



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURAK KOŞULLARDA YETİŞTİRİLEN
FASULYE BİTKİSİNE UYGULANAN POTASYUMUN STRES
TOLERANSINA ETKİSİ**

Mehmet ZENGİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME
ANABİLİM DALI**

Ağustos-2019 KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet ZENGİN tarafından hazırlanan “**Kurak Koşullarda Yetiştirilen Fasulye Bitkisine Uygulanan Potasyumun Stres Toleransına Etkisi**” adlı tez çalışması 27/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof.Dr.Erdoğan Eşref HAKKI

Danışman

Doç.Dr.Mehmet HAMURCU

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Çetin PALTA

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Mehmet ZENGİN

27/08.2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ Kurak Koşullarda Yetiştirilen Fasulye Bitkisine Uygulanan Potasyumun Stres Toleransına Etkisi

Mehmet ZENGİN

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

Danışman: Doç.Dr.Mehmet HAMURCU

Kurak koşullara maruz bırakılan fasulye bitkisinin stres toleransı üzerine, potasyum uygulamalarının olası iyileştirici etkileri fizyolojik ve biyokimyasal parametrelere bakılarak değerlendirildiği bu çalışmada, fasulye genotiplerine, -0.42 Mpa ozmotik basınca denk gelen PEG 6000 koşullarına maruz bırakılan fasulye bitkilerinin osmotik stres toleransı üzerine, potasyum (0 ppm, kontrol, 100 ppm ve 200 ppm) dozları uygulanmıştır. Fasulye genotipinin kuraklık stresi koşullarında potasyum uygulamalarının etkilerini ortaya koymak amacıyla kök ve gövde boyu, yaş ve kuru ağırlık gibi temel büyüme parametrelerinin yanı sıra, prolin birikimi, hücre zarı geçirgenliği (Elektrolit Sızıntısı), malondialdehit (MDA) miktarı, süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), katalaz (CAT), antioksidan enzim aktiviteleri incelenmiştir. Ayrıca bitkilerin gövde ve köklerdeki besin elementi durumlarında oluşan değişimler Ca, K, Mg ve Na içeriklerinin analiz edilmesiyle belirlenmiştir. PEG 6000 uygulanan koşullarında bitki kök, gövde yaş ve kök, gövde kuru ağırlık ve gövde boyu değerlerinde azalmalar meydana geldiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kuraklık, potasyum, fasulye, antioksidan

ABSTRACT

MS THESIS

Effect of Potassium Application on Development of Bean Plants under Drought Conditions

Mehmet Zengin

**The Graduate School of Natural and Applied Science of Selçuk University The
Degree of Master of Science
in Department Of Soil Science And Plant Nutrition**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Mehmet Hamurcu Year: 2019 Pages:57

Jury Doç.Dr.Mehmet HAMURCU

In this study, the potential healing effects of potassium applications on the stress tolerance of bean plant exposed to arid conditions were assessed on the basis of physiological and biochemical parameters. Along with 39 ppm K Hoagland solution as control, four potassium doses (0 ppm, control, 100 ppm and 200 ppm) were applied to determine the osmotic and ionic stress tolerance of Bean genotypes exposed to PEG 6000 developed drought conditions corresponding to -0.42 MPa osmotic pressure. In order to reveal the effects of potassium application on the bean genotype in drought stress conditions, root and stem size, basic growth parameters such as fresh and dry weight were investigated along with the proline accumulation, ion leaching, malondialdehyde (MDA) amount, superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POX) and catalase antioxidant enzyme activities. In addition, changes in the nutrient status of shoots and roots of plants were determined by analyzing Ca, K, Mg and Na contents.

Keywords: Drought, potassium, bean, antioxidant.

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanması sırasında bana sabırla yol gösteren, her türlü konuda benden bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen danışmanım sayın **Doç. Dr. Mehmet HAMURCU**, hocama tezimin yazım aşamalarında bana her konuda yardımcı olan arkadaşlarıma, çalışma esnasında yardımlarını esirgemeyen tüm Toprak Bilimi ve Bitki Besleme bölümü hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet ZENGİN KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI.....	i
DECLARATION PAGE	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
RESİM LİSTESİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1.Bitkilerde Stres Faktörleri ve Savunma Sistemleri.....	3
2.2.Abiyotik Stres Koşullarında Bitkilere Potasyum Uygulaması	7
3.MATERYAL VE YÖNTEM	10
3.1.Materyal Bitki materyallerinin temini	10
3.2.Yöntem	10
3.3.Analiz yöntemleri	12
3.4.Büyüme Parametreleri	12
3.4.1.Bitkilerde Na, K, Ca ve Mg analizi	13
3.4.2.Biyokimyasal Parametrelerin Ölçümü.....	13
3.5.Enzim ekstraktlarının hazırlanması:	14
3.5.1.Süperoksit Dismutaz (SOD, EC 1.15.1.1) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi: ..	14
3.5.2.Peroksidaz (POX; EC 1.11.1.7) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi:	14
3.5.3.Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi:	14
3.5.4.Total Protein Miktarının Belirlenmesi:.....	15
3.5.5.Lipit Peroksidasyonun Belirlenmesi:.....	15

3.5.6.Prolin Analizi:.....	15
3.5.7.Hücre zarı geçirgenliği (Elektrolit Sızıntısı):	15
3.5.8.Veri Analizleri	16
4.BULGULAR	17
4.1.Büyüme Parametreleri Bulguları	17
4.1.1Gövde ve kök yaş ağırlığı	17
4.1.2.Gövde ve kök kuru ağırlığı	20
4.1.3.Gövde ve kök boyu.....	22
4.1.4.Gövde ve kök K konsantrasyonu	25
4.1.5.Gövde ve kök Mg konsantrasyonu	27
4.1.6.Gövde ve kök Ca konsantrasyonu	30
4.1.7.Gövde ve kök Na konsantrasyonu	33
4.2.Prolin Bulguları	36
4.3.Elektrolit Sızıntısı	38
4.4.Antioksidan Enzim Aktivite Sonuçları	40
4.5.Süperoksit dismutaz enzim aktiviteleri (SOD; EC 1.15.1.1).....	40
4.6.Peroksidaz enzim aktiviteleri (POX; EC 1.11.1.7).....	41
4.7.Katalaz enzim aktiviteleri (CAT; EC 1.11.1.6)	43
5.SONUÇLAR ve TARTIŞMA	45
KAYNAKLAR.....	49

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1. Fasulye genotipinin gövde yaş ağırlık değerleri (g bitki ⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	31
Tablo 4.2. Fasulye genotipinin kök yaş ağırlık değerleri (g bitki ⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	32
Tablo 4.3. Fasulye genotipinin gövde kuru ağırlık değerleri (g bitki ⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	34
Tablo 4.4. Fasulye genotipinin kök kuru ağırlık değerleri (g bitki ⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	34
Tablo 4.5. Fasulye genotipinin gövde boyu değerleri (cm bitki ⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	37
Tablo 4.6. Fasulye genotipinin kök boyu değerleri (cm bitki ⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir. 37	
Tablo 4.7. Fasulye fidelerinin gövde K değerleri (%).Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	39
Tablo 4.8. Fasulye fidelerinin kök K değerleri (%).Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	40
Tablo 4.9. Fasulye fidelerinin gövde Mg değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	42
Tablo 4.10. Fasulye fidelerinin kök Mg değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	42
Tablo 4.11. Fasulye fidelerinin gövde Ca değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	45
Tablo 4.12. Fasulye fidelerinin kök Ca değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	45
Tablo 4.13. Fasulye fidelerinin gövde Na değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	47
Tablo 4.14. Fasulye fidelerinin kök Na değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	48
Tablo 4.15. Fasulye yapraklarının prolin değerleri (nmol g ⁻¹ YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	49
Tablo 4.16. Fasulye yapraklarının lipid peroksidasyon düzeyleri (nmol g ⁻¹ YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	51
Tablo 4.17. Fasulye yapraklarının elektrolit sızıntısı değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	53

Tablo 4.18. Fasulye yapraklarının SOD aktiviteleri (Ünite mg-1 protein) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir 54

Tablo 4.19. Fasulye yapraklarının POX aktiviteleri (Ünite mg-1 protein) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir 55

Tablo 4.20. Fasulye yapraklarının CAT aktiviteleri (nmol g⁻¹ YA) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir 56



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 4.1. Fasulye genotipinin gövde yaş ağırlık değerleri (g bitki ⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	32
Şekil 4.2. Fasulye genotipinin kök yaş ağırlık değerleri (g bitki-1). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	32
Şekil 4.3. Fasulye genotipinin gövde kuru ağırlık değerleri (g bitki-1). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	35
Şekil 4.4. Fasulye genotipinin kök kuru ağırlık değerleri (g bitki-1). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	35
Şekil 4.5. Fasulye genotipinin gövde boyu değerleri (cm bitki-1). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	37
Şekil 4.6. Fasulye genotipinin kök boyu değerleri (cm bitki-1). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	38
Şekil 4.7. Fasulye fidelerinin gövde K değerleri (%).Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.....	40
Şekil 4.8. Fasulye fidelerinin kök K değerleri (%).Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.....	40
Şekil 4.9. Fasulye fidelerinin gövde Mg değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir	43
Şekil 4.10. Fasulye fidelerinin kök Mg değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	43
Şekil 4.11. Fasulye fidelerinin gövde Ca değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir	45
Tablo 4.12. Fasulye fidelerinin kök Ca değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir	46
Şekil 4.13. Fasulye fidelerinin gövde Na değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir	48
Şekil 4.14. Fasulye fidelerinin kök Na değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	48
Şekil 4.15. Fasulye yapraklarının prolin değerleri (nmol g-1 YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	50
Şekil 4.16. Fasulye yapraklarının lipid peroksidasyon düzeyleri (nmol g-1 YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.....	51
Şekil 4.17. Fasulye yapraklarının elektrolit sızıntısı değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.	53
Şekil 4.18. Fasulye yapraklarının SOD aktiviteleri (Ünite mg-1 protein) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir	54
Şekil 4.19. Fasulye yapraklarının POX aktiviteleri (Ünite mg-1 protein) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir	56

Şekil 4.20. Fasulye yapraklarının CAT aktiviteleri ($\text{nmol g}^{-1} \text{YA}$) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir 57



RESİM LİSTESİ

Resim 3.1. İklim odası ve kontrollü koşullarında yetiştirilen fasulye genotiplerine ait resimler

.....
23

Resim 3.2. İklim odası ve kontrollü koşullarında yetiştirilen fasulye genotiplerinin örnekleme öncesine ait resimler

.....
25



1.GİRİŞ

Bitkisel üretimde stres, abiyotik (tuzluluk, kuraklık, düşük ve yüksek sıcaklıklar, besin elementlerinin eksiklik veya fazlalıkları, ağır metaller gibi) ve biyotik (hastalık oluşturan mantar, bakteri, virüs vb.) kökenli etmenler nedeniyle bitkinin büyüme ve gelişmesinde olumsuzluklara, bunlara bağlı olarak verim düşüklüğü ile sonuçlanan bir dizi gerilemeye neden olması biçiminde tanımlanabilir (Kuşvuran, 2010). Dünya üzerindeki kullanılabilir alanlar stres faktörlerine göre sınıflandırıldığında doğal bir stres faktörü olan kuraklık stresi % 26'lık payıyla en büyük dilimi içermektedir. Bu durumda, kuraklık stresi büyüme ve verimi etkileyen en yaygın çevresel stres faktörüdür. Küresel ısınma olarak tanımlanan bu olay iklim değişikliklerine neden olmakta ve araştırmalara göre 2030 yılında Türkiye dahil Güney Avrupa'yı içine alan bölgenin oldukça kuru ve sıcak bir iklimin etkisine gireceği bildirilmektedir. Dünyadaki doğal kaynakların nüfusu besleme kapasitelerinin azalması sonucunda milyonlarca insanın açlıktan ölmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, kuraklık stresine dayanıklı bitki türlerinin belirlenmesi, tolerans mekanizmalarının açıklanması, bitkilerin kuraklığa dayanıklılığını arttıran veya etkileyen unsurların belirlenmesi kuraklığın ilerde tüm canlılar için büyük bir sorun haline gelmesini önlemede rol oynamaktadır. Araştırma materyali olarak kullanılacak olan fasulye Orta Amerika kökenli bir sebze türü olup Dünya' da toplam üretim alanı 26 milyon hektar civarındadır. Üretim miktarı 19.7 milyon ton kuru fasulye ve 6.8 milyon ton taze fasulye olarak toplam 26.5 milyon ton dolaylarındadır. Dünya taze fasulye üretim alanı ve üretim miktarı bakımından Çin 243 bin hektar alanda yaklaşık 2.7 milyon ton üretim ile ilk sırayı almaktadır. Türkiye dünya üretimi ve ekiliş alanı bakımından üçüncü sırada yer almaktadır (FAO, 2009). Diğer türlerle kıyaslandığında, baklagiller kuraklığa en hassas grup içinde yer almakta ve fasulye'nin kuraklığa en hassas türlerden olduğu bilinmektedir (Ashraf, 1994).

