



**FARKLI DOZLARDA BİYOKÖMÜR
UYGULAMALARININ KURAKLIK STRESİ
ALTINDA YETİŞTİRİLEN ŞEKER PANCARI
BİTKİSİNİN BESİN ELEMENTLERİ ALIMINA
VE BAZI ANTİOKSİDAN ENZİMLERİ ÜZERİNE
ETKİLERİ**

HASAN DURUKAN

**DOKTORA TEZİ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI
PROF. DR. İBRAHİM TÜRKEKUL**

**Nisan - 2021
Her hakkı saklıdır**

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**FARKLI DOZLARDA
BİYOKÖMÜR
UYGULAMALARININ KURAKLIK
STRESİ ALTINDA YETİŞTİRİLEN
ŞEKER PANCARI BİTKİSİNİN
BESİN ELEMENTLERİ ALIMINA
VE BAZI ANTİOKSİDAN
ENZİMLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

HASAN DURUKAN

TOKAT
Nisan - 2021

Her hakkı saklıdır



Bu tez çalışması;

**Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) tarafından
2019/61 nolu proje ile desteklenmiştir.**

TEZ BEYANI

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

Hasan DURUKAN

31 Mart 2021

ÖZET

DOKTORA TEZİ

FARKLI DOZLARDA BİYOKÖMÜR UYGULAMALARININ KURAKLIK STRESİ ALTINDA YETİŞTİRİLEN ŞEKER PANCARI BİTKİSİNİN BESİN ELEMENTLERİ ALIMINA VE BAZI ANTİOKSİDAN ENZİMLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

HASAN DURUKAN

**TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. İBRAHİM TÜRKEKUL

Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin besin elementleri alımına ve bazı antioksidan enzimleri üzerine olan etkilerinin belirlenmesi amacıyla bu tez çalışması yürütülmüştür. Çalışma iki yıl süreyle sera koşullarında tesadüf parselleri deneme desenine göre üç tekerrürlü olarak 10 kg kapasiteli saksılarda yürütülmüştür. Kuşburnu çekirdeğinden elde edilen biyokömür dozları (BD) %0, %0.5, %1 ve %2 (w/w) olarak, kuraklık stresi uygulamaları %100 (TK1), %75 (TK2) ve %50 (TK3) olarak uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, yeşil aksam kuru madde üretiminin her iki yılda da kuraklık stresi uygulamalarıyla azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte, kuraklık stresinde biyokömür dozlarıyla yeşil aksam kuru madde üretimi her iki yılda da artmış ve sırasıyla 29.82 g/saksı ve 31.85 g/saksı olarak belirlenmiştir. Çalışmada kuraklık stresi uygulamalarıyla azalan yumru veriminin biyokömür uygulamalarıyla arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, biyokömür uygulamaları bitkinin makro ve mikro element konsantrasyonlarını da genel olarak arttırmıştır. Çalışmada her iki yılda da şeker pancarı yumrularındaki polar oranlarının kuraklık stresi uygulamalarıyla arttığı, biyokömür uygulamalarıyla ise azaldığı belirlenmiştir. Çalışmada kuraklık stresi uygulamalarıyla birinci yılda antioksidan enzimlerden katalaz (CAT) ve peroksidazın (POD) aktiviteleri artarken, ikinci yılda ise genel olarak CAT, POD ve askorbat peroksidaz (APX) enzim aktivitelerinin azaldığı belirlenmiştir. Biyokömür uygulamaları birinci yılda kuraklık stresi altında bitkinin antioksidan enzim miktarlarını azaltırken, ikinci yılda TK1 ve TK2 uygulamalarında POD ve APX içerikleri özellikle %2 BD ile artmıştır. Çalışmada klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları kuraklık stresi uygulamaları ile iki yılda da azalmıştır. Buna karşın, biyokömür uygulamaları kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarını önemli oranda arttırmış ve öne çıkan %2 BD olmuştur. Araştırma bulguları, çok önemli bir stres faktörü olan kuraklık koşullarında, şeker pancarı bitkisinin biyokömür uygulamalarıyla verim, besin elementi alımı, antioksidan enzimleri gibi büyüme ve gelişme parametrelerinin önemli oranda arttığını,

bu tür koşullarda biyokömürün ıslah edici bir materyal olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

2021, 106 SAYFA

ANAHTAR KELİMELEER: Kuraklık stresi, Biyokömür, Antioksidan enzim, Verim, Şeker pancarı.



ABSTRACT

DOCTORATE THESIS

THE EFFECTS OF BIOCHAR APPLICATIONS IN DIFFERENT DOSES ON NUTRIENT UPTAKE AND SOME ANTIOXIDANT ENZYME OF SUGAR BEET PLANT GROWING UNDER DROUGHT STRESS

HASAN DURUKAN

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES**

DEPARTMENT OF BIOLOGY

SUPERVISOR: PROF. DR. İBRAHİM TÜRKEKUL

This thesis study was conducted to determine the effects of different doses of biochar applications on the nutrient uptake and some antioxidant enzymes of sugar beet grown under drought stress. The study was carried out for two years in greenhouse conditions according to a randomized plot test pattern in three replications in 10 kg capacity pots. Biochar doses (BD) obtained from rosehip seed were applied as 0%, 0.5%, 1% and 2% (w/w), drought stress applications were applied as 100% (TK1), 75% (TK2) and 50% (TK3). The findings obtained showed that the shoot dry matter production was decreased with drought stress applications in both years. However, in drought stress, with biochar doses, shoot dry matter production increased in both years and was determined as 29.82 g pot⁻¹ and 31.85 g pot⁻¹ respectively. In the study, it was determined that tuber yield decreased with drought stress applications increased with biochar applications. In addition, biochar applications generally increased the macro and micro element concentrations of the plant. In the study, it was determined that the polar ratios of sugar beet tubers increased with drought stress applications and decreased with biochar applications in both years. In the study, while the activities of the antioxidant enzymes catalase (CAT) and peroxidase (POD) increased in the first year with drought stress applications, it was determined that CAT, POD and ascorbate peroxidase (APX) enzyme activities generally decreased in the second year. While biochar applications decreased the antioxidant enzyme amounts of the plant under drought stress in the first year, POD and APX contents increased especially with 2% BD in TK1 and TK2 applications in the second year. In the study, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid amounts decreased in two years with drought stress applications. On the other hand, biochar applications significantly increased chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoids of sugar beet grown under drought stress, and 2% BD was the prominent. The research findings showed that the growth and development parameters of sugar beet plants such as yield, nutrient uptake, antioxidant enzymes increased significantly with biochar applications under drought conditions, which is a very important stress factor, and that biochar can be used as a breeding material in such conditions.

2021, 106 PAGE

KEYWORDS: Drought stress, Biochar, Antioxidant enzyme, Yield, Sugar beet.



ÖNSÖZ

Doktora eğitimim süresince bilgi ve tecrübesiyle her daim yol gösteren, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. İbrahim TÜRKEKUL'a, çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde katkıda bulunan, karşılaşmış olduğum problemlerin çözümüne yardımcı olan ve desteğini her daim hissettiğim ikinci danışman hocam sayın Doç. Dr. Ahmet DEMİRBAŞ'a, çalışmadaki antioksidan enzim aktivitelerinin hesaplanmasına yardımcı olan sayın Doç. Dr. Dursun KISA'ya, laboratuvar çalışmalarında yardımını esirgemeyen sayın Dr. Öğr. Üyesi Handan SARAÇ'a, bu çalışmanın yapılmasını 2019/61 nolu proje numarası ile destekleyen, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna ve son olarak hayatım boyunca her zaman varlıklarına şükrettiğim, aldığım her kararı destekleyen ve her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

HASAN DURUKAN

31 Mart 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Biyokömürün Tanımı ve Özellikleri.....	5
2.2. Bitkilerde Stresin Tanımı ve Stres Faktörleri	10
2.2.1. Kuraklık stresinin tanımı ve çeşitleri	10
2.2.2. Bitkilerde kuraklık stresi.....	11
2.2.3. Bitkilerde kuraklık stresinden korunma mekanizmaları	12
2.2.3.1. Reaktif oksijen türleri	14
2.2.3.2. Antioksidan savunma sistemleri	15
2.2.3.2.1. Enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemleri	15
2.2.3.2.1.1. Askorbik asit (AsA, Vitamin C)	16
2.2.3.2.1.2. Glutasyon (GSH).....	16
2.2.3.2.1.3. Karotenoidler	16
2.2.3.2.1.4. Tokoferoller (Vitamin E)	16

2.2.3.2.1.5. Fenolik bileşikler	17
2.2.3.2.2. Enzimatik antioksidan savunma sistemleri	17
2.2.3.2.2.1. Süperoksit dismutaz (SOD)	17
2.2.3.2.2.2. Katalaz (CAT).....	17
2.2.3.2.2.3. Peroksidaz (POD)	18
2.2.3.2.2.4. Askorbat peroksidaz (APX).....	18
2.2.3.2.2.5. Glutasyon peroksidaz (GPx)	18
2.2.3.2.2.6. Monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR).....	18
2.2.3.2.2.7. Dehidroaskorbat redüktaz (DHAR)	19
2.2.3.2.2.8. Glutasyon redüktaz (GR)	19
2.3. Şeker pancarı.....	19
 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal	23
3.1.1. Çalışmada kullanılan toprak	23
3.1.2. Çalışmada kullanılan biyokömürün üretimi	23
3.1.3. Çalışmada kullanılan şeker pancarı çeşidi	25
3.2. Yöntem.....	25
3.2.1. Sera denemelerinin kurulması, yürütülmesi ve kuraklık stresinin uygulanması ..	25
3.2.2. Yeşil aksam kuru madde miktarlarının ve yumru ağırlıklarının belirlenmesi	28
3.2.3. Makro ve mikro element analizleri	28
3.2.4. Polar analizleri	28
3.2.5. Enzim aktivitelerinin belirlenmesi.....	29
3.2.5.1. Katalaz enzim aktivitesinin belirlenmesi	29
3.2.5.2. Peroksidaz enzim aktivitesinin belirlenmesi.....	29
3.2.5.3. Askorbat peroksidaz enzim aktivitesinin belirlenmesi	30
3.2.6. Klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarının belirlenmesi ..	30
3.2.7. İstatistiksel analiz.....	30
 4. BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4.1. I. Yıl (2019) Araştırma Bulguları	32
4.1.1. Yeşil aksam kuru madde üretimi ve yumru verimi.....	32

4.1.2. Şeker pancarı bitkisinin makro ve mikro element konsantrasyonları.....	34
4.1.3. Şeker pancarı yumrusunun makro ve mikro element konsantrasyonları.....	39
4.1.4. Şeker pancarı bitkisinde polar oranı	43
4.1.5. Şeker pancarı bitkisinde antioksidan enzim aktiviteleri	45
4.1.6. Şeker pancarı bitkisinde klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karetonoid miktarları	47
4.2. II. Yıl (2020) Araştırma Bulguları	52
4.2.1. Yeşil aksam kuru madde üretimi ve yumru verimi.....	52
4.2.2. Şeker pancarı bitkisinin makro ve mikro element konsantrasyonları.....	54
4.2.3. Şeker pancarı yumrusunun makro ve mikro element konsantrasyonları.....	58
4.2.4. Şeker pancarı bitkisinde polar oranı	61
4.2.5. Şeker pancarı bitkisinde antioksidan enzim aktiviteleri	63
4.2.6. Şeker pancarı bitkisinde klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karetonoid miktarları	66
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	71
6. KAYNAKLAR	75
7. ÖZGEÇMİŞ	87

SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
%	Yüzde
¹ O ₂	Singlet oksijen
Al	Alüminyum
AlSO ₄	Alüminyum sülfat
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Ca(NO ₃) ₂	Kalsiyum nitrat
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
Cd	Kadmiyum
Cl	Klorür
ClO ⁻	Hipoklorit
cm	Santimetre
cm ²	Santimetre kare
Cu	Bakır
D	Belirtilen dalga boyunda ölçülen absorbans değeri
da	Dekar
dk	Dakika
Fe	Demir
g	Gram
H	Hidrojen
H ₂ O	Su
H ₂ O ₂	Hidrojen peroksit
ha	Hektar
HCl	Hidroklorik asit
HNO ₃	Nitrik asit
K	Potasyum
K ₂ O	Potasyum oksit
kg	Kilogram
KH ₂ P0 ₄	Mono potasyum fosfat

L	Litre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
Mg	Magnezyum
mg	Miligram
ml	Mililitre
mm	Milimetre
mM	Milimolar
Mn	Mangan
N	Azot
Na	Sodyum
nm	Nanometre
NO	Nitrik oksit
O	Oksijen
O ₂ ⁻	Süperoksit radikali
°C	Santigrat derece
OH ⁻	Hidroksil radikali
p	Anlamlılık değeri
P	Fosfor
P ₂ O ₅	Fosfor pentaoksit
S	Kükürt
t	Ton
V	Ekstrakt hacmi
v/v	Hacimce yüzde
W	Ekstarkte edilen yaş yaprak ağırlığı
w/v	Ağırlık-Hacimce yüzde
w/w	Ağırlık yüzdesi
Zn	Çinko
ZnSO ₄	Çinko sülfat
α	Alfa
β	Beta
γ	Gama

δ	Delta
μl	Mikrolitre
μmol	Mikromol

Kısaltmalar	Açıklama
AAS	Atomik absorpsiyon spektrofotometre
AMF	Arbüsküler mikorizal fungus
APX	Askorbat peroksidaz
AsA	Askorbik asit
BD	Biyokömür dozu
CAT	Katalaz
CEC	Kasyon değişim kapasitesi
DHA	Dehidroaskorbat
DHAR	Dehidroaskorbat redüktaz
DNA	Deoksiribonükleik asit
EU	Enzim ünitesi
GPx	Glutasyon peroksidaz
GR	Glutasyon redüktaz
GSH	Glutasyon
GSSG	Okside glutasyon
MDHA	Monodehidroaskorbat
MDHAR	Monodehidroaskorbat redüktaz
NADP	Nikotinamid adenin dinükleotit fosfat
OM	Organik madde
POD	Peroksidaz
ROT	Reaktif oksijen türleri
SN	Solma noktası
SOD	Süperoksit dismutaz
TK	Tarla kapasitesi
TÜİK	Türkiye istatistik kurumu

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Strese bağlı olarak meydana gelen değişimler ve bitkilerdeki strese tolerans mekanizmaları.....	12
Şekil 3.1. (a) Çalışmada kullanılan biyokömürün üretildiği cihaz ve (b) kuşburnu (<i>Rosa canina</i>) bitkisinin çekirdeğinden elde edilen biyokömür.....	24
Şekil 3.2. Çalışmanın yapılmış olduğu Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümüne ait tam otomasyonlu sera	26
Şekil 3.3. Denemenin kurulması; (a) toprağa temel gübreleme uygulanması, (b) toprağa biyokömürün ilavesi.....	26
Şekil 3.4. Şeker pancarı bitkisinin; (a) tohumlarının saksıya ekilmesi, (b) seyreltme öncesi saksılardaki bitki çıkışları, (c) genel görüntüsü.....	27
Şekil 4.1. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimine etkileri (g/saksı).....	32
Şekil 4.2. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumru verimine etkileri (g/saksı).....	33
Şekil 4.3. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinde polar oranı üzerine etkisi (%).....	44
Şekil 4.4. %0 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm.....	50
Şekil 4.5. %0.5 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm.....	50
Şekil 4.6. %1 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm.....	51
Şekil 4.7. %2 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm.....	51
Şekil 4.8. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimine etkileri (g/saksı).....	52
Şekil 4.9. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumru verimine etkileri (g/saksı).....	53
Şekil 4.10. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinde polar oranı üzerine etkisi (%).....	62
Şekil 4.11. %0 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm	69
Şekil 4.12. %0.5 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm	69
Şekil 4.13. %1 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm	70
Şekil 4.14. %2 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm	70

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1. Ülkemizde 2010-2019 yılları arasında şeker pancarı bitkisinin ekilen alan (dekar), hasat edilen alan (dekar), verim (kg/dekar) ve üretim miktarı (ton).....	20
Çizelge 2. Ülkemizde 2019 yılında en yüksek şeker pancarı ekim alanı (dekar) ve üretim miktarı (ton) olan iller.....	21
Çizelge 3. Sivas ilinde 2010-2019 yılları arasında şeker pancarı bitkisinin ekilen alan (dekar), hasat edilen alan (dekar), verim (kg/dekar) ve üretim miktarı (ton).....	21
Çizelge 4. Çalışmada kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	23
Çizelge 5. Çalışmada kullanılan toprağın bitkiye yarayışlı bazı besin elementleri konsantrasyonları.....	23
Çizelge 6. Çalışmada kullanılan biyokömürün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	24
Çizelge 7. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%).....	34
Çizelge 8. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri (%).....	36
Çizelge 9. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg).....	38
Çizelge 10. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%).....	39
Çizelge 11. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri (%).....	41
Çizelge 12. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg).....	42
Çizelge 13. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin CAT, POD ve APX enzim aktiviteleri üzerine etkileri (EU g/yaprak).....	45
Çizelge 14. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları üzerine etkileri (mg/g).....	48

Çizelge 15. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%).....	54
Çizelge 16. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri (%).....	56
Çizelge 17. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg).....	57
Çizelge 18. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%).....	58
Çizelge 19. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri (%).....	59
Çizelge 20. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg).....	60
Çizelge 21. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin CAT, POD ve APX enzim aktiviteleri üzerine etkileri (EU g/yaprak).....	63
Çizelge 22. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları üzerine etkileri (mg/g).....	66

1. GİRİŞ

Küresel ısınma, iklim değışikliği, enerji talebi ve dünya nüfusunun sürekli olarak artıyor olması gelecekte gıda ihtiyacının karşılanması noktasında endişelere sebep olmaktadır. Günümüzde dünya nüfusu yaklaşık olarak 7.3 milyardır ve 2030 yılında 8.5 milyara (Warner ve Jones, 2017), 2050 yılında ise 9.1 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (FAO, 2009). Nüfusun sürekli olarak artış göstermesine rağmen, tarım alanlarını genişletme imkânının olmaması, birim alandan elde edilen ürün miktarının arttırılmasını gerekli kılmaktadır (Midmore, 1993). Bu artan nüfusun gıda gereksiniminin karşılanması için mevcut doğal kaynakların kullanımı daha da önemli bir hale gelmektedir. Tarımsal üretimin geliştirilebilmesi ve yeni bir bakış açısı kazandırılması konusunda; stres koşulları ve faktörlerinin yönetiminin, besin elementlerinin etkinliğini arttırabilmek için gübre kullanım yönetiminin, yeni yaklaşımların, yeni preparatların ve yeni kaynakların kullanılmasının önemi her geçen gün daha da artmaktadır (Çokuysal, 2016). Üretim noktasında karşılaşılan problemlerin başında stres faktörleri (abiyotik ve biyotik) ile bilinçsiz kullanılan gübre, sulama ve ilaç uygulamaları gelmektedir (Külahtaş ve Çokuysal, 2016). Son dönemlerde tarım alanlarındaki ürün miktarının arttırılması için toprağa kimyasal gübreler uygulanmakta, uygulanan bu kimyasal gübrelerin gereğinden fazla ve yanlış kullanımı; toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerini bozmakta, yağış suları ile taşınarak yüzey sularının ve sızma sonucu yer altı su kaynaklarının kirlenmesine neden olmakta, hatta insan ve hayvan sağlığı açısından sakıncalar taşımaktadır (Çıkman ve ark., 2016; Ortaş, 2018). Bu anlamda bitkinin büyümesi ve gelişmesi için gerekli olan besin elementlerinin kök bölgesinin altına yıkanmadan toprakta kalabilmesini sağlayacak uygulamalar gübrenin etkinliği arttıracağı gibi ekosistemlerin zarar görmesini de engelleyecektir (Günel ve ark., 2017).

Küresel ısınma ile meydana gelen iklim değışiklikleri, dünyanın yüzeyindeki sıcaklığın artmasına ve kullanılabilir suyun azalmasına neden olmaktadır (Batool ve ark., 2015). Abiyotik stres faktörlerinden birisi olan kuraklık stresi, dünyanın kurak veya yarı kurak bölgelerinde görülen ve tarımsal üretimi ciddi şekilde sınırlayan bir problem olarak ortaya çıkmaktadır. Dünya genelinde kurak bölgelerin %45'i kapsadığı düşünüldüğünde sorunun ne kadar büyük olduğu anlaşılmaktadır (Brown, 2006; Mulcahy ve ark., 2013).

Bitkiler çevresel değişikliklerden etkilenen en önemli canlı gruplarından bir tanesidir (Çırak ve Esendal, 2006). Kuraklık stresi, bitkilerin fizyolojisini, özellikle de fotosentetik kapasitenin birçok yönünü olumsuz şekilde etkilemekte, stres şartlarının uzaması durumunda da bitkinin büyümesini ve üretkenliğini azaltmaktadır (Osakabe ve ark., 2014). Bitkilerde verim miktarında azalmaya neden olabilecek su kaynaklarının miktarı ve niteliklerindeki değişiklikler yetiştiriciler için ciddi sorunlar oluşturmaktadır (Örs ve Ekinci, 2015). Toprağın su tutma kapasitesini ve besinlerin kullanılabilirliğini arttırarak kuraklık stresinin neden olduğu sorunların azaltılmasında organik ürünlerin gerekliliği ortaya çıkmaktadır (Qayyum ve ark., 2015). Bu anlamda tarımsal alanlarda kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki etkisini azaltabilecek ve bitkilerin toleransını arttırabilecek yeni yaklaşımlar önem kazanmaktadır (Öztürk, 2015).

Toprak; organik madde, mineral madde, su ve hava olmak üzere dört bileşenden oluşmaktadır (Aslan ve ark., 2016). Tarımsal üretimin yapıldığı alanlardaki toprakların verimsizleşmesinin sebeplerinden birisi organik madde içeriğinin azalmasıdır. Kuraklaşan topraklarda bitki besin elementlerinin tutulamaması, toprağın verimsizleşmesine yani organik madde içeriğinin azalmasına neden olmaktadır (Bellitürk, 2016). Bu anlamda toprağın kalitesini belirleyen, topraktaki organizmalara besin kaynağı sağlayan organik maddenin toprakta zenginleştirilmesi üretim açısından önem kazanmaktadır (Tarakçıoğlu ve ark., 2019; Özenç ve ark., 2019).

Son dönemlerde atık maddelerin tekrardan toprağa kazandırılması hem hasat atıklarının değerlendirilmesi açısından hem de toprağı organik madde yönünden zenginleştirmesinden dolayı ilgi çeken konulardan birisi olmuştur (Özenç ve ark., 2019). Bu anlamda bozulmuş tarımsal alanların iyileştirilmesinde, atık yönetiminde, yenilenebilir enerji üretiminde, karbon tutucu özelliğı olan biyokömür ismi önem kazanmıştır (Afshar ve ark., 2016). Biyokömür, biyokütlenin oksijensiz veya oksijenin az olduğı bir ortamda piroliz yöntemi ile oluşan karbonca zengin organik bir maddedir (Ahmad ve ark., 2014; Demirbaş ve Coşkan, 2019). Potansiyel biyokömür uygulamalarının amaçları arasında kirliliğın azaltılması, toprak verimliliğinin arttırılması ve karbonun tutulması bulunmaktadır (Tomczyk ve ark., 2020). Sıcaklık ve kuraklık stresi, kurak ve yarı kurak ekosistemlerde topraktaki organik karbon birikimini

sınırlamakta ve böylece toprakların verimliliğini ve su tutma kapasitesini azaltmaktadır (Artiola ve ark., 2012). Biyokömür uygulamaları ise kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki bu olumsuz etkilerini iyileştirmekte (Ali ve ark., 2017), bitkinin büyümesini, verimini, fotosentez miktarını ve besin alımını arttırmaktadır. Bu konuda toprağa uygulanan biyokömürün, gelişmiş su tutma kapasitesi sayesinde tarımsal alanlarda faydalı sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Brantley ve ark., 2015). Sonuç olarak biyokömür, toprak iyileştirme yoluyla tarımsal üretkenliği geliştirme potansiyeli, atık azaltma yoluyla çevresel sürdürülebilirlik, su kaynaklarının korunması ve karbon tutulması gibi faydalarından dolayı üzerinde çalışılması gereken konulardandır (Ajayi ve ark., 2016; Omotade ve ark., 2020).

Endüstri bitkileri içerisinde yer alan şeker pancarı dünya genelinde önemli miktarda yetiştirilmektedir. Şeker pancarı, sağladığı yüksek katma değer ve yan ürünlerinin hayvan yemi olması yönüyle çok önemli bir bitkidir (Günel ve ark., 2005). Şeker pancarı bitkisi kök sistemindeki karakteristik yapısından dolayı su stresine toleranslı bitkilerden birisidir (Doorenbos ve Kassam, 1979). Buna rağmen kısıtlı su uygulamasına karşı bitkinin göstereceği toleransın bilinmesi önemli olacaktır. İklim değişikliği başta olmak üzere birçok faktör su kaynaklarının miktarını ve niteliğini azaltmaktadır. Bu durumda ekonomik olarak önemli bir yere sahip olan şeker pancarı bitkisinin kısıtlı su miktarlarında göstermiş olduğu parametreler önem kazanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin besin elementleri alımına, klorofil miktarına, polar oranlarına ve bazı antioksidan enzimler üzerine olan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilecek bulgulara göre kuraklık stresi altındaki şeker pancarı bitkisi için biyokömür uygulamalarının;

1. Bitkinin verim miktarı üzerine alternatif bir kaynak olup olmadığının belirlenmesinde,
2. Bitkinin polar oranları üzerine etkisinin tespit edilmesinde,
3. Fotosentezin en önemli pigmentlerinden birisi olan klorofil miktarındaki olası değişimin ne yönde olacağının belirlenmesinde,
4. Bitkinin besin elementleri alımına olan etkisinin tespit edilmesinde,

5. Reaktif oksijen türlerinin (ROT) oluşturduğu oksidatif strese karşı antioksidan sistemlerindeki enzim aktivitelerinin belirlenmesinde,
6. Bitkinin kuraklığa olan toleransının tespit edilmesinde,
7. İki yıllık bir çalışma olduğundan dolayı ilk yılki uygulamaların sonraki yılda da olası etkisinin devam edip etmediğinin belirlenmesinde,
8. Sulama kaynaklarının günden güne azaldığı düşünüldüğünde şeker pancarının sulanması için gerekli olan minimum sınırın belirlenmesinde faydalı olacaktır.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Biyokömürün Tanımı ve Özellikleri

Organik atıkların geri kazanımına verilen önem son yıllarda hızla artmış ve biyokütlenin dönüşümüne yönelik çok sayıda teknik geliştirilmiştir (Sümer ve ark., 2016). Biyokömür kavramı organik atıkların geri kazandırılması konusunda toprak düzenleyicisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu atıkların uygun işleme teknikleri ile işlenerek tarım alanlarına gübre olarak kazandırılması kimyasal gübrelerden tasarruf sağlayacağı gibi organik atıkların çevre üzerine olumsuz etkilerini de gidermiş olacaktır (Şahin ve ark., 2016). Bu nedenle atıkların piroliz yoluyla biyokömüre dönüştürülüp tarım alanlarına uygulanması diğer gübre uygulamalarından daha avantajlı bir hal almaktadır (Gunes ve ark., 2014).

Biyokömür, iyi bir besin kaynağı olan siyah karbonlu bir bileşiktir. Nispeten yeni bir kavram olsa da, yüzyıllardır toprak altında kalan bitki atıklarının ot yangınları ile karbonize olarak biyokömürü oluşturduğu bilinmektedir (Akgül, 2017). Organik madde içeriğinin belirlenmesinde kullanılan karbon-14 yöntemi biyokömürün, topraktaki en eski karbon fraksiyonunu temsil ettiğini ortaya çıkarmıştır (Pessenda ve ark., 2001; Liang ve ark., 2008).

Biyokömür, biyokütlenin sınırlı miktarda oksijenin bulunduğu bir ortamda pirolizi sonucu oluşan biyolojik olarak zengin bir madde olup, kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerini iyileştirmektedir (Ali ve ark., 2017). Piroliz, organik materyalin oksijenin olmadığı bir ortamda dolaylı olarak 300 °C - 750 °C sıcaklığa kadar yandığı bir işlemdir (Gunes ve ark., 2014). Bozunma sırasında sıcaklığın etkisi ile atığın yapısında bağ kopmaları veya zincir kırılmaları sonunda gaz, sıvı ve katı ürünler oluşmaktadır (Şahin ve ark., 2016; Akgül, 2017). Yapılan birçok çalışmaya farklı piroliz sıcaklıklarının biyokömürün özellikleri üzerine olan etkisi araştırma konusu olmuştur. Negiş ve ark. (2019), farklı bitki atıklarından (ayçiçeği sapı, ayçiçeği başı, mısır sapı, mısır koçanı ve buğday samanı) farklı sıcaklıklarda (300 °C, 400 °C, 500 °C ve 600 °C) üretilen biyokömürün fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma sonuçlarına göre en yüksek yüzey alanının 300 °C'de ayçiçek sapında, en düşük yüzey alanının ise yine 300 °C'de buğday samanında olduğunu tespit etmişlerdir. Akkurt ve ark.

(2020), yapmış oldukları çalışmada üç farklı piroliz sıcaklığının (300 °C, 400 °C ve 600 °C) yedi farklı ham maddeden (domates atıkları (sap, gövde ve yaprakları), kavak talaşı, buğday samanı, mısır koçanı, fasulye atıkları, çeltik kavuzu ve büyükbaş hayvan gübresi) elde edilen biyokömürlerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine piroliz sıcaklığının önemli olduğunu fakat kullanılan hammaddenin özelliklerine bağlı olarak da değiştiğini bildirmişlerdir.

Biyokömür hem üretim şekli hem de fiziksel ve kimyasal yapısı ile odun kömüründen ayrılmaktadır. Biyokütlenin oksijenin olduğu bir ortamda yanması ile oluşan materyal genellikle kalsiyum, magnezyum ve inorganik karbonlardan oluşan bir külden oluşmaktadır (Akkurt ve ark., 2020). Biyokütlenin piroliz yöntemi ile oluşan biyokömür ise yapısında lignin gibi toprak organik maddesine sahip olması ve oldukça yüksek oranda aromatik yapılarının olması ile diğer organik maddelerden ayrılmaktadır (Schmidt ve Noack, 2000). Ayrıca biyokömürün toprak verimliliğini, karbon depolamasını veya süzülen toprak suyunun filtrasyonunu iyileştirmek amacıyla toprağa uygulanması amacıyla üretilmesi de onu diğer organik maddelerden ayırmaktadır (Lehmann ve Joseph, 2009).

