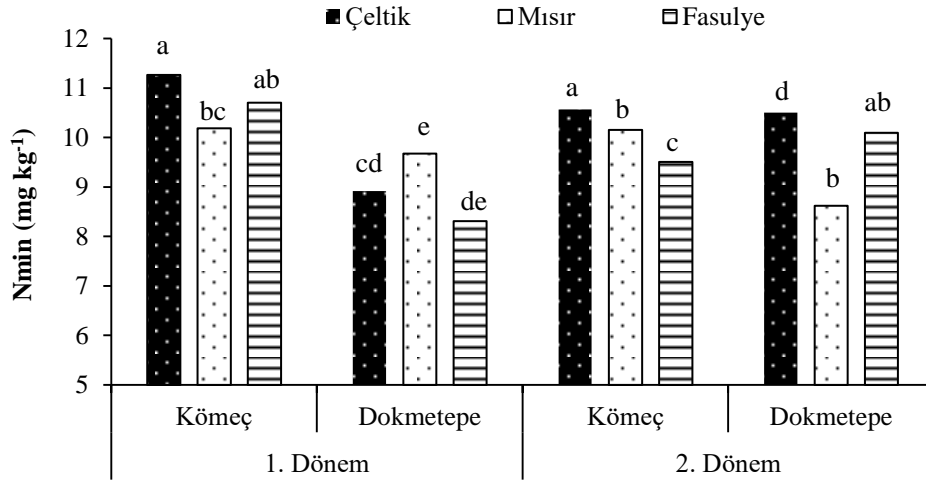
gübre dozu faktörlerinin Nmin konsantrasyonu üzerine etkileri her iki dönemde de istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.153). Beş farklı gübre dozunun uygulandığı toprakların ortalama Nmin konsantrasyonları Şekil 4.76'da gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek Nmin konsantrasyonu GD4 ( $10.31 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem GD5 ( $11.53 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında elde edilmiştir. Her ikisinde de bitki gereksinimi için gerekli besin elementlerinin tamamı çözültü olarak toprağa uygulanmış olmasına rağmen azot konsantrasyonlarının istatistiksel olarak birbirlerinden farklı olması Nguyen ve ark. (2017)'nin bildirimleri ile uyumludur. Araştırmacılar, biyoçar  $\text{NH}_4$  kaynaklı bir gübre ile birlikte uygulandığında, biyoçarın tek başına uygulandığı duruma göre inorganik azot kaybının daha fazla olduğu yorumunu yapmışlardır. Ancak biyoçar organik gübrelerle birlikte uygulandığında toprağın inorganik azot miktarının arttığı ifade edilmiştir. Sadece sıvı hayvan gübresi ile doyurulmuş biyoçarın yer aldığı GD1 uygulamalarında ise Nmin konsantrasyonu ( $9.38$  ve  $9.00 \text{ mg kg}^{-1}$ ) her iki dönemde de diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde düşük kalmıştır. İlk dönem GD5 uygulaması haricinde, GD artışı her iki dönemde de Nmin konsantrasyonunda düzenli bir artışa neden olmuştur.



Şekil 4.76. Gübre dozu (GD) uygulamalarının azot konsantrasyonlarına etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak tipi ve BÇ faktörleri toprakların Nmin konsantrasyonları üzerine ilk dönem önemli düzeyde etki yapmaz ( $P=0.7831$ ) iken ikinci dönem etki önemli ( $P<0.01$ ) düzeye çıkmıştır (Çizelge 4.153). Toprak tipi x BÇ interaksyonlarında elde edilen ortalama Nmin konsantrasyonları Şekil 4.77’de gösterilmiştir. Buna göre her iki dönemde de en yüksek Nmin konsantrasyonu Kömeç x çeltik ( $11.27$  ve  $10.57$   $\text{mg kg}^{-1}$ ) interaksyonunda elde edilmiştir. Diğer yandan en düşük Nmin konsantrasyonları ise ilk dönem Dökmetepe x fasulye ( $8.31$   $\text{mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Dökmetepe x mısır ( $8.62$   $\text{mg kg}^{-1}$ ) uygulamaları altında gerçekleşmiştir. Kömeç toprağında biyoçar uygulamaları ile ilk dönem sonunda elde edilen Nmin değerleri her üç biyoçar çeşidi içinde ikinci dönem Nmin değerlerinden yüksektir. İkinci dönem en büyük düşüş %11.19 ile fasulye biyoçarında gerçekleşmiştir. Bunun tam aksine Dökmetepe toprağında ise fasulye biyoçarı uygulanan topraklardaki ortalama Nmin konsantrasyonu ilk döneme göre %21.49 artış göstermiştir. Benzer şekilde ikinci dönem sonunda çeltik biyoçarı uygulamalarında Kömeç toprağında ilk döneme kıyasla %6.19’luk bir artış olurken, Dökmetepe toprağında %17.80’lik bir azalma gerçekleşmiştir. Dökmetepe toprağında, fasulye ve mısır biyoçarı uygulamalarında ikinci dönem Nmin konsantrasyonları önemli oranda artarken mısır biyoçarı uygulamasında Nmin konsantrasyonu ikinci dönem %10.94 oranında azalmıştır. Sonuçlar, biyoçar uygulamalarında toprağın Nmin konsantrasyonu üzerine biyoçar çeşidi etkisinin de en az toprak kadar etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.77. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın azot konsantrasyonlarına etkileri

Toprak tipi ve BD faktörleri her iki yetiştirme döneminde de toprakların Nmin konsantrasyonları üzerine önemli düzeyde etki yapmışlardır (Çizelge 4.153). Toprak x çeşit interaksyonunda elde edilen ortalama Nmin konsantrasyonları Çizelge 4.154’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek Nmin Kömeç x BD5 (11.42 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Kömeç x BD3 (10.37 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonlarında gerçekleşmiştir. En düşük ortalama Nmin değeri ise ilk dönem Dökmetepe x BD5 (8.55 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Dökmetepe x BD1 (9.48 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamalarında elde edilmiştir. Biyoçar dozu ile Nmin konsantrasyonları arasında belirgin bir ilişki görülmemektedir. İlk dönem, Kömeç toprağında BD artışı ile Nmin konsantrasyonu çoğunlukla artarken, Dökmetepe toprağında tüm BD dozlarında elde edilen Nmin konsantrasyonları BD1’e kıyasla daha düşük kalmıştır. İkinci dönem Dökmetepe toprağında ise tam tersi bir durum gerçekleşmiştir. İlk dönemin aksine en düşük Nmin BD1 uygulamasında, en yüksek Nmin ise BD5 ile elde edilmiş ve diğer BD’larında da Nmin konsantrasyonu BD1’e kıyasla yüksek olmuştur. Kömeç toprağında da benzer şekilde biyoçar uygulanan tüm toprakların ortalama Nmin konsantrasyonları BD1 uygulamasından daha yüksek bulunmuştur.

Toprak tipi ve GD faktörleri her iki dönemde de Nmin konsantrasyonu üzerine önemli etki yapmamıştır (P=0.6655 ve P=0.8547). Toprak x GD interaksyonlarında elde edilen ortalama Nmin konsantrasyonları Çizelge 4.154’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama Nmin Kömeç x GD3 (11.33 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Dökmetepe x GD5 (11.78 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük ortalama Nmin değerleri ise ilk dönem Dökmetepe x GD1 (8.61 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Dökmetepe x GD2 (8.52 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonlarında tespit edilmiştir. gübre dozu artışı ile Nmin arasında ilk dönem belirgin bir ilişki bulunmamaktadır. Nmin konsantrasyonu artışları uygulanan GD ile ilişkili olmamakla birlikte, ilk dönem her iki toprakta da tüm GD’larında Nmin konsantrasyonları GD1’e kıyasla

yüksek olmuştur. İkinci dönem her iki toprakta da GD4 ve GD5 uygulamaları ile Nmin konsantrasyonları diğer uygulamalara kıyasla önemli düzeyde yükselmiştir. Kömeç toprağında Nmin konsantrasyonu GD4 ile %22.34 ve GD5 ile %19.01 artarken, Dökmetepe toprağında GD4 ile %31.93 ve BD5 ile %38.07 oranında artış olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.154. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	10.47 bc	9.22 d	9.93 abc	<b>9.48 c</b>
<b>BD2</b>	10.02 c	9.07 d	10.13 ab	9.78 bc
<b>BD3</b>	10.62 bc	9.16 d	<b>10.37 a</b>	9.86 abc
<b>BD4</b>	11.08 ab	8.84 d	9.98 abc	9.71 bc
<b>BD5</b>	<b>11.42 a</b>	<b>8.55 d</b>	9.98 abc	9.88 abc
<b>GD1</b>	10.16 b	<b>8.61 c</b>	9.47 b	8.53 d
<b>GD2</b>	10.52 b	8.82 c	9.28 bc	<b>8.52 d</b>
<b>GD3</b>	<b>11.33 a</b>	9.20 c	8.79 cd	8.61 d
<b>GD4</b>	11.30 a	9.32 c	11.59 a	11.26 a
<b>GD5</b>	10.29 b	8.89 c	11.27 a	<b>11.78 a</b>

Biyorçar çeşidi ve BD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de Nmin konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P=0.9176$  ve  $P=2119$ ). Çeşit x BD interaksiyonunda elde edilen ortalama Nmin konsantrasyonları Çizelge 4.155’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek Nmin konsantrasyonu çeltik x BD3 ( $10.77 \text{ mg kg}^{-1}$ ), ikinci dönem ise mısır x BD2 ( $10.36 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük ortalama Nmin ise ilk dönem mısır x BD3 ( $8.95 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem çeltik x BD1 ( $9.10 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında görülmüştür. Üç biyorçar çeşidinde de biyorçar ilave edilen topraklarda büyük çoğunlukla Nmin konsantrasyonu BD1 uygulamasına kıyasla yüksek olmuştur. Ancak bu artış biyorçar dozu ile orantılı değildir.

Biyorçar çeşidi ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de Nmin konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.153). Biyorçar çeşidi x GD interaksiyonunda elde edilen ortalama Nmin konsantrasyonları Çizelge 4.155’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama Nmin çeltik x GD3 ( $11.41 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem mısır x GD5 ( $12.06 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük ortalama Nmin konsantrasyonu ise ilk dönem mısır x GD2 ( $8.72 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise çeltik x GD3 ( $7.95 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında görülmüştür. İlk dönem fasulye biyorçarında, ikinci dönem her üç biyorçar çeşidinde de BGD4 ve GD5 uygulamaları Nmin konsantrasyonunda ani bir artışa neden olmuştur. Nmin konsantrasyonundaki artış çeltik x GD4’te %37.26 ve mısır x GD5’te %34.04 gibi yüksek oranlara ulaşmıştır.

Çizelge 4.155. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	10.36 ab	9.19 cd	10.00 abc	<b>9.10 d</b>	10.06 ab	9.95 abc
<b>BD2</b>	10.36 ab	<b>8.95 d</b>	9.33 cd	9.29 cd	<b>10.36 a</b>	10.21 ab
<b>BD3</b>	<b>10.77 a</b>	9.16 cd	9.74 bcd	10.15 ab	10.22 ab	9.98 ab
<b>BD4</b>	10.49 ab	9.30 cd	10.09 abc	9.79 abc	9.80 abc	9.95 abc
<b>BD5</b>	10.40 ab	9.64 bcd	9.91 abc	9.64 bcd	10.19 ab	9.96 abc
<b>GD1</b>	10.35 bc	9.16 ef	<b>8.65 f</b>	8.61 ef	9.00 de	9.40 d
<b>GD2</b>	10.86 ab	8.72 ef	9.43 c-f	8.24 f	8.93 de	9.53 d
<b>GD3</b>	11.41 a	9.30 def	10.10 bcd	<b>7.95 f</b>	9.23 de	8.92 de
<b>GD4</b>	10.62 ab	9.58 cde	10.74 ab	11.81 ab	11.42 abc	11.03 c
<b>GD5</b>	9.13 ef	9.48 c-f	10.15 bcd	11.36 bc	<b>12.06 a</b>	11.16 bc

Biyoçar dozu ve GD'nun Nmin konsantrasyonu üzerine etkisi her iki dönemde de önemli bulunmamıştır ( $P=0.2702$  ve  $P=0.0623$ ) (Çizelge 4.153). İlk dönem en yüksek Nmin BD5 x GD3 ( $11.00 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise BD3 x GD5 ( $11.88 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında oluşmuştur. En düşük ortalama Nmin konsantrasyonları ise ilk dönem BD2 x GD1 ( $8.70 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem BD3 x GD3 ( $8.22 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.156).

Çizelge 4.156. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	9.36 c-f	<b>8.70 f</b>	9.51 b-f	10.13 a-e	9.22 def
<b>GD2</b>	9.76 d-f	10.29 a-e	9.26 def	9.28 def	9.76 b-f
<b>GD3</b>	10.50 abc	9.92 a-e	9.72 b-f	10.21 a-e	<b>11.00 a</b>
<b>GD4</b>	10.09 a-e	9.73 b-f	10.71 ab	10.69 ab	10.36 a-d
<b>GD5</b>	9.54 b-f	9.10 ef	10.25 a-e	9.48 c-f	9.58 b-f
2. Dönem					
<b>GD1</b>	8.46 de	9.25 cd	9.73 c	8.77 de	8.80 de
<b>GD2</b>	8.47 de	8.99 cde	8.88 cde	9.08 cde	9.08 cde
<b>GD3</b>	9.04 cde	8.32 e	<b>8.22 e</b>	8.84 de	9.09 cde
<b>GD4</b>	11.44 ab	11.83 a	11.87 a	10.95 b	11.02 ab
<b>GD5</b>	11.10 ab	11.38 ab	<b>11.88 a</b>	11.59 ab	11.68 ab

Toprak tipi, biyoçar çeşidi ve biyoçar dozu faktörlerinin interaksiyonları toprakların Nmin konsantrasyonları üzerine ilk dönem  $P<0.05$  önem düzeyinde etki etmiştir. İkinci dönem ise bu etki önemsiz düzeye inmiştir ( $P=0.3549$ ) (Çizelge 4.153). İlk dönem en yüksek Nmin Kömeç x çeltik x BD5 ( $12.37 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Kömeç x çeltik x BD3 ( $11.32 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük ortalama Nmin değerleri ise ilk dönem Dökmetepe x mısır x BD4 ( $8.18 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Dökmetepe x çeltik x BD1 ( $8.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamasında olduğu görülmüştür (Çizelge 4.157).



Çizelge 4.157. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	10.28 c-f	9.88 d-g	11.24 abc	10.43 c-f	8.50 hi	8.75 ghi
<b>BD2</b>	10.48 c-f	9.63 e-h	9.95 c-g	10.25 c-f	8.26 i	8.71 ghi
<b>BD3</b>	11.14 a-d	10.03 c-g	10.69 c-f	10.39 c-f	8.29 i	8.78 f-i
<b>BD4</b>	12.07 ab	10.43 c-f	10.74 c-f	8.90 ghi	<b>8.18 i</b>	9.45 ghi
<b>BD5</b>	<b>12.37 a</b>	10.96 bcd	10.92 b-e	8.42 hi	8.33 hi	8.91 ghi
2. Dönem						
<b>BD1</b>	9.90 c-h	10.27 b-g	9.63 e-i	<b>8.30 i</b>	9.86 c-h	10.27 b-g
<b>BD2</b>	10.06 b-g	10.77 abc	9.57 e-i	8.53 kl	9.94 b-g	10.86 ab
<b>BD3</b>	<b>11.32 a</b>	10.31 b-g	9.49 f-j	8.98 h-l	10.13 b-g	10.46 a-e
<b>BD4</b>	10.86 ab	9.69 d-h	9.39 g-k	8.73 i-l	9.91 b-h	10.50 a-e
<b>BD5</b>	10.72 abc	9.76 d-h	9.48 g-k	8.57 j-l	10.63 a-d	10.44 a-f

Toprak tipi, BÇ ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de Nmin konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.153). Bu interaksiyonlarda oluşan ortalama Nmin değerleri Çizelge 4.158’de verilmiştir. Her iki dönemde de en yüksek Nmin konsantrasyonu Kömeç x çeltik x GD3 (12.77 ve 13.63  $\text{mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonunda elde edilmiştir. En düşük ortalama Nmin değerleri ise ilk dönem Dökmetepe x mısır x GD2 (7.24  $\text{mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x çeltik x GD2 (6.94  $\text{mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında bulunmuştur. İlk dönem Kömeç x fasulye interaksiyonunda ve ikinci dönem her iki topraktaki 3 biyoçar çeşidinde de GD artışı ile orantılı bir Nmin artışı söz konusudur.

Çizelge 4.158. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonunun azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	10.70 c-g	10.73 c-g	9.05 h-k	10.00 e-i	7.59 l-m	8.24 klm
<b>GD2</b>	11.07 b-e	10.19 d-h	10.30 d-h	10.65 c-g	<b>7.24 m</b>	8.57 jkl
<b>GD3</b>	<b>12.77 a</b>	9.85 e-j	11.38 bcd	10.05 e-i	8.75 i-l	8.81 i-l
<b>GD4</b>	11.92 abc	9.95 e-i	12.05 ab	9.33 h-k	9.22 h-k	9.42 g-k
<b>GD5</b>	9.89 e-i	10.22 d-h	10.76 b-f	8.37 klm	8.75 i-l	9.55 f-k
2. Dönem						
<b>GD1</b>	9.17 g-l	9.67 f-i	9.57 f-i	8.04 mn	8.32 k-n	9.23 g-k
<b>GD2</b>	9.54 f-i	9.10 h-l	9.19 g-l	<b>6.94 o</b>	8.76 i-m	9.86 fgh
<b>GD3</b>	8.25 lmn	9.56 f-	8.56 j-n	7.65 no	8.90 i-m	9.29 g-j
<b>GD4</b>	<b>13.63 a</b>	11.02 de	10.11 efg	10.00 fgh	11.81 bcd	11.96 bcd
<b>GD5</b>	12.26 bc	11.43 cd	10.12 efg	10.47 ef	12.69 ab	12.19 bc

Toprak tipi, BD ve GD faktörlerinin Nmin konsantrasyonu üzerine etkisi ilk dönem  $P < 0.05$  düzeyinde önemli iken, ikinci dönem sonunda bu etkinin önemsiz düzeye indiği ( $P = 0.9246$ ) görülmüştür (Çizelge 4.153). Toprak tipi x BD x GD interaksiyonlarında elde

edilen ortalama Nmin konsantrasyonları Çizelge 4.159'da verilmiştir. En yüksek ortalama Nmin konsantrasyonu ilk dönem Kömeç x BD5 x GD3 (13.16 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem ise Kömeç x BD3 x GD4 (12.35 mg kg<sup>-1</sup>) uygulamalarında görülmüştür. En düşük ortalama Nmin konsantrasyonları ise ilk dönem Dökmetepe x BD2 x GD1 (7.81 mg kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Dökmetepe x BD2 x GD3 (8.00 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir. İlk dönem her iki toprakta da GD artışı ile topraktaki Nmin konsantrasyonu arasında belirgin bir ilişki bulunmamaktadır. Ancak ikinci dönem her iki toprakta da tüm biyoçar dozlarında GD artışı ile Nmin konsantrasyonunun artışı gerçekleşmiştir.



Çizelge 4.159. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun azot konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	10.08d-m	9.60f-p	9.90e-n	11.09b-f	10.13c-l	8.63k-q	<b>7.81q</b>	9.11h-q	9.18g-q	8.31n-q
<b>GD2</b>	10.04d-m	11.04b-f	9.83e-n	10.28b-k	11.40b-e	9.47b-q	9.55f-p	8.68k-q	8.29n-q	8.11opq
<b>GD3</b>	10.68b-h	9.92e-n	11.44b-e	11.47a-e	<b>13.16a</b>	10.32b-k	9.91e-n	8.00pq	8.95i-q	8.84k-q
<b>GD4</b>	11.79abc	10.65b-i	10.58b-j	11.85ab	11.66a-d	8.39m-q	8.81k-q	10.84b-g	9.53f-p	9.05h-q
<b>GD5</b>	9.77e-o	8.91j-q	11.36b-e	10.71b-h	10.72b-h	9.31g-q	9.29g-q	9.15g-q	8.26n-q	8.44l-q
2. Dönem										
<b>GD1</b>	8.66i-l	9.97e-f	10.07d-g	9.35g-j	9.31g-j	8.26 jkl	8.54i-l	9.39g-j	8.18jkl	8.29jkl
<b>GD2</b>	8.90g-l	9.29g-j	9.24g-k	9.29g-j	9.66f-i	8.04kl	8.69i-l	8.52i-l	8.87g-l	8.50i-l
<b>GD3</b>	9.22g-l	8.63i-l	8.44i-l	8.89g-l	8.78h-l	8.86g-l	<b>8.00l</b>	8.00l	8.79h-l	9.41 g-j
<b>GD4</b>	11.61abc	11.93abc	<b>12.35 a</b>	11.16a-e	10.87b-f	11.27a-d	11.73abc	11.38abc	10.74c-f	11.16 a-e
<b>GD5</b>	11.25a-d	10.84b-f	11.76abc	11.21a-d	11.30a-d	10.95b-e	11.92abc	11.99ab	11.98ab	12.05 ab

Biyotaar eşidi, BD ve GD faktörlerinin Nmin konsantrasyonu üzerine etkisi ilk dönem  $P < 0.01$  düzeyinde önemli iken ikinci dönem bu etkinin önemsiz düzeye indiği ( $P = 0.3167$ ) görölmüştür (Çizelge 4.153). İlk dönem eltik x BD2 x GD2 ( $12.70 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem mısır x BD3 x GD5 ( $12.87 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonları en yüksek ortalama Nmin konsantrasyonu elde edilmesine neden olmuşlardır. Buna karşılık eltik x BD1 x GD5 ( $7.30 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve eltik x BD3 x GD5 ( $6.88 \text{ mg kg}^{-1}$ ) interaksiyonları ise diğer tüm uygulamalara kıyasla daha düşük Nmin konsantrasyonu oluşumuna neden olmuşlardır (Çizelge 4.160).

Çizelge 4.160. Biyotaar eşidi x biyotaar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun azot konsantrasyonuna ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	10.50	9.76	10.71	10.69	10.07
	GD2	10.61	<b>12.70a</b>	9.92	10.58	10.49
	GD3	12.70	12.27	10.71	9.88	11.48
	GD4	10.69	8.49	12.41	11.01	10.52
	GD5	<b>7.30</b>	8.60	10.08	10.27	9.41
Mısır	GD1	9.38	8.70	9.46	10.13	8.12
	GD2	9.11	8.49	9.13	7.65	9.21
	GD3	8.28	8.29	8.59	10.45	10.89
	GD4	8.70	9.69	9.62	9.95	9.96
	GD5	10.49	9.55	9.02	8.34	10.03
Fasulye	GD1	8.19	7.65	8.35	9.58	9.47
	GD2	9.56	9.68	8.72	9.62	9.58
	GD3	10.52	9.19	9.86	10.30	10.63
	GD4	10.88	11.01	10.10	11.11	10.58
	GD5	10.83	9.14	11.65	9.84	9.31
2. Dönem						
eltik	GD1	7.88	8.57	10.29	8.00	8.29
	GD2	7.44	8.17	8.48	8.61	8.50
	GD3	8.08	<b>6.88</b>	7.89	8.72	8.19
	GD4	10.48	11.99	12.84	12.18	11.59
	GD5	11.60	10.87	11.26	11.45	11.64
Mısır	GD1	8.62	9.89	9.20	8.51	8.76
	GD2	8.59	9.03	8.18	9.27	9.60
	GD3	9.44	8.83	8.97	8.94	9.97
	GD4	12.24	12.17	11.87	10.17	10.63
	GD5	11.43	11.86	<b>12.87a</b>	12.12	12.02
Fasulye	GD1	8.88	9.31	9.70	9.79	9.34
	GD2	9.39	9.78	9.98	9.35	9.13
	GD3	9.59	9.24	7.80	8.87	9.12
	GD4	11.61	11.33	10.89	10.51	10.83
	GD5	10.28	11.41	11.51	11.21	11.37

Toprak tipi, B, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonlarının Nmin konsantrasyonu üzerine etkileri ilk dönem önemli bulunmamıştır ( $P = 0.1345$ ), ancak bu interaksiyonların etkileri ikinci dönemde önemli düzeye çıkmıştır ( $P = 0.0144$ ) (Çizelge 4.153). En yüksek ortalama Nmin konsantrasyonları ilk dönem Kömeç x eltik x BD5 x GD5 ( $15.07 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Kömeç x eltik x BD3 x GD4 ( $15.34$ ) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük ortalama Nmin ise ilk dönem Dökmetepe x mısır x BD4 x GD2 ( $6.39 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x eltik x BD5 x GD2 ( $6.26 \text{ mg kg}^{-1}$ ) uygulamalarında bulunmuştur (Çizelge 4.161).