Araştırmada, fasulye bitkisinin kuraklık tolerans seviyelerinin belirlenmesi, bitkilerin çimlenmesini ve büyümesini uyarıcı olarak bilinen, bitkilerde su kullanım kabiliyetini arttıran kuraklığa karşı dayanım mekanizmasında olumlu etkilerde bulunan ve bitkilerde sodyum birikmesinin kontrol altına alınmasında ve sodyum toksisitesinin oluşumunun engellenmesinde yapraklardaki K^+/Na^+ ve Ca^{+2}/Na^+ oranlarının yüksek olmasını sağlayan potasyum uygulamalarının stres koşullarında meydana getirdiği değişimler incelenmiş ve antioksidan sistemin dayanıklılıkta oynadığı rol ortaya

konulmaya çalışılmıştır.



2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1.Bitkilerde Stres Faktörleri ve Savunma Sistemleri

Bitkiler yaşam süreçleri içerisinde değişik stres koşulları ile karşılaşır. Stres altında bitkilerin gelişmeleri, metabolizmaları ve verimleri önemli ölçüde olumsuz etkilenir. Kuraklık, yetersiz beslenme, tuzluluk, düşük ve yüksek sıcaklık, toprak ve atmosfer kirliliği, radyasyon bitkisel üretimde verimi sınırlandıran abiotik streslerdir (Lawlor ve Cornic, 2002). Sayılan abiyotik stresler içinde kuraklık bitkisel üretimi sınırlandıran en önemli stres koşuludur. Bitkiler kuraklık stresi ile, kökleri yeterince su alamadığında veya transpirasyon oranının çok yüksek olduğu durumlarda tanışır. Bu iki koşul kurak ve yarı kurak bölgelerde sıklıkla oluşur. Kurak, bitkilerde; mineral elementler, serbest radikaller, iyonlar, hormonlar, lipidler, karbohidratlar, nükleik asitler gibi birçok fizyolojik ve biyokimyasal olayı etkileyen ve hemen hemen tüm bitki fonksiyonlarını etkileyen kompleks bir yapıdır (Hongbo ve ark., 2005). Çevresel bir stres olarak nitelendirilen kuraklık sonucunda bitkiler, bu stres tipine karşı bazı tepkiler göstermektedirler. Toprak üstü organlarında ve özellikle yapraklarda su depolaması, su kullanılmasının en aza indirgenerek ekonomik su kullanım yoluyla metabolizmaların sürdürülmesi ya da kuraklık dönemi başlamadan önce yaşam döngülerinin tamamlaması, bu tepkilerden bazılarıdır. Bitkiler bu tür stres durumlarında, tolerans ve sakinme olarak iki tür kaçış mekanizmalarına sahiptirler. Bu noktada stresin olumsuz etkilerinden korunması morfolojik, anatomik ya da fizyolojik yollardan sakinme mekanizmasını, şiddetli bir stres meydana gelmeden önce bitkinin yaşam döngüsünü tamamlaması ise kaçınma mekanizmasını oluşturmaktadır.

Bitkilerde kuraklık stresini meydana gelmesini sağlayan fizyolojik olaylardan en belirginini, turgorun azalması ve stoma açıklığının daralmasıdır. Hücrel metabolitlerin birikmesinden dolayı, enzimatik olayların karışıklığı ve metabolik oranlar arasındaki uyum bozulur. Bitkilerin daha uzun süre stres koşullarında kalmasıyla oluşan diğer kriterler; kutikula kalınlığı, kök yoğunluğu ve köklerden uçlara doğru uzanan dokunun değişmesi olaylarıdır. Stres sırasında bitkilerin uğrayabildiği fizyolojik değişikliklerden birisi de, ozmotik düzenlemedir. Stres ile hücrelerin osmotik potansiyelinde artışlar meydana gelir. Bu ise turgorun korunmasına yardım eder. Stres sırasında çözücü suyun azalmasından dolayı, çözeltinin konsantrasyonu artarken, osmotik potansiyel yavaş yavaş

azalır. Fakat normal olay haricinde bazı bitkilerde hücrelerin net çözücü içeriğinin arttığı görülür (Hale ve Orcutt, 1987).

İster biyotik, isterse abiyotik kökenli olsun, bitkiler herhangi bir stres faktörü ile karşı karşıya kaldıklarında fotosentetik karbon metabolizması ve elektron taşınım aktivitesi azalmaktadır. Suyun kısıtlı olduğu periyotlarda, vejetatif bitki dokularında oksidatif stresin en yaygın nedeni kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleri diye düşünülmektedir (Farrant, 2000). Su kısıtlı hale gelirken, bitki daha fazla su kaybetmemek ve canlılığını sürdürebilmek için de stomalarını kapatmaktadır. Böylece fotosentezin temel maddelerinden biri olan karbondioksitin girişi de engellenmiş olmakta, CO₂ fiksasyonu azalmaktadır. Stres koşullarında, bitkilerde biyosentetik reaksiyonların gerilemesi ve ATP'ye olan gereksinimin azalması sonucunda mitokondri ve kloroplastlardaki elektron taşıma sisteminde elektron fazlalığı oluşabilmektedir (Eker, 2002). Fotosentez için absorbe edilen ışık enerjisi ve açığa çıkan elektronlar, yeterli CO₂ olmadığından ve bu nedenle CO₂ indirgenmesinde kullanılmadığından, kloroplastlarda biriktirilmekte ve moleküler O₂'nin aktivasyonunda kullanılmaktadır. Bu tür olumsuz koşullarda, fotosentetik kaynaklı elektronlar ve pigmentler tarafından absorbe edilmiş olan enerji, CO₂ yerine moleküler O₂'ye aktarılmakta ve toksik etkileri çok yüksek olan oksijen radikalleri ve türevleri oluşmaktadır (Okuda T. ve ark., 1991);(Asada, 1994); (Foyer ve ark., 1994); (Cakmak., 1994). Bunlar süperoksit radikal (O₂⁻); hidrojen peroksit (H₂O₂); hidroksil radikal (OH⁻) ve singlet oksijen (1O₂) olarak adlandırılmaktadır (Cakmak., 1994); (Makela ve ark., 1999). Kuraklık stresi altında açığa çıkan serbest oksijen radikallerinin bitkilerde hücre düzeyinde hasara yol açtığı bilinmektedir. Serbest oksijen radikalleri hücre zarlarında lipid peroksidasyonuna neden olmakta ve bu da hücre zarının tahrip olmasına yol açmaktadır. Toksik oksijen radikallerini stres koşullarında artan oranlarda sentezlenmesi, özellikle ortamdaki ışık yoğunluğunun fazla olmasıyla daha da etkin olabilmekte; bitkilerdeki klorofil ve hücre zarı hasarı şeklinde ortaya çıkan fotooksidatif zararlara neden olmaktadır. Serbest oksijen radikalleri, öncelikle hücre zarlarının fosfolipidlerini (özellikle doymamış yağ asitlerini) (Fridovich, 1986); (Shalata ve Tal, 1998); (Sreenivasasulu ve ark., 2000), proteinleri (Davies. ve A., 1987), nükleik asitleri (Fridovich, 1986); (Imlay ve Linn., 1988) ve klorofili parçalamakta ve bu etkiler yüksek ışık yoğunluğunda daha da artmaktadır (Foyer ve ark., 1994); (Cakmak ve ark., 1995); (Eker, 2002). Çeşitli araştırmalar, tuz stresi altında yetişen bitkilerde görülen nekrozların, oksijen radikallerince gerçekleştirilen

hücre zarlarındaki lipid tahribatından; klorozun ise oksijen radikallerinin klorofili parçalamasından kaynaklandığını göstermektedir ((Salin, 1987); (Gepstein ve ark., 1988); (Gossett ve ark., 1994); (Streb ve Feirabend, 1996)). Bitkiler, stres koşullarında ortaya çıkan serbest oksijen radikallerine karşı, bazı savunma mekanizmaları geliştirmiştir. Bunların bir kısmı enzimatik yollarla yapılan savunmalar ve toksik etkilerin ortadan kaldırılmasına yönelik tepkimeleri içermektedir, diğer bir kısmı ise enzimatik olmayan madde ve yollarla ilişkilidir. Diğer bir deyişle bitkiler kendilerini toksik O₂ türevlerine karşı koruyan, değişik miktarlarda antioksidantlara ve antioksidatif enzimlere sahiptirler (Asada ve Takahashi, 1987).

Enzimatik yollarla toksik oksijen radikallerinin zararsız formlara dönüştürülmesi, yalnızca bitkilerde değil, son yıllarda tüm canlılarda hücre tahribatının önüne geçmede etkin olarak literatüre geçmiştir. Süperoksit dismutaz (SOD) (EC 1.15.1.1), süperoksit radikalının detoksifikasyonundan sorumlu enzimdir. Gossett ve ark. (1994)'nın deyimiyle SOD, süperoksitin (O₂-) en önemli öğütücüsüdür ve bu enzimatik aktivite, H₂O₂ oluşumuyla sonuçlanır. Askorbat peroksidaz (APX) (EC 1.11.1.11) ve glutatyon redüktaz (GR) (EC 1.6.4.2) enzimleri ise, beraberce hidrojen peroksitin detoksifikasyonunda belirleyici rol oynamaktadır (Cakmak ve ark., 1993; (Cakmak., 1994). Hidrojen peroksit, Calvin döngüsünün tiyol içeren enzimlerinin oksidasyonunda ve böylece fotosentezin engellenmesinde doğrudan rol oynamaktadır (Tanaka ve ark., 1982). Katalaz (CAT) (EC 1.11.1.6), askorbat peroksidaz (Chen ve Asada, 1989) ve birkaç genel peroksidaz, hidrojen peroksitin parçalanmasını katalize etmektedir. Ancak (Asada ve Takahashi, 1987), katalazın etkisinin zayıf olması nedeniyle asıl detoksifikasyonun, “askorbat-glutatyon döngüsü” olarak tanımlanan bir mekanizma sayesinde gerçekleştiğini bildirmektedir.

Stres faktörlerinin neden olduğu oksidatif zararlanmanın en etkili olduğu hücre kısımlarından birisi hücre zarlarıdır. Oksidatif zararlanma sonucunda hücre zarlarında lipid peroksidasyonu meydana gelmekte ve zarın geçirgenliği bozularak hücre sıvısının hücre içinde tutulamaması sonucunda bitki ölüme doğru yönelmektedir. Oksidatif zararlanmaya neden olan kuraklık stresi üzerinde çalışan (Dhindsa ve Mathowe, 1981); SOD ve katalaz enzimlerinin aktiviteleri ile lipid peroksidasyonu düzeyinin sınırlanması arasında çok iyi bir pozitif etkileşim olduğunu belirlemişlerdir.