Biyokömürler esasen yapısında karbon (C), hidrojen (H), oksijen (O), azot (N), kükürt (S) ve diğer eser elementlerini içermektedir (Alexis ve ark., 2007; Tan ve ark., 2017). Karbon bakımından zengin olan biyokömür, yeterli miktarda bitki besin maddesine sahip olduğundan dolayı besin bakımından yetersiz toprakları verimli hale getirilebilmekte ve böylece ürün verimini arttırmaktadır (Ippolito ve ark., 2012; Verheijen ve ark., 2014). Aynı zamanda toprağa uygulanan biyokömür, topraktaki katyonik faaliyetleri arttırarak toprakta kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg) ve potasyum (K) elementlerinin tutulmasını sağlamaktadır (Akgül, 2017). Birçok araştırmacı da toprağa uygulanan biyokömürün toprak özelliklerini iyileştirdiğini ve bu topraklarda yetiştirilen bitkilerin verim artışı gösterdiğini bildirmişlerdir (Jeffery ve ark., 2011; Spokas ve ark., 2012). Olmo ve ark. (2016), gübre ve biyokömür uygulamalarının Durum buğday bitkisinin kök gelişimi ve morfolojisi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada dört farklı biyokömür dozu (%0, %0.5, %1 ve %2.5 v/v) ve üç farklı gübreleme dozu (%0, %40 ve %100)

uygulamışlardır. Çalışma sonucunda biyokömür ilavesi, N ve mangan (Mn) kullanılabilirliğini azaltırken, fosfor (P) kullanılabilirliğini arttırdığını, bunun da kök büyümesini etkilediğini tespit etmişlerdir. Liu ve ark. (2017), farklı biyokömür dozlarının (0, 20 ve 40 t ha⁻¹), mısır (*Zea mays*), soya fasulyesi (*Glycine max* L.) ve yer fıstığı (*Arachis hypogaea* L.) bitkilerinde verim miktarını arttırdığını rapor etmişlerdir. Özenç ve ark. (2019), fındık hasat artışı olan zuruf ve fındık kabuğundan üretilen farklı dozlarda biyokömürü (0, 3, 6 t da⁻¹) toprağa karıştırıp inkübasyona (1, 2, 3 ve 4 ay) bıraktıktan sonra toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada biyokömürün toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirdiğini ve 3 t da⁻¹ biyokömür dozunun yeterli olduğunu bildirmişlerdir. Jia ve ark. (2019), farklı biyokömür uygulamalarının (1.3, 2.6, 6.7, 13.3 ve 26.6 g/L) *Amaranthus mangostanus* L. bitkisinin mineral element alımına olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada 26.6 g/L biyokömür uygulamasının kök ve sürgünde K, Na ve alüminyum (Al) içeriğini büyük ölçüde arttırdığını, 2.6 g/L biyokömür uygulamasının ise kökte Ca ve Mg içeriğini arttırdığını tespit etmişlerdir. Benzer olarak Tanure ve ark. (2019), yapmış oldukları çalışmada biyokömürün artan dozlarının toprağın verimliliğini, bitkinin beslenmesini ve gelişimini iyileştirdiği sonucuna varmışlardır.

Biyokömür yapısında çok az miktarda azot içermekte ve mikroorganizmalar tarafından kısa sürede ayrıştırılamadığı için toprakta uzun sürede kalabilmektedir (Ortaş, 2018). Bilimsel bulgular kimyasal olarak dirençli olan biyokömürün, çevresel koşullara bağlı olarak toprakta yaklaşık olarak 5 000-10 000 yıl ayrışmadan kalabildiğini göstermektedir (Preston ve Schmidt, 2006).

Biyokömürler toprağın su tutma kapasitesini, pH'ını, toprak organik madde seviyelerini artırarak mikrobiyal aktiviteyi destekleyerek toprağa karışmaktadır (Chan ve ark., 2007). Biyokömürün sahip olduğu mikro gözenekler topraktaki mikroorganizmaların hem dış ortamdan korunarak hayatta kalmasını, büyümesini ve yayılmasını hem de ihtiyaç duydukları besinleri sağlamaktadır. Bununla birlikte biyokömürün çoğunlukla bazik yapıda olmasından dolayı asitli yapıdaki toprakların pH'ında artış sağlayarak toprağın pH'ını dengelemektedir (Ippolito ve ark., 2016; Akgül, 2017).

Biyokömürlerin çoğunluğu geniş bir yüzey alanına, mikro gözenekli yapılara, fonksiyonel gruplara, yüksek pH ve yüksek katyon değişim kapasitesine (CEC) sahiptir (Rajapaksha ve ark., 2016). Kirletilmiş topraklara uygulanan biyokömür, yüksek yüzey alanı, katyon değişim kapasitesi ve kirletici adsorpsiyonlama özelliği sayesinde kirleticilerin temizlenmesine yardımcı olmaktadır (Méndez ve ark., 2012; Bashir ve ark., 2020).

Hidrofobik özellikte olan biyokömürün, yüksek yüzey alanlı ve gözenekli yapısı besinlerin ve suyun emilimi ve tutunmasını sağlar, ayrıca yararlı mikroorganizmaların gelişmesine yönelik bir yaşam alanı oluşturmakta, dolayısıyla toprak düzenleyicisi olarak da kullanılmaktadır (Bond ve Sun 2005; Warnock ve ark., 2007). Benzer şekilde Tarakçıoğlu ve ark. (2019), biyokömürün besin ve suyun bitkiler tarafından alımını arttıran bir katalizör görevi gördüğünü bildirmişlerdir. Bu anlamda biyokömürün, tarımsal alanlara uygulandığında su tutma kapasitesini iyileştirdiği ve topraktaki besin maddelerinin daha iyi tutulmasını sağlayarak tarımsal verimliliği arttırdığı, aynı zamanda birçok bitki için kuraklık stresinin bir çözümü olarak kullanılabilecek bir yöntem olduğu düşünülmektedir (Kammann ve ark., 2011; Karhu ve ark., 2011; Batool ve ark., 2015; Wacal ve ark., 2019). Bozulmuş topraklara organik maddelerin eklenmesi, bazı toprak problemlerinin giderilmesine ve topraklarda su tutma kapasitesinin iyileştirilmesine de yardımcı olmaktadır (Foley ve Cooperband, 2002; Vaccari ve ark., 2011; Basso ve ark., 2013). Bu yönüyle kurak bölgelerde topraktaki su ve besin maddelerinin tutulmasına yardımcı olabilecek bol gözenekli iyi piroliz edilmiş biyokömür uygulamaları önem kazanmıştır (Mulcahy ve ark., 2013). Kısıtlı su koşullarında biyokömür uygulaması bitki büyümesini, biyokütlesini, su tutma kapasitesini ve mahsul verimini arttırmakta aynı zamanda toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerini iyileştirmektedir (Tayyab ve ark., 2018). Kuraklık stresi altında biyokömür uygulamalarının bitkinin gelişimi, verimi ve toprağın su tutma kapasitesi üzerine faydalı etkilerinin olduğu birçok çalışmada bildirilmiştir. Mulcahy ve ark. (2013), yapmış oldukları çalışmada kumlu toprağa eklenen %30 (v/v) biyokömürün, kuraklık stresine karşı domates (*Lycopersicon esculentum*) fidelerinin solmasına karşı direncini önemli derecede arttırdığını bildirmişlerdir. Afshar ve ark. (2016), meryemana diken (*Silybum marianum* L. Gaertn) bitkisinde yapmış oldukları çalışmada 3 farklı biyokömür dozunun (%0, %1 ve %2 v/v toprak) ve 3 farklı

kuraklık stresi (kontrol, orta derece kuraklık stresi ve şiddetli kuraklık stresi) uygulamasının bitkide meydana getirdiği fizyolojik özellikleri incelemişlerdir. Çalışma sonucunda yüksek miktarda uygulanan biyokömür uygulamasının toprakta nem tutma kapasitesini az miktarda arttırmasına rağmen, etkisinin daha net görülebilmesi için daha yüksek miktarda biyokömür uygulanmasının gerekebileceği tahmininde bulunmuşlardır. Kammann ve Graber (2015), farklı biyokömür uygulamalarının (0, 100 ve 200 t ha⁻¹) kinoa (*Chenopodium quinoa*) bitkisinde kuraklığa toleransı (%60 ve %20 su tutma kapasitesi) üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada, biyokömürün kinoa bitkisinin kuraklığa toleransını, büyümesini ve su kullanım verimliliğini arttırdığını bildirmişlerdir. Agbna ve ark. (2017), kısıtlı sulama şartları altında (%50, %75 ve referans buharlaşmanın %100'ü) ve 3 farklı biyokömür uygulamasının (0, 25 ve 50 t ha⁻¹) domates bitkisinin büyümesi, fizyolojisi, verimi, meyve kalitesi ve sulama suyu kullanım verimliliği üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmada biyokömür uygulamalarının ürün ve sulama suyu verimini arttırdığını tespit etmişlerdir. Hashem ve ark. (2019), kuraklık stresi altında bitkilerin bu durumdan en az şekilde etkilenmesi amacıyla biyokömüre ilave olarak bitkilere toprak yapısını iyileştiren arbüsküler mikorizal fungusların (AMF) aşılmasının nohut (*Cicer arietinum* L., cv Giza 531) bitkisinin büyümesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada kuraklık stresli ve normal nohut bitkilerine AMF ve biyokömürü bireysel ve kombine olacak şekilde uygulamışlardır. Aşılınmış bitkilerde, kuraklık stresi nedeniyle azalan sürgün ve kök uzunluğu, yaprak alanı ve dal sayısının arttığını tespit etmişlerdir. Biyokömür uygulanmış bitkilerde miselyum, vezikül ve arbüsküler sayısı ve yüzdesinin iyileştiği, bununla birlikte kuraklığın olumsuz etkilerinin de azaldığını belirlemişlerdir. Biyokömür ve AMF uygulamaları ise klorofil sentezini, fotosentez oranını ve nispi su içeriğinin korunmasını olumlu yönde etkileyerek büyümeyi iyileştirdiğini bildirmişlerdir. Alaboz ve Işıldar (2018), iki farklı biyokömürü (elma ve gül posası) kumlu toprağa uygulayarak toprağın fiziksel özelliklerini üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Biyokömürler toprağa ağırlıkça %0, %0.5, %1 ve %2 düzeylerinde uygulanıp laboratuvar koşullarında 4 ay süresince inkübasyona bırakılmışlardır. Çalışmada agregasyon özelliklerinin geliştirilmesinde elma posası, nem tutma kapasitesinin geliştirilmesinde ise gül posası biyokömürünün etkisinin daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

2.2. Bitkilerde Stresin Tanımı ve Stres Faktörleri

Jaleel ve ark., (2009) stresi, dengeyi bozma eğiliminde olan faktörlerin neden olduğu fizyolojik durumun değişmesi olarak tanımlamışlardır. Stres faktörleri birçok canlıda olduğu gibi bitki metabolizmasında da olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Yaşantısını sürdürdükleri doğal ortamlarında değişen çevresel faktörler bitkilerin metabolizma faaliyetlerini ciddi bir şekilde etkilemektedir. Bitkilerin büyümesi ve gelişmesinde meydana gelen bu olumsuzluklar bitkilerde stres olarak adlandırılmaktadır. Stres faktörleri; abiyotik ve biyotik stres olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Levitt, 1980). Abiyotik stres faktörü kendi içerisinde ikiye ayrılmakta olup bunlar; a) fiziksel stres (kuraklık, sıcaklık, radyasyon ve rüzgâr vb.) ve b) kimyasal stres (hava kirliliği, besinler ve tuzlar vb.)'dir. Biyotik stres faktörü ise allelopati, böcekler ve insan tahribatı gibi etmenleri içermektedir (Arıkan ve ark., 2017). Tarım alanlarındaki biyotik (zararlılar, patojenler) ve abiyotik (kuraklık, tuzluluk, su baskını, ağır metaller vb.) stres faktörleri önemli ürün kayıplarına neden olmaktadır (Timmusk ve ark., 2018).

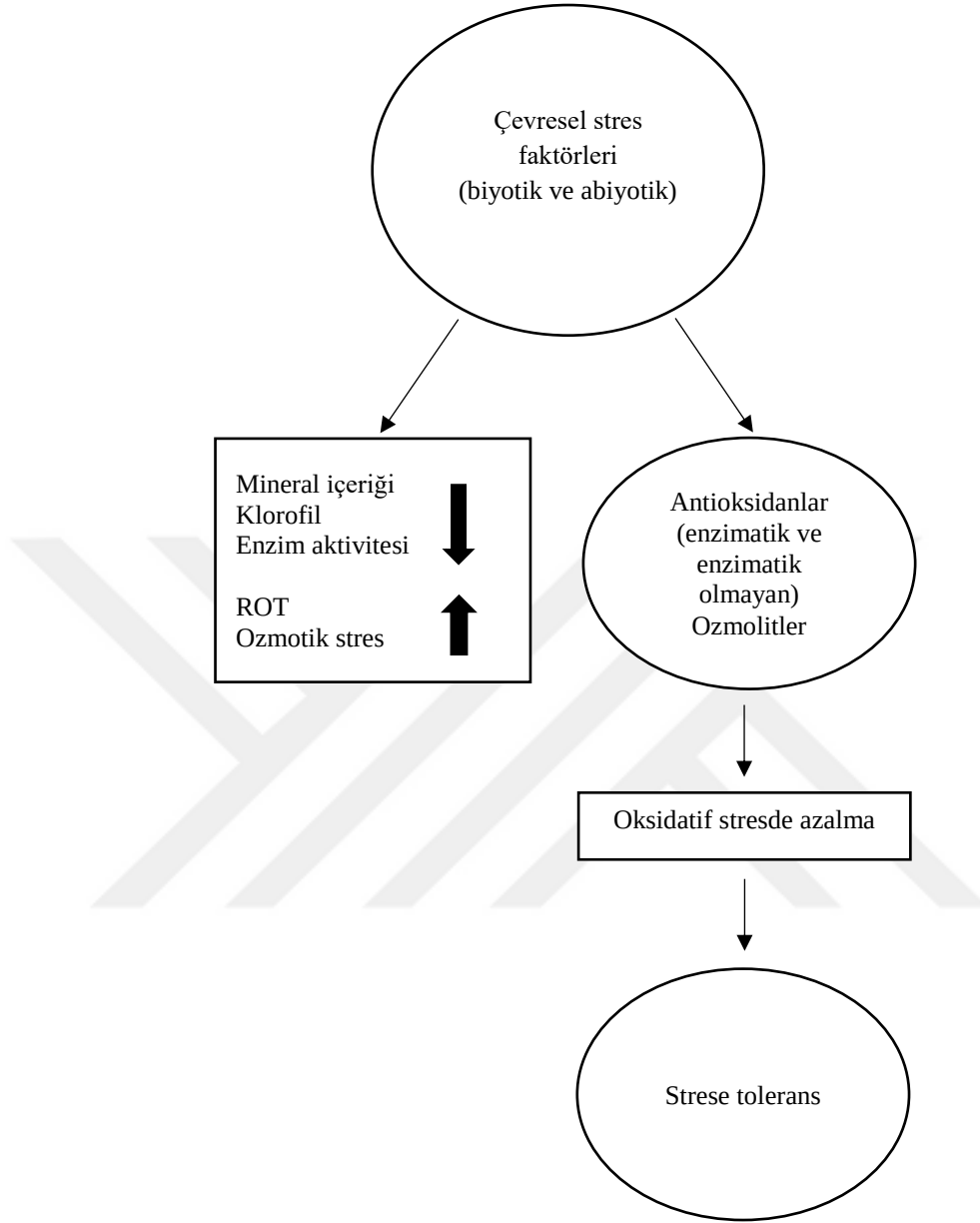
2.2.1. Kuraklık stresinin tanımı ve çeşitleri

Abiyotik stres faktörlerinden birisi olan kuraklık stresi, dünya genelinde kurak ve yarı kurak bölgelerde çok yaygın olarak görülmektedir. Kuraklık stresi, toprağın su içeriğinin yetersiz kalması ve bununla birlikte bitkilerin normal gelişimlerini tamamlayamaması durumu olarak tanımlanmaktadır (Yüksel ve Aksoy, 2017). Kapluhan (2013) ise kuraklığı bir bölgedeki yağışların normal seviyesinin altına düşmesi sonucunda su kaynaklarının bu durumdan olumsuz bir şekilde etkilendiği doğa olayı olarak tanımlamaktadır. Genel olarak kuraklık stresi, toprakta kullanılabilir suyun azaldığı ve ısınan hava ile birlikte bitkide terleme veya buharlaşma yoluyla su kaybının yaşandığı durumlarda ortaya çıkmaktadır (Jaleel ve ark., 2009). Kuraklık ile ilgili tanımlamalar incelediğinde kuraklığı sadece bir bölgeye düşen yetersiz yağış miktarı ile değil aynı zamanda sıcaklığın etkisiyle meydana gelen buharlaşma olayı ile de ilişkilendirmek gerekmektedir (Kayam ve ark., 2017). Kuraklığı birçok araştırmacı tarımsal kuraklık, meteorolojik kuraklık, hidrolojik kuraklık ve sosyo-ekonomik kuraklık olmak üzere dört gruba ayırmıştır (Wilhite ve Glantz, 1985; Sırdaş ve Şen, 2003; Şener ve Şener, 2019). Bitkinin büyüme ve gelişmesi

periyodunda ihtiyaç duyduğu suyun toprakta bulunmaması durumuna tarımsal kuraklık, belirli bir bölgedeki yağışların normal seviyesinin altında kalması durumuna meteorolojik kuraklık, yağış azlığından dolayı yüzey ve yeraltı suyunda meydana gelen azalmaya ise hidrolojik kuraklık adı verilmektedir (Kapluhan, 2013). Sosyo-ekonomik kuraklık ise diğer kuraklık çeşitleri ile bağlantılı olarak yağış azlığı ile oluşan, üretimin ihtiyaçları karşılayamadığı durumlar için ifade edilmektedir (Mengü ve ark., 2011).

2.2.2. Bitkilerde kuraklık stresi

Bulundukları ortamı değiştirme özellikleri olmadığından dolayı tek bir bölgede sabit olarak yaşantısını sürdüren bitkiler yaşamları süresince birçok abiyotik stres faktörleri ile karşılaşmaktadır (Taiz ve Zeiger, 2010). Bu stres faktörlerinden birisi olan kuraklık stresi, tarımsal üretimde bitkinin tüm yaşantısını önemli bir şekilde etkilemektedir (Guo ve ark., 2003). Ahanger ve ark. (2017), bitkilerde stres faktörüne bağlı olarak meydana gelen değişimleri ve bitkilerdeki tolerans mekanizmalarını Şekil 2.1.'de olduğu gibi bildirmişlerdir. Bitki topraktan almış olduğu suyun önemli bir kısmını terleme olayı ile atmosfere vermektedir. Geriye kalan suyun ise çeşitli bileşiklerin sentezi için dokularda tutulması gerekmektedir (Aksu ve Altay, 2020b). Kuraklık stresi sebebiyle bitkilerin dokuları arasında bozulan su dengesi, turgor basıncının düşmesine neden olarak bitkinin büyümesini olumsuz bir şekilde etkilemektedir (Kabay ve Şensoy, 2016). Kuraklık stresi, köklerin zayıf gelişmesine, yaprak stomalarının kapanmasına, fotosentez oranının azalmasına neden olmakta, bunlarla birlikte bitkilerin solmasına veya kurummasına neden olabilecek besin elementi alımını da azaltmaktadır (Fahad ve ark., 2017). Bu nedenle şiddetli kuraklıklar, bitki büyümesi, fizyolojisi ve üremesi üzerindeki olumsuz etkileri sebebiyle ürün veriminde önemli bir düşüşe neden olmaktadır (Barnabás ve ark., 2008). Stres koşulları altında bitkilerdeki ürün veriminde meydana gelen bu azalma, karbon metabolizması ve taşınmasındaki bozulmalarla da ilişkilidir (Muller ve ark., 2011). Taş ve Öktem (2019), 2015-2016 yılları arasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yüksek sıcaklık ve su stresi uygulamalarının (%100 ve %50) bazı mısır (*Zea mays* L.) genotipleri üzerine olan etkisini araştırmış oldukları çalışmada kuraklık stresi uygulamalarının bitkinin verim komponentlerini azalttığını bildirmişlerdir.



Şekil 2.1. Strese bağlı olarak meydana gelen değişimler ve bitkilerdeki strese tolerans mekanizmaları

2.2.3. Bitkilerde kuraklık stresinden korunma mekanizmaları

Bitkiler doğal ortamlarında meydana gelen çevresel stres faktörlerine uyum sağlayabilmek için bir takım karmaşık fizyolojik ve biyokimyasal adaptasyonlar geliştirmektedir (Osakabe ve ark., 2014). Olumsuz koşulların üstesinden gelebilmek için bitkiler kuraklıktan kaçınma, tolerans ve adaptasyon gibi stratejiler geliştirmektedir (Touchette ve ark., 2009). Bitkiler bunu dokularındaki suyu koruyabilmek adına

topraktaki suyun bir bölümünü kullanmama veya suyu aşırı kullanmayla, kuraklık oluşmadan yaşam döngüsünü tamamlayarak (kuraklıktan kaçış) veya doku su potansiyellerini yüksek tutarak (kuraklık tolerans) yapmaktadır. Kuraklıktan kaçış, bitkinin özellikle çiçeklenme döneminde kuraklık stresine karşı geliştirmiş olduğu önemli bir çevresel adaptasyondur (Farooq ve ark., 2009). Kumar ve Abbo (2001), bitkide erken olgunlaşmanın stresten kaçınmada önemli bir strateji olduğunu bildirmişlerdir. Bitkiler derin kök sistemleri geliştirerek de strese alışma eğilimi gösterebilmektedir. Bitki çeşidi ve stres faktörüne maruz kalma süresi gibi faktörlerde toleranslığı etkilemektedir (Koç ve ark., 2012). Bunlara ilave olarak absiyon olayı, yaprak alanının küçük tutulması, kök miktarının arttırılması, gövde boyunda azalmalar ve stomaların kapanması da önemli birer kuraklık stratejisidir (Çebi, 2014).

Stres faktörleri nedeniyle oluşan sorunların giderilmesinde bitkiler iyi gelişmiş savunma mekanizmalarına sahiptirler. Bu mekanizmalar makromoleküllerin ve iyonların homeostasisi, koruyucu molekülün sentezi, reaktif oksijen türlerinin (ROT) oluşumu ve detoksifikasyon olmak üzere üç grupta toplanabilmektedir (Büyük ve ark., 2012).

Stres faktörlerinin çoğu hücrel dehidrasyona neden olup homeostazı bozmaktadır. Makromoleküllerin ve iyonların homeostasisi, su iletimi ve iyon dengesinin kontrolünde rol oynayan akuaporin ve iyon taşıma sistemlerin aktivasyonu ve inaktivasyonunu kapsayan bitkilerin dehidrasyona karşı olan temel cevap mekanizmalarından birisidir (Büyük ve ark., 2012).

Bitkilerin, kuraklık ve ozmotik stres ile baş edebilmek adına bir diğer stratejisi de ozmoprotektanların sentezini arttırmasıdır (Fayez ve Bazaid, 2014; Aksu ve Altay, 2020a). Ozmoprotektanlar (ozmolitleri, uyumlu bileşikler), stres faktörlerinin hücre zarları ve proteinler üzerine yıkıcı etkisini önleyen yapılardır (Çebi, 2014). Ozmotik stresle baş edebilmek için bitkiler, çok sayıda küçük, nötr ve toksik olmayan bu ozmoprotektanları sentezleyip biriktirmektedir (Ali ve ark., 2017). Bunlar prolin, glutamat, glisin-betain, karnitin, mannitol, sorbitol, fruktanlar, polioller, trehaloz, sukroz, oligosakkaritler ve sitoplazmada biriken K^+ , sodyum (Na^+) ve klorür (Cl^-) gibi inorganik iyonlardır (Parida ve Das, 2005).

Atmosferde O_2 formunda bulunan oksijenin iki tane paylaşılmamış elektronu vardır. Dolayısıyla düşük bir reaktifiteye sahip olduğu için de toksik etki göstermez (Doğru, 2020). Serbest radikaller ise, yapılarında çiftlenmemiş bir ya da daha fazla elektron taşıyan moleküllerdir (Koç ve Üstün, 2008). Moleküler yapıda bulunan O_2 bulunduğu ortamdan yüksek enerjili durumda bulunan elektronlardan alması ile kararsız bir yapı olan $O_2^{\cdot-}$ 'yi oluşturmaktadır. $O_2^{\cdot-}$ kendiliğinden veya süperoksit dismutaz (SOD) tarafından yüksek konsantrasyonlarda toksik olan hidrojen peroksit (H_2O_2) indirgenmektedir (Çulha ve Çakırlar, 2011). Stres durumları hücrede singlet oksijen ($^1O_2$), süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$), hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikalleri ($OH^{\cdot}$) gibi çeşitli ROT oluşumuna neden olmaktadır (Bağcı, 2010; Gill ve Tuteja, 2010; Ahanger ve ark., 2017). Serbest radikaller ve ROT, biyolojik redoks reaksiyonlarının kaçınılmaz yan ürünleridir (Foyer ve Noctor, 2005). Optimum çevresel koşullar altında mitokondri, kloroplast ve peroksizomlarda düşük seviyelerde bulunan ROT'lar, stres durumlarına bağlı olarak hücre içindeki seviyeleri arttırarak hücrel savunma sistemini aşır oksidatif strese neden olmaktadır. ROT, kloroplastlarda Mehler reaksiyonu yoluyla, mitokondride elektron taşınması yoluyla ve peroksizomlarda fotorespirasyon yoluyla üretilmektedir (Caverzan ve ark., 2016). Oldukça toksik olan ROT'lar hücrede nükleik asitlere, lipidlere, proteinlere, karbonhidratlara ve deoksiribonükleik asite (DNA) zarar vermektedir (Mehdizadeh ve ark., 2019).

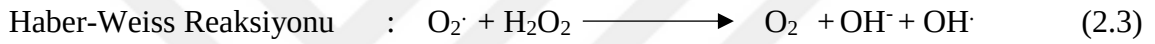
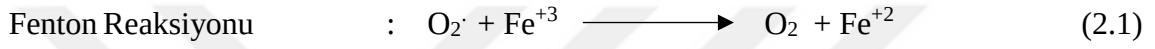
2.2.3.1. Reaktif oksijen türleri

Singlet Oksijen ($^1O_2$): Elektron taşıma sisteminde görevli olan O_2 'in elektronlarından birisinin aldığı enerji ile birlikte yörüngesinde meydana gelen değişiklik ile oluşabileceği gibi, singlet oksijenin nitrik oksit (NO) ile reaksiyonu ve H_2O_2 'nin hipoklorit ($ClO^{\cdot-}$) ile reaksiyonu ile de oluşabilmektedir (Büyük ve ark., 2012).

Süperoksit radikali ($O_2^{\cdot-}$): Moleküler oksijenin (O_2) bir elektron alarak indirgenmesi ile oluşmaktadır. Süperoksit radikalleri H_2O_2 oluşumuna kaynaklık etmesi ve geçiş metalleri iyonlarının indirgeyicisi olması nedeniyle tehlikeli olmaktadır (Yılmaz ve ark., 2011).

Hidrojen peroksit (H_2O_2): Moleküler oksijenin (O_2) iki elektron alarak veya süperoksit anyonunun bir elektron alarak indirgenmesi ile oluşmaktadır (Flora, 2007; Karabulut ve Gülay, 2016).

Hidroksil radikali ($OH^\cdot$): Hidrojen peroksit radikali Fe^{+2} ve Cu^+ veya diğer geçiş elementlerinin varlığında indirgenerek ‘‘Eşitlik 2.1. ve 2.2. örneğinde olduğu gibi’’ hidroksil radikalleri oluşmaktadır (Fenton reaksiyonu). Hidrojen peroksitin süperoksit anyonu ile tepkimesi sonucunda yine ‘‘Eşitlik 2.3. örneğinde olduğu gibi’’ hidroksil radikali oluşmaktadır (Haber-Weiss Reaksiyonu) (Karabulut ve Gülay, 2016).



Bitki hücreleri, ROT’un oluşturacağı hasarı önlemek için, ROT’un temizlenmesinde rol oynayan, hücrenin redoks durumunu koruyan, reaktif veya aktif oksijen türlerinin seviyelerini kontrol altında tutma işlevi gören iyi gelişmiş antioksidan savunma sistemlerine sahiptirler (Ahanger ve ark., 2017; Çelik ve Ayrar, 2020). Bu savunma sistemleri enzimatik olmayan (askorbik asit, glutatyon, karotenoidler (likopen ve karoten), tokoferol, alkaloidler gibi) ve enzimatik olan antioksidan savunma sistemlerinden (süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POD), askorbat peroksidaz (APX) gibi) oluşmaktadır (Noctor ve Foyer, 1998; Mittler ve ark., 2004).

2.2.3.2. Antioksidan savunma sistemleri

2.2.3.2.1. Enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemleri

Enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemleri hücreleri oksidatif hasarlardan korumak ile birlikte bitki büyümesinde ve gelişiminde önemli rol oynamaktadır (de Pinto ve De Gara, 2004; Das ve Roychoudhury, 2014).

2.2.3.2.1.1. Askorbik asit (AsA, Vitamin C)

Genellikle vitamin C olarak adlandırılan suda çözünür bir vitamin olan askorbik asit (AsA), bitkiler için en temel metabolittir (Ahanger ve ark., 2017). Askorbik asit, bitkilerde birçok reaksiyona ve fizyolojik sürece etki eden güçlü bir antioksidandır (Smirnoff, 1993; Kireççi, 2018). Stres koşulları altında bitki hücrelerinde O_2^- ve OH^- 'in temizlenmesinde görev almaktadır (Büyük ve ark., 2012).

2.2.3.2.1.2. Glutasyon (GSH)

Glutasyon (GSH), bitki hücrelerinde kloroplast, sitozol ve diğer hücre bölümlerinden sentezlenen enzimatik olmayan bir antioksidandır. GSH, askorbat-glutasyon döngüsüne katılarak hidrojen peroksidi detoksifiye etmektedir (Çulha ve Çakırlar, 2011). Ayrıca, askorbat-glutasyon döngüsüne askorbatın tekrar üretilmesinde glutasyon önemli bir role sahiptir (Foyer ve ark., 1997; Arıkan ve ark., 2017).

2.2.3.2.1.3. Karotenoidler

Karotenoidler; doğada 600'den fazla çeşidi olan, bitkilerde ve mikroorganizmalarda bulunan pigmentlerdir (Büyük ve ark., 2012; Kireççi, 2018). Bu pigmentler singlet oksijenin ve peroksil radikallerinin temizlenmesinde görev almaktadır (Collins, 2001; Arıkan ve ark., 2017).

