



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SU STRESİ KOŞULLARINDA BİBER BİTKİSİNE (CAPSİCUM ANNUUM
L.) YAPRAKTAN HÜMİK ASİT UYGULAMASININ BİTKİ GELİŞİMİ VE
BİYOKİMYASAL PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

ZEHRA ŞİŞ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME

**Şanlıurfa
2025**



**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SU STRESİ KOŞULLARINDA BİBER BİTKİSİNE (CAPSİCUM ANNUUM
L.) YAPRAKTAN HÜMİK ASİT UYGULAMASININ BİTKİ GELİŞİMİ VE
BİYOKİMYASAL PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ**

ZEHRA ŞİŞ

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME
Tez Danışmanı: SEMA KARAKAŞ DİKİLİTAŞ**

**Şanlıurfa
2025**

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın belirlenmesi, yürütülmesi ve yazımı sırasında bilgi ve tecrübesinden yararlandığım çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Sema KARAKAŞ DİKİLİTAŞ' a teşekkürlerimi sunuyorum. Çalışmamın analiz aşamasında desteklerinden dolayı Araş. Gör. Dr. Ferhat UĞURLAR' a, çalışmamda sera ortamını sağlayan Prof. Dr. Mehmet Ertuğrul GÜLDÜR' e, biyokimyasal analizlerde yardımcı olan Prof. Dr. Murat DİKİLİTAŞ' a çok teşekkür ederim. Prof. Dr. Ahmet ALMACA ve Dr. Öğr. Üyesi Feyza Nur Kafadar hocalarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim. Çalışmam süresince desteğini esirgemeyen abim Ziraat Mühendisi Adem ŞİŞ' e, eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	iv
SİMGELER	v
KISALTMALAR	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. GEREÇ VE YÖNTEM	8
3.1. Materyal	8
3.2. Yöntem	8
3.2.1. Denemenin Yürütülmesi	8
3.2.2. Bitki Gelişim Parametreleri	10
3.2.2.1. Bitki Boyu	10
3.2.2.2. Bitki Yaş ve Kuru Ağırlığı	10
3.2.2.3. Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı	10
3.2.2.4. Elektriksel Sızıntının (ES) Belirlenmesi	11
3.2.3. Biyokimyasal Analizler	11
3.2.3.1. Bitkilerde Klorofil Analizi	12
3.2.3.2. Bitkilerde Prolin Analizi	12
3.2.3.3. Bitkilerde Lipid Peroksidasyonu (MDA)	13
3.2.3.4. Hidrojen Peroksit	13
3.2.3.5. Peroksidaz Enzim Analizi (POX, E.C.1.11.1.7)	13
3.2.3.6. Katalaz Enzim Analizi (CAT, E.C.1.11.1.6)	14
3.2.4. Mineral Madde Analizi	14
3.2.5. Verilerin Değerlendirilmesi	15
4. BULGULAR	16
4.1. Bitki Gelişim Parametreleri	16
4.1.1. Bitki Boyu	16
4.1.2. Bitki Yaş ve Kuru Ağırlığı	17
4.1.3. Bitki Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı	19
4.1.4. Elektriksel Sızıntı	21
4.2. Biyokimyasal Analiz Bulguları	22
4.2.1. Klorofil a ve Klorofil b Miktarı	22
4.2.2. Prolin Miktarı	24
4.2.3. Lipid Peroksidasyon Miktarı	25
4.2.4. Hidrojen Peroksit Miktarı	26
4.2.5. Peroksidaz Enzim Miktarı	27
4.2.6. Katalaz Enzim Miktarı	28
4.3. Bitki Mineral Madde Miktarı	28
5. TARTIŞMA	30
6. SONUÇLAR	32
7. ÖNERİLER	34
KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ	41
EKLER	42

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SU STRESİ KOŞULLARINDA BİBER BİTKİSİNE (CAPSİCUM ANNUM L.) YAPRAKTAN HÜMİK ASİT UYGULAMASININ BİTKİ GELİŞİMİ VE BİYOKİMYASAL PARAMETRELERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

ZEHRA ŞİŞ

**HARRAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME**

Yıl: 2025, Sayfa : 47

Bitkiler uygun çevre şartlarında normal gelişim gösterirler. Bitkileri çevresel stres faktörleri olumsuz etkilemektedir. Çevresel stresler biyotik ve abiyotik olarak sınıflandırılırlar. Günümüzde en yaygın abiyotik streslerden olan su stresi bitkisel üretimi, büyüme ve gelişimi, metabolik savunmayı etkilemektedir. Su stresi ile karşı karşıya kalan bitki, bazı savunma mekanizmaları ile kurak koşullara adapte olmaya çalışmaktadır. Bu çalışmada, biber bitkisine farklı su stresi (kontrol; %100 saksı nem kapasitesi (tarla kapasitesi), kontrole verilen su miktarının %80' i, kontrole verilen su miktarının %40'ı, kontrole verilen su miktarının %20'si) ile iyileştirici olarak yapraktan 50 ppm hümitik asit (HA) uygulanmıştır. Uygulamaların bitkideki bitki gelişim parametreleri (bitki boy, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, kök yaş ağırlığı ve kök kuru ağırlığı, elektiriksel sızıntı (ES) ve biyokimyasal parametreler (klorofil a klorofil b, prolin, lipid peroksidasyonu (MDA), hidrojen peroksit (H_2O_2), antioksidant enzim (POX ve CAT), ve mineral madde (N, P, K, Ca, Mg, Fe ve Zn) içerikleri incelenmiştir. Artan su stresi koşullarında bitki gelişim parametrelerinde azalmaların olduğu belirlenmiştir. HA uygulanan bitkilerde uygulanmayanlara göre bitki gelişiminde artışın olduğu görülmüştür. Bitki su stresi koşullarında biyokimyasal tepkiler göstermiş, prolin, MDA ve H_2O_2 oranı kontrole oranla artmıştır. Su stresi ile HA birlikte uygulanan bitkide savunma mekanizmaları artmış ve savunma mekanizmasını devreye koyarak bitkinin stresten daha az etkilenmesini sağlamıştır. Yine HA' nın yapraktan uygulanması bitkinin besin elementi alımını teşvik etmiş ve böylece bitki gelişiminde önemli katkı sağlamıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Abiyotik stres, Su stresi, Hümitik asit, Biber

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION OF THE EFFECT OF FOLIAR HUMIC ACID APPLICATION ON PLANT DEVELOPMENT AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF PEPPER PLANT (CAPSICUM ANNUUM L.) UNDER WATER STRESS CONDITIONS

ZEHRA ŞİŞ

**HARRAN UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE EDUCATION
SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION**

Year: 2025, Page : 47

Plants grow and develop normally under favorable environmental conditions. However, environmental stress factors can negatively impact their growth. These stresses are generally categorized as either biotic or abiotic. Among the abiotic stresses, water stress is one of the most prevalent and significantly affects plant productivity, growth, development, and metabolic defense mechanisms. When exposed to water stress, plants activate various defense mechanisms to adapt to dry conditions. In this study, pepper plants were treated with different water stress (control; 100% pot moisture capacity (field capacity), 80% of the amount of water given to the control, 40% of the amount of water given to the control, 20% of the amount of water given to the control) and 50 ppm humic acid (HA) was applied to the leaves as a curative. The plant development parameters (plant height, plant fresh weight, plant dry weight, root fresh weight and root dry weight, electrical leakage (ES) and biochemical parameters (chlorophyll a, chlorophyll b, proline, lipid peroxidation (MDA), hydrogen peroxide (H₂O₂), antioxidant enzymes (POX and CAT), and mineral contents (N, P, K, Ca, Mg, Fe and Zn) were examined. The results indicated a decrease in plant growth parameters as water stress increased. However, plants treated with HA showed improved growth compared to untreated plants under similar stress conditions. Biochemical responses to water stress were also observed; levels of proline, MDA, and H₂O₂ increased compared to the control. These results suggest that defense mechanisms were activated in response to water stress, helping mitigate its adverse effects. Moreover, the foliar utilization of HA enhanced nutrient uptake and significantly contributed to improved plant development.

KEYWORDS: Abiotic stress, Water stress, Humic acid, Pepper

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	Denemenin kurulumu	9
Şekil 3.2.	Bitki boyu ölçümü	10
Şekil 3.3.	Bitki kök yaş ve kuru ağırlık tartımı	11
Şekil 3.4.	Bitkilerin elektriksel sızıntı analizi	11
Şekil 3.5.	Klorofil analizi	12
Şekil 3.6.	Prolin analizi	13
Şekil 3.7.	Bitki besin elementi analizi	14
Şekil 4.1.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki boyuna etkisi	16
Şekil 4.2.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki yaş ağırlığına etkisi	17
Şekil 4.3.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki kuru ağırlığına etkisi	18
Şekil 4.4.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki kök yaş ağırlığına etkisi	19
Şekil 4.5.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki kök kuru ağırlığına etkisi	20
Şekil 4.6.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki elektriksel sızıntı (ES) miktarına etkisi	21
Şekil 4.7.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki klorofil a miktarına etkisi	22
Şekil 4.8.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki klorofil b miktarına etkisi	23
Şekil 4.9.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki prolin miktarına etkisi	24
Şekil 4.10.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki lipid peroksidasyon (MDA) miktarına etkisi	25
Şekil 4.11.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki hidrojen peroksit miktarına etkisi	26
Şekil 4.12.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki peroksidaz enzim (POX) miktarına etkisi	27
Şekil 4.13.	Su stresi ve HA uygulamalarının bitki katalaz enzim (CAT) miktarına etkisi	28

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Araştırmada kullanılan toprakların bazı özellikleri	8
Çizelge 3.2.	Çalışmanın Su Stresi ve HA uygulama şeması	9
Çizelge 4.1.	Biber bitkisinde farklı sulama düzeyleri ve HA uygulamasının yaprak mineral madde miktarına etkileri	29

SİMGELER

%: Yüzde

C: Santigrat derece

g : Gram

K: potasyum

L: Litre

M: Molarite

N: Azot

P : Fosfor

KISALTMALAR

Ca : Kalsiyum

CAT : Katalaz

cm : Santimetre

EC : Elektriksel İletkenlik

ES : Elektriksel sızıntı

Fe : Demir

H₂O₂ : Hidrojen peroksit

HA : Humik Asit

K : Kontrol

kg : kilogram

MDA : Malondialdehit

Mg : Magnezyum

mL : Mililitre

POX : Peroksidaz

ROS : Reaktif oksijen türleri

TBA : Tiobarbutirik asit

TCA : Trikloroasetik asit

TCA : Trichloro acetic acid

Zn : Çinko

μL : Mikrolitre

1. GİRİŞ

Bitkiler, yaşam döngüleri boyunca çeşitli çevresel stres faktörlerine maruz kalmaktadır. Bu faktörler, bitkilerin büyüme ve gelişim süreçleri ile ürün kalitesi ve verimliliği üzerinde doğrudan olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Zandalinas ve Mittler, 2022). Stres faktörleri, genel olarak abiyotik ve biyotik olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılmaktadır. Abiyotik stres faktörleri arasında kuraklık, aşırı sıcaklık, radyasyon, tuzluluk ve ağır metaller gibi çevresel koşullar yer alırken; biyotik stres faktörleri patojenler, böcekler ve yabancı otlar gibi canlı organizmaları içermektedir (Sahu ve ark., 2023). Her iki grup stres faktörü de bitkilerin fizyolojik, biyokimyasal ve morfolojik süreçlerinde bozulmalara yol açarak ciddi verim kayıplarına hatta bitki ölümüne neden olabilmektedir (Burke ve ark., 2020). Bu nedenle, tarımsal verimliliği artırmak ve sürdürülebilirliği sağlamak için stres faktörlerine karşı dirençli bitkiler ve uygun yetiştirme stratejileri geliştirmek büyük önem taşımaktadır.

Abiotik streslerin bitkisel üretimi sınırlandıran en yaygın formlarından biri olan su stresi, küresel ölçekte tarım alanlarını etkileyen ve verim kayıplarına yol açan başlıca sorunlardan biridir (Liliane ve Charles, 2020). Su stresi, bitkilerin terleme yoluyla kaybettikleri suyu yeterince geri kazanamadıkları ve topraktan su alımının yetersiz olduğu koşullarda ortaya çıkmaktadır (Seleiman ve ark., 2021). Su kaynaklarının sınırlı olduğu kurak ve yarı kurak bölgelerde su stresinin etkisi daha da belirgindir. Küresel iklim değişikliği ve nüfus artışı, tarım arazilerinin su kaynaklarına erişimini daha da zorlaştırmakta, bu da su stresinin etkilerini daha yaygın ve yıkıcı hale getirmektedir (Mishra, 2023). Yağışların düzensiz dağılımı dahi, tarımsal üretimi olumsuz etkileyerek bitki gelişimini sınırlamaktadır. Su stresi altındaki bitkiler, morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal işlevlerinde ciddi bozulmalar yaşar, bu da büyüme oranında azalmaya, fotosentez hızında düşüşe ve ürün kalitesinde önemli kayıplara neden olmaktadır (Ahluwalia ve ark., 2021; Oğuz ve ark., 2022; Chada ve ark., 2023).

Su stresi sadece bitkilerin su alımını sınırlamakla kalmaz, aynı zamanda oksidatif stresin de tetikleyicisi olarak bitki hücrelerine zarar vermektedir (Wu ve ark., 2022). Su stresi, bitkilerde reaktif oksijen türleri (ROS) adı verilen zararlı moleküllerin üretimini artırarak ve bu moleküller bitki hücrelerinde proteinler, lipitler ve DNA üzerinde hasar oluşturarak hücresel yapının bozulmasına yol açmaktadır (Sachdev ve ark., 2021). Bitkiler ROS'un zararlı etkileriyle başa çıkmak için savunma mekanizmalarını harekete geçirmektedir. Bitkilerin bu savunma

mekanizmaları hem enzimatik hem de enzimatik olmayan bileşenlerden oluşturmaktadır. Enzimatik savunma mekanizmaları arasında süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve peroksidaz (POD) gibi enzimler yer alırken; enzimatik olmayan savunma bileşenleri ise askorbat, glutatyon gibi antioksidan moleküller içermektedir (Berwal ve ark., 2021). Bununla birlikte, su stresinin şiddetli ve uzun süreli olması durumunda, bitkinin savunma kapasitesi yetersiz kalabilir ve oksidatif stres bitki dokularında geri dönüşü olmayan hasarlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, su stresi koşullarında bitkilerin hayatta kalma şansını artırmak için dışarıdan yapılacak müdahaleler ve uygulamalar önem kazanmaktadır.