Bitkiler; tuzluluk, kuraklık, herbisit uygulamaları, beslenme bozukluğu gibi

çevresel stresler karşısında üretilen reaktif oksijen çeşitleri (ROS) membranlara ve yağlar, DNA, proteinler, fotosentetik pigmentler gibi gerekli makromoleküllere zarar vermektedir. Bitkilerin strese toleransları, bünyelerinde sahip oldukları ve ROS'ni etkisiz hale getiren antioksidan enzimler ve antioksidanlar ile doğrudan bağlantılıdır (Ashraf ve Ali, 2007). Domates, buğday, bezelye ve darıda yapılan çalışmalarda toleranslı çeşitlerin hassas olanlara göre daha yüksek enzim aktivitesine sahip olduğu ortaya konmuştur ((Hernandez ve ark., 2000); (Sreenivasasulu ve ark., 2000); (Sairam ve ark., 2002); (Mittova ve ark., 2004); (Sairam ve ark., 2005)). (Yaşar ve ark., 2008), yaptıkları bir çalışmada GS57 ve 4F-89 fasulye genotiplerinde farklı tuz konsantrasyonları (0, 50 ve 100 mM) altında antioksidan enzim aktiviteleri ile toplam klorofil ve MDA miktarında meydana gelen değişimleri incelemiştir. Su kültürü ortamında gerçekleşen çalışmada bitkiler 7 gün süre ile strese maruz bırakılmıştır. Çalışma sonunda GR enzim aktivitesi her iki genotipte de azalma göstermiştir. CAT ve APX enzim aktiviteleri, toleranslı olan GS57 genotipinde daha yüksek bulunmuştur. Tuz konsantrasyonundaki artış ile birlikte MDA miktarı her iki genotipte de artış göstermesine rağmen tuza hassas olan 4F-89 genotipinde daha yüksek bulunmuştur. Artan tuz stresi klorofil miktarının özellikle 4F-89 genotipinde azalmasına neden olurken, GS57 genotipinde klorofil miktarında önemli bir değişim kaydedilmemiştir. Serbest radikallerin, özellikle aktif oksijen türlerinin (süperoksit molekülü (O_2^-), singlet oksijen, hidrojen peroksit (H_2O_2) ve hidroksil radikallerini (OH^-) oluşumunu içerir. Serbest radikaller, eşleşmemiş elektron içeren moleküller olup oldukça reaktiftirler. Bu radikaller; plazma membranı, mitokondri, ER membranlarında da oluşabilir (Mckersie ve Leshem, 1994). Bununla beraber, suyun kısıtlı olduğu periyotlarda, vegetatif bitki dokularında oksidatif stresin en yaygın nedeni kloroplastta gerçekleşen ışık-klorofil etkileşimleridir (M., 2000). Su kısıtlı hale gelirken, bitki daha fazla su kaybetmemek için, genelde, stomalarını kapatır. Bu da fotosentezle fiksasyon için gerekli CO_2 'nin alımının kısıtlanmasına neden olur. Bu durum fotosentetik reaksiyon merkezlerindeki enerjinin aşırılığına neden olur (Stuhlfauth ve ark., 1990). Sonuçta, $NADP^+$ (fotosentezdeki e-akseptörü) kısıtlı hale gelir ve ferrodoksin $NADP^+$ yerine oksijeni redükler; böylece, fotosistem I (PSI)'in elektronları O_2 'ne transferi sonucunda reaktif O_2 - radikali üretilir (Mehler reaksiyonu) (Tambussi ve ark., 2000). Birçok türde su stresi altında artan O_2^- oluşum hızı lipid peroksidasyonuna, yağ asidi doymunluğuna ve sonuçta membranların bütünüyle zarar görmesine neden olur (Sgherry ve ark., 1996).

Süperoksitin kendisi fazla reaktif değildir ve daha çok H₂O₂ ve daha sonra OH oluşturmak suretiyle etkili olur (Halliwell B. ve J.M.C., 1989). Hidrojen peroksit Calvin döngüsünün birçok enziminin inaktivasyonuna yol açmaktadır (Charles ve Halliwell, 1980); (Kaiser, 1979). Süperoksit ve hidrojen peroksidin OH radikalini oluşturmak üzere tepkimesi sırasında (Haber-Weiss reaksiyonu), artan demir ya da bakır gibi diğer geçiş metalleri, bu reaksiyonları hızlandırmak suretiyle oksidatif hasarı daha da artırabilir ((Fenton reaksiyonu) (Smirnoff, 1993)). Bunların yanı sıra, fotosistem II (PS II)'deki suyu parçalayan bölgede de serbest radikal oluşabilir. Bitkilerde, oksidatif zararın yol açtığı yıkıcı etkilerle mücadele etmek için, yağda çözünen ve membrana bağlı antioksidanlar, suda çözünen antioksidanlar (O₂- ve H₂O₂'nin detoksifikasyonunda rol oynayan glutatyon ve askorbat) ve enzimatik antioksidanlar (süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT), peroksidaz (POX), askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR))'dan oluşan karmaşık bir antioksidan koruyucu sistemine sahiplerdir. Su stresine maruz kalan bitkiler antioksidan savunma sistemlerinin bazılarının ya da tamamının aktivasyonu ile oksidatif stresin üstesinden gelebilirler ((Srivalli ve ark., 2003); Jung, 2004; (Ramachandra Reddy ve ark., 2004); (Pinheiro ve ark., 2004)). Bununla beraber, uzun süreli ve akut; hatta bazen kısa süreli stres durumunda bile, savunma mekanizmalarının kapasiteleri açılır ve bu durum, gözle görülür zararlara ve hatta bitki ölümüne neden olabilir (Alexieva ve ark., 2003) Fasulye (*Phaseolus vulgaris*) ve tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türlerinin kuraklık stresi karşısında biyokimyasal değişimlerinin incelendiği bir çalışmada, toleranslı olan tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türünde SOD, CAT, APX ve POX enzim aktivitelerinin daha yüksek olduğu, lipid peroksidasyon seviyesinin ise fasulye (*Phaseolus vulgaris*) türünden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda kuraklık stresine toleranslı olan tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) türünün antioksidan enzim aktivitelerini çalıştırarak oksidatif zarar karşısında korunabildiğini ifade etmişlerdir (Türkan ve ark., 2005).

2.2.Abiyotik Stres Koşullarında Bitkilere Potasyum Uygulaması

Potasyum, bitkilerde metabolik, fizyolojik ve biyokimyasal işlevlere sahiptir. Potasyum, 60'dan fazla enzimi aktive eder, fotosentezi artırır, nişasta sentezini ve danede nişasta miktarını artırır, suyun ve besin elementlerinin taşınmasına yardım eder, fotosentez ürünlerinin taşınmasına ve depo edilmesine katkıda bulunur, bitkilerin protein düzeylerini artırır, turgor üzerinde düzenleyici rol oynar ve su yitmesi ve solmayı önler

(Marschner, 1995). Bu özelliklere bağı olarak bitki gelişmesi ve ürün kalitesi üzerinde potasyumun çok önemli görevler üstlendiğini söyleyebiliriz. Nitekim, potasyumun hem fotosentetik karbondioksit fiksasyon olaylarını hem de fotoasimilatların kullanımını güçlü bir şekilde kontrol altında tuttuğu kabul edilmektedir (Cakmak., 1994). Araştırmalar bitkilerin potasyum beslenme düzeyi ile de değişik çevresel stress faktörlerden etkilenme derecesi arasında ilişkiler olduğunu ortaya koymuştu. Hem kuraklık hem de tuz stresinde bitkilerde kuraklık meydana geldiği için, K⁺ her iki stres durumunda da aynı öneme sahiptir. Topraktaki su miktarının azalmasıyla bitkideki K miktarı da azalır. (Kuchenbuch ve ark., 1986) yaptıkları çalışmada düşük toprak neminin soğan bitkilerinin kök gelişimini ve K alımını azalttığını belirtmişlerdir. Kurak şartlar altında gelişen bitkilerin K eksikliği göstermeleri muhtemeldir (Beringer ve Trolldenier, 1979). Pek çok çalışma göstermiştir ki K gübrelemesi kuraklığın olumsuz etkisini ortadan kaldırmıştır (Sangakkara ve ark., 2001) Potasyum bitkilerin kuraklık stresine dayanımını, stomaların düzenlenmesi ile, osmoregulasyon ile, enerji durumu ile protein sentezi ile ve içsel denge (homeostasis) ile artırır (Beringer ve Trolldenier, 1979); (Marschner, 1995). Aynı zamanda K turgor basıncının devam etmesidir (Mengel ve Arneke, 1982). Abiyotik stress koşullarına adaptasyon sağlamak ve adaptasyon mekanizmalarını geliştirmek için birçok mekanizma geliştirmişlerdir. Bu dayanıklılığın artırılmasında bitki besin elementlerinin yeterli seviyede bulunması önemli rol oynamaktadır (Marschner, 1995). Bitki besin elementlerinden K abiyotik stress koşullarında bitkilerin gelişmesinde önemli etkiye sahiptirler. Bitkilerde K fotosentez, fotosentez mekanizmasında rol alan birçok mekanizmada, enzim aktivasyonlarında ve tuzlu koşullarda Na ve Fe iyonlarının alımının azaltılmasında önemli etkilere sahiptirler (Marschner, 1995); (Mengel ve ark., 2001). Bitki metabolizmasında K aynı zamanda karbondioksit fiksasyonunda, fotosentez ürünlerinin taşınmasında ve RiBP karboksilaz aktivitesi ve fotorespirasyon potasyuma bağı olarak artmakta ve karanlıkta respirasyon azalmaktadır. Karpuzda yapılan bir çalışma, şiddetli kuraklık stresi sonucu bitki bünyesinde K konsantrasyonunda azalma meydana geldiğini göstermiştir. Aynı çalışmada potasyumun, stomaların açılı kapanması, fotosentetik etki ve su dengesinin korunmasında etkili olduğu bildirilmiştir (Nasri ve ark., 2008). Kuraklık stresi, yeşil aksam ve kök K konsantrasyonunda azalmalara neden olmuştur. Bitkide birçok enzim için katalizör eğilimi gösteren, enzimlerin etkin kullanılması ve fotosentetik aktivitenin artırılmasında görevli olan potasyum, bitkinin kuru madde üretiminin artmasında ve dolayısıyla kuraklık stresine toleransında oldukça

etkili bir element niteliğindedir (Nasri ve ark., 2008). (Brito ve ark., 2003), hücrede su potansiyelindeki azalma nedeniyle bazı

ozmolitlerin birikiminde artış olabileceği, bunlardan birinin de K iyonu olduğunu ifade ederken, *Olea europaea ssp. maderensis* türünde orta düzeydeki kuraklık karşısında K iyon birikiminin kontrol bitkilerine oranla artış gösterirken, kuraklık seviyesinin artması ile K iyon birikiminin de azaldığını bildirmişlerdir. (Hessini ve ark., 2009)), *Spartina alterniflora* türünde kuraklık stresi karşısında K iyon konsantrasyonunda azalma meydana geldiğini ifade etmiştir. (Choluj ve ark., 2004) şeker kamışında; (Gunes ve ark., 2008), ayçiçeğinde; (Sivritepe ve ark., 2008), kirazda yaptıkları çalışmalarda kuraklık stresinin K iyonunu alımının engellenerek bitki bünyesinde azalmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar, araştırmacıların bulguları ile de desteklenmektedir. Bununla birlikte (Huang, 2001) çimde kuraklık stresi sonucu yaprakta K iyon konsantrasyonu artarken, kökte azalma gösterdiğini; (Özpay, 2008) ise fasulyede yaptığı çalışmada kuraklık stresinin özellikle kök ve yapraklarda K iyonunu artırıcı bir özellik taşıdığını bildirmiştir. (Akhondi ve ark., 2006) ise yoncada kuraklık stresi sonucu, K iyon alımının arttığını, Na iyonundaki artış ile birlikte K/Na oranında gövde ve köklerde azalma gösterdiğini ifade etmiştir. Bitkiler, K aktif alımını ve birikimi ile hücre içerisindeki ozmotik potansiyelin artmasını böylece hücreye daha fazla su girişini sağlamaktadırlar (Koç, 2005). Bu nedenle potasyum iyonunun bitki bünyesinde birikimi özellikle tuz ve kuraklık streslerinde ozmotik dengenin korunmasında önemli bir yer tutmaktadır (Levitt, 1980). (Kaya ve ark., 2007), potasyumun enzimlerin aktive edilmesinde, fotosentezde ve ozmotik düzenlemenin sağlanmasında etkili olduğunu bildirmiştir. (Niu ve ark., 1995), Na ve K iyonlarının benzer katyonlar olması nedeniyle rekabet halinde olduğunu belirtirken, (Debouba ve ark., 2006), Na ve K iyonlarının hücresele seviyede rekabete girdiklerini, Na iyonunun doku içerisine girerek membranlarda konsantrasyonunun artması ile membranda depolarizasyona neden olduğunu, bu durumun KOR (Potasyum Outward Rectifier) kanallarının açılarak potasyum kaybına neden olduğunu ifade etmiştir. Karpuzda yapılan bir çalışma, şiddetli kuraklık stresi sonucu bitki bünyesinde K konsantrasyonunda azalma meydana geldiğini göstermiştir. Aynı çalışmada potasyumun, stomaların açılı kapanması, fotosentetik etki ve su dengesinin korunmasında etkili olduğu bildirilmiştir (Nasri ve ark., 2008).