2.2.3.2.1.4. Tokoferoller (Vitamin E)

Tokoferoller (α , β , γ ve δ) bir lipofilik antioksidan grubudur (Sharma ve ark., 2012; Caverzan ve ark., 2016). α -tokoferol, lipid çift katmanlardaki en büyük peroksil radikal temizleyicisidir. Kloroplastların zarında bulunan α -tokoferol onları fotooksidatif hasara karşı korumaktadır (Blokhina ve ark., 2003; Caverzan ve ark., 2016). Tokoferoller, singlet oksijen ve OH^- radikalini detoksifiye etmekte görev almaktadır (Koç ve Üstün, 2008).

2.2.3.2.1.5. Fenolik bileşikler

Flavonoidler ve tanenler gibi fenolik bileşikler, bitki dokularında bulunan ikincil metabolitlerdir (Kireççi, 2018). Fenolik bileşikler, reaktif oksijen türlerinin temizlenmesinde görev alan enzimatik olmayan savunma sistemlerindendir.

2.2.3.2.2. Enzimatik antioksidan savunma sistemleri

2.2.3.2.2.1. Süperoksit dismutaz (SOD)

Süperoksit dismutaz (SOD), ‘‘Eşitlik 2.4. örneğinde olduğu gibi’’ $O_2^{\cdot-}$ nin H_2O_2 ve O_2 ’ye ayrışmasını katalize eden detoksifikasyon sürecinde yer alan önemli bir enzimdir (Spychalla ve Desborough, 1990; Tomar ve ark., 2015). Bitkilerden metal kofaktörüne bağlı olarak birden fazla SOD bulunmaktadır. Bunlar Cu/Zn-SOD, Mn-SOD ve Fe-SOD’dur. Cu/Zn-SOD bitki hücresinin sitosol, peroksizom ve kloroplastında, Mn-SOD mitokondri ve peroksizomunda, Fe-SOD ise kloroplastlar, peroksizom ve mitokondrisinde bulunmaktadır (Wang ve ark., 2016; Kireççi, 2018; Hu ve ark., 2019).



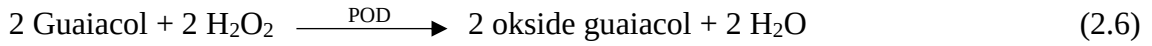
2.2.3.2.2.2. Katalaz (CAT)

Katalaz (CAT), aktif oksijen türlerinin hücresel seviyelerinin düzenlenmesinde rol oynayan bir enzimdir (Sánchez-Casas ve Klessig, 1994). Katalaz, H_2O_2 için yüksek bir afiniteye sahip olan ‘‘Eşitlik 2.5. örneğinde olduğu gibi’’ H_2O_2 ’nin H_2O ’ya ve moleküler oksijene dönüşmesini katalizleyen bir enzimdir. Katalaz enzimi hayvan, bitki ve mikroorganizmalarda bulunmaktadır (Spychalla ve Desborough, 1990; Çimen ve ark., 2005). Katalaz enzimi genel olarak peroksizomlardaki H_2O_2 ’nin temizlenmesinde görev almaktadır (Das ve Roychoudhury, 2014). Birçok organizmada bulunan katalaz enzimi substrat olarak H_2O_2 ’yi kullanarak fenol ve formik asit gibi toksik etkisi gösteren bileşiklerin temizlenmesinde de görev almaktadır (Sökmen ve Ahıskalı, 2017).



2.2.3.2.2.3. Peroksidaz (POD)

Peroksidazlar (POD), kataliz için guaiacol gibi aromatik elektron vericilerini tercih eden hem grubu enzimlerdir (Mehdizadeh ve ark., 2019). POD enzimi ‘‘Eşitlik 2.6. örneğinde olduğu gibi’’ H_2O_2 ’yi H_2O ’ye dönüştürmekte görevli olan bir enzimdir (Camp ve ark., 1997; Karipçin ve Durak, 2018; Gündoğdu ve ark., 2019).



2.2.3.2.2.4. Askorbat peroksidaz (APX)

Askorbat peroksidaz enzimi (APX), H_2O_2 ’nin kloroplastlardan ve sitozolden uzaklaştırılmasından sorumlu bir enzimdir (Mehdizadeh ve ark., 2019). H_2O_2 için CAT’den daha iyi bir afiniteye sahiptir (Das ve Roychoudhury, 2014). APX enzimi ‘‘Eşitlik 2.7. örneğinde olduğu gibi’’ H_2O_2 ’nin H_2O ’ya dönüşümünü katalize etme reaksiyonlarında askorbatları spesifik bir elektron vericisi olarak kullanmaktadır (Apel ve Hirt, 2004; Caverzan ve ark., 2016).



2.2.3.2.2.5. Glutatyon peroksidaz (GPx)

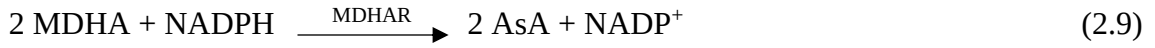
Glutatyon peroksidazlar (GPx), ‘‘Eşitlik 2.8. örneğinde olduğu gibi’’ hidrojen peroksitin indirgenmesini sağlayarak, hidrojen peroksitin hücrelerde neden olabileceği oksidatif strese karşı hücreleri koruyan çeşitli izozimleri olan geniş bir gruptur (Apel ve Hirt, 2004; Büyük ve ark., 2012).



2.2.3.2.2.6. Monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR)

Monodehidroaskorbat redüktaz (MDHAR), ‘‘Eşitlik 2.9. örneğinde olduğu gibi’’ monodehidroaskorbatdan (MDHA) askorbik asidi yeniden oluşturmaktan, NADPH’yi

indirgeyici ajan olarak kullanmaktan ve hücrel askorbik asit havuzunu yenilemekten sorumludur (Mittler, 2002; Das ve Roychoudhury, 2014). MDHAR'ın çeşitli izozimleri kloroplast, mitokondri, peroksizomlar, sitozol ve glioksizomlarda bulunmaktadır (Das ve Roychoudhury, 2014).



2.2.3.2.2.7. Dehidroaskorbat redüktaz (DHAR)

Dehidroaskorbat redüktaz (DHAR), AsA'yı indirgenmiş formunda tutan bir tiyol enzimidir. DHAR, ‘‘ Eşitlik 2.10. örneğinde olduğu gibi’’ indirgeyici substrat olarak glutatyon (GSH) kullanarak dehidroaskorbatın (DHA) AsA'ya indirgenmesini katalize etmektedir (Asada, 1999; Gratão ve ark., 2005; Das ve Roychoudhury, 2014; Caverzan ve ark., 2016).



2.2.3.2.2.8. Glutatyon redüktaz (GR)

Glutatyon redüktaz (GR), ‘‘Eşitlik 2.11. örneğinde olduğu gibi’’ GSSG'yi GSH'ye dönüştürmek için NADPH kullanan bir flavoprotein oksidoredüktazdır (Das ve Roychoudhury, 2014).



2.3. Şeker pancarı

Şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.) *Chenopodiaceae* familyasına ait bir endüstri bitkisidir. Şeker pancarı bitkisinin ilk senesinde vejetatif organları gelişirken ikinci senesinde ise çiçek ve tohum üretmeye başlamaktadır (Ahmad ve ark., 2015). Şeker pancarı bitkisinin çimlenmesi için gerekli olan sıcaklık en az 4-5 °C olup ülkemizde yetiştirme süresi 150-170 gün arasındadır (Arslan, 1987; Döşer ve Avcı, 2019).

Şeker pancarı bitkisi şeker kamışı ile birlikte dünyada en önemli şeker üretim kaynağını oluşturmaktadır. Ülkemizin ekonomisine katkılarından dolayı stratejik öneme sahip bir ürün konumundadır. Aynı zamanda tarım sektörüne sağladığı katkıların dışında gıda ve kimya sektörü gibi birçok sektöre de katkı sağlamaktadır (Aksu ve Altay, 2020b).

Ülkemizde şeker pancarı tarımı Doğu Karadeniz, Güneydoğu Anadolu, Ege ve Akdeniz'in deniz kıyısı bölgeleri dışında tüm bölgelerde yapılmaktadır (Erdinç, 2017). Şeker pancarı bitkisi yetiştiriciliği genel olarak yıllık yağışın 300-500 mm arasında olan Orta Anadolu bölgesinde yapılmaktadır (Çalışkan ve ark., 2020).

Türkiye istatistik kurumu (TÜİK) 2020 verilerine göre, ülkemizde şeker pancarı bitkisinin ekilen alan (dekar), hasat edilen alan (dekar), verim (kg/dekar) ve üretim miktarı (ton) parametreleri yıllara göre Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ülkemizde 2010-2019 yılları arasında şeker pancarı bitkisinin ekilen alan (dekar), hasat edilen alan (dekar), verim (kg/dekar) ve üretim miktarı (ton)

Yıl	Ekilen Alan (Dekar)	Hasat Edilen Alan (Dekar)	Verim (Kg/Dekar)	Üretim Miktar (Ton)
2010	3 291 669	3 286 513	5 459	17 942 112
2011	2 972 648	2 938 411	5 488	16 126 489
2012	2 806 945	2 801 858	5 325	14 919 940
2013	2 913 282	2 909 097	5 668	16 488 590
2014	2 887 851	2 874 607	5 824	16 743 045
2015	2 744 873	2 739 912	5 848	16 022 783
2016	3 224 477	3 219 533	6 086	19 592 731
2017	3 392 742	3 388 829	6 241	21 149 020
2018	2 921 044	2 906 976	5 998	17 436 100
2019	3 137 891	3 100 807	5 822	18 054 320

Çizelge 1.'e göre son on yılda en yüksek ekilen alanın, hasat edilen alanın, verimin ve üretim miktarının 2017 yılına ait olduğu görülmektedir. 2019 yılında ekilen alanın, hasat edilen alanın ve üretim miktarının bir önceki yıla göre yüksek olmasına rağmen verim miktarında düşüş gözlemlenmiştir. 2010 ile 2019 yılları karşılaştırıldığında, 2019 yılında ekilen alan ve hasat edilen alanın 2010 yılına göre daha az olmasına rağmen şeker pancarında verim ve üretim miktarının daha yüksek olduğu görülmektedir.

TÜİK (2020) verilerine göre, ülkemizde 2019 yılında en yüksek şeker pancarı ekim alanı (dekar) ve üretim miktarı (ton) olan iller Çizelge 2.'de verilmiştir.

Çizelge 2. Ülkemizde 2019 yılında en yüksek şeker pancarı ekim alanı (dekar) ve üretim miktarı (ton) olan iller

İller	Ekim Alanı (Dekar)	Üretim Miktarı (Ton)
Konya	885 218	5 875 116
Eskişehir	253 737	1 537 607
Yozgat	250 901	1 375 384
Kayseri	200 193	1 078 620
Aksaray	146 145	982 861
Afyonkarahisar	147 830	774 600
Ankara	115 670	717 886
Sivas	153 267	685 977
Karaman	78 097	543 549
Tokat	90 716	517 249

Çizelge 2. incelendiğinde ülkemizde şeker pancarı bitkisinin ekim alanının ve üretim miktarının en yüksek Konya ilinde olduğu görülmektedir. TÜİK (2020) verilerine göre, 2019 yılında en fazla şeker pancarı üretimi yapılan iller sırasıyla Konya, Eskişehir, Yozgat, Kayseri, Aksaray, Afyonkarahisar, Ankara, Sivas, Karaman ve Tokat olduğu görülmüştür.

TÜİK (2020) verilerine göre, Sivas ilinde 2010-2019 yılları arasında şeker pancarı bitkisinin ekilen alan (dekar), hasat edilen alan (dekar), verim (kg/dekar) ve üretim miktarı (ton) Çizelge 3.'de verilmiştir.

Çizelge 3. Sivas ilinde 2010-2019 yılları arasında şeker pancarı bitkisinin ekilen alan (dekar), hasat edilen alan (dekar), verim (kg/dekar) ve üretim miktarı (ton)

Yıl	Ekilen Alan (Dekar)	Hasat Edilen Alan (Dekar)	Verim (Kg/Dekar)	Üretim Miktar (Ton)
2010	111 444	111 444	5 163	575 397
2011	96 701	96 533	4 724	456 004
2012	94 105	93 874	4 776	448 371
2013	108 422	108 422	5 308	575 534
2014	120 391	120 391	4 876	586 970
2015	126 677	126 677	5 626	712 714
2016	156 709	156 522	4 898	766 610
2017	180 446	180 446	4 587	827 745
2018	129 775	129 446	5 253	679 983
2019	153 267	151 994	4 513	685 977

Çizelge 3.'e göre Sivas ilindeki en yüksek ekilen alan, hasat edilen alan, verim ve üretim miktarının 2017 yılında olduğu görülmektedir. Sivas ilinde 2018 yılına göre 2019 yılında ekilen alan, hasat edilen alan ve üretim miktarı artış göstermesine rağmen verim miktarında bir azalma durumu söz konusu olmuştur.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışmada kullanılan toprak

Çalışmada Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü araştırma deneme alanından 0-20 cm derinliğinden alınan topraklar kullanılmış ve bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.'de, bitkiye yarayışlı bazı besin elementleri konsantrasyonları ise Çizelge 5.'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan toprak siltli-killi-tın, hafif alkalin (pH 7.48), fazla kireçli (%14.0), tuzsuz (%0.02), yarayışlı fosfor konsantrasyonu düşük, (2.79 kg P₂O₅/da), potasyum konsantrasyonu yeterli (89.2 kg K₂O/da), tarla kapasitesi (TK) %16.58 (gravimetrik), solma noktası (SN) %9.26 (gravimetrik) ve organik madde içeriği (OM) %1.28 şeklindedir.

Çizelge 4. Çalışmada kullanılan toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Derinlik (cm)	Bünye	pH	CaCO ₃	Tuz (%)	TK	SN	OM
0-20	SiCL	7.48	14.0	0.02	16.58	9.26	1.28

Çizelge 5. Çalışmada kullanılan toprağın bitkiye yarayışlı bazı besin elementleri konsantrasyonları

P ₂ O ₅ (kg/da)	K ₂ O	Fe	Zn (mg/kg)	Mn	Cu
2.79	89.2	4.14	0.45	2.47	1.16

3.1.2. Çalışmada kullanılan biyokömürün üretimi

Biyokömür materyali olarak Sivas bölgesinde oldukça geniş alanda bulunan ve marmelat olarak tüketilen kuşburnu (*Rosa canina*) bitkisinin çekirdeği kullanılmıştır. Biyokömür geliştirilmiş bir reaktör yardımıyla 500 °C'de biyokütlenin yavaş bir şekilde pirolizi ile üretilmiştir (Şekil 3.1. (a)). Piroliz işlemi sonrasında elde edilen biyokömürlere toprağa karıştırılmadan önce yaklaşık 2 mm boyutuna gelene kadar öğütme işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.1. (b)) (Erdem ve ark., 2017).

Üretilen biyokömürlerin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ve Çizelge 6.'da verilmiştir. Biyokömürün pH'ı 8.35, katyon değişim kapasitesi $6.17 \text{ cmol kg}^{-1}$, spesifik yüzey alanı $269.11 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, karbon ve azot konsantrasyonu sırasıyla %88.47 ve %1.14, C/N oranı 77.60, elektriksel iletkenlik 1.59 mS cm^{-1} , P, K, Ca ve Mg konsantrasyonları sırasıyla 3.97, 1.41, 9.47 ve 3.05 g kg^{-1} şeklindedir.

Çizelge 6. Çalışmada kullanılan biyokömürün bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

pH	Katyon Değişim Kapasitesi cmol kg^{-1}	Spesifik Yüzey Alanı $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$	C	N	C/N	Elektriksel İletkenlik mS cm^{-1}	P	K	Ca	Mg
8.35	6.17	269.11	88.47	1.14	77.60	1.59	3.97	1.41	9.47	3.05



(a)



(b)

Şekil 3.1. (a) Çalışmada kullanılan biyokömürün üretildiği cihaz ve (b) kuşburnu (*Rosa canina*) bitkisinin çekirdeğinden elde edilen biyokömür

3.1.3. Çalışmada kullanılan şeker pancarı çeşidi

Çalışmada şeker pancarı çeşidi (*Beta vulgaris* L. var. *altissima* Döll.) olarak T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından 2017 yılında tescil edilen Garrot kullanılmıştır (Anonim, 2017).

3.2. Yöntem

3.2.1. Sera denemelerinin kurulması, yürütülmesi ve kuraklık stresinin uygulanması

Çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü bünyesinde yer alan tam otomasyonlu serada tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 yinelemeli olarak iki yıl süreyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2.). Çalışmada birinci yıl Mayıs ayı ortasında her saksıya 4 mm elekten geçirilmiş hava kuru 10 kg toprak konulmasıyla başlanılmıştır. Ekimden önce her saksıya temel gübreleme olarak 250 mg N/kg $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 100 mg P/kg $(\text{KH}_2\text{P}_0_4)$, 125 mg K/kg $(\text{KH}_2\text{P}_0_4)$, 2.5 mg Zn/kg (ZnSO_4) ve 2.5 mg Fe/kg (%6 Fe) uygulanmıştır (Şekil 3.3.). Başlangıçta her saksıya 3 adet şeker pancarı tohumu ekilmiş, çimlenmenin ardından bitkiler 3-4 yapraklı olduğunda her saksıda bir bitki olacak şekilde seyreltilmiştir (Şekil 3.4.). Çalışmada saksılara kuşburnu çekirdeğinden elde edilen 4 farklı biyokömür dozu (BD) %0 (kontrol), %0.5 (50 g/saksı), %1.0 (100 g/saksı) ve %2.0 (200 g/saksı) olacak şekilde uygulanmıştır. Bitkiler vejetatif olarak yeterli büyüklüğe ulaştıklarında, öncesinde su tutma kapasiteleri belirlenmiş saksılara tarla kapasitesinin %100 (TK1), %75 (TK2), ve %50 (TK3) oranında kuraklık stresi ortamı oluşturulmuş ve hasat edilene kadar uygulanmıştır. Kuraklık stresi uygulaması, tarla kapasitesi belirlenmiş saksılara tarla kapasitesinin %100'ü, %75'i ve %50'si olacak şekilde saksı ağırlıkları belirlenmiş ve saksılar hergün düzenli olarak tartılarak belirlenen ağırlığına gelinceye kadar sulaması yapılmıştır. Şeker pancarı bitkisi ekiminden yaklaşık 90 gün sonra hasat edilmiştir. Hasat sonrası şeker pancarı yaprakları yumrudan ayrılmıştır. Saksılar toprakları ile birlikte laboratuvar ortamında ikinci yıl çalışması başlayıncaya kadar saklanmıştır. İkinci yıl çalışmasına, Mayıs ayı başında bir önceki yıldan biyokömür uygulanmış saksılara aynı temel gübreler uygulanarak başlanmış, diğer bütün işlemler birinci yılda olduğu gibi uygulanmış, ekimden yine yaklaşık 90 gün sonra hasat işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmanın yapılmış olduğu Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümüne ait tam otomasyonlu sera



(a)



(b)

Şekil 3.3. Denemenin kurulması; (a) toprağa temel gübreleme uygulanması, (b) toprağa biyokömürün ilavesi



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.4. Şeker pancarı bitkisinin; (a) tohumlarının saksıya ekilmesi, (b) seyreltme öncesi saksılardaki bitki çıkışları, (c) genel görüntüsü

3.2.2. Yeşil aksam kuru madde miktarlarının ve yumru ağırlıklarının belirlenmesi

Hasat işlemi sonrasında şeker pancarı bitkisinden alınan yaprak örnekleri laboratuarda önce musluk suyu ile daha sonra %0.1 HCl, sonrasında tekrar musluk suyu ve 2 kez saf sudan geçirilerek, kese kağıdı içerisine ayrı ayrı konularak hava sirkülasyonlu etüvde 65°C de 48 saat süreyle sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur (Durukan ve ark., 2020). Daha sonra kuruyan yaprak örnekleri hassas terazi ile tartılarak yeşil aksam kuru madde miktarları belirlenmiştir.

Çalışma sonunda hasat edildikten sonra yapraklarından ayrılan şeker pancarı yumruları önce musluk suyu ile yıkanarak üzerindeki topraklar temizlenmiş, hava kuru ortamda nemleri gidene kadar kurutulduktan sonra tartımı yapılarak yumru ağırlıkları tespit edilmiştir.

3.2.3. Makro ve mikro element analizleri

Etüvde kurutulan şeker pancarı bitkisinin yaprakları bitki öğütme değirmeninde öğütüldükten sonra 0.2 g tartılarak yaş yakma metoduna göre H₂O₂-HNO₃ asit karışımında (2 ml H₂O₂ ve 5 ml HNO₃) mikrodalga cihazında yakılıp, son hacmi saf su ile 20 ml'ye tamamlandıktan sonra mavi bant filtre kâğıdından süzölmüştür. Daha sonra bu süzüklerden P (fosfor) kolorimetrik olarak spektrofotometrede 882 nm'de (Murphy ve Riley, 1962), K (potasyum), Ca (kalsiyum), Mg (magnezyum), Zn (çinko), Mn (mangan), Fe (demir) ve Cu (bakır) AAS (Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre) cihazı (Shimadzu AA-7000) ile belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008). N (azot) analizi ise Kjeldahl destilasyon yöntemine göre (Bremner, 1965) yapılmıştır.

3.2.4. Polar analizleri

Şeker pancarı bitkisinin polar analizi soğuk digestion yöntemine göre yapılmıştır. Şeker pancarı yumruları önce kıyma işlemine tabi tutulmuş daha sonrasında da kıyılan parçalar püre haline getirilmiştir. Püre haline getirilen şeker pancarından 26 g alınarak üzerine 178.2 ml AlSO₄ (%0.4'lük) ilave edilerek yaklaşık 3-4 dk mikser ile iyice karıştırılarak

mavi bant filtre kağıdından süzölmüş ve polarizasyon değler polarimetre cihazında okunarak (Durak ve Ulubaş, 2017) % olarak belirlenmiştir.

3.2.5. Enzim aktiviteninin belirlenmesi

Enzim aktiviteninin belirlenmesi için 0.3 g yaş yaprak dokusu ilk olarak porselen havan içerisine alınarak sıvı azot yardımıyla öğütme işlemi yapılmıştır. Öğütme işlemi tamamlanmış örnekler önce 50 mM potasyum fosfat tamponu (KH_2PO_4) (pH=7) içerisinde homojenize edilmiş, sonrasında da homojenat eppendorf tüplerine aktararak 4 °C de 15000xg'de 20 dk süresince santrifüj edilmiştir. Santrifüj işleminin sonrasında eppendorf tüpleri içerisindeki süpernatant kısımları alınarak katalaz (CAT), peroksidaz (POD) ve askorbat peroksidaz (APX) enzimlerinin aktivite ölçümlerinde kullanılmıştır. Enzim aktivitesi sonuçları gram yaprak başına enzim ünitesi (EU/g yaprak) olarak hesaplanmıştır.

3.2.5.1. Katalaz enzim aktivitesinin belirlenmesi

Katalaz enzim aktivitesinin belirlenmesi için 3 ml'lik reaksiyon kabı içerisine 50 mM potasyum fosfat tamponu (KH_2PO_4) (pH=7), 30 mM H_2O_2 ve 50 µl homojenat konularak 2 dk süresince 240 nm dalga boyunda spektrofotometre cihazında absorbans değeri ölçölmüştür. Katalaz enzim aktivitesinin hesaplanmasında, bir enzim ünitesi 1 µmol H_2O_2 parçalanmasını sağlayan enzim miktarı olarak kabul edilmiş ve H_2O_2 'in ekstinksiyon katsayısı $0.036 \text{ cm}^2 \mu\text{mol}^{-1}$ olarak kullanılmıştır (Havir ve McHale, 1987).

3.2.5.2. Peroksidaz enzim aktivitesinin belirlenmesi

Peroksidaz enzim aktivitesinin belirlenmesi için 3 ml'lik reaksiyon kabı içerisine 50 mM potasyum fosfat tamponu (KH_2PO_4) (pH=7), 20 mM H_2O_2 , 30 mM guaiacol ve 80 µl enzim ekstraktından konularak 2 dk süresince 470 nm dalga boyunda spektrofotometre cihazında absorbans değeri ölçölmüştür. Peroksidaz enzim aktivitesinin hesaplanmasında, bir enzim ünitesi 1 µmol guaiacol parçalanmasını sağlayan enzim miktarı olarak kabul edilmiş ve Tetraquaiacol'ün ekstinksiyon katsayısı $26.6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ olarak kullanılmıştır (Angelini ve ark., 1990).

3.2.5.3. Askorbat peroksidaz enzim aktivitesinin belirlenmesi

Askorbat peroksidaz enzim aktivitesinin belirlenmesi için 3 ml'lik reaksiyon kabı içerisine 50 mM potasyum fosfat tamponu (KH₂PO₄) (pH=7), 10 mM H₂O₂, 2.5 mM askorbik asit ve 50 µl homojenat konularak 2 dk süresince 290 nm dalga boyunda spektrofotometre cihazında absorbans değeri ölçülmüştür. Askorbat peroksidaz enzim aktivitesinin hesaplanmasında askorbatın ekstinksiyon katsayısı 2.8 mM⁻¹ cm⁻¹ olarak kullanılmıştır (Yoshimura ve ark., 2000).

3.2.6. Klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarının belirlenmesi

Şeker pancarı bitkisinin yaprak loblarından 0.1 g örnek alınarak karanlık bir ortamda daha önce buzdolabında soğutulmuş hava içerisine %80'lik aseton konularak homojenize edilmiştir. Homojenat 3000xg'de 10 dk süresince santrifüj edilmiş ve daha sonra ari solüsyon tortu kısmı alınmaksızın bir tüpe konularak son hacmi %80'lik aseton ile 10 ml'ye tamamlanmıştır. Yeşil renkli solüsyonun spektrofotometre cihazında 663 nm ve 645 nm'de klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarı, 470 nm dalga boyunda ise aşağıdaki formüller kullanılarak karotenoid miktarları hesaplanmış ve sonuçlar mg/g olarak bulunmuştur (Arnon, 1949; Witham ve ark., 1971; Odabaş, 1981; Duran ve ark., 2010; Kabay ve Şensoy, 2016; Alp ve Kabay, 2017).

$$\text{Klorofil a (mg/g)} = (12.7 * D_{663 \text{ nm}}) - (2.69 * D_{645 \text{ nm}}) * V / W * 10000$$

$$\text{Klorofil b (mg/g)} = (22.91 * D_{645 \text{ nm}}) - (4.68 * D_{663 \text{ nm}}) * V / W * 10000$$

$$\text{Toplam Klorofil} = \text{Klorofil a} + \text{Klorofil b}$$

$$\text{Karotenoid (mg/g)} = ((1000 * D_{470 \text{ nm}}) - (3.27 * \text{Klorofil a}) - (104 * \text{Klorofil b})) / 229$$

(D: Belirtilen dalga boyunda ölçülen absorbans değeri, W: Ekstarkte edilen yaş yaprak ağırlığı (g) V: Ekstrakt hacmi (ml)).

3.2.7. İstatistiksel analiz

Tesadüf parselleri deneme desenine göre yapılan çalışmanın verileri ayrı ayrı ANOVA testi ile varyans analizine tabi tutulmuştur. Araştırma bulguları ve ölçülen bütün

değişkenler istatistiki analiz için SPSS 22.0 Windows paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ortalamalar arasındaki farklılıklar Tukey testi ile belirlenmiştir.

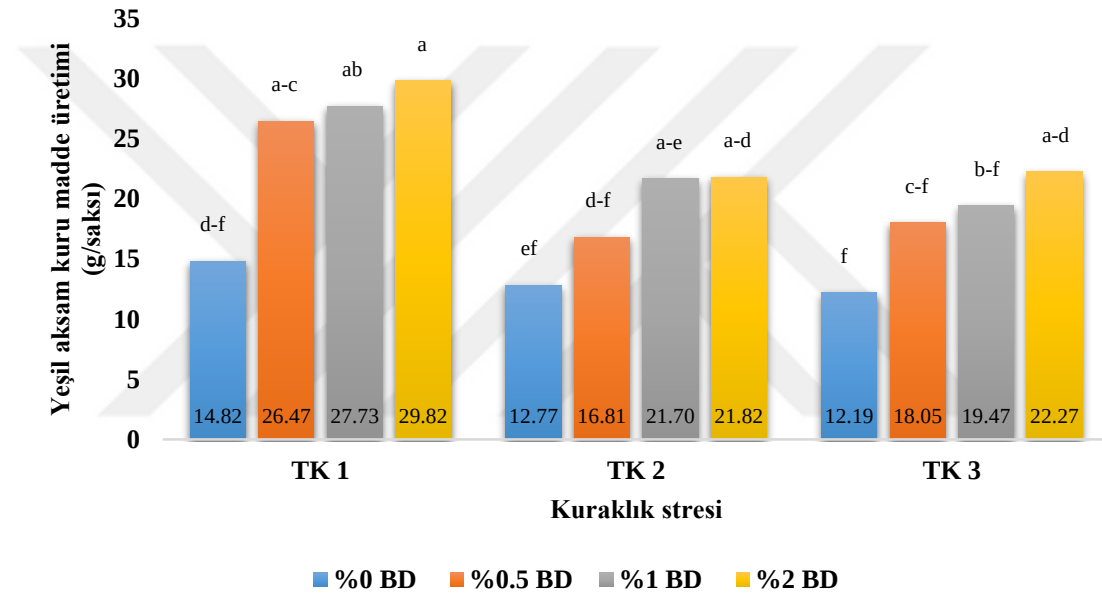


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. I. Yıl (2019) Araştırma Bulguları

4.1.1. Yeşil aksam kuru madde üretimi ve yumru verimi

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimi üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Şekil 4.1.'de verilmiştir.