Su stresinin olumsuz etkilerini hafifletmek için birçok yetiştirme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında ekim ve dikim zamanlamalarının optimize edilmesi, malç uygulamaları, mikroorganizmaların kullanımı ve organik maddelerle gübrelemenin yapılması sayılabilmektedir (Gavrilescu, 2021). Özellikle hümitik asit gibi organik bileşiklerin kullanımı, bitkilerin su stresine karşı dayanıklılığını artırma potansiyeline sahiptir (Canellas ve ark., 2020; Chen ve ark., 2022). Hümitik asit, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirici etkisiyle, toprak yapısını güçlendirir ve su tutma kapasitesini artırarak bitki gelişimine olumlu katkılar sağlamaktadır (Ampong ve ark., 2022; Vikram ve ark., 2022; Tiwari ve ark., 2023). Hümitik asit ayrıca, bitki kök gelişimini destekleyerek, topraktan su ve besin maddelerinin alımını kolaylaştırmaktadır (Yuan ve ark., 2023).

Su stresi altında hümitik asit kullanımı, yalnızca bitki gelişimini desteklemekle kalmaz, aynı zamanda oksidatif stresin etkilerini azaltarak antioksidan savunma mekanizmalarını da güçlendirmektedir (Wang ve ark., 2024). Hümitik asitin, bitkilerin su alım kapasitesini artırdığı, fotosentez verimliliğini iyileştirdiği ve reaktif oksijen türlerinin zararlı etkilerini dengeleyerek bitkilerin genel stres toleransını artırdığı araştırmalarla gösterilmiştir (Man-Hong ve ark., 2020; Shen ve ark., 2020; Altaf ve ark., 2023; Abu-Ria ve ark., 2024). Bu nedenle, hümitik asit gibi organik bileşiklerin su stresi koşullarında kullanılması, tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlamak açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır.

Biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisi, dünya genelinde yaygın olarak yetiştirilen ve tüketilen önemli bir sebze türüdür. Solanaceae familyasına ait olan bu bitki, özellikle su stresi gibi çevresel faktörlere karşı oldukça hassastır ve su yetersizliği koşullarında ciddi verim kayıplarına uğrayabilmektedir (Topak ve ark., 2008). Biber, dünya genelinde hem taze hem de işlenmiş gıda olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Türkiye de dahil olmak üzere birçok ülkede ekonomik

açıdan önemli bir tarımsal üründür. Ancak, su stresi gibi çevresel stres koşullarında biber bitkisinde gelişim bozuklukları, verim kaybı ve ürün kalitesinde düşüşler gözlemlenmektedir. Bu nedenle, su stresine karşı dayanıklılığı artırmaya yönelik stratejiler geliştirilmesi, biber bitkisi gibi ekonomik öneme sahip ürünlerde verimliliği artırmak için kritik bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, su stresi koşulları altında biber bitkisine yapraktan uygulanan hümitik asitin bitki gelişimi ve biyokimyasal parametreleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Ayrıca hümitik asitin su stresinin olumsuz etkilerini hafifletmedeki potansiyelini inceleyerek, su stresine karşı bitki dayanıklılığını artırmaya yönelik etkili stratejiler geliştirilmesine katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Levent (2023), farklı sulama seviyelerinin acı biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinde verim ve bazı biyokimyasal bileşenler üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, tam sulama (%100) ve iki farklı su kısıtı seviyesi (%70 ve %30) uygulanmış, her saksıya bir fide dikilerek dört tekerrürlü bir deneme deseni kullanılmıştır. Sulama suyu seviyeleri gravimetrik yöntemle belirlenmiş ve kontrol ile su kısıtlı uygulamalar yaklaşık üç ay boyunca sürdürülmüştür. Bitki başına verimin tam sulama koşullarında 363.58 g olduğunu, %70 su kısıtı uygulamasında bu değer 250.14 g'ye, %30 su kısıtı uygulamasında ise 109.33 g'ye düştüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca, su stresi arttıkça toplam fenolik madde miktarında da artış gözlenmiştir. Tam sulama koşullarında fenolik madde içeriği 0.535 mg/g olarak belirlenirken, %70 su kısıtı altında 0.726 mg/g, %30 su kısıtı altında ise 0.850 mg/g olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde, toplam flavonoid ve antioksidan madde miktarlarının da su stresi ile birlikte arttığı bildirilmiştir. Flavonoid içeriği sırasıyla 0,134 mg/g, 0.196 mg/g ve 0.205 mg/g olarak tespit edilmiş, DPPH yöntemi ile belirlenen antioksidan aktivitede de artış gözlenmiştir. Bu bulgulara dayanarak, su kısıtı altında acı biberde verimin azaldığını, ancak fenolik bileşikler, flavonoidler ve antioksidan maddelerin miktarlarında artış görüldüğünü bildirmişlerdir.

Çelebi (2022), Diyarbakır'ın Bismil ilçesindeki ekolojik koşullarda hümik asitin pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) çeşitlerinin verim ve kalitesi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmada üç pamuk çeşidi ve dört farklı hümik asit dozu uygulanmıştır. Hümik asit dozlarının pamuk çeşitlerinde meyve dalı sayısı, odun dalı sayısı, lif pamuk verimi ve kütlü pamuk verimi üzerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) bulmuştur. Her bitki başına boğum sayısı, lif oranı ve lif uzunluğu üzerine ise önemli düzeyde etkiler tespit etmiştir ($P<0.05$).

Aytaç (2021), domates (*Solanum lycopersicum* L.) Kayra F1 fidelerini kullanarak kuraklık stresinin etkilerini ve bu strese karşı hümik asit uygulamalarının potansiyel faydalarını incelemiştir. Çalışmada, kuraklık stresi altındaki bitkilere 3 ml⁻¹ dozunda hümik asit uygulanmıştır. Kuraklık stresinin gövde ve kök yaş-kuru ağırlığı, gövde ve kök uzunluğu, klorofil ve bağıl su içeriğini azalttığını, ancak hümik asit uygulamasının bu parametrelerde önemli artışlar sağladığını bildirmiştir. Ayrıca, kuraklık stresi ve hümik asit birlikte uygulandığında iyon sızıntısı, MDA ve prolin seviyelerinde azalmalar gözlemlendiğini, antioksidatif enzim genlerinde ise APX ve SOD genlerinde belirgin bir değişiklik olmamakla birlikte CAT geninde

artış, GR geninde azalış tespit ettiğini rapor etmiştir. Bu bulgulara dayanarak, hümkik asit uygulamasının kuraklık stresini hafifletmede etkili olabileceği sonucuna varmıştır.

Yıldız (2021), farklı sulama düzeylerinde uygulanan hümkik asitin (HA), miskanthus (*Miscanthus x giganteus*) bitkisinin kuraklık toleransı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sera ortamında 58 gün arayla yürütülen çalışmada, sulama seviyeleri %100 (S0 - kontrol), %75 (S1), %50 (S2), %25 (S3) ve %0 (S4) olarak belirlenmiştir. Sulama düzeylerinin bitki gelişimini olumsuz yönde etkilediğini ve bitki büyüme parametrelerinde %3 ile %86 arasında azalmalar olduğunu tespit etmiştir. Bununla birlikte, hümkik asit uygulamasının, bitkilerin kuraklık stresine karşı toleransını artırarak, büyüme parametrelerindeki azalmanın %7 ile %45 arasında sınırlı kaldığını ve HA uygulanmayan bitkilerle karşılaştırıldığında %8 ile %34 arasında iyileşme sağladığını rapor etmiştir. Fizyolojik parametrelerde ise sulama seviyelerinin kontrol bitkilerine kıyasla %1 ile %278 arasında azalmaya neden olduğunu, hümkik asit uygulamasının bu azalmayı %9 ile %61 arasında sınırladığını ve HA uygulanmayan bitkilerle karşılaştırıldığında %11 ile %33 oranında iyileşme sağladığını belirtmiştir. Bu sonuçlar, hümkik asitin miskanthus bitkisinde kuraklık toleransını artırarak, kuraklık stresinin olumsuz etkilerini hafiflettiğini göstermektedir.

Geçer (2020), çilek çeşitlerine (Albion, Monterey, San Andreas ve Sweet Charlie) yapılan hümkik asit uygulamalarının meyve verimi, sayısı, ortalama ağırlığı, suda çözünür kuru madde içeriği, titre edilebilir asitlik oranı ve pH üzerindeki etkilerini araştırmıştır. İki yıllık veriler değerlendirilmiş. Hümkik asit uygulamasının meyve verimi ve sayısı üzerinde anlamlı etkiler olduğunu belirlenmiştir ($P<0.05$).

Katırcıoğlu (2020), su stresi koşullarında yetiştirilen mercimek (*Lens culinaris Medik.*)' te büyüme parametreleri, antioksidan maddeler ve mineral içerikleri incelemiştir. Orta düzeyde su stresi uygulanan gruplarda bitki boyu, yaprak alanı, kök, gövde ve yaprakların yaş-kuru ağırlıkları ile kök uzunluklarının arttığını, ancak şiddetli su stresi uygulanan gruplarda bu parametrelerin azaldığını tespit etmiştir. Hümkik asit uygulamalarının, su stresinin olumsuz etkilerini anlamlı şekilde azalttığını da rapor etmiştir. Antioksidan parametreler açısından, orta düzeyde su stresi uygulanan grupta GSH, MDA, SOD ve PCO seviyelerinde azalmalar gözlemlenirken, şiddetli su stresi uygulanan gruplarda bu parametrelerin arttığı belirlenmiştir. Hümkik asit uygulamaları, su stresine bağlı artış gösteren GSH, MDA, SOD ve PCO seviyelerini azaltmıştır. Hümkik asitin su stresine karşı mercimek

fidelerinde özellikle şiddetli su stresinin etkilerini hafifletmede önemli bir rol oynayabileceği sonucuna varmıştır.

Abdulameer ve Ahmed (2019), farklı seviyelerde su stresi (%50, %60 ve %70) ve hümik asit (0, 4, 6 ve 8 kg da⁻¹) dozlarının mısır (*Zea mays* L.)’ da büyüme ve gelişme parametrelerine etkilerini inceledikleri araştırmalarında; en yüksek değer olarak bitkide yaprak sayısı ve alanı, bitki boyu, kuru madde, yaprak indeksi, ile bitki büyüme oranının 8 kg da⁻¹ hümik asit kullanımından elde edildiğini ve %70 oranında su stres özelliklerinde en düşük değerlerin bulunduğu, suyun %50 ile %60 oranında su kısıtlanması halinde ise istatistiksel bir değişiklik olmadığını, %60 su stresi ile beraber hümik asit dekara 8 kg uygulanmasının en olumlu sonucu verdiğini bildirmişlerdir. Toprağa uygun miktarda verilen hümik asit uygulanmasının su stresine karşı bitkiyi daha toleranslı hale getirdiğini, hümik asit uygulanması yapılmayan parsellere oranla mısırdaki büyüme ve gelişme parametrelerinde önemli düzeyde artışlara sebep olduğunu ifade etmişlerdir.

Korkmaz (2018), Rubygem çilek bitkisinde üç farklı sulama seviyesi (S1=saksı kapasitesi, %70 ve %40), hümik asit (25 ppm) ve silikon (2.5 ppm) uygulamıştır. Bitkide makro besin element içeriğine etkisini, bazı morfolojik, fizyolojik ile biyokimyasal etkilerini araştırmıştır. Su seviyesindeki azalış fizyolojik, morfolojik (membran geçirgenliği ve yaprak sıcaklığı hariç) ve besin elementinde azalışlar olduğunu, membran geçirgenliği, yaprak sıcaklığı ve biyokimyasal analizlerde artışlar meydana geldiğini belirlemiştir. Hümik asit ve silikon uygulaması bitkiyi strese karşı dayanıklılıklarını arttırdığını bildirmiştir.

Asri ve ark. (2016), domates (*Solanum lycopersicum* L.) bitkisine yapraktan uygulanan hümik asitin bitki beslenme durumu, verim ve kalite üzerindeki etkilerini incelemiştir. Araştırmada, farklı hümik asit dozları (%0.15, %0.30 ve %0.45) uygulanmış ve uygulamalar dikimden 45 gün sonra başlayıp 15 gün aralıklarla dört kez tekrarlanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, yapraktan uygulanan hümik asitin, N, K, Ca, Mg, Mn ve Cu alımlarında önemli artışlar sağladığı ve en belirgin artışın %0.30 dozunda gerçekleştiği rapor edilmiştir. Ancak %0.45 dozundaki artışlar, diğer dozlara kıyasla daha düşük bulunmuştur. Hümik asit uygulamalarının verim üzerinde etkili olmadığı, ancak suda çözünür kuru madde miktarının arttığı bildirilmiştir. Sonuç olarak, %0.30 dozundaki hümik asit uygulamasının, domatesin beslenme durumu ve kalitesi açısından en etkili doz olduğu belirtilmiştir.