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Materyal Bitki materyallerinin temini

Araştırmada bitkisel materyal olarak bölgede en fazla tarımı yapılan Kanada bodur kuru fasulye genotipi kullanılmıştır. Denemede kullanılacak genotipin tarımsal özellikleri aşağıdaki gibidir.

Kanada: Dik gelişen ve 50 cm boylanan, sülüklü, çiçek rengi beyaz, bakla şekli düz, uçlara hafif kıvrık, beyaz tohum rengine sahip yerel bir popülasyondur.

Fasulye genotipi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümünden temin edilmiş ve araştırma materyali olarak kullanılmıştır.

3.2.Yöntem

Araştırma kapsamında planlanmış olan çalışma Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Bitki Yetiştirme Kabininde ve Bitki Fizyolojisi laboratuvarlarında yapılmıştır (Resim 3.1).



Resim 3.1. İklim odası ve kontrollü koşullarında yetiştirilen fasulye genotiplerine ait resimler.

Deneme serilerinin hazırlanması

Araştırmada kullanılan bitkiler iklim odasında kontrollü koşullarda yetiştirilmişlerdir (Resim 3.1). İklim odası; bitkilerin tohum çimlenmesi ve çimlenme sonrası genç fidecikleri, büyüme ve gelişme süresince %45-55 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık fotoperiyot, 21 ± 1 °C sıcaklık ile 16000 Lüks/Gün ışık intensitesi olacak şekilde ayarlanmıştır.

Deneylerde kullanılan Fasulye tohumları önce sodyum hipoklorit, sonra % 75 etanol ile muamele edilmiş ve daha sonra da steril saf suyla yıkanarak yüzey sterilizasyonu tamamlanmıştır. Steril hale getirilen tohumlar 4-5 saat saf suda bekletilmiştir. Üç gün boyunca karanlıkta 22 °C'de çimlendirildikten sonra elde edilen fideler, 1/5 oranında Hoagland solüsyonu içeren (kontrol) steril edilmiş saksılarda her saksıda 8 bitki olacak ve her uygulamada 32 bitki olacak şekilde dikim yapılmış ve yetiştirilmiştir.

Araştırmada fasulye genotiplerine, kontrol (39 ppm K içeren hoagland solüsyonu) grubu ile birlikte -0.42 Mpa ozmotik basınca denk gelen PEG 6000 (%5 PEG 6000) koşullarına maruz bırakılan fasulye bitkilerinin osmotik ve iyonik stres toleransı üzerine, potasyum (kontrol, 100 ppm ve 200 ppm) uygulamalarının etkilerinin araştırıldığı çalışma, 4 tekerrürlü olarak kurulmuş ve toplam 36 saksı olarak yürütülmüştür. Deneme planı;

Kontrol	Kuraklık (%5 PEG 6000)
Kontrol (K₁)	Kontrol (K₁)
100 ppm K uygulaması (K₂)	100 ppm K uygulaması (K₂)
200 ppm K uygulaması (K₃)	200 ppm K uygulaması (K₃)

şeklinde oluşturulmuştur.

Bitkiler ilk üç yapraklı evreye geldiklerinde uygulamaların ilk başlangıç günü, yani 0. gün örnekleme yapıldıktan sonra bitkiler araştırmada belirlenen şekilde kontrol grupları ile birlikte kuraklık koşullarında potasyum içeren Hoagland çözeltisi ile sulanmaya başlanmıştır. Besi solüsyonları her iki günde bir yenisiyle değiştirilerek tazelenmiştir. Bitkiler kuraklık ile bunlara bağlı potasyum uygulamalarına bağlı morfolojik değişimler göstermeye başladığında 2. örnekleme yapılmıştır. Örnekleme de saksılardaki bitkilerden eşit sayıda kökleriyle birlikte bütün bitki alınıp,

kökler ayrıldıktan sonra yeşil aksam enzim analizlerinde kullanılmak üzere -80 °C' de derin dondurucuda saklanmışlardır.



Resim 3.2. İklim odası ve kontrollü koşullarında yetiştirilen fasulye genotiplerinin örnekleme öncesine ait resimler.

3.3. Analiz yöntemleri

Kuraklık koşullar altında potasyum uygulamalarının etkilerini belirlemek ve hedefe ulaşabilmek için hasat edilen fasulye genotiplerine ait örneklerde aşağıda belirtilen çalışmalar yapılmıştır;

- Büyüme parametrelerinin ölçülmesi
- Bitkilerde Na, K, Ca, Mg analizi

3.4. Büyüme Parametreleri

Tez kapsamında oluşturulan gruplardan; uygulamaların ilk başlangıç günü, yani 0. günde ve ilk tepkinin görüldüğü günde (10. gün) bitki örnekleri alınarak kökleri ve gövdeleri birbirinden ayrılmıştır. Kök ve gövdenin uzunlukları ölçülmüş, yaş ağırlıkları tartılmıştır. Örnekler 70 °C de 72 saat etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları belirlenmiştir.

3.4.1.Bitkilerde Na, K, Ca ve Mg analizi

Hasat sonrası kese kağıtları içerisinde laboratuvara getirilen bitkilerin vejetatif aksamı ve kök aksamı tamamen temizleninceye kadar musluk suyu ile yıkandıktan sonra sırasıyla bir kez saf su, 0.2 N HCl çözeltisi, iki kez saf su ve bir kez de deiyonize su ile yıkayıp, kaba filtre kağıdı üzerinde fazla suları alınmıştır. Daha sonra kese kâğıdına ayrı ayrı konulan bitki kısımları hava sirkülasyonlu kurutma dolabında 70 °C' de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuşlardır. Kuruyan bitki örneklerinin ağırlıkları belirlendikten sonra tungsten kaplı bitki öğütme değirmeninde öğütülmüşlerdir. Polietilen kavanozlara konulan öğütülmüş bitki örnekleri analizde kullanılmadan önce 70 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutma dolabında bırakılmış ve kavanozların kapakları sıkıca kapatılmıştır.

Kurutulan ve öğütülen bitki örneklerinden 0.3 g tartılmış 5 ml HNO₃+2 ml H₂O₂ ile yüksek sıcaklık (210 °C) ve yüksek basınç (200 PSI) altında mikrodalga cihazında (CEM Mars 5) çözüldürülmüştür. Daha sonra örnekler 25 ml'lik balonjoje'ye aktarılarak soğutulmuş, deiyonize su ile derecesine tamamlanmıştır. Bu süzükler hemen ince gözenekli (Whatman No:42 veya mavibant) filtre kağıdı ile süzülerek 25 ml'lik polietilen şişelere aktarılmış ve süzükte Na, K, Ca, Mg içerikleri ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer) (Varian-Vista, axiel) cihazı ile belirlenmiştir (Soil Survey Laboratory Methods Manual, 2004).

3.4.2.Biyokimyasal Parametrelerin Ölçümü

Proje önerisinde belirtilen hedeflere ulaşabilmek için bitkilerde aşağıda belirtilen çalışmalar yapılmıştır.

- Enzim ekstraktları hazırlanmıştır,
- Süperoksit Dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) Enzim Aktivitesi Belirlenmiştir
- Peroksidaz (POX; EC 1.11.1.7) Enzim Aktivitesi Belirlenmiştir
- Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) Enzim Aktivitesi Belirlenmiştir
- Total Protein Miktarı Belirlenmiş
- Lipit Peroksidasyonu Belirlenmiştir

- Prolin Analizi yapılmıştır
- Hücre Zarı geçirgenliği (Elektrolit Sızıntısı) Tayini yapılmıştır

3.5.Enzim ekstraktlarının hazırlanması:

Antioksidan enzimlerin ekstraksiyonu için derin dondurucuda saklanmış olan yapraklar, soğutulmuş havanda 1 gr yaprak örnekleri sıvı azotta %2 w/v polyvinylpyrrolidone (PVPP) ve 1 mM EDTA içeren pH 7,8'de 50 mM Na-fosfat tamponuyla homojenize edilmiştir. Filtrasyon sonrası +4°C'de, 14 000 rpm'de 30 dakika santrifüj edilmiştir. Elde edilen süpernatant, enzim aktivitesi analizlerinde kullanılmıştır. Ekstraksiyon prosedürünün tümü ±4°C'de gerçekleştirilmiştir.

Antioksidan Enzim Aktivite Analizleri

3.5.1.Süperoksit Dismutaz (SOD, EC 1.15.1.1) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi:

Süperoksit dismutaz (SOD) enzim aktivitesi, Beauchamp ve Fridovich (1971) tarafından tanımlanan metoda göre yapılmıştır. SOD aktivitesi, 560 nm'de spektrofotometrede ölçülen elektron alıcısı olan NBT'nin fotokimyasal indirgenmesinin % 50 inhibisyonuna neden olan enzim miktarı olarak belirlenmiştir. Spesifik enzim aktivitesi U/mg protein olarak belirlenecektir. 1 ünite SOD aktivitesi, 25°C'de 1 dakikada 1 µmol substratı ürüne dönüştüren enzim (SOD) miktarını göstermektedir.

3.5.2.Peroksidaz (POX; EC 1.11.1.7) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi:

Peroksidaz (POX) enzim aktivitesi, Herzog ve Fahimi'nin (1973) tanımladığı metoda göre yapılmıştır. Köre karşı 465 nm'de H₂O₂ varlığında okside olan DAB (3'-3'-diaminobenzidin tetrahidroklorit) oluşum miktarına bağlı olarak 3 dakika boyunca absorbans değişimleri okunmuştur. Spesifik enzim aktivitesi dakikada tüketilen µmol/ml H₂O₂ olarak ifade edilecektir.

3.5.3.Katalaz (CAT; EC 1.11.1.6) Enzim Aktivitesinin Belirlenmesi:

Katalaz (CAT) enzim aktivitesi, Bergmeyer'in (1970) tanımladığı metoda göre yapılacaktır. Analiz UV ışığı bölgesinde köre karşı 240 nm'de H₂O₂'nin azalma oranının belirlenmesi ile yapılacaktır. Bu enzim aktivitesi dakikada tüketilen µmol H₂O₂ olarak

ifade edilecektir. Reaksiyon boyunca absorbansta oluşan düşüş 180 sn boyunca takip edilmiştir. CAT aktivitesi dakikada harcanan $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ olarak ifade edilmiştir.