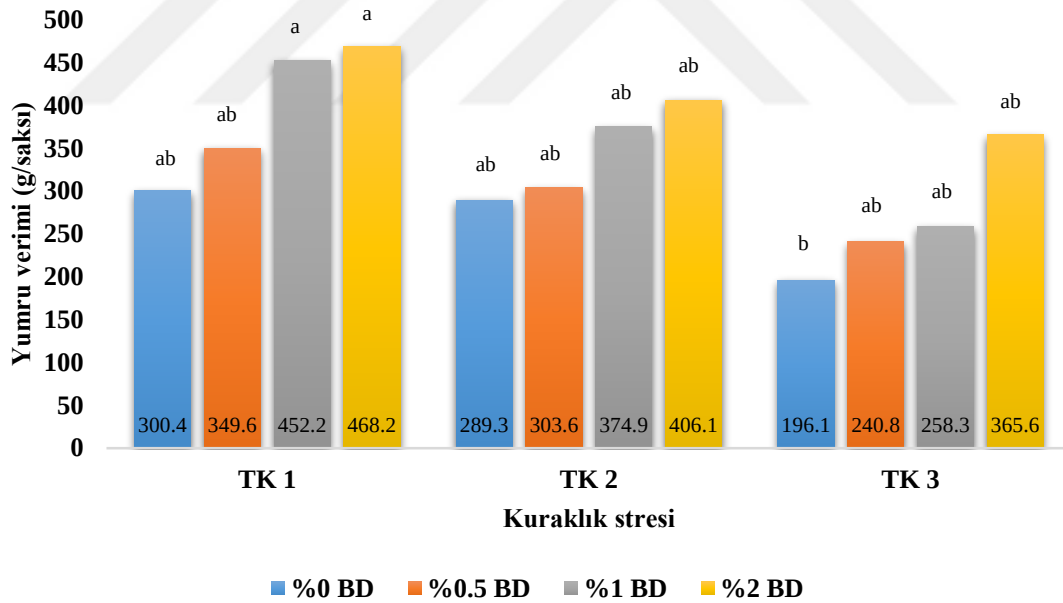


Şekil 4.1. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimine etkileri (g/saksı)

Şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimi bakımından Şekil 4.1. değerlendirildiğinde, en yüksek yeşil aksam kuru madde üretiminin 29.82 g/saksı ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde tespit edilmişken, bunu 27.73 g/saksı ile TK1 uygulamasının %1 BD'si takip etmiştir. Çalışmada en düşük yeşil aksam kuru madde üretimi ise TK3 uygulamasının %0 BD'sinde belirlenmiştir (12.19 g/saksı). Çalışmada TK1 uygulamasına göre TK2 ve TK3 uygulamaları şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimini azaltmıştır. Bununla birlikte, tüm kuraklık stresi uygulamalarında (TK1, TK2, TK3) kontrol uygulamasına göre artan biyokömür dozları ile birlikte genel olarak artış gösterdiği de tespit edilmiştir. Demirbas ve ark. (2017), farklı dozlardaki

biyokömür uygulamalarının (%0, %0,5, %1, %2, %3, %4 ve %5) nohut (*Cicer arietinum* L.) bitkisinin verimine ve besin elementleri alımına etkilerini araştırdıkları çalışmada farklı biyokömür uygulamalarının nohut bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimini arttırdığını ve %3 biyokömür uygulamasının öne çıktığını belirlemişlerdir. Erdem ve ark. (2017), kadmiyum ile kontamine olmuş topraklarda yetiştirdikleri tütün bitkisine farklı dozlarda biyokömür uygulamışlar ve en yüksek kuru madde üretiminin 3.15 g/bitki ile %2 biyokömür dozunda olduğunu belirtmişlerdir. Benzer şekilde Danish ve Zafar-ul-Hye (2019), buğday bitkisine uygulamış oldukları kuraklık stresi dozlarının (normal sulama (%70 tarla kapasitesi), orta kuraklık (%50 tarla kapasitesi), şiddetli kuraklık (%30 tarla kapasitesi)) tamamında biyokömür uygulamalarının (%0, %1 ve %2) bitkinin tane verimini arttırdığını belirlemişlerdir.

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumru verimi üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumru verimine etkileri (g/saksı)

Çalışma şeker pancarı yumru verimi yönünden incelendiğinde; yeşil aksam kuru madde üretimine benzer şekilde (Şekil 4.1.), artan dozlardaki biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi ile azalan yumru verimini arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 4.2.). Şeker

pancarındaki en yüksek yumru verimi 468.2 g/saksı ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde, en düşük yumru verimi ise 196.1 g/saksı ile TK3 uygulamasının kontrol uygulaması olan %0 BD'sinde olduğu belirlenmiştir. Kuraklık stresi uygulamaları şeker pancarındaki yumru verimini azaltırken, uygulanan biyokömür dozlarının ise her üç uygulamada da yumru verimini kontrol gruplarına (%0 BD) göre önemli derecede arttırdığı görülmüştür. TK2 uygulamasında farklı dozlardaki biyokömür artışı ise istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Riad ve ark. (2018), kuraklık stresinin bezelye (*Pisum sativum* L.) bitkisinin kök kuru ağırlığını azalttığını, biyokömür uygulamasının (%1 w/w) ise kontrol gruplarına göre kök kuru ağırlığını arttırdığını tespit etmişlerdir. Abbas ve ark. (2020), mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde yapmış oldukları çalışmada biyokömür uygulamasının (%2 w/v) kontrol grubuna göre kök kuru ağırlığını arttırdığını bildirmişlerdir.

4.1.2. Şeker pancarı bitkisinin makro ve mikro element konsantrasyonları

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin azot (N), fosfor (P) ve potasyum (K) konsantrasyonları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 7.'de verilmiştir.

Çizelge 7. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%)

Kuraklık stresi	BD %	N	P %	K
TK1	0	0.99 ±0.25 ^b	0.73 ±0.00 ^b	4.59 ±0.02 ^{bc}
	0.5	1.69 ±0.03 ^a	1.01 ±0.06 ^a	4.25 ±0.15 ^{cd}
	1	1.59 ±0.03 ^a	0.88 ±0.01 ^a	4.24 ±0.49 ^{cd}
	2	1.39 ±0.00 ^{ab}	0.33 ±0.06 ^{ef}	3.78 ±0.04 ^d
Ortalama		1.42 A	0.74 A	4.21 B
TK2	0	1.02 ±0.15 ^b	0.61 ±0.09 ^{bc}	4.14 ±0.33 ^{cd}
	0.5	1.45 ±0.04 ^{ab}	0.71 ±0.09 ^b	4.45 ±0.00 ^{cd}
	1	1.66 ±0.01 ^a	0.68 ±0.07 ^b	4.22 ±0.07 ^{cd}
	2	1.72 ±0.09 ^a	0.45 ±0.02 ^{de}	4.12 ±0.10 ^{cd}
Ortalama		1.46 A	0.61 B	4.23 B
TK3	0	1.22 ±0.06 ^{ab}	0.52 ±0.02 ^{cd}	4.45 ±0.36 ^c
	0.5	1.25 ±0.49 ^{ab}	0.38 ±0.06 ^{d-f}	5.21 ±0.16 ^a
	1	1.39 ±0.43 ^{ab}	0.35 ±0.11 ^{ef}	5.26 ±0.38 ^a
	2	1.33 ±0.03 ^{ab}	0.29 ±0.01 ^f	5.33 ±0.00 ^a
Ortalama		1.30 A	0.39 C	5.06 A

p<0.05

Çalışma bulguları N konsantrasyonu yönünden incelendiğinde şeker pancarı bitkisinin en yüksek N konsantrasyonu %1.72 N ile TK2 uygulamasının %2 BD'sinde tespit edilirken, bunu %1.69 N ile istatistiki olarak aynı gruba giren TK1 uygulamasının %0.5 BD'si takip etmiştir (Çizelge 7.). Çalışmada biyokömür dozlarının tüm kuraklık stresi uygulamalarında şeker pancarı bitkisinin N konsantrasyonunu kontrole göre arttırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, TK3 uygulamasında BD'ler N konsantrasyonunu arttırmış olsa da istatistiki olarak bu artış önemli bulunmamıştır. Şahin ve ark. (2016), fosfor ile zenginleştirilmiş biyokömürün marul (*Lactuca sativa* L. cv. Maritima) bitkisinin gelişimi ve mineral element konsantrasyonu üzerine olan etkisini araştırmış oldukları çalışmalarında biyokömür uygulamaları ile N konsantrasyonunun arttığını ve en yüksek değerini ikinci üründe %2.04 N ile fosfat ile zenginleştirilmiş biyokömür uygulamasında olduğunu tespit etmişlerdir. Şeker pancarı bitkisi P konsantrasyonu yönünden incelendiğinde en yüksek P konsantrasyonunun %1.01 P ile TK1 uygulamasının %0.5 BD'sinde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada TK1 ve TK2 uygulamasında %2 BD hariç diğer biyokömür dozlarının %0 BD uygulamasına göre bitkinin P konsantrasyonunu artırırken, TK3 uygulamasında tüm BD'ler kontrole göre P konsantrasyonunu azalttığı belirlenmiştir. Hashem ve ark. (2019), yapmış oldukları çalışmada toprak düzenleyicisi olarak kullanılan biyokömürün varlığında kuraklık stresi altında yetiştirilen nohut (*Cicer arietinum* L., cv Giza 531) bitkisinin yeşil aksam ve kökünde azot ve fosfor konsantrasyonlarının önemli bir şekilde azaldığını rapor etmişken, Tanure ve ark. (2019), biyokömür uygulamalarının toprakta suyun tutulması ve mısır bitkisinin büyümesi üzerine etkilerini araştırdıkları çalışmada artan biyokömür uygulamalarının P konsantrasyonunu arttırdığını tespit etmişlerdir. Farklı dozlardaki biyokömür uygulamaları kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin K konsantrasyonuna TK1 ve TK2 uygulamalarında önemli bir etkide bulunmazken, TK3 uygulamasında tüm BD'leri kontrole göre K konsantrasyonunu arttırmış ve en yüksek K konsantrasyonu %5.33 K ile TK3 uygulamasının %2 BD'sinde belirlenmiştir. Çalışmada, TK1 uygulamasında artan biyokömür dozlarının K konsantrasyonunu kontrol grubuna göre azalttığı tespit edilmişken, TK2 uygulamasında %2 BD hariç diğer biyokömür dozları bitkinin K konsantrasyonunu arttırmış ancak bu artış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Sönmez ve Çığ (2019), artan dozdaki biyokömür (kontrol, %5, %10, %20) ve solucan gübresi uygulamalarının (kontrol, %5, %10, %20) buğdayda ve

toprakta besin elementi içeriği üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapmış oldukları çalışmada, artan biyokömür dozlarının kök ve kök üstü kısımlarda potasyum konsantrasyonunu arttırdığını bildirmişlerdir. Çalışmamızda kuraklık stresi altında biyokömür dozlarının şeker pancarı bitkisinde genel olarak N, P ve K konsantrasyonlarını arttırdığı belirlenmiştir. Ortalamalar bakımından Çizelge 7. değerlendirildiğinde, biyokömür uygulamaları kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin N ve K konsantrasyonlarını genel olarak arttırmışken, P konsantrasyonunu azaltmıştır. Gunes ve ark. (2014), tarafından yürütülen benzer bir çalışmada marul (*Lactuca sativa* L. cv.) bitkisinde biyokömür ve fosforca zenginleştirilmiş biyokömür uygulamalarının bitkinin N, P ve K konsantrasyonlarını kontrol uygulamalarına göre arttırdığını bildirmişlerdir.

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin kalsiyum (Ca) ve magnezyum (Mg) konsantrasyonları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 8.'de verilmiştir.

Çizelge 8. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri (%)

Kuraklık stresi	BD %	Ca %	Mg
TK1	0	0.35 ±0.00 ^b	0.81 ±0.11 ^b
	0.5	0.53 ±0.12 ^a	0.89 ±0.02 ^{ab}
	1	0.50 ±0.77 ^{ab}	0.90 ±0.00 ^{ab}
	2	0.49 ±0.18 ^{ab}	0.91 ±0.01 ^{ab}
	Ortalama	0.47 A	0.88 A
TK2	0	0.38 ±0.02 ^{ab}	0.88 ±0.00 ^{ab}
	0.5	0.41 ±0.12 ^{ab}	0.89 ±0.02 ^{ab}
	1	0.44 ±0.49 ^{ab}	0.90 ±0.00 ^{ab}
	2	0.46 ±0.53 ^{ab}	0.93 ±0.03 ^a
	Ortalama	0.42 AB	0.90 A
TK3	0	0.34 ±0.06 ^b	0.90 ±0.00 ^{ab}
	0.5	0.35 ±0.00 ^b	0.90 ±0.01 ^{ab}
	1	0.35 ±0.06 ^b	0.91 ±0.00 ^{ab}
	2	0.43 ±0.30 ^{ab}	0.91 ±0.01 ^{ab}
	Ortalama	0.37 C	0.91 A

p<0.05

Çizelge 8. Ca konsantrasyonu yönünden incelendiğinde, en yüksek Ca konsantrasyonu %0.53 Ca ile TK1 uygulamasının %0.5 BD'sinde belirlenmişken, bunu %0.50 Ca ile TK1 uygulamasının %1 BD'si takip etmiş, en düşük Ca konsantrasyonu ise TK3 uygulamasında %0 BD'sinde belirlenmiştir (%0.34 Ca). Çalışmada TK1, TK2 ve TK3

uygulamalarında tüm BD'ler şeker pancarı bitkisinin Ca konsantrasyonunu kontrole göre önemli derecede arttırmıştır. Çalışmada şeker pancarı bitkisinde en yüksek Mg konsantrasyonu %0.93 Mg ile TK2 uygulamasının %2 BD'sinde, en düşük ise %0.81 Mg ile TK1 uygulamasının %0 BD'sinde saptanmıştır. Langeroodi ve ark. (2019), kabak (*Cucurbita pepo* L.). bitkisine farklı kuraklık stresi (%45, %60, %75 ve %90) ve 4 farklı biyokömür dozu (0, 5, 10 ve 20 t ha⁻¹) uyguladıkları ve verim ile fizyolojik özelliklerine etkilerini araştırdıkları çalışmada Mg konsantrasyonunun artan biyokömür dozlarıyla birlikte arttığını ve en yüksek Mg konsantrasyonunun orta dereceli su stresi altında 20 t ha⁻¹ biyokömür dozunda olduğunu bildirmişlerdir. Namlı ve ark. (2017), tarımsal atıklardan elde edilen biyokömürün buğday bitkisinin gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkilerini inceledikleri çalışmalarında toprağa uygulanan biyokömürün danenin Mg konsantrasyonunu arttırdığını bildirmişlerdir. Genel ortalamalar bakımından Çizelge 8. değerlendirildiğinde, her ne kadar Ca konsantrasyonu artan biyokömür dozlarıyla birlikte kontrol uygulamasına göre artış göstermiş olsa da, kuraklık stresi uygulamalarına bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Mg konsantrasyonunda ise biyokömür uygulamaları kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Mg konsantrasyonunu az da olsa arttırmıştır.

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn) ve bakır (Cu) konsantrasyonu üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 9.'da verilmiştir.

Çizelge 9. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg)

Kuraklık stresi	BD	Fe	Zn	Mn	Cu
	%	mg/kg			
TK1	0	538.2 ±340 ^a	20.5 ±1.97 ^{ab}	73.9 ±3.25 ^{de}	3.5 ±0.32 ^f
	0.5	479.8 ±101 ^{ab}	21.7 ±1.20 ^{ab}	106.8 ±18.8 ^{a-c}	12.4 ±0.48 ^a
	1	358.4 ±91.1 ^{ab}	21.8 ±2.37 ^{ab}	48.0 ±5.02 ^{ef}	10.9 ±0.98 ^{ab}
	2	328.2 ±53.4 ^{ab}	25.5 ±1.90 ^a	30.2 ±0.00 ^f	9.4 ±0.17 ^b
Ortalama		426.16 A	22.39 A	64.75 C	9.01 A
TK2	0	582.1 ±0.00 ^a	17.4 ±0.14 ^{ab}	116.6 ±12.4 ^{a-c}	10.8 ±0.00 ^{ab}
	0.5	580.2 ±0.00 ^a	15.7 ±0.28 ^b	111.1 ±10.1 ^{a-c}	6.6 ±1.80 ^{cd}
	1	410.9 ±217 ^{ab}	16.1 ±0.28 ^{ab}	119.4 ±1.13 ^{ab}	6.5 ±1.96 ^{c-e}
	2	331.9 ±75.1 ^{ab}	22.7 ±2.40 ^{ab}	127.9 ±28.0 ^a	5.2 ±0.18 ^{d-f}
Ortalama		476.27 A	17.97 B	118.75 A	7.27 B
TK3	0	513.6 ±70.8 ^a	14.4 ±5.16 ^b	154.3 ±1.55 ^a	5.4 ±0.84 ^{de}
	0.5	288.9 ±63.3 ^{ab}	17.0 ±9.32 ^{ab}	107.2 ±8.13 ^{a-c}	4.6 ±0.21 ^{ef}
	1	172.9 ±20.5 ^b	14.6 ±2.61 ^b	91.9 ±13.0 ^{b-d}	6.0 ±0.84 ^{c-e}
	2	510.4 ±136 ^a	13.4 ±0.91 ^b	87.9 ±3.67 ^{cd}	7.4 ±0.21 ^c
Ortalama		371.47 A	14.87 B	110.32 B	5.85 C

p<0.05

Şeker pancarı bitkisinde en yüksek Fe konsantrasyonu 582.1 mg/kg Fe ile TK2 uygulamasının %0 BD'sinde tespit edilmiştir. Bu uygulamayı 580.2 mg/kg Fe ile istatistiki olarak aynı gruba giren yine TK2 uygulamasında %0.5 BD takip etmiştir. Bununla birlikte bütün kuraklık stresi uygulamalarında Fe konsantrasyonları artan biyokömür dozları ile birlikte kontrol gruplarına göre azalma göstermiştir. Sonuçlarımıza benzer olarak Gunes ve ark. (2014), tarafından yapılan çalışmada da biyokömür uygulamaları ile Fe konsantrasyonunun azaldığı bildirilmiştir. Çalışmada şeker pancarı bitkisinde en yüksek Zn konsantrasyonu 25.5 mg/kg Zn ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde belirlenmiştir. TK1 uygulamasında tüm BD'ler kontrole göre bitkinin Zn konsantrasyonunu arttırmışken, TK2 ve TK3 uygulamalarında BD'ler önemli bir etkide bulunmamıştır. Mn konsantrasyonu değerlendirildiğinde 154.3 mg/kg Mn ile en yüksek TK3 uygulamasının %0 BD'sinde tespit edilmişken, 30.2 mg/kg Mn ile en düşük TK1 uygulamasında %2 BD'sinde belirlenmiştir. Çalışmada genel olarak BD'ler kuraklık stresi altında yetiştirilen bitkinin Mn konsantrasyonunu TK2 uygulaması hariç azaltmıştır. Çalışmada genel olarak kontrol gruplarına göre artış gösteren Cu elementinin en yüksek konsantrasyonu 12.4 mg/kg Cu ile TK1 uygulamasının %0.5 BD'sinde belirlenmiştir. Ortalamalar bakımından mikro element konsantrasyonları değerlendirildiğinde, biyokömür uygulamaları Fe konsantrasyonunu sadece TK2

uygulamasında arttırmışken, Mn konsantrasyonunu ise tüm kuraklık uygulamalarında arttırmıştır. Inal ve ark. (2015), fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ve mısır (*Zea mays*) bitkisinde yaptıkları çalışmada tavuk gübresi (0, 5, 10 ve 20 g/kg) ve biyokömür uygulamalarının (0, 2.5, 5, 10 ve 20 g/kg) hem toprağın hem de bitkilerin Zn, Cu ve Mn konsantrasyonlarını arttırdığını bildirmişlerdir.

4.1.3. Şeker pancarı yumrusunun makro ve mikro element konsantrasyonları

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki N, P ve K konsantrasyonları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 10.'da verilmiştir.

Çizelge 10. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%)

Kuraklık stresi	BD %	N	P %	K
TK1	0	0.72 ±0.14 ^a	0.65 ±0.01 ^a	1.33 ±0.01 ^a
	0.5	0.94 ±0.19 ^a	0.46 ±0.00 ^{bc}	1.03 ±0.02 ^{cd}
	1	1.10 ±0.05 ^a	0.36 ±0.05 ^c	1.02 ±0.02 ^{cd}
	2	0.80 ±0.05 ^a	0.23 ±0.01 ^d	0.98 ±0.05 ^d
	Ortalama	0.89 AB	0.43 B	1.09 B
TK2	0	0.73 ±0.14 ^a	0.53 ±0.05 ^b	1.03 ±0.01 ^{cd}
	0.5	0.93 ±0.23 ^a	0.51 ±0.00 ^b	1.17 ±0.03 ^b
	1	0.79 ±0.12 ^a	0.51 ±0.04 ^b	1.17 ±0.01 ^b
	2	0.78 ±0.06 ^a	0.39 ±0.02 ^c	1.21 ±0.00 ^b
	Ortalama	0.81 B	0.49 A	1.15 A
TK3	0	1.01 ±0.24 ^a	0.35 ±0.07 ^{cd}	1.32 ±0.04 ^a
	0.5	1.26 ±0.19 ^a	0.71 ±0.06 ^a	1.31 ±0.01 ^a
	1	1.06 ±0.76 ^a	0.51 ±0.04 ^b	1.06 ±0.04 ^c
	2	1.04 ±0.14 ^a	0.38 ±0.03 ^c	0.98 ±0.01 ^{cd}
	Ortalama	1.09 A	0.49 A	1.17 A

p<0.05

Çalışma bulguları N konsantrasyonu yönünden incelendiğinde; kuraklık stresi uygulamalarında tüm BD'lerin şeker pancarı yumrularında N konsantrasyonunu kontrole göre arttırdığı belirlenmiştir (Çizelge 10.). Çalışmada en yüksek N konsantrasyonu %1.26 N ile TK3 uygulamasının %0.5 BD'sinde tespit edilirken, en düşük N konsantrasyonu ise %0.72 N ile TK1 uygulamasının %0 BD'sinde belirlenmiştir. TK1 uygulamasında en yüksek N konsantrasyonu %1.10 N ile %1 BD'de, en düşük ise %0.72 N ile %0 BD'de tespit edilmiştir. TK1 uygulamasının %2 BD'sinde (%0.80 N) N konsantrasyonu kontrole

göre daha yüksek bulunmuş olsa da, aynı uygulamanın %0.5 BD (%0.94 N) ve %1 BD'lerine (%1.10 N) göre daha düşük konsantrasyonda kalmıştır. TK2 uygulamasında en yüksek N konsantrasyonu %0.93 N ile %0.5 BD'de tespit edilmiştir. TK2 uygulamasında artan biyokömür dozları N konsantrasyonunu kontrol grubuna göre arttırsa da, %1 BD (%0.79 N) ve %2 BD'leri (%0.78 N) %0.5 BD'ye (%0.93 N) göre düşük bulunmuştur. Çalışmada TK2 uygulamasına benzer sonuçlar TK3 uygulamasında da belirlenip, en yüksek N konsantrasyonu %0.5 BD'de %1.26 N olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisine uygulanan farklı biyokömür dozlarının bitkinin N konsantrasyonunda meydana getirdiği değişim istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Hashem ve ark. (2019), kuraklık stresi altındaki nohut (*Cicer arietinum* L., cv Giza 531) bitkisinde N konsantrasyonunun kuraklık stresi (%50) ile azaldığını, biyokömür uygulamasıyla (%3 w/w) ise N konsantrasyonunun kontrol grubuna göre arttığını bildirmişlerdir. Abbas ve ark. (2020), yapmış oldukları çalışmada biyokömürün mısır (*Zea mays* L.) bitkisinin kökteki N konsantrasyonunu arttırdığını rapor etmişlerdir. Şeker pancarı yumrusundaki P konsantrasyonu şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam sonuçları ile farklılık göstermiştir. Şeker pancarı bitkisinde P konsantrasyonu, TK1 ve TK2 uygulamalarında genel olarak artarken, TK3 uygulamasında ise azalmıştır. Şeker pancarı yumrusunda ise P konsantrasyonu TK1 ve TK2 uygulamalarında kontrol gruplarına göre azalırken, TK3 uygulamasında ise artmıştır. Çalışmada P konsantrasyonu kuraklık stresi uygulamaları ile azalırken, biyokömür dozları ise sadece TK3 uygulamasında P konsantrasyonunu arttırmıştır. Fosfor konsantrasyonu en yüksek %0.71 P ile TK3 uygulamasının %0.5 BD'sinde tespit edilirken, bunu %0.65 P ile istatistiki olarak aynı grube giren TK1 uygulamasının %0 BD'si takip etmiştir. Şeker pancarı yumrusunda en düşük P konsantrasyonu ise %0.23 P ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde olduğu belirlenmiştir. Kılıçaslan ve ark. (2020), fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisinde, kuraklık stresinin (%100, %80 ve %60) P konsantrasyonunda azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir. Kuraklık stresi uygulamalarının bitki besin elementlerinde K konsantrasyonunu azalttığı, farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının ise sadece TK2 uygulamasında K konsantrasyonunu arttırdığı tespit edilmiştir. Şeker pancarı yumrusunda en yüksek K konsantrasyonu %1.33 K ile TK1 uygulamasının %0 BD'sinde tespit edilirken, bunu %1.32 K ile TK3 uygulamasının %0 BD'si takip etmiştir. Kabay ve Şensoy (2016), kuraklık stresinin 0.,

2., 4., ve 8., günlerde bazı fasulye genotiplerinde (kuraklık stresine tolerant Yakutiye ve V-a1 ile kuraklık stresine duyarlı Zulbiye ve T7) oluşturduğu değişimleri inceledikleri araştırmada kuraklık stresinin bitkilerin kök bölgesindeki K içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir. Genel ortalamalar bakımından değerlendirildiğinde, yumrudaki N, P ve K konsantrasyonları kuraklık stresi uygulamalarıyla genel olarak artmıştır.

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 11.'de verilmiştir.

Çizelge 11. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri (%)

Kuraklık stresi	BD	Ca	Mg
	%	%	
TK1	0	0.59 ±0.02 ^a	0.31 ±0.00 ^{ab}
	0.5	0.55 ±0.01 ^{ab}	0.23 ±0.00 ^{bc}
	1	0.42 ±0.01 ^{cd}	0.21 ±0.00 ^{bc}
	2	0.48 ±0.01 ^{b-d}	0.21 ±0.04 ^{bc}
	Ortalama	0.51 A	0.24 A
TK2	0	0.46 ±0.01 ^{cd}	0.30 ±0.05 ^{ab}
	0.5	0.50 ±0.03 ^{bc}	0.25 ±0.02 ^{bc}
	1	0.42 ±0.02 ^{cd}	0.25 ±0.05 ^{bc}
	2	0.41 ±0.03 ^d	0.25 ±0.04 ^{bc}
	Ortalama	0.45 B	0.26 A
TK3	0	0.42 ±0.01 ^{cd}	0.28 ±0.01 ^{ab}
	0.5	0.43 ±0.06 ^{cd}	0.38 ±0.00 ^a
	1	0.44 ±0.03 ^{cd}	0.23 ±0.04 ^{bc}
	2	0.49 ±0.04 ^{b-d}	0.17 ±0.06 ^c
	Ortalama	0.45 B	0.27 A

p<0.05

Çizelge 11. Ca konsantrasyonu yönünden incelendiğinde kuraklık stresi uygulamalarının yumruda Ca konsantrasyonunu azalttığı tespit edilmiştir. Şeker pancarı yumrusunda en yüksek Ca konsantrasyonu %0.59 Ca ile TK1 uygulamasının %0 BD'sinde, en düşük Ca konsantrasyonu ise %0.41 Ca ile TK2 uygulamasının %2 BD'sinde belirlenmiştir. Çalışmada Ca konsantrasyonu TK1 uygulamasında biyokömür dozlarının tamamında kontrole göre azalmışken, TK3 uygulamasında ise artmıştır. TK2 uygulamasında ise sadece %0.5 BD'de (%0.50 Ca) Ca konsantrasyonu kontrole göre artış göstermiştir. Çalışma bulgularına göre kuraklık stresi uygulamaları şeker pancarı yumrusundaki Mg konsantrasyonunu TK3 uygulamasının %0.5 BD'si hariç azaltmıştır. Magnezyum

konsantrasyonu en yüksek %0.38 Mg ile TK3 uygulamasının %0.5 BD'sinde, en düşük Mg konsantrasyonu ise %0.17 Mg ile aynı uygulamanın %2 BD'sinde olduğu belirlenmiştir. Sönmez ve Çığ (2019), farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının buğday bitkisinde Ca konsantrasyonunu %5 biyokömür dozunda arttırdığı, %10 ve %20 biyokömür dozlarında ise Ca konsantrasyonunun kontrol grubuna göre azaldığını, bununla birlikte Mg konsantrasyonunun da artan biyokömür dozlarıyla birlikte azaldığını bildirmişlerdir. Genel ortalamalar değerlendirildiğinde, biyokömür dozları TK1, TK2 ve TK3 uygulamalarında yumrudaki Ca konsantrasyonunu azaltmışken, Mg konsantrasyonunu ise arttırmıştır.

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 12.'de verilmiştir.