Pıtır (2015), Jalapeno biberi (*Capsicum annuum* var. *annuum*) üzerinde serada dört farklı sulama düzeyinde (%100, %50, %25 ve %0) su stresi uygulamış ve Jalapeno biberlerinin büyüme ve gelişimini olumsuz etkilediğini tespit etmiştir. %100 sulama yapılan bitkiler normal gelişimlerini sürdürürken, %50 sulama yapılan bitkilerin, %25 ve %0 uygulamalarına kıyasla stresten daha az etkilendiği bildirilmiştir. %25 sulama yapılan bitkilerde büyüme ve verimde azalma, yapraklarda solgunluk görülmüş, %0 sulama yapılan bitkiler ise büyüme gösterememiş ve kuruyarak ölmüştür. Su kısıtlamasının büyüme, meyve verimi ve yaprak su içeriği üzerinde olumsuz etkiler yarattığı, ancak zararlanma derecesi ve yaprak kalınlığında artışa neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Özenç (2003), farklı perlit fraksiyonları ve su stres seviyelerinin biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisi verimi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Araştırmada, toprak hacminin %8'i oranında ince, orta ve kaba perlit eklenmiş ve suyun %75, %50, %25 ve, %12.5 seviyelerinde su stresi uygulanmıştır. Perlit tane çapı küçüldükçe bitki gelişimine etki eden tüm parametrelerin değiştiğini ve özellikle ince perlitin bitki gelişimi üzerinde en olumlu sonuçları verdiğini tespit etmiştir. Çiçeklenme döneminden hasada kadar uygulanan su stresi sonucunda, terleme, kök uzunluğu, kök kuru ağırlığı ve yaş bitki ağırlığı açısından en iyi sonucun yarayışlı suyun %50'si seviyesinde elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca, kök uzunluğu üzerinde en düşük stres seviyesi olan %12.5 yarayışlı suyun da benzer etkiler gösterdiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, farklı perlit ortamlarının ve su stres seviyelerinin kök alanı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı rapor edilmiştir. Araştırmacı sonuçta su yetersizliği koşullarında yeterli kök gelişimi sağlamak amacıyla ince perlit kullanımını ve yarayışlı suyun %50 oranında tutulmasını önermiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu araştırma Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesinde yarı kontrollü cam serada yürütülmüştür. Yetiştirme ortamı olarak 5 L kapasiteli plastik saksı, Şanlıurfa Harran Üniversitesi Osmanbey bölgesinden alınan topraklar kullanılmıştır. Toprak örneklerinde elektriksel iletkenlik (EC) (Jackson 1962) yöntemiyle, toprak reaksiyonu (pH) ve, kireç (Hızalan ve Ünal 1966), organik madde Walkley Black (Jackson, 1960), ve tekstür (Kum, silt, kil) hidrometre yöntemiyle (Bouyoucos, 1951) belirlenmiştir. Bu toprağa ait özellikler verilmiştir (Çizelge 3.1). Kullanılan topraklar tuzsuz, hafif alkali, kireç oranı yüksek, organik maddesi düşük ve tekstür sınıfı kildir. Bitki materyali olarak Çözüm F1 Yüksel biber çeşidi tüplü fideleri ve TKİ-Hümas (Sıvı, %12 Hümik asit içeren) kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Araştırmada kullanılan toprakların bazı özellikleri

Toprak özellikleri	EC (dS/m)	pH	Kireç (%)	Organik Madde (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Tekstür Sınıfı
	0.68	7.93	25.33	0.86	21.2	33.4	45.4	Kil

3.2. Yöntem

3.2.1. Denemenin Yürütülmesi

Deneme tesadüf parsellerine bağlı olarak 3 tekerrürlü şekilde dizayn edilmiştir. Araştırmada 5 litrelik saksılara havada kurutulup 4 mm'lik elekten geçirilmiş 3 kg toprak materyali konulmuştur. Çözüm F1 Yüksel biber çeşidine ait homojen boyutta olan tüplü fideler her bir saksıya bir adet olacak şekilde dikilmiştir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Denemenin kurulumu

Toprak gübrelemesi 18 kg/da N, 6 kg/da P_2O_5 ve 21 kg/da K_2O_5 olarak her saksıya eşit miktarda verilmiştir. Gübre kaynağı olarak üre (%46 N), monoamonyum fosfat (% 12 N, % 61 P_2O_5) ve potasyum sülfat (%51 K_2O) kullanılmıştır. Dikilen fideler yaklaşık 4 hafta süresince eşit düzeyde saksı nem kapasitesi ne göre (tarla kapasitesi) sulanmıştır. Daha sonra ilgili saksılarda 4 farklı sulama düzeyi (kontrol (K) %100 nem kapasitesi (tarla kapasitesi), kontrole verilen su miktarının %80' i, kontrole verilen su miktarının %40'ı, kontrole verilen su miktarının %20'si) uygulanmıştır. Hümik Asit (HA) 50 ppm uygulamaları su stresi ile eş zamanlı olarak haftada bir kez bitki yapraklarına uygulanmıştır. Uygulama şeması aşağıda (Çizelge 3.2.)' de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çalışmanın Su Stresi ve HA uygulama şeması

UYGULAMALAR	FARKLI SULAMA SEVİYELERİ	HÜMİK ASİT
K (kontrol)	%100 nem kapasitesi	YOK
K+HA	%100 nem kapasitesi	VAR
%80	%100 nem kapasitesinin %80' i	YOK
%80+HA	%100 nem kapasitesinin %80' i	VAR
%40	%100 nem kapasitesinin %40' ı	YOK
%40+HA	%100 nem kapasitesinin %40' ı	VAR
%20	%100 nem kapasitesinin %20' si	YOK
%20+HA	%100 nem kapasitesinin %20' si	VAR

3.2.2. Bitki Gelişim Parametreleri

Farklı su stresi uygulamalarında yetiştirilen biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisi hasat edildikten sonra bazı bitki gelişim parametreleri (bitki boyu, bitki yaş ve kuru ağırlık, kök kuru ve yaş ağırlık, elektriksel sızıntı) belirlenmiştir.

3.2.2.1. Bitki Boyu

Toprağın yüzey kısmından başlayarak bitkinin sürgün uç kısmına kadarki kısım metre ile ölçülüp bitki boyu cm olarak ifade edilmiştir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Bitki boyu ölçümü

3.2.2.2. Bitki Yaş ve Kuru Ağırlığı

Bitkiler, toprak yüzeyinden kesildikten sonra tüm aksamaları (yaprak, dal vb.) ile birlikte hassas terazi kullanılarak taze ağırlıkları belirlenmiş ve daha sonra etüvde 70 °C sıcaklıkta kurutularak kuru ağırlıkları hassas terazide tartılmıştır.

3.2.2.3. Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı

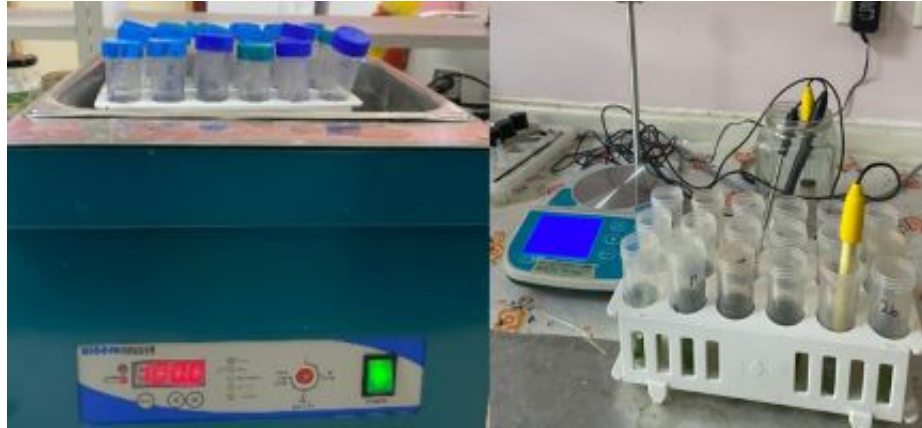
Biber bitkisinin kökleri, saksıdan çıkarılmış ve yıkanarak topraktan tamamen arındırılmıştır. Yıkama işleminden sonra köklerin üzerindeki fazla nem alınmış ve hassas terazide kök yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra kökler etüvde 70°C sıcaklıkta kurutularak köklerin kuru ağırlıkları belirlenmiştir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Bitki kök yaş ve kuru ağırlık tartımı

3.2.2.4. Elektriksel Sızıntının (ES) Belirlenmesi

Deneme sonunda, gelişimini tamamlamış taze bitki yapraklarından 0.5 gram örnek alınıp tüplere konmuş ve üzerine 20 ml saf su eklenmiştir. Tüpler 40 °C su banyosunda 30 dakika süreyle bekletilmiştir. Ardından, bu çözeltinin EC₁ değeri EC metre ile ölçülmüştür. Daha sonra aynı tüpler su banyosunda 100 °C’de 10 dakika bekletilmiş ve EC₂ değeri ölçülmüştür (Şekil 3.4). Bitkilerin Elektriksel Sızıntı (ES) değeri %ES= ((EC₁ / EC₂) x 100) formülüne göre hesaplanarak belirlenmiştir (Lutts ve ark., 1996).



Şekil 3.4. Bitkilerin elektriksel sızıntı analizi

3.2.3. Biyokimyasal Analizler

Farklı su stresi koşullarında yetiştirilen biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisi hasat edildikten sonra bazı biyokimyasal analizler (klorofil a ve klorofil b, prolin, lipid peroksidasyonu (MDA), hidrojen peroksit (H₂O₂), antioksidant enzimler (POX ve CAT)) yapılmıştır.

3.2.3.1. Bitkilerde Klorofil Analizi

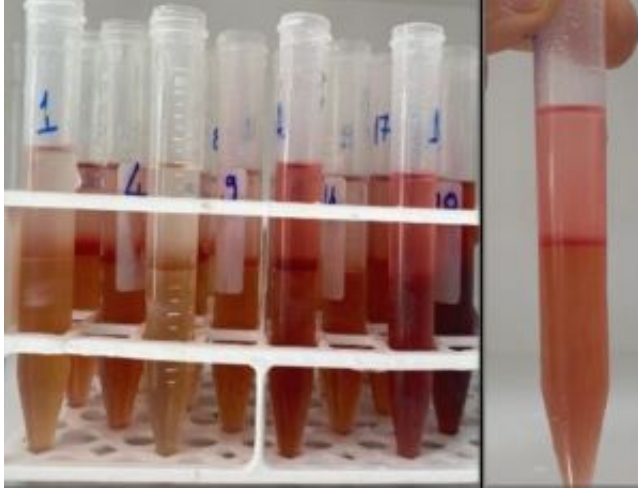
Arnon (1949) yöntemine göre Biber bitkisinin klorofil a ve klorofil b içerikleri belirlenmiştir. Taze biber yaprağından 0.5 g alınmış ve 5 ml %80 aseton ile homojenize edilmiştir (Şekil 3.5.). Elde edilen karışım filtreden geçirilerek UV mikroplate spektrometrede (Epoch, SN: 1611187, USA) Klorofil a için 663.5 nm, Klorofil b için ise 645 nm dalga boyunda okuması yapılmıştır. Elde edilen ölçümler mg g^{-1} taze ağırlık olarak hesaplanmıştır (Rajput ve Patil, 2017).



Şekil 3.5. Klorofil analizi

3.2.3.2. Bitkilerde Prolin Analizi

Prolinin içeriği Bates ve ark, (1973)' e göre belirlenmiştir. Taze biber yaprağı (0.5 g) %3'lük olan 10 ml sulfosalisilik asit ile homojenize edilmiştir. Karışım filtre kağıdından geçirilmiştir. Süzükten 2 ml alınmış ve üzerine 2 ml asit-ninhidrin karışımı ilave edilmiştir. Karışım 100 °C de bir saat su banyosuna bırakılmıştır. Daha sonra 5 ml toluen eklenip ardından vorteks ile karıştırılmış ve iki faz oluşuncaya kadar bir süre bekletilmiştir. Karışımın üst fazı alınarak UV mikroplate spektrometrede (Epoch, SN: 1611187, USA) 515 nm dalga boyunda absorbans değerleri belirlenmiştir (Şekil 3.6.). Elde edilen değerler $\mu\text{mol g}^{-1}$ taze ağırlık olarak ifade edilmiştir.



Şekil 3.6. Prolin analizi

3.2.3.3. Bitkilerde Lipid Peroksidasyonu (MDA)

Bitkide lipid peroksidasyonu malondialdehit (MDA) olarak belirtilmektedir. Lipid peroksidasyonu Sairam ve Saxena (2000)'e göre belirlenmiştir. Taze biber bitki yaprağından 0.5 g taze 10 ml % 0.1'lik triklor asetik asit (TCA) ile homojenize edilmiştir. Daha sonra 15000 g' de beş dakika santrifüj edilen karışımdan 1 ml alınarak üzerine 4 ml % 20' lik TCA içinde çözülmüş % 5' lik tiobarbiturik asit (TBA) ilave edilmiştir. Elde edilen karışım 95 °C' de 30 dakika su banyosunda inkube edilmiştir. Daha sonra hızla buzda bekletilerek soğutulmuştur. Karışım 10000 g'de on dakika santrifüj edilmiş ve absorbans değerleri UV mikroplate spektrometrede (Epoch, SN: 1611187, USA) 532 ve 600 nm'de belirlenmiştir. Sonuçlar nmol g⁻¹ olarak ifade edilmiştir.

3.2.3.4. Hidrojen Peroksit

Velikova ve ark., (2000)' e göre Hidrojen Peroksit (H₂O₂) belirlenmiştir. Taze biber bitkisi yaprağından 0.07 g alınıp üzerine %0.1 5 ml Trikloro asetik asit (TCA) ilave edilip homojenize edilmiştir. Karışımdan 12000 g de 15 dk santrifüj edilmiştir. Daha sonra karışımdan 0.5 ml alınıp, üzerine 0.5 ml 10 mmol L⁻¹ K-fosfat tampon (pH 7.0) ve 1.5 ml 1 M potasyum iyodür çözeltisi eklenmiştir. Daha sonra UV mikroplate spektrometrede (Epoch, SN: 1611187, USA) 390 nm de absorbans değerleri okunmuştur. H₂O₂ içeriği µmol g⁻¹ şeklinde ifade edilmiştir

3.2.3.5. Peroksidaz Enzim Analizi (POX, E.C.1.11.1.7)

Peroksidaz enzim (POX, E.C.1.11.1.7) analiz Cvikorová ve ark. (1994) yönteminde yapılan küçük değişiklikler ile Karakas ve ark., 2019'a göre belirlenmiştir. Taze biber bitkisi yaprağından 0.5 g alınıp 10 ml 50 mmol L⁻¹ Na-

fosfat çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Karışım filitreden geçirildikten sonra 10 µl alınıp üzerine 290 µl reaksiyon karışımı (5 mmol L⁻¹ H₂O₂, 13 mmol L⁻¹ guaiacol ve 50 mmol L⁻¹ Na-fosfat) eklenmiştir. Daha sonra absorbans değerleri UV mikropate spektrometrede (Epoch, SN: 1611187, USA) 470 nm’de 3 kez 1 dakika ara ile okutulmuş ve bir ünite POX aktivitesi, DA470 nm’ de 0.1 absorbans/dakika olarak belirlenmiştir. Veriler ünite mg⁻¹ taze ağırlık olarak sunulmuştur.

