ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Biyoçar ve Mikoriza Uygulamalarının Mısır Bitkisinde Dane Verimi ve Besin Element Alımına Etkisi

Berna DEMİRKOL

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Mart, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZ ONAYI

Biyoçar ve Mikoriza Uygulamalarının Mısır Bitkisinde Dane Verimi ve Besin Element Alımına Etkisi

Berna DEMİRKOL

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Bu Yüksek Doktora Tezi ../../…. Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Adı SOYADI (Danışman) ……

: Prof. Dr. Adı SOYADI ……

: Doç. Dr. Adı SOYADI ……

: Doç. Dr. Adı SOYADI ……

: Dr. Öğr. Üyesi Adı SOYADI ……

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FBA-2021-13873

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
ÇİZELGELER DİZİNİ IV
ŞEKİLLER DİZİNİ VII
SİMGELER VE KISALTMALAR VIII
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ÖZETİ 7
2.1. Biyoçar Tanımı ve Özellikleri 7
2.2. Tarımsal Atıkların İdaresi, Biyoçar Üretimi ve Kullanım Alanları 8
2.3. Biyoçarın Toprağa Uygulanması, Bitki Gelişimine ve Verimliliğe Etkileri 10
2.4. Biyoçarın Karbon Döngüsü, Zenginleşmesi ve CO_2 Salınımına Etkileri 12
2.5. Biyoçar İnkübasyon Çalışmaları 15
2.6. Mikorizanın Bitkisel Üretimdeki Yeri 16
2.7. Mikoriza Mısır Bitkisi Etkileşimi 17
2.8. Mikoriza Kök Ekosistemleri 18
2.9. Mikorizaya Bağımlılık 21
2.10. Mikoriza Mısır Bitkisi Etkileşimi 22
2.11. Mikoriza Biyoçar Etkileşimi 24
2.12. Biyoçarın Mikoriza Kolonizasyonuna Etkisi 25
2.13. Biyoçar ve Mikoriza Uygulamalarının Verime Etkisi 27
2.14. Biyoçar ve Mikorizanın Toprak Besin Element Alımına Etkisi 28
3. MATERYAL VE METOT 31
3.1. Materyal 31
3.1.1. Deneme Materyali Olarak kullanılan Biyoçar 32
3.1.2. Denemede Kullanılan Mikorizaların Seçimi ve Çoğaltılması 33
3.1.3. Denemede Kullanılan Bitki Seçimi 33
3.2. Metot 35
3.2.1. Denemenin Kurulması ve Gübreleme Programı 35
3.2.2. Deneme Toprağının Örneklenmesi 35
3.2.3. Deneme Bitkisinin Hasadı ve Örneklenmesi 36
3.2.4. Denemenin Toprak-Bitki Analizleri ve Ölçümleri 36
3.2.5. Toprakta CO2 Metodu (Respirasyon) ile Karbon Mineralizasyonu 39
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 41
4.1. Araştırma Denemesi 41

4.1.1. Uygulamaların Biyokütle ve Verim Üzerine Etkileri 41
4.1.2. Hasat Sonrası Üst Aksam, Kök ve Dane Makro Element Konsantrasyonları ve İçerikleri43
4.1.3. Hasat Sonrası Üst Aksam, Kök ve Dane Mikro Element Konsantrasyonları ve İçerikleri 50
4.1.4. Hasat sonrası farklı bitki aksamları azot konsantrasyonları ve bitkinin kaldırdığı toplam azot miktarları..... 56
4.1.5. Hasat Sonrası Farklı Bitki Aksamları Karbon Konsantırasyonu Oranları ve Toplam Fiksasyon Miktarları..... 58
4.1.6. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde pH ve Tuz İçerikleri..... 63
4.1.7. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Fosfor İçerikleri 64
4.1.8. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde İnorganik Karbon İçeriği 65
4.1.9. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon İçeriği 66
4.1.10. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Organik % Karbon Miktarı 67
4.1.11. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Organik Karbon Miktarları..... 68
4.1.12. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon Miktarları..... 69
4.1.13 Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam N İçerikleri 70
4.1.14. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Hesaplanan Toplam Azot Miktarları..... 71
4.1.15. Kümülatif CO_2 Artışı ve Salınım Çizelgesi..... 72
4.2. Araştırma Deneme 2 75
4.2.1. Uygulamaların Biyokütle ve Verim Üzerine Etkileri..... 75
4.2.2. Hasat Sonrası Üst Aksam, Kök ve Dane Makro Element Konsantrasyonları ve İçerikleri76
4.2.3. Hasat Sonrası Üst Aksam, Kök ve Dane Mikro Element Konsantrasyonları ve İçerikleri 82
4.2.4. Hasat sonrası farklı bitki aksamları N oranları ve miktarları..... 88
4.2.5. Hasat Sonrası Farklı Bitki Aksamları Karbon Oranları ve Fiksasyon Miktarları..... 91
4.2.6. Hasat Sonrası Bazı Kök Morfolojik Özellikleri, Kök İnfeksiyon Oranı ve Mikoriza Spor Sayısı 94
4.2.7. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Ph ve Tuz İçerikleri 97
4.2.8. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Fosfor İçerikleri 99
4.2.9. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde İnorganik Karbon İçeriği..... 100

4.2.10. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon İçeriği 101
4.2.11. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Yüzde Organik Karbon Miktarı 102
4.2.12. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Organik Karbon Miktarları 103
4.2.13. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon Miktarları 104
4.2.14. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam % N içerikleri 105
4.2.15. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam N Miktarları 107
4.2.16. Kümülatif CO_2 Artışı 108
4.2.17. CO2 Metodu (Respirasyon) ile Karbon Mineralizasyonu 111
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 113
KAYNAKLAR 119
ÖZGEÇMİŞ 143

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Biyoçar ve Mikoriza Uygulamalarının Mısır Bitkisinde Dane Verimi ve Besin Element Alımına Etkisi

Berna DEMİRKOL

Danışman: Prof. Dr. İbrahim ORTAŞ

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

ÖZ

Bu araştırmanın amacı; biyoçar doz uygulamaları ve mikoriza aşılamasının mısır bitkisi vejetasyonu altında verim ve kalite unsurlarına olan etkilerini araştırmak bitki ve toprağa karbon bağlama etkilerini belirlemektir. Ayrıca tarla koşullarında zamana bağlı olarak biyoçarın ayrışma hızını belirlemek laboratuvar inkübasyon denemeleri ile toprak solunumu ile toprakta karbondioksit çıkışını belirlemek.

Deneme Çukurova Üniversitesi, Araştırma ve Uygulama Alanında bölünmüş parseller deneme desenine göre kurulmuştur. Araştırmada dört farklı biyoçar dozu (Kontrol %0, %1, %2, %4) mikorizalı (+M) ve mikorizasız (-M) şekilde uygulanmıştır. Denemede karışık mikoriza türleri kullanılmıştır. Denemede mineral gübre olarak 360 kg ha^{-1} N ve 50 kg P_2O_5 ha^{-1} olacak şekilde kullanılmıştır. Denemede P2105 mısır (*Zea Maize* L.) çeşidi kullanılmıştır. Hasat ile birlikte farklı bitki aksamları (kök, kök üstü aksam ve koçan) ve rizosfer (R) ve rizosfer olmayan (NR) 0-15cm ve 15-30cm derinliklerinde toprak örnekleri alınmıştır. Bitki aksamlarının C, N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn ve Fe konsantrasyonları ve toplam besin elementi analizleri yapıldı. Bitki kök uzunluğu, hacmi, çapı, alanı yanı sıra, toprak organik karbon (OC) konsantrasyonu ve içeriği ile mikoriza kök infeksiyonu ve spor sayımı analizleri gerçekleştirilmiştir.

2020 yılında, mikorizasız uygulamalara kıyasla, mikoriza uygulaması yapılan parsellerde ortalama % 4.1 artış ile toplamda hektara 480 kg, 2021 yılında ise ortalama %8.1 artış ile toplamda hektara 1321 kg daha yüksek verim elde edilmiştir. Araştırma bulguları, biyoçar ve mikoriza uygulamalarının bitki makro ve mikro element içeriğini, verimini ve topraktan atmosfere CO_2 salımı, TC, OC, TN içeriğini arttırdığını göstermektedir. Ancak mikoriza aşılması verim artışı sağladığı için toplamda daha fazla karbon tutmuştur. Sonuç olarak mikorizasız uygulamalarda 20 ton biyoçar ha^{-1}, mikorizalı uygulamalarında ise 10 ton biyoçar ha^{-1} uygulamasının bitki ve toprak verileri üzerinde olumlu yönde etki yaratmıştır. Uzun erimli olarak 10 ton ha^{-1} biyoçar uygulaması ve mikoriza aşılması çiftçi koşullarında önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Biyoçar, Mikoriza, CO_2 salınımı, Organik karbon, Besin elementi alımı

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

PhD THESIS

Effect of Biochar and Mycorrhiza Applications on Maize *(Zea mays L.)* Yield and Nutrient Element Uptake

Berna DEMİRKOL

Advisor: Prof. Dr. İbrahim ORTAŞ

Department of Soil Science and Plant Nutrition

ABSTRACT

The aim of this research was to investigate the effects of biochar dose applications and mycorrhiza inoculation on yield and quality factors of maize plant to determine the effects of carbon fixation on plant and increase soil organic Carbon pool. In addition, to determine the decomposition rate of biochar depending on time under field conditions and to determine the carbon dioxide flux in the field and soil respiration under laboratory incubation conditions.

The experiment was established in Çukurova University, Research and Application Area according to split plots experimental design during 2020 and 2021. Four different biochar doses (Control 0%, 1%, 2%, 4%) were applied with (+M) and without (-M) mycorrhizae. Mixed mycorrhiza species were used in the experiment. In the experiment, 360 kg N ha^{-1} and 50 kg P_2O_5 ha^{-1} were used as mineral fertilizers. P2105 maize (Zea maize L.) variety was used in the experiment. At harvest, soil samples were taken at 0-15cm and 15-30 cm depths of rhizosphere and non-rhizosphere soil and plant roots were taken. Plant parts were analyzed for C, N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn and Fe concentrations and total uptake. Plant root length, volume, diameter and area as well as soil organic carbon (OC) concentration and organic carbon content, mycorrhizal root infection and number of mycorrhizae spore were analyzed.

Compared to non-inoculated plots, in 2020, mycorrhizae inoculated plot produced 480 kg ha-1 more yield an average increase of 4.1% and 1321 kg ha^{-1} more yield an average increase of 8.1% in 2021. Research results indicate that the application of biochar and mycorrhiza enhanced the content of macro and micro elements in plants, yield, and CO_2 emissions from the soil to the atmosphere, as well as the content of TC, OC, and TN. Mycorrhiza, on the other hand, significantly raised yields and overall sequestered more carbon. Soil and plant data were positively impacted by the application of 20 tons of biochar ha^{-1} in non-mycorrhizae treatments and 10 tons in mycorrhizae treatments. Long-term recommendations for farmers may include mycorrhiza inoculation and 10 tons of biochar ha^{-1}.

Keywords: Biochar, Mycorrhiza, Maize, CO_2 release, Organic carbon, Mineral nutrient uptake

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresi boyunca yardımlarını esirgemeyen, bilimsel ve sosyal alanda iyi bir bilim insanı olmam için desteği ile rehber olan hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim ORTAŞ' a anlayışı ve sabrı için teşekkürlerimi sunarım. Doktora Tez İzleme Komitesi üyesi Sayın Prof. Dr. Alkan SARIYEV ve Sayın Prof. Dr. Celaleddin BARUTÇULAR hocalarıma çalışmamın tüm aşamalarında yönlendirici ve olumlu katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Tez Jüri üyesi hocalarıma özveri ve olumlu katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. Bilimsel çalışmalarımı yürüttüğüm Rizosfer laboratuvarındaki arkadaşlarımdan Ar-Gör. Mehmet IŞIK, Doktora öğrencisi Veysi AKŞAHİN, Doktora öğrencisi Feyzullah ÖZTÜRK ve diğer arkadaşlarıma teşekkür ederim. Arazi çalışmalarında desteklerini esiremeyen arazi teknik personeli Hüsamettin ŞAHAN, Murat ÜNAL'a teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmam boyunca manevi desteklerinden dolayı annem Ayşegül DEMİRKOL'a babam Mehmet DEMİRKOL'a oğlum Onur ÇEVİK'e teşekkür ederim. Ayrıca doktora eğitimim süresince tarafıma sağlanan 100/2000 YÖK burs imkânından dolayı teşekkür ederim.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Menzilat serisi toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri 31
Çizelge 4.1. Biyoçar dozları ve mikoriza aşılamasının mısır bitkisinin biokütle ve verim üzerine etkileri (kg ha^{-1}) 42
Çizelge 4.2. Hasat sonrası mısır bitkisi üst aksam makro besin elementleri % konsantrasyonları 44
Çizelge 4.3. Hasat sonrası mısır bitkisi üst aksamındaki makro besin elementleri içerikleri..... 45
Çizelge 4.4. Hasat sonrası mısır bitkisi kök makro element % konsantrasyonları..... 46
Çizelge 4.5. Hasat sonrası kök makro element içerikleri 47
Çizelge 4.6. Hasat sonrası dane makro element % konsantrasyonları 48
Çizelge 4.7. Hasat sonrası dane makro element içerikleri..... 49
Çizelge 4.8. Hasat sonrası üst aksam mikro element konsatrasyonları 50
Çizelge 4.9. Hasat sonrası üst aksam mikro element içerikleri 51
Çizelge 4.10. Hasat sonrası kök mikro element konsantrasyonları..... 53
Çizelge 4.11. Hasat sonrası kök mikro element içerikleri..... 54
Çizelge 4.12. Hasat sonrası dane mikro element konsantrasyonları 55
Çizelge 4.13. Hasat sonrası dane mikro element içerikleri 56
Çizelge 4.14. Hasat sonrası mısır bitkisinin farklı aksamlarındaki %N konsantrasyonu ve bitki N içerikleri 57
Çizelge 4.15. Hasat sonrası mısır bitkisinin farklı aksamlarındaki %C konsantrasyonu, bitki C içerikleri ve toplam CO_2 fiksasyonu 59
Çizelge 4.16. Hasat sonrası biyoçar ve mikoriza uygulamaların kök çapı, kök uzunluğu, kök yüzey alanı ve toplam hacim özellikleri üzerine etkileri..... 60
Çizelge 4.17. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde spor sayıları (spor sayısı 10 g kuru toprak)..... 62
Çizelge 4.18. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde pH içerikleri 63
Çizelge 4.19. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Tuz İçerikleri..... 64
Çizelge 4.20. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Fosfor İçerikleri..... 65
Çizelge 4.21. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde İnorganik Karbon İçeriği 66
Çizelge 4.22. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon İçeriği 67
Çizelge 4.23. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde organik karbon içeriği 68
Çizelge 4.24. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Organik Karbon Miktarları..... 69

Çizelge 4.25. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon Miktarları 70
Çizelge 4.26. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam N içerikleri 71
Çizelge 4.27. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Hesaplanan Toplam Azot Miktarları 72
Çizelge 4.28. Mısır bitkisinde farklı zamanlarda ölçülen CO_2 salınımları 74
Çizelge 4.29. Biyoçar dozları ve mikoriza aşılamasının mısır bitkisinin biokütle ve verimi üzerine etkileri 76
Çizelge 4.30. Hasat sonrası mısır bitkisi üst aksam makro element % konsantrasyonları 77
Çizelge 4.31. Hasat sonrası mısır bitkisi üst aksam makro element içerikleri 78
Çizelge 4.32. Hasat sonrası bitki kök makro besin element konsantrasyonları 79
Çizelge 4.33. Hasat sonrası kök makro element içerikleri 80
Çizelge 4.34. Hasat sonrası dane makro besin elementleri konsantrasyonları 81
Çizelge 4.35. Hasat sonrası dane makro element içeriği 82
Çizelge 4.36. Hasat sonrası üst aksam mikro element konsantrasyonları 83
Çizelge 4.37. Hasat Sonrası Üst Aksam Mikro Element İçerikleri 84
Çizelge 4.38. Hasat sonrası kök mikro element konsatrasyon 85
Çizelge 4.39. Hasat sonrası kök mikro element içerikleri 86
Çizelge 4.40. Hasat sonrası dane mikro element konsantrasyon 87
Çizelge 4.41. Hasat sonrası dane mikro element içerikleri 88
Çizelge 4.42. Hasat sonrası farklı bitki aksamları N oranları ve miktarları 90
Çizelge 4.43. Hasat sonrası farklı bitki aksamları karbon oranları ve fiksasyon miktarları 93
Çizelge 4.44. Hasat sonrası biyoçar ve mikoriza uygulamaların kök çapı kök uzunluğu yüzey alanı ve toplam hacim özellikleri üzerine etkileri. 94
Çizelge 4.45. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde spor sayıları (spor sayısı 10 g kuru toprak) 97
Çizelge 4.46. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde pH İçerikleri 98
Çizelge 4.47. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Tuz İçerikleri 99
Çizelge 4.48. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde fosfor içerikleri 100
Çizelge 4.49. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde İnorganik Karbon İçeriği 101
Çizelge 4.50. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam karbon oranları 102
Çizelge 4.51. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Organik Karbon İçeriği 103

Çizelge 4.52. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde organik karbon miktarları 104
Çizelge 4.53. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam karbon miktarları 105
Çizelge 4.54. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam % N içerikleri 106
Çizelge 4.55. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam N içerikleri..... 107
Çizelge 4.56. Mısır bitkisinde farklı zamanlarda ölçülen CO2 salınımı 110
Çizelge 4.57. Turunç bitkisi biyoçar dozlarının C mineralizasyonu..... 111

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Deneme alanının Google Earth görüntüsü (Kırmızı Kare içinde kalan alan) 31
Şekil 3.2. Deneme Deseninin Görüntüsü. 32
Şekil 3.3. Parsellere biyoçar uygulaması 33
Şekil 3.4. Mısır ekilen parseller 34
Şekil 3.5. Deneme alanına elle serpme gübre atılması. 34
Şekil 3.6. Hasat sonrası toprak örneklerinin alınması. 35
Şekil 3.7. Mısır bitkisinin hasat zamanı çekilen görüntüsü. 36
Şekil 3.8. Sera gazı emisyonun ölçüm anında çekilen görüntüler. 37
Şekil 4.1. Mısır bitkisine uygulanan biyoçar ve mikoriza uygulamalarının kök infeksiyon değerlerine etkisi. 61
Şekil 4.2. Zamana bağlı farklı biyoçar ve mikoriza uygulamasının atmosfere salınan CO_2 akışına etkisi 73
Şekil 4.3. Mısır bitkisine uygulanan biyoçar ve mikoriza uygulamalarının kök infeksiyon değerlerine etkisi. 96
Şekil 4. 4. Zamana bağlı farklı biyoçar ve mikoriza uygulamasının atmosfere salınan CO2 akışına etkisi 109
Şekil 4.5. Zamana bağlı farklı biyoçar doz uygulamasının C mineralizasyonuna etkisi. 111

SİMGELER VE KISALTMALAR

% : Yüzde
+M : Mikoriza aşılaması yapılan uygulama
°C : Santigrat derece
AMF :Arbüsküler Mikoriza Fungus
B0 : Biyoçar uygulama dozu sıfır
B1 : %1 Biyoçar dozu
B2 :%2 Biyoçar dozu
B3 :%4 Biyoçar dozu
C : Karbon
Cu : Bakır
Fe : Demir
g : Gram
K : Potasyum
kg : Kilogram
KM : Kuru Madde
M : Mikoriza
-M : Mikoriza aşılaması yapılmamış uygulama
mg : Miligram
mg/kg : Milyonda bir kısım (ppm)
N : Azot
P : Fosfor
pH : Alkalilik ve Asitlik Faktörü
TOK :Toplam Organik Karbon
Zn : Çinko
µ : Mikron

1. GİRİŞ

Günden güne artan dünya nüfusu 1930 yılında 2 milyar 2015 yılında 7.3 milyar (R Lal, 2015) iken günümüzde 8 milyar ve 2050 yılına kadar da 9.8 milyara ulaşması tahmin edilen nüfusu (Kopittke ve ark., 2019) beslemek için gerekli olan gıdayı küresel düzeyde karşılamak için yapılan üretim yöntemleri doğa ve topraklar üzerinde önemli baskı oluşturmaktadır. Günümüzdeki ihtiyaç duyulan gıda ihtiyacını karşılamak için mevcut üretimin %70 oranında daha fazla üretim yapılması gerektiği belirtilmektedir (Krishnan ve ark., 2020). İnsan nüfusunu gereksinim duyulan üretim için geçen yüzyılda 1950'li yıllardan sonra daha yoğun mekanizasyon ve kimyasal kullanıma dayalı birçok tarımsal uygulama yapmaktadır. Yapılan tarımsal uygulamaların ekoloji ve toprak biyolojik kapasitesinin üzerinde uygulamalar zaman içinde problemleri beraberinde getirmektedir. İnsanoğlu var olduğu günden itibaren, doğa ile iç içe yaşayarak her zaman doğadan beslenmiştir. Uzun yıllar süre gelen insan doğa dostluğu 'Tarım Devrimi' ile bozulmaya, 'Endüstri Devrimi'nin ardından insanın doğayla olan bağları zarar görmeye başlamıştır (Bayram, 2022). Geçmişten gelip günümüzde devam eden aşırı kimyasal gübreleme, salma sulama ve toprak işleme gibi geleneksel tarım uygulamaları toprak sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemekte ve ekosistemde tehdit etmektedir. Yoğun tarımsal girdiler ile toprak sağlığı önemli derecede zayıflamış ve verimsizleşmiş ve doğal olarak üretim kalitesinde düşüşleri ortaya çıkmıştır.

Geleneksel tarımsal girdi işlemleri ile toprak yapısının bozulmasına toprak organik maddesinin atmosfere okside olması ile sonuçlanmaktadır (Larionova ve ark., 2010). Bununla birlikte toprakların organik maddece verimsizleşmesi sonucu bitkilerin beslenmesi olumsuz yönde etkilenmektedir (Lal, 2010; Ortas ve Lal, 2014). Bütün bu işlemlerin sonucunda ekolojik denge bütünsel olarak bozulmaktadır. Tarım yapılan alanlardaki organik madde (OM) birikiminin son yüz yılda yarıdan fazlasının yanlış toprak-bitki yönetimi sonucu okside olarak atmosfere CO_2 olarak salındığı belirtilmektedir (Lal, 2004). Organik maddenin oksidasyonu ile karbondioksit emisyonunun atmosferde miktarı artmaktadır (Aslam ve ark., 2000; Chatskikh ve Olesen, 2007) .

Atmosferde artan CO_2 beraberinde birçok problemi getirmektedir. Bu problemlerin başında iklim değişimleri gelmektedir. Artan iklim değişimlerinin, toprak-bitki yönetimlerine bağlı olarak bozulan alanların restorasyonu ve sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği için toprak organik karbon içeriğini arttırılması ülkemiz toprakları için acil bir ihtiyaç oluşturmaktadır. İklim değişikliğini azaltmada küresel bir strateji olarak sera gazı emisyonlarını azaltmanın yanı sıra aynı zamanda atmosferik CO_2'in toprakta tutumunu

sağlamak gerekmektedir (Mao ve ark., 2021). Toprağın tarım ve gıda güvenliğindeki rolü, yüzey toprağının artan erozyon, tuzluluk, asitleşmesi ve sıkışması ile zayıflamaktadır.

Bu bağlamda yoğun kimyasal gübre kullanımını azaltmayı sağlayan ve toprakta uzun süreli karbon tutumunu sağlayarak bitki gelişimini ve ürün verimliliğini arttıran stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda toprak-bitki ekseninde toprakta karbon tutulmasını toprak kalitesinin sürdürülebilirliği sağlayan araştırmalar öncelik oluşturmaktadır. Bu ve benzeri konularda ülkemizde yeterli sayıda araştırma çalışmalarının olmadığı görülmektedir.

Sınırlı sayıda da olsa araştırmacılar bu olumsuz etkilerle mücadele edebilmek ve sürdürülebilir bir tarım sağlamak için çeşitli sera ve tarla çalışmaları yürütmektedirler. Bu çalışmaların başında organik atıkların ya da organik kaynaklı materyallerden yapılmış biyoçarı toprağa karıştırarak toprağın hem organik maddesini hem de toprakta organik karbonu içeriğini uzun sürede tutma çalışmaları gelmektedir (Xiao ve ark., 2016) .

Toprağa organik madde ilavesi kadar, ilave edilecek organik kaynağın bölgenin iklim koşulları altında toprakta uzun süre muhafaza edilmesi de ayrıca önemlidir. Toprağa ilave edilen karbon kaynağının uzun süre toprakta kalan ve yavaş ayrışarak atmosfere CO_2 olarak salınması günümüz tarım-toprak ve ekoloji bilimcilerinin üzerinde en çok çalışılan konulardır. Toprak organik karbonunu artırmak için organik bileşiklerin oksijensiz yakma ve bileşiklerin kömürleştirmesi (biyoçarlaştırma) ile toprakta uzun süre karbon tutulabilir. Topraktaki karbonu (C) uzun süre tutmak için uzun süre ayrışmaya dayanıklı biyoçarın uygulanması önemli bir tarım stratejisidir (El-Naggar ve ark., 2019; Hilscher ve ark., 2009; Lehmann, 2007c; Sohi ve ark., 2010). Biyoçar ve organik bileşik ilavesi aynı zamanda toprakta karbon bağlanmasına önemli katkıda da bulunmaktadır (Oldfield ve ark., 2018).

Biyoçar, biokütlenin pirolizi ile elde edilen zengin karbon içeriğine sahip yüksek sıcaklıkta oksijensiz koşullarda üretilen topraklarda uzun dönemli karbon tutumu sağlayan ve iklim değişikliğini azaltan (Lehmann ve Joseph, 2015; Woolf ve ark., 2010) toprakta ürün verimliliğini toprak kalitesini artıran ((Güereña ve ark., 2013; Lehmann ve Rillig, 2015; Ortaş, 2016) birer organik materyaldir. Daha detaylı bir anlatımla biyoçar; yüksek karbon, düşük oksijen ve hidrojen içeriği ile çevresel anlamda kalıcı materyal olarak karakterize edilen katı olmasının yanı sıra gazlar ve yoğuşabilen uçucu maddeler gibi geri kazanılabilir ısı ve yakıtlara dönüştürülebilen, piroliz işlemleri yoluyla oksijensiz koşullarda biokütlenin termokimyasal dönüşümü ile üretilir.

Bitkisel üretimde amaçlanan verim ve kaliteye ulaşmak için yapılacak en önemli şartlardan biri; bitkinin gereksinim duyduğu besin elementlerini gübre şeklinde toprağa

uygulamasıdır. Ne yazık ki, yoğun kimyasal gübre kullanımları zamanla topraklarda kirlilik oluşturmakta, mikrobiyal biotanın popülasyon varlığını azaltmakta ve toprakların sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Yoğun kimyasal gübrelere alternatif yetiştirme ortamları ve bitkilerin beslenme sorunu gideren organik bileşikler ve/ya karbon içeriği yüksek kompost, biyoçar gibi ortamların kullanımı gittikçe önem kazanmaktadır. Biyoçar, yüksek spesifik yüzey alanı, negatif yüzey yükü ve bozulmaya karşı dirençli olan yapısı nedeni ile toprağın kimyasal, biyolojik ve fiziksel özelliklerini olumlu etkileyen ve ürün verimliliğini arttırabilecek bir katkı maddesi olduğu çalışmalarda gözlemlenmiştir (Zhang ve ark., 2017). Biyoçar aromatik bileşikler bakımından zengin biyolojik bozulmaya karşı oldukça dirençlidir (Baldock ve Smernik, 2002; Knicker ve ark., 2013). Bu nedenle biyoçar binlerce yıl toprakta karbon kaynağı olarak kalabilen (Fang ve ark., 2014; Kuzyakov ve ark., 2009; Singh ve ark., 2012) toprakta toplam karbon miktarında artış sağlayan bir toprak düzenleyici konumundadır (Dong ve ark., 2016; Lehmann ve ark., 2006; Liu ve ark., 2014). Toprak organik karbonunun en önemli kaynağı organik madde ilavesi ve/ya toprak yönetimi yolu ile toprağa karbon bağlamaktır.

Biyoçar için seçilecek organik materyal son derece önem arz etmektedir. Topraklara direk uygulanmayan ve uygulanması zor olan materyaller içinde kimyasal ve biyolojik olarak toksik özellik içermeyen materyal seçimi önemli. Çukurova bölgesinin hâkim bitkisi olarak Türkiye'deki üretimin %72 si kadarının üretildiği narenciye tarımının budama atıkları biyoçar üretimi için stratejik bir materyal konumundadır. Narenciye budaması sonucu ortaya çıkan artıkların sağlıklı bir şekilde toprağa uygulanması için biyoçarlaştırılarak yetiştirme ortamı olarak kullanılması ile toprak karbon içeriğinin arması, toprak yapısının iyileştirilmesi ve bitki gelişiminin sağlanması araştırmaya değer niteliktedir.

Sürdürülebilir bir yaşam ve tarım için toprakta karbon tutmak ve atmosfere salınımını azaltmak için birçok mekanizma uygulamaya alınmaktadır. Biyoçar ve benzeri materyalle dışında doğada var olan ve bitki kökleri ile simbiyosis ilişki kurabilen yaralı mikrobiyolojik canlılardan faydalanmakta gelmektedir. Bu organizmaların başında bitki köklerini %90'ını enfekte eden en yağın simbiyosis organizma olan mikoriza fungusları gelmektedir (Marschner, 2011; Smith ve Read, 1997).

Mikoriza; fungus (myco) - kök (rhiza) kelimelerinin birleştirilmesi sonucu 1880'lerin başında bir Alman fitopatolog olan A.B. Frank tarafından keşfedilmiştir. Mikoriza toprakta var olan sporları ve hifleri aracılığı ile ekosistemdeki bitkilerin %90'ini kapsayan yaklaşık 240,000 bitki türünün kökleri ile ilişki kurup simbiyotik yaşam ve mutualistik (karşılıklı yarar) bir yaşam şekli oluşturmaktadır (Allen, 1991; Smith ve Read, 2008). Bazı bitkiler

“olmazsa olmaz” (obligat) (Bağımlı) sınıfına girip yaşamları tamamen mikorizanın ortamda oluşuna bağlıdır (Ortas ve Lal, 2012). Mikoriza mantarı çok miktarda hif üreterek bitki kök yüzey alanını artırmakta ve kökten çok uzak bölgelerdeki besin elementlerini alarak bitkinin üst organlarına taşınmasına yardımcı olmaktadır (Rouphael ve ark., 2015). Bir cm kolonize olmuş kök başına mikorizanın toplam 100 cm’ye kadar hif oluşturduğu düşünülürse (Ortas, 1997) mikorizanın bitkinin besin maddeleri ve su alımına olan katkılarının çok önemli olduğu kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Bu işbirliği bitkinin mikorizal fungusa karbon, mikorizal fungusun da bitkiye besin elementlerinden özellikle fosfor, potasyum, azot, demir, çinko, bakır ve molibden alımını sağlaması ile gerçekleşmektedir (Ortaş ve ark., 1998). Bitkinin atmosferdeki karbonu bağlaması ve bitkinin tuttuğu karbonun bir kısmını toprak kökenli mikoriza mantarları ile paylaşarak bitkinin gelişimini arttırmasının yanı sıra toprak kalitesini de arttırdığı belirlenmiştir (Rafique ve ark., 2019b).

İnsan toprak ve çevre konuları üzerine çalışırken uygulanacak materyallerin uygulanması kadar seçilecek bitki deseni de önemlidir. İnsan beslenmesinde en çok tercih edilen bitkiler tahıllardır, tahıllardan ise buğday ve mısır son derece insan beslenmesinde majör rol üstlenmektedirler (Ortaş, 2023). Dünyada ve ülkemizde en çok üretilen bitkisel ürünlerden biri olan mısır yetiştiriciliğinde yüksek verim için biyoçar ve +M aşılaması yapılabilir olduğu görülmektedir. Dünyada tahıllar içinde en fazla üretilen (785 milyon ton mısırın birim alan verimi arpa ve buğdayın iki katıdır. Türkiye’de yetiştirilen mısırın yıllık ortalaması 550 bin hektarlık alanda 3,5 milyon tondur (FAOSTAT, 2023). Bu üretimin de yaklaşık yarısı Akdeniz Bölgesinde yapılmaktadır (Özcan, 2009).

Bu bağlamda son yıllarda Çukurova bölgesinin mısır ekimi yaygınlaşmış olmasından dolayı mısır bitkisinin yetiştirilmesinde gereksinim duyulan kimyasal gübre girdisi de doğal olarak artacaktır. Bu bağlamda toprak-bitki yönetim stratejisi geliştirilmesi ile toprak verimliğinin ve kalitesinin artırılması yanında bitkisel gıda üretimini güvence altına almak için biyoçar ve mikorizanın bitkisel verimlilik üzerindeki etkisi; çevresel ve ekolojik yönden irdelenmesi önem arz etmektedir. Toprağa karbon bağlama kapasitesi sürdürülebilir tarım stratejilerinin geliştirilmesi bakımından önemlidir.

Bu tez çalışmasının konusu narenciye bitki atıklarından elde edilen biyoçar ve mikoriza aşılamasını toprağa uygun yöntemlerle uygulayarak toprak organik karbon içeriğini artırarak mısır bitkisinin besin elementi alımı, gelişimi ile birlikte fotosentez yolu ile atmosferdeki CO_2’in yakalayarak bitki kökleri üzerinden toprağa aktarmasını belirlemektir. Biokütlenin çevreye zarar vermeden, toprakta oldukça uzun süre kalabileceği çevreye dost ürünlere dönüştürülmesi ile tanımlanabilecek biyoçarın mikoriza ile birlikte

uygulanması çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır. Artan iklim değişimlerinin, toprak-bitki yönetimlerine bağlı olarak bozulan alanların restorasyonu, sürdürülebilir tarım ve gıda güvenliği için toprak organik karbon içeriğini arttırılması ülkemiz toprakları için acil bir ihtiyaç oluşturmaktadır. Bu bağlamda toprak organik karbonun en önemli kaynağı organik madde ilavesi ve/ya toprak yönetimi yolu ile toprağa karbon bağlamak amaçlanmıştır. Toprağa organik madde ilavesi kadar, ilave edilecek organik kaynağın bölgemiz iklim koşulları altında toprakta uzun süre muhafaza edilmesi çok daha önemlidir. Toprağa ilave edilen karbon kaynağının kısa sürede ayrılarak atmosfere CO_2 olarak salınması günümüz tarım- toprak ve ekoloji bilimcilerinin üzerinde çalıştığı ve en çok çalışılan konulardan biridir. Toprak organik karbonunu artırmak için organik bileşiklerin oksijensiz yakma ile bileşiklerin kömürleştirilmesi (biyoçarlaştırma) ile toprakta uzun süre karbon tutulabilir. Topraktaki karbonu (C) uzun süre tutmak için uzun süre ayrışmaya dayanıklı biyoçarın uygulanması önemli bir tarım stratejisi olacaktır (El-Naggar ve ark., 2018; Singh ve Cowie, 2014; Sohi ve ark., 2010). Biyoçar ve organik bileşik ilavesi aynı zamanda toprakta karbon bağlanmasına önemli katkıda da bulunmaktadır (Oldfield ve ark., 2018).

Çalışmanın kapsamı ise uzun süreli olarak tarla koşulları altında fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş olan 4 farklı doz narenciye budama malzemesinden yapılan biyoçar uygulaması ortamda ekilecek olan mısır bitkisinin mikorizalı ve mikorizasız olarak yetiştirilmesini içermektedir. Biyoçar uygulanmış tarla toprağında iki dönem mısır bitkisi yetiştiriciliğinin verim ve topal karbon tutulması üzerine etkisi incelemektir. Çalışmanın amaçları ve bu amaçlara ulaşmayı sağlayacak hedefler maddeler halinde sıralanmıştır.

1-Turunç atığından elde edilen biyoçar materyalinin mısır bitkisinin verim ve besin elementi alımına etkisinin belirlenmesi tezin amaçları arasında yer almaktadır. Bu kapsamda toprağa uygulanan 4 farklı doz biyoçar uygulaması koşulları altında mikoriza ile aşılanmış ve aşılanmamış olarak mısır bitkisinin gelişimi verim üzerine etkisinin arazi koşullarında belirlenmesi amaçlanmıştır.

2-Bitkinin atmosferdeki karbonu bağlaması ve bitkinin tuttuğu karbonun bir kısmını toprak kökenli mikoriza mantarları ile paylaşarak bitkinin gelişimini arttırdığı ve toprak kalitesinin arttırdığı belirlenmiştir (Ortaş ve ark., 2017) olup mikoriza funguslarının tarla koşullarında karbon tutulması üzerine etkilerini belirlemek.

3- Biyoçar ve mikorizanın bitkisel verimlilik üzerindeki etkisi çevresel ve ekolojik yönden toprak-bitki yönetim stratejisi geliştirme bakımından önem arz etmektedir. Toprağa karbon bağlama kapasitesi sürdürülebilir tarım stratejilerinin geliştirilmesi bakımından

entegre organik ve mikrobiyal girdi kullanımın etkisinin belirlenmesi geleceğe yönelik tarımsal girdi kullanımına ve iklim değişimleri ile mücadelede önemli ver sağlamış olacaktır.

Araştırma sorusu ve kapsamı çerçevesinde projenin amacı;

Çalışmanın birincil amacı; Tarla koşularında biyoçar doz uygulamaları ve mikoriza aşılamasının mısır bitkisinin gelişimi beslenmesi verim ve kalite unsurlarına olan etkilerini yanında bitki ve toprağa karbon bağlama etkilerini belirlemektir.

Çalışmanın ikincil amacı; tarla koşullarında zamana bağlı olarak biyoçarın ayrışma hızını belirlemek laboratuvar inkübasyon denemeleri ile toprak solunumu ile toprakta karbondioksit çıkışı üzerinden karbon bütçesini belirlemek.

Çalışma hipotezi: Çalışmada biyoçar ve mikoriza uygulamaları ile bitki gelişimi için daha iyi bir ortam oluşturulacak bununla birlikte toprak verimliliği ve bitkisel üretim artacağı beklenmektedir. Artan biyoçar doz uygulaması mısır bitkisine daha fazla besin element yarayışlılığı sağlayacağından bitkisel üretimde yüksek verim elde edilebilir olacaktır.

Bir diğer alt hipotez ise: biyoçar ve mikoriza uygulamaları birlikte tarla koşullarında toprakta karbon tutumunu arttıracaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Biyoçar Tanımı ve Özellikleri

Biyoçar toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerine etki eden, toprakta karbon tutumu için toprağa ilave edilen organik materyallerin pirolizi yolu ile üretilen karbonca zengin bir materyaldir (Lehmann, 2007a; Novak ve ark., 2009). Odun, dal, yaprak, bambu, kamış, saman, ağaç kabuğu, kozalak, bitki sapı, gibi çok çeşitli tarımsal hasat artıkları, ürün işleme atıkları, hayvan gübresi gibi çok az veya oksijenin hiç olmadığı kapalı bir ortamda ısıtılması ile edilen materyallerdir.

Biyoçar tanımında kullanılan piroliz terimi, oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıkta organik maddenin termo-kimyasal bozunması işlemine verilen isimdir. Ortamda oksijenin bulunmaması biyoçar materyalinin yanıp küle dönmesini engellemektedir. Piroliz işlemi sırasında ortam sıcaklığı 200 °C'ye çıktığında biyoçar materyalinde hafif uçucular ve nemin buharlaşması gerçekleşmektedir (Tomczyk ve ark., 2020). Nemin buharlaşması ile kimyasal bağlar kırılmakta ve hidroperoksit (–COOH ve –CO) gruplarının oluşmasına neden olmaktadır (Mendez ve ark., 2017). Sıcaklık 200 °C'den 500 °C'ye yükseldiğinde hemiselülozların ve selülozun ayrışması ile yüksek oranda uçucu maddeler uzaklaşmaktadır (Ding ve ark., 2014). Sıcaklık 500 °C'nin üzerine çıktığında, lignin ve diğer organik maddelerin daha güçlü kimyasal bağlarla parçalanması gerçekleşmektedir (Cárdenas-Aguiar ve ark., 2017; Mendez ve ark., 2017). Piroliz esnasında hammadde var olan karbonun çoğu korunur ve CO_2 olarak uzaklaşamaz.

Piroliz sıcaklığı genellikle 200-900 °C sıcaklık aralığında biokütlenin termal ayrışmasından elde edilmektedir. Çalışma koşullarına bağlı olarak piroliz işlemi (örneğin ısıtma hızı, sıcaklık aralığı, gaz ortam) yavaş, hafif (torrefaction) veya hızlı piroliz olarak sınıflandırılabilir. Yaklaşık 400ºC sıcaklıkta, katı materyalin piroliz ünitesinde kalış süresinin yüksek olduğu işleme yavaş piroliz denmektedir. Bu işlemde ürünün karbon içeriği çok yüksek olduğu için yavaş piroliz karbonizasyon olarak da tanımlanabilir. Yavaş piroliz sırasında piroliz olan materyalden %30 sıvı, %35 biyoçar ve %35 singaz üretilmektedir. Materyalin 1 saat süre içerisinde yaklaşık 500 ºC sıcaklıkta tutulması ile gerçekleşen işleme hızlı piroliz denmektedir. Hızlı Piroliz ile biyokütleden %75 sıvı, %12 biyoçar ve %13 singaz üretildiği bildirilmektedir. 500ºC sıcaklıkta 10 ile 20 saat sürede gerçekleştirilen işleme hızlı piroliz denmektedir ve işlem sırasında %50 sıvı, %20 biyoçar ve %30 singaz ortaya çıkmaktadır. Yüksek sıcaklıkta (~800 ºC) uzun sürede ise gazlaştırma işlemi tamamlanır ve %5 sıvı, %10 biyoçar ve %85 singaz üretimi gerçekleştirilmektedir (Verheijen ve ark., 2010). Biyoçar, genellikle oksijensiz veya az oksijen koşulları altında organik atıkların pirolizi ile üretilen karbon bazlı bir katıdır. Ayrıca piroliz yöntemi ile katı haldeki biyoçara ek olarak sıvı ve gaz halindeki ürünlerde elde edilmektedir (Thengane ve Bandyopadhyay, 2020).

Piroliz sıcaklığı, biyoçarın yapısındaki ve fizikokimyasal özelliklerindeki (örn. yüzey alanı, pH ve fonksiyonel gruplar) değişikliklerle büyük ölçüde ilişkilidir (Jindo ve ark., 2014). Daha yüksek piroliz sıcaklığı, yüzey alanının, karbonize fraksiyonların, pH'nın ve uçucu maddenin artmasına ve

CEC'nin ve yüzey fonksiyonel gruplarının içeriğinin azalmasına neden olabilmektedir (Tomczyk ve ark., 2020).

Biyoçarın topraktaki potansiyel faydaları içerisinde; artan toprak karbon (C) depolaması, pek çok toprak karakteristiklerini iyileştirme (örneğin toprak strüktürünü iyileştirme, hacim ağırlığı azaltma su ve besin tutma kapasitesini artırma), sera gazı emisyonunu azaltma fazla miktardaki besin elementleri, organik kirleticiler ve eser metaller gibi kirleticilerin immobilizasyonu sağlamaktadır (Ahmad ve ark., 2014; Beesley ve ark., 2011; Peake ve ark., 2014).Biyoçarlardaki çözünmüş organik karbon da araştırmalarda ilgi uyandırmakta (H. Fu ve ark., 2016; Jamieson ve ark., 2014) ve tarımsal ekosistemlerde bitki büyümesi (Korai ve ark., 2018; Wu ve ark., 2018), mikrobiyal aktivite (Smith, 2016) ve toprakta kirletici etkenlerin taşınması (Wang ve ark., 2017) açısından biyoçarın topraktaki kalıcılığı (Agegnehu ve ark., 2015; B. Fu ve ark., 2016) önemli rol oynamaktadır.

Biyoçarın toprak kalitesinin iyileştirilmesi, C tutulması ve ürün veriminin arttırılması üzerindeki yararlı rolü yaygın olarak rapor edilmektedir (Purakayastha ve ark., 2019). Biyoçar uygulamaları toprakta C-tutma için etkilidir, çünkü fotosentez atmosferden CO_2'yi fikse ederek biyokütleye aktarır ve piroliz, biyolojik olarak labil biyokütle karbonun bir kısmını toprakta yüzlerce hatta binlerce yıl kalabilen biyoçar karbonuna dönüştürür (Haberstroh ve ark., 2006; Masiello ve ark., 2002). Biyoçar toprağın özelliklerinde iyileşmeye katkı sağlamasının yanında gübrenin tek başına etkili olmadığı durumlarda ürün verimini artırmak için biyoçar önemli fırsatlar sunmaktadır. Bitki gelişiminde biyoçarın pek çok etkisi sebebiyle büyük önem taşımaktadır: Artan fotosentez ile atmosferden gelen CO_2'i uzaklaştırmak (bitkilerle, biyoçarla veya diğer ürünler toprakta tutumunu sağlayarak); daha yüksek ürün verimi ile teknolojinin benimsenmesi için bir teşvik sağlayabilmekte; biyoçar uygulaması ile verim açısından az kullanılan arazileri etkinleştirebilir ve ayrıca tarımsal açıdan iklim değişikliğini azaltma stratejilerine katkı sunmaktadır (Lehmann ve ark., 2021).

2.2. Tarımsal Atıkların İdaresi, Biyoçar Üretimi ve Kullanım Alanları

Dünya nüfusundaki yüksek artış, son beş yılda tarımsal faaliyetlerin üç kattan fazla artmasına neden olmuştur (Adejumo ve Adebiyi, 2020). Dünya çapında artan gıda talebini karşılamak için teknolojik gelişmeler ve tarım topraklarının genişletilmesi ile kaçınılmaz olarak tarımsal faaliyetlerin sürekli büyümesine neden olacaktır. Dünya çapındaki tarımsal faaliyetler önemli miktarlarda sera gazı üretmektedir (Smith ve ark., 2008). Tarıma genellikle çevre ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkiler eşlik etmektedir. Bu nedenle, tarımsal atık maddelerin sürdürülebilir yönetimi de dahil olmak üzere, tarım sektörünün sürdürülebilirliğini sağlamak için yeni uygulamalar gerekmektedir.

Biyoçar, son zamanlarda toprak verimliliği artırmak, bitki büyümesini teşvik etmek ve tarımsal üretkenliği artırmak için tarımda etkili bir şekilde yer alabilen organik bir malzeme olarak ifade edilmektedir (Akhtar ve ark., 2015; Calvo ve ark., 2014). Tarımdan elde edilen biyokütlenin geri kazanımı, gelişmekte olan ülkelere kıyasla gelişmiş ülkelerde daha verimlidir. Her yıl üretilen büyük hacimli tarımsal atıkların biyoçara dönüştürülmesi, böylece biyoçarın tarımsal

potansiyelinden yararlanmak önemli bir alternatif olarak görülmektedir (Kaetzl ve ark., 2020; Kaetzl ve ark., 2019).

Ülkemizin yıllık biyokütle potansiyeli yaklaşık 109.4 milyon ton olarak bildirilmektedir. Türkiye ormanlarında yıllık olarak atık odunsu biyokütlenin (yonga, talaş, kabuk, dal, yaprak ve benzeri) 5-7 milyon ton miktarında olduğu tahmin edilmektedir. Sap (ayçiçeği, mısır, pamuk, domates, kolza vb.), kabuk-kılıf (kahve, soya, pirinç, yer fıstığı, fındık, ceviz vb.), sap-saman (buğday, arpa, çavdar, yulaf vb.) ve meyve çekirdeklerinden oluşan tarımsal atıklar, hayvansal atıklar (küçükbaş, büyükbaş, kanatlı gübreleri vb.) endüstriyel atıklar (prina vb.), ülkemiz için diğer önemli biyokütle kaynaklarıdır (50-65 milyon ton). Artan tarımsal üretimle beraber, hasat atıklarının da miktarı her geçen gün artmaktadır. Ülkemizde sera yetiştiriciliğin en yoğun yapıldığı Antalya ve çevresinde sadece domates seralarından her yıl kuru madde olarak 111.480.99 ton, patlıcan seralarından 15.870.39 ton biyokütle atığının çıktığı bildirilmektedir (Kürklü ve ark., 2004). Tarımsal atıkların bir kısmı üreticiler tarafından arazide yakılmakta, tarla kenarlarında veya drenaj kanallarının çevresinde depolanarak çürütülmekte, yakacak olarak kullanılmakta veya küçük parçalara ayrılarak toprağa katılmaktadır. Toprak için önemli bir organik madde kaynağı olan bitkisel atıkların bu şekilde bertaraf edilmeleri çok hızlı bir şekilde ayrışıp kaybolmalarına ve aynı zamanda su ve havanın da önemli düzeyde kirletilmesine yol açmaktadırlar.

Son yıllarda dünyada organik atıkların geri kazanımına verilen önem hızla artmış ve biyokütlenin dönüşümüne yönelik çok sayıda teknik geliştirilmiştir. Piroliz, kabul gören ve kullanım alanı bulan önemli biyokütle termokimyasal dönüşüm tekniklerinden birisi olarak, araştırıcılar tarafından ilgi görmekte ve çeşitli yönleriyle farklı amaçlar için araştırılmaktadır (Sümer ve ark., 2016). Biyoçar karbonca zengin bir materyal olup, toprak verimliliğinin ve toprakların organik madde içeriğinin iyileştirilmesi, ağır metallerin su ve topraktan uzaklaştırılması amaçlarına hizmet eden bir materyal olma özelliğini taşımaktadır (Iliffe, 2009; Winsley, 2007). Biyoçar kelimesini "odun kömüründen ayıran en önemli özellik, odun kömürünün sadece yakıt olarak değerlendirilirken biyoçarın ise atmosferik karbonu toprağa bağlayan, gaz emisyonlarını azaltan ve toprakları düzenleyen bir materyal olarak değerlendirilmesidir (Chan ve Xu, 2009; Downie ve ark., 2012). Organik atıkların piroliz edilmesi işlemi, üretilen yanıcı gaz ve biyo-yakıttan dolayı hem enerji üretimine hem de toprağa karbon ve besin elementlerinin geri dönüşümüne sağlayacak alternatif bir uygulamadır (Laird, 2008).

Biyoçarın pek çok alanda kullanımı bilinmektedir. Biyoçar uygulamaları; çevre amenajmanı, toprağın iyileştirilmesi (üretimin arttırılması ve aynı zamanda kirliliğin azaltılması için), atık amenajmanı, iklim değişimi ile mücadele ve enerji üretimi şeklinde dört hedefe yönelik olarak yapılmaktadır. Biyoçar, hem toprakta C depolanmasına katkı verdiği hem de azot oksit gazlarının salınımını azalttığından dolayı çevre için önemli bir katkı maddesidir. Toprağa ilave edilen biyoçarın, besin elementlerinin ve ağır metallerin yıkanma oranlarını azalttığına dair çalışmalar bulunmaktadır (Singh ve ark., 2010).Toprak iyileştiricisi ve organik gübre olarak kullanılması, hayvan yemi ajanı,

silaj ek maddesi olarak da kullanılabilmektedir. Gazların tutulumu özellikle hidrojen sülfür (H_2S) gibi gazları tutma yeteneğinin olduğu araştırmalarda gösterilmiştir (Xu ve ark., 2014). Biyoçar H_2S dışında zehirli Hg, NH_3 ve CO_2 gibi sera gazlarının uzaklaştırılmasında da etkili ve yeni bir gaz uzaklaştırıcı materyaldir (Nguyen ve Lee, 2016; Niu ve ark., 2017; Yang ve ark., 2016). Biyokütle enerji kaynağı biyoçara dönüştürülerek toprak ıslahı, enerji depolama, çevreyi kirleten organik ve inorganik kirleticilerin giderilmesi gibi pek çok alanda çok yönlü ve avantajlı bir materyal olarak kullanılabilmektedir.

2.3. Biyoçarın Toprağa Uygulanması, Bitki Gelişimine ve Verimliliğe Etkileri

Dünya çapında "geleneksel tarımın" çevreye zarar verme potansiyeli olan çok sayıda uygulamayı içerdiği düşünülmektedir. Çevreye verilen zararı en aza indirirken karlı bir şekilde çiftçilik yapmakla karakterize edilen sürdürülebilir tarımın uygulamaları büyük önem arz etmektedir. "Sürdürülebilir tarım", arazi kullanımının yoğunlaştırılmasının bazı olumsuz etkilerini azaltabilecek bir dizi koruyucu tarım uygulaması bulmaya çalışır. Çok çeşitli koruyucu tarım uygulamaları arasında, biyoçar, uzun vadede toprakta büyük miktarda karbonu verimli bir şekilde tutabildiğinden, böylece toprak verimliliğini, ürün verimliliğini iyileştirebildiğinden ve atmosfer küresel ısınma etkileri azaltabildiğinden, sürdürülebilir tarım için önemli ve erişilebilir bir girdi olduğunu kanıtlayabilir (Semida ve ark., 2019). Ek olarak, biyoçar, farklı biyotik ve abiyotik stresler altındaki toprakların ürün verim kapasitesini artırabilir ve küresel gıda güvenliğine önemli katkılar sunabilir (Akhtar ve ark., 2015; Akhtar ve ark., 2014).

Bununla birlikte, biyoçarın tarımda kullanılması fikri Amazon Havzasında bulunan, 500 ila 2500 yıl önce eklenen kömürün besin tutma kapasitesine atfedildiği antropik topraklarda yüksek verimliliğe ve organik karbon içeriğine sahip olan "Terra preta" toprakları üzerinde yapılan çalışmalara dayanmaktadır (Sombroek ve ark., 2003). Terra preta topraklar, önemli ölçüde daha büyük katyon değişim kapasiteleri göstermekte (Gaskin ve ark., 2008) ve daha büyük toprak organik madde stoklarına sahipken (Glaser ve ark., 2001), ek olarak toprakta karbon tutulması sağlamaktadır.

Biyoçarın kimyasal bileşimi ve besin içeriği, esas olarak üretildiği hammaddeye ve üretim sıcaklığına bağlıdır (Qin ve ark., 2012). Ham biyokütlenin nem içeriği de sonuçta ortaya çıkan biyoçar materyalinin bileşimini etkiler (Galinato ve ark., 2011). Piroliz sıcaklığı ile biyoçarın N içeriği arasında doğrudan bir ilişki yoktur; N içeriği temel olarak biyokütle hammaddesindeki N yüzdesine bağlıdır (Usman ve ark., 2016). Bununla birlikte, aynı hammadde için, piroliz sıcaklığı 300 ila 600°C arasında yükseldikçe, biyoçarlar N içeriğinde azalma eğilimi göstermiştir (Granatstein ve ark., 2009; Song ve Guo, 2012) .(Joseph ve ark., 2009) piroliz sıcaklığının artmasıyla önemli miktarda N kaybı gözlemlemişlerdir (Song ve Guo, 2012). Diğer iki temel besin maddesi olan P ve K, biyoçarın hammaddesindeki besin elementlerinin çoğunu tutarak sıcaklıkla zıt bir davranış eğilimi göstermiştir.

(Granatstein ve ark., 2009) çalışmalarında otsu hammaddeden yapılan biyoçarlar (örneğin, darı [*Panicum virgatum* L.], sindirici lif ve yer fıstığı kabukları) tipik olarak odunsu hammaddeden yapılan biyoçarlara göre daha düşük C içeriğine ve daha yüksek azot içeriğine ve yüksek pH ya sahip olduklarını saptamışlardır.

H/C, O/C ve C/N'un elementel oranları biyoçarın strüktürel stabilitesinin ana göstergeleridir. Piroliz sıcaklığının arttırılması genel olarak H/C ve O/C oranlarını düşürmektedir, böylece biyoçarın yapısını kimyasal ve biyolojik olarak daha kararlı bir düzene dönüştürmektedir (Ahmad ve ark., 2014; Mohan ve ark., 2014). C/N oranı ise artan piroliz sıcaklığı ile yükselir ve biyoçar yapısı daha stabil hale dönüşmektedir (Baldock ve Smernik, 2002).

Bozulmuş toprakların ıslahı için biyoçarın kullanımına ilişkin araştırmalar artmaktadır. Biyoçar yüksek iç yüzey alanı, negatif yük ve bozunmaya karşı direnç özellikleri ile kirlenmiş toprakların ıslahı için önemli karakteristiklere sahiptir. Genel olarak, organik materyalin pirolize edildiği sıcaklık ne kadar yüksek olursa, elde edilen biyoçarın yüzey alanı da o kadar yüksek olur (Gomez-Eyles ve ark., 2013). Biyoçar yüzeyinde pozitif yüklü metalleri ve organik bileşikleri toprak çözeltisinden iç biyoçar yüzeyine çeken önemli negatif yükler vardır (Mukherjee ve ark., 2011). Bunu yaparken, toprak çözeltisindeki metallerin ve organik kirleticilerin konsantrasyonu mevcut organizmalar tarafından alınımı(yani biyoyararlanımları) (Semple ve ark., 2004) veya organizmalar tarafından mevcut alınabilme potansiyelleri (biyo-erişilebilirlikleri) (Gomez-Eyles ve ark., 2011; Houben ve ark., 2013) azaltılabilir (Beesley ve ark., 2010).

Biyoçar, toprakta tahmini C yarılanma ömrü 102 ila 107 yıl arasında değişmektedir (Zimmerman, 2010). Bu nedenle, biyoçar toprak iyileştirme projelerinde inert bir malzeme olarak çalışılmaktadır. Toprakta uzun süre çözünmeden kalabilmesinin bir avantajı, toprak kirleticilerini uzun süre tutma potansiyelidir.

Karbon açısından zengin bir malzeme olan biyoçar, saman, odunsu malzeme, çiftlik hayvanı gübresi ve diğer organik atıklar (örn. lağım çamuru, belediye biyokatıları) dahil olmak üzere çeşitli biyokütle malzemelerinden üretilebilir (Luo ve ark., 2016). Biyoçar toprak düzenleyici olarak toprak koşullarını (yüzey alanı ve zengin gözenek yapısı, bol oksijen içeren fonksiyonel gruplar ve yüksek katyon değişim kapasitesi) (Purakayastha ve ark., 2019) iyileştirerek (Jiang ve ark., 2020; Tan ve ark., 2017) bitki gelişimi için uygun ortam oluşumuna katkı sağlayabilir. Bununla birlikte, toprakta biyoçar uygulamalarının bitki verimliliğine olan etkisi biyoçar özelliklerinin, toprak koşullarının, deneme tasarımlarının ve çevresel koşulların yüksek heterojenliği nedeniyle değişiklik gösterebildiği önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Hussain ve ark., 2017). Örneğin, (Hussain ve ark., 2017) tarafından özetlendiği gibi, biyoçarın bitki verimliliğine etkisi topraklar arasında -%35,8 ile +%194 arasında değişebilmektedir. Önceki meta-analiz çalışmalarında (Jeffery ve ark., 2017; Liu ve ark., 2013) önemli ölçüde bitki üretkenliği tutarlı bir şekilde artmasına rağmen biyoçar tarafından iyileştirilen bitki üretkenliği büyük ölçüde biyoçar özellikleri ve toprak koşullarına bağlı olduğu rapor edilmiştir.