Çizelge 12. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg)

Kuraklık stresi	BD %	Fe	Zn	Mn	Cu
		mg/kg			
TK1	0	84.75 ±4.65 ^a	18.35 ±2.05 ^{ab}	22.65 ±1.35 ^{f-g}	11.79 ±1.15 ^{cd}
	0.5	77.70 ±0.30 ^{ab}	18.85 ±2.05 ^{ab}	27.75 ±1.05 ^{b-d}	12.48 ±0.00 ^{bc}
	1	77.85 ±5.25 ^{ab}	18.50 ±0.60 ^{ab}	25.50 ±0.40 ^{c-f}	17.57 ±3.07 ^{ab}
	2	74.55 ±3.45 ^b	21.85 ±0.25 ^a	25.20 ±0.20 ^{d-f}	18.26 ±2.08 ^a
Ortalama		78.71 A	19.39 A	25.28 C	15.03 A
TK2	0	63.60 ±1.69 ^{c-e}	11.55 ±0.05 ^b	29.55 ±0.35 ^{ab}	10.75 ±1.04 ^{cd}
	0.5	69.45 ±1.95 ^{bc}	11.93 ±1.26 ^b	27.40 ±1.10 ^{b-e}	11.79 ±0.01 ^{cd}
	1	69.20 ±5.82 ^{bc}	13.27 ±2.95 ^b	28.75 ±0.45 ^{a-c}	12.14 ±0.57 ^{bc}
	2	76.80 ±1.80 ^{ab}	18.80 ±1.46 ^{ab}	27.55 ±0.15 ^{b-e}	22.20 ±1.15 ^a
Ortalama		69.76 B	13.89 B	28.31 A	14.22 A
TK3	0	54.90 ±0.30 ^e	13.10 ±1.86 ^b	21.35 ±0.65 ^g	6.24 ±0.92 ^d
	0.5	59.70 ±0.10 ^{de}	13.17 ±4.53 ^b	31.55 ±1.45 ^a	7.09 ±2.47 ^{cd}
	1	62.40 ±0.00 ^{c-e}	14.93 ±3.43 ^{ab}	28.90 ±1.60 ^{a-c}	10.17 ±3.47 ^{cd}
	2	64.65 ±2.85 ^{cd}	16.87 ±0.05 ^{ab}	24.25 ±0.95 ^{e-g}	10.40 ±1.47 ^{cd}
Ortalama		60.41 C	14.52 B	26.51 B	8.48 B

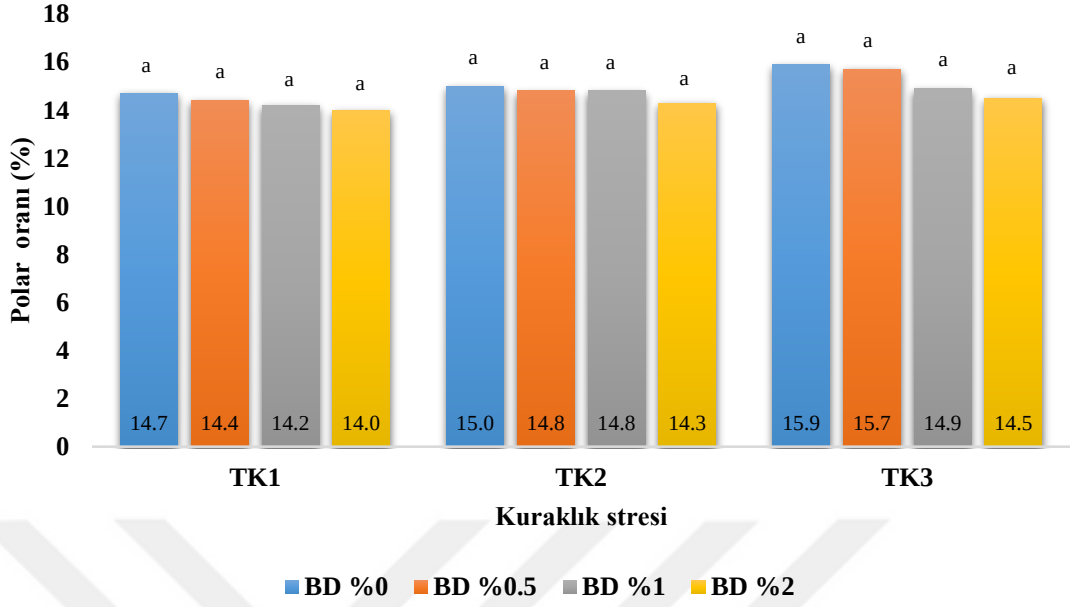
p<0.05

Şeker pancarı yumruları mikro element konsantrasyonları yönünden incelendiğinde, şeker pancarı yumrularında TK1 uygulaması hariç diğer uygulamalarda BD'lerin Fe konsantrasyonunu arttırdığı belirlenmiştir (Çizelge 12.). En yüksek Fe konsantrasyonu 84.75 mg/kg Fe ile TK1 uygulamasının %0 BD'sinde, en düşük ise 54.90 mg/kg Fe ile

TK3 uygulamasının %0 BD'sinde bulunmuştur. Çalışmada tüm kuraklık stresi uygulamalarında BD'ler yumrudaki Zn konsantrasyonunu kontrole göre arttırmış ve en yüksek Zn konsantrasyonu 21.85 mg/kg Zn ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde belirlenirken, en düşük ise 11.55 mg/kg Zn ile TK2 uygulamasının %0 BD'sinde tespit edilmiştir. Kuraklık stresi uygulamalarının Mn konsantrasyonuna olan etkisi incelendiğinde, TK1 ve TK3 uygulamalarında biyokömür dozları Mn konsantrasyonunu kontrol gruplarına göre arttırırken, TK2 uygulamasında ise azaltmıştır. Mn konsantrasyonu en yüksek 31.55 mg/kg Mn ile TK3 uygulamasının %0.5 BD'sinde, en düşük ise 21.35 mg/kg Mn ile TK3 uygulamasının %0 BD'sinde belirlenmiştir. Şeker pancarı yumrusunda Cu konsantrasyonu tüm kuraklık stresi uygulamalarında BD'ler ile artmıştır. TK2 uygulamasının %2 BD'sinde en yüksek Cu konsantrasyonu 22.20 mg/kg Cu ile tespit edilirken, en düşük Cu konsantrasyonu ise 6.24 mg/kg Cu ile TK3 uygulamasının %0 BD'sinde belirlenmiştir. Sönmez ve Çığ (2019), artan dozlarda biyokömür uygulamalarının buğday bitkisinin kök kısmında Fe konsantrasyonunu azalttığı, Zn ve Cu konsantrasyonlarını arttırdığı, Mn konsantrasyonunu ise %5 biyokömür dozunda kontrole göre arttırdığı %10 ve %20 biyokömür dozlarında ise azalttığını bildirmişlerdir. Çalışmada genel ortalamalar değerlendirildiğinde Mn hariç Fe, Zn ve Cu konsantrasyonlarının kuraklık stresi uygulamalarına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 12.).

4.1.4. Şeker pancarı bitkisinde polar oranı

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinde polar oranı üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Şekil 4.3.'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinde polar oranı üzerine etkisi (%)

Kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrusunun polar oranları değerlendirildiğinde, tüm kuraklık stresi uygulamalarında artan BD'lere paralel olarak polar oranının da azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.3.). Bununla birlikte, kuraklık stresinin şiddeti arttıkça (TK2 ve TK3) şeker pancarı yumrusunun polar oranı da artmıştır. Şeker pancarı yumrusunda en yüksek polar oranı %15.9 ile TK3 uygulamasının %0 BD'sinde, en düşük polar oranı ise %14.0 ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde tespit edilmiştir. Çalışmada TK1 uygulamasında polar oranı artan biyokömür dozları ile birlikte azalmış, en yüksek polar oranı %14.7 ile %0 BD'de, en düşük polar oranı %14.0 ile %2 BD'de bulunmuştur. Kuraklık stresi uygulamalarından TK2 uygulamasında ise en yüksek polar oranı %0 BD'de %15.0 ile tespit edilirken, en düşük %14.3 ile %2 BD'de belirlenmiştir. Çalışmada en yüksek polar oranının bulunduğu TK3 uygulanmasında ise en yüksek polar oranı %15.9 ile %0 BD'de tespit edilirken, bunu %15.7 ile %0.5 BD, %14.9 ile %1 BD ve %14.5 ile %2 BD takip etmiştir. Kuraklık stresi altında şeker pancarı yumrusunda meydana gelen değişimler istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Kılıçaslan ve ark. (2020), kuraklık stresi altında fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisinde sakkaroz içeriğinin arttığını bildirmişlerdir. Hafez ve ark. (2020), kuraklık stresleri altında (%100, %80 ve %60) arpa (*Hordeum vulgare* L. var. Giza123) bitkisinde çözünebilir şeker sukroz

içeriklerinin arttırdığı, kuraklık stresine ilave olarak farklı dozlarda uygulanan biyokömürün ise çözünebilir şeker ve sukroz içeriklerini azalttığını belirlemişlerdir.

4.1.5. Şeker pancarı bitkisinde antioksidan enzim aktiviteleri

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinde bazı antioksidan enzim aktiviteleri (katalaz (CAT), peroksidaz (POD) ve askorbat peroksidaz (APX) üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 13.'de verilmiştir.

Çizelge 13. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin CAT, POD ve APX enzim aktiviteleri üzerine etkileri (EU g/yaprak)

Kuraklık stresi	BD %	CAT	POD EU g/yaprak	APX
TK1	0	111.81 ±16.6 ^{a-c}	0.56 ±0.00 ^a	2.45 ±0.95 ^a
	0.5	78.09 ±24.2 ^c	0.36 ±0.15 ^a	2.42 ±0.07 ^a
	1	76.82 ±46.8 ^c	0.26 ±0.07 ^a	2.81 ±0.01 ^a
	2	76.31 ±56.2 ^c	0.34 ±0.00 ^a	1.79 ±0.25 ^a
Ortalama		85.76 B	0.38 B	2.37 A
TK2	0	181.79 ±13.2 ^{ab}	0.56 ±0.00 ^a	2.56 ±0.00 ^a
	0.5	165.81 ±32.2 ^{a-c}	0.50 ±0.23 ^a	2.49 ±0.36 ^a
	1	120.56 ±25.7 ^{a-c}	0.49 ±0.18 ^a	2.13 ±0.03 ^a
	2	94.06 ±37.7 ^{bc}	0.44 ±0.28 ^a	1.21 ±0.50 ^a
Ortalama		140.56 B	0.50 B	2.10 A
TK3	0	201.31 ±24.5 ^a	0.83 ±0.00 ^a	2.62 ±0.52 ^a
	0.5	140.71 ±40.3 ^{a-c}	0.81 ±0.21 ^a	2.26 ±0.22 ^a
	1	139.95 ±31.1 ^{a-c}	0.74 ±0.62 ^a	2.46 ±1.32 ^a
	2	137.67 ±12.9 ^{a-c}	0.74 ±0.06 ^a	1.66 ±0.46 ^a
Ortalama		154.91 A	0.78 A	2.25 A

p<0.05

Çalışmada hidrojen peroksiti suya ve moleküler oksijene katalizleyen CAT enzim aktivitesinin artan kuraklık stresi uygulamalarıyla birlikte arttığı, farklı biyokömür dozlarında ise azalma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Şeker pancarı bitkisinde en yüksek CAT enzim aktivitesi 201.31 EU/g yaprak ile TK3 uygulamasının %0 BD'sinde, en düşük CAT enzim aktivitesi ise 76.31 EU/g yaprak ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde tespit edilmiştir. Çalışmada en düşük CAT enzim aktivitesinin belirlendiği TK1 uygulamasında, en yüksek CAT enzim aktivitesi 111.81 EU/g yaprak ile %0 BD'de, en düşük CAT enzim aktivitesi ise 76.31 EU/g yaprak ile %2 BD'de belirlenmiştir. CAT

enzim aktivitesi TK2 uygulamasında en yüksek 181.79 EU/g yaprak ile %0 BD'de belirlenirken, bunu sırasıyla %0.5 BD (165.81 EU/g yaprak), %1 BD (120.56 EU/g yaprak) ve %2 BD (94.06 EU/g yaprak) takip etmiştir. CAT enzim aktivitesinin en yüksek olduğu TK3 uygulamasında da TK1 ve TK2 uygulamalarında olduğu gibi artan biyokömür dozları CAT enzim aktivitesini azaltmıştır. TK3 uygulamasında en yüksek CAT enzim aktivitesi %0 BD'de (201.31 EU/g yaprak) en düşük CAT enzim aktivitesinin ise %2 BD'de (137.67 EU/g yaprak) tespit edilmiştir. CAT enzim aktivitesi ortalamalar bakımından değerlendirildiğinde TK3 uygulamasına göre, TK1 ve TK2 uygulamalarında meydana gelen değişim istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Wang ve ark. (2014), biyokömür uygulamalarının antioksidan enzim aktivitelerini önemli ölçüde etkilediğini bildirmişlerdir. Çalışmadaki sonuçlara benzer sonuçları, Seleiman ve ark. (2019), yapmış oldukları çalışmada 3 farklı kuraklık stresi (%50 (stres yok), %70 (orta stres) ve %90 (şiddetli stres)) altında yetiştirdikleri ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisine uyguladıkları biyokömürün; kuraklık stresi ile kontrol gruplarına göre artış gösteren CAT enzim aktivitelerinde azalma gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Hidrojen peroksidin temizlenmesinde görev alan POD enzim aktivitesi, kuraklık stresi ile birlikte artış gösterirken, CAT enzim aktivitesine benzer şekilde uygulanan biyokömür dozlarıyla azaldığı tespit edilmiştir. En yüksek POD enzim aktivitesi 0.83 EU/g yaprak ile TK3 uygulamasının %0 BD'sinde, en düşük POD enzim aktivitesi ise 0.26 EU/g yaprak ile TK1 uygulamasının %1 BD'sinde olduğu bulunmuştur. Çalışmada TK1 uygulamasının en yüksek POD enzim aktivitesi 0.56 EU/g yaprak ile %0 BD'de olduğu belirlenmiştir. Şeker pancarı bitkisinin TK2 uygulamasında en yüksek POD enzim aktivitesi 0.56 EU/g yaprak ile %0 BD'de gözlenmişken, bunu 0.50 EU/g yaprak ile %0.5 BD takip etmiştir. POD enzim aktivitesi TK3 uygulamasında en yüksek 0.83 EU/g yaprak ile %0 BD'de, en düşük ise 0.74 EU/g yaprak ile %1 BD ve %2 BD'de tespit edilmiştir. Kuraklık stresi altında farklı biyokömür dozlarında şeker pancarı bitkisinin POD enzim aktivitesinde meydana gelen değişim istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. POD enzim aktivitesiyle ilgili yapılan birçok çalışmada, çalışmamızda elde edilen sonuçlara benzer sonuçlar alınmıştır. Silambarasan ve ark. (2019), marul (*Lactuca sativa*) bitkisinde uygulanan kuraklık stresi (%60 tarla kapasitesi) altında POD enzim aktivitelerinin artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Kılıçaslan ve ark. (2020), 3 farklı kuraklık stresinin (%100

(tam sulama), %80 tarla kapasitesi ve %60 tarla kapasitesi) fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisinde POD enzim aktivitesinin tam sulamaya göre %80 sulamada arttırdığını, %60 sulamada ise azalttığını tespit etmişlerdir.

Çalışmamızda genel olarak farklı biyokömür dozları kontrole göre APX enzim aktivitesini azaltırken, kuraklık stresi uygulamaları ise APX enzim aktivitesini arttırmıştır. Şeker pancarı bitkisinde en yüksek APX enzim aktivitesi 2.81 EU/g yaprak ile TK1 uygulamasının %1 BD'sinde, en düşük APX enzim aktivitesi ise 1.21 EU/g yaprak ile TK2 uygulamasının %2 BD'sinde tespit edilmiştir. TK1 uygulamasında ise %1 BD'de APX enzim aktivitesi kontrole göre artış göstermiştir. Askorbat peroksidaz enzim aktivitesi TK1 uygulamasında 2.45 EU/g yaprak ile %0 BD'de, 2.42 EU/g yaprak ile %0.5 BD'de, 2.81 EU/g yaprak ile %1 BD'de ve 1.79 EU/g yaprak %2 BD'de bulunmuştur. APX enzim aktivitesi kontrole göre TK2 ve TK3 uygulamalarında artan biyokömür uygulamaları birlikte azalmıştır. TK2 uygulamasında en yüksek APX enzim aktivitesi 2.56 EU/g yaprak ile %0 BD'de, en düşük APX enzim aktivitesi ise 1.21 EU/g yaprak ile %2 BD'de tespit edilmiştir. Askorbat peroksidaz enzim aktivitesinde meydana gelen değişimler istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Yaban ve Kabay (2019), kuraklık stresi altındaki Urfa biberi bitkisinde CAT ve APX enzim aktivitelerinde artış olduğunu bildirmişlerdir.

4.1.6. Şeker pancarı bitkisinde klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karetonoid miktarları

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 14.'de verilmiştir.

Çizelge 14. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları üzerine etkileri (mg/g)

Kuraklık stresi	BD %	Klorofil a	Klorofil b mg/g	Toplam klorofil	Karotenoid
TK1	0	0.53 ±0.13 ^{ab}	0.24 ±0.08 ^a	0.77 ±0.21 ^b	0.14 ±0.05 ^{ab}
	0.5	0.85 ±0.53 ^{ab}	0.26 ±0.07 ^a	1.11 ±0.59 ^{ab}	0.21 ±0.06 ^{ab}
	1	0.90 ±0.08 ^{ab}	0.35 ±0.03 ^a	1.25 ±0.08 ^{ab}	0.23 ±0.00 ^{ab}
	2	1.42 ±0.77 ^a	0.40 ±0.03 ^a	1.82 ±0.74 ^a	0.30 ±0.09 ^a
Ortalama		0.93 A	0.31 A	1.24 A	0.22 A
TK2	0	0.48 ±0.16 ^b	0.22 ±0.05 ^a	0.70 ±0.17 ^b	0.11 ±0.01 ^b
	0.5	0.49 ±0.19 ^b	0.24 ±0.05 ^a	0.73 ±0.12 ^b	0.12 ±0.02 ^b
	1	0.75 ±0.21 ^{ab}	0.30 ±0.01 ^a	1.05 ±0.18 ^{ab}	0.14 ±0.09 ^{ab}
	2	0.80 ±0.05 ^{ab}	0.30 ±0.04 ^a	1.10 ±0.06 ^{ab}	0.19 ±0.00 ^{ab}
Ortalama		0.63 AB	0.27 A	0.90 B	0.14 B
TK3	0	0.43 ±0.03 ^b	0.22 ±0.12 ^a	0.65 ±0.14 ^b	0.10 ±0.02 ^b
	0.5	0.47 ±0.19 ^b	0.25 ±0.12 ^a	0.72 ±0.19 ^b	0.12 ±0.03 ^b
	1	0.71 ±0.34 ^{ab}	0.26 ±0.09 ^a	0.97 ±0.38 ^{ab}	0.15 ±0.12 ^{ab}
	2	0.75 ±0.17 ^{ab}	0.29 ±0.12 ^a	1.04 ±0.30 ^{ab}	0.18 ±0.04 ^{ab}
Ortalama		0.59 C	0.26 A	0.85 B	0.14 B

p<0.05

Şeker pancarı bitkisindeki klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları bakımından bulgular değerlendirildiğinde; kuraklık stresinin belirtilen parametreleri azalttığı, artan dozlarda biyokömür uygulamalarının ise arttırdığı görülmüştür. Klorofil a miktarının en yüksek değerinin TK1 uygulamasının %2 BD'sinde (1.42 mg/g), en düşük değerinin ise TK3 uygulamasının %0 BD'sinde (0.43 mg/g) olduğu belirlenmiştir. Benzer sonuçlar klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarında da görülmüştür. Çalışmadaki en yüksek klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları TK1 uygulamasının %2 BD'sinde belirlenirken, en düşük miktarları ise TK3 uygulamasının %0 BD'sinde tespit edilmiştir. TK1 uygulamasında en düşük klorofil a miktarının 0.53 mg/g ile %0 BD'de, en yüksek klorofil a miktarını ise 1.42 mg/g ile %2 BD'de olduğu belirlenmiştir. TK1 uygulamasında klorofil b miktarı, klorofil a miktarında olduğu gibi en yüksek %2 BD'de (0.40 mg/g), en düşük ise %0 BD'de (0.24 mg/g) tespit edilmiştir. Biyokömür dozlarıyla artış gösteren toplam klorofil miktarı TK1 uygulamasında en yüksek 1.82 mg/g ile %2 BD'de, en düşük 0.77 mg/g ile %0 BD'de tespit edilmiştir. TK 1 uygulamasında en düşük karotenoid miktarları diğer parametrelere benzer şekilde %0 BD'de (0.14 mg/g), en yüksek karotenoid miktarı ise %2 BD'de (0.30 mg/g) belirlenmiştir. TK2 uygulamasında en yüksek klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları %2 BD'de

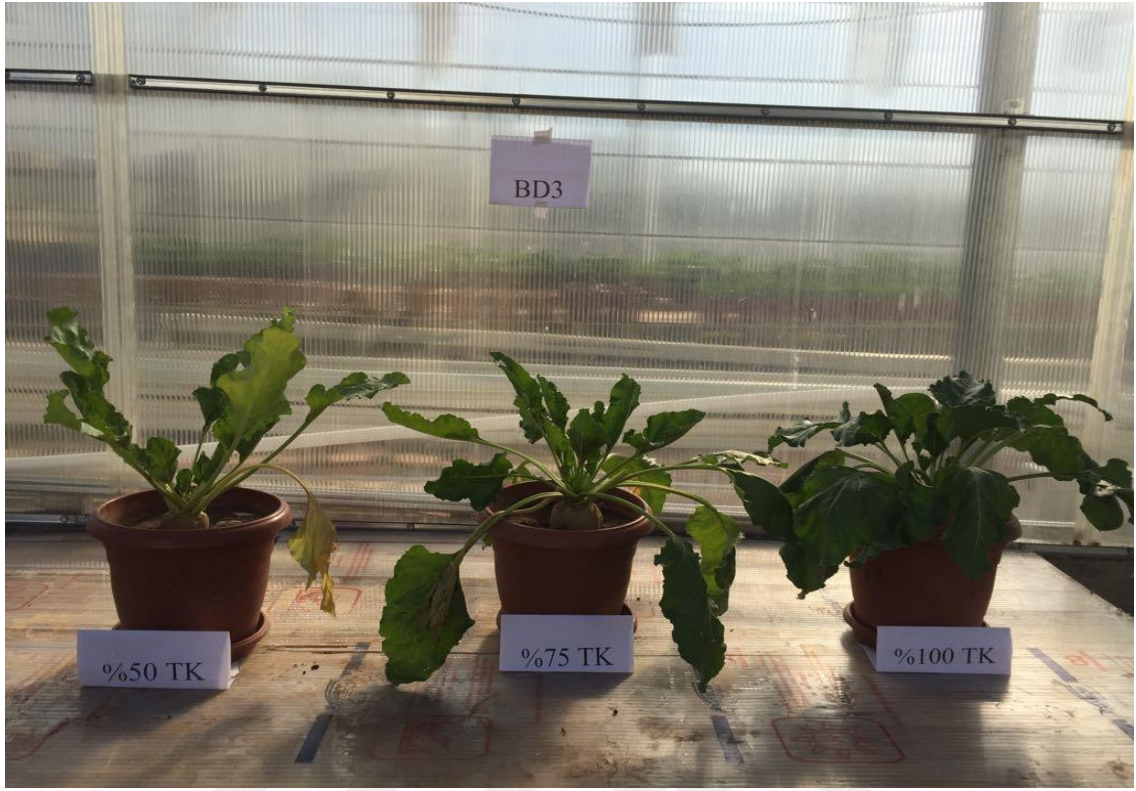
(sırasıyla 0.80, 0.30, 1.10 ve 0.19 mg/g) en düşük miktarları ise %0 BD’de (sırasıyla 0.48, 0.22, 0.70 ve 0.11 mg/g) tespit edilmiştir. Çalışmada en düşük klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları TK3 uygulamasında belirlenmiştir. TK3 uygulamasında klorofil a miktarı %0 BD’de 0.43 mg/g, %0.5 BD’de 0.47 mg/g, %1 BD’de 0.71 mg/g ve %2 BD’de ise 0.75 mg/g olarak belirlenmiştir. TK 3 uygulamasında en yüksek klorofil b miktarı %2 BD’de 0.29 mg/g ile tespit edilmişken bu uygulamayı 0.26 mg/g ile %1 BD takip etmiştir. Klorofil a ve klorofil b miktarlarındaki değişimlere bağlı olarak TK3 uygulamasında en yüksek toplam klorofil miktarı %2 BD’de (1.04 mg/g), en düşük toplam klorofil miktarı ise %0 BD’de (0.65 mg/g) tespit edilmiştir. TK3 uygulamasında karotenoid miktarı artan biyokömür dozlarıyla birlikte artış gösterirken en düşük karotenoid miktarı %0 BD’de (0.10 mg/g), en yüksek karotenoid miktarı ise %2 BD’de (0.18 mg/g) olduğu belirlenmiştir. Çalışmada artan biyokömür dozlarının kuraklık stresi ile azalan klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarını arttırdığı tespit edilmiştir. Kuraklık stresi altındaki şeker pancarı bitkisinde klorofil a’nın ortalama değerleri incelendiğinde meydana gelen değişim istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Farklı biyokömür dozlarıyla artış gösteren klorofil b’deki bu artış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Bagheri ve ark. (2020), kuraklık stresi altında (%100, %85 ve %60) kavun (*Cucumis melo* L.) bitkisinde yapmış oldukları çalışmada klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarlarının kuraklık stresi uygulamaları ile azaldığı, artan dozlarda biyokömür uygulamalarıyla (0, 150, 300 ve 450 g) ise belirtilen parametrelerin arttığını bildirmişlerdir. Danish ve Zafar-ul-Hye (2019), buğday bitkisinde kuraklık stresi uygulamalarının (normal sulama (%70 tarla kapasitesi), orta kuraklık (%50 tarla kapasitesi), şiddetli kuraklık (%30 tarla kapasitesi)) klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarını azalttığı, farklı dozda (%0, %1 ve %2) uygulamış oldukları biyokömürün ise bu parametreleri arttırdığını tespit etmişlerdir. Yaban ve Kabay (2019), kuraklık stresinin Urfa biberinin iyon, klorofil ve enzim içerikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda hassas genotiplerde tolerant genotiplere göre klorofil a, klorofil b, a+b, Ca, Mg miktarlarındaki azalmanın daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin besin elementleri alımına ve bazı antioksidan enzimleri üzerine etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmanın 1. yılından görünüm Şekil 4.4., Şekil 4.5., Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.’de verilmiştir.



Şekil 4.4. %0 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm



Şekil 4.5. %0.5 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm



Şekil 4.6. %1 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm

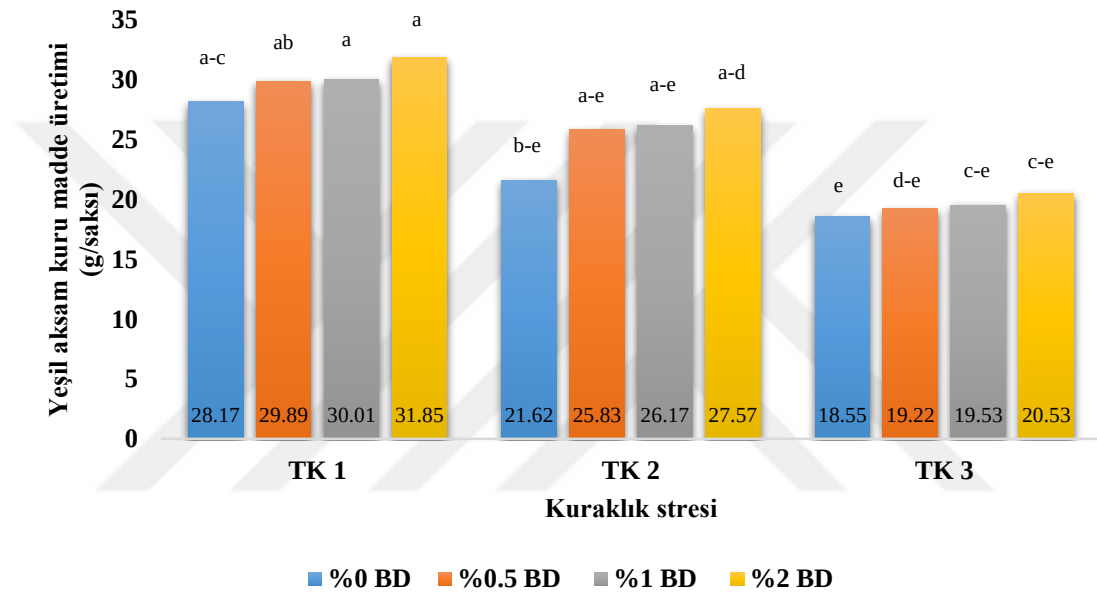


Şekil 4.7. %2 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm

4.2. II. Yıl (2020) Araştırma Bulguları

4.2.1. Yeşil aksam kuru madde üretimi ve yumru verimi

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimi üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Şekil 4.8.'de verilmiştir.

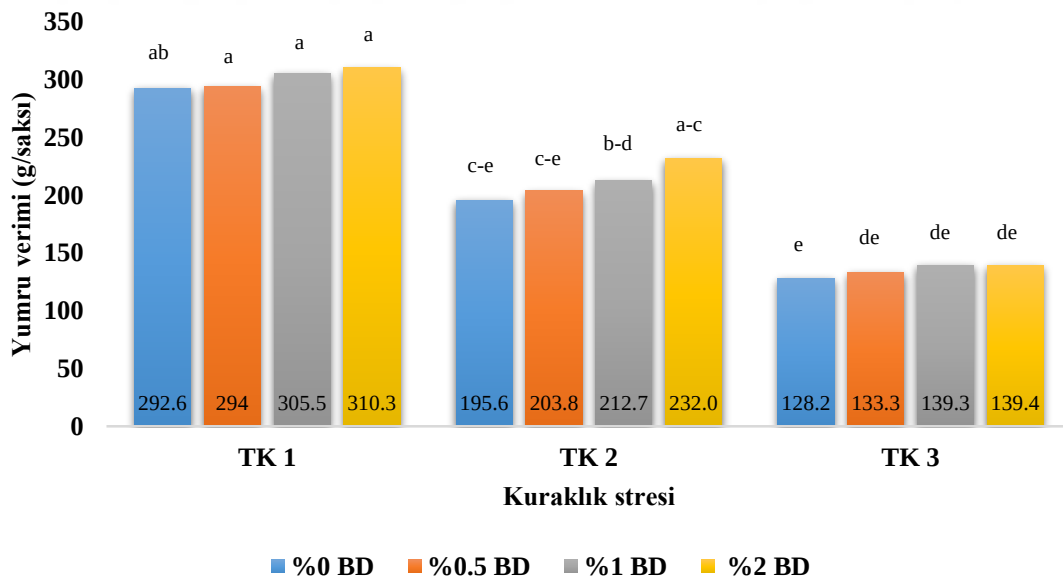


Şekil 4.8. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimine etkileri (g/saksı)

Çalışma ikinci yıla ait yeşil aksam kuru madde üretim miktarları yönünden değerlendirildiğinde, birinci yılda elde edilen sonuçlara benzerlik göstererek kuraklık stresi uygulamaları ile yeşil aksam kuru madde üretiminin azaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte yine birinci yılda olduğu gibi tüm kuraklık stresi uygulamalarında artan dozlarda biyokömür uygulamaları ile birlikte bitkinin yeşil aksam kuru madde üretiminin arttığı saptanmıştır (Şekil 4.8.). Yeşil aksam kuru madde üretimi en yüksek 31.85 g/saksı ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde belirlenmişken, bu uygulamayı yine TK1 uygulamasında 30.01 g/saksı ile %1 BD'si takip etmiştir. Çalışmada en düşük yeşil aksam kuru madde üretimi ise 18.55 g/saksı ile TK3 uygulamasının %0 BD'sinde tespit edilmiştir. Şeker pancarı bitkisinde yeşil aksam kuru madde üretiminin kuraklık stresi

altında uygulanan farklı biyokömür dozları ile birlikte kontrol gruplarına göre artış gösterdiği belirlenmiştir. Lum ve ark. (2014), 8 farklı pirinç (*Oryza sativa* L.) çeşidinde yapmış oldukları çalışmada farklı kuraklık stresi (0, -2, -4, -6, ve -8 bars) uygulamalarının bitkinin kuru madde miktarını azalttığını tespit etmişlerdir. Shashi ve ark. (2018), yapmış oldukları çalışmada kuraklık stresi uygulamalarının (%60 ve %40 tarla kapasitesi) mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde verimi azalttığını, farklı dozlarda pirinç kabuğundan elde edilen biyokömür (0, 5, 10 ve 20 t/ha) uygulamalarının ise bitkinin verimini arttırdığı ve bu nedenle pirinç kabuğundan elde edilen biyokömürün, mısır bitkisinde kuraklık stresi ile oluşabilecek olumsuz etkilerinin azaltılmasında kullanılabilecek bir toprak değişikliği olduğunu bildirmişlerdir. Sattar ve ark. (2019), yapmış oldukları çalışmada kuraklık stresi (%40 ve %80 su tutma kapasitesi) altında mısır (*Zea mays* L.) fidelerinin yaprak kuru ağırlığının azaldığını, kuraklık stresi altındaki bitkilere uyguladıkları üç farklı biyokömür dozunun (0, 2 ve 4 t ha⁻¹) ise bitkinin yaprak kuru ağırlığını arttırdığını bildirmişlerdir.