3.2.3.6. Katalaz Enzim Analizi (CAT, E.C.1.11.1.6)

Katalaz enzim analizi (CAT, E.C. 1.11.1.6) Milosevic ve Slusarenko, (1996) yönteminde ufak değişiklikler yapılarak Karakas ve ark., 2019’a göre belirlenmiştir. Na-fosfat çözeltisi ile homojenize edilmiş karışımdan 5 µl alınıp üzerine 295 µl reaksiyon karışımı (50 mmol L⁻¹ Na-fosfat tampon çözeltisi, 10 mmol L⁻¹ H₂O₂, ve 4 mmol L⁻¹ Na₂EDTA) eklenmiş ve UV mikropate spektrofotometrede (Epoch, SN: 1611187, USA) 240 nm de 30 saniye süre ile okuması yapılmış ve bir ünite katalaz enzim aktivitesi DA240 nm’de ünite/mg taze ağırlık olarak belirtilmiştir.

3.2.4. Mineral Madde Analizi

Bitkilerin yaprak mineral madde (K, Ca, Mg, Zn, Fe) içeriklerinin belirlenmesi Chapman ve Pratt (1961), kuru yakma yöntemine göre belirlenmiştir. Kuru yaprak örnekleri (0.5 g) porselen krozeler içine konularak 550 °C de 5 saat kül fırınında yakılmıştır. Daha sonra kül haline gelen yaprak örekeleri 2 N 5ml HCL ile karıştırılmış ve 50 ml’ye saf su ile tamamlanmıştır. Elde edilen çözelti ICP cihazında (K, Ca, Mg, Zn, Fe) analiz edilmiştir (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. Bitki besin elementi analizi

Bitkide N içeriği, Kjeldahl tekniği kullanılarak belirlenmiştir (Bremner ve Mulvaney, 1982). Kuru bitki örneği (0.25 g) Kjeldahl yakma tüplerine konulmuştur. Her bir tüp içerisine bir adet Kjeldahl tablet atılarak üzerlerine 10 ml konsantre H_2SO_4 ilave edilir. Yakma tüpleri yakma renksiz çözelti durumuna gelinceye kadar yakılmıştır. Daha sonra üzerine 15 ml saf su ilave edilerek destilasyon yapılmıştır. Daha sonra 0.1 N HCl ile titrasyon yapılmış ve elde edilen değerlerden % N içerikleri belirlenmiştir.

Bitki fosfor içeriği Kitson ve Mellon (1944) ve Barton (1948) yöntemlerinin esasına göre vanadomolibdofosforik sarı renk yöntemi kullanılarak analiz edildi. Kuru yakma esasına göre hazırlanan bitki çözeltisinden 5 ml alınıp 50 ml'lik ölçü balonuna aktarılmış ve ölçü balonu çözelti hacmi 40 ml olana değin saf su ilave edilmiştir. Daha sonra üzerine 5 ml Barton çözeltisi ilave edilerek son hacim saf su ile 50 ml tamamlandı. Barton çözeltisinin ilavesinden itibaren 10 dakika sonra 430 nm dalga boyunda spektrofotometrede okundu. Fosfor miktarı KH_2PO_4 ile hazırlanan standart eğri kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.5. Verilerin Değerlendirilmesi

Analiz sonucu elde edilen tüm veriler SPSS (Version 22.0) program aracılığıyla varyans analizleri Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi ve (ANOVA) ile $P \leq 0.05$ önem düzeyinde analiz sonuçları elde edilmiş ve tablo ve grafik olarak sunulmuştur.

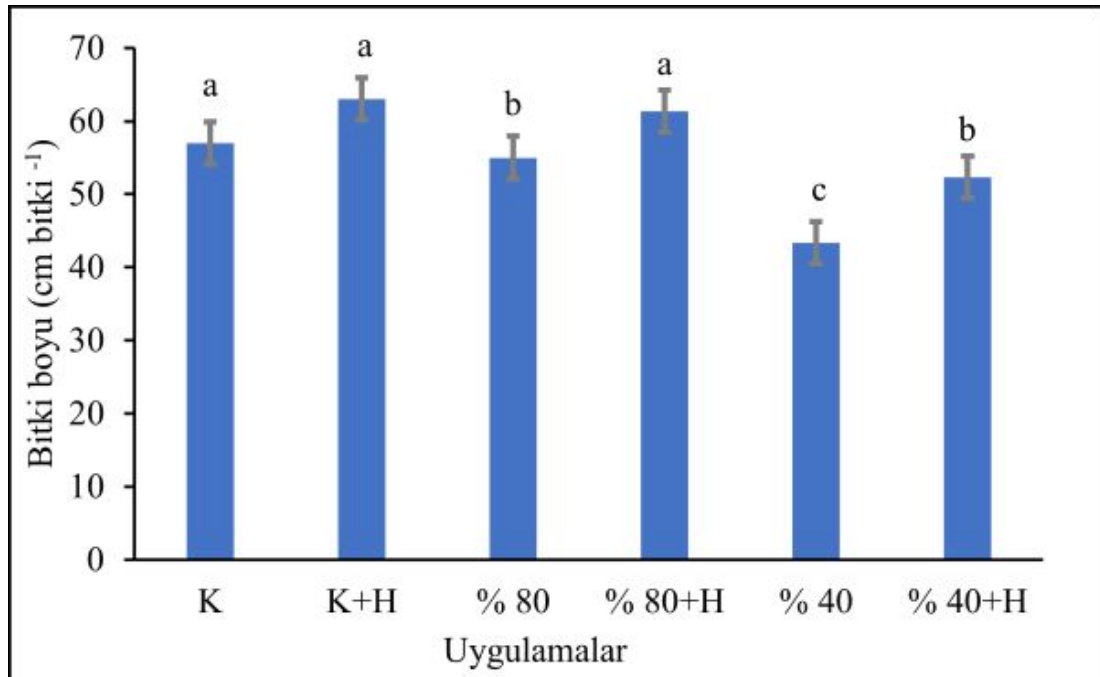
4. BULGULAR

Araştırmada biber bitkisine farklı düzeydeki su (kontrol; %100 saksı nem kapasitesi, kontrole verilen su miktarının %80' i, kontrole verilen su miktarının %40'ı, kontrole verilen su miktarının %20'si) ve Hümik asittin (HA) uygulamalarının bitki gelişimi ve biyokimyasal parametrelerine etkisi hasat sonrası bitkilerde yapılan ölçüm ve analizler ile belirlenmiştir. Kontrole verilen su miktarının sadece %20'si uygulanan bitkiler yüksek oranda su stresine maruz kaldığından bu bitkilerde gelişim sınırlanmış, bitki kurumuş ve yeterli miktarda biyokütle oluşmamıştır. Bu sebeple %20 seviyesindeki bu uygulamaya ait bitki gelişim ölçümleri ve biyokimyasal analizleri istatistiksel olarak değerlendirmelere dahil edilmemiş, grafik ve çizelgede yer verilmemiştir.

4.1. Bitki Gelişim Parametreleri

4.1.1. Bitki Boyu

Farklı sulama düzeylerinde HA uygulanmayan ve HA uygulanan biber bitki boyu istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



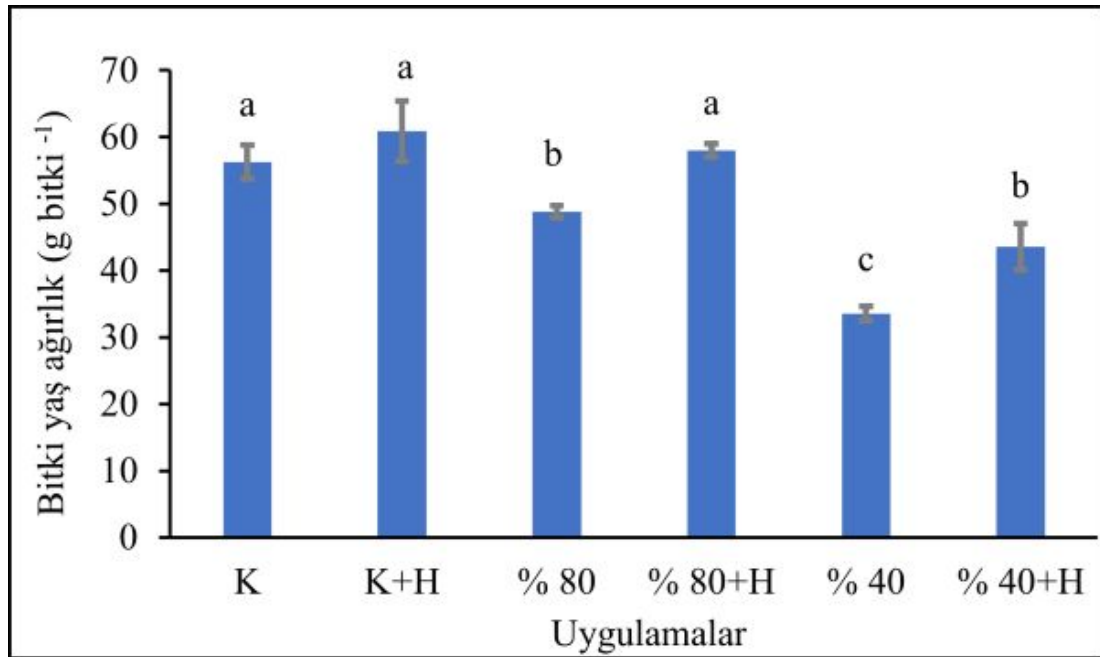
Şekil 4.1. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki boyuna etkisi

Uygulama sonuçları incelendiğinde, bitki boyunda en yüksek değer (63 cm bitki⁻¹) ile K+HA uygulamasında bulunurken, en düşük değer ise (43.33 cm bitki⁻¹) ile HA uygulanmayan %40 su stresi uygulamasında belirlenmiştir. HA uygulanan

bitkiler ile HA uygulanmayan bitkilerin boyu kıyaslandığında K+HA %11, %80+HA'da %12, %40+HA'da %21 oranında artış belirlenmiştir. Bitki boyu gelişiminde HA'nın en belirgin olumlu etkisi %40 su stresine maruz kalan %40+HA uygulamasında görülmüştür (Şekil 4.1.).

4.1.2. Bitki Yaş ve Kuru Ağırlığı

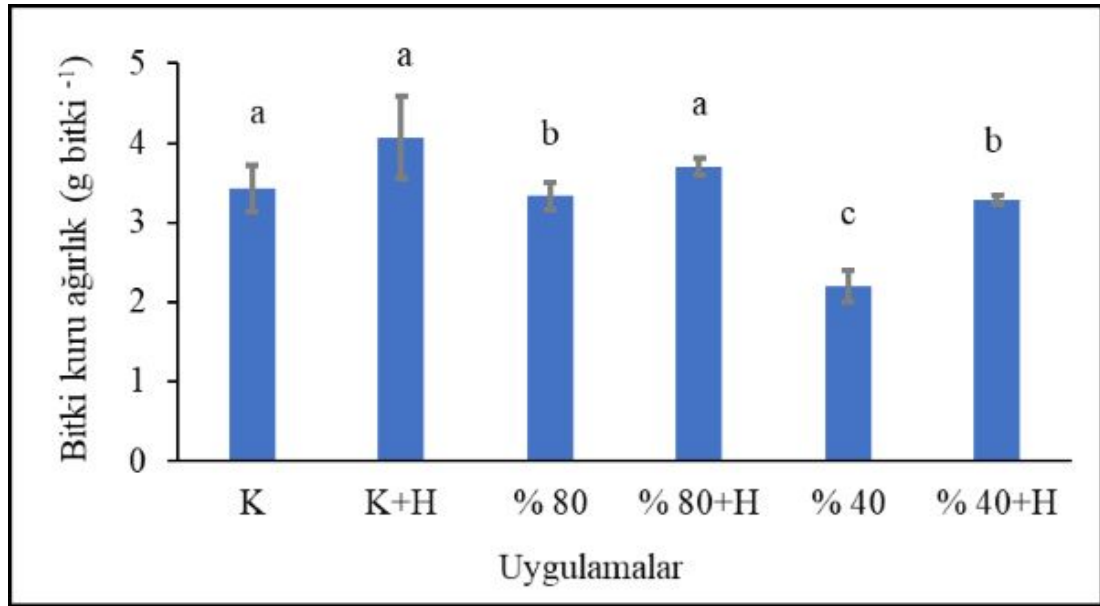
Bitki yaş ağırlığında, farklı sulama düzeyleri ve HA uygulamasının etkisinin istatistiksel açıdan önemli olduğu saptanmıştır ($P \leq 0.05$).



Şekil 4.2. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki yaş ağırlığına etkisi

Uygulama sonuçları incelendiğinde bitki yaş ağırlığında en yüksek değer K+HA (60.90 g bitki⁻¹) uygulamasında bulunurken, en düşük değer ise %40 (33.60 g bitki⁻¹) uygulamasında bulunmuştur. Aynı su stresi koşullarındaki bitkilerin yaş ağırlıkları HA uygulanan ve HA uygulanmayan kıyaslandığında, K' göre K+HA' de %8, %80 su stresi uygulamasına göre %80+HA' de %19, ve %80 su stresi uygulamasına göre %40+HA ise %30 oranında artış belirlenmiştir. Bitki yaş ağırlığında HA'nın en olumlu etkisi %40+HA uygulamasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.2.).