Biyoçarın toprağa uygulanması bitki gelişimini artırmaktadır, fakat biyoçarın uygulama dozu ve nasıl uygulandığı biyoçarın etkisini etkilemektedir. (Rondon ve ark., 2005) yaptıkları çalışmada farklı uygulama oranlarında farklı biyoçarlar kullanarak bitki verimliliğindeki önemli artışları (%20-220 oranında) belgelediler.

Meta analizler, biyoçar uygulamalarının bitki verimliliğini ~%10 hatta ~%25 artırabileceğini göstermektedir (Biederman ve Harpole, 2013). Biyoçar uygulaması ile bitki büyümesi ve ürün verimindeki artışlar biyoçarın toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine olumlu etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte biyoçar uygulamaları daima yararlı olmayabilir. Topraklarda biyoçar uygulamalarının bitki verimliliğine etkisinde (ürün verimi ve biyokütle) -%28-%39 negatif etki olabileceği de rapor edilmiştir. (Yamato ve ark., 2006) yaptıkları çalışmada biyoçar uygulamaları toprak pH'ındaki, CEC'deki ve besin element miktarı artışından dolayı, gübreleme koşulları altında mısır, börülce ve yer fıstığı verimini artırmıştır. (Uzoma ve ark., 2011) biyoçarın sırasıyla 15 ve 20 t/ha uygulanmasında mısır tane veriminde %150 ve %98 artış gözlemlenmiş, hem de biyoçar uygulamaları toprak fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileşmesine katkıda bulunmuştur.

Tian ve ark. (2018) 0-100 cm toprak profilinde 0, 5, 10 ve 20 t ha^{-1}'de farklı oranlarda ardışık biyoçar uygulamalarının pamuk verimi ve toprak besin dağılımı üzerindeki etkilerini araştırmak için üç yıllık bir saha çalışmasında, pamuk lif verimini 2013, 2014 ve 2015 yıllarında sırasıyla %8,0–15,8, %9,3–13,9 ve %9,2–21,9 artırdı ve yüksek düzeyde biyoçar uygulaması her yıl yüksek pamuk verimi sağladı. 2014 ve 2015 yıllarında toprak nitrat sızıntısı azalırken, 0–20 cm toprak tabakasının pH değerleri, toprak organik karbonu, toplam nitrojen (N) ve kullanılabilir K içeriği artırıldı. Bu çalışma, ardışık biyoçar uygulamalarının nitrat sızıntısını azaltırken pamuk üretkenliğini ve toprak verimliliğini artırma potansiyeline sahip olduğunu saptanmıştır.

2.4. Biyoçarın Karbon Döngüsü, Zenginleşmesi ve CO_2 Salınımına Etkileri

Ekonominin gelişmesi ve insan faaliyetlerinin artmasıyla birlikte, yoğun fosil yakıtlar tüketilmekte ve atmosferdeki karbondioksit (CO_2) konsantrasyonu yıldan yıla artmaktadır. ABD, Hawaii'deki Mauna Loa Gözlemevi'ne (MLO) göre, atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu 2021 Şubat ayında ve Mart başında 417 ppm'i aşmış ve bu oran 1750-1800 yıllarındaki 278 ppm ortalamasından yaklaşık %50 daha yüksektir. (Atmosferik 2020). CO2, sera gazı emisyonlarına en çok sebep olan ve iklim değişikliğinin başlıca sebebi olarak kabul edilmektedir (Yu ve ark., 2008). Toprak ve ürün yönetimi, tarım yapılan topraklarda organik karbon tutulmasını düzenlemenin başlıca etkenleridir. Uzun vadeli CO_2 tutulması, stabilize edilmiş SOC gerektirir (Zimmermann ve ark., 2013). SOC toprakta tutumu, atmosfer karbondioksit havuzundan bitki atıkları ve kök kalıntıları olarak toprak humusta bitkiler aracılığıyla başlamaktadır (Lal, 2016; Ortas ve Lal, 2012).

Atmosferik CO_2 konsantrasyonundaki artışların azaltılması için yapılacak çalışmaların önemi giderek artmaktadır. CO_2 toprakta tutma, atmosfere salınan CO_2 miktarını azaltmak için potansiyel bir strateji olarak kabul edilmektedir. Yükselen atmosferik CO_2 seviyeleri ve bunun

sonucunda iklim değişikliği (Pachauri ve ark., 2014) biyoçar konusunda önemli araştırmalar yapılmasına yol açmıştır. Bu ilgi, biyoçarın uzun vadeli karbon depolaması ve tarımsal olarak iyileştirme sağlama potansiyelinden kaynaklanmaktadır (Lehmann ve ark., 2006). Karbon döngüsünün nasıl daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılacağı önem arz etmekte ve küresel ölçekte farklı ekosistemlerde karbon havuzlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Biyoçarın toprağa ilavesi toprakta yüzyıllarca depolanacak inatçı karbon mekanizmasını temsil ettiği için ((Laird, 2008; Lehmann ve ark., 2021) toprakta karbon sekestrasyonunu sağlayarak topraktan CO_2 salınımlarını azaltmaktadır (Yerli ve Şahin, 2023).

Topraklarda biyoçarın uygulama oranları dikkate alınmalıdır. Örneğin, biyoçarınn kaba tekstürlü topraklara 5 ila 10 t/ha oranlarında uygulanmasının CO_2 emisyonunu azalttığını ve 10 t/ha'dan daha yüksek oranlarda uygulanmasında emisyonu artırdığı görülmüştür (Dempster ve ark., 2012).

Farklı verimlilik seviyelerine sahip tınlı kum tekstürlü Spodosol toprakların üzerinde biyoçarın etkisi 60 günlük laboratuvar deneyinde incelenmiştir. Çalışmada CO_2 kümülatif emisyonunda önemli bir değişim sağlamazken, N_2O emisyonu önemli ölçüde azalmıştır (Rizhiya ve ark., 2015). Ancak, (Wang ve ark., 2011) Wang ve arkadaşlarına göre, 50 t/ha oranında biyoçar uygulaması pirinç tarlasında CO_2 emisyonunu artırmamıştır.

Biyoçar, toprak kalitesini iyileştirme ve karbonu tutma potansiyeli nedeniyle kimyasal olarak inatçı, karbon açısından zengin bir katı malzemedir. Uygulama oranının toprak karbondioksit (CO_2) emisyonu ve biyoçarın genel faydaları üzerindeki etkileri, henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Pirinç kabuğu biyoçarı uygulama oranlarının CO_2 emisyonları üzerindeki etkisini değerlendirmek için, Nijerya'da üç toprak tipi (Anthraquic Ustorthent, Grossarenic Kandiustalf ve Ustic Quartzipsamment) üzerinde üç biyoçar uygulama oranı (kontrol,5, 15 ve 25 t h^{-1}) kullanılarak 91 günlük tarla denemesi yapıldı. Kümülatif CO_2 emisyonlarının toprak tipleri ve uygulamaları arasında önemli ölçüde ($p < 0.01$) farklı olduğunu ve toprak tipi/*uygulama etkileşimlerinin de $p = 0.05$'te önemli olduğunu gösterdi. CO2 emisyonu artan biyoçar uygulama oranlarıyla birlikte arttı en yüksek (3,06 CO_2–C g/m^2) değeri 25 t/ha'da kaydedildi (Olaniyan ve ark., 2020).

Biyoçarın topraklar üzerindeki etkisi, piroliz edildiği hammadde türü, biyoçar olgunlaşması, toprak mineralojisi ve toprak tekstürü, sera gazı emisyonları da dahil incelenmiş olsa da (Butnan ve ark., 2015), uygulama oranlarının topraklardaki CO_2 emisyon tepkileri üzerindeki etkisi konusunda hala tam olarak anlaşılamamıştır. Biyoçarın, artan atmosferik CO_2 konsantrasyonlarını dengelemek için bir C tutma aracı olarak etkili kullanımı, topraktaki reaksiyonuyla ilgili tüm etkili faktörlere bağlıdır ve uygulama oranlarının etkisine ilişkin araştırmayı önemli kılmaktadır. Toprakta biyoçar kullanımının geniş ölçekte uygulanabilmesinden önce uygulama dozlarının araştırılması özellikle önemlidir (Rizwan ve ark., 2016).

Yeryüzünde toprakta tutulan C miktarı (1,100 Gt; 1Gt=1,000,000 ton) atmosferdekinden (750 Gt) çok daha yüksek olduğundan (Sundquist, 1993) (Sundquist, 1993), topraktan atmosfere

yıllık ortalama 60 Gt CO_2 çıkışı gerçekleşmektedir. Atmosfere salınan bu CO_2 çoğunlukla toprakta mikroorganizmaların organik maddeyi parçalarken yaptıkları solunum esnasında ortaya çıkmaktadır. Toprak solunumu, SOC'nin mikrobiyal ayrışması yoluyla atmosferik CO_2'deki artışa katkıda bulunmaktadır (Schlesinger ve Andrews, 2000). Atmosferde artan CO_2 konsantrasyonunun azaltılması için yapılabilecek en faydalı uygulamalardan bir tanesi biyokütlede fotosentez yolu ile depolanan CO_2'in piroliz yolu ile biyoçar adı verilen daha kararlı bir C formuna dönüştürülmesidir (Spokas ve Reicosky, 2009). Biyoçar, toprak organik maddesine oranla daha fazla ve daha kararlı aromatik C içermektedir (Gul ve ark., 2015). Ayrıca yüksek kimyasal ve biyolojik kararlılığa sahiptir (Lehmann, 2007b). Biyoçar çok uzun süre bozulma olmadan toprakta kalır ve bu nedenle topraklarda uzun süreler için karbonu tutabilir (Yao ve ark., 2014). Odundan üretilen biyoçarın toprakta kalma süresi 100 ile 1000 yıl arasında olduğu rapor edilmektedir. Bu süre çoğu toprak organik maddesinden 10 ile 1000 kat daha yüksektir. Bu nedenle, biyoçar çeşitli çevresel uygulamalarda (örneğin, toprak iyileştirme ve çevresel iyileştirme) kullanılmaktadır (Yao ve ark., 2014).

Biyoçarın temel bileşimi genellikle %60'tan fazla C, N, H içerir ve K, Ca, Na ve Mg gibi diğer besin elementleri konsantrasyonları daha düşük seviyelerdedir (Gul ve ark., 2015). Bilimsel çalışmalarda biyoçarın sera gazı emisyonlarını azaltma(Dong ve ark., 2015), toprak biyolojik özelliklerini iyileştirme, (Dong ve ark., 2015) toprak organik karbon havuzunu stabilize etme (Wang ve ark., 2014), organik karbon depolamasını artırma toprak fiziksel özelliklerini iyileştirebileceğini göstermektedir. Piroliz işlemi yapılmayan biyokütlelerin C içerikleri yüksek olmasına rağmen yarılanma ömürlerinin oldukça kısa olduğunu belirten (Grützmacher ve ark., 2018) da herhangi bir muameleden geçirilmeyen biyo kütleye kıyasla biyoçarın toprak ortamında üç kat daha fazla C stabilize edebildiğini rapor etmişlerdir. Atmosfer karbonunu toprakta tutan aynı zamanda toprak verimliliğini artıran organik atıkların pirolizi ile oluşturulan biyoçar toprak düzenleyici olarak kullanılması fikri gün geçtikçe daha çok savunulmaktadır. Toprak düzenleyici olan biyoçar toprak organik karbonunu (SOC) ve toprak su tutma oranını artırmakta ve besin elementlerinin sızmasını azaltmaktadır (Major ve ark., 2012).

Biochar C mineralizasyon seviyesinin toprağın kil içeriğinden etkilendiğini gösteren kanıtlar vardır. Yüksek oranda kil içeren topraklar işlevsel kil minerallerinin grupları ve oksitlenmiş biyoçar yüzeyleri arasındaki kimyasal etkileşimler yoluyla biyoçar C'yi stabilize etme konusunda daha başarılı olmaktadır (Brodowski ve ark., 2006).

Bir çalışmada mısır bitkilerinin varlığında biyoçarın toprak organik C mineralizasyonunu azalttığı rapor edilmiştir (Whitman ve ark., 2014).Başka bir çalışmada (Slavich ve ark., 2013) tarafından üç yıllık mera alanı çalışmasında toplam toprak C biyoçarın eklenmesinden sonra artmaya devam etmesinin, kontrol parsellerinde görülmeyip sadece biyoçar eklenen parsellerde görüldüğü açıklanmıştır. Toprak organik C'nin biyoçar yüzeyine emilmesi nedeniyle ve dolayısıyla mineralizasyondan korunması ile açıklanmıştır. Biyoçar uygulamaları ile karbon

mineralizasyonunun önemli oranda azalması biyoçarın C zenginleştirme potansiyelini yansıtmaktadır.

2.5. Biyoçar İnkübasyon Çalışmaları

Toprağın kontrollü koşullar altında inkübasyonu, farklı araştırmacılar tarafından yönteme yönelik eleştirilere rağmen, topraktan CO_2 emisyonunun araştırılmasında en sık kullanılan yöntemlerden biri olmaya devam etmektedir. Bu tür çalışmalarla ilgili problemler, temel olarak, toprakların laboratuvarda maruz kaldığı koşulların saha koşullarından çok farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Maksimum ve minimum koşullarda toprak çıkan CO_2 ve diğer gazların ölçülmesi için bu gerekli bir uygulamadır.

Mosharrof ve ark. (2021), 12 ay süreli kontrollü inkübasyon koşullarında aerobik ortamda biyoçara dönüştürülen meşe parçalarının yüzeyinde fonksiyonel grupların, asitliğin ve negatif yüklerin arttığını göstermişlerdir.

Biyoçar, biyolojik ve kimyasal ayrışmaya karşı oldukça dirençli olmasına rağmen, çalışmalar, biyoçarın doğal ortamın abiyotik ve biyotik faktörleri aracılığıyla kısmen ayrışabileceğini veya mineralize edilebileceğini göstermiştir (Cheng ve ark., 2008). Kuzyakov ve ark. (2009) İngiliz çiminin gövdesinden üretilmiş ^{14}C etiketli biyoçarın ayrışmasını incelediler. Biyoçar eklenmiş toprak, 20°C'de ve %70 su tutma kapasitesinde bir laboratuvar inkübatöründe 1181 gün inkübe edildi. Çalışmada biyoçarın ayrışması, ilk birkaç ay boyunca nispeten hızlanmıştır. Daha sonra kısmi ayrışmaya devam ederek yavaşlamıştır. Bazı yazarlar, laboratuvar deneylerinde glikoz gibi labil bir C kaynağının birlikte uygulanmasıyla biyoçar mineralizasyonunun arttığını gözlemlemişlerdir (Kuzyakov ve ark., 2009). Ancak çalışmalarında mineralizasyonun yalnızca biyoçardan mı veya doğal toprak organik maddesinden mi olduğu tam olarak anlaşılamamıştır.

(Awad ve ark., 2013) yaptıkları bir laboratuvar inkübasyonunda ticari bir biyoçar ilavesinin ardından ^{14}C etiketli organik madde mineralizasyonunu %13,5 oranında artırmış olduğu bildirildi. (Jha ve ark., 2010) 350 ve 600 °C'de mısır (*Zea mays L.)* ve meşe ağacından (*Quercus* spp.) üretilen biyoçarın 1 yıl içinde sular altında alternatif olarak ıslak ve kuru koşullarda toplam biyoçar C'un sırasıyla %16 ve % 12'si oranında oldukça yavaş mineralize olduğunu göstermiştir. Benzer bir mineralleşme oranı (%16) %70 su tutma kapasitesi 3 yıllık inkübasyon çalışmasında mısır koçanı biyoçarı için de gözlemlenmiştir (Kuzyakov ve ark., 2009).

(Jiang ve ark., 2016), 30 ay süreli bir laboratuvar inkübasyon denemesinde toprağa biyoçar ilavesiyle toprak mikrobiyal aktivitesinde önemli bir değişiklik gösterdiğini saptamışlardır (He ve ark., 2017). Yaptıkları meta analiz çalışmasında biyoçar uygulaması, laboratuvar inkübasyonlarında ortalama olarak toprak CO_2 akışlarını %30,34 oranında önemli ölçüde artırdı, ancak saha çalışmaları ve saksı deneyleri altında herhangi bir değişiklik olmadı. Laboratuvar inkübasyonları, tarla içi ve saksı deneylerine kıyasla gübrelenmemiş topraklarda biyoçar uygulamasına CO_2 akışında önemli bir artış gösterirken, gübrelenmiş topraklarda herhangi bir tepki olmadı. Biyoçar ve kireç uygulamasının

asit toprağın kimyasal özellikleri ve CO_2 emisyonu üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlayan 60 günlük inkübasyon çalışmasında pirinç kabuğundan (RHB) ve yağ palmiyesi boş meyve salkımlarından (EFBB) iki farklı oranda biyoçar (10 ve 15 t ha^{-1}) toprağa uygulanmıştır. 15 t ha^{-1} pirinç kabuğu biyoçarında kümülatif CO_2 emisyonu 207,40 μmol CO_2 m^{-2} bulunmuş ve kontrole kıyasla %139,41 azaldığı görülmüştür(Mosharrof ve ark., 2021).

Toprağa uygulanan farklı nem içeriğine ve biyoçarın CO_2-C emisyon içeriğine etkisi ölçülen inkübasyon denemesinde (en düşük %35 nem en yüksek ise %55 nem) CO_2-C çıkışı düşük nem116.10 mg CO_2-C kg^{-1}nem yüksek nem191.54 mg CO_2-C kg^{-1} içeriğinde ölçülmüştür. Biyoçar + nem uygulanan toprak örneklerinde CO_2-C çıkışı en az BC+%35 (103.16 mg CO_2-C kg-1), en fazla BC+%55 (171.15 mg CO_2-C kg^{-1}) uygulamalarında ölçülmüştür(Elik ve Sakin, 2021).

Okaliptüs ve Phragmites hammaddelerinden 550 °C'de biyoçarlar üretilmiş ve 0, 10, 20 ve 40 t ha^{-1} dozlarda siltli tın tekstürlü Balcalı ve kil tekstürlü Kızıltapır topraklarına karıştırılmıştır, Çalışmada toprak+biyoçar uygulamaları, sabit sıcaklık (28 °C) ve nem (% 80 tarla kapasitesi) altında 48 gün boyunca inkübe edilmiştir. Her iki uygulamada da biyoçar dozları, CO_2 emisyonunu önemli ölçüde artırdı. Diğer yandan, her iki toprakta da karbonun oranını 40 t ha^{-1}'lik bir doz uygulamasında önemli ölçüde azaltmıştır (Koçak ve Ortaş, 2021).

2.6. Mikorizanın Bitkisel Üretimdeki Yeri

Myco-mantar ve rhizo-kök kelimelerinin bir araya gelmesiyle oluşan mikoriza, yunanca kökenli bir kelimedir(Sieverding ve ark., 1991). Bitki ile mikroorganizma arasındaki karşılıklı yarar sağlamaya dayanan mikorizal yaşam ile ilgili tespit ilk olarak A.B Frank tarafından 1885 yılında ortaya konmuştur (Kendrick ve Berch, 1985). Daha sonraki yıllarda ise mikoriza ile bitki arasındaki ilişkinin simbiyoz bir yaşam olduğu belirtilmiştir. Mikoriza, doğada en yaygın simbiyotik yaşam oluşturan ve varlığı mikroskopla görülebilen, çok miktarda hif üretebilen mantar olup bitki kökleri ile bitkiye besin elementi (özellikle fosfor) ve su kazandırmakta, bitki fungusa karbonhidrat ve bazı besin maddelerini vermektedir (Ortas ve ark., 1996).

Ülkemizde mikorizaya yönelik yapılan çalışmalarda gerek mikoriza çeşitleri gerekse bu mikoriza çeşitlerinin otsu ve odunsu bitkilerin yanı sıra meyve ve sebzelerde uygulama çalışmalarının sonucunda mikorizanın olumlu etki oluşturduğu vurgulanmaktadır. Mikorizanın verim ve bitki büyümesinde etken bir faktör olduğu gibi, bitkilerdeki hastalık ve zararlılara karşı korunmayı arttırdığı bildirilmektedir. Mikoriza aşılamasının turunçgil ağaçlarının verimi üzerinde etkisini belirtmeye yönelik yapılan çalışmalar sırasında; Brezilya Troyer citrange (*Poncirus trifoliata* L.) ve turunç (*Citrus aurantium* L.) bitkileri örtü altı koşullarında, kumlu tınlı, fosfor içeriği 4,6 ppm olan toprakta yetiştirilmiştir. Mikoriza (*Glomus fasciculatus*) aşılaması ile turunçgil bitkilerinin veriminin arttığı saptanmıştır (Menge ve ark., 1978). Arbüsküler mikorhizal mantarlar (AMF) gibi toprağa faydalı mikroorganizmaların sorgum büyümesini uyardığı ve bitki üretkenliğini arttırdığı bilinmektedir (Ortas ve ark., 1996) .

Mikoriza ile ilgili birçok bitkide çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu kapsamda su alımı ve tuzluluk ile ilgili yapılan çalışmalarda mikorizanın etkinliği belirtilmiştir (Karipçin ve Şatır, 2016). Bunların yanında, toprak bünyesini olumlu yönde etkilediği ve kimyasal gübre kullanımını azalttığı bildirilmiştir (Gallagher ve Clark, 1989). Mikoriza uygulamasının sedir fidanının gelişimi üzerine etkilerine araştırmak amacıyla yürütülen başka bir çalışmada, üç farklı mikoriza türü (*Lactarius delicious, Hebelomacrus tuliniforme, Tricholomaustale*) kullanılmıştır. Çalışma sonucunda mikoriza aşılamasının sedir fidanın gelişimi üzerine önemli katkı sağladığı rapor edilmiştir (Tüfekçi, 2007).

Abdulhadi (2017) tarafından yürütülen çalışmada, tuzlu toprakta yetiştirilen çerezlik kabak genotiplerine mikoriza uygulamasının fide döneminde bitki gelişimi üzerine etkilerini incelemiş ve uygun genotip ve mikoriza kombinasyonunun bitki gelişimi üzerine pozitif etki sağladığını tespit etmiştir. Mikoriza uygulamasının MM 106 Elma anacı üzerine olan etkilerini incelemek amacıyla yürütülen diğer bir çalışmada, incelenen özelliklerden bitki boyu, bitki çapı ve infeksiyon oranı istatistiksel açıdan önemli olduğu belirlenmiştir(Uçgun ve ark., 2009). Tuzlu topraklarda yetiştirilen Antep fıstığına mikoriza uygulaması yapılan bir çalışmada; mikoriza uygulamasının antepfıstıklarının gelişmesi ve besin elementi içeriği üzerine olumlu etkide bulunduğu tespit edilmiştir (Abbaspour ve ark., 2006).

Mikorizaların bitki gelişimi üzerindeki diğer önemli katkısı ise çeşitli bitki çeşitlerinin topraktan aldığı toplam çinko (Zn) alımının %25-50'sini sağlamaktadır (Coccina ve ark., 2019; Ortas, 2019). Buna bağlı olarak, toprak sterilizasyonu ile kök mikoriza kolonizasyonunun inhibisyonu bitkide Zn konsantrasyonu önemli azalmalarla sonuçlanmaktadır (Ortas ve ark., 2018; Ova ve ark., 2015).

Mikoriza ile aşılanmış tek (turp, aspir, inci darısı, hardal, bezelye, bakla, adi fiğ, andberseem yoncası) ve karışık mahsul türlerinin büyümesini ve biyokütle üretimini değerlendirmek için saksı kültüründe faktöriyel deneme yapıldı. Sonuçlarda, mikoriza aşılamalı tekli veya örtü bitkilerinin, mahsul üretimi için toprak organik maddesine ve besin geri dönüşümüne katkıda bulunacak önemli ölçüde daha büyük miktarda biyokütle sağlandığını gösterdi (Ortas ve Yucel, 2020).

2.7. Mikoriza Mısır Bitkisi Etkileşimi

Ortaş ve ark. (1999), daha kısa sürede çok sayıda mikoriza sporu üretmek için etkili olan türün tespit edilmesi, mikoriza ila iyi bir simbiyotik ilişki içinde olan ve konukçusu olduğu bitkinin köklerinde spor oluşturan bitki tür ya da çeşidinin belirlenmesi ve bu konukçu bitkilerin yetiştirilmesi için kullanılacak uygun harç ortamın tespit edilmesinin belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmada; farklı bitki türleri arbuskular mikoriza (AM) türü ile aşılama yapılmış ve bu aşılama yapılan bitkiler farklı harç ortamları kullanılması sonucunda mısır bitkisinin köklerinde mikorizaların daha iyi kolonize olduğu belirlenmişlerdir.

Tarla koşulları altında farklı mikoriza türleri ile bitki kökleri arasındaki simbiyotik etkileşim sonucunda mısırın verim ve kaliteyi etkileyen özellikler üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yapılan araştırmada, elde edilen sonuçlara göre; bitkilerde meydana gelen besin maddesi noksanlığı gözlenmesi durumunda kullanılan arbüsküler mikorizal fungusların bitkinin verim ve kalite parametreleri ile bitkilerde hastalıklara karşı dayanıklılık bakımından katkı sağlayacağı belirtilmiştir (Çetinkaya ve Sami, 2010).

Çukurova Bölgesinde sera ve tarla koşullarında yürütülen çalışmada, 2. ürün olarak kanola ekiminin ardından yetiştirilen mısır bitkisine mikoriza aşılaması yapılması sonucunda, bazı bitki parametreleri özellikle bitki büyümesi, besin elementleri alımı ve toprak özellikleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesinin amacıyla gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen bulgulara göre; kanola bitkisinin ardından ekilen mısır bitkisine mikoriza aşılaması yapılırsa, mısırın verimi ve besin elementi alımının, mikoriza aşılaması yapılmayanlara göre oransal olarak artış meydana geldiği tespit edilmiştir (Akpinar, 2011).

Tuz uygulaması yapılan ve yapılmayan şartlar altında (0,100 mg NaCl/kg) ile artan çinko uygulamaları (0, 25, 50 mg Zn kg^{-1})'nın mikoriza uygulanan ve uygulanmayan ortamlarda mısırın gelişim özellikleri ile fosfor ve çinko gibi besin elementi alımına olan etkisinin araştırıldığı çalışmadan elde edilen sonuçlara göre; mikoriza aşılaması yapılan uygulamalara göre mikoriza uygulanmayana kıyasla kuru ve yaş ağırlıkla birlikte fosfor ve çinko içeriğinde önemli düzeyde artış tespit edilmiştir. Ayrıca, tuz uygulaması sonucunda bitki boyu ve yaş ağırlıkta azalma meydana gelirken, fosfor alımında ise artış olduğu tespit edilmiştir. Yine çinko uygulamaları sonucunda mısırın bitki boyu, yaş ağırlık ve kuru ağırlık ile fosfor ve çinko içeriğinin arttığı belirlenmiştir (Sönmez ve ark., 2013)

2.8. Mikoriza Kök Ekosistemleri

Doğada iki farklı tip mikoriza mantarı bulunmaktadır. Bunlar ektomikariza ve endomikarizadır (Trappe ve ark., 1984). Ektomikorizal mantar miselleri, uzun yatay köklerden ziyade genellikle kısa besleyici kökler üzerinde gelişmektedirler. Kılcal kökler etrafında genellikle kalın bir hif tabakası (manto) oluşturmaktadırlar. Bu örtü gelişimini takiben, hif büyüyerek kök korteks hücreleri arasında bir hif ağı (Hartig net) oluşturmaktadır (Kraigher ve Agerer, 2000). Bu oluşan hif kök hücre temas zonu içerisinde mantar ve bitki arasında besin ve su değişimi meydana gelmektedir.

Dünyada en yaygın kök-mantar ortak yaşama birlikteliği endomikoriza (Arbuscular mikoriza-AM) mantarları tarafından oluşturulmaktadır. AM mantarını iki yapısı karakterize etmektedir. Birincisi vesikül balon şeklinde bir yapı olup genellikle yağlarla doludur ve besin depo etmektedir. İkincisi ise ince bir şekilde dallanmış, kısa yaşama süreli arbüskül (Arbusculus) dür. Arbüskül, mantar ve bitki arasında besin maddelerinin değişiminde rol oynayan kök hücreleri içerisinde dallanmayı andıran yapılardır. AM aynı zamanda bol miktarda mantar misellerine sahiptir

(Kraigher ve Agerer, 2000). AM mantarı sporlarının büyüklüğü ve yerleri nedeniyle rüzgârla dağılamamakta ve sporların hareketi esas olarak toprağın mekanik hareketiyle, insan, su, böcek ve hayvanlar vasıtasıyla olmaktadır (Amaranthus ve Perry, 1989; Pritchett ve Fisher, 1987).

Mikoriza bitki besin maddelerinin yeterli düzeyde bulunmadığı topraklarda bitki büyümesini arttıran çeşitli maddeler üretmektedir. Bu maddeler, bitkinin kök sisteminin gelişimini teşvik edebilmektedir. Mikoriza aynı zamanda farklı tür bitkiler arasındaki rekabet ilişkilerine de etki etmektedir (Harley, 1984).

Kök ekosistemi temelde toprak-kök arasında oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri ve bu süreçler ile bitki gelişimi arasında önemli bir yere sahiptir. Bitki kök ekosistemi hakkında bilgi sahibi olmak ayrıca ekosistemin sürekliliği ve fonksiyonu için değerlendirmelerde bulunmak için son derece önemlidir. Bitkinin toprak üstü organları gibi dışardan göremezsek de kök sistemi bitki için birçok şey ifade etmektedir. Bitkinin suyu kökleri aracılığı ile alıp üst organlara taşıması, besin elementlerinin bitki tarafından alımı, birçok kompleks interaksiyon tarafından kontrol edilmektedir. Bu interaksiyonlar aynı anda birbirlerini de kontrol etmektedir. Besin elementlerinin ayrışması ile bitkilerin besin elementi talepleri aynı anda ve doğrultuda olmaktadır. Genelde biyolojik süreçler bu dengeleri organize etmektedir. Topraktaki biyolojik süreçler sonucu doğada bulunan mikroorganizmalardan hem faydalanır hem de onlara fayda sağlar bu mikroorganizmaların başında mikoriza gelmekte ve mikoriza ile kök ekosistemi ilişkisini çözmek son derece önem arz etmektedir. Yapılan literatür çalışmaları mikoriza ve kök bölgesi hakkında bizlere son derece önemli bilgiler göstermektedir.

Mikoriza kelimesi, bitki kökleri ile toprakta yaşamlarını sürdüren mantarların ortak yaşam ifade etmektedir. Mikoriza mantarları, toprak kökenli mantarlar olup, yaşamlarını genelde toprakta geçiren Zygomycotina ve Basidiomycotina şubelerine ait türlerden oluşmaktadırlar. Bu birliktelikte bitki mantara enerji kaynağı olan karbon sağlar, mantar ise topraktan aldığı besin maddeleri ve suyu bitkiye ulaştırmaktadır. Mikoriza bitkiye besin ve su sağlaması için bitkinin içine nüfus etmesi gerekmektedir. Mikoriza mantarı bitki kök yüzeyi, kök dokuları, hücre ve hücrelerarası boşluklara yerleşerek yaşamlarını bitki köklerinde devam ettirirler. Kök yüzeyinde yoğun bir mantar örtüsü ve çok sayıda hifler oluşturarak bitki kökünün ulaşamadığı yerlere ulaşırlar (Yılmaz, 2018)

Bitkilerin büyük bir kısmında mikorizal funguslarla birliktelik mevcuttur. Mikorizal funguslar konukçu bitki köklerinin içinde ve dışında kurdukları ilişkilerden dolayı ekolojik olarak büyük öneme sahiptirler. Arbusküler mikorizal fungus (AMF) ile bitkiler arasındaki bu ilişki karşılıklı yararlanmaya (mutualistik simbiyosis) dayalı bir ortaklıktır. Konukçu bitki mikorizaya karbon kaynaklarını sunarken, mikoriza ise bitkinin topraktan su ve besin alımını artırır (Palta ve ark., 2010). Bitki-mikoriza işbirliğinin toprağın yapısını iyileştirme, bitkiyi abiyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı koruma ve bitkinin hayatta kalma başarısını arttırma gibi avantajları vardır (Rafique ve Ortas, 2018).

Mikoriza, bitkinin iyi bir kök sitemi oluşturmasını teşvik ettiği gibi bitkinin gelişimlerinin de daha iyi olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, bol ve kaliteli yaprak ve çiçeklere sahip olmasına yardımcı olmaktadır. Bunun sonucunda mikoriza ile daha iyi bir gelişme yapabilecek bitkilerin kullanılması ile hem fonksiyonel hem de estetik açıdan başarıya ulaşılmış olunacaktır (Pulatkan ve Var, 2010).

Mikoriza ve kök ekosistemi hakkında detaylı bir açıklama vermek gerekirse, yaklaşık yüzyıl önce, birçok biyolog tarafından bazı bitkilerin köklerinde yoğun bir şekilde bulunan fakat hastalık oluşturmayan funguslar saptanmış ve bu saptama sonucu ortaya çıkan yapıya 1885 yılında, bitki kökleri ile bazı toprak fungusları arasında kurulan bu ilişkiye "mikoriza" ismi verilmiştir. Mikorizal funguslar çok yaygın olarak bulunurlar ve bitki türlerinin çoğu yaşamlarını bunlarla birlikte sürdürürler. Mikorizal funguslar içinde arbusküler mikorizal funguslar (AMF) en büyük grubu oluşturur. Mikorizal funguslar kökler ile toprak arasında köprü görevi görürler ve topraktan köklere besin maddelerini taşırlar, mikorizosferde değişiklik, köklerde meydana gelen fizyolojik ve morfolojik değişiklikler ve rekabet gibi bir takım olaylar bitki gelişimine katkıda bulunur. Ayrıca mikorizal ilişkinin görüldüğü bitkiler toprak kaynaklı fungal patojenlere ve nematodlara karşı daha dayanıklı hale geldiğinden mücadelesi oldukça güç olan bu etmenlere karşı savaşımda çok önemli bir avantaj elde edilmektedir (Yıldız, 2009).

Mikoriza aşılaması sonucu bitkinin verim değişikliğinin araştırıldığı ve 2 yıl süre ile 2009 yılında kurulan ve fertigasyon uygulamalarında farklı gübreleme zamanlarının ve mikoriza uygulamalarının, Çukurova bölgesinde yetiştiriciliği oldukça fazla yapılan biber bitkisinin verimine ve besin elementleri konsantrasyonuna olan etkilerinin geleneksel yöntemle karşılaştırıldığı çalışmada; Mikoriza aşılaması yapılan parsellerde verimin, mikoriza aşılaması yapılmayan parsellere göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Bitki besin elementlerinin alımı yönünden çalışma ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, mikoriza uygulamalarının genelde bitkilerin besin elementleri konsantrasyonlarını artırdığı tespit edilmiştir (Demirbaş ve ark., 2019).

Bitki ve mikoriza iş birliği ile oluşan bitki kök ekosistemi ile bitkinin köklerinde meydana gelen değişim sonucu birtakım olaylar oluşmakta ve oluşan olaylar sonucu bitkinin üst aksamında değişimler meydana gelmektedir. Mikoriza ile infekte olmuş kökte ortaya çıkan durumlar 6 madde şeklinde sıralanmıştır;

1. Bitkilerin kökleri ile etkileşime girerek, köklerin toprak içerisinde gelişiminin artması ile daha fazla besin elementine ulaşması,
2. Bitkiler için uygun formda olmayan besin elementlerinin alınabilirliğinin sağlanması,
3. Bazı mikoriza türlerinin topraktaki besin elementlerini yararlı forma dönüştürmesi,
4. Kök kolonizasyonunu arttırarak parazit, fungus ve nematodlara karşı koruma sağlaması,
5. Verim artışı, besin alımı ve rejenerasyon yeteneği,

6. Bitkinin toprak altı ve üstündeki kısımlarının daha iyi gelişmesi (kök yapısı, iletim demetleri vb.) ile verim artışı sağlanması (Yılmaz, 2018).

2.9. Mikorizaya Bağımlılık

Doğada bitkiler güneşe suya toprağa ihtiyaç duyduğu kadar ya da başka bir kelime ile bağımlı olduğu kadar doğada başka mekanizmalara da bağımlıdır ve bağımlı olduğu madde ortamda olmadığında bitki sağlıklı bir şekilde yaşamını devam ettiremez. Bu mekanizmalarında başında en bilindik olanları baklagiller için rizobiyum bakterisi ve mikoriza mantarı gelmektedir. Rizobiyum bakterisi sadece baklagiller ile birliktelik kurup baklagillere azot bağlarken mikoriza daha geniş bir aralıkta ilişki kurmaktadır bu ilişkiler aynı zamanda baklagillerde bile olabilir.

Mikoriza toprakta var olan sporları ve hifleri aracılığı ile ekosistemdeki bitkilerin %95'ini kapsayan yaklaşık 240,000 bitki türünün kökleri ile ilişki kurup simbiyotik yaşam ve mutualistik (karşılıklı yarar) bir yaşam şekli oluşturmaktadır (Allen, 1991; Smith ve Read, 2008). Bazı bitkiler "olmazsa olmaz" (obligat) (Bağımlı) sınıfına girip yaşamları tamamen mikorizanın ortamda oluşuna bağlıdır (Declerck ve ark., 1995; Ortas, 2012). Mikoriza mantarı çok miktarda hif üreterek bitki kök yüzey alanını artırmakta ve kökten çok uzak bölgelerdeki besin elementlerini alarak bitkinin üst organlarına taşınmasına yardımcı olmaktadır (Rouphael ve ark., 2015). Bir cm kolonize olmuş kök başına mikorizanın toplam 100 cm'ye kadar hif oluşturduğu düşünülürse (Ortas, 1997) mikorizanın bitkinin besin maddeleri ve su alımına olan katkılarının çok önemli olduğu kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Bu iş birliği bitkinin mikorizal fungusa karbon, mikorizal fungusun da bitkiye besin elementlerinden özellikle fosfor, potasyum, azot, demir, çinko, bakır ve molibden alımını sağlaması ile gerçekleşmektedir (Ortaş, 1998). Bitkinin atmosferdeki karbonu bağlaması ve bitkinin tuttuğu karbonun bir kısmını toprak kökenli mikoriza mantarları ile paylaşarak bitkinin gelişimini arttırmasının yanı sıra toprak kalitesini de arttırdığı belirlenmiştir (Rafique ve ark., 2019b).

Doğada doğal olarak var olan mantarlardan olan Arbusküler mikoriza (AM) mantarı bitkinin besin elementi döngüsünün önemli kısımlarındandır (Fitter ve ark., 2011) Bitkilerin büyümesi ve ortamdaki besin elementlerini alabilmeleri mikorizanın bitki kökleri ile infeksiyonuna bağlıdır. Mikorizal bağımlılık Gerdemann (1975) tarafından "bir bitkinin belirli bir toprak verimliliği seviyesinde maksimum büyümesini veya verimini elde etmek için mikorizaya bağımlı olma durumu olarak tanımlanıştır.

Mikorizaya bağımlılık konusunda birçok çalışma yürütülmüş ve literatür bilgileri mevcuttur. Plenchette ve ark. (1983) yaygın olarak yetiştirilen mikorizaya bağımlı bitkiler arasında farklı mikorizal bağımlılık oranları tespit edilmiş ve havuç en yüksek bağımlılık indeksine sahip olurken, bunu sırasıyla bezelye, fasulye, bakla, kuşüzümü, biber, domates ve patates izlemiş, yulaf ve buğday ise sıralamada en düşük bağımlılık indeksi göstermiştir. Bunun yanında soğan, elma, çilek ve sorgum mikorizaya bağımlılığı iyi bilinen bitkiler olduğunu bildirmişlerdir.

Yucel ve ark. (2009) İsrail, Türkiye, Lübnan, Ürdün ve Suriye'yi içerisinde yer alan (Mezopotamya) alan Verimli Hilal Bölgesi'nin farklı ekolojik ve coğrafik bölgelerinden toplanan 23 yabani gernik (*Triticum turgidum subsp. dicoccoides*) hattında mikorizaya bağımlılık çalışma gerçekleştirmiş ve kök infeksiyonu ve mikorizaya bağımlılıkları hesaplamışlardır. Yapılan bu ölçümlerde, kontrolle kıyaslandığında, mikoriza inokulasyonunun kök, sap ve toplam kuru madde ağırlığını sırasıyla, 4.1, 3.9 ve 3.9 kat arttırdığı bildirmişlerdir. Yücel (2007) Mikorizaya bağımlılık ploidy düzeylerine göre yüksek bir varyasyon göstermiş olup, olmadığının çalışıldığı çalışmada diploid türler, tetraploid ve hekzaploid türlerden daha yüksek bağımlılık sağlamış ve buğdayın genomunun yüksek düzeyde mikorizaya bağımlılık gösterdiğini bildirmiştir.

Bitki mikoriza ilişkisi ile mikoriza bağımlığı olan bitkilerin köklerinin infekte olması sonucu bitki ve toprak açısından birçok olumlu durum ortaya çıkmaktadır. Palta ve ark. (2010) yapmış olduğu geniş açıklamada; AM funguslarının ekstramatrikal (dışsal) hifleri sayesinde bitki köklerinin yüzey alanını genişlemekte, dolayısıyla bitkinin bulunduğu topraktan daha çok yararlanması sağlanmaktadır. Mikoriza hifleri toprağı sararak agregat yapısını iyileştirmekte ve bu sayede erozyona karşı toprağın direnci de artırmaktadırlar. Ayrıca AM fungusları, bitkinin birçok olumsuz durum karşısında (kuraklık, tuzluluk ve ağır metal stresine karşı) direncini arttırmakta, Bitkinin kök patojenlerine karşı bitkiyi korumakta, bitkinin büyümesini sağlayan hormonları teşvik etmektedir. Bitki gelişimi ve toprak kalitesi üzerinde olumlu etkileri olan AM funguslarının, aynı zamanda çayır-mera bitkilerinin fizyolojisi ve morfolojisi üzerinde de olumlu etkileri bulunmaktadır.

2.10. Mikoriza Mısır Bitkisi Etkileşimi

Doğada birçok bitki yetiştiriciliği yapılmaktadır yetiştiriciliği en çok yapılan bitkiler arasında olan mısır bitkisi aynı zamanda mikorizaya bağımlı bir C4 bitkisidir. (C4 bitkisi atmosferden daha fazla karbondioksit almaktadır.) Mısır-mikoriza ilişkisi ve mikorizanın mısır bitkisi üzerine etkileri birçok yazar tarafında çalışılmış ve literatür bilgileri mevcuttur. Yılmaz (2018) tez çalışması kapsamında mikoriza mantarı ile aşılanmış mısır tohumlarına farklı gübre dozlarının etkileri araştırılmıştır ve mısırın koçan yüksekliği (cm), bitki boyu (cm), gövde çapı (mm), bitki ağırlığı (g/bitki), yaprak sayısı (adet), koçan çapı (mm), koçan boyu (cm), yaprak oranı (%), gövde oranı (%), koçan oranı (%), kuru madde oranı (%), hasıl verimi ve kuru madde verimi (kg/da) özellikleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlara göre en yüksek kuru madde verimi 2814.7 kg/da ile mikoriza aşılanmış ve tam gübreleme yapılan uygulamadan elde edildiğini bildirmiştir.

Ortaş ve ark. (1999), daha kısa sürede çok sayıda mikoriza sporu üretmek için etkili olan türün tespit edilmesi, mikorizayla iyi bir simbiyotik ilişki içinde olan ve konukçusu olduğu bitkinin köklerinde spor oluşturan bitki tür ya da çeşidinin belirlenmesi ve bu konukçu bitkilerin yetiştirilmesi için kullanılacak uygun harç ortamın tespit edilmesinin belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmada; farklı bitki türleri mikoriza türü ile aşılama yapılmış ve bu aşılama yapılan bitkiler farklı harç ortamları kullanılması sonucunda mısır bitkisinin köklerinde mikorizaların daha iyi kolonize olduğu

belirlenmişlerdir. Ayrıca yine gerçekleştirilen çalışma kapsamında, kullanılan *Glomus etunicatum, Glomus mosseae, Glomus caledonium* ve *Glomus clarum* mikoriza türlerinin sırasıyla en çok sporulasyon meydana getirdiği tespit edilmiş ve en uygun çoğaltma ortamının ise, 1:3:6 oranında kullanılan yanmış çiftlik gübresi: toprak: kum karışımı olduğu belirlenmiştir.

Wu ve ark. (2005), azot fiske eden (*Azotobacter chroococcum*) fosfor (*Bacillus megaterium*) ve potasyum (*Bacillus mucilaginous*) çözen bakterileri içeren biyolojik gübrelerin mikorizal mantarlarla (*Glomus mosseae* ve *Glomus intraradices*) beraber uygulanması durumunda sera koşullarında yetiştirilen mısır bitkisinin gelişimi üzerine etkisini araştırdıkları çalışmada; sera koşullarında biyolojik gübre uygulamasının kontrole göre organik ve kimyasal gübre uygulamasının meydana getirdiği artışa benzer etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber biyolojik gübrelerin kapsadığı mikrobiyal aşılara ilave olarak çeşitli toprak özelliklerini de düzenlediği saptanmıştır.

Çetinkaya ve Sami (2010), Tarla koşulları altında farklı mikoriza türleri ile bitki kökleri arasındaki simbiyotik etkileşim sonucunda mısırın verim ve kaliteyi etkileyen özellikler üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla yapılan araştırmada, elde edilen sonuçlara göre; bitkilerde meydana gelen besin maddesi noksanlığı gözlenmesi durumunda kullanılan arbüsküler mikorizal fungusların bitkinin verim ve kalite parametreleri ile bitkilerde hastalıklara karşı dayanıklılık bakımından katkı sağlayacağı belirtilmiştir.

(Akpinar, 2011) Çukurova Bölgesinde sera ve tarla koşullarında yürütülen çalışmada, 2. ürün olarak kanola ekiminin ardından yetiştirilen mısır bitkisine mikoriza aşılaması yapılması sonucunda, bazı bitki parametreleri özellikle bitki büyümesi, besin elementleri alımı ve toprak özellikleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesinin amacıyla gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen bulgulara göre; kanola bitkisinin ardından ekilen mısır bitkisine mikoriza aşılaması yapılırsa, mısırın verimi ve besin elementi alımının, mikoriza aşılaması yapılmayanlara göre oransal olarak artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Okkaoğlu ve Avcıoğlu (2010), mikoriza uygulamasının mısır yetiştiriciliğinde etkisini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada farklı mısır çeşitlerine 3 farklı mikoriza türü (Glomus intraradices, *Glomus mosseae* ve *Acoulospora bireticulata*) uygulanmış ve genel olarak mısır bitkisinin fizyolojik ve morfolojik özellikleri üzerine olumlu yönde etkide bulunduğu tespit edilmiştir.

Akpinar (2004), mısır, soğan, yonca ve üçgül bitkilerine *Glomus mosseae* ve *Glomus etunicatum* mikoriza uygulamasının % kök enfeksiyonunu ve spor üretimi üzerine etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmada; 3, 4, 5 ve 8. haftalarda bitkiler hasat edilerek incelenmiştir. Araştırmada en uygun kök enfeksiyonun 4. haftadan itibaren, spor üretimin ise en fazla 8. haftada olduğu belirlenmiştir.

Alp (2000), tarafından azot ve potasyum gübrelemesinin şeker mısırın verim ve verim ile ilgili parametrelere olan etkilerini incelemek amacıyla Tokat ilinde yürütülen çalışmada, Gümerit

hibrit şeker mısırına farklı dozlarda azot (0, 7, 14, 21 ve 28 kg/da) ve potasyum (0, 5, 10, 15 ve 20 kg/da) gübrelemesi yapılmıştır. Ayrıca ilave olarak her deneme parseline 6 kg/da fosfor gübresi verilmiştir. Denemede azot dozları, potasyum dozları ise olarak uygulanmıştır. Farklı dozlarda azot uygulaması sonucu; bitki boyu, koçan boyu, çapı, ağırlığı ve verimini arttırmıştır. Çalışmada en yüksek koçan boyu, çapı, tek koçan ağırlığı ve dekara taze koçan verimi 14 kg/da N uygulamasında belirlenmiştir. İlaveten tepe ve koçan püskülü çıkarma süresi de uygulanan azot dozları ile azalmıştır. Uygulanan farklı dozlarda potasyum ise koçan püskülü çıkarma süresi, koçan boyu, tek koçan ağırlığı, dekara koçan sayısı ve toplam taze koçan verimini arttırmıştır.

(Karaca ve Kaya, 2009), *Glomus mosseae* mikoriza mantarı kullanılarak yapılan çalışmada soya (Arısoy) ve mısır (31P41 PIONEER) bitkilere uygulama sonucunda bitkilerinin fosfor içeriğine ve biokütle üretimine olan etkilerini belirlenmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapılan uygulamalar baz alındığında kontrol uygulamasına kıyasla 100 mg/kg element formunda kükürt ilave edilmesi bitkinin toprak üstü aksamında ve kök veriminde fosfor içeriğinin değişmediği belirlenmiştir. Benzer şekilde mikoriza uygulaması sonucunda bitkinin toprak üstü aksamında ve kök bölgesindeki verimde fosfor içeriğinde artış olduğu tespit edilmiştir. Mikoriza uygulaması sonucunda fosfor içeriğinde meydana gelen artış aynı şekilde, 100 mg/kg element formunda kükürt uygulamasında bir değişiklik olmamıştır.

2.11. Mikoriza Biyoçar Etkileşimi

Toprak bitki yönetimleri ekosistem bilinci gelişmeye başladığından beri daha önemli hale gelmiş bulunmakta bitkilerin veriminin arttırılmasının yanında aynı zamanda toprakların sürdürülebilirliği, topraklara karbon kazandırılması ve bu yolla atmosferdeki karbondioksit miktarının azaltılması önemli olmaktadır. Bilindiği üzere atmosferde artan karbondioksit ve eşdeğeri gazlar ile birlikte küresel ısınma oluşmakta küresel ısınma ile birlikte de iklimler değişmektedir. Bu olumsuz durumu azaltmak için son zamanlarda sıklıkla çalışılan konuların başında gelen biyoçar gelmektedir. Biyoçar ile birlikte son zamanlarda sıklıkla çalışılan konulardan olan mikorizada önem kazanmaktadır. Mikoriza ve biyoçar uygulamalarının son yıllarda sıklıkla çalışıldığı görülmektedir. (Xin ve ark., 2022) Kompost ve biyoçar ilavesinin AM mantar toplulukları üzerindeki eski etkilerini anlamak için, Kuzeydoğu Çin'deki Songnen Ovası'nda yaptıkları bir saha çalışmasında uygulamadan iki yıl sonra kompost ilavesi, toprak agregat stabilitesini iyileştirdiği, ancak kompost ilavesinin AM mantar topluluğu üzerinde eski bir etkisi tespit etmediklerini ve AM fungal Shannon çeşitliliği ve Pielou düzgünlük indekslerinin bir kerelik biyoçar ilavesiyle önemli ölçüde arttığını, PERMANOVA analizi, biyoçar ilavesinin AM mantar topluluğu üzerindeki eski etkisini de ortaya çıkardığını bildirmişlerdir. J. Sun ve ark. (2022) Yürüttükleri çalışmada mısır bitkilerini, tek başına veya kombinasyon halinde biyoçar ve AMFs ile işlenmiş saksılarda yetiştirildiğini ve AMF'lerin veya biyoçar bireysel uygulamasının mısır büyümesini ve sürgünlerde ve köklerdeki mineral içeriklerini (P, K, Ca, Na, Mg, Fe, Mn ve Zn dahil) artırdığını gösterdiğini, AMF'lerin mısır büyümesi, besin

emilimi veya fotosentetik pigmentler üzerinde biyoçar sinerjistik etkileri olmadığını, Toprağa biyoçar uygulaması, kök dokularında mikorizal kolonizasyonu %40,58 oranında önemli ölçüde azalttığını ve mikorizal bağımlılıkta %80,57'den -%28,67'ye önemli bir düşüş eşlik ettiğini, biyoçar ve AMF'lerin uygulanmasının mısır büyümesini, besin alımını ve fizyolojik özellikleri etkileyebileceği sonucuna vardıklarını bildirmişlerdir. Sobhani ve ark. (2022) yürüttükleri çalışmada biyoçar, mikoriza ve farklı azot dolarını çalışmışlar ve 4 ton/ha biyoçar ile birlikte mikoriza ile aşılanan bitkinin kök kolonizasyonunda (%8) önemli bir artış gösterdiğini, 4 ton/ha biyoçar ile 100 kg N/ha uygulamasının ve AMF aşılamasının buğdayın büyüme ve verimini arttırmada yararlı ve etkili bir role sahip olduğunu bildirmişlerdir. Siles ve ark. (2022) Zeytin atıklarından elde edilen materyalin farklı sıcaklıklarda biyoçarlaştırılması ve mikoriza ilavesinin topraklarda yarattığı etkinin incelenmesi amacı ile yürütülen çalışmada AMF mantarları ile birlikte biyoçar uygulanmasının, kısa vadede orta düzeyde metal kirliliği olan topraklardaki mikrobiyal toplulukların durumunu iyileştirmek için uygun bir yaklaşım olduğunu gösterdiğini bildirmişlerdir. Nirukshan ve ark. (2022) Verimsiz toprakların ıslah edilmesi için yürüttükleri çalışmada biyoçar uygulamasının ıslak koşullar altında ürün büyümesi üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını, kuru koşullar altında ise muhtemelen kireçlemenin neden olduğu P mevcudiyeti yoluyla ve ayrıca muhtemelen AMF büyümesinin bir miktar artmasıyla, ürün büyümesini ve P alımını uyardığı sonucuna vardıklarını bildirmişlerdir. Ndiate ve ark. (2022) tuz stresi altındaki alanlarda mikoriza ve biyoçarın etkisini incelemek için yürütülen çalışmada, biochar ve AMF'nin birlikte uygulanmasında buğday bitkilerinde kısmen bitki boyunun (%14,1), sürgün taze biyokütlesinin (%75,7), kök taze biyokütlesinin (%24,9), kısmen enzimatik aktiviteseinin (%49,5) arttığını, mevcut bulgular, biyoçarın özel olarak dahil edilmesinin ve AMF ile biyoçarın sinerjistik uygulamasının, buğday üretiminde tuzluluk stresinin zararlı etkilerini azaltmak için umut verici bir yol olarak kullanılabileceği sonucuna vardıklarını bildirmişlerdir. Maseka ve ark. (2022) Su kıtlığı önemleri için yürütülen çalışmada biyoçar ve mikorizanın etkisi farklı arıtma yöntemlerinde buğdayda incelenmiş ve buğday için biyoçar ilavesiyle kök uzunluğu ve kolonize kök uzunluğunun arttığı bildirilmiştir. Langeroodia ve ark. (2022) Yürüttükleri çalışmada biyoçar ve arbusküler mikorizal mantarların ayçiçeği üzerindeki birleşik etkileri incelenmiş ve inceleme sonucunda biyoçar uygulaması ve mikoriza aşılaması bitki performansını iyileştirdiğini, ayçiçeği bitkilerinin net fotosentez oranını olumlu yönde etkilediğini, biyoçar ve AMF'nin benimsenmesi, kuraklık koşullarının etkisini azaltabileceğini ve biyoçar ve AMF'nin beraber uygulanması ayçiçeği yetiştiriciliğini destekleyebileceğini bildirmişlerdir.

2.12. Biyoçarın Mikoriza Kolonizasyonuna Etkisi

Bitki yetiştiriciliğinde ortamda mikorizanın varlığının yanında mikorizanın bitki kökü ile birliktelik kurması köke nüfus etmesi yani kök infeksiyonu da son derece önemlidir bu durumda mikorizanın ortamda varlığı kadar kolonizasyonu da son derece önemlidir. Mikorizanın kolonileşmesini olumlu veya olumsuz etkileyen faktörler mevcuttur. Bitki yetiştiriciliği ve

toprakların sürdürülebilirliğini sağlamak için toprağa uygulanan uygulamanın aynı zamanda mikoriza kolonizasyonunu da olumlu etkilemesi istenmektedir. Bu noktada mikoriza ile birlikte uygulanan uygulamalar önem kazanmaktadır. Bu uygulamalardan olan biyoçar ile ilgili farklı çalışmalar yapılmış ve farklı sonuçlar elde edilmiştir. Sobhani ve ark. (2022) yürüttükleri çalışmada biyoçar, mikoriza ve farklı azot dolarını çalışmışlar ve 4 ton/ha biyoçar ile birlikte mikoriza ile aşılanan bitkinin kök kolonizasyonunda (%8) önemli bir artış gösterdiğini bildirmişlerdir. Maseka ve ark. (2022) Su kıtlığı önemleri için yürütülen çalışmada biyoçar ve mikorizanın etkisi farklı arıtma yöntemlerinde buğdayda incelenmiş ve buğday için biyoçar ilavesiyle kök uzunluğu ve kolonize kök uzunluğunun arttığı bildirilmiştir. Yang ve ark. (2022) farklı sıcaklıklarda biyoçar ve mikoriza aşılamasının patateste fotosentez üzerindeki etkileri ve diğer bitki özelliklerini araştırmak için yaptıkları çalışmada dört çeşit biyoçarın özellikle yüksek sıcaklıkta pirolize edilen biyoçarların genel olarak patatesin azot ve fosfor içeriğini azalttığını fakat biyoçarın besin içeriği üzerindeki bu olumsuz etkisinin AMF tarafından hafifletildiğini, biyoçarın kalitesi ile AMF simbiyozu arasındaki etkileşimlerin patatesin fotosentezi üzerindeki etkisi, bitki besin içeriği ve yaprak yapıları üzerindeki etkilerle ilişkili göründüğünü ve sonuç olarak patates bitkileri, doğal tarla koşullarında AM simbiyozu oluşturduğundan, değiştirilmiş biyoçarın kapsamı ve kalitesi ile etkileşimi, bitki besin içeriği, büyümesi ve verimi için belirleyici bir faktör olabileceğini bildirmişlerdir. Wen ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada pirinç kabuğundan ve odundan elde edilen biyoçarın AMF ile birleştirilmesi sonucu toprak besin mevcudiyeti ve pirinç kökü özellikleri üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda her iki biyoçarın da mikorizal kolonizasyonu önemli ölçüde artırdığını ve Pirinç kabuğu biyoçarının Odun biyoçarından daha büyük etkiler gösterdiğini, Korelasyon analizi sonucunda mikorizal kolonizasyon oranının toprak besin mevcudiyeti fosfor potasyum, mikrobiyal karbon ve azot ile önemli bir pozitif korelasyona sahip olduğunu gösterdiğini ve sonuç olarak ta bitki besin maddesi birikimindeki artışın, mikorizal kolonizasyonun artması ile olduğunu bununda biyoçar ve AMF interaksiyonu sayesinde olduğunu bildirmişlerdir. Zhao ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada karga otu gelişimi üzerine biyoçar, mikoriza ve azotun etkisini incelemiş ve biyoçarın mikorizal kolonizasyon oranını önemli ölçüde artırdığını bildirmişlerdir. Trentin ve ark. (2022) yürüttükleri çalışmada AMF ve biyoçar arasındaki ilişkinin, bitki organlarındaki birincil makro besinlerin seviyelerine ve substratta yetiştirilen çilek bitkilerinin üretken potansiyeline etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda %9 biochar ile yetiştirilen bitkiler, diğer uygulamaların aksine taçta daha yüksek mikorizal kolonizasyona ve daha yüksek potasyum içeriğine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Jabborova ve ark. (2022) kısıtlı sulama koşullarında yürüttükleri çalışmada biyoçar ve mikorizanın soya bitkisinin gelişimine ve kuraklığa karşı etkisi incelenmiştir. İnceleme sonucunda kuraklık koşullarında, AMF ve biyoçarın ikili uygulamaları, kontrole göre mikrobiyal biyokütleyi %28,3, AMF spor sayısını %52,0, alkalin fosfomonoesterazı %45,9, dehidrojenazı %46,5 ve flüoresin diasetat aktivitelerini %52,2 arttırdığını bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmalarda biyoçarın mikorizal kolonizasyonu olumlu etkilediğini bildiren çalışmalar olduğu gibi biyoçarın etkisinin olmadığını hatta biyoçarın mikorizal kolonizasyonu azalttığını bildiren çalışmalarda mevcuttur. J. Sun ve ark. (2022) yürüttükleri çalışmada mısır bitkilerini, tek başına veya kombinasyon halinde biyoçar ve AMF ile işlenmiş saksılarda yetiştirildiğini, toprağa biyoçar uygulaması, kök dokularında mikorizal kolonizasyonu %40,58 oranında önemli ölçüde azalttığını ve mikorizal bağımlılıkta %80,57'den -%28,67'ye önemli bir düşüş eşlik ettiğini bildirmişlerdir.