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumru verimi üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumru verimine etkileri (g/saksı)

Şeker pancarındaki yumru verimi birinci yılda olduğu gibi en yüksek TK1 uygulamasının %2 BD'sinde (310.3 g/saksı), en düşük yumru verimi ise TK3 uygulamasının %0 BD'sinde (128.2 g/saksı) tespit edilmiştir (Şekil 4.9.). Bu sonuçlar yeşil aksam kuru madde üretimi sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Çalışmada yine yeşil aksam kuru madde üretimine benzer şekilde kuraklık stresi uygulamaları ile yumru verimi azalmıştır. Bununla birlikte tüm kuraklık stresi uygulamalarında artan biyokömür dozları (%0, %0.5, %1 ve %2) kontrole göre yumru verimini arttırmıştır. Çalışma iki yıla ait şeker pancarındaki yumru verimi yönünden değerlendirildiğinde; ikinci yılın yumru veriminin birinci yılın yumru verimine göre daha düşük miktarda olduğu belirlenmiştir. Çetin (2018), farklı ploidilere sahip Türk buğday çeşitlerinden Siyez (*Triticum monococcum*), Kızıltan-91 (*Triticum turgidum* durum) ve Yüreğir-89 (*Triticum aestivum* cv.) çeşitlerinde kuraklık stresinin yaprak ve kök kısımlarında kuru madde miktarını olumsuz yönde etkilediğini bildirmiştir.

4.2.2. Şeker pancarı bitkisinin makro ve mikro element konsantrasyonları

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin N, P ve K konsantrasyonu üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 15.'de verilmiştir.

Çizelge 15. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%)

Kuraklık stresi	BD %	N	P %	K
TK1	0	2.78 ±0.29 ^a	0.14 ±0.02 ^a	3.69 ±0.39 ^a
	0.5	2.64 ±0.29 ^a	0.13 ±0.02 ^a	4.45 ±0.46 ^a
	1	2.53 ±0.01 ^a	0.12 ±0.01 ^a	3.39 ±0.56 ^a
	2	2.62 ±0.15 ^a	0.12 ±0.02 ^a	4.00 ±1.28 ^a
	Ortalama	2.64 A	0.13 A	3.88 A
TK2	0	2.77 ±0.05 ^a	0.13 ±0.02 ^a	4.32 ±1.11 ^a
	0.5	2.73 ±0.19 ^a	0.14 ±0.02 ^a	3.58 ±0.18 ^a
	1	2.74 ±0.29 ^a	0.15 ±0.03 ^a	4.33 ±0.95 ^a
	2	2.56 ±0.22 ^a	0.13 ±0.01 ^a	4.79 ±0.20 ^a
	Ortalama	2.70 A	0.14 A	4.26 A
TK3	0	2.56 ±0.15 ^a	0.12 ±0.02 ^a	2.71 ±0.94 ^a
	0.5	2.81 ±0.19 ^a	0.13 ±0.01 ^a	5.38 ±1.79 ^a
	1	2.74 ±0.01 ^a	0.14 ±0.02 ^a	4.30 ±1.02 ^a
	2	3.07 ±0.27 ^a	0.15 ±0.01 ^a	3.70 ±0.75 ^a
	Ortalama	2.80 A	0.14 A	4.02 A

p<0.05

Çizelge 15. incelendiğinde en yüksek N konsantrasyonu %3.07 N ile TK3 uygulamasının %2 BD'sinde, en düşük ise %2.53 N ile TK1 uygulamasının %1 BD'sinde belirlenmiştir. Çalışmada N konsantrasyonunun kuraklık stresi uygulamalarına bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, TK1 ve TK2 uygulamalarında N konsantrasyonu BD uygulamaları ile azalmış, TK3 uygulamasında ise BD uygulamaları ile artmıştır. N konsantrasyonuna benzer olarak bitkinin P konsantrasyonu da TK uygulamalarıyla az da olsa artmıştır. Ayrıca TK1 uygulamasında P konsantrasyonu biyokömür dozları ile azalsa da TK2 ve TK3 uygulamalarında artış göstermiştir. En yüksek P konsantrasyonu %0.15 P ile TK2 uygulamasının %1 BD'sinde ve TK3 uygulamasının %2 BD'sinde belirlenmiştir. Ancak P konsantrasyonu yönünden tüm verilere bakıldığında aralarında istatistiki olarak bir fark bulunmamaktadır. Çalışmada N ve P konsantrasyonlarına benzer olarak bitkinin K konsantrasyonu da TK uygulamalarıyla artmış ve en yüksek %5.38 K ile TK3 uygulamasının %0.5 BD'sinde belirlenmiştir. Genel ortalamalar bakımından Çizelge 15. değerlendirildiğinde, biyokömür uygulamaları kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin N, P ve K konsantrasyonlarını arttırmış ama bu artış istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Başka bir stres faktörü olan tuz stresi altında Tuna ve Eroğlu (2017), tarafından biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinde yapılan çalışmada, biber bitkisinin Ca, K ve P içeriklerinde kontrole göre azalma olduğu bildirilmiştir. Çalışma sonuçlarının aksine Hammer ve ark. (2015), tuz stresi altındaki marul (*Lactuca sativa*) bitkisinde biyokömür uygulamalarının P ve Mn konsantrasyonlarını arttırdığını bildirmişlerdir.

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 16.'da verilmiştir.

Çizelge 16. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri (%)

Kuraklık stresi	BD	Ca	Mg
	%	%	
TK1	0	0.36 ±0.02 ^a	0.88 ±0.14 ^a
	0.5	0.41 ±0.14 ^a	0.88 ±0.11 ^a
	1	0.44 ±0.11 ^a	0.89 ±0.19 ^a
	2	0.49 ±0.01 ^a	0.89 ±0.11 ^a
	Ortalama	0.43 A	0.89 A
TK2	0	0.35 ±0.06 ^a	0.84 ±0.12 ^a
	0.5	0.37 ±0.08 ^a	0.87 ±0.21 ^a
	1	0.39 ±0.04 ^a	0.90 ±0.12 ^a
	2	0.45 ±0.09 ^a	0.91 ±0.08 ^a
	Ortalama	0.39 A	0.88 A
TK3	0	0.33 ±0.07 ^a	0.77 ±0.04 ^a
	0.5	0.34 ±0.11 ^a	0.79 ±0.07 ^a
	1	0.35 ±0.03 ^a	0.80 ±0.01 ^a
	2	0.38 ±0.10 ^a	0.80 ±0.09 ^a
	Ortalama	0.35 A	0.79 A

p<0.05

Çalışmada en yüksek Ca konsantrasyonu %0.49 Ca ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde, en düşük Ca konsantrasyonu ise %0.33 Ca ile TK3 uygulamasının %0 BD'sinde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 16.). En yüksek Mg konsantrasyonu ise %0.91 Mg ile TK2 uygulamasının %2 BD'sinde belirlenmiştir. Çalışmada hem Ca hem de Mg konsantrasyonları genel ortalamalar bakımından değerlendirildiğinde, kuraklık stresi uygulamalarına bağlı olarak her iki elementin de konsantrasyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, yine her iki element de tüm kuraklık stresi uygulamalarında artan biyokömür dozlarına paralel olarak kontrole göre artmış, ancak bu artışlar istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Çalışma sonuçlarımızın aksine Tanure ve ark. (2019), mısır bitkisinde yapmış oldukları çalışmada hem 2.0-0.5 mm parçacık boyutundaki biyokömürün hem de >0.5 mm parçacık boyutundaki biyokömürün farklı dozlarının (0, 5, 10, 20, 40 ve 60 g kg⁻¹) bitkinin sürgün kısımlarındaki Ca ve Mg konsantrasyonunu kontrol gruplarına göre arttırdığını bildirmişlerdir.

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 17.'de verilmiştir.

Çizelge 17. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg)

Kuraklık stresi	BD	Fe	Zn	Mn	Cu
	%		mg/kg		
TK1	0	185.7 ±20.6 ^{ab}	42.81 ±4.87 ^{a-c}	81.14 ±5.22 ^{c-e}	14.13 ±0.60 ^a
	0.5	190.2 ±42.1 ^{ab}	44.97 ±5.25 ^{a-c}	96.98 ±3.96 ^{a-c}	14.46 ±1.72 ^a
	1	199.4 ±42.3 ^{ab}	49.80 ±0.00 ^{ab}	104.3 ±5.86 ^{ab}	13.98 ±0.81 ^a
	2	202.1 ±2.65 ^{ab}	45.41 ±1.62 ^{a-c}	108.6 ±10.8 ^a	13.04 ±1.04 ^a
	Ortalama	194.35 B	45.75 A	97.76 A	13.90 A
TK2	0	164.5 ±16.4 ^b	39.46 ±1.39 ^{bc}	74.16 ±5.85 ^{d-f}	14.05 ±0.47 ^a
	0.5	216.6 ±33.0 ^{ab}	42.60 ±10.2 ^{bc}	76.30 ±4.41 ^{c-f}	14.67 ±1.41 ^a
	1	251.3 ±6.99 ^a	48.56 ±1.41 ^{ab}	89.88 ±0.90 ^{a-d}	14.38 ±0.53 ^a
	2	264.6 ±5.16 ^a	42.56 ±4.83 ^{bc}	90.20 ±9.80 ^{a-d}	12.04 ±1.40 ^a
	Ortalama	224.25 A	43.30 A	82.64 B	13.79 A
TK3	0	159.6 ±39.3 ^b	34.37 ±4.50 ^c	44.77 ±5.89 ^g	14.28 ±0.84 ^a
	0.5	191.4 ±27.8 ^{ab}	35.24 ±2.50 ^c	57.05 ±6.42 ^{f-g}	14.60 ±0.11 ^a
	1	197.4 ±38.7 ^{ab}	55.20 ±1.15 ^a	68.54 ±5.52 ^{ef}	14.11 ±0.42 ^a
	2	201.5 ±24.6 ^{ab}	44.69 ±2.14 ^{a-c}	84.25 ±10.9 ^{b-e}	13.73 ±0.82 ^a
	Ortalama	187.48 B	42.38 A	63.65 C	14.18 A

p<0.05

Mikro element konsantrasyonları yönünden Çizelge 17. incelendiğinde, Fe konsantrasyonunun artan kuraklık stresi uygulamaları ile birlikte azaldığı görülmektedir. Çalışmada tüm kuraklık stresi uygulamalarında artan biyokömür dozlarıyla Fe konsantrasyonu artmakla birlikte, en yüksek 264.6 mg/kg Fe ile TK2 uygulamasının %2 BD’de, en düşük ise 159.6 mg/kg Fe ile TK3 uygulamasının %0 BD’sinde belirlenmiştir. Çinko elementi kuraklık stresi ile birlikte azalma göstermiş fakat biyokömür uygulamalarıyla kontrol gruplarına göre artış göstermiştir. Çalışmada en yüksek Zn konsantrasyonu 55.20 mg/kg Zn ile TK3 uygulamasının %1 BD’sinde belirlenmiştir. Mangan konsantrasyonu Fe konsantrasyonunda olduğu gibi kuraklık stresi uygulamaları ile birlikte azalmış fakat artan biyokömür dozları ile birlikte artış göstermiştir. Mangan konsantrasyonu en yüksek 108.6 mg/kg ile TK1 uygulamasının %2 BD’sinde tespit edilmiştir, bunu aynı uygulamanın %1 BD’sinde 104.3 mg/kg Mn ile belirlenmiştir. Çalışmada Cu konsantrasyonu ise diğer mikro elementlerden farklı olarak kuraklık stresi uygulamaları ile birlikte artmıştır. Biyokömür dozları ise Cu konsantrasyonunu TK1 uygulamasının %0.5 BD (14.46 mg/kg Cu), TK2 uygulamasının %0.5 BD (14.67 mg/kg Cu) ve %1 BD (14.38 mg/kg Cu), TK3 uygulamasının ise %0.5 BD (14.60 mg/kg Cu) sinde kontrol gruplarına göre yüksek bulunmuştur. Çalışmada Cu ve Zn

konsantrasyonları ortalamalar bakımından değerlendirildiğinde, Zn ve Cu konsantrasyonlarında meydana gelen değişim istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Bülbül (2020), biyokömür dozlarının (kontrol, %0.25, %0.50 ve %1) tuz stresi altında (0 dS/m, 5 dS/m ve 10 dS/m) yetiştirilen domates bitkisinde N ve Cu konsantrasyonlarını arttırdığını, Ca, Zn ve K konsantrasyonlarını azalttığını, Fe, Mn, Mg ve P konsantrasyonlarını ise etkilemediğini belirlemiştir.

4.2.3. Şeker pancarı yumrusunun makro ve mikro element konsantrasyonları

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki N, P ve K konsantrasyonları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 18.'de verilmiştir.

Çizelge 18. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki N, P ve K konsantrasyonlarına etkileri (%)

Kuraklık stresi	BD %	N	P %	K
TK1	0	1.08 ±0.04 ^c	0.08 ±0.04 ^a	0.98 ±0.43 ^a
	0.5	1.11 ±0.07 ^c	0.07 ±0.01 ^a	1.12 ±0.45 ^a
	1	1.02 ±0.03 ^c	0.08 ±0.03 ^a	1.05 ±0.48 ^a
	2	1.26 ±0.04 ^{bc}	0.09 ±0.04 ^a	0.80 ±0.13 ^a
	Ortalama	1.12 B	0.08 A	0.99 A
TK2	0	1.12 ±0.05 ^c	0.06 ±0.01 ^a	1.04 ±0.48 ^a
	0.5	1.24 ±0.20 ^{bc}	0.07 ±0.01 ^a	0.80 ±0.32 ^a
	1	1.08 ±0.24 ^c	0.09 ±0.04 ^a	0.82 ±0.27 ^a
	2	1.18 ±0.14 ^{bc}	0.09 ±0.01 ^a	0.74 ±0.10 ^a
	Ortalama	1.16 B	0.08 A	0.85 A
TK3	0	1.28 ±0.13 ^{bc}	0.06 ±0.01 ^a	0.82 ±0.41 ^a
	0.5	1.50 ±0.06 ^{ab}	0.06 ±0.01 ^a	0.97 ±0.37 ^a
	1	1.68 ±0.16 ^a	0.08 ±0.02 ^a	1.12 ±0.38 ^a
	2	1.71 ±0.08 ^a	0.05 ±0.00 ^a	0.59 ±0.21 ^a
	Ortalama	1.54 A	0.06 A	0.88 A

p<0.05

Şeker pancarı yumrusunda en yüksek N konsantrasyonu %1.71 N ile TK3 uygulamasının %2 BD'sinde, en düşük N konsantrasyonu ise %1.02 N ile TK1 uygulamasının %1 BD'sinde tespit edilmiştir (Çizelge 18.). Çalışmada kuraklık stresi uygulamaları ile N konsantrasyonu artarken, biyokömür dozlarının da genel olarak N konsantrasyonunu arttırdığı fakat TK1 ve TK2 uygulamalarının %1 BD'sinde kontrol gruplarına göre N konsantrasyonunun düşük kaldığı belirlenmiştir. Çalışma P konsantrasyonu yönünden

incelendiğinde, kuraklık stresi uygulamalarının P konsantrasyonunu azalttığı, biyokömür dozlarının ise P konsantrasyonunu genel olarak arttırdığı belirlense de çalışmadaki en düşük P konsantrasyonu TK3 uygulamasının %2 BD'sinde (%0.05 P) görülmüştür. Çalışmadaki K konsantrasyonu TK1 ve TK3 uygulamalarında biyokömür dozları ile artış gösterse de %2 BD uygulamasında K konsantrasyonu kontrol grubuna göre azalmıştır. TK2 uygulamasında ise biyokömür dozları K konsantrasyonunu azaltmıştır. Şeker pancarı yumrusunda en yüksek K konsantrasyonu %1.12 K ile TK1 uygulamasının %0.5 BD'sinde ve TK3 uygulamasının %1 BD'sinde belirlenmiştir.

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Ca ve Mg konsantrasyonları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 19.'da verilmiştir.

Çizelge 19. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Ca ve Mg konsantrasyonlarına etkileri (%)

Kuraklık stresi	BD	Ca	Mg
	%	%	
TK1	0	0.50 ±0.03 ^a	0.28 ±0.05 ^a
	0.5	0.49 ±0.02 ^a	0.25 ±0.07 ^a
	1	0.44 ±0.08 ^a	0.24 ±0.03 ^a
	2	0.42 ±0.02 ^a	0.23 ±0.04 ^a
Ortalama		0.46 A	0.25 A
TK2	0	0.44 ±0.07 ^a	0.24 ±0.09 ^a
	0.5	0.43 ±0.01 ^a	0.22 ±0.07 ^a
	1	0.43 ±0.01 ^a	0.22 ±0.05 ^a
	2	0.42 ±0.10 ^a	0.21 ±0.06 ^a
Ortalama		0.43 A	0.22 AB
TK3	0	0.43 ±0.12 ^a	0.22 ±0.04 ^a
	0.5	0.44 ±0.12 ^a	0.17 ±0.02 ^a
	1	0.44 ±0.02 ^a	0.15 ±0.03 ^a
	2	0.44 ±0.05 ^a	0.12 ±0.06 ^a
Ortalama		0.44 A	0.17 B

p<0.05

Çizelge 19. kuraklık stresi altındaki şeker pancarı bitkisinin yumrusundaki Ca konsantrasyonu yönünden incelendiğinde; kuraklık stresi uygulamaları ile Ca konsantrasyonunun azaldığı, biyokömür dozlarının ise sadece TK3 uygulamasındaki Ca konsantrasyonunu az da olsa arttırdığı tespit edilmiştir. Çalışmada en yüksek Ca konsantrasyonu %0.50 Ca ile TK1 uygulamasının %0 BD'sinde, en düşük Ca

konsantrasyonu ise %0.42 Ca ile TK1 ve TK2 uygulamalarının %2 BD'sinde belirlenmiştir. Klorofil pigmentinin önemli elementlerinden birisi olan Mg konsantrasyonu ise kuraklık stresi uygulamalarıyla azalmış ve hiçbir biyokömür dozu Mg konsantrasyonunu arttırmamıştır. Magnezyum konsantrasyonu en yüksek %0.28 Mg ile TK1 uygulamasının %0 BD'sinde belirlenirken, en düşük Mg konsantrasyonu ise %0.12 Mg ile TK3 uygulamasının %2 BD'sinde tespit edilmiştir. Kuraklık stresi altındaki şeker pancarına uygulanan farklı biyokömür dozlarının Ca ve Mg konsantrasyonlarına olan etkisi önemli bulunmamıştır.

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 20.'de verilmiştir.

Çizelge 20. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı yumrularındaki Fe, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarına etkileri (mg/kg)

Kuraklık stresi	BD %	Fe	Zn	Mn	Cu
			mg/kg		
TK1	0	46.13 ±3.40 ^{b-e}	22.56 ±0.66 ^a	25.09 ±0.06 ^{ab}	12.02 ±0.48 ^e
	0.5	44.79 ±8.31 ^{c-e}	24.01 ±4.61 ^a	24.89 ±2.34 ^{ab}	13.35 ±2.29 ^{d-e}
	1	39.60 ±1.40 ^{fg}	30.62 ±6.29 ^a	19.34 ±0.40 ^{bc}	13.74 ±1.42 ^{d-e}
	2	38.26 ±0.17 ^{fg}	34.47 ±5.47 ^a	18.09 ±0.12 ^c	15.54 ±0.67 ^{c-e}
Ortalama		42.20 B	27.92 A	21.85 B	13.66 B
TK2	0	53.64 ±1.60 ^{a-c}	29.25 ±3.25 ^a	30.47 ±2.54 ^a	13.91 ±1.00 ^{d-e}
	0.5	34.30 ±0.49 ^g	29.50 ±9.41 ^a	29.45 ±0.00 ^a	13.97 ±0.20 ^{d-e}
	1	51.18 ±2.25 ^{a-d}	31.82 ±1.17 ^a	29.06 ±3.72 ^a	15.23 ±2.93 ^{c-e}
	2	55.63 ±3.14 ^{ab}	31.50 ±1.27 ^a	28.55 ±3.36 ^a	15.30 ±1.86 ^{c-e}
Ortalama		48.69 A	30.52 A	29.38 A	14.60 B
TK3	0	58.17 ±4.31 ^a	35.04 ±3.02 ^a	30.49 ±1.08 ^a	16.93 ±0.93 ^{b-d}
	0.5	47.71 ±2.67 ^{b-e}	24.45 ±1.55 ^a	29.28 ±1.08 ^a	19.22 ±1.05 ^{a-c}
	1	56.14 ±3.96 ^{ab}	29.04 ±3.45 ^a	25.45 ±2.60 ^a	20.56 ±1.05 ^{ab}
	2	42.88 ±2.07 ^{d-f}	29.05 ±4.68 ^a	24.73 ±0.06 ^{ab}	21.38 ±0.38 ^a
Ortalama		51.23 A	29.40 A	27.49 A	19.52 A

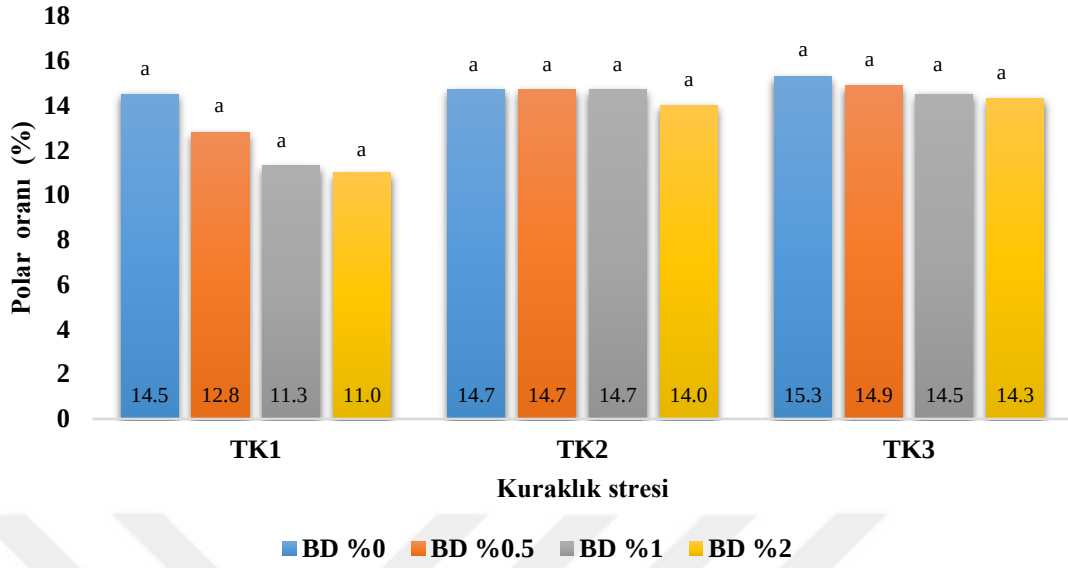
p<0.05

Kuraklık stresi uygulamalarının şeker pancarı bitkisinin yumrusundaki mikro element konsantrasyonlarına olan etkisi incelendiğinde, Fe konsantrasyonunun kuraklık stresi ile birlikte artış gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 20.). Kuraklık stresine ilave olarak uygulanan biyokömür sadece TK2 uygulamasının %2 BD'sinde kontrol grubuna göre artış göstermiştir (55.63 mg/kg Fe). Şeker pancarı bitkisi yumrusunda en yüksek Fe

konsantrasyonu 58.17 mg/kg ile TK3 uygulamasının %0 BD'sinde belirlenmiştir. Şeker pancarı bitkisinin yumrusundaki Zn konsantrasyonu kuraklık stresi ile artış gösterirken, TK1 ve TK2 uygulamalarında biyokömür uygulamaları kontrole göre Zn konsantrasyonunu arttırmıştır. TK3 uygulamasında ise biyokömür uygulamaları Zn konsantrasyonunu azaltmıştır. Çalışmada en yüksek Zn konsantrasyonu 35.04 mg/kg ile TK3 uygulamasının %0 BD'sinde, en düşük ise 22.56 mg/kg ile TK1 uygulamasının %0 BD'sinde olduğu belirlenmiştir. Zn konsantrasyonu ortalamalar bakımından değerlendirildiğinde Zn konsantrasyonunda meydana gelen değişimler istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Kuraklık stresi uygulamalarının Mn konsantrasyonunu arttırdığı, bununla birlikte biyokömür uygulamalarının Mn konsantrasyonunda azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. TK3 uygulamasının %0 BD'sinde (30.49 mg/kg Mn) en yüksek Mn konsantrasyonu belirlenirken, en düşük ise TK1 uygulamasının %2 BD'sinde (18.09 mg/kg Mn) belirlenmiştir. Mikro elementlerden Cu konsantrasyonu ise hem kuraklık stresi hem de biyokömür dozlarıyla birlikte artış göstermiştir. Çalışmada en yüksek Cu konsantrasyonu TK3 uygulamasının %2 BD'sinde 21.38 mg/kg Cu ve en düşük ise 12.02 mg/kg Cu ile TK1 uygulamasının %0 BD'sinde olduğu belirlenmiştir. Genel ortalamalar bakımından Çizelge 20. değerlendirildiğinde, Fe ve Cu konsantrasyonlarının kuraklık stresi uygulamalarıyla arttığı, Zn ve Mn konsantrasyonlarının ise TK2 uygulamasında arttığı ve TK3 uygulamasında azalmaya başladığı saptanmıştır.

4.2.4. Şeker pancarı bitkisinde polar oranı

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinde polar oranı üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinde polar oranı üzerine etkisi (%)

Şeker pancarı bitkisindeki polar oranlarının birinci yılda olduğu gibi kuraklık stresi ile arttığı, ancak genek olarak biyokömür dozları ile birlikte azaldığı tespit edilmiştir. Şeker pancarı bitkisinde en yüksek polar oranı TK3 uygulamasının %0 BD'sinde %15.3 ile tespit edilirken, en düşük polar oranı ise TK1 uygulamasının %2 BD'sinde %11.0 olarak belirlenmiştir. Kuraklık stresi uygulamalarından TK1 uygulamasında en yüksek polar oranı %14.5 ile %0 BD'de, en düşük polar oranı %11.0 ile %2 BD'de tespit edilmiştir. TK2 uygulamasında polar oranı artan biyokömür dozlarıyla azalıp, en yüksek polar oranı %14.7 ile %0 BD, %0.5 BD ve %1 BD'de, en düşük polar oranı ise %14.0 ile %2 BD'de bulunmuştur. Polar oranları TK3 uygulamasında incelendiğinde ise en yüksek polar oranı %15.3 ile %0 BD'de, en düşük polar oranı ise %14.3 ile %2 BD'de tespit edilmiştir. Şeker pancarında meydana gelen değişim istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Çalışmada iki yıla ait veriler değerlendirildiğinde birinci yılın polar oranlarının ikinci yıla ait polar oranlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

4.2.5. Şeker pancarı bitkisinde antioksidan enzim aktiviteleri

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinde bazı antioksidan enzim aktiviteleri CAT, POD ve APX üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 21.'de verilmiştir.

Çizelge 21. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin CAT, POD ve APX enzim aktiviteleri üzerine etkileri (EU g/yaprak)

Kuraklık stresi	BD %	CAT	POD EU g/yaprak	APX
TK1	0	187.87 ±22.0 ^{cd}	0.93 ±0.00 ^d	2.25 ±0.25 ^{cd}
	0.5	166.06 ±37.1 ^d	1.06 ±0.70 ^{cd}	4.63 ±0.33 ^b
	1	158.97 ±33.9 ^{de}	3.58 ±0.12 ^{ab}	5.44 ±0.24 ^{ab}
	2	475.39 ±24.6 ^a	4.33 ±0.62 ^a	6.72 ±0.06 ^a
Ortalama		247.07 A	2.48 A	4.76 A
TK2	0	206.89 ±50.9 ^{b-d}	1.01 ±0.06 ^d	2.52 ±0.39 ^c
	0.5	187.11 ±22.0 ^{cd}	2.36 ±0.04 ^{bc}	5.08 ±0.75 ^b
	1	80.24 ±16.3 ^e	3.12 ±0.34 ^{ab}	5.09 ±0.41 ^b
	2	140.71 ±17.6 ^{de}	4.07 ±0.63 ^a	5.53 ±0.34 ^{ab}
Ortalama		153.74 B	2.64 A	4.56 A
TK3	0	274.59 ±20.0 ^b	1.62 ±0.09 ^{cd}	2.65 ±0.05 ^c
	0.5	256.07 ±16.3 ^{bc}	1.27 ±0.70 ^{cd}	1.89 ±0.39 ^{cd}
	1	208.60 ±31.1 ^{b-d}	1.19 ±0.19 ^{cd}	1.50 ±0.48 ^{cd}
	2	171.90 ±15.2 ^d	1.18 ±0.64 ^{cd}	1.17 ±0.86 ^d
Ortalama		227.79 A	1.32 B	1.80 B

p<0.05

Çalışma şeker pancarı bitkisindeki CAT enzim aktivitesi bakımından değerlendirildiğinde, TK1 uygulamasında kontrole göre %2 BD'de CAT enzim aktivitesini arttırdığı belirlenmiştir (Çizelge 21.). En yüksek CAT enzim aktivitesi 475.39 EU/g yaprak ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde, en düşük CAT enzim aktivitesi ise 80.24 EU/g yaprak ile TK2 uygulamasının %1 BD'sinde tespit edilmiştir. TK2 ve TK3 uygulamalarında kuraklık stresi ile CAT enzim aktivitesinin arttığı, bununla birlikte uygulanan biyokömür dozlarının ise CAT enzim aktivitesini azalttığı belirlenmiştir. TK2 ve TK3 uygulamalarında en yüksek CAT enzim aktivitesi %0 BD'de (sırasıyla 206.89 EU/g yaprak, 274.59 EU/g yaprak), en düşük CAT enzim aktivitesi ise TK2 uygulamasının %1 BD'sinde (80.24 EU/g yaprak) TK3 uygulamasının %2 BD'sinde (171.90 EU/g yaprak) tespit edilmiştir. CAT enzim aktivitesindeki değişim ortalamalar bakımından değerlendirildiğinde, TK1 ve TK3 uygulamaları arasında önemli

bulunmazken, TK1 ve TK2 uygulamaları arasında ise istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Pouresmaeil ve ark. (2013), kuraklık stresi altında fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) bitkisinde yapmış oldukları çalışmada kuraklık stresinin CAT enzim aktivitesinde artış gösterdiğini rapor etmişlerdir. Hafez ve ark. (2020), 3 farklı kuraklık stresi (kontrol: 2000 m³ su, 650 m³ su ve 1300 m³ su) altındaki arpa (*Hordeum vulgare* L. var. Giza123) bitkisinde kuraklık stresinin CAT ve POD enzim aktivitelerini arttırdığını, uygulanan biyokömür dozlarının ise CAT ve POD enzim aktivitelerini azalttığını rapor etmişlerdir. Kutlu ve ark. (2017), kuraklık stresi altında 9 ekmeklik buğday (Altay 2000, Bezostaja-1, Esperia, Harmankaya 99, Kate A-1, Krasunia Odeska, Müfitbey, Nacibey, Syrena Odeska) ve 7 doubled haploid buğday genotiplerinin verim bileşenleri ve antioksidan enzim aktivitelerinde olan değişimi araştırmış oldukları çalışmada CAT enzim aktivitesinin önemli bir şekilde artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Çalışma POD enzim aktivitesi yönünden incelendiğinde, TK2 uygulamasında POD enzim aktivitesinin arttığı, TK3 uygulamasında ise azaldığı belirlenmiştir. Kuraklık stresi ile artış gösteren POD enzim aktivitesinin en yüksek miktarı 4.33 EU/g yaprak ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde, en düşük POD enzim aktivitesi ise 0.93 EU/g yaprak ile TK1 uygulamasının %0 BD'sinde tespit edilmiştir. Farklı dozlarda uygulanan biyokömür ise TK1 ve TK2 uygulamalarında POD enzim aktivitesini arttırmıştır. TK1 ve TK2 uygulamalarında en yüksek POD enzim aktivitesi %2 BD'de (sırasıyla 4.33 EU/g yaprak, 4.07 EU/g yaprak), en düşük POD enzim aktivitesi ise %0 BD'de (sırasıyla 0.93 EU/g yaprak, 1.01 EU/g yaprak) olduğu belirlenmiştir. Jia ve ark. (2019), farklı biyokömür uygulamalarının (1.3, 2.6, 6.7, 13.3, 26.6 g/L biyokömür) *Amaranthus mangostanus* L. bitkisinde CAT ve POD enzim aktivitelerini kontrol grubuna göre arttırdığını ve en yüksek CAT enzim aktivitesinin 6.7 g/L biyokömür dozunda, en yüksek POD aktivitesinin ise 13.3 g/L biyokömür dozunda olduğunu tespit etmişlerdir. Abbas ve ark. (2018), 3 farklı kuraklık stresi (%70, %50 ve %35 su tutma kapasitesi) altında Cd ile kirlenmiş topraktaki buğday bitkisine uygulanan farklı biyokömür dozlarının (%0, %3 ve %5) bitki üzerine etkilerini araştırmış oldukları çalışmada; kuraklık stresinin POD enzim aktivitesini arttırdığını, uygulanan biyokömür dozlarının ise POD enzim aktivitesini azalttığını, aynı zamanda kuraklık stresi uygulamalarının CAT enzim aktivitesi azaltırken, uygulanan biyokömür dozlarının ise CAT enzim aktivitesini arttırdığını

belirlemişlerdir. POD enzim aktivitesi TK3 uygulamasında ise biyokömür dozlarıyla birlikte kontrole göre azalma göstermiştir. TK3 uygulamasında en yüksek POD enzim aktivitesi 1.62 EU/g yaprak ile %0 BD'de olduğu, bunu 1.27 EU/g yaprak ile %0.5 BD'nin takip ettiği belirlenmiştir. Seleiman ve ark. (2019), ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) bitkisinde kuraklık stresi ile artış gösteren POD enzim aktivitesinin biyokömür uygulamaları ile azalma gösterdiğini bildirmişlerdir.