Bitki kuru ağırlığında, farklı sulama düzeylerinin ve yaprakdan HA uygulamasının etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

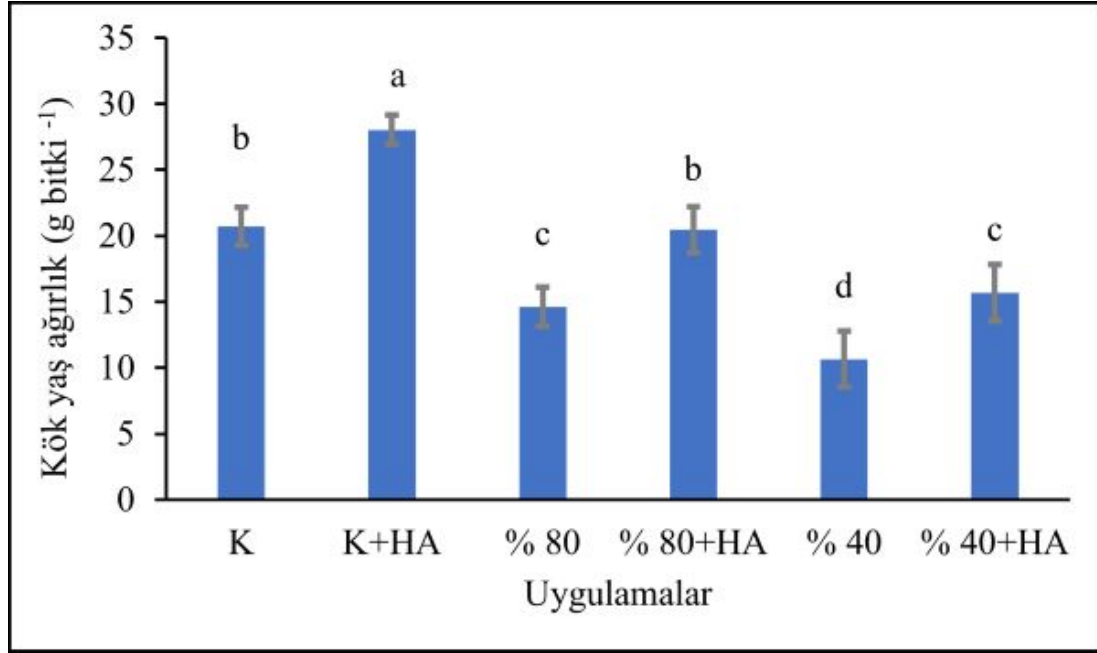


Şekil 4.3. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki kuru ağırlığına etkisi

Sonuçlar incelendiğinde bitki kuru ağırlığında en yüksek değer K+HA (4.07 g bitki⁻¹) uygulamasında bulunurken, en düşük değer ise %40 (2.20 g bitki⁻¹) uygulamasında bulunmuştur. Aynı su stresi koşullarındaki HA uygulanan ve HA uygulanmayan bitkilerin kuru ağırlıkları kıyaslandığında, K+HA %18, %80+HA'da %11, ve %40+HA'da %49 oranında artış belirlenmiştir. Bitki kuru ağırlığında HA'nın olumlu etkisi özellikle %40+HA uygulamasında görülmüştür (Şekil 4.3.).

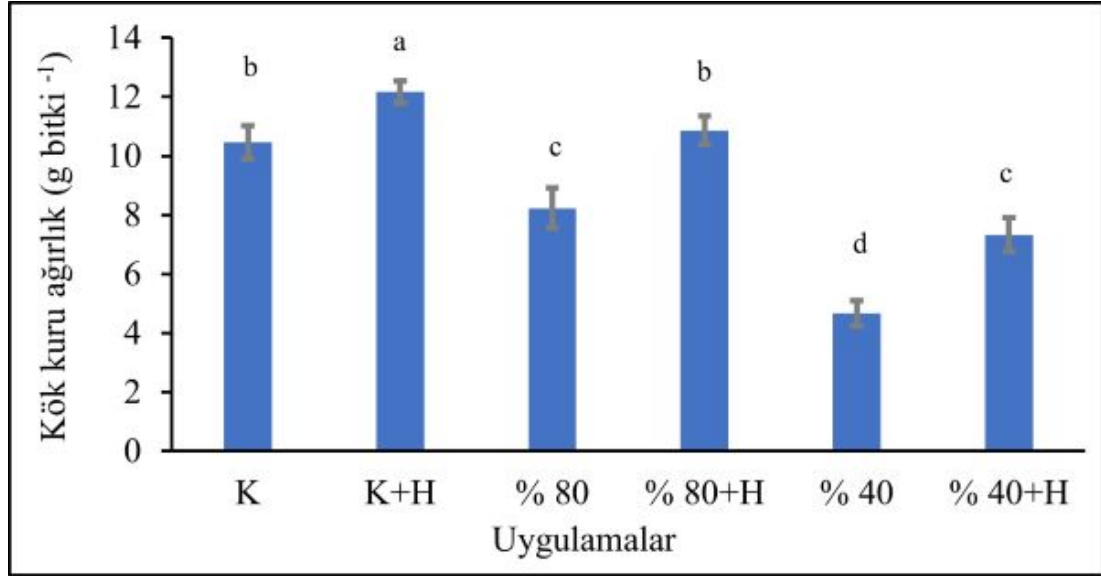
4.1.3. Bitki Kök Yaş ve Kuru Ağırlığı

Bitki kök yaş ve kuru ağırlığında, farklı sulama düzeylerinin ve HA uygulama etkisinin istatistiksel açıdan etkili olmuştur ($P \leq 0.05$).



Şekil 4.4. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki kök yaş ağırlığına etkisi

Bitki kök yaş ağırlığı incelendiğinde en yüksek değer HA uygulanan K+HA' da ($28.03 \text{ g bitki}^{-1}$), en düşük değer ise HA uygulanmayan %40 su stresi uygulamasında ($10.67 \text{ g bitki}^{-1}$) olarak belirlenmiştir. Bitki kök yaş ağırlığında K'e göre K+HA' da %35.20, %80 sulamaya göre %80+HA'da %39.86, %40 sulamaya göre %40+HA'da ise %46.87 oranında artış sağlamıştır (Şekil 4.4).

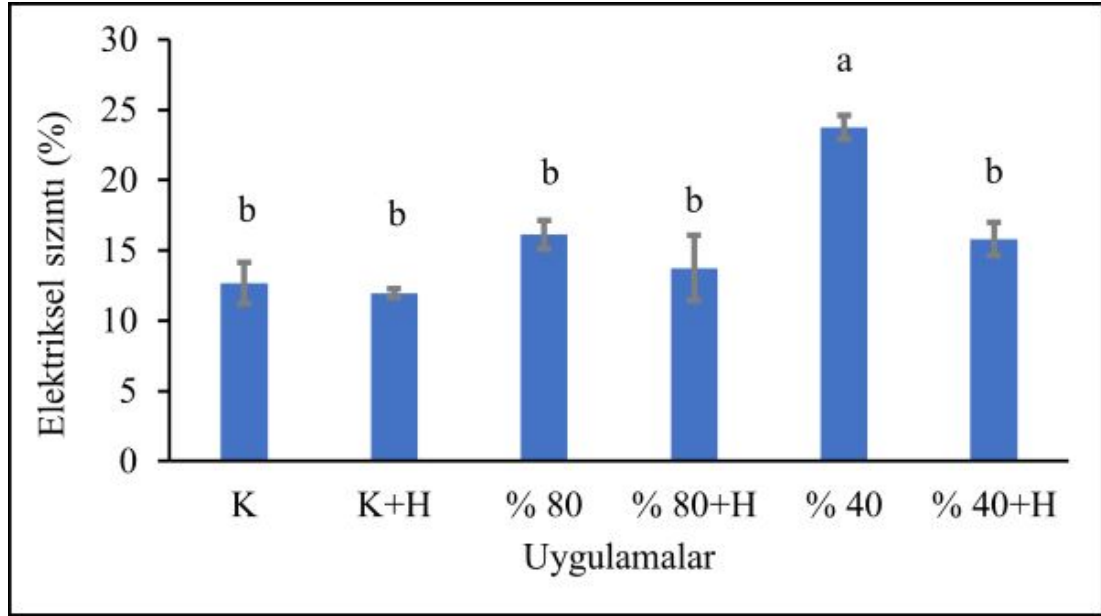


Şekil 4.5. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki kök kuru ağırlığına etkisi

Bitki kök kuru ağırlığında da en yüksek değer K+HA uygulamasında (12.17 g bitki⁻¹), en düşük değer ise %40 su stresinde (4.67 g bitki⁻¹) olarak bulunmuştur. Su stresi koşullarında yetiştirilen bitkilerde, K'e göre K+HA' da %16.24, %80 sulamaya göre %80+HA'da %31.98, %40 sulamaya göre %40+HA'da ise %57.14 oranında artış görülmüştür (Şekil 4.5.).

4.1.4. Elektriksel Sızıntı

Farklı sulama düzeyleri ve HA uygulamasının elektriksel sızıntısının (ES) üzerine olan etkileri istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



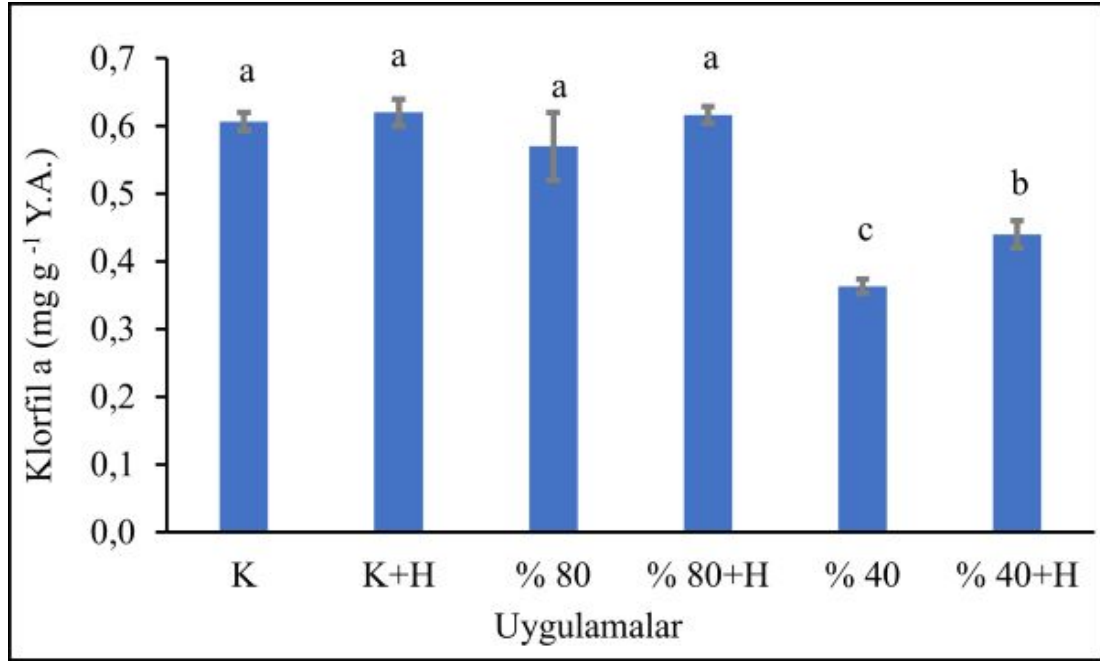
Şekil 4.6. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki elektriksel sızıntı (ES) miktarına etkisi

ES' nin en yüksek değeri %40 (%23.75) su stresi uygulamasında görülürken, en düşük değer ise K+HA (%11.97) uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 4.6.).

4.2. Biyokimyasal Analiz Bulguları

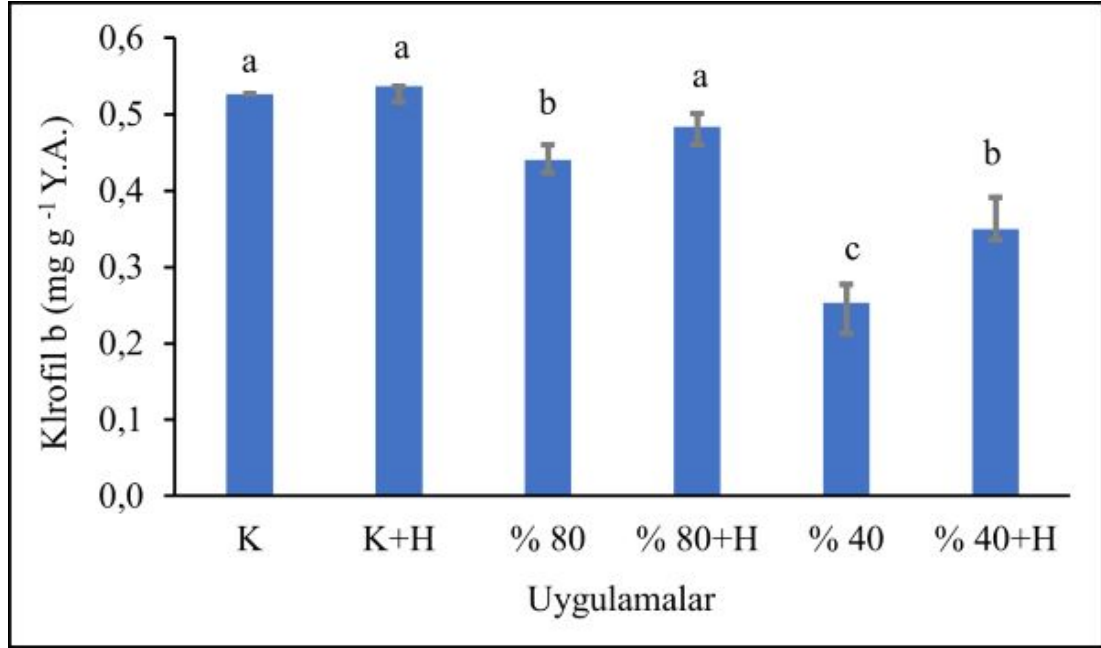
4.2.1. Klorofil a ve Klorofil b Miktarı

Biber bitkisinde uygulanan farklı sulama düzeyleri ve HA uygulaması bitki yaprak klorofil a ve b içeriği üzerinde etkisi önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).



Şekil 4.7. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki klorofil a miktarına etkisi

En yüksek değer K+HA ve %80+HA ($0.62 \text{ mg g}^{-1} \text{ Y.A.}$) uygulamasında görülürken, en düşük değer ise %40 ($0.36 \text{ mg g}^{-1} \text{ Y.A.}$) uygulamasından elde edilmiştir. Aynı su stresi koşullarında yetiştirilen, HA uygulanan ve HA uygulanmayan bitkilerde Klorofil a değerleri karşılaştırıldığında, K uygulamasına göre K+HA' da %2.19, %80 uygulamasına göre %80+HA'da %8.19 ve %40 uygulamasına göre %40+HA'da ise 21.11 artış görülmüştür (Şekil 4.7.).