Çizelge 4.161. Toprak tipi x biyoçar çeşidi-biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun azot konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	11.02	9.92	9.91	11.79	10.84	10.77	10.27	11.06	12.40	9.13	8.44	8.60	8.72	9.09	10.41
	GD2	8.58	13.27	9.23	11.34	12.92	10.97	9.99	10.43	8.91	10.66	10.58	9.85	9.83	10.59	10.63
	GD3	11.60	12.24	13.47	11.44	<b>15.07</b>	8.55	7.89	9.60	11.20	12.01	11.88	9.62	11.25	11.77	12.40
	GD4	13.73	8.48	11.74	13.19	12.44	8.94	10.24	9.35	10.12	11.09	12.69	13.21	10.64	12.24	11.46
	GD5	6.49	8.47	11.32	12.59	10.59	10.18	9.78	9.72	9.54	11.88	12.63	8.48	13.03	9.99	9.69
Dökmetepe	GD1	9.97	9.60	11.50	9.60	9.31	7.98	7.13	7.85	7.86	7.11	7.95	6.69	7.98	10.06	8.52
	GD2	12.64	12.14	10.61	9.82	8.06	7.25	7.00	7.83	<b>6.39</b>	7.75	8.53	9.51	7.62	8.66	8.53
	GD3	13.80	12.30	7.94	8.31	7.90	8.01	8.70	7.59	9.71	9.76	9.15	8.75	8.46	8.84	8.85
	GD4	7.65	8.49	13.07	8.83	8.61	8.45	9.14	9.89	9.79	8.84	9.07	8.80	9.57	9.98	9.70
	GD5	8.10	8.73	8.85	7.95	8.23	10.80	9.32	8.32	7.14	8.17	9.03	9.81	10.28	9.69	8.92
2. Dönem																
Kömeç	GD1	7.79	9.11	10.59	8.73	9.63	9.10	11.93	9.57	9.01	8.75	9.09	8.87	10.04	10.31	9.54
	GD2	7.91	9.22	9.78	10.04	10.75	8.87	8.58	9.14	9.21	9.71	9.92	10.08	8.81	8.61	8.52
	GD3	8.77	6.52	8.75	8.85	8.37	10.14	10.11	9.28	8.95	9.30	8.74	9.27	7.27	8.86	8.66
	GD4	11.73	13.49	<b>15.34</b>	15.00	12.56	12.25	11.86	11.69	8.97	10.35	10.87	10.44	10.02	9.53	9.70
	GD5	13.27	11.96	12.14	11.66	12.28	10.97	11.36	11.86	12.30	10.67	9.50	9.20	11.29	9.67	10.95
Dökmetepe	GD1	7.97	8.02	9.99	7.28	6.96	8.14	7.85	8.83	8.00	8.77	8.66	9.75	9.35	9.27	9.13
	GD2	6.97	7.12	7.17	7.17	<b>6.26</b>	8.30	9.48	7.23	9.32	9.50	8.85	9.47	11.15	10.10	9.73
	GD3	7.39	7.24	7.02	8.59	8.01	8.75	7.55	8.65	8.92	10.64	10.44	9.21	8.33	8.88	9.57
	GD4	9.22	10.48	10.34	9.35	10.62	12.23	12.48	12.05	11.37	10.91	12.35	12.23	11.76	11.50	11.96
	GD5	9.93	9.77	10.39	11.24	11.00	11.88	12.37	13.87	11.95	13.36	11.05	13.62	11.72	12.75	11.80

#### 4.4.3. Toprağın biyokütle karbonu konsantrasyonuna etkileri

Yayınlanan birçok çalışmada biyoçar ilavesinden dolayı değişen mikroorganizma faaliyetleri rapor edilmiştir. Bazı çalışmalarda, biyoçarın toprakların mikrobiyal aktivitelerini etkileyen tarımsal olarak önemli olan çeşitli toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini teşvik ettiği bildirilmiştir (Pietikainen ve ark., 2000). Biyoçar ilavesi ile toprağın yüzey alanının artması mikroorganizmaların çoğalması için ilave bir yaşam yeri sağladığı ve böylelikle de onları avlayan daha iri canlılardan kurtuldukları belirtilmiştir (Warnock ve ark., 2007). Denemede yer alan faktörlerin ve bu faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin toprağın MBC konsantrasyonu üzerine etkilerini gösteren varyans analizi sonuçları Çizelge 4.162’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem sonunda elde edilen MBC konsantrasyonu üzerine toprak ve biyoçar çeşidi önemli düzeyde etki etmiş, BD ve GD’nin ise önemli etkisi olmamıştır. İlk dönem sonunda T x BÇ, T x GD ve T x BÇ x GD interaksiyonları MBC konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmış, geri kalan interaksiyonların MBC konsantrasyonu üzerine önemli etkileri bulunamamıştır. İkinci dönem sonunda ise MBC konsantrasyonu üzerine toprak ve biyoçar çeşidi faktörleri ile T x BÇ faktörleri interaksiyonu önemli etki yaptığı görülmektedir.

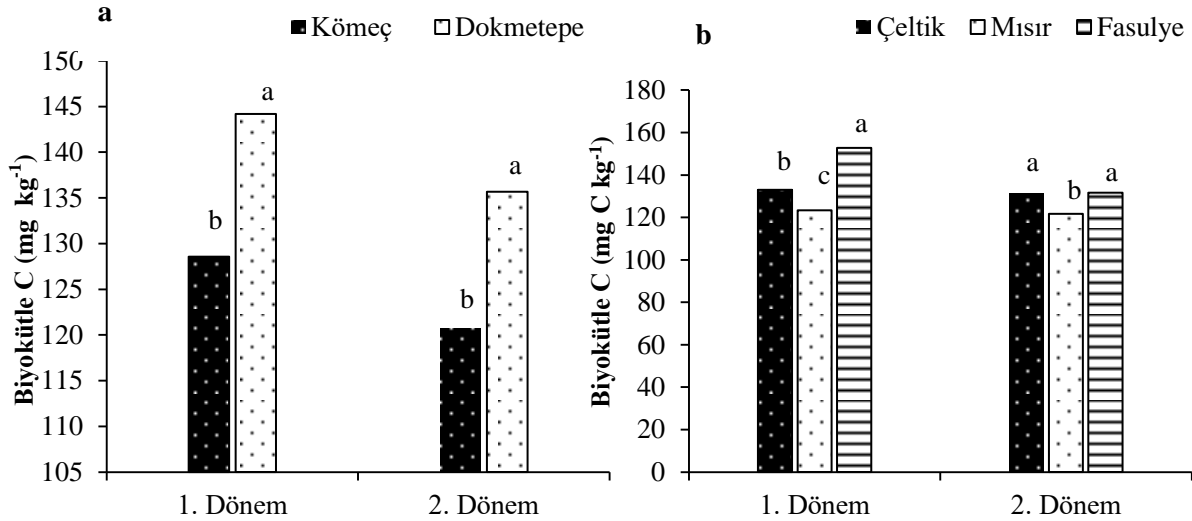
Çizelge 4.162. Uygulamaların toprakların mikrobiyel biyokütle karbonu (MBC) konsantrasyonlarına etkilerini gösteren varyans analizi

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortala	F	P
Toprak (T)	1	27439.34	27439.34	58.94	< 0.0001**	25197.4093	25197.4093	22.1582	<0.0001**
Biyoçar Çeşidi (BÇ)	2	67652.42	33826.21	72.66	< 0.0001**	9660.7245	4830.3622	4.2477	0.0152*
Biyoçar Dozu (BD)	4	1707.36	426.84	0.92	0.4544 <sup>OD</sup>	3881.0017	970.2504	0.8532	0.4925 <sup>OD</sup>
Gübre Dozu (GD)	4	4401.78	1100.45	2.36	0.0531 <sup>OD</sup>	10757.6028	2689.4007	2.3650	0.0530 <sup>OD</sup>
T*BÇ	2	18905.63	9452.82	20.30	< 0.0001**	18565.3967	9282.6983	8.1630	0.0004**
T*BD	4	363.06	90.77	0.20	0.9409 <sup>OD</sup>	1701.8318	425.4579	0.3741	0.8270 <sup>OD</sup>
T*GD	4	6448.64	1612.16	3.46	0.0087**	10478.3261	2619.5815	2.3036	0.0585 <sup>OD</sup>
BÇ*BD	8	6792.18	849.02	1.82	0.0722 <sup>OD</sup>	5855.0352	731.8794	0.6436	0.7408 <sup>OD</sup>
BÇ*GD	8	20874.86	2609.36	5.60	< 0.0001**	15033.5047	1879.1881	1.6525	0.1096 <sup>OD</sup>
BD*GD	16	7047.81	440.49	0.95	0.5166 <sup>OD</sup>	26798.7415	1674.9213	1.4729	0.1082 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD	8	3619.25	452.41	0.97	0.4581 <sup>OD</sup>	8475.7763	1059.4720	0.9317	0.4904 <sup>OD</sup>
T*BÇ*GD	8	24932.58	3116.57	6.69	< 0.0001**	9130.1648	1141.2706	1.0036	0.4333 <sup>OD</sup>
T*BD*GD	16	8015.81	500.99	1.08	0.3773 <sup>OD</sup>	12500.4800	781.2800	0.6870	0.8066 <sup>OD</sup>
BÇ*BD*GD	32	20525.33	641.42	1.38	0.0902 <sup>OD</sup>	36629.2156	1144.6630	1.0066	0.4618 <sup>OD</sup>
T*BÇ*BD*GD	32	21619.43	675.61	1.45	0.0599 <sup>OD</sup>	34758.9195	1086.2162	0.9552	0.5406 <sup>OD</sup>

\*, \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile P<0.01 ve P<0.05 düzeyinde önemlidir. OD: Farklılık önemli değil. SD: Serbestlik Derecesi

Toprak faktörü biyoçarların uygulandığı her iki dönemde de toprağın MBC konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.162). İki ayrı toprakta elde edilen ortalama MBC konsantrasyonu verileri Şekil 4.78a’da gösterilmiştir. Buna göre en yüksek ortalama MBC konsantrasyonu her iki dönemde de Dökmetepe toprağında (144.18 mg C kg<sup>-1</sup> ve 135.65 mg C kg<sup>-1</sup>) elde edilmiştir. Deneme başlangıcında Dökmetepe toprağında belirlenen ortalama MBC konsantrasyonu 89.92 mg C kg<sup>-1</sup> ve Kömeç toprağının ise 40.93 mg

C kg<sup>-1</sup> idi. Uygulamalar ile her iki toprakta da ortalama MBC konsantrasyonu önemli düzeyde artış göstermiştir. Bu artışlar Kömeç toprağında ilk dönem %214.11 ve ikinci dönem %194.86 iken Dökmetepe toprağında ilk dönem %60.34 ve ikinci dönem %50.86 oranında olmuştur. Kolb ve ark. (2009), biyoçar ilavesinin farklı tekstüre sahip dört ayrı toprakta da mikroorganizma solunumu üzerine pozitif etki yaptığını bildirmiştir.



Şekil 4.78. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altında toprağın biyokütle karbonu konsantrasyonuna etkileri

Biyoçar çeşitlerinin uygulandığı topraklardaki MBC konsantrasyonu ilk dönem  $P < 0.01$  önem düzeyinde ikinci dönem ise  $P < 0.05$  önem düzeyinde etki ettiği görülmüştür (Çizelge 4.162). Biyoçar çeşitlerinin uygulandığı toprakların ortalama MBC konsantrasyonları Şekil 4.78b'de gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek MBC konsantrasyonu 152.79 mg C kg<sup>-1</sup> ve ikinci dönem ise 132.62 mg C kg<sup>-1</sup> ile fasulye uygulanan topraklarda elde edilmiştir. İkinci dönem her 3 biyoçar çeşidinin uygulandığı toprakların MBC konsantrasyonları da ilk döneme kıyasla azalmıştır. En yüksek azalma %13.86 ile fasulye biyoçarında gerçekleşmiştir.

Çam odunundan elde edilen biyoçar ve hayvan gübresini mısır yetiştiriciliğinde tınlı tekstüre sahip bir toprakta uygulayan Foster ve ark. (2016), hayvan gübresinin mikrobiyal biyokütle karbonunu (MBC) kontrole kıyasla %15 arttırdığını ancak biyoçar uygulamasının MBC üzerine önemli bir etki yapmadığını bildirmiştir. Araştırmacılar, MBC konsantrasyonunun biyoçar uygulamasında kontrole kıyasla azaldığını belirtmişlerdir. Bunun aksine Domene ve ark. (2014) ise mısır sapından yavaş piroliz ile elde ettikleri biyoçarın MBC konsantrasyonunda 2 kat artışa neden olduğunu rapor etmişlerdir. Araştırmacılar bunun biyoçardaki yüksek labil karbon ilavesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Biyoçar ilavesi ile MBC'nin artışı farklı araştırmacılar tarafından farklı gerekçeler ile ilişkilendirilmiştir.

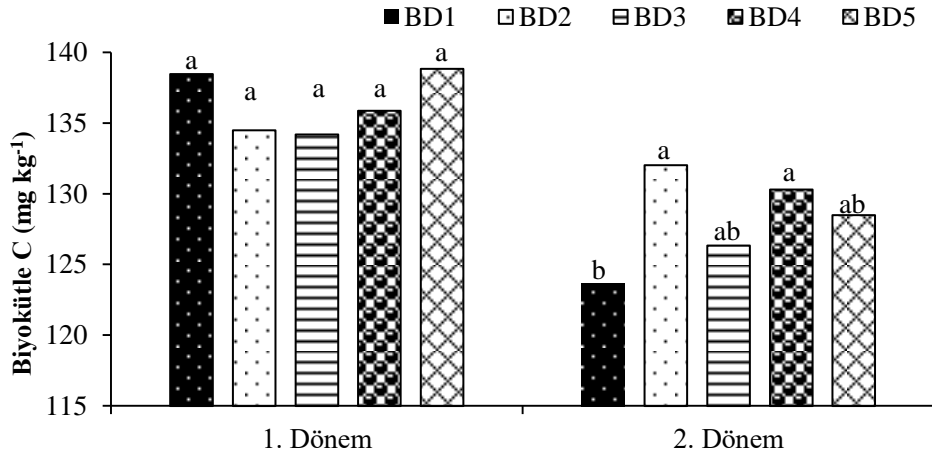
Gömez ve ark. (2014), artan MBC konsantrasyonunu mantar ve gram negatif gibi bakteri yoğunluğu ile ilişkilendirmişlerdir. Lehman ve ark. (2011) ise toprak nemi ve besin elementi dinamiği ile ilişkilendirmişlerdir. Gul ve ark. (2015) ise genel olarak odundan elde edilen biyoçarların MBC konsantrasyonunda artışa neden olmadığını bildirmişlerdir.

Biyoçar dozu faktörü her iki dönemde de toprağın MBC konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P=0.4544$  ve  $P=0.4925$ ) (Çizelge 4.162). Beş farklı biyoçar dozunun uygulandığı topraklarda ölçülen ortalama MBC konsantrasyonları Şekil 4.79'da gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek MBC konsantrasyonu BD5 ( $138.83 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) uygulamasında elde edilmiş olmasına rağmen beş BD arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık olmadığı görülmüştür. İkinci dönem sonunda en yüksek MBC konsantrasyonu BD2 ( $132.03 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) uygulamasında elde edilmiştir. Her iki dönemde de biyoçar dozlarının artışı veya azalması ile ilişkili bir MBC konsantrasyonu söz konusu değildir. Ancak tüm biyoçar dozlarında ikinci dönem sonunda belirlenen MBC konsantrasyonu ilk döneme kıyasla önemli düzeyde düşük olduğu görülmektedir. Biyoçar uygulamalarının toprağın  $\text{CO}_2$  çıkışına etkileri ile ilgili birbirleri ile çelişen sonuçlar yayınlanmıştır. Yao ve Kang (2012), arpa sapından  $320 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de ve domuz atığının  $600\text{-}800 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de pirolizi ile elde edilen biyoçar ilavesinin kontrole kıyasla  $\text{CO}_2$  çıkışını bastırıldığını bildirmişlerdir. Toprakta karbonun depolanmasına katkı veren biyoçar, izasyon hızını azaltarak toprak organik maddesinin de stabilizasyonuna yardım etmektedir (Zimmerman ve ark., 2011).

Jarrah odununun (*Eucalyptus marginata* Donn ex. Sm.)  $600^\circ\text{C}$ 'de piroliz ile elde edilen biyoçarı 0, 5 ton/ha (%0.45 w/w) ve 25 ton/ha (%2.27 w/w) oranlarında biyoçar dozlarını %95 kum içeren bir toprağın yer aldığı saksı denemesinde uygulayan Demepster ve ark. (2012), biyoçar dozunun MBC üzerine önemli düzeyde etki yaptığını bildirmişlerdir. En yüksek MBC konsantrasyonu ( $145 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) biyoçarın bulunmadığı uygulamada elde edilmiştir. Mikrobiyal biyokütle karbonu  $25 \text{ ton ha}^{-1}$  biyoçar ilavesi ile önemli düzeyde azalma ( $116 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) göstermiştir.

Biyoçarın ilk uygulandığı yıl MBC konsantrasyonunun yüksek olması, mikroorganizmaların kullanımı için daha yüksek miktarda karbon kaynağının olduğunun da bir göstergesi olarak kabul edilebilir. Piroliz esnasında ortaya çıkan biyo-yağ gibi piroliz atık bileşiklerinin biyoçar üretimi esnasında biyoçar yüzeyinde birikebileceği ve bunlarında mikroorganizma gelişimi ve metabolizması için gerekli maddeleri sağlayabileceği ifade edilmiştir (Steiner ve ark., 2008). Her üç biyoçar çeşidinde de ikinci döneme göre önemli düzeyde yüksek MBC konsantrasyonunun olması, ilk dönem uygulanan biyoçar yüzeyindeki mikroorganizmalarca kullanılabilir maddelerin çoğunun tüketildiğini göstermektedir.

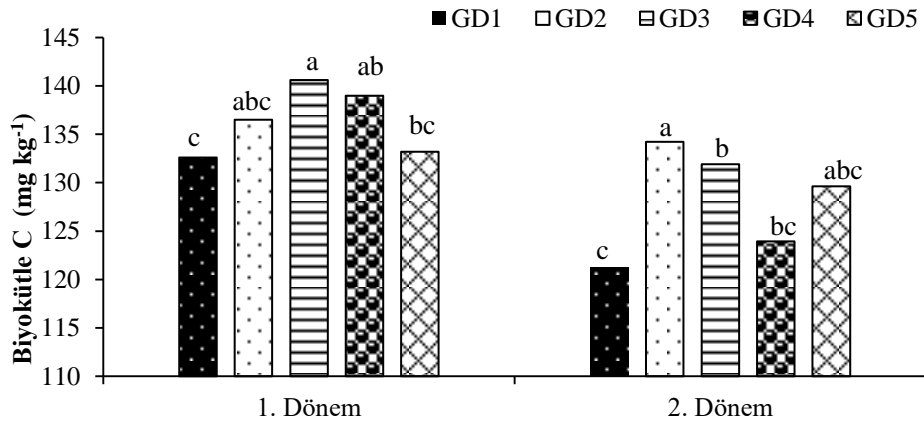




Şekil 4.79. Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının biyokütle karbonu konsantrasyonuna etkileri  
BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

Gübre dozu uygulamaları toprağın MBC konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P=0.0531$  ve  $0.0530$ ) (Çizelge 4.162). GD uygulamalarında elde edilen ortalama MBC konsantrasyonları Şekil 4.80’de gösterilmiştir. İlk dönem en yüksek MBC, GD3 uygulamasında ( $140.59 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise GD2 ( $134.2 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük konsantrasyonlar ise her iki dönemde de GD1 ( $132.59$  ve  $121.18 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) uygulamasında olduğu görülmüştür. GD artışı ile MBC konsantrasyonu değişimleri arasında bir ilişki tespit edilememiştir.

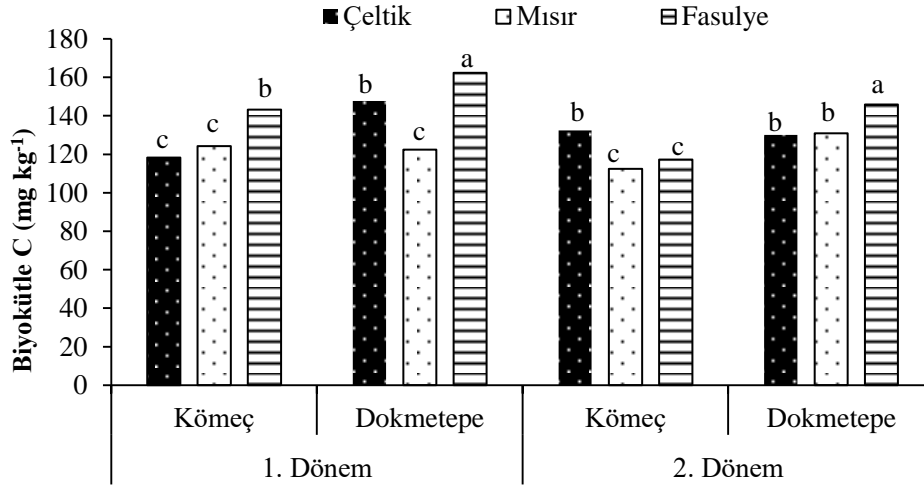
Dempster ve ark. (2012), biyoçar ilavesi ile birlikte uygulanan organik azot ( $135 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) ve inorganik azotun ( $93 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) MBC konsantrasyonunu, kontrol uygulamasına ( $159 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) kıyasla önemli düzeyde azattığını rapor etmişlerdir.



Şekil 4.80. Gübre dozu (GD) uygulamalarının biyokütle karbonu konsantrasyonuna etkileri  
GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak tipi ve biyoçar çeşidi faktörlerinin MBC konsantrasyonu üzerine etkisi her iki dönemde de önemli bulunmuştur (Çizelge 4.162). Toprak tipi x biyoçar çeşidi interaksiyonunda elde edilen ortalama MBC konsantrasyonları Şekil 4.81’de gösterilmiştir.

En yüksek MBC konsantrasyonları, her iki dönemde de Dökmetepe x fasulye (162 mg C kg<sup>-1</sup> ve 15.93 mg C kg<sup>-1</sup>) uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük ortalama MBC konsantrasyonları ise ilk dönem Kömeç x çeltik (118.31 mg C kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem ise Kömeç x mısır (112.37 mg C kg<sup>-1</sup>) uygulamalarında olduğu görülmüştür.



Şekil 4.81. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın biyokütle karbonu konsantrasyonuna etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksiyonu her iki dönemde de MBC konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P=0.9409$  ve  $P=0.8270$ ) (Çizelge 4.162). Toprak tipi x BD interaksiyonlarında belirlenen ortalama MBC konsantrasyonları Çizelge 4.163’de verilmiştir. En yüksek ortalama MBC konsantrasyonu ilk dönem Dökmetepe x BD1 (146.73 mg C kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Dökmetepe x BD4 (138.11 mg C kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük MBC konsantrasyonu ise ilk dönem 125.27 mg C kg<sup>-1</sup> ile Kömeç x BD3, ikinci dönem ise 116.51 mg C kg<sup>-1</sup> ile Kömeç x BD3 interaksiyonlarında olduğu görülmüştür. Her iki dönemde tüm dozlarda Dökmetepe toprağında MBC konsantrasyonu Kömeç’e kıyasla daha yüksektir. Her iki toprakta da BD artışı ile MBC konsantrasyonu arasında önemli bir ilişki gözlemlenmemiştir.

Entisol, Mollisol, Spodosol ve Alfisol ordolarına ait dört farklı toprağa 0, %2.5, %5.0 ve %10.0 oranlarında biyoçar uygulayan Kolb ve ark. (2009), dört toprakta da biyoçar uygulamalarının mikrobiyal biyokütle ve aktivitesini arttırdığını bildirmişlerdir. Ancak biyokütle ve aktivite artışlarının biyoçar dozu artışı ile orantılı olmadığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar, toprakların başlangıç biyokütle miktarının uygulama sonrası artış miktarını etkileyen en önemli etken olduğunu belirtmişlerdir. Uygulama yapılmadan önce mikrobiyal kütle en yüksek olduğu Mollisol topraklarında artan biyoçar dozu ve inkübasyon süresinin mikrobiyal biyokütle ve aktivitesini diğer topraklara kıyasla daha fazla arttırdığı tespit edilmiştir. Başlangıçta diğer topraklara kıyasla daha yüksek miktarda besin bulunması böyle bir farkın

ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ancak araştırmacılar biyoçar uygulamasının kum içeriği yüksek olan Entisol toprağında da biyokütle miktarına Mollisoller büyük oranda etki yaptığını görmüşlerdir. Bu denemede yer alan Dökmetepe toprağı gibi kum içeriği daha yüksek olduğunda bu topraklar daha verimsizdirler. Entisollere biyoçar ilavesi yüzey alanının (Liang ve ark., 2006) ve dolayısı ile C substrat yarayırlılığının artmasına neden olmuştur (Kolb ve ark., 2009). Bu nedenle de biyoçar ilavesi Dökmetepe toprağında Kömeç toprağına kıyasla MBC konsantrasyonunda daha yüksek bir artışa neden olmuştur. Kolb ve ark. (2009) biyoçar ilavesinden sonra Entisol topraklarında görülen bu yüksek düzeydeki artışın nedeninin diğer topraklara kıyasla daha fazla artan habitat ve substrat yarayırlılığı ile ilişkilendirmişlerdir.

Toprak tipi ve GD faktörlerinin interaksiyonları MBC konsantrasyonu üzerine ilk dönem önemli düzeyde etki yapmış, ikinci dönem ise MBC konsantrasyonu üzerine etki önemsiz düzeye inmiştir ( $P=0.0585$ ). Toprak x GD interaksiyonlarında elde edilen ortalama MBC konsantrasyonları Çizelge 4.163’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama MBC, Dökmetepe x GD4 ( $153.92 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Dökmetepe x GD2 ( $147.18 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) uygulamalarında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük ortalama MBC konsantrasyonu ilk dönem Kömeç x GD4 ( $124.03 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x GD1 ( $121.81 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) interaksiyonlarında görülmüştür.

Çizelge 4.163. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının biyokütle karbonu konsantrasyonuna ( $\text{mg C kg}^{-1}$ ) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	130.21 b	146.73 a	116.69 cd	130.66 abc
<b>BD2</b>	127.43 b	141.55 a	127.95 a-d	136.12 ab
<b>BD3</b>	125.27 b	143.12 a	<b>116.51 d</b>	136.17 ab
<b>BD4</b>	127.55 b	144.20 a	122.50 bcd	<b>138.11 a</b>
<b>BD5</b>	132.35 b	145.31 a	119.79 cd	<b>137.20 a</b>
<b>GD1</b>	<b>124.84 e</b>	140.35 bc	120.56 cd	121.81 cd
<b>GD2</b>	129.98 de	143.00 bc	121.26 cd	147.18 a
<b>GD3</b>	134.60 cd	146.59 ab	121.50 cd	142.31 ab
<b>GD4</b>	<b>124.03 e</b>	<b>153.92 a</b>	113.35 d	134.48 abc
<b>GD5</b>	129.37 de	137.04 cd	126.76 cd	132.49 bc

Biyoçar çeşidi ve BD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de MBC konsantrasyonları üzerine önemli etki yapmamıştır ( $P=0.0722$  ve  $0.7408$ ). Biyoçar çeşidi x BD interaksiyonunda elde edilen ortalama MBC konsantrasyonları Çizelge 4.164’de verilmiştir. İlk dönem, fasulye x BD5 ( $159.35 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem fasulye x BD4 ( $138.64 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) uygulamaları diğer interaksiyonlara kıyasla daha yüksek MBC elde

edilmesine neden olmuşlardır. Bununla birlikte her iki dönemde de mısır x BD3 (116.65 ve 114.83 mg C kg<sup>-1</sup>) interaksiyonları en düşük MBC konsantrasyonu elde edilen uygulamalar olmuştur. Tüm biyoçar dozları karşılaştırıldığında en yüksek MBC konsantrasyonları fasulye biyoçarı dozlarında elde edilmiştir. Ancak ilk dönem çeltik ve mısır biyoçar ilavesi yapılan uygulamaların tamamında MBC konsantrasyonu kontrole kıyasla azalma göstermiştir. Bu azalma çeltik biyoçarında BD artışı ile doğru orantılı olarak gerçekleşmiştir. En düşük doz olan %0.5 (BD2) ile sadece %0.88 azalan MBC, %1.0 (BD3) doz ile %3.77, %2.0 (BD4) doz ile %4.90 ve %3.0 (BD5) doz ile %5.20 azalmıştır. İkinci dönemde ise toprağa ilave edilen biyoçar doz artışı ile orantılı olmamakla birlikte MBC konsantrasyonunda artışa neden olmuştur (BD4 haricinde). Bu durum, bir kısım araştırmacılar tarafından rapor edilen piroliz esnasında biyoçar yüzeyinde depolanan ve mikroorganizmalarca faydalanabilen bileşiklerin fasulye biyoçarı dışındaki biyoçar çeşitlerinde daha geç yarayışlı hale geldiğine işaret etmektedir. Yao ve Kang (2012), biyoçar ilavesi ile artan CO<sub>2</sub> çıkışının biyoçarın tamamen durağan olmadığını ve mikroorganizmaların enerji kaynağı olarak kullanabilecekleri labil karbon kaynaklarını da barındırdığının işareti olarak görmüşlerdir.