2.13. Biyoçar ve Mikoriza Uygulamalarının Verime Etkisi

Toprağa uygulanan biyoçar ve mikoriza birlikteliğinin bitki verimini etkileyip etkilemediği konusunda çalışmalar mevcuttur. Sobhani ve ark. (2022) yürüttükleri çalışmada biyoçar, mikoriza ve farklı azot dolarını çalışmışlar ve 4 ton/ha biyoçar ile birlikte mikoriza ile aşılanan bitkinin kök kolonizasyonunda (%8) önemli bir artış gösterdiğini, 4 ton/ha biyoçar ile 100 kg N/ha uygulamasının ve AMF aşılamasının buğdayın büyüme ve verimini arttırmada yararlı ve etkili bir role sahip olduğunu bildirmişlerdir. Rehman ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada organik gübreler, biyoçar ve mikorizanın buğday bitkisinin büyümesi ve ağır metallerden olan nikel alımı üzerine etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda kontrolle karşılaştırıldığında, biyoçar ve mikoriza birlikte uygulandığında, mantar popülasyonlarını önemli ölçüde arttığı ve buğday büyümesindeki en önemli artış ve dokulardaki Nikel içeriğindeki azalmanın toprağın AMF aşılaması ve biyoçardan kaynaklandığı bildirilmiştir. Ndiate ve ark. (2022) tuzlu topraklarda biyoçar ve mikorizanın etkisinin araştırıldığı çalışmada, biyoçar ve AMF'nin birlikte uygulanması ile buğday bitkilerinde kısmen bitki boyunun (%14,1), taze sürgün ağırlığının (%75,7), kök taze ağırlığının (%24,9), kısmen enzimatik aktivitenin (%49,5) arttığını ve AMF ile biyoçar sinerjistik uygulamasının, buğday üretiminde tuzluluk stresinin zararlı etkilerini azaltmak için umut verici bir yol olarak kullanılabileceği sonucuna varıldığını bildirmişlerdir. Langeroodia ve ark. (2022)'ın farklı sulama, farklı biyoçar ve mikoriza uygulamalarının etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, AMF ile birleştirilmiş biyoçar uygulaması, uygulanmamış bitkilere kıyasla kök biyokütlesi (+%15), gövde çapı (+%12), bitki boyu (+%5) ve baş çapı (+%15) agronomik artışlar sağlamıştır.

Jabborova ve ark. (2022) kısıtlı sulama koşullarında yürüttükleri çalışmada biyoçar ve mikorizanın soya bitkisinin gelişimine ve kuraklığa karşı etkisi incelenmiştir. İnceleme sonucunda Kuraklık koşullarında, AMF ve biyoçarın ikili uygulamaları, kontrole göre soya fasulyesindeki sürgün ve kök büyüme parametrelerini, toplam klorofil ve azot içeriğini önemli ölçüde arttırdığını, Biyoçar ve AMF ile birleştiğinde su stresi koşullarında AMF spor sayısını, mikrobiyal biyokütleyi ve toprak enzim aktivitelerini olumlu etkilendiğini, Kuraklık stresinde, biyoçar ve AMF'nin ikili uygulamaları mikrobiyal biyokütleyi %28,3, AMF spor sayısını %52,0, alkalin fosfomonoesterazı %45,9, dehidrojenazı %46,5 ve flüoresin diasetat aktivitelerini %52,2 arttırdığını ve en son olarak

biyoçar ve AMF ile ikili uygulamalar, su stresi koşullarında soya fasulyesi yetiştiriciliğine fayda sağladığını bildirmişlerdir.

2.14. Biyoçar ve Mikorizanın Toprak Besin Element Alımına Etkisi

Bitkilerin sağlıklı bir şekilde yetiştirilmesi ve ürün vermeleri için su ve güneş kadar ortamda bitki besin elementlerinin mevcudiyeti de önemlidir. Ortamda bulunan besin elementlerinin ya da dışardan ilave edilen besin elementlerinin ya da besin elementi için uygulanan uygulamaların da bitki tarafından alınabilecek şekilde ortamda bulunması gerekmektedir. Bu besin elementlerin alına bilirliği ya da yarayışlılığı birçok parametre tarafından kontrol edilmektedir. Ortama ilave edilen biyoçar ve mikoriza birlikteliğinin nasıl bir fayda sağlayacağı merak konusu olmaktadır. Toprağa uygulanan biyoçar ve mikoriza ile ilgili yapılan çalışmalar kadar biyoçar ve mikoriza birlikteliği hakkında yapılan çalışmaları da bulunmaktadır. Almaca (2010) yaptığı çalışmada mikorizanın, bitki beslenmesinde önemli bir yeri olduğunu, özellikle P ve Zn başta olmak üzere pek çok elementin bitkiye alınmasında etkili rol aldığını ve ekolojik tarımsal üretim için mikoriza üretiminin önemli olduğunu bildirmiştir. Wen ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada pirinç kabuğundan ve odundan elde edilen biyoçarın AMF ile birleştirilmesi sonucu toprak besin mevcudiyeti ve pirinç kökü özellikleri üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda tek başına biyoçar ve AMF uygulamasıyla karşılaştırıldığında, biyoçar ve AMF kombinasyonu toprak $NO3^{-}$-N içeriğinde, mevcut K içeriğinde ve toplam P içeriğinde önemli artışlara yol açarken $NH4^{+}$-N içeriğinde önemli ölçüde azalmaya yol açtığını, Biyoçar ve AMF'nin birlikte bitki besin alımı ve kök büyümesi üzerindeki olumlu etkileri, biyoçar veya AMF'nin mevcut olduğu zamandan daha fazla olduğunu Genel olarak, AMF ile birleştirilen biyoçarın toprak besin mevcudiyetini ve kök büyüme stratejisini iyileştirdiğini ve ardından pirincin besin elementi alım kapasitesini desteklediğini gösterdiğini bildirmişlerdir. Sobhani ve ark. (2022) yürüttükleri çalışmada biyoçar, mikoriza ve farklı azot dolarını çalışmışlar ve 4 ton/ha biyoçar ile 100 kg N/ha uygulamasının ve AMF aşılamasının buğdayın büyüme ve verimini arttırmada yararlı ve etkili bir role sahip olduğunu bildirmişlerdir. Trentin ve ark. (2022) yürüttükleri çalışmada AMF ve biyoçar arasındaki ilişkinin, bitki organlarındaki birincil makro besinlerin seviyelerine ve substratta yetiştirilen çilek bitkilerinin üretken potansiyeline etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda %9 biyoçar ile yetiştirilen ve C. etunicatum mantar türü veya mikoriza topluluğu ile aşılanan bitkilerde, toprak üstü kısımda ve/veya kökte daha yüksek seviyelerde azot ve fosfor tespit edildiğini ayrıca %9 biyoçar ile yetiştirilen bitkiler, diğer uygulamaların aksine taçta daha yüksek mikorizal kolonizasyona ve daha yüksek potasyum içeriğine sahip olduğunu bildirmişlerdir.

Bitki besin elementlerinin bitkiye alımını sağlamak kadar bazı metallerin bitkiye alınmasını ya da emilmesini engellemekte son derece önemlidir. Zhao ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada karga otu gelişimi üzerine biyoçar, mikoriza ve azotun etkisini incelemiş ve topraktaki kirliliği azaltma etkileri açısından, AMF ve biyoçarın kombine uygulaması arsenik (As) emilimini engellediğini

bununla birlikte AMF ve N gübresi varlığında biyoçarın, sürgün ve kökteki bakır (Cu) ve kurşun (Pb) konsantrasyonunu önemli ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

Özet olarak biyoçar, mikoriza ve bunların birlikte uygulandığı çalışmalarda, her bir uygulamanın ekolojik koşullar, toprak yapısı, bioçarın yapıldığı materyal ve sıcaklığın etkilerinin çok farklı sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak tarla koşullarında biyoçar ve mikorizanın atmosferden karbon fiksasyonu ve bitkisele verimlik üzerine etkisi çok az çalışılmıştır. Bu bağlamda biyoçar ve mikoriza uygulamasının CO_2 fiksasyonu ve toprakta karbon tutulması olası iklim değişimleri içinde önem arz etmektedir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Deneme Alanı

Deneme 2020 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme deneme alanında yer alan ve bölgenin yaygın toprak serilerinden Menzilat serisinin bulunduğu alanda kurulmuştur. Menzilat serisi A ve C horizonlarından oluşmuş genç bir toprak olup düz, drenajları iyi, orta tekstürlü, derin bir topraktır (Gülez ve Şenol, 2002). Deneme alanına ait görüntü Şekil 3.1 de verilmiştir. Deneme toprağının kısmi fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri Çizelge 3.1'de belirtildiği gibidir.

Şekil 3.1. Deneme alanının Google Earth görüntüsü (Kırmızı Kare içinde kalan alan)

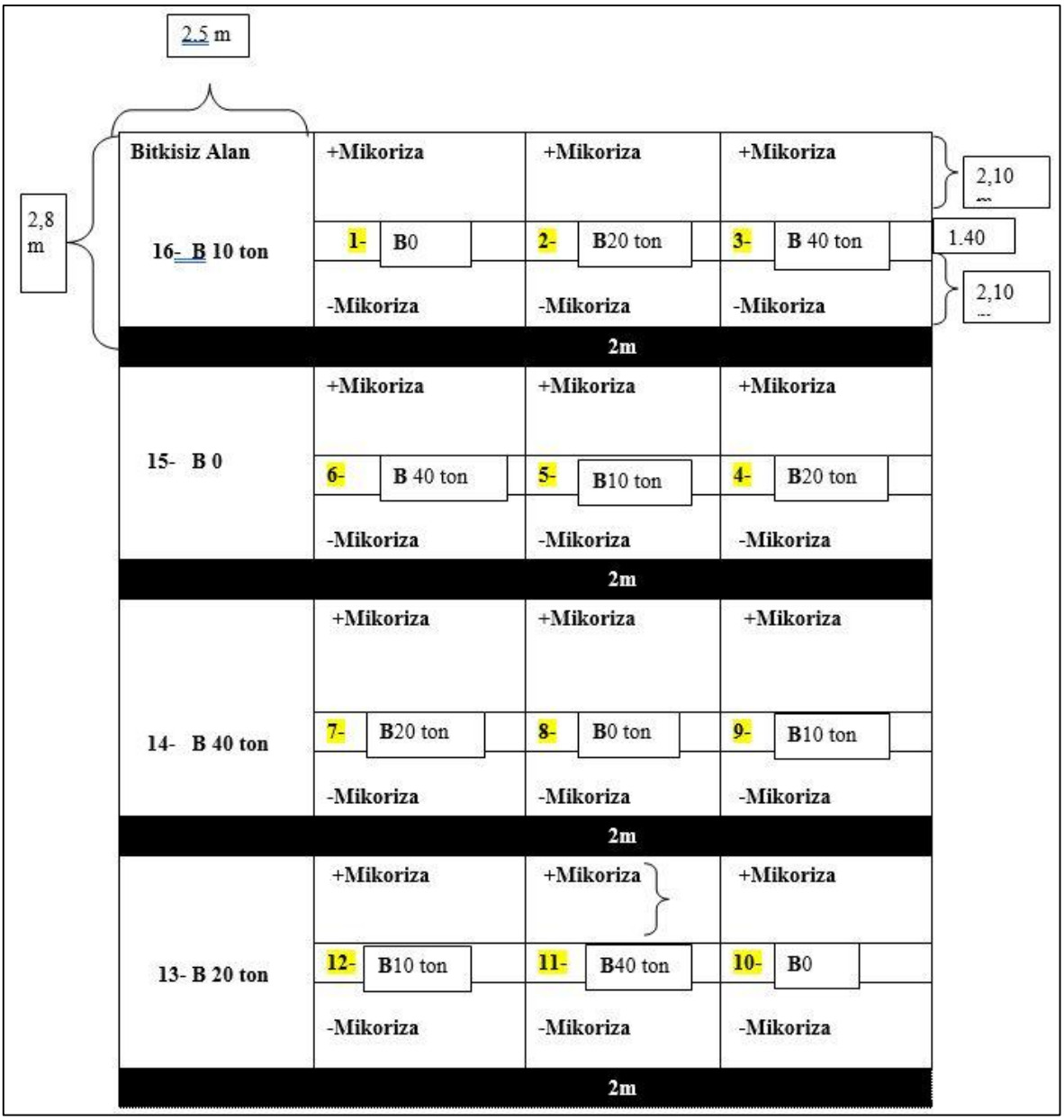
Çizelge 3.1. Menzilat serisi toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Hacım ağırlığı (g cm^{-3})	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Tuz (%)	pH (1:2.5)	$CaCO_3$ (%)	Organik madde (%)	P_2O_5 (kg da^{-1})
1.35	16.88	42.75	40.37	0.19	7.6	30.41	1.12	4.8

Deneme Deseni

Çalışma bölünen parseller deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Denemede 4 farklı biyoçar dozu uygulanmış (0, 10, 20 ve 40 ton ha^{-1}), mikorizalı ve mikorizasız parseller oluşturulmuş bu şekilde 24 parsellik bir deneme alanı oluşturulmuştur. Denemenin yan tarafında boş

kalan bitkisiz alanlarda da biyoçar uygulanmış (0, 10, 20 ve 40 ton ha^{-1}) ve karbondioksit (CO_2) ölçümleri ve analizler için kontrol olarak kullanılmıştır. Deneme deseni ve parselizasyon şekil 3.2. de verilmiştir.



Şekil 3.2. Deneme Deseninin Görüntüsü.

3.1.1. Deneme Materyali Olarak kullanılan Biyoçar

Biyoçar olarak kullanılan materyal, turunç bitkisinin (Biokütle) oksijensiz ortamda yakılması sonucu elde edilmiş karbon bakımından zengin katı materyaldir. Söz konusu materyal toz haline gelerek 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra tarla toprağı sürülmeden 4 farklı doz biyoçar uygulanmış (0, 10, 20 ve 40 ton/ha) biyoçar uygulaması sonrası disk karo ile toprağa karıştırılmış ve arkasından sulanarak biyoçarın toprağa nüfuz etmesi sağlanmış ve bu şekilde biyoçar yaklaşık 20 cm derinliğe uygulanmıştır. Araştırma 2020 ve 2021 yıllarında yürütülen denemenin ilk yılında biyoçar

bir defaya mahsus olarak uygulanmış, ikinci yıl biyoçar uygulaması yapılmamıştır. Biyoçar uygulamasının yapıldığı parsellerin görselleri Şekil 3.3'te verilmiştir.

Şekil 3.3. Parsellere biyoçar uygulaması

3.1.2. Denemede Kullanılan Mikorizaların Seçimi ve Çoğaltılması

Denemede mikorizalı parseller için kullanılmak üzere *G. deserticola, G. versiform, G. mosseae, G. etinucatinum, G. clarium, G. macrocorpium, G. margarita* ve *Acaulospora levers,* mikoriza türlerinden oluşturulan karışık kokteyl (kompoze) mikoriza ortamı kullanılmıştır. Seçilen mikorizalar Ziraat Fakültesi toprak bilimi ve bitki besleme deneme alanında konteyner ortamında tuzak bitki kullanılarak çoğaltılmıştır.

3.1.3. Denemede Kullanılan Bitki Seçimi

Denemede bir C4 bitkisi olan P2105 mısır (*Zea Maize* L.) çeşidi bitki materyali olarak kullanılmıştır.

Şekil 3.4. Mısır ekilen parseller

Şekil 3.5. Deneme alanına elle serpme gübre atılması.

3.2. Metot

3.2.1. Denemenin Kurulması ve Gübreleme Programı

Mısır ekimi yapılmış parseller 5 metre uzunluğunda ve 5.6 metre genişliğinde toplam 28 metrekare olacak şekilde düzenlenmiştir. Ekimde dekara ekilecek mısır tohumları elle sıra arası 70 cm sıra üzeri yaklaşık 15-17 cm olacak şekilde ekim yapılmıştır. Mısır ekimi sonrası her iki deneme yılında da toprak analizlerine göre dekara 50 kg P_2O_5 ha^{-1} olmak üzere TSP taban gübresi, bitki gelişim dönemi boyunca 360 kg ha^{-1} azot gelecek şekilde üre gübresi uygulanmıştır. Gübreler parsel alanlarına elle serpme yöntemine göre uygulanmıştır. Gübrelemenin yapıldığı anda çekilen görüntüler Şekil 3.5. te verilmiştir.

Mikoriza uygulaması her iki deneme yılında mısır tohumlarının yaklaşık 50 mm altına gelecek şekilde elle uygulanmıştır. Sıra arası ve sıra üzeri mesafeye uygun olarak çapa ile açılan yarıkların içindeki tohum yatağına önce belirlenen miktarda mikoriza eklenmiş üzeri toprak ile kapatılmış ve ekimi ise el ile yapılmıştır. Ekim sonrası can suyu verilmiştir. Deneme alanının ekimden sonra mısır çıkışları Şekil 3.4'te verilmiştir.

3.2.2. Deneme Toprağının Örneklenmesi

Hasat sonrası parsellerden yıllık 0-15 cm ve 15-30 cm derinliklerden toprak örnekleri alınmıştır. Topraklar hava kurusu ortamda kurutulduktan sonra analize hazır hale getirilmiş ve sonra toprak örnekleri 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Belirlenen toprak analizleri Güzel ve ark. (1990)'a göre yapılmıştır. Deneme hasadından sonra toprak örneklerinin alınmasına ait görüntü şekil 3.6'da verilmiştir.

Şekil 3.6. Hasat sonrası toprak örneklerinin alınması.

3.2.3. Deneme Bitkisinin Hasadı ve Örneklenmesi

Her iki deneme yılında da Mısır bitkisi hasat edilmiş hasat sırasında tüm bitki hasat edilmiş ve daha sonra laboratuvar ortamında koçanlar ayıklanmış koçanlar ayıklandıktan sonra daneler çekilmiştir. Tüm bitkinin hasadından sonra toprakta kalan kökler minimum kayıp ile düzgün bir şekilde alınmaya çalışılmış ve alınan tüm bitki aksamları laboratuvarda bulunan tartılarda yaş ağırlıkları alınmıştır. Yaş ağırlıkları alınan bitkiler gerekli yıkama işlemlerinden sonra etüve atılmış etüvde 65derecede 24 saat kalan bitkiler kuru ağırlıklarının alınmasından sonra uygun koşullarda öğütülmüş ve analize hazır hale getirilmiştir. Mısır Bitkisinin hasat zamanı çekilen görüntüleri Şekil 3.7'de verilmiştir.

Şekil 3.7. Mısır bitkisinin hasat zamanı çekilen görüntüsü.

3.2.4. Denemenin Toprak-Bitki Analizleri ve Ölçümleri

Denemede elde edilen materyaller uygun şartlarda hazırlanıp muhafaza edildikten sonra analizlere tabi tutulmuş ve elde edilen analiz sonuçları eksiksiz bir şekilde sisteme girilmiştir.

Sera Gazı Emisyonu

Sera gazı emisyonu (hava kalitesi indeksi) tarla koşullarında her uygulamaya yerleştirilmiş olan PVC arazi gaz odası kullanılmış ve CO_2 salınımı analiz edilmiştir. Her parselde kök bölgesi, bitki sıra arası ve bitkisiz biyoçar uygulanmış toprak alanları LICOR LI-8100 otomatik toprak

karbondioksit (CO_2) akış sistemi cihazı ile topraktan CO_2 emisyonu ölçümü yapılmıştır. Cihaz doğrudan topraktaki karbondioksit konsantrasyonunu, toprak nemini ve toprak sıcaklığını ölçmektedir. Değişik ölçüm noktalarında yapılacak uzun süreli veya anlık karbondioksit ölçümü µmol m^{-2} s^{-1}, toprak nemi % ve toprak sıcaklığı ^0C olarak cihaz içerisinde bulunan bellekte tutulmaktadır. Daha sonra bu bilgiler bilgisayar ortamında cihazın sahip olduğu yazılım sayesinde grafiksel ve matematiksel olarak değişimler izlenmiştir.

Şekil 3.8. Sera gazı emisyonun ölçüm anında çekilen görüntüler.

Toprakta Fosfor Analizi

Toprakta fosfor analizi Olsen (1954) metoduna göre elde edilmiş ve ekstraksiyon çözeltisi spektrofotometrede 882 nm'de okunmuştur.

Toprakta pH ve EC analizi

Toprağın pH değeri ve elektriksel iletkenlik değeri standart yöntemler kullanılarak analiz edilmiştir (Güzel ve ark., 1990).

Toprakta kireç analizi ve İnorganik karbon analizi

İnorganik Karbonu (IC) belirlemek için dijital kalsimetre kullanılmış ve ortaya çıkan kireç miktarından (CaCO3) inorganik karbon hesabına gidilmiştir.

Makro ve mikro besin elementi analizleri

Bitki dokularındaki (Üst aksam, kök ve dane) K, Fe, Zn, Cu, Mn elementleri kuru yakma yöntemine göre 5.5 saat ve 550 ^{O}C sıcaklık ile yakıldıktan sonra %37lik HCL çözeltisinin 1/3 oranında seyreltilmesi ile elde edilen çözeltiden 2 ml ve üzerine de 18 ml saf su ilave edilmesi sonucu elde edilen sıvı mavi bant filtre kâğıdı yardımı ile süzüldükten sonra ICP-Optik Emisyon Spektrofotometre (OES) aleti ile belirlenecektir Kacar ve Inal (2008).

Toprak ve bitkide Karbon ve azot analizi ve buna bağlı olarak organik karbon analizi

Toplam Karbon (TC) ve Toplam Azot (TN), Karbon: Azot (C:N), Fisher-2000 model kuru yakma analiz cihazı kullanılarak, fırında kurutulmuş ince toprakta (<125-µm) belirlenmiştir. Elde edilen total karbon miktarından kireç analizi sonucu orta çıkan inorganik karbon çıkarıldıktan sonra organik karbon elde edilmiştir. Ortaya çıkan organik karbonun total azota bölünmesi sonucu da karbon/azot oranı belirlenmiştir.

Kök Örneklemesi

Kök örneklemesi yüzeyden 40 cm derinliğe kadar alınan bitkinin ekili olduğu 1 m^2'lik alandan belirlenmiştir. Tarla denemelerinde hasat sonrası, bitkilerin kökleri topraktan kabaca temizlendikten sonra, önce bol çeşme suyu ile sonra da saf suyla yıkanmış ve yüzeyindeki fazla su kurutma kâğıdıyla alındıktan sonra bitki kökünün yaş ağırlığı belirlenmiştir. Kök uzunluğu ve mikorizal infeksiyonu belirlemek için bitki köklerinin canlılığının korunması amacıyla kökler, 250:13:5 oranındaki etanol, glasiyel asetik asit ve formelinden oluşan çözeltide depolanmıştır (Ortas, 1994).

Kök Uzunluğu Ölçümü

Mısır bitkilerinin köklerinin kök uzunluğu, kök çapı kök hacmi ve kök yüzey alanı WinRHIZO Kök Analiz Sistemi yardımıyla belirlenmiştir. Yıkanan ve temizlenen kökler tarayıcı optik okuyucusu ile taranacak ve bilgisayar ortamında toplam kök uzunluğu, kök hacmi, kök çapı ve yüzey alanı tespit edilmiştir.

Mikorizal İnfeksiyon

Kök temizleme ve boyama işlemi (Koske ve Gemma, 1989) göre yapılmıştır. Haşlanmış, temizlenmiş ve boyanmış kökler mikroskop slâytlarının üzerine taşınarak mikroskop altında 40- 60 büyütmeyle (Gioannetti ve Mosse, 1980) belirlediği yönteme göre belirlenmiştir.

Toprakta Mikoriza Sporu Sayımı

Sporlar ıslak eleme yöntemine göre izole edilerek nematot sayım kaplarında stereo mikroskop altında 25× büyütme ile sayılmıştır (Gerdemann ve Nicolson, 1963)..

3.2.5. Toprakta CO2 Metodu (Respirasyon) ile Karbon Mineralizasyonu

Topraklardaki karbon mineralizasyonu CO2 respirasyonu metodu ile kontrollü koşullarda (28 ^{o}C, tarla kapasitesinin % 80'inde nemlenmiş toprak) 45 gün boyunca incelenmiştir (Glicksman ve Schaefer, 1967). 750 ml'lik Mineralizasyon kavanozlarına hava kurusu elenmiş 50 g toprak konur. Topraklara kontrol,%1,%2 ve %4 dozunda turunç biyoçarı ilave edilir. Toprak örnekleri tarla kapasitelerinin % 80'i oranında nemlendirilir, su verilirken sürekli karıştırılıp kümelenmemesine dikkat edilir. 50 ml'lik cam behere 10 ml NaOH konur ve mineralizasyon kavanozunun ortasında açılan boşluğa yerleştirilir. 50 ml'lik cam behere 10 ml NaOH konur ve mineralizasyon kavanozunun ortasında açılan boşluğa yerleştirilir. Mineralizasyon kavanozlarının ağzı hava almayacak şekilde sıkıca kapatılarak 28 ^{o}C'lik etüvde inkübasyona bırakılır. Belirli günlerdeki periyotlarla kavanozlar çıkarılarak titrasyon işlemi yapılır.

Titrasyonda kavanozlardaki NaOH 1 M $BaCl_2$ 2 ml ile karıştırılarak çökertilir, 25 ml'lik cam beherlere alınır, üzerine 2 damla Fenolftalein eklenir, çözelti rengi pembeleşir. Bürete 1 M HCI asit ile doldurularak örnek yavaş yavaş titre edilir. Çözelti rengi pembeden beyaza döndüğü anda titrasyon işlemi bitirilir. Daha sonra harcanan asit not edilir.

Kontrol-örnek (ml) (asit miktarları) * 22 =Sonuç olarak kullanılan gram toprakta mg CO_2
Kullanılan kuru toprak ağırlığı

3.2.6. İstatistiksel Analizler ve Yorumlanması

Araştırmada elde edilen veriler SAS bilgisayar paket program yardımı ile ANOVA varyans analizi yapılmıştır. Uygulamalar arasındaki en küçük farklılıklar Tukey testi ile belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Denemesi

4.1.1. Uygulamaların Biyokütle ve Verim Üzerine Etkileri

Birinci dönemde, farklı biyoçar dozlarının ve mikoriza aşılamasının (+M ve –M) mısır bitkisinin kuru madde (kök, kök üstü, dane ve toplam biyokütle) verimine etkisi Çizelge 4.1'de görülmektedir. Elde edilen birinci dönem verilerinde uygulamalar arasında istatistiksel anlamda bir fark oluşmamıştır. Ancak ortalama değerler üzerinden +M uygulamasında dane ve toplam biyokütle kuru madde miktarı sırasıyla 12441 kg ha^{-1} ve 29484 kg ha^{-1}elde edilmiştir. -M ortalama değerler üzerinden dane kuru madde miktarı 11961 kg ha^{-1} biyokütle kuru madde miktarı ise 29103 kg ha^{-1} elde edilmiştir. +M uygulaması dane ve toplam biyokütlede kuru madde veriminin arttırdığı gözlemlenmiştir. Mikoriza aşılaması ile bitki verimi arasındaki ilişki sıkça görülmektedir (Lehman ve ark., 2019; Shi ve ark., 2020).

Farklı biyoçar uygulamalarının tarla koşullarında mısır bitkisinin farklı aksamlarındaki biyokütle ve verimine etkisi incelendiğinde B0 uygulamasına göre üst aksam, dane ve toplam biyokütle kuru madde ortalamasında artış gözlemlenmiştir. Kök kuru madde veriminde en yüksek değer -M B3 dozu 1937 kg ha^{-1}gözlenmiştir. En yüksek üst aksam kuru madde miktarı -M B2 dozu 16645 kg ha^{-1}, en yüksek dane kuru madde miktarı +M B2 dozu 13176 kg ha^{-1} elde edilmiştir. Toplam biyokütle kuru madde verimi ise en yüksek miktarı 31191 kg ha^{-1} -M B2 dozunda gerçekleşmiştir. Ancak bu artışın kök üstü, dane ve toplam biyokütle bakımından istatistiksel olarak dikkate değer bir fark olmadığı görülmektedir.

Kök kuru madde veriminde ise artan dozlarda biyoçar uygulaması ortalamalarda düşüşlere sebep olmuştur. Jeffery ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada biyoçarın bazı durumlarda bitki verimini olumsuz etki yaratabileceğini rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.1. Biyoçar dozları ve mikoriza aşılamasının mısır bitkisinin biokütle ve verim üzerine etkileri (kg ha^{-1})

Uygulamalar		Kök	Üst Aksam	Dane	Toplam Biyokütle
		Kuru Ağırlık (kg ha^{-1})			
M-	B0	1531 ±213	13467 ±3408	10802 ±2728	25800 ±5537
	B1	1671 ±265	15347 ±1072	12225 ±1156	29242 ±1411
	B2	1874 ±381	16645 ±2528	12672 ±611	31191 ±2629
	B3	1937 ±351	16095 ±3418	12145 ±2169	30177 ±4378
	-M Ort.	**1753 ±302**	**15389 ±2606**	**11961 ±1666**	**29103 ±3489**
M +	B0	1538 ±328	14958 ±2047	11981 ±1247	28477 ±2114
	B1	1631 ±177	16168 ±1339	13176 ±2042	30975 ±2114
	B2	1502 ±111	15823 ±1509	11680 ±301	29005 ±1223
	B3	1401 ±164	15151 ±3214	12925 ±1028	29477 ±3829
	+M Ort.	**1518 ±195**	**15525 ±2027**	**12441 ±1154**	**29484 ±2320**
	B0 Ort.	1535 ±270	14213 ±2728	11391 ±1987	27139 ±3825
	B1 Ort.	1651 ±221	15758 ±1205	12701 ±1599	30109 ±1762
	B2 Ort.	1688 ±246	16234 ±2018	12176 ±456	30098 ±1926
	B3 Ort.	1669 ±257	15623 ±3316	12535 ±1598	29827 ±4103
Uygulamalar	Sd	Önemlilikler (P)			
M	1	0.0931	0.4633	0.9387	0.3235
B	3	0.2518	0.3550	0.1166	0.3556
M*B	3	0.0945	0.7965	0.3447	0.4969

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir

Çizelgede 4.1'de Biyoçar ortalamalarına baktığımızda kök, üst aksam, dane ve toplam biyokütlede B0 ortalamalarına göre artış gözlemlenmiştir. Kök, dane, üst aksam ve kuru madde veriminde mikorizasız parsellerde genelde en yüksek değerin B2, mikorizalı parsellerde ise B1 dozunda gerçekleşmiş olup ortalamalarının B2 doz civarında olduğu görülmüştür. Sun ve ark. (2020) de gerçekleştirmiş oldukları çalışmada beş farklı doz (0, 1, 2.5, 5 ve 10 % mm) biyoçar uygulamasının toprak bitki ve mikrobiyal etkileri incelemişlerdir. Söz konusu çalışmada kontrole kıyasla B uygulamasının verimi arttırdığı ancak optimum dozun 1-2.5 %mm aralığında olduğu rapor edilmiş olup çalışmamızı kısmen desteklemektedir.

Mısır bitkisi dane veriminin mikoriza uygulaması yapılan parsellerde B1 dozu (10 kg ha^{-1}) en yüksek B2 ve B3 dozu daha düşük bulunmuştur ancak B1, B2 ve B3 dozlarının hepsinde B0 dozuna göre verimde artış gözlemlenmiştir.

Mikorizasız parsellerdeki dane veriminde ise en yüksek ortalama B2 uygulamasında görülmüştür. Mikoriza uygulaması yapılan parsellerde de B0 uygulamasında göre verimde artış saptanmıştır. Ortalama değerler üzerinden mikorizasız parsellerden 11961 kg ha^{-1} verim elde edilirken mikorizalı parsellerde ise 12441 kg ha^{-1} verim elde edilmiştir. Mikoriza uygulaması %3.9 artışla 480 kg ha^{-1} daha yüksek bir verim elde edilmiştir. Mikoriza mantarının bitki verimini arttırdığına dair literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır (Hijri, 2016; Ortas, 2012; Zhang ve ark., 2019). Mikoriza mantarı su ve besin elementi (Wu ve ark., 2021) sağlayarak konukçu bitkinin gelişimini ve verimini arttırır.

Ortalama toplam biyokütle verimi -M uygulamasında 29103 kg ha^{-1} olarak elde edilirken +M uygulamasında ise 29484 kg ha^{-1} elde edilmiştir. Kök veriminde artan dozlarda biyoçar uygulamasına bağlı olarak değerlerin düşmesinin nedeni biyoçarın geniş yüzey alanı olduğu düşünülmekte bu sebepten dolayı besin elementlerini tutarak bitkinin toprak çözeltisindeki besin elementlerinden yararlanmasından dolayı etkilenmiş olabilir. Araştırma bulgularımıza destek mahiyesindeki Jeffery ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada biyoçarın bazı durumlarda bitki verimine olumsuz etki yaratabileceğini rapor etmişlerdir.

4.1.2. Hasat Sonrası Üst Aksam, Kök ve Dane Makro Element Konsantrasyonları ve İçerikleri

Farklı dozlarda biyoçar uygulamaları ve +M aşılamasının mısır üst aksam makro besin elementi konsantrasyonlarına etkisi istatistiksel olarak dikkate değer bir fark oluşturmamıştır. Ancak M uygulamaları bakımından +M uygulamalarında Ca, K ve Mg besin elementinde ortalamalar daha yüksek çıkmıştır. +M uygulamalarında besin element konsantrasyonlarında ortalama Ca, K, Mg ve P değerleri sırasıyla % 1.13, % 0.48, % 0.26 ve % 0.15 olarak ölçülmüştür. -M uygulamalarında ise Ca, K, Mg ve P değerleri sırasıyla % 1.08,% 0.41,% 0.24 ve % 0.15 olarak saptanmıştır. Çizelge 4.2'de biyoçar ortalamalarına bakıldığında artan biyoçar uygulamalarında farklı dozlarda farklı artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca artan biyoçar uygulamalarına bağlı olarak farklı bitki besin elementleri farklı dozlarda artış göstermiştir. Bitki gelişiminde olduğu gibi makro besine elementi alımınıda mikorizasız parsellerde genelde en yüksek değerin B2, mikorizalı parsellerde ise B1 dozunda gerçekleşmiş olup ortalamalarının B2 doz civarında olduğu görülmektedir. Biyoçar ve mikorizanın mısır bitkisinin üst aksam makro besin elementi alımına etkisi hakkında yapılan çalışmalar bulgularımızı destekler nitelikte olup J. Sun ve ark. (2022) yapmış oldukları çalışmada kontrol uygulamalarına kıyasla üst aksam K, Ca, Mg değerleri mikoriza ve biyoçarın hem bireysel hem de ikili uygulamalarıyla önemli ölçüde arttığını rapor etmişlerdir. Yapılan başka çalışmalarda da mısır bitkisinin besin element alımının ve büyümesinin artmasında biyoçarın rolu olduğu bildirilmişir (Efthymiou ve ark., 2018; Liang ve ark., 2019). Biyoçarın bitki büyümesinde ve besin alımında etkili olmasının sebebinin toprakta bir besin elementi kaynağı olarak hareket etmesi belirtilmiştir (Hossain ve ark., 2020a).

Biyoçar uygulamasının bitki beslenmesini arttırması beklenen bir durum olmakla birlikte bulunan sonuçlar biyoçar bakımından hipotezimizi kısmi destekler niteliktedir.

Çizelge 4.2. Hasat sonrası mısır bitkisi üst aksam makro besin elementleri % konsantrasyonları

Uygulamalar		Ca	K	Mg	P
			(%)		
M-	B0	1.09 ±0.00	0.48 ±0.41	0,22 ±0,10	0,15 ±0,06
	B1	1.17 ±0.00	0.41 ±0.16	0,25 ±0,11	0,15 ±0,07
	B2	1.21 ±0.25	0.44 ±0.27	0,28 ±0,06	0,15 ±0,05
	B3	0.85 ±0.39	0.32 ±0.16	0,20 ±0,09	0,14 ±0,15
	-M Ort.	1.08 ±0.16	0.41 ±0.25	0,24 ±0,09	0,15 ±0,08
M +	B0	1.08 ±0.00	0.63 ±0.43	0,26 ±0,13	0,17 ±0,06
	B1	1.31 ±0.00	0.51 ±0.57	0,23 ±0,07	0,17 ±0,04
	B2	1.05 ±0.00	0.37 ±0.15	0,26 ±0,04	0,14 ±0,06
	B3	1.07 ±0.00	0.43 ±0.44	0,31 ±0,20	0,12 ±0,03
	+M Ort.	1.13 ±0.00	0.48 ±0.40	0,26 ±0,11	0,15 ±0,05
	B0 Ort.	1.08 ±0.00	0.55 ±0.42	0,24 ±0,12	0,16 ±0,06
	B1 Ort.	1.24 ±0.00	0.46 ±0.37	0,24 ±0,09	0,16 ±0,06
	B2 Ort.	1.13 ±0.13	0.41 ±0.21	0,27 ±0,05	0,14 ±0,06
	B3 Ort.	0.96 ±0.19	0.37 ±0.30	0,26 ±0,15	0,13 ±0,09
Uygulamalar	Sd		Önemlilikler		
M	1	0.5670	0.2463	0.2947	0.8367
B	3	0.0803	0.1371	0.3310	0.3472
M*B	3	0.2822	0.4745	0.2446	0.4013

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Tarla koşullarında artan dozlarda biyoçar ve (+M,-M) uygulamalarının mısır bitkisinin hasat sonrası üst aksam makro element içeriklerine etkisi Çizelge 4.3'de verildiği gibidir. Üst aksam tarafından kaldırılan makro element miktarları istatistiksel açıdan önemsiz bulunmuştur (P>0.05). Ancak +M uygulamalarında ortalama değerleri -M uygulamalarına göre yüksek olduğu görülmektedir.Üst aksam Ca, K, Mg ve P içerikleri +M uygulamasında sırası ile 174 kg ha^{-1},77 kg ha^{-1}, 41 kg ha^{-1}, 23 kg ha^{-1} -M uygulamasında ise Ca, K, Mg ve P içerikleri 163, kg ha^{-1} 63 kg ha^{-1},35 kg ha^{-1}ve 22 kg ha^{-1} olarak görülmüştür. Besin element içeriklerinde en yüksek dozlar +MB1 uygulamasında 212 kg Ca ha^{-1}, +MB0 uygulamasında 91 kg K ha^{-1}, +MB4 uygulamasında 50 kg Mg ha^{-1} ve +MB1 uygulamasında 27 kg P ha^{-1} elde edilmiştir. Artan doz B uygulamalarına bağlı olarak Ca elementi +M ve -M her ikisinde de en yüksek B1 doz uygulamasında sağlanmıştır. Çizelge 4.3' te B ortalamalarına bakıldığında B0 ortalamalarına göre artan dozlarda Ca, Mg ve P' de kaldırılan besin element ortalaması yüksektir.

Mikoriza aşılamasının bitki besin elementi alımını (özelliklede P) arttırdığı literatürde (Javaid, 2009; Ortaş ve Rafique, 2017; Ortaş ve ark., 2017) geniş olarak çalışılmıştır. Benzer şekilde; Neumann ve George (2010) ve Ortas (2019) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada mikoriza mantarının hifleri yardımı ile bitkiye besin elementi sağladığı rapor edilmiştir. (Özyonar ve Peker, 2008; Pan ve ark., 2023) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada ise mikorizal aşılamanın mısır Ca, K ve Mg beslenmesini artmasına katkı sağladığı görülmektedir. Söz konusu çalışma araştırma bulgularımızı destekler niteliktedir.

Biyoçar uygulamasının mısır besin elementi alımını arttırması beklemektedir. Örneğin; Guo ve ark. (2017) gerçekleştirdikleri çalışmada biyoçar uygulamasının toprak kimyasal özelliklerini etkileyerek mısır besin elementi alımını arttırabileceği rapor edilmiştir. Ancak çalışmamızda her ne kadar biyoçar doz uygulamasının besin elementi içeriği artırılmış ancak istatistiksel olarak dikkate değer bir fark yaratmadığı görülmektedir.

Çizelge 4.3. Hasat sonrası mısır bitkisi üst aksamındaki makro besin elementleri içerikleri

Uygulamalar		Ca	K	Mg	P
		kg ha^{-1}			
M-	B0	152 ±75	63 ±20	28 ±15	19 ±7
	B1	180 ±44	64 ±19	39 ±14	23 ±11
	B2	201 ±45	75 ±28	45 ±6	26 ±11
	B3	132 ±60	52 ±40	34 ±7	25 ±29
	-M Ort.	**163 ±60**	**63 ±25**	**35 ±11**	**22 ±13**
M +	B0	165 ±60	91 ±45	40 ±19	25 ±9
	B1	212 ±47	82 ±28	37 ±14	27 ±6
	B2	167 ±37	58 ±19	40 ±18	21 ±9
	B3	160 ±37	65 ±16	50 ±37	19 ±8
	+M Ort.	**174 ±48**	**77 ±30**	**41 ±21**	**23 ±8**
	B0 Ort.	159 ±67	77 ±32	34 ±17	22 ±8
	B1 Ort.	196 ±45	73 ±23	38 ±14	25 ±9
	B2 Ort.	184 ±41	66 ±23	43 ±12	24 ±10
	B3 Ort.	146 ±49	58 ±28	42 ±22	22 ±19
Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.6110	0.3102	0.2093	0.8050
B	3	0.1150	0.5926	0.4571	0.9594
M*B	3	0.4183	0.2197	0.2302	0.5106

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Tarla koşullarında artan dozlarda biyoçar ve mikoiza uygulamalarının mısır bitkisinin hasat sonrası kök makro element konsantrasyonlarına etkisi Çizelge 4.4'de verildiği gibidir.

Mikoriza ile aşılanan bitkilerin hasat sonrası kök makro element konsantrasyonları bakımından, Ca besin elementinde mikoriza ve biyoçar interaksiyonu önemli bulunmuştur ($P<0.05$) diğer besin element değerlerinde istatistiksel fark bulunmamıştır. +M uygulamalarının kök konsantrasyonları Ca, K, Mg ve P ortalama değerleri sırası ile % 3.18, % 0.45, % 0.24, % 0.11 -M uygulamalarının kök konsantrasyonları ortalama değerleri ise % 2.76, % 0.39, % 0.24 ve % 0.09 olduğu görülmüştür. En yüksek kök makro element konsantrasyonları +MB3 uygulamasında Ca konsantrasyonu % 4.74, +MB0 uygulamasında K % 0.55, -MB2 uygulamasında K % 0.26 ve +MB0 uygulamasında Mg % 0.26 ve +MB1 ve B3 uygulamalarında P konsantrasyonu % 0.12 olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.4'de görülebileceği üzere mikoriza uygulaması yapılmayan parsellerde artan biyoçar uygulaması ile % Ca içeriği B2 dozuna kadar artmış, Mikoriza uygulaması yapılmış parsellerde ise B3 doz uygulamasına kadar artış sergilemiştir. +M uygulaması Ca konsantrasyonu

%3.18 iken, -M uygulamasında ortalama % 2.76 olarak gerçekleşmiştir. Ancak uygulamalar istatistiki olarak önemlilik arz etmemektedir. Biyoçar kök besin elementi konsantrasyon ortalamalarında Ca en yüksek ortalaması B3 doz uygulamasında % 3.65, en düşük konsantrasyon ise % 2.21 ile B0 ortalamasında elde edilmiştir. Mısır bitkisi kök besin element konsantrasyonlarında ise en yüksek B0 % 0.54, en düşük % 0.31 ile B2 dozunda görülmüştür. Ca, K ve P bitki besin elementleri konsantrasyonu genelde +M uygulamalarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Jiahua Sun ve ark. (2022) yapmış oldukları araştırmada tüm kök besin elementlerinin en yüksek çıktığı uygulamaların sırası ile biyoçar, biyoçar ve mikoriza interaksiyonu, mikoriza uygulaması ve kontrol uygulaması şeklinde olduğunu ve böylelikle kontrole kıyasla biyoçar ve mikorizanın kök besin elementi alımını olumlu etkilediğini bildirmişlerdir. Ancak çalışmamızda dikkate değer bir fark olmadığı görülmektedir. Her ne kadar hasat sonrası kökler dikkatli bir şekilde yıkansa da kök yüzeylerinde toprak partikülleri kalmış olabilir. Bu sebeple dikkate değer bir fark gözlemlenmemiş olabilir.

Çizelge 4.4. Hasat sonrası mısır bitkisi kök makro element % konsantrasyonları

Uygulamalar		Ca	K	Mg	P
			(%)		
M-	B0	1.85 ±1.15	0.53 ±0.41	0,23 ±0,06	0,10 ±0,06
	B1	2.98 ±2.00	0.35 ±0.16	0,22 ±0,04	0,09 ±0,02
	B2	3.65 ±0.94	0.38 ±0.27	0,26 ±0,05	0,07 ±0,03
	B3	2.57 ±1.19	0.30 ±0.16	0,24 ±0,02	0,08 ±0,02
	-M Ort.	**2.76 ±1.32**	**0.39 ±0.25**	**0,24 ±0,04**	**0,09 ±0,03**
M +	B0	2.57 ±1.18	0.55 ±0.43	0,26 ±0,08	0,09 ±0,03
	B1	2.01 ±0.83	0.52 ±0.57	0,24 ±0,05	0,12 ±0,06
	B2	3.40 ±1.29	0.24 ±0.15	0,21 ±0,02	0,09 ±0,03
	B3	4.74 ±2.33	0.49 ±0.44	0,23 ±0,05	0,12 ±0,07
	+M Ort.	**3.18 ±1.41**	**0.45 ±0.40**	**0,24 ±0,05**	**0,11 ±0,04**
	B0 Ort.	2.21 ±1.17	0.54 ±0.42	0,25 ±0,07	0,10 ±0,04
	B1 Ort.	2.50 ±1.41	0.43 ±0.37	0,23 ±0,04	0,10 ±0,04
	B2 Ort.	3.52 ±1.11	0.31 ±0.21	0,24 ±0,03	0,08 ±0,03
	B3 Ort.	3.65 ±1.76	0.39 ±0.30	0,23 ±0,04	0,10 ±0,04

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.2626	0.6218	0.4366	0.3196
B	3	0.0684	0.4980	0.0874	0.3377
M*B	3	0.0192	0.0635	0.4279	0.3400

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Farklı doz biyoçar uygulamaları (B0, B1, B2 ve B3) ve mikoriza uygulamalarının (+M, -M) mısır bitkisinin kök makro element içeriği üzerine etkileri Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Farklı dozlarda uygulanan biyoçar ve mikoriza uygulamalarının mısır kök organlarındaki makro elementleri içeriğine etkisi incelendiğinde, uygulamalar arasında istatistiksel bir farklılık gözlemlenmemiştir. Ancak mikoriza uygulamaları bakımından +M uygulaması -M uygulamasına göre ortalaması sırası ile Ca, K ve P daha yüksek ölçülmüştür. +M ve -M uygulamalarında farklı

doz biyoçar değerlerine karşılaştırıldığında -M uygulamalar altında artan biyoçar dozları ile bitki dokularındaki K, ve P besin element içeriğinde düşüş gözlemlenmiştir. Tersinden, Ca ve Mg içeriğinde ise artan dozlarla artış görülmüştür. Mikoriza aşılaması yapılan uygulamalarda artan doz biyoçar uygulamalarında ise K ve Mg besin element içeriklerinde artan biyoçar dozlarında azalma olduğu saptanmıştır. Ca içeriği yönünden artan biyoçar doz artış Ca içeriğini artıdığı görülürken, P besin element içeriğinde ise kontrole göre artan B dozlarda genel olarak artış gözlemlenmiştir. Biyoçar kök gelişiminde bitki ve mikroorganizma arasındaki aktivite ve simbiyotik ilişkide değişime sebep olup köklerdeki gelişimi değişime uğratabilmektedir (Jones ve ark., 2012; Sohi ve ark., 2010). Birçok makro ve mikro besin öğesinin biyoyararlılığı biyoçar uygulamasından etkilenmekte olduğu rapor edilmiştir (Bornø ve ark., 2019). Biyoçar uygulaması Ca'u artırabilir veya Mg antagonistik etkilere neden olarak besin element içeriğinde azalmaya neden olabilmektedir (Bornø ve ark., 2019; Farhangi-Abriz ve Torabian, 2018). Bu nedenle, biyoçarın uygulanmasının potansiyel faydalarını en üst düzeye çıkarmak için dikkatli bir değerlendirme yapılması gerekmektedir (Farrar ve ark., 2021). En yüksek besin element içerikleri -MB2 uygulamsında 68 kg Ca ha^{-1}, +M B0 uygulamasında 8.85 kg K ha^{-1}, -M B2 uygulama dozda 4.94 kg Mg ha^{-1}, +MB2 uygulaması koşulları altında ise 1.87 kg P ha^{-1} olarak saptanmıştır. Bitki dokularındaki artan biyoçar dozları B ortalama (B0, B1, B2 ve B3 ortalama) değerleri kontrole kıyasla Ca içeriğinde artış, K içeriğinde düşüş ve Mg ve P içeriklerinde ise belirgin bir artış olmamıştır.

Çizelge 4.5. Hasat sonrası kök makro element içerikleri

Uygulamalar		Ca	K	Mg	P
		kg ha^{-1}			
M-	B0	29 ±18	8.42 ±6.84	3.57 ±1.12	1.63 ±0.90
	B1	51 ±37	5.78 ±3.08	3.66 ±0.75	1.50 ±0.48
	B2	68 ±18	6.93 ±4.47	4.94 ±1.47	1.35 ±0.79
	B3	48 ±31	5.27 ±3.30	4.59 ±1.05	1.45 ±0.68
	-M Ort.	**45 ±24**	**6.96 4.91**	**4.07 1.10**	**1.51 0.75**
M +	B0	42 ±32	8.85 ±8.45	4.18 ±2.04	1.41 ±0.81
	B1	33 ±5	8.61 ±10.85	3.92 ±0.87	1.87 ±1.03
	B2	51 ±19	3.82 ±2.72	3.16 ±0.30	1.33 ±0.51
	B3	67 ±35	6.84 ±6.18	3.19 ±0.76	1.77 ±1.02
	+M Ort.	**47 ±25**	**7.39 ±7.33**	**3.73 ±1.20**	**1.56 ±0.84**
	B0 Ort.	35 ±25	8.63 ±7.65	3.88 ±1.58	1.52 ±0.85
	B1 Ort.	42 ±21	7.20 ±6.97	3.79 ±0.81	1.68 ±0.75
	B2 Ort.	59 ±19	5.38 ±3.60	4.05 ±0.88	1.34 ±0.65
	B3 Ort.	58 ±33	6.06 ±4.74	3.89 ±0.91	1.61 ±0.85
Uygulamalar	Sd				
M	1	0.9396	0.9064	0.2068	0.5146
B	3	0.1121	0.6800	0.9196	0.7031
M*B	3	0.1103	0.7144	0.0960	0.6146

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Tarla koşullarında artan dozlarda biyoçar uygulaması mikoriza aşılamalarının hasat sonrası mısır bitkisinin dane makro element konsantrasyonuna olan etkisi analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.6' de sunulmaktadır. Farklı biyoçar dozları ve mikoriza aşılamasının mısır dane besin elementi konsantrasyonuna etkisi incelendiğinde istatistiksel olarak dikkate değer bir fark olmadığı ve % Ca, K, Mg ve P konsantrasyonlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Ca, Mg, P ve K besin elementleri +M ve -M uygulamaları ortalama konsantrasyonları önemli bir farklılık oluşturmadığı görülmüştür. B doz ortalamalarına üzerinden makro besin elementi konsantrasyonları B0 uygulaması diğer dozlara oranla yüksek olduğu görülmektedir. Araştırma verileri B doz uygulamaları üzerinden dikkate değer bir farkın görülmemesinin nedeni; biyoçarın başlangıçta ayrışma hızının yavaş olması ve besin elementi salma etkisinin sınırlı kalması yanında toprakta alınabilir besin elementlerini biyoçarın sahip olduğu geniş yüzey alanı nedeniyle ortamda tuttuğu kanaati oluşmuştur. Ancak Major ve ark. (2010) tarafından yürütülen araştırmada biyoçar uygulamasının mısır bitkisinin besin elementi konsantrasyonunu arttırdığını belirtmişlerdir. Benzer bir araştırmada Yang ve ark. (2020) biyoçar ve mikoriza uygulamalarının patates bitkisinin beslenmesini ve verimini arttırdığını rapor edilmişlerdir.

Mikoriza mantarı bitkilere su ve besin elementi sağlayarak (Smith ve ark., 2008), biyoçar ise toprak fiziko-kimyasal özelliklerini değiştirerek (Zhang ve ark., 2021) bitki besin elementi alımını arttırması beklenmektedir.

Çizelge 4.6. Hasat sonrası dane makro element % konsantrasyonları

Uygulamalar		Ca	K	Mg	P
		(%)			
M-	B0	0.02 ±0.02	0.33 ±0.06	0.09 ±0,01	0,26 ±0,04
	B1	0.02 ±0.01	0.35 ±0.04	0.10 ±0,01	0,26 ±0,02
	B2	0.01 ±0.01	0.35 ±0.04	0.09 ±0,01	0,26 ±0,01
	B3	0.01 ±0.00	0.34 ±0.06	0.09 ±0,02	0,27 ±0,04
	-M Ort.	**0.01 ±0.01**	**0.34 ±0.05**	**0.09 ±0,01**	**0,26 ±0,03**
M +	B0	0.05 ±0.05	0.31 ±0.02	0.09 ±0,02	0,24 ±0,02
	B1	0.02 ±0.02	0.33 ±0.05	0.09 ±0,01	0,26 ±0,02
	B2	0.01 ±0.01	0.33 ±0.03	0.07 ±0,01	0,23 ±0,02
	B3	0.03 ±0.06	0.31 ±0.02	0.08 ±0,01	0,24 ±0,03
	+M Ort.	**0.03 ±0.03**	**0.32 ±0.03**	**0.08 ±0,01**	**0,24 ±0,02**
	B0 Ort.	0.04 ±0.04	0.32 ±0.04	0.09 ±0,02	0,25 ±0,03
	B1 Ort.	0.02 ±0.01	0.34 ±0.04	0.09 ±0,01	0,26 ±0,02
	B2 Ort.	0.01 ±0.01	0.34 ±0.03	0.08 ±0,01	0,25 ±0,02
	B3 Ort.	0.02 ±0.03	0.33 ±0.04	0.08 ±0,01	0,25 ±0,03
Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.8367	0.4902	0.1319	0.2983
B	3	0.3472	0.0959	0.5020	0.3295
M*B	3	0.4013	0.3620	0.1529	0.2689

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Farklı biyoçar dozları ve mikoriza aşılamasının mısır dane besin elementi içeriğine etkisi incelendiğinde ise (Çizelge 4.7) yine istatistiksel olarak dikkate değer bir fark olmadığı

gözlemlenmektedir. Ancak ortalama olarak bitkiler tarafından topraktan kaldırılan Ca miktarı B0 dozunda en yüksek, K, Mg ve P bakımından ise yine dikkate değer bir fark gerçekleşmemiştir. Ortalama olarak biyoçar uygulaması mısır dane makro element içeriğini (kg ha^{-1}) arttırmıştır. Ayrıca ortalama olarak B1-B2 arası uygulamalar kontrole kıyasla en yüksek besin elemnti içeriklerine sahip uygulamalardır. Gaur ve Adholeya (2000) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada B uygulamasının P alımını arttırmadığını rapor etmişlerdir.

Literatürde mikoriza mantarı ile biyoçar uygulamalarının verimi arttırmadığına dair çok az çalışma bulunmaktadır (Daniel D Warnock ve ark., 2007b). Ayrıca Wallstedt ve ark. (2002) ise ekto mikoriza sisteminde N alımını arttırmadığını rapor etmişlerdir.

Liu ve ark. (2002) mısır bitkisinde gerçekleştirmiş oldukları çalışmada mikoriza mantarının mısır besin elementi alımını (Ca, Mg ve P gibi) arttırdığını rapor etmişlerdir. Ayrıca, Guo ve ark. (2017) yapmış oldukları çalışmada biyoçar uygulamasının mısır bitkisinde toprak verimliliğini arttırdığı rapor edilmiştir. Biyoçar geniş yüzey alanı, pH, KDK ve zengin OC içeriği gibi özellikleri sayesinde toprak verimliliğini ve dolayısı ile bitki beslenmesini arttırabilir. Ancak yüksek dozda B uygulaması mısır beslenmesinde kısmen düşüşlere neden olabilir. Demirbas ve ark. (2017) yapmış oldukları çalışmada artan dozlarda biyoçar uygulamalarının bitki besin elementi alımına etkisi incelenmiştir. Söz konusu çalışmada yüksek dozlarda biyoçar uygulamasının besin elementi alımını azalttığı görülmekte olup araştırma bulgularımızı kısmen desteklemektedir.