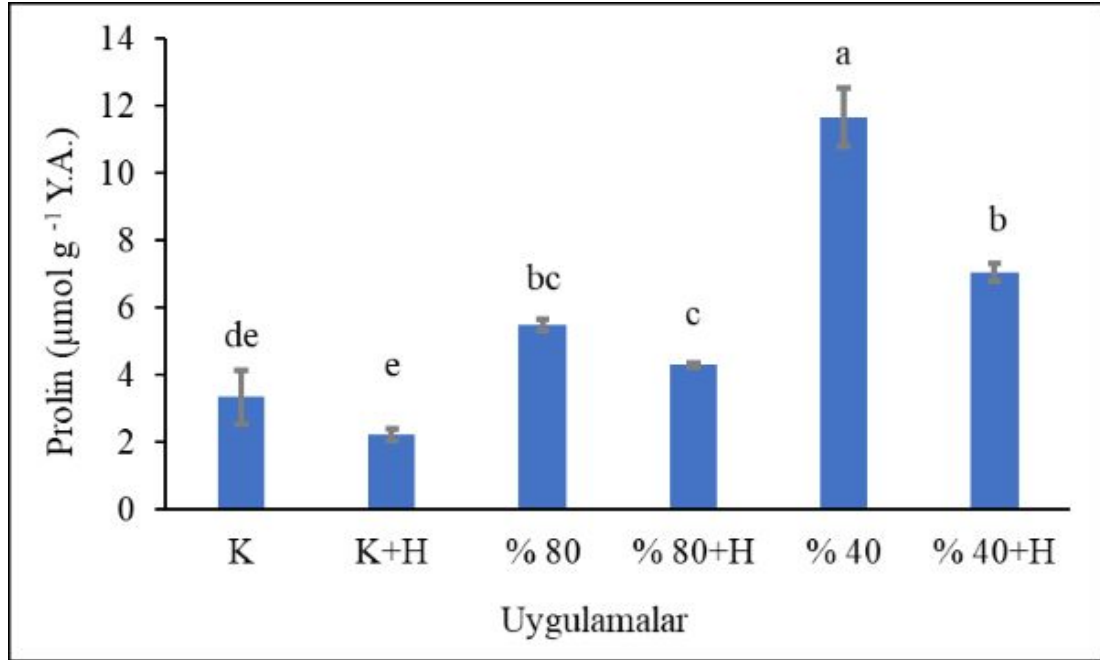


Şekil 4.8. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki klorofil b miktarına etkisi

Klorofil b değerlerinde de en yüksek değer K+HA (0.54 mg g⁻¹ Y.A.) uygulamasında görülürken en düşük değer ise %40 (0.25 mg g⁻¹ Y.A.) uygulamasından elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde aynı su stresi şartlarında yetiştirilen bitkilerde, HA uygulamasının etkisi incelendiğinde; Klorofil b değerlerinde K'e kıyasla K+HA uygulamasında %1.89 oranında bir artış belirlenmiştir. Benzer şekilde %80 uygulamasına göre %80+HA uygulamasında ise %9.84 oranında bir artış gözlemlenmiştir. En yüksek artış ise %40 uygulaması ile %40+HA' da %38.17 oranında artış görülmüştür (Şekil 4.8.).

4.2.2. Prolin Miktarı

Biber bitkisinde uygulanan farklı sulama düzeyleri ve HA uygulaması bitki yaprak Prolin içeriği üzerinde etkisi önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

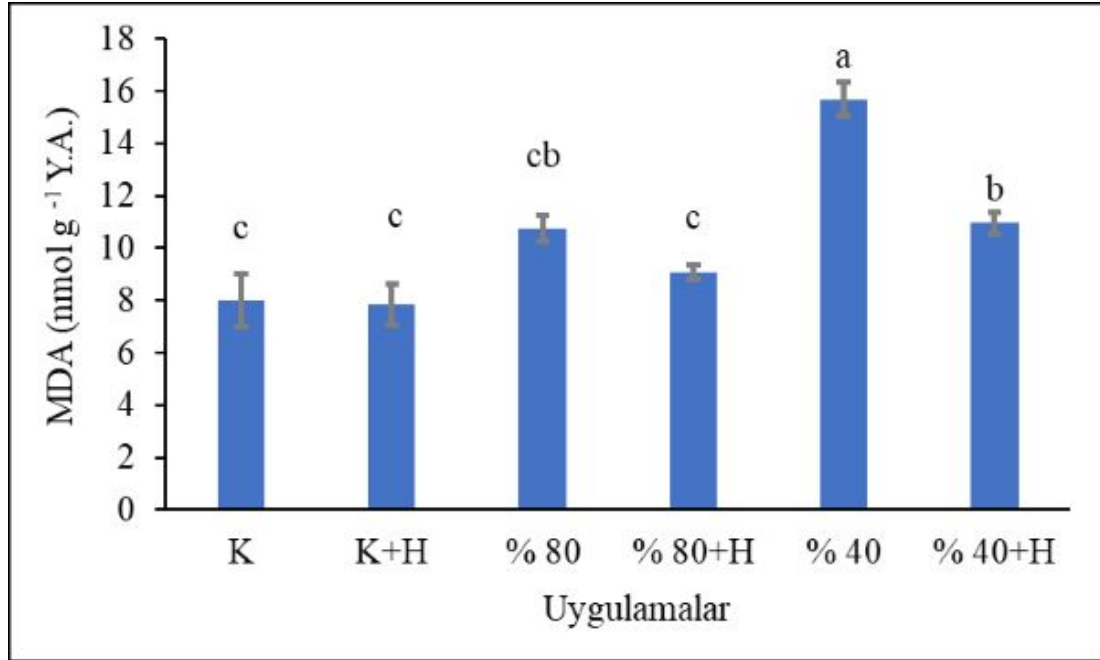


Şekil 4.9. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki prolin miktarına etkisi

Bitki Prolin içeriği en yüksek değer %40 (11.66 µmol g⁻¹ Y.A.) uygulamasında görüldüğü, en düşük değer ise K+HA (2.25 µmol g⁻¹ Y.A.) uygulamasından elde edilmiştir. Aynı Su stresi altında HA uygulanan bitkiler ile uygulanmayan bitkilerin prolin değerleri karşılaştırıldığında, K'e göre K+HA uygulamasında %33, %80 sulamaya oranla %80+HA uygulamasında %21.80 ve %40 sulamaya oranla %40+HA uygulamasında ise %39.55 oranında azalış gözlemlenmiştir. Prolin değerleri incelendiğine HA uygulaması en olumlu etki %40+HA uygulamasında belirlenmiştir (Şekil 4.9.).

4.2.3. Lipid Peroksidasyon Miktarı

Biber bitkisinde uygulanan farklı sulama düzeyleri ve HA uygulaması lipid peroksidasyon (MDA) içeriğinde etkisinin önemli olduğu saptanmıştır ($P \leq 0.05$).

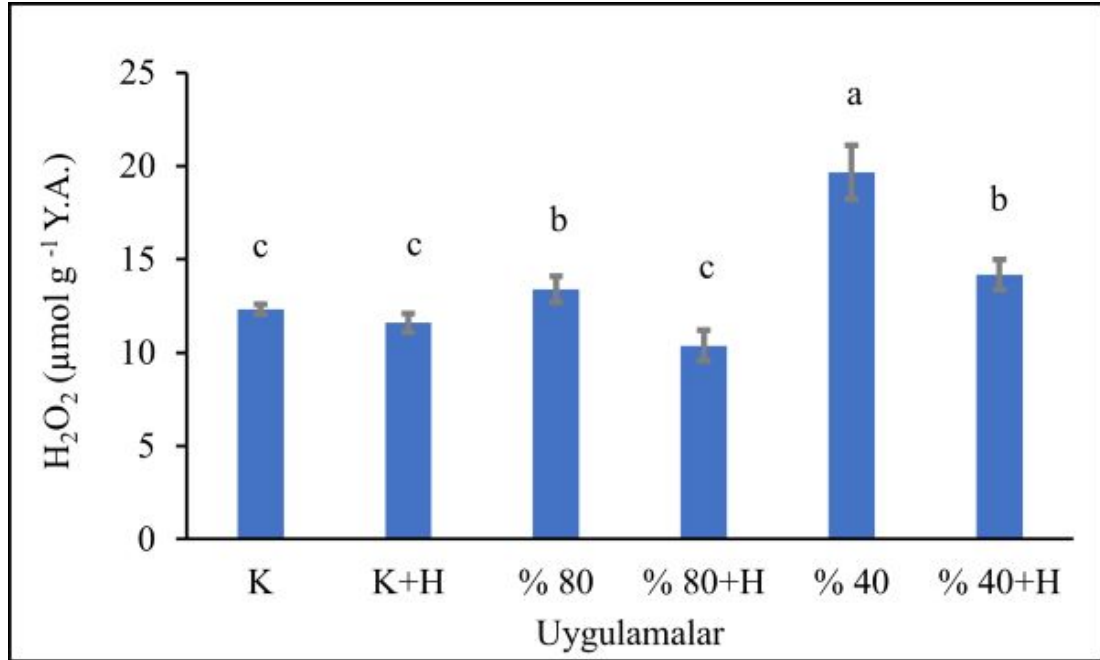


Şekil 4.10. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki lipid peroksidasyon (MDA) miktarına etkisi

En yüksek değer %40 (15.69 nmol g⁻¹) uygulamasında görüldüğü gibi, en düşük değer ise K+HA (7.84 nmol g⁻¹) uygulamasından elde edilmiştir. Bitkiye uygulanan farklı sulama seviyeleri K (%100) sulamadan %40 sulamaya doğru MDA değerlerinde artış belirlenmiştir. Aynı seviyede su stresine maruz kalan, HA uygulanan bitkiler ile uygulanmayan bitkilerde MDA değerleri kıyaslandığında sırasıyla, K'e göre K+HA sulama seviyesinde %2.20, %80 sulama seviyesine oranla %80+HA'da %15.60 ve %40 sulama seviyesine oranla %40+HA'da ise %30.20 oranlarında azalış belirlenmiştir (Şekil 4.10.).

4.2.4. Hidrojen Peroksit Miktarı

Biber bitkisinde uygulanan farklı sulama seviyeleri ve HA uygulaması bitkide hidrojen peroksit (H_2O_2) miktarı üzerinde etkisi önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

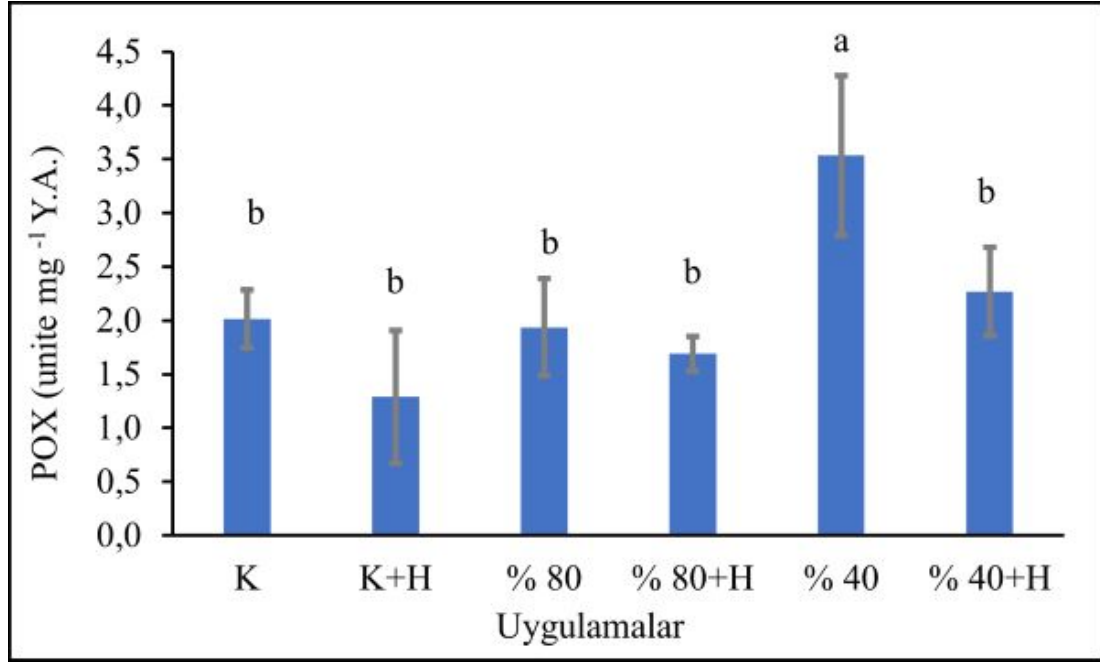


Şekil 4.11. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki hidrojen peroksit miktarına etkisi

H_2O_2 en yüksek değer %40 ($19.67 \mu\text{mol g}^{-1}$ Y.A.) uygulamasında görülürken, en düşük değer ise %80+HA ($10.38 \mu\text{mol g}^{-1}$ Y.A.) uygulamasından elde edilmiştir. Su stresi arttıkça bitkilerde H_2O_2 düzeyi de yükselmektedir. Aynı sulama seviyesi koşullarında HA uygulanan bitkiler, uygulanmayan bitkilere oranla karşılaştırma yapıldığında K uygulamasına kıyasla K+HA’ da %5.90, %80 uygulamasına kıyasla %80+HA’ da %22.50 ve %40 uygulamasına kıyasla %40+HA’da ise %28 azalış görülmüştür (Şekil 4.11.).