Biyoçar çeşidi ve GD faktörlerinin interaksiyonları MBC konsantrasyonu üzerine ilk dönem önemli düzeyde etki etmiştir (Çizelge 4.162). Ancak ikinci dönem çeşit x GD interaksiyonlarının MBC üzerine etkisi önemsiz düzeye inmiştir (P=0.1096). İlk dönem fasulye GD4 (161.26 mg C kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem fasulye x GD5 (144.49 mg C kg<sup>-1</sup>) uygulamaları diğer uygulamalara kıyasla daha yüksek MBC oluşumuna neden olmuştur. Diğer yandan ilk dönem çeltik x GD5 (116.52 mg C kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem mısır x GD1 (113.23 mg C kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında diğer uygulamalara kıyasla daha düşük MBC konsantrasyonları elde edilmiştir. Fasulye ve mısır (ilk dönem BD4 hariç) biyoçarlarının tüm GD dozlarında MBC konsantrasyonu kontrole kıyasla artmıştır.

Çizelge 4.164. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının biyokütle karbonu konsantrasyonuna (mg C kg<sup>-1</sup>) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	137.03 cd	128.35 def	150.04 ab	127.14 abc	117.40 bc	126.49 abc
<b>BD2</b>	135.82 cd	123.84 efg	143.80 bc	<b>136.24 a</b>	125.45 abc	134.41 ab
<b>BD3</b>	131.87 de	<b>116.65 g</b>	154.07 ab	<b>135.06 a</b>	<b>114.83 c</b>	129.14 abc
<b>BD4</b>	130.31 def	120.62 fg	<b>156.71 a</b>	124.29 abc	127.98 abc	<b>138.64 a</b>
<b>BD5</b>	129.91 def	127.23 d-g	<b>159.35 a</b>	133.64 ab	122.44 abc	129.40 abc
<b>GD1</b>	142.03 bc	<b>119.40 f</b>	136.36 cd	132.94 a-e	<b>113.23 f</b>	117.38 ef
<b>GD2</b>	134.44 cde	124.56 ef	150.49 ab	136.01 abc	134.58 a-f	132.07 a-e
<b>GD3</b>	135.26 cde	126.66 def	<b>159.87 a</b>	138.36 ab	126.02 b-f	131.35 a-e
<b>GD4</b>	136.69 cd	<b>118.97 f</b>	<b>161.26 a</b>	121.03 c-f	117.94 def	132.79 a-e
<b>GD5</b>	<b>116.52 f</b>	127.10 def	<b>156.00 a</b>	128.05 a-f	116.34 ef	<b>144.49 a</b>

Biyoçar dozu ve GD faktörlerinin interaksiyonları MBC üzerine iki dönemde de önemli düzeyde etki yapmamıştır (P=0.5166 ve P=0.1082) (Çizelge 4.162). Biyoçar dozu x GD interaksiyonlarında elde edilen ortalama MBC konsantrasyonu değerleri Çizelge 4.165’de verilmiştir. İlk dönem en yüksek ortalama MBC konsantrasyonu, BD1 x GD4 (146.77 mg C kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem ise BD2 x GD2 (150.09 mg C kg<sup>-1</sup>) uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük ortalama MBC konsantrasyonları ise ilk dönem BD3 x GD5 (125.59 mg C kg<sup>-1</sup>) ile ilk dönemde ve BD1 x GD4 (106.75 mg C kg<sup>-1</sup>) ile ikinci dönemde olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.165. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun biyokütle karbonu konsantrasyonuna (mg C kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	129.93 de	129.74 de	134.11 a-e	132.70 a-e	136.50 a-e
GD2	132.19 b-e	132.88 a-e	131.64 cde	139.53 a-e	146.24 ab
GD3	139.13 a-e	140.62 a-d	143.89 a-d	140.47 a-d	138.86 a-e
GD4	<b>146.77 a</b>	138.65 a-e	135.75 a-e	135.56 a-e	138.14 a-e
GD5	144.34 abc	130.56 cde	<b>125.59 e</b>	131.14 cde	134.41 a-e
2. Dönem					
GD1	117.31 cd	117.34 cd	118.18 cd	117.64 cd	135.45 abc
GD2	127.09 bcd	<b>150.09 a</b>	135.31 abc	128.61 a-d	129.99 abc
GD3	133.03 abc	120.14 cd	138.82 abc	143.71 ab	123.84 bcd
GD4	<b>106.75 d</b>	137.03 abc	121.04 cd	128.41 a-d	126.36 bcd
GD5	134.19 abc	135.56 abc	118.37 cd	133.16 abc	126.84 bcd

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörleri toprakların MBC konsantrasyonu üzerine her iki dönemde de önemli düzeyde etkili yapmamıştır (P=0.4581 ve P=0.4904). İlk dönem Dökmetepe x fasulye x BD5 (173.99 mg C kg<sup>-1</sup>) ile ikinci dönem Dökmetepe x fasulye x BD2 (153.56 mg C kg<sup>-1</sup>) interaksiyonları en yüksek ortalama MBC konsantrasyonu elde edilmesine neden olmuştur. Diğer yandan Kömeç x mısır x BD3 (114.21 mg C kg<sup>-1</sup>) ile ilk dönem ve Kömeç x mısır x BD3 (97.35 mg C kg<sup>-1</sup>) ile ikinci dönem en düşük ortalama MBC konsantrasyonu elde edilmiştir (Çizelge 4.166).

Çizelge 4.166. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) interaksiyonunun biyokütle karbonu konsantrasyonuna (mg C kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
BD1	119.28 kl	129.47 g-l	141.90 e-h	154.78 b-e	127.22 h-l	158.18 bcd
BD2	119.74 kl	124.93 i-l	137.63 f-j	151.91 c-f	122.76 jkl	149.97 c-f
BD3	<b>114.31 l</b>	<b>114.21 l</b>	147.30 c-f	149.43 c-f	119.09 kl	160.84 abc
BD4	117.65 kl	120.72 kl	144.29 d-g	142.97 d-g	120.51 kl	169.13 ab
BD5	120.57 kl	131.77 g-k	144.70 d-g	139.25 f-i	122.69 jkl	<b>173.99 a</b>
2. Dönem						
BD1	130.60 a-d	104.58 ef	114.88 def	123.69 b-e	130.21 a-d	138.09 a-d
BD2	145.25 ab	123.34 b-e	115.26 def	127.23 b-e	127.56 b-e	<b>153.56 a</b>
BD3	135.40 a-d	<b>97.35 f</b>	116.78 def	134.72 a-d	132.31 a-d	141.49 abc
BD4	124.56 b-e	118.02 c-f	124.92 b-e	124.03 b-e	137.93 a-d	<b>152.37 a</b>
BD5	126.15 b-e	118.57 c-f	114.65 def	141.14 abc	126.31 b-e	144.16 ab

Toprak tipi, BÇ ve GD interaksyonları ilk dönem MBC konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmış ancak ikinci dönem sonunda bu interaksyonun MBC üzerine etkisinin önemsiz düzeye ( $P=0.4332$ ) indiği görülmüştür. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x GD interaksyonlarında elde edilen ortalama MBC değerleri Çizelge 4.167’de verilmiştir. Buna göre en yüksek ortalama MBC değeri ilk dönem Dökmetepe x fasulye x GD4 ( $182.06 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) ile ve ikinci dönem ise Dökmetepe x fasulye x GD5 ( $153.08 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) interaksyonları ile elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük MBC konsantrasyonları ise ilk dönem Kömeç x çeltik x GD5 ( $103.52 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Dökmetepe x mısır x GD1 ( $99.96 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) uygulamalarında oluşmuştur.

Çizelge 4.167. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun biyokütle karbonu konsantrasyonuna ( $\text{mg C kg}^{-1}$ ) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	126.00 h-l	106.70 mn	141.82 efg	158.06 cd	132.09 e-j	130.89 e-k
<b>GD2</b>	128.67 g-l	119.76 j-m	141.52 efg	140.21 e-h	129.35 g-l	159.46 bcd
<b>GD3</b>	125.53 h-l	132.63 e-j	145.63 de	144.99 def	120.68 j-m	174.11 ab
<b>GD4</b>	107.84 mn	123.81 i-l	140.45 e-h	165.55 bc	114.14 lm	<b>182.06 a</b>
<b>GD5</b>	<b>103.52 n</b>	138.19 e-i	146.40 d-e	129.52 f-l	116.01 k-n	165.59 bc
2. Dönem						
<b>GD1</b>	143.87 ab	112.43 d-g	105.38 fg	122.00 b-g	114.03 d-g	129.39 a-f
<b>GD2</b>	123.07 b-g	129.37 a-f	111.33 efg	<b>148.94 a</b>	139.79 abc	<b>152.80 a</b>
<b>GD3</b>	140.99 abc	110.95 fg	112.57 d-g	135.72 a-d	141.09 abc	<b>150.13 a</b>
<b>GD4</b>	118.80 c-g	<b>99.96 g</b>	121.31 b-g	123.26 b-g	135.91 a-d	144.27 ab
<b>GD5</b>	135.23 a-e	109.15 fg	135.90 a-d	120.86 b-g	123.52 b-g	<b>153.08 a</b>

Toprak tipi, BD ve GD faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de MBC konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P=0.3773$  ve  $P=0.8066$ ). Toprak tipi x BD x GD interaksyonlarına ait ortalama MBC konsantrasyonları Çizelge 4.168’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem Dökmetepe x BD2 x GD4 ( $164.95 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Kömeç x BD2 x GD2 ( $156.76 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) ve Dökmetepe x BD3 x GD2 ( $156.84 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) interaksyonlarının gerçekleştiği topraklarda belirlenen MBC konsantrasyonu diğer uygulamalara kıyasla daha yüksek olmuştur. Ancak ilk dönem Kömeç x BD4 x GD4 ( $115.93 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) ve ikinci dönem Kömeç x BD1 x GD4 ( $97.01 \text{ mg C kg}^{-1}$ ) uygulamalarında oluşan MBC konsantrasyonunun diğer uygulamalara kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.168. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun biyokütle karbonu konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	119.47ij	124.56e-j	124.40e-j	125.92e-j	129.84c-j	140.39a-j	134.92b-j	143.81a-i	139.47a-j	143.16a-i
<b>GD2</b>	121.21hij	121.86g-j	127.23d-j	136.33b-j	143.29a-i	143.17a-i	143.90a-i	136.05b-j	142.72a-i	149.18a-f
<b>GD3</b>	138.44b-j	144.55a-i	129.57c-j	130.95c-j	129.49c-j	139.82a-j	136.70b-j	158.21ab	150.00a-e	148.23a-g
<b>GD4</b>	128.59d-j	127.08d-j	125.03e-j	<b>115.93j</b>	123.52f-j	<b>164.95a</b>	150.21a-e	146.46a-h	155.19abc	152.77a-d
<b>GD5</b>	143.37a-i	119.11ij	120.13hij	128.64d-j	135.60b-j	145.31a-i	142.00a-j	131.06c-j	133.64b-j	133.23b-j
2. Dönem										
<b>GD1</b>	109.94h-k	116.18f-k	120.69c-k	121.82c-k	134.18a-j	124.67b-k	118.51d-k	115.67f-k	113.47fk	136.72a-j
<b>GD2</b>	111.19g-k	<b>156.76a</b>	113.77f-k	115.35f-k	109.21h-k	143.00a-f	143.41a-f	<b>156.84a</b>	141.86a-g	150.78abc
<b>GD3</b>	127.38a-k	105.71j-k	129.43a-j	133.62a-j	111.38g-k	138.68a-h	134.57a-j	148.22a-d	153.80ab	136.30a-j
<b>GD4</b>	<b>97.01k</b>	126.41a-k	107.02ijk	114.36f-k	121.97c-k	116.49e-k	147.65a-e	135.05a-j	142.46a-g	130.75a-j
<b>GD5</b>	137.91a-i	134.68a-j	111.65g-k	127.35a-k	122.21c-k	130.48a-j	136.44a-j	125.08b-k	138.96a-h	131.47a-j

Biyotaar eedi, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları MBC üzerine etkili olmamıştır (P=0.0902 ve P=0.4618) (Çizelge 4.162). En yüksek ortalama MBC, ilk dönem fasulye x BD1 x GD4 (176.38 mg C kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem mısır x BD2 x GD2 (177.25 mg C kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında bulunmuştur. Diğer yandan en düşük ortalama MBC ise ilk dönem eeltik x BD5 x GD5 (101.76 mg C kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem mısır x BD3 x GD1 (94.84 mg C kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında oluşmuştur (Çizelge 4.169).

Çizelge 4.169. Biyotaar eedi x biyotaar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun biyokütle karbonu konsantrasyonuna (mg C kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	142.84c-q	138.87d-r	143.39b-g	144.23a-p	140.82c-r
	GD2	135.11e-r	133.00g-s	139.88c-r	128.19i-s	136.01e-r
	GD3	125.69j-s	134.99e-r	146.17a-n	133.40f-s	136.05e-r
	GD4	139.96c-r	149.74a-m	127.50i-s	131.35h-s	134.90e-r
	GD5	141.55c-r	122.53k-s	<b>102.40s</b>	114.37n-s	<b>101.76s</b>
Mısır	GD1	111.49qrs	113.37o-s	123.81k-s	118.59m-s	129.73i-s
	GD2	120.93l-s	127.21i-s	118.98l-s	124.86k-s	130.79h-s
	GD3	145.11a-o	133.42f-s	119.49l-s	112.74p-s	122.51k-s
	GD4	123.98k-s	125.13k-s	111.29qrs	117.78m-s	116.69n-s
	GD5	140.22c-r	120.08l-s	109.66rs	129.11i-s	136.44d-r
Fasulye	GD1	135.46e-r	136.98d-r	135.12e-r	135.27e-r	138.95d-r
	GD2	140.52c-r	138.43d-r	136.07e-r	165.53a-f	171.91abc
	GD3	146.59a-n	153.46a-k	166.00a-e	175.28ab	158.00a-i
	GD4	<b>176.38a</b>	141.08c-r	168.45a-d	157.54a-j	162.84a-h
	GD5	151.25a-l	149.06a-m	164.72a-g	149.93a-m	165.03a-g
2. Dönem						
Çeltik	GD1	115.52f-k	130.03b-k	145.31a-h	114.39f-k	159.42abc
	GD2	142.84a-i	142.40a-i	150.23a-f	124.31c-k	120.25d-k
	GD3	147.40a-g	121.14c-k	163.95ab	132.55b-k	126.75b-k
	GD4	97.04j-k	141.88a-i	109.72g-k	128.86b-k	127.65b-k
	GD5	132.91b-k	145.74a-h	106.08ijk	121.37c-k	134.13b-j
Mısır	GD1	109.06h-k	107.63h-k	<b>94.84k</b>	125.11c-k	129.54b-k
	GD2	119.65d-k	<b>177.25a</b>	115.28f-k	124.79c-k	135.93b-i
	GD3	131.83b-k	111.03g-k	127.43b-k	142.90a-i	116.92e-k
	GD4	108.39h-k	114.06f-k	127.51b-k	123.53c-k	116.19f-k
	GD5	118.05d-k	117.31e-k	109.11g-k	123.56c-k	113.65f-k
Fasulye	GD1	127.34b-k	114.37f-k	114.39f-k	113.42f-k	117.40d-k
	GD2	118.79d-k	130.61b-k	140.41a-i	136.72b-i	133.79b-j
	GD3	119.88d-k	128.25b-k	125.09c-k	155.68a-d	127.84b-k
	GD4	114.82f-k	155.16a-e	125.87b-k	132.84b-k	135.25b-j
	GD5	151.62a-f	143.64a-i	139.92a-i	154.54a-e	132.73b-k

Toprak tipi, BÇ, BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de MBC konsantrasyonu üzerine önemli düzeyde etki yapmamışlardır (P=0.0599 ve P=0.5406) (Çizelge 4.162). İlk dönem Dökmetepe x fasulye x BD1 x GD4 (203.96 mg C kg<sup>-1</sup>) ve ikinci dönem Kömeç x mısır x BD2 x GD2 (198.66 mg C kg<sup>-1</sup>) interaksiyonları diğer tüm uygulamalara kıyasla daha yüksek MBC konsantrasyonu oluşumuna neden olmuşlardır. Bununla birlikte Kömeç x eeltik x BD3 x GD5 (94.22 mg C kg<sup>-1</sup>) interaksiyonu ilk dönem sonunda ve Kömeç x mısır x BD3 x GD1 (72.06 mg C kg<sup>-1</sup>) interaksiyonu ikinci dönem sonunda diğer uygulamalardan daha düşük MBC konsantrasyonu elde edilmesine neden olmuşlardır (Çizelge 4.170).



Çizelge 4.170. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının biyokütle karbonu konsantrasyonuna (mg kg<sup>-1</sup>) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömeç	GD1	119.36	129.37	120.36	124.43	136.47	<b>99.69</b>	103.26	113.92	111.32	105.33	139.37	141.04	138.93	142.01	147.72
	GD2	119.30	118.47	131.11	138.40	136.05	106.29	110.03	108.23	128.13	146.13	138.02	137.09	142.35	142.46	147.70
	GD3	126.78	134.03	120.70	122.49	123.66	152.62	140.68	127.38	117.56	124.93	135.91	158.92	140.64	152.79	139.87
	GD4	109.68	118.96	105.17	100.77	104.61	127.30	140.21	119.99	101.40	130.12	148.79	122.08	149.94	145.62	135.82
	GD5	121.28	<b>97.86</b>	<b>94.22</b>	102.19	102.04	161.43	130.47	101.51	145.17	152.36	147.38	129.01	164.65	138.56	152.39
Dökmetepe	GD1	166.33	148.36	166.42	164.03	145.17	123.28	123.48	133.70	125.85	154.12	131.55	132.92	131.30	128.52	130.18
	GD2	150.91	147.53	148.65	117.99	135.96	135.58	144.40	129.74	121.59	115.45	143.01	139.77	129.78	188.59	<b>196.12ab</b>
	GD3	124.59	135.94	171.65	144.31	148.45	137.61	126.16	111.60	107.92	120.10	157.27	148.00	<b>191.36abc</b>	<b>197.77ab</b>	176.14
	GD4	170.25	180.52	149.83	161.94	165.20	120.66	110.04	102.59	134.17	103.26	<b>203.96a</b>	160.07	186.97	169.47	189.85
	GD5	161.82	147.19	110.58	126.56	101.48	119.00	109.70	117.81	113.04	120.52	155.11	169.10	164.78	161.31	177.67
2. Dönem																
Kömeç	GD1	118.47	138.99	180.67	115.96	165.25	94.98	114.44	<b>72.06</b>	145.88	134.82	116.37	95.10	109.34	103.61	102.49
	GD2	132.20	161.77	122.92	105.28	93.16	95.42	<b>198.66</b>	105.67	120.58	126.53	105.94	109.86	112.72	120.20	107.94
	GD3	167.40	103.66	173.64	152.19	108.06	110.97	105.88	107.74	118.91	111.24	103.78	107.58	106.90	129.77	114.82
	GD4	88.32	151.40	107.40	115.99	130.86	106.94	<b>82.96</b>	103.81	96.01	110.09	95.77	144.88	109.85	131.08	124.97
	GD5	146.60	170.43	92.36	133.38	133.40	114.59	114.76	97.49	108.73	110.20	152.55	118.86	145.11	139.94	123.02
Dökmetepe	GD1	112.57	121.08	109.96	112.82	153.59	123.14	100.81	117.61	104.35	124.26	138.30	133.65	119.43	123.24	132.32
	GD2	153.48	123.03	177.54	143.33	147.34	143.88	155.83	124.89	128.99	145.34	131.63	151.37	168.10	153.25	159.65
	GD3	127.40	138.62	154.25	112.91	145.44	152.68	116.17	147.12	166.89	122.59	135.97	148.92	143.29	<b>181.59</b>	140.86
	GD4	105.76	132.37	112.04	141.72	124.44	109.85	145.16	151.22	151.05	122.28	133.87	165.43	141.90	134.61	145.53
	GD5	119.22	121.04	119.80	109.36	134.87	121.52	119.86	120.73	138.39	117.10	150.69	168.42	134.72	169.14	142.44

#### 4.4.4. Toprağın beta glikosidaz enzim aktivitesi konsantrasyonuna etkileri

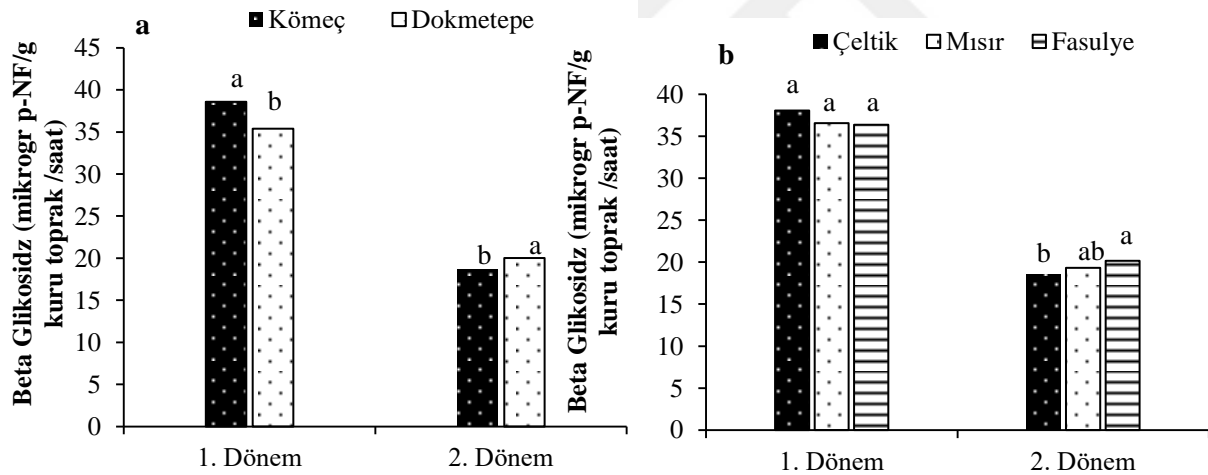
Toprak enzimleri toprak fonksiyonlarında yer alan bir dizi toprak biyokimyasal ve besin döngüsü işlemlerinde katalizör görevi yaparlar. Bu nedenle toprak amenajmanında meydana gelen değişime en hızlı tepki veren toprak özelliklerinin başında kabul edilirler (Dick ve ark., 1996). Enzim aktiviteleri toprak mikroorganizma popülasyonundaki artışın göstergesi olarak artar ve bu artan enzim aktivitesi toprakta var olan enzimlerinde ana kaynağıdır (Tabatabai, 1994). Betaglikosidaz enzim aktivitesi (BEGA) toprak organik maddesi ve bitki atıklarının parçalanmasında önemli rol oynamaktadır. Toprak mikrobiyal biyokütlesinin artışı ile birlikte gerçekleşen BEGA artışı, toprağın bitki atıklarını parçalayabilme yeteneğini ve besin elementlerinin bir sonraki ürün için yararlılığını yansıtmaktadır (Stott ve ark., 2010). Denemede yer alan toprak tipi, biyoçar çeşidi, biyoçar dozu ve gübre dozu faktörlerinin bireysel ve karşılıklı etkileşimlerinin her iki bitki yetiştirme dönemi sonunda alınan toprak örneklerinin BEGA konsantrasyonuna etkisini özetleyen varyans analizi sonuçları Çizelge 4.171’de verilmektedir. Buna göre ilk dönem sonunda BEGA toprak, BD ve GD faktörleri ile Toprak tipi x BÇ, MÇ x GD ve Toprak tipi x BÇ x GD interaksyonları tarafından önemli düzeyde etkilenmiştir. İkinci yetiştirme dönemi sonunda ise bireysel faktörlerin tamamı BEGA üzerine önemli düzeyde etkilemiştir. Faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinden ise Toprak tipi x BD, Toprak tipi x BÇ x BD, Toprak tipi x BD x GD, BÇ x BD x GD ve Toprak tipi x BÇ x BD x GD haricindeki interaksyonlar BEGA üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemiştir.