3.5.4.Total Protein Miktarının Belirlenmesi:

Total protein miktarı analizleri Bradford' a (1976) göre BSA (Bovine Serum Albumine) standartları kullanılarak yapılmıştır. Örnekler köre karşı Shimadzu UV spektrofotometre cihazı ile 595 nm'de okunacaktır. Çözünebilen total protein miktarı mg yaş ağırlık olarak belirlenmiştir.

3.5.5.Lipit Peroksidasyonun Belirlenmesi:

Lipit peroksidasyonunun belirlenmesi TBAR reaksiyonu sonucu oluşan malondialdehit (MDA) miktarının belirlendiği (Madhava R K V. ve S., 2000) tanımladığı yönteme göre yapılmıştır. Aktivite için 532-600 nm aralığında absorbans değişimlerine bakılmıştır.

3.5.6.Prolin Analizi:

Serbest prolin içeriğinin belirlenmesi (Bates ve ark., 1973)² göre yapılacaktır. Sıvı fazdan aspire edilen toluen fraksiyonunun 520 nm'deki absorbansı spektrofotometreden okunmuşur. Prolin konsantrasyonu, kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve $\mu\text{mol prolin g}^{-1}$ taze ağırlık olarak ifade edilecektir.

3.5.7.Hücre zarı geçirgenliği (Elektrolit Sızıntısı):

Hücre zarı geçirgenliği elektrolit sızıntısının ölçümüyle (Dionisio-Sese ve Tobita S., 1998)'e göre belirlenmektedir. Bunun için 100 mg yaprak örnekleri 5 mm uzunluğunda kesilerek 10 mL deiyonize su içeren deney tüplerine transfer edilir. Tüpler plastik kapaklarla kapatıldıktan sonra 32 °C'lik bir su banyosunda 2 saat sürekli olarak tutulur. Ortamın elektrik iletkenliği EC metre ile ölçülerek (EC1) örnekler 121 °C'de 20 dk boyunca tüm dokuların ölmesi ve elektrolitlerin dışa çıkması için otoklavlanır. Sonra örnekler 25 °C'ye kadar soğutularak bu ortamdaki elektrik iletkenliği ölçülür (EC2). Elektrolit sızıntısı (ES) aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

ES = EC1/EC2×100.

3.5.8. Veri Analizleri

Bitki büyüme parametre değerleri ile antioksidan enzim aktivite değerleri MSTAT-C programı Mstat-C (1980) ve Minntab (2000) paket programları kullanılarak analiz edilmiştir.



4.BULGULAR

Araştırmada fasulye bitkisinin kuraklık koşullarında potasyum uygulamalarının meydana getirdiği değişimlerle ilgili incelenen özellikler aşağıdaki alt başlıklar halinde verilmiştir.

4.1.Büyüme Parametreleri Bulguları

Fasulye genotipinin kuraklık koşullarda potasyum uygulamalarının bitkilerin yaş ve kuru ağırlık değerleri ile kök ve gövde uzunluğu değerlerine ait ortalamalar Tablo 4.1., 4.2, 4.3 ve 4.4' te bu değerlere ait grafikler Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4' te verilmiştir.

4.1.1Gövde ve kök yaş ağırlığı

Potasyum dozlarının yaş ağırlık değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.1). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek yaş ağırlık 13.28 gr ile yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K₃ uygulamasında elde edilmiş, bunu azalan sıra ile kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup, 12,80 gr), K₂ (12,79gr) ve K₀ (10,60gr) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.1). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₃ dozunda kontrole göre %4 oranında bir artış olurken, K₂ dozunda farklılık olmadığı ve K₀ dozunda %17 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 4.1).

Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre gövde yaş ağırlık değerleri %31 oranında azalırken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K₂ uygulaması ve yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K₃ uygulamasında ise yaş ağırlık değerlerinin %16 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge Tablo 4.1, Şekil 4.1). Kurak koşullarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K₁, 15.29 gr) göre yaş ağırlık değerleri K₀ uygulamasında %30 oranında, yeterli K uygulandığı koşullarda ise %33 oranında K₂ ve K₃ uygulamalarında ise sırasıyla %49 ve %43 oranlarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol gurubuna (10,31 gr) göre K₂ ve K₃ uygulamalarında %24 ve %15 oranlarında azalma olurken, K₀ uygulamasında %4 oranında artış olduğu

belirlenmiştir.

Kök yaş ağırlık değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerde potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek yaş ağırlık 6,72 g ile kontrol uygulaması olan K₁, bunu azalan sıra ile K₀ (4,93gr), K₂ (4,23gr) ve K₃ (4,16gr) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.2). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %27 oranında, K₂ dozunda %37 ve K₃ dozunda %38 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

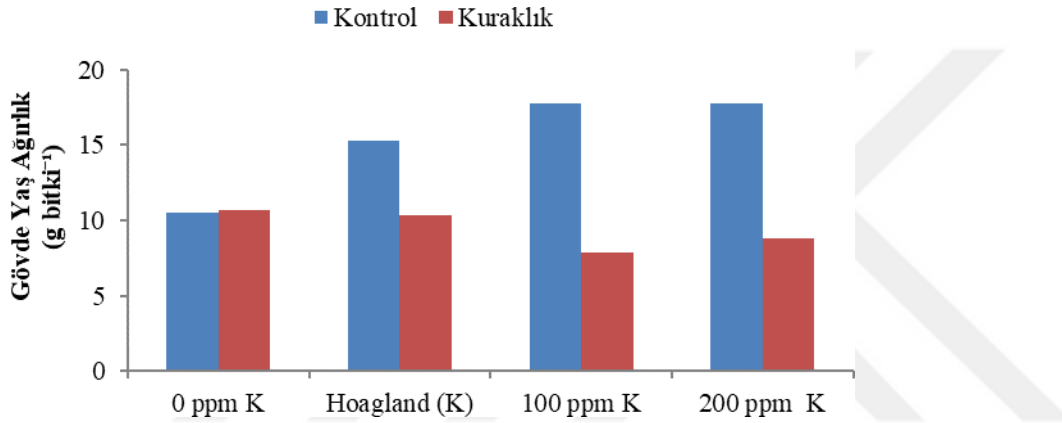
Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre kök yaş ağırlık değerleri %38 oranında, K₂ dozunda %26 ve K₃ dozunda %41 oranında azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.2, Şekil 4.2). Kurak koşullarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K₁, 15,29 g) göre yaş ağırlık değerleri K₀ uygulamasında %38 oranında, yeterli K uygulandığı koşullarda ise %31 oranında, K₂ uygulamasında %68 ve K₃ uygulamalarında ise %55 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol gurubuna (10,31 g) göre K₀ uygulamasında %11 oranında, K₂ uygulamasında %53 oranında ve K₃ uygulamasında ise %34 oranında azalmalar olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Fasulye genotipinin gövde yaş ağırlık değerleri (g bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

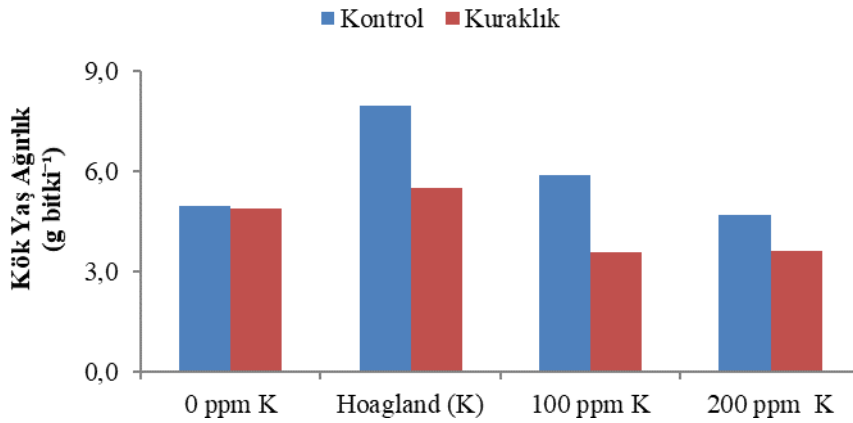
Gövde Yaş Ağırlık (g bitki ⁻¹)						
mg kg ⁻¹	Kontrol		Kurak		Ort. %Değişim	
	g bitki ⁻¹	%Değişim	g bitki ⁻¹	%Değişim		
K₀	10,49	-31	10,72	-30	10,60	-17
K₁	15,29		10,31	-33	12,80	
K₂	17,75	16	7,83	-49	12,79	0
K₃	17,77	16	8,79	-43	13,28	4
Ortalama	15,32		9,41			

Tablo 4.2. Fasulye genotipinin kök yaş ağırlık değerleri (g bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

Kök Yaş Ağırlık (g bitki-1)						
mg kg ⁻¹	Kontrol		Kurak		Ort. %Değişim	
	g bitki ⁻¹	%Değişim	g bitki ⁻¹	%Değişim		
K₀	4,96	-38	4,90	-38	4,93	-27
K₁	7,94		5,51	-31	6,72	
K₂	5,88	-26	2,58	-68	4,23	-37
K₃	4,70	-41	3,61	-55	4,16	-38
Ortalama	5,37		4,15			



Şekil 4.1. Fasulye genotipinin gövde yaş ağırlık değerleri (g bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.



Şekil 4.2. Fasulye genotipinin kök yaş ağırlık değerleri (g bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

4.1.2.Gövde ve kök kuru ağırlığı

Potasyum dozlarının kuru ağırlık değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.3). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek kuru ağırlık 1.40 g ile yeterli potasyum ihtiva eden K₁ (Kontrol) uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₂ (1,32 g), K₀ (1,31 g) ve K₃ (1.20 g) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.3). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₃ dozunda kontrole göre %14 oranında bir azalma olurken bu azalma K₀ ve K₂ dozlarında %6 oranında olmuştur. (Tablo 4.3).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre gövde kuru ağırlık değerleri %9 oranında azalırken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K₂ uygulamasında kontrol grubu ile arasında farklılık olmadığı, yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K₃ uygulamasında ise kuru ağırlık değerlerinin %11 oranında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.3, Şekil 4.3). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol grubu K₁, 1.58 g) göre kuru ağırlık değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %25 oranında azaldığı, yeterli K uygulandığı koşullarda ise %22 oranında azalma, K₂ uygulamasında %30 ve K₃ uygulamasında ise %37 oranında azalmanın olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol grubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda %3 oranında, K₂ dozunda %11 ve K₃ dozunda %20 oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Kök kuru ağırlık değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerde potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek yaş ağırlık 0,35 g ile kontrol uygulaması olan K₁, bunu azalan sıra ile K₀ (0,34g), K₂ ve K₃ (0,31g) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.4). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %3 oranında, K₂ ve K₃ dozunda %11 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre kök kuru

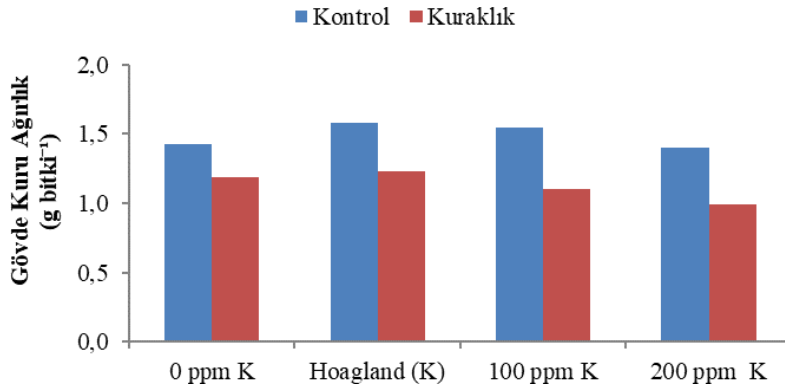
ağırlık değerleri %3 oranında artarken, K₂ dozunda %13 ve K₃ dozunda %10 oranında azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.4, Şekil 4.4). Kurak koşullarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol grubu K₁, 0,39 g) göre kuru ağırlık değerleri K₀ uygulamasında %26 oranında, yeterli K uygulandığı koşullarda ise %21 oranında, K₂ uygulamasında %26 ve K₃ uygulamalarında ise %31 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol gurubuna (0,31 g) göre K₃ uygulamasında %13 oranında bir azalma olurken bu azalma K₀ ve K₂ uygulamasında %6 oranında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Fasulye genotipinin gövde kuru ağırlık değerleri (g bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