4.2.5. Peroksidaz Enzim Miktarı

Bitkide uygulanan farklı sulama düzeyleri ve yapraktan uygulanan HA, Peroksidaz enzim (POX) aktivitesine etkisi önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

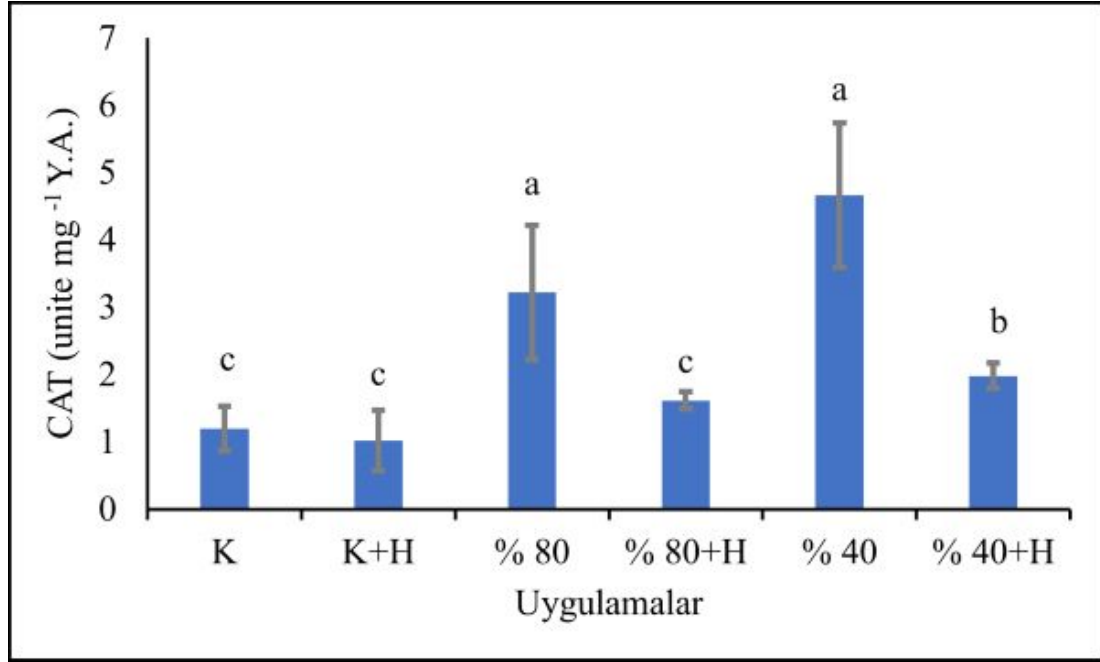


Şekil 4.12. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki peroksidaz enzim (POX) miktarına etkisi

Bitkilerde en yüksek değer %40 (3.53 unite mg⁻¹ Y.A.) uygulamasında elde edilirken, en düşük değer ise K+HA (1.29 unite mg⁻¹ Y.A.) uygulamasından elde edilmiştir. Su stresi bitkide POX enziminin artışına sebep olmuştur. Aynı sulama koşullarında HA uygulanan ve HA uygulanmayan bitkilerde karşılaştırma yapıldığında, HA uygulamasıyla POX enzimde azalış görülmektedir. Sırasıyla K'e oranla K+HA sulama düzeyinde %36, %80 sulama düzeyine oranla %80+HA'da %12.68 ve %40 sulama düzeyine oranla %40+HA'da ise %35.83 azalış gözlemlenmiştir (Şekil 4.12.).

4.2.6. Katalaz Enzim Miktarı

Farklı sulama seviyeleri ve HA uygulaması bitkide Katalaz enzim (CAT) aktivitesi değeri üzerinde etkisi önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$)



Şekil 4.13. Su stresi ve HA uygulamalarının bitki katalaz enzim (CAT) miktarına etkisi

Grafik incelendiğinde en yüksek değer %40 (4.66 unite mg⁻¹ Y.A.) uygulamasında elde edilirken, en düşük değer ise K+HA (1.02 unite mg⁻¹ Y.A.) uygulamasından elde edilmiştir (Şekil 4.13). Aynı sulama seviyelerinde HA uygulanan ve uygulanmayan bitkilerde CAT enzim değerleri kıyaslandığında, K' e göre K+HA' da %14.64 %80' e göre %80+HA'da %49.79 ve %40' a göre %40+HA'da ise %57.53 oranlarında azalış gösterdiği görülmüştür.

4.3. Bitki Mineral Madde Miktarı

Bitkide uygulanan farklı sulama düzeyleri ve HA uygulaması bitki mineral madde miktarı üzerinde etkisi önemli bulunmuştur ($P \leq 0.05$). Çizelge 4.1. incelendiğinde Sulama düzeylerinde ki azalış mineral madde miktarını azalttığı görülmüştür. Aynı su seviyesi koşullarında HA uygulanan bitkiler ile HA uygulanmayan bitkilerde karşılaştırma yapıldığında, yaprakta uygulanan HA uygulaması bitkilerde mineral madde miktarlarında artış görüldüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1. Biber bitkisinde farklı sulama düzeyleri ve HA uygulamasının yaprak mineral madde miktarına etkileri

Mineral Madde	Uygulamalar					
	K	K+HA	% 80	% 80+HA	% 40	% 40+HA
N (%)	2.76±0.33b	3.09±0.28a	2.52±0.80b	3.47±0.23a	1.32±0.13c	2.72±0.07b
P (%)	0.38±0.02a	0.39±0.02a	0.18±0.01d	0.31±0.01b	0.10±0.02e	0.25±0.01c
K (%)	3.35±0.50a	3.45±0.13a	1.66 0.12c	3.51±0.04a	0.62±0.10d	3.21±0.10ab
Ca (%)	0.48±0.040bc	0.60±0.033a	0.44±0.017bc	0.50±0.019b	0.39±0.045c	0.48±0.018bc
Mg (%)	0.57±0.03ab	0.63±0.09a	0.41±0.01c	0.55±0.02ab	0.32±0.03d	0.49±0.03b
Fe (mg kg ⁻¹)	46.66±3.33ab	50.00±0.00a	36.66±3.33cd	46.66±3.33ab	31.33±1.33d	41.66±1.66bc
Zn (mg kg ⁻¹)	21.66±1.66a	21.67±1.67a	18.33±1.66b	23.33±1.67a	16.67±1.66c	21.66±1.67a

5. TARTIŞMA

Biber bitkisine farklı su seviyesi ve HA uygulama sonuçları incelendiğinde, bitki gelişim parametreleri (bitki boyu, bitki yaş ağırlığı, bitki kuru ağırlığı, kök yaş ve kuru ağırlığı), elektriksel sızıntı (ES) ile biyokimyasal parametreler (klorofil a, klorofil b, prolin, MDA, H₂O₂, antioksidan enzimler (POX ve CAT) ve mineral madde içerikleri (N, P, K, Ca, Mg, Fe ve Zn) istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($P \leq 0.05$).

Su stresi, bitki boyunda azalmaya neden olurken; aynı stres koşullarında yapraktan uygulanan HA, bitki boyunda anlamlı artış sağlamıştır. Pıtır (2015), su stresi altındaki Jalapeno biberinde bitki boyunun azaldığını belirtmiştir. Benek (2022), HA uygulamasının bitki boyunu artırdığını bildirmiştir. Doğan (2023), Biyke (2023) ve Bilgin (2019) gibi araştırmacılar da benzer sonuçlara ulaşmıştır.

Bu çalışmada da su stresi, bitki yaş ve kuru ağırlıklarında düşüşe neden olmuştur. Ancak yapraktan uygulanan HA, bu parametrelerde anlamlı artış sağlamıştır. Doğan (2006), fasulyede su stresinin gövde yaş ve kuru ağırlığını azalttığını belirtmiştir. Ekinci ve ark. (2020) ile Katırcıoğlu (2020) da benzer bulgular elde etmiş, HA uygulamasının stresi hafiflettiğini belirtmiştir. Bader ve Hassan (2023) ise karnabaharda HA uygulamasının bitki yaş ağırlığını artırdığını belirtmişlerdir. Kök yaş ve kuru ağırlıklarında da su stresi altında azalma gözlenmiş, ancak HA uygulaması bu parametreleri artırmıştır. Bilgin (2019), su stresi altında biber kök ağırlıklarının azaldığını bildirmiştir. Güngör (2018), mısırdaki HA uygulamasının kök gelişimini desteklediğini tespit etmiştir. Yıldız (2021), *Miscanthus* bitkisi üzerinde yaptığı çalışmada benzer sonuçlara ulaşmıştır.

Su stresi hücre membran dayanıklılığını azaltmakta, bu da ES oranının artmasına yol açmaktadır. Ancak HA uygulanan bitkilerde ES oranı daha düşük bulunmuştur. Özellikle %40 su stresi altında HA uygulaması, ES değerini %33 oranında azaltmıştır. Pıtır (2015), Korkmaz (2018), Cirit (2024) ve Çelik (2014) benzer bulgulara ulaşmış, HA'nın membran geçirgenliğini azalttığını bildirmişlerdir.

Bitkiler, su stresine karşı osmotik dengeyi korumak amacıyla prolin birikimini artırmaktadır. Levent (2023) ve Aytaç (2021) gibi araştırmacılar, prolin miktarının stres altında arttığını, ancak HA uygulamasıyla azaldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada da benzer bulgular elde edilmiştir. Korkmaz (2018) ve Elgün (2021) de su stresi altında prolin artışını raporlamıştır.

Lipid peroksidasyonu göstergesi olan MDA miktarı da su stresinde artmaktadır. Elgün (2021), Unat (2023), Korkmaz (2018) ve Katırcıoğlu (2020) bu artışı doğrulamış; HA uygulamasının bu artışı baskıladığını belirtmişler. Bu çalışmada da benzer şekilde, HA'nın stres etkilerini azalttığı gözlemlenmiştir.

Klorofil a ve b içerikleri, su stresinde azalma göstermektedir. Yaban ve ark. (2019) ile Güneş (2004), bu parametrelerin su stresi altında düştüğünü bildirmiştir. Altaf ve ark. (2023), HA uygulamasının klorofil miktarlarını artırdığını belirtmiştir. Bu çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Su stresi koşullarında H_2O_2 bitki dokularında birikir. Bu durum Ekinci ve ark. (2020), Cirit (2024) ve Babalık (2012) tarafından da bildirilmiştir. Aynı şekilde bu çalışmada da artan su stresi sonucunda H_2O_2 seviyelerinde artış gözlenmiştir. HA uygulamasıyla H_2O_2 azalışa geçmiştir.

CAT ve POX enzim aktiviteleri, sulama seviyesi ve HA uygulamasından önemli düzeyde etkilenmiştir ($P \leq 0.05$). HA uygulanmayan bitkilerle karşılaştırıldığında, HA uygulanan bitkilerde CAT ve POX aktivitelerinde genel olarak azalma gözlenmiştir. En dikkat çekici azalma %40+HA uygulamasında olmuştur. Ekinci ve ark. (2020), %80 sulamada POX artışı, %60 sulamada ise azalma olduğunu belirtmiştir. Elgün (2021), su stresinin antioksidan enzim aktivitelerini artırdığını; Yaban ve ark. (2019) ise kuraklık stresinin CAT enzimini azalttığını bildirmiştir. Ancak Altaf ve ark. (2023), mısırdaki HA uygulamasının CAT enzimini artırdığını belirtmiş, bu bulgu çalışmamızla çelişmiştir.

Sulama düzeyinin azalması, bitkideki mineral madde miktarlarını da azaltmıştır. Ancak aynı koşullarda HA uygulaması mineral madde içeriklerini artırmıştır. Taiz ve Zeiger (2010) ile Hu ve Schmidhalter (2005), su stresinin kök gelişimini olumsuz etkileyerek besin alımını azalttığını bildirmiştir. Çelik (2014), yer kirazında su stresinin makro ve mikro besin maddelerinde azalma yaptığını tespit etmiştir. Katırcıoğlu (2020), mercimekte HA uygulamasının Na ve K düzeylerini olumlu etkilediğini belirtmiştir. Güngör (2018), mısırdaki HA uygulamasının gövde ve köklerde besin madde içeriğini artırdığını, Korkmaz (2018) ise çilekte benzer etkiler gözlemlemiştir. Çağlaroğlu (2017) de arpa bitkisinde benzer bulgular elde etmiştir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, önceki çalışmalarla büyük oranda uyumludur.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, biber bitkisine dört farklı sulama düzeyi (kontrol (K) %100 nem kapasitesi (tarla kapasitesi), kontrole verilen su miktarının %80' i, kontrole verilen su miktarının %40'ı, kontrole verilen su miktarının %20'si) ve yapraktan 50 ppm HA uygulanarak bitkideki fizyolojik, biyokimyasal ve mineral madde içerikleri üzerindeki etkiler araştırılmıştır.

Araştırma bulgularına göre, su stresi bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemiş; özellikle %20 sulama düzeyinde bitkiler stres nedeniyle kurumuştur. Ancak HA uygulaması, su stresinin olumsuz etkilerini azaltarak bitki gelişimini desteklemiştir. Bitki boyu en yüksek değer K+HA uygulamasında bulunurken, en düşük değer ise %40 su stresinde tespit edilmiştir. Benzer şekilde, bitki yaş ve kuru ağırlıkları ile bitki kök yaş ve kuru ağırlıkları da sulama düzeyiyle azalmış; ancak HA uygulaması bu değerler artırmıştır.

Su stresi koşullarında HA uygulaması ES oranını düşürerek hücre zar bütünlüğünü korumuştur. ES' de en yüksek değer %40 su stresinde, en düşük değer ise K+HA uygulamasında bulunmuştur.

Su stresinde HA uygulaması, klorofil düzeylerini artırmış, prolin, MDA birikiminin azaldığı görülmüştür. Klorofil a içeriği en yüksek değer K+HA ve %80+HA, en düşük değer ise %40 su stresi uygulamasında belirlenmiştir. Klorofil b içinde en yüksek değer K+HA, en düşük ise %40 su stresi uygulamasında tespit edilmiştir. Prolin ve MDA içeriğinde en yüksek derğerler%40 uygulamasında, en düşük değerler ise K+HA uygulamasında görülmüştür. Bu durum HA uygulanan bitkilerde stresin tepkisinin hafiflediği göstermiştir.

Su stresi koşullarında bitkiye yapraktan uygulanan HA, H₂O₂ birikimini azaltarak oksidatif stresi hafifletmiş, H₂O₂ içeriği %40 su uygulamasında en yüksek değer bulunurken, %80+HA uygulamasında ise en düşük değer bulunmuştur.

POX ve CAT enzim aktiviteleri de su stresi ile artmış, HA uygulaması ile azalmıştır. POX enziminde en yüksek değer %40 uygulamasında görülürken en düşük değer ise K+HA uygulamasında belirlenmiştir.; CAT enziminde ise en yüksek değer %40 uygulamasında tespit edilirken , en düşük değer ise K+HA uygulamasında tespit edilmiştir.

Azalan sulama seviyeleriyle birlikte mineral madde içeriklerinin (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn) azaldığı, ancak HA uygulamasıyla bu değerlerin arttığı görülmüştür. Yapraktan HA uygulaması, bitkinin su ve besin elementi alımını teşvik ederek mineral madde dengesine olumlu katkı sağlamıştır.