Stres durumlarında askorbatı elektron alıcısı olarak kullanan ve stres faktörleriyle oluşan bileşiklerin temizlenmesinde görev alan APX enzim aktivitesi ise POD enzim aktivitesine benzer şekilde sonuçlar vermiştir. Kuraklık stresiyle beraber artan APX enzim aktivitesi TK1 ve TK2 uygulamalarında artan biyokömür dozlarıyla birlikte artış göstermeye devam etmiştir. Çalışmada en yüksek APX enzim aktivitesi 6.72 EU/g yaprak ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde, en düşük APX enzim aktivitesi ise 1.17 EU/g yaprak ile TK3 uygulamasının %2 BD'sinde belirlenmiştir. APX enzim aktivitesinde TK1 uygulamasına göre TK2 uygulamasında meydana gelen azalma istatistiki olarak önemli bulunmazken, TK3 uygulamasında meydana gelen azalma ise istatistiki olarak önemli bulunmuştur. Turfan (2017), kuraklık stresinin (%50) savrun ıspanak (*Spinacia oleracea* L.) çeşidinde APX enzim aktivitesini kontrol grubuna göre arttırdığını bildirmişlerdir. Abbas ve ark. (2020), biyokömürün (%2 w/v) mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde POD ve APX enzim aktivitesini arttırdığını bildirmişlerdir. Çalışmada TK1 uygulamasında en yüksek APX enzim aktivitesi 6.72 EU/g yaprak ile %2 BD'de, en düşük 2.25 EU/g yaprak ile %0 BD'de tespit edilmiştir. Askorbat peroksidaz enzim aktivitesi TK2 uygulamasında %0.5, %1 ve %2 BD'de (sırasıyla 5.08 EU/g yaprak, 5.09 EU/g yaprak, 5.53 EU/g yaprak) APX enzim miktarları %0 BD'ye (2.52 EU/g yaprak) göre daha yüksek bulunmuştur. Yaban ve Kabay (2019), kuraklık stresinin Urfa biber çeşitlerinde (Gölpınar, Hilvan, Osmanbey genotipleri ile İnan 3363 standart biber çeşitleri) enzim ve klorofil içerikleri üzerine etkisini araştırmış oldukları çalışmada kuraklık stresinin bitkilerde CAT ve APX enzim aktivitelerini arttırdığını tespit etmişlerdir. Sattar ve ark. (2019), mısır (*Zea mays* L.) bitkisinde yapmış oldukları çalışmada hem kuraklık stresinin (%80 ve %40 su tutma kapasitesi) hem de kuraklık stresi altındaki bitkiye uygulanan biyokömür dozlarının (0, 2, 4 t ha⁻¹) bitkide CAT, POD ve APX enzim aktivitelerini kontrole göre arttırdığını bildirmişlerdir. Şeker pancarı bitkisindeki TK3 uygulamasında

ise APX enzim aktivitesi artan biyokömür dozlarıyla birlikte kontrol grubuna göre azalmıştır. TK3 uygulamasında en yüksek APX enzim aktivitesi 2.65 EU/g yaprak ile %0 BD’de, en düşük APX enzim aktivitesi ise 1.17 EU/g yaprak ile %2 BD’de bulunmuştur.

4.2.6. Şeker pancarı bitkisinde klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları

Çalışmada farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinde klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları üzerine olan etkileri belirlenmiş ve Çizelge 22.’de verilmiştir.

Çizelge 22. Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları üzerine etkileri (mg/g)

Kuraklık stresi	BD %	Klorofil a	Klorofil b mg/g	Toplam klorofil	Karotenoid
TK1	0	0.93 ±0.12 ^b	0.24 ±0.08 ^a	1.17 ±0.28 ^b	0.25 ±0.06 ^b
	0.5	1.26 ±0.51 ^{ab}	0.38 ±0.11 ^a	1.64 ±0.78 ^{ab}	0.35 ±0.17 ^{ab}
	1	1.27 ±0.27 ^{ab}	0.39 ±0.18 ^a	1.66 ±0.39 ^{ab}	0.35 ±0.00 ^{ab}
	2	1.83 ±0.13 ^a	0.53 ±0.04 ^a	2.36 ±0.28 ^a	0.50 ±0.07 ^a
	Ortalama	1.32 A	0.39 A	1.71 A	0.36 A
TK2	0	0.85 ±0.11 ^b	0.24 ±0.07 ^a	1.09 ±0.28 ^b	0.23 ±0.05 ^b
	0.5	0.99 ±0.26 ^b	0.27 ±0.11 ^a	1.26 ±0.28 ^b	0.26 ±0.06 ^b
	1	1.21 ±0.49 ^{ab}	0.35 ±0.16 ^a	1.56 ±0.64 ^{ab}	0.32 ±0.15 ^{ab}
	2	1.38 ±0.16 ^{ab}	0.41 ±0.08 ^a	1.79 ±0.23 ^{ab}	0.36 ±0.06 ^{ab}
	Ortalama	1.11 AB	0.32 A	1.43 AB	0.29 A
TK3	0	0.78 ±0.12 ^b	0.24 ±0.06 ^a	1.02 ±0.24 ^b	0.21 ±0.05 ^b
	0.5	0.89 ±0.17 ^b	0.28 ±0.21 ^a	1.17 ±0.81 ^b	0.25 ±0.17 ^b
	1	1.13 ±0.26 ^{ab}	0.35 ±0.12 ^a	1.48 ±0.57 ^{ab}	0.31 ±0.12 ^{ab}
	2	1.29 ±0.21 ^{ab}	0.38 ±0.03 ^a	1.67 ±0.29 ^{ab}	0.34 ±0.06 ^{ab}
	Ortalama	1.02 B	0.31 A	1.34 B	0.28 B

p<0.05

Çizelge 22. şeker pancarı bitkisinde klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları bakımından değerlendirildiğinde kuraklık stresi uygulamalarının belirtilen parametreleri azalttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, biyokömür uygulamaları bitkinin klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarını TK1, TK2 ve TK3 uygulamalarında önemli miktarda arttırmıştır. Çalışmada en yüksek klorofil a miktarı 1.83 mg/g ile TK1 uygulamasının %2 BD’sinde bulunurken, en düşük klorofil a miktarı ise 0.78 mg/g ile TK3 uygulamasının %0 BD’sinde tespit edilmiştir. TK1, TK2 ve TK3

uygulamalarının en düşük klorofil b miktarları %0 BD'lerinde (0.24 mg/g), en yüksek klorofil b miktarları ise %2 BD'lerinde (sırasıyla 0.53, 0.41 ve 0.38 mg/g) bulunmuştur. Toplam klorofil miktarı en yüksek TK1 uygulamasının %2 BD'sinde (2.36 mg/g) tespit edilirken, bunu TK2 uygulamasının %2 BD'si (1.79 mg/g) takip etmiştir. Çalışma karotenoid miktarları bakımından değerlendirildiğinde ise en yüksek karotenoid miktarı 0.50 mg/g ile TK1 uygulamasının %2 BD'sinde, en düşük karotenoid miktarı ise 0.21 mg/g ile TK3 uygulamasının %0 BD'sinde bulunmuştur. TK1 uygulamasında en yüksek klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid değerleri %2 BD'de (sırasıyla 1.83, 0.53, 2.36 ve 0.50 mg/g), en düşük ise %0 BD'de (sırasıyla 0.93, 0.24, 1.17 ve 0.25 mg/g) belirlenmiştir. TK2 uygulamasının klorofil a miktarı %0 BD'de 0.85 mg/g, %0.5 BD'de 0.99 mg/g, %1 BD'de 1.21 mg/g ve %2 BD'de ise 1.38 mg/g olarak belirlenmiştir. TK2 uygulamasında en yüksek klorofil b miktarı 0.41 mg/g ile %2 BD'de, en düşük klorofil b miktarı ise 0.24 mg/g ile %0 BD'de tespit edilmiştir. TK2 uygulamasındaki en yüksek toplam klorofil miktarı ise 1.79 mg/g ile %2 BD'de belirlenmiştir. Şeker pancarı bitkisinin TK2 uygulamalarında karotenoid miktarları da klorofil miktarlarında olduğu gibi biyokömür dozlarıyla birlikte artış göstermiş ve en yüksek karotenoid miktarı 0.36 mg/g ile %2 BD'de belirlenmiştir. TK3 uygulamasında en düşük klorofil a ve klorofil b miktarı %0 BD'de (sırasıyla 0.78 ve 0.24 mg/g), en yüksek klorofil a ve klorofil b miktarı ise %2 BD'de (1.29 ve 0.38 mg/g) belirlenmiştir. TK3 uygulamasında biyokömür dozlarıyla klorofil a ve klorofil b miktarlarında oluşan artış toplam klorofil miktarına da yansımış; en yüksek toplam klorofil miktarı 1.67 mg/g ile %2 BD'de belirlenirken, en düşük toplam klorofil miktarı ise 1.02 mg/g ile %0 BD'de tespit edilmiştir. TK3 uygulaması karotenoid miktarları bakımından değerlendirildiğinde karotenoid miktarının %0 BD'de 0.21 mg/g, %0.5 BD'de 0.25 mg/g, %1 BD'de 0.31 mg/g ve %2 BD'de 0.34 mg/g olarak belirlenmiştir. Çalışmada klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları kuraklık stresi uygulamaları ile birlikte azalmış fakat artan biyokömür dozları ile birlikte klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları artış göstermiştir. Çalışma ikinci yılın verileri ile ilk yılın verileri kıyaslandığında klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarında ilk yıla göre bariz bir şekilde artış gözlenmiştir. Birinci yılın verilerine göre en yüksek miktarda bulunan klorofil a miktarı (TK1 uygulamasının %2 BD'sinde 1.42 mg/g), ikinci yılın verileri ile karşılaştırıldığında (TK1 uygulamasının %2 BD'sinde 1.83 mg/g) yaklaşık olarak %29 artış gösterirken,

birinci yılda belirlenen en düşük klorofil a miktarı (TK3 uygulamasının %0 BD'sinde 0.43 mg/g) ise ikinci yıl (TK3 uygulamasının %0 BD'sinde 0.78 mg/g) yaklaşık %81 artış göstermiştir. Klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları da klorofil a'da olduğu gibi ikinci yılda birinci yıla göre daha yüksek bulunmuştur. Sattar ve ark. (2019), mısır (*Zea mays* L.) fidelerinde kuraklık stresinin (%80 ve %40 su tutma kapasiteleri) bitkilerde klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarlarını azalttığını, biyokömür dozlarının (0, 2, 4 t ha⁻¹) ise azalan klorofil a, klorofil b ve toplam klorofil miktarlarını arttırdığını bildirmişlerdir. Hafeez ve ark. (2017), soya (*Glycine max* L.) bitkisinde yapmış oldukları çalışmada, kuraklık stresi altında bitkide klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarların azaldığı, kuraklığa ilave olarak uygulanan biyokömürün (kuraklık+10 t ha⁻¹, kuraklık+20 t ha⁻¹) bu parametreleri arttırdığını tespit etmişlerdir.

Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin besin elementleri alımına ve bazı antioksidan enzimleri üzerine etkilerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmanın 2. yılından görünüm Şekil 4.11., Şekil 4.12., Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. %0 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm



Şekil 4.12. %0.5 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm



Şekil 4.13. %1 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm



Şekil 4.14. %2 BD uygulanan şeker pancarı bitkilerinden görünüm

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Biyokömür uygulaması, su kullanım etkinliğini ve suyun biyoyararlanımını ve temel besin maddelerinin bitki alımını iyileştirerek büyüme, tuzluluk ve kuraklık toleransını arttırmaktadır (Atkinson ve ark., 2010; Ali ve ark., 2017).

Kuraklık stresi, tarım alanlarında ürün ve verim kaybına neden olan en önemli abiyotik stres faktörlerinden bir tanesidir. Küresel ısınma ile görülmesi muhtemel olan iklim değişikliklerinin, tarım alanlarını olumsuz yönde etkileyeceği de yadsınamaz bir gerçektir. Bu anlamda kuraklık stresinin bitki üzerindeki olumsuz etkisinin giderilmesinde veya azaltılmasında toprağa uygulanacak alternatif yöntemlerin tarım alanlarında oluşabilecek verim kaybının azaltılması yönünden faydalı olacaktır. Toprağa uygulanması açısından biyokömür, yapısında düşük miktarda azot bulundurması ile fazla miktarda mikrobiyal parçalanmaya maruz kalmayarak uzun süre toprakta kalması gübreyle oranla daha avantajlı olacaktır (Sönmez ve Çığ, 2019).

Farklı dozlarda biyokömür uygulamalarının kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinin besin elementleri alımına ve bazı antioksidan enzimleri üzerine etkilerinin araştırıldığı bu çalışma 2019 ve 2020 yılları olmak üzere 2 yıl süre ile sera koşullarında yürütülmüştür. Çalışmanın birinci yılında, şeker pancarı bitkisinin yeşil aksam kuru madde üretimi kuraklık stresi uygulamaları ile birlikte azalmıştır. Ancak, biyokömür uygulamaları genel olarak kontrole göre bitkinin yeşil aksam kuru madde üretimini arttırmış ve TK1, TK2 ve TK3 uygulamalarında en çok artışı sağlayan %2 BD olmuştur. Aynı durum yumru verimi için de geçerli olmuş ve biyokömür dozlarından %2 BD yine en etkili doz olarak belirlenmiştir. Yeşil aksam kuru madde üretimi ve yumru veriminin aksine, kuraklık stresi uygulamaları polar oranını arttırırken biyokömür dozları polar oranını azaltmıştır. Şeker pancarı bitkisinin makro element konsantrasyonları değerlendirildiğinde, kuraklık stresi uygulamaları N, P ve Ca konsantrasyonlarını genel olarak azaltmışken, K ve Mg konsantrasyonlarını arttırmıştır. Biyokömür dozları kontrole göre N, Ca ve Mg konsantrasyonlarını her üç kuraklık stresi uygulamalarında da arttırmışken, genel olarak P konsantrasyonunu TK1 ve TK2 uygulamalarında, K konsantrasyonunu ise TK2 ve TK3 uygulamalarında arttırmıştır. Mikro elementlerden sadece Mn konsantrasyonu kuraklık stresi uygulamalarıyla artmışken, Fe, Zn ve Cu

konsantrasyonları genel olarak kuraklık stresinden olumsuz etkilenmiştir. Biyokömür dozları ise genel olarak mikro element konsantrasyonlarına etkide bulunmamıştır. Şeker pancarı yumrusu verileri değerlendirildiğinde, kuraklık stresi uygulamaları Ca konsantrasyonunu azaltırken, N, P, K ve Mg konsantrasyonlarını arttırmıştır. Bitkinin yapraklarında olduğu gibi biyokömür dozları yumruda da N konsantrasyonunu arttırmıştır. P konsantrasyonunu TK3 uygulamasında, K ve Ca konsantrasyonlarını TK2 uygulamasında arttırmıştır. Şeker pancarı yumrusunun mikro element konsantrasyonu yaprakta olduğu gibi kuraklık stresi uygulamalarıyla sadece Mn konsantrasyonunda artmıştır. Biyokömür uygulamaları ise yumruda genel olarak mikro element konsantrasyonlarını arttırmıştır. Çalışmanın birinci yılında antioksidan enzimlerinden CAT ve POD kuraklık stresi uygulamalarıyla artmışken, APX azalmıştır. Ayrıca çalışmada klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları kuraklık stresi uygulamalarıyla azalmış, ancak biyokömür dozları bu parametreleri kontrollere göre arttırmış ve bu parametrelerin hepsinde öne çıkan doz %2 BD olmuştur.

Çalışmanın ikinci yılında birinci yılda olduğu gibi kuraklık stresi uygulamalarıyla yeşil aksam kuru madde üretimi azalmış, yine birinci yıla benzer şekilde biyokömür dozları ile kontrollerle kıyaslandığında artış göstermiştir. Ayrıca, yine birinci yılda olduğu gibi biyokömür dozlarından %2 BD her üç uygulamada da kuru madde üretimini en fazla arttıran doz olmuştur. Yumru veriminde de aynı durum söz konusudur ve yine %2 BD en etkili doz olarak belirlenmiştir. Polar oranı ise kuraklık stresi uygulamalarıyla az da olsa artmış, yine birinci yılda olduğu gibi biyokömür dozları polar oranını azaltmıştır. Şeker pancarı bitkisinin makro element konsantrasyonlarından N, P ve K kuraklık stresi uygulamalarıyla artmış, Ca ve Mg konsantrasyonları ise azalmıştır. Kuraklık stresi altında yetiştirilen şeker pancarı bitkisinde biyokömür dozları genel olarak makro element konsantrasyonlarını arttırmıştır. Çalışmada kuraklık stresi uygulamalarıyla Fe ve Cu hariç, Zn, Mn ve Cu konsantrasyonlarının azaldığı, biyokömür dozlarının ise genel olarak bu elementlerin konsantrasyonlarını arttırdığı belirlenmiştir. Şeker pancarı yumrusuna ait veriler değerlendirildiğinde, kuraklık stresi uygulamalarının sadece N konsantrasyonunu arttırdığı, ancak P, K, Ca ve Mg konsantrasyonlarını azalttığı tespit edilmiştir. Biyokömür dozları ise özellikle TK3 uygulamasında yumrudaki N konsantrasyonunu önemli miktarda arttırmıştır. Yumrudaki mikro elementler ise kuraklık stresi uygulamalarıyla

artmıştır. Çalışmanın ikinci yılında, birinci yılın aksine kuraklık stresi uygulamalarıyla bitkinin CAT, POD ve APX antioksidan enzimleri genel olarak azalmıştır. Biyokömür dozları ise bu enzimlerin bazılarında etkili olurken bazılarında ise herhangi bir etkiye bulunmamıştır. Yine birinci yılda olduğu gibi klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarları kuraklık stresi uygulamalarıyla azalmış, biyokömür dozları ise bu parametrelerin kuraklık stresi altında artmasını sağlamış ve %2 BD etkili doz olarak ortaya çıkmıştır.

Çalışmada iki yıllık veriler bir bütün olarak değerlendirildiğinde, kuraklık stresi uygulamalarıyla azalan yeşil aksam kuru madde üretimi biyokömür dozları ile artmıştır. Benzer durum yumru verimi için de geçerlidir.

Kuraklık stresi altında şeker pancarı yumrularındaki polar oranlarının arttığı görülmüştür. Bu artışın kuraklık stresinden bir kaçınma olarak osmotik koruyucuların üretimi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Kuraklık stresi altındaki şeker pancarı bitkisine uygulanan biyokömür dozlarının polar oranlarını düşürmesi ise bitkideki stres durumunun giderildiği ile ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

Bitkiler yaşantılarını sürdürdüğü ortamlarda birçok biyotik ve abiyotik stres faktörleriyle karşılaşmaktadır. Stres faktörleri bitkide büyüme ve gelişmeyi olumsuz yönde etkileyerek özellikle tarım alanlarında verim kaybına neden olmaktadır. Stres faktörlerinin oluşturduğu olumsuz etkinin giderilmesinde bitkilerde iyi gelişmiş antioksidan savunma sistemleri mevcuttur. Kuraklık stresi altındaki bitkilerin toprağına biyokömür eklemek, elektron transferini etkileyerek antioksidan enzimlerin aktivitesini düzenleyip bitki yapraklarının kuraklık stresine karşı savunmasını geliştirebilir ve böylece kuraklık stresinin fotosentez üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabilecektir (Lyu ve ark., 2016). Çalışmamızda antioksidan savunma sistemlerinden CAT, POD ve APX enzim aktivitelerinin her iki yılda da kuraklık stresıyla birlikte artış gösterdiği görülmüştür. Kuraklık stresi ile artış gösteren antioksidan enzimlerin özellikle ilk yıl uygulanan biyokömür dozlarıyla birlikte azalması, biyokömürün kuraklık stresinin şeker pancarı bitkisi üzerinde oluşturduğu olumsuz etkiyi giderebileceği veya azaltabileceği düşüncesini oluşturmuştur. Aynı zamanda ikinci yılda antioksidan enzim aktivitelerinin TK1 ve TK2 uygulamalarında biyokömür dozlarıyla birlikte artış gösterip, TK3

uygulamasında azalması; bitkinin ortamda yeterince su bulunmasına rağmen alınamadığı ve fizyolojik kuraklık durumunda olabileceğini düşündürmüştür.

Kuraklık stresi fotosentez olayında görev alan yeşil renkli klorofil pigmentinin miktarını olumsuz yönde etkilemiştir. Şeker pancarı bitkisine uygulanan biyokömür dozları bitkideki klorofil a, klorofil b, toplam klorofil ve karotenoid miktarlarını arttırmıştır. Çalışmada ikinci yıla ait klorofil ve karotenoid pigmentlerinin miktarları birinci yıldan daha yüksek miktarlarda bulunmuştur. Fotosentez olayında görev alan bu pigmentlerin biyokömür dozlarıyla artış göstermesi, kuraklık stresinin fotosentez üzerinde oluşturduğu olumsuz etkinin giderilmesinde kullanılabilecek bir strateji olabileceği kanaati oluşturmıştır.

Stres faktörlerinin en önemlilerinden biri olan kuraklık stresi iklim değişikliklerine bağlı olarak günümüzde tarımsal üretimi önemli oranda sınırlamaktadır. Çalışmada elde edilen bulgular, topraklara biyokömür eklenerek kuraklık stresinin etkilerinin azaltılmasında kullanılabilecek önemli bir strateji olabileceğini göstermektedir. Bundan sonraki süreçte, diğer stres faktörlerinin etkilerinin de biyokömür ile azaltılmasına yönelik çalışmaların yapılmasının sürdürülebilir tarım ilkeleri doğrultusunda önemli olacağı kanaati oluşmuştur.

6. KAYNAKLAR

- Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Adrees, M., Mahmood, A., Zia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Arshad, M., Qayyum, M.F., 2018. Biochar application increased the growth and yield and reduced cadmium in drought stressed wheat grown in an aged contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 825-833.
- Abbas, Q., Yousaf, B., Ullah, H., Ali, M.U., Zia-ur-Rehman, M., Rizwan, M., Rinklebe, J., 2020. Biochar-induced immobilization and transformation of silver-nanoparticles affect growth, intracellular-radicles generation and nutrients assimilation by reducing oxidative stress in maize. *Journal of Hazardous Materials*, 390, 121976.
- Afshar, R.K., Hashemi, M., DaCosta, M., Spargo, J., Sadeghpour, A., 2016. Biochar application and drought stress effects on physiological characteristics of *Silybum marianum*. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 47 (6), 743-752.
- Agbna, G.H.D., Dongli, S., Zhipeng, L., Elshaikh, N.A., Guangcheng, S., Timm, L.C., 2017. Effects of deficit irrigation and biochar addition on the growth, yield, and quality of tomato. *Scientia Horticulturae*, 222, 90-101.
- Ahanger, M.A., Tomar, N.S., Tittal, M., Argal, S., Agarwal, R.M., 2017. Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. *Physiol Mol Biol Plants*, 23 (4), 731-744.
- Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S., Ok, Y.S., 2014. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, 99, 19-33.
- Ahmad, M., Akbar, H., Jan, M.T., Khattak, M.J.K, Bari, A., 2015. Effect of seeding depth, nitrogen placement method and biochar on the growth, yield and its related parameters of sugar beet. *Sarhad Journal of Agriculture*, 31 (4), 224-231.
- Ajayi, A.E., Holthausen, D., Horn, R., 2016. Changes in microstructural behaviour and hydraulic functions of biochar amended soils. *Soil and Tillage Research*, 155, 166-175.
- Akgül, G., 2017. Biyokömür: üretimi ve kullanım alanları. *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*, 5 (4), 485-499.
- Akkurt, B., Günal, H., Erdem, H., Günal, E., 2020. Piroliz sıcaklığının biyoçarların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 8 (1), 1-13.
- Aksu, G. ve Altay, H., 2020a. The effects of potassium applications on drought stress in sugar beet: part I. sugar beet quality components. *Journal of Scientific Perspectives*, 4 (2), 157-168.
- Aksu, G. ve Altay, H., 2020b. The effects of potassium applications on drought stress in sugar beet: part II. plant nutrition content. *Journal of Scientific Perspectives*, 4 (3), 203-216.
- Alaboz, P. ve Işıldar, A.A., 2018. Elma ve gül posası biyoçarlarının kumlu toprağın bazı fiziksel özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6 (2), 67-72.
- Alexis, M.A., Rasse, D.P., Rumpel, C., Bardoux, G., Péchot, N., Schmalzer, P., Drake, B., Mariotti, A., 2007. Fire impact on C and N losses and charcoal production in a scrub oak ecosystem. *Biogeochemistry*, 82, 201-216.