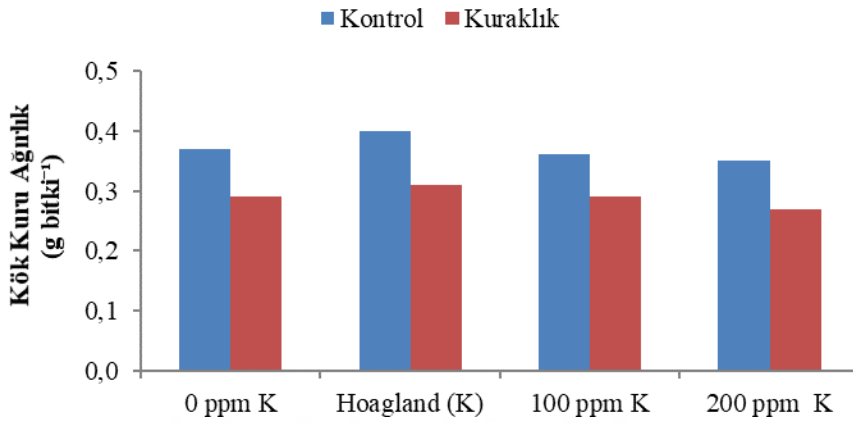
mg kg ⁻¹	Gövde Kuru Ağırlık (g bitki ⁻¹)					
	Kontrol		Kurak		Ort. %Değişim	
	g bitki ⁻¹	%Değişim	g bitki ⁻¹	%Değişim		
K₀	1,43	-9	1,19	-25	1,31	-14
K₁	1,58		1,23	-22	1,40	
K₂	1,55	0	1,10	-30	1,32	-6
K₃	1,40	-11	0,99	-37	1,20	-6
Ortalama	1,49		1,13			

Tablo 4.4. Fasulye genotipinin kök kuru ağırlık değerleri (g bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

mg kg ⁻¹	Kök Kuru Ağırlık (g bitki ⁻¹)					
	Kontrol		Kurak		Ort. %Değişim	
	g bitki ⁻¹	%Değişim	g bitki ⁻¹	%Değişim		
K₀	0,40	3	0,29	-26	0,34	-3
K₁	0,39		0,31	-21	0,35	
K₂	0,34	-13	0,29	-26	0,31	-11
K₃	0,35	-10	0,27	-31	0,31	-11
Ortalama	0,37		0,29			



Şekil 4.3. Fasulye genotipinin gövde kuru ağırlık değerleri (g bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.



Şekil 4.4. Fasulye genotipinin kök kuru ağırlık değerleri (g bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

4.1.3. Gövde ve kök boyu

Potasyum dozlarının gövde ve kök boyu değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.5). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek gövde boyu 44.46 cm ile yeterli potasyum ihtiva eden K₁ (Kontrol) uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₀ (42,21 cm), K₃ (41,88 cm) ve K₂ (36,54 cm) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.5). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₂ dozunda kontrole göre %18 oranında bir azalma olurken bu azalma K₀ ve K₃ dozlarında ise sırasıyla %5 ve %6 oranında olmuştur. (Tablo 4.5).

Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları

mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre gövde boyu değerleri %4 oranında azalırken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K₂ uygulamasında kontrol gurubu ile arasında farklılık olmadığı, yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K₃ uygulamasında ise gövde boyu değerlerinin %19 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.5, Şekil 4.5).

Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K₁, 40,25 cm) göre gövde boyu değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %13 oranında artarken, yeterli K uygulandığı koşullarda ise %21 oranında artış, K₂ uygulamasında %20 oranında ve K₃ uygulamasında ise %11 oranında azalma olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda %6 oranında, K₂ dozunda %34 oranında ve K₃ dozunda %27 oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Kök boyu değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerde potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek kök boyu 21,38 cm ile K₃ uygulaması, bunu azalan sıra ile K₁ (21,25 cm), K₀ (20,92 cm) ve K₂ (16,56 cm) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.6). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₂ dozunda kontrole göre %22 oranında, K₀ dozunda %2 oranında azalma görülürken, K₃ uygulamasında kontrol gurubu ile arasında farklılık olmadığı tespit edilmiştir.

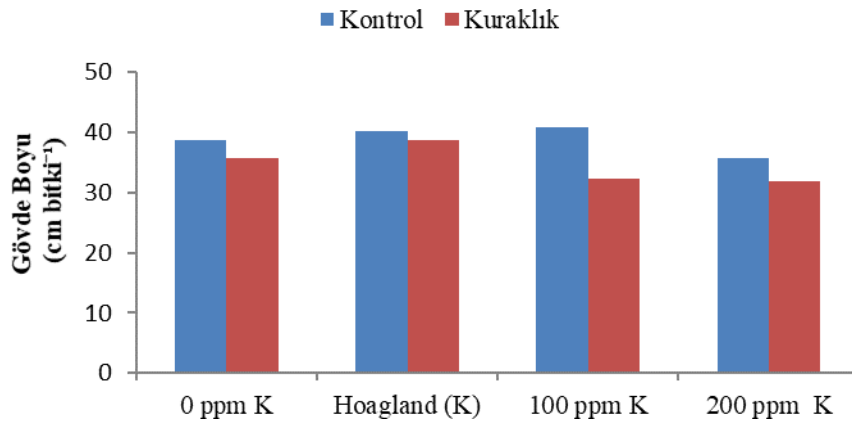
Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre kök boyu değerleri %13 oranında ve K₂ dozunda %17 oranında azalma görülürken, K₃ dozunda ise %10 oranında artış olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.6, Şekil 4.6). Kurak koşullarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K₁, 23 cm) göre kök boyu değerleri K₀ uygulamasında %5 oranında, yeterli K uygulandığı koşullarda ise %15 oranında, K₂ uygulamasında %39 ve K₃ uygulamalarında ise %24 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol gurubuna (19,50 cm) göre K₀ uygulamasında %12 oranında bir artış olurken, K₂ ve K₃ uygulamalarında sırasıyla %28 ve %11 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Fasulye genotipinin gövde boyu değerleri (cm bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

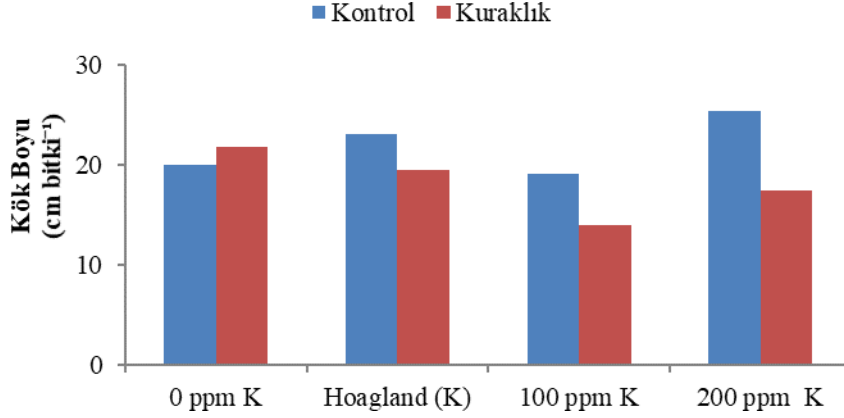
Gövde Boyu (cm bitki ⁻¹)						
mg kg ⁻¹	Kontrol		Kurak			
	cm bitki ⁻¹	%Değişim	cm bitki ⁻¹	%Değişim	Ort.%Değişim	
K₀	38,75	-4	45,67	13	42,21	5
K₁	40,25		48,67	21	44,46	
K₂	40,75	0	32,33	-20	36,54	-18
K₃	48,00	19	35,75	-11	41,88	6
Ortalama	41,94		40,61			

Tablo 4.6. Fasulye genotipinin kök boyu değerleri (cm bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

Kök Boyu (cm bitki ⁻¹)						
mg kg ⁻¹	Kontrol		Kurak			
	cm bitki ⁻¹	%Değişim	cm bitki ⁻¹	%Değişim	Ort.%Değişim	
K₀	20,00	-13	21,83	-5	20,92	-2
K₁	23,00		19,50	-15	21,25	
K₂	19,13	-17	14,00	-39	16,56	-22
K₃	25,38	10	17,38	-24	21,38	0
Ortalama	21,88		18,18			



Şekil 4.5. Fasulye genotipinin gövde boyu değerleri (cm bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.



Şekil 4.6. Fasulye genotipinin kök boyu değerleri (cm bitki⁻¹). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir. K, Mg, Ca, Na Konsantrasyonu Bulguları

Abiyotik stres koşullarında çinko uygulamasının bitki gövde kök K, Mg, Ca ve Na konsantrasyonlarına ait ortalamalar Tablo 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, ve 4.14' de bu değerlere ait grafikler Şekil 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, ve 4.14' de verilmiştir.

4.1.4.Gövde ve kök K konsantrasyonu

Potasyum dozlarının gövde ve kök K konsantrasyon değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.7). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek gövde K değeri 3,74gr ile K₃ uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₂ (3,51gr), K₁ (2,49gr) ve K₀ (1,04gr) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.7). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %58 oranında bir azalma olurken, K₂ ve K₃ dozlarında ise sırasıyla %41 ve %50 oranında artış olmuştur. (Tablo 4.7).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre K değerleri %60 oranında azalırken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K₂ ve K₃ uygulamalarında %50 artış gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.7, Şekil 4.7). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K₁, 2,52) göre gövde K değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %58 oranında, yeterli K₁ uygulandığı koşullarda %2 oranında azalırken, K₂ uygulamasında %29 oranında ve K₃ uygulamasında ise %48 oranında artış olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi

içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda %57 oranında azalırken, K₂ dozunda %32 oranında ve K₃ dozunda %51 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir.

Kök K değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerde potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek kök K değeri 3,95 ile K₃ uygulaması, bunu azalan sıra ile K₂ (3,79), K₁ (2,31) ve K₀ (1,23) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.8). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %47 oranında bir azalma olurken, K₂ ve K₃ uygulamalarında sırasıyla kontrol gurubuna göre %64 ve %71 oranında bir artış olduğu tespit edilmiştir.