Çizelge 4.171. Uygulamaların toprakların beta glikosidaz enzim aktivitesi konsantrasyonlarına etkilerini gösteren varyans analizi tablosu

Kaynak	SD	Dönem 1				Dönem 2			
		Kareler Toplam	Kareler Ortalam	F	P	Kareler Toplam	Kareler Ortalam	F	P
Toprak (T)	1	1143.18	1143.18	6.73	<b>0.0099**</b>	204.53	204.53	9.46	<b>0.0023**</b>
Biyoçar Çeşidi (BÇ)	2	257.06	128.53	0.76	0.4700	197.63	98.82	4.57	<b>0.0111*</b>
Biyoçar Dozu (BD)	4	1526.82	381.71	2.25	0.0639	919.48	229.87	10.63	<b>&lt;0.0001**</b>
Gübre Dozu (GD)	4	2484.62	621.16	3.66	<b>0.0063**</b>	786.53	196.63	9.09	<b>&lt;0.0001**</b>
T*BÇ	2	8565.58	4282.79	25.22	<b>&lt;0.0001**</b>	2928.41	1464.21	67.71	<b>&lt;0.0001**</b>
T*BD	4	827.27	206.82	1.22	0.3032	98.46	24.61	1.14	0.3385
T*GD	4	1203.69	300.92	1.77	0.1343	1377.79	344.45	15.93	<b>&lt;0.0001**</b>
BÇ*BD	8	1799.94	224.99	1.32	0.2304	514.45	64.31	2.97	<b>0.0032**</b>
BÇ*GD	8	3722.36	465.30	2.74	<b>0.0062**</b>	567.22	70.90	3.28	<b>0.0013**</b>
BD*GD	16	4453.02	278.31	1.64	0.0581	1222.51	76.41	3.53	<b>&lt;0.0001**</b>
T*BÇ*BD	8	1917.94	239.74	1.41	0.1908	171.56	21.45	0.99	0.4424
T*BÇ*GD	8	2843.75	355.47	2.09	<b>0.0363*</b>	3998.74	499.84	23.11	<b>&lt;0.0001**</b>
T*BD*GD	16	2815.36	175.96	1.04	0.4179	614.44	38.40	1.78	<b>0.0336*</b>
BÇ*BD*GD	32	6529.96	204.06	1.20	0.2162	1083.02	33.84	1.57	<b>0.0304*</b>
T*BÇ*BD*GD	32	4202.59	131.33	0.77	0.8080	1647.82	51.49	2.38	<b>&lt;0.0001**</b>

\*. \*\* Uygulamalar arasındaki fark sırası ile  $P < 0.01$  ve  $P < 0.05$  düzeyinde önemlidir. ÖD: Farklılık önemli değil.  
SD: Serbestlik Derecesi

Toprak faktörü BEGA üzerine önemli düzeyde etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.171). İki farklı toprağa yapılan uygulamalar neticesinde belirlenen BEGA'si Şekil 4.82a'da gösterilmiştir. Deneme başlangıcında Kömeç toprağının ortalama BEGA 26.45 mikroyg p-NF/g toprak/saat ve Dökmetepe toprağının ise 10.76 mikroyg p-NF/g toprak/saat olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.5). Biyoçarların uygulandığı ilk dönem sonunda Kömeç toprağının ortalama BEGA miktarı (38.60 mikroyg p-NF/g toprak/saat) Dökmetepe toprağına (34.41 mikroyg p-NF/g toprak/saat) kıyasla önemli düzeyde yüksek iken, ikinci dönem sonunda her iki toprağın BEGA'de azalmıştır. İkinci dönem sonunda Dökmetepe toprağının BEGA'si Kömeç toprağına kıyasla daha yüksek olmuştur. Biyoçar uygulamalarında toprakların BEGA miktarının toprağın genetik yapısına bağlı olarak değiştiğini bildiren çok sayıda araştırma raporu yayınlanmıştır. Yedi gün süre ile kaba silt tekstürü mixed, mesic Xeric Haplocambids toprağın %2'lik biyoçar ile inkübasyonu sonunda beta-glikosidaz aktivitesinin arttığı belirlenmiştir (Bailey ve ark., 2011). Ancak araştırmacılar siltli tın tekstüre sahip mixed, mesic Pachic Ultic Haploxerolls ve kumlu mixed, mesic Xeric Torripsamments topraklarda ise önemli bir etki olmadığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.82. Biyoçar uygulamalarının a.) iki ayrı toprakta ve b.) üç ayrı biyoçar çeşidi altındaki toprağın betaglikosidaz enzim aktivitesi konsantrasyonuna etkileri

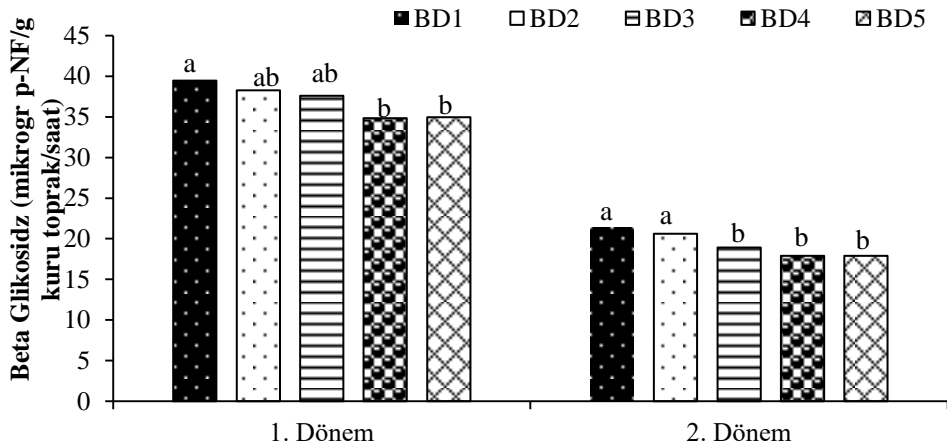
Uygulanan üç biyoçar çeşidi toprağın BEGA üzerine ilk dönem önemli bir etki yapmaz iken ( $P=0.4700$ ) ikinci dönem çeşit etkisi önemli düzeye ( $P=0.0111$ ) yükselmiştir (Çizelge 4.171). İlk dönem en yüksek BEGA'si çeltik biyoçarının (36.57 mikroyg p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem ise fasulye biyoçarının (20.17 mikroyg p-NF/g toprak/saat) uygulandığı topraklarda elde edilmiştir (Şekil 4.82b). Üç biyoçar çeşidinin uygulandığı toprakta da BEGA ilk döneme kıyasla ikinci dönem sonunda önemli düzeyde azalma göstermiştir. Bu azalma çeltik biyoçarında %51.2, mısırdaki %47.2 ve fasulyede ise %44.6 oranında olmuştur.

Uygulanan biyoçarların dozları toprağın BEGA üzerine etkisi ilk dönem önemsiz düzeyde ( $P=0.0639$ ) iken ve ikinci dönem  $P<0.01$  önem düzeyinde etki yapmıştır (Çizelge 4.171). Biyoçar dozları altında elde edilen ortalama BEGA değerleri Şekil 4.83’de gösterilmiştir. Buna göre, her iki dönemde de artan biyoçar dozu ile birlikte (BD1’den BD4’e kadar) BEGA azalmış ve BD5 ile önemsiz sayılabilecek küçük bir artış göstermiştir. Her iki dönemde de ortalama en yüksek BEGA, biyoçar bulunmayan BD1 (39.45 ve 21.41 mikrogr p-NF/g toprak/saat) uygulamasında elde edilmiştir. Tüm biyoçar dozlarında ikinci dönem elde edilen BEGA değerleri ilk döneme kıyasla önemli düzeyde azalmıştır. İkinci dönem daha düşük BEGA elde edilmesinin nedenlerinden bir tanesi, uzun süren inkübasyon, tarla veya saksı çalışmalarında biyoçar yüzeylerine mikroorganizmaların, enzimlerin veya C substratlarının adsorpsiyonu olarak açıklanmıştır (Lehmann et al., 2011). Bu çalışmada da ikinci dönemde BEGA’nın ilk döneme kıyasla önemli düzeyde azalması aynı mekanizma ile açıklanabilir.

İlk ve ikinci dönemde, kontrole kıyasla BEGA azalması BD2 ile %3.03 ve %3.7, BD3 ile %4.75 ve %11.69, BD4 ile %11.75 ve %16.4 ve BD5 ile %11.45 ve %16.35 oranındadır. Biyoçar ilavesi ile topraktaki BEGA miktarının azalmasını bildiren başka çalışmalarda olmuştur. BEGA azalmayı açıklamaya yardımcı olacak birkaç olası mekanizma bulunmaktadır. Biyoçar yüzeyinde enzimlerin veya substratların potansiyel sorpsiyolarının enzimlerin denatüre olmalarına neden olması durumunda, beta glikosidaz gibi hücre dışı enzimlerin aktivitelerini azaltabileceği bildirilmiştir. Eğer enzim yüzeye adsorbe olursa aktif bölgenin morfolojisinde değişikliğe eden olacağından dolayı enzimin daha uzun süre fonksiyon gösteremeyeceği de belirtilmiştir (Burns, 1982). Lammirato ve ark. (2011) da kestane odunu biyoçarının selülobiyozun parçalanmasında etkili olan beta glikosidazın %30 azalmasına neden olduğunu rapor etmişlerdir. Bu reaksiyondaki azalmanın beta-glikosidazın aktivitesindeki azalmadan ziyade kestane odunundan üretilen biyoçarın selülobiyozu adsorbe etmesinin bir sonucu olduğu belirtilmiştir. Başka bir çalışmada, Paz-Ferreiro ve ark. (2012) %4 ve %8’lik atık çamuru biyoçarı ilavesinden sonra toprak mikrobiyal biyokütlenin solunumunun arttığını ve beta-glikosidaz aktivitesinin azaldığını bildirmişlerdir. Biyoçar uygulamasının BEGA aktivitesinin azalmasına neden olduğu alkali bir toprakta sulama yapılarak üretim yapılan bir alanda uygulanan dallı darı bitkisinden üretilen biyoçarı uygulayan Bailey ve ark. (2011), siltli tın bir toprağa mısır üretimi yapılan tarla denemesinde mısır saplarından elde ettikleri biyoçarı uygulayan (Jin, 2010) tarafından da rapor edilmiştir.

Organik madde, enzimler için ana kaynak olan mikrobiyal biyokütlenin artışı sağladığından enzim aktiviteleri ile organik madde içeriği arasında pozitif bir korelasyon

vardır. Zira genel olarak toprak enzimlerinin aktiviteleri organik maddenin parçalanması ile artış gösterir (Tabatabai, 1994). Farklı arazi kullanım türleri altındaki toprakların enzim aktivitelerini karşılaştıran Acosta-Martínez ve ark. (2007), toprakların organik madde kapsamına bağlı olarak BEGA'nin 1.04 to 63.4 mg kg<sup>-1</sup> toprak saat<sup>-1</sup> arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar mera topraklarında BEGA'nin orman ve tarım arazilerinde topraklara kıyasla daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir. Her ne kadar organik bir atık olsa da içerisindeki karbon çok sıkı bir şekilde bağlı olduğundan dolayı mikroorganizmaların kullanımına uygun değildir. Spokas ve ark. (2009), biyoçarın toprakta izasyonu azalttığını ve CO<sub>2</sub> çıkışını bastırdığını bildirmişlerdir. Bu durumda topraktaki organik maddenin de mikroorganizmalar tarafından kullanımının azaltılması BEGA aktivitesinin de azalmasına neden olmaktadır. Bu azalmanın nedeni biyoçarın kimyasal olarak değişime uğramış olması ve toprakta substrat için bağlanma yerlerini kapaması şeklinde açıklanmıştır (Bailey ve ark., 2011).



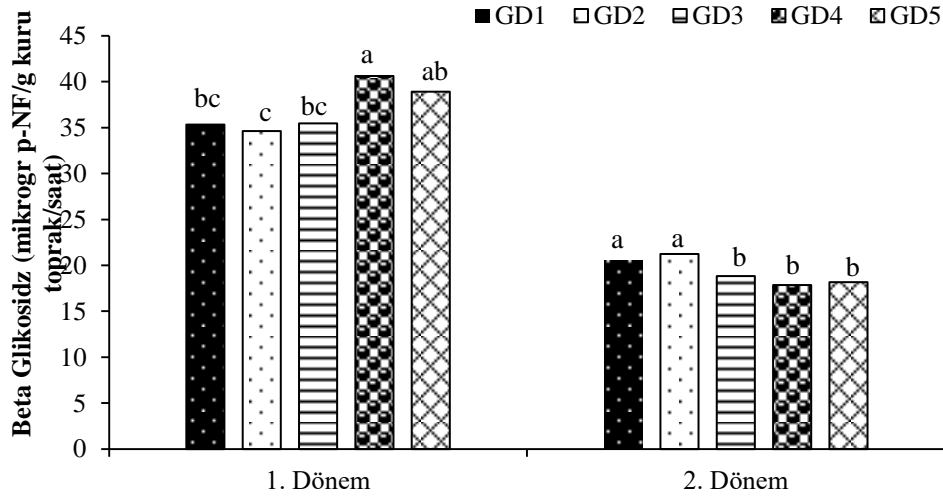
Şekil 4.83. Biyoçar dozu (BD) uygulamalarının toprakların betaglikosidaz enzim aktivitesi konsantrasyonuna etkileri

BD1, Kontrol (%0 Biyoçar); BD2, %0.5 Biyoçar; BD3, %1.0 Biyoçar; BD4, %2.0 Biyoçar; BD5, %3.0 Biyoçar

Gübre dozu uygulamaları her iki dönemde de BEGA üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.171). GD uygulamaları altında belirlenen ortalama BEGA değerleri Şekil 4.84'de gösterilmiştir. Buna göre ilk dönem ortalama en yüksek BEGA, GD4 (40.63 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem GD1 (21.25 mikrogr p-NF/g toprak/saat) uygulamaları ile elde edilmiştir. En düşük MEGA ise ilk dönem GD2 (34.63 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem GD4 (17.89 mikrogr p-NF/g toprak/saat) uygulamalarında olduğu görülmüştür. Toprağa ilave edilen besin elementi miktarındaki değişimle toprağın BEGA miktarı arasında belirgin bir ilişki gözlemlenememiştir. Mısır yetiştiriciliği yapılan siltli tın tektüründeki bir toprakta kurulan tarla denemesinde Amerika dışbudağı, meşe, akçaağaç ve kayın ağaçlarının odunlarının karışımından üretilen biyoçarı kullanan Bera ve ark. (2016), biyoçarın NPK'lı gübrelerle birlikte kullanıldığında beta-glikosidaz enzim aktivitesini

azalttığını, ancak sıvı hayvan gübresi ile kullanıldığında beta-glikosidaz enzim aktivitesini değiştirmedini bildirmişlerdir.

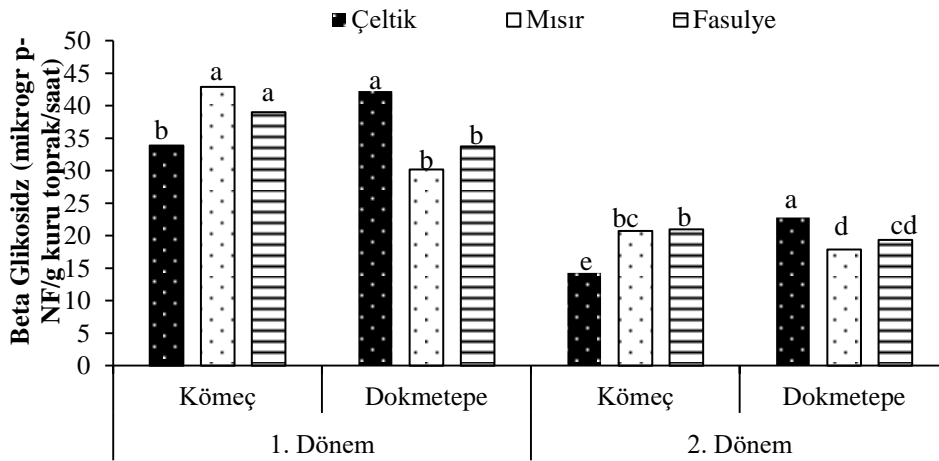
Dört yıllık bir çalışmada siltli tın tekstüründeki mixed, mesic Aeric Endoaquepts toprağına bir kez ilave edilen 12 Mg ha<sup>-1</sup> mısır biyoçarı ve her yıl yapılan gübreleme ile mikrobiyal biyokütlenin %66 oranında arttığı bildirilmiştir (Güereña ve ark., 2013). Bir sera denemesinde Lu ve ark. (2015) hacim olarak %1.5 oranında okalıptus ve tavuk gübresi biyoçarı uygulamasının ağır metal ile kirletilmiş bir toprakta beta-glikosidaz aktivitesini arttırdığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada sadece sıvı hayvan gübresi bulunan GD1 uygulamasında ortalama BEGA miktarı ilk dönem %25 besin elementi ilaveli uygulamaya kıyasla bir miktar yüksek BEGA elde edilmesine neden olmuş, ancak tam gübreleme yapılan GD4 ve GD5 uygulamalarından önemli düzeyde düşük kalmıştır. Tam gübreleme yapılmasına rağmen aralarındaki tek farkın sıvı hayvan gübresi olduğu GD4 (sıvı hayvan gübrelili) ve GD5 uygulamalarında ise her iki dönemde de istatistiksel olarak önemli olmamıştır.



Şekil 4.84. Gübre dozu (GD) uygulamalarının toprakların betaglikosidaz enzim aktivitesi konsantrasyonuna etkileri

GD1, Sadece Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçar (SHG); GD2, SHG + Tam gübrelemenin yarısı; GD3, SHG + Tam gübrelemenin dörtte biri; GD4, SHG + Tam Gübreleme; GD5, Zenginleştirilmemiş Biyoçar + Tam Gübreleme

Toprak tipi ve BÇ faktörlerinin interaksyonları her iki dönemde de BEGA üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.171). Toprak x çeşit interaksyonlarında elde edilen ortalama BEGA değerleri Şekil 4.85’de gösterilmiştir. BEGA her iki toprakta da tüm biyoçar çeşitlerinde ilk dönem sonu değerleri ikinci döneme kıyasla daha yüksektir. Kömeç toprağına ilk dönem mısır biyoçarı uygulanan toprakların ortalama BEGA değeri (42.92 mikrogr p-NF/g toprak/saat) diğer iki çeşide kıyasla önemli düzeyde yüksek çıkmıştır. Dökmetepe toprağına ise en yüksek BEGA değeri her iki dönem de çeltik uygulanan (42.26 ve 22.81 mikrogr p-NF/g toprak/saat) topraklarda elde edilmiştir.



Şekil 4.85. Biyoçar çeşidi uygulamalarının iki ayrı toprağın betaglikosidaz enzim aktivitesi konsantrasyonuna etkileri

Toprak tipi ve BD faktörlerinin interaksiyonları her iki dönemde de topraktaki BEGA üzerine önemli düzeyde etki yapmamıştır ( $P=0.3032$  ve  $P=0.3385$ ) Çizelge 4.171). Toprak tipi x BD interaksiyonunda elde edilen ortalama BEGA değerleri Çizelge 4.172’de verilmiştir. Buna göre ilk dönem en yüksek BEGA, Kömeç x BD2 (40.25 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem Dökmetepe x BD1 (22.90 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük ortalama BEGA ilk dönem Dökmetepe x BD5 (31.56 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ikinci dönem ise Kömeç x BD5 (17.02 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksiyonunda olduğu görülmüştür. Her iki dönemde de hem Kömeç hem de Dökmetepe topraklarında BD artışı ile birlikte BEGA önemli oranda azalmıştır.

Toprak tipi ve GD faktörlerinin interaksiyonlarının BEGA üzerine etkisi ilk dönem önemli bulunmaz ( $P=1209$ ) iken ikinci dönem bu etki  $P<0.01$  önem düzeyinde etkili bulunmuştur (Çizelge 4.171). Toprak x GD interaksiyonunda elde edilen ortalama BEGA değerleri Çizelge 4.172’de verilmiştir. Buna göre en yüksek BEGA ilk dönem Kömeç x GD4 (43.77 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem ise Kömeç x GD2 (22.82 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksiyonlarında tespit edilmiştir. En düşük ortalama BEGA ilk dönem Dökmetepe x GD1 (33.08 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem Kömeç x GD5 (15.17 mikrogr p-NF/g toprak/saat) uygulamalarında elde edilmiştir. GD ile BEGA değerleri arasında belirgin bir azalma veya artma eğilimi bulunmamaktadır. İlk dönem GD artışı kontrole kıyasla çoğunlukla BEGA değerinde azalmaya neden olurken, ikinci dönem GD artışında BEGA değeri GD1 uygulamasına kıyasla daha düşük bulunmuştur. Kömeç toprağında tam gübreleme yapılan GD4 ve GD5 uygulamalarında ilk dönem BEGA değerleri GD1 uygulamasına kıyasla sırası ile %16.36 ve %12.12 oranında artış gösterirken ikinci dönem bu tam tersine %26.81 ve %28.84 düzeyinde azalmaya neden olmuştur.

Çizelge 4.172. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) ve toprak tipi x gübre dozu (GD) interaksyonlarının beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri

	1. Dönem		2. Dönem	
	Kömeç	Dökmetepe	Kömeç	Dökmetepe
<b>BD1</b>	38.69 ab	<b>40.21 a</b>	19.92 bcd	<b>22.90 a</b>
<b>BD2</b>	<b>40.25 a</b>	36.26 abc	20.13 bc	21.08 ab
<b>BD3</b>	<b>39.65 a</b>	35.51 abc	18.61 c-f	19.20 b-e
<b>BD4</b>	36.11 abc	33.53 bc	17.67 ef	18.11 def
<b>BD5</b>	38.31 ab	<b>31.56 c</b>	<b>17.02 f</b>	18.80 c-f
<b>GD1</b>	37.61 bc	<b>33.08 c</b>	21.32 ab	19.75 bc
<b>GD2</b>	<b>33.80 c</b>	<b>35.45 c</b>	<b>22.82 a</b>	19.68 bc
<b>GD3</b>	35.66 c	<b>35.33 c</b>	18.43 c	19.28 c
<b>GD4</b>	<b>43.77 a</b>	37.50 bc	<b>15.61 d</b>	20.17 bc
<b>GD5</b>	42.17 ab	<b>35.72 c</b>	<b>15.17 d</b>	21.21 ab

Biyoçar çeşidi ve BD faktörlerinin interaksyonlarının BEGA üzerine etkisi ilk dönem önemli düzeyde değil iken ( $P=0.1343$ ) ikinci dönem sonunda önemli düzeyde bulunmuştur (Çizelge 4.171). İlk dönem fasulye x BD3 ve çeltik x BD1 (41.35 ve 41.16 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksyonları ile ikinci dönem fasulye x BD1 interaksyonu (22.76 mikrogr p-NF/g toprak/saat) en yüksek BEGA değerlerinin elde edilmesine neden olmuşlardır. Buna karşılık ilk dönem fasulye x BD5 (32.13 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem çeltik x BD5 (15.89 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ile fasulye x BD4 (16.74 mikrogr p-NF/g toprak/saat) uygulamaları diğer interaksyonlara kıyasla BEGA değerinin önemli düzeyde azalmasına neden olmuşlardır (Çizelge 4.173). Biyoçar doz artışı ilk dönem Dökmetepe x BD3 haricinde her iki dönemde uygulanan 3 biyoçar çeşidinin uygulandığı topraklarda da BEGA değerlerinin azalmasına neden olmuştur. BEGA değerinin doz artışı ile azalması çeltik ve fasulye biyoçarı uygulamalarında çok daha yüksek olmuştur. Biyoçar miktarının artışı ile BEGA azalmasının nedenlerinden birinin de biyoçarın toprak pH'sının artmasına yol açması olduğu düşünülmektedir. Eivazi ve Tabatai (1990), BEGA'nın toprak pH'sındaki değişime karşı oldukça hassas olduğunu ve pH'nın 4.5'dan 8.5'a doğru artışında BEGA'nın da önemli miktarda azaldığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada uygulanan fasulye biyoçarının pH'sının 12.1, çeltik kavuzunun 10.2 ve mısır koçanı biyoçarının ise 9.21'dir (Çizelge 3.1). Deneme topraklarının deneme öncesi pH'larının 8.22 (Kömeç) ve 8.15 (Dökmetepe) olduğu ve biyoçar uygulamaları ile Kömeç toprağının pH'sının 8.62 (çeltik), 8.64 (mısır) ve 8.69 (fasulye)'a, Dökmetepe'nin ise 8.63 (çeltik), 8.65 (mısır) ve 8.73 (fasulye)'e yükseldiği belirlenmiştir. Tüm biyoçar çeşitlerinin uygulandığı toprakların pH'larının yükselmesine, her iki toprakta da BEGA'nın düşmesine neden olduğu düşünülmektedir.

Biyoçar çeşidi ve GD interaksyonları her iki dönemde de BEGA üzerine önemli düzeyde etki yapmıştır (Çizelge 4.171). Tam gübreleme yapılan GD4 ve GD5 uygulamaları ile birlikte çeltik biyoçarında ilk dönem BEGA değeri kontrole kıyasla %16.09 ve %7.0



oranında artmış ikinci dönem ise %10.25 ve %2.51 oranında azalmıştır (Çizelge 4.173). Mısır biyoçarında GD4 ve GD5 uygulamaları GD1'e kıyasla BEGA değerinin ilk dönem %20.06 ve %31.96 oranında artarken ikinci dönem %8.48 ve %13.21 oranında azalmasına neden olmuştur. Fasulye biyoçarında ise ilk dönem GD4 uygulaması BEGA değerinde GD1 ile kıyaslandığında %9.12 artış göstermiş ancak ikinci dönem GD4 uygulamasının olduğu topraklarda BEGA değeri ortalama %19.10 oranında azalmıştır. Biyoçarın ilk dönem uygulanmış olması bu farklılığın temel nedenidir. Fasulye biyoçarında GD5 uygulaması ise her iki dönemde de BEGA değerinin GD1'e kıyasla önemli oranda azalmasına neden olmuştur. İkinci dönem çeltik x GD5 uygulaması kontrole kıyasla %25.76 ve ikinci dönem fasulye x GD4 uygulaması kontrole göre %26.44 oranında azalmasına neden olmuştur.

Çizelge 4.173. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) ve biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri

	1. Dönem			2. Dönem		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>BD1</b>	<b>41.16 a</b>	37.77 a-d	39.43 abc	21.40 ab	20.07 bcd	<b>22.76 a</b>
<b>BD2</b>	40.72 ab	39.26 abc	34.79 a-d	20.03 bcd	19.81 bcd	21.98 ab
<b>BD3</b>	37.16 a-d	34.24 bcd	<b>41.35 a</b>	17.41 ef	20.35 bc	18.96 cde
<b>BD4</b>	36.25 a-d	34.00 a-d	34.21 bcd	17.98 def	18.96 cde	16.74 ef
<b>BD5</b>	35.07 a-d	37.61 abc	<b>32.13 d</b>	<b>15.89 f</b>	17.44 ef	<b>15.94 f</b>
<b>GD1</b>	38.16 a-e	<b>32.18 e</b>	35.70 ce	18.70 cde	20.43 bcd	22.48 ab
<b>GD2</b>	35.04 cde	35.98 b-e	32.86 de	20.59 bc	<b>23.02 a</b>	20.14 bcd
<b>GD3</b>	<b>32.02 e</b>	33.62 de	40.83 abc	18.41 cde	<b>16.74 e</b>	21.41 ab
<b>GD4</b>	<b>44.30 a</b>	38.63 a-e	38.96 a-d	<b>16.78 e</b>	18.70 cde	18.19 de
<b>GD5</b>	40.83 abc	42.46 ab	33.54 de	18.23 de	17.73 e	18.62 cde

Biyoçar dozu ve GD faktörlerinin interaksiyonları ilk dönem BEGA önemli etki yapmaz iken ( $P=0.0581$ ), ancak bu etki ikinci dönemde oldukça önemli bulunmuştur (Çizelge 4.171). İlk dönem en yüksek ortalama BEGA değeri BD1 x GD5 (46.73 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem ise BD1 x GD2 (25.73 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük ortalama BEGA değerleri ise ilk dönem BD4 x GD5 (28.40 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem BD5 x GD5 (15.30 mikrogr p-NF/g toprak/saat) uygulamalarında elde edilmiştir (Çizelge 4.174).

Toprak tipi, BÇ ve BD faktörlerinin BEGA üzerine etkileri her iki dönemde de istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur ( $P=0.1908$  ve  $P=0.4424$ ). En yüksek BEGA oluşumu her iki dönemde de Dökmetepe x çeltik x BD1 (47.80 ve 27.77 mikrogr p-NF/g toprak/saat) uygulamalarında elde edilmiştir. En düşük ortalama BEGA değerleri ise ilk dönem Dökmetepe x fasulye x BD4 (24.89 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem Kömeç x çeltik x BD5 (12.23 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksiyonlarında olduğu görülmüştür (Çizelge 4.175). İlk dönem mısır biyoçarı haricinde iki dönemdeki tüm uygulamalarda BD

artışı ile BEGA artışı söz konusudur. Kömeç x mısır interaksiyonunda ilk dört BD arasında BEGA değerleri açısından önemli bir fark olmamasına rağmen BD5 uygulamasında BEGA değeri önemli düzeyde artış göstermiştir.