- Ali, F., Bano, A., Fazal, A., 2017. Recent methods of drought stress tolerance in plants. *Plant Growth Regul.*, 82, 363-375.
- Ali, S., Rizwan, M., Qayyum, M.F., Ok, Y.S., Ibrahim, M., Riaz, M., Arif, M.S., Hafeez, F., Al-Wabel, M.I., Shahzad, A.N., 2017. Biochar soil amendment on alleviation of drought and salt stress in plants: a critical review. *Environmental Science Pollution Research*, 24 (14), 12700-12712.
- Alp, Y. ve Kabay, T., 2017. Kuraklık stresinin yerli ve ticari domates çeşitlerinde bazı fizyolojik parametreler üzerine etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22 (2), 86-96.
- Angelini, R., Manes, F., Federico, R., 1990. Spatial and functional correlation between diamine-oxidase and peroxidase activities and their dependence upon de-etiolation and wounding in chick-pea stems. *Planta*, 182 (1), 89-96.
- Anonim, 2017. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkez Müdürlüğü. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://www.tarimorman.gov.tr/>
- Apel, K. ve Hirt, H., 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 55, 373-399.
- Arıkan, Ş., İpek, M., Pırlak, L., 2017. Antioksidan sistemler. 1st International Turkish World Engineering and Science Congress in Antalya, December 7-10, 2017, Turkey.
- Arnon, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, 24 (1), 1-15.
- Arslan, İ., 1987. İklim faktörlerinin verim ve kaliteye etkisi. Birinci Ulusal Şeker Pancarı Üretimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı (150-158), 23-27 Kasım, 1987, Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Yayınları, Ankara.
- Artiola, J.F., Rasmussen, C., Freitas, R., 2012. Effects of a biochar-amended alkaline soil on the growth of romaine lettuce and Bermudagrass. *Soil Sci.*, 177 (9), 561-570.
- Asada, K., 1999. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 50, 601-639.
- Aslan, E., Yılmaz, K., Demir, Ö.F., 2016. Bitlis yöresi topraklarının kil minerali tipleri ve toprak özellikleri ilişkileri. *Çukurova Tarım Gıda Bil. Der.*, 31 (3), 201-206 (Özel Sayı).
- Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., Hipps, N.A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil*, 337 (1), 1-18.
- Bagheri, S., Hassandokht, M.R., Mirsoleimani, A., Mousavi, A., 2020. Effects of palm leaf biochar on the availability of soil nutrients, leaf nutrient concentration, and physiological characteristics of melon plants (*Cucumis melo* L.) under drought stress. *Acta Agrobotanica*, 73 (1), 1-12.
- Bağcı, E.G., 2010. Nohut (*Cicer arietinum* L.) çeşitlerinde kuraklığa bağlı oksidatif stresin fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerle belirlenmesi. (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi, Toprak Anabilim Dalı, Ankara.
- Barnabás, B., Jäger, K., Fehér, A., 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell Environ.*, 31 (1), 11-38.
- Bashir, M.A., Naveed, M., Ahmad, Z., Gao, B., Mustafa, A., Núñez-Delgado, A., 2020. Combined application of biochar and sulfur regulated growth, physiological,

- antioxidant responses and Cr removal capacity of maize (*Zea mays* L.) in tannery polluted soils. *Journal of Environmental Management*, 259, 110051.
- Basso, A.S., Miguez, F.E., Laird, D.A., Horton, R., Westgate, M., 2013. Assessing potential of biochar for increasing water-holding capacity of sandy soils. *GCB Bioenergy*, 5 (2), 132-143.
- Batool, A., Taj, S., Rashid, A., Khalid, A., Qadeer, S., Saleem, A.R., Ghufuran, M.A., 2015. Potential of soil amendments (Biochar and Gypsum) in increasing water use efficiency of *Abelmoschus esculentus* L. Moench. *Frontiers in Plant Science*, 6, 733.
- Bellitürk, K., 2016. Sürdürülebilir tarımsal üretimde katı atık yönetimi için vermikompost teknolojisi. *Çukurova Tarım Gıda Bil. Der.*, 31 (3), 1-5 (Özel Sayı).
- Blokhina, O., Virolainen, E., Fagerstedt, K.V., 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany*, 91, 179-194.
- Bond, T.C. ve Sun, H., 2005. Can reducing black carbon emissions counteract global warming? *Environ. Sci. Technol.*, 39 (16), 5921-5926.
- Brantley, K.E., Brye, K.R., Savin, M.C., Longer, D.E., 2015. Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. *Open Journal of Soil Science*, 5, 1-10.
- Bremner, J.M., 1965. Total nitrogen. In: *Methods of soil analysis*. (Ed: Black, C.A.) Part 2. American Society of Agronomy Inc.: Publisher, Madison, Wisconsin, USA, 1149-1178.
- Brown, L.R., 2006. *Plan B 2.0. Rescuing a planet under stress and a civilization in trouble*. W.W. Norton & Co, New York.
- Bülbül, S., 2020. Tuz stresinde yetişen domates bitkisinin fizyolojik gelişimi ve toprağın bazı özellikleri üzerine biyokömürün etkileri. (Yüksek Lisans Tezi), Harran Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Şanlıurfa.
- Büyük, İ., Aydın, S.S., Aras, S., 2012. Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 69 (2), 97-110.
- Camp, W.V., Inzé, D., Montagu, M.V., 1997. The regulation and function of tobacco superoxide dismutase. *Free Radical. Biol. Med.*, 23 (3), 515-520.
- Caverzan, A., Casassola, A., Brammer, S.P., 2016. Reactive oxygen species and antioxidant enzymes involved in plant tolerance to stress. *Abiotic and Biotic Stress in Plants-Recent Advances and Future Perspectives*, Ed: Shanker, A.K. and Shanker, C. InTechOpen, Rijeka, 463-480.
- Chan, K.Y., Zwieten, L.V., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S., 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45, 629-634.
- Collins, A.R., 2001. Carotenoids and genomic stability. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 475 (1-2), 21-28.
- Çalışkan, M.E., Çalışkan, S., Demirel, U., Aksoy, E., Arıoğlu, H.H., 2020. Nişasta ve şeker bitkileri üretiminde mevcut durum ve gelecek. *Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi*, 13-17 Ocak, 2020, Ankara.
- Çebi, B., 2014. Kuraklık stresi altında karnitin teşvikli proteinlerin tanımlanması. (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı, İzmir.
- Çelik, S.A. ve Ayrar, İ., 2020. Antioksidan kaynağı olarak bazı tıbbi ve aromatik bitkiler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 13 (2), 115-125.

- Çetin, F., 2018. Farklı ploidi seviyelerine sahip türk buğday çeşitlerinde kuraklık stresi altında fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Kastamonu Üniversitesi, Genetik ve Biyomühendislik Ana Bilim Dalı, Kastamonu.
- Çıkman, A., Monis, T., Nacar, A.S., Vurarak, Y., Karanlık, S., 2016. Harran ovası'nda sulu koşullarda tarımsal artık kökenli kompost uygulamasının toprağın fiziksel özellikleri ve susam verimi üzerine etkisi. Çukurova Tarım Gıda Bil. Der., 31 (3), 131-138 (Özel Sayı).
- Çırak, C. ve Esendal, E., 2006. Soyada kuraklık stresi. Omü Zir. Fak. Dergisi, 21 (2), 231-237.
- Çimen, Ç., Öter, Ç., Demir, H., Savran, A., 2005. Rat eritrositlerinden elde edilen katalaz enziminin karakterizasyonu ve kinetiğinin incelenmesi. YYÜ Vet. Fak. Derg., 16 (1), 15-20.
- Çokuysal, B., 2016. Gübreleme programlarına yeni bir bakış: yeni paradigmlarla, neden fark yaratmak zorundayız?. Çukurova Tarım Gıda Bil. Der., 31 (3), 13-20 (Özel Sayı).
- Çulha, Ş. ve Çakırlar, H., 2011. Tuzluluğun bitkiler üzerine etkileri ve tuz tolerans mekanizmaları. AKÜ FEBİD, 11, 11-34.
- Danish, S. ve Zafar-ul-Hye, M., 2019. Co-application of ACC-deaminase producing PGPR and timber-waste biochar improves pigments formation, growth and yield of wheat under drought stress. Scientific reports, 9, 5999.
- Das, K. ve Roychoudhury, A., 2014. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. Frontiers in Environmental Science, 2, 53.
- de Pinto, M.C. ve De Gara, L., 2004. Changes in the ascorbate metabolism of apoplastic and symplastic spaces are associated with cell differentiation. J. Exp. Bot., 55, 2559-2569.
- Demirbas, A., Karakoy, T., Durukan, H., 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, 8328-8336.
- Demirbaş, A. ve Coşkan, A., 2019. The effects of biochar and cadmium applications on yield and nutrient uptake of maize plant. Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 7, 109-114.
- Doğru, A., 2020. Bitkilerde aktif oksijen türleri ve oksidatif stres. International Journal of Life Sciences and Biotechnology, 3 (2), 205-226.
- Doorenbos, J. ve Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper. No:33. Rome.
- Döşer, B. ve Avcı, S., 2019. İklim değişikliğinin tarımsal üretim ekonomisi üzerine olası etkileri: Şeker pancarı tarımı örneği. 1. İstanbul uluslararası coğrafya kongresi bildiri kitabı, 20-22 Haziran, 2019, İstanbul.
- Durak, A. ve Ulubaş, G., 2017. Bor gübrelemesinin şeker pancarında (*Beta vulgaris* L.) verim özellikleri üzerine etkisi. Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5 (7), 745-749.
- Duran, R.E., Coşkun, Y., Savaşkan, Ç., 2010. Tuzun makarnalık buğday genotiplerinde (*Triticum durum* Desf.) bazı kalitatif ve kantitatif özellikler üzerine etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14 (1), 17-22.

- Durukan, H., Saraç, H., Demirbaş, A., 2020. Farklı dozlarda vermikompost uygulamasının mısır bitkisinin verimine ve besin elementleri alımına etkisi. Ziraat Fakültesi Dergisi Türkiye 13. Ulusal, I. Uluslararası Tarla Bitkileri Kongresi, 45-51 (Özel sayı).
- Erdem, H., Kınay, A., Günal, E., Yaban, H., Tutuş, Y., 2017. The effects of biochar application on cadmium uptake of tobacco. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 12 (2), 447-456.
- Erdoğan, Z., 2017. Türkiye’de şeker sanayinin gelişimi ve şeker sanayinde izlenen politikalar. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 17 (3), 9-26.
- Fahad, S., Bajwa, A.A., Nazir, U., Anjum, S.A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M.Z., Alharby, H., Wu, C., Wang, D., Huang, J., 2017. Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. Front. Plant Sci., 8, 1147.
- FAO, 2009. How to feed the world in 2050. Food and Agriculture Organization of The United Nations. <https://www.fao.org/>
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev., 29, 185-212.
- Fayez, K.A. ve Bazaid, S.A., 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13 (1), 45-55.
- Flora, S.J.S., 2007. Role of free radicals and antioxidants in health and disease. Cell. Mol. Biol., 53 (1), 1-2.
- Foley, B.J. ve Cooperband, L.R., 2002. Paper mill residuals and compost effects on soil carbon and physical properties. J. Environ. Qual., 31 (6), 2086-2095.
- Foyer, C.H., Lopez-Delgado, H., Dat, J.F., Scott, I.M., 1997. Hydrogen peroxide- and glutathione-associated mechanisms of acclimatory stress tolerance and signalling. Physiologia Plantarum, 100 (2), 241-254.
- Foyer, C.H. ve Noctor, G., 2005. Redox homeostasis and antioxidant signaling: a metabolic interface between stress perception and physiological responses. The Plant Cell, 17, 1866-1875.
- Gill, S.S. ve Tuteja, N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiol. Biochem., 48 (12), 909-930.
- Gratão, P.L., Polle, A., Lea, P.J., Azevedo, R.A., 2005. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. Functional Plant Biol., 32 (6), 481-494.
- Gunes, A., Inal, A., Taskin, M.B., Sahin, O., Kaya, E.C., Atakol, A., 2014. Effect of phosphorus-enriched biochar and poultry manure on growth and mineral composition of lettuce (*Lactuca sativa* L. cv.) grown in alkaline soil. Soil Use and Management, 30 (2), 182-188.
- Guo, W.H., Li, B., Huang, Y.M., Zhao, H.X., Zhang, X.S., 2003. Effects of different water stresses on eco-physiological characteristics of *Hippophae rhamnoides* seedlings. Acta Bot. Sin., 45 (10), 1238-1244.
- Güenal, E., Erdem, H., Kaplan, A., 2017. Biyokömür ilavesinin toprakta nitrat ve amonyum yıkanmasına etkileri. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 21 (1), 73-83.
- Gündoğdu, M., Berk, S.K., Geçer, M.K., Kıpçak, S., Çakmakçı, Ö., 2019. Çilek yapraklarının antioksidan enzim aktiviteleri üzerine farklı hormon

- uygulamalarının etkisi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 29 (2), 225-232.
- Günel, E., Çalışkan, M.E., Tortopoğlu, A.İ., Kuşman, N., Tuğrul, K.M., Yılmaz, A., Dede, Ö., Öztürk, M., 2005. Nişasta ve şeker bitkileri üretimi. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi Bildiri Kitabı, Ankara, 431-457.
- Hafeez, Y., Iqbal, S., Jabeen, K., Shahzad, S., Jahan, S., Rasul, F., 2017. Effect of biochar application on seed germination and seedling growth of *Glycine max* (L.) Merr. under drought stress. Pak. J. Bot., 49, 7-13.
- Hafez, Y., Attia, K., Alamery, S., Ghazy, A., Al-Doss, A., Ibrahim, E., Rashwan, E., El-Maghraby, L., Awad, A., Abdelaal, K., 2020. Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. Agronomy, 10, 630.
- Hammer, E.C., Forstreuter, M., Rillig, M.C., Kohler, J., 2015. Biochar increases arbuscular mycorrhizal plant growth enhancement and ameliorates salinity stress. Applied Soil Ecology, 96, 114-121.
- Hashem, A., Kumar, A., Al-Dbass, A.M., Alqarawi, A.A., Al-Arjani, A.F., Singh, G., Farooq, M., Abd_Allah, E.F., 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi and biochar improves drought tolerance in chickpea. Saudi Journal of Biological Sci., 26 (3), 614-624.
- Havir, E.A. ve McHale, N.A., 1987. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. Plant Physiol., 84 (2), 450-455.
- Hu, X., Hao, C., Cheng, Z.M., Zhong, Y., 2019. Genome-wide identification, characterization, and expression analysis of the grapevine superoxide dismutase (sod) family. International Journal of Genomics, 1-13.
- Inal, A., Gunes, A., Sahin, O., Taskin, M.B., Kaya, E.C., 2015. Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. Soil Use and Management, 31, 106-113.
- Ippolito, J.A., Laird, D.A., Busscher, W.J., 2012. Environmental benefits of biochar. Journal of Environ. Qual., 41 (4), 967-972.
- Ippolito, J.A., Ducey, T.F., Cantrell, K.B., Novak, J.M., Lentz, R.D., 2016. Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. Chemosphere, 142, 184-191.
- Jaleel, C.A., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H.J., Somasundaram, R., Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture & Biology, 11, 100-105.
- Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M., Bastos, A.C., 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment 144 (1), 175-187.
- Jia, W., Wang, C., Ma, C., Wang, J., Sun H., Xing, B., 2019. Mineral elements uptake and physiological response of *Amaranthus mangostanus* (L.) as affected by biochar. Ecotoxicology and Environmental Safety, 175, 58-65.
- Kabay, T. ve Şensoy, S., 2016. Kuraklık stresinin bazı fasulye genotiplerinde oluşturduğu enzim, klorofil ve iyon değişimleri. Yyü Tar. Bil. Derg., 26 (3), 380-395.
- Kacar, B. ve İnal, A., 2008. Bitki analizleri. Nobel Yayın., 1241, 891.

- Kammann, C.I., Linsel, S., Gößling, J.W., Koyro, H.W., 2011. Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil-plant relations. *Plant Soil*, 345 (1), 195-210.
- Kammann, C. ve Graber, E.R., 2015. Biochar effects on plant eco-physiology. Ed: Lehmann, J., and Joseph, S. *Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation*. Routledge, Abingdon, 391-420.
- Kapluhan, E., 2013. Türkiye’de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 27, 487-510.
- Karabulut, H. ve Gülay, M.Ş., 2016. Serbest Radikaller. *MAKÜ Sag. Bil. Enst. Derg.*, 4 (1), 50-59.
- Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., Regina, K., 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity-Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140 (1-2), 309-313.
- Karipçin, M.Z. ve Durak, E.D., 2018. Biber genotiplerinde peroksidaz ve katalaz içeriklerinin *Phytophthora capsici*’ye dayanıklılık üzerine etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 5 (1), 65-71.
- Kayam, Y., Yılmaz, G., Etöz, M., Yüceerim, G., 2017. Bazı kuraklık indislerinin karşılaştırılması ve iklimsel analizler; Menemen örneği. 5. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 12-15 Eylül, 2017, Kırklareli.
- Kılıçaslan, S.C., Yıldırım, E., Ekinci, M., Kul, R., 2020. Kuraklık stresinin fasulyede bitki gelişimi, bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikler üzerine etkisi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 36 (2), 264-273.
- Kireççi, O.A., 2018. Bitkilerde enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidanlar. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 473-483.
- Koç, E. ve Üstün, A.S., 2008. Patojenlere karşı bitkilerde savunma ve antioksidanlar. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24 (1-2), 82-100.
- Koç, E., Üstün, A.S., Arıcı, Y.K., 2012. Biber (*Capsicum annuum* L.) fidelerinde farklı çinko konsantrasyonlarının total protein, hidrojen peroksit içeriği ve peroksidaz aktivitesi üzerine etkisi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13 (2), 205-212.
- Kumar J. ve Abbo S., 2001. Genetics of flowering time in chickpea and its bearing on productivity in semiarid environments. *Adv. Agron.* 72, 107-138.
- Kutlu, İ., Turhan, E., Yorgancılar, Ö., Yorgancılar, A., 2017. Kuraklık stresinde buğday genotiplerinde verim komponentleri ve antioksidan enzim metabolizmasında değişimler. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 20 (Özel Sayı), 273-277.
- Külahtaş, B. ve Çokuysal, B., 2016. Biyostimulantların sınıflandırılması ve Türkiye’deki durumu. *Çukurova Tarım Gıda Bil. Der.*, 31 (3), 185-200 (Özel Sayı).
- Langeroodi, A.R.S., Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E., 2019. Can biochar improve pumpkin productivity and its physiological characteristics under reduced irrigation regimes? *Scientia Horticulturae*, 247, 195-204.
- Lehmann, J. ve Joseph, S., 2009. Biochar for environmental management: an introduction. *Biochar for environmental management*, Ed: Lehmann, J. and Joseph, S. Earthscan, London, 1-12.
- Levitt, J., 1980. Responses of plant to environmental stress: water, radiation, salt and other stresses. Academic Press, New York, 365.

- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Sohi, S., Thies, J.E., Skjemstad, J.O., Luizão, F.J., Engelhard, M.H., Neves, E.G., Wirrick, S., 2008. Stability of biomass-derived black carbon in soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72 (24), 6069-6078.
- Liu, L., Wang, Y., Yan, X., Li, J., Jiao, N., Hu, S., 2017. Biochar amendments increase the yield advantage of legume-based intercropping systems over monoculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 237, 16-23.
- Lum, M.S., Hanafi, M.M., Rafii, Y.M., Akmar, A.S.N., 2014. Effect of drought stress on growth, proline and antioxidant enzyme activities of upland rice. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 24 (5), 1487-1493.
- Lyu, S., Du, G., Liu, Z., Zhao, L., Lyu, D., 2016. Effects of biochar on photosystem function and activities of protective enzymes in *Pyrus ussuriensis* Maxim. under drought stress. *Acta Physiol. Plant.*, 38 (9), 220.
- Mehdizadeh, L., Moghaddam, M., Lakzian, A., 2019. Alleviating negative effects of salinity stress in summer savory (*Satureja hortensis* L.) by biochar application. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41, 98.
- Méndez, A., Gómez, A., Paz-Ferreiro, J., Gascó, G., 2012. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere*, 89 (11), 1354-1359.
- Mengü, G.P., Anaç, S., Özçakal, E., 2011. Kuraklık yönetim stratejileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 48 (2), 175-181.
- Midmore, D.J., 1993. Agronomic modification of resource use and intercrop productivity. *Field Crops Research*, 34 (3-4), 357-380.
- Mittler, R., 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.*, 7 (9), 405-410.
- Mittler, R., Vanderauwera, S., Gollery, M., Van Breusegem, F., 2004. Reactive oxygen gene network of plants. *Trends Plant Sci.*, 9 (10), 490-498.
- Mulcahy, D.N., Mulcahy, D.L., Dietz, D., 2013. Biochar soil amendment increases tomato seedling resistance to drought in sandy soils. *J. Arid Environ.*, 88, 222-225.
- Muller, B., Pantin, F., Génard, M., Turc, O., Freixes, S., Piques, M., Gibon, Y., 2011. Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *J. Exp. Bot.*, 62 (6), 1715-1729.
- Murphy, J. ve Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica chimica acta*, 27, 31-36.
- Namlı, A., Akça, M.O., Akça, H., 2017. Tarımsal atıklardan elde edilen biyokömürün buğday bitkisinin gelişimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkileri. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 5 (1), 39-47.
- Negiş, H., Gümüş, İ., Şeker, C., 2019. The properties of biochars derived from different plant residue and different pyrolysis temperatures. *Akademik Ziraat Dergisi*, 8 (2), 319-322.
- Noctor, G. ve Foyer, C.H., 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 49, 249-279.
- Odabaş, F., 1981. Bacchus çeşidinde (*Vitis vinifera* L.) yaprakların klorofil miktarı üzerine azot gübrelemesinin etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12 (2-3), 39-50.

- Olmo, M., Villar, R., Salazar, P., Albuquerque, J.A., 2016. Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. *Plant and Soil*, 399, 333-343.
- Omotade, I.F., Momoh, S.O., Oluwafemi, B.P., Agboola, E.A., 2020. Comparative analysis of nutrients composition in biochar produced from different feedstocks at varying pyrolysis temperature. *Environmental Research & Technology*, 3 (2), 64-70.
- Ortaş, İ., 2018. Bioçar'ın toprak kalitesi ve bitki gelişimi üzerine etkileri. *Organomineral Gübre Çalıştayı*, 12 Mayıs, 2018, İstanbul.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L.S.P., 2014. Response of plants to water stress. *Front. Plant Sci.*, 5, 86.
- Örs, S. ve Ekinci, M., 2015. Kuraklık stresi ve bitki fizyolojisi. *Derim*, 32 (2), 237-250.
- Özenç, D.B., Yılmaz, F.I., Tarakçıoğlu, C., Aygün, S., 2019. Fındıktan üretilen atıkların toprağın fiziko-kimyasal ve biyolojik özelliklerine etkileri. *Mediterranean Agricultural Sciences*, 32 (Özel Sayı), 7-13.
- Öztürk, N.Z., 2015. Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (5), 307-315.
- Parida, A.K. ve Das, A.B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotox. Env. Saf.*, 60 (3), 324-349.
- Pessenda, L.C.R., Gouveia, S.E.M., Aravena, R., 2001. Radiocarbon dating of total soil organic matter and humin fraction and its comparison with ¹⁴C ages of fossil charcoal. *Radiocarbon*, 43, 595-601.
- Pouresmaeil, P., Habibi, D., Boojar, M.M.A., Tarighaleslami, M., 2013. Effect of super absorbent polymer application on chemical and biochemical activities in red bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under drought stress. *European Journal of Experimental Biology*, 3 (3), 261-266.
- Preston, C.M. ve Schmidt, M.W.I., 2006. Black (pyrogenic) carbon in boreal forests: a synthesis of current knowledge and uncertainties. *Biogeosciences Discussions*, 3, 211-271.
- Qayyum, M.F., Abid, M., Danish, S., Saeed, M.K., Ali, M.A., 2015. Effects of various biochars on seed germination and carbon mineralization in an alkaline soil. *Pak. J. Agric. Sci.*, 51 (4), 977-982.
- Rajapaksha, A.U., Chen, S.S., Tsang, D.C.W., Zhang, M., Vithanage, M., Mandal, S., Gao, B., Bolan, N.S., Ok, Y.S., 2016. Engineered/designer biochar for contaminant removal/immobilization from soil and water: potential and implication of biochar modification. *Chemosphere*, 148, 276-291.
- Riad, G.S., Youssef, S.M., Abu El-Azm, N.A.I., Ahmed, E.M., 2018. Amending sandy soil with biochar or/and superabsorbent polymer mitigates the adverse effects of drought stress on green pea. *Egypt. J. Hort.*, 45 (1), 169-183.
- Sánchez-Casas, P. ve Klessig, D.F., 1994. A salicylic acid-binding activity and a salicylic acid-inhibitable catalase activity are present in a variety of plant species. *Plant Physiol.*, 106, 1675-1679.
- Sattar, A., Sher, A., Ijaz, M., Irfan, M., Butt, M., Abbas, T., Hussain, S., Abbas, A., Ullah, M.S., Cheema, M.A., 2019. Biochar application improves the drought tolerance in maize seedlings. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*, 88 (4), 379-388.

- Schmidt, M.W.I. ve Noack, A.G., 2000. Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles*, 14 (3), 777-793.
- Seleiman, M.F., Refay, Y., Al-Suhaibani, N., Al-Ashkar, I., El-Hendawy, S., Hafez, E.M., 2019. Integrative effects of rice-straw biochar and silicon on oil and seed quality, yield and physiological traits of *Helianthus annuus* L. grown under water deficit stress. *Agronomy*, 9, 637.
- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., Pessarakli, M., 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 1-26.
- Shashi, M.A., Mannan, M.A., Islam, M.M., Rahman, M.M., 2018. Impact of rice husk biochar on growth, water relations and yield of maize (*Zea mays* L.) under drought condition. *The Agriculturists*, 16 (2), 93-101.
- Sırdaş, S. ve Şen, Z., 2003. Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması. *İTÜ Dergisi*, 2 (2), 95-103.
- Silambarasan, S., Logeswari, P., Cornejo, P., Abraham, J., Valentine, A., 2019. Simultaneous mitigation of aluminum, salinity and drought stress in *Lactuca sativa* growth via formulated plant growth promoting *Rhodotorula mucilaginosa* CAM4. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 180, 63-72.
- Smirnoff, N., 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*, 125, 27-58.
- Sökmen, B.B. ve Ahıskalı, A., 2017. Giresun yöresinde yetişen fındık mantarı (*Lactarius pyragalus*)'ndan katalaz enziminin saflaştırılması ve karakterizasyonu. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 53-65.
- Sönmez, F. ve Çığ, F., 2019. Artan dozdaki biyokömür ve solucan gübresi uygulamalarının buğdayda ve toprakta besin elementi içeriği üzerine etkilerinin belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 22 (4), 526-536.
- Spokas, K.A., Cantrell, K.B., Novak, J.M., Archer, D.W., Ippolito, J.A., Collins, H.P., Boateng, A.A., Lima, I.M., Lamb, M.C., McAloon, A.J., Lentz, R.D., Nichols, K.A., 2012. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *J. Environ. Qual.*, 41, 973-989.
- Spychalla, J.P. ve Desborough, S.L., 1990. Superoxide dismutase, catalase, and α -tocopherol content of stored potato tubers. *Plant Physiol.*, 94, 1214-1218.
- Sümer, S.K., Kavdır, Y., Çiçek, G., 2016. Türkiye'de tarımsal ve hayvansal atıklardan biyokömür üretim potansiyelinin belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bil. Derg.*, 19 (4), 379-387.
- Şahin, Ö., Taşkın, M.B., Kaya, E.C., Taşkın, H., 2016. Fosfor ile zenginleştirilmiş biyokömürün marul bitkisinin (*Lactuca sativa* L. cv. Maritima) gelişimi ve mineral element konsantrasyonu üzerine etkisi. *Çukurova Tarım Gıda Bil. Der.*, 31 (3), 101-107 (Özel sayı).
- Şener, E. ve Şener, Ş., 2019. Meteorolojik kuraklığın coğrafi bilgi sistemleri tabanlı zamansal ve konumsal analizi: çorak gölü havzası (Burdur-Türkiye) örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7 (3), 596-607.
- Taiz, L. ve Zeiger, E., 2010. Responses and adaptations to abiotic stress. In: *Plant Physiology*, Fifth Edition. Sunderland, MA: Sinauer Associates, Inc. 755-778.
- Tan, Z., Lin, C.S.K., Ji, X., Rainey, T.J., 2017. Returning biochar to fields: A review. *Applied Soil Ecology*, 116, 1-11.

- Tanure, M.M.C., da Costa, L.M., Huiz, H.A., Fernandes, R.B.A., Cecon, P.R., Junior, J.D.P., da Luz, J.M.R., 2019. Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*, 192, 164-173.
- Tarakçıoğlu, C., Özenç, D.B., Yılmaz, F.I., Kulaç, S., Aygün, S., 2019. Fındık kabuğundan üretilen biyokömürün toprağın besin maddesi kapsamı üzerine etkisi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 34 (1), 107-117.
- Taş, T. ve Öktem, A., 2019. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde bazı mısır genotiplerinin (*Zea mays* L.) yüksek sıcaklık ve su stresine fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal tepkilerinin belirlenmesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 3 (1), 128-152.
- Tayyab, M., Islam, W., Khalil, F., Ziqin, P., Caifang, Z., Arafat, Y., Hui, L., Rizwan, M., Ahmad, K., Waheed, S., Tarin, M.W.K., Hua, Z., 2018. Biochar: An efficient way to manage low water availability in plants. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16 (3), 2565-2583.
- Timmusk, S., Seisenbaeva, G., Behers, L., 2018. Titania (TiO₂) nanoparticles enhance the performance of growth-promoting rhizobacteria. *Sci. Rep.*, 8 (1), 617.
- Tomar, N.S., Sharma, M., Agarwal, R.M., 2015. Phytochemical analysis of *Jatropha curcas* L. during different seasons and developmental stages and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L) as affected by extracts/leachates of *Jatropha curcas* L. *Physiol Mol. Biol. Plants*, 21 (1), 83-92.
- Tomczyk, A., Sokolowska, Z., Boguta, P., 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technol.*, 19, 191-215.
- Touchette, B.W., Smith, G.A., Rhodes, K.L., Poole, M., 2009. Tolerance and avoidance: two contrasting physiological responses to salt stress in mature marsh halophytes *Juncus roemerianus* Scheele and *Spartina alterniflora* Loisel. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, 380, 106-112.
- Tuna, A.L. ve Eroğlu, B., 2017. Tuz stresi altındaki biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinde bazı organik ve inorganik bileşiklerin antioksidatif sisteme etkileri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 32 (1), 121-131.
- Turfan, N., 2017. Savrun ıspanak (*Spinacia oleracea* L.) çeşidinin bazı abiyotik stres faktörlerine tepkisi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (6), 660-667.
- TÜİK, 2020. Bitkisel üretim istatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://www.tuik.gov.tr/>
- Vaccari, F.P., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., Miglietta, F., 2011. Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *Eur. J. Agron.*, 34 (4), 231-238.
- Verheijen, F.G.A., Graber, E.R., Ameloot, N., Bastos, A.C., Sohi, S., Knicker, H., 2014. Biochars in soils: new insights and emerging research needs. *Eur. J. Soil Sci.*, 65, 22-27.
- Wacal, C., Ogata, N., Basalirwa, D., Handa, T., Sasagawa, D., Acidri, R., Ishigaki, T., Kato, M., Masunaga, T., Yamamoto, S., Nishihara, E., 2019. Growth, seed yield, mineral nutrients and soil properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by biochar addition on upland field converted from paddy. *Agronomy*, 9 (2), 55.

- Wang, Y., Pan, F., Wang, G., Zhang, G., Wang, Y., Chen, X., Mao, Z., 2014. Effects of biochar on photosynthesis and antioxidative system of *Malus hupehensis* Rehd. seedlings under replant conditions. *Sci. Hortic.*, 175, 9-15.
- Wang, W., Xia, M.X., Chen, J., Yuan, R., Deng, F.N., Shen, F.F., 2016. Gene expression characteristics and regulation mechanisms of superoxide dismutase and its physiological roles in plants under stress, *Biochemistry*, 81 (5), 465-480.
- Warner, K.J. ve Jones, G.A., 2017. A population-induced renewable energy timeline in nine world regions. *Energy Policy*, 101, 65-76.
- Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuyper, T.W., Rillig, M.C., 2007. Mycorrhizal responses to biochar in soil-concepts and mechanisms. *Plant and Soil*, 300, 9-20.
- Wilhite, D.A. ve Glantz, M.H., 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International*, 10 (3), 111-120.
- Witham, F.H., Blaydes, D.F., Devlin, R.M., 1971. *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1-11.
- Yaban, İ. ve Kabay, T., 2019. Kuraklık stresinin Urfa biberinde iyon klorofil ve enzim içerikleri üzerine etkisi. *Toprak Su Dergisi*, 8 (1), 11-17.
- Yılmaz, E., Tuna, A.L., Bürün, B., 2011. Bitkilerin tuz stresi etkilerine karşı geliştirdikleri tolerans stratejileri. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 47-66.
- Yoshimura, K., Yabuta, Y., Ishikawa, T., Shigeoka, S., 2000. Expression of spinach ascorbate peroxidase isoenzymes in response to oxidative stresses. *Plant Physiol*, 123, 223-234.
- Yüksel, B. ve Aksoy, Ö., 2017. Su stresi koşullarında bitkilerde gözlenen değişimler. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 10 (2), 01-05.