7. ÖNERİLER

Bu çalışmada su stresi arttığında biberin büyüme ve gelişme parametrelerinde olumsuz etki gözlemlenmiştir. Su stresi ile birlikte uygulanan HA ile meydana gelen bu olumsuz etkileri azaltmak mümkün olmaktadır. Biberde yapraktan uygulanan HA bitkiyi su stresine karşı daha dayanıklı hale getirip bitkinin büyüme ve gelişme hızını desteklemekte ve aynı zamanda besin element alımına yardımcı olmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda su stresine maruz kalan biber bitkisini iyileştirmek ve yaşamsal fonksiyonlarını sürdürebilmesi için HA uygulamaları önerilebilir. Dolayısıyla, su stresi ile mücadelede HA etkili bir çözüm olarak önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Abdulameer, O. Q., & Ahmed, S. A. (2019). Role of humic acid in improving growth characters of corn under water stress. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 50(1), 420–430.
- Abu-Ria, M. E., Elghareeb, E. M., Shukry, W. M., Abo-Hamed, S. A., & Ibraheem, F. (2024). Mitigation of drought stress in maize and sorghum by humic acid: Differential growth and physiological responses. *BMC Plant Biology*, 24(1), 514.
- Ahluwalia, O., Singh, P. C., & Bhatia, R. (2021). A review on drought stress in plants: Implications, mitigation and the role of plant growth promoting rhizobacteria. *Resources, Environment and Sustainability*, 5, 100032.
- Altaf, A., Nawaz, F., Majeed, S., Ahsan, M., Ahmad, K. S., Akhtar, G., ... & Farman, M. (2023). Foliar humic acid and salicylic acid application stimulates physiological responses and antioxidant systems to improve maize yield under water limitations. *JSFA Reports*, 3(3), 119–128.
- Ampong, K., Thilakarathna, M. S., & Gorim, L. Y. (2022). Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 4, 848621. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.848621>
- Arnon, D. I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, 24, 1–15. <https://doi.org/10.1104/pp.24.1.1>
- Asri, Ö.F., Demirtaş, I., & Arı, N. (2016). Açıkta domates yetiştiriciliğinde yapraklardan uygulanan hümik asitin bitkinin beslenme durumu, verimi ve kalitesi üzerine etkileri. *Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü*.
- Aytaç, E. (2021). *Domateste kuraklık stresine karşı hümik asitin bazı fizyolojik parametreler ve gen ifadeleri üzerine etkisi* [Yüksek lisans tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü].
- Babalık, Z. (2012). *Tuz ve su stresinin asmaların bazı fiziksel ve biyokimyasal özellikleri üzerine etkileri* [Doktora tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi].
- Bader, B. R., & Hassan, W. F. (2023). Effects of adding anti-saline and humic acid foliar spraying on yield parameters of cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis). *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 20(2), 353–360.
- Barton, C. J. (1948). Photometric analysis on phosphate rock. *Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition*, 20, 1068–1073.
- Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205–207.
- Benek, S. N. (2022). *Vermikompost ve hümik asit uygulamalarının biber fidesinin kalitesine etkileri* [Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Berwal, M. K., Kumar, R., Prakash, K., Rai, G. K., & Hebbar, K. B. (2021). Antioxidant defense system in plants against abiotic stress. In *Abiotic stress*

- tolerance mechanisms in plants* (pp. 175–202). CRC Press.
- Bilgin, A. (2019). *Biber yetiştiriciliğinde farklı su kısıtlarının ve tuzluluğun bitki verim ve bazı kalite özelliklerine etkisi* [Yüksek lisans tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi].
- Biyke, H. (2023). *Akdeniz ülkelerinden seçilmiş bazı yerel domates genotiplerinin su stresine tepkileri* [Yüksek lisans tezi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı].
- Bouyoucos, G. J. (1951). A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43, 434–438.
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-total. In A. L. Page (Ed.), *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties* (pp. 595–622). SSSA Book Series No: 9.
- Burke, R., Schwarze, J., Sherwood, O. L., Jnaid, Y., McCabe, P. F., & Kacprzyk, J. (2020). Stressed to death: The role of transcription factors in plant programmed cell death induced by abiotic and biotic stimuli. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1235.
- Canellas, L. P., Canellas, N. O., da S. Irineu, L. E. S., Olivares, F. L., & Piccolo, A. (2020). Plant chemical priming by humic acids. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7, 1–17.
- Chada, S., Asiedu, S. K., & Ofoe, R. (2023). An overview of plant morpho-physiology, biochemicals, and metabolic pathways under water stress. *Horticulture International Journal*, 7(4), 115–125.
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1961). *Methods of analysis for soils, plants and waters*. University of California, Division of Agricultural Sciences.
- Chen, Q., Qu, Z., Ma, G., Wang, W., Dai, J., Zhang, M., ... & Liu, Z. (2022). Humic acid modulates growth, photosynthesis, hormone and osmolytes system of maize under drought conditions. *Agricultural Water Management*, 263, 107447.
- Cirit, Y. (2024). *Bazı uçucu yağların ayçiçeğinde su stresi koşullarında morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal özellikler ile tane verimi ve kalitesine etkileri* [Doktora tezi, Isparta Tarla Bitkileri Anabilim Dalı].
- Cvikrová, M., Hrubcová, M., Vágner, M., Macháčková, I., & Eder, J. (1994). Phenolic acids and peroxidase activity in alfalfa (*Medicago sativa*) embryogenic cultures after ethephon treatment. *Plant Physiology*, 91(2), 226–233.
- Çağlaroğlu, Z. (2017). *Hümik asit uygulamalarının arpa bitkisinde (Hordeum vulgare L.) verim, verim öğeleri ve aminoasit bileşimi üzerine etkisi* [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı].
- Çelebi, M. A. (2022). *Diyarbakır ekolojik koşullarında farklı hümik asit dozlarının pamuk (Gossypium hirsutum L.) çeşitlerinin verim ve kalite unsurları üzerine*

- etkisi [Yüksek lisans tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı].
- Çelik, A. (2014). *Yerkirazında farklı su uygulamalarının meydana getirdiği fizyolojik, morfolojik ve kimyasal değişikliklerin belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı].
- Doğan, H. (2023). *Pamukta (Gossypium hirsutum L.) su stresi koşullarında verim, verim unsurları, kalite ve kuraklığa dayanıklılık özelliklerinin kalıtımı* [Doktora tezi, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı].
- Doğan, N. (2006). *Su stresi altındaki fasulye (Phaseolus vulgaris L.) bitkisinin iyon alım mekanizmasının araştırılması* [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı].
- Ekinci, M., Kul, R., Yıldırım, E., & Çaksa, K. S. (2020). The effect of drought stress on plant growth, some physiological and biochemical properties of bean. *Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology*, 36(2), 1–10.
- Elgün, K. (2021). *Su stresi koşullarında hıyar bitkisinde antioksidatif enzim aktivitelerinde meydana gelen değişimler* [Yüksek lisans tezi, Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı].
- Gavrilescu, M. (2021). Water, soil, and plants interactions in a threatened environment. *Water*, 13(19), 2746. <https://doi.org/10.3390/w13192746>
- Geçer, M. K. (2020). Hümik asit uygulamalarının bazı çilek çeşitlerinin meyve verimi ve kalitesi üzerine etkileri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi (UTYHBD)*, 6(1), 21–27.
- Güneş, M. (2004). *Su stresinde yetiştirilen genç mısır bitkisinde potasyum uygulamasının gelişme, membran permeabilitesi ve bazı besin elementleri alımı üzerine etkisi* [Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi, Toprak Bilimi Anabilim Dalı].
- Güngör, K. (2018). *Hümik asit uygulamalarının mısır (Zea mays L.) bitkisinin kök gelişimi ve besin elementleri alımına etkisi* [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı].
- Hızalan, E., & Ünal, H. (1966). *Topraklarda önemli kimyasal analizler*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 278.
- Hu, Y., & Schmidhalter, U. (2005). A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 541–549.
- Jackson, M. L. (1962). *Soil chemical analysis*. Constable and Company Ltd., London, England.
- Jackson, M. L. (1960). *Soil chemical analysis*. Prentice-Hall, Inc. Englewood, Cliffs-NJ.

- Karakas, S., Dikilitaş, M., & Tıpırdamaz, R. (2019). Biochemical and molecular tolerance of *Carpobrotus acinaciformis* L. halophyte plants exposed to high level of NaCl stress. *Harran Journal of Agricultural and Food Science*, 23, 99–107.
- Katırcıoğlu, H. B. (2020). *Su stresinde yetişen mercimek (Lens culinaris Medik.) fidelerine uygulanan hümkik asitin etkilerinin belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kitson, R. E., & Mellon, M. G. (1944). Colorimetric determination of phosphorus as molybdovanadophosphoric acid.
- Korkmaz, K. (2018). *Çilekte su stresi altındaki bitkiler üzerine hümkik asit ve silikonun etkisinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Levent, Ç. F. (2023). *Farklı su stresi koşullarında yetiştirilen acı biberde verim ve kalite parametrelerinin belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı].
- Liliane, T. N., & Charles, M. S. (2020). Factors affecting yield of crops. In *Agronomy-climate change & food security* (Vol. 9).
- Lutts, S., Kinet, J. M., & Bouharmont, J. (1996). NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78, 389–398.
- Man-Hong, Y., Lei, Z., Sheng-Tao, X., McLaughlin, N. B., & Jing-Hui, L. (2020). Effect of water soluble humic acid applied to potato foliage on plant growth, photosynthesis characteristics and fresh tuber yield under different water deficits. *Scientific Reports*, 10(1), 7854.
- Milosevic, N., & Slusarenko, A. J. (1996). Active oxygen metabolism and lignifications in the hypersensitive response in bean. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 49, 143–158.
- Mishra, R. K. (2023). Fresh water availability and its global challenge. *British Journal of Multidisciplinary and Advanced Studies*, 4(3), 1–78.
- Oğuz, M. C., Aycan, M., Oğuz, E., Poyraz, I., & Yıldız, M. (2022). Drought stress tolerance in plants: Interplay of molecular, biochemical and physiological responses in important development stages. *Physiologia*, 2(4), 180–197.
- Özenç, B. D. (2003). Farklı su stresi ve perlit ortamlarının biber bitkisinin gelişimi üzerine etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(1), 45–50.
- Pıtır, M. (2015). *Biber yetiştiriciliğinde farklı su kısıtlarının meydana getirdiği fizyolojik, morfolojik ve kimyasal değişikliklerin belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi].
- Rajput, R. D., & Patil, R. P. (2017). The comparative study on spectrophotometric analysis of chlorophyll and carotenoids pigments from non-leguminous fodder crops. *International Journal of Innovative Science, Engineering and*

Technology, 4(7), 140–148.

- Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, 10(2), 277.
- Sahu, B., Choudhary, V. K., Sahu, M. P., Kumar, K. K., Sujayanand, G. K., Gopi, R., & Ghosh, P. K. (2023). Biotic stress management. In *Trajectory of 75 years of Indian agriculture after independence* (pp. 619–653). Springer Nature Singapore.
- Sairam, R. K., & Saxena, D. (2000). Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: Possible mechanism of water stress tolerance. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184, 55–61.
- Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259.
- Shen, J., Guo, M. J., Wang, Y. G., Yuan, X. Y., Wen, Y. Y., Song, X. E., ... & Guo, P. Y. (2020). Humic acid improves the physiological and photosynthetic characteristics of millet seedlings under drought stress. *Plant Signaling & Behavior*, 15(8), 1774212.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
- Tehranifar, A., & Ameri, A. (2014). Effect of humic acid on nutrient uptake and physiological characteristics of (*Fragaria × ananassa* Camarosa). In *VII International Strawberry Symposium* (Vol. 1049, pp. 54).
- Tiwari, J., Ramanathan, A. L., Baudh, K., & Korstad, J. (2023). Humic substances: Structure, function and benefits for agroecosystems—A review. *Pedosphere*, 33(2), 237–249.
- Topak, H., Erbil, N., & Dıǧrak, M. (2008). Doǧu Akdeniz ve GÜneydoǧu Anadolu Bölgesi’nde yetiştirilen biberlerin (*Capsicum annuum* L.) antimikrobiyal aktivitesinin araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(2), 257–264.
- Unat, A. (2023). *Kuraklık stresine maruz bırakılan biberde (Capsicum annuum L.) eksojen strigolakton uygulamasının fizyolojik ve biyokimyasal etkileri* [Yüksek lisans tezi, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi].
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain treated bean plants: Protective role of exogenous polyamines. *Plant Science*, 151, 59–66.
- Vikram, N., Sagar, A., Gangwar, C., Husain, R., & Kewat, R. N. (2022). Properties of humic acid substances and their effect in soil quality and plant health. In *Humus and humic substances—Recent advances*. IntechOpen.
- Wang, X., Zhang, J., Shen, J., Zhang, L., Wei, P., Liu, A., & Song, H. (2024). The alleviating effect on the growth, chlorophyll synthesis, and biochemical defense system in sunflowers under cadmium stress achieved through foliar

- application of humic acid. *BMC Plant Biology*, 24(1), 792.
- Wu, J., Wang, J., Hui, W., Zhao, F., Wang, P., Su, C., & Gong, W. (2022). Physiology of plant responses to water stress and related genes: A review. *Forests*, 13(2), 324.
- Yaban, İ., & Kabay, T. (2019). Effect of drought stress on enzyme chlorophyll and ion.
- Yıldız, S. (2021). *Hümik asit uygulamasının miskantus (Miscanthus × giganteus)'un kuraklığa toleransı üzerindeki etkisi* [Yüksek lisans tezi, Çankırı Karatekin Üniversitesi].
- Yuan, Y., Tang, C., Jin, Y., Cheng, K., & Yang, F. (2023). Contribution of exogenous humic substances to phosphorus availability in soil-plant ecosystem: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(10), 1085–1102.
- Zandalinas, S. I., & Mittler, R. (2022). Plant responses to multifactorial stress combination. *New Phytologist*, 234(4), 1161–1177.

EKLER

EK 1



Farklı su ve HA uygulamaları sonucunda bitkiden görüntüler

EK 2



Kontrol(%100) ve kontrol(%100)+HA uygulamalarından görüntüler

EK 3



%80 ve %80+HA uygulamalarından görüntüler

EK 4



%40 ve %40+HA uygulamalarından görüntüler



%20 ve %20+HA uygulamalarından görüntüler

EK 6



Farklı su ve HA uygulamaları sonucunda laboratuvar ölçümlerinde kök aksamı görüntüleri