Çizelge 4.174. Biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonlarının beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri

1. Dönem					
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
GD1	38.52 a-e	32.64 c-f	36.44 b-f	34.34 c-f	32.46 def
GD2	39.23 a-e	35.08 def	33.38 c-f	36.45 b-f	31.43 ef
GD3	32.71 def	44.27 ab	40.51 a-d	33.58 c-f	35.59 c-f
GD4	40.07 a-d	44.30 ab	37.93 b-e	41.33 abc	39.55 a-e
GD5	<b>46.73 a</b>	36.44 b-f	39.65 a-e	<b>28.40 f</b>	35.65 c-f
2. Dönem					
GD1	21.24 bcd	19.01 d-i	19.81 c-h	20.15 c-g	22.47 bc
GD2	<b>25.73 a</b>	22.07 abc	23.39 ab	17.85 f-j	16.52 ij
GD3	18.71 d-i	20.07 c-h	18.69 d-i	18.13 e-j	18.67 d-i
GD4	20.28 c-f	20.14 c-g	15.40 j	17.04 hij	16.58 ij
GD5	21.09 b-e	21.04 b-e	17.23 gj	16.31 ij	<b>15.30 j</b>

Çizelge 4.175. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
BD1	34.52e-l	42.52a-f	39.04a-i	47.80a	33.02g-m	39.82a-i
BD2	36.95b-j	41.55a-h	42.26a-g	44.48a-d	36.98b-j	27.32klm
BD3	32.35h-m	41.83a-g	44.79abc	41.97a-g	26.64lm	37.91b-j
BD4	31.67i-m	43.11a-e	33.54f-m	40.83a-i	24.89m	34.88e-l
BD5	33.93e-m	45.63ab	35.37d-l	36.21c-k	29.59j-m	28.88j-m
2. Dönem						
BD1	15.04jkl	21.25b-g	23.48b	27.77a	18.89e-i	22.03b-e
BD2	16.28h-k	21.17b-g	22.95bc	23.79b	18.45f-i	21.01b-g
BD3	13.40kl	22.69bcd	19.73c-g	21.41b-f	18.00g-j	18.20f-j
BD4	14.45kl	20.00c-g	18.57f-i	21.51b-f	17.92g-j	14.91jkl
BD5	<b>12.23l</b>	18.72e-i	18.2f-i	19.55d-h	16.16ijk	14.67kl

Toprak tipi, BÇ ve GD faktörlerinin interaksiyonları ilk dönem  $P < 0.05$  ( $P = 0.0363$ ) ve ikinci dönem  $P < 0.01$  önem düzeyinde toprakların BEGA değerleri üzerine etki yapmış ve farklılaşmasına neden olmuştur (Çizelge 4.171). İlk dönem en yüksek BEGA Kömeç x mısır x GD5 (54.03 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem en yüksek BEGA ise Kömeç x mısır x GD2 (29.09 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksiyonlarında elde edilmiştir. En düşük ortalama BEGA değerleri ise ilk dönem Kömeç x çeltik x GD2 (26.94 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem Kömeç x fasulye x GD5 (11.97 mikrogr p-NF/g toprak/saat) uygulamalarında olduğu görülmüştür (Çizelge 4.176).

Çizelge 4.176. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x gübre dozu (GD) interaksyonunun beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri

1. Dönem						
	Kömeç			Dökmetepe		
	Çeltik	Mısır	Fasulye	Çeltik	Mısır	Fasulye
<b>GD1</b>	34.93e-l	34.13f-l	43.78b-e	41.40b-h	30.23jkl	27.62kl
<b>GD2</b>	<b>26.94l</b>	40.92b-h	33.55g-l	43.14b-j	31.03i-l	32.18h-l
<b>GD3</b>	28.46k-l	36.90c-k	41.61b-g	35.58e-l	30.35jkl	40.05b-i
<b>GD4</b>	42.76b-g	48.65ab	39.89b-i	45.84abc	28.61kl	38.03c-j
<b>GD5</b>	36.33d-k	<b>54.03a</b>	36.16d-l	45.33a-d	30.89i-l	30.93i-l
2. Dönem						
<b>GD1</b>	22.66c-e	23.15c-f	28.16ab	24.73c	17.71h-l	16.80j-n
<b>GD2</b>	15.07l-p	<b>29.09a</b>	24.30cd	26.12abc	16.95i-n	15.98k-o
<b>GD3</b>	17.20i-m	13.76nop	24.31cd	19.62g-j	19.72g-j	18.50g-k
<b>GD4</b>	13.96m-p	16.76j-n	16.10k-n	19.60g-j	20.63e-h	20.27f-i
<b>GD5</b>	<b>12.50p</b>	21.05d-g	<b>11.97p</b>	23.95cde	14.41l-p	25.27bc

Toprak tipi, BD ve GD faktörlerinin BEGA üzerine etkileri ilk dönem önemsiz iken (P=0.4179) ikinci dönem P<0.05 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.171). Buna göre Kömeç x BD1 x GD5 (49.47 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ilk dönemde ve Dökmetepe x BD2 x GD5 (26.53 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ikinci dönemde en yüksek BEGA elde edilmesine neden olmuştur. En düşük BEGA elde edilen uygulamalar ise ilk dönem Dökmetepe x BD4 x GD5 (26.20 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem Kömeç x BD5 x GD4 (11.26 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksyonları olmuştur (Çizelge 4.177). Her iki toprakta da ilk dönem BD'ları altında uygulanan gübre miktarının artışı topraktaki BEGA miktarının artışına neden olduğu görülmektedir. İkinci dönem ise bu etki çok belirgin değildir.

Çizelge 4.177. Toprak tipi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksyonunun beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri

1. Dönem										
	Kömeç					Dökmetepe				
	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
<b>GD1</b>	34.44	38.48	40.69	40.20	34.25	42.60	31.49	32.19	28.47	30.67
<b>GD2</b>	35.53	35.00	35.03	32.19	31.26	42.94	30.28	31.73	40.70	31.59
<b>GD3</b>	34.07	35.79	34.63	33.40	40.41	31.35	34.37	46.39	33.76	30.76
<b>GD4</b>	39.95	46.68	45.00	44.15	43.06	40.19	41.86	30.86	38.52	36.04
<b>GD5</b>	<b>49.47 a</b>	45.31	42.92	30.60	42.56	43.99	43.30	36.37	<b>26.20 l</b>	28.74
2. Dönem										
<b>GD1</b>	20.92	20.89	19.49	20.56	24.76	21.56	17.14	20.13	19.73	20.18
<b>GD2</b>	25.23	25.26	26.14	20.07	17.40	26.23	20.28	20.65	15.62	15.64
<b>GD3</b>	17.03	19.33	18.80	18.54	18.43	20.39	20.82	18.59	17.71	18.92
<b>GD4</b>	19.04	19.62	13.12	15.00	<b>11.26 m</b>	21.53	20.66	17.68	19.07	21.91
<b>GD5</b>	17.39	15.56	15.49	14.18	13.26	24.79	<b>26.53 a</b>	18.97	18.44	17.33

Biyoçar çeşidi x BD ve GD faktörlerinin interaksyonları toprakların BEGA miktarı üzerine ilk dönem önemli düzeyde etki yapmamış (P=0.2162) ancak bu etki ikinci dönem önemli (P=0.0304) bulunmuştur (Çizelge 4.171). En yüksek ortalama BEGA miktarı ilk dönem mısır x BD2 x GD5 (55.43 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem ise çeltik x BD1 x GD2 (28.55 mikrogr p-NF/g toprak/saat) uygulamalarında görülmüştür. En düşük

ortalama BEGA miktarı ise ilk dönem fasulye x BD4 x GD5 (23.40 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem ise fasulye x BD4 x GD4 (13.11 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksiyonlarında elde edilmiştir (Çizelge 4.178).

Çizelge 4.178. Biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri

1. Dönem						
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Çeltik	GD1	44.50	35.23	34.22	38.82	38.04
	GD2	40.54	33.04	33.74	36.17	31.69
	GD3	31.79	34.85	36.27	26.08	31.13
	GD4	40.18	51.63	38.86	52.59	38.25
	GD5	48.82	48.82	42.71	27.58	36.23
Mısır	GD1	28.69	33.88	37.89	28.58	31.85
	GD2	46.67	40.39	27.10	33.67	32.06
	GD3	29.65	31.77	32.84	33.56	40.29
	GD4	37.24	34.84	33.62	39.98	47.49
	GD5	46.58	<b>55.43 a</b>	39.73	34.20	36.35
Fasulye	GD1	42.38	35.83	37.21	35.61	27.49
	GD2	30.50	24.49	39.29	39.49	30.54
	GD3	36.70	38.62	52.42	41.10	35.33
	GD4	42.79	46.35	41.32	31.43	32.91
	GD5	44.79	28.66	36.51	<b>23.40 o</b>	34.36
2. Dönem						
Çeltik	GD1	20.49	17.46	15.82	20.46	19.27
	GD2	<b>28.55 a</b>	23.08	21.05	15.89	14.39
	GD3	19.71	21.27	18.36	15.65	17.09
	GD4	16.63	16.52	16.34	19.60	14.82
	GD5	21.64	21.85	15.46	18.30	13.89
Mısır	GD1	20.50	16.05	21.60	20.51	23.50
	GD2	24.96	23.97	28.37	22.26	15.54
	GD3	14.49	17.67	17.58	18.51	15.48
	GD4	20.64	23.60	15.81	18.40	15.04
	GD5	19.74	17.76	18.39	15.12	17.64
Fasulye	GD1	22.74	23.53	22.02	19.48	24.63
	GD2	23.67	21.25	20.76	15.39	19.63
	GD3	21.93	21.28	20.15	20.22	23.45
	GD4	23.58	20.30	14.04	<b>13.11 x</b>	19.89
	GD5	21.87	23.52	17.84	15.50	14.36

Denemede yer alan toprak tipi, BÇ x BD ve GD faktörlerinin interaksiyonları ilk dönem toprakların ortalama BEGA miktarı üzerine önemli düzeyde etki yapmaz iken bu etki ikinci dönem (P=0.8080) oldukça önemli bulunmuştur (Çizelge 4.171). En yüksek ortalama BEGA miktarı ilk dönem Dökmetepe x fasulye x BD3 x GD3 (64.55 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem ise Dökmetepe x çeltik x BD1 x GD2 (39.71 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksiyonlarında elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük BEGA değerleri ise ilk dönem Dökmetepe x fasulye x BD2 x GD2 (16.12 mikrogr p-NF/g toprak/saat) ve ikinci dönem ise Kömeç x fasulye x BD5 x GD4 (8.30 mikrogr p-NF/g toprak/saat) interaksiyonlarında görülmüştür (Çizelge 4.179).

Çizelge 4.179. Toprak tipi x biyoçar çeşidi x biyoçar dozu (BD) x gübre dozu (GD) interaksiyonunun beta glikosidaz enzim aktivitesine (mikrogr p-NF/g toprak/saat) etkileri

1. Dönem																
		Çeltik					Mısır					Fasulye				
		BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5	BD1	BD2	BD3	BD4	BD5
Kömç	GD1	27.06	33.77	35.13	40.34	38.33	30.78	30.03	41.06	36.66	32.12	45.49	51.63	45.89	43.60	32.31
	GD2	32.63	29.34	25.91	24.59	22.23	44.71	42.81	34.48	38.35	44.26	29.24	32.86	44.69	33.64	27.31
	GD3	31.73	29.83	29.59	21.41	29.75	29.19	34.00	34.00	40.98	46.34	41.30	43.54	40.29	37.80	45.14
	GD4	33.93	53.51	39.00	48.77	38.59	48.11	37.28	44.26	55.62	57.99	37.80	49.25	51.74	28.05	32.59
	GD5	47.26	38.30	32.10	23.26	40.73	59.79	63.61	55.34	43.93	47.45	41.37	34.01	41.32	24.59	39.48
Dökmetepe	GD1	61.93	36.69	33.31	37.30	37.75	26.60	37.73	34.72	20.50	31.59	39.26	20.04	28.53	27.62	22.67
	GD2	48.44	36.75	41.58	47.76	41.15	48.63	37.98	19.72	28.99	19.86	31.75	<b>16.12</b>	33.89	45.35	33.77
	GD3	31.85	39.87	42.95	30.74	32.51	30.11	29.55	31.68	26.14	34.25	32.10	33.70	<b>64.55</b>	44.39	25.53
	GD4	46.42	49.76	38.72	56.42	37.91	26.37	32.39	22.98	24.34	36.99	47.78	43.44	30.89	34.80	33.22
	GD5	50.38	59.34	53.32	31.90	31.73	33.38	47.25	24.11	24.47	25.26	48.20	23.30	31.69	22.22	29.24
2. Dönem																
Kömç	GD1	13.43	14.67	10.74	12.88	11.59	21.71	17.56	21.93	23.71	30.86	27.62	30.43	25.82	25.10	31.83
	GD2	17.40	18.48	16.42	11.31	11.75	29.57	31.65	36.92	30.03	17.29	28.71	25.64	25.09	18.87	23.17
	GD3	13.79	19.09	19.64	17.32	16.18	13.87	16.58	13.21	13.16	12.01	23.43	22.32	23.56	25.15	27.11
	GD4	14.49	14.43	10.73	17.80	12.36	18.98	19.63	16.70	15.38	13.12	23.65	24.80	11.92	11.83	<b>8.30</b>
	GD5	16.07	14.72	9.50	12.94	9.29	22.10	20.42	24.71	17.71	20.32	13.99	11.54	12.24	11.88	10.18
Dökmetepe	GD1	27.54	20.24	20.91	28.04	26.95	19.28	14.54	21.27	17.31	16.15	17.85	16.62	18.22	13.85	17.44
	GD2	<b>39.71</b>	27.68	25.69	20.46	17.03	20.35	16.30	19.82	14.49	13.79	18.62	16.87	16.43	11.91	16.09
	GD3	25.63	23.44	17.08	13.98	17.99	15.11	18.76	21.94	23.86	18.95	20.43	20.25	16.74	15.29	19.80
	GD4	18.76	18.61	21.96	21.40	17.28	22.30	27.56	14.92	21.43	16.96	23.52	15.81	16.17	14.39	31.49
	GD5	27.22	28.98	21.42	23.66	18.49	17.38	15.11	12.07	12.54	14.96	29.75	35.50	23.43	19.13	18.54

#### 4.5. Korelasyon Analizleri

Her iki uygulama dönemi sonunda Kömeç ve Dökmetepe topraklarında yetiştirilen buğday bitkilerinin kuru madde verimi, bir kısım besin elemanı kapsamı ve toprakların fiziksel kimyasal ve biyolojik özellikleri arasındaki ilişkileri görebilmek amacıyla korelasyon testi yapılmıştır. Korelasyon testi sonuçları her dönemde Kömeç ve Dökmetepe toprakları için ayrı ayrı olacak şekilde Çizelge 4.180-4.183 arasında verilmiştir.

İlk dönem sonunda Kömeç toprağında yetiştirilen buğday bitkisinin KM verimi ile bitkinin bileşenlerinden Zn ( $r=-0.24$ ) konsantrasyonunun negatif, K ( $r=0.46$ ), P ( $r=0.78$ ) ve N ( $r=0.63$ ) konsantrasyonlarının ise önemli düzeyde pozitif bir korelasyona sahip oldukları görülmüştür (Çizelge 4.180). Aynı dönem sonunda KM verimi ile belirlenen toprak özelliklerinden Nmin ve MBC haricindeki tüm toprak özellikleri ile önemli düzeyde pozitif bir ilişkisi (pH hariç,  $r=-0.37$ ) olduğu tespit edilmiştir. Toprak pH'sının artışı her iki dönemde de Kömeç toprağında yetişen buğdayın kuru madde verimini olumsuz etkilemiştir. Bu olumsuz etkiyi bitki örneklerinin besin elementi içeriklerinde görmek mümkündür. Bitkinin Zn, Fe ve P konsantrasyonları pH'nın artışı ile önemli düzeyde azalmıştır. Bitki P konsantrasyonu pH artışından önemli düzeyde etkilenmiş ve her iki dönemde de pH artışı ile bitki P konsantrasyonu önemli oranda azalma göstermiştir ( $r=-0.37$  ve  $-0.41$ ). Toprak özelliklerinde de bitki de olduğu gibi KM verimi ile en güçlü korelasyon yarayımlı P konsantrasyonu ( $r=0.79$ ) ile gerçekleşmiştir. Toprağın P, K ve Zn gibi temel besin elementlerinin konsantrasyonlarının artması buğdayın KM veriminin önemli düzeyde artmasına neden olmuştur. Benzer ilişkinin toprağın nem içerikleri ile de olduğu tespit edilmiştir. Bitkinin KM verimi TK ( $r=0.36$ ), SN ( $r=0.32$ ) ve YSİ ( $r=0.37$ ) ile önemli düzeyde ( $P<0.01$ ) pozitif bir korelasyona sahiptir. İlk dönem toprakta kritik seviyenin altında bulunan Zn'nun konsantrasyonu ile toprak pH'sı arasında önemli düzeyde negatif korelasyon ( $r=-0.57$ ) tespit edilmesine rağmen, gübre şeklinde Zn takviyesinin yapılmaya devam etmesi ile ikinci dönem pH artışına yarayımlı Zn konsantrasyonunun azalmadığı görülmektedir.

İlk döneme benzer şekilde ikinci dönem sonunda da bitkinin bileşenleri ile KM verimi arasında önemli düzeyde pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.182). En güçlü korelasyon bitki P konsantrasyonu ( $r=0.67$ ) ile elde edilirken bunu sırası ile N ( $r=0.54$ ), K ( $r=0.39$ ) ve Zn=Fe ( $r=0.24$ ) takip etmiştir. Biyoçar ve sıvı hayvan gübresi ile toprağa katılan besin elementlerinin büyük kısmı ilk dönem sonunda tüketilmiş ve KM verimi ilk döneme kıyasla önemli oranda azalmıştır. Toprak özelliklerinden ilk dönem KM verimi ile önemli pozitif ilişkileri bulunan K, TK, YSİ ve organik maddenin ikinci dönem sonunda

Nmin ve MBC gibi KM ile bir koreasyonları olmadığı görülmüştür. İlk dönem olduğu gibi diğer özellikler ile KM verimi arasında pozitif ve pH ( $r=-0.45$ ) ile negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Kömeç toprağında pH artışı ile KM veriminin önemli düzeyde azaldığı anlaşılmaktadır.

Dökmetepe toprağında her iki dönemde de buğdayın KM verimi ile bitkinin aksamı ve toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri arasında önemli ilişkilerin olduğu tespit edilmiştir. Ancak ilişki sayısı ve önem düzeyleri Kömeç toprağına kıyasla daha düşük düzeylerdir (Çizelge 4.181 ve 4.183). Her iki toprakta da ilk dönem bitki KM verimi ile bitki Fe konsantrasyonu arasında önemli bir ilişki olmamasına rağmen ikinci dönem bu ilişkinin  $P<0.01$  düzeyinde önemli olduğu görülmüştür.

İlk dönem sonunda her iki toprağın yarayışlı su içeriği ile mikrobiyal biyokütle karbonu konsantrasyonu arasında önemli düzeyde pozitif bir koreasyon olduğu görülmüştür. Ancak ikinci dönem sonunda bu ilişki tınlı tekstüre sahip Kömeç toprağında önemli düzeyde negatif iken kumlu tın tekstüre sahip Dökmetepe toprağında ise önemsiz olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.180. Kömeç toprağında I. dönem biyoçar uygulamalarında elde edilen bitki ve toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar

	KM	Fe-B	Zn-B	K-B	P-B	N-B	Zn-T	K-T	P-T	pH-T	EC-T	Tar Kap	Sol Nok	Yar Su	Org M	Nmin	MBC	BETA
KM	1.00																	
Fe-B	-0.13	1.00																
Zn-B	-0.24**	0.53**	1.00															
K-B	0.46**	0.23**	0.10	1.00														
P-B	0.78**	-0.12	-0.24**	0.31**	1.00													
N-B	0.63**	-0.12	-0.10	0.40**	0.55**	1.00												
Zn-T	0.43**	-0.32**	-0.17*	0.13	0.45**	0.47	1.00											
K-T	0.27**	-0.03	-0.06	0.44**	0.25**	0.26	0.42**	1.00										
P-T	0.79**	-0.14*	-0.22**	0.33**	0.76**	0.59	0.60**	0.40**	1.00									
pH-T	-0.37**	0.21**	0.04	-0.18**	-0.37**	-0.51	-0.57**	-0.15*	-0.49**	1.00								
EC-T	0.57**	-0.08	-0.05	0.33**	0.55**	0.56	0.55**	0.36**	0.69**	-0.71**	1.00							
Tar Kap	0.36**	0.03	-0.04	0.40**	0.27**	0.18	0.03	0.44**	0.33**	0.05	0.23**	1.00						
Sol Nok	0.32**	0.14*	0.08	0.40**	0.25**	0.25	0.07	0.46**	0.36**	-0.07	0.28**	0.43**	1.00					
Yar Su	0.37**	0.02	-0.08	0.35**	0.27**	0.15*	0.02	0.35**	0.28**	0.04	0.21**	0.80**	0.09	1.00				
Org Mad	0.18**	-0.06	-0.03	0.12	0.18	0.16*	0.12	0.28**	0.14*	0.00	0.12	0.15*	0.21**	0.08	1.00			
Nmin	0.05	-0.08	-0.01	0.01	0.00	0.05	0.01	0.02	0.01	-0.08	0.05	0.11	0.20**	0.04	0.05	1.00		
MBC	0.09	0.29**	0.15*	0.22**	0.02	-0.09	-0.26**	0.08	0.03	0.07	0.06	0.34**	0.14*	0.33**	0.09	0.00	1.00	
BETA	0.22**	0.16*	0.09	0.17*	0.32**	0.12	0.14*	0.06	0.22**	-0.18**	0.21**	-0.08	0.05	0.05	-0.12	-0.12	0.02	1.00

KM: Kuru Madde; Fe-B: Bitki Demir; Zn-B: Bitki Çinko; K-B: Bitki potasyum; P-B: Bitki fosfor; N-B: Bitki azot; Zn-T: Toprak çinko; K-T: Toprak potasyum; P-T: Toprak fosfor; pH-T: Toprak pH; EC-T: Toprak Elektriksel İletkenlik; Nmin: Azot; BETA; Betaglikosidaz enzim aktivitesi; MBC: Mikrobiyal Biyokütle Karbon



Çizelge 4.181. Dökmetepe toprağında I. dönem biyoçar uygulamalarında elde edilen bitki ve toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar

Variables	KM	Fe-B	Zn-B	K-B	P-B	N-B	Zn-T	K-T	P-T	pH-T	EC-T	Tar Kap	Sol Nok	Yar Su	Org M	Nmin	MBC	BETA
KM	1.00																	
Fe-B	0.05	1.00																
Zn-B	0.03	0.49**	1.00															
K-B	0.19**	0.50**	0.31**	1.00														
P-B	0.29**	0.08	-0.11	0.10	1.00													
N-B	0.29**	0.31**	0.16*	0.36**	0.23**	1.00												
Zn-T	0.19**	-0.18**	-0.10	0.03	0.53**	0.23**	1.00											
K-T	0.03	-0.07	-0.02	0.13*	0.19**	0.06	0.24**	1.00										
P-T	0.24**	-0.07	-0.12	0.02	0.68**	0.29**	0.67**	0.49**	1.00									
pH-T	-0.20**	0.04	-0.03	-0.16*	-0.45**	-0.40**	-0.59**	-0.05	-0.54**	1.00								
EC-T	0.17*	-0.15*	0.00	0.10	0.46**	0.32**	0.64**	0.37**	0.67**	-0.68**	1.00							
Tar Kap	-0.16*	-0.09	-0.09	-0.03	-0.25**	-0.08	-0.04	0.19**	-0.14*	0.16*	-0.16*	1.00						
Sol Nok	-0.02	0.24**	0.02	0.31**	-0.15*	-0.02	-0.23**	0.00	-0.29**	0.32**	-0.33**	0.56**	1.00					
Yar Su	-0.18**	-0.22**	-0.12	-0.18**	-0.23**	-0.09	0.06	0.23**	-0.02	0.03	-0.03	0.92**	0.19**	1.00				
Org Mad	-0.04	-0.03	0.05	-0.05	0.03	-0.07	-0.03	0.58**	0.26**	0.19**	0.10	0.09	0.05	0.08	1.00			
Nmin	0.07	0.25**	0.23**	0.27**	0.02	0.18**	-0.12	0.04	0.07	-0.13	0.12	-0.24**	-0.06	-0.26**	0.13	1.00		
MBC	0.03	0.24**	0.31**	0.23**	0.10	0.10	-0.01	0.27**	0.09	0.05	0.12	0.01	0.10	-0.04	0.33**	0.12	1.00	
BETA	0.05	0.18**	0.10	0.18**	0.17*	0.09	0.05	-0.19**	0.04	-0.17*	0.15*	-0.03	0.19**	-0.12	-0.10	0.11	0.24**	1.00

KM: Kuru Madde; Fe-B: Bitki Demir; Zn-B: Bitki Çinko; K-B: Bitki potasyum; P-B: Bitki fosfor; N-B: Bitki azot; Zn-T: Toprak çinko; K-T: Toprak potasyum; P-T: Toprak fosfor; pH-T: Toprak pH; EC-T: Toprak Elektriksel İletkenlik; Nmin: Azot; BETA: Betaglikosidaz enzim aktivitesi; MBC: Mikrobiyal Biyokütle Karbon

Çizelge 4.182. Kömeç toprağında II. dönem biyoçar uygulamalarında elde edilen bitki ve toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar

	KM	Fe-B	Zn-B	K-B	P-B	N-B	Zn-T	K-T	P-T	pH-T	EC-T	Tar K	Sol N	Yar Su	HA	Org M	Nmin	BETA	MBC
KM	1.00																		
Fe-B	0.24**	1.00																	
Zn-B	0.24**	0.52**	1.00																
K-B	0.39**	0.64**	0.31**	1.00															
P-B	0.67**	0.32**	0.18**	0.36**	1.00														
N-B	0.54**	0.28**	0.17*	0.35**	0.40**	1.00													
Zn-T	0.42**	0.14*	0.33**	0.20**	0.29**	0.14*	1.00												
K-T	0.02	0.20**	-0.03	0.38**	0.15*	0.21**	-0.04	1.00											
P-T	0.38**	0.38**	0.05	0.65**	0.36**	0.43**	-0.09	0.41**	1.00										
pH-T	-0.45**	-0.17*	-0.01	-0.42**	-0.41**	-0.49**	-0.07	-0.45**	-0.70**	1.00									
EC-T	0.36**	0.23**	-0.02	0.41**	0.38**	0.47**	-0.03	0.57	0.70**	-0.82**	1.00								
Tar K	0.09	0.07	0.07	0.12	-0.09	0.04	0.26**	-0.03	-0.04	0.00	-0.07	1.00							
Sol N	0.22**	0.17**	0.09	0.28**	0.25**	0.32**	0.18**	0.26**	0.31**	-0.30**	0.32**	-0.02	1.00						
Yar Su	0.02	0.01	0.04	0.03	-0.15*	-0.06	0.20**	-0.11	-0.13	0.09	-0.16*	0.96**	-0.32**	1.00					
HA	0.14*	0.16*	0.13	-0.08	0.28**	0.06	0.15*	-0.02	-0.10	0.03	0.07	-0.33**	-0.12	-0.28**	1.00				
Org M	-0.08	0.08	-0.01	0.10	0.09	-0.09	0.01	0.29**	-0.03	0.10	0.00	-0.22**	-0.06	-0.19**	0.23**	1.00			
Nmin	0.13	-0.10	-0.16*	0.18**	0.11	0.23**	-0.16*	0.20**	0.47**	-0.43**	0.39**	-0.13	0.21**	-0.18**	-0.16*	-0.05	1.00		
BETA	-0.11	-0.02	0.02	-0.20**	0.00	-0.18**	-0.07	-0.19*	-0.24**	0.30**	-0.31**	-0.31**	-0.23**	-0.22**	0.29**	0.25**	-0.15*	1.00	
MBC	0.07	-0.10	-0.01	-0.01	-0.02	-0.05	0.06	-0.15*	-0.08	0.07	-0.06	0.06	-0.06	0.08	-0.08	0.08	-0.02	-0.03	1.00