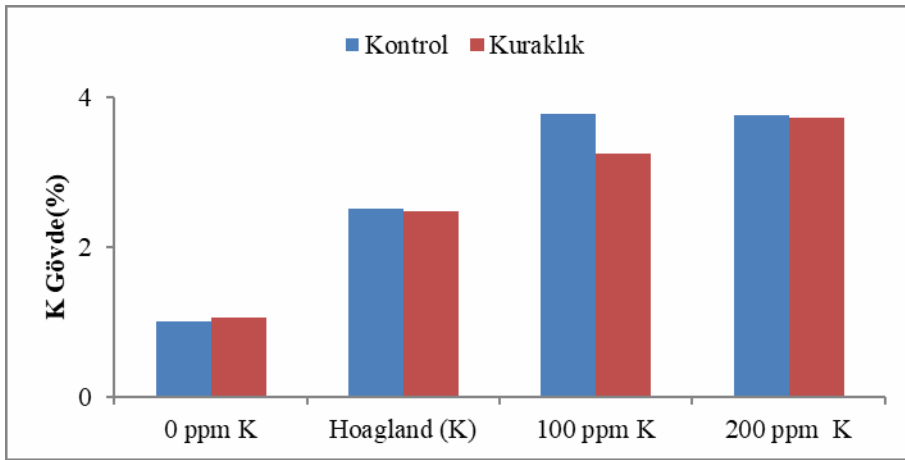
Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre kök K değerleri %48 oranında azalırken, K₂ dozunda ve K₃ dozunda sırasıyla %94 ve %105 oranında artış olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.8, Şekil 4.8). Kurak şartlarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K₁, 2,23) göre kök K değerleri K₀ uygulamasında %42 oranında azalırken, yeterli K uygulandığı koşullarda %7 oranında, K₂ uygulamasında %46 ve K₃ uygulamalarında ise %49 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol grubuna (2,39) göre K₀ uygulamasında %46 oranında azalırken, K₂ ve K₃ uygulamalarında sırasıyla %36 ve %39 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.7. Fasulye fidelerinin gövde K değerleri (%).Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

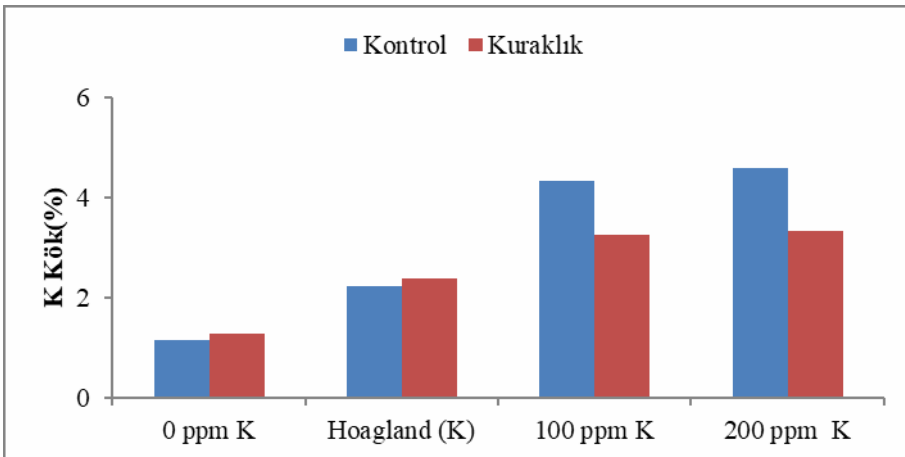
nmol g ⁻¹ YA	K Gövde				
	Kontrol		Kurak		
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	Ort.%Değişim
K₀	1,01	-60	1,06	-58	1,04 -58
K₁	2,52		2,47	-2	2,49
K₂	3,77	50	3,25	29	3,51 41
K₃	3,76	50	3,72	48	3,74 50
Ortalama	2,27		2,62		

Tablo 4.8. Fasulye fidelerinin kök K değerleri (%).Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

nmol g ⁻¹ YA	K Kök		K Kök			
	Kontrol		Kurak			
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	Ort.%Değişim	
K₀	1,17	-48	1,29	-42	1,23	-47
K₁	2,23		2,39	7	2,31	
K₂	4,32	94	3,26	46	3,79	64
K₃	4,58	105	3,33	49	3,95	71
Ortalama	3,07		2,57			



Şekil 4.7. Fasulye fidelerinin gövde K değerleri (%).Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.



Şekil 4.8. Fasulye fidelerinin kök K değerleri (%).Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

4.1.5.Gövde ve kök Mg konsantrasyonu

Fasulye fidelerinin gövde ve kök Mg konsantrasyonuna ait ortalama değerler Tablo 4.9 ve 4.10' da verilmiştir.

Potasyum dozlarının gövde ve kök Mg konsantrasyon değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.9). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek gövde K değeri 0,46 ile K₀ uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₁ ve K₃ (0,30) ve K₂ (0,29) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.9). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %53 oranında bir artma olurken, K₂ dozunda %3 azalırken, K₃ dozunda ise kontrole göre değişim olmamıştır. (Tablo 4.9).

Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre Mg değerlerinde

%57 oranında, K₂ de %7 ve K₃ uygulamasında %3 artış gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.9, Şekil 4.9). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K₁, 0,30) göre gövde Mg değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %47 oranında artarken, yeterli K₁ uygulandığı koşullarda herhangi bir farklılık görülmemiştir, K₂ ve K₃ uygulamalarında sırasıyla %10 ve %3 oranında azalmalar olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda %47 oranında artış olurken, K₂ dozunda %10 oranında ve K₃ dozunda %3 oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Kök Mg değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerde potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek kök Mg değeri 0,69 ile K₁ uygulaması, bunu azalan sıra ile K₀ (0,60), K₂ (0,35) ve K₃ (0,32) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.10). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %13 oranında, K₂ %49 oranında ve K₃ %54 oranında bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre kök Mg değerleri %13 oranında azalırken, K₂ dozunda ve K₃ dozunda sırasıyla %41 ve %55 oranında azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.10, Şekil 4.10). Kurak şartlarda potasyum

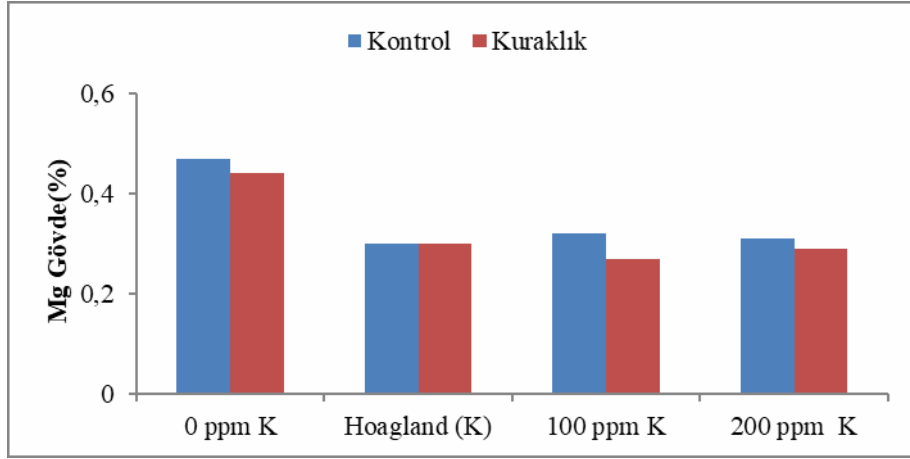
uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol grubu K₁, 0,71) göre kök Mg değerleri K₀ uygulamasında %18 oranında, yeterli K uygulandığı koşullarda %6 oranında, K₂ uygulamasında %62 ve K₃ uygulamalarında ise %54 oranında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol grubuna (2,39) göre K₀ uygulamasında %13 oranında, K₂ %60 oranında ve K₃ %51 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.9. Fasulye fidelerinin gövde Mg değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

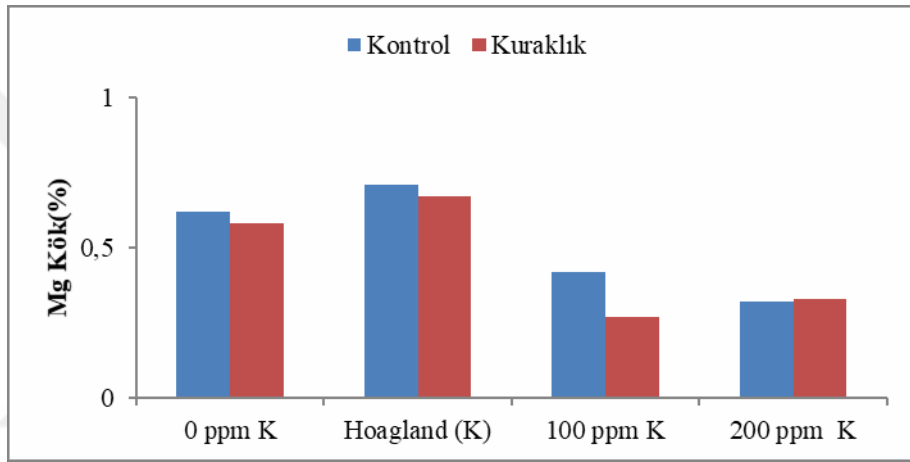
nmol g ⁻¹ YA	Mg Gövde				
	Kontrol		Kurak		Ort.%Değişim
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	
K₀	0,47	57	0,44	47	0,46 53
K₁	0,30		0,30	0	0,30
K₂	0,32	7	0,27	-10	0,29 -2
K₃	0,31	3	0,29	-3	0,30 0
Ortalama	0,35		0,32		

Tablo 4.10. Fasulye fidelerinin kök Mg değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

nmol g ⁻¹ YA	Mg Kök				
	Kontrol		Kurak		Ort.%Değişim
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	
K₀	0,62	-13	0,58	-18	0,60 -13
K₁	0,71		0,67	-6	0,69
K₂	0,42	-41	0,27	-62	0,35 -49
K₃	0,32	-55	0,33	-54	0,32 -54
Ortalama	0,52		0,46		



Şekil 4.9. Fasulye fidelerinin gövde Mg değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.



Şekil 4.10. Fasulye fidelerinin kök Mg değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

4.1.6. Gövde ve kök Ca konsantrasyonu

Fasulye fidelerinin gövde ve kök Ca konsantrasyonuna ait ortalama değerler Tablo 4.11 ve 4.12' de verilmiştir.

Potasyum dozlarının gövde ve kök Ca konsantrasyon değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.11 ve 4.12). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek gövde Ca değeri 2,07 ile K₀ uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₁ (1,84) ve K₂ (1,33) ve K₃ (0,29) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.11). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %13 oranında bir artma olurken, K₂ dozunda %28 oranında, K₃ dozunda ise kontrole göre %30 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4.11).

Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar

gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre Ca değerleri %14 oranında artarken, K₂ %16 ve K₃ uygulamasında %31 oranlarında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.11, Şekil 4.11). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol grubu K₁, 1,91) göre gövde Ca değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %3 oranında artarken, yeterli K₁ uygulandığı koşullarda %7, K₂ %46 ve K₃ %34 oranında azalmalar olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol grubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda %11 oranında artış olurken, K₂ dozunda %41 oranında ve K₃ dozunda %29 oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Kök Ca değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerde potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek kök Ca değeri 0,61 ile K₁ uygulaması, bunu azalan sıra ile K₂ (0,49), K₃ (0,45) ve K₀ (0,43) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.12). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %30 oranında, K₂ %20 oranında ve K₃ %26 oranında bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

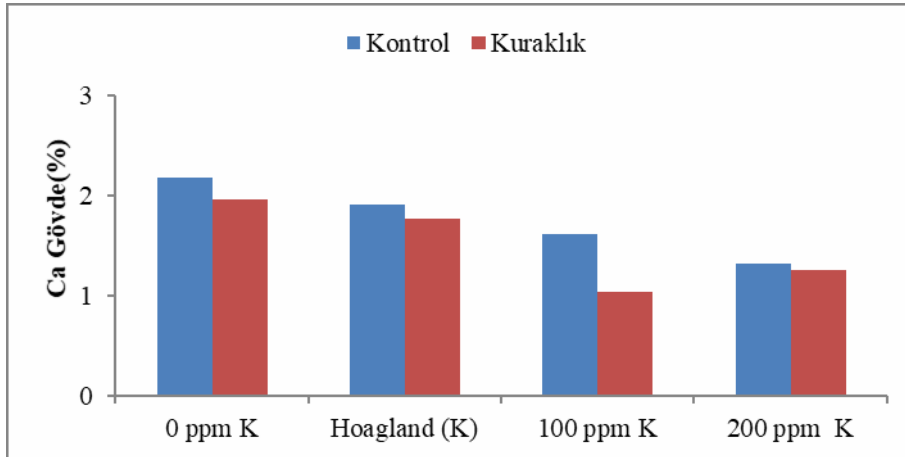
Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre kök Ca değerleri %34 oranında, K₂ dozunda %26 ve K₃ dozunda %33 azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.12, Şekil 4.12). Kurak şartlarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol grubu K₁, 0,73) göre kök Ca değerleri K₀ uygulamasında %48 oranında, yeterli K uygulandığı koşullarda %34 oranında, K₂ uygulamasında %40 ve K₃ uygulamalarında ise %44 oranında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol grubuna (0,48) göre K₀ uygulamasında %21 oranında, K₂ %8 oranında ve K₃ %15 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.11. Fasulye fidelerinin gövde Ca değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