Çizelge 4.7. Hasat sonrası dane makro element içerikleri

Uygulamalar		Ca	K	Mg	P
		kg/ha^{-1}			
M-	B0	1.42 ±1.44	35 ±8	9 ±2	28 ±7
	B1	2.42 ±1.21	43 ±6	12 ±2	33 ±4
	B2	1.04 ±0.88	45 ±6	11 ±1	34 ±2
	B3	0.70 ±0.18	42 ±11	11 ±3	33 ±8
	-M Ort.	**1.40 ±1.03**	**40 ±8**	**11 ±2**	**31 ±6**
M +	B0	4.12 ±5.08	37 ±4	11 ±2	28 ±2
	B1	2.01 ±1.90	42 ±7	12 ±2	33 ±4
	B2	0.98 ±0.80	38 ±3	9 ±1	27 ±2
	B3	4.02 ±8.64	40 ±5	10 ±2	31 ±5
	+M Ort.	**3.86 ±4.30**	**39 ±5**	**11 ±1**	**29 ±3**
	B0 Ort.	4 ±3	36 ±6	10 ±2	28 ±4
	B1 Ort.	2 ±2	42 ±7	12 ±2	33 ±4
	B2 Ort.	1 ±1	41 ±5	10 ±1	30 ±2
	B3 Ort.	2 ±4	41 ±8	10 ±3	32 ±7
Uygulamalar	Sd				
M	1	0.9927	0.9620	0.1820	0.7027
B	3	0.3265	0.1542	0.2144	0.3700
M*B	3	0.4437	0.2670	0.0840	0.2390

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.3. Hasat Sonrası Üst Aksam, Kök ve Dane Mikro Element Konsantrasyonları ve İçerikleri

Hasat sonrası mısır bitkisinin üst aksam mikro element konsantrasyonları Çizelge 4.8'de sunulmuştur. İstatistiksel sonuçlara göre M uygulamaları (-M ve +M) arasında mikro besin element içeriğinde fark görülmemiştir. Mikoriza uygulamaları ortalama değerleri bakımından +M uygulamasında -M uygulaması ortalama değerine göre Mn ve Cu yüksek ölçülmüştür. B doz uygulamalarının istatistiksel sonuçlara göre ortalamalar arasında fark önemsiz bulunmuştur. Biyoçar ve mikoriza interaksiyonları Mn besin elementinde istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur

Mikoriza ve biyoçar interaksiyonunda hem +M hem de -M uygulamalarındaki B dozlarında B0 dozuna kıyasla artan dozlarda biyoçar Mn, Cu ve Zn mikro besin element konsantrasyonları ortalamasını arttmıştır. Biyoçar ortalama değerlerine göre ise artan doz artışına bağlı olarak Mn, Cu ve Zn ortalama mikro element konsantrasyonları artmıştır.. Jiahua Sun ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada biyoçar ve mikoriza uygulamalarının mısırın büyümesini ve besin alımını arttırdığını bildirmişlerdir. Hossain ve ark. (2020a) yaptıkları çalışmada biyoçarın bitki besin maddelerinin önemli bir kaynağı olabileceğini ve bitkilere makro besin maddeleri ve mikro besin maddeleri sağlayabileceğini aynı zamanda bitkilerde besin element verimliliğini artırdığını bildirmişlerdir. Jabborova ve ark. (2021) yaptığı çalışmada biyoçar ve mikorizanın çeşitli mahsul bitkilerinin büyümesini iyileştirdiği rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.8. Hasat sonrası üst aksam mikro element konsatrasyonları

Uygulamalar		Fe	Mn	Zn	Cu
		(mg kg^{-1})			
M-	B0	13 ±8	76 ±38	17 ±7	18 ±11
	B1	16 ±8	126 ±67	33 ±13	19 ±6
	B2	12 ±3	99 ±42	37 ±24	19 ±4
	B3	18 ±14	62 ±38	32 ±28	20 ±8
	-M Ort.	**15 ±8**	**91 ±46**	**30 ±18**	**19 ±7**
M +	B0	13 ±7	86 ±47	21 ±12	20 ±9
	B1	14 ±3	71 ±9	18 ±4	19 ±2
	B2	11 ±3	103 ±30	22 ±6	24 ±4
	B3	17 ±10	149 ±69	32 ±18	27 ±12
	+M Ort.	**14 ±6**	**102 ±39**	**23 ±10**	**23 ±7**
	B0 Ort.	13 ±8	81 ±42	19 ±10	19 ±10
	B1 Ort.	15 ±6	99 ±38	25 ±9	19 ±4
	B2 Ort.	11 ±3	101 ±36	30 ±15	21 ±4
	B3 Ort.	18 ±12	105 ±53	32 ±23	24 ±10
Uygulamalar	Sd		Önemlilikler		
M	1	0.4793	0.2529	0.1255	0.0177
B	3	0.1320	0.3084	0.1346	0.0951
M*B	3	0.9940	0.0003	0.2140	0.2678

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Çizelge 4.9'da mikoriza ve biyoçarın mısır bitkisinin üst aksam mikro element alımına etkileri incelendiğinde mikorizanın etkisinin istatistiksel anlamda ortalamalar üzerinde pozistif bir etkisi olmadığı, biyoçarın Fe ve Cu alımı üzerine etkisinin istatistiki olarak önemli olduğu

görülmüştür. Mikoriza ve biyoçar etkileşimi verileri karşılaştırldığında hem -M hem de +M uygulamalarında Fe ve Cu besin elementi alımlarının istatistiksel anlamda önemli olduğu görülmektedir. Mikorizaların mısır bitkisi üst aksam mikro element değerlerine etkisine bakıldığında Fe, Mn, Zn ve Cu (g ha^{-1}) içeriklerinde en yüksek değerler sırası ile –M uygulamsında 290 (g Fe ha^{-1}) +M uygulamasında 221 (g Mn ha^{-1}), -M uygulamasında 477 (g Zn ha^{-1}) ve +M uygulamsında 832 (g Cu ha^{-1}) uygulamalarında elde edilmiştir.

Biyoçar uygulamalarının ortalama değerlerine bakıldığında analizi yapılan tüm mikro elementlerde en yüksek değerler B3 uygulamasında elde edilmiştir. Fe elementi içeriği hariç biyoçar uygulamasında tüm uygulamalarda kontrole kıyasla artan dozlara bağlı olarak artışlar görülmektedir. En yüksek besin element içerikleri Fe, Mn, Zn ve Cu için sırası ile 243, 169, 406 ve 711 (g ha^{-1}) olarak B3 uygulamasında elde edilmiştir. Mikoriza ve biyoçar birlikteliğine bakıldığında hem +M hem de -M uygulamalarında kontrole kıyasla artışlar görülmektedir. Biyoçar bitki gelişimi için uygun ortam oluşumuna katkı sağlayabilir (Jiang ve ark., 2020; Tan ve ark., 2017). Bununla birlikte, toprakta biyoçar uygulamalarının bitki verimliliğine olan etkisi biyoçar özelliklerinin, toprak koşullarının, deneme tasarımlarının ve çevresel koşulların yüksek heterojenliği nedeniyle değişiklik gösterebildiği önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Hussain ve ark., 2017). Araştırma sonuçları biyoçarın bitki verimliliğine etkisi topraklar arasında -%35,8 ile +%294 arasında değişebilmekte olduğu rapor edildi (Hussain ve ark., 2017).

Çizelge 4.9. Hasat sonrası üst aksam mikro element içerikleri

Uygulamalar		Fe	Mn	Zn	Cu
		(g/ha-1)			
M-	B0	189 ±106b	114 ±33	188 ±40	499 ±249b
	B1	250 ±135ba	205 ±103	415 ±189	552 ±168ba
	B2	193 ±57b	187 ±83	477 ±324	581 ±96a
	B3	290 ±218a	117 ±45	374 ±384	591 ±86a
	-M Ort.	**222 ±125**	**147 ±60**	**328 ±195**	**544 ±169**
M +	B0	190 ±58ba	152 ±94	246 ±143	577 ±262b
	B1	232 ±63a	117 ±27	233 ±66	603 ±85b
	B2	167 ±51b	155 ±45	256 ±76	690 ±155ba
	B3	196 ±168ba	221 ±59	438 ±154	832 ±236a
	+M Ort.	**195 ±80**	**159 ±64**	**284 ±116**	**656 ±200**
	B0 Ort.	189 ±82	133 ±64	217 ±91	538 ±255
	B1 Ort.	241 ±99	161 ±65	324 ±128	578 ±127
	B2 Ort.	180 ±54	171 ±64	366 ±200	635 ±126
	B3 Ort.	243 ±193	169 ±52	406 ±269	711 ±161
Uygulamalar	Sd				
M	1	0.1928	0.2498	0.1824	0.2113
B	3	0.0121	0.2942	0.1648	0.0224
M*B	3	0.2039	0.0010	0.4207	0.9216

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Biyoçar ve mikorizanın mısır bitkisinin kök mikro element konsantrasyon değerlerine etkisi Çizelge 4.10'da verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde Mn besin elementinde biyoçar dozları

arasındaki fark önemli bulunmuş diğer besin elementlerinde uygulama ve interaksiyonda veriler istatistiksel anlamda önemli görülmemiştir.

Mikoriza uygulamalarının mikro element konsantrasyonuna etkisine bakıldığında +M uygulamasından etkisinin pozitif yönde bir artışa sebebiyet verdiği görülmektedir. Mikorizaların mısır bitkisi kök mikro element konsantrasyonuna etkisine bakıldığında Fe, Mn, Zn ve Cu değerlerinde en yüksek değerler sırası ile 263, 116, 27 ve 13 mg kg^{-1} olarak +M uygulamalarında elde edilmiştir. Mikorizanın bitkiye besin elementlerinden özellikle fosfor, potasyum, azot, demir, çinko, bakır ve molibden alımını arttırdığı bildirilmiştir (Ortaş ve ark., 1998).

Biyoçar uygulamalarının etkisine bakıldığında en yüksek değerlerin biyoçar uygulanan parselde olduğu görülmektedir. Biyoçar uygulamasına bağlı olarak Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyon değerlerinde en yüksek değerler sırası ile 310, 127 ve 29 mg kg^{-1} olarak B1 uygulamasında, 18 olarak B3 uygulamasında elde edilmiştir.

Mikorizalı ve mikorizasız biyoçar uygulamaları incelendiğinde Fe için en yüksek değer 384 mg kg^{-}olarak +M*B1 uygulamasında, Mn için 130 mg kg^{-1} olarak -M*B1 uygulamasında, Zn için 31 mg kg^{-1} olarak -M*B1 uygulamasında ve Cu için 19 mg kg^{-1} olarak -M*B1 uygulamasında elde edilmiştir. Biyoçarın toprağa uygulanması bitki gelişimini artırmaktadır, fakat biyoçarın uygulama dozu ve nasıl uygulandığı biyoçarın etkisini etkilemektedir. (2005) yaptıkları çalışmada farklı uygulama oranlarında farklı biyoçarlar kullanarak bitki verimliliğindeki önemli artışları (%20-220 oranında) belgelediler. Yapılan meta analiz çalışmaları sonuçlarına göre biyoçar tarafından önemli ölçüde bitki verimliliği artmasına rağmen bu verim artışının büyük ölçüde biyoçar özellikleri ve toprak koşullarına bağlı olduğu rapor edilmiştir (Jeffery ve ark., 2017; Liu ve ark., 2013).

Çizelge 4.10. Hasat sonrası kök mikro element konsantrasyonları

Uygulamalar		Fe	Mn	Zn	Cu
		(mg kg-1)			
M-	B0	275 ±151	108 ±24b	24 ±6	6 ±1
	B1	235 ±41	130 ±30a	31 ±11	19 ±22
	B2	269 ±132	107 ±45b	25 ±10	5 ±2
	B3	216 ±49	97 ±11cb	23 ±10	17 ±18
	-M Ort.	**249 ±93**	**110 ±28**	**26 ±9**	**12 ±11**
M +	B0	223 ±68	113 ±15b	31 ±4	17 ±17
	B1	384 ±141	123 ±21a	26 ±4	12 ±10
	B2	223 ±122	114 ±17ba	24 ±8	5 ±1
	B3	220 ±56	114 ±13ba	27 ±7	18 ±20
	+M Ort.	**263 ±97**	**116 ±17**	**27 ±6**	**13 ±12**
	B0 Ort.	249 ±109	110 ±20	27 ±5	11 ±9
	B1 Ort.	310 ±91	127 ±25	29 ±7	16 ±16
	B2 Ort.	246 ±127	110 ±31	25 ±9	5 ±2
	B3 Ort.	218 ±53	106 ±12	25 ±9	18 ±19

Uygulamalar	Sd				
M	1	0.6153	0.3271	0.5504	0.5932
B	3	0.1442	0.0468	0.5179	0.5368
M*B	3	0.0522	0.5110	0.2287	0.2354

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Mikoriza ve biyoçarın mısır bitkisinin kök mikro element içeriğine etkisi Çizelge 4.11'de verilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde Biyoçar ve mikoriza uygulamalarının etkisi istatistiksel anlamda önemsiz görülmüştür. Mikorizaların mısır bitkisi kök mikro element içeriğine etkisine bakıldığında Fe, Mn, Zn ve Cu değerlerinde en yüksek değerler sırası ile 436, 194 ve 47 g ha^{-1}olarak -M uygulamasında, 13 olarakta +M uygulamasında elde edilmiştir.

Biyoçar uygulamalarını mısır bitkisinin kök mikro element besin içeriğine etkisine bakıldığında en yüksek değerlerin biyoçar uygulamasının yapıldığı parsellerde olduğu görülmektedir. Biyoçar uygulamalarına ait en yüksek Fe, Mn, Zn ve Cu içerik değerleri sırası ile 507, 207 ve 47 g ha^{-1} olarak B1 uygulamasında, 32 olarak B3 uygulamasında elde edilmiştir.

Mikorizalı ve mikorizasız biyoçar uygulamaları incelendiğinde Fe için en yüksek değer 628 g ha^{-1} olarak +M*B1 uygulamasında, Mn için 215 g ha^{-1} olarak -M*B1 uygulamasında, Zn için 53 g ha^{-1} olarak -M*B1 uygulamasında ve Cu için 37 g ha^{-1} olarak -M*B3 uygulamasında elde edilmiştir. Meta analizler, biyoçar uygulamalarının bitki verimliliğini ~%10 hatta ~%25 artırabileceğini göstermektedir(Biederman ve Harpole, 2013). Yapılan literatür çalışmalarında mikorizanın veya biyoçarın bireysel uygulamasının mısır büyümesini, üst aksam ve köklerdeki mineral içeriğini (P, K, Ca, Na, Mg, Fe, Mn ve Zn dahil) arttırdığını gösterdiğini bildirlmektedir (Jiahua Sun ve ark., 2022).

Çizelge 4.11. Hasat sonrası kök mikro element içerikleri

Uygulamalar		Fe	Mn	Zn	Cu
			(g ha-1)		
M-	B0	398 ±183	165 ±39	40 ±12	9 ±1
	B1	386 ±46	215 ±53	53 ±21	35 ±42
	B2	523 ±261	201 ±50	47 ±20	10 ±3
	B3	421 ±126	189 ±45	45 ±24	37 ±43
	-M Ort.	**436 ±163**	**194 ±47**	**47 ±17**	**18 ±15**
M +	B0	334 ±79	171 ±34	48 ±15	27 ±29
	B1	628 ±227	199 ±28	41 ±5	19 ±17
	B2	330 ±181	172 ±29	36 ±14	8 ±1
	B3	304 ±58	160 ±26	39 ±13	27 ±30
	+M Ort.	**399 ±136**	**175 ±29**	**41 ±12**	**20 ±19**
	B0 Ort.	366 ±131	168 ±37	44 ±13	18 ±15
	B1 Ort.	507 ±137	207 ±40	47 ±13	27 ±29
	B2 Ort.	427 ±221	186 ±39	41 ±17	9 ±2
	B3 Ort.	362 ±92	174 ±36	42 ±18	32 ±37

Uygulamalar	Sd				
M	1	0.6618	0.4408	0.3877	0.2799
B	3	0.1085	0.0681	0.8638	0.2746
M*B	3	0.0286	0.7766	0.4970	0.2550

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Biyoçar ve mikoriza uygulamalarının mısır dane mikro element konsantrasyonu üzerine etkisi sonuçlarına göre dane mikro element konsantrasyonu verileri uygulamaları arasında istatistiksel olarak dikkate değer bir farklılık yaratmamıştır (Çizelge 4.11). Ancak -M uygulaması yapılan parsellerde ortalama olarak B*M interaksiyonu incelendiğinde mikorizasız parsellerde B2 dozuna kadar bir artış olup B3 dozunda bir düşüş görülmektedir. Mikorizalı uygulanan ve uygulanmayan parseller arasında mikro element konsantrasyonu bakımından önemli bir fark görülmemektedir.

Biyoçar uygulamalarının besin kullanılabilirliği ve besin tutulmasına etkisi, üretilen materyel ve dozlara bağlı olarak değişmektedir (Sg ve ark., 2021). Farklı materyallerden ve farklı dozlardan üretilen biyoçar uygulamalarının nohut besin elementi alıımına etkisni araştırmış olup artan dozlarda biyoçar uygulamasının mikro element alımını arttırma eğiliminde olduğunu Sg ve ark. (2021) tarafından rapor etmişlerdir. Söz konusu çalışmanın sonuçları araştırma bulgularımızı kısmen destekler niteliktedir. Benzer şekilde Halder ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada mikoriza aşılamasının bitki mikro element alımını arttırdığı rapor edilmiştir.

Çizelge 4.12. Hasat sonrası dane mikro element konsantrasyonları

Uygulamalar		Fe	Mn	Zn	Cu
		(mg kg^{-1})			
M-	B0	23.4 ±6.0	3.8 ±1.1	18,1 ±0,9	3,5 ±0,9
	B1	23.6 ±4.6	4.3 ±1.4	18,6 ±1,4	3,0 ±0,1
	B2	39.2 ±23.9	5.2 ±1.9	20,1 ±1,8	5,1 ±3,7
	B3	28.0 ±8.0	4.6 ±1.1	19,7 ±3,3	3,5 ±0,9
	-M Ort.	**28.5 ±10.6**	**4.5 ±1.4**	**19,1 ±1,8**	**3,8 ±1,4**
M +	B0	30.1 ±23.4	4.1 ±0.7	19,4 ±3,3	3,7 ±0,8
	B1	24.7 ±5.5	4.0 ±0.4	19,3 ±2,6	3,3 ±0,4
	B2	24.5 ±10.4	4.0 ±1.5	19,4 ±8,3	3,7 ±0,6
	B3	27.7 ±9.4	4.1 ±1.2	17,9 ±1,8	3,1 ±0,4
	+M Ort.	**26.8 ±12.2**	**4.0 ±1.0**	**19,0 ±4,0**	**3,4 ±0,6**
	B0 Ort.	26.8 ±14.7	4.0 ±0.9	18,8 ±2,1	3,6 ±0,9
	B1 Ort.	24.2 ±5.1	4.1 ±0.9	18,9 ±2,0	3,1 ±0,3
	B2 Ort.	31.9 ±17.1	4.6 ±1.7	19,8 ±5,0	4,4 ±2,1
	B3 Ort.	27.8 ±8.7	4.3 ±1.2	18,8 ±2,5	3,3 ±0,7

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.8638	0.1517	0.3500	0.2818
B	3	0.5645	0.3057	0.1009	0.3613
M*B	3	0.2483	0.2636	0.6363	0.2708

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Mısır bitkisinin danede mikro besin elementi alımı verilerine göre biyoçar ve mikoriza uygulamalarının mısır dane mikro element içeriğine (g ha^{-1}) bitki dokularındaki konsantrasyonları sonucuna benzer şekilde B*M, B ve M uygulamaları istatistiksel olarak dikkate değer bir fark elde edilmemeiştir (Çizelge 4.12). Artan B doz artışına bağlı olarak B2 dozuna kadar ortalama mikro element alımı artmış B3 dozunda kısmen düşmüş olup mikorizalı ve mikorizasız uygulamalar arasında dikkate değer bir fark görülmemeiştir.

Mikoriza mantarı bitki gelişimini ve besin elementi alımını arttırması beklenir (Marschner ve Dell, 1994). Bornø ve ark. (2019) da gerçekleştirdikleri çalışmada biyoçar uygulamasının toprakta pH değişimine ve elementlerin hareketliliğini arttırmaya bağlı olarak besin elementi alımını arttırabileceği görülmektedir. Çalışma araştırma bulgularımızı kısmen destekler niteliktedir.

Çizelge 4.13. Hasat sonrası dane mikro element içerikleri

		Fe	Mn	Zn	Cu
			(g /ha^{-1})		
M-	B0	264 ±132	42 ±19	197 ±57	38 ±16
	B1	291 ±77	53 ±21	228 ±31	37 ±5
	B2	503 ±323	66 ±25	255 ±22	65 ±50
	B3	342 ±112	57 ±20	240 ±61	41 ±5
	-M Ort.	**350 ±161**	**54 ±21**	**230 ±43**	**45 ±19**
M +	B0	345 ±226	49 ±8	231 ±31	45 ±15
	B1	317 ±95	49 ±4	241 ±33	41 ±6
	B2	284 ±112	46 ±18	226 ±24	43 ±6
	B3	363 ±135	53 ±18	232 ±33	40 ±5
	+M Ort.	**327 ±142**	**50 ±12**	**232 ±30**	**42 ±8**
	B0 Ort.	305 ±179	46 ±13	214 ±44	41 ±15
	B1 Ort.	304 ±86	51 ±13	235 ±32	39 ±5
	B2 Ort.	393 ±217	56 ±22	240 ±23	54 ±28
	B3 Ort.	352 ±123	55 ±19	236 ±47	41 ±5
Uygulamalar	Sd		Önemlilikler		
M	1	0.8237	0.1590	0.3210	0.2990
B	3	0.5715	0.1877	0.3416	0.3372
M*B	3	0.1463	0.2636	0.2883	0.2720

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.4. Hasat sonrası farklı bitki aksamları azot konsantrasyonları ve bitkinin kaldırdığı toplam azot miktarları

Tarla koşullarında uzun süreli farklı doz biyoçar ve mikoriza uygulamaları ortamında yetiştirilen mısır bitkinin farklı aksamlarındaki (kök, üst aksam ve dane) azot (N) konsantrasyonları analiz edildi. Araştırma bulgularına göre artan biyoçar uygulaması ile bitki dokularındaki % N konsantrasyonu ve toplam N içeriğinin artığı ancak uygulamaların istatistiksel farklılık oluşturmadığı görülmektedir (Çizelge 4.14).

Mikoriza uygulaması yapılan bitkilerin dokularındaki %N ve toplam N alımı mikorizasız ortamda yetiştirilen mısır bitkilerinden daha yüksek oluğu belirlenmiştir.

Topraktan kaldırılan toplam azot değerleri incelendiğinde biyoçar uygulaması kıyasında en yüksek değerin 617.6 kg ha^{-1} ile B3 uygulamasında olduğu mikoriza uygulaması kıyasında ise en yüksek değerin 551.8 kg ha^{-1} ile +M uygulamasında olduğu yapılan analizler sonucu saptanmıştır. Güereña ve ark. (2013) yapmış olduğu çalışmada biyoçar uygulamasının bitki N içeriği ve N kullanım etkinliğini arttırabildiği rapor etmişlerdir. Hammer ve ark. (2014) gerçekleştirdiği çalışma da genel olarak biyoçar ve +M uygulamalarının bitki gelişimini arttırdığı ancak farklı çevre koşulları veya biyoçar konsantrasyonunu yüksek olması durumunda bitki gelişimini olumsuz etkileyebileceğini rapor etmişlerdir. Elde edilen verilere bakıldığında mikoriza ve biyoçar uygulamalarının yapmış olduğu olumlu etki hipotezimizi destekler niteliktedir.

Çizelge 4.14. Hasat sonrası mısır bitkisinin farklı aksamlarındaki %N konsantrasyonu ve bitki N içerikleri

Uygulamalar		Kök		Üst Aksam		Dane		Toplam
		N (%)	N (kg ha^{-1})	N (%)	N (kg ha^{-1})	N (%)	N (kg ha^{-1})	N (kg ha^{-1})
M-	B0	1.18 ±0.12	18.1 ±3.0	1.59 ±0.10	215.8 ±64.1	1.68 ±0.50	171.6 ±26.6	405.4 ±63.1
	B1	1.25 ±0.07	21.0 ±3.8	1.64 ±0.08	251.4 ±12.9	1.82 ±0.27	222.1 ±32.8	494.4 ±35.2
	B2	1.24 ±0.07	23.2 ±5.4	1.77 ±0.06	294.6 ±42.4	2.23 ±0.55	280.5 ±60.0	598.4 ±82.4
	B3	1.24 ±0.08	24.1 ±5.5	1.80 ±0.09	289.8 ±65.3	2.38 ±0.59	289.8 ±88.7	603.7 ±111.3
	-M Ort.	**1.23 ±0.09**	**21.6 ±4.4**	**1.70 ±0.08**	**262.9 ±46.2**	**2.03 ±0.48**	**241.0 ±52.0**	**525.5 ±73.0**
M+	B0	1.30 ±0.20	20.1 ±5.7	1.57 ±0.30	234.1 ±48.7	1.90 ±0.34	224.7 ±24.3	478.9 ±54.0
	B1	1.31 ±0.12	21.4 ±2.8	1.69 ±0.27	273.6 ±52.5	1.96 ±0.30	255.3 ±34.3	550.3 ±73.9
	B2	1.37 ±0.29	20.8 ±5.9	1.83 ±0.16	289.9 ±39.8	2.02 ±0.39	236.0 ±44.4	546.7 ±50.1
	B3	1.38 ±0.10	19.4 ±2.9	1.82 ±0.11	275.6 ±57.3	2.59 ±0.75	336.4 ±106.3	631.4 ±120.5
	+M Ort.	**1.34 ±0.18**	**20.4 ±4.3**	**1.73 ±0.21**	**268.3 ±49.6**	**2.12 ±0.45**	**263.1 ±52.3**	**551.8 ±74.6**
Biyoçar Ort.	*B0 Ort.*	1.24 ±0.16	19.1 ±4.4	1.58 ±0.20	224.9 ±56.4	1.79 ±0.42	198.1 ±25.4	442.1 ±58.5
	B1 Ort.	1.28 ±0.10	21.2 ±3.3	1.66 ±0.17	262.5 ±32.7	1.89 ±0.28	238.7 ±33.6	522.3 ±54.6
	B2 Ort.	1.30 ±0.18	22.0 ±5.7	1.80 ±0.11	292.3 ±41.1	2.13 ±0.47	258.3 ±52.2	572.5 ±66.2
	B3 Ort.	1.31 ±0.09	21.8 ±4.2	1.81 ±0.10	282.7 ±61.3	2.48 ±0.67	313.1 ±97.5	617.6 ±115.9
Uygulamalar	*Sd*	Önemlilikler (P)						
Mikoriza	1	0.3507	0.2751	0.3162	0.3195	0.3626	0.4109	0.3549
Biyoçar	3	0.3177	0.3000	0.2900	0.2533	0.2178	0.1610	0.2077
Mik*Biyo	3	0.2749	0.2198	0.2690	0.2297	0.3260	0.3361	0.2733

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir

4.1.5. Hasat Sonrası Farklı Bitki Aksamları Karbon Konsantırasyonu Oranları ve Toplam Fiksasyon Miktarları

Biyoçar ve mikoriza uygulamalarının mısır bitkisinin farklı aksamlarındaki (kök, kök üstü ve dane) %C ve toplam karbon (TC) verileri üzerinde ki etkisi ortalamalar üzerinde istatistiksel anlamda bir fark oluşturmadığı (kök %C hariç) çizelge 4.15'te görülmektedir. Her ne kadar uygulamaların ortalamalar üzerindeki etkisi önemli görünmese de elde edilen verilerde artan biyoçar uygulamalarının kontrol uygulamalarına kıyasla daha yüksek sonuçların üretilmesine sebebiyet verdiği görülmektedir. Mikoriza uygulamaları kıyaslandığında mikorizasız parsellerin daha yüksek karbon miktarlarına sahip olduğu (kök %C hariç) görülmektedir.

Toplam karbon değerlerine ait ortalamalar incelendiğinde, en yüksek C alımı ve eş değeri CO2 fiksasyonu sırası ile mikorizasız biyoçar uygulamalarında 10525.6 kg ha^{-1} ve 3859.8 kg ha^{-1} ile B2 doz uygulamasında elde edilirken, mikorizalı biyoçar uygulamalarında 10059.3 kg ha^{-1} ve 36884.3 kg ha^{-1} ile B1 uygulamasında elde edilmiştir. Toplam karbon değerinde mikorizalar kıyaslandığında ise en yüksek değerin 9709.6 kg ha^{-1} ile -M uygulamasında olduğu görülmektedir. Biyoçar dozlarının kıyaslaması sonucu elde edilen verilerde en yüksek total karbon değerinin 9940.3 kg ha^{-1} ile B2 uygulamasında olduğu görülmektedir.

Bulgular mikoriza uygulaması koşularında B1 dozunda, mikorizasız uygulamada ise B2 doz uygulamasında daha yüksek karbon tutulması mikoriza ve biyoçar uygulamasının yönetilmesinin önemini ortaya koymaktadır. A. Hashem ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada biyoçar uygulaması ve mikoriza aşılamasının bitki fotosentez aktivitesini artırdığını buna bağlı olarak C fiksasyonunu da arttırdığını rapor etmişlerdir. Ayrıca,Xu ve ark. (2014) tasarladıkları çalışmada biyoçar ve mikoriza uygulamalarının C fiksasyonunu arttırdığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.15. Hasat sonrası mısır bitkisinin farklı aksamlarındaki %C konsantrasyonu, bitki C içerikleri ve toplam CO_2 fiksasyonu

Uygulamalar		Kök		Üst Aksam		Dane	Toplam C	CO2 Fiksasyonu
		C (%)	C kg/ha	C (%)	C kg/ha	C (%)	kg/ha	kg/ha
M-	B0	31.67 ±2.89	484.1 ±73.1	32.71 ±0.74	4412.9 ±1181.4	32.48 ±966.6	8414.9 ±1993.4	30854.6 ±7309.2
	B1	31.02 ±3.07	520.4 ±116.9	33.14 ±1.37	5079.1 ±281.3	33.73 ±560.6	9736.1 ±652.5	35699.1 ±2392.5
	B2	32.85 ±2.74	617.7 ±155.1	33.52 ±1.28	5582.2 ±881.6	34.11 ±304.0	10525.6 ±885.7	38593.8 ±3247.5
	B3	31.34 ±2.35	602.1 ±75.0	33.57 ±0.57	5412.7 ±1202.4	34.12 ±800.9	10161.7 ±1517.9	37259.4 ±5565.7
	-M Ort.	**31.72 ±2.76b**	**556.1 ±105.0**	**33.24 ±0.99**	**5121.7 ±886.7**	**33.61 ±658.0**	**9709.6 ±1262.4**	**35601.7 ±4628.7**
M +	B0	33.25 ±3.43	509.5 ±109.7	32.62 ±1.41	4858.0 ±493.3	31.57 ±403.6	9148.3 ±632.8	33543.8 ±2320.3
	B1	33.35 ±1.66	543.5 ±58.4	32.71 ±0.92	5295.5 ±538.3	31.99 ±716.6	10059.3 ±779.9	36884.3 ±2859.6
	B2	33.11 ±3.10	496.6 ±49.6	32.40 ±0.77	5120.7 ±420.2	32.01 ±155.7	9355.1 ±399.5	34302.0 ±1464.7
	B3	33.56 ±1.22	470.4 ±59.4	32.85 ±1.41	5006.9 ±1244.9	32.29 ±274.4	9645.1 ±1401.1	35365.3 ±5137.4
	+M Ort.	**33.32 ±2.35a**	**505.0 ±69.3**	**32.64 ±1.13**	**5070.3 ±674.2**	**31.96 ±387.6**	**9552.0 ±803.3**	**35023.8 ±2945.5**
Biyoçar Ort.	B0 Ort.	32.46 ±3.16	496.8 ±91.4	32.66 ±1.07	4635.5 ±837.4	32.03 ±685.1	8781.6 ±1313.1	32199.2 ±4814.7
	B1 Ort.	32.18 ±2.37	532.0 ±87.7	32.93 ±1.14	5187.3 ±409.8	32.86 ±638.6	9897.7 ±716.2	36291.7 ±2626.1
	B2 Ort.	32.98 ±2.92	557.1 ±102.4	32.96 ±1.03	5351.4 ±650.9	33.06 ±229.9	9940.3 ±642.6	36447.9 ±2356.1
	B3 Ort.	32.45 ±1.78	536.2 ±67.2	33.21 ±0.99	5209.8 ±1223.6	33.21 ±537.7	9903.4 ±1459.5	36312.4 ±5351.6
Uygulamalar	Sd							
M	1	0.0465	0.1662	0.9805	0.6700	0.9130	0.2399	0.6334
B	3	0.3902	0.5342	0.6873	0.3781	0.4237	0.1228	0.3156
M*B	3	0.2339	0.1764	0.4105	0.7272	0.2700	0.1433	0.4214

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir4.1.6. Hasat Sonrası Bazı Kök Morfolojik Özellikleri, Kök İnfeksiyon Oranı ve Mikoriza Spor Sayısı

Çizelge 4.16.'da görüleceği üzere hasat sonrası mısır bitkisinin kök parametreleri incelendiğinde uygulanan biyoçar ve mikoriza uygulamalarının ortalamalar üzerinde istatistiksel anlamda bir önemlilik oluşmadığı belirlenmiştir. İstatistiksel anlamda bir fark oluşmamışsa bile biyoçar uygulamalarının kontrol uyulamalarına kıyasla genel olarak daha yüksek çıktığı belirlenmiştir. Kök çapı, kök uzunluğu, kök yüzey alanı ve kök hacmi parametrelerinde en yüksek elde edilen değerler sırası ile 0.7 (mm) olarak B3, 61.4 (km ha^{-1}) olarak B1, 12.8 (m2 ha^{-1}) olarak B1 ve 2.2 (m3 ha^{-1}) olarak B1 uygulamalarında elde edilmiştir. Mikoriza uygulamaları yalnız başına kıyaslandığında kök çapı hariç diğer parametrelerde kontrol yani mikorizasız uygulamalar daha yüksek değerleri ölçülmüştür. Bazı araştırmacılar biyoçar uygulamalarının bitki köklerinde % mikoriza kolonizasyonunu artırabildiğini vurgularken (Elmer ve Pignatello, 2011) bazı raporlarda ise mikorizal kolonizasyonda azalmalar olduğunu göstermektedir (Yusif ve Dare, 2016). Mikoriza aşılaması yapılan parsellerde kök uzunluğu, kök yüzey alanı ve kök hacmi değerlerinin daha düşük düzeyde ölçülmüş olmasının tamamen biyoçar ve mikorizal interaksiyon uygulamalarının kök kolonizasyonunda olumsuz etki yapmış olabileceği kanısınız oluşturmaktadır.

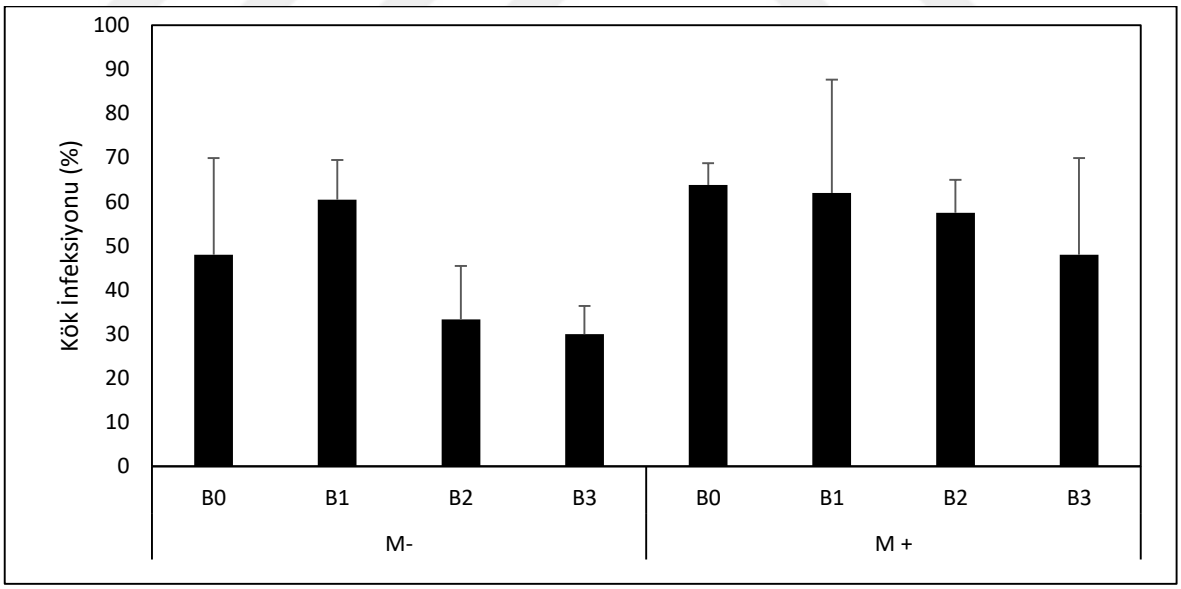
Çizelge 4.16. Hasat sonrası biyoçar ve mikoriza uygulamaların kök çapı, kök uzunluğu, kök yüzey alanı ve toplam hacim özellikleri üzerine etkileri

Uygulamalar		Kök Çapı (mm)	Kök Uzunluğu (km ha^{-1})	Kök Yüzey A. (m2 ha^{-1})	Kök Hacmi (m3 ha^{-1})
M-	B0	0.72 ±0.12	55.97 ±42.60	11.42 ±6.92	1.89 ±0.85
	B1	0.64 ±0.10	75.27 ±41.00	14.34 ±6.16	2.23 ±0.81
	B2	0.67 ±0.08	58.69 ±22.23	12.38 ±4.72	2.10 ±0.84
	B3	0.66 ±0.04	64.60 ±24.14	13.23 ±4.48	2.17 ±0.68
	-M Ort.	**0.67 ±0.09**	**63.63 ±32.49**	**12.84 ±5.57**	**2.10 ±0.80**
M +	B0	0.57 ±0.05	65.41 ±21.81	11.82 ±4.36	1.71 ±0.72
	B1	0.74 ±0.03	47.45 ±26.69	11.18 ±6.75	2.10 ±1.35
	B2	0.69 ±0.08	35.50 ±10.59	7.63 ±1.93	1.32 ±0.35
	B3	0.69 ±0.04	51.16 ±35.32	11.11 ±7.56	1.92 ±1.29
	+M Ort.	**0.70 ±0.1**	**49.9 ±23.6**	**10.4 ±5.1**	**1.8 ±0.9**
	B0 Ort.	0.6 ±0.1	60.7 ±32.2	11.6 ±5.6	1.8 ±0.8
	B1 Ort.	0.7 ±0.1	61.4 ±33.8	12.8 ±6.5	2.2 ±1.1
	B2 Ort.	0.7 ±0.1	47.1 ±16.4	10.0 ±3.3	1.7 ±0.6
	B3 Ort.	0.7 ±0.0	57.9 ±29.7	12.2 ±6.0	2.0 ±1.0
	Sd	Önemlilikler(P)			
M	1	0.3049	0.1467	0.1956	0.1379
B	3	0.3293	0.6572	0.7152	0.1974
M*B	3	0.2749	0.4701	0.7424	0.2563

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Deneme sonucunda mısır bitkisinin köklerinin biyoçar ve mikoriza uygulamalarının etkisi ile infekte olma oranları Şekil 4.1'de verilmiştir. Genelde her iki -M ve +M uyglamalrında artan orand B uygulaması B1 düzeyine kadar kök infeksiyon artırdığı ancak artan dozlarda B2 ve B3 dozlarında ise daha düşük kök kolonizasyon değerleri ölçülmüştür. Arazi koşullarında toprak steril edilmediği için doğal mikorizanın etkin bir şekilde kök infeksiyonu artırdığı belirlenmiştir.

Elde edilen değerler incelendiğinde en yüksek infekte olma oranının %63.75 ile +M*B0 uygulamasında olduğu görülmektedir. Bu verilere bakıldığında en düşük değerin ise %30 ile -M*B3 uygulamasında olduğu görülmektedir. B1 dozunun infeksiyon oranları üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Mikorizalar kıyaslandığında mikoriza uygulamalarının yani +M uygulamalarının mısır kök enfeksiyon oranlarına etkisinin olumlu yönde bir artışa sebebiyet verdiği görülmektedir. Mikoriza uygulamasının etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar mevcuttur bu çalışmalardan (İraz, 2015) mikoriza ve P doz uygulamalarının mısırın gelişimi ve besin alımına etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmada mikoriza uygulamasıyla kök infeksiyon yüzdesinde artış olduğunu tespit etmiştir. Biyoçar uygulamasının kök enfeksiyon oranına etkisinin belirlenmesi için Yapılan çalışmalarda biyoçar uygulamasının mikorizal aktiviteyi azaltabileceğini de arttırabildiğini de belirtmektedirler (LeCroy ve ark., 2013). D. D. Warnock ve ark. (2007) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada biyoçar uygulamasının doğrudan veya dolaylı olarak mikorizal aktiviteyi etkileyebileceği rapor etmişlerdir.



Şekil 4.1. Mısır bitkisine uygulanan biyoçar ve mikoriza uygulamalarının kök infeksiyon değerlerine etkisi

Hasat sonrası mısır ekilen ve mikoriza aşılaması ile biyoçar uygulamasının yapıldığı denemede topraktaki mikoriza spor sayımları farklı derinlik ve farklı alanlarda incelenmiş incelemeye ait veriler belirlendi. Çizelge 4.17'deki verleri incelendiğinde, rizosfer toprağında R 0-15 ve R 15-30 cm derinliklerinde hem interaksiyon hem de uygulamalara ait ortalamalar mikoriza

sposr sayıları istatistiksel anlamda önemlilik arz etmektedir. Rizosfer olmayan (NR)NR 0-15 te ise sadece interaksiyon değerlerinde istatistiksel anlamda bir fark oluşmuştur. Mikorizaların toprak spor sayısına (spor sayısı/10 g kuru toprak) etkisi incelendiğinde R 0-15, R15-30, NR 0-15 ve NR 15-30 bölgelerinde elde edilen en yüksek mikoriza aşılaması yapılan parsellerde elde edilirken, mikoriza aşılanması yapılmayan parsellerde ise ortalama veriler üzerinden sırası ile 94, 61, 64 spor ile +M ve 60 spor/10 g toprak olarak ölçülmüştür. Biyoçar uygulamalarının tek başına etkileri incelendiğinde kontrole kıyasla tüm biyoçar dozlarında pozitif bir artış görülmektedir. R 0-15, R15-30, NR 0-15 ve NR 15-30 bölgelerinde elde edilen biyoçar uygulamalarının ortalaması sırası ile 106 spor ile B3, 74 spor ile B2, 72 spor ile B3 ve 68 spor ile B2 uygulamalarında elde edilmiştir. En yüksek spor sayısı genellikler +M*B3 uygulamalarında elde edilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında biyoçar ve mikorizanın beraber uygulanması toprak spor sayısını arttırmaktadır. Biyoçar uygulaması topraktaki spor sayısın artmasına pozitif etki ettiği görülmektedir. Biyoçar uygulaması mikoriza spor sayısının arttırlması için mikoriza aktivitesini etkileyebilir (Daniel D Warnock ve ark., 2007b). Mau ve Utami (2014) tarafından farklı dozlarda mikoriza ve P uygulamalarının bitki P alımı verimi ve spor aktivitesine etkisini inceledikleri çalışmalarında mikoriza aşılanan topraklarda spor sayısının arttığı belirtmişler ki sonuçları araştırma bulgularımızı destekler nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.17. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde spor sayıları (spor sayısı 10 g kuru toprak)

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
M-	B0	59 ±12b	50 ±11	57 ±7	56 ±23
	B1	92 ±29a	67 ±8	61 ±22	79 ±24
	B2	42 ±25b	74 ±19	56 ±8	74 ±17
	B3	64 ±28b	43 ±18	48 ±12	35 ±13
	-M Ort.	**63 ±21B**	**57 ±13**	**56 ±11B**	**60 ±20**
M +	B0	62 ±15b	51 ±11	43 ±13b	49 ±13
	B1	100 ±36b	46 ±8	70 ±20ba	58 ±17
	B2	98 ±19b	74 ±19	55 ±33b	47 ±25
	B3	148 ±23a	82 ±18	109 ±35a	74 ±19
	+M Ort.	**94 ±22A**	**61 ±13**	**64 ±23A**	**55 ±17**
	B0 Ort.	60 ±14	50 ±11	50 ±10	52 ±18
	B1 Ort.	96 ±32	57 ±8	65 ±21	68 ±21
	B2 Ort.	70 ±22	74 ±19	56 ±21	60 ±21
	B3 Ort.	106 ±25	62 ±18	78 ±23	55 ±16
	Sd				
M	1	<0.0001	0.3416	0.0235	0.2365
B	3	0.0001	0.0740	0.0186	0.2732
M*B	3	0.0004	0.0113	0.0003	0.2900

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.6. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde pH ve Tuz İçerikleri

Tarla koşullarında farklı doz biyoçar (B0, B1, B2 ve B3) ve mikoriza uygulamalarının (+M ve -M) toprak pH içeriğine etkisi Çizelge 4.18 de verilmiştir. Araştırma bulguları pH içerikleri ortalamaları arasında önemli düzeyde fark bulunamamıştır. Farklı doz biyoçar uygulamaları toprak pH'sında 0.1-0.9 arasında değişimler olduğu fakat pH sınıfı bakımından bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Genelde biyoçarların çoğu yüksek sıcaklıkta üretildiği için bazik karakterlidir. Meşe, kayın gibi ağaçların odunlarının 500-600 ºC'de hızlı pirolizi ile elde edilen biyoçarın toprağa ilavesinin toprak pH'sını 0-15 ve 15-30 cm derinliklerde sadece NPK veya sıvı hayvan gübresi uygulamalarına kıyasla ortalama 0.3-0.8 birim arttırabildiği görülmüştür (Bera ve ark., 2016).

Çizelge 4.18. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde pH içerikleri

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
M-	B0	7.96 ±0.12	8.00 ±0.17	7.93 ±0.08	7.95 ±0.08
	B1	8.18 ±0.05	8.02 ±0.17	8.19 ±0.07	7.92 ±0.21
	B2	8.03 ±0.21	7.98 ±0.22	8.08 ±0.15	8.01 ±0.22
	B3	7.92 ±0.11	7.97 ±0.15	7.99 ±0.20	7.96 ±0.19
	-M Ort.	**8.01 ±0.12**	**7.99 ±0.18**	**8.02 ±0.12**	**7.96 ±0.16**
M +	B0	8.01 ±0.12	7.90 ±0.13	8.01 ±0.12	8.08 ±0.18
	B1	8.17 ±0.03	8.15 ±0.02	8.12 ±0.09	8.16 ±0.06
	B2	8.01 ±0.25	8.04 ±0.27	8.14 ±0.37	8.03 ±0.24
	B3	7.95 ±0.20	7.96 ±0.17	8.00 ±0.17	8.01 ±0.13
	+M Ort.	**8.0 ±0.1**	**8.0 ±0.1**	**8.1 ±0.2**	**8.1 ±0.2**
	B0 Ort.	8.0 ±0.1	8.0 ±0.2	8.0 ±0.1	8.0 ±0.1
	B1 Ort.	8.2 ±0.0	8.1 ±0.1	8.2 ±0.1	8.0 ±0.1
	B2 Ort.	8.0 ±0.2	8.0 ±0.2	8.1 ±0.3	8.0 ±0.2
	B3 Ort.	7.9 ±0.2	8.0 ±0.2	8.0 ±0.2	8.0 ±0.2
	Sd		Önemlilikler(P)		
M		0.9564	0.7660	0.8863	0.0518
B		0.0556	0.2717	0.0638	0.9620
M*B		0.9291	0.4486	0.7176	0.3817

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

Çizelge 4.19'de görüleceği gibi farklı doz biyoçar (B0, B1, B2 ve B3) ve mikoriza uygulamalarının (+M ve -M) toprak tuz içeriğine etkisi denemenin kurulmadan öncesindeki değerlere yakın olduğu tuzsuz topraklar sınıflaması (0-2 Ds/m) aralığında olduğu görülmektedir. 0-15 cm R toprağında sonuçlara bakıldığında biyoçar mikoriza interaksiyonu önemli olarak saptanmıştır. 0-15 cm NR toprağında ise biyoçar doz uygulamaları arasındaki farkın ve biyoçar mikoriza interaksiyonunun önemli olduğu görülmektedir. 15-30 cm R uygulamasında ise biyoçar doz uygulamaları arasında istatistiksel fark önemli olduğu görülmüştür.15-30 cm NR toprağında ise

tuz içeriğinde istatistiksel fark gözlemlenmemiştir. Tuzluluk stresine maruz kalmış topraklarda biyoçarın gelişmiş Na/K oranını neden olduğu bitkinin büyüme gerilemesini hafiflettiği saptanmıştır bitkilerin biyoçarın faydalarından tam olarak yararlanmak için simbiyotik mikroorganizmalara bağlı olduğunu göstermektedir (Hammer ve ark., 2015). AM mantarlarının bitkilerde tuzluluk stresini iyileştirdiği rapor edilmiş (Porcel ve ark., 2012) olup mevcut durumda kısa denem süresince tuz gelişimin etkisi görülmemiştir. .

Çizelge 4.19. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Tuz İçerikleri

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
		EC Ds/m			
M-	B0	0.25 ±0.03	0.23 ±0.04a	0.16 ±0.03b	0.17 ±0.01
	B1	0.18 ±0.02	0.15 ±0.03b	0.15 ±0.03b	0.15 ±0.02
	B2	0.17 ±0.03	0.18 ±0.03ba	0.16 ±0.03b	0.16 ±0.02
	B3	0.17 ±0.01	0.17 ±0.03ba	0.19 ±0.04a	0.18 ±0.01
	-M Ort.	**0.19 ±0.03**	**0.18 ±0.03**	**0.16 ±0.03**	**0.17 ±0.01**
M +	B0	0.15 ±0.01	0.15 ±0.04b	0.16 ±0.04ba	0.15 ±0.03
	B1	0.18 ±0.01	0.14 ±0.03b	0.14 ±0.02b	0.16 ±0.03
	B2	0.20 ±0.05	0.20 ±0.06a	0.19 ±0.02a	0.18 ±0.04
	B3	0.20 ±0.03	0.17 ±0.02ba	0.17 ±0.01ba	0.16 ±0.02
	+M Ort.	**0.18 ±0.02**	**0.16 ±0.04**	**0.16 ±0.02**	**0.16 ±0.03**
	B0 Ort.	0.20 ±0.02	0.19 ±0.04	0.16 ±0.03	0.16 ±0.02
	B1 Ort.	0.18 ±0.02	0.14 ±0.03	0.14 ±0.03	0.15 ±0.03
	B2 Ort.	0.18 ±0.04	0.19 ±0.05	0.17 ±0.03	0.17 ±0.03
	B3 Ort.	0.18 ±0.02	0.17 ±0.03	0.18 ±0.02	0.17 ±0.01
	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.1515	0.0637	0.7191	0.5021
B	3	0.3284	0.0178	0.0115	0.4637
M*B	3	<0.0001	0.0207	0.2677	0.1087

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.7. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Fosfor İçerikleri

Hasat sonrası deneme parsellerinden farklı toprak derinliklerin alınan toprakalrın alınabilir fosfor içerikleri analzi edildi ve sonuçlar Çizelge 4.20'de verildiği gibidir. Elde edilen veriler 0-15 ve 15-30 cm derinliklerinde mikoriza aşılamasının değerlerinin istatistiksel anlamda farklılık oluşduğu belirlenmiştir. Biyoçar uygulamalarının fosfor içeriğine etkisi incelendiğinde R 0-15, R 15-30,NR 0-15 ve NR 15-30 için en yüksek değerler sırası ile 7.4 kg P_2O_5 da^{-1} ile B2, 7.5 kgP_2O_5 da^{-1} ile B0, 6.3 kgP_2O_5 da^{-1} ile B2 ve 8.7 kg P_2O_5 da^{-1} ile B2 uygulamalarında elde edilmiştir. Mikorizaların etkisine bakıldığında ise R 0-15, R 15-30, NR 0-15 ve NR 15-30 için en yüksek değerler sırası ile 7 kg P_2O_5 da^{-1} ile +M, 6.5 kg P_2O_5 da^{-1} ile +M, 4.9 kg P_2O_5 da^{-1} ile +M ve 8.2 kg P_2O_5 da^{-1} ile -M uygulamalarında elde edilmiştir. Mikoriza ve biyoçarın interaksiyonun uygulanması olumlu etki yaratmış olmasına rağmen ise en yüksek fosfor içeriğinin -M*B1 uygulamasında 11.7 kg P_2O_5 da^{-1} olduğu görülmektedir. Konu hakkında yapılan daha önceki çalışmalarda Wen ve ark. (2022) pirinç kabuğundan ve odundan elde edilen biyoçarın AMF ile birlikte uygulanması ile tek başına biyoçar

ve AMF uygulamalar ile karşılaştırıldığında biyoçar ve AMF kombinasyonu toprak $NO3^-$-N içeriğinde, K ve toplam P içeriğini önemli düzeylerde artışlara yol açtığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.20. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Fosfor İçerikleri

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
		kg P_2O_5 da^{-1}			
M-	B0	6.1 ±1.7ba	7.1 ±1.1	4.8 ±1.9ba	3.4 ±0.6
	B1	4.9 ±1.7b	5.2 ±3.0	3.9 ±0.7b	9.9 ±11.1
	B2	6.8 ±2.3a	5.8 ±1.7	6.5 ±1.2a	11.7 ±9.2
	B3	4.3 ±1.0b	6.9 ±2.6	4.7 ±0.8ba	8.0 ±8.6
	-M Ort.	**5.5 ±1.7B**	**6.2 ±2.1**	**5.0 ±1.1**	**8.2 ±7.4**
M +	B0	6.8 ±1.6ba	7.8 ±3.1	4.7 ±0.9ba	6.5 ±1.4
	B1	7.1 ±1.9ba	6.3 ±2.3	5.2 ±1.5ba	3.6 ±1.1
	B2	8.1 ±0.6a	6.4 ±1.0	6.2 ±0.7a	5.8 ±2.6
	B3	6.1 ±2.1b	5.6 ±2.0	3.7 ±1.0b	7.8 ±7.1
	+M Ort.	**7.0 ±1.6A**	**6.5 ±2.1**	**4.9 ±1.0**	**5.9 ±3.1**
	B0 Ort.	6.5 ±1.6	7.5 ±2.1	4.7 ±1.4	4.9 ±1.0
	B1 Ort.	6.0 ±1.8	5.7 ±2.7	4.5 ±1.1	6.8 ±6.1
	B2 Ort.	7.4 ±1.4	6.1 ±1.3	6.3 ±0.9	8.7 ±5.9
	B3 Ort.	5.2 ±1.6	6.2 ±2.3	4.2 ±0.9	7.9 ±7.9
	Sd				
M	1	0.0051	0.4966	0.9497	0.1233
B	3	0.0236	0.2272	0.0002	0.2358
M*B	3	0.7534	0.8156	0.1456	0.3591

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.8. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde İnorganik Karbon İçeriği

Hasat sonrası toprağın inorganik karbon içeriği topraktaki kireç içeriği üzerinden belirlendi. Çizelge 4.21'de yer alan veriler üzerinden hem rizosfer hem de rizosfer olmayan alan toprakların 0-15 cm derinliğindeki topraklar mikoriza ve interaksiyon değerlerinde istatistiksel anlamda bir farklılık oluşmuştur.

Çizelge 4.21. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde İnorganik Karbon İçeriği

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
		% IC			
M-	B0	4.3 ±0.12a	4.3 ±0.16a	4.3 ±0.10	4.2 ±0.15
	B1	4.2 ±0.11ba	4.2 ±0.04ba	4.2 ±0.07	4.2 ±0.13
	B2	4.1 ±0.09b	4.2 ±0.15ba	4.2 ±0.09	4.2 ±0.14
	B3	4.2 ±0.18ba	4.1 ±0.17b	4.3 ±0.10	4.1 ±0.22
	-M Ort.	4.2 ±0.13	4.2 ±0.13	4.2 ±0.09	4.2 ±0.16
M +	B0	4.2 ±0.09ba	4.3 ±0.15a	4.2 ±0.13	4.3 ±0.16
	B1	4.3 ±0.21a	4.2 ±0.11ba	4.3 ±0.12	4.3 ±0.11
	B2	4.1 ±0.15ba	4.2 ±0.08ba	4.3 ±0.14	4.2 ±0.10
	B3	4.0 ±0.21b	4.1 ±0.22b	4.0 ±0.19	4.1 ±0.18
	+M Ort.	4.2 ±0.17	4.2 ±0.14	4.2 ±0.15	4.2 ±0.14
	B0 Ort.	4.3 ±0.10	4.3 ±0.15	4.3 ±0.11	4.3 ±0.15
	B1 Ort.	4.2 ±0.16	4.2 ±0.07	4.2 ±0.10	4.2 ±0.12
	B2 Ort.	4.1 ±0.12	4.2 ±0.12	4.2 ±0.12	4.2 ±0.12
	B3 Ort.	4.1 ±0.20	4.1 ±0.19	4.2 ±0.15	4.1 ±0.20
	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.6846	0.5718	0.5311	0.2482
B	3	0.0411	0.0221	0.1572	0.2843
M*B	3	0.1295	0.9623	0.0214	0.6784

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.9. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon İçeriği

Inorganik karbon yanında toplam karbon içeriği rizosfer ve rizosfer olmayan topraklarda 0-15 ve 15-30 cm derinliklerinden aınan topraklrda Fisher-2000 CN aleti ile dumas yöntemi ile belirledni. Çizelge 4.22'de sunulan verilerde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam karbon içeriği değerlerine bakıldığıda mikoriza ve biyoçar interaksiyonunda her iki derinlik farklılıklar oluşmuş ancak istatistiksel anlamda önemlilik özelliklede 15-30 cm derinliklerinde ölçülmüştür.