KM: Kuru Madde; Fe-B: Bitki Demir; Zn-B: Bitki Çinko; K-B: Bitki potasyum; P-B: Bitki fosfor; N-B: Bitki azot; Zn-T: Toprak çinko; K-T: Toprak potasyum; P-T: Toprak fosfor; pH-T: Toprak pH; EC-T: Toprak Elektriksel İletkenlik; Nmin: Azot; BETA; Betaglikosidaz enzim aktivitesi; MBC: Mikrobiyal Biyokütle Karbon

Çizelge 4.183. Dökmetepe toprağında II. dönem biyoçar uygulamalarında elde edilen bitki ve toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar

	KM	Fe-B	Zn-B	K-B	P-B	N-B	Zn-T	K-T	P-T	pH-T	EC-T	Tar K	Sol N	Yar Su	HA	Org M	Nmin	BETA	MBC
KM	1.00																		
Fe-B	0.20**	1.00																	
Zn-B	0.32**	0.72**	1.00																
K-B	0.25**	0.86**	0.68**	1.00															
P-B	0.55**	0.15*	0.18**	0.18**	1.00														
N-B	0.30**	0.26**	0.38**	0.31**	0.25**														
Zn-T	0.47**	0.14*	0.29**	0.19**	0.27**	0.32**	1.00												
K-T	-0.20**	-0.13*	-0.11	-0.03	0.00	0.16*	-0.04	1.00											
P-T	-0.11	0.67**	0.49**	0.72**	0.04	0.33**	-0.01	0.19***	1.00										
pH-T	0.22**	-0.01	-0.01	-0.12	0.00	-0.41**	-0.08	-0.50**	-0.48**	1.00									
EC-T	-0.25**	-0.06	-0.04	0.06	-0.01	0.34**	0.01	0.58**	0.42**	-0.84**	1.00								
Tar K	0.04	-0.04	-0.08	-0.08	0.06	-0.23**	-0.19**	0.13*	-0.18**	0.25**	-0.16*	1.00							
Sol N	-0.23**	0.39**	0.20**	0.32**	-0.11	-0.16*	-0.25**	-0.05	0.31**	-0.03	-0.01	0.34**	1.00						
Yar Su	0.14*	-0.20**	-0.16*	-0.22**	0.11	-0.18**	-0.10	0.16*	-0.32**	0.27**	-0.17**	0.92**	-0.06	1.00					
HA	-0.11	-0.16*	-0.12	-0.12	-0.14*	-0.05	0.00	-0.30**	-0.03	0.01	-0.03	-0.42**	-0.22**	-0.35**	1.00				
Org M	-0.19**	0.19**	0.08	0.22**	0.02	0.06	-0.12	0.35**	0.44**	-0.27**	0.27**	-0.11	0.20**	-0.19**	0.06	1.00			
Nmin	-0.33**	-0.36**	-0.29**	-0.30**	-0.08	0.17*	-0.08	0.54**	0.11	-0.58**	0.59**	-0.12	-0.26**	-0.02	0.04	0.22**	1.00		
BETA	0.01	0.05	0.02	0.01	0.03	-0.02	-0.12	-0.14*	0.06	0.07	-0.06	-0.06	-0.03	-0.05	0.01	-0.04	0.00	1.00	
MBC	0.22**	0.01	0.08	0.03	0.17*	0.15*	0.11	0.01	-0.05	0.04	-0.05	0.09	-0.08	0.13*	-0.05	0.05	0.05	-0.01	1.00

KM: Kuru Madde; Fe-B: Bitki Demir; Zn-B: Bitki Çinko; K-B: Bitki potasyum; P-B: Bitki fosfor; N-B: Bitki azot; Zn-T: Toprak çinko; K-T: Toprak potasyum; P-T: Toprak fosfor; pH-T: Toprak pH; EC-T: Toprak Elektriksel İletkenlik; Nmin: Azot; BETA; Betaglikosidaz enzim aktivitesi; MBC: Mikrobiyal Biyokütle Karbon

## 5. SONUÇLAR

Toprakların kalitesinin korunması ve iyileştirilmesi, tarımsal üretimi sürdürülebilir kılabilmenin temel unsudur. Toprağın kendi doğasında var olan fonksiyonlarını yerine getirebilmesinde etkin rol oynayan en önemli bileşenlerin başında, her türlü biyokütlenin yer aldığı organik madde gelmektedir. Toprak işleme ile artan mikroorganizma faaliyeti neticesinde organik maddenin hızlıca ize olması ve araziye katılan organik madde miktarının yetersizliği Türkiye gibi kurak ve yarı kurak iklimlerde yer alan bölgelerde organik madde yetersizliği sorununu ortaya çıkarmaktadır. Oldukça gözenekli bir yapıya sahip olan organik madde, suyun tutulması, besin elementlerinin depolanması, pH'nın tamponlanması, besin elementlerinin döngüsünde yer alan mikroorganizmaların yaşam yeri ve besin kaynağı olması gibi çeşitli görevleri nedeni ile toprak kalitesinin en önemli göstergelerinden sayılmaktadır. Organik madde topraktaki karbonun temel kaynağı olduğundan dolayı çevre bilimcileri tarafından da atmosferdeki karbonun depolanacağı önemli bir havuz olarak kabul edilmektedir. Son yıllarda, toprağın organik madde kapsamının daha uzun süreli arttırılması ile çeşitli fonksiyonlarının geliştirilmesi, karbon zenginleşmesi ile sera gazı salınımının azaltılması, kirleticilerin tutunarak suya zarar vermesinin engellenmesi gibi bir çok alanda biyoçar kullanımı konusunda araştırmalar yapılmakta ve raporlar yayınlanmaktadır.

Oldukça farklı özelliklere sahip olan bitkisel ve hayvansal biyokütlenin pirolizi ile biyoçar elde etmek mümkündür. Biyoçarın özelliklerinin farklılığının yanında, araştırmalarda kullanılan toprakların, deneme koşullarının ve uygulanan bitkilerin çeşitliliği birbirleri ile çelişen sonuçlar elde edilmesine neden olmaktadır. Özellikleri birbirlerinden farklı olmakla birlikte, dünyanın farklı yerlerinde üretilen biyoçarların C içeriği ve yüzey alanlarının yüksek olması ve ayrışmaya karşı dayanıklı olmaları rapor edilen en önemli ortak özelliklerdir. Bu özellikler biyoçarın organik maddeye kıyasla daha cazip bir katkı maddesi olarak düşünülmesine neden olmakta ve her geçen gün daha fazla bilim insanının çalışmalarına konu olmaktadır.

Bu tez çalışmasında da, üç farklı tarımsal atığın 500 °C'de yavaş pirolizi ile elde edilen biyoçar materyallerinin kışlık buğday bitkisinin gelişimi, besin elementlerinden yararlanması, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkilerinin belirlenmesi amacı ile kumlu-tın ve tınlı tektüredeki iki ayrı toprakta iki ayrı dönemde sera denemeleri yürütülmüştür. Bu kapsamda, üretim sonrası ortaya çıkan ve çok zaman üreticilerin yakarak ortadan kaldırdıkları çeltik kavuzu, mısır koçanı ve fasulye hasat atıkları biyoçar yapımında hammadde olarak

kullanılmıştır. Bunlara ilaveten özellikle süt sığırcılığı ile uğraşan işletmeler için önemli bir sorun olan sıvı hayvan gübresi atıklarının besin yükünün azaltılması amacı ile üretilen biyoçarlar bu sıvı atıklar ile muamele edilerek besin elementlerini absorbe etmeleri sağlanmıştır. Dolayısı ile bu çalışmada üç ayrı biyoçar çeşidi ile bu biyoçarların sıvı hayvan gübresi ile doyurulması durumunda kumlu tın ve tın tekstüre sahip iki ayrı topraktaki performansları da değerlendirilmiştir.

Sıvı hayvan gübresi ile birlikte biyoçar uygulamasının yapıldığı ilk dönem sonunda elde edilen buğdayın kuru madde verimleri ikinci döneme kıyasla önemli düzeyde yüksektir. Kuru madde verimi ile birlikte bitkinin azot, potasyum, fosfor, çinko ve demir gibi besin elementi konsantrasyonları da ikinci dönemde önemli miktarda düşmüştür. İlk dönem biyoçar ve sıvı hayvan gübresi ile toprağa ilave edilen besin elementleri, ilk dönem kuru madde miktarının ikinci döneme kıyasla daha yüksek olmasına neden olmuştur. İkinci dönem biyoçardan gelen besin elementi miktarının azalması KM üzerine veriminin azalmasına neden olmuştur. Biyoçar ve sıvı hayvan gübresinden gelen besin elementi miktarının yüksek olduğu ilk dönem sonunda kumlu tın tekstüre sahip toprakta kuru madde verimi tınlı toprağa kıyasla daha yüksek iken, bu kaynaklardan katılan besin elementi miktarının azalması ile ikinci dönem tınlı toprakta kumlu tınlı toprağa kıyasla daha yüksek kuru madde verimi elde edilmiştir. Bu durum biyoçar ile toprağa katılan besin elementi etkisinin ince bünyeli topraklarda kaba bünyeli topraklara kıyasla daha uzun süre devam ettiğinin de bir göstergesi olarak algılanabilir. Beş farklı biyoçar dozundan her iki dönemde de en yüksek kuru madde verimi BD3 (%1.0) dozu ile elde edilmiştir. Bu etki ilk dönem ikinci döneme kıyasla daha belirgin olmuştur. Her iki dönemde de en düşük verim ilave besin elementi takviyesinin yapılmadığı sadece biyoçar katılan uygulamalardan elde edilmiştir. Bu durum, biyoçarlara sıvı hayvan gübresi ilavesi yapılsa dahi, bitkinin gereksinimi olan besin elementleri katılmadığı takdirde bitkisel üretimde arzu edilen verimin elde edilemeyeceğini göstermektedir.

Biyoçar dozu artışı her iki toprakta da yarayışlı potasyum konsantrasyonun önemli düzeyde artışına neden olmuştur. Her iki dönemde de en düşük toprak potasyum konsantrasyonu biyoçar ilave edilmeyen uygulamalarda iken en yüksek konsantrasyon en yüksek biyoçar dozu (%3.0) uygulamasında elde edilmiştir. Bu durum tamamen biyoçar materyallerinin sahip oldukları yüksek potasyum konsantrasyonu ve bu potasyumun toprağa geçmiş olması ile ilişkilidir. Her iki dönemde de en yüksek K konsantrasyonu Dökmetepe x fasulye x BD5 x GD5 (720.73 ve 984.07 mg kg<sup>-1</sup>) interaksyonunda elde edilmiştir.

Yarayırlı fosfor konsantrasyonu ilk d6nem biyoçar dozu artırlı ile artmış ancak ikinci d6nem farklı biyoçar dozu uygulanan toprakların fosfor konsantrasyonları arasındaki fark 6nemsiz hale gelmiştir. İkinci d6nem sonunda çinko ve potasyumun aksine her iki toprakta da yarayırlı fosfor konsantrasyonu ilk d6neme kıyasla 6nemli d6zeyde azalmıştır. İlk d6nem bitki gereksinimine ilaveten biyoçar ve sıvı hayvan g6bresinden katılan fosfor toprağın fosfor konsantrasyonunun y6kselmesine neden olmuştur. Ancak ikinci d6nem bitki t6ketimi ile bu fosforun çoğunun t6ketildiği anlaşılmıştır. İlk d6nem en y6ksek P konsantrasyonları D6kmetepe x fasulye x BD4 (61.64 mg kg<sup>-1</sup>) ve BD5 (58.62 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonlarında, ikinci d6nem ise D6kmetepe x eltik x BD4 (8.42 mg kg<sup>-1</sup>) interaksiyonunda elde edilmiştir.

6nceki çalışmalarda, biyoçar y6zeylerinde bulunan fonksiyonel grupların toprak 6zeltisindeki hidrojen iyonlarını y6zeylerinde tutmaları nedeni pH artırlı olabileceği bildirilmiş idi. Bu çalışmada da deneme başında 8.22 olan tınlı toprağın pH'sı deneme sonunda 8.65'e ve kumlu tın tekst6r6ne sahip D6kmetepe toprağın pH'sı ise 8.15'den 8.67'ye y6kselmiştir. Ancak biyoçar dozları arasında 6nemli bir fark olmaması bu artırlın biyoçar uygulamasından ziyade iki d6nem boyunca uygulamaya katılan g6bre ve sulamanın etkisi ile gerçekleşmiş olabileceğine işaret etmektedir.

İki ayrı buğday yetiştirme d6neminde serada kurulan denemelerde tekst6r olarak birbirlerinden farklı olan tınlı ve kumlu tınlı iki ayrı toprak kullanılmıştır. Bu tip çalışmalarda 6zellikle kaba tekst6rl6 toprak kullanılmasının ana nedeni, biyoçarın oldukça y6ksek olan y6zey alanı nedeni ile toprağın y6zey alanında meydana getirdiği artış, kumlu topraklarda çok belirgin etki yaparken doğal olarak b6y6k bir y6zey alanına sahip olan killi topraklarda bu etkinin yetersiz kalmasıdır. Su ve besin elementi tutma yetenekleri doğal olarak y6ksek olan killi topraklarda biyoçarın meydana getireceği etki kumlu topraklara kıyasla çok daha d6ř6k olmaktadır. Bu ve benzer nedenlerden dolayı yayınlanan biyoçar çalışmalarının b6y6k çoğunluğunda kaba tekst6rl6 topraklar konu edilmiştir. 6zellikle kurak ve yarı kurak b6lgelerde toprakların su tutma kapasitelerinin iyileşmiş olması onların 6retkenliklerinin bir g6stergesi olarak kabul edilebilir. Bu nedenle, 6zellikle doğal olarak zayıf bir yapıya, d6ř6k g6zenekliliğe ve bu nedenle d6ř6k su tutma potansiyeline sahip olan kaba tekst6rl6 toprakların su tutma kapasitesinin y6ksek olması çok 6nemlidir.

Sıfır toprak işleme, malçlama, 6rt6c6 bitkilerin kullanımı gibi birçok tarımsal uygulamanın geliştirilmesinin temelinde su tutma ve agregat stabilitesi gibi 6nemli fiziksel

özelliklerin iyileştirilmesi amacı güdülmüştür. Elde edilen sonuçlar, kumlu tın ve tınlı tekstüre sahip iki deneme toprağında da uygulanan üç biyoçar çeşidinin de su tutma kapasitesini önemli miktarda arttırabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, tarım arazilerinde biyoçar kullanımı su tutma kapasitesi dahil birçok fiziksel özelliğin iyileştirilmesi amacı ile kullanılabilir bir alternatif olarak düşünülmelidir. Biyoçarın diğer organik atıklara kıyasla çok daha uzun zaman içerisinde parçalanacak olması da bu etkinin çok uzun yıllar sürmesi anlamına gelmektedir. Üretim maliyeti, diğer organik atıklara kıyasla bir miktar daha yüksek olmasına rağmen, etkisinin diğer organik atıklar ile kıyaslanamayacak kadar uzun olması, biyoçarı oldukça değerli kılmaktadır.

Biyoçar çeşitlerinin genetik olarak birbirlerinden farklı olması, aynı toprak çeşidinde biyoçar çeşitlerinin su tutma yeteneklerinin farklılaşmasına yol açmıştır. Elde edilen veriler, biyoçar ilavesinin toprağın toplam gözenekliliğini arttırmasından dolayı tınlı ve kumlu toprakların su tutma yeteneklerini olumlu etkilediğini göstermektedir. Ancak bu etki tınlı toprakta çok daha belirgin olmuştur. Bu denemede sadece -0.33 bar (tarla kapasitesi) ve -15 bar'da (solma noktası) tutulan nem miktarları belirlenmiş olmakla birlikte, elde edilen veriler artan biyoçar dozlarının tarla kapasitesi gibi özellikle düşük matrik potansiyellerde daha fazla etkili olduğunu göstermiştir. İkinci dönem sonunda, toprakların birinci döneme kıyasla daha yüksek miktarda su tutuyor olmaları, biyoçarın kaba tekstürlü topraklarda etkisinin çok daha uzun süreli olduğunu göstermesi açısından son derece önemlidir. Kaba tekstürlü topraklarda su tutma yeteneğinin artmış olması, toprakların kurak dönemlerde daha yüksek miktarda su bulundurabilecekleri anlamına gelmektedir. Bu da biyoçarı özellikle kurak ve yarı-kurak iklime sahip olan bölgelerde önemli bir katkı maddesi yapmaktadır.

Denemede kullanılan biyoçar çeşitleri yüzey alanları, katyon değişim kapasiteleri, pH, EC, toplam C ve toplam N kapsamı bakımından oldukça farklıdır. Birbirlerinden oldukça farklı özelliklere sahip olmalarına rağmen, toprağa uygulanan üç biyoçar çeşidi de her iki toprağın beta glikosidaz enzim aktivitesinde önemli miktarda azalmaya neden olmuştur. Beta glikosidaz enzim aktivitesi topraktaki C döngüsünde yer aldığından, artan biyoçar ilavesi ile beta glikosidaz enzim aktivitesinin azalması, biyoçar ilave edildiğinde topraktaki organik madde artışının beta glikosidaz enzim aktivitesinin azalması ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Biyoçar çeşitliliğinin fazla olması fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri içine alan genel bir tanımlamanın yapılmasını engellemekte, dünyanın farklı bölgelerinde yapılan

Çalışmaların sonuçlarının karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Dünyanın birçok yerinde kolaylıkla temin edilebilecek bir kısım biyokütlelerden üretilecek standartların çalışmalarda tanık olarak kullanılmaları bu sorunun açılmasına katkı sağlayabilir. Araştırmalarda, piroliz üretim koşulları, deneme yapılan toprağın temel özellikleri, deneme yapılan yere ait özelliklerin iyi tanımlanması, raporların güvenli bir şekilde kullanımını sağlayacak ve bu konuda yapılan araştırmaların daha ileri seviyeye çıkarılmasına yardım edecektir.

Biyoçarın uzun ömürlü olması, uzun süreli etkisinin de yeterince anlaşılmasını zorunlu kılmaktadır. Bununla birlikte, yayınlanan araştırmaların büyük çoğunluğu kısa süreli inkübasyon, sera koşullarında kısa süreli uygulamalar ve kısa süreli tarla denemelerinden oluşmaktadır. Bu nedenle de biyoçarın toprakta zaman içerisindeki değişiminin ve etkisinin belirleneceği denemelere gereksinim bulunmaktadır.





## 6. KAYNAKLAR

- Abdullah, H., Mediaswanti, K. A., Wu, H. 2010. Biochar as a fuel: 2. Significant differences in fuel quality and ash properties of biochars from various biomass components of mallee trees. *Energy & Fuels*, 24(3), 1972-1979.
- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M., Wessolek, G. 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202, 183-191.
- Abiven, S., Hund, A., Martinsen, V., Cornelissen, G. 2015. Biochar amendment increases maize root surface areas and branching: a shovelomics study in Zambia. *Plant and soil*, 395(1-2), 45-55.
- Acosta-Martínez, V., Cruz, L., Sotomayor-Ramírez, D., Pérez-Alegría, L. 2007. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. *Applied Soil Ecology*, 35(1), 35-45.
- Adrias, P.J.V. del Rosario, M.R. 2017. Soil Properties and Response of Spring Onion to Different Levels of Biochar. *Int. J. of Agricultural Technology*, 13(1), 131-137.
- Aguilar-Chavez, A., Díaz-Rojas, M., del Rosario C ardenas-Aquino, M., Dendooven, L., Luna-Guido, M., 2012. Greenhouse gas emissions from a wastewater sludge amended soil cultivated with wheat (*Triticum spp.* L.) as affected by different application rates of charcoal. *Soil Biology and Biochemistry* 52, 90e95.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S. Ok, Y.S., 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, 99, 19-33.
- Akhtar, S.S., Andersen, M.N., Liu, F. 2015. Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress. *Agricultural Water Management*, 158, 61-68.
- Aller, D., Rathke, S., Laird, D., Cruse, R., Hatfield, J. 2017. Impacts of fresh and aged biochars on plant available water and water use efficiency. *Geoderma*, 307, 114-121.
- Amonette, J.E., Joseph, S., 2009. Characteristics of Biochar: Microchemical Properties. In: J. Lehmann, Joseph, S. (Editor), *Biochar for Environmental Management Science and Technology*. Earthscan, London.

- Ameloot, N., De Neve, S., Jegajeevagan, K., Yildiz, G., Buchan, D., Funkuin, Y. N., ... Sleutel, S. 2013. Short-term CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emissions and microbial properties of biochar amended sandy loam soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 57, 401-410.
- Ameloot, N., Sleutel, S., Case, S. D., Alberti, G., McNamara, N. P., Zavalloni, C., ... & De Neve, S. 2014. C mineralization and microbial activity in four biochar field experiments several years after incorporation. *Soil Biol Biochem*, 78, 195-203.
- Ameloot, N., Sleutel, S., Das, K.C., Kanagaratnam, J., Neve, S. 2015. Biochar amendment to soils with contrasting organic matter level: effects on N mineralization and biological soil properties. *Gcb Bioenergy*, 7(1), 135-144.
- Anderson, J.P.E., 1982. Soil respiration. In: Page, R.H., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. American Society of Agronomy, Madison, pp. 837-871.
- Antal Jr, M.J. Grönli, M. 2003. The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 42(8), 1619-1640.
- Arnosti, C., Bell, C., Moorhead, D.L., Sinsabaugh, R.L., Steen, A.D., Stromberger, M., ... & Weintraub, M.N. 2014. Extracellular enzymes in terrestrial, freshwater, and marine environments: perspectives on system variability and common research needs. *Biogeochemistry*, 117(1), 5-21.
- Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Horie, T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*, 111(1), 81-84.
- Atkinson, C., Fitzgerald, J., Hipps, N. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant Soil* 337, 1–18.
- Bachmann, J., Guggenberger, G., Baumgartl, T., Ellerbrock, R.H., Urbanek, E., Goebel, M.O.,...& Fischer, W. R. 2008. Physical carbon-sequestration mechanisms under special consideration of soil wettability. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171(1), 14-26.
- Backer, R. 2016. Biochar soil amendments in Southwestern Québec, Canada: An investigation of impact on crop yields, interaction with N fertilizer and

- characterization of the biochar volatilome (Doctoral dissertation, McGill University).
- Bailey, V.L., Fansler, S.J., Smith, J.L., Bolton, H. 2011. Reconciling apparent variability in effects of biochar amendment on soil enzyme activities by assay optimization. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(2), 296-301.
- Bai, S.H., Xu, C.-Y., Xu, Z., Blumfield, T.J., Zhao, H., HelenWallace, Reverchon, F., Zwieten, L.V., 2015. Soil and foliar nutrient and nitrogen isotope composition ( $\delta^{15}\text{N}$ ) at 5 years after poultry litter and green waste biochar amendment in a macadamia orchard. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22, 3803–3809.
- Baldock, J.A. Smernik, R.J. 2002. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood', *Organic Geochemistry*, 33, 1093–1109
- Ball, P.N., MacKenzie, M.D., DeLuca, T.H., Montana, W.E. 2010. Wildfire and charcoal enhance nitrification and ammonium-oxidizing bacterial abundance in dry montane forest soils. *Journal of Environmental Quality*, 39(4), 1243-1253.
- Bandick A.K., Dick R.P. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.*, 31, 1471-1479
- Bass, A.M., Bird, M.I., Kay, G., Muirhead, B. 2016. Soil properties, greenhouse gas emissions and crop yield under compost, biochar and co-composted biochar in two tropical agronomic systems. *Science of the Total Environment*, 550, 459-470.
- Basso, A. S., Miguez, F. E., Laird, D. A., Horton, R., and Westgate, M. 2013. Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils, *Glob. Change Biol. Bioenerg.*, 5, 132–143.
- Bayram, Ö. 2016. Farklı tarımsal atıklardan üretilen biyocharların çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enst. Tez No: 420461. Tokat. s. 58.
- Beaton, J. D. 1959. The influence of burning on the soil in the timber range area of Lac le Jeune, British Columbia: I. Physical properties. *Canadian Journal of Soil Science*, 39(1), 1-5.

- Bera, T., Collins, H.P., Alva, A.K., Purakayastha, T. J., Patra, A.K. 2016. Biochar and manure effluent effects on soil biochemical properties under corn production. *Applied Soil Ecology*, 107, 360-367.
- Beusen, A.H.W., Bouwman, A.F., Heuberger, P.S.C., Van Drecht, G., Van Der Hoek, K.W. 2008. Bottom-up uncertainty estimates of global ammonia emissions from global agricultural production systems. *Atmospheric Environ.* 42(24), 6067-6077.
- Biederman, L.A. Harpole, W.S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis, *GCB Bioenergy*, 5, 202–214.
- Blanco-Canqui, H. ,2017. Biochar and soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 84 (4), 687-711.
- Blake, G.R., K.H. Hartge. 1986. Bulk density. p. 363–375. In A. Klute (ed.) *Methods of soil analysis. Part 1.* 2nd ed. *Agron. Monogr.* 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Boateng, A. A. 2007. Characterization and thermal conversion of charcoal derived from fluidized-bed fast pyrolysis oil production of switchgrass, *Industrial Engineering and Chemical Research*, 46:8857–8862
- Boehm, H.P. 1994. Some Aspects of the Surface Chemistry of Carbon Blacks and Other Carbons', *Carbon*, 32, 759–769.
- Borchard N, Siemens J, Ladd B, Moller A, Amelung W. 2014. Application of biochars to sandy and silty soil failed to increase maize yield under common agricultural practice. *Soil Tillage Res.* 144, 184–194.
- Brassard, P., Godbout, S., Raghavan, V., 2016. Soil biochar amendment as a climate change mitigation tool: key parameters and mechanisms involved. *J. Environ. Manag.* 181, 484–497.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen. In C. A. Black (ed.) *Methods of soil analysis, Part. 2.* *Agronomy* 9, 1149-1178.
- Brewer, C.E., Brown, R.C. 2012. Biochar. In: Sayigh, A. (Ed.), *Comprehensive Renewable Energy.* Elsevier, Oxford, pp. 357–384.
- Bridle, T.R., Pritchard, D. 2004. Energy and nutrient recovery from sewage sludge via pyrolysis. *Water Sci. Technol.* 50, 169–175.