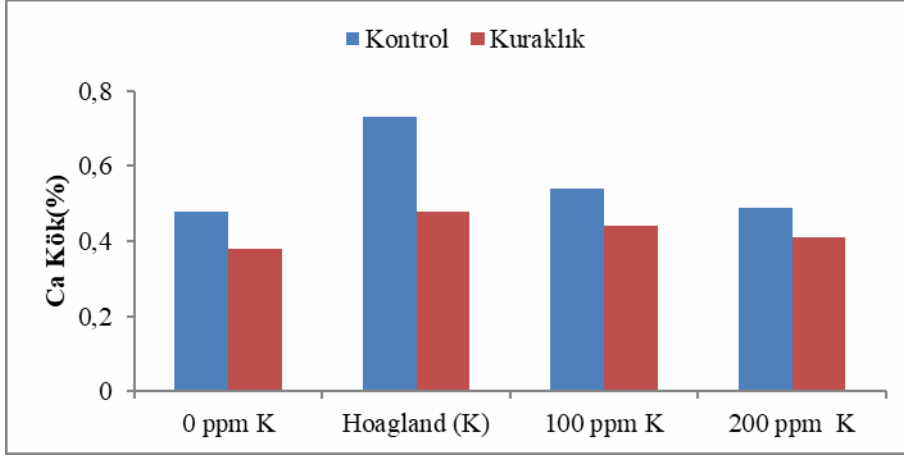
nmol g ⁻¹ YA	Ca Gövde				
	Kontrol		Kurak		Ort.%Değişim
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	
K₀	2,18	14	1,96	3	2,07 13
K₁	1,91		1,77	-7	1,84
K₂	1,61	-16	1,04	46	1,33 -28
K₃	1,32	-31	1,26	34	1,29 -30
Ortalama	1,76		1,51		

Tablo 4.12. Fasulye fidelerinin kök Ca değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

nmol g ⁻¹ YA	Ca Kök				
	Kontrol		Kurak		Ort.%Değişim
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	
K₀	0,48	-34	0,38	-48	0,43 -30
K₁	0,73		0,48	-34	0,61
K₂	0,54	-26	0,44	-40	0,49 -20
K₃	0,49	-33	0,41	-44	0,45 -26
Ortalama	0,56		0,43		



Şekil 4.11. Fasulye fidelerinin gövde Ca değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.



Tablo 4.12. Fasulye fidelerinin kök Ca değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

4.1.7. Gövde ve kök Na konsantrasyonu

Fasulye fidelerinin gövde ve kök Na konsantrasyonuna ait ortalama değerler Tablo 4.13 ve 4.14' de verilmiştir.

Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 , K_2 ve K_3 dozlarında %33 oranında artış olduğu belirlenmiştir. (Tablo 4.13).

Araştırmada potasyum uygulamasına bağlı olarak fasulye fidelerinin gövde K konsantrasyonlarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşulları ve yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K_2 uygulamasında kontrole göre gövdedeki Na değerleri %33 oranında artarken, yeterli K uygulamasının 3 katı oranda uygulandığı K_3 uygulamasında %67 oranında artış göstermiştir (Tablo 4.13, Şekil 4.13). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K_1) göre gövdedeki Na değerleri kurak koşullarda K_0 , K_1 ve K_3 uygulamasında herhangi bir farklılık görülmezken K_2 uygulamalarında %33 oranında artış olduğu belirlenmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda ve K_3 uygulamalarında gövdede ki Na değerlerinde herhangi bir farklılık görülmemiştir, K_2 uygulamasında ise %33 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

Kök Na değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerde potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek kök Na değeri 0,78 ile K_0 uygulaması,

bunu azalan sıra ile K₁ (0,66), K₃ (0,41) ve K₀ (0,34) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.14).Uygulanan Na dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %18 oranında artarken, K₂ %52 oranında ve K₃ %38 oranında bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

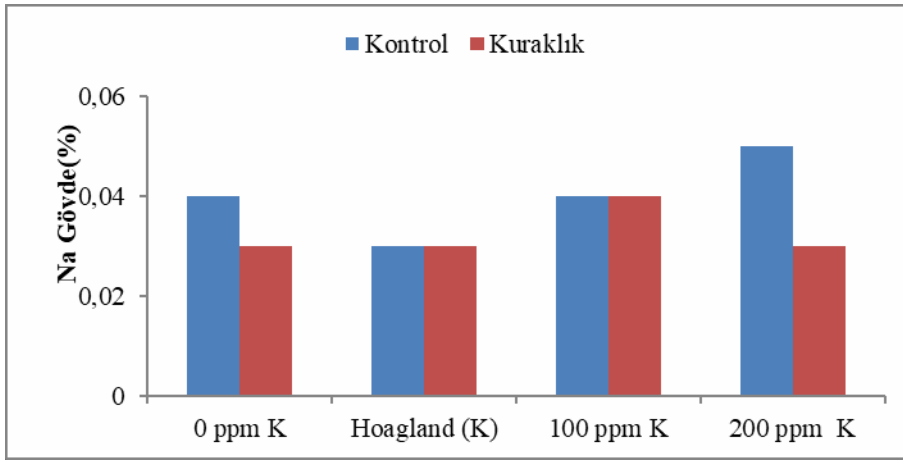
Kök Na değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerde potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre kök Na değerleri %4 oranında azalırken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K₂ uygulamasında kontrol grubuna göre %41 oranında azalmıştır, yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K₃ uygulamasında ise kök Na değerlerinin %27 oranında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.14, Şekil 4.14). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K₁) göre kök Na değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %6 oranında azaldığı, yeterli K uygulandığı koşullarda ise %39 oranında azalma, K₂ uygulamasında %74 oranında azaldığı ve K₃ uygulamasında ise %73 oranında azalmanın olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda %54 oranında artış görülürken, K₂ uygulamasında %58 oranında azalma ve K₃ uygulamasına göre kök Na değerlerinde %56 oranında azalma görüldüğü belirlenmiştir.

Tablo 4.13. Fasulye fidelerinin gövde Na değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

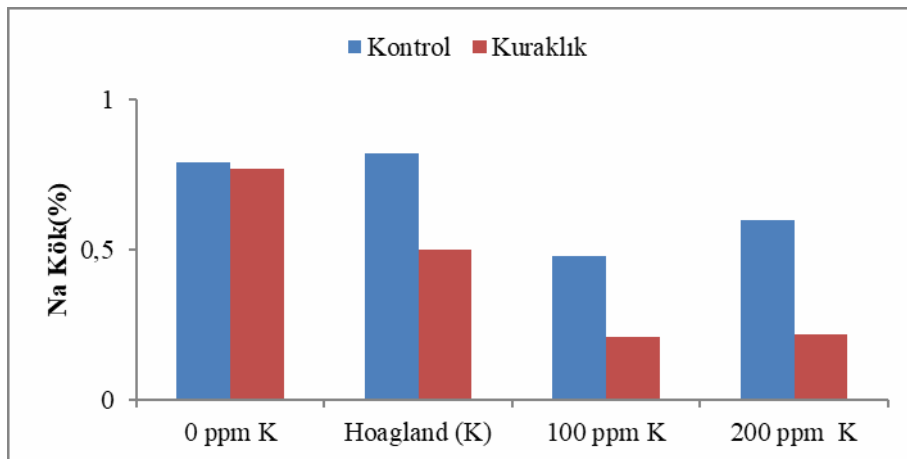
nmol g ⁻¹ YA	Na Gövde				
	Kontrol		Kurak		
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	Ort.%Değişim
K₀	0,04	33	0,03	0	0,04 33
K₁	0,03		0,03	0	0,03
K₂	0,04	33	0,04	33	0,04 33
K₃	0,05	67	0,03	0	0,04 33
Ortalama	0,04		0,03		

Tablo 4.14. Fasulye fidelerinin kök Na değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

nmol g ⁻¹ YA	Na Kök				
	Kontrol		Kurak		Ort.%Değişim
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	
K₀	0,79	-4	0,77	-6	0,78 18
K₁	0,82		0,50	-39	0,66
K₂	0,48	-41	0,21	-74	0,34 -52
K₃	0,60	-27	0,22	-73	0,41 -38
Ortalama	0,67		0,43		



Şekil 4.13. Fasulye fidelerinin gövde Na değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.



Şekil 4.14. Fasulye fidelerinin kök Na değerleri (%). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

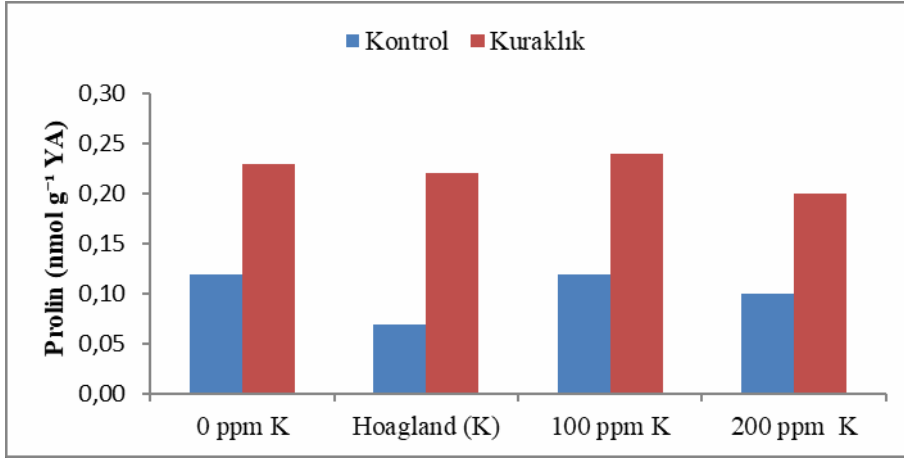
4.2.Prolin Bulguları

Potasyum dozlarının prolin değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.15). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek prolin değeri 0,18 ile K₀ ve K₂ uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₃ (0,15) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.15). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₃ dozunda kontrole göre %7 oranında bir artış olurken, K₀ ve K₂ dozlarında %29 oranında olmuştur. (Tablo 4.15).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında ve yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K₂ uygulamasında kontrole göre Prolin değerleri %29 oranında artarken, yeterli K uygulamasının 3 katı oranda uygulandığı K₃ uygulamasında ise prolin değerlerinin %43 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.15, Şekil 4.15). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol grubu K₁, 0,07 g) göre prolin değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %229 oranında artarken, yeterli K uygulandığı koşullarda ise %214 oranında artma, K₂ uygulamasında %243 ve K₃ uygulamasında ise %186 oranında artışın olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol grubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda prolin değerleri %5 artarken, K₂ uygulamalarında prolin değerleri %9 oranında artma, K₃ uygulamasında %9 oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 4.15. Fasulye yapraklarının prolin değerleri (nmol g⁻¹ YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

Prolin (nmol g ⁻¹ YA)						
nmol g ⁻¹ YA	Kontrol		Kurak			
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	Ort.%Değişim	
K ₀	0,12	29	0,23	229	0,18	29
K ₁	0,07		0,22	214	0,14	
K ₂	0,12	29	0,24	243	0,18	29
K ₃	0,10	43	0,20	186	0,15	7
Ortalama	0,10		0,22			



Şekil 4.15. Fasulye yapraklarının prolin değerleri (nmol g⁻¹ YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

Lipid Peroksidasyonu Bulguları

Araştırmada kullanılan fasulye genotipinin lipid peroksidasyon düzeyleri malondialdehit (MDA) miktarında meydana gelen değişimlere göre belirlenmiş ve elde edilen değerler Tablo 4.16' da ve bu değerlere ait grafikler Şekil 4.16' da verilmiştir.

Potasyum dozlarının MDA değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.16). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek prolin değeri 28,