Artan dozlarda biyoçar uygulaması toprağın toplam karbon içeriğini arttırmıştır. Biyoçar uygulamalarının toplam karbon içeriğine etkisi incelendiğinde R 0-15, R 15-30, NR 0-15 ve NR 15-30 için en yüksek değerler sırası ile %5.9 ile B3, %5.8 ile B2, %5.4 ile B3 ve %5.8 ile B3 uygulamalarında elde edilmiştir. Toplam karbon içeriğine etkisine bakıldığında en yüksek değerlerin R 0-15, R 15-30,NR 0-15 ve NR 15-30 için sırası ile %6.3 ile +M*B3 uygulamasında, %5.9 ile -M*B1 uygulamasında, %5.6 ile -M*B3 uygulamasında ve %6.3 ile -M*B3 uygulamasında elde edilmiştir.

Biyoçar ve organik bileşik ilavesi aynı zamanda toprakta karbon bağlanmasına önemli katkıda da bulunmaktadır (Oldfield ve ark., 2018). Konu hakkında yapılan çalışmalar bulgularımızı destekler niteliktedir.

Çizelge 4.22. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon İçeriği

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
		% TC			
M-	B0	5.3 ±0.2ba	5.0 ±0.4c	5.1 ±0.1ba	4.9 ±0.2c
	B1	5.7 ±0.3a	5.9 ±0.4a	5.5 ±0.4a	5.9 ±0.5b
	B2	5.4 ±0.1ba	5.1 ±0.5c	5.2 ±0.4ba	5.3 ±0.4cb
	B3	5.4 ±0.6ba	5.7 ±0.6ba	5.6 ±0.1a	6.3 ±1.4a
	-M Ort.	5.4 ±0.3	5.4 ±0.5	5.4 ±0.2A	5.6 ±0.6A
M +	B0	4.8 ±0.2c	5.4 ±0.6ba	4.9 ±0.3ba	5.0 ±0.4ba
	B1	5.2 ±0.5cb	5.6 ±0.4a	5.1 ±0.2ba	5.3 ±0.4a
	B2	5.5 ±0.3b	5.3 ±0.6ba	5.0 ±0.4ba	5.2 ±0.5ba
	B3	6.3 ±0.4a	5.6 ±0.4a	5.3 ±0.3a	5.3 ±0.4a
	+M Ort.	5.5 ±0.4	5.5 ±0.5	5.1 ±0.3B	5.2 ±0.4B
	B0 Ort.	5.0 ±0.2	5.2 ±0.5	5.0 ±0.2	5.0 ±0.3
	B1 Ort.	5.5 ±0.4	5.8 ±0.4	5.3 ±0.3	5.6 ±0.4
	B2 Ort.	5.4 ±0.2	5.2 ±0.5	5.1 ±0.4	5.2 ±0.5
	B3 Ort.	5.9 ±0.5	5.7 ±0.5	5.4 ±0.2	5.8 ±0.9
	Sd				
M	1	0.6339	0.7630	0.0022	0.0214
B	3	<0.0001	0.0105	0.0051	0.0051
M*B	3	0.0001	0.4472	0.6851	0.0548

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.10. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Organik % Karbon Miktarı

Hasat sonrası ölçülen toplam karbon içeriğinden inorganik karbon içeriği çıkarılarak organik karbon içeriği belirlendi (Çizelge 4.23). Mikoriza ve biyoçar interaksiyonunda her iki derinlik ve bölge de oluşan farklılıklar istatistiksel anlamda önemli bulunmuşken mikoriza faktöründe rizosfer ve rizosfer olmayan her iki bölgenin 15-30 cm derinliklerinde oluşan farklılıklar istatistiksel önemlilik oluşturmuştur. Toparağa uygulanan biyoçar ve mikoriza aşılaması sonucu oluşan interaksiyonun toplam organik karbon içeriğine etkisine bakıldığında en yüksek değerlerin R 0-15, R 15-30, NR 0-15 ve NR 15-30 için sırası ile %2.3 ile +M*B3 uygulamasında, %1.7 ile -M*B1 uygulamasında, %1.4 ile -M*13 uygulamasında ve %2.2 ile -M*B3 uygulamasında elde edilmiştir. Mikoriza faktörünün toplam organik karbon içeriğine etkisine bakıldığında en yüksek değerlerin R 0-15, R 15-30, NR 0-15 ve NR 15-30 için sırası ile %1.3 ile +M uygulamasında, %1.3 ile +M uygulamasında, %1.1 ile -M uygulamasında ve %1.4 ile +M uygulamasında elde edilmiştir. Kontrole kıyasla biyoçar uygulaması toprağın toplam organik karbon içeriğini arttırmıştır. Biyoçar uygulamasının etkisine bakıldığında tüm derinlik ve bölgelerde en yüksek dozun B3 uygulamasında olduğu görülmektedir. Yapılan bilimsel çalışmalarda biyoçarın sera gazı emisyonlarını azaltma (Dong ve ark., 2015), toprak biyolojik özelliklerini iyileştirme (Dong ve ark., 2015) toprak organik karbon havuzunu stabilize etme (Wang ve ark., 2014), organik karbon depolamasını artırma toprak fiziksel özelliklerini iyileştirebileceğini göstermektedir.

Çizelge 4.23. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde organik karbon içeriği

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
		% OC			
M-	B0	1.0 ±0.2b	0.8 ±0.4b	0.8 ±0.1cb	0.7 ±0.2b
	B1	1.5 ±0.4a	1.7 ±0.4a	1.4 ±0.4a	1.7 ±0.5cb
	B2	1.2 ±0.2ba	0.9 ±0.3b	1.0 ±0.3b	1.2 ±0.5b
	B3	1.2 ±0.6ba	1.6 ±0.8a	1.3 ±0.1ba	2.2 ±1.4a
	-M Ort.	**1.2 ±0.4**	**1.2 ±0.5**	**1.1 ±0.2A**	**1.4 ±0.6A**
M +	B0	0.6 ±0.2c	1.1 ±0.7b	0.7 ±0.2b	0.7 ±0.5b
	B1	0.9 ±0.5cb	1.4 ±0.4a	0.8 ±0.3ba	1.0 ±0.3ba
	B2	1.4 ±0.4b	1.1 ±0.5b	0.7 ±0.3b	0.9 ±0.5ba
	B3	2.3 ±0.4a	1.5 ±0.5a	1.2 ±0.3a	1.2 ±0.6a
	+M Ort.	**1.3 ±0.4**	**1.3 ±0.5**	**0.9 ±0.3B**	**1.0 ±0.5B**
	B0 Ort.	0.8 ±0.2	0.9 ±0.6	0.8 ±0.2	0.7 ±0.3
	B1 Ort.	1.2 ±0.5	1.6 ±0.4	1.1 ±0.3	1.4 ±0.4
	B2 Ort.	1.3 ±0.3	1.0 ±0.4	0.9 ±0.3	1.0 ±0.5
	B3 Ort.	1.8 ±0.5	1.6 ±0.6	1.3 ±0.2	1.7 ±1.0
	Sd				
M	1	0.5742	0.6596	0.0030	0.0161
B	3	<0.0001	0.0067	0.0002	0.0032
M*B	3	<0.0001	0.4831	0.1931	0.1132

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.11. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Organik Karbon Miktarları

Mikoriza ve biyoçar uygulamalarının uygulanması sonucu farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam organik karbon miktarı değerleri (ton OC ha^{-1}) çizelge 4.24'de verilmiş olup, mikoriza biyoçar interaksiyonunda her iki toprak derinliğindeki rizosfer ve rizosfer olmayan bölgelerde ölçülen OC verileri uygulamalar arasında oluşan farklılıklar istatistiksel anlamda önemlilik oluşturmuştur.

Toparağa uygulanan biyoçar ve mikoriza aşılaması sonucu oluşan interaksiyonun toplam organik karbon içeriğine etkisine bakıldığında en yüksek değerlerin R 0-15, R 15-30,NR 0-15 ve NR 15-30 için sırası ile 47 ton ha^{-1} ile +M*B3 uygulamasında, 34 ton ha^{-1} ile -M*B1 uygulamasında, 27 ton ha^{-1} ile -M*B1 uygulamasında ve 45 ton ha^{-1} ile -M*B3 uygulamasında elde edilmiştir.

Toprağa uygulanan mikoriza faktörünün toplam organik karbon miktarına etkisine bakıldığında en yüksek değerlerin R 0-15, R 15-30,NR 0-15 ve NR 15-30 için sırası ile 26 ton ha^{-1} ile +M uygulamasında 26 ton ha^{-1} ile +M uygulamasında, 23 ton ha^{-1} ile -M uygulamasında ve 29 ton ha^{-1} ile -M uygulamasında elde edilmiştir.

Biyoçar dozlarında kontrole kıyasla biyoçar uygulaması toprağın toplam organik karbon içeriğini arttırmıştır. Biyoçar uygulamasının etkisine bakıldığında tüm derinlik ve bölgelerde en yüksek dozun B3 uygulamasında olduğu görülmektedir. Yapılan bilimsel çalışmalarda biyoçarın sera gazı emisyonlarını azaltma (Dong ve ark., 2015), toprak biyolojik özelliklerini iyileştirme (Dong ve ark., 2015) toprak organik karbon havuzunu stabilize etme (Wang ve ark., 2014), organik karbon

depolamasını artırma toprak fiziksel özelliklerini iyileştirebileceğini göstermektedir. Biyoçar toprakta toplam karbon miktarında artış sağlayan bir toprak düzenleyici (Dong ve ark., 2016; Lehmann ve ark., 2006; Liu ve ark., 2014) toprakta karbon tutulmasınıda sağlamaktadır. Topraktaki karbonu (C) uzun süre tutmak için uzun süre ayrışmaya dayanıklı biyoçarın uygulanması ekolojik ve bilimsel önemli bir tarım stratejisidir (El-Naggar ve ark., 2019; Hilscher ve ark., 2009; Lehmann, 2007b; Ortas, 2022). Bir başka çalışmada Biyoçar ve organik bileşik ilavesi aynı zamanda toprakta karbon bağlanmasına önemli katkıda da bulunmaktadır (Oldfield ve ark., 2018). Konu hakkında yapılan çalışmalar bulgularımızı destekler niteliktedir.

Çizelge 4.24. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Organik Karbon Miktarları

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
		OC ton ha^{-1}			
M-	B0	20 ±5b	15 ±8b	17 ±3b	14 ±3c
	B1	**30** ±8a	**34** ±8a	**27** ±8a	35 ±10b
	B2	25 ±3ba	18 ±7b	21 ±6ba	23 ±10cb
	B3	25 ±13ba	33 ±16a	26 ±2a	**45** ±29a
	-M Ort.	**25 ±7**	**25 ±10**	**23 ±5A**	**29 ±13A**
M +	B0	12 ±5c	22 ±15b	14 ±5b	15 ±10b
	B1	19 ±11cb	29 ±9a	17 ±5ba	20 ±7ba
	B2	28 ±8b	22 ±11b	15 ±6b	19 ±10ba
	B3	**47** ±8a	**31** ±9a	**25** ±6a	**24** ±12a
	+M Ort.	**26 ±8**	**26 ±11**	**18 ±6B**	**20 ±10B**
	B0 Ort.	16 ±5	19 ±11	15 ±4	14 ±7
	B1 Ort.	24 ±9	31 ±8	22 ±7	28 ±8
	B2 Ort.	26 ±6	20 ±9	18 ±6	21 ±10
	B3 Ort.	**36** ±11	**32** ±13	**26** ±4	**35** ±20
	Sd		Önemlilikler		
M	1	0.5723	0.6578	0.0030	0.0162
B	3	<0.0001	0.0067	0.0002	0.0033
M*B	3	<0.0001	0.4812	0.1898	0.1145

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.12. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon Miktarları

Mikoriza ve biyoçar uygulamalarının hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam karbon miktarı değerleri Çizelge 4.25'de verilmiş olup her iki derinlik ve bölge de oluşan farklılıklar istatistiksel anlamda önemli bulunmuşken mikoriza uygulaması yapılan parsellerdeki her iki bölgenin 15-30 cm derinliklerinde oluşan farklılıklar önemlilik oluşturmuştur ($p<0.01$).

Mikorizalı ve mikorizasız biyoçar uygulamalarının toplam karbon içeriğine etkisine bakıldığında en yüksek değerlerin R 0-15, R 15-30, NR 0-15 ve NR 15-30 için sırası ile 128 ton C ha^{-1} ile +M*B3 uygulamasında, 120 ton C ha^{-1} ile -M*B1 uygulamasında, 113 ton C ha^{-1} ile -M*B3 uygulamasında ve 128 ton C ha^{-1} ile -M*B3 uygulamasında elde edilmiştir.

Mikoriza faktörünün toplam karbon içeriğine etkisine bakıldığında en yüksek değerlerin R 0-15, R 15-30,NR 0-15 ve NR 15-30 için sırası ile 111 ton C ha^{-1} ile +M uygulamasında, 111 ton C ha^{-1} ile +M uygulamasında, 108 ton C ha^{-1} ile -M uygulamasında ve 114 ton C ha^{-1} ile +M uygulamasında elde edilmiştir.

Artan dozlarda biyoçar uygulaması toprağın toplam karbon içeriğini arttırmıştır. Biyoçar uygulamalarının toplam karbon içeriğine etkisi incelendiğinde R 0-15, R 15-30, NR 0-15 ve NR 15-30 için en yüksek değerler sırası ile %5.9 ile B3, %5.8 ile B2, %5.4 ile B3 ve %5.8 ile B3 uygulamalarında elde edilmiştir. Biyoçar ve organik bileşik ilavesi aynı zamanda toprakta karbon bağlanmasına önemli katkıda da bulunmaktadır (Oldfield ve ark., 2018).

Çizelge 4.25. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon Miktarları

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
		TC ton/ha^{-1}			
M-	B0	107 ±4ba	102 ±9b	103 ±2b	99 ±4b
	B1	115 ±6a	120 ±7a	112 ±8a	119 ±10ba
	B2	109 ±3ba	103 ±9b	106 ±7ba	108 ±8ba
	B3	109 ±12ba	116 ±13ba	113 ±1a	128 ±29a
	-M Ort.	110 ±4	110 ±2	108 ±4A	114 ±11A
M +	B0	98 ±4c	109 ±13b	100 ±6b	102 ±8b
	B1	106 ±5cb	114 ±8ba	103 ±4ba	106 ±7ba
	B2	111 ±9b	107 ±12b	101 ±8ba	104 ±11ba
	B3	128 ±9a	113 ±14a	107 ±7a	108 ±11a
	+M Ort.	111 ±3	111 ±3	103 ±1B	105 ±2B
	B0 Ort.	102 ±3	105 ±2	101 ±2	100 ±2
	B1 Ort.	110 ±2	117 ±3	108 ±2	113 ±2
	B2 Ort.	110 ±4	105 ±6	104 ±3	106 ±5
	B3 Ort.	119 ±4	115 ±7	110 ±3	118 ±5
	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.5957	0.9094	0.0038	0.0272
B	3	<0.0001	0.0067	0.0129	0.0103
M*B	3	<0.0001	0.3842	0.6828	0.1169

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.13 Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam N İçerikleri

Çizelge 4.26'de mikoriza aşılaması ve biyoçar uygulaması yapılan parsellerin topraklarda toplam azot içeriği analizleri yapılmış olup rizosfer 0-15 ve 15-30 cm derinliğinde ve de rizosfer olmayan alan topraklarının 0-15 cm derinlikleri verileri istaistiksel anlamda önemlilik oluşturmuştur.

Mikorizalı ve mikorizasız parsellerde artan biyoçar uygulamasının %N konsantırasyonu değerlerine bakıldığında her iki alan ve her iki derinlik değerlerinde de B1 dozu uygulamasında daha yüksek değerler ölçülmüştür. Mikorizalı ve mikorizasız verilerde sadece NR 15-30 cm derinliğinde -M*B1 yüksek çıkarken diğer derinlik ve alanlarda +M*B1 uygulamasında yüksek çıkmıştır.

Artan biyoçar doz uygulamları altında her iki derinlik ve alanlarda en yüksek %N değerleri kontrole kıyasla B1 dozunda elde edilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında B1 dozu biyoçar uygulanması toprak azot içeriği için yeterli doz olarak görünmektedir. Konu hakkında Wen ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada pirinç kabuğundan ve odundan elde edilen biyoçarın AMF ile birleştirilmesi sonucu toprak besin mevcudiyeti ve pirinç kökü özellikleri üzerine olan etkilerini araştırmasında pirinç kabuğu biyoçarının odun biyoçarından daha büyük etkiler gösterdiğini rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.26. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam N içerikleri

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 cm R	15-30 cm NR
		% TN			
M-	B0	0.22 ±0.02b	0.19 ±0.02c	0.21 ±0.01b	0.20 ±0.01
	B1	**0.28** ±0.06a	**0.30** ±0.08a	**0.30** ±0.08a	**0.37** ±0.24
	B2	0.21 ±0.02b	0.23 ±0.06b	0.22 ±0.04b	0.30 ±0.17
	B3	0.27 ±0.07ba	0.26 ±0.03ba	0.23 ±0.07b	0.25 ±0.07
	-M Ort.	**0.24 ±0.04**	**0.25 ±0.05**	**0.24 ±0.05**	**0.28 ±0.13**
M +	B0	0.21 ±0.03cb	0.23 ±0.02b	0.22 ±0.05b	0.24 ±0.07
	B1	**0.49** ±0.43a	**0.40** ±0.32a	**0.33** ±0.23a	**0.36** ±0.28
	B2	0.24 ±0.07cb	0.23 ±0.06b	0.21 ±0.04b	0.21 ±0.03
	B3	0.27 ±0.05b	0.27 ±0.04ba	0.21 ±0.01b	0.23 ±0.04
	+M Ort.	**0.30 ±0.15**	**0.28 ±0.11**	**0.24 ±0.08**	**0.26 ±0.11**
	B0 Ort.	0.21 ±0.02	0.21 ±0.02	0.21 ±0.03	0.22 ±0.04
	B1 Ort.	**0.39** ±0.24	**0.35** ±0.20	**0.31** ±0.16	**0.36** ±0.26
	B2 Ort.	0.23 ±0.04	0.23 ±0.06	0.22 ±0.04	0.25 ±0.10
	B3 Ort.	0.27 ±0.06	0.26 ±0.04	0.22 ±0.04	0.24 ±0.06
	Sd				
M	1	0.2235	0.3320	0.9498	0.6346
B	3	0.0437	0.0443	0.0377	0.1272
M*B	3	0.2643	0.7055	0.9379	0.8007

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

4.1.14. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Hesaplanan Toplam Azot Miktarları

Mikoriza ve biyoçarın uygulandığı topraklarda toplam azot miktarı değerleri rizosfer 0-15 ve 15-30 cm derinliğinde ve de rizosfer olmayan alan topraklarda ölçüdü (Çizelge 4.27).

Mikoriza uygulanması ya da uygulanmaması sonucu biyoçar değerlerine bakıldığında her iki alan ve her iki derinlik değerlerinde de B1 dozu ile oluşan interaksiyon sonucu oluşan değerler yüksek çıkmış ve interaksiyon değerlerinde mikorizalı ve mikorizasız kıyasında sadece NR 15-30 cm derinliğinde -M*B1 yüksek çıkarken diğer derinlik ve alanlarda +M*B1 yüksek çıkmıştır.

Mikorizalı ve mikorizasız biyoçar uygulamalarının toplam toprak azot miktarına etkisine bakıldığında en yüksek değerlerin R 0-15, R 15-30, NR 0-15 ve NR 15-30 için sırası ile 10 ton N ha^{-1} ile +M*B1 uygulamasında, 8.2 ton N ha^{-1} ile +M*B1 uygulamasında, 6.6 ton N ha^{-1} ile +M*B1 uygulamasında ve 7.5 ton N ha^{-1} ile -M*B1 uygulamasında elde edilmiştir.

Sadece mikoriza faktörünün toplam toprak azot miktarı değerlerine etkisine bakıldığında da sadece NR 15-30 cm derinliğinde -M yüksek çıkarken diğer derinlik ve alanlarda +M yüksek çıkmıştır. Biyoçar dozlarının yalnız başlarına uygulanması sonucu toplam toprak azot miktarına bakıldığında ise tüm derinlik ve alanlarda en yüksek değerler kontrole kıyasla B1 dozunda elde edilmiştir.

Çizelge 4.27. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Hesaplanan Toplam Azot Miktarları

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
		TN ton Nha^{-1}			
M-	B0	4.4 ±0.3b	3.9 ±0.5b	4.3 ±0.3ba	4.0 ±0.2
	B1	**5.7** ±1.2a	**6.0** ±1.6a	**6.0** ±1.6a	**7.5** ±4.9
	B2	4.3 ±0.3b	4.7 ±1.2ba	4.5 ±0.8ba	6.0 ±3.5
	B3	5.4 ±1.4ba	5.2 ±0.6ba	4.6 ±1.4ba	5.0 ±1.5
	-M Ort.	5.0 ±0.6	5.0 ±0.5	4.9 ±0.6	**5.6** ±2.1
M +	B0	7.0 ±0.7bc	4.6 ±0.5b	4.4 ±1.0ba	4.8 ±1.4
	B1	**10.0** ±8.6a	**8.2** ±6.5a	**6.6** ±4.8a	**7.2** ±5.7
	B2	4.9 ±1.4b	4.6 ±1.2b	4.2 ±0.8ba	4.2 ±0.6
	B3	5.4 ±1.4ba	5.4 ±1.3ba	4.2 ±0.8ba	4.7 ±0.7
	+M Ort.	**6.8** ±3.7	**5.7** ±2.8	**4.9** ±1.9	5.2 ±2.4
	B0 Ort.	5.7 ±0.2	4.2 ±0.0	4.3 ±0.5	4.4 ±0.9
	B1 Ort.	**7.9** ±5.2	**7.1** ±3.5	**6.3** ±2.2	**7.3** ±0.5
	B2 Ort.	4.6 ±0.8	4.7 ±0.0	4.4 ±0.0	5.1 ±2.0
	B3 Ort.	5.4 ±0.1	5.3 ±0.5	4.4 ±0.4	4.8 ±0.6
	Sd				
M	1	0.2088	0.3139	0.1000	0.6532
B	3	0.0406	0.0361	0.0365	0.1102
M*B	3	0.2708	0.7099	0.9146	0.7889

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir.

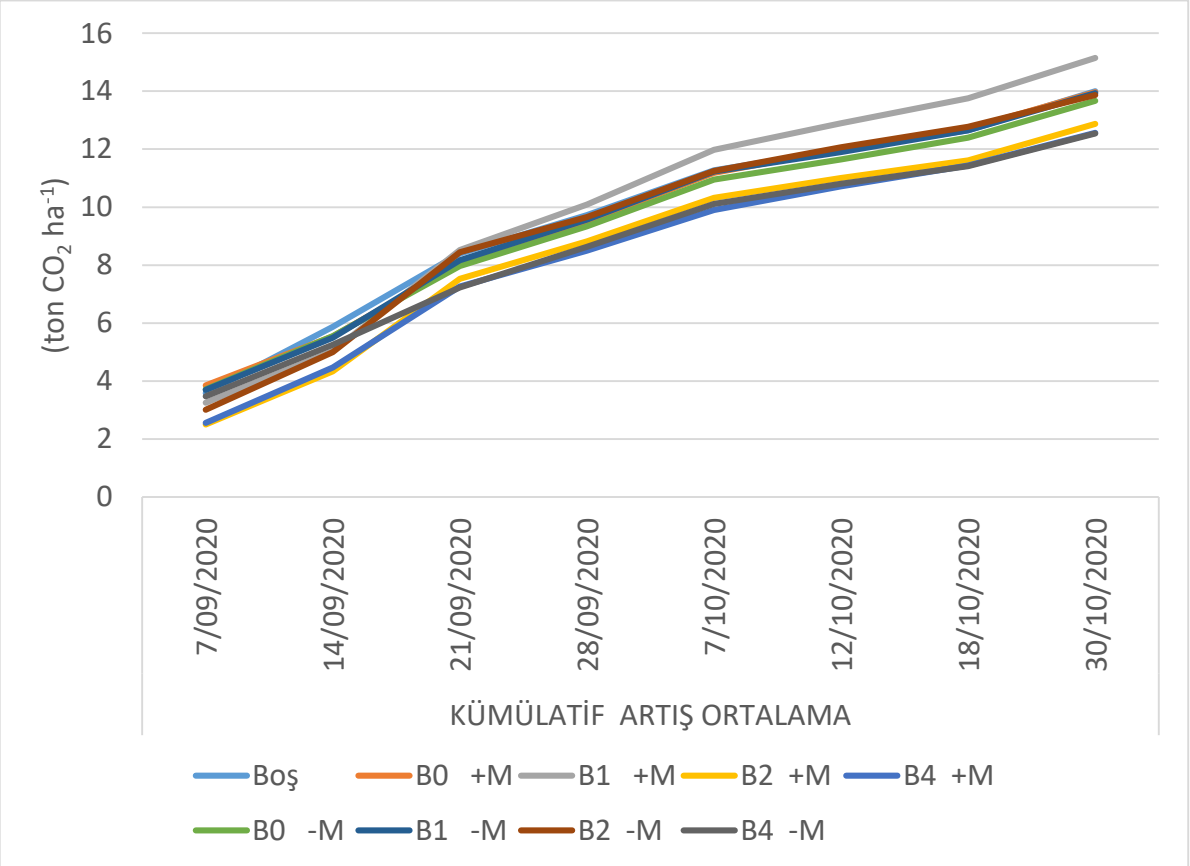
Topraktaki azot konsantırasyonu ve toplam azot miktarı hesaplamaları sonuçlara değerlendirldiğinde B1 biyoçar dozu uygulanması yeterli doz uygulaması olarak görünmektedir.

4.1.15. Kümülatif CO_2 Artışı ve Salınım Çizelgesi

Tarla koşullarında deneme süresince farklı biyoçar ve M uygulamalarının topraktan atmosfere salınan CO_2 respirasyonun sekiz farklı zaman aralıklarında LICOR LI-81000A ekipmanı ile ölçülmüştür. Zamana bağlı olarak ölçülen kümülatif akışı (flux) değerleri Çizelge 4.28 'de verilmiştir. Araştırma bulgularına göre araştırma 07.09.2020 tarihli ölçümde -M uygulamalarında CO_2 konsantrasyonu uygulamalar arasında 453-461 mg L CO_2 olarak değişmiş ortalama ise 457 mg L CO_2 olarak belirlenmiştir. Mikoriza uygulaması yapılan parsellerde ise 452-464 mg L CO_2 aralığında değişmiş ve ortalama 458 mg L CO_2 olarak hesaplanmıştır. Diğer 7 ölçüm aralığında ise benzer şekilde biyoçar ve mikoriza uygulamaları arasında çok büyük farklılık belirlenmemiştir. İstatistiksel farklar genelde önemsiz olduğu saptanmıştır.

Araştırma verileri kullanılarak yapılan hesaplamada kümülatif olarak zaman bağlı olarak atmosfere salınan toplam çıkışta Şekil 4.2'de görüleceği üzere -M biyoçar uygulamasına bağlı olarak toprak CO_2 respirasyonunun kontrole kıyasla arttığı görülmektedir. Literatürde daha önce yapılan çalışmalar (Singh ve ark., 2010) biyoçar sera gaz emisyonun azalmasına da yol açmakta oluğu belirtilmiştir. Biyoçarın mikrobiyal ayrışmaya karşı dayanıklılığından dolayı sera gazı emisyonu azaltılması ve azotun toprakta tutunması ile bitkinin azottan yararlanması beklentisi ile özellikle önerilmektedir (Gaunt ve Lehmann, 2008).

Biyoçar dozları bakımından B4 uygulaması diğer uygulamalara kıyasla yüksek CO_2 emisyonu atmosfere salmıştır. Biyolojik bir kömür olan biyoçarın da toprak respirasyonunu arttırması ve genel olarak toprakta stabil bir şekilde kalması beklenmektedir. Toprakta stabil olan biyoçar mineralize olması geç gerçekleştiği bilinmektedir. TOK içeriği arttıkça organik kaynak miktarına bağlı olarak mineralizasyon da artar ve dolayısıyla toprak CO_2 respirasyonuda artış gösterir. Bitki gelişimi artıkça respirasyon miktarı lineer şekilde artmıştır. Bunun nedeni bitki gelişimine bağlı olarak ilk gelişim sırasında bitki kök bölgesindeki mikrobiyal aktivitenin yanı sıra kök biokütleye bağlı olarak kök solunumunun da artması olabilir.



Şekil 4.2. Zamana bağlı farklı biyoçar ve mikoriza uygulamasının atmosfere salınan CO_2 akışına etkisi

Çizelge 4.28. Mısır bitkisinde farklı zamanlarda ölçülen CO_2 salınımları

Uygulamalar	07.09.2020 CO2 mg lt	14.09.2020 CO2 mg lt	21.09.2020 CO2 mg lt	28.09.2020 CO2 mg lt	07.10.2020 CO2 mg lt	12.10.2020 CO2 mg lt	18.10.2020 CO2 mg lt	30.10.2020 CO2 mg lt
Konular				**Mikorizasız**				
B0	453 ±2	435 ±2	445 ±7	443 ±3	456 ±1	458 ±5	458 ±1	456 ±6
B1	460 ±14	441 ±4	443 ±4	450 ±5	458 ±8	462 ±9	468 ±8	449 ±1
B2	461 ±15	444 ±3	441 ±2	449 ±6	461 ±9	456 ±14	459 ±8	453 ±6
B3	455 ±11	441 ±2	448 ±10	453 ±12	462 ±15	459 ±5	462 ±10	456 ±9
Ortalama	**457** ±10	**440** ±3	**444** ±6	**449** ±6	**459** ±8	459 ±8	461 ±7	453 ±5
				Mikorizalı				
B0	452 ±4	436 ±4	443 ±1	450 ±9	459 ±10	462 ±8	459 ±4	458 ±11
B1	455 ±9	446 ±4	440 ±12	450 ±6	455 ±1	462 ±7	461 ±13	452 ±7
B2	461 ±9	438 ±5	445 ±4	447 ±7	465 ±3	459 ±15	459 ±12	453 ±7
B3	464 ±13	439 ±3	440 ±3	451 ±6	459 ±11	460 ±13	463 ±13	461 ±9
Ortalama	**458** ±9	**440** ±4	**442** ±5	**449** ±7	**459** ±7	461 ±11	461 ±10	456 ±8
B0 *Ort.*	452 ±1	436 ±1.3	444 ±4	446 ±4.3	457 ±7	460 ±2	458 ±2	457 ±3.5
B1 *Ort.*	458 ±4	443 ±0.1	441 ±6	450 ±0.6	456 ±5	462 ±1	464 ±4	450 ±4.1
B2 *Ort.*	461 ±4	441 ±1.1	443 ±1	448 ±1.3	463 ±4	457 ±1	459 ±3	453 ±0.3
B3 *Ort.*	459 ±1	440 ±1.1	444 ±5	452 ±4.5	461 ±2	459 ±5	462 ±2	458 ±0.1
Uygulamalar	**Sd**				**Önemlilikler**			
Mikoriza	1	0.8457	0.7516	0.4492	0.9009	0.9543	0.6429	0.8288	0.4758
Biyoçar	3	0.4982	0.0098	0.8822	0.6386	0.5393	0.8840	0.6889	0.2794
Mik*Biyo	3	0.7254	0.0641	0.5011	0.7002	0.8675	0.9871	0.8430	0.9426

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortalamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

4.2. Araştırma Deneme 2

4.2.1 Uygulamaların Biyokütle ve Verim Üzerine Etkileri

Biyoçar ve mikoriza uygulamalarının Çukurova bölgesi tarla koşullarında mısır bitkisinin toplam biyokütle ve kuru madde verimine etkisi Çizelge 4.29. 'da verilmiştir.

Çizelge 4.29 incelendiğinde yapılan ANOVA testine göre M uygulamaları, biyoçar dozları ve mikoriza biyoçar interaksiyonları son derece önemli ($P<0.001$) bulunmuştur. +M uygulamasının kök, dane kuru madde verimi, toplam biyokütle ve kök üstü aksamında dikkate değer bir fark olduğu görülmüştür. Mikoriza mantarı bitkiye besin elementi sağladığı (Bhantana ve ark., 2021) için mısır verimini arttırması beklenilen bir durumdur. Örneğin; Saboor ve ark. (2021) yapmış oldukları çalışmada mikoriza mantarının bitki verimini arttırdığını rapor etmişlerdir.

Ayrıca kök üstü aksamda artan dozlarda biyoçar uygulaması ve mikoriza aşılamasının mikoriza aşılanmayan parsellere kıyasla kuru madde verimini arttırdığı görülmektedir (Çizelge 3.1). Farklı dozlarda biyoçar uygulamalarının kök, kök üstü, dane verimi ve toplam biyokütle verimine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Kök biyokütle ağırlıkları bakımından -M ve +M uygulamalarında artan biyoçar dozlarına bağlı genel olarak kök biyokütle ağırlığında azalma meydana gelmiştir. Dane veriminde hem +M hem de -M uygulamalarında biyoçar uygulanan parsellerde biyoçar uygulanmayan parsellere kıyasla verimde istatistiksel olarak dikkate değer bir artış görülmüştür. Dane veriminde uygulamalar kendi içerisinde farklı biyoçar dozları bakımından istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. Biyoçar uygulamasının bitki verimini ve gelişimini arttırdığına yönelik literatür de pek çok çalışma vardır (Jatav ve ark., 2018; Liu ve ark., 2019; Palansooriya ve ark., 2019). Mikoriza uygulamasının dane verimine etkisi incelendiğinde mikorizalı parseller (17.656 kg ha^{-1}) mikorizasız parsellere (16.335 kg ha^{-1} ile) kıyasla %8 dane verimini arttırmıştır. Araştırma sonuçlar hipotezimizi destekler niteliktedir.

Ortalama toplam kuru madde verimi bakımından ise mikoriza uygulamaları açısından istatistiksel fark saptanmıştır. +M uygulamasında toplam kuru madde verim ortalaması 52648 kg ha^{-1} -M uygulamasında ise 43456 kg ha^{-1} bulunmuştur. -M uygulamasında artan biyoçar dozlarında toplam kuru madde verimi düşerken +M uygulamasında ise artan biyoçar dozlarında toplam kuru madde veriminde artış görülmüştür.

Biyoçar ortalamaları bakımından üst aksam en yüksek ortalama B1 dozu 31359 kg ha^{-1} , kök biyoçar ortalama doz değerlerinde en yüksek B0 dozu 3189.5 kg $ha^{-1,}$ dane verimi ortalaması en yüksel B2 dozu 18190 kg ha^{-1}, toplam biyokütlede ise en yüksek biyoçar ortalaması B2 dozu 52175 kg ha^{-1} saptanmıştır.

Çizelge 4.29. Biyoçar dozları ve mikoriza aşılamasının mısır bitkisinin biokütle ve verimi üzerine etkileri

Uygulamalar	Üst Aksam	Kök	Dane Verimi	Toplam Biyokütle
	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}
Konular		**Mikorizasız (-M)**		
Kontrol	24285 ±3750a	2909 ±303a	16160 ±460b	43354 ±3673a
B1	28893 ±1335a	1846 ±173b	17200 ±1a	47938 ±1258a
B2	27013 ±1633a	1749 ±20b	16910 ±110a	45671 ±1544a
B3	19272 ±350b	2518 ±350a	15070 ±70c	36860 ±321b
Ortalama	**24866 ±1431B**	**2255 ±148B**	**16335 ±205B**	**43456 ±1416B**
		Mikorizalı (+M)		
Kontrol	20973 ±487c	3470 ±199a	16530 ±390b	40973 ±943a
B1	33825 ±842b	3277 ±1a	17505 ±455b	54608 ±1140b
B2	36533 ±0.1a	2677 ±268b	19470 ±250a	58679 ±449a
B3	37175 ±2019a	2037 ±221c	17120 ±1000b	56332 ±1944b
Ortalama	**32127 ±867A**	**2865 ±118A**	**17656 ±329A**	**52648 ±622A**
B0 *Ort*.	22629 ±2119	3190 ±251	16345 ±425	42164 ±2308
B1 *Ort*.	31359 ±1089	2562 ±87	17353 ±228	51273 ±1199
B2 *Ort*.	31773 ±1633	2213 ±144	18190 ±180	52175 ±997
B3 *Ort*.	28224 ±1185	2278 ±286	16095 ±535	46596 ±1133

Uygulamaların Önemlilik dereceleri

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
Mikoriza	1	0.0001	0.0001	<.0001	0.0001
Biyoçar	3	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Mik*Biyo	3	0.0001	0.0001	0.0007	0.0001

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

4.2.2. Hasat Sonrası Üst Aksam, Kök ve Dane Makro Element Konsantrasyonları ve İçerikleri

Artan dozlarda biyoçar ve mikoriza uygulamalarının mısır üst aksam makro element konsantrasyonuna (%) etkisi çizelge 4.30 de görülmektedir. Artan dozlarda biyoçar ve mikoriza uygulamaları mısır üst aksam makro element konsantrasyonuna istatistiksel oalrak dikakte değer bir fark yaratmamışken ortalama olarak artan dozlarda biyoçar uygulaması Ca, K, Mg ve P konsantrasyonunu arttırma eğiliminde olduğu görülmektedir. Mikoriza aşılamasının ise anlamlı bir fark oluşturmadığı görülmektedir. Ayrıca en yüksek Ca, K ve Mg konsnatrasyonlarının sırasıyla %1.01, %0.87, %0.33 ile mikorizalı ve B3 uygulamasında olduğu görülmektedir. Ayrıca mikoriza aşılamasının ortalama olarak Mg ve Ca alımını arttrdığı Çizelge 4.30 da görülmektedir.Jiahua Sun ve ark. (2022) yılında gerçekleştirmiş oldukları çalışmada biyoçar ve mikoriza ayrı ayrı uygulamaları ve biyoçar+mikoriza kombinasyonunun besin elementi alımına etkisini araştırmışlardır. Söz konusu çalışmada biyoçar ve mikoriza uygulamalarının Ca, Mg ve P gibi makro elementleri kontrole kıyasla

arttırdığı ancak biyoçar ve mikoriza kombin uygulamasının nispeten düşürdüğü görülmektedir. Çalışma araştırma bulgularımızı destekler niteliktedir.

Çizelge 4.30. Hasat sonrası mısır bitkisi üst aksam makro element % konsantrasyonları

		Ca	K	Mg	P
			(%)		
M-	B0	0.80 ±0.17	0.58 ±0.04	0.23 ±0.03	0.09 ±0.03
	B1	0.58 ±0.24	0.83 ±0.10	0.23 ±0.07	0.06 ±0.02
	B2	0.79 ±0.14	0.68 ±0.22	0.29 ±0.05	0.12 ±0.07
	B3	0.78 ±0.10	0.41 ±0.09	0.27 ±0.04	0.09 ±0.00
	-M Ort.	0.74 0.16	0.62 0.11	0.25 0.05	0.09 0.03
M +	B0	0.81 ±0.16	0.58 ±0.26	0.29 ±0.03	0.11 ±0.01
	B1	0.99 ±0.26	0.46 ±0.10	0.24 ±0.02	0.07 ±0.03
	B2	0.92 ±0.19	0.48 ±0.07	0.27 ±0.02	0.07 ±0.01
	B3	1.01 ±0.23	0.87 ±0.56	0.33 ±0.08	0.09 ±0.06
	+M Ort.	0.93 ±0.21	0.60 ±0.25	0.28 ±0.04	0.08 ±0.03
	B0 Ort.	0.81 ±0.16	0.58 ±0.15	0.26 ±0.03	0.10 ±0.02
	B1 Ort.	0.78 ±0.25	0.64 ±0.10	0.23 ±0.05	0.06 ±0.02
	B2 Ort.	0.85 ±0.17	0.58 ±0.14	0.28 ±0.03	0.09 ±0.04
	B3 Ort.	0.89 ±0.17	0.64 ±0.32	0.30 ±0.06	0.09 ±0.03
Uygulamalar	Sd		Önemlilikler		
M	1	0.5670	0.2463	0.2947	0.8367
B	3	0.0803	0.1371	0.3310	0.3472
M*B	3	0.2822	0.4745	0.2446	0.4013

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Artan dozlarda biyoçar ve mikoriza uygulamalarının mısır üst aksam kaldırılan makro element (kg ha^{-1}) içeriğine etkisi Çizelge 4.31. de görülmektedir. Artan dozlarda biyoçar ve mikoriza uygulamaları mısır üst aksam kaldırılan makro element (kg ha^{-1}) içeriğine etkisi istatistiksel olarak dikakte değer bir fark yaratmamışken ortalama olarak

Mikoriza uygulanan parsellerdeki mısır Ca, K, Mg ve P içerikleri mikorizasız parsellere kıyasala daha fazladır. Ayrıca ortalam biyoçar uygulamaları incelendiğinde ise artan B1 ve B2 dozlarına kadar artış olduğu B3 dozunda ise nispeten düşüş olduğu görülmektedir. Zhang ve ark. 2019 yılında yapmış oldukları çalışmada mikoriza ve biyoçar uygulamalarının P, K ve Ca gibi elementleri bitkilerce alımının arttığını rapor etmişlerdir. Söz konusu çalışma araştırma bulgularımızı destekler niteliktedir.

Çizelge 4.31. Hasat sonrası mısır bitkisi üst aksam makro element içerikleri

		Ca	K	Mg	P
		kg/ha^{-1}			
M-	B0	157 ±22	133 ±10	50 ±6	19 ±23
	B1	167 ±24	239 ±17	67 ±10	7 ±37
	B2	214 ±24	185 ±9	77 ±19	32 ±16
	B3	151 ±33	78 ±7	52 ±0	18 ±27
	-M Ort.	**172 ±26**	**159 11**	**61 ±9B**	**19 ±26**
M +	B0	157 ±55	121 ±5	60 ±3	22 ±18
	B1	167 ±35	155 ±9	80 ±11	24 ±45
	B2	214 ±25	174 ±5	97 ±3	24 ±51
	B3	151 ±205	322 ±27	122 ±23	33 ±41
	+M Ort.	**172 ±80**	**193 ±12**	**90 ±10A**	**26 ±39**
	B0 Ort.	157 ±39	127 ±8	55 ±4	21 ±20
	B1 Ort.	167 ±29	197 ±13	73 ±10	15 ±41
	B2 Ort.	214 ±25	179 ±7	87 ±11	28 ±33
	B3 Ort.	151 ±119	200 ±17	87 ±12	25 ±34

Uygulamalar	Sd				
M	1	0.0624	0.4669	0.0381	0.2305
B	3	0.1319	0.4462	0.1050	0.1824
M*B	3	0.0598	0.0148	0.1000	0.2901

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Artan dozlarda biyoçar ve mikoriza uygulamalarının mısır kök makro element konsantrasyonuna (%) etkisi Çizelge 4.32 de görülmektedir. İstatistiksel olarak biyoçar ve mikoriza uygulamaları dikkate değer bir fark yaratmamış iken ortalama olarak B1-B2 dozları arası en yüksek element içeriğine sahip uygulamalardır. Ayrıca Mikoriza mantarı ortalama olarak K, Mg ve P elementi konsantrasyonunu arttırmıştır. Biyoçar uygulaması toprak özelliklerini (toprak nem içeriği, agregasyon, KDK, mikrobiyal aktivite ve enzim aktivitesi gibi) geliştirerek bitki gelişimi, beslenmesi ve verimini arttırmaktadır(Joseph ve ark., 2021). Bu sebepten ötürü biyoçar uygulaması besin elementi alımını arttırmış olabilir.

Ayrıca, mikoriza aşılamasının mısır besin elementi konsantrasyonunu arttırması beklenen bir durumdur. Mikoriza mantarı bitki besin elementi alımını (özelliklede P) arttırmaktadır (Smith ve Smith, 2011).

Çizelge 4.32. Hasat sonrası bitki kök makro besin element konsantrasyonları

		Ca	K	Mg	P
			(%)		
M-	B0	0.15 ±0.02	0.41 ±0.05	0.12 ±0.02	0.30 ±0.04
	B1	0.19 ±0.01	0.43 ±0.07	0.15 ±0.05	0.33 ±0.08
	B2	0.17 ±0.04	0.42 ±0.08	0.12 ±0.03	0.29 ±0.06
	B3	0.16 ±0.02	0.28 ±0.23	0.07 ±0.06	0.18 ±0.15
	-M Ort.	0.17 ±0.02	0.39 ±0.09	0.12 ±0.04	0.27 ±0.09
M +	B0	0.16 ±0.01	0.42 ±0.06	0.13 ±0.02	0.30 ±0.05
	B1	0.16 ±0.01	0.42 ±0.10	0.13 ±0.04	0.31 ±0.09
	B2	0.16 ±0.09	0.45 ±0.26	0.15 ±0.09	0.34 ±0.2
	B3	0.16 ±0.018	0.41 ±0.01	0.14 ±0.03	0.32 ±0.03
	+M Ort.	0.16 ±0.033	0.43 ±0.11	0.14 ±0.05	0.32 ±0.09
	B0 Ort.	0.15 ±0.01	0.41 ±0.06	0.12 ±0.02	0.30 ±0.05
	B1 Ort.	0.18 ±0.01	0.43 ±0.08	0.14 ±0.05	0.32 ±0.09
	B2 Ort.	0.17 ±0.07	0.44 ±0.17	0.14 ±0.06	0.32 ±0.13
	B3 Ort.	0.16 ±0.02	0.35 ±0.12	0.11 ±0.05	0.25 ±0.09

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.6040	0.5091	0.2735	0.2369
B	3	0.4417	0.5512	0.6668	0.5425
M*B	3	0.8136	0.6410	0.3952	0.4428

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Artan dozlarda biyoçar ve mikoriza uygulamalarının mısır kök makro element içeriğine (kg ha^{-1}) Çizelge 4.33. de görülmektedir. İstatistiksel olarak biyoçar ve mikoriza uygulamaları dikkate değer bir fark yaratmıştır. İstatistiksel olarak mikoriza uygulaması 9.0 kg ha^{-1} ile P, 3.8 kg ha^{-1} ile Mg, 12 kg ha^{-1} ile K ve 4.6 kg ha^{-1} ile Ca elementleri en yüksek besin elementleri içeriklerine sahiptirler. Ayrıca Biyoçar uygulaması olarak ise artan dozlara bağlı olarak besin elementi içerikleri düşüş göstermişlerdir.Alloush ve ark. (2000) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada mikorizanın K, Mg ve P gibi elementlerinin arttırdığını rapor etmişlerdir. Ayrıca biyoçar uygulamasının besin elementi alımını arttırması beklenirken çalışmamızda (özellikle kök içeriği bakımından) bu artık görülmemektedir.

Çizelge 4.33. Hasat sonrası kök makro element içerikleri

		Ca	K	Mg	P
		kg/ha^{-1}			
M-	B0	4.5 ±0.4a	12.0 ±2.71a	3.4 ±0.9	8.4 ±1.9a
	B1	3.5 ±0.3ba	7.9 ±0.52ba	2.7 ±0.7	5.9 ±1.0ba
	B2	3.0 ±0.8b	7.4 ±1.57ba	2.1 ±0.6	5.2 ±1.2ba
	B3	4.0 ±0.4ba	6.9 ±5.57b	1.8 ±1.5	4.4 ±3.7b
	-M Ort.	**3.8 ±0.5B**	**8.5 ±2.6B**	**2.5 ±0.9B**	**5.9 ±2.0B**
M +	B0	5.4 ±0.2a	14.4 ±2.1a	4.3 ±0.8	10.4 ±1.5a
	B1	5.4 ±0.4a	13.9 ±3.4ba	4.2 ±1.4	10.3 ±2.8a
	B2	4.2 ±2.5ba	11.4 ±6.6ba	3.9 ±2.2	8.6 ±5.0ba
	B3	3.3 ±0.6b	8.4 ±1.2b	2.8 ±0.7	6.5 ±1.1b
	+M Ort.	**4.6 ±0.9A**	**12.0 ±3.3A**	**3.8 ±1.3A**	**9.0 ±2.6A**
	B0 Ort.	4.9 ±0.3	13.2 ±2.4	3.8 ±0.8	9.4 ±1.7
	B1 Ort.	4.5 ±0.4	10.9 ±2.0	3.5 ±1.0	8.1 ±1.9
	B2 Ort.	3.6 ±1.6	9.4 ±4.1	3.0 ±1.4	6.9 ±3.1
	B3 Ort.	3.7 ±0.5	7.7 ±3.4	2.3 ±1.1	5.5 ±2.4

Uygulamalar	Sd				
M	1	0.0003	0.0123	0.0077	0.0044
B	3	0.0014	0.0296	0.0734	0.0287
M*B	3	0.0017	0.5627	0.8288	0.6212

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Farklı biyoçar dozu ve mikoriza uygulamalarının mısır danesi makro element konsantrasyonuna etkisi incelendiğinde istatistiksel olarak biyoçar uygulamasının Ca ve Mg elementlerinde ve B*M interaksiyonunun Mg elementinde dikkate değer bir fark yarattığı Çizelge 4.34. de görülmektedir. Ayrıca Mikoriza uygulaması dane P alımını istatistiksel olarak dikkate değer bir şekilde arttırmıştır. Mikorizasız parseller %0.26 P konsantrasyonuna sahip iken, mikorizalı parseller %0.29 P konsantrasyonuna sahiptirler. Bu durum beklenen bir durumdur. Mikoriza mantarının konukçu bitkiye P sağladığı bilinmektedir(Miyasaka ve Habte, 2001; Roy-Bolduc ve Hijri, 2011) .

Biyoçar uygulamasının Mg ve Ca içeriğini etkilemesi ise biyoçarın pH sı ile ilişkili olabilir. Örneğin;Sheng ve Zhu (2018) de gerçekleştirdiği çalışmada biyoçar uygulamasının toprak pH sını değiştirebileceği rapor edilmiştir. Genel olarak en yüksek makro element değeri B1-B2 dozlarında görülmektedir. B*M interaksiyonu bakımından ise mikorizalı B1 dozu en yüksek makro element değerlerine sahip uygulamadır.

Çizelge 4.34. Hasat sonrası dane makro besin elementleri konsantrasyonları

		Ca	K	Mg	P
			(%)		
M-	B0	0.11 ±0.06b	0.37 ±0.03	0.11 ±0.01a	0.26 ±0.03
	B1	0.15 ±0.01a	0.39 ±0.04	0.11 ±0.01a	0.28 ±0.02
	B2	0.14 ±0.02a	0.37 ±0.09	0.11 ±0.02a	0.26 ±0.05
	B3	0.08 ±0.07b	0.39 ±0.03	0.10 ±0.00b	0.26 ±0.01
	-M Ort.	**0.12 ±0.04**	**0.38 ±0.05**	**0.11 ±0.01**	**0.26 ±0.03B**
M +	B0	0.04 ±0.01c	0.33 ±0.02	0.10 ±0.01b	0.28 ±0.02
	B1	0.16 ±0.01a	0.43 ±0.02	0.14 ±0.01a	0.32 ±0.03
	B2	0.17 ±0.10a	0.39 ±0.23	0.09 ±0.05b	0.27 ±0.16
	B3	0.08 ±0.00b	0.39 ±0.03	0.10 ±0.01b	0.29 ±0.02
	+M Ort.	**0.11 ±0.03**	**0.39 ±0.07**	**0.11 ±0.02**	**0.29 ±0.06A**
	B0 Ort.	0.08 ±0.03	0.35 ±0.03	0.10 ±0.01	0.27 ±0.02
	B1 Ort.	0.16 ±0.01	0.41 ±0.03	0.13 ±0.01	0.30 ±0.02
	B2 Ort.	0.15 ±0.06	0.38 ±0.16	0.10 ±0.04	0.26 ±0.10
	B3 Ort.	0.08 ±0.04	0.39 ±0.03	0.10 ±0.01	0.28 ±0.02

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.2307	0.6032	0.3676	0.0153
B	3	0.0025	0.1736	0.0047	0.3418
M*B	3	0.1477	0.2766	0.0149	0.7171

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Farklı biyoçar dozu ve mikoriza uygulamalarının mısır danesi makro element içeriğine (kg ha^{-}1) etkisi incelendiğinde istatistiksel olarak mikoriza uygulaması Mg ve P içeriğine ve biyoçar uygulamasının Ca, K ve Mg içeriğine dikkate değer bir fark yarattığı Çizelge 4.35. de görülmektedir. B*M interaksiyonu bakımından ise istatistiksel olarak dikkate değer bir fark yoktur. Hem istatistiksel olarak hemde ortalama olarak B1-B2 dozu en yüksek makro element (Ca, K, Mg ve P) içeriğine sahiptirler. Bornø ve ark. (2019) yılında yapmış oldukları çalışmada biyoçar uygulamasının besin elementi alınabilirliğini etkilediği rapor edilmiş olup çalışmamızı destekler niteliktedir. Ayrıca mikoriza mantarının bitki beslenmesini attırdığına dair literatürde pek çok çalışma mevcuttur (Hart ve Forsythe, 2012; Javaid, 2009) .

Çizelge 4.35. Hasat sonrası dane makro element içeriği

		Ca	K	Mg	P
			kg/ha^{-1}		
M-	B0	15 ±9b	62 ±4ba	18 ±2a	45 ±4ba
	B1	26 ±1a	67 ±6a	19 ±1a	47 ±3a
	B2	24 ±4a	62 ±15ba	18 ±4a	43 ±8ba
	B3	12 ±10b	58 ±5b	15 ±0ba	39 ±2b
	-M Ort.	**19 ±4**	**62 ±5**	**17 ± 2B**	**44 ±3B**
M +	B0	7 ±1cb	54 ±2b	17 ±3b	47 ±4b
	B1	29 ±1a	76 ±3a	25 ±2a	57 ±4a
	B2	32 ±19a	76 ±44a	18 ±10b	53 ±30ba
	B3	14 ±1b	67 ±5ba	17 ±2b	50 ±4ba
	+M Ort.	**21 ±9**	**68 ±20**	**19 ±4A**	**51 ±13A**
	B0 Ort.	11 ±6	58 ±1	18 ±1	46 ±0
	B1 Ort.	27 ±0	71 ±2	22 ±0	52 ±1
	B2 Ort.	28 ±11	69 ±20	18 ±5	48 ±16
	B3 Ort.	13 ±6	63 ±0	16 ±2	44 ±1
Uygulamalar	Sd				
M	1	0.4243	0.0884	0.0242	0.0008
B	3	0.0003	0.0322	0.0024	0.0581
M*B	3	0.0522	0.1519	0.0852	0.5859

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

4.2.3. Hasat Sonrası Üst Aksam, Kök ve Dane Mikro Element Konsantrasyonları ve İçerikleri

Çizelge 4.36. verileri incelendiğinde mısır bitkisinin ekildiği alana uygulanan biyoçar ve mikorizanın hasat sonrası mısır bitkisinin üst aksam mikro element konsantrasyon değerlerine etkisi görülmektedir. Elde edilen değerler incelendiğinde ortalamalar istatistiksel anlamda önemli görülmemiştir. Mikorizaların kıyasında tüm elementlerde (Fe, Mn, Zn ve Cu) +M uygulamaları daha yüksek çıkmıştır. En yüksek değerler mikoriza uygulamalarında Fe, Mn, Zn ve Cu için sırası ile 142.4 mg kg^{-1}, 72.4 mg kg^{-1}, 37.5 mg kg^{-1} ve 6.7 mg kg^{-1} olarak elde edilmiştir. Biyoçar değerleri kıyaslandığında Fe (155.5 mg kg^{-1}) ve Mn (78.5 mg kg^{-1}) için en yüksek değerler B3 uygulamasında elde edilirken Zn (47.2 mg kg^{-1}) ve Cu (6.6 mg kg^{-1}) için en yüksek değerler B1 uygulamasında elde edilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında hem mikoriza hem biyoçar hem de biyoçar ve mikoriza interaksiyonunda kontrole kıyasla uygulamaların etkisi pozitif yönde olmuştur. Elde edilen sonuçlar literatür bilgileri ile desteklenmektedir. J. Sun ve ark. (2022) Yürüttükleri çalışmada mısır bitkilerini, tek başına veya kombinasyon halinde biyoçar ve AMFs ile işlenmiş saksılarda yetiştirildiğini ve AMF'lerin veya biyoçar bireysel uygulamasının mısır büyümesini ve sürgünlerde ve köklerdeki mineral içeriklerini (P, K, Ca, Na, Mg, Fe, Mn ve Zn dahil) artırdığını gösterdiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.36. Hasat sonrası üst aksam mikro element konsantrasyonları

		Fe	Mn	Zn	Cu
		(mg kg^{-1})			
M-	B0	101.9 ±44.0	66.8 ±18.2	20.0 ±1.2	5.7 ±0.2
	B1	137.5 ±44.3	45.7 ±32.9	27.9 ±1.5	6.5 ±1.6
	B2	118.4 ±19.3	87.8 ±5.7	25.5 ±2.1	5.7 ±0.8
	B3	151.0 ±8.5	79.4 ±12.2	21.2 ±6.4	6.0 ±1.4
	-M Ort.	**127.2 ±29.0**	**69.9 ±17.3**	**23.6 ±2.8**	**6.0 ±1.0**
M +	B0	139.3 ±6.0	71.5 ±3.6	21.8 ±2.5	6.7 ±0.9
	B1	128.4 ±14.3	78.1 ±0.1	66.6 ±48.7	6.7 ±1.4
	B2	141.6 ±24.2	62.5 ±3.6	38.0 ±3.5	6.9 ±1.4
	B3	160.1 ±44.1	77.5 ±14.7	23.6 ±7.1	6.4 ±0.9
	+M Ort.	**142.4 ±22.1**	**72.4 ±5.5**	**37.5 ±15.4**	**6.7 ±1.2**
	B0 Ort.	120.6 ±25.0	69.2 ±10.9	20.9 ±1.9	6.2 ±0.5
	B1 Ort.	132.9 ±29.3	61.9 ±16.5	47.2 ±25.1	6.6 ±1.5
	B2 Ort.	130.0 ±21.8	75.2 ±4.7	31.7 ±2.8	6.3 ±1.1
	B3 Ort.	155.5 ±26.3	78.5 ±13.4	22.4 ±6.7	6.2 ±1.2

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.9627	0.9342	0.0890	0.5195
B	3	0.3027	0.6333	0.0869	0.3649
M*B	3	0.5063	0.2166	0.2952	0.5999

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Mısır bitkisinin ekildiği alana uygulanan biyoçar ve mikorizanın hasat sonrası mısır bitkisinin üst aksam mikro element içerik değerlerine etkisi Çizelge. 4.37 de görülmektedir. Elde edilen değerler incelendiğinde sadece Mn değerlerinde oluşan farklılıklar istatistiksel anlamda önemli görülmüştür. Mikorizaların kıyasında tüm elementlerde (Fe, Mn, Zn ve Cu) +M uygualamaları daha yüksek çıkmıştır. En yüksek değerler mikoriza uygulamalarında Fe, Mn, Zn ve Cu için sırası ile 4610 g ha^{-1}, 2328 g ha^{-1}, 1239 g ha^{-1} ve 214 g ha^{-1} olarak elde edilmiştir. Biyoçarlar kıyaslandığında tüm biyoçar dozlarında kontrole kıyasla daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. İnteraksiyon değerlerine bakıldığında yani hem +M hem de -M'li biyoçarlarda uygulamalarının biyoçar ile birlikte verildiği durumlarda tüm elementlerde en yüksek değerler +M uygulanan biyoçar uygulamalarında elde edildiği görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler önceki çalışmalarla desteklenmektedir.

Ortas (2023) yaptığı çalışmada mikorizanın, bitki beslenmesinde önemli bir yeri olduğunu, özellikle P ve Zn başta olmak üzere pek çok elementin bitkiye alınmasında etkili rol aldığını ve ekolojik tarımsal üretim için mikoriza üretiminin önemli olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.37. Hasat Sonrası Üst Aksam Mikro Element İçerikleri

Uygulamalar		Fe	Mn	Zn	Cu
		(g ha^{-1})			
M-	B0	2262 ±1535	1297 ±698b	461 ±46	129 ±23
	B1	**3962** ±1027	1307 ±852b	**806** ±69	**188** ±37
	B2	3183 ±371	**2375** ±252a	686 ±38	153 ±16
	B3	2908 ±112	1532 ±255b	407 ±116	116 ±27
	-M Ort.	3078 ±644	1628 ±308B	590 ±35	147 ±9
M +	B0	2922 ±129	1501 ±97b	458 ±58	140 ±18
	B1	4347 ±528	2642 ±64ba	**2240** ±1640	225 ±45
	B2	5173 ±884	2283 ±132ba	1388 ±128	**251** ±51
	B3	**5999** ±1869	**2885** ±598a	872 ±234	240 ±41
	+M Ort.	**4610** ±745	**2328** ±252A	**1239** ±754	**214** ±14
	B0 Ort.	2592 ±994	1399 ±425	459 ±9	135 ±3
	B1 Ort.	4154 ±353	1974 ±557	**1523** ±1111	**206** ±6
	B2 Ort.	4178 ±363	**2329** ±85	1037 ±64	202 ±24
	B3 Ort.	**4454** ±1242	2209 ±243	640 ±83	178 ±10

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.1451	0.0141	0.0670	0.1501
B	3	0.0889	0.0277	0.0559	0.1949
M*B	3	0.0572	0.2160	0.2206	0.1063

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Çizelge 4.38. verileri incelendiğinde biyoçar ve mikorizanın hasat sonrası mısır bitkisinin kök mikro element konsantrasyon değerlerine etkisi görülmektedir. Elde edilen değerler incelendiğinde ortalamalar arasındaki farklılıklar istatistiksel anlamda önemli görülmemiştir. Mikoriza uygulamalarının kıyasında tüm elementlerde (Fe, Mn, Zn ve Cu) +M uygualamaları daha yüksek çıkmıştır. En yüksek değerler mikoriza uygulamalarında Fe, Mn, Zn ve Cu için sırası ile 94,2 mg kg^{-1}, 21.1 mg kg^{-1}, 34.1 mg kg^{-1} ve 6.2 mg kg^{-1} olarak elde edilmiştir. Biyoçar değerleri kıyaslandığında Fe (114.0 mg kg^{-1}), Mn (23.8 mg kg^{-1}), Zn (40.8 mg kg^{-1}) ve Cu (6.4 mg kg^{-1}) için en yüksek değerler B1 uygulamasında elde edilmiştir. Bu sonuçlara bakıldığında hem mikoriza hem biyoçar hem de biyoçar ve mikoriza interaksiyonunda kontrole kıyasla uygulamaların etkisi pozitif yönde olmuştur. Kök mikro element konsantrasyon değerlerinde biyoçar ve mikoriza interaksiyonunda -M ve biyoçar uygulaması en yüksek sonuçların elde edilmesinde etkili oluştur. Elde edilen verilere bakıldığında literatür sonuçları ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Mikorizaların çeşitli mahsullerde toplam Zn alımının %25-50'si oranında arttırdığı rapor edilmiştir (Coccina ve ark., 2019; Ortas, 2019).

Çizelge 4.38. Hasat sonrası kök mikro element konsatrasyon

		Fe	Mn	Zn	Cu
Uygulamalar		(mg kg^{-1})			
M-	B0	86.8 ±5.7ba	19.4 ±1.3	28.3 ±5.0	6.0 ±0.4
	B1	128.2 ±27.2a	26.6 ±5.1	46.2 ±9.8	6.7 ±0.1
	B2	80.9 ±11.5b	18.8 ±1.0	31.7 ±1.7	5.9 ±0.5
	B3	79.8 ±10.4b	19.1 ±2.3	20.4 ±12.4	5.5 ±0.7
	-M Ort.	**93.9 ±13.7**	**20.9 ±2.4**	**31.6 ±7.2**	**6.0 ±0.4**
M +	B0	75.3 ±5.4	19.9 ±0.8	32.5 ±2.0	6.2 ±0.4
	B1	109.9 ±9.0	21.0 ±4.2	35.3 ±13.3	6.1 ±0.7
	B2	99.3 ±59.7	23.0 ±13.3	33.8 ±19.5	6.5 ±3.7
	B3	92.5 ±9.0	20.4 ±3.1	34.9 ±6.6	5.9 ±0.7
	+M Ort.	**94.2 ±20.8**	**21.1 ±5.3**	**34.1 ±10.4**	**6.2 ±1.4**
	B0 Ort.	81.0 ±5.5	19.7 ±1.1	30.4 ±3.5	6.1 ±0.4
	B1 Ort.	114.0 ±18.1	23.8 ±4.7	40.8 ±11.5	6.4 ±0.4
	B2 Ort.	90.1 ±35.6	20.9 ±7.1	32.7 ±10.6	6.2 ±2.1
	B3 Ort.	86.1 ±9.7	19.7 ±2.7	27.7 ±9.5	5.7 ±0.7

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.8566	0.7304	0.3020	0.7542
B	3	0.0033	0.3650	0.2126	0.1896
M*B	3	0.4596	0.4484	0.2697	0.4797

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Biyoçar ve mikorzanın uygulandığı alanda yetişen mısır bitkisininn kök mikro element içerikleri Çizelge 4.39'da incelenmiştir. Elde edilen verilere bakıdığında tüm faktör ve interaksiyonlarda elde edilen değerler istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur. Mikoriza uygulamalarının kıyasında tüm elementlerde (Fe, Mn, Zn ve Cu) +M uygualamaları daha yüksek çıkmıştır. En yüksek değerler mikoriza uygulamalarında Fe, Mn, Zn ve Cu için sırası ile 265 g ha^{-1}, 60 g ha^{-1}, 97 g ha^{-1} ve 18 g ha^{-1} olarak elde edilmiştir. Biyoçarlar kıyaslandığında Fe (300 g ha^{-1}), Mn (59 g ha^{-1}) ve Zn (100 g ha^{-1}) için en yüksek değerler B1 uygulamasında elde edilmişken Cu (19 g ha^{-1}) için en yüksek değer B0 uygulanmasında elde edilmiştir. Kök mikro element içerik değerlerinde biyoçar ve mikoriza interaksiyonunda +M ve biyoçar uygulaması en yüksek sonuçların elde edilmesinde etkili oluştur. Elde edilen verilere bakıldığında literatür sonuçları ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Mikorizaların çeşitli mahsullerde toplam Zn alımının %25-50'si oranında arttırdığı rapor edilmiştir (Coccina ve ark., 2019; Ortas, 2019).

Çizelge 4.39. Hasat sonrası kök mikro element içerikleri

		Fe	Mn	Zn	Cu
		g/ha^{-1}			
M-	B0	251 ±10a	54 ±6a	78 ±21ba	17 ±3a
	B1	239 ±65ba	49 ±9ba	85 ±16a	12 ±1b
	B2	141 ±20b	33 ±2b	55 ±2b	10 ±1b
	B3	198 ±3ba	47 ±2ba	51 ±29b	14 ±2ba
	-M Ort.	**207 ±28B**	**46 ±4B**	**67 ±11B**	**13 ±1B**
M +	B0	262 ±33ba	69 ±6a	113 ±3ba	22 ±2a
	B1	360 ±30a	69 ±14a	116 ±44a	20 ±2ba
	B2	250 ±41ba	58 ±3ba	86 ±8b	16 ±9b
	B3	189 ±29b	42 ±8b	72 ±20b	12 ±2b
	+M Ort.	**265 ±6A**	**60 ±4A**	**97 ±18A**	**18 ±4A**
	B0 Ort.	256 ±17	62 ±0.4	96 ±13	19 ±0.3
	B1 Ort.	300 ±25	59 ±3.2	100 ±20	16 ±0.8
	B2 Ort.	196 ±15	46 ±1.2	71 ±4	13 ±6.1
	B3 Ort.	193 ±18	45 ±4.2	61 ±7	13 ±0.3

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.0002	0.0005	0.0053	0.0002
B	3	0.0004	0.0026	0.0490	0.0002
M*B	3	0.0044	0.0139	0.0911	0.0076

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Mikoriza uygulamaları ve farklı biyoçar dozlarının dane mikro element % konsantrayonuna etkisi Çizelge 4.40. da gösterilmektedir. Çizelge 4.40. da görüldüğü gibi mikoriza uygulaması tek başına istatistiksel olarak dikkate değer bir fark yaratmamışken, biyoçar doz uygulaması Mn, Zn ve Cu elementleri konsantrasyonu bakımından dikkate değer bir fark yaratmıştır. Ayrıca M*B interaksiyonu bakımından ise Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonu açısından dikkate değer bir fark vardır. Her nekasar istatistiksel olarak dikkate değer bir fark olsada Fe ve Mn açısından anlamlı bir fark görülmemektedir. Ancak Zn konsantrasyon bakımından en yüksek biyoçar dozu 27.1 mg kg^{-1} B1 dozunda görülmektedir. Ayrıca en yüksek Zn içeriği mikorizalı B1 doz uygulamasında görülmektedir. Cu konsantrasyonu incelendiğinde ise yine en yüksek biyoçar dozu 4.8 mg kg^{-1} ile B1 dozundan elde edilirken 6.6 mg kg^{-1} ile mikorizalı B1 doz uygulamasından elde edilmiştir. Mikoriza uygulaması her ne kadar istatistiksel olarak dikkate değer bir fark yaratmamışsa da ortalama olarak 23.7 ile mg Zn kg^{-1} ile en yüksek Zn konsantrasyonuna sahiptir. Guo ve ark. (2022) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada mısır bitkisinde mikoriza aşılamasının bazı gelişim, verim ve beslenme parametrelerine etkisini araştırmışlardır. Söz konusu çalışmada mikorizal aşılamanın Zn alımını arttırdığı rapor edilmiş olup araştırma bulgularımızı kısmen destekler niteliktedir. Biyoçar uygulamalarının bitkilerce element alımını arttırdığı bilinmektedir (Hou ve ark., 2022). Bu elementler arasında mikro elementlerde (Fe, Mn, Zn ve Cu) bulunmaktadır.

Çizelge 4.40. Hasat sonrası dane mikro element konsantrasyon

		Fe	Mn	Zn	Cu
		(mg kg^{-1})			
M-	B0	85.4 ±8.3	16.5 ±9.9a	24.8 ±5.0a	5.4 ±0.8a
	B1	20.2 ±7.0	4.3 ±0.6b	18.7 ±1.7ba	3.0 ±0.5ba
	B2	75.0 ±41.7	15.0 ±1.1a	24.1 ±5.0a	5.2 ±1.5a
	B3	31.3 ±8.0	4.1 ±0.7b	21.3 ±2.8ba	3.5 ±0.4ba
	-M Ort.	**53.0 ±16.2**	**10.0 ±3.1**	**22.2 ±3.6**	**4.3 ±0.8**
M +	B0	23.5 ±5.3	4.6 ±0.4b	21.2 ±3.7b	3.9 ±0.8ba
	B1	123.5 ±19.0	15.9 ±0.4a	35.6 ±5.4a	6.6 ±0.4a
	B2	33.8 ±21.7	4.9 ±2.9b	20.4 ±12.3b	3.5 ±2.0b
	B3	65.7 ±65.8	4.6 ±0.6b	17.5 ±1.3b	3.5 ±0.6b
	+M Ort.	**61.6 ±27.9**	**7.5 ±1.1**	**23.7 ±5.7**	**4.3 ±0.9**
	B0 Ort.	54.4 ±6.8	10.6 ±5.1	23.0 ±4.3	4.6 ±0.8
	B1 Ort.	71.8 ±13.0	10.1 ±0.5	27.1 ±3.5	4.8 ±0.4
	B2 Ort.	54.4 ±31.7	9.9 ±2.0	22.3 ±8.6	4.3 ±1.7
	B3 Ort.	48.5 ±36.9	4.4 ±0.7	19.4 ±2.1	3.5 ±0.5

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.3638	0.2452	0.3262	0.5065
B	3	0.5179	0.0249	0.0259	0.0241
M*B	3	0.0022	0.0004	0.0007	0.0004

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Mikoriza uygulamaları ve artan dozlarda biyoçar uygulamalarının dane mikro element içeriğine (g ha^{-1}) etkisi Çizelge 4.41. da gösterilmektedir. Mikoriza uygulamaları arasındaki fark istatistiksel olarak dikkate değer bulunmamıştır. Biyoçar doz uygulamaları ise Mn, Zn ve Cu elementleri konsantrasyonu bakımından dikkate değer bir fark yaratmıştır. Ayrıca M*B interaksiyonu bakımından ise Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonu açısından dikkate değer bir fark vardır. Fe, Mn, Zn ve Cu içeriği bakımından B1 dozu en yüksek içeriklere sahip doz dur. M*B interaksiyonu bakımından ise mikorizalı ve B1 doz uygulaması en yüksek mikro element (Fe, Mn, Zn ve Cu) içeriğine sahip uygulamadır. Biyoçar fzikokimyasal özellikleri sayesinde bitkilerin beslenemesini etkilemektedir. Hou ve ark. (2022) biyoçar uygulamasının besin elementi alımını arttırdığını yapmış oldukları çalışmada göstermişlerdir.

İstatistiksel olarak mikoriza uygulması dikkate değer bir fark yaratmasada, ortalama olarak Fe, Mn, Zn ve Cu beslenmesini arttırdığı Çizelge 4.40 da görülmektedir. Ayrıca mikoriza mantarınında bitki gelişimi ve verimini arttırdığı bilinmektedir. Örneğin; Liu ve ark. (2000) yılında yapmış oldukları çalışmada mikorizal aşılamanın bitki Fe, Mn, Cu ve Zn beslenemesini arttırdığını rapor etmişlerdir. Söz konusu çalışma araştırmamızı destekler niteliktedir.

Çizelge 4.41. Hasat sonrası dane mikro element içerikleri

		Fe	Mn	Zn	Cu
			g/ha^{-1}		
M-	B0	1375 ±94	220 ±155ba	372 ±72ba	81 ±12a
	B1	347 ±121	74 ±10b	321 ±29b	52 ±9b
	B2	1266 ±697	253 ±17a	407 ±82a	88 ±24a
	B3	472 ±121	61 ±11b	321 ±44b	52 ±6b
	-M Ort.	**865 ±293**	**152 ±71**	**355 ±25**	**68 ±8**
M +	B0	387 ±80	76 ±7b	351 ±65b	65 ±14ba
	B1	2166 ±384	278 ±4a	622 ±86a	115 ±3a
	B2	656 ±247	94 ±16b	396 ±86b	67 ±5ba
	B3	1088 ±1037	79 ±7b	299 ±17cb	60 ±12b
	+M Ort.	**1074 ±152**	**132 ±6**	**417 ±12**	**77 ±6**
	B0 Ort.	881 ±10	148 ±105	362 ±5	73 ±1
	B1 Ort.	1257 ±186	176 ±4	471 ±40	84 ±4
	B2 Ort.	961 ±318	174 ±1	402 ±3	78 ±13
	B3 Ort.	780 ±648	70 ±2	310 ±19	56 ±4

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
M	1	0.2465	0.3567	0.1456	0.1584
B	3	0.3224	0.0115	0.0026	0.0055
M*B	3	0.0015	0.0002	0.0002	0.0005

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

4.2.4. Hasat sonrası farklı bitki aksamları N oranları ve miktarları

Çukurova bölgesi tarla koşullarında yapılan denemede 4 farklı doz biyoçar ile +M ve -M uygulamalarının bitkinin farklı aksamlarının topraktan kaldırdığı % N ve N kg ha^{-1} miktarını gösteren variyans analiz sonuçları Çizelge 4.42'de verilmektedir. Hasat sonrası alınan kök, kök üstü ve dane % N konsantrasyonu analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda dane % N u kök ve kök üstü % N 'una göre yüksek çıkmıştır. Çizelge 3.2'ye göre genel olarak +M uygulanan parsellerdeki mısır kök, kök üstü ve dane % N miktarı –M uygulanan parsellere kıyasla yüksek çıkmıştır. Farklı dozlarda B uygulamasının kök üstü aksamı %N oranına etkisi incelendiğinde ise istatistiksel olarak dikkate değer bir fark yoktur ancak ortalama olarak B2 dozu en yüksek %N içeriğine sahiptir. Ayrıca, kök % N bakımından artan dozlarda biyoçar uygulamalarının hem +M hem de -M uygulamasında istatistiksel olarak dikkate değer bir fark olduğu Çizelge 3.2 de görülmektedir. Gerek -M ve gerekse +M uygulaması yapılan parsellerdeki bitkilerde istatistiksel olarak B2 biyoçar uygulaması yapılan parsellerdeki bitkilerde yüksek N konsantrasyonu ölçülmüştür.

Bitki organlarının topraktan kaldırdığı N miktarı Çizelge 4.42'de görülmektedir. Mikoriza mantarının bitkilerin su ve besin elementi (N de içeren) sağlaması sonucu stres koşullarında bitki gelişimi ve verimini arttırmaktadır (Miransari, 2011). Ayrıca, Zhang ve ark. (2021) yapmış oldukları çalışmada biyoçar uygulamasının toprak enzim aktivitesi ve N ile ilişkili mikro organizma aktivitesine bağlı olarak toprak ve bitki N yarayışlılığını ve buna da bağlı olarak bitki verimini arttırdığını çalışmalarında rapor etmişlerdir

Mikoriza aşılamasının mısır kök, dane ve toplam N miktarı bakımından kg ha^{-1} olarak kaldırdığı N miktarı istatistiksel olarak dikkate değer bir fark yarattığı görülmektedir. Mikoriza

aşılaması genel olarak mısır N alımını arttırdığı Çizelge 3.2 de görülmektedir. Kök aksamında kaldırılan N miktarı mikorizalı parsellerde (40 kg ha^{-1} ile) mikorizasız parsellere (30 kg ha^{-1} ile) kıyasla yüksektir. Dane veriminde kaldırılan N miktarı bakımından istatistiksel olarak dikkate değer bir fark olup -M parseller daha fazla N kaldırmışlardır. Toplam kaldırılan N miktarı istatistiksel olarak önemli bulunmuş mikoriza aşılanan parseller daha yüksek N içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Kök üstü M uygulamalarında ise kaldırılan N dikkate değer bir fark yaratmamıştır. Ayrıca kök üstünde B dozları bakımından +M uygulamasında istatistiksel fark gözlenmemesine rağmen en yüksek ortalama B2 dozunda 432 kg ha^{-1} görülmüştür. -M uygulamalarında B dozları bakımından dikkate değer bir fark saptanmış olup en yüksek B2 dozunda 320 kg ha^{-1} olarak bulunmuştur. Dane veriminde ise - M parsellerinde B dozları bakımından istatistiksel fark saptanmamış olup ortalamalar içerisindeki en yüksek değer B1 255 kg ha^{-1} dır. Dane verimi +M parsellerinde ise B dozları arasında fark dikkate değer bulunmuş en yüksek ortalamalar B1 ve B4 dozunda sırasıyla 273 ve 265 kg ha^{-1} olduğu görülmüştür. Toplam kaldırılan N miktarı bakımından ise B dozları bakımından fark gözlenmemiştir. Ortalama olarak en yüksek doz 670 kg ha^{-1} +M B4 dozunun olduğu saptanmıştır.

B ortalamalarına bakıldığında üst aksamda %N en yüksek B2 ortalaması 1.18 N içeriği ise 376 kg ha^{-1} olarak saptanmıştır. Kök biyoçar ortalamalarında % N en yüksek 1.45 B2, N içeriği ise 42 kg ha^{-1} B0 dozunda bulunmuştur. Dane verimi biyoçar ortalamalarında en yüksek % N 1.58 N içeriği ise 264 kg ha^{-1} olduğu saptanmıştır. Toplam N içeriği ise en yüksek B2 dozunda 635 kg ha^{-1} olduğu görülmüştür.

Biyoçar bitki N alımını dolaylı olarak arttırmaktadır (Saarnio ve ark., 2013). Biyoçar üretildiği materyale ve sıcaklığa bağlı olarak nitrat ve amonyum absorbe edebilir (Clough ve ark., 2013). Bu durumda biyoçarın mısır N alımını neden arttırdığının bir göstergesi olabilir. Ayrıca konukçu bitki tarafından su ve besin alımını artırarak bitki büyümesini ve verim üretimini artıran karasal bitkilerin çoğuna simbiyotik olan arbusküler mikorizal (AM) mantarları (Clough ve ark., 2013; Miransari, 2011) bitki N beslenmesini arttırabilir (Hawkins ve George, 1999).

Çizelge 4.42. Hasat sonrası farklı bitki aksamları N oranları ve miktarları

Uygulamalar	Üst Aksam		Kök		Dane Verimi		Toplam N
	% N	N kg/ha	%N	N kg/ha	%N	N kg/ha	N kg/ha
			Mikorizasız				
Kontrol	1.09 ±0.09	286 ±36ba	1.29 ±0.01a	37 ±4a	1.52 ±0.02	245 ±8a	568 ±34
B1	1.14 ±0.22	274 ±10b	1.39 ±0.04a	26 ±3b	1.48 ±0.00	255 ±147a	555 ±156
B2	1.18 ±0.03	320 ±26a	1.37 ±0.01a	24 ±0.3b	1.44 ±0.09	244 ±18b	587 ±11
B3	1.04 ±0.11	200 ±19c	1.18 ±0.10b	30 ±3b	1.52 ±0.13	229 ±20b	459 ±7
Ortalama	**1.1 ±0.08**	**270 ±11**	**1.31 ±0.04B**	**30 ±1.6B**	**1.49 ±0.06B**	**243 ±66A**	542 **±70B**
			Mikorizalı				
Kontrol	1.09 ±0.23	238 ±45b	1.33 ±0.01c	46 ±2a	1.63 ±0.09	179 ±155b	463 ±116
B1	1 ±0.06	222 ±193b	1.36 ±0.08bc	44 ±2a	1.56 ±0.19	273 ±27a	659 ±16
B2	1.18 ±0.01	432 ±2a	1.52 ±0.00a	41 ±4a	1.64 ±0.00	211 ±183b	683 ±181
B3	1.14 ±0.14	389 ±4ba	1.46 ±0.10ba	30 ±1b	1.54 ±0.06	265 ±26a	670 ±10
Ortalama	**1.1 ±0.10**	**320 ±90**	**1.41 ±0.05A**	**40 ±1A**	**1.59 ±0.08A**	**232 ±83B**	619 **±83A**
Uygulamaların Önemlilik dereceleri							
B0 Ort.	1.09 ±0.064	262 ±25	1.31 ±0.007	42 ±2.8	1.58 ±0.01	212 ±6	516 ±24
B1 Ort.	1.07 ±0.156	248 ±7	1.38 ±0.028	35 ±2.1	1.52 ±0.00	264 ±104	607 ±110
B2 Ort.	1.18 ±0.021	376 ±18	1.45 ±0.007	33 ±0.2	1.54 ±0.06	228 ±13	635 ±8
B4 Ort.	1.09 ±0.078	295 ±13	1.32 ±0.071	30 ±2.1	1.53 ±0.09	247 ±14	565 ±5

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler (P)					
Mikoriza	1	0.9203	0.0988	0.0002	0.0001	0.0177	<.0001	0.0289
Biyoçar	3	0.3038	0.0298	0.0023	0.0001	0.08288	0.0154	0.2212
Mik*Biyo	3	0.6593	0.0256	0.0016	0.0001	0.485	0.0381	0.0398

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

Mikoriza aşılamasının mısır kök, dane ve toplam N miktarı bakımından kg ha^{-1} olarak kaldırdığı N miktarı istatistiksel olarak dikkate değer bir fark yarattığı görülmektedir. Mikoriza aşılaması genel olarak mısır N alımını arttırdığı Çizelge 3.2 de görülmektedir. Kök aksamında kaldırılan N miktarı mikorizalı parsellerde (40 kg ha^{-1} ile) mikorizasız parsellere (30 kg ha^{-1} ile) kıyasla yüksektir. Dane veriminde kaldırılan N miktarı bakımından istatistiksel olarak dikkate değer bir fark olup -M parseller daha fazla N kaldırmışlardır. Toplam kaldırılan N miktarı istatistiksel olarak önemli bulunmuş mikoriza aşılanan parseller daha yüksek N içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Kök üstü M uygulamalarında ise kaldırılan N dikkate değer bir fark yaratmamıştır. Ayrıca kök üstünde B dozları bakımından +M uygulamasında istatistiksel fark gözlenmemesine rağmen en yüksek ortalama B2 dozunda 432 kg ha^{-1} görülmüştür. -M uygulamalarında B dozları bakımından dikkate değer bir fark saptanmış olup en yüksek B2 dozunda 320 kg ha^{-1} olarak bulunmuştur. Dane veriminde ise - M parsellerinde B dozları bakımından istatistiksel fark saptanmamış olup ortalamalar içerisindeki en yüksek değer B1 255 kg ha^{-1} dır. Dane verimi +M parsellerinde ise B dozları arasında fark dikkate değer bulunmuş en yüksek ortalamalar B1 ve B4 dozunda sırasıyla 273 ve 265 kg ha^{-1} olduğu görülmüştür. Toplam kaldırılan N miktarı bakımından ise B dozları bakımından fark gözlenmemiştir. Ortalama olarak en yüksek doz 670 kg ha^{-1} +M B4 dozunun olduğu saptanmıştır.

Biyoçar bitki N alımını dolaylı olarak arttırmaktadır (Saarnio ve ark., 2013). Biyoçar üretildiği materyale ve sıcaklığa bağlı olarak nitrat ve amonyum absorbe edebilir (Clough ve ark., 2013). Bu durumda biyoçarın mısır N alımını neden arttırdığının bir göstergesi olabilir. Ayrıca konukçu bitki tarafından su ve besin alımını artırarak bitki büyümesini ve verim üretimini artıran karasal bitkilerin çoğuna simbiyotik olan arbusküler mikorizal (AM) mantarları (Clough ve ark., 2013; Miransari, 2011) bitki N beslenmesini arttırabilir (Hawkins ve George, 1999).

4.2.5. Hasat Sonrası Farklı Bitki Aksamları Karbon Oranları ve Fiksasyon Miktarları

Hasat sonrası alınan bitki farklı (kök, kök üstü ve danede) aksamlarında karbon konsantrasyonu analizi yapıldı. Analiz edilen % C konsantrasyonun üzerinden bitkinin fotosentez yolu ile atmosferden absorbe ettiği toplam karbon miktarı ve eşdeğeri CO_2 hesaplanmış olup sonuçlar Çizelge 4.43'te sunulmuştur. Kök, kök üstü ve dane örneklerinin % C konsantrasyonları yönünden –M ve + M uygulamaları arasında istatistiksel olarak bir fark olmadığı belirlenmiştir. İstatistiksel anlamda önemli bir fark olmamasına rağmen +M uygulamalarında % C konsantrasyonu bir miktar yüksek olduğu görülmüştür. Bitki alt organlarında C %32-35 arasında değişkenlik göstermiştir. Genel olarak mikoriza mantarının bitki biyokütlesini arttırması sonucu atmosferik CO_2 bağlanmasını da arttırdığı (Staddon ve ark., 1999) bilinmektedir.

Kök üstü, kök ve dane aksamlarında mikoriza aşılanmış parsellerde C bağlaması dikkate değer bir fark olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar hipotezimizi desteklemektedir.

Biyoçar ortalamalarına bakıldığında üst aksam % C en yüksek B0 ortalamaları % 35, C içeriğinde ise en yüksek B2 ortalaması 10593 kg ha^{-1} olduğu görülmektedir. Kök % C en yüksek B1 ve B2 dozu % 38, C içeriğinde ise en yüksek B0 1043 kg ha^{-1} olarak belirlenmiştir. Dane verimi en yüksek % C ortalaması B2 ortalaması % 34 ve C içeriği ise en yüksek 6147 kg ha^{-1} olarak belirlenmiştir. Biyoçar ortalamaları bakımından en yüksek toplam C içeriği B2 ortalaması 18116 kg ha^{-1} olduğu saptanmıştır. Biyoçar ortalamalarının CO_2 fiksasyonuna açısından baktığımızda ise 66424 B2 dozunda olduğu görülmüştür.

+M ve -M uygulamalarında bitki tarafından gerçekleştirilen CO_2 fiksasyonu bakımından istatistiksel olarak +M uygulaması dikkate değer bir fark görülmüştür. Artan dozlarda biyoçar ve mikoriza aşılaması 61.639 bin kg ha^{-1} CO_2 absorbe edildiği -M uygulamasında ise 53.968 bin kg ha^{-1} CO_2 absorbe edildiği belirlenmiştir. Artan dozlarda biyoçar uygulamalarının CO_2 fiksasyonuna etkisi incelendiğinde (Çizelge 3.3) dikkate değer bir fark olduğu ($P<0.05$) görülmektedir. Bitki dokularındaki toplam karbon miktarı incelendiğinde ise istatistiksel olarak fark önemli bulunmuş mikorizalı bitkilerin ortalama değerler üzerinden yaklaşık 17 bin kg C ha^{-1} ve mikoriza aşılaması yapılmayan bitkilerde yaklaşık 15 bin kg C ha^{-1} bağlamıştır. Artan dozlarda biyoçar uygulamasının mısır C fiksasyonuna etkisi incelendiğinde artan dozlarda B uygulamasına bağlı olarak B2 dozuna kadar C fiksasyonunun arttığı görülmektedir. Biyoçar içerdiği C, mineral elementler (P, Zn, Cu, Mn vb.) ile toprak ve bitki verimliliğini arttırdığı bilinmektedir (Al-Wabel ve ark., 2013). Örneğin; Gale ve Thomas (2019) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada biyoçar doz uygulamasının bitki gelişimine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada biyoçar dozuna bağlı olarak bitki gelişiminin genel olarak artış gösterdiği rapor edilmiştir. Biyokütle ile beraber C fiksasyonunun da artması beklenilen bir durumdur.

Çizelge 4.43. Hasat sonrası farklı bitki aksamları karbon oranları ve fiksasyon miktarları

Uygulamalar	Üst Aksam		Kök		Dane Verimi		Toplam C	CO_2 Fiksasyonu
	% C	C kg/ha	% C	C kg/ha	% C	C kg/ha	C kg/ha	kg/ha
Konular				**Mikorizasız**				
Kontrol	34.28 ±1.64	8794 ±752a	29.47 ±3.96b	865 ±204a	31.2 ±0.88	5043 ±228b	14702 ±857a	53908 ±3141ba
B1	33.23 ±0.44	9637 ±563a	40.73 ±1.52a	750 ±55ba	30.92 ±1.50	5319 ±257ba	15707 ±689a	57590 ±2526a
B2	34.21 ±1.14	9297 ±285a	39.27 ±2.34a	687 ±48b	33.68 ±0.35	5696 ±76a	15680 ±288a	57493 ±1055a
B3	33.88 ±4.33	6428 ±927b	32.99 ±2.55b	827 ±94a	34.18 ±2.29	5152 ±365b	12786 ±691b	46882 ±2535c
Ortalama	**33.9 ±1.70**	**8539 ±275B**	**35.62 ±1.01**	**782 ±72B**	**32.5 ±0.84**	**5302 ±119B**	**14719 ±242B**	**53968 ±888B**
				Mikorizalı				
Kontrol	34.92 ±0.16	3674 ±367b	35.01 ±3.89ba	1220 ±204a	33.75 ±2.58	5582 ±512b	10476 ±3765b	38412 ±13804c
B1	33.72 ±0.58	11549 ±282a	34.39 ±1.76ba	1127 ±57a	32.6 ±0.79	5708 ±267b	18383 ±482a	67404 ±1768ba
B2	35.44 ±0.62	12885 ±200a	37.5 ±3.04a	1009 ±182ba	33.9 ±1.78	6597 ±274a	20551 ±99a	75355 ±362a
B3	34.04 ±1.23	11487 ±660a	36.96 ±3.05a	760 ±171b	32.58 ±1.31	5586 ±550b	17832 ±1310a	65383 ±4804ba
Ortalama	**34.53 ±0.44**	**9898 ±1659A**	**35.96 ±1.15**	**1029 ±66A**	**33.2 ±0.76**	**5868 ±151A**	**16811 ±1647A**	**61639 ±6038A**
B0 Ort.	35 ±1.2	6234 ±532	32 ±3	1043 ±144	32 ±0.6	5313 ±161	12589 ±606	46160 ±2221
B1 Ort.	33 ±0.3	10593 ±398	38 ±1	939 ±39	32 ±1.1	5514 ±182	17045 ±487	62497 ±1786
B2 Ort.	35 ±0.8	11091 ±202	38 ±2	848 ±34	34 ±0.2	6147 ±54	18116 ±204	66424 ±746
B3 Ort.	34 ±3.1	8958 ±655	35 ±2	794 ±66	33 ±1.6	5369 ±258	15309 ±489	56133 ±1793

Uygulamaların Önemlilik dereceleri

Uygulamalar	Sd							
				Önemlilikler				
Mikoriza	1	0,3522	0.0243	0.6914	0.0006	0.3069	0.0011	0.0027	0.0348
Biyoçar	3	0,4857	0.0001	0.0167	0.0412	0.173	0.0027	0.0001	0.004
Mik*Biyo	3	0,9607	0.0001	0.0223	0.0461	0.1695	0.5744	0.0002	0.0188

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir..Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

4.2.6. Hasat Sonrası Bazı Kök Morfolojik Özellikleri, Kök İnfeksiyon Oranı ve Mikoriza Spor Sayısı

Biyoçar ve mikoriza (+M, –M) uygulamalarının mısır bitkisi kök morfolojik özellikleri üzerine etkileri WinRhizo optik tarayıcı ile ölçüldü ve toplam kök parametreleri sonuçları Çizelge 4.44.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.44. Hasat sonrası biyoçar ve mikoriza uygulamaların kök çapı kök uzunluğu yüzey alanı ve toplam hacim özellikleri üzerine etkileri.

Uygulamalar	Kök Çapı	Kök Uzunluğu	Kök Alanı	Kök Hacmi
	mm	km/ha	m^2 ha	m^3 ha
Konular		**Mikorizasız**		
Kontrol	0.5 ±0.09	75.11 ±2.42b	13.05 ±0.06c	0.00191 ±0.00019ba
B1	0.58 ±0.18	154.13 ±7.74a	25.05 ±1.27a	0.00282 ±0.00025a
B2	0.5 ±0.03	39.13 ±19.38c	16.43 ±0.96b	0.00111 ±0.00104b
B4	0.49 ±0.10	77.74 ±14.93b	11.72 ±1.54c	0.00144 ±0.00036b
Ortalama	**0.52 ±0.06**	**86.52 ±7.52**	**16.56 ±0.64A**	**0.00182 ±0.00039**
		Mikorizalı		
Kontrol	0.5 ±0.14	126.65 ±29.71a	19.07 ±0.65a	0.00239 ±0.00069a
B1	0.54 ±0.10	71.19 ±6.75b	13.35 ±1.57b	0.00226 ±0.00054a
B2	0.55 ±0.10	61.96 ±3.93b	11.97 ±1.19b	0.00166 ±0.00039ba
B4	0.57 ±0.10	44.53 ±9.26b	7.82 ±0.18c	0.00112 ±0.00021b
Ortalama	**0.54 ±0.02**	**76.08 ±11.73**	**13.05 ±0.61B**	**0.00186 ±0.00021**
B0 Ort.	0.5 ±0.04	100.88 ±19.3	16.06 ±0.04	0.00215 ±0.0001
B1 Ort.	0.56 ±0.06	112.66 ±0.7	19.2 ±0.90	0.00254 ±0.0002
B2 Ort.	0.53 ±0.05	50.55 ±10.9	14.2 ±0.68	0.001385 ±0.0007
B3 Ort.	0.53 ±0.00	61.14 ±4.0	9.77 ±1.09	0.00128 ±0.0003

Uygulamaların Önemlilik dereceleri

Uygulamalar	Sd		Önemlilikler		
Mikoriza	1	0,5255	0,1303	<,0001	0,8529
Biyoçar	3	0,9062	0,0001	0,0001	0,002
Mik*Biyo	3	0,8544	<0001	<0001	0,2211

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

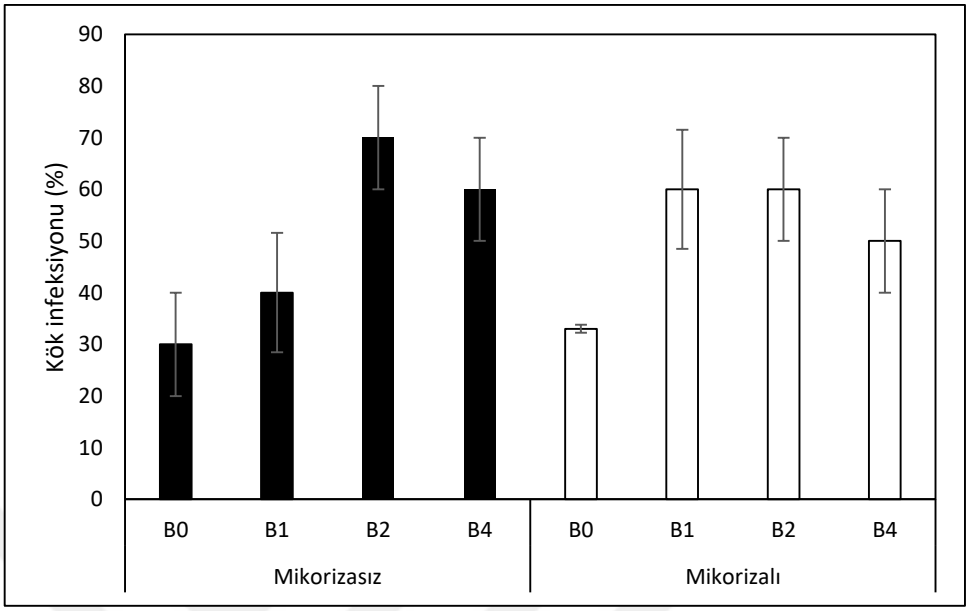
Mikoriza uygulaması yapılan parsellerde, mikoriza uygulaması yapılmayan parsellere göre bitki kök çapı, kök uzunluğu ve kök hacmi bakımından istatistiksel olarak dikkate değer bir fark olmadığı görülmüştür. Biyoçar farklı doz uygulamalarında kök çapında istatistiksel bir fark oluşmamış fakat kök uzunluğu, kök alanı ve kök hacminde dikkate değer farklar görülmüştür. Genel olarak kök uzunluğu, kök alanı ve kök hacminde biyoçar doz artışıyla azalma saptanmıştır. Tarin ve ark. (2019) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada artan dozlarda biyoçar uygulamasının (0, 5, 20 ve 80 g kg^{-1}) bitki kök morfolojik özelliklerini (kök çapı, uzunluğu, yüzey alanı ve hacmi) arttırdığını rapor

etmişlerdir. Ancak, Hossain ve ark. (2020b) gerçekleştirmiş olduğu çalışmada yüksek yüzey alanı, gözenekliliği ve yükleri ile biyoçar uygulaması toprak tuzluluğu ve EC sini etkileyebileceği ve dolayısı ile bazen bitkileri strese sokabileceğini belirtmişlerdir. Biyoçar ortalama değerlerinde kök çapı, kök uzunluğu, kök alanı ve kök hacmi ortalama değerlerinde en yüksek B1 ortalamalarında saptanmıştır. Çalışmamızda artan dozlarda biyoçar uygulamasının kök morfolojik özelliklerinin düşürmesinin nedeni biyoçarın yüzey alanına bağlı olabilir.

Literatürde biyoçar ve mikoriza uygulamalarını bitki kök gelişimine dair çalışmalar sınırlıdır. Örneğin; Rafique ve ark. (2019a) yapmış oldukları çalışmada %1 dozunda biyoçar ve mikoriza uygulamasının soğan kök gelişimini arttırdığına yönelik olup araştırma bulgularımızı kısmen destekler niteliktedir. Ayrıca Safaei Asadabadi ve ark. (2021) yapmış oldukları çalışmada biyoçar, kompost ve mikoriza uygulamalarının bitki kök morfolojik özelliklerine etkisini araştırmış olup çalışmada mikoriza uygulamasının bitki kök morfolojik özelliklerini arttırdığı rapor edilmiştir. Ancak literatürde artan doz uygulamalarının bitki kök morfolojik özelliklerine etkisi ile ilgili çalışmalar hemen hemen hiç yoktur. Artan dozlarda biyoçar uygulaması bitki kök gelişimini geriletmiş olabilir. Bilindiği üzere yüksek yüzey alanına sahip biyoçar uygulanan gübreleri kök bölgesinde tutarak stres koşulları yaratıp bitki kök gelişimini geriletebilir. Örneğin; Tarin ve ark. (2019) yapmış oldukları çalışmada biyoçar uygulamasının kök gelişimine etkisi hakkında son derece çelişkili sonuçların olduğunu ve uygulamaya bağlı olarak kök gelişiminin artıp ya da azabileceğini rapor etmişlerdir. Söz konusu çalışma bulgularımızı kısmen destekler niteliktedir.

- Artan dozlarda biyoçar uygulamaları ve mikoriza aşılamasının (%) bitki kök infeksiyon oranına etkisi incelendiğinde (Şekil 4.3), mikoriza uygulamaları bakımından istatistiksel fark olmamasına rağmen biyoçar dozları kök infeksiyonu açısından dikkate değer fark oluşturmuştur. Toprak steril edilmediği için doğal olarak kök enfeksiyonu geçekleşmiş, ancak enfeksiyon yoğunluğunun farklı olması beklenebilir.
- Biyoçar dozları açısından mikoriza aşılanmamış ve B2 dox biyoçar uygulanan parsellerdeki bitkilerin kök enfeksiyonu en yüksek düzeyde gerçekleşmiş, ancak mikoriza uygulanan ve B1 ve B2 dozları en yüksek infeksiyon oranını ulaştığı görülmektedir. Ancak B4 dozunda infeksiyon oranında ise düşük kök enfeksiyonu ölçülmüştür. Özellikle B4 dozu uygulamasının mikorizal aktivite için yüksek bir doz olabileceği görülmektedir. B0 biyoçar dozuna göre diğer biyoçar dozlarında infeksiyonda genel bir yükseliş söz konusudur. Yüksek dozda biyoçar uygulamasının mikorizal aktiviteyi olumsuz yönde etkilenmiş olması bioçarın sınırsız kullanımının olmayacağı gerçeğini ortaya çıkarmaktadır. B4 dozundaki mikorizal infeksiyondaki düşüş biyoçarın yüksek yüzey alanı ile toprak mikroorganizmalarından biri olan mikoriza mantarının aktivitesini olumsuz etkilemiş olabilir. Benzer şekilde Quilliam ve

ark. (2013) çalışmaları sonuçları biyoçar uygulamasının toprak mikroorganizmalarını olumlu yâda olumsuz yönde etkileyebileceği yönündedir.



Şekil 4.3. Mısır bitkisine uygulanan biyoçar ve mikoriza uygulamalarının kök infeksiyon değerlerine etkisi

Artan dozlarda biyoçar uygulamasının –M parsellerde spor sayısına etkisi incelendiğinde kontrole göre biyoçar dozlarında spor sayılarında genel olarak artış meydana gelmiştir (Çizelge 4.45.). Mikoriza uygulaması yapılan parsellerde farklı derinlik ve farklı bölgelerinde spor sayısına etkisi incelendiğinde istatistiksel olarak dikkate değer bir fark olduğu görülmektedir. Literatürde, biyoçar uygulamasının mikoriza spor sayısını azaltabileceği (Daniel D Warnock ve ark., 2007a) veya arttırabileceğine (Abeer Hashem ve ark., 2019) dair çalışmalar vardır. Ancak beklenen biyoçarın geniş yüzey alanı ile mikoriza sporlarının gelişimine ev sahipliği yapmasıdır (brahim Ortaş, 2016).

Çizelge 4.45. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde spor sayıları (spor sayısı 10 g kuru toprak)

Uygulamalar	R (0-15) cm	NR (0-15) cm	R (15-30)cm	NR (15-30)cm
		Adet (10 g^{-1})		
Konular		**Mikorizasız**		
Kontrol	63 ±11b	63 ±10b	60 ±10	36 ±2
B1	117 ±12a	62 ±19b	67 ±11	46 ±9
B2	57 ±6b	104 ±14a	96 ±19	33 ±15
B3	100 ±12a	55 ±17b	74 ±20	41 ±10
Ortalama	**84 ±3B**	**71 ±4**	**75 ±5A**	**39 ±6B**
		Mikorizalı		
Kontrol	62 ±1c	51 ±13b	69 ±12	54 ±23
B1	82 ±7b	41 ±17b	55 ±16	55 ±13
B2	63 ±10c	111 ±15a	41 ±8	73 ±16
B3	205 ±1a	50 ±18b	43 ±14	27 ±11
Ortalama	**103 ±4A**	**63 ±2**	**52 ±4B**	**52 ±5A**
B0 Ort.	63 ±8	57 ±7	65 ±7	45 ±1
B1 Ort.	100 ±8	52 ±13	61 ±8	51 ±6
B2 Ort.	60 ±4	108 ±10	69 ±13	53 ±11
B3 Ort.	153 ±8	53 ±12	59 ±14	34 ±7
Uygulamalar	**Sd**	**Önemlilikler**		
Mikoriza	1 <.0001	0.2375	0.0013	0.0313
Biyoçar (+M)	3 0.0001	0.0001	0.6740	0.1138
Mik*Biyo	3 <.0001	0.5085	0.0082	0.0227

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir

4.2.7. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Ph ve Tuz İçerikleri

Tarla koşullarında farklı doz biyoçar(B0,B1,B2 ve B3) ve mikoriza uygulamalarının (+M ve -M) toprak Ph içeriğine etkisi Çizelge de verilmiştir. Buna göre değerlendirilen ph içerikleri ortalamaları arasında önemli düzeyde fark bulunamamıştır ($p>0.05$). Çizelgede Farklı doz biyoçar uygulamaları toprak Ph'sında 0.1-0.5 arasında değişimler olduğu fakat pH sınıfı bakımından bir değişiklik olmadığı görülmüştür.Biyoçarların çoğu bazik karakterlidir. Meşe, kayın gibi ağaçların odunlarının 500-600 ºC'de hızlı pirolizi ile elde edilen biyoçarın toprağa ilavesinin toprak pH'sını 0-15 ve 15-30 cm derinliklerde sadece NPK veya sıvı hayvan gübresi uygulamalarına kıyasla ortalama 0.3-0.8 birim arttırabildiği görülmüştür (Bera ve ark., 2016).

Çizelge 4.46. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde pH İçerikleri

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 cm R	15-30 cm NR
M-	B0	7.6 ±0.02	7.6 ±0.01	8.0 ±0.01	7.5 ±0.11
	B1	7.6 ±0.19	7.5 ±0.08	7.6 ±0.05	7.4 ±0.07
	B2	7.6 ±0.11	7.6 ±0.12	7.7 ±0.17	7.8 ±0.19
	B3	7.5 ±0.15	7.7 ±0.09	7.7 ±0.07	7.8 ±0.16
	-M Ort.	**7.6** ±0.08	**7.6** ±0.05	**7.8** ±0.07	**7.6** ±0.06
M +	B0	7.7 ±0.07	7.6 ±0.08	7.6 ±0.06	7.6 ±0.25
	B1	7.5 ±0.05	7.4 ±0.04	7.5 ±0.05	7.7 ±0.08
	B2	7.8 ±0.07	7.7 ±0.17	7.8 ±0.16	7.6 ±0.19
	B3	7.9 ±0.16	7.5 ±0.00	7.6 ±0.03	7.8 ±0.18
	+M Ort.	**7.7** ±0.05	**7.5** ±0.07	**7.6** ±0.06	**7.7** ±0.07
	B0 Ort.	7.6 ±0.039	7.6 ±0.046	7.8 ±0.032	7.6 ±0.104
	B1 Ort.	7.5 ±0.102	7.5 ±0.030	7.5 ±0.003	7.6 ±0.007
	B2 Ort.	7.7 ±0.025	7.7 ±0.041	7.7 ±0.007	7.7 ±0.002
	B3 Ort.	7.7 ±0.003	7.6 ±0.064	7.6 ±0.032	7.8 ±0.015

	sd	Önemlilikler(P)			
M	1	0.8544	0.635	0.7380	0.6107
B	3	0.0685	0.0741	0.0803	0.0622
M*B	3	0.8246	0.9621	0.8727	0.9150

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir

Tarla koşullarında farklı doz biyoçar (B0, B1, B2 ve B3) ve mikoriza uygulamalarının (+M ve -M) toprak tuz içeriğine etkisi Çizelge 4.47. de verilmiştir.Çizelge değerlerine bakıldığında toprak tuzluluk sınıflamasına göre topraklar deneme kurulmadan öncesinde olduğu gibi tuzsuz topraklar sınıflaması (0-2 Ds/m) aralığında olduğu görülmektedir. Mikoriza uygulamalarında istatistiksel olarak fark görülmemiştir. Biyoçar ortalamaları ve M*B interaksiyonunda da istatistiksel fark önemli bulunmamıştır. Tuzluluk stresine maruz kalmış topraklarda biyoçarın gelişmiş Na/K oranını neden olduğu bitkinin büyüme gerilemesini hafiflettiği saptanmıştır ve , bitkilerin biyoçarın faydalarından tam olarak yararlanmak için simbiyotik mikroorganizmalara bağlı olduğunu göstermektedir. (Hammer ve ark., 2015). AM mantarlarının bitkilerde tuzluluk stresini iyileştirdiği bilinmektedir (Porcel ve ark., 2012).

Çizelge 4.47. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Tuz İçerikleri

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
		EC Ds/m			
M-	B0	0.285 ±0.079	0.263 ±0.089	0.214 ±0.006	0.217 ±0.043
	B1	0.268 ±0.097	0.248 ±0.101	0.216 ±0.006	0.208 ±0.051
	B2	0.224 ±0.031	0.204 ±0.026	0.209 ±0.010	0.183 ±0.011
	B3	0.218 ±0.028	0.208 ±0.026	0.213 ±0.012	0.182 ±0.011
	-M Ort.	**0.238** ±0.014	**0.251** ±0.055	**0.219** ±0.019	**0.201** ±0.024
M +	B0	0.233 ±0.014	0.267 ±0.054	0.232 ±0.010	0.199 ±0.024
	B1	0.236 ±0.012	0.281 ±0.033	0.224 ±0.024	0.206 ±0.020
	B2	0.277 ±0.082	0.286 ±0.041	0.211 ±0.023	0.190 ±0.012
	B3	0.346 ±0.103	0.263 ±0.060	0.196 ±0.004	0.182 ±0.020
	+M Ort.	**0.372** ±0.063	**0.284** ±0.064	**0.197** ±0.004	**0.179** ±0.015
	B0 Ort.	0.259 ±0.046	0.265 ±0.025	0.223 ±0.003	0.208 0.013
	B1 Ort.	0.252 ±0.061	0.264 ±0.048	0.220 ±0.012	0.207 0.022
	B2 Ort.	0.250 ±0.036	0.245 ±0.010	0.210 ±0.009	0.187 0.001
	B3 Ort.	0.282 ±0.053	0.235 ±0.025	0.204 ±0.006	0.182 0.006
	Sd				
M	1	0.1515	0.0637	0.7191	0.4021
B	3	0.3284	0.578	0.0915	0.2637
M*B	3	0.5001	0.0607	0.3677	0.2087

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir

4.2.8. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde Fosfor İçerikleri

Tarla koşullarında farklı doz biyoçar(B0,B1,B2 ve B3) ve mikoriza uygulamalarının (+M ve -M) toprak fosfor içeriğine etkisi Çizelge 4.48. de verilmiştir. Çizelge ‘de 0-15 cm R toprağında mikoriza uygulamalarının (+M ve -M) arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. 0-15 cm R toprağında biyoçar ortalamaları ve B*M interaksiyonu önemli olduğu saptanmıştır. 0-15 cm NR toprağında mikoriza uygulamalarının (+M ve -M) arasındaki fark istatistiksel önemli bulunmuş fakat biyoçar ortalamaları ve B*M interaksiyonu arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür. 15-30 cm R toprağında mikoriza uygulamalarının (+M ve -M) arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.15-30 cm R toprağında biyoçar ortalamaları ve B*M interaksiyonu önemli olduğu saptanmıştır. 15-30 cm NR toprağında mikoriza uygulamalarının (+M ve -M) arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur, fakat biyoçar ortalamaları ve B*M interaksiyonu arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz olduğu görülmüştür.(Mau ve Utami, 2014)yaptıkları çalışmanın sonucunda, biyoçar ve mikoriza aşılamasının topraktan fosfor alımını ve mısır tarafından fosfor alımını arttırdığını saptamışlar ve uygulama 4.5 ve 7.5 g biyoçar/kg toprak, 10-15 mikoriza sporu/kg toprak aşılaması ile kombine edilerek mısırın yüksek düzeyde fosfor alımı sağlandı.

Çizelge 4.48. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde fosfor içerikleri

Uygulamalar		0-15 cm R	0-15 cm NR	15-30 CM R	15-30 CM NR
		kg/da			
M-	B0	7.29 ±0.24ba	5.40 ±0.52	3,19 ±0,41cb	5,62 ±0,24
	B1	7.66 ±0.58a	3.08 ±0.28	4,23 ±0,58b	4,38 ±0,92
	B2	7.20 ±2.05ba	4.99 ±0.82	8,86 ±0,21a	3,90 ±1,04
	B3	7.05 ±0.78b	4.63 ±0.03	4,34 ±0,33b	4,74 ±0,19
	-M Ort.	**7.30** ±0.79	**4.53** ±0.34B	**5,15** ±0,16	**4,66** ±0,45B
M +	B0	5.09 ±0.36b	5.04 ±0.71	6,24 ±0,38a	4,53 ±0,48
	B1	7.23 ±0.61a	7.23 ±0.80	3,58 ±0,35b	4,40 ±0,50
	B2	7.57 ±1.17a	5.04 ±0.31	5,78 ±0,20ba	10,00 ±0,88
	B3	5.63 ±0.12b	3.66 ±3.06	4,81 ±0,23b	3,90 ±0,06
	+M Ort.	**6.38** ±0.45	**5.24** ±1.25A	**5,10** ±0,09	**5,71** ±0,34A
	B0 Ort.	6.19 ±0.08	5.22 ±0.13	4,71 ±0,02	5,08 ±0,17
	B1 Ort.	7.44 ±0.02	5.16 ±0.37	3,90 ±0,16	4,39 ±0,30
	B2 Ort.	7.38 ±0.62	5.01 ±0.36	7,32 ±0,01	6,95 ±0,11
	B3 Ort.	6.34 ±0.46	4.15 ±2.15	4,58 ±0,07	4,32 ±0,09
	Sd				
M	1	0.6250	0.0404	0.4710	0.0458
B	3	0.0445	0.7530	0.0368	0.6450
M*B	3	0.0350	0.705	0.0482	0.675

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir

4.2.9. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde İnorganik Karbon İçeriği

Biyoçar ve mikoriza (+M ve –M) uygulamalarının toprak inorganik karbon (IC) % üzerine etkisi Çizelge 4.49'da görülmektedir. IC içeriği toprakta kireç analizi yapılarak belirlenmiştir. Hasat sonrası rizosfer ve rizosfer olmayan toprak örnekleri ayrı ayrı alınmıştır.

Kısa süreli biyoçar uygulaması sonucu istatistiki düzeyde bir IC değişimi genel olarak beklenmemektedir. Mikoriza uygulamaları bakımından sadece NR 15-30 cm istatistiksel bir fark oluşmuştur ve +M uygulaması istatistiksel olarak yüksek görülmüştür. Biyoçar dozları bakımından +M ve -M uygulamalarında 0-15 cm NR ile 15-30 cm R topraklarında inorganik karbon istatistiksel bir fark görülmektedir. Beklenileceği gibi toprakların değişmez özelliklerinden olan kireç içeriğine bağlı olarak inorganik karbon konsantrasyonu uygulamalar arasında belirgin bir farklılık oluşturmamıştır.

Toprak Kireç (yani IC) içeriği toprağın kolay kolay değişebilen özelliklerinden biri değildir (Işık ve ark., 2020; Özbek ve ark., 1993). Dolayısı ile araştırma bulgularımızda fark görünmemesi beklenen bir durumdur.

Çizelge 4.49. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde İnorganik Karbon İçeriği

Uygulamalar	% IC 0-15 cm R	% IC 0-15 cm NR	% IC 15-30 cm R	% IC 15-30 cm NR
Konular		**Mikorizasız**		
Kontrol	3.92 ±0.16	4.13 ±0.11b	4.16 ±0.16a	3.8 ±0.12
B1	3.87 ±0.12	3.79 ±0.11c	3.83 ±0.07b	3.9 ±0.11
B2	4.03 ±0.03	4.4 ±0.06a	3.75 ±0.05b	3.9 ±0.07
B4	4.05 ±0.01	3.82 ±0.03c	4.15 ±0.14a	3.85 ±0.11
Ortalama	**3.97 ±0.07**	**4.03 ±0.04**	**3.97 ±0.05**	**3.86 ±0.02B**
		Mikorizalı		
Kontrol	3.99 ±0.10	3.99 ±0.10ba	4.02 ±0.14a	4.06 ±0.01
B1	3.89 ±0.14	3.89 ±0.14ba	3.83 ±0.10ba	4 ±0.14
B2	4.11 ±0.06	4.11 ±0.06a	3.91 ±0.12ba	3.98 ±0.02
B4	3.85 ±0.09	3.85 ±0.09ba	3.86 ±0.12ba	3.84 ±0.21
Ortalama	**3.96 ±0.03**	**3.96 ±0.03**	**3.91 ±0.02**	**3.97 ±0.10A**
B0 Ort.	3.96 ±0.11	4.06 ±0.08	4.09 ±0.11	3.93 ±0.08
B1 Ort.	3.88 ±0.08	3.84 ±0.08	3.83 ±0.05	3.95 ±0.08
B2 Ort.	4.07 ±0.02	4.26 ±0.04	3.83 ±0.04	3.94 ±0.05
B3 Ort.	3.95 ±0.01	3.84 ±0.02	4.01 ±0.10	3.85 ±0.08

Uygulamaların Önemlilik dereceleri

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
Mikoriza	1	0.1663	0.0715	0.1825	0.0391
Biyoçar	3	0.6684	0.0001	0.0025	0.3901
Mik*Biyo	3	0.1057	0.0091	0.0299	0.2677

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir

4.2.10. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon İçeriği

Denemenin başlangıcında tarlaya uygulanan artan dozlardaki biyoçar uygulamaları ve mikoriza (+M ve –M) aşılamalarının hasat sonrası toplam karbon içeriği (TC) dumas kuru yakma metoduna göre Fisher-2000 CN aleti ile belirlendi. Çizelge 4.50 de görüldüğü gibi mikoriza uygulamaları (+M ve -M) yapılan 0-15 cm derinliğinde rizosfer toprağının toplam karbon içeriği yönünden istatistiksel farklılık görülmüş ancak 15-30 cm derinliğindeki rizosfer topraklarında ise uygulamalar arasında herhangi bir farklılık görülmemiştir. Mikoriza uygulamaları açısından rizosfer olmayan topraklarda mikorizalı ve mikorizasız uygulamalar arasında toplam karbon içeriği 0-15 cm derinliğinde fark önemli çıkmış, 15-30 cm derinliğinde ise belirgin bir farklılık görülmemiştir. Biyoçar doz uygulamalarının toplam karbon içeriğinde istatistiksel olarak R topraklarının 0-15 ve 15-30 cm derinliklerinde dikkate değer bir fark ($p<0.05$) oluşturduğu görülmektedir. NR topraklarında ise biyoçar dozları arasında toplam karbon içeriği açısından önemli fark olduğu görülmektedir. Çizelge ’de görüleceği üzere artan dozlarda biyoçar uygulamasına bağlı olarak göreceli toprak %TC içeriği de bir artış göstermektedir. Biyoçar materyalinin organik karbon içeriğine sahip olduğu (Mukherjee ve Zimmerman, 2013) bilinmektedir. Organik karbonca zengin olan Biyoçarın toprak TC içeriğine de etki etmesi beklenen bir durumdur. Ayrıca (El-Naggar ve ark.,

2019) yapmış oldukları çalışmada biyoçar uygulamasının toprak C bağlanmasını arttırdığını rapor etmişlerdir.

Çizelge 4.50. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam karbon oranları

Uygulamalar	% TC 0-15 cm R	% TC 0-15 cm NR	% TC 15-30 cm R	% TC 15-30 cm NR
Konular		**Mikorizasız**		
Kontrol	4.54 ±0.10c	4.69 ±0.21b	4.77 ±0.10b	4.37 ±0.27ba
B1	4.67 ±0.00c	4.71 ±0.02ba	4.41 ±0.09c	4.53 ±0.03ba
B2	4.92 ±0.05b	4.92 ±0.23ba	4.67 ±0.03cb	4.87 ±0.12a
B4	5.23 ±0.20a	5.25 ±0.07a	5.09 ±0.29a	5.05 ±0.13a
Ortalama	**4.83 ±0.09B**	**4.89 ±0.10B**	**4.73 ±0.11**	**4.7 ±0.10**
		Mikorizalı		
Kontrol	4.44 ±0.00c	4.91 ±0.05b	4.66 ±0.00b	4.66 ±0.1ba
B1	4.89 ±0.15b	5.23 ±0.02a	4.74 ±0.11b	4.78 ±0.16ba
B2	4.99 ±0.01b	5.04 ±0.13ba	4.65 ±0.08b	4.95 ±0.21a
B4	5.54 ±0.00a	5.13 ±0.33ba	5.18 ±0.12a	5.17 ±0.48a
Ortalama	**4.96 ±0.07A**	**5.08 ±0.14A**	**4.81 ±0.06**	**4.89 ±0.15**
B0 Ort.	4.49 ±0.07	4.80 ±0.15	4.72 ±0.07	4.52 ±0.19
B1 Ort.	4.78 ±0.00	4.97 ±0.01	4.58 ±0.06	4.66 ±0.02
B2 Ort.	4.96 ±0.04	4.98 ±0.16	4.66 ±0.02	4.91 ±0.08
B3 Ort.	5.39 ±0.14	5.19 ±0.05	5.14 ±0.21	5.11 ±0.09

Uygulamalar	**Sd**	Önemlilikler		
Mikoriza	1	0.0058	0.0172	0.1746	0.063
Biyoçar	3	0.0001	0.0103	0.0001	0.0019
Mik*Biyo	3	0.0122	0.0344	0.0538	0.8396

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir.
Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir

4.2.11. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Yüzde Organik Karbon Miktarı

Organik karbon içeriği; toplam karbon (TC) içeriğinden inorganik karbon (IC) içeriği çıkarılarak organik karbon (OC) içeriği belirlenmiştir. 0-15 ve 15-30 cm derinliklerindeki R ve NR topraklarının % OC içerikleri hesaplama sonucunda belirlenmiş ve sonuçlar (Çizelge 4.51 'de) verilmiştir.

Çizelge 4.51'de görüldüğü üzere genelde artan doz biyoçar uygulaması ile toprakların OC içeriğinin arttığı görülmektedir ki bu beklenen bir durumdur. Biyoçarın organik bileşiklerden oluştuğu bilinmektedir (Glaser ve ark., 2015).

İstatistiksel olarak biyoçar uygulaması özellikle 0-15 cm R derinliğinde dikkate değer bir fark yaratmıştır. Ayrıca genelde biyoçar yüzeye uygulandığı için 0-15 cm derinliğindeki OC içeriği

15-30 cm derinliğine göre daha yüksek belirlenmiştir. En fazla OC içeriği B4 doz ve mikoriza aşılaması yapılan 0-15 cm derinlikte R ve mikoriza aşılaması yapılmayan 0-15 cm NR topraklarda sırası ile % 1.66 ve % 1.43 olarak belirlenmiştir. Dolayısı ile Çizelge 4.51. de görüldüğü gibi artan dozlarda Biyoçar uygulamasının toprak OC oranını arttırdığı gözlemlenmektedir. Özellikle R bölgesinde ve yüzey toprağında (0-15 cm) OC oranının yüksek olması anız atıkları ve kök salgılarından (alkol, enzim aktivitesi ve fenol bileşikler gibi) dolayı olabilir (Van Aken, 2011).

Çizelge 4.51. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Organik Karbon İçeriği

Uygulamalar	**% OC 0-15 cm R**	**% OC 0-15 cm NR**	**% OC 15-30 cm R**	**% OC 15-30 cm NR**
Konular		**Mikorizasız**		
B0	0.71 ±0.09c	0.57 ±0.28c	0.52 ±0.18b	0.43 ±0.02c
B1	0.81 ±0.12b	0.92 ±0.13b	0.57 ±0.14b	0.63 ±0.07c
B2	0.89 ±0.02b	0.65 ±0.15cb	0.92 ±0.08a	0.96 ±0.10b
B3	1.17 ±0.20a	1.43 ±0.05a	0.94 ±0.35a	1.2 ±0.21a
Ortalama	**0.89 ±0.08B**	**0.89 ±0.10B**	**0.74 ±0.12B**	**0.8 ±0.08**
B0		**Mikorizalı**		
Kontrol	0.59 ±0.15d	0.92 ±0.09b	0.64 ±0.14c	0.6 ±0.15b
B1	0.88 ±0.06c	1.35 ±0.15a	0.92 ±0.17b	0.78 ±0.17b
B2	1.12 ±0.15b	0.93 ±0.07b	0.74 ±0.10cb	0.97 ±0.19ba
B	1.66 ±0.08a	1.28 ±0.37a	1.32 ±0.10a	1.33 ±0.43a
Ortalama	**1.06 ±0.04A**	**1.12 ±0.14A**	**0.9 ±0.03A**	**0.92 ±0.13**
Önemlilik				
B0 Ort.	0.65 ±0.06	0.75 ±0.20	0.58 ±0.13	0.52 ±0.01
B1 Ort.	0.85 ±0.08	1.14 ±0.09	0.75 ±0.10	0.71 ±0.05
B2 Ort.	1.01 ±0.01	0.79 ±0.11	0.83 ±0.06	0.97 ±0.07
B3 Ort.	1.42 ±0.14	1.36 ±0.04	1.13 ±0.25	1.27 ±0.15

Uygulamalar	**Sd**	**Önemlilikler**		
Mikoriza	1	0.0005	0.0013	0.0356	0.1835
Biyoçar	3	0.0001	0.001	0.0006	0.001
Mik*Biyo	3	0.0257	0.1734	0.0565	0.9061

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

4.2.12. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Organik Karbon Miktarları

Çizelge 4.52'de görüleceği üzere mikoriza uygulanmayan topraktaki 0-15 cm R organik karbon miktarı kontrol parselinde 14 ton ha^{-1} iken B4 uygulamasında 24 ton ha^{-1} olarak hesaplanmıştır. +M aşılaması 0-15 cm R toprak OC miktarı bakımından istatistiksel olarak dikkate değer bir fark oluşturmuş olup kontrol parselinde 12 ton ha^{-1} iken B4 uygulamasında 34 ton ha^{-1} olarak hesaplanmıştır. Biyoçar ve mikoriza interaksiyonunda sonuçların 0-15 cm R organik karbon

miktarı da istatistiki anlamda önemli bulunmuştur. +M aşılaması toprak toplam organik karbonu artırdığı beklenen bir durumdur. Çizelge 4.52'de görüldüğü üzere +M aşılaması yapılan parsellerde ortalama organik karbon miktarı daha yüksek bulunmuştur.

Çizelge 4.52. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde organik karbon miktarları

Uygulamalar	OC 0-15 cm Ton ha^{-1} R	OC 0-15 cm Ton ha^{-1} NR	OC 15-30 cm Ton ha^{-1} R	OC 15-30 cm Ton ha^{-1} NR
Konular		**Mikorizasız**		
B0	14 ±1.86c	12 ±5.73c	11 ±3,60b	9 ±0,42c
B1	16 ±2.39b	19 ±2.53b	12 ±2,88b	13 ±1,51c
B2	18 ±0.39b	13 ±3.07cb	19 ±1,71a	19 ±2,09b
B3	24 ±4.10a	29 ±0.99a	19 ±7,15a	24 ±4,22a
Ortalama	**18 ±1.53B**	**18 ±1.97B**	**15 ±2,34B**	**16 ±1,60**
		Mikorizalı		
B0	12 ±3.05d	19 ±1.82b	13 ±2,77c	12 ±2,94b
B1	18 ±1.30c	27 ±2.81a	19 ±3,37b	16 ±3,35b
B2	23 ±3.00b	19 ±1.43b	15 ±2,06cb	20 ±3,89ba
B4	34 ±1.69a	19 ±17.48b	27 ±2,12a	27 ±8,75a
Ortalama	**22 ±0.89A**	**21 ±7.75A**	**18 ±0,62A**	**19 ±2,71**
B0 Ort.	13 ±1.3	15 ±4.1	12 ±2,5	10 ±0,3
B1 Ort.	17 ±1.7	23 ±1.8	15 ±2,0	14 ±1,1
B2 Ort.	20 ±0.3	16 ±2.2	17 ±1,2	20 ±1,5
B3 Ort.	29 ±2.9	24 ±0.7	23 ±5,1	26 ±3,0
Uygulamalar	**Sd**		**Önemlilikler**	
Mikoriza	1	0.0005	0.0016	0.0356	0.1835
Biyoçar	3	0.001	0.001	0.0006	0.0001
Mik*Biyo	3	0.0257	0.2002	0.0565	0.9061

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

4.2.13. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam Karbon Miktarları

Çizelge 4.53'de görüleceği üzere 0-15 cm R ve 0-15 cm NR mikoriza uygulaması yapılan parsellerde M ortalamalarında (+M ve -M) istatistiksel olarak fark önemli olduğu görülmüştür. 0-15 cm R +M uygulanan parsellerde ortalama toplam karbon 101 ton ha^{-1} -M uygulanan parsellerde ortalama toplam karbon 98 ton ha^{-1} olarak saptanmıştır. 15-30 cm R ve 15-30 cm NR parsellerinde ise +M uygulaması yapılan parsellerde istatistiksel fark görülmemiş ancak +M parsellerinde ortalamalar yüksek bulunmuştur. AM mantar aşılaması, mısır verimliliğini artırabilecek topraktaki

organik C fraksiyonlarını iyileştirmek için etkili bir tarım uygulaması olduğu belirtilmiştir(Ren ve ark., 2021).

Farklı biyoçar dozlarında artan biyoçar dozlarına bağlı olarak bütün toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam karbon miktarında artış görülmüştür.Farklı biyoçar dozlarında bütün toprak derinliklerinde ve bölgelerinde istatistiksel olarak fark önemli olduğu saptanmıştır. Mik*Biyo interaksiyonunda 15-30 cm R ve 15-30 cm NR parsellerinde istatitistiksel fark önemli olduğu görülmüştür. 0-15 cm R biyoçar doz uygulamalarında en yüksek +M parselinde B4 dozu 34 ton ha^{-1} B0 parselinde 12 ton ha^{-1} olduğu saptanmıştır. -M 0-15 cm R toprağında ise en yüksek B4 dozu 24 ton ha^{-1} en düşük doz B0 dozu 14 ton ha^{-1} olduğu saptanmıştır. Genel olarak biyoçarın doğrudan toprak C stoklarını artırma potansiyeli vardır(Blanco-Canqui ve ark., 2020).

Çizelge 4.53. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam karbon miktarları

Uygulamalar	TC 0-15 cm Ton ha^{-1} R	TC 0-15 cm Ton ha^{-1} NR	TC 15-30 cm Ton ha^{-1} R	TC 15-30 cm Ton ha^{-1} NR
Konular		**Mikorizasız**		
B0	92 ±1.97d	95 ±4.28b	96 ±2,11ba	88 ±5,50c
B1	95 ±0.01c	95 ±0.44b	89 ±1,87b	92 ±0,67bc
B2	100 ±1.00b	100 ±4.61ba	95 ±0,66ba	99 ±2,40ba
B3	106 ±4.10a	106 ±1.36a	103 ±5,92a	102 ±2,61a
Ortalama	**98 ±1.75B**	**99 ±2.09B**	**96 ±2,28**	**95 ±2,00**
		Mikorizalı		
B0	90 ±0.02c	99 ±1.00b	94 ±0,01b	94 ±3,04c
B1	99 ±2.96cb	106 ±0.34a	96 ±2,28b	97 ±3,19bc
B2	101 ±0.22b	102 ±2.62ba	94 ±1,63b	100 ±4,25ba
B3	112 ±0.09a	104 ±6.73ba	105 ±2,51a	105 ±9,63a
Ortalama	**101 ±1.43A**	**103 ±2.87A**	**97 ±1,13**	**99 ±3,11**
B0 Ort.	91 ±1.38	97 ±2.32	95 ±1,48	91 ±1,74
B1 Ort.	97 ±2.09	101 ±0.07	93 ±0,29	94 ±1,79
B2 Ort.	100 ±0.55	101 ±1.40	94 ±0,69	99 ±1,31
B3 Ort.	109 ±2.83	105 ±3.79	104 ±2,41	103 ±4,96

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
Mikoriza	1	0.0058	0.0168	0.1751	0.0626
Biyoçar	3	<.0001	0.0104	< .0001	0.0019
Mik*Biyo	3	0.0118	0.0346	0.0537	0.8418

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortalamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

4.2.14. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam % N içerikleri

Farklı biyoçar ve mikoriza uygulamalarının hasat sonrası farklı derinliklerde (0-15 ve 15-30 cm) ve farklı bölgelerde (rizosfer ve rizosfer olmayan) toprak %N konsantrasyonuna etkisi Çizelge 4.54'de görülmektedir. Mikoriza ve M*B interaksiyonu istatistiksel olarak dikkate değer bir fark yaratmamışken biyoçar uygulaması rizosfer bölgesinde hem 0-15cm hem de 15-30 cm derinliklerde

dikkate değer bir fark yaratmıştır. İstatistiksel olarak rizosfer 0-15 cm derinlikte %0.230 N ile ve rizosfer 15-30 cm derinlikte %0.212 N ile B3 uygulaması en yüksek N konsantrasyonuna sahip uygulamadır. Her ne kadar istatistiksel olarak dikkate değer bir fark olmasa da ortalama olarak artan dozlarda biyoçar uygulamasına bağlı olarak rizosfer olmayan bölgesinde her iki derinlikte %N konsantrasyonu artış göstermektedir. Bunun nedeni biyoçarın içermiş olduğu N olmanın (Chen ve ark., 2016) yanı sıra bitki köklerince salgılanan salgılar ve hasat artıkları da (Huang ve ark., 2021)olabilir.

Ayrıca genel olarak mikoriza uygulanan parsellerde mikoriza uygulanmayan parsellere kıyasla daha yüksek ortalama toprak % N içeriği vardır. Bilindiği üzere mikoriza mantarı bitki kök gelişimini arttırmanın yanı sıra glomalin adı verilen bir salgıda (protein) salgılamaktadır. Glomalin toprak %N konsantrasyonunu arttırmış olabilir. Örneğin; Pal ve Pandey (2014) gerçekleştirmiş oldukları çalışmada glomalinin toprak agregasyonunu geliştirmenin yanı sıra su tutma kapasitesi ve toprak besin elementi (N gibi) içeriğini arttırdığını rapor etmişlerdir. Söz konusu çalışma araştırma bulgularımızı kısmen destekler niteliktedir.

Çizelge 4.54. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam % N içerikleri

Uygulamalar	**R 0-15 cm %**	**NR 0-15 cm %**	**R 15-30 cm %**	**NR 15-30 cm %**
Konular		**Mikorizasız**		
B0	0.194 ±0.014	0.200 ±0.011	0.194 ±0.019	0.207 ±0.052
B1	0.202 ±0.004	0.199 ±0.030	0.195 ±0.008	0.194 ±0.040
B2	0.205 ±0.017	0.202 ±0.016	0.196 ±0.001	0.185 ±0.016
B3	0.218 ±0.023	0.203 ±0.040	0.206 ±0.024	0.188 ±0.029
Ortalama	**0.205** ±0.008	**0.201** ±0.013	**0.198** ±0.010	**0.194** ±0.015
		Mikorizalı		
B0	0.205 ±0.037	0.203 ±0.025	0.192 ±0.017	0.196 ±0.049
B1	0.201 ±0.004	0.221 ±0.007	0.192 ±0.004	0.241 ±0.095
B2	0.201 ±0.003	0.188 ±0.010	0.195 ±0.091	0.170 ±0.078
B3	0.242 ±0.028	0.221 ±0.045	0.198 ±0.009	0.227 ±0.024
Ortalama	**0.212** ±0.017	**0.208** ±0.017	**0.194** ±0.041	**0.208** ±0.032
B0 Ort.	0.199 ±0.016	0.201 ±0.010	0.193 ±0.002	0.201 ±0.002
B1 Ort.	0.202 ±0.000	0.210 ±0.016	0.193 ±0.003	0.217 ±0.039
B2 Ort.	0.203 ±0.010	0.195 ±0.004	0.195 ±0.064	0.177 ±0.043
B3 Ort.	0.230 ±0.004	0.212 ±0.004	0.202 ±0.010	0.208 ±0.004

Uygulamalar	**Sd**	**Önemlilikler**			
Mikoriza	1	0.3235	0.3320	0.9498	0.6346
Biyoçar	3	0.0537	0.0643	0.0577	0.1272
Mik*Biyo	3	0.2643	0.7055	0.9379	0.8007

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortalamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

4.2.15. Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam N Miktarları

Çizelge 4.55. Hasat sonrası dönemde farklı toprak derinliklerinde ve bölgelerinde toplam N içerikleri

Uygulamalar	TN 0-15 cm Ton ha^{-1} R	TN 0-15 cm Ton ha^{-1} NR	TN 15-30 cm Ton ha^{-1} R	TN 15-30 cm Ton ha^{-1} NR
Konular		**Mikorizasız**		
B0	3.92 ±0.28	4.05 ±0.22	3.93 ±0,38	4,19 0,50
B1	4.10 ±0.08	4.03 ±0.61	3.96 ±0,17	3,93 0,15
B2	4.15 ±0.34	4.08 ±0.32	3.96 ±0,02	3,74 0,19
B3	4.41 ±0.46	4.11 ±0.80	4.16 ±0,49	3,82 0,92
Ortalama	**4.14 ±0.16**	**4.07 ±0.27**	**4.00 ±0,21**	**3,92 0,35**
		Mikorizalı		
B0	4.14 ±0.75	4.11 ±0.50	3.89 ±0,34	3,96 0,99
B1	4.07 ±0.09	4.48 ±0.15	3.88 ±0,09	4,87 1,93
B2	4.07 ±0.07	3.81 ±0.19	3.95 ±1,84	3,44 1,57
B3	4.91 ±0.56	4.48 ±0.92	4.01 ±0,19	4,59 0,48
Ortalama	**4.30 ±0.34**	**4.22 ±0.35**	**3.93 ±0,83**	**4,21 0,64**
B0 Ort.	4.03 ±0.33	4.08 ±0.20	3.91 0,03	4,07 0,35
B1 Ort.	4.09 ±0.01	4.26 ±0.33	3.92 0,06	4,40 1,26
B2 Ort.	4.11 ±0.19	3.95 ±0.09	3.96 1,29	3,59 0,97
B3 Ort.	4.66 ±0.07	4.29 ±0.08	4.08 0,21	4,20 0,31

Uygulamalar	Sd	Önemlilikler			
Mikoriza	1	0.3682	0.5176	0.7780	0.5172
Biyoçar	3	0.0693	0.6676	0.9571	0.6307
Mik*Biyo	3	0.6256	0.6650	0.9964	0.6705

Veriler 6 tekerrürün ortalamasıdır. ± standart sapmayı'yı belirtmektedir. Küçük harf; uygulamalar arası farklılıkları belirtmektedir. Büyük harfler ortalamalar arasındaki farklılıkları belirtmektedir.

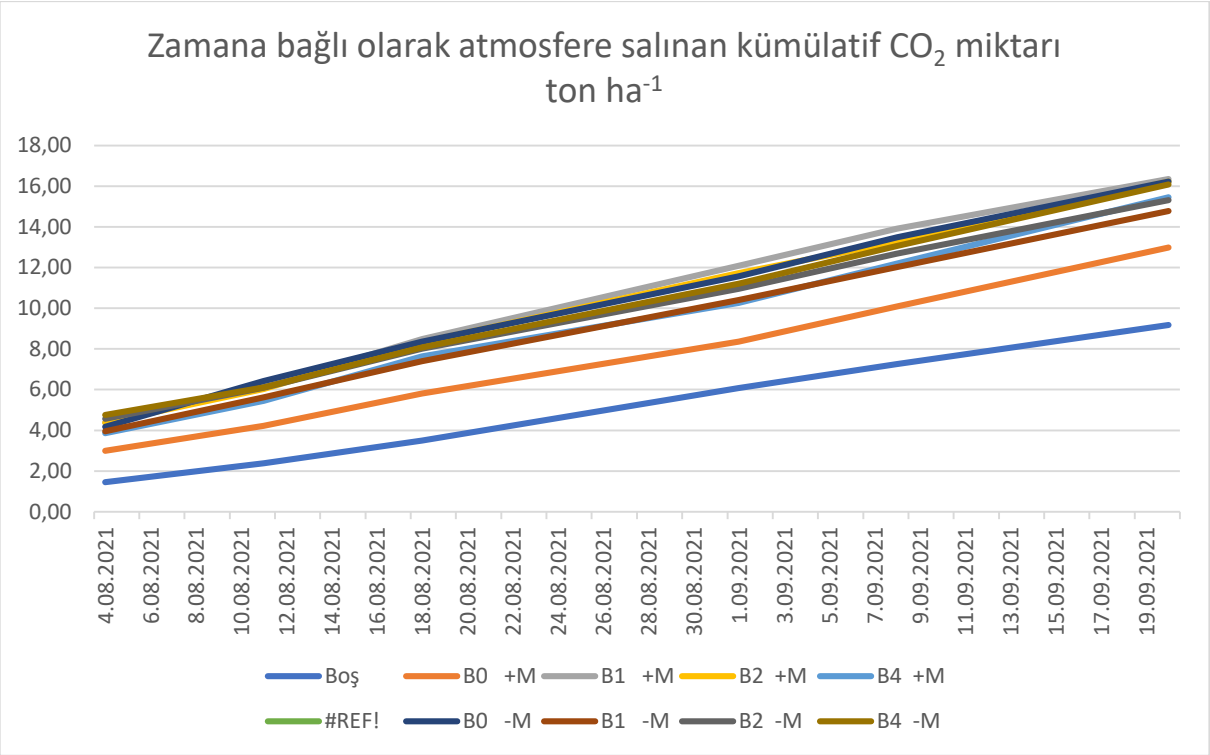
Çizelge 4.55 de görüleceği üzere 0-15 cm R, 0-15 cm NR, 15-30 cm R 15-30 cm NR toprağında toplam azot miktarı M ortalamalarında (+M ve -M) istatistiksel olarak fark önemli oldmadığı görülmüştür. Ancak ortalama sonuçlara bakıldığında +M uygulama ortalamaları 0-15 cm R, 0-15 cm NR ve 15-30 cm NR toprağında toplam azot miktarları daha yüksek çıkmıştır. Mikoriza mantarları toprağın N mineralizasyon oranlarını ve toplam bitki N alımını artırdığı bilinmektedir (Saia ve ark., 2014). Biyoçar ortalamalarında artan dozlarla genel olarak toplam azot miktarında artış görülmüştür. Ancak istatistiksel farklılık gözlemlenmemiştir. Mik*Biyo interaksiyonunda ise bütün farklı toprak derinlik ve bölgelerinde ise istatistiksel farklılık gözlemlenmemiştir. Ancak artan biyoçar dozlarında

Çizelge 4.54.Hasat Sonrası Dönemde Farklı Toprak Derinliklerinde ve Bölgelerinde Toplam N içerikleri toplam azot miktarında ise genel olarak artış gözlemlenmiştir. Biyoçar, N kaybını azaltmak ve toprak verimliliğini artırmak için önem arz eden bir toprak katkı maddesidir (Lal, 2009).

4.2.16. Kümülatif CO_2 Artışı

Tarla koşullarında deneme süresince farklı biyoçar ve +M uygulamalarının topraktan atmosfere salınan CO_2 respirasyonun farklı zaman aralıklarında LICOR LI-81000A ekipmanı ile ölçülmüştür. Zamana bağlı olarak ölçülen kümülatif akışı (flux) Çizelge 4.57'de verilmiştir. Araştırma bulgularına göre araştırma 04.08.2021 tarihli ölçümde -M uygulamalarında CO_2 konsantrasyonu uygulamalar arasında 426-433 mg L CO_2 olarak değişmiş ortama ise 430 mg L CO_2 olarak belirlenmiştir. Mikoriza uygulaması yapılan parsellerde ise 427-433 mg L CO_2 aralığında değişmiş ve ortalama 431 mg L CO_2 olarak hesaplanmıştır. Diğer 5 ölçüm aralığında benzer şekilde biyoçar ve mikoriza uygulamaları arasında çok büyük farklılık belirlenmemiştir. İstatistiksel farklar önemsiz olduğu saptanmıştır. Ancak genel olarak +M uygulaması ve biyoçar dozu arttıkça salınımda azalma meydana gelmiştir.

Araştırma verileri kullanılarak yapılan hesaplamada kümülatif olarak zaman bağlı olarak atmosfere salınan toplam çıkışta Şekil 4.4'de görüleceği üzere -M biyoçar uygulamasına bağlı olarak toprak CO_2 respirasyonunun kontrole kıyasla arttığı görülmektedir. Biyoçar dozları bakımından B4 uygulaması diğer uygulamalara kıyasla yüksek CO_2 emisyonu atmosfere salmıştır. Biyolojik bir kömür olan biyoçarın da toprak respirasyonunu arttırması ve genel olarak toprakta stabil bir şekilde kalması beklenmektedir. Toprakta stabil olan biyoçar mineralize olması geç gerçekleştiği bilinmektedir. TOK içeriği arttıkça organik kaynak miktarına bağlı olarak mineralizasyon da artar ve dolayısıyla toprak CO_2 respirasyonuda artış gösterir. Bitki gelişimi artıkça respirasyon miktarı lineer şekilde artmıştır. Bunun nedeni bitki gelişimine bağlı olarak ilk gelişim sırasında bitki kök bölgesindeki mikrobiyal aktivitenin yanı sıra kök biokütleye bağlı olarak kök solunumunun da artması olabilir.



Şekil 4. 4. Zamana bağlı farklı biyoçar ve mikoriza uygulamasının atmosfere salınan CO2 akışına etkisi

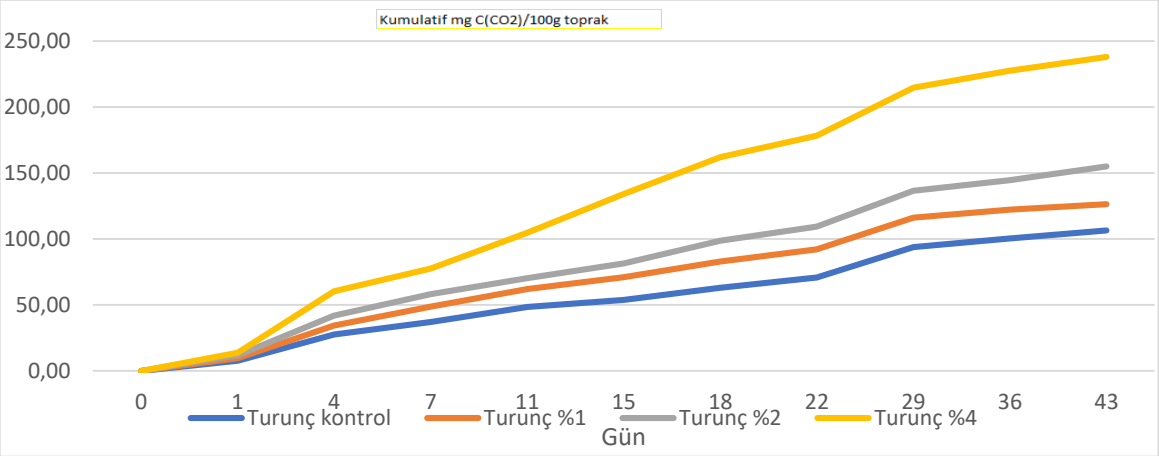
Toprak CO_2, CH_4 ve N_2O akışları bazı çalışmalarda önemli ölçüde artış (Jones ve ark., 2011; Van Zwieten ve ark., 2010) bazı çalışmalarda ise önemli ölçüde azaldığı veya değişmeden kaldığı rapor edilmiştir (Feng ve ark., 2012; Rogovska ve ark., 2011). Biyoçar üretimden kaynaklı aktif karbon içermektedir (Nanda ve ark., 2016). Çalışmamızda artan dozlarda B uygulamasının CO_2 miktarını arttırmasının nedeni söz konusu aktif karbonların kolayca parçalanıp CO_2 salması olabilir.

Çizelge 4.56. Mısır bitkisinde farklı zamanlarda ölçülen CO_2 salınımı

Uygulamalar	4.08.2021	11.08.2021	18.08.2021	1.09.2021	8.09.2021	20.09.2021
	CO_2 mg lt	CO_2 mg lt	CO_2 mg lt	CO_2 mg lt	CO_2 mg lt	CO_2 mg lt
Konular			**Mikorizasız**			
B0	433 ±3	426 ±5	425 ±3	434 ±2	432 ±5	444 ±2
B1	428 ±9	430 ±3	426 ±5	437 ±4	437 ±2	449 ±16
B2	426 ±6	429 ±5	426 ±5	435 ±8	432 ±2	440 ±2
B3	432 ±6	429 ±6	427 ±7	442 ±13	434 ±3	443 ±7
Ortalama	**430** ±6	**428** ±4	**426** ±5	**437** ±7	**434** ±3	444 ±7
			Mikorizalı			
B0	433 ±5	429 ±2	425 ±5	437 ±2	431 ±2	442 ±3
B1	427 ±6	427 ±3	425 ±3	436 ±5	431 ±2	437 ±3
B2	431 ±2	433 ±4	424 ±2	435 ±10	437 ±3	440 ±5
B3	432 ±2	430 ±4	425 ±1	435 ±3	433 ±5	446 ±1
Ortalama	**431** ±4	**430** ±3	**425** ±3	**436** ±5	**433** ±3	441 ±3
B0 Ort.	433 ±0,8	427 ±1.9	425 ±1.1	435 ±0.1	431 ±1.6	443 ±0.4
B1 Ort.	428 ±2,0	428 ±0.5	426 ±1.0	437 ±0.4	434 ±0.2	443 ±9.2
B2 Ort.	429 ±2,4	431 ±0.3	425 ±1.6	435 ±1.2	435 ±0.3	440 ±1.6
B3 Ort.	432 ±3,0	429 ±1.0	426 ±4.7	438 ±6.6	434 ±1.6	445 ±4.3
Uygulamalar	**Sd**		**Önemlilikler**			
Mikoriza	1	0.7234	0.4117	0.5991	0.7116	0.3823	0.3312
Biyoçar	3	0.2368	0.4781	0.9714	0.8398	0.3941	0.6485
Mik*Biyo	3	0.8320	0.3996	0.9346	0.6192	0.0692	0.3032

4.2.17. CO2 Metodu (Respirasyon) ile Karbon Mineralizasyonu

Biyoçarın toprakta ayrışması ve uzun sürede toprakta karbon kaynağı olarak tutulması konusu biyoçarın geniş tarım alanlarında iklim değişimlerine karşı kullanımında belirleyici olacaktır. Amaç çözünebilir organik maddeden yapılan biyoçarın C mineralizasyonunu hızını belirleme konusu dahi ortama uygulanan biyoçarın yeterli olduğu yoksa tam tersinin mi geçerli olduğu bilgisi halen yetersiz olduğu için ek karbon mineralizasyon denemsi oluşturuldu. Bu bağlamda tarla denemesi kurulurken farklı biyoçar uygulanan alanlarda alınan örnekler 45 gün süre ile inkübasyona tabi tutuldular. Zaman bağlı olarak kontrolü laboratuvar ortamında biyoçar gibi önemli bir materyalin karbon mineralizasyonu ve atmosfer CO2 salınımın belirlenmesi bakımından inkübasyon denmesi önemli.



Şekil 4.5. Zamana bağlı farklı biyoçar doz uygulamasının C mineralizasyonuna etkisi.

Çizelge 4.55. Turunç bitkisi biyoçar dozlarının C mineralizasyonu

Mg C(CO2)/100 g toprak	0 gün	1gün	4 gün	7 gün	11 gün	15 gün	18 gün	22 gün	29 gün	36 gün	43 gün
Turunç kontrol	0.00	7.77	27.53	37.07	48.40	53.72	63.05	70.82	93.91	100.34	106.56
Turunç %1	0.00	9.55	34.41	48.84	62.16	71.04	83.03	92.13	116.11	122.32	126.54
Turunç %2	0.00	11.77	41.96	58.16	70.37	81.47	98.79	109.45	136.53	144.74	154.96
Turunç %4	0.00	13.65	60.27	77.59	104.90	134.20	162.17	178.49	214.79	227.77	238.10

Yapılan inkübasyon denemesinde dört farklı doz turunç bitkisinden elde edilen biyoçar uygulamalarının (B0, B1, B2 ve B3) Menzilat serisi toprağında 45 günlük kümülatif organik madde (karbon) mineralizasyonları kontrollü koşullar altında (28 °C, sabit nem) CO2 respirasyonu yöntemi ile belirlenmiştir (Schaefer, 1967) [mg C(C02)/100g Toprak]. Ölçüm değerleri Çizelge 4.7'de sunulmuştur. C mineralizasyonunun en yüksek B4 dozunda en düşük ise kontrol parsellerinde olduğu saptanmıştır. Kontrol parsellerinde 7-150 mg C (CO_2)/100 g toprak, en yüksek B4 dozunda 10-238 150 mg C (CO_2)/100 g toprak olduğu belirlenmiştir. Zamana bağlı olarak biyoçar mineralizasyonun artarak devam ettiği

belirlenmiştir. Tarla koşullarında açık arazide yapılan CO_2 salınımı (flux) verileri ekseninde 2020 ve 2021 yılı verileri biyoçar doz uygulamaları içinde B4 doz uygulaması diğer uygulamalara kıyasla yüksek CO_2 emisyonu atmosfere salmıştır (Şekil 4,2 ve 4.4). Araştırma verileri beklenildiği gibi biyoçarın minerilizayon hızının düşüklüğü nedekiyle daha uzun süre devam edebileceğini göstermektedir. Literatür çalışmalarında biyoçarlaştırma yöntemleri, hazırlama etkileri yoluyla toprak organik karbon (SOC) mineralizasyonunu etkileyebilir. Biyoçarlaştırma yöntemleri sonrasında biyoçarın toprak karbonu üzerinde pozitif, negatif veya hiç tetikleyici etki gözlemlenmeyebildiği bilinmektedir (Luo ve ark., 2016).İnkübasyon denemesinde artan biyoçar dozlarında karbon mineraliasyonunu artması artan dozlarda biyoçar karbonunun mineralize olması ile açıklanabilir. Bir araştırma denemesinde arpa artıklarının mineralizasyonu üzerinde biyoçar uygulamalarının etkisinin olup olmadığını araştırmak amacıyla topraklar 14C etiketli arpa artıkları ve biyoç

,ar örnekleri ile hiçbir etiketi olmayan arpa artıkları ve biyoçar örnekleri ile inkübe edilmiştir. Çalışma göstermiştir ki, organik madde etiketli topraklarda, organik maddenin mineralizasyonu biyoçar uygulama ve dozlarının artması ile yavaşlamaktadır (Bruun ve EL-Zehery, 2012).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

2020-2021 yılları arasında Çukurova bölgesi tarla koşullarında mısır vejetasyonu altında farklı biyoçar dozları ile mikoriza uygulamalarının bunların verim ile olan ilişkisini araştırmak amacı ile yapılan çalışmada;

- Mikoriza (+M) aşılaması ve artan dozlarda biyoçar uygulamasının özellikle 2021 yılında mısır bitkisin gelişimini özelliklede dane verimini ve toplam biokütleyi arttırdığı belirlenmiştir.
- Mikoriza uygulaması ile 2020 yılında %4 artışla toplamda 480 kg ha^{-1} , 2021 yılında ise %8.1'lik artışla toplamda ortalama 1321 kg ha^{-1} daha yüksek verim elde edilmiştir.
- Çalışmamız da I. araştırma (2020) yılında üst aksam konsantrasyon ve içerik değerlerinde +M uygulamalarının -M'ya göre makro element konsantrasyon ve içeriği bakımından artış olmakla birlikte istatistiksel önemli bir fark oluşturmadığı ancak genel olarak +M uygulamalarının bitki makro element konsantrasyon ve içeriğini arttırdığı gözlemlenmiştir. Artan biyoçar doz uygulamaları kontrole kıyasla makro element konsantrasyon ve içeriği artırmış, ancak artış istatistiksel olarak önemlilik sağlamıştır. .
- Çalışmanın II. araştırma (2021) yılında mısır bitkisi üst aksam konsantrasyon değerlerinde M uygulamaları (+M ve -M) arasında ortalama değerler bakımından istatistiksel bir farklılık saptanmamıştır. Makro element içerikleri bakımından uygulamalar arasında önemli bir fark görülmemiş ancak +M uygulamalarının bitki makro element içeriğini artırmıştır. Artan biyoçar doz uygulamaları kontrole kıyasla makro element konsantrasyon ve içeriği B1 doz uygulamasına kadar artırmış, sonraki doz uygulamalarında artış sağlanmıştır.
- 2020 araştırma yılında bitki kök dokularındaki besin elementi konsantrasyon ve içerik değerlerinde +M uygulamalarının önemli bir fark oluşturmadığı ancak genel olarak +M uygulamalarının kök makro element konsantrasyon ve toplam besin elementi alımının arttırdığı gözlemlenmiştir. Artan biyoçar doz uygulamaları kontrole kıyasla kök Ca ve Mg element konsantrasyon ve içeriğini artırmıştır ancak K ve fosfor elementleri konsantrasyonu ve alımında azalma ölçülmüştür.
- Çalışmamız da II. araştırma 2021 yılında kök makro element konsantrasyon değerlerinde istatistiksel fark saptanmamış M uygulamaları (+M ve -M) arasında ortalama değerler istatistiksel olarak önemli farklılık oluşturmuştur. Genelde +M uygulaması yapılan bitkilerde daha yüksek konsantrasyon ve alım değerleri ölçülmüştür. Kök makro element konsantrasyonları artan biyoçar dozları fark önemli görülmemiş ancak artan biyoçar dozları ile genel olarak artış göstermiştir. Makro

element içerikleri bakımından ise önemli bir fark görülmüş +M uygulamalarının kök makro element içeriğini istatistiksel olarak artırmıştır. Artan biyoçar doz uygulamaları makro element içeriğinde de fark önemli olduğu görülmüştür. Ancak artan biyoçar dozları kontrole kıyasla kök makro element içeriğini azaltmıştır.

- Çalışmamız da 2020. araştırma yılında dane besin elementleri konsantrasyon ve içerik değerlerinde mikoriza aşılması ve biyoçar uygulamaları bakımından önemli bir fark oluşturmadığı gözlemlenmiştir.
- 2021 yılında dane makro element konsantrasyon değerlerinde mikoriza aşılma yönünden istatistiksel fark saptanmamıştır. Makro element içerikleri bakımından Mg ve P elementi +M uygulamalarının önemli bir fark görülmüş, dane makro element içeriğini istatistiksel olarak artırmıştır. Ca ve K elementlerinde ise fark önemli görülmese de +M uygulamaları makro besin element içeriğini artırmıştır. Artan biyoçar doz uygulamaları makro element içeriğinde de fark önemli olduğu görülmüştür. En yüksek element içeriği B1 ve B2 doz uygulamalarında ölçülmüştür.
- 2020 yılında dane konsantrasyon ve içerik değerlerinde mikoriza aşılması ve artan biyoçar doz uygulamaları uygulamalarının bakımından önemli bir fark oluşturmadığı görülmüş olsa da +M aşılması -M uygulamalarında göre daha yüksek ölçülmüştür.
- 2020 yılı verileri üzerinde üst aksam besin elementleri alımında biyoçar dozları açısından da istatistiksel fark görülmemiş ancak kontrole göre artan dozlarda B uygulamaları konsantrasyonu artırmıştır. Biyoçar doz uygulamaları bakımından Fe ve Cu elementinde istatistiksel fark önemli bulunmuştur. Genel olarak artan B dozları besin element içeriğini artırmıştır.
- Çalışmamızın 2021 yılı üst aksam mikro element konsantrasyonuna ve toplam alım verileri 2020 yılına kıyasla konsantrasyon ve içeriği önemli derecede farklılaşmış olup Mikoriza ve B dozlarındaki artış sağlanmıştır.
- 2020 araştırma yılında kök mikro element konsantrasyon ve içeriği değerlendirildiğinde +M uygulamalarında konsantrasyonlar kontrole göre daha yüksek bulunmuştur. Kök mikro element içeriğinde ise -M uygulamalarının ortalaması daha yüksek olarak belirlenmiştir. Ayrıca B doz artışlarıyla kök mikro element konsantrasyon ve içeriği azalma eğilimi göstermiştir.
- 2021 araştırma yılında +M aşılanan bitki dokuları mikro element özelliklede Fe element konsantrasyonu B dozları bakımından fark önemli görülmüştür ve en yüksek artış B1 doz uygulamasında sağlanmıştır. Kök mikro element içeriğinde ise miloriza aşılaması ve B doz uygulamaları arasında istatistiksel farklılık önemli bulunmuştur. +M uygulamaları besin element içeriğini artırmıştır. B dozlarında ise B1 dozu tüm besin

element içeriklerinde en yüksek içerik artışını göstermiştir. B2 ve B3 doz uygulamalarında mikro element içeriği azalma eğiliminde olmuştur.

- 2020 yılında danelerde mikro element konsantrasyon ve içeriğine bakıldığında mikoriza aşılamaları arasında istatistiksel olmayan bir farklılık belirlenmiştir. Biyoçar doz artışında genel olarak en yüksek B2 dozunda dane konsantrasyon ve içeriğin kontrole göre mikro besin element miktarını artırmıştır. 2021 yılında artan biyoçar dozları bakımından -M uygulamaları B2 biyoçar dozu en yüksek konsantrasyon ve içerik miktarında artış sağlamıştır. +M uygulamalarında ise en yüksek artış B1 doz uygulamasında sağlamıştır.
- Biyoçar ve mikoriza aşılaması bitki dokularındaki toplam N alımında 2020 yıl için olumlu yönde etkilemiş ancak istatistiki olarak önemlilik oluşturmamaktadır. 2021 yılı için ise +M aşılaması ve biyoçarın toplam N alımına etkisi anlamlı bir farklılık göstermiştir.
- Biyoçar uygulamaları bitki dane ve toplam biokütlesi ve dolayısıyla C fiksasyonunu (CO_2) arttırmıştır. I. yıl mikoriza uygulamaları bakımından artış istatistiki düzeyde önemli olmamakla birlikte bitkinin biyoçar ve mikoriza uygulaması ile atmosferden fikse ettiği her CO_2 birimi önem oluşturmaktadır. 2021 yılda ise biyoçar, mikoriza uygulaması ve biyoçar ve mikorizanın birlikte etkisinin önemli düzeyde fark yarattığı tespit edilmiştir.
- 2020 yılı denmesinde mikoriza aşılanması yapılmış bitki kök özelliklerinden kök çapı, yüzey alanı ve toplam kök hacmi istatistiki önemlilik oluşturmazken, 2021 yılı verilerinde kök uzunluğu, kök yüzey alanı ve kök hacminde istatistiksel önemli oluşturmuştur. Artan biyoçar doz uygulamaları ile birlikte kök uzunluğu, kök alanı ve kök hacminin negatif yönde bir etki oluşturduğu belirlenmiştir. Mikoriza uygulamasında ise kök çapı artan biyoçar dozlarında artma eğilimi göstermiş, kök yüzey alanı, kök uzunluğu ve toplam kök hacminde ise kontrole göre düşme eğiliminde olduğu görülmüştür. Mikorizasız parsellerde kök morfolojik özelliklerinin B1 dozuna kadar arttığı daha sonra da azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.
- Her iki yıl peş peşe aynı parsellerde yürütülen denmelerde yetiştirilen mısır bitkilerin mikoriza aşılanan ve aşılanmayan bitki kök infeksiyonu B1 doz uygulamasına yüksek oranda ölçülmüştür. Ancak B2 ve B2 doz uygulamalarında ise infeksiyon oranı düşme eğiliminde olmuştur.
- 2020 yılı verileri üzerinden topraktaki mikoriza spor sayıları 0-15 cm R ve 15-30 cm R topraklarında istatistiksel olarak fark M ve biyoçar doz uygulamalarında ve M*B interaksiyonunda önemli görülmüştür. Mikoriza aşılaması ve artan dozlarda B uygulamasının spor sayısında genel olarak artırmıştır. 0-15 cm NR ve 15-30 cm NR

toprağında ise M ve B uygulamalarında önemli düzeyde farklılık oluşmadığı görülmüştür. 2021 yıl mikoriza spor sayılarının istatistiksel analizinde M uygulamalarında 0-15 cm R, 15-30 cm R ve 15-30 cm NR topraklarında fark önemli görülmüştür. Mikoriza spor sayısı yönünde mikoriza uygulaması yapılan parsellerde 0-15 R ve 15-30 NR topraklarında daha yüksek ölçülmüştür. 0-15 cm R ve 15-30 cm NR toprağında +M uygulamasında daha yüksek spor sayısı, 15-30 cm R toprağında ise -M uygulamasında daha yüksek spor sayısı gözlemlenmiştir.0-15 cm NR toprağında M uygulamaları arasında fark önemsiz bulunmuştur. B dozlarına bakıldığında 0-15 cm R ve 0-15 cm NR B uygulamaları önemli fark oluşturmuştur. Genel olarak kontrole kıyasla M spor sayıları artmıştır.

- 2020 hasat sonrası toprak örneklerindeki fosfor içeriği M ve B doz uygulamalarının istatistiki bir farklılık oluşturmadığı görülmektedir. Genel olarak tüm uygulamalarda toprakta ortalama 80 kg P_2O_5 ha^{-1} fosfor olduğu belirlenmiştir. 2021 verilerine ise 0-15 NR ve 15-30 cm NR topraklarında +M uygulamalarında farklılığın önemli olduğu belirlenmiştir. Biyoçar dozları ve M*B interaksiyonlarının istatistiki önemlilik oluşturmuştur. 0-15 cm R toprağı B artan dozlarda artma eğiliminde olduğu, diğer toprak derinlik ve bölgelerinde azalma eğiliminde olduğu saptanmıştır.
- 2020 yılı denmesinde mikoriza aşılaması ve B artan doz uygulamaları toplam karbonda ve organik karbonda 15-30 cm R ve 15-30 cm NR topraklarında ciddi artış göstermiştir. Özellikle de artan dozlarda biyoçar uygulamasına 0-15 cm R, 15-30 cm R, 0-15 cm NR ve 15-30 cm NR topraklarında bağlı olarak toprak %TC ve %OC önemli derecede artışlar gözlemlenmiştir. Ayrıca topraktaki TC ve OC miktar olarak (ton ha^{-1}) hesaplandı ve artan biyoçar doz uygulaması ve +M uygulaması yine benzer şekilde TC ve OC miktarlarını arttığı belirlenmiştir.

Mikoriza aşılaması ve B artan doz uygulamaları 2020 yılı denemesinde toplam % N ve TN ton ha^{-1} hesabında M uygulamaları açısından önemli bir farklılık tespit edilememiştir. Biyoçar doz uygulamalarında ise 0-15 cm R, 15-30 cm R ve 0-15 NR topraklarında B1 dozu istatistiksel olarak daha fazla azot içeriğine sahip olduğu görülmüştür.B1 dozu sonrasında B2 ve B3 dozlarında ise düşüş saptanmıştır. 2021 yılında yapılan araştırmada ise Menzilat serisinde çalışılan topraklarda M uygulamaları ve B dozları açısından % N ve TN ton ha^{-1} hesabında anlamlı bir farklılık görülmemiştir. Ancak mikoriza aşılaması ortalamaları toprak azot miktarı daha yüksek ve istatistiki olarak anlamlı çıkmıştır. Artan B doz uygulamaları ile toprak N miktarında artığı gözlemlenmiştir.

Yapılan bu çalışma sonucu elde edilen bilgiler ışığında; biyoçar ve +M uygulamasının bitki dane verimini, toplam biokütle, toprak ve bitkide karbon ve azot içerikleri ve topraktan atmosfere respirasyon miktarını kümülatif olarak arttırdığını saptanmıştır. Toprak TC ve OC miktarını da

arttırdığı belirlenmiştir. Literatür çalışmaları ve verilerimiz kısmen benzerlik gösterdiği gibi elde edilen sonuçlar hipotezimizi kısmen desteklemektedir.

Araştırma verileri bütünlüklü olarak analiz edildiğinde biyoçar uygulamasının toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek toprak verimliliğini arttırmaya yardımcı olan çevre dostu bir materyal olduğu görülmektedir. Biyoçar uygulaması özellikle 10 -20 ton ha^{-1} uygulamaları bitki gelişimini ve besin elementi içeriğini artırmaktadır. Mikoriza aşılaması ile bitki gelişimi, verim ve besin elementi alımını artırdığı her iki yıl yürütülen denmede gözlemlenmiştir. Araştırma bulguları verileri projenin hipotezini ölçülen veriler üzerinden desteklendiği görülmektedir.

Atmosferik CO_2'yi toprağa bağlamanın en önemli yolu fotosentez mekanizması olup biyoçar ve +M uygulamaları C fiksasyonunu arttırmada kullanılabilir. Araştırma verileri mikoriza ve 10 -20 ton biyoçar ha^{-1} uygulamasına kadar atmosferik CO_2'i toprağa bağlama konusunda önemlilik oluşturduğu anlaşılmaktadır. Biyoçar doz ve +M aşılamasının önemli bir tarım stratejisi olabileceği anlaşılmış olup projenin hipotezini desteklemektedir.

Sonuç olarak bulgular bütünlüğü; mikoriza uygulaması koşularında birinci yılda (2020 yılı) beklenildiği gibi biyoçarın doğası gereğince yavaş ayrıştığı için uygulamalar arasında çok büyük bir istatiksel önemlilik oluşturmasa da mikoriza uygulanan parsellerde artan biyocar B1 dozunda, mikorizasız uygulamada ise B2 doz uygulamasında daha yüksek değerlerin ölçülmüştür. Benzer uygulama 2021 yılı denemesindeki verilerde görülmektedir. Genelde mikoriza uygulamasının bitki gelişimi üzerine biyoçara göre daha fazla etkisinin olduğu belirlenmiştir. Bitki dokularındaki karbon ve azot oranı özellikle 2021 yılı verilerinde mikoriza ile armış bitkilerin olduğu parsellerdeki bitki ve toprak örneklerinde genelde B1 dozu, mikorizasız parsellerde ise B2 dozu istatistiksel düzeyde önemli olmuş olup mikoriza aşılması önemli ölçüde B2 ve B1 biyoçar dozları arasındaki farklı kompanse ettiği belirlenmiştir. Tarla koşullarında ileriye yönelik olarak hektara 10 ton biyoçar uygulaması ve mikoriza aşılamasının bitki gelişimi toprakta organik karbonun tutulması bakımından çiftçilere önerilecek nitelikte de görülmektedir. Mikoriza aşılamasının yapılmaması durumunda ise 20 ton hektara bioyçar uygulaması önerilmektedir. Söz konusu çakılı denmenin ileriye yönelik olarak devam ettirilmesi bioçarın toprakta ne kadar süre ile bitki gelişimine ve toprak karbon bütçesine katkı sunduğunu belirlemek bakımından önemli olabilir.

KAYNAKLAR

Abbaspour, H., Afshari, H., Fallahyan, F., ve Fahimi, H. 2006. Response of Pistacia vera L. in salt tolerance to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi under salt stress. Acta horticulturae 726 383

Abdulhadi, S. 2017. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on seedling development of edible seed pumpkin under salty soil conditions.

Adejumo, I. O., ve Adebiyi, O. A. 2020. Agricultural solid wastes: Causes, effects, and effective management. Strategies of sustainable solid waste management 8

Agegnehu, G., Bass, A. M., Nelson, P. N., Muirhead, B., Wright, G., ve Bird, M. I. 2015. Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. Agriculture, ecosystems & environment 213 72-85

Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S. S., ve Ok, Y. S. 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. Chemosphere 99 19-33

Akhtar, S. S., Andersen, M. N., 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

Akhtar, S. S., Li, G., Andersen, M. N., ve Liu, F. 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. Agricultural Water Management 138 37-44

Akpinar, Ç. 2004. Farklı mikoriza türleri ve spor sayılarının değişik kültür bitkilerinde mikorizal infeksiyon ve bitki gelişimine etkisi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akpinar, Ç. 2011. Kanola sonrası yetiştirilen II. ürün mısır bitkisine mikoriza aşılamasının verim ve besin elementleri alımına etkisi.

Al-Wabel, M. I., Al-Omran, A., El-Naggar, A. H., Nadeem, M., ve Usman, A. R. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes. Bioresource technology 131 374-379

Allen, M. F. 1991. "The Ecology of Mycorrhizae," Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K

Alloush, G., Zeto, S., ve Clark, R. 2000. Phosphorus source, organic matter, and arbuscular mycorrhiza effects on growth and mineral acquisition of chickpea grown in acidic soil. Journal of plant nutrition 23 (9): 1351-1369

Almaca, A. 2010. Growth response of maize plants (Zea mays L.) to wheat and lentil pre-cropping and to indigenous mycorrhizae in field soil. Spanish Journal of Agricultural Research 8 S131-S136

Alp, R. 2000. Şeker mısırında (Zea mays saccharata Sturt.) azot ve potasyumun verim ve verim unsurlarına etkileri, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Amaranthus, M., ve Perry, D. 1989. Interaction effects of vegetation type and Pacific madrone soil inocula on survival, growth, and mycorrhiza formation of Douglas-fir. Canadian Journal of Forest Research 19 (5): 550-556

Aslam, T., Choudhary, M., ve Saggar, S. 2000. Influence of land-use management on CO2 emissions from a silt loam soil in New Zealand. Agriculture, ecosystems & environment 77 (3): 257-262

Awad, Y. M., Blagodatskaya, E., Ok, Y. S., ve Kuzyakov, Y. 2013. Effects of polyacrylamide, biopolymer and biochar on the decomposition of 14C-labelled maize residues and on their stabilization in soil aggregates. European journal of soil science 64 (4): 488-499

Baldock, J. A., ve Smernik, R. J. 2002. Chemical composition and bioavailability of thermally altered Pinus resinosa (Red pine) wood. Organic Geochemistry 33 (9): 1093-1109

Bayram, F. Ç. 2022. Ekolojik Krize Nüfus Artışı ve Endüstriyel Üretimin Etkileri: OECD Ülkeleri Üzerine Panel Veri Analizi. Uluslararası Güncel Sosyal Bilimler Dergisi 1 (1): 18-25

Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., ve Gomez-Eyles, J. L. 2010. Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. Environmental pollution 158 (6): 2282-2287

Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., Gomez-Eyles, J. L., Harris, E., Robinson, B., ve Sizmur, T. 2011. A review of biochars' potential role in the remediation, revegetation and restoration of contaminated soils. Environmental pollution 159 (12): 3269-3282

Bhantana, P., Rana, M. S., Sun, X.-c., Moussa, M. G., Saleem, M. H., Syaifudin, M., Shah, A., Poudel, A., Pun, A. B., ve Bhat, M. A. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi and its major role in plant growth, zinc nutrition, phosphorous regulation and phytoremediation. Symbiosis 84 (1): 19-37

Biederman, L. A., ve Harpole, W. S. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. GCB bioenergy 5 (2): 202-214

Blanco-Canqui, H., Laird, D. A., Heaton, E. A., Rathke, S., ve Acharya, B. S. 2020. Soil carbon increased by twice the amount of biochar carbon applied after 6 years: Field evidence of negative priming. GCB Bioenergy 12 (4): 240-251

Bornø, M. L., Müller-Stöver, D. S., ve Liu, F. 2019. Biochar properties and soil type drive the uptake of macro-and micronutrients in maize (Zea mays L.). Journal of Plant Nutrition and Soil Science 182 (2): 149-158

brahim Ortaş, I. 2016. The Role of Mycorrhizae and Biochar in Plant Growth and Soil Quality. Biochar 336

Brodowski, S., John, B., Flessa, H., ve Amelung, W. 2006. Aggregate-occluded black carbon in soil. European journal of soil science 57 (4): 539-546

Bruun, S., ve EL-Zehery, T. 2012. Biochar effect on the mineralization of soil organic matter. Pesquisa Agropecuária Brasileira 47 665-671

Butnan, S., Deenik, J. L., Toomsan, B., Antal, M. J., ve Vityakon, P. 2015. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. Geoderma 237 105-116

Calvo, P., Nelson, L., ve Kloepper, J. W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and soil 383 3-41

Cárdenas-Aguiar, E., Gascó, G., Paz-Ferreiro, J., ve Méndez, A. 2017. The effect of biochar and compost from urban organic waste on plant biomass and properties of an artificially copper polluted soil. International Biodeterioration & Biodegradation 124 223-232

Chan, K., ve Xu, Z. 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology: Biochar: nutrient properties and their enhancement. London (UK): Earthscan

Chatskikh, D., ve Olesen, J. E. 2007. Soil tillage enhanced CO2 and N2O emissions from loamy sand soil under spring barley. Soil and tillage Research 97 (1): 5-18

Chen, W., Yang, H., Chen, Y., Chen, X., Fang, Y., ve Chen, H. 2016. Biomass pyrolysis for nitrogen-containing liquid chemicals and nitrogen-doped carbon materials. Journal of analytical and applied pyrolysis 120 186-193

Cheng, C.-H., Lehmann, J., ve Engelhard, M. H. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. Geochimica et Cosmochimica Acta 72 (6): 1598-1610

Clough, T. J., Condron, L. M., Kammann, C., ve Müller, C. 2013. A review of biochar and soil nitrogen dynamics. Agronomy 3 (2): 275-293

Coccina, A., Cavagnaro, T. R., Pellegrino, E., Ercoli, L., McLaughlin, M. J., ve Watts-Williams, S. J. 2019. The mycorrhizal pathway of zinc uptake contributes to zinc accumulation in barley and wheat grain. BMC Plant Biology 19 (1): 1-14

Çetinkaya, N., ve Sami, D. 2010. Mısır vejetatif gelişimi ve verimi üzerinde bir endomikorizal preparatın etkileri. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 47 (1): 53-59

Declerck, S., Plenchette, C., ve Strullu, D. 1995. Mycorrhizal dependency of banana (Musa acuminata, AAA group) cultivar. Plant and Soil 176 183-187

Demirbas, A., Karakoy, T., Durukan, H., ve Erdem, H. 2017. The impacts of the biochar addition in different doses on yield and nutrient uptake of the chickpea plant (Cicer arietinum L.) under the conditions with and without incubation. Fresenius Environmental Bulletin 26 (12): 8328-8336

Demirbaş, A., Kaya, Z., Akpınar, Ç., ve Ortaş, İ. 2019. Fertigasyon ve Mikoriza Uygulamalarının Tarla Koşullarında Biber Bitkisinin (Capsicum annum L.) Verimine ve Besin Elementleri Alımına Etkileri. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology 7 (1).10.24925/turjaf.v7i1.152-161.2361

Dempster, D., Gleeson, D., Solaiman, Z. i., Jones, D., ve Murphy, D. 2012. Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. Plant and Soil 354 311-324

Ding, W., Dong, X., Ime, I. M., Gao, B., ve Ma, L. Q. 2014. Pyrolytic temperatures impact lead sorption mechanisms by bagasse biochars. Chemosphere 105 68-74

Dong, D., Feng, Q., Mcgrouther, K., Yang, M., Wang, H., ve Wu, W. 2015. Effects of biochar amendment on rice growth and nitrogen retention in a waterlogged paddy field. Journal of Soils and Sediments 15 153-162

Dong, X., Guan, T., Li, G., Lin, Q., ve Zhao, X. 2016. Long-term effects of biochar amount on the content and composition of organic matter in soil aggregates under field conditions. Journal of soils and sediments 16 1481-1497

Downie, A., Crosky, A., ve Munroe, P. 2012. Physical properties of biochar. In "Biochar for environmental management", pp. 45-64. Routledge.1849770557

Efthymiou, A., Jensen, B., ve Jakobsen, I. 2018. The roles of mycorrhiza and Penicillium inoculants in phosphorus uptake by biochar-amended wheat. Soil Biology and Biochemistry 127 168-177

El-Naggar, A., Lee, S. S., Awad, Y. M., Yang, X., Ryu, C., Rizwan, M., Rinklebe, J., Tsang, D. C., ve Ok, Y. S. 2018. Influence of soil properties and feedstocks on biochar potential for carbon mineralization and improvement of infertile soils. Geoderma 332 100-108

El-Naggar, A., Lee, S. S., Rinklebe, J., Farooq, M., Song, H., Sarmah, A. K., Zimmerman, A. R., Ahmad, M., Shaheen, S. M., ve Ok, Y. S. 2019. Biochar application to low fertility soils: A review of current status, and future prospects. Geoderma 337 536-554

Elik, N., ve Sakin, E. 2021. Toprağa uygulanan farklı nem ve biyoçarın co2-c emisyonuna ve no3-nh4 içeriğine etkisi.

Elmer, W. H., ve Pignatello, J. J. 2011. Effect of biochar amendments on mycorrhizal associations and Fusarium crown and root rot of asparagus in replant soils. Plant Disease 95 (8): 960-966

Fang, Y., Singh, B. P., ve Singh, B. 2014. Temperature sensitivity of biochar and native carbon mineralisation in biochar-amended soils. Agriculture, Ecosystems & Environment 191 158-167

FAOSTAT 2023. FAOSTAT Statistical Database. http://www.fao.org/, Food and Agriculture Organization.

Farhangi-Abriz, S., ve Torabian, S. 2018. Effect of biochar on growth and ion contents of bean plant under saline condition. Environmental Science and Pollution Research 25 11556-11564

Farrar, M. B., Wallace, H. M., Xu, C.-Y., Joseph, S., Dunn, P. K., Nguyen, T. T. N., ve Bai, S. H. 2021. Biochar co-applied with organic amendments increased soil-plant potassium and root biomass but not crop yield. Journal of Soils and Sediments 21 784-798

Feng, Y., Xu, Y., Yu, Y., Xie, Z., ve Lin, X. 2012. Mechanisms of biochar decreasing methane emission from Chinese paddy soils. Soil Biology and Biochemistry 46 80-88

Fitter, A., Helgason, T., ve Hodge, A. 2011. Nutritional exchanges in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: implications for sustainable agriculture. Fungal Biology Reviews 25 (1): 68-72

Fu, B., Ge, C., Yue, L., Luo, J., Feng, D., Deng, H., ve Yu, H. 2016. Characterization of biochar derived from pineapple peel waste and its application for sorption of oxytetracycline from aqueous solution. BioResources 11 (4): 9017-9035

Fu, H., Liu, H., Mao, J., Chu, W., Li, Q., Alvarez, P. J., Qu, X., ve Zhu, D. 2016. Photochemistry of Dissolved Black Carbon Released from Biochar: Reactive Oxygen Species Generation and Phototransformation. Environ Sci Technol 50 (3): 1218-26.10.1021/acs.est.5b04314

Gale, N. V., ve Thomas, S. C. 2019. Dose-dependence of growth and ecophysiological responses of plants to biochar. Science of the Total Environment 658 1344-1354

Galinato, S. P., Yoder, J. K., ve Granatstein, D. 2011. The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. Energy policy 39 (10): 6344-6350

Gallagher, D. G., ve Clark, P. F. 1989. Research on union commitment: Implications for labor. Lab. Stud. J. 14 52

Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K., ve Bibens, B. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. Transactions of the ASABE 51 (6): 2061-2069

Gaunt, J. L., ve Lehmann, J. 2008. Energy balance and emissions associated with biochar sequestration and pyrolysis bioenergy production. Environmental Science & Technology 42 (11): 4152-4158.10.1021/es071361i

Gaur, A., ve Adholeya, A. 2000. Effects of the particle size of soil-less substrates upon AM fungus inoculum production. Mycorrhiza 10 43-48

Gerdemann, J. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. The development and function of roots 575-591

Gerdemann, J., ve Nicolson, T. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological society 46 (2): 235-244

Gioannetti, M., ve Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhiza in roots. New Phytologist 84 489-500.10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x

Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G., ve Zech, W. 2001. The'Terra Preta'phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. Naturwissenschaften 88 37-41

Glaser, B., Wiedner, K., Seelig, S., Schmidt, H.-P., ve Gerber, H. 2015. Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers. Agronomy for Sustainable Development 35 (2): 667-678

Glicksman, M., ve Schaefer, R. 1967. Investigation of solid/liquid interface temperatures via isenthalpic solidification. Journal of crystal Growth 1 (5): 297-310

Gomez-Eyles, J. L., Sizmur, T., Collins, C. D., ve Hodson, M. E. 2011. Effects of biochar and the earthworm Eisenia fetida on the bioavailability of polycyclic aromatic hydrocarbons and potentially toxic elements. Environmental pollution 159 (2): 616-622

Gomez-Eyles, J. L., Yupanqui, C., Beckingham, B., Riedel, G., Gilmour, C., ve Ghosh, U. 2013. Evaluation of biochars and activated carbons for in situ remediation of sediments impacted with organics, mercury, and methylmercury. Environmental science & technology 47 (23): 13721-13729

Granatstein, D., Kruger, C., Collins, H., Garcia-Perez, M., ve Yoder, J. 2009. Use of biochar from the pyrolysis of waste organic material as a soil amendment.

Grützmacher, F., Hein, A., Kirste, T., ve Haubelt, C. 2018. Model-based design of energy-efficient human activity recognition systems with wearable sensors. Technologies 6 (4): 89

Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., ve Deng, H. 2015. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: mechanisms and future directions. Agriculture, Ecosystems & Environment 206 46-59

Guo, D., Shang, D., Wang, X., Chang, H., ve Lin, F. 2017. Effects of modified biochar on growth, nutrients uptake of maize and soil physicochemical properties. Journal of Henan Agricultural Sciences 46 (2): 22-27

Guo, Y., Sommer, N., Martin, K., ve Rasche, F. 2022. Role of arbuscular mycorrhizal fungi (Rhizophagus irregularis) on mercury tolerance of Medicago truncatula in relation to mercury and zinc concentration.

Güereña, D., Lehmann, J., Hanley, K., Enders, A., Hyland, C., ve Riha, S. 2013. Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maize-based production system. Plant and soil 365 239-254

Gülez, M., ve Şenol, S. 2002. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Deneme Alanının Detaylı Toprak Etüd ve Haritalaması. ÇÜ ZF Dergisi 17 (3): 103-110

Güzel, N., Gülüt, K. Y., Ortaş, İ., ve İbrikçi, H. 1990. "Toprak Verimlilik Analiz Yöntemleri Laboratuar El Kitabı,"

Haberstroh, P. R., Brandes, J. A., Gélinas, Y., Dickens, A. F., Wirick, S., ve Cody, G. 2006. Chemical composition of the graphitic black carbon fraction in riverine and marine sediments at sub-micron scales using carbon X-ray spectromicroscopy. Geochimica et Cosmochimica Acta 70 (6): 1483-1494

Halder, M., Karim, R., Islam, S., ve Akhter, S. 2015. Seasonal variation of arbuscular mycorrhiza fungi colonization with some medicinal plant species of Chittagong BCSIR forest. Plant Science Today 2 (3): 87-92

Hammer, E. C., Balogh-Brunstad, Z., Jakobsen, I., Olsson, P. A., Stipp, S. L. S., ve Rillig, M. C. 2014. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces. Soil Biology & Biochemistry 77 252-260.10.1016/j.soilbio.2014.06.012

Hammer, E. C., Forstreuter, M., Rillig, M. C., ve Kohler, J. 2015. Biochar increases arbuscular mycorrhizal plant growth enhancement and ameliorates salinity stress. Applied soil ecology 96 114-121

Harley, J. 1984. The mycorrhizal associations. Cellular interactions 148-186

Hart, M. M., ve Forsythe, J. A. 2012. Using arbuscular mycorrhizal fungi to improve the nutrient quality of crops; nutritional benefits in addition to phosphorus. Scientia Horticulturae 148 206-214

Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A. M., Alqarawi, A. A., Al-Arjani, A.-B. F., Singh, G., Farooq, M., ve Abd_Allah, E. F. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. Saudi Journal of Biological Sciences 26 (3): 614-624

Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A. M., Alqarawi, A. A., Al-Arjani, A. F., Singh, G., Farooq, M., ve Abd Allah, E. F. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. Saudi Journal of Biological Sciences 26 (3): 614-624.10.1016/j.sjbs.2018.11.005

Hawkins, H. J., ve George, E. 1999. Effect of plant nitrogen status on the contribution of arbuscular mycorrhizal hyphae to plant nitrogen uptake. Physiologia Plantarum 105 (4): 694-700

He, Y., Zhou, X., Jiang, L., Li, M., Du, Z., Zhou, G., Shao, J., Wang, X., Xu, Z., ve Hosseini Bai, S. 2017. Effects of biochar application on soil greenhouse gas fluxes: A meta-analysis. Gcb Bioenergy 9 (4): 743-755

Hijri, M. 2016. Analysis of a large dataset of mycorrhiza inoculation field trials on potato shows highly significant increases in yield. Mycorrhiza 26 (3): 209-214

Hilscher, A., Heister, K., Siewert, C., ve Knicker, H. 2009. Mineralisation and structural changes during the initial phase of microbial degradation of pyrogenic plant residues in soil. Organic Geochemistry 40 (3): 332-342

Hossain, M. Z., Bahar, M. M., Sarkar, B., Donne, S. W., Ok, Y. S., Palansooriya, K. N., Kirkham, M. B., Chowdhury, S., ve Bolan, N. 2020a. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. Biochar 2 379-420

Hossain, M. Z., Bahar, M. M., Sarkar, B., Donne, S. W., Ok, Y. S., Palansooriya, K. N., Kirkham, M. B., Chowdhury, S., ve Bolan, N. 2020b. Biochar and its importance on nutrient dynamics in soil and plant. Biochar 2 (4): 379-420

Hou, J., Pugazhendhi, A., Sindhu, R., Vinayak, V., Thanh, N. C., Brindhadevi, K., Chi, N. T. L., ve Yuan, D. 2022. An assessment of biochar as a potential amendment to enhance plant nutrient uptake. Environmental Research 214 113909

Houben, D., Evrard, L., ve Sonnet, P. 2013. Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar. Chemosphere 92 (11): 1450-1457

Huang, T., Yang, N., Lu, C., Qin, X., ve Siddique, K. H. 2021. Soil organic carbon, total nitrogen, available nutrients, and yield under different straw returning methods. Soil and Tillage Research 214 105171

Hussain, M., Farooq, M., Nawaz, A., Al-Sadi, A. M., Solaiman, Z. M., Alghamdi, S. S., Ammara, U., Ok, Y. S., ve Siddique, K. H. 2017. Biochar for crop production: potential benefits and risks. Journal of Soils and Sediments 17 685-716

Iliffe, R. 2009. Is the biochar produced by an anila stove likely to be a beneficial soil additive. MSc Diss. UK Biochar Research Centre Working Paper 4

İraz, K. S. 2015. Volkanik ve alüvyal kökenli topraklarda mikoriza ve fosfor doz uygulamalarının mısır bitkisinin gelişimi ve besin elementleri alımına etkisi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Işık, M., Öztürk, F., Akşahin, V., Demirkol, B., ve Ortaş, İ. 2020. Impact of Long Term Phosphorus Doses Application on Soil Carbon, Nitrogen and Phosphorus Concentration. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 8 (sp1): 150-154

Jabborova, D., Annapurna, K., Azimov, A., Tyagi, S., Pengani, K. R., Sharma, P., Vikram, K. V., Poczai, P., Nasif, O., Ansari, M. J., ve Sayyed, R. Z. 2022. Co-inoculation of biochar and arbuscular mycorrhizae for growth promotion and nutrient fortification in soybean under drought conditions. Frontiers in Plant Science 13 9.10.3389/fpls.2022.947547

Jabborova, D., Annapurna, K., Choudhary, R., Bhowmik, S. N., Desouky, S. E., Selim, S., Azab, I. H. E., Hamada, M. M. A., Nahhas, N. E., ve Elkelish, A. 2021. Interactive Impact of Biochar and Arbuscular Mycorrhizal on Root Morphology, Physiological Properties of Fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.) and Soil Enzymatic Activities. Agronomy-Basel 11 (11): 16.10.3390/agronomy11112341

Jamieson, T., Sager, E., ve Guéguen, C. 2014. Characterization of biochar-derived dissolved organic matter using UV–visible absorption and excitation–emission fluorescence spectroscopies. Chemosphere 103 197-204

Jatav, H. S., Singh, S. K., Singh, Y., ve Kumar, O. 2018. Biochar and sewage sludge application increases yield and micronutrient uptake in rice (Oryza sativa L.). Communications in Soil Science and Plant Analysis 49 (13): 1617-1628

Javaid, A. 2009. Arbuscular mycorrhizal mediated nutrition in plants. Journal of Plant Nutrition 32 (10): 1595-1618

Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A. C., Van Groenigen, J. W., Hungate, B. A., ve Verheijen, F. 2017. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. Environmental Research Letters 12 (5): 053001

Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., ve Bastos, A. C. 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture, ecosystems & environment 144 (1): 175-187

Jha, P., Biswas, A., Lakaria, B., ve Rao, A. S. 2010. Biochar in agriculture–prospects and related implications. Current science 1218-1225

Jiang, X., Denef, K., Stewart, C. E., ve Cotrufo, M. F. 2016. Controls and dynamics of biochar decomposition and soil microbial abundance, composition, and carbon use efficiency during long-term biochar-amended soil incubations. Biology and Fertility of Soils 52 1-14

Jiang, Z., Lian, F., Wang, Z., ve Xing, B. 2020. The role of biochars in sustainable crop production and soil resiliency. Journal of Experimental Botany 71 (2): 520-542

Jindo, K., Mizumoto, H., Sawada, Y., Sanchez-Monedero, M. A., ve Sonoki, T. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. Biogeosciences 11 (23): 6613-6621

Jones, D., Murphy, D., Khalid, M., Ahmad, W., Edwards-Jones, G., ve DeLuca, T. 2011. Short-term biochar-induced increase in soil CO2 release is both biotically and abiotically mediated. Soil Biology and Biochemistry 43 (8): 1723-1731

Jones, D., Rousk, J., Edwards-Jones, G., DeLuca, T., ve Murphy, D. 2012. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. Soil biology and Biochemistry 45 113-124

Joseph, S., Cowie, A. L., Van Zwieten, L., Bolan, N., Budai, A., Buss, W., Cayuela, M. L., Graber, E. R., Ippolito, J. A., ve Kuzyakov, Y. 2021. How biochar works, and when it doesn't: A review of mechanisms controlling soil and plant responses to biochar. Gcb Bioenergy 13 (11): 1731-1764

Joseph, S., Peacocke, C., Lehmann, J., ve Munroe, P. 2009. Developing a biochar classification and test methods. Biochar for environmental management: science and technology 1 107-126

Kacar, B., ve Inal, A. 2008. Plant analysis. Nobel Publication No: 1241. 63

Kaetzl, K., Lübken, M., Nettmann, E., Krimmler, S., ve Wichern, M. 2020. Slow sand filtration of raw wastewater using biochar as an alternative filtration media. Scientific reports 10 (1): 1229

Kaetzl, K., Lübken, M., Uzun, G., Gehring, T., Nettmann, E., Stenchly, K., ve Wichern, M. 2019. On-farm wastewater treatment using biochar from local agroresidues reduces pathogens from irrigation water for safer food production in developing countries. Science of the Total Environment 682 601-610

Karaca, H., ve Kaya, Z. 2009. Mikoriza ve Elementer Kükürtün Bitki Tarafından Topraktan Fosfor Alımına Etkisi. Çukurova Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana 20-2

Karipçin, M. Z., ve Şatır, N. Y. 2016. Su stresi koşullarında yetiştirilen marul sebzesinin verim ve besin içeriğine Arbusküler Mikorizal Fungus (AMF)'un etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi 26 (3): 406-413

Kendrick, B., ve Berch, S. 1985. Mycorrhizae: applications in agriculture and forestry. Comprehensive biotechnology: the principles, applications, and regulations of biotechnology in industry, agriculture, and medicine/editor-in-chief, Murray Moo-Young

Knicker, H., Hilscher, A., De la Rosa, J., González-Pérez, J. A., ve González-Vila, F. J. 2013. Modification of biomarkers in pyrogenic organic matter during the initial phase of charcoal biodegradation in soils. Geoderma 197 43-50

Koçak, B., ve Ortaş, İ. 2021. Short-term eucalyptus and phragmites biochar's efficiency in mineralization of soil carbon. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 21 (4): 3346-3353

Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., ve Lombi, E. 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. Environment International 132.10.1016/j.envint.2019.105078

Korai, P. K., Xia, X., Liu, X., Bian, R., Omondi, M. O., Nahayo, A., ve Pan, G. 2018. Extractable pool of biochar controls on crop productivity rather than greenhouse gas emission from a rice paddy under rice-wheat rotation. Scientific Reports 8 (1): 802

Koske, R., ve Gemma, J. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. Mycological research 92 (4): 486-488

Kraigher, H., ve Agerer, R. 2000. Identification and characterisation of types of ectomycorrhizae. In "Methods in root-soil interactions research: protocols. Compiled for the Technical Workshop of the COST Action E6 Eurosilva'Forest Tree Physiology Research'on Root-Soil Interactions in Trees held in Gozd Martuljek, Slovenia, 8 September, 1999", pp. 19-24. Slovenian Forestry Institute.

Krishnan, R., Agarwal, R., Bajada, C., ve Arshinder, K. 2020. Redesigning a food supply chain for environmental sustainability–An analysis of resource use and recovery. Journal of cleaner production 242 118374

Kuzyakov, Y., Subbotina, I., Chen, H., Bogomolova, I., ve Xu, X. 2009. Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by 14C labeling. Soil Biology and Biochemistry 41 (2): 210-219

Kürklü, A., Bilgin, S., Külcü, R., ve Yaldız, O. 2004. Bazı sera bitkisel biyokütle atıklarının miktar ve enerji içeriklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. Biyoenerji Sempozyumu 20-22

Laird, D. A. 2008. The charcoal vision: a win–win–win scenario for simultaneously producing bioenergy, permanently sequestering carbon, while improving soil and water quality. Agronomy journal 100 (1): 178-181

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science 304 (5677): 1623-1627

Lal, R. 2009. Soils and food sufficiency: A review. Sustainable agriculture 25-49

Lal, R. 2010. Beyond Copenhagen: mitigating climate change and achieving food security through soil carbon sequestration. Food Security 2 (2): 169-177.10.1007/s12571-010-0060-9

Lal, R. 2016. Beyond COP 21: potential and challenges of the “4 per Thousand” initiative. Journal of Soil and Water Conservation 71 (1): 20A-25A

Langeroodia, A. S., Tedeschi, P., Allevato, E., Stazi, S. R., Aadil, R. M., Mancinelli, R., ve Radicetti, E. 2022. Agronomic response of sunflower subjected to biochar and arbuscular mycorrhizal fungi application under drought conditions. Italian Journal of Agronomy 17 (3): 10.10.4081/ija.2022.2086

Larionova, A., Kurganova, I., Lopes de Gerenyu, V., Zolotareva, B., Yevdokimov, I., ve Kudeyarov, V. 2010. Carbon dioxide emissions from agrogray soils under climate changes. Eurasian soil science 43 168-176

LeCroy, C., Masiello, C. A., Rudgers, J. A., Hockaday, W. C., ve Silberg, J. J. 2013. Nitrogen, biochar, and mycorrhizae: Alteration of the symbiosis and oxidation of the char surface. Soil Biology and Biochemistry 58 248-254

Lehman, R. M., Osborne, S. L., Taheri, W. I., Buyer, J. S., ve Chim, B. K. 2019. Comparative measurements of arbuscular mycorrhizal fungal responses to agricultural management practices. Mycorrhiza 29 (3): 227-235.10.1007/s00572-019-00884-4

Lehmann, A., ve Rillig, M. C. 2015. Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese and iron nutrient concentrations in crops - A meta-analysis. Soil Biology & Biochemistry 81 147-158.10.1016/j.soilbio.2014.11.013

Lehmann, J. 2007a. Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and the Environment 5 (7): 381-387

Lehmann, J. 2007b. A handful of carbon. Nature 447 (7141): 143

Lehmann, J. 2007c. A handful of carbon. Nature 447 (7141): 143-144.10.1038/447143a

Lehmann, J., Cowie, A., Masiello, C. A., Kammann, C., Woolf, D., Amonette, J. E., Cayuela, M. L., Camps-Arbestain, M., ve Whitman, T. 2021. Biochar in climate change mitigation. Nature Geoscience 14 (12): 883-892

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. 2015. Biochar for environmental management: an introduction. In "Biochar for environmental management", pp. 1-13. Routledge.0203762266

Liang, J.-F., An, J., Gao, J.-Q., Zhang, X.-Y., Song, M.-H., ve Yu, F.-H. 2019. Interactive effects of biochar and AMF on plant growth and greenhouse gas emissions from wetland microcosms. Geoderma 346 11-17

Liu, A., Hamel, C., Elmi, A., Costa, C., Ma, B., ve Smith, D. 2002. Concentrations of K, Ca and Mg in maize colonized by arbuscular mycorrhizal fungi under field conditions. Canadian Journal of Soil Science 82 (3): 272-278

Liu, A., Hamel, C., Hamilton, R., Ma, B., ve Smith, D. 2000. Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (Zea mays L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. Mycorrhiza 9 331-336

Liu, X., Mao, P., Li, L., ve Ma, J. 2019. Impact of biochar application on yield-scaled greenhouse gas intensity: a meta-analysis. Science of the Total Environment 656 969-976

Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G., ve Paz-Ferreiro, J. 2013. Biochar's effect on crop productivity and the dependence on experimental conditions—a meta-analysis of literature data. Plant and soil 373 583-594

Liu, Z., Chen, X., Jing, Y., Li, Q., Zhang, J., ve Huang, Q. 2014. Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. Catena 123 45-51

Luo, X., Wang, L., Liu, G., Wang, X., Wang, Z., ve Zheng, H. 2016. Effects of biochar on carbon mineralization of coastal wetland soils in the Yellow River Delta, China. Ecological Engineering 94 329-336

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., ve Lehmann, J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. Plant and soil 333 117-128

Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., ve Lehmann, J. 2012. Nutrient leaching in a Colombian savanna Oxisol amended with biochar. Journal of environmental quality 41 (4): 1076-1086

Mao, J., Zheng, W., Xie, G., Lehmann, B., ve Goldfarb, R. 2021. Recognition of a Middle–Late Jurassic arc-related porphyry copper belt along the southeast China coast: Geological characteristics and metallogenic implications. Geology 49 (5): 592-596

Marschner, H. 2011. "Marschner's mineral nutrition of higher plants," Academic press, London, UK.0123849063

Marschner, H., ve Dell, B. 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. Plant and soil 159 89-102

Maseka, P., Sarcheshmehpour, M., ve Solaiman, Z. M. 2022. Influence of Aged Wood Biochar on Mycorrhizal Colonisation, Growth and Leaf Gas Exchange of Wheat and Clover with Different Water Regimes. Agronomy-Basel 12 (10): 16.10.3390/agronomy12102420

Masiello, C., Druffel, E., ve Currie, L. A. 2002. Radiocarbon measurements of black carbon in aerosols and ocean sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta 66 (6): 1025-1036

Mau, A., ve Utami, S. 2014. Effects of biochar amendment and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on availability of soil phosphorus and growth of maize. Journal of Degraded and Mining Lands Management 1 (2): 69

Mendez, A., Cárdenas-Aguiar, E., Paz-Ferreiro, J., Plaza, C., ve Gasco, G. 2017. The effect of sewage sludge biochar on peat-based growing media. Biological Agriculture & Horticulture 33 (1): 40-51

Menge, J., Steirle, D., Bagyaraj, D., Johnson, E., ve Leonard, R. 1978. Phosphorus concentrations in plants responsible for inhibition of mycorrhizal infection. New Phytologist 80 (3): 575-578

Miransari, M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen uptake. Archives of microbiology 193 (2): 77-81

Miyasaka, S. C., ve Habte, M. 2001. Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency. Communications in Soil Science and Plant Analysis 32 (7-8): 1101-1147

Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S., ve Pittman Jr, C. U. 2014. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent–a critical review. Bioresource technology 160 191-202

Mosharrof, M., Uddin, M. K., Jusop, S., Sulaiman, M. F., Shamsuzzaman, S., ve Haque, A. N. A. 2021. Changes in acidic soil chemical properties and carbon dioxide emission due to biochar and lime treatments. Agriculture 11 (3): 219

Mukherjee, A., Zimmerman, A., ve Harris, W. 2011. Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. Geoderma 163 (3-4): 247-255

Mukherjee, A., ve Zimmerman, A. R. 2013. Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar–soil mixtures. Geoderma 193 122-130

Nanda, S., Dalai, A. K., Berruti, F., ve Kozinski, J. A. 2016. Biochar as an exceptional bioresource for energy, agronomy, carbon sequestration, activated carbon and specialty materials. Waste and Biomass Valorization 7 (2): 201-235

Ndiate, N. I., Zaman, Q. U., Francis, I. N., Dada, O. A., Rehman, A., Asif, M., Goffner, D., Kane, A., Cai, L. Q., ve Haider, F. U. 2022. Soil Amendment with Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Biochar Improves Salinity Tolerance, Growth, and Lipid Metabolism of Common Wheat (Triticum aestivum L.). Sustainability 14 (6): 18.10.3390/su14063210

Neumann, E., ve George, E. 2010. Nutrient uptake: the arbuscular mycorrhiza fungal symbiosis as a plant nutrient acquisition strategy. Arbuscular mycorrhizas: Physiology and function 137-167

Nguyen, M.-V., ve Lee, B.-K. 2016. A novel removal of CO2 using nitrogen doped biochar beads as a green adsorbent. Process Safety and Environmental Protection 104 490-498

Nirukshan, G. S., Ranasinghe, S., ve Sleutel, S. 2022. The effect of biochar on mycorrhizal fungi mediated nutrient uptake by coconut (Cocos nucifera L.) seedlings grown on a Sandy Regosol. Biochar 4 (1): 18.10.1007/s42773-022-00192-9

Niu, Q., Luo, J., Xia, Y., Sun, S., ve Chen, Q. 2017. Surface modification of bio-char by dielectric barrier discharge plasma for Hg0 removal. Fuel Processing Technology 156 310-316

Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., ve Niandou, M. A. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. Soil science 174 (2): 105-112

Okkaoğlu, H., ve Avcıoğlu, R. 2010. Mikoriza ve tuz stresi interaksiyonunun mısır (Zea mays L.) bitkisinin erken gelişme döneminde büyüme ve diğer bazı fizyolojik özelliklerin etkisi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir, 87s

Olaniyan, J. O., Isimikalu, T. O., Raji, B. A., Affinnih, K. O., Alasinrin, S. Y., ve Ajala, O. N. 2020. An investigation of the effect of biochar application rates on CO2 emissions in soils under upland rice production in southern Guinea Savannah of Nigeria. Heliyon 6 (11): e05578

Oldfield, T. L., Sikirica, N., Mondini, C., López, G., Kuikman, P. J., ve Holden, N. M. 2018. Biochar, compost and biochar-compost blend as options to recover nutrients and sequester carbon. Journal of environmental management 218 465-476

Olsen, S. R. 1954. "Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate," US Department of Agriculture

Ortas, I. 1997. Mikoriza Nedir? TUBİITAK Bilim Teknik Dergisi (351):

Ortas, I. 2012. The effect of mycorrhizal fungal inoculation on plant yield, nutrient uptake and inoculation effectiveness under long-term field conditions. Field crops research 125 35-48

Ortas, I. 2019. Comparison of indigenous and selected mycorrhiza in terms of growth increases and mycorrhizal dependency of sour orange under phosphorus and zinc deficient soils. Eur J Hortic Sci 84 218-225

Ortas, I. 2022. Impact of Climate Change on Turkey and West Asia’s Food and Water Security. In "Proccedings of International Congress and Workshop on

Agricultural Structures and Irrigatioon" (Ö. Çetin, ed.), Vol. 1, pp. 201-213, Diyarbakır-Turkey.

Ortas, I. 2023. The importance of organic/ecological agriculture for soil and plant diversity. In "Food Safety in Vegetables and Fruits" (V. Pirinc, E. Alas ve Y. K. Haspolat, eds.), Vol. 1, pp. 169. Orient Publications Ankara-Turkey.978-625-6598-35-5

Ortas, İ. 1994. The Effect of Different Forms and Rates of Nitrogen and Different Rates of Phosphorus Fertilizer on Rhizosphere pH and P Uptake in Mycorrhizal and non-Mycorrhizal Sorghum Plants. Reading

Ortas, I., Demirbas, A., ve Akpinar, C. 2018. Under sterilized and non-sterilized soil conditions, mycorrhizal dependency in citrus plants depends on phosphorus fertilization rather than zinc application. European Journal of Horticultural Science 83 (2): 81-87

Ortas, I., Harris, P., ve Rowell, D. 1996. Enhanced uptake of phosphorus by mycorrhizal sorghum plants as influenced by forms of nitrogen. Plant and soil 184 255-264

Ortas, I., ve Lal, R. 2012. Long-term phosphorus application impacts on aggregate-associated carbon and nitrogen sequestration in a Vertisol in the Mediterranean Turkey. Soil Science 177 (4): 241-250

Ortas, I., ve Lal, R. 2014. Long-Term Fertilization Effect on Agronomic Yield and Soil Organic Carbon under Semi-Arid Mediterranean Region. American Journal of Experimental Agriculture 4 (9): 1086-1102

Ortas, I., ve Yucel, C. 2020. Do mycorrhizae influence cover crop biomass production? Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science 70 (8): 657-666

Ortaş, İ. 2016. The role of mycorrhizae and biochar in plant growth and soil quality. Biochar 336-350

Ortaş, İ. 2023. "Türkiyenin Gıda Güvencesi Güvende mi?," Akademisyen Kitabevi.625696599X

Ortaş, İ., Ergün, B., ORTAKÇI, D., Ercan, S., ve Köse, Ö. 1999. Mikoriza sporlarının üretim tekniği ve tarımda kullanım olanakları. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 23 (supp4): 959-968

Ortaş, İ., Gök, G., Çakmak, İ., İbrikçi, H., Gür, K., Torun, T., Onaç, İ., Ergün, B., ve Çoşkan, A. 1998. Effect Of Va-Maycorrhizae Inoculation and Phosphorus Application on Maize Growth And Mycorrhizal Infection of Maize. In "M. Şefik Yeşilsoy International Symposium on Arid Region Soil. Menemen-İzmir-Turkey".

Ortaş, I., ve Rafique, M. 2017. The mechanisms of nutrient uptake by arbuscular mycorrhizae. Mycorrhiza-Nutrient uptake, biocontrol, ecorestoration 1-19

Ortaş, I., Rafique, M., ve Ahmed, İ. A. 2017. Application of arbuscular mycorrhizal fungi into agriculture. Arbuscular mycorrhizas and stress tolerance of plants 305-327

Ova, E. A., Kutman, U. B., Ozturk, L., ve Cakmak, I. 2015. High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution. Plant and Soil 393 147-162

Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M., ve Kaptan, H. 1993. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi Kitabı.

Özcan, S. 2009. Modern dünyanın vazgeçilmez bitkisi mısır: genetiği değiştirilmiş (transgenik) mısırın tarımsal üretime katkısı. Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi (2): 1-34

Özyonar, F., ve Peker, İ. 2008. Sivas Kent Merkezindeki Çevresel Gürültü Kirliliğginin Araştırılması. Ekoloji Dergisi 17 (69):

Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., ve Dasgupta, P. 2014. "Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change," Ipcc.9291691437

Pal, A., ve Pandey, S. 2014. Role of glomalin in improving soil fertility: a review. International Journal of Plant & Soil Science 3 (9): 1112-1129

Palansooriya, K. N., Ok, Y. S., Awad, Y. M., Lee, S. S., Sung, J.-K., Koutsospyros, A., ve Moon, D. H. 2019. Impacts of biochar application on upland agriculture: A review. Journal of environmental management 234 52-64

Palta, Ş., Demir, S., Şengönül, K., Ömer, K., ve Şensoy, H. 2010. Arbüsküler Mikorızal Funguslar (AMF), Bitki Ve Toprakla İlişkileri, Mera Islahındaki Önemleri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi 12 (18): 87-98

Pan, J., Cao, S., Xu, G., Rehman, M., Li, X., Luo, D., Wang, C., Fang, W., Xiao, H., ve Liao, C. 2023. Comprehensive analysis reveals the underlying mechanism of arbuscular mycorrhizal fungi in kenaf cadmium stress alleviation. Chemosphere 314 137566

Peake, L. R., Reid, B. J., ve Tang, X. 2014. Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. Geoderma 235 182-190

Plenchette, C., Fortin, J. A., ve Furlan, V. 1983. Growth-responses of several plant-species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertılıty .1. mycorrhizal dependency under field conditions. Plant and Soil 70 (2): 199-209

Porcel, R., Aroca, R., ve Ruiz-Lozano, J. M. 2012. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. Agronomy for sustainable development 32 181-200

Pritchett, W., ve Fisher, R. 1987. Nutrient cycling in forest ecosystems. Properties and management of forest soils. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands 181-204

Pulatkan, M., ve Var, M. 2010. Ormancılık ve peyzaj mimarlığında mikoriza aşılı fidanların kullanımı ve faydaları. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi 4 1431-1438

Purakayastha, T., Bera, T., Bhaduri, D., Sarkar, B., Mandal, S., Wade, P., Kumari, S., Biswas, S., Menon, M., ve Pathak, H. 2019. A review on biochar modulated soil condition improvements and nutrient dynamics concerning crop yields: Pathways to climate change mitigation and global food security. Chemosphere 227 345-365

Qin, H., Liu, Y., Li, L., Pan, G., Zhang, X., ve Zheng, J. 2012. Adsorption of cadmium in solution by biochar from household biowaste. J Ecol Rural Environ 28 181-186

Quilliam, R. S., Glanville, H. C., Wade, S. C., ve Jones, D. L. 2013. Life in the 'charosphere'–Does biochar in agricultural soil provide a significant habitat for microorganisms? Soil Biology and Biochemistry 65 287-293

Rafique, M., ve Ortas, I. 2018. Nutrient uptake-modification of different plant species in Mediterranean climate by arbuscular mycorrhizal fungi. European Journal of Horticultural Science 83 (2): 65-71.10.17660/eJHS.2018/83.2.1

Rafique, M., Ortas, I., Ahmed, I. A., Rizwan, M., Afridi, M. S., Sultan, T., ve Chaudhary, H. J. 2019a. Potential impact of biochar types and microbial inoculants on growth of onion plant in differently textured and phosphorus limited soils. Journal of environmental management 247 672-680

Rafique, M., Ortas, I., Rizwan, M., Sultan, T., Chaudhary, H. J., Isik, M., ve Aydin, O. 2019b. Effects of Rhizophagus clarus and biochar on growth, photosynthesis, nutrients, and cadmium (Cd) concentration of maize (Zea mays) grown in Cd-spiked soil. Environmental Science and Pollution Research 26 (20): 20689-20700.10.1007/s11356-019-05323-7

Rehman, S., Mansoora, N., Al-Dhumri, S. A., Amjad, S. F., Al-Shammari, W. B., Almutari, M. M., Alhusayni, F. S., Al Bakre, D. A., Lalarukh, I., Alshahri, A. H., Poczai, P., Galal, T. M., ve Abdelhafez, A. A. 2022. Associative effects of activated carbon biochar and arbuscular

mycorrhizal fungi on wheat for reducing nickel food chain bioavailability. Environmental Technology & Innovation 26 13.10.1016/j.eti.2022.102539

Ren, A. T., Mickan, B. S., Li, J. Y., Zhou, R., Zhang, X. C., Ma, M. S., Wesly, K., ve Xiong, Y. C. 2021. Soil labile organic carbon sequestration is tightly correlated with the abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in semiarid maize fields. Land Degradation & Development 32 (3): 1224-1236

Rizhiya, E. Y., Buchkina, N., Mukhina, I., Belinets, A., ve Balashov, E. 2015. Effect of biochar on the properties of loamy sand Spodosol soil samples with different fertility levels: A laboratory experiment. Eurasian Soil Science 48 192-200

Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ibrahim, M., Zia-ur-Rehman, M., Abbas, T., ve Ok, Y. S. 2016. Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: a critical review. Environmental Science and Pollution Research 23 2230-2248

Rogovska, N., Laird, D., Cruse, R., Fleming, P., Parkin, T., ve Meek, D. 2011. Impact of biochar on manure carbon stabilization and greenhouse gas emissions. Soil Science Society of America Journal 75 (3): 871-879

Rondon, M., Ramirez, J., ve Lehmann, J. 2005. Greenhouse gas emissions decrease with charcoal additions to tropical soils. In "Proceedings of the 3rd USDA symposium on greenhouse gases and carbon sequestration, baltimore, USA", Vol. 208.

Rouphael, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P., ve Colla, G. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. Scientia Horticulturae 196 91-108.10.1016/j.scienta.2015.09.002

Roy-Bolduc, A., ve Hijri, M. 2011. The use of mycorrhizae to enhance phosphorus uptake: a way out the phosphorus crisis. J. Biofertil. Biopestici 2 (104): 1-5

Saarnio, S., Heimonen, K., ve Kettunen, R. 2013. Biochar addition indirectly affects N2O emissions via soil moisture and plant N uptake. Soil Biology and Biochemistry 58 99-106

Saboor, A., Ali, M. A., Danish, S., Ahmed, N., Fahad, S., Datta, R., Ansari, M. J., Nasif, O., ve Glick, B. R. 2021. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the physiological functioning of maize under zinc-deficient soils. Scientific Reports 11 (1): 1-11

Safaei Asadabadi, R., Hage-Ahmed, K., ve Steinkellner, S. 2021. Biochar, compost and arbuscular mycorrhizal fungi: a tripartite approach to combat Sclerotinia sclerotiorum in soybean. Journal of Plant Diseases and Protection 128 (6): 1433-1445

Saia, S., Benítez, E., García-Garrido, J., Settanni, L., Amato, G., ve Giambalvo, D. 2014. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on total plant nitrogen uptake and nitrogen recovery from soil organic material. The Journal of Agricultural Science 152 (3): 370-378

Schaefer, R. 1967. Caractères et évolution des activités microbiennes dans une chaîne de sols hydromorphes mésotrophiques de la plaine d'Alsace: première partie: Cadre géographique et milieu édaphique.

Schlesinger, W. H., ve Andrews, J. A. 2000. Soil respiration and the global carbon cycle. Biogeochemistry 48 7-20

Semida, W. M., Beheiry, H. R., Sétamou, M., Simpson, C. R., Abd El-Mageed, T. A., Rady, M. M., ve Nelson, S. D. 2019. Biochar implications for sustainable agriculture and environment: A review. South African Journal of Botany 127 333-347

Semple, K. T., Doick, K. J., Jones, K. C., Burauel, P., Craven, A., ve Harms, H. 2004. Peer reviewed: defining bioavailability and bioaccessibility of contaminated soil and sediment is complicated. ACS Publications.

Sg, L., Jjo, O., Adeleke, R., ve St, M. 2021. The potential of biochar to enhance concentration and utilization of selected macro and micro nutrients for chickpea (Cicer arietinum) grown in three contrasting soils. Rhizosphere 17 100289

Sheng, Y., ve Zhu, L. 2018. Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH. Science of the Total Environment 622 1391-1399

Shi, Z. Y., Zhang, J. C., Lu, S. C., Li, Y., ve Wang, F. Y. 2020. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improve the Performance of Sweet Sorghum Grown in a Mo-Contaminated Soil. Journal of Fungi 6 (2).ARTN 44

10.3390/jof6020044

Sieverding, E., Friedrichsen, J., ve Suden, W. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Sonderpublikation der GTZ (Germany)

Siles, J. A., Garcia-Romera, I., Cajthaml, T., Belloc, J., Silva-Castro, G., Szakova, J., Tlustos, P., ve Garcia-Sanchez, M. 2022. Application of dry olive residue-based biochar in combination with arbuscular mycorrhizal fungi enhances the microbial status of metal contaminated soils. Scientific Reports 12 (1): 14.10.1038/s41598-022-17075-5

Singh, B. P., ve Cowie, A. L. 2014. Long-term influence of biochar on native organic carbon mineralisation in a low-carbon clayey soil. Scientific reports 4 (1): 3687

Singh, B. P., Cowie, A. L., ve Smernik, R. J. 2012. Biochar carbon stability in a clayey soil as a function of feedstock and pyrolysis temperature. Environmental science & technology 46 (21): 11770-11778

Singh, B. P., Hatton, B. J., Singh, B., Cowie, A. L., ve Kathuria, A. 2010. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. Journal of environmental quality 39 (4): 1224-1235

Slavich, P., Sinclair, K., Morris, S., Kimber, S., Downie, A., ve Van Zwieten, L. 2013. Contrasting effects of manure and green waste biochars on the properties of an acidic ferralsol and productivity of a subtropical pasture. Plant and Soil 366 213-227

Smith, F. A., ve Smith, S. E. 2011. What is the significance of the arbuscular mycorrhizal colonisation of many economically important crop plants? Plant and Soil 348 63-79

Smith, P. 2016. Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologies. Global change biology 22 (3): 1315-1324

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., ve Rice, C. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical transactions of the royal Society B: Biological Sciences 363 (1492): 789-813

Smith, S. E., ve Read, D. J. 1997. Mycorrhizal symbiosis. Mycorrhizal symbiosis. (Ed. 2):

Smith, S. E., ve Read, D. J. 2008. "Mycorrhizal symbiosis," Academic press, San Diego, CA.0080559344

Sobhani, S. M. A., Alavifazel, M., Ardakani, M. R., Modhej, A., ve Lak, S. 2022. Influence of mycorrhizal fungi and biochar on nitrogen use efficiency correlated with yield and yield components of wheat. Plant Science Today 9 (3): 509-517.10.14719/pst.1486

Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., ve Bol, R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. Advances in agronomy 105 47-82

Sombroek, W., Ruivo, M. D. L., Fearnside, P. M., Glaser, B., ve Lehmann, J. 2003. Amazonian dark earths as carbon stores and sinks. Amazonian dark earths: origin properties management 125-139

Song, W., ve Guo, M. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 94 138-145

Sönmez, F., Fatih, Ç., ERMAN, M., ve TÜFENKÇİ, Ş. 2013. Çinko, tuz ve mikoriza uygulamalarının mısırın gelişimi ile P ve Zn alımına etkisi. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences 23 (1): 1-9

Spokas, K. A., ve Reicosky, D. C. 2009. Impacts of sixteen different biochars on soil greenhouse gas production.

Staddon, P., Fitter, A., ve Robinson, D. 1999. Effects of mycorrhizal colonization and elevated atmospheric carbon dioxide on carbon fixation and below-ground carbon partitioning in Plantago lanceolata. Journal of Experimental Botany 50 (335): 853-860

Sun, J., Jia, Q., Li, Y., Zhang, T., Chen, J., Ren, Y., Dong, K., Xu, S., Shi, N.-N., ve Fu, S. 2022. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar on growth, nutrient absorption, and physiological properties of maize (Zea mays L.). Journal of Fungi 8 (12): 1275

Sun, J., Jia, Q., Li, Y., Zhang, T., Chen, J., Ren, Y., Dong, K., Xu, S., Shi, N. N., ve Fu, S. 2022. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Biochar on Growth, Nutrient Absorption, and Physiological Properties of Maize (Zea mays L.). J Fungi (Basel) 8 (12): 15.10.3390/jof8121275

Sun, Y., Orchard, M., Kocsis, Á., ve Joachimski, M. 2020. Carnian–Norian (Late Triassic) climate change: Evidence from conodont oxygen isotope thermometry with implications for reef development and Wrangellian tectonics. Earth and Planetary Science Letters 534 116082

Sundquist, E. T. 1993. The global carbon dioxide budget. Science 259 (5097): 934-941

Sümer, S. K., KAVDIR, Y., ve ÇİÇEK, G. 2016. Türkiye'de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. KSÜ doğa bilimleri dergisi 19 (4): 379-387

Tan, Z., Lin, C. S., Ji, X., ve Rainey, T. J. 2017. Returning biochar to fields: A review. Applied Soil Ecology 116 1-11

Tarin, M., Fan, L., Shen, L., Lai, J., Tayyab, M., Sarfraz, R., Chen, L., Ye, J., He, T., ve Rong, J. 2019. Effects of different biochars ammendments on physiochemical properties of soil and root morphological attributes of Fokenia Hodginsii (Fujian cypress). Appl. Ecol. Environ. Res 17 11107-11120

Thengane, S. K., ve Bandyopadhyay, S. 2020. Biochar mines: Panacea to climate change and energy crisis? Clean technologies and environmental policy 22 5-10

Tian, X., Li, C., Zhang, M., Wan, Y., Xie, Z., Chen, B., ve Li, W. 2018. Biochar derived from corn straw affected availability and distribution of soil nutrients and cotton yield. PloS one 13 (1): e0189924

Tomczyk, A., Sokołowska, Z., ve Boguta, P. 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology 19 191-215

Trappe, J. M., Molina, R., ve Castellano, M. 1984. Reactions of mycorrhizal fungi and mycorrhiza formation to pesticides. Annual review of phytopathology 22 (1): 331-359

Trentin, T. D., Dornelles, A. G., Trentin, N. D., Huzar-Novakowiski, J., Calvete, E. O., ve Chiomento, J. L. T. 2022. Addition of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Biochar in the Cultivation Substrate Benefits Macronutrient Contents in Strawberry Plants. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 22 (3): 2980-2991.10.1007/s42729-022-00861-5

Tüfekçi, S. 2007. Isolation of mycorrhizae of Taurus cedar (Cedrus libani A. Rich) on natural population and their growth and using seedling propagation.

Uçgun, K., Atasay, A., Akgül, H., Ay, Z., Küçükyumuk, C., Koçal, H., Bakıcı, S., Kaymak, S., Özongun, Ş., ve Gargın, S. 2009. Effect of mycorrhiza applications to plant development in MM 106 apple clon. TABAD, Tarım Bilimleri Aras< tail> tırma Dergisi 2 (2): 187-192

Usman, A. R., Ahmad, M., El-Mahrouky, M., Al-Omran, A., Ok, Y. S., Sallam, A. S., El-Naggar, A. H., ve Al-Wabel, M. I. 2016. Chemically modified biochar produced from conocarpus waste increases NO 3 removal from aqueous solutions. Environmental geochemistry and health 38 511-521

Uzoma, K., Inoue, M., Andry, H., Zahoor, A., ve Nishihara, E. 2011. Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. Journal of Food, Agriculture & Environment 9 (3/4 part 2): 1137-1143

Van Aken, B. 2011. Transgenic plants and associated bacteria for phytoremediation of organic pollutants.

Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Downie, A., Berger, E., Rust, J., ve Scheer, C. 2010. Influence of biochars on flux of N2O and CO2 from Ferrosol. Soil Research 48 (7): 555-568

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

Wallstedt, A., Coughlan, A., Munson, A. D., Nilsson, M.-C., ve Margolis, H. A. 2002. Mechanisms of interaction between Kalmia angustifolia cover and Picea mariana seedlings. Canadian Journal of Forest Research 32 (11): 2022-2031

Wang, B., Gao, B., ve Fang, J. 2017. Recent advances in engineered biochar productions and applications. Critical reviews in environmental science and technology 47 (22): 2158-2207

Wang, C., Tu, Q., Dong, D., Strong, P., Wang, H., Sun, B., ve Wu, W. 2014. Spectroscopic evidence for biochar amendment promoting humic acid synthesis and intensifying humification during composting. Journal of hazardous materials 280 409-416

Wang, J., Zhang, M., Xiong, Z., Liu, P., ve Pan, G. 2011. Effects of biochar addition on N 2 O and CO 2 emissions from two paddy soils. Biology and Fertility of Soils 47 887-896

Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W., ve Rillig, M. C. 2007a. Mycorrhizal responses to biochar in soil–concepts and mechanisms. Plant and soil 300 (1): 9-20

Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W., ve Rillig, M. C. 2007b. Mycorrhizal responses to biochar in soil–concepts and mechanisms. Plant and soil 300 9-20

Warnock, D. D., Lehmann, J., Kuyper, T. W., ve Rillig, M. C. 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil - concepts and mechanisms. Plant and Soil 300 (1-2): 9-20.10.1007/s11104-007-9391-5

Wen, Z. H., Chen, Y. X., Liu, Z. Q., ve Meng, J. 2022. Biochar and arbuscular mycorrhizal fungi stimulate rice root growth strategy and soil nutrient availability. European Journal of Soil Biology 113 10.10.1016/j.ejsobi.2022.103448

Whitman, T., Enders, A., ve Lehmann, J. 2014. Pyrogenic carbon additions to soil counteract positive priming of soil carbon mineralization by plants. Soil Biology and Biochemistry 73 33-41

Winsley, P. 2007. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. New Zealand Science Review 64 (1): 5-10

Woolf, D., Amonette, J. E., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., ve Joseph, S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. Nature communications 1 (1): 56

Wu, C., Cui, M., Xue, S., Li, W., Huang, L., Jiang, X., ve Qian, Z. 2018. Remediation of arsenic-contaminated paddy soil by iron-modified biochar. Environmental Science and Pollution Research 25 20792-20801

Wu, M., Yan, Y., Wang, Y., Mao, Q., Fu, Y., Peng, X., Yang, Z., Ren, J., Liu, A., ve Chen, S. 2021. Arbuscular mycorrhizal fungi for vegetable (VT) enhance resistance to Rhizoctonia solani in watermelon by alleviating oxidative stress. Biological control 152 104433

Wu, S. C., Cao, Z., Li, Z., Cheung, K., ve Wong, M. H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma 125 (1-2): 155-166

Xiao, X., Chen, Z., ve Chen, B. 2016. H/C atomic ratio as a smart linkage between pyrolytic temperatures, aromatic clusters and sorption properties of biochars derived from diverse precursory materials. Scientific reports 6 (1): 1-13

Xin, Y., Fan, Y., Babalola, O. O., Zhang, X. M., ve Yang, W. 2022. Legacy Effects of Biochar and Compost Addition on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Community and Co-Occurrence Network in Black Soil. Microorganisms 10 (11): 13.10.3390/microorganisms10112137

Xu, X., Cao, X., Zhao, L., ve Sun, T. 2014. Comparison of sewage sludge-and pig manure-derived biochars for hydrogen sulfide removal. Chemosphere 111 296-303

Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S., ve Ogawa, M. 2006. Effects of the application of charred bark of Acacia mangium on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. Soil Science and Plant Nutrition 52 (4): 489-495.10.1111/j.1747-0765.2006.00065.x

Yang, J., Zhao, Y., Ma, S., Zhu, B., Zhang, J., ve Zheng, C. 2016. Mercury removal by magnetic biochar derived from simultaneous activation and magnetization of sawdust. Environmental Science & Technology 50 (21): 12040-12047

Yang, Q., Ravnskov, S., ve Neumann Andersen, M. 2020. Nutrient uptake and growth of potato: Arbuscular mycorrhiza symbiosis interacts with quality and quantity of amended biochars. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 183 (2): 220-232

Yang, Q., Ravnskov, S., Pullens, J. W. M., ve Andersen, M. N. 2022. Interactions between biochar, arbuscular mycorrhizal fungi and photosynthetic processes in potato (Solanum tuberosum L.). Science of the Total Environment 816 10.10.1016/j.scitotenv.2021.151649

Yao, Y., Gao, B., Fang, J., Zhang, M., Chen, H., Zhou, Y., Creamer, A. E., Sun, Y., ve Yang, L. 2014. Characterization and environmental applications of clay–biochar composites. Chemical Engineering Journal 242 136-143

Yerli, C., ve Şahin, Ü. 2023. Farklı Sulama Suyu Kaynaklarıyla Sulama Koşullarında Ahır Gübresi ve Biyoçarla Organik Madde İçeriği Geliştirilmiş Topraktan CO2 Salınımı. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology 11 (3): 522-531

Yıldız, A. 2009. Mikoriza ve arbusküler mikoriza bitki sağlığı ilişkileri.

Yılmaz, M. S. 2018. Mikoriza uygulaması ve farklı gübre dozlarının silajlık mısır (Zea mays L.)'ın verim ve verim ögelerine etkileri.

Yu, K.-P., Yu, W.-Y., Kuo, M.-C., Liou, Y.-C., ve Chien, S.-H. 2008. Pt/titania-nanotube: A potential catalyst for CO2 adsorption and hydrogenation. Applied Catalysis B: Environmental 84 (1-2): 112-118

Yucel, C., Ozkan, H., Ortas, I., ve Yagbasanlar, T. 2009. Screening of wild emmer wheat accessions (Triticum turgidum subsp dicoccoides) for mycorrhizal dependency. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 33 (5): 513-523.10.3906/tar-0902-47

Yusif, S. A., ve Dare, M. O. 2016. Effect of biochar application and arbuscular mycorrhizal inoculation on root colonization and soil chemical properties. International Annals of Science 1 (1): 33-38

Yücel, C. 2007. Buğday ve yabani türlerinin beslenme ve verim yönünden mikorizaya bağımlılığının araştırılması.

Zhang, H., Yu, X., Jin, Z., Zheng, W., Zhai, B., ve Li, Z. 2017. Improving grain yield and water use efficiency of winter wheat through a combination of manure and chemical nitrogen fertilizer on the Loess plateau, China. Journal of soil science and plant nutrition 17 (2): 461-474

Zhang, L., Jing, Y., Chen, C., Xiang, Y., Rezaei Rashti, M., Li, Y., Deng, Q., ve Zhang, R. 2021. Effects of biochar application on soil nitrogen transformation, microbial functional genes, enzyme activity, and plant nitrogen uptake: A meta-analysis of field studies. GCB Bioenergy 13 (12): 1859-1873

Zhang, S., Lehmann, A., Zheng, W., You, Z., ve Rillig, M. C. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi increase grain yields: A meta-analysis. New Phytologist 222 (1): 543-555

Zhao, Z. J., Chen, L., ve Xiao, Y. 2022. Biochar Shifts the Negative Effect of N Addition on Lotus corniculatus L. Growth in TEs Contaminated Soil, Regardless of Exogenous Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 22 (4): 4883-4896.10.1007/s42729-022-00968-9

Zimmerman, A. R. 2010. Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar). Environmental science & technology 44 (4): 1295-1301

Zimmermann, J., Dondini, M., ve Jones, M. 2013. Assessing the impacts of the establishment of Miscanthus on soil organic carbon on two contrasting land-use types in Ireland. European Journal of Soil Science 64 (6): 747-756

ÖZGEÇMİŞ

Berna DEMİRKOL ilkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Kahramanmaraş'ta tamamladı. Çukurova Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nden 2012 yılında mezun oldu. 2013 yılında Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim dalında yüksek lisansa başladı. 2015 yılında Sütçü İmam Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim dalında "Farklı büyüklükteki agregatlara uygulanan poliakrilamid ve polivinil alkolün toprak ve su kayıpları üzerine etkilerinin laboratuar koşullarında araştırılması" isimli tez çalışmasını tamamladı. 2015 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim dalı Rizosfer laboratuvarında doktora eğitimine başladı.