- Briggs, C., Breiner, J., Graham, R. 2012. Physical and chemical properties of *Pinus ponderosa* charcoal: implications for soil modification. *Soil Sci.* 177 (4), 263-268.
- Brinson, S. Cabrera, M. Tyson, S. 1994. Ammonia volatilization from surface-applied, fresh and composted poultry litter. *Plant Soil*, 167, 213–218
- Brockhoff, S. R., Christians, N. E., Killorn, R. J., Horton, R., Davis, D. D. 2010. Physical and mineral-nutrition properties of sand-based turfgrass root zones amended with biochar. *Agronomy Journal*, 102(6), 1627-1631.
- Brown, R. 2009. Biochar Production Technology. In: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (Eds. Lehmann, J. & Joseph, S.), Earthscan.
- Bruun, E.W., Ambus, P., Egsgaard, H., Hauggaard-Nielsen, H., 2012. Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 46, 73–79.
- Bu, L.D., Liu, J.L., Zhu, L., Luo, S.S., Chen, X.P., Li, S.Q., Zhao, Y. 2013. The effects of mulching on maize growth, yield and water use in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 123, 71-78.
- Burns, R.G., 1982. Enzyme activity in soil: location and a possible role in microbial ecology. *Soil Biol. Biochem.* 14, 423–427.
- Burns, R.G., DeForest, J.L., Marxsen, J., Sinsabaugh, R.L., Stromberger, M.E., Wallenstein, M.D., Weintraub, M.N., Zoppini, A. 2013. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. *Soil Biol. Biochem.* 58, 216–234
- Cao, X. Harris, W. 2010. Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation, *Bioresour. Technol.*, 101, 5222–5228.
- Carlsson, M., Andren, O., Stenstrom, J., Kirchmann, H., Katterer, T. 2012. Charcoal application to Arable Soil: effects on CO<sub>2</sub> emissions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43, 2262–2273.
- Carvalho de Melo, M.T., Maia, A.D.H.N., Madari, B.E., Bastiaans, L., Van Oort, P.A.J., Heinemann, A.B., ... & Meinke, H. 2014. Biochar increases plant-available water in a sandy loam soil under an aerobic rice crop system. *Solid Earth*, 5(2), 939.

- Cassel, D.K., Nielsen, D.R. 1986. Field capacity and available water capacity. *Methods of Soil Analysis: Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, 901-926.
- Cayuela, M.L., Van Zwieten, L., Singh, B.P., Jeffery, S., Roig, A., Sánchez-Monedero, M.A., 2014. Biochar's role in mitigating soil nitrous oxide emissions: a review and metaanalysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 191, 5–16.
- Cerato, A., Lutenecker, A. 2002. Determination of surface area of fine-grained soils by the ethylene glycol monoethyl ether (EGME) method. *Geotechnical Testing J.* 25(3), 1-7.
- Chan, K.Y., Dorahy, C., Tyler, S. 2007. Determining the agronomic value of composts produced from garden organics from metropolitan areas of New South Wales, Australia. *Animal Production Science*, 47(11), 1377-1382.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. 2008. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Soil Research*, 45(8), 629-634.
- Chan, K.Y., Xu, Z. 2009. Biochar: nutrient properties and their enhancement. *Biochar for environmental management: science and technology*, 67-84.
- Chaudhary, S., Dheri, G. S., Brar, B. S. 2017. Long-term effects of NPK fertilizers and organic manures on carbon stabilization and management index under rice-wheat cropping system. *Soil and Tillage Research*, 166, 59-66.
- Chen, J., Liu, X., Zheng, J., Zhang, B., Lu, H., Chi, Z., ... & Wang, J. 2013. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China. *Applied Soil Ecology*, 71, 33-44.
- Chen, J., Li, S., Liang, C., Xu, Q., Li, Y., Qin, H., Fuhrmann, J.J. 2017. Response of microbial community structure and function to short-term biochar amendment in an intensively managed bamboo (*Phyllostachys praecox*) plantation soil: Effect of particle size and addition rate. *Science of The Total Environment*, 574, 24-33.
- Cheng, C.H., Lehmann, J., Thies, J.E., Burton, S.D., Engelhard, M.H. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry*, 37(11), 1477-1488.

- Cheng, C.H., Lehmann, J., Thies, J.E. Burton, S.D. 2008. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient, *Journal of Geophysical Research*, vol 113, G02027
- Cheng, C.H., Lehmann, J. 2009. Ageing of black carbon along a temperature gradient, *Chemosphere* 75 1021–1027.
- Cheng, Y., Cai, Z.C., Chang, S.X., Wang, J. Zhang, J.B. 2012. Wheat straw and its biochar have contrasting effects on inorganic N retention and N<sub>2</sub>O production in a cultivated Black Chernozem. *Biology and Fertility of Soils*, 48(8), 941-946.
- Chia, C.H., Munroe, P., Joseph, S., Lin, Y. 2010. Microscopic characterization of synthetic Terra Preta. *Soil Research*, 48(7), 593-605.
- Chia, C.H., Singh, B.P., Joseph, S., Graber, E.R., Munroe, P. 2014. Characterization of an enriched biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 108, 26-34.
- Chun, Y., Sheng, G., Chiou, C. T., Xing, B., 2004. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars. *Environ. Sci. Technol.* 38, 4649-4655.
- Clough, T.J., Sherlock, R.R., Mautner, M.N., Milligan, D.B., Wilson, P.F., Freeman, C.G., McEwan, M.J. 2003. Emission of nitrogen oxides and ammonia from varying rates of applied synthetic urine and correlations with soil chemistry. *Soil Research*, 41(3), 421-438.
- Clough, T.J., Condon, L.M. 2010. Biochar and the nitrogen cycle: introduction. *Journal of environmental quality*, 39(4), 1218-1223.
- Clough, T. J., Condon, L. M., Kammann, C., Müller, C. 2013. A review of biochar and soil nitrogen dynamics. *Agronomy*, 3(2), 275-293.
- Collison, M., Collison, L., Sakrabani, R., Tofield, B., Wallage, Z. 2009. Biochar and carbon sequestration: a regional perspective. Norwich, UK: The Low Carbon Innovation Centre, University of East Anglia.(A report prepared for East of England Development Agency (EEDA), DA1 Carbon Reduction Ref. No: 7049).
- Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G.D., Rutherford, D. W., ... & Mulder, J. 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. *Agronomy*, 3(2), 256-274.

- Dai, Z., Zhang, X., Tang, C., Muhammad, N., Wu, J., Brookes, P.C., Xu, J. 2017. Potential role of biochars in decreasing soil acidification-A critical review. *Science of The Total Environment*. 581, 601-611.
- Danielson, R.E., Sutherland, P.L. 1986. Porosity. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 443-461
- Deenik, J. L., McClellan, A. T., Uehara, G. 2009. Biochar volatile matter content effects on plant growth and nitrogen transformations in a tropical soil. In *Western Nutrient Management Conference* 8:26-31.
- Deenik, J.L., McClellan, T., Uehara, G., Antal, M.J., Campbell, S. 2010. Charcoal volatile matter content influences plant growth and soil nitrogen transformations. *Soil Science Society of America Journal* 74, 1259-1270.
- De La Rosa, J.M., Paneque, M., Miller, A.Z., Knicker, H. 2014. Relating physical and chemical properties of four different biochars and their application rate to biomass production of *Lolium perenne* on a Calcic Cambisol during a pot experiment of 79 days. *Sci. Total Environ.* 499, 175–184.
- DeLuca, T.H., MacKenzie, M.D., Gundale, M.J. 2009. Biochar effects on soil nutrient transformations. In “*Biochar for Environmental Management: Science and Technology*” (J. Lehmann and S. Joseph, Eds.), Earthscan, London.
- DeLuca, T. H., Gundale, M. J., MacKenzie, M. D., Jones, D. L. 2015. Biochar effects on soil nutrient transformations. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*, 2, 421-454.
- Demisie, W., Liu, Z., Zhang, M. 2014. Effect of biochar on carbon fractions and enzyme activity of red soil. *Catena*, 121, 214-221.
- Demirbas, A. 2004. Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 72(2), 243-248.
- Dempster, D.N., Gleeson, D.B., Solaiman, Z.M, Jones, D.L, Murphy, D.V. 2011. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. *Plant and Soil*, 354, 311–324.



- Dempster, D.N., Gleeson, D.B., Solaiman, Z.M., Jones, D.L., Murphy, D.V. 2012. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. *Plant Soil*, 354, 311-324.
- De Tender C.A., Debode, J., Vandecasteele, B., D'Hose, T., Cremelie, P., Haegeman, A., ... & Maes, M. 2016. Biological, physicochemical and plant health responses in lettuce and strawberry in soil or peat amended with biochar. *Applied Soil Ecology*, 107, 1-12.
- Dick, R.P., Breakwell, D.P., Turco, R.F. 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. p. 247–271. In J.W. Doran and A.J. Jones (ed.) *Methods for assessing soil quality*. SSSA Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Dokoohaki, H., Miguez, F. E., Laird, D., Horton, R., Basso, A. S. 2017. Assessing the biochar effects on selected physical properties of a sandy soil: An analytical approach. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1-12. ISO 690.
- Domene, X., Mattana, S., Hanley, K., Enders, A., Lehmann, J., 2014. Medium-term effects of corn biochar addition on soil biota activities and functions in a temperate soil cropped to corn. *Soil Biol. Biochem.* 72, 152–162.
- Dong, D., Feng, Q., McGrouther, K., Yang, M., Wang, H., Wu, W. 2015. Effects of biochar amendment on rice growth and nitrogen retention in a waterlogged paddy field. *Journal of Soils and Sediments*, 15(1), 153-162.
- Doydora, S.A., Cabrera, M.L., Das, K.C., Gaskin, J.W., Sonon, L.S., Miller, W.P. 2011. Release of nitrogen and phosphorus from poultry litter amended with acidified biochar. *International journal of environmental research and public health*, 8(5), 1491-1502.
- Downie, A., Crosky, A., Munroe, P. 2009. Physical properties of biochar. In: *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (Eds. Lehmann, J. & Joseph, S.), Earthscan.
- Dünisch, O., Lima, V.C., Seehann, G., Donath, J., Montoia, V.R., Schwarz, T. 2007. Retention properties of wood residues and their potential for soil amelioration. *Wood Science and Technology*, 41(2), 169-189.
- Eivazi, F., Tabatabai, M. 1990. Factors affecting glucosidase and galactosidase in soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 22, 891-897.

- Elad, Y., David, D.R., Harel, Y.M., Borenshtein, M., Kalifa, H.B., Silber, A., Graber, E.R. 2010. Induction of systemic resistance in plants by biochar, a soil-applied carbon sequestering agent. *Phytopathology*, 100(9), 913-921.
- Eo, J., Park, K.C., Kim, M.H., Kwon, S.I., Song, Y.J. 2018. Effects of rice husk and rice husk biochar on root rot disease of ginseng (*Panax ginseng*) and on soil organisms. *Biological Agriculture & Horticulture*, 34(1), 27-39.
- Farrell, M., Kuhn, T.K., Macdonald, L.M., Maddern, T.M., Murphy, D.V., Hall, P.A., ... & Baldock, J.A. 2013. Microbial utilisation of biochar-derived carbon. *Science of the Total Environment*, 465, 288-297.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D. W., Haywood, J., Lean, J. Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., Van Dorland, R. 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2. In *Climate Change. The Physical Science Basis*.
- Foster, E.J., Hansen, N., Wallenstein, M., Cotrufo, M.F. 2016. Biochar and manure amendments impact soil nutrients and microbial enzymatic activities in a semi-arid irrigated maize cropping system. *Agric. Ecosystems & Envir.*, 233, 404-414.
- Free, H.F., McGill, C.R., Rowarth, J.S., Hedley, M.J. 2010. The effect of biochars on maize (*Zea mays*) germination. *New Zealand J. of Agric. Res.*, 53(1), 1-4.
- Fungo, B., Lehmann, J., Kalbitz, K., Thiongo, M., Okeyo, I., Tenywa, M., Neufeldt, H. 2017. Aggregate size distribution in a biochar-amended tropical Ultisol under conventional hand-hoe tillage. *Soil and Tillage Research*, 165, 190-197.
- Galvez, A., Sinicco, T., Cayuela, M. L., Mingorance, M. D., Fornasier, F., Mondini, C. 2012. Short term effects of bioenergy by-products on soil C and N dynamics, nutrient availability and biochemical properties. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 160, 3-14.
- Gaskin, J.W., Steiner, C., Harris, K., Das, K.C., Bibens, B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Trans. ASABE*, 51(6), 2061-2069.
- Gaskin, J.W., Speir, R.A., Harris, K., Das, K.C., Lee, R.D., Morris, L.A., Fisher, D.S. 2010. Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal*, 102(2), 623-633.

- Genesio, L., Miglietta, F., Baronti, S., Vaccari, F.P. 2015. Biochar increases vineyard productivity without affecting grape quality: Results from a four years field experiment in Tuscany. *Agric. Ecosyst. Environ.* 201, 20-5.
- Ghezzehei, T.A., Sarkhot, D.V., Berhe, A.A. 2014. Biochar can be used to capture essential nutrients from dairy wastewater and improve soil physico-chemical properties. *Solid Earth*, 5(2), 953-962.
- Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., Zech, W. 2001. The 'Terra Preta' phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, 88(1), 37-41.
- Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal - a review. *Biol. Fertil. Soils* 35, 219–230.
- Githinji, L. 2014. Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(4), 457-470.
- Graber, E.R., Frenkel, O., Jaiswal, A.K., Elad, Y. 2014. How may biochar influence severity of diseases caused by soilborne pathogens?. *Carbon Management*, 5(2), 169-183.
- Grutmacher, P., Puga, A.P., Bibar, M.P.S., Coscione, A.R., Packer, A.P., de Andrade, C.A. 2018. Carbon stability and mitigation of fertilizer induced N<sub>2</sub>O emissions in soil amended with biochar. *Science of the Total Environment* 625, 1459–1466.
- Güereña, D., Lehmann, J., Hanley, K., Enders, A., Hyland, C., Riha, S. 2013. Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maize-based production system. *Plant and soil*, 365(1-2), 239-254.
- Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., Deng, H. 2015. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 206, 46-59.
- Gundale, M., DeLuca, T., 2006. Temperature and source material influence ecological attributes of ponderosa pine and Douglas-fir charcoal. *Forest Ecology and Management* 231 (1–3), 86–93.

- Gundale, M.J., DeLuca, T.H. 2007. Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/Douglas-fir ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 43(3), 303-311.
- Hadjitofi, L., Prodromou, M., Pashalidis, I. 2014. Activated biochar derived from cactus fibres – Preparation, characterization and application on Cu(II) removal from aqueous solutions. *Bioresource technology*, 159, 460-464.
- Haider, G., Koyro, H.W., Azam, F., Steffens, D., Müller, C., Kammann, C. 2015. Biochar but not humic acid product amendment affected maize yields via improving plant-soil moisture relations. *Plant and soil*, 395(1-2), 141-157.
- Hammes, K., Smernik, R. J., Skjemstad, J. O., Herzog, A., Vogt, U. F., Schmidt, M. W. 2006. Synthesis and characterisation of laboratory-charred grass straw (*Oryza sativa*) and chestnut wood (*Castanea sativa*) as reference materials for black carbon quantification. *Organic Geochemistry*, 37(11), 1629-1633.
- Hansen, V., Müller-Stöver, D., Imperato, V., Krogh, P.H., Jensen, L.S., Dolmer, A., Hauggaard-Nielsen, H. 2017. The effects of straw or straw-derived gasification biochar applications on soil quality and crop productivity: A farm case study. *Journal of Environmental Management*, 186, 88-95.
- Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G., Close, D., 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? *Plant and soil*, 376 (1-2), 347-361.
- Harel, Y. M., Elad, Y., Rav-David, D., Borenstein, M., Shulchani, R., Lew, B., Graber, E.R. 2012. Biochar mediates systemic response of strawberry to foliar fungal pathogens. *Plant and Soil*, 357(1-2), 245-257.
- Harris, P. J. F., Tsang, S. C. 1997. High resolution of electron microscopy studies of non-graphitizing carbons. *Philosophical Magazine A* 76 (3), 667-677.
- Harter, J., Krause, H.M., Schuettler, S., Ruser, R., Fromme, M., Scholten, T., ... & Behrens, S. 2014. Linking N<sub>2</sub>O emissions from biochar-amended soil to the structure and function of the N-cycling microbial community. *The ISME journal*, 8(3), 660.
- Harter, J., Weigold, P., El-Hadidi, M., Huson, D.H., Kappler, A., Behrens, S., 2016. Soil biochar amendment shapes the composition of N<sub>2</sub>O-reducing microbial communities. *Sci. Total Environ.* 562, 379–390.

- Herath, H.M.S.K., Camps-Arbestain, M., Hedley, M. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: an Alfisol and an Andisol. *Geoderma*, 209, 188-197.
- Hossain, M.K., Strezov, V., Chan, K.Y., Nelson, P.F. 2010. Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*, 78, 1167–1171.
- Hossain, M.K., Strezov, V., Chan, K.Y., Ziolkowski, A., Nelson, P.F. 2011. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *J. Environ. Manag.* 92, 223–228.
- Igalavithana, A.D., Ok, Y.S., Niazi, N.K., Rizwan, M., Al-Wabel, M.I., Usman, A.R., Moon, D.H., Lee, S.S. 2017. Effect of corn residue biochar on the hydraulic properties of sandy loam soil. *Sustainability*, 9 (2), 266-276.
- IPCC, 2013. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA 1535 pp.
- Ippolito, J.A., Laird, D.A., Busscher, W.J. 2012. Environmental benefits of biochar. *Journal of environmental quality*, 41(4), 967-972.
- Iriarte-Velasco, U., Sierra, I., Zudaire, L., Ayastuy, J.L. 2016. Preparation of a porous biochar from the acid activation of pork bones. *Food and Bioproces*, 98, 341-353.
- Jay, C.N., Fitzgerald, J.D., Hipps, N.A., Atkinson, C.J., 2015. Why short-term Biochar application has no yield benefits: evidence from three field-grown crops. *Soil Use Manage.* 31, 241–250.
- Jeffery, S., Verheijen, F.G., 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 & environment*, 144(1), 175-187.
- Jeffery, S., Meinders, M.B., Stoof, C.R., Bezemer, T.M., van de Voorde, T.F., Mommer, L., van Groenigen, J.W. 2015. Biochar application does not improve the soil hydrological function of a sandy soil. *Geoderma*, 251, 47-54.

- Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A. C., Van Groenigen, J. W., Hungate, B. A., Verheijen, F. 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environmental Research Letters*, 12(5), 053001.
- Jenerette, G.D., Chatterjee, A., 2012. Soil metabolic pulses: water, substrate, and biological regulation. *Ecology* 93, 959–966.
- Jenkins, J.R., Viger, M., Arnold, E.C., Harris, Z.M., Ventura, M., Miglietta, F., Girardin, C., Edwards, R.J., Rumpel, C., Fornasier, F. Zavalloni, C. 2017. Biochar alters the soil microbiome and soil function: results of next-generation amplicon sequencing across Europe. *Gcb Bioenergy*, 9(3), 591-612.
- Jiang, X., Denef, K., Stewart, C.E., Cotrufo, M.F. 2016. Controls and dynamics of biochar decomposition and soil microbial abundance, composition, and carbon use efficiency during long-term biochar-amended soil incubations. *Biology and Fertility of Soils*, 52(1), 1-14.
- Jien, S.H., Wang, C.S. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110, 225-233.
- Jin, H., 2010. Characterization of microbial life colonizing biochar and biochar-amended soils. Ph.D. Dissertation. Cornell University
- Jones Jr, J.B., Wolf, B., Mills, H.A. 1991. *Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide.* Micro-Macro Publishing, Inc.
- Joseph, S. Camps-Arbestaine, M. Lin, Y. Munroe, P. Chia, C.H. Hook, J. vanZwieten, L. Kimber, S. Cowie, A. Singh, B.P. Lehmann, J. Foidl, N. Smernik, R.J. Amonette, J.E. 2010. An investigation into the reactions of biochar in soil, *Aust. J. Soil Res.*48. 501–515.
- Joseph, S., Graber, E., Chia, C., Munroe, P., Donne, S., Thomas, T., Nielsen, S., Marjo, C., Rutledge, H., Pan, G., Li, L., Taylor, P., Rawal, A., Hook, J., 2013. Shifting paradigms: development of high-efficiency biochar fertilizers based on nano-structures and soluble components. *Carbon Manag.* 4(3), 323–343
- Kacar, B. İnal, A. 2008. *Bitki Analizleri.* Nobel Yayın No:1241, 892 s.
- Kaçar, B., Kütük, C. 2010. *Gübre Analizleri.* Nobel Yayın. ISBN. 978-605-395-306-7. S. 384.

- Kammann, C.I., Schmidt, H.P., Messerschmidt, N., Linsel, S., Steffens, D., Müller, C., ... & Joseph, S. 2015. Plant growth improvement mediated by nitrate capture in co-composted biochar. *Scientific reports*, 5, p. 1080.
- Kammann, C., Ippolito, J., Hagemann, N., Borchard, N., Cayuela, M. L., Estavillo, J. M., ... & Rasse, D. 2017. Biochar as a tool to reduce the agricultural greenhouse-gas burden—knowns, unknowns and future research needs. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(2), 114-139.
- Kerré, B., Willaert, B., Cornelis, Y., Smolders, E., 2017. Long-term presence of charcoal increases maize yield in Belgium due to increased soil water availability. *European Journal of Agronomy*, 91, 10-15.
- King, P.M. 1981. Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Australian Journal of Soil Science* 19, 275–285.
- Kinney, T. J., Masiello, C. A., Dugan, B., Hockaday, W. C., Dean, M. R., Zygourakis, K., Barnes, R. T. 2012. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. *Biomass and Bioenergy*, 41, 34-43.
- Kirkham, M. B. 2014. *Principles of soil and plant water relations*. Academic Press.
- Klass, D.L. 1998. *Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals*. San Diego, CA: Ac. Press.
- Kloss, S., Zehetner, F., Wimmer, B., Buecker, J., Rempt, F., Soja, G. 2014. Biochar application to temperate soils: effects on soil fertility and crop growth under greenhouse conditions. *J Plant Nutr Soil Sci.* 177, 3–15.
- Klute, A. 1986. *Water Retention: Laboratory Methods. Methods of Soil Analysis. Part 1.* 2nd Ed. *Agronomy 9. Am. Soc. Agron.*, 635-660, Madison.
- Knoepp, J.D., DeBano, L. F. Neary, D.G. 2005. *Soil Chemistry, RMRS-GTR 42-4*, US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT.
- Kolb, S. 2007. *Understanding the Mechanisms by which a Manure-Based Charcoal Product Affects Microbial Biomass and Activity*, PhD thesis, University of Wisconsin, Green Bay, US.
- Kolb, S.E., Fermanich, K.J. Dornbush, M.E. 2009. Effect of charcoal on microbial biomass and activity in temperate soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 1173–1181.

- Kolton, M., Harel, Y.M., Pasternak, Z., Graber, E.R., Elad, Y., Cytryn, E. 2011. Impact of biochar application to soil on the root-associated bacterial community structure of fully developed greenhouse pepper plants. *Applied and environmental microbiology*, 77(14), 4924-4930.
- Kolton, M., Graber, E.R., Tsehansky, L., Elad, Y., Cytryn, E. 2017. Biochar-stimulated plant performance is strongly linked to microbial diversity and metabolic potential in the rhizosphere. *New Phytologist*, 213(3), 1393-1404.
- Kookana, R.S., Sarmah, A.K., Van Zwieten, L., Krull, E., Singh, B. 2011. Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Advances in agronomy*, 112(112), 103-143.
- Knicker, H., 2010. 'Black nitrogen'ean important fraction in determining the recalcitrance of charcoal. *Organic Geochemistry* 41, 947e950.
- Kürklü, A., Bilgin, S., Külcü, R., Yıldız, O. 2004. Bazı Sera Bitkisel Biyokütle Atıklarının Miktar ve Enerji İçeriklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. *Biyoenjerji Sempozyumu*. 20–22 Ekim, İzmir. s.69-75.
- Laird, D. A. 2008. The charcoal vision: a win–win–win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. *Agronomy Journal*, 100(1), 178-181.
- Laird, D., Fleming, P., Davis, D., Horton, R., Wang, B., Karlen, D. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158(3–4), 443–449.
- Laghari, M., Mirjat, M.S., Hu, Z., Fazal, S., Xiao, B., Hu, M., Chen, Z., Guo, D. 2015. Effects of biochar application rate on sandy desert soil properties and sorghum growth. *Catena*, 135, 313-20.
- Lamirato, C., Miltner, A., Kaestner, M. 2011. Effects of wood char and activated carbon on the hydrolysis of cellobiose by  $\beta$ -glucosidase from *Aspergillus niger*. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1936-1942.
- Lehmann, J., da Silva Jr, J. P., Rondon, M., Cravo, M. D. S., Greenwood, J., Nehls, T., ... Glaser, B. 2002. Slash-and-char-a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon. In *Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science* pp. 1-12.



- Lehmann, J., da Silva, Jr., J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments, *Plant and Soil*, 249, 343–357.
- Lehmann, J., Liang, B., Solomon, D., Lerotic, M., Luizão, F., Kinyangi, F., Schäfer, T., Wirick, S. Jacobsen, C. 2005. Near-edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) spectroscopy for mapping nano-scale distribution of organic carbon forms in soil: Application to black carbon particles, *Global Biogeochemical Cycles*, 19, pGB1013
- Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M. 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—A review. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change*, 11, 403–427.
- Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 381-387.
- Lehmann, J., Joseph, S. 2009. Biochar for Environmental Management: An Introduction. Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.). *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan. pp. 1-12.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W.C., Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota—a review. *Soil biology and biochemistry*, 43(9), 1812-1836.
- Lehmann J, Joseph S. 2015. Biochar for environmental management: an introduction (Chapter 1). In: J. Lehmann, S. Joseph (eds.) *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*, 2nd ed. Routledge, Abingdon, UK, pp. 1-15.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O’Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J., Luizão, F.J., Petersen, J. Neves, E.G. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils, *Soil Science Society of Ame. J.*, 70, 1719–1730.
- Liang, B., Lehmann, J., Sohi, S.P., Thies, J.E., O’Neill, B., Trujillo, L., Gaunt, J., Solomon, D., Grossman, J., Neves, E.G. Luizão, F.J. 2010. Black carbon affects the cycling of non-black carbon in soil. *Organic Geochemistry*, 41(2), 206-213.

- Lima, I.M., Marshall, W.E. 2005. Granular activated carbons from broiler manure: physical, chemical and adsorptive properties. *Bioresource technology*, 96(6), 699-706.
- Lin, X.W., Zie, Z.B., Zheng, J.Y., Liu, Q., Bei, Q.C., Zhu, J.G., 2015. Effects of biochar application on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and crop growth in coastal saline soil. *Eur. J. Soil Sci.* 66, 329–338.
- Lindsay, W.L., Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America J.*, 42(3), 421-428.
- Lindsay, W.L. 1979. *Chemical equilibria in soils*. John Wiley and Sons Ltd.
- Liu, X.Y. Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G. and Paz-Ferreiro, J. 2013. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions-a meta-analysis of literature data. *Plant and Soil*, 373(1-2), 583-594.
- Liu, Z., Chen, X., Jing, Y., Li, Q., Zhang, J., Huang, Q. 2014. Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. *Catena*, 123, 45-51.
- Liu, Q., Liu, B., Zhang, Y., Lin, Z., Zhu, T., Sun, R., ... Lin, X. 2017a. Can biochar alleviate soil compaction stress on wheat growth and mitigate soil N<sub>2</sub>O emissions?. *Soil Biology and Biochemistry*, 104, 8-17.
- Liu, Z., Dugan, B., Masiello, C.A., Gonnermann, H.M., 2017b. Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties. *PloS one*, 12(6), e0179079.
- Logsdon, S.D., Karlen, D.L. 2004. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. *Soil and Tillage Research*, 78(2), 143-149.
- Lu, H., Li, Z., Fu, S., Méndez, A., Gascó, G., Paz-Ferreiro, J. 2015. Combining phytoextraction and biochar addition improves soil biochemical properties in a soil contaminated with Cd. *Chemosphere*, 119, 209-216.
- Luo, F., Song, J., Xia, W., Dong, M., Chen, M., Soudek, P. 2014. Characterization of contaminants and evaluation of the suitability for land application of maize and sludge biochars. *Environ. Science and Pollution Research*, 21(14), 8707-8717.

- Luo, L., Gu, J.D. 2016. Alteration of extracellular enzyme activity and microbial abundance by biochar addition: Implication for carbon sequestration in subtropical mangrove sediment. *Journal of Environ. management*, 182, 29-36.
- Lynch, J., 1995. Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol.* 109 (1), 7–13.
- McCarl, B. A., Peacocke, C., Chrisman, R., Kung, C. C., Sands, R. D. 2009. Economics of biochar production, utilization and greenhouse gas offsets. *Biochar for environmental management: Science and technology*, 341-358.
- MacKenzie, M.D., DeLuca, T.H., Sala, A. 2006. Fire exclusion and nitrogen mineralization in low elevation forests of western Montana. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(5), 952-961.
- Madari, B.E., Silva, M.A., Carvalho, M.T., Maia, A.H., Petter, F.A., Santos, J.L., ... & Zeviani, W.M. 2017. Properties of a sandy clay loam Haplic Ferralsol and soybean grain yield in a five-year field trial as affected by biochar amendment. *Geoderma* 305, 100-112.
- Maestrini, B., Nannipieri, P., Abiven, S. 2015. A meta-analysis on pyrogenic organic matter induced priming effect. *Gcb Bioenergy*, 7(4), 577-590.
- Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., Goodale, C. 2010. Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Glob Chang Biol* 16, 1366–1379.
- Moragues-Saitua, L., Arias-González, A., Gartzia-Bengoetxea, N. 2017. Effects of biochar and wood ash on soil hydraulic properties: A field experiment involving contrasting temperate soils. *Geoderma*, 305, 144-152.
- Marks, E.A., Alcañiz, J.M., Domene, X. 2014. Unintended effects of biochars on short-term plant growth in a calcareous soil. *Plant and soil*, 385(1-2), 87-105.
- Masiello, C.A., Chen, Y., Gao, X., Liu, S., Cheng, H.Y., Bennett, M.R., Rudgers, J.A., Wagner, D.S., Zygourakis, K., Silberg, J.J. 2013. Biochar and microbial signaling: production conditions determine effects on microbial communication. *Environmental science & technology*, 47(20), 11496-11503.
- Mia, S., Dijkstra, F.A., Singh, B., 2017. Long-term aging of biochar: a molecular understanding with agricultural and environmental implications. *Adv. Agron.* 141, 1–51.

- Naeem, M.A., Khalid, M., Aon, M., Abbas, G., Amjad, M., Murtaza, B., Khan, W.U.D., Ahmad, N. 2018. Combined application of biochar with compost and fertilizer improves soil properties and grain yield of maize. *J. Plant Nutr.* 41(1), 112-122.
- Nannipieri, P., Kandeler, E., Ruggiero, P. 2002. Enzyme Activities and Microbiological and Biochemical Processes in Soil. In *Enzymes in the environment: Activity, ecology, and applications*. CRC Press.
- Nelissen, V., Ruyschaert, G., Müller-Stöver, D., Bodé, S., Cook, J., Ronsse, F., ... & Hauggaard-Nielsen, H. 2014. Short-term effect of feedstock and pyrolysis temperature on biochar characteristics, soil and crop response in temperate soils. *Agronomy*, 4(1), 52-73.
- Nelissen, V., Ruyschaert, G., Manka'Abusi, D., D'Hose, T., De Beuf, K., Al-Barri, B., Boeckx, P. 2015. Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment. *European Journal of Agronomy*, 62, 65-78.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1982. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Page, A.L., Miller, R.H. Keeney, D.R. (Ed) 2nd Ed. SSS of Am. Inc. Pub., Madison, Wisconsin.
- Nelson, N.O., Agudelo, S.C., Yuan, W., Gan, J. 2011. Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. *Soil Science*, 176(5), 218-226.
- Nguyen, T. T. N., Xu, C. Y., Tahmasbian, I., Che, R., Xu, Z., Zhou, X., ... & Bai, S. H. 2017. Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: A review and meta-analysis. *Geoderma*, 288, 79-96.
- Novak, J.M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C., ... Schomberg, H. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Ann. Environ. Sci.* 3(2).
- Novak, J.M., Busscher, W.J., Watts, D.W., Amonette, J.E., Ippolito, J.A., Lima, I.M., ... & Rehrh, D. 2012. Biochars impact on soil-moisture storage in an ultisol and two aridisols. *Soil Science*, 177(5), 310-320.
- Novak, J.M., Ippolito, J.A., Lentz, R.D., Spokas, K.A., Bolster, C.H., Sistani, K., ... Johnson, M.G. 2016. Soil health, crop productivity, microbial transport, and mine spoil response to biochars. *BioEnergy Research*, 9(2), 454-464.
- Oberlin, A., 2002. Pyrocarbons. *Carbon* 40 (1), 7-24.

- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G. and Børresen, T. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 35-44.
- Ogawa, M., Okimori, Y., Takahashi, F. 2006. Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 11, 429-444.
- Oleszczuk, P., Rycaj, M., Lehmann, J., Cornelissen, G. 2012. Influence of activated carbon and biochar on phytotoxicity of air-dried sewage sludges to *Lepidium sativum*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 80, 321–326.
- Olmo, M., Albuquerque, J.A., Barrón, V., Del Campillo, M.C., Gallardo, A., Fuentes, M., Villar, R. 2014. Wheat growth and yield responses to biochar addition under Mediterranean climate conditions. *Biology and Fert. of Soils*, 50(8), 1177-1187.
- Olmo, M., Villar, R., Salazar, P., Albuquerque, J.A. 2016. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. *Plant and soil*, 399(1-2), 333-343.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate US Dept. Agric. Cric. 939.
- Özçimen, D., Ersoy-Meriçboyu, A. 2010. Characterization of biochar and bio-oil samples obtained from carbonization of various biomass materials. *Renewable Energy*, 35(6), 1319-1324.
- Page-Dumroese, D.S., Robichaud, P.R., Brown, R.E., Tirocke, J.M. 2015. Water repellency of two forest soils after biochar addition. *Transactions of the ASABE*, 58(2), 335-342.
- Painter, T.J. 2001. Carbohydrate polymers in food preservation: An integrated view of the Maillard reaction with special reference to the discoveries of preserved foods in Sphagnum dominated peat bogs. *Carbohydrate Polymers* 36, 335-347.
- Park, S., Croteau, P., Boering, K.A., Etheridge, D.M., Ferretti, D., Fraser, P.J., Kim, K.R., Krummel, P.B., Langenfelds, R.L., Van Ommen, T.D., Steele, L.P., Trudinger, C.M., 2012. Trends and seasonal cycles in the isotopic composition of nitrous oxide since 1940. *Nat. Geosci.* 5, 261–265.

- Paz-Ferreiro, J., Trasar-Cepeda, C., Leirós, M.C., Seoane, S., Gil-Sotres, F. 2009. Biochemical properties in managed grassland soils in a temperate humid zone: modifications of soil quality as a consequence of intensive grassland use. *Biol. Fertil. Soils* 45, 711–722.
- Paz-Ferreiro, J., Gascó, G., Gutiérrez, B., Méndez, A., 2012. Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. *Biol. Fertil. Soils* 48, 511–517.
- Peake, L. R., Reid, B. J., Tang, X. 2014. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. *Geoderma*, 235, 182-190.
- Peng, X., Zhu, Q.H., Xie, Z.B., Darboux, F., Holden, N.M. 2016. The impact of manure, straw and biochar amendments on aggregation and erosion in a hillslope Ultisol. *Catena*, 138, 30-37.
- Pereira, R., Heinemann, A., Madari, B., Carvalho, M., Kliemann, H., Santos, A. 2012. Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 47 (5), 716–721.
- Perlack, R.D., Wright, L.L., Turhollow, A.F., Graham, R.L., Stokes, B.J., Erbach, D.C. 2005. Biomass as Feedstock for a Bioenergy and Bioproducts Industry: The Technical Feasibility of a Billion-Ton Annual Supply, available at: [http://feedstockreview.ornl.gov/pdf/billion\\_ton\\_vision.pdf](http://feedstockreview.ornl.gov/pdf/billion_ton_vision.pdf),
- Pietikäinen, J., Kiiikkilä, O., Fritze, H. 2000. Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. *Oikos*, 89(2), 231-242.
- Prapagdee, S., Tawinteung, N. 2017. Effects of biochar on enhanced nutrient use efficiency of green bean, *Vigna radiata* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(10), 9460-9467.
- Preston, C.M., Schmidt, M.W.I. 2006. Black (pyrogenic) carbon in boreal forests: a synthesis of current knowledge and uncertainties. *Biogeosciences Discussions* 3, 211-271.
- Purakayastha, T.J., Kumari, S., Pathak, H. 2015. Characterisation, stability, and microbial effects of four biochars produced from crop residues. *Geoderma*, 239, 293-303.

- Randolph, P., Bansode, R.R., Hassan, O.A., Rehrach, D., Ravella, R., Reddy, M.R., ... & Ahmedna, M. 2017. Effect of biochars produced from solid organic municipal waste on soil quality parameters. *Journal of Environ. Management*, 192, 271-280.
- Randon, M. A., Lehmann, J., Ramirez, J., Hurtado, M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L) increases with biochar additions. *Biol. Fertile. Soils* 43: 699-708.
- Regelink, I. C., Stoof, C. R., Rousseva, S., Weng, L., Lair, G. J., Kram, P., ... & Comans, R. N. 2015. Linkages between aggregate formation, porosity and soil chemical properties. *Geoderma*, 247, 24-37.
- Reverchon, F., Flicker, R.C., Yang, H., Yan, G.J., Xu, Z.H., Chen, C.R., Bai, S.H., Zhang, D.K. 2014. Changes in  $\delta^{15}\text{N}$  in a soil–plant system under different biochar feedstocks and application rates. *Biol Fertile Soils*. 50, 275–283.
- Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, (methodsofsoilan3), 417-435.
- Riaz, M., Roohi, M., Arif, M. S., Hussain, Q., Yasmeen, T., Shahzad, T., ... & Khalid, M. 2017. Corn-cob-derived biochar decelerates mineralization of native and added organic matter (AOM) in organic matter depleted alkaline soil. *Geoderma*, 294, 19-28.
- Ritz, K., McNicol, J.W., Nunan, N., Grayston, S., Millard, P., Atkinson, D., Gollotte, A., Habeshaw, D., Boag, B., Clegg, C.D., Griffiths, B.S. 2004. Spatial structure in soil chemical and microbiological properties in an upland grassland. *FEMS Microbiology Ecology*, 49(2), 191-205.
- Ro, K.S., Cantrell, K.B., Hunt, P.G. 2010. High-temperature pyrolysis of blended animal manures for producing renewable energy and value-added biochar. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 49(20), 10125-10131.
- Roberts, K. G., Gloy, B. A., Joseph, S., Scott, N. R., Lehmann, J. 2009. Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential. *Environmental science & technology*, 44(2), 827-833.
- Rogovska, N., Laird, D.A., Rathke, S.J., Karlen, D.L. 2014. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. *Geoderma*, 230, 340-347.

- Rondon, M.A., Lehmann, J., Ramírez, J. and Hurtado, M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biology and Fertility of Soils* 43(6), 699-708.
- Ruqin, F.A.N., Jia, L.U.O., Shaohua, Y.A.N., Yunlai, Z.H.O.U., Zhang, Z. 2015. Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth. *Pedosphere*, 25(5), 737-748.
- Russel S., Gorska, E.B., Wyczoekowski A.I. 2005. The significance of studies on enzymes in soil environment. *Acta Agroph.* 3. 27-36.
- Quilliam, R.S., DeLuca, T.H., Jones, D.L. 2013. Biochar application reduces nodulation but increases nitrogenase activity in clover. *Plant and soil*, 366(1-2), 83-92.
- Sandhu, S.S., Kumar, S. 2017. Impact of Three Types of Biochar on the Hydrological Properties of Eroded and Depositional Landscape Positions. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 878-888.
- Sänger, A., Reibe, K., Mumme, J., Kaupenjohann, M., Ellmer, F., Roß, C.L., Meyer-Aurich, A. 2017. Biochar application to sandy soil: effects of different biochars and N fertilization on crop yields in a 3-year field experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 63(2), 213-229.
- Sarkhot, D.V., Berhe, A.A., Ghezzehei, T.A. 2012. Impact of Biochar Enriched with Dairy Manure Effluent on Carbon and Nitrogen Dynamics, *J. Environ. Qual.*, 41, 1107–1114.
- Sarkhot, D.V., Ghezzehei, T.A., Berhe, A.A. 2013. Biochar for nutrient recapture from dairy wastewater: recovery of major nutrients, *J. Environ. Qual.*, 42, 1545–1554.
- Schmalenberger, A., Fox, A. 2016. Bacterial mobilization of nutrients from biochar amended soils. *Adv. Appl. Microbiol.* 94, 109-159.
- Sigua, G.C., Novak, J.M., Watts, D.W., Cantrell, K.B., Shumaker, P.D., Szögi, A.A., Johnson, M.G. 2014. Carbon mineralization in two Ultisols amended with different sources and particle sizes of pyrolyzed biochar. *Chemosphere*, 103, 313-321.
- Silber, A., Levkovitch, I., Graber, E.R. 2010. pH-dependent mineral release and surface properties of cornstraw biochar: agronomic implications. *Environmental science & technology*, 44(24), 9318-9323.



- Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowie, A.L., Kathuria, A. 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of environmental quality*, 39(4), 1224-1235.
- Sizmur, T., Fresno, T., Akgül, G., Frost, H., Moreno-Jiménez, E. 2017. Biochar modification to enhance sorption of inorganics from water. *Bioresource technology*. 246: 34-47.
- Smith, J.L., Collins, H.P., Bailey, V.L. 2010. The effect of young biochar on soil respiration. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(12), 2345-2347.
- Soane, B.D. 1990. The Role of Organic-Matter in Soil Compactibility - a Review of Some Practical Aspects. *Soil & Tillage Research* 16, 179- 201.
- Sohi, S. Loez-Capel, E., Krull, E., Bol, R. 2009. Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs. CSIRO Land and Water Science Report 05/09, 64 pp
- Solaiman, Z.M., Murphy, D.V., Abbott, L.K. 2012. Biochars influence seed germination and early growth of seedlings. *Plant and Soil*, 353(1-2), 273-287.
- Spokas, K.A., Reicosky, D.C. 2009. Impacts of Sixteen Different Biochars on Soil Greenhouse Gas Production. *Annals of Environmental Science*, 3(1), 4.
- Spokas, K.A., Baker, J.M., Reicosky, D.C. 2010. Ethylene: potential key for biochar amendment impacts. *Plant and soil*, 333(1-2), 443-452.
- Spokas, K.A., Novak, J.M., Stewart, C.E., Cantrell, K.B., Uchimiya, M., DuSaire, M.G., Ro, K.S. 2011. Qualitative analysis of volatile organic compounds on biochar. *Chemosphere*, 85(5), 869-882.
- Spokas, K.A., Cantrell, K.B., Novak, J.M., Archer, D.W., Ippolito, J.A., Collins, H.P., Boateng, A.A., Lima, I. M., Lamb, M.C., McAloon, A.J. 2012. Biochar: a synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration, *J. Environ. Qual.*, 41, 973– 989.
- Steinbeiss, S., Gleixner, G., Antonietti, M. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* 41,1301–1310.
- Steiner, C. 2004. Plant nitrogen uptake doubled in charcoal amended soils, *Energy with Agricultural Carbon Utilization Symposium*, Athens, Georgia, U.S.A.

- Steiner, C., Glaser, B., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Blum, W.E.H., Zech, W. 2008. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 171, 893-899.
- Steiner, C., Das, K.C., Melear, N., Lakly, D. 2010. Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar. *Journal of Environm Quality*, 39(4), 1236-1242.
- Stott, D.E., Andrews, S.S., Liebig, M.A., Wienhold, B.J., Karlen, D.L. 2010. Evaluation of  $\beta$ -glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. *Soil Science Society of America Journal*, 74(1), 107-119.
- Subedi R, Taupe N, Ikoyi I, Bertora C, Zavattaro L, Schmalenberger A, Leahy JJ, Grignani C, 2016a. Chemically and biologically-mediated fertilizing value of manure-derived biochar. *Sci. Total Environ.* 550, 924-33.
- Subedi, R., Taupe, N., Pelissetti, S., Petruzzelli, L., Bertora, C., Leahy, J.J., Grignani, C. 2016b. Greenhouse gas emissions and soil properties following amendment with manure-derived biochars: influence of pyrolysis temperature and feedstock type. *J. Environ. Manag.* 166, 73-83.
- Subedi, R., Bertora, C., Zavattaro, L., Grignani, C. 2017. Crop response to soils amended with biochar: expected benefits and unintended risks. *Italian Journal of Agronomy*, 11.
- Sumner, M.E. W.P. Miller. 1996. Cation exchange capacity, and exchange coefficients. In: D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical properties* (3rd ed.). ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI.
- Sun, F., Lu, S. 2014. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *J. Plant Nutrition and Soil Sci.*, 177(1), 26-33.
- Sun, Z., Arthur, E., De Jonge, L.W., Elsgaard, L., Moldrup, P. 2015. Pore Structure characteristics after 2 years of biochar application to a sandy loam field. *Soil Science* 180 (2), 41–46.
- Sun, J., Drosos, M., Mazzei, P., Savy, D., Todisco, D., Vinci, G., ... & Piccolo, A. 2017. The molecular properties of biochar carbon released in dilute acidic solution and its effects on maize seed germination. *Science the Total Environ.*, 576, 858-867.

- Sundquist, E.T. 1993. The Global Carbon-Dioxide Budget. *Science* 259: 1812-1812.
- Süenal, S., Erşahin, S. 2012. Türkiye’de tarımsal kaynaklı yeraltı suyu nitrat kirliliği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (2), 116-118.
- Tabatabai, M.A. 1982. Soil enzymes. In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*. American Society of Agronomy, pp. 903–948.
- Tabatabai, M.A. 1994. Soil enzymes. In: Weaver, R.W., Angle, S., Bottomley, P. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties*. Soil Science Society of America, Madison, pp. 775–833
- Taghizadeh-Toosi, A., Clough, T.J., Sherlock, R.R., Condon, L.M. 2012. Biochar adsorbed ammonia is bioavailable. *Plant and Soil*, 350(1-2), 57-69.
- Tammeorg, P., Simojoki, A., Mäkelä, P., Stoddard, F.L., Alakukku, L., Helenius, J. 2014. Biochar application to a fertile sandy clay loam in boreal conditions: effects on soil properties and yield formation of wheat, turnip rape and faba bean. *Plant and soil*, 374(1-2), 89-107.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 3 – Chemical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 475–490.
- Thomas, G.W. 1982. *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, Page, A.L., Miller, R.H. Keeney, D.R.(ed) 2<sup>nd</sup> edition. S.S.S. of America Inc. Publisher, Madison, Wisconsin pp159-164.
- Thomazini, T., Spokas, K., Hall, K., Ippolito, J., Lentz, R., Novak, J. 2015. GHG impacts of biochar: predictability for the same biochar. *Agric. Ecosyst. Envir.* 207, 183-191.
- Tian, X., Li, C., Zhang, M., Wan, Y., Xie, Z., Chen, B., Li, W. 2018. Biochar derived from corn straw affected availability and distribution of soil nutrients and cotton yield. *PloS one*, 13(1), e0189924.
- Toles, C., Rimmer, S., Hower, J.C. 1996. Production of activated carbons from a Washington lignite using phosphoric acid activation. *Carbon*, 34(11), 1419-1426.
- Troeh, F.R. Thompson, L. M. 2005. *Soils and Soil Fertility*, Blackwell Publis., Iowa, US.

- Ueno, M., Kawamitsu, Y., Komiya, Y., Sun, L. 2007. Carbonisation and gasification of bagasse for effective utilisation of sugarcane biomass. *Int. Sugar J.* 110, 22-26.
- Usman, A.R.A., Al-Wabel, M.I., Ok, Y.S., Al-Harbi, A., Wahb-Allah, M., El-Naggar, A.H., Ahmad, M., Al-Faraj, A., Al-Omran, A. 2016. Conocarpus biochar induces changes in soil nutrient availability and tomato growth under saline irrigation. *Pedosphere* 26, 27-38.
- Utomo, W.H., Guritno, B., Soehono, L.A. 2012. The effect of biochar on the growth and N fertilizer requirement of maize (*Zea mays* L.) in green house experiment. *Journal of Agricultural Science* 4, 255
- Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., Nishihara, E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil use and management*, 27(2), 205-212.
- Yaman S. 2004. Pyrolysis of Biomass to Produce Fuels and Chemical Feedstocks. *Energy Convers Manag.* 45, 651–71.
- Yanai, Y., Toyota, K., Okazaki, M., 2007. Effects of charcoal addition on N<sub>2</sub>O emissions from soil resulting from rewetting air-dried soil in short-term laboratory experiments. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53, 181–188.
- Yu, X.Y., Ying, G.G., Kookana, R.S. 2006. Sorption and Desorption Behaviors of Diuron in Soils Amended with Charcoal. *J. of Agric. Food Chemistry* 54, 8545–8550.
- Yuan, J.H., Xu, R.K. Zhang, H. 2011. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures. *Bioresource Tech.*, 102(3), 3488-3497.
- Wang, T., Camps-Arbestain, M., Hedley, M., Bishop, P. 2012. Chemical and bioassay characterisation of nitrogen availability in biochar produced from dairy manure and biosolids. *Org. Geochem.* 51, 45–54.
- Wardle, D.A., Zackrisson, O., Nilsson, M.C. 1998. The charcoal effect in Boreal forests: mechanisms and ecological consequences. *Oecologia*, 115(3), 419-426.
- Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W., Rillig, M.C. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant and soil*, 300(1-2), 9-20.
- Weyers, S.L., Liesch, A.M., Gaskin, J.W., Das, K.C. 2009. Earthworms Contribute to Increased Turnover in Biochar Amended Soils [abstract][CD-ROM]. ASA-

- CSSA-SSSA Annual Meeting Abstracts. ASA-CSSA-SSSA Annual Meeting. Nov. 1-5, 2009, Pittsburgh, PA.
- Wilhelm, W.W., J.M.F. Johnson, J.L. Hatfi Eld, W.B. Voorhees, D.R. Linden. 2004. Crop and Soil Productivity Response to Corn Residue Removal: A Literature Review. *Agron. J.* 96, 1-17.
- Winsley, P. 2007. Biochar and Bionenergy Production for Climate Change. *New Zealand Science Review.* 64 (1), 1-10.
- Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J., Joseph, S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. *Nature communications*, 1, 56.
- Van Zwieten, L., Singh, B., Joseph, S., Kimber, S., Cowie, A., Chan, K.Y. 2009. Biochar and emissions of non-CO<sub>2</sub> greenhouse gases from soil. *Biochar for environmental management: science and technology*, 1, 227-250.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., 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(1-2), 235-246.
- Van Zwieten, L., Singh, B.P., Kimber, S.W.L., Murphy, D.V., Macdonald, L.M., Rust, J., Morris, S. 2014. An incubation study investigating the mechanisms that impact N<sub>2</sub>O flux from soil following biochar application. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 191, 53-62.
- Van Zwieten, L.V., Rose, T, Herridge, D., Kimber, S., Rust, J., Cowie, A., Morris, S. 2015. Enhanced biological N<sub>2</sub> fixation and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in an acid soil following biochar addition: dissection of causal mechanisms. *Plant Soil* 395, 7–20.
- Ventura, M., Zhang, C., Baldi, E., Fornasier, F., Sorrenti, G., Panzacchi, P., Tonon, G. 2014. Effect of biochar addition on soil respiration partitioning and root dynamics in an apple orchard. *European journal of soil science*, 65(1), 186-195.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A.C., Van der Velde, M., Dias, I. 2010. Biochar application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. *EUR*, 24099, 162.
- von Lütow, M., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Flessa, H., Guggenberger, G., Matzner, E., Marschner, B. 2007. SOM fractionation methods: relevance to

- functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(9), 2183-2207.
- Xiao, Q., Zhu, L.X., Shen, Y.F., Li, S.Q. 2016a. Sensitivity of soil water retention and availability to biochar addition in rainfed semi-arid farmland during a three-year field experiment. *Field Crops Research*, 196, 284-293.
- Xiao, Q., Zhu, L.X., Zhang, H.P., Li, X.Y., Shen, Y.F., Li, S.Q. 2016b. Soil amendment with biochar increases maize yields in a semi-arid region by improving soil quality and root growth. *Crop and Pasture Science*, 67(5), 495-507.
- Xu, C.Y., Bai, S.H., Hao, Y., Rachaputi, R.N., Wang, H., Xu, Z., Wallace, H., 2015. Effect of Biochar amendment on yield and photosynthesis of peanut on two types of soils. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22 (8), 6112–6125.
- Zackrisson, O., Nilsson, M.C. Wardle, D.A., 1996. Key ecological function of charcoal from wildfires in the Boreal forest. *Oikos*: 77, 10-19.
- Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., Li, L., ... Yu, X. 2012. Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: a field study of 2 consecutive rice growing cycles. *Field Crops Research*, 127, 153-160.
- Zhang, S., Sadras, V., Chen, X., Zhang, F. 2014a. Water use efficiency of dryland maize in the Loess Plateau of China in response to crop management. *Field Crops Research*, 163, 55-63.
- Zhang, Q., Du, Z., Lou, Y., He, X. 2015. A one-year short-term biochar application improved carbon accumulation in large macroaggregate fractions. *Catena*, 127, 26-31.
- Zhang, D., Pan, G., Wu, G., Kibue, G. W., Li, L., Zhang, X., ... & Liu, X. 2016. Biochar helps enhance maize productivity and reduce greenhouse gas emissions under balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol. *Chemosphere*, 142, 106-113.
- Zhang, H., Yu, X., Jin, Z., Zheng, W., Zhai, B., Li, Z. 2017. Improving grain yield and water use efficiency of winter wheat through a combination of manure and chemical nitrogen fertilizer on the Loess plateau, China. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(2), 461-474.

- Zhao, R., Coles, N., Kong, Z., Wu, J., 2015. Effects of aged and fresh biochars on soil acidity under different incubation conditions. *Soil Tillage Res.* 146, 133–138.
- Zhao, L., Zheng, W., Mašek, O., Chen, X., Gu, B., Sharma, B. K., Cao, X. 2017. Roles of phosphoric acid in biochar formation: synchronously improving carbon retention and sorption capacity. *Journal of environmental quality*, 46(2), 393-401.
- Zimmerman, A.R., Gao, B., Ahn, M.Y. 2011. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(6), 1169-1179.



## 7. ÖZGEÇMİŞ

<b>Doğum Yeri</b>	Şereflikoçhisar-Ankara
<b>Doğum Yılı</b>	1974
<b>Lisans</b>	Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü
<b>Yüksek Lisans</b>	Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
<b>Doktora</b>	Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak ve Bitki Besleme Anabilim Dalı
<b>Yabancı Dil/Seviye</b>	İngilizce/İyi