



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**KİREÇLİ TOPRAKTA BİYOKÖMÜR VE
FARKLI AZOTLU GÜBRELERİN MISIR
BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE AZOT
KULLANIMINA ETKİLERİ**

Şerife AVCI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Ağustos-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Şerife AVCI tarafından hazırlanan “Kireçli Toprakta Biyokömür ve Farklı Azotlu Gübrelerin Mısır Bitkisinin Gelişimi ve Azot Kullanımına Etkileri” adlı tez çalışması 23/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Sait GEZGİN

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Fatma GÖKMEN YILMAZ

Üye

Doç. Dr. Özge ŞAHİN

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ömer Faruk YÜKSEL
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Şerife AVCI

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİREÇLİ TOPRAKTA BİYOKÖMÜR VE FARKLI AZOTLU GÜBRELERİN MISIR BİTKİSİNİN GELİŞİMİ VE AZOT KULLANIMINA ETKİLERİ

Şerife AVCI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatma GÖKMEN YILMAZ
2024, 62 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Fatma GÖKMEN YILMAZ
Prof. Dr. Sait GEZGİN
Doç. Dr. Özge ŞAHİN

Bitkisel üretimde verim ve kalitenin artırılmasında Dünya da olduğu gibi ülkemizde de en fazla tüketilen kimyasal gübreler azotlu gübrelerdir. Azotun gerektiğinden az kullanımı bitkisel ürünlerde verim ve kalite kayıplarına, fazla kullanımı ise toprak ve iklim özelliklerine bağlı olarak amonyak gazı şeklinde uçması ya da yağışın veya sulamanın fazla olduğu topraklarda nitrat iyonu şeklinde yıkanması sureti ile ekonomik kayıpların yanında daha da önemlisi çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle bitkisel üretimde kullanılan azotlu gübrelerden meydana gelen kayıpların azaltılması ve bitkilerin azot kullanım etkinliğinin artırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, sera koşullarında kireçli ve organik maddece fakir bir toprakta biyokömür ile birlikte geleneksel ve inhibitörlü azotlu gübre uygulamalarının mısır bitkisinin gelişimi, verimi ve azot alımı üzerine etkileri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda bitki kuru ağırlığı uygulamalara bağlı olarak değişmekle birlikte en yüksek ($53.51 \text{ g saksı}^{-1}$) İnh. Üre uygulaması ile elde edilmiştir. Biyokömür uygulaması ile bitki kuru ağırlığı ve azotun agronomik etkinliği azalmış olup en fazla azalma biyokömür ile birlikte İnh. AS uygulamasında olmuştur. Elde edilen verilere göre biyokömür uygulamasının mısır bitkisini azot kullanım etkinliğini arttırmadığı belirlenmiştir. Ayrıca biyokömür uygulaması ile bitkinin azot (N), magnezyum (Mg), bakır (Cu) konsantrasyonları önemli düzeyde azalırken, potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) konsantrasyonları artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Azot kullanım etkinliği, biyokömür, geleneksel azotlu gübreler, inhibitörlü azotlu gübreler, mısır.

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECTS OF BIOCHAR AND DIFFERENT NITROGEN FERTILISERS ON THE GROWTH AND NITROGEN UTILISATION OF MAIZE IN CALCEROUS SOIL

Şerife AVCI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN SOIL SCIENCE AND PLANT
NUTRITION DEPARTMENT**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Fatma GÖKMEN YILMAZ

2024, 62 Pages

Jury

Assist. Prof. Dr. Fatma GÖKMEN YILMAZ

Prof. Dr. Sait GEZGİN

Assoc. Prof. Dr. Özge ŞAHİN

Nitrogen fertilisers are the most consumed chemical fertilisers in our country as in the world in order to increase the yield and quality in crop production. Underuse of nitrogen causes yield and quality losses in crops, while overuse of nitrogen causes economic losses and more importantly environmental pollution by volatilisation in the form of ammonia gas depending on soil and climate characteristics or by leaching in the form of nitrate ion in soils with high rainfall or irrigation. For this reason, it is necessary to reduce the losses from nitrogen fertilisers used in crop production and to increase the nitrogen use efficiency of plants. In this study, the effects of biochar and conventional and inhibitor nitrogen fertiliser applications on the growth, yield and nitrogen uptake of maize plant were determined in a calcareous and organic matter poor soil under greenhouse conditions. As a result of the study, although plant dry weight varied depending on the applications, the highest (53.51 g pot⁻¹) was obtained with Inh. Urea application. Plant dry weight and nitrogen agronomic efficiency decreased with biochar application and the highest decrease was in Inh. AS application. According to the data obtained, it was determined that biochar application did not increase the nitrogen agronomic efficiency of maize plant. In addition, nitrogen (N), magnesium (Mg), copper (Cu) concentrations of the plant decreased significantly with biochar application, while potassium (K) and calcium (Ca) concentrations increased.

Keywords: Nitrogen use efficiency, biochar, conventional nitrogenous fertilizers, nitrogen fertilizers with inhibitors, maize.

ÖNSÖZ

Çalışma konusunun belirlenmesinde ve çalışmanın hazırlanma sürecinin her aşamasında bilgilerini, tecrübelerini ve değerli zamanlarını esirgemeyerek her fırsatta bana yardımcı olan değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fatma GÖKMEN YILMAZ'a, meslek hayatının ilk gününden itibaren bilgileri, fikirleri, duruşu ve azmiyle önümüze ışık tutan fakülte dekanımız ve aynı zamanda bölüm başkanımız olan Prof. Dr. Sait GEZGİN'e ve katkılarından dolayı diğer hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında, her alanında maddi ve manevi destekleriyle, koşulsuz sevgi ve sabırlarıyla yanımda olan şükrettiğim ve iyi ki dediğim başarılarımın görünmeyen başrol oyuncularını saygıdeğer anne ve babama, önümde her zaman kılavuz olan canım ablama, değerli abime ve eşine, ayrıca hayatıma renk katan ve beni her koşulda mutlu eden biricik yeğenlerime teşekkür ederim.

Çalışmamda yardımları ve katkılarıyla beni mutlu eden değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet ZENGİN ve Öğr. Gör. Nesim DURSUN'a, ayrıca laboratuvar ve sera çalışmalarında desteklerini esirgemeyen, birlikte yorulup dinlendiğimiz değerli yol arkadaşlarım Zir. Yük. Müh. Mahmoud NAZZAL, Zir. Yük. Müh. Sena ILDIRAR, Zir. Yük. Müh. Nazlı Can AYDENİZ, Dr. Ayşegül KORKMAZ, Dr. Zuhale Zeynep AVŞAROĞLU, Zir. Yük. Müh. Tuğçe BAŞ ve Zir. Müh. Nur Furkan TAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Şerife AVCI
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	10
3.1. Materyal	10
3.1.1. Toprak materyali	10
3.1.2. Gübre materyalleri	10
3.1.3. Bitki materyali	10
3.1.4. Denemede kullanılan organik materyal	10
3.2. Yöntem.....	16
3.2.1. Denemenin kurulması ve yürütülmesi	16
3.2.2. Deneme toprağının analize hazırlanması, bazı fiziksel ve kimyasal analiz metotları	18
3.2.3. Hasat Öncesi Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler.....	18
3.2.4. Bitki örneklerinin hasat edilmesi ve laboratuvar analizleri için hazırlanması	20
3.2.5. Hasat Sonrası Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler.....	21
3.2.6. İstatistiksel Değerlendirme	23
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	24
4.1. Bitki Gövde Çapı	24
4.2. Bitki Boyu.....	26
4.3. Kuru Ağırlık.....	28
4.4. Nispi Klorofil Değeri	30
4.5. Klorofil a.....	32
4.6. Klorofil b.....	34
4.7. Bitkinin Makro ve Mikro Besin Elementi Konsantrasyonları	35
4.8. Azot Agronomik Etkinliği	54
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

% : Yüzde
°C : Santigrad derece
B : Bor
Ca : Kalsiyum
cm : Santimetre
Cu : Bakır
da : Dekar
EC : Elektriksel kondaktivite
Fe : Demir
g : Gram
ha : Hektar
K : Potasyum
KDK : Katyon değişim kapasitesi
kg : Kilogram
L : Litre
mg : Miligram
Mg : Magnezyum
ml : Mililitre
mm : Milimetre
Mn : Mangan
N : Azot
P : Fosfor
pH : Toprak reaksiyonu
Zn : Çinko
µg : Mikrogram

Kısaltmalar

AS: Amonyum Sülfat
AN: Amonyum Nitrat
CaNit: Kalsiyum Nitrat
İnh. AS: İnhibitörlü Amonyum Sülfat
İnh. Üre: İnhibitörlü Üre
DMPP: 3.4-dimethylpyrazole phosphate
NBPT: N-(n-butyl)
mg kg⁻¹: Milyonda bir kısım
ICP-OES: Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer

1. GİRİŞ

Bitkiler mutlak gerekli besin elementlerinden en fazla azota (N) ihtiyaç duymaktadırlar. Dolayısıyla ülkemizde ve Dünya’da en fazla kullanılan gübreler azotlu gübrelerdir. Azotlu gübrelerin eksik veya fazla kullanılması verim ve kaliteyi olumsuz etkilemekte dolayısıyla büyük ekonomik kayıpları beraberinde getirmektedir. Bitkilerin azot alım etkinliklerinin yapılan çalışmalarda (Yılmaz, 2015; Karahan, 2016) bitki çeşidi, uygulanan azotlu gübre, gübre uygulama miktarı ve şekline bağlı olarak %20-60 arasında değiştiğini, kullanılmayan %40-80’inin ise kayıp olduğu bildirilmiştir. Son yıllarda azotun çevreyi kirletici etkisi ve gübre fiyatlarındaki artışa bağlı olarak azotlu gübrelerin bitkiler tarafından alınıp kullanılmasının etkinliği üzerine yapılan çalışmalara olan ilgi artmıştır. Bitkinin azot alım etkinliği, özellikle toprakta azotun düşük olduğu durumlarda önemlidir. Çünkü bitki, azotun yetersiz olduğu ortamlarda daha verimli bir şekilde azot alımını sağlamak için adapte olmuştur. Bu durumda bitki azotu daha etkin bir şekilde kullanarak büyüme ve gelişimini sürdürmeye devam edebilmektedir. Öte yandan, azottan yararlanma etkinliği, toprakta azotun fazla olduğu koşullarda önem kazanır. Bu durumda bitki, topraktaki fazla azotu verimli bir şekilde kullanarak aşırı miktarda azot alımını önler. Aksi halde, aşırı azot bitkiyi olumsuz etkileyebilir ve çevresel sorunlara neden olabilir. Bu nedenle, bitkinin azot alım ve yararlanma etkinliği, azotun toprakta değişken olduğu koşullarda önemlidir. Bitkiler, azot alım ve kullanımı konusunda adaptasyonlarını çeşitli düzeylerde gerçekleştirerek, hem azot noksanlığı hem de fazlalığı gibi koşullara uyum sağlamaya çalışırlar (Moll ve ark., 1982). Azotlu gübrelerin tek doz yerine bölünerek uygulanmasının yıkanmaya bağlı kayıpları azaltma, su kaynaklarını koruma, hastalıklara karşı dayanıklılığı ve azot kullanım verimliliğini artırma açısından önemli olduğu tespit edilmiştir (Akgün ve ark., 2011).

Buğday yetiştiriciliği üzerine azotlu gübrelerin etkisinin belirlendiği çalışmalarda azot uygulamasının gerekli olduğu ancak azotlu gübrenin çeşit ve miktarının buğday çeşidine ve ekolojik koşullara bağlı olduğu sonucuna varılmıştır (Yılmaz ve Şimşek, 2012). Azotun aşırı kullanımı, bitkilerde tane ve meyve verimini azaltırken maliyeti arttırabilir, çevre kirliliği ile çevre-genotip etkileşimine bağlı olarak azot kaybına neden olabilir. Azotlu gübrelerin olumsuz çevresel etkilerini en aza indirmek ve verim ile kaliteyi arttırmak için topraktaki azot hareketlerinin anlaşılması gerekmektedir. Bitkiler toprağa uygulanan azotlu gübrelerin tamamından faydalanamamaktadır. Azotun bir kısmı bitkiler tarafından alınıp ürüne dönüştürülürken

bir kısmı da topraktaki kimyasal reaksiyonlar sonucu kaybolmaktadır. Azotlu gübrelerin bitkilerde kullanılmasının etkinliği, kayıplara ve elde edilen verime bağlı olarak değişmektedir (Eyupoglu, 2002).

Artan dünya nüfusunu yeterince besleyebilmek için elde edilen verimin artırılmasını sağlayacak azotlu gübre miktarını belirlemek ve bu gübrelerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak, azot alım etkinliğini artırmakla mümkün olacaktır. Azot alım etkinliğinin artırılması bitkisel üretimde verimliliği arttırırken çevresel etkileri en aza indirmeye yardımcı olabilmektedir. Topraktaki azotun temel kaynağı toprak organik maddesidir. Organik formda bulunan azotun her yıl %2-3'ü mineralize olmaktadır ve toprağın üst katmanlarındaki mevcut azotun %8'i, alt katmanlarındaki mevcut azotun ise yaklaşık %40'ı amonyum azotu şeklinde fiksede edilmektedir (Kacar, 2009). Organik maddenin toprakta kalma süresinin kısa olması sürekli olarak ilave edilmesini gerekli kılmaktadır. Azotun gerektiğinden az kullanımı bitkisel ürünlerde verim ve kalitede kayıplarına, fazla kullanımı ise toprak ve iklim özelliklerine bağlı olarak amonyak şeklinde volatilizasyona ya da yağışın veya sulamanın fazla olduğu alanlarda nitrat iyonu şeklinde yıkanması sureti ile ekonomik kayıpların yanında çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu olumsuz etkilerin azaltılması için bitkilerin azottan etkin bir şekilde faydalanması sağlanmalıdır. Azot kayıplarının azaltılarak azot kullanım etkinliğinin artırılması amacıyla DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) ve NBPT [N-(n-butyl) thiophosphoric triamide] gibi azot inhibitörlü gübreler kullanılmaktadır. Ayrıca azotun bitkilerce etkin kullanımın sağlanabilmesi için toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini olumlu yönde etkileyen ve azotu bünyesinde tutması ile azot yarayışlılığına katkı sağlayan organik materyallerinden biyokömürün kullanıldığı bilinmektedir (Günel, 2018).

Biyokömür, çeşitli bitki ve hayvan atıklarının yüksek sıcaklık ve minimum oksijen koşulunda termo-kimyasal değişime bağlı olarak elde edilmektedir. Elde edilen materyalin yüksek karbon içeriği, geniş yüzey alanı ve ayrışma karşısında gösterdiği direnç gibi özellikleri sayesinde organik maddenin eksikliğini giderebilecek potansiyele sahiptir. Organik maddeye kıyasla olumlu özellikleri nedeni ile biyokömür ile ilgili çalışmalar son yıllarda giderek artmıştır (Luo ve Gu, 2016).

Biyokömür, toprak yönetimi ve karbon (C) zenginleştirilmesi ile ilgili olarak ortaya çıkan bir terimdir. Biyokömür odun, saman, yaprak ve hayvan artıkları gibi biyokütlelerin kapalı bir ortamda çok az veya hiç oksijen olmadan piroliz edilmesiyle elde edilen karbonca zengin bir üründür (Lehmann ve ark., 2006). Daha teknik anlamda,

düşük oksijen ve düşük sıcaklık ($<700\text{ }^{\circ}\text{C}$) varlığında organik maddenin ısı transferi/pirolizine bağlı olarak elde edilen ürünlere biyokütle adı verilmektedir (Lehmann ve Joseph, 2009). Son 20 yılda biyokömür üzerine pek çok çalışma yapılmış ve yayınlanmıştır. Biyokömür 4 amaçla uygulanmaktadır. Bunlar; çevre yönetimi, toprağın iyileştirilmesi (kirliliği azaltırken üretimi artırmak), atık yönetimi, iklim değişikliğiyle mücadele ve enerji üretimi şeklindedir (Lehmann ve Joseph, 2009). Başka bir deyişle biyokömür hem toprakta azot oksit gazlarının salınımını azaltarak çevre için önemli bir madde halinde olup hem de toprakta karbon depolanmasını teşvik etmektedir. Biyokömür uygulaması ile toprakta besin elementlerinin tutulması ve ağır metallerin tutularak olumsuz etkilerinin azaldığı ve sera gazı etkisinin de azaldığını gösteren çalışmalar yapılmıştır (Major ve ark., 2010; Namgay ve ark., 2010).

Biyokömürün toprak verimliliği üzerindeki etkisi, topraktaki faydalı besin maddelerinin miktarı ve bulunabilirliği (Lehmann ve ark., 2003) ve bunların toprak biyokimyasal özellikleri üzerine etkisi (Luo ve Gu, 2016) ile ilgilidir. Bu etki toprağa uygulanan biyokömürün özelliklerine bağlı olsa da biyokömürün topraktaki su ve besin maddelerini tutması veya mikrobiyal aktivite üzerine olumlu etkisinden kaynaklanmaktadır (Atkinson ve ark., 2010). Yüzey alanı ve karbon içeriği çok fazla, gözenekli yapısı ve çoğunlukla yüksek pH'lı biyokömürün toprağa uygulanması toprağın organik madde içeriğinin, gözenekliliğinin (Githinji, 2014), yüzey alanının (Lehmann ve ark., 2011) ve pH'sının artmasına; hacim ağırlığı ve sıkışmasının azalmasına (Verheijen ve ark., 2010) neden olmaktadır. Ayrıca topraktaki gözenek büyüklük dağılımının, su tutma kapasitesinin yükselmesine (Akhtar ve ark., 2015) ve toprak mikroorganizmalarının miktarının ve çeşidinin değişmesine (Gul ve ark., 2015) neden olduğu bildirilmiştir.

Bitkinin gelişmesi ve büyümesi için gerekli olan azot [organik azot bileşikleri, atmosferik azot (N_2), amonyum (NH_4^+) ve nitrat (NO_3^-) iyonları] toprakta farklı formlarda bulunmaktadır. Azot (N_2) gaz halinde bulunduğu için bitkiler bu formundan doğrudan yararlanamaz. Öte yandan, topraktaki azotun çoğu organik formdadır ve inorganik hale dönüştürülmesi gerekir. Amonyum (NH_4) ve nitrat (NO_3) formlarındaki azottan bitkiler doğrudan yararlanabilir (Killpack ve Buchholz, 1993). DMP bazlı (Corrochano-Monsalve ve ark., 2020) 3,4-dimetilpirazol fosfat (DMPP) önemli özelliklere sahip yeni bir nitrifikasyon inhibitörüdür. BASF, bazı üniversiteler ve araştırma enstitüleri arasındaki ortak bir projenin sonucu olarak geliştirilen çok düşük konsantrasyonlu ($0.5\text{-}1.5\text{ kg ha}^{-1}$) etkili bir nitrifikasyon inhibitörüdür (Zerulla ve ark.,

2001). Gübreyeye eklenen azot inhibitörü gübrenin içeriğindeki azotun yarıyışlılık süresini uzatarak, azot kayıplarını azaltır ve bitkilerin azot verimliliğini artırır. Azot geçici bir süre, üre azotu ($\text{NH}_2\text{-N}$) ya da amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) formunda toprakta alınabilir halde bulunur (Trenkel, 2021). NBPT, topraktaki üreyi hidrolize eden bir enzim olan üreazın aktivitesini geçici olarak engelleyen kimyasal bileşiklerdir (Maaz ve Snyder, 2018). Süper inci (NBPT) gübresinin içerdiği üreaz inhibitörü (ürenin hidrolizini yani erimesini ve amonyum formuna dönüşümünü yavaşlatarak atmosfere amonyak kaybını önler), üre dönüşümünü geciktirerek azot kayıplarını en aza indirir. İçeriğinde bulunan inhibitör (NBPT) sayesinde gaz halindeki azotun kaybını önlemektedir.

Bu zamana kadar yapılan çalışmalarda da (Manirakiza ve Şeker, 2020; ME Trenkel, 2021) belirtildiği gibi kireçli ve organik maddece fakir bir toprakta nitrifikasyon geciktirici inhibitörlü gübrelerin azot kayıplarını azaltıcı etkide sahip olduğu, ayrıca biyokömür uygulamalarının topraktaki azot miktarına olumlu etki yaparak verim ve kalite artışını sağladığı belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda inhibitörlü gübrelerin topraktaki gaz şeklinde azot kayıplarını azalttığı belirlenmiş ve biyokömürün azot tutma özelliği nedeniyle hem toprakta azotun daha uzun süre kalması hem de toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini düzenleyerek bitki gelişimi için daha uygun bir ortam sağladığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada biyokömür ile birlikte geleneksel ve inhibitörlü azotlu gübrelerin mısır bitkisinin gelişimi ve azot kullanımı üzerine etkileri belirlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda geleneksel azotlu gübreler, inhibitörlü azotlu gübreler ve biyokömürün bitkilerin gelişimi ve verimi üzerine etkileri araştırılmış olup bu çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Bayraklı ve Gezgin (1996), tarafından gerçekleştirilen çalışmada, şeker pancarı bitkisine 20 kg da⁻¹ üre gübresi uygulanmış ve farklı dozlarda fosfojips ile İn. Üre (NBPT) uygulamalarının amonyak kayıpları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Araştırma sonucunda, en yüksek şeker veriminin ve en düşük NH₃ buharlaşma kaybının % 0.5 seviyesindeki İn. Üre uygulaması ile elde edildiği bildirilmiştir.

Lehmann ve ark. (2003), Brezilya'da sera koşullarında iki toprakta (Ferralsol ve Anthrosol) börülce bitkisinin besin maddesi alımı üzerine ağırlık esasına göre %10 ve %20 dozunda biyokömür uygulamalarının etkilerini araştırdıkları çalışma sonucunda, biyokömür ilavesiyle bitki N alımının 2.17 kat azaldığını fakat K alımının %28.7 oranında arttığını bildirmişlerdir.

Rondon ve ark. (2007), Kolombiya'da farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının (0, 30, 60 ve 90 g kg⁻¹) fasulye bitkisinde N₂ fiksasyonunu ve verimine etkilerini araştırdıkları çalışma sonucunda, biyokömür uygulamasının 90 g kg⁻¹'a çıkarıldığında verim ve toplam N alımının azaldığını belirlemişlerdir. Ayrıca toprağa 30, 60 ve 90 g kg⁻¹ biyokömür eklendiğinde N fikse eden fasulyelerin topraktan N alımının sırasıyla %14, 17 ve 50 oranında azaldığını, C/N oranının ise %16'dan 23.7, 28.0 ve 35.0'e yükseldiğini bildirmişlerdir.

Asai ve ark. (2009), Kuzey Laos'ta 10 farklı tarlada çeltik bitkisine biyokömür uygulamasının (0 ve 16 t ha⁻¹) yetiştiriciliği yapılan alanlarda toprak özellikleri ve bitki verimi üzerine etkisini belirlemek amacıyla yürüttükleri çalışma sonunda iklim ve toprak özelliklerine bağlı olarak artan biyokömür uygulamasının topraktaki C oranı yükselttiğini buna bağlı olarak biyokömürün topraktaki mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılırken açığa çıkan azotun, mikroorganizmalar tarafından kullanılarak immobilize edildiği böylece toprakta bitkiler için alınabilir azot miktarının azaldığını bildirmişlerdir.

Cross ve Sohi (2011), biyokömür uygulamasının toprakta negatif karbon salınımını (karbonun toprağa geri dönmesi) azalttığını ve toprakta karbonun daha uzun süre tutulmasını sağlayarak karbon salınımını azaltıcı bir etki yarattığını tespit etmişlerdir. Ayrıca toprakta karbon mineralizasyonunun (organik karbonun minerallere

dönüşümü) arttığını bildirmişlerdir. Biyokömürün topraktaki organik materyalin parçalanmasını teşvik ederek, mikroorganizmalara besin maddesi sağlamasını ve bu sürecin hızlanmasını sağladığı bulgusuna ulaşmışlardır.

Uzoma ve ark. (2011), tarafından yürütülen çalışmada ahır gübresinden elde edilen biyokömürün (0, 10, 15 ve 20 t ha⁻¹) mısır bitkisinin gelişimi üzerine-etkilerini araştırdıkları çalışma sonucunda, biyokömür uygulaması ile topraklara Ca/Mg dengesinin Mg aleyhine bozulmasından kaynaklı olarak mısır bitkisinin Mg konsantrasyonunun da azalmaların olduğunu bildirmişlerdir.

Çin'de farklı dozlarda çimden elde edilen biyokömür (%0, %1, %2 ve %5) ve amonyum ve nitratlı gübre uygulamalarının mısır bitkisinin azot tutma ve biyoyararlanımı üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışma sonucunda, biyokömür uygulamalarının amonyumlu gübreleme yapılan topraklarda NH₄-N sızmasını önemli ölçüde azalttığını, bu durumun biyokömürün toprakta azotun daha iyi tutulmasına ve azot kaybının azaltılmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Biyokömür uygulamaları ile bitki vejetatif aksamının %78.2-%128.2 arasında değişen oranlarda arttığını ve bu artışın biyokömürün azotun biyoyararlanımını iyileştirme potansiyelini ortaya koyduğunu bildirmişlerdir (Zheng ve ark., 2013).

Avusturalya'da beş farklı uygulamanın (kontrol, 10 t ha⁻¹ biyokömür, 25 t ha⁻¹ kompost, 2.5 t ha⁻¹ biyokömür + 25 t ha⁻¹ kompost (karıştırılmış), 25 t ha⁻¹ eş-kompostlanmış biyokömür-kompost) toprak verimliliği ve mısır bitkisinin besin elementi alımı ve verimi üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada biyokömür uygulamasıyla toprak pH'sını azalması nedeniyle mısır bitkisinin besin elementi konsantrasyonlarının yükseldiğini buna bağlı olarak verimin %10 ile %29 arasında değişen oranlarda arttığını belirlemişlerdir (Agegnehu ve ark., 2016).

Ali ve ark. (2015), Pakistan'da biyokömür (0, 25 ve 50 t ha⁻¹), çiftlik gübresi (5 ve 10 t ha⁻¹) ve azot (60 ve 120 kg ha⁻¹) uygulamalarının buğday bitkisinin P alımı üzerine etkilerini araştırdıkları çalışma sonucunda, biyokömür uygulaması ile bitki P alımının arttığını, en fazla P alımının 25 t ha⁻¹ uygulaması ile elde edildiğini ve bitki P alımının biyokömürün toprak KDK'sını yükselterek alınabilir P'ü artırmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir.

Inal ve ark. (2015), tarafından yapılan çalışmada, kireçli toprağa uygulanan biyokömür (0, 2.5, 5, 10 ve 20 g kg⁻¹) ve kümes hayvanı gübresinin (0, 5, 10 ve 20 g kg⁻¹) fasulye ve mısır bitkilerinin gelişimi ile besin elementi konsantrasyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, biyokömürün yüksek yüzey

alanı ve por hacmi, KDK'nın artmasına yol açtığını buna bağlı olarak bitkilerin K ve Zn konsantrasyonlarının arttığını bildirmişlerdir.

Karahan (2016), Kayseri ekolojik koşullarında farklı azotlu gübrerle (amonyum nitrat, üre, İnh. AS ve İnh. Üre) uygulanan azotun (0, 7.5, 15 ve 22.5 kg N da⁻¹) mısırın verimi ve azot kullanım etkinliğini araştırdığı bir çalışma sonucunda, en yüksek tane veriminin (2088 kg da⁻¹) İnh. Üre gübresinin uygulanması ile elde edildiğini, bu uygulama ile azot kullanım etkinliğinin kontrolden daha düşük olduğunu ve Üre gübresine göre İnh. Üre uygulamasında daha iyi sonuçlar elde edildiği bildirmiştir.

Akpirinç (2017) tarafından yapılan bir çalışmada tütün (TS) ve pamuk sapından (PS) elde edilen ve artan dozda uygulanan (%0, %0.3 ve %0.6) biyokömürün domates ve biber bitkilerinin klorofil içeriğine etkilerini araştırdıkları çalışma sonucunda, tuzsuz toprakta biyokömür uygulamaların bağlı olarak her iki bitkide de klorofil içeriğinin azaldığını, özellikle biber bitkisinde PS biyokömürünün uygulaması ile azalmanın (%17.7) TS biyokömür uygulamasına göre (%2.9) domates bitkisinde azalmanın 6 kat daha fazla olduğunu bildirmiştir. Bu azalmanın biyokömürün C içeriğine bağlı olarak değiştiğini bildirmiştir.

Majeed ve ark., (2018) üç farklı biyokömürün (Çam, Kavak ve Meşe biyokömürü), dört farklı biyokömür dozunun (%0, 1, 2 ve 4) ve dört farklı azot uygulamasının (0, 70, 140 ve 210 mg kg⁻¹) toprak verimliliği ve mısır bitkisinin besin maddesi alımı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları bir sera çalışması sonucunda biyokömür uygulaması ile bitkinin besin elementi alımının arttığını, bu durumun farklı biyokömürlerin Fe, Zn ve Mn gibi besin elementi içeriklerinin farklı olduğunu ve biyokömürün toprağın fiziksel yapısını iyileştirerek toprak verimliliği yanında bitki beslenmesini teşvik ettiğini bildirmişlerdir.

Nazzal (2018), asit ve alkali reaksiyonlu topraklarda farklı azotlu gübre (AS, İnh. AS ve CaNit) ve potasyum uygulamalarının (0, 240 ve 480 mg K₂O kg⁻¹) domatesin verimi ve bitki boyuna etkilerini araştırdıkları çalışma sonucunda, alkali toprakta en yüksek domates veriminin (656.0 g saksı⁻¹) inhibitörlü AS gübre uygulamasında, en yüksek bitki boyunun (77.25 cm) CaNit uygulamasına ilaveten 240 mg K₂O kg⁻¹ uygulamasıyla elde edildiğini bildirmiştir.

Karagöz (2018), tarafından yapılan bir çalışmada farklı azotlu gübre (amonyum nitrat, üre, İnh. AS ve İnh. Üre) ve dozlarının (0, 0.75, 15 ve 22.5 kg N da⁻¹) mısır bitkisinin bitki çapı, bitki boyu ve verime etkilerini belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda, bitki çapının kontrole göre (45.25 mm) farklı azotlu gübre uygulamalarına bağlı olarak

arttığını, azotlu gübreler arasında istatistiki bakımdan fark olmadığını, bitki çapı bakımından inhibitörlü gübre uygulamalarının diğer azotlu gübrelerden daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Önal (2019), Mardin’de tarla koşullarında 8 kg N da⁻¹ DAP, 3.5 ve 7 kg da⁻¹ (inhibitörlü azotlu gübre uygulamalarının pamuk bitkisinin nispi klorofil değerini araştırdıkları çalışmada, inhibitörlü gübrelerin bitki nispi klorofil değerinin %3.3 oranında arttığını bildirmiştir.

Sun ve ark. (2019), tuzlu topraklarda farklı oranlarda biyokömür (0, 5, 10, 20, 30, 40 ve 50 ton ha⁻¹) uygulamalarının olarak buğday bitkisinin azot kullanım etkinliği ve nispi klorofil değeri üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada biyokömür uygulamasının azot kullanım etkinliğini azalttığını ve nispi klorofil değeri üzerinde minimum etkisinin olduğunu bildirmişlerdir.

Manirakiza ve Şeker (2020), kireçli bir toprakta aynı öncü iğde ağacından elde edilen kompost ve biyokömür uygulamalarının (0, %1, %2 ve %4 mısır bitkisinin besin elementi içeriği üzerine etkilerini araştırdıkları çalışma sonucunda, biyokömür uygulamalarının toprağın fiziksel özelliklerini iyileştirerek bitkinin besin elementi alımı teşvik ettiğini bildirmişlerdir.

Lan ve ark. (2022), Çin’de kireçli topraklarda biyolojik nitrifikasyon inhibitörlerinin (BNI), üreaz inhibitörün (NBPT), üre ve biyokömür ile 22 kg N da⁻¹ uygulamaları sonucunda BNI, NBPT ve biyokömür kullanımının NH₃ buharlaşmasını önemli ölçüde azalttığını, NBPT uygulamasının azot sızıntısını azalttığını ve azot kullanım etkinliğini (NPE) artırdığını belirlemişlerdir. Araştırmacılar en yüksek NPE’nin NBPT uygulamasıyla elde edildiğini, NBPT uygulamasının üre uygulamasına göre verimi %4 oranında bir artışa neden olduğu bildirmişlerdir. Özellikle de NBPT uygulamasının diğer uygulamalara kıyasla en yüksek verim artışını sağladığını ifade etmişlerdir.

Şener ve Erdal (2022), farklı sıcaklıklarda (300, 500 ve 700 °C) elde edilen biyokömürlerin dekara 3 ton uygulamasının buğday bitkisinin bitki boyuna etkisini araştırdıkları çalışma sonucunda biyoçar uygulamalarıyla bitki boyunun kontrole göre arttığını, en yüksek (86 cm) 300 °C’de elde edilen biyokömür uygulaması ile elde edildiğini tespit etmişlerdir.

Khan ve ark. (2023), farklı miktarlarda uygulanan saman malçı (0 ve 8 t ha⁻¹) ve biyokömürün (0, 4, 12 ve 36 t ha⁻¹) mısır bitkisinin klorofil içeriği üzerine etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları tarla çalışması sonucunda, kontrole göre biyokömür

uygulamalarıyla bitki klorofil içeriğini sırasıyla ile %2.5, %4.9 ve %6.7 oranlarında artırdığını bildirmişlerdir. Bu artışın biyokömür uygulanması ile toprakta C miktarının artmasına dolayısıyla mikroorganizmalar tarafından toprakta yarayışlı N'un kullanılarak C/N oranının artmasından kaynaklandığını ifade etmişlerdir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Toprak materyali

Toprak örneği, Konya ili Selçuk Üniversitesi Alaeddin Keykubat Kampüsü deneme alanından Jackson (1958) tarafından bildirildiği gibi 0-30 cm derinlikten alınmıştır.

3.1.2. Gübre materyalleri

Denemede, geleneksel azotlu gübrelerden amonyum sülfat (AS, %21 N), amonyum nitrat (AN, %33 N), kalsiyum nitrat (Ca-Nit, %15 N) ve Üre (%46 N) yanında inhibitörlü azotlu gübrelerden İn. AS (8000 ppm DMPP=3,4-dimethylpyrazole phosphate ve %21 N) ve İn. Üre [690 ppm NBPT=N-(n-butyl) thiophosphoric triamide, %46 N] kullanılmıştır. Biyokömür ayçiçeği gövdesinden elde edilmiştir.

3.1.3. Bitki materyali

Araştırmada test bitkisi olarak cin mısır tohum çeşidi kullanılmıştır.

3.1.4. Denemede kullanılan organik materyal

Denemede organik materyal olarak ağırlık esasına göre %1 dozunda ayçiçeği gövdesinden elde edilen biyokömür kullanılmıştır. Kullanılan biyokömür materyalinin piroliz ısısı 550 °C olup kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

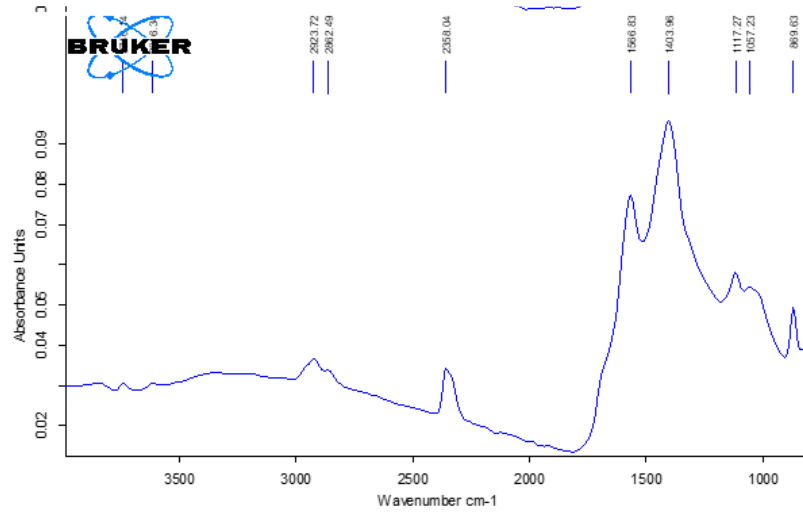
Çizelge 3.1. Biyokömürün analiz sonuçları

Parametreler	Sonuçlar
pH	10.68
EC (mS cm ⁻¹)	21.48
%	
Nem	5.30
C	44.35
N	1.32
C/N	33.60
Ca	3.62
K	7.67
Mg	0.95
Na	0.16
P	0.17
mg kg ⁻¹	
B	86.92
Cu	23.54
Fe	4920.66
Mn	127.74
Zn	35.75
Organik Materyaller (%)	
C	44.35
H	3.04
O	16.31
Kül Miktarı	34.98
Uçucu Madde Miktarı	33.19

3.1.4.1. Biyokömür Materyalinde Enstrümantal Analizler

3.1.4.1.1. Biyokömür Materyalinde Fourirer Transform İnfrared Spektroskopi (FTIR) Analizi

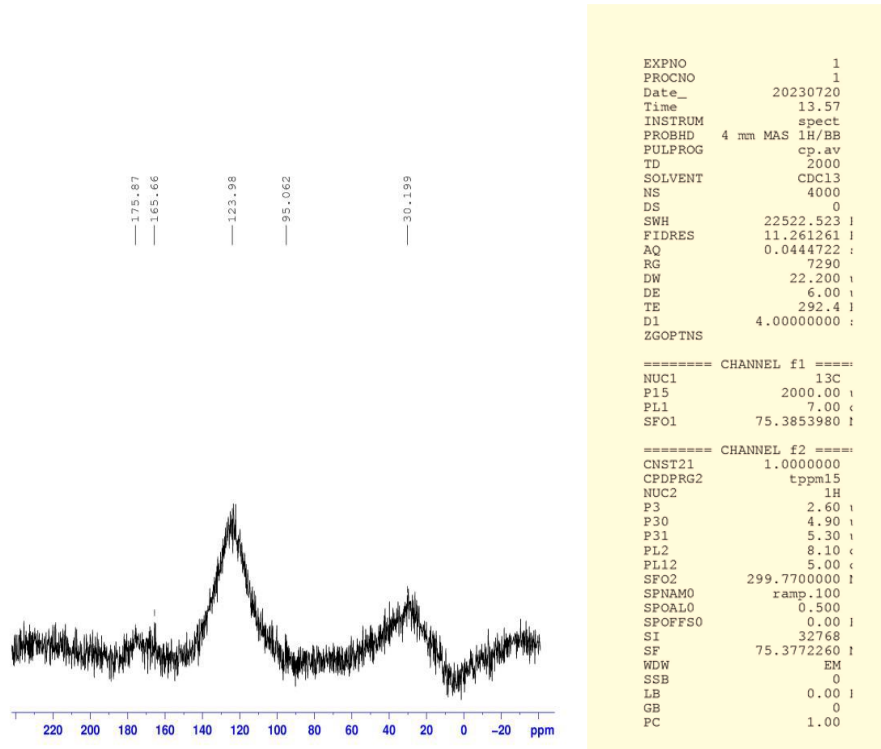
Biyokömürün FTIR analizi (Şekil 3.1) incelendiğinde 869.63 cm⁻¹ pik değeri Aromatik C-H yapısını, 869.63–1057.23 cm⁻¹ pik değeri C-O, 1403.96 cm⁻¹ pik değeri C=O karbonil grubuna, 1403.96-1556.86 cm⁻¹ pik değeri Aromatik C-C yapısını, 2862.49–2923.72 cm⁻¹ pik değeri -CH₂, 3000.00- 3500.00 cm⁻¹ pik değeri ise geniş -OH grubu olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. 1. Biyokömürün FTIR analizi

3.1.4.1.2. Biyokömür Materyalinde Katı NMR ^{13}C (Katı Nükleer Manyetik Rezonans Spektrometresi) Analizi

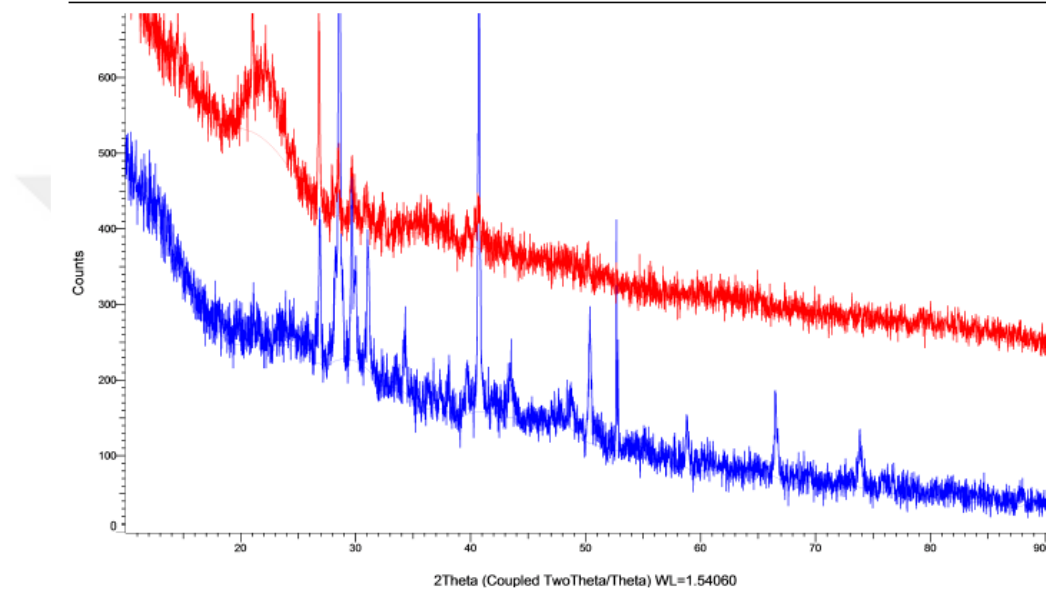
Biyokömürün katı NMR ^{13}C analizi incelendiğinde; 30.199 mg kg^{-1} 'de verilen pik akil-C grubuna, 95.062 mg kg^{-1} 'de verilen pik O-akil-C grubuna, 123.985 mg kg^{-1} 'de verilen pik aril-C grubuna ve 165.668 –175. 876, 23.985 mg kg^{-1} 'de verilen pikler ise karboksilik-C/Amid-C grubuna dahil olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. 2. Biyokömürün katı NMR ^{13}C analizi ve biyokömür katı NMR ^{13}C analizi spektrum lejanti

3.1.4.1.3. Ayçiçeği Gövdesi ve Biyokömür Materyallerinde X Işını Kırınım (XRD) Analizi

Şekil 3.3. incelendiğinde üst grafikte biyokömürü oluşturan ayçiçeği gövdesi alt grafikte ise ayçiçeği gövdesinden üretilen biyokömür görülmektedir. İki grafik, farklılıkların daha iyi anlaşılması için birbiriyle eşleştirilmiştir.



Şekil 3. 3. Ayçiçeği gövdesi ve biyokömürün XRD analizi

Ayçiçeği gövdesinin XRD analizi incelendiğinde; Ayçiçeği gövdesinin verdiği pik doğrultusunda 21.033° tepe noktası, selülozun kristalografik bir düzlemi olarak tanımlanmıştır. Bu düzlemin yoğunluğu, 400° piroliz sıcaklığının artmasıyla kademeli olarak azalmıştır. Biyokömürün XRD analizi incelendiğinde ise; 400°C pirolizasyon sıcaklığı sonucunda 28.590° 'daki tepe noktası, silvit (KCl) ve kalsit (CaCO_3) kristal yapısına başlıca atfedilmiştir. 29.689° - 39.723° 'deki tepe noktaları ise kalsitin kristal yapısının varlığını ispat etmektedir.

3.1.4.1.4. Ayçiçeği Gövdesi ve Biyokömür Materyallerinde Brunauer Emmett-Teller (BET) Analizi

Araştırmamızda, sera denemelerinde kullanılan ayçiçeği gövdesi ve biyokömür materyallerinde yapılan BET analizi Çizelge 3.2.'da verilmiştir.

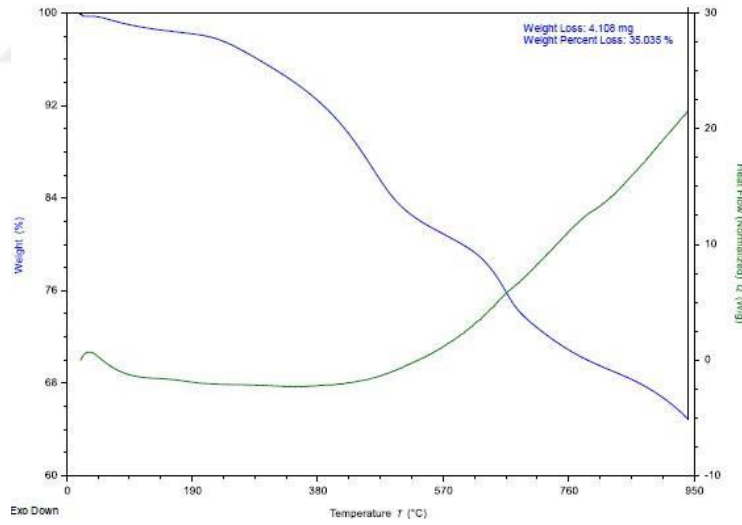
Çizelge 3. 2. Ayçiçeği gövdesi ve biyokömür materyallerinde BET analizi

Organik Materyaller	m ² g ⁻¹	cc g ⁻¹
	Yüzey Alanı	Por Hacmi
Ayçiçeği Gövdesi	1.62E+01	1.86E-02
Biyokömür	3.58+01	3.32E-02

Ayçiçeği gövdesinin yüzey alanı (1.62E+01 m² g⁻¹) ve por hacminin ise (1.86E-02 cc g⁻¹) olduğu belirlenmiştir. Pirolizasyon aşamasından sonra biyokömür materyalinin yüzey alanı (3.58E+01 m² g⁻¹) ve por hacminin (3.32E-02 cc g⁻¹) arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 3.2).

3.1.4.1.5. Biyokömür Materyalinde Termogravimetrik (TGA) Analizi

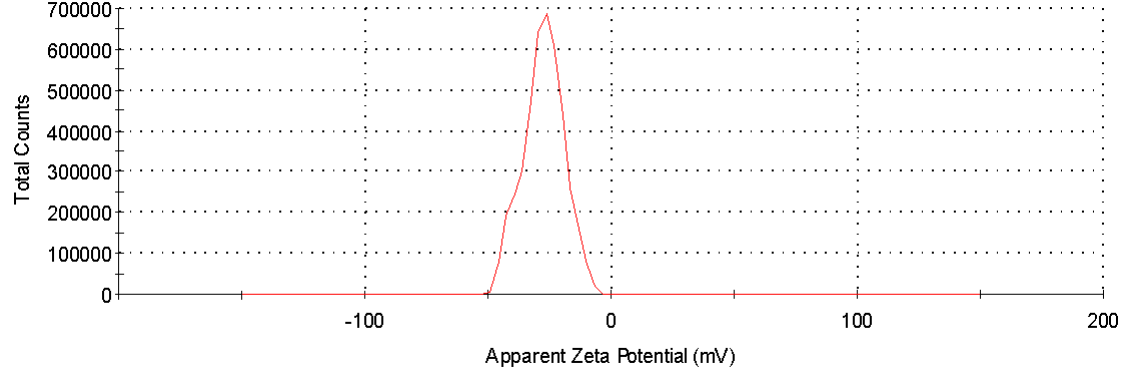
Biyokömürün TGA analizi incelendiğinde; biyokömürün sıcaklığın 950 °C'ye kadar arttığında (%35.035 ve 4.108 mg) ağırlık kaybına maruz kaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 3. 4. Biyokömür materyalinde TGA analizi

3.1.4.1.6. Biyokömür Materyalinde Zeta Potansiyelinin Belirlenmesi

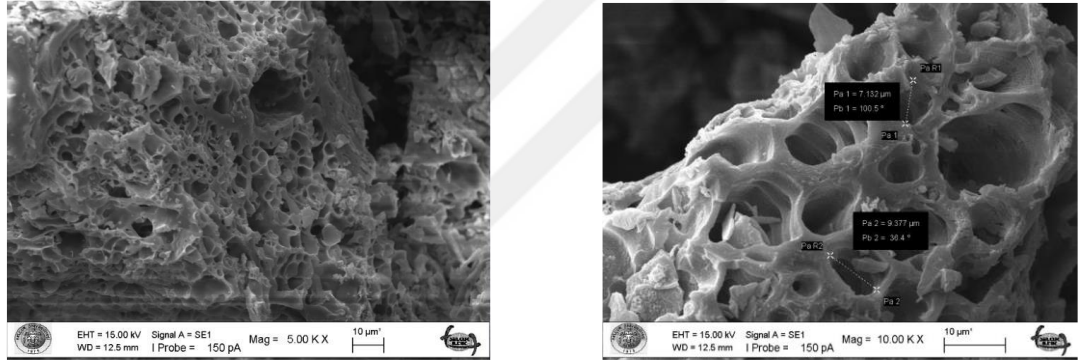
Biyokömürün zeta potansiyelinin (-27.3 mV) olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.5). Zeta potansiyeli, koloidal partiküllerin kayma düzlemindeki potansiyelidir ve değeri ise, partiküllerin yüzey yükü ile ilişkilidir.



Şekil 3. 5. Biyokömür materyalinde zeta potansiyelinin belirlenmesi

3.1.4.1.7. Biyokömür Materyalinde Scanning Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Biyokömürün kendine has özelliği olan boşluklu amorfik yapı görülmektedir. Biyokömürün yapısının oluşmasında, üretildiği ham madde, pirolizasyon sıcaklığı, pirolizasyon süresi ve pirolizasyon şekli porun yapısında etkili olmaktadır (Şekil 3.6).



Şekil 3. 6. Biyokömür materyalinin SEM görüntüleri

Denemede kullanılan biyokömür materyali ve materyal ile ilgili tüm şekiller (Şekil 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6) ve Çizelgeler (Çizelge 3.1 ve 3.2) bölümümüzde Dr. tez çalışmasını tamamlayan Noyan EKEN'in 'Puccinella distans L. (Jacq). Parl. Bitkisinin Rizosferinden Ekstremofilik Bakterilerin İzolasyonu ve Moleküler Tanımlanması ile PGPR Özelliğine Sahip Olanların Biyokömür Ortamında Ekmeklik Buğday Gelişimi Üzerine Etkisi' isimli tez çalışmasından alınmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Denemenin kurulması ve yürütülmesi

Deneme, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nün bilgisayar kontrollü araştırma serasında yürütülmüştür. Deneme süresince sera içindeki sıcaklık 25 ± 3 °C, solar radyasyon 1750 ± 50 kcal m² ve nispi nem $\%60 \pm 10$ olarak sağlanmıştır.

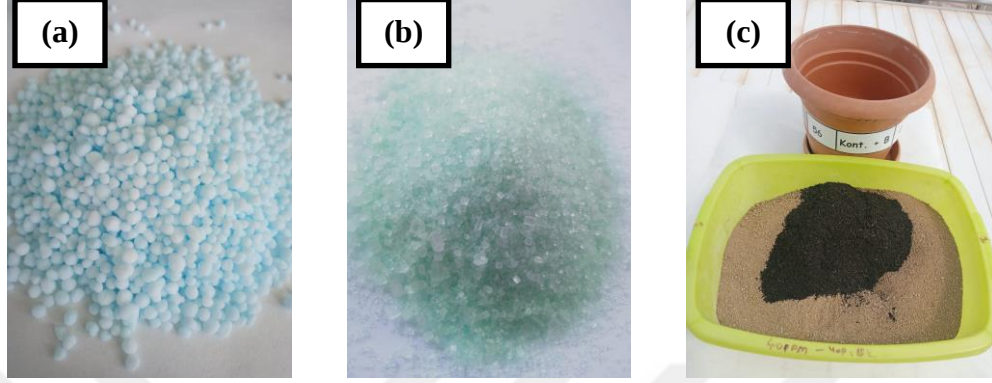
Tesadüf parselleri deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülen sera denemesinde, saksılara 4 mm'lik elekten geçirilmiş ve fırın kuru ağırlık esasına göre 3000 g toprak konulmuştur.

Çizelge 3.3. Denemede kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları ve yöntemleri

Sera Denemesi	Sonuç	Yorum	Yöntem	Kaynak
pH	7.7	Hafif Alkalin	(1:2.5 toprak su)	(Demiralay, 1993)
E.C. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	177.3	Düşük	(1:5 toprak su)	(Jackson, 1958)
CaCO ₃ (%)	40	Çok fazla kireçli	Scheibler Kalsimetresi	(Hızalan ve Ünal, 1966)
Organik Madde (%)	1.8	Az	Walkley-Black	(Tüzüner, 1990)
Tekstür sınıfı		Killi Tın	Saturasyon	(Richards, 1954)
İnorganik Azot (NH ₄ +NO ₃ -N) mg kg ⁻¹	18	Az	Kjeldahl	(Bremner, 1965).
mg kg⁻¹				
Ca	6121	Fazla	1 N NH ₄ OAc	(Pratt, 1965)
Mg	237.2	Yeterli		
K	145.2	Yeterli		
P	4.30	Az	0.5 N NaHCO ₃	(Olsen, 1954)
mg kg⁻¹				
Fe	3.01	Orta	(DTPA+CaCl ₂ +TEA)	(Lindsay ve Norvell, 1978)
Zn	1.44	Yeterli		
Mn	3.46	Orta		
Cu	0.70	Yeterli		
B	0.50	Yeterli	(0.01 M CaCl ₂ +Mannitol)	(Cartwright ve ark., 1983)

Denemede Çizelge 3.3.'de belirtilen deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçlarına göre N hariç bitki gelişiminin optimum seviyeye gelmesini sağlamak için temel gübreleme yapılmıştır. Temel gübrelemede ekimden önce her saksıya 200 mg P kg⁻¹ (TSP, %45 P₂O₅, 300 mg K kg⁻¹ (K₂SO₄, %50 K₂O), 100 mg K kg⁻¹ (KCl, %60 K₂O), 75 mg Mg kg⁻¹ (MgSO₄.7H₂O, %9.76 Mg) ve 12 mg Fe kg⁻¹ (FeEDDHA, %6 Fe) uygulanmıştır.

Denemede, kontrol hariç 200 mg N kg⁻¹ olacak şekilde geleneksel azotlu gübreler (AS, Üre, AN ve CaNit) ve inhibitörlü azotlu gübreler [İnh. AS (Şekil3.7a) ve İnh. Üre (Şekil 3.7b)] uygulanmıştır. Ayrıca %1 dozunda biyokömür (Şekil 3.7c) uygulaması yapılmıştır (Çizelge 3.3).



Şekil 3. 7. Denemede kullanılan İnh. Üre (a), İnh. AS (b) ve biyokömür (c) materyalleri

Deneme, 6 adet azotlu gübre x 2 adet biyokömür uygulaması x 4 tekerrür olmak üzere 48 saksı ile yürütülmüştür.

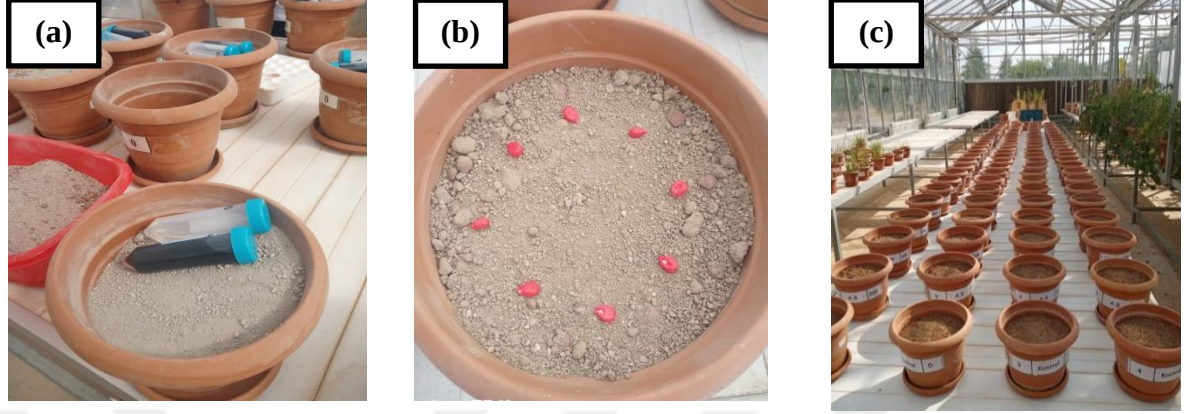
Çizelge 3.4. Deneme planı

Azotlu Gübreler	Biyokömür
Kontrol	0
AS (%21 N)	
İnh. AS (% 21 N, 8000 mg g ⁻¹ DMPP)	
Üre (% 46 N)	
İnh. Üre (% 46 N, 690 mg g ⁻¹ NBPT)	
AN (%33 N)	
CaNit (%15 N)	
Kontrol+B*	%1
AS (%21 N)	
İnh. AS (% 21 N,8000 mg g ⁻¹ DMPP)	
Üre (%46 N)	
İnh. Üre (%46 N,690 mg g ⁻¹ NBPT)	
AN (%33 N)	
Ca-Nit (%15 N)	

*, B: Biyokömür

Ekim öncesi her bir saksıya deneme planına uygun olarak temel gübreler, uygulanacak azotlu gübre çözeltileri ve biyokömür uygulamaları yapılmıştır (Şekil 3.8a). Bir gün sonra her saksıya 8 adet tohum ekilmiş (Şekil 3.8b) ve çimlenme sonrası her saksıda 4 bitki kalacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Bitkiler deneme süresince toprağın su miktarı tarla kapasitesi düzeyinde olacak şekilde deiyonize su ile sulanmış ve her 4-5 günde bir saksıların sera içindeki yerleri değiştirilmiştir (Şekil 3.1c).

Bitkilerin çimlenmesinden 55 gün sonra ayrı ayrı toprak üstü aksamından kesilerek hasat edilmiştir.



Şekil 3.8. Toprağa gübre uygulamalarının yapılması (a), mısır tohumunun ekim aşaması (b) ve saksı yerleşimi (c)

3.2.2. Deneme toprağının analize hazırlanması, bazı fiziksel ve kimyasal analiz metotları

Deneme öncesi kullanılacak olan toprak örneği hava kuru duruma gelinceye kadar kurutulmuştur. Daha sonra iri taşlar ve bitki artıkları ayıklanmış ve tahta merdane yardımıyla ezilmiştir. Laboratuvar analizlerinin yapılması amacıyla 2 mm'lik elekten elenmiş toprak örneğinde Çizelge 3.3'te belirtilen bazı fiziksel ve kimyasal analizleri yapılmıştır.

3.2.3. Hasat Öncesi Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler

3.2.3.1. Klorofil renk yoğunluğunun belirlenmesi (nispi klorofil değeri)

Bitkilerin klorofil renk yoğunluğu ve yapraktaki nispi klorofil değerleri hasat edilmeden önce ölçen Şekil 3.9'da görülebileceği gibi SPAD metre (Minolta, SPAD 502) ile belirlenmiştir (Peryea ve Kammereck, 1997).



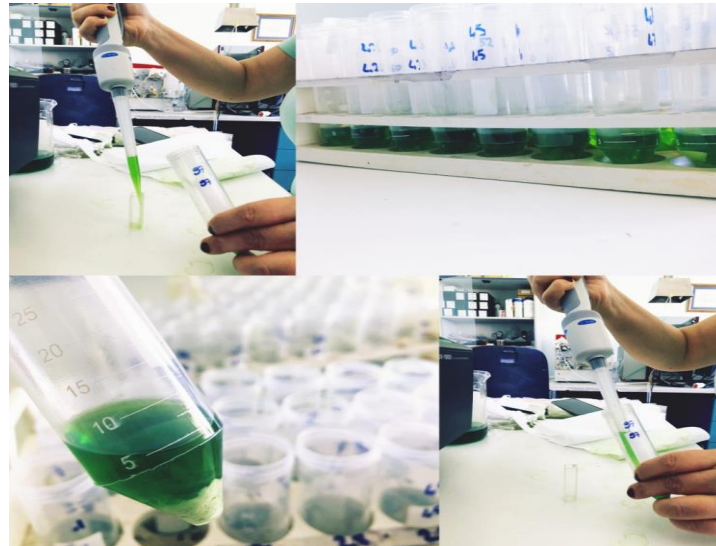
Şekil 3.9. SPAD metre ile nispi klorofil değerin belirlenme

3.2.3.2. Bitki örneklerinde klorofil a ve klorofil b içeriklerinin belirlenmesi

Klorofil ölçümü için genç yapraklar kullanılmıştır. Örnekler analizden hemen önce alınmış ve analiz sonuna kadar buzdolabında +4 °C’de kısa süreli muhafaza edilmiştir. % 80’lik aseton ve magnezyum karbonat ($MgCO_3$) ile elde edilen ekstraktlar spektrofotometrede (Perkin–Elmer Lambda 25 UV/Vis) 645 ve 663 nm dalga boylarında okunmuş (Şekil 3.10) ve elde edilen okuma değerlerinden aşağıdaki formüllerle belirlenmiştir William (1984).

$$\text{Klorofil a } (\mu\text{g ml}^{-1}) = 12.7 (A_{663}) - 2.69 (A_{645})$$

$$\text{Klorofil b } (\mu\text{g ml}^{-1}) = 22.9 (A_{645}) - 4.68 (A_{663})$$



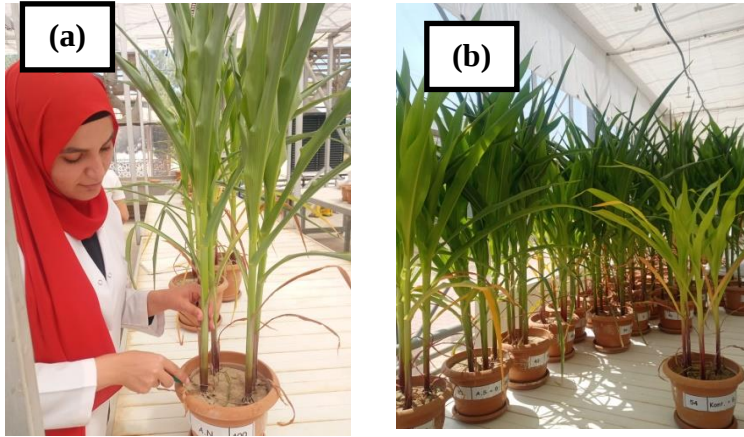
Şekil 3.10. Bitki örneklerinde klorofil a ve klorofil b’nin belirlenmesi

3.2.4. Bitki örneklerinin hasat edilmesi ve laboratuvar analizleri için hazırlanması



Şekil 3. 11. Bitki örneklerinin hasat edildikten sonra analize hazırlanması

Hasat edilen bitki örneklerinde (Şekil 3.12a ve b) metre ile bitki boyu (Şekil 3.13) ve kumpas ile bitki çapı belirlenmiştir. Laboratuvara getirilen örneklerin hassas terazide tartılarak yaş ağırlıkları alınmış, önce çeşme suyu ardından sırasıyla saf su, 0.2 N HCl çözeltisi, saf su ve deiyonize su ile yıkanmıştır. Daha sonra kaba filtre kağıtları üzerine serilen (Şekil 3.11a) ve fazla suları alınan örnekler kese kağıtlarına koyulup hava sirkülasyonlu kurutma dolabında 70 °C’de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Sabit ağırlığa gelen bitki örneklerinin kuru ağırlıkları da hassas terazide tartılarak alınmıştır. Daha sonra bitkiler Tungsten kaplı bitki öğütme değirmeninde öğütülerek (Şekil 3.11b) analize hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.12. Mısır bitkisinin hasat edilmesi (a ve b)

3.2.5. Hasat Sonrası Bitki Örneklerinde Yapılan Analizler

3.2.5.1. Bitki gövde çapı (mm)

Bitkiler hasat edilmeden hemen önce çapını belirlemek amacıyla toprağın 5 cm üzerindeki gövde kısmı Şekil 3.13’de görüldüğü şekli ile kumpasla ölçülmüştür.



Şekil 3. 13. Mısır bitkisinin gövde çapının ölçülmesi

3.2.5.2. Bitki boyu

Toprak üstü aksamından kesilen bitkinin boyu metre ile ölçülerek belirlenmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3. 14. Mısır bitkisinin bitki boyunun ölçülmesi

3.2.5.3. Kuru Ağırlık

Yaş ağırlıkları alınan örnekler kurutulduktan sonra, bitkiler 0.01 g hassasiyetli terazide tekrar tartılmış ve ağırlıkları kaydedilmiştir.

3.2.5.4. Azot ve karbon tayini

Kurutulan bitki örnekleri 950 °C ısıya ayarlanan helyum, oksijen ve kuru hava ile çalışan LECO C/N analizatöründe (Şekil 3.15) 0.2 g tartılarak kalay kaplara konulmuş AACC Metot 46-30'da verilen Dumas Combustion Metoduna göre (AACC., 2004) azot içerikleri belirlenmiştir.



Şekil 3. 15. Mısır bitkisinin azot ve karbon tayini

3.2.5.5. Besin elementi analizi

Kurutulan bitki örneklerinden 0.3 g alınıp kapalı sistem mikrodalga cihazında (Şekil 3.16) (Cem MarsXpress) 5 ml % 65'lik HNO_3 ve 2 ml %35'lik H_2O_2 ile çözündürüldükten sonra son hacimleri ultra deiyonize su ile 25 ml'ye tamamlanmış ve mavi bantlı filtre kağıdından süzölmüştür. Elde edilen süzüklerdeki N hariç diğer besin (P, K, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn ve B) elementlerinin konsantrasyonları ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) (Agilent 5110) cihazıyla ile belirlenmiştir. Element konsantrasyonlarının belirlenmesinde diğer elementlerle ortaya çıkabilecek ilişkiler de analiz ve değerlendirmelerde dikkate alınmıştır. Elementlerin konsantrasyonlarının ölçümleri Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü

(NIST, Gaithersburg, MD, USA)’nden temin edilen referans bitki materyallerindeki ilgili elementlerin sertifikalı değerleri ile kontrol edilmiştir.



Şekil 3. 16. Bitkide besin elementi analizi

3.2.5.6. Azot Agronomik Etkinliği

Azot agronomik etkinliği aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır;

Azot agronomik etkinliği =

$$\text{bitki kuru ağırlığı (mg saksı}^{-1}) / (\text{toprak+gübre N) (mg saksı}^{-1})$$

3.2.6. İstatistiksel Değerlendirme

Deneme sonucunda elde edilen verilerin istatistiksel değerlendirilmesinde MSTATC (Bricker, 1989) istatistik paket programı kullanılmış ve tesadüf parsellerinde 2 faktörlü deneme desenine göre değerlendirilmeye tabi tutulmuştur.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Araştırmada geleneksel ve inhibitörlü azotlu gübreler ile beraber biyokömür uygulamalarının test bitkisi olarak kullanılan mısır bitkisinin gelişimi ve azot agronomik etkinliği üzerine etkileri belirlenmiş olup elde edilen sonuçlar aşağıda ayrı başlıklar halinde verilmiştir.

4.1. Bitki Gövde Çapı

Geleneksel ve inhibitörlü azotlu gübreler ile beraber biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin bitki çapı üzerine etkileri Çizelge 4.2’de, mısır bitkisi bitki çapına ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.1’de verilmiştir.

Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin bitki çapı, bitki boyu, kuru ağırlığı, nispi klorofil değeri, klorofil a ve b içeriklerine etkileri ile ilgili varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin bitki çapı, bitki boyu, kuru ağırlığı, nispi klorofil değeri, klorofil a ve b içeriklerine etkileri ile ilgili varyans analiz sonuçları

Uygulama	SD	Bitki Çapı	Bitki Boyu	Kuru Ağırlık	Nispi Klorofil Değeri	Klorofil a	Klorofil b
Biyokömür (B)	1	0.058	116.44**	314.31**	27.44**	340.27**	380.03**
Azotlu Gübreler (AG)	6	16.87**	964.79**	1415.44**	253.27**	306.67**	179.67**
B x AG int.	6	0.76	44.02*	43.62**	10.05*	24.95**	62.76**
Hata	42	0.48	15.72	11.32	3.67	2.36	0.86
Genel	55	--	--	--	--	--	-

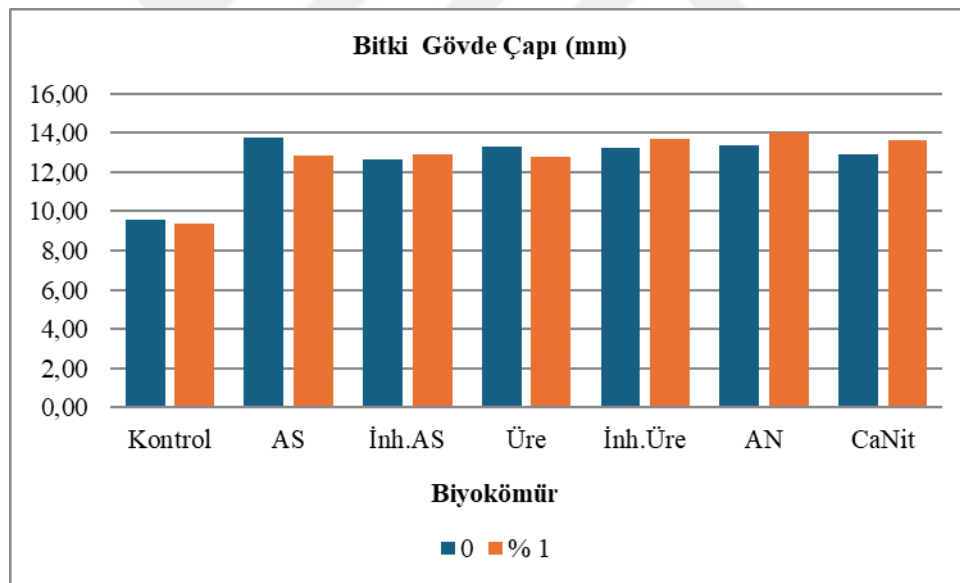
** ,p<0.01; *,p<0.05

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.1) göre; mısır bitkisinin gövde çapı üzerine biyokömür ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksyonun etkileri istatistiki olarak önemsiz bulunurken, azotlu gübrelerin etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki çapının azotlu gübrelere bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1’den görülebileceği gibi bitki gövde çapı azot ve biyokömür uygulaması içermeyen kontrolde 9.57 mm iken farklı azotlu gübre uygulamaları ile %32 (12.66 mm, İn. AS) ile %44 (13.77 mm, AS) arasında

değişen oranlarda artmıştır. Biyokömür uygulaması ile bitki gövde çapı kontrolde olduğu gibi bazı gübre uygulamalarında azalırken bazılarında artmış olmakla birlikte bu etki istatistiki olarak önemli düzeyde olmamıştır. Ayrıca AS yerine İn. AS uygulamaları ile bitki çapı %4.2 oranında azalırken, Üre yerine İn. Üre uygulamaları ile %3.2 oranında artışların olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin bitki gövde çapına etkileri

Azotlu Gübreler	Bitki Gövde Çapı (mm)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	9.57	9.40	9.48B
AS	13.77	12.85	13.31A
İnh. AS	12.66	12.88	12.77A
Üre	13.27	12.80	13.03A
İnh. Üre	13.21	13.68	13.45A
AN	13.36	13.99	13.67A
CaNit	12.89	13.61	13.25A
Ortalama	12.68	12.74	--



Şekil 4.1. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin bitki gövde çapına etkileri

Çalışmamızda, farklı azotlu gübre uygulamalarının mısır bitkisinin vejetatif gelişimini teşvik ettiği ve gövde çapının azotlu gübre uygulamalarına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Özellikle, inhibitörlü azotlu gübrelerin nitrifikasyonu yavaşlattığı veya durdurduğu, dolayısıyla bitkinin azottan daha yavaş faydalandığı ve bunun sonucunda AS ve üre gübresine göre inhibitörlü gübrelerle gövde çapının azaldığı bulunmuştur. Karagöz (2018) tarafından yapılan araştırmada da, inhibitörlü

azotlu gübrelerin nitrifikasyonu engelleyerek bitkinin azot kullanım verimliliğini etkilediği ve bunun bitki gelişimi üzerinde bitki çapını azalttığına dair sonuçlar doğurduğu ifade edilmiştir. Çalışmamızın bulguları, bu literatür verileriyle paralellik göstermekte ve inhibitörlü azotlu gübrelerin bitki gelişimi üzerindeki etkilerini desteklemektedir.

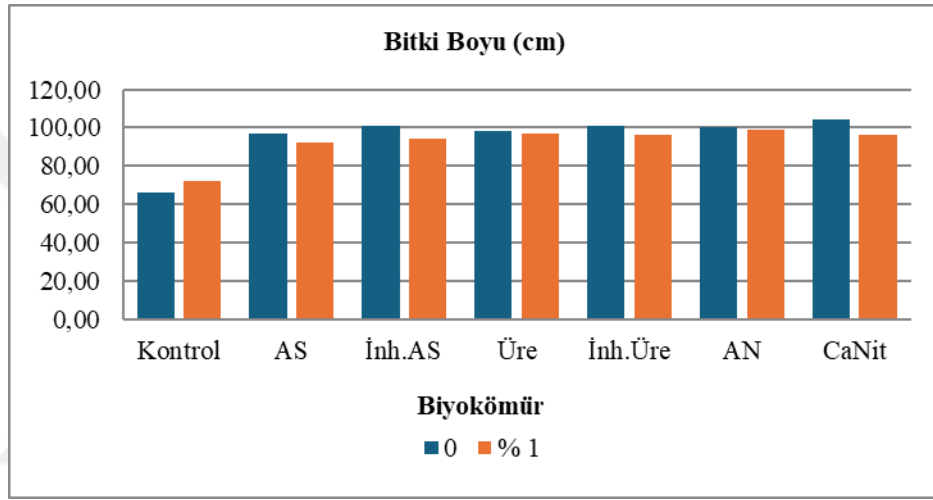
4.2. Bitki Boyu

Geleneksel ve inhibitörlü azotlu gübreler ile beraber biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin boyu üzerine etkileri Çizelge 4.3’de, mısır bitkisi boyuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.2’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.1) göre; mısır bitkisinin boyu üzerine biyokömür ve farklı azotlu gübre uygulamalarının etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde, ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonun etkileri istatistiki olarak %5 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki boyunun biyokömür, farklı azotlu gübreler ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonuna bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.3 ve Şekil 4.1’den görülebileceği gibi biyokömür uygulaması ile farklı azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki boyu %3.12 azalmıştır. Farklı azotlu gübre uygulamaları ile bitki boyu kontrol uygulamasına göre artmakta olup en yüksek bitki boyu (100.50 cm) CaNit uygulaması ile elde edilmiştir. Bitki boyunu ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonun istatistiki olarak önemli düzeyde etkilemesi, farklı azotlu gübrelerin bitki boyuna etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Nitekim bitki boyu biyokömürün uygulanmadığındaki kontrole göre (66.38 cm) farklı azotlu gübrelerin uygulamasıyla %46 (AS) ile %57 (CaNit) arasında değişen oranlarda artarken, %1 biyokömür uygulanması ile kontroldeki %9 (72.50 cm) oranındaki artış hariç bütün azotlu gübre uygulamalarında %1 (AN) ile %8 (CaNit) arasında değişen oranlarda azalmıştır. Bununla birlikte hem biyokömürsüz hem de biyokömür uygulaması yapıldığında kontrollere göre farklı azotlu gübre uygulamaları ile bitki boyu istatistiki olarak önemli düzeyde artarken, bitki boyu bakımından azotlu gübreler arasındaki farklar biyokömür uygulanmadığında istatistiki olarak önemsiz düzeyde, biyokömür uygulandığında ise AN ile AS ve İn. AS gübreleri arasındaki farklar istatistiki olarak önemli, diğer gübreler arasındaki farklar önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin bitki boyuna etkileri

Azotlu Gübreler	Bitki Boyu (cm)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	66.38c	72.50c	69.44B
AS	97.19ab	92.56b	94.88A
İnh. AS	100.81ab	94.16b	97.47A
Üre	98.19ab	96.69ab	97.44A
İnh. Üre	101.13ab	96.50ab	98.81A
AN	100.00ab	99.00a	99.50A
CaNit	104.44a	96.56ab	100.50A
Ortalama	95.45A	92.56B	--



Şekil 4.2. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin bitki boyuna etkileri

Nazzal (2018) farklı azotlu gübre uygulamalarının (amonyum sülfat-AS, inhibitörlü amonyum sülfat-İnh. AS ve -CaNit) domates bitkisinin bitki boyuna etkilerini incelediği çalışmasında en yüksek bitki boyunun CaNit uygulaması ile elde ettiğini, kontrol uygulamasına göre %15.1 oranında arttığını bildirmiştir. Ayrıca inhibitörlü gübre ile azot uygulamalarının bitkinin vejetatif gelişimini teşvik etmesi nedeniyle mısır bitkisinde bitki boyunun AS gübresine göre İnh. AS, Üre gübresi yerine ise İnh. Üre uygulamalarında daha etkili olduğu belirlenmiş olup bulgularımız yapılan bazı çalışmalarla desteklemektedir. Biyokömür uygulamasının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine olumlu etkilerine bağlı olarak Şener ve Erdal (2022), tarafından da belirtildiği gibi bitki boyu üzerine kontrolde olumlu etki yapmış olmasına rağmen azotlu gübrelerle birlikte uygulandığında muhtemelen biyokömür gözeneklerinde başta NH_4^+ olmak üzere inorganik azot iyonlarının tutulmasıyla bitkinin

azot alımını olumsuz yönde etkileyerek bitki boyu üzerine olumsuz etki yapmış olduğu düşünülmektedir.

4.3. Kuru Ağırlık

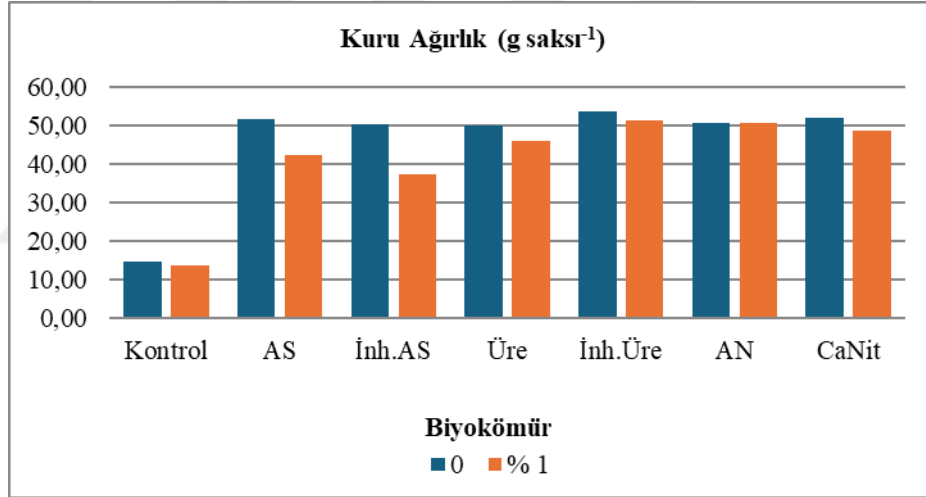
Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin kuru ağırlığı üzerine etkileri Çizelge 4.4’de, mısır bitkisi kuru ağırlığına ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.3’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.1) göre; mısır bitkisinin kuru ağırlığı üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki kuru ağırlığının farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca “biyokömür x azotlu gübreler” interaksyonunun önemli çıkması bitki kuru ağırlığına azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.4 ve Şekil 4.3’den görülebileceği gibi hem kontrol hem de azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki kuru ağırlığı biyokömür uygulaması ile %7 ve %10 oranlarında azalmıştır. Bitki kuru ağırlığı farklı azotlu gübrelerin uygulanmasıyla kontrole göre biyokömür uygulanmadan 3.4 ile 3.6 kat, biyokömür uygulamasıyla 2.7 ile 3.7 kat arasında değişen oranlarda artarken, biyokömür uygulamasıyla azot kaynağı ne olursa olsun azalmıştır. Ancak biyokömür uygulamasıyla bitki kuru ağırlığında meydana gelen azalmalar azotlu gübrelere göre değişmiştir. Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki kuru ağırlıkları %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile AN gübresinde %0.3, İn. Üre’de %4, CaNit’da %6, Üre’de %8, AS’da %18 ve İn. AS’da %26 oranında azalmıştır (Çizelge 4.4). Bu verilerden de görülebileceği gibi biyokömür uygulamasıyla bitki kuru ağırlığında en fazla ve önemli düzeyde azalma NH_4^+ formunda azot içeren AS ve İn. AS gübrelerinin uygulamasıyla olup bunu toprağa uygulandığında enzimatik parçalanma ile önce NH_4^+ azotunu oluşturan üre gübresi takip etmiştir. Ayrıca bitki kuru ağırlığı biyokömürsüz ve biyokömürlü ortamda sırasıyla AS gübresine göre İn. AS uygulamasıyla %2.5 ve %12 oranlarında azalırken, üre gübresine göre İn. Üre uygulamasıyla %7 ve %11.6 oranlarında artmıştır. Bu veriler, AS gübresine ilave edilen DMMP inhibitörü gübrede NH_4^+ formunda olan azotun nitrifikasyon ile NO_3^- formuna dönüşümünü belli bir süre azalttığını veya durdurduğunu, üre gübresine ilave edilen NBPT inhibitörünün ise üre (NH_2CONH_2)

azotunun NH_4^+ formuna dönüşümünü yavaşlattığını dikkate aldığımızda toprakta azotun daha çok NH_4^+ formunda olmasını sağlayan uygulamalarda biyokömür uygulamasıyla biyokömürün gözeneklerinde NH_4^+ formunda azotun tutulup bitki alımının azalmasına bağlı olarak bitki kuru ağırlığının daha fazla azaldığını göstermektedir.

Çizelge 4.4. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin kuru ağırlığına etkisi

Azotlu Gübreler	Kuru ağırlığı (g saksı ⁻¹)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	14.72d	13.71d	14.21C
AS	51.51ab	42.33bc	46.92AB
İnh. AS	50.21ab	37.20c	43.71B
Üre	49.94ab	45.81abc	47.87AB
İnh. Üre	53.51a	51.11ab	52.31A
AN	50.64ab	50.48ab	50.56A
CaNit	51.92ab	48.62ab	50.27A
Ortalama	46.07A	41.33B	--



Şekil 4.3. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin kuru ağırlığına etkileri

Biyokömür ilavesinin toprakta azot döngüsünü yavaşlattığı ve bu nedenle de azotun yıkanma ve gaz emisyonları şeklinde kaybını düşürdüğü aynı zamanda biyokömürün etkisinin, gübre türüne ve toprak özelliklerine bağlı olarak değiştiği NH_4^+ ile gübrelenmiş topraklarda biyokömürün etkisi sınırlı olabilirken, NO_3^- ile gübrelenmiş topraklarda biyokömür, $\text{NH}_4\text{-N}$ 'nin sızmasını önemli ölçüde azaltabileceği buna bağlı olarak topraktaki azottan bitkinin daha fazla yararlanmasını ve vejetatif aksamının gelişimini teşvik etmesi yapılan bazı çalışmalarda (Lan ve ark., 2022; Zheng ve ark., 2013;) bildirilmiştir. Sonuç olarak, biyokömürün azot yönetimindeki rolü, gübreleme stratejileri ve toprak özellikleriyle etkileşim içinde değerlendirilmelidir. Biyokömürün

doğru kullanımı, azot kayıplarını azaltarak ve bitkilerin azottan daha fazla yararlanmasını sağlayarak bitkisel üretimde verimliliğini artırabilir. Bu nedenle, biyokömürün kullanımı ve etkilerinin daha iyi anlaşılması için çeşitli toprak ve gübre koşullarında kapsamlı araştırmalar yapılması önemlidir ve gerekmektedir.

4.4. Nispi Klorofil Değeri

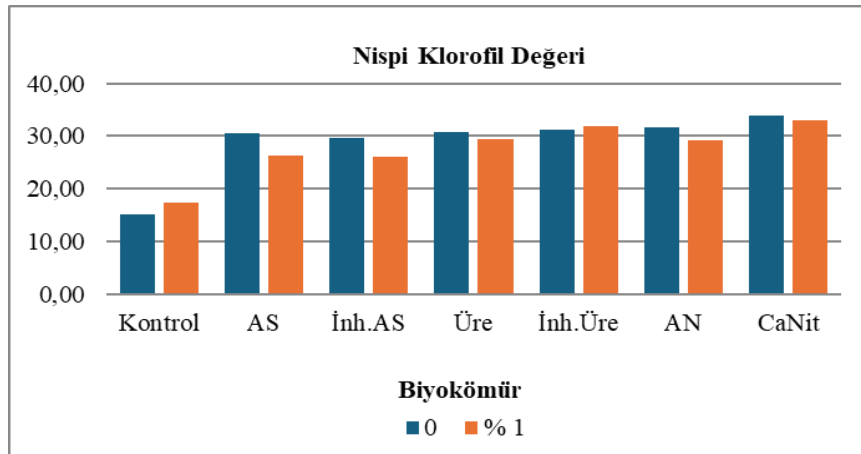
Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin nispi klorofil değeri üzerine etkileri Çizelge 4.5’de, mısır bitkisi nispi klorofil değerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.4’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.1) göre; mısır bitkisinin nispi klorofil değeri üzerine biyokömür ve azotlu gübreler istatistiki olarak %1 seviyesinde, ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksyonunun etkileri ise istatistiki olarak %5 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki nispi klorofil değerinin farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca “biyokömür x azotlu gübreler” interaksyonunun önemli çıkması bitki nispi klorofil değerine azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.5 ve Şekil 4.4’den görülebileceği gibi biyokömür uygulaması ile farklı azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki nispi klorofil değeri %5 azalmıştır. Bitki nispi klorofil değerinin farklı azotlu gübrelerin uygulanmasıyla kontrole göre biyokömür uygulanmadan 1.9 ile 2.2 kat, biyokömür uygulamasıyla 1.5 ile 1.9 kat arasında değişen oranlarda artarken, biyokömür uygulamasıyla azot kaynağı ne olursa olsun kontrol ve İnh. Üre uygulaması hariç azalmıştır. Ancak biyokömür uygulamasıyla bitki nispi klorofil değerinde meydana gelen azalmalar azotlu gübrelere göre değişmiştir. Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki nispi klorofil değeri %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile birlikte CaNit uygulaması ile %3, Üre uygulaması ile %4.6, AN uygulaması ile %7.1, İnh. AS uygulaması ile %12, AS uygulaması ile %14 oranlarında azalmıştır (Çizelge 4.5). Bu verilerden de görülebileceği gibi biyokömür uygulamasıyla bitki nispi klorofil değerinde en fazla ve önemli düzeyde azalma NH_4^+ formunda azot içeren AS ve İnh. AS gübrelerinin uygulamasıyla olup bunu AN gübresi takip etmiştir. Ayrıca bitki nispi klorofil değeri biyokömürsüz ve biyokömürlü ortamda sırasıyla AS gübresine göre İnh. AS uygulamasıyla %3.17 ve %1.15 oranlarında azalırken, üre gübresine göre İnh. Üre uygulamasıyla %1.35 ve %8.07 oranlarında artmıştır. Bu veriler dikkate alındığında; DMMP inhibitörü, NH_4^+ formundaki azotun nitrifikasyon sürecini yavaşlatarak veya

durdurarak NO_3^- formuna dönüşümünü engellediği bilinmektedir. Budurum toprakta azotun NH_4^+ formunda daha uzun süre kalmasını sağlar. Azotun daha uzun süre NH_4^+ formunda kalması, bitkiler tarafından kullanılabilirliğini artırabilir, ancak bu formun toprağın fiziksel özellikleri ve biyokömür ile etkileşimleri de dikkate alınmalıdır. NBPT inhibitörü, üre azotunun NH_4^+ formuna dönüşümünü yavaşlatır. Üre, toprakta amonyuma dönüşmeden önce biraz daha uzun süre kalır. Bu, azotun bitki tarafından kullanımını geciktirebilir veya azot kayıplarını azaltabilir. Biyokömür ise toprakta NH_4^+ formunda azotun tutulması ve bitkilerin bu azotu yeterince alamaması, bitkilerin klorofil içeriğinin düşmesine neden olabilir. Klorofil değeri, bitkinin fotosentetik kapasitesini ve genel beslenme durumunu yansıtır. Azot eksikliği, klorofil seviyelerinin düşmesine neden olarak bitkinin fotosentez verimliliğini etkiler ve bitki gelişimini olumsuz yönde etkileyebilir. Bu bilgilerin ışığında, azotlu gübrelerin ve biyokömürün bitki beslenmesi üzerindeki etkilerini değerlendirirken, azot formunun ve biyokömürün etkileşimlerinin dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu, özellikle azotun verimli bir şekilde kullanımı ve bitkisel üretim verimliliğinin artırılması açısından önemlidir.

Çizelge 4.5. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin nispi klorofil değeri

Azotlu Gübreler	Nispi Klorofil Değeri		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	15.25c	17.30c	16.27D
AS	30.57ab	26.32b	28.45BC
İnh. AS	29.60ab	26.02b	27.81C
Üre	30.80ab	29.37ab	30.08ABC
İnh. Üre	31.22a	31.95a	31.58AB
AN	31.57a	29.30ab	30.43ABC
CaNit	33.97a	32.92a	33.45A
Ortalama	29.00A	27.60B	--



Şekil 4.4. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin nispi klorofil değerine etkileri

Sun ve ark. (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, mısır bitkisinin nispi klorofil değerinin biyokömür uygulamalarıyla kontrol grubuna kıyasla arttığını ancak bu artışın bitkinin klorofil değeri üzerinde çok önemli bir etkisinin bulunmadığını bildirmişlerdir. Bu bulgu, çalışmamızla benzerlik göstermektedir. Ancak, çalışmamızda üre uygulamasına kıyasla İn. Üre uygulamasının bitki nispi klorofil değerini artırdığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, Önal (2019) tarafından yapılan çalışmada nitrifikasyon inhibitörünün üre (NH_2CONH_2) azotunun NH_4^+ formuna dönüşümünü yavaşlattığına bağlı olarak pamuk bitkisinin nispi klorofil değerini artırdığı ve etkisinin daha belirgin olduğu ifade edilmiştir. Bu veriler, çalışmamızın bulgularıyla uyumlu olup, nitrifikasyon inhibitörlerinin bitki beslenmesi ve klorofil değerleri üzerindeki etkilerini vurgulamaktadır.

4.5. Klorofil a

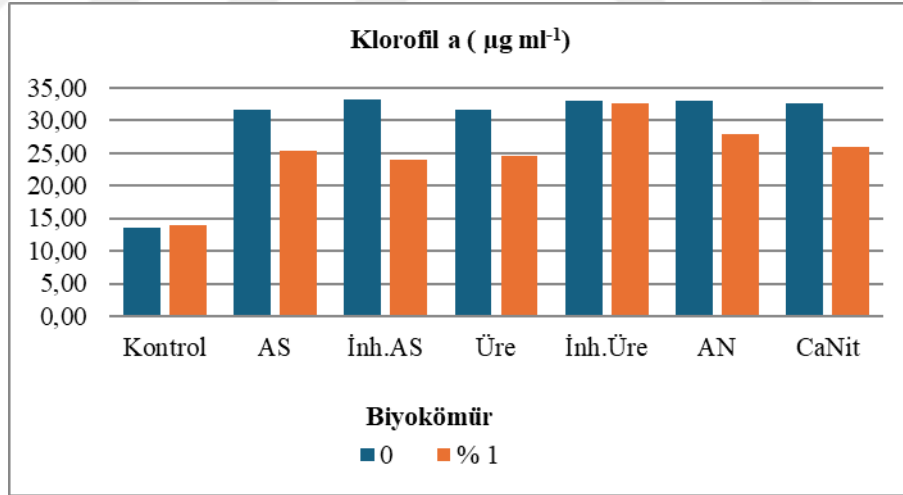
Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin klorofil a değeri üzerine etkileri Çizelge 4.6’da, mısır bitkisi klorofil a değerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.5’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.1) göre; mısır bitkisinin klorofil a değeri üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki klorofil a değerinin farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca “biyokömür x azotlu gübreler” interaksiyonunun önemli çıkması bitki klorofil a değerine azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.6 ve Şekil 4.5’den görülebileceği gibi biyokömür uygulaması ile farklı azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki klorofil a değeri %16.8 azalmıştır. Bitki klorofil a değeri farklı azotlu gübrelerin uygulanmasıyla kontrole göre biyokömür uygulanmadan 2.31 ile 2.44 kat, biyokömür uygulamasıyla 1.72 ile 2.34 kat arasında değişen oranlarda artarken, biyokömür uygulamasıyla azot kaynağı ne olursa olsun azalmıştır. Ancak biyokömür uygulamasıyla bitki klorofil a değerinde meydana gelen azalmalar azotlu gübrelere göre değişmiştir. Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki klorofil a değeri %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile İn. Üre gübresinde %1.18, AN’da %15.8, AS’de %20, CaNit’da %20.4, Üre’de %22.3, ve İn.

AS'de %28 oranında azalmıştır (Çizelge 4.6). Bu verilerden de görülebileceği gibi biyokömür uygulamasıyla bitki korofil a değerinde en fazla ve önemli düzeyde azalma NH_4^+ formunda azot içeren İn. AS ve enzimatik parçalanma ile önce NH_4^+ azotunu oluşturan üre gübresinde olup bunu CaNit gübresi takip etmiştir. Ayrıca bitki klorofil a değeri AS gübresine göre İn. AS uygulamasıyla biyokömürlü ortamda %5.75 azalırken, biyokömürsüz ortamda %4.34 artmış olup üre gübresine göre İn. Üre uygulamasıyla biyokömürlü ve biyokömürsüz ortamda sırasıyla %4.13 ve %24.6 oranlarında artmıştır.

Çizelge 4.6. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde klorofil a değeri

Klorofil a (µg ml ⁻¹)			
Azotlu Gübreler	Biyokömür		Ortalama
	0	%1	
Kontrol	13.62d	13.88d	13.75C
AS	31.67ab	25.35c	28.51B
İnh. AS	33.11a	23.97c	28.54B
Üre	31.55ab	24.50c	28.03B
İnh. Üre	32.91a	32.52a	32.71A
AN	33.05a	27.85bc	30.45AB
CaNit	32.55a	25.88c	29.22B
Ortalama	29.78A	24.85B	--



Şekil 4.5. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde klorofil a değerine etkileri

Çalışmamızda, mısır bitkisinde biyokömür uygulamalarının toprakta C miktarını artırdığı ve bunun sonucunda azotun mikroorganizmalar tarafından immobilize edilerek bitki klorofil içeriğini azalttığı gözlemlenmiştir. Ancak, farklı azotlu gübre uygulamalarıyla bu değerlerin kontrole göre arttığı bulunmuştur. Akpırinç (2017), farklı

C kaynağına sahip biyokömür uygulamalarının toprak C miktarını artırdığını ve azotun bitki tarafından kullanımını etkilediğini belirtmiştir.

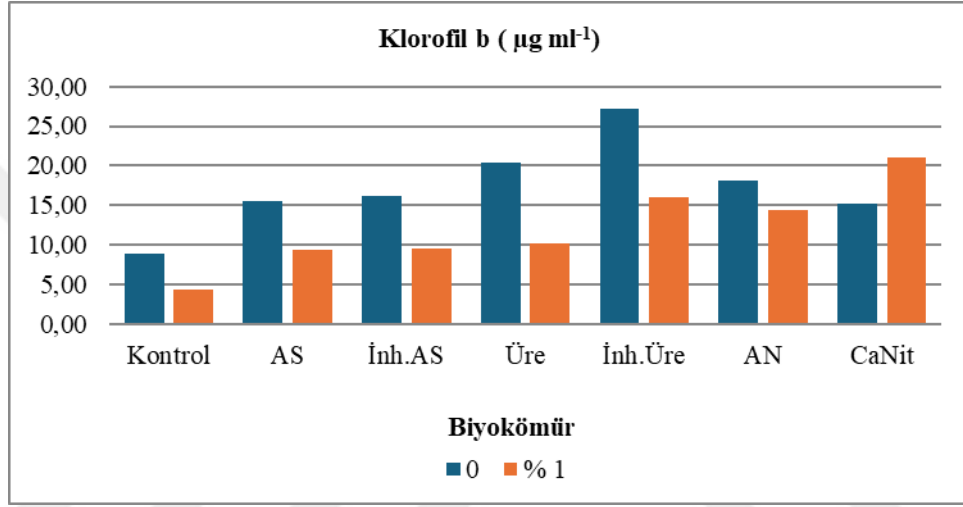
4.6. Klorofil b

Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin klorofil b değeri üzerine etkileri Çizelge 4.7’de, mısır bitkisi klorofil b değerine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.1’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.6’da verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.1) göre; mısır bitkisinin klorofil b değeri üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki klorofil b değerinin farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca “biyokömür x azotlu gübreler” interaksyonunun önemli çıkması bitki klorofil b değerine azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.7 ve Şekil 4.6’dan görülebileceği gibi biyokömür uygulaması ile farklı azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki klorofil b değeri %42.8 azalmıştır. Bitki klorofil b değeri farklı azotlu gübrelerin uygulanmasıyla kontrole göre biyokömür uygulanmadan 1.69 ile 3.04 kat, biyokömür uygulamasıyla 2.12 ile 4.73 kat arasında değişen oranlarda artarken, biyokömür uygulamasıyla CaNit uygulaması hariç azot kaynağı ne olursa olsun azalmıştır. Ancak biyokömür uygulamasıyla bitki klorofil b değerinde meydana gelen azalmalar azotlu gübrelere göre değişmiştir. Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki klorofil b değeri %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile birlikte Üre uygulanmasıyla %50, İn. AS uygulanmasıyla %41.2, İn. Üre uygulanmasıyla %41, AS uygulanmasıyla %39.4 ve AN uygulanmasıyla %20.2 oranlarında azalmıştır (Çizelge 4.7). Bu verilerden de görülebileceği gibi biyokömür uygulamasıyla bitki klorofil b değerinde en fazla ve önemli düzeyde azalma enzimatik parçalanma ile önce NH_4^+ azotunu oluşturan üre ve NH_4^+ formunda azot içeren İn. AS gübresinde olup bunu AS gübresi takip etmiştir. Ayrıca bitki klorofil b değeri biyokömürsüz ve biyokömürlü ortamda sırasıyla AS gübresine göre İn. AS uygulamasıyla %4.12 ve %1.25 oranlarında, üre gübresine göre İn. Üre uygulamasıyla ise %25.05 ve %36.1 oranlarında artmıştır.

Çizelge 4.7. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde klorofil b değeri

Azotlu Gübreler	Klorofil b (µg ml ⁻¹)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	8.93f	4.44g	6.69E
AS	15.58de	9.43f	12.50D
İnh. AS	16.25de	9.55f	12.90D
Üre	20.40bc	10.24f	15.32C
İnh. Üre	27.22a	16.05de	21.63A
AN	18.10cd	14.43e	16.27C
CaNit	15.18e	21.03b	18.10B
Ortalama	17.38A	12.17B	--



Şekil 4.6. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde klorofil b değerine etkileri

Çalışmamızda, biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin kontrole göre klorofil b değerini düşürdüğü belirlenmiştir. Nitekim Khan ve ark., (2023) tarafından yapılan bir çalışmada biyokömür uygulamaları ile bitki klorofil b değerinin azaldığını ve bu azalmanın toprakta biyokömür uygulanması ile artan C'a bağlı olarak topraktaki N'un mikroorganizmalarca immobilize edilmesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir ki bu durum çalışma sonuçlarımızla uyumludur.

4.7. Bitkinin Makro ve Mikro Besin Elementi Konsantrasyonları

Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde yaprağın makro ve mikro besin elementi konsantrasyonu üzerine etkileri ile ilgili varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde makro besin elementi konsantrasyonuna etkileri ile ilgili varyans analiz sonuçları

Uygulama	SD	N	P	K	Ca	Mg	C
Biyokömür (B)	1	1.264**	0.001 ^{ö.d}	3.806**	0.049**	0.013**	13.90**
Azotlu Gübreler (AG)	6	0.264**	0.012**	0.281**	0.007**	0.0001**	6.038**
B x AG int.	6	0.188**	0.001*	0.246**	0.002**	0.000*	1.953*
Hata	42	0.005	0.0001	0.002	0.0001	0.0001	0.74
Genel	55						

**($p < 0.01$), *($p < 0.05$)

Çizelge 4.9. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde mikro besin elementi konsantrasyonuna etkileri ile ilgili varyans analiz sonuçları

Uygulama	SD	Fe	Zn	Cu	Mn	B
Biyokömür (B)	1	75.24**	68.58**	42.61**	12.99**	16.35**
Azotlu Gübreler (AG)	6	597.89**	313.56**	4.89**	61.39**	24.19**
B x AG int.	6	47.84**	17.63**	3.59**	9.12**	10.40**
Hata	42	8.62	3.75	0.16	1.62	0.41
Genel	55					

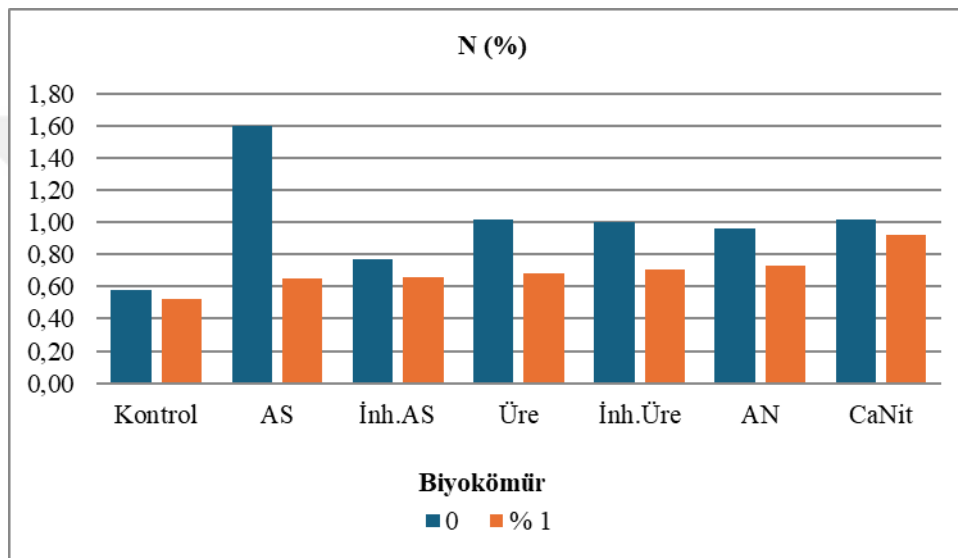
**($p < 0.01$)

Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin N konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.10’da, bitki N konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.7’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.8) göre; mısır bitkisinin toprak üstü aksamının N konsantrasyonu üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; tüm bitkinin N konsantrasyonunun farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.10 ve Şekil 4.7’den görülebileceği gibi tüm bitki N konsantrasyonu %0.52 ile %1.60 arasında değişmektedir.

Çizelge 4.10. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin N konsantrasyonuna etkileri

Azotlu Gübreler	N (%)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	0.58ef	0.52f	0.55D
AS	1.60a	0.65ef	1.12A
İnh. AS	0.77cde	0.66ef	0.71C
Üre	1.02b	0.68ef	0.85BC
İnh. Üre	1.00b	0.71def	0.86B
AN	0.96bc	0.73def	0.85BC
CaNit	1.02b	0.92bcd	0.97B
Ortalama	1.00A	0.69B	--



Şekil 4.7. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin N konsantrasyonuna etkileri

Bitki N konsantrasyonu biyokömürün uygulandığı ve uygulanmadığı kontrollerine ve farklı azot uygulamalarına göre sırasıyla 1.25-1.77 kat ve 1.33-2.76 kat arasında değişen miktarlarda artışların olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte yürütülen sera denemesinde 200 ppm saf azot uygulanmasına rağmen bütün uygulamalarda tüm mısır bitkisi azot konsantrasyonu Jones ve ark., (1991) tarafından belirtilen sınır değerlerine göre (yetersiz<%3.50) yetersiz olduğu belirlenmiştir. Bitkinin N konsantrasyonu biyokömür uygulaması ile kontrol ve azotlu gübrelerin ortalaması olarak sırasıyla %10.3 ve %31 oranında azalmıştır. Bunun yanında bitkinin N konsantrasyonu biyokömürsüz uygulamalara göre biyokömür uygulaması ile AS gübresinde %59.3, Üre'de %33.3, İnh. Üre'de %29, AN' da %24, İnh. AS'de %14.2 ve CaNit'da %9.8 oranında azalmıştır (Çizelge 4.10). Bu verilerden de görülebileceği gibi biyokömür uygulamasıyla bitki N konsantrasyonunun en fazla ve önemli düzeyde azalma NH_4^+ formunda azot içeren AS ve toprağa uygulandığında enzimatik

parçalanma ile önce NH_4^+ azotunu oluşturan üre uygulaması olup bunu İn. Üre gübresi takip etmiştir. Ayrıca bitkinin N konsantrasyonu AS yerine İn. AS uygulaması ile biyokömür olmadığında 2.07 kat azalırken, biyokömür uygulaması ile 1.01 kat artmıştır. Bitki N konsantrasyonu biyokömür olmadığında Üre yerine İn. Üre uygulamaları ile 1.02 kat azalırken, biyokömür uygulanması ile 1.04 kat arttığı belirlenmiştir.

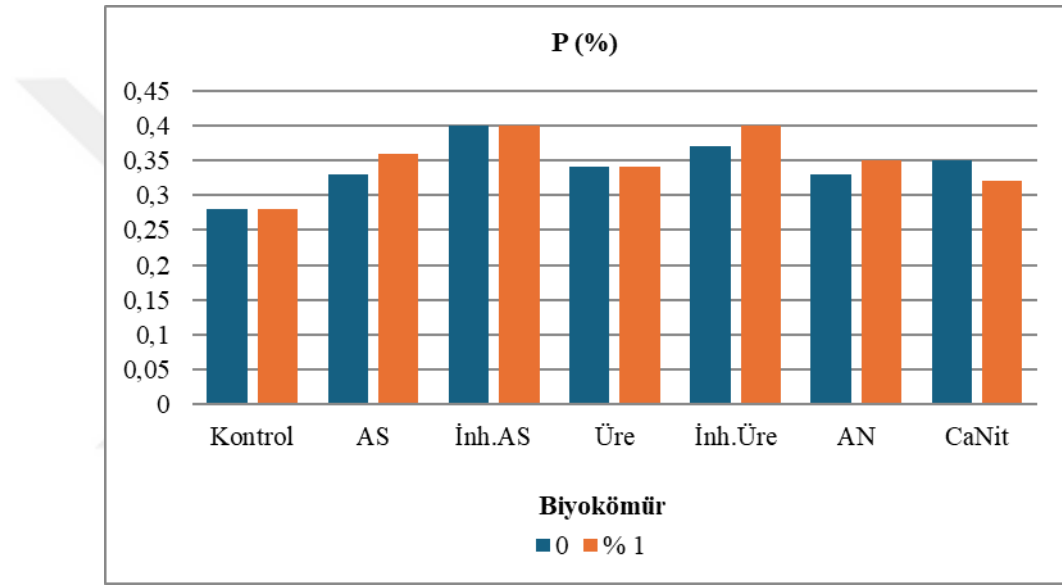
Biyokömür uygulamasıyla birçok araştırmacı tarafından da bildirildiği gibi (Lehmann ve ark., 2003; Asai ve ark., 2009;) bitkinin N konsantrasyonundaki azalmalar, toprakta C/N oranının artışına bağlı olarak toprak azaotunun kullanımı bakımından bitkilerle mikroorganizmaların rekabetine veya biyokömür tarafından $\text{NH}_4\text{-N}$ 'unu tutulması ya da toprak reaksiyonunun artışıyla amonyak volatilizasyonuna bağlı olarak bitkinin N alımının olumsuz yönde etkilenmesinden kaynaklanabilir. Ayrıca Rondon ve ark. (2007), fasulye bitkisinin N içeriği ile ilgili yaptıkları bir çalışmada biyokömürün bitkiler tarafından azot alımını %50 oranında azaltabileceğini gösterdiğini ve bu etkinin, biyokömürün yüksek C içeriğinden ve dolayısıyla topraktaki azotun mikroorganizmalar tarafından immobilize edilmesinden kaynaklandığını bu durumda, toprak yönetimi ve gübreleme stratejilerinde dikkatli olunması gerektiğini bildirmişlerdir.

Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin P konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.11'de, mısır bitkisi P konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8'de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.8'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.8) göre; mısır bitkisinin P konsantrasyonu üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve 'biyokömür x azotlu gübreler' interaksiyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki P konsantrasyonunun farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca "biyokömür x azotlu gübreler" interaksiyonunun önemli çıkması bitki P konsantrasyonuna azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir.

Çizelge 4.11. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin P konsantrasyonuna etkileri

Azotlu Gübreler	P (%)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	0.28f	0.28ef	0.28C
AS	0.33cd	0.36a-d	0.35B
İnh. AS	0.40a	0.40a	0.40A
Üre	0.34cd	0.34cd	0.34B
İnh. Üre	0.37abc	0.40ab	0.39A
AN	0.33cde	0.35bcd	0.34B
CaNit	0.35cd	0.32def	0.33B
Ortalama	0.34	0.35	--



Şekil 4.8. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde P konsantrasyonuna etkileri

Mısır bitkisinin P konsantrasyonu %0.28 ile %0.40 arasında değişkenlik göstermiş olup biyokömür ve biyokömürsüz uygulamalarda sırasıyla 1.42-1.52 kat ve 1.17-1.52 kat arasında değişen oranlarda artışların olduğu tespit edilmiştir. Jones ve ark., (1991) tarafından mısır bitkisinin P konsantrasyonu için belirttiği sınır değerlerine göre (yeterli, %0.30-%0.50) bitkinin P konsantrasyonunun kontroller hariç tüm uygulamalarda yeterli olduğu belirlenmiştir. Nitekim biyokömür uygulaması yapılmadığında sadece azotlu gübrelerin uygulanması ile bitki P konsantrasyonları %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile AS gübresinde %8.3, İnh. Üre'de %7.5 ve AN'da %5.8 artarken, CaNit'da %9.3 oranında azalmıştır (Çizelge 4.11). Bu verilerden de görülebileceği gibi biyokömür uygulamasıyla P konsantrasyonunda en fazla ve önemli

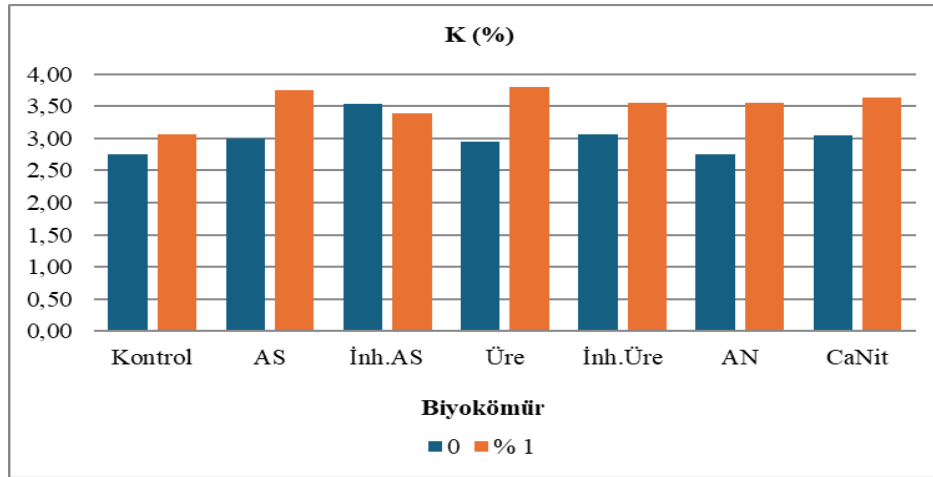
düzeyde artış NH_4^+ formunda azot içeren AS ve İn. Üre uygulaması olup bunu AN gübresi takip etmiştir. Ayrıca ‘biyokömür x azotlu gübre kaynakları’ interaksyonunda AS yerine İn. AS uygulamaları ile bitki P konsantrasyonu %17.5, Üre yerine İn. Üre uygulamaları ile %8.10 oranlarında artışların olduğu belirlenmiştir. Biyokömür uygulanması ile AS yerine İn. AS uygulamaları ile bitki P konsantrasyonu %10, Üre yerine İn. Üre uygulamaları ile %15 oranında artışların olduğu belirlenmiştir. Bu artış, Ali ve ark., (2015) tarafından buğday bitkisi ile yaptıkları çalışma sonucunda bildirdikleri gibi biyokömür uygulamasının toprakta por hacminin ve KDK’sını artırmasıyla ortafosfat (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) iyonlarının difüzyon katsayılarını artmasından kaynaklanabilir.

Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin K konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.12’de, mısır bitkisi K konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.9’da verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.8) göre; mısır bitkisinin K konsantrasyonu üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki K konsantrasyonunun farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca “biyokömür x azotlu gübreler” interaksyonunun önemli çıkması bitki K konsantrasyonuna azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.12 ve Şekil 4.9’dan görülebileceği gibi hem kontrol hem de azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki K konsantrasyonunun biyokömür uygulaması ile sırasıyla %10.4 ve %14.8 oranlarında artmıştır.

Çizelge 4.12. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin K konsantrasyonuna etkileri

Azotlu Gübreler	K (%)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	2.75f	3.07e	2.91D
AS	2.99e	3.75ab	3.37B
İnh. AS	3.54c	3.39d	3.46A
Üre	2.95e	3.80a	3.38B
İnh. Üre	3.06e	3.55c	3.31B
AN	2.76f	3.55c	3.15C
CaNit	3.05e	3.63bc	3.34B
Ortalama	3.01B	3.53A	--



Şekil 4.9. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde K konsantrasyonuna etkileri

Mısır bitkisinin K konsantrasyonu %2.75 ile %3.80 arasında değişkenlik göstermiş olup biyokömür ve biyokömürsüz uygulamalarda sırasıyla 1.10-1.23 kat ve 1.0-1.28 kat arasında değişen oranlarda artışların olduğu tespit edilmiştir. Jones ve ark., (1991) tarafından mısır bitkisinin K konsantrasyonu için belirttiği sınır değerlerine göre (yeterli %2.50-4.0) bitkinin K konsantrasyonunun tüm uygulamalarda yeterli olduğu belirlenmiştir. Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki K konsantrasyonları %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile üre gübresinde %22.3, AN'da %22.2, AS'da %20.2, CaNit'da %16, İnh. Üre'de %13.8 artarken, İnh. AS uygulamasında %4.2 oranında azalmıştır (Çizelge 4.12). Ayrıca 'biyokömür x azotlu gübre kaynakları' interaksiyonunda AS yerine İnh. AS uygulamaları ile bitki K konsantrasyonu %15.5 oranında, Üre yerine İnh. Üre uygulamaları ile %3.5 oranında artışların olduğu belirlenmiştir. Biyokömür uygulanması ile AS yerine İnh. AS uygulamaları ile bitki K konsantrasyonu %10, Üre yerine İnh. Üre uygulamaları ile %7.04 oranında azalmaların olduğu belirlenmiştir.

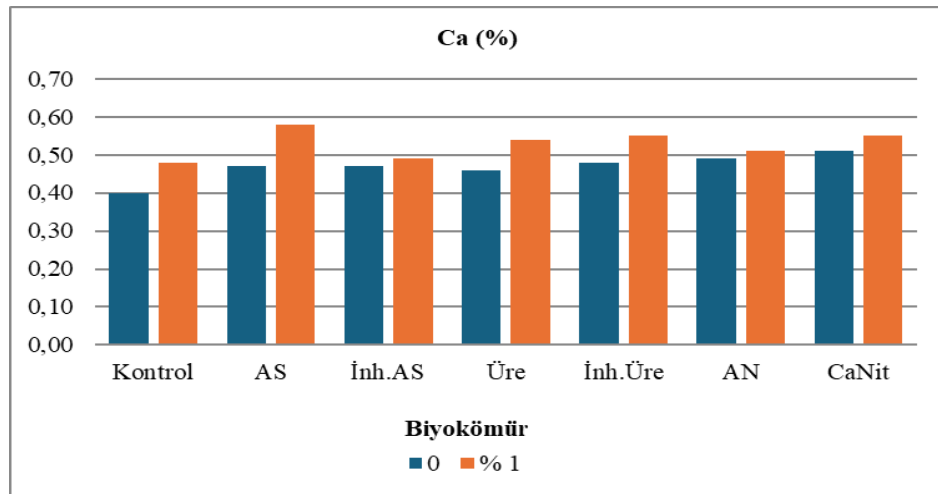
Çalışmamız sonucunda biyokömür uygulamasıyla bitkinin K konsantrasyonu artmıştır. Bu artış, Lehmann ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi, biyokömür uygulamasının toprakta por hacmini ve KDK'yı artırmasıyla K iyonlarının difüzyon katsayılarının yükselmesiyle ilişkilidir. Biyokömür, toprak yapısını iyileştirerek su ve besin maddelerinin hareketini kolaylaştırır. Bu durum, potasyumun kökler tarafından daha etkin bir şekilde alınmasına olanak tanır.

Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin Ca konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.13’de, mısır bitkisi Ca konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.10’da verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.8) göre; mısır bitkisinin Ca konsantrasyonu üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki Ca konsantrasyonunun farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca “biyokömür x azotlu gübreler” interaksiyonunun önemli çıkması bitki Ca konsantrasyonuna azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.13 ve Şekil 4.10’dan görülebileceği gibi hem kontrol hem de azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki Ca konsantrasyonu biyokömür uygulaması ile sırasıyla %16.6 ve %11.8 oranlarında artmıştır.

Çizelge 4.13. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin Ca konsantrasyonuna etkileri

Azotlu Gübreler	Ca (%)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	0.40f	0.48b-e	0.44C
AS	0.47def	0.58a	0.52AB
İnh. AS	0.47c-f	0.49b-e	0.48BC
Üre	0.46ef	0.54a-d	0.50AB
İnh. Üre	0.48b-e	0.55abc	0.52AB
AN	0.49b-e	0.51a-e	0.50AB
CaNit	0.51a-e	0.55ab	0.53A
Ortalama	0.47B	0.53A	--



Şekil 4.10. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde Ca konsantrasyonuna etkileri

Mısır bitkisini Ca konsantrasyonu %0.40 ile %0.58 arasında değişkenlik göstermiş olup biyokömür ve biyoköürsüz uygulamalarda sırasıyla 1.20-1.02 kat ve 1.15-1.27 kat arasında değişen oranlarda artışların olduğu tespit edilmiştir. Jones ve ark., (1991) tarafından mısır bitkisinin Ca konsantrasyonu için belirttiği sınır değerlerine göre (yeterli, %0.30-0.70) bitkinin Ca konsantrasyonunun tüm uygulamalarda yeterli olduğu belirlenmiştir. Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki Ca konsantrasyonları %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile AS gübresinde %19, Üre'de %14.9, İn. Üre'de %12.7, CaNit'da %7.2, İn. AS uygulamasında %4.08 ve AN'da %3.9 oranında artmıştır (Çizelge 4.13). Ayrıca 'biyokömür x azotlu gübre kaynakları' interaksiyonunda AS yerine İn. AS uygulamaları ile bitki Ca konsantrasyonunda bir değişim olmazken, Üre yerine İn. Üre uygulamaları ile %4.16 oranında artışın olduğu belirlenmiştir. Biyokömür uygulanması ile AS yerine İn. AS uygulamaları ile bitki Ca konsantrasyonu %18 azalırken, Üre yerine İn. Üre uygulamaları ile %1.20 oranında artışın olduğu belirlenmiştir.

Çalışmamız sonucunda biyokömür uygulamasıyla bitkinin Ca konsantrasyonu artmıştır. Bu artış, deneme toprağının çok fazla kireçli olmasının yanında biyokömür uygulaması ile toprak Ca/Mg dengesine bağlı olarak bitkinin Ca alımını artırmasından kaynaklanabilir. Ayrıca Inal ve ark (2015), tarafından yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi, biyokömür uygulamasının bitki tipine bağlı olarak değişmekle birlikte kökten salgılanan ve bitkiler için besin elementi çözünürlüğünü artıran çözünebilir moleküllerin etkileşiminden olabilir.

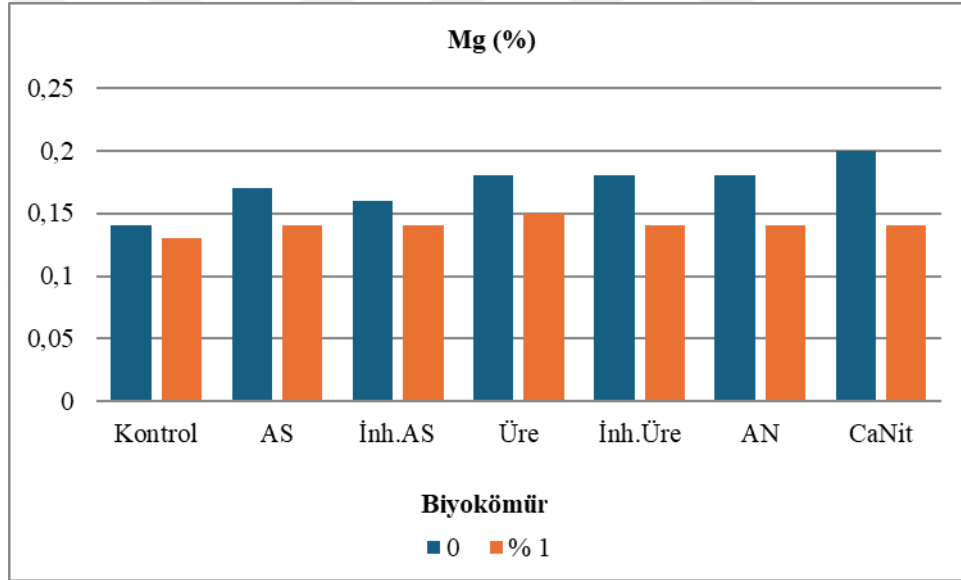
Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin Mg konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.14'de, mısır bitkisi Mg konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8'de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.11'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.8) göre; mısır bitkisinin Mg konsantrasyonu üzerine biyokömür ve azotlu gübrelerin etkisi istatistiki olarak %1 önemli bulunurken 'biyokömür x azotlu gübreler' interaksiyonun etkisi istatistiki olarak %5 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki Mg konsantrasyonunun farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca "biyokömür x azotlu gübreler" interaksiyonunun önemli çıkması bitki Mg konsantrasyonuna azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da

değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.14 ve Şekil 4.11’den görülebileceği gibi hem kontrol hem de azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki Mg konsantrasyonu biyokömür uygulaması ile sırasıyla %7.6 ve %21.4 oranlarında azalmıştır.

Çizelge 4.14. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin Mg konsantrasyonuna etkileri

Azotlu Gübreler	Mg (%)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	0.14ef	0.13f	0.13B
AS	0.17a-f	0.14ef	0.15AB
İnh. AS	0.16b-f	0.14ef	0.15AB
Üre	0.18a-d	0.15c-f	0.16A
İnh. Üre	0.18abc	0.14ef	0.16AB
AN	0.18ab	0.14def	0.16A
CaNit	0.20a	0.14def	0.17A
Ortalama	0.17A	0.14B	--



Şekil 4.11. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde Mg konsantrasyonuna etkileri

Mısır bitkisinin Mg konsantrasyonu %0.13 ile %0.20 arasında değişkenlik göstermiş olup biyokömür ve biyokömürsüz uygulamalarda sırasıyla 1.07-1.15 kat ve 1.14-1.42 kat arasında değişen oranlarda artışların olduğu tespit edilmiştir. Jones ve ark., (1991) tarafından mısır bitkisinin Mg konsantrasyonu için belirttiği sınır değerlerine göre (yeterli, %0.15-0.45) bitkinin Mg konsantrasyonunun tüm uygulamalarda yeterli olduğu belirlenmiştir. Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki Mg konsantrasyonu %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile CaNit gübresinde %43, İnh. Üre ve AN’da %28.5, AS’da %21.4, Üre’de %20 ve İnh. AS uygulamasında %14.2 oranında azalmıştır (Çizelge

4.14).Ayrıca ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonunda AS yerine İnh. AS uygulamaları ile bitki Mg konsantrasyonu %6.25 oranında azalmış olup, Üre yerine İnh. Üre uygulamaları ile aynı olup herhangi bir değişiklik olmamıştır. Biyokömür uygulanması ile AS yerine İnh. AS uygulamaları ve Üre yerine İnh. Üre uygulamalarında da istatistiksel olarak herhangi bir değişim olmamıştır.

Biyokömür, genellikle toprak pH'ını hafif alkali bir düzeye çekebilir. Kireçli topraklarda pH zaten yüksek olduğunda, biyokömürün pH'ı daha da yükseltmesi magnezyumun bitkiler tarafından alımını zorlaştırabilir. Çünkü magnezyum, yüksek pH koşullarında toprakta daha az çözünür ve bitkiler tarafından daha az kullanılabilir. Kireçli topraklarda genellikle yüksek kalsiyum içeriği bulunur.

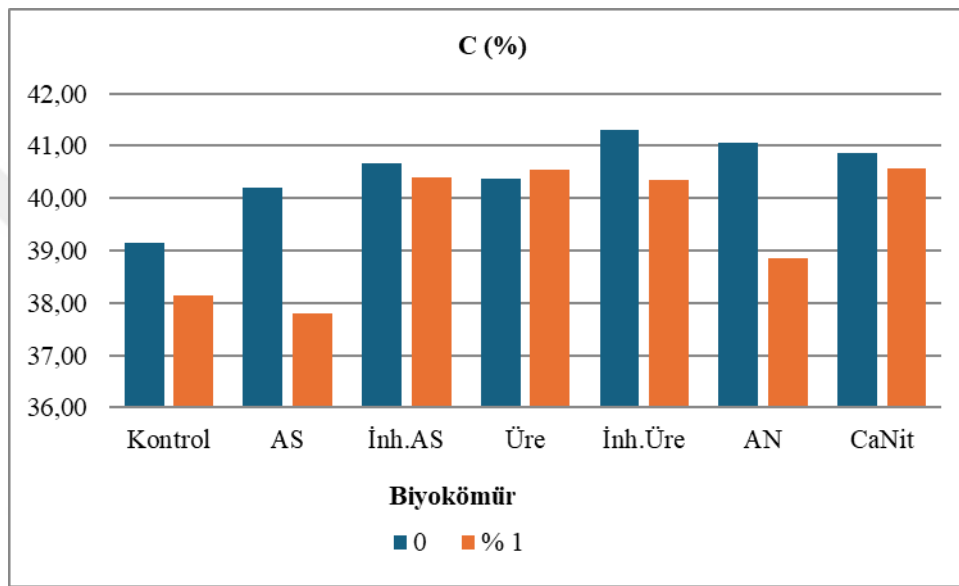
Biyokömür uygulaması ile bitki Ca konsantrasyonu artarken Mg konsantrasyonunda azalmaların olduğu belirlenmiştir. Bu azalmalar, Uzoma ve ark. (2011) tarafından belirtildiği gibi biyokömür uygulaması ile topraklara Ca/Mg dengesinin Mg aleyhine bozulmasından kaynaklı olarak mısır bitkisinin Mg konsantrasyonunun da azalmaların olduğunu bildirmişlerdir.

Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin C konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.15’de, mısır bitkisi C konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.8’de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.12’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.8) göre; mısır bitkisinin C konsantrasyonu üzerine biyokömür ve azotlu gübrelerin etkisi istatistiki olarak %1 önemli bulunurken ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonun etkisi istatistiki olarak %5 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki C konsantrasyonunun farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca “biyokömür x azotlu gübreler” interaksiyonunun önemli çıkması bitki C konsantrasyonuna azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.15 ve Şekil 4.12’den görülebileceği gibi hem kontrol hemde azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki C konsantrasyonu biyokömür uygulaması ile sırasıyla %2.55 ve %0.20 oranlarında azalmıştır.

Çizelge 4.15. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının bitkisinin C konsantrasyonuna etkileri

C (%)			
Azotlu Gübreler	Biyokömür		Ortalama
	0	%1	
Kontrol	39.15a-d	38.15cd	38.65C
AS	40.20abc	37.80d	39.00BC
İnh. AS	40.67ab	40.40ab	40.53AB
Üre	40.37ab	40.55ab	40.46AB
İnh. Üre	40.35ab	41.35a	40.85A
AN	38.85bcd	41.07a	39.96ABC
CaNit	40.87ab	40.57ab	40.72A
Ortalama	40.06A	39.98B	--

**Şekil 4.12.** Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde C konsantrasyonuna etkileri

Bitki C konsantrasyonu farklı azotlu gübrelerin uygulanmasıyla kontrole göre biyokömür uygulanmadan 0.99 ile 1.04 kat, biyokömür uygulamasıyla 0.99 ile 1.08 kat arasında değişen oranlarda artarken, biyokömür uygulamasıyla azot kaynağı ne olursa olsun üre, İnh. Üre ve AN hariç diğer uygulamalar azalmıştır. Ancak biyokömür uygulamasıyla bitki C konsantrasyonunda meydana gelen artışlar ve azalmalar azotlu gübrelere göre değişmiştir. Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki C konsantrasyonu %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile AS gübresinde %6.34, İnh. AS ve CaNit'de %0.7 azalırken, AN'da %5.4, İnh. Üre'de %2.4 ve Üre'de %0.4 oranında artmıştır (Çizelge 4.15). Ayrıca 'biyokömür x azotlu gübreler' interaksiyonunda AS yerine İnh.vAS uygulamaları ile bitki C konsantrasyonu %1.15 oranında artarken, Üre yerine İnh. Üre uygulamaları ile %0.04 oranında artışların olduğu belirlenmiştir. Biyokömür uygulanması ile AS yerine

İnh. AS uygulamaları ile bitki C konsantrasyonu %6.43, Üre yerine İnh. Üre uygulamaları ile %1.94 oranında artışların olduğu belirlenmiştir.

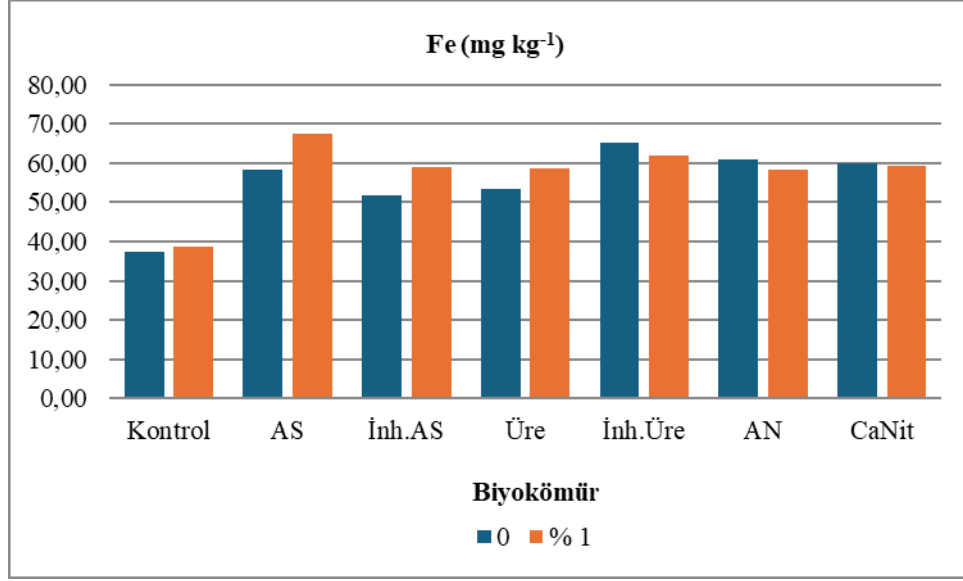
Biyokömür uygulaması ile Cross ve Sohi (2011) tarafından bildirildiği gibi toprağın C konsantrasyonunda sağlanan artışla birlikte mikroorganizmalar ve bitki kökleri arasındaki rekabet nedeniyle bitki C konsantrasyonunda azalmaların olduğu belirlenmiştir.

Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin Fe konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.16'da, mısır bitkisi Fe konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9'da ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.13'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.9) göre; mısır bitkisinin Fe konsantrasyonu üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve 'biyokömür x azotlu gübreler' interaksiyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki Fe konsantrasyonunun farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca "biyokömür x azotlu gübreler" interaksiyonunun önemli çıkması bitki Fe konsantrasyonuna azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.16 ve Şekil 4.13'den görülebileceği gibi hem kontrol hem de azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki Fe konsantrasyonu biyokömür uygulaması ile sırasıyla %3.52 ve %4.04 oranlarında artmıştır.

Çizelge 4.16. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin Fe konsantrasyonuna etkileri

Azotlu Gübreler	Fe (mg kg ⁻¹)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	37.46e	38.83e	38.15C
AS	58.31bcd	67.45a	62.88A
İnh. AS	51.83d	59.01a-d	55.42B
Üre	53.47cd	58.55bcd	56.01B
İnh. Üre	65.21ab	61.97abc	63.59A
AN	61.00abc	58.27bcd	59.64AB
CaNit	59.84a-d	59.28a-d	59.56AB
Ortalama	55.30B	57.62A	--



Şekil 4.13. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde Fe konsantrasyonuna etkileri

Mısır bitkisinin Fe konsantrasyonu 37.46 ile 67.45 mg kg⁻¹ arasında değişkenlik göstermektedir. Biyokömürlü ve biyokömürsüz uygulamalarda sırasıyla 1.50-1.73 kat ve 1.38-1.74 kat arasında değişen oranlarda artışların olduğu tespit edilmiştir. Jones ve ark., (1991) tarafından mısır bitkisinin Fe konsantrasyonu için belirttiği sınır değerlerine göre (yeterli 50-250 mg kg⁻¹) bitkinin Fe konsantrasyonunun kontroller hariç tüm uygulamalarda yeterli olduğu belirlenmiştir.

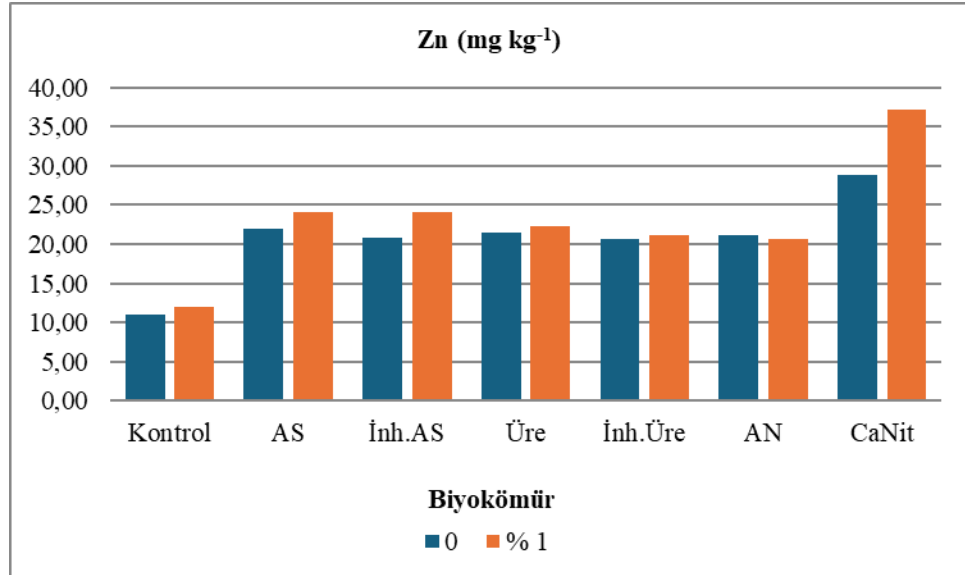
Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki Fe konsantrasyonu %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile AS gübresinde %13.5, İn.h. AS %12.1 ve Üre %8.7 artarken, İn.h. Üre’de %5.2, AN’da %4.6 ve CaNit’de %1 oranında azalmalar olmuştur (Çizelge 4.16). Ayrıca ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonunda AS yerine İn.h. AS uygulamaları ile bitki Fe konsantrasyonu %12.5 oranında azalırken, Üre yerine İn.h. Üre uygulamaları ile %18.01 oranında artışların olduğu belirlenmiştir. Biyokömür uygulanması ile AS yerine İn.h. AS uygulamaları ile bitki Fe konsantrasyonu %14.3 oranında azalırken, Üre yerine İn.h. Üre uygulamaları ile %5.51 oranında artışın olduğu belirlenmiştir.

Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin Zn konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.17’de, mısır bitkisi Zn konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9’da ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.14’de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.9) göre; mısır bitkisinin Zn konsantrasyonu üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki Zn konsantrasyonunun farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca “biyokömür x azotlu gübreler” interaksiyonunun önemli çıkması bitki Zn konsantrasyonuna azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.17 ve Şekil 4.14’den görülebileceği gibi hem kontrol hem de azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki Zn konsantrasyonu biyokömür uygulaması ile sırasıyla %8.13 ve %9.64 oranlarında artmıştır.

Çizelge 4.17. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin Zn konsantrasyonuna etkileri

Azotlu Gübreler	Zn (mg kg ⁻¹)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	10.96d	11.93d	11.44C
AS	21.95c	24.01bc	22.98B
İnh. AS	20.90c	24.06bc	22.48B
Üre	21.47c	22.27c	21.87B
İnh. Üre	20.60c	21.11c	20.86B
AN	21.14c	20.70c	20.92B
CaNit	28.75b	37.17a	32.96A
Ortalama	20.82B	23.04A	--



Şekil 4.14. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde Zn konsantrasyonuna etkileri

Mısır bitkisinin Zn konsantrasyonu 10.96 ile 37.17 mg kg⁻¹ arasında değişkenlik göstermektedir. Biyokömür ve biyoköürsüz uygulamalarda sırasıyla 1.73-3.11 kat ve 1.88-2.62 kat arasında değişen oranlarda artışların olduğu tespit edilmiştir. Jones ve ark., (1991) tarafından mısır bitkisinin Zn konsantrasyonu için belirttiği sınır değerlerine göre (yeterli 20-60 mg kg⁻¹) bitkinin Zn konsantrasyonunun kontroller hariç tüm uygulamalarda yeterli olduğu belirlenmiştir.

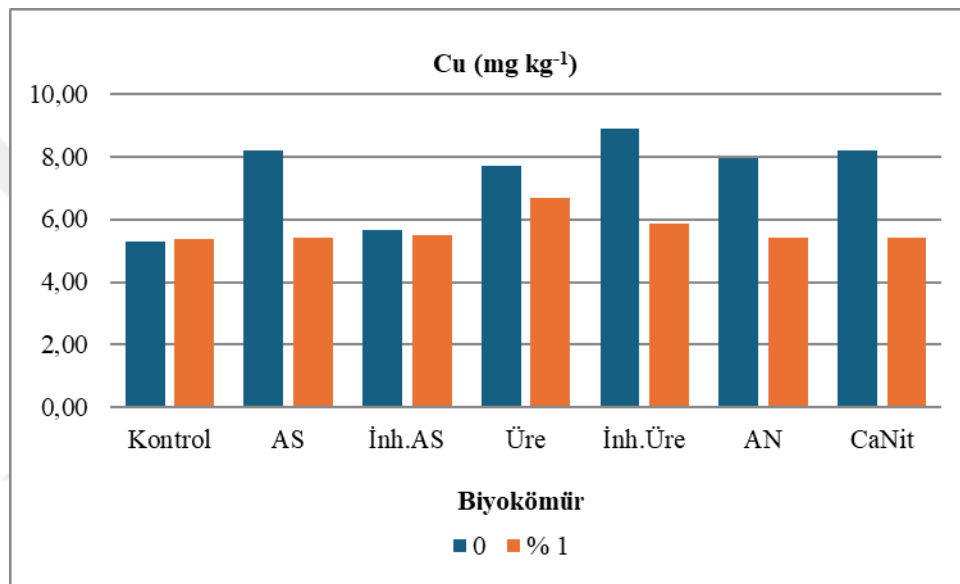
Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki Zn konsantrasyonu %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile CaNit gübresinde %22.7, İn. AS %13.1, AS'da %8.6, Üre'de %3.6 ve İn. Üre'de %2.5 oranında artarken AN uygulamasında ise %2.1 oranında azalmıştır (Çizelge 4.17). Ayrıca 'biyokömür x azotlu gübreler' interaksiyonunda AS yerine İn. AS uygulamaları ile bitki Zn konsantrasyonu %5.02 , Üre yerine İn. Üre uygulamaları ile %4.23 oranında azalmaların olduğu belirlenmiştir. Biyokömür uygulanması ile AS yerine İn. AS uygulamaları ile bitki Zn konsantrasyonu %0.2 oranında artarken, Üre yerine İn. Üre uygulamaları ile %5.49 oranında azalmanın olduğu belirlenmiştir.

Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin Cu konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.18'de, mısır bitkisi Cu konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9'da ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.15'de verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.9) göre; mısır bitkisinin Cu konsantrasyonu üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve 'biyokömür x azotlu gübreler' interaksiyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki Cu konsantrasyonunun farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca "biyokömür x azotlu gübreler" interaksiyonunun önemli çıkması bitki Cu konsantrasyonuna azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.18 ve Şekil 4.15'den görülebileceği gibi kontrol ve azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki Cu konsantrasyonu biyokömür uygulaması ile sırasıyla %1.86 artarken ve %30 oranında azalmıştır.

Çizelge 4.18. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin Cu konsantrasyonuna etkileri

Azotlu Gübreler	Cu (mg kg ⁻¹)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	5.27d	5.37d	5.32B
AS	8.17a	5.41d	6.79A
İnh. AS	5.65cd	5.48cd	5.57B
Üre	7.69ab	6.67bc	7.18A
İnh. Üre	8.87a	5.85cd	7.36A
AN	7.93a	5.39d	6.66A
CaNit	8.20a	5.40d	6.80A
Ortalama	7.40A	5.65B	--



Şekil 4.15. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde Cu konsantrasyonuna etkileri

Mısır bitkisinin Cu konsantrasyonu 5.27 ile 8.87 mg kg⁻¹ arasında değişkenlik göstermektedir. Biyokömürlü ve biyokömürsüz uygulamalarda sırasıyla 1.0-1.24 kat ve 1.07-1.68 kat arasında değişen oranlarda artışların olduğu tespit edilmiştir. Jones ve ark., (1991) tarafından mısır bitkisinin Cu konsantrasyonu için belirttiği sınır değerlerine göre (yeterli 5-20 mg kg⁻¹) bitkinin Cu konsantrasyonunun tüm uygulamalarda yeterli olduğu belirlenmiştir.

Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki Cu içerikleri %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile CaNit gübresinde %51.8, İnh. Üre'de %51.6, AS'da %51, AN'da %47.1, Üre'de %15.2 ve İnh. AS %3.1 oranında azalmıştır (Çizelge 4.18). Ayrıca 'biyokömür x azotlu gübreler' interaksiyonunda AS yerine İnh. AS uygulamaları ile bitki Cu konsantrasyonu 1.07 kat azalırken, Üre yerine

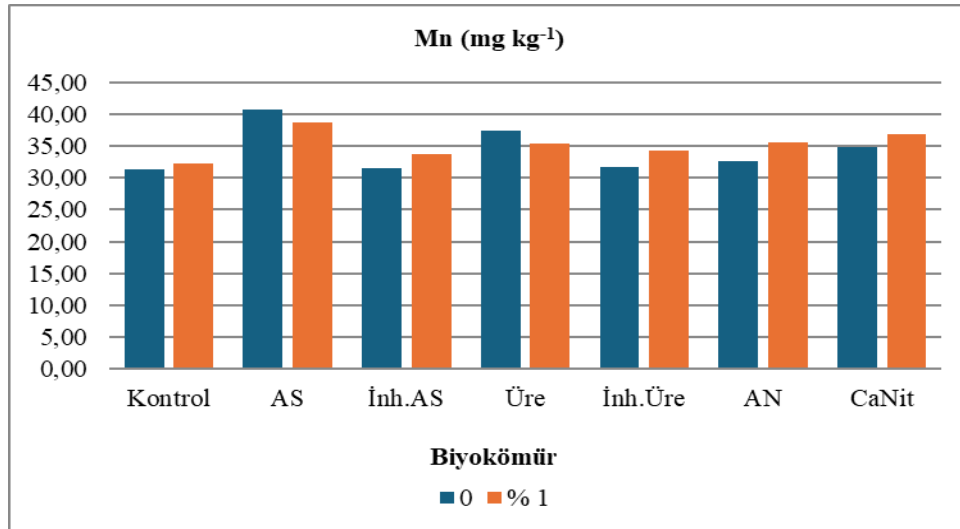
İnh. Üre uygulamaları ile 1.15 kat artışın olduğu belirlenmiştir. Biyokömür uygulanması ile AS yerine İnh. AS uygulamaları ile bitki Cu konsantrasyonu 1.01 kat artarken, Üre yerine İnh. Üre uygulamaları ile 1.15 kat azalmanın olduğu belirlenmiştir.

Farklı azotlu gübreler ve biyokömür uygulamasının mısır bitkisinin Mn konsantrasyonu üzerine etkileri Çizelge 4.19’da, mısır bitkisi Mn konsantrasyonuna ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9’da ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.16’da verilmiştir.

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.9) göre; mısır bitkisinin Mn konsantrasyonu üzerine biyokömür, azotlu gübreler ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksiyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitki Mn konsantrasyonunun farklı azotlu gübre ve biyokömür uygulamalarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Ayrıca “biyokömür x azotlu gübreler” interaksiyonunun önemli çıkması bitki Mn konsantrasyonuna azotlu gübrelerin etkisinin biyokömür uygulamasına bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.19 ve Şekil 4.16’dan görülebileceği gibi hem kontrol hem de azotlu gübrelerin ortalaması olarak bitki Mn konsantrasyonu biyokömür uygulaması ile sırasıyla %2.7 ve %2.8 oranında artmıştır.

Çizelge 4.19. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinin Mn konsantrasyonuna etkileri

Azotlu Gübreler	Mn (mg kg ⁻¹)		Ortalama
	Biyokömür		
	0	%1	
Kontrol	31.26f	32.16def	31.70D
AS	40.75a	38.72ab	39.73A
İnh. AS	31.49f	33.71c-f	32.60CD
Üre	37.35abc	35.34b-e	36.34B
İnh. Üre	31.65ef	34.23c-f	32.94CD
AN	32.67def	35.63bcd	34.15BC
CaNit	34.77c-f	36.90bc	35.83B
Ortalama	34.28B	35.24A	--



Şekil 4.16. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde Mn konsantrasyonuna etkileri

Mısır bitkisinin Mn konsantrasyonu 31.26 ile 40.75 mg kg⁻¹ arasında değişkenlik göstermektedir. Biyokömür ve biyokömürsüz uygulamalarda sırasıyla 1.04-1.20 kat ve 1.0-1.31 kat arasında değişen oranlarda artışların olduğu tespit edilmiştir. Jones ve ark., (1991) tarafından mısır bitkisinin Mn konsantrasyonu için belirttiği sınır değerlerine göre (yeterli 20-300 mg kg⁻¹) bitkinin Mn konsantrasyonunun tüm uygulamalarda yeterli olduğu belirlenmiştir. Nitekim azotlu gübrelerin biyokömür uygulaması yapılmadığında elde edilen bitki Mn içerikleri %1 düzeyinde biyokömür uygulaması ile AN gübresinde %8.3, İn. Üre'de %7.5, İn. AS %6.6, CaNit'de %5.8 artarken, AS'da %5.2 ve Üre'de %5.6 oranında azalmalar görülmüştür (Çizelge 4.19). Ayrıca 'biyokömür x azotlu gübre kaynakları' interaksiyonunda AS yerine İn. AS uygulamaları ile bitki Mn konsantrasyonu 1.30 kat, Üre yerine İn. Üre uygulamaları ile 1.18 kat azalmaların olduğu belirlenmiştir. Biyokömür uygulanması ile AS yerine İn. AS uygulamaları ile bitki Mn konsantrasyonu 1.05 kat, Üre yerine İn. Üre uygulamaları ile 1.03 kat azalmaların olduğu belirlenmiştir.

Çalışmamızda biyokömür uygulaması ile bitkinin Fe, Zn ve Mn konsantrasyonu artarken Cu konsantrasyonu azalmıştır. Bu artışlar ve azalmanın, Manirakiza ve Şeker (2020) ve (Majeed ve ark., 2018) tarafından bildirildiği gibi mısır bitkisine biyokömür uygulaması ile biyokömür içeriğindeki Fe, Zn ve Mn'ın varlığı yanında biyokömürün toprağın fiziksel yapısını iyileştirerek toprak verimliliğini artırmasından kaynaklı olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Agegnehu ve ark., (2016) biyokömür uygulamasının

toprak pH'sını azaltması nedeniyle mısır bitkisinin Fe, Zn ve Mn alımını artırmasından kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir.

4.8. Azot Agronomik Etkinliği

Geleneksel ve inhibitörlü azotlu gübreler ile beraber biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde azotun agronomik etkinliği yani; bir birim gübre ile uygulanan azot ve toprak azotunun bitki kuru ağırlığı üzerine etkileri Çizelge 4.20'de, mısır bitkisinde azotun agronomik etkinliğine ait varyans analiz sonuçları Çizelge 4.21'de ve bu değerlere ait grafik Şekil 4.18'de verilmiştir.

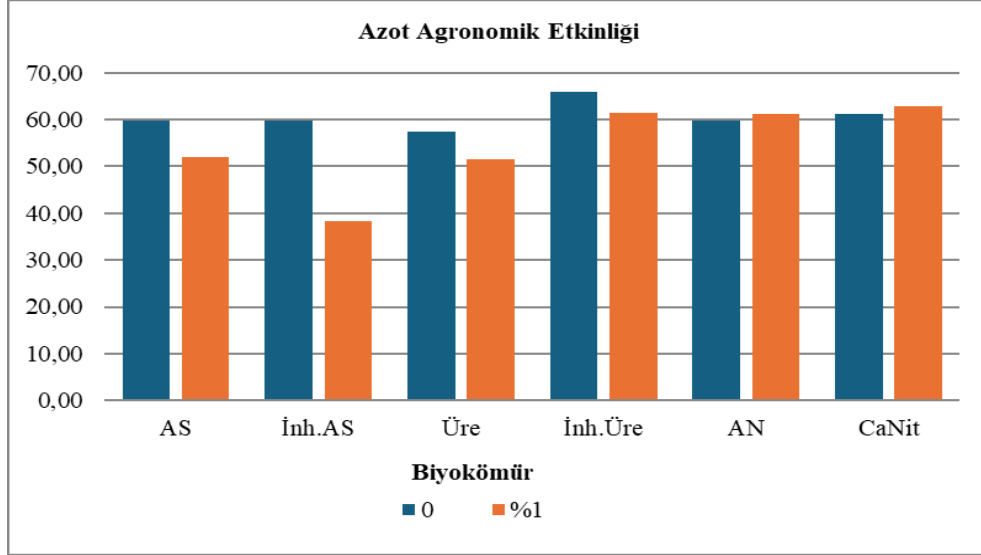
Çizelge 4.20. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde azotun agronomik etkinliği üzerine etkisi

Azot Agronomik Etkinliği			
Azotlu Gübreler	Biyokömür		Ort.
	0	%1	
AS	59.65b	51.88cd	55.76B
İnh. AS	59.57b	38.33e	48.95C
Üre	57.45bc	51.43d	54.44B
İnh. Üre	65.91a	61.50ab	63.70A
AN	59.88b	61.30ab	60.59A
CaNit	61.18ab	62.78ab	61.98A
Ort.	60.61A	54.53B	--

Çizelge 4.21. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının mısır bitkisinde azotun agronomik etkinliğinin varyans analiz sonuçları

Uygulama	SD	Azot Agronomik Etkinliği
Biyokömür (B)	1	442.26**
Azotlu Gübreler (AG)	5	245.58**
B x AG int.	5	140.36**
Hata	36	3.76
Genel	47	--

**_p<0.01



Şekil 4.17. Farklı azotlu gübreler ile biyokömür uygulamalarının bitkide azotun agronomik etkinliği üzerine etkisi

Varyans analizi sonuçlarına (Çizelge 4.21) göre; mısır bitkisinde azotun agronomik etkinliği üzerine biyokömür, azotlu gübre kaynaklarının ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksyonun etkileri istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç; bitkide azotun agronomik etkinliği üzerine biyokömür, azotlu gübre kaynakları ve ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksyonuna bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Nitekim Çizelge 4.20 ve Şekil 4.17’den görülebileceği gibi biyokömür uygulaması ile bitkide azotun agronomik etkinliği %11.1 oranında azalmıştır. ‘Biyokömür x azotlu gübreler’ interaksyonunda azotun agronomik etkinliği uygulamalara bağlı olarak değişmekle birlikte en yüksek (65.91) biyokömürsüz İn.h. Üre uygulaması ile elde edilmiştir. Ayrıca ‘biyokömür x azotlu gübreler’ interaksyonunda AS yerine İn.h. AS uygulamaları ile bitki azotun agronomik etkinliği yaklaşık 1.0 kat azalırken, Üre yerine İn.h. Üre uygulamaları ile 1.14 kat artışın olduğu belirlenmiştir. Biyokömür uygulanması ile AS yerine İn.h. AS uygulamaları ile azotun agronomik etkinliği %35.3 oranında azalırken, Üre yerine İn.h. Üre uygulamaları ile %16.3 oranında artışın olduğu tespit edilmiştir. Bu artış, Karahan (2016) tarafından bildirildiği gibi İn.h. Üre gübresinin toprakta yavaş çözündüğünden ve bitkinin azottan daha çok yararlanmasından kaynaklanabilir.



Şekil 4.18. Deneme görüntüler

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kireçli ve bazik reaksiyonlu, organik madde miktarı fakir olan bir toprakta yürütülen bu çalışmada toprağa uygulanan biyokömür ilavesi ile mısır bitkisinin bitki çapı, bitki boyu, kuru ağırlık, bitki nispi klorofil değeri ve bitki klorofil a ve b içeriği kontrole göre artmıştır. Bunların yanı sıra biyokömür ilavesi ile mısır bitkisinin K, Ca ve Zn konsantrasyonları artmıştır. Bu, biyokömürün toprak yapısını iyileştirmesi ve besin elementlerinin bitki tarafından daha iyi alınmasını sağlaması ile ilişkilendirilebilir. Ancak, biyokömürün bitkinin N içeriği ve azot kullanım etkinliğini azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, biyokömürün piroliz ısısı veya ham madde çeşidi nedeniyle toprakta azotun biyoyararlılığından kaynaklanabilir. Mısır bitkisinde en yüksek N konsantrasyonu ve azot agronomik etkinliği sırasıyla %1.60 ve 65.91 olup AS ve İnh. Üre gübre uygulamalarından elde edilmiştir. Bu durum inhibitörlü gübrelerin toprakta daha yavaş çözünmesi ve buna bağlı olarak bitki N konsantrasyonunun azalmasından kaynaklanmış olabilir. Ayrıca İnh. AS ve İnh. Üre uygulamaları, AS ve Üre gibi geleneksel gübrelere kıyasla mısır bitkisinin bitki kuru ağırlığını ve besin elementi içeriğini artırmıştır. En yüksek bitki kuru ağırlığı ($53.51 \text{ g saksı}^{-1}$) İnh. Üre uygulaması ile elde edilmiştir. Bu durum, İnh. Üre'nin azotun bitki tarafından daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağladığının göstergesi olabilir.

Çalışmamızda elde edilen bu sonuçlara göre kireçli topraklarda, biyokömürün toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri iyileştirdiği ve bitkinin besin elementi alımını artırarak verimliliği olumlu yönde etkilediğini düşünmekteyiz. Ayrıca geleneksel gübrelere göre inhibitörlü azotlu gübrelerin kullanımının bitki verimliliği ve besin elementi alımı yanında azotun kullanım etkinliğini artırmada daha etkili olduğunu söyleyebiliriz.

KAYNAKLAR

- Agegehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N. ve Bird, M. I., 2016, Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil, *Science of the Total Environment*, 543, 295-306.
- Akgün, İ., Altındal, D. ve Kara, B., 2011, Isparta ekolojik koşullarında ekmeklik ve makarnalık bazı buğday çeşitlerinin uygun ekim zamanlarının belirlenmesi, *Tarım Bilimleri Dergisi*, 17 (4), 300-309.
- Akhtar, S. S., Andersen, M. N. ve Liu, F., 2015, Residual effects of biochar on improving growth, physiology and yield of wheat under salt stress, *Agricultural Water Management*, 158, 61-68.
- Akpirinç, İ., 2017, Biyokömürün (Biochar) domates, biber bitkileri ve toprağın kimyasal özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi, *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 117.
- Ali, K., Arif, M., Jan, M., Yaseen, T., Waqas, M. ve Munsif, F., 2015, Biochar: a novel tool to enhance wheat productivity and soil fertility on sustainable basis under wheatmaize-wheat cropping pattern, *Pak. J. Bot*, 47 (3), 1023-1031.
- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T. ve 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 (1-2), 81-84.
- Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D. ve Hipps, N. A., 2010, Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review, *Plant and soil*, 337, 1-18.
- Bayraklı, F. ve Gezin, S., 1996, Controlling ammonia volatilization from urea surface applied to sugar beet on a calcareous soil, *Communications in soil science and plant analysis*, 27 (9-10), 2443-2451.
- Bremner, J., 1965, Inorganic forms of nitrogen, *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 1179-1237.
- Bricker, A., 1989, MSTAT-C user's guide, Michigan State University.
- Cartwright, B., Tiller, K., Zarcinas, B. ve Spouncer, L., 1983, The chemical assessment of the boron status of soils, *Soil Research*, 21 (3), 321-332.
- Corrochano-Monsalve, M., Huérfano, X., Menéndez, S., Torralbo, F., Fuertes-Mendizábal, T., Estavillo, J.-M. ve González-Murua, C., 2020, Relationship between tillage management and DMPSA nitrification inhibitor efficiency, *Science of the Total Environment*, 718, 134748.
- Cross, A. ve Sohi, S. P., 2011, The priming potential of biochar products in relation to labile carbon contents and soil organic matter status, *Soil biology and biochemistry*, 10 (43), 2127-2134.
- Demiralay, İ., 1993, Toprak fiziksel analizleri, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 143, 13-19.
- Eyupoglu, F., 2002, Fertilizer Requirement, Consumption and Future for Turkey. General Directorate of Rural Services, *Soil and Fertilizer Research Institute. Technical Publication No.*
- 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.

- Günel, E., 2018, Sıvı Hayvan Gübresi ile Zenginleştirilmiş Biyoçarların Ekmeklik Buğdayın Gelişimi, Besin Elementi Alımı ve Toprak Kalitesine Etkileri. Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi* (s 345).
- Hızalan, E. ve Ünal, H., 1966, Topraklarda önemli kimyasal analizler, *AÜ Ziraat Fakültesi Yayınları*, 278, 5-7.
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M. B. ve Kaya, E. C., 2015, Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize, *Soil Use and Management*, 31 (1), 106-113.
- Jackson, M., 1958, Soil chemical analysis prentice Hall, Inc., *Englewood Cliffs, NJ*, 498 (1958), 183-204.
- Jones, J. B., Wolf, B. ve Mills, H. A., 1991, Plant analysis handbook. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide, Micro-Macro Publishing, Inc., p.
- Kacar, B. v. K., A. V. , 2009, Bitki Besleme Kitabı, Nobel yayınları, p.
- Karagöz, Ş. M., 2018, Farklı azotlu gübre ve dozlarının silajlık mısırın verim ve kalite özelliklerine etkisi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kayseri*.
- Karahan, F., 2016, Farklı azotlu gübre ve dozlarının mısırdaki tane verimi ve azot kullanım etkinliği üzerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi, Kayseri Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Khan, I., Luan, C., Qi, W., Wang, X., Yu, B., Rehman, A., Khan, A. A., Khan, J. ve Li-xue, W., 2023, The residual impact of straw mulch and biochar amendments on grain quality and amino acid contents of rainfed maize crop, *Journal of Plant Nutrition*, 46 (7), 1283-1295.
- Killpack, S. C. ve Buchholz, D., 1993, Nitrogen in the environment: nitrogen's most common forms.
- Lan, T., Huang, Y., Song, X., Deng, O., Zhou, W., Luo, L., Tang, X., Zeng, J., Chen, G. ve Gao, X., 2022, Biological nitrification inhibitor co-application with urease inhibitor or biochar yield different synergistic interaction effects on NH₃ volatilization, N leaching, and N use efficiency in a calcareous soil under rice cropping, *Environmental Pollution*, 293, 118499.
- Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. ve 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., Gaunt, J. ve Rondon, M., 2006, Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review, *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 11, 403-427.
- Lehmann, J. ve Joseph, S., 2009, Biochar for environmental management. Earthscan, London, UK.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C. ve Crowley, D., 2011, Biochar effects on soil biota—a review, *Soil biology and biochemistry*, 43 (9), 1812-1836.
- Lindsay, W. L. ve Norvell, W., 1978, Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper, *Soil science society of America journal*, 42 (3), 421-428.
- Luo, L. ve 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 environmental management*, 182, 29-36.

- Maaz, T. ve Snyder, C., 2018, The identification of management strategies that target multiple nitrogen loss pathways (Part 3 of 3).
- Majeed, A. J., Dikici, H. ve Demir, Ö. F., 2018, Effect of biochar and nitrogen applications on growth of corn (*Zea mays* L.) plants, *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 6 (3), 346-351.
- Major, J., Lehmann, J., Rondon, M. ve Goodale, C., 2010, Fate of soil-applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration, *Global Change Biology*, 16 (4), 1366-1379.
- Manirakiza, N. ve Şeker, C., 2020, Effects of compost and biochar amendments on soil fertility and crop growth in a calcareous soil, *Journal of Plant Nutrition*, 43 (20), 3002-3019.
- Trenkel, M. E. , 2021, Slow-and controlled-release and Stabilized Fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture, International Fertilizer Industry Association (IFA), p.
- Moll, R., Kamprath, E. ve Jackson, W., 1982, Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization 1, *Agronomy journal*, 74 (3), 562-564.
- Namgay, T., Singh, B. ve Singh, B. P., 2010, Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.), *Soil Research*, 48 (7), 638-647.
- Nazzal, M., 2018, Asit ve bazik reaksiyonlu topraklarda farklı azotlu gübre ve potasyum uygulamalarının domatesin verim ve verim unsurlarına etkileri.
- Olsen, S. R., 1954, Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate, 939, US Department of Agriculture, p.
- Önal, F., 2019, Nitrifikasyon inhibitörünün pamuk bitkisinin azot içeriği ve kütlü verimi üzerine etkisinin araştırılması/Nvestigation of the effect of nitrification inhibitor on the nitrogen content and the cultural yield of cotton plant.
- Peryea, F. ve Kammereck, R., 1997, Use of Minolta SPAD-502 chlorophyll meter to quantify the effectiveness of mid-summer trunk injection of iron on chlorotic pear trees, *Journal of plant nutrition*, 20 (11), 1457-1463.
- Pratt, P., 1965, Potassium, *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 1022-1030.
- Richards, L. A., 1954, Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils, USDA. Handbook No: 60, p.
- Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramírez, J. ve Hurtado, M., 2007, Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions, *Biology and fertility of soils*, 43, 699-708.
- Sun, H., Zhang, H., Shi, W., Zhou, M. ve Ma, X., 2019, Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil, *Plant, Soil & Environment*, 65 (2).
- Şener, A. ve Erdal, İ., 2022, Biyokömür İnkübasyonunun Buğday Verimi ve Bazı Verim Parametrelerine Etkisi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* (41), 410-415.
- Tüzüner, A., 1990, Toprak ve su analiz laboratuvarları el kitabı, *Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara*.
- Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A. ve Nishihara, E., 2011, Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition, *Soil use and management*, 27 (2), 205-212.
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A., Van der Velde, M. ve Diafas, I., 2010, Biochar application to soils, *A critical scientific review of effects on soil properties, processes, and functions. EUR*, 24099 (162), 2183-2207.

- William, S., 1984, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist, Published by the Association of Official Analytical Chemist, , (Inc. Wircinia. USA. 140), , p.
- Yılmaz, F. G., 2015, Orta Anadolu Bölgesinde yetiştirilen bazı ekmeklik buğday çeşitlerinin azot kullanım etkinlikleri ile verim ve kalite özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi.
- Yılmaz, N. ve Şimşek, S., 2012, Sivas ekolojik koşullarında ekmeklik buğdayda (*Triticum aestivum* L.) üst gübrelemede kullanılacak azotlu gübre form ve miktarının belirlenmesi, *Akademik Ziraat Dergisi*, 1 (2), 91-96.
- Zerulla, W., Barth, T., Dressel, J., Erhardt, K., Horschler von Locquenghien, K., Pasda, G., Rädle, M. ve Wissemeier, A., 2001, 3, 4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP)–a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture: An introduction, *Biology and fertility of soils*, 34, 79-84.
- Zheng, H., Wang, Z., Deng, X., Herbert, S. ve Xing, B., 2013, Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil, *Geoderma*, 206, 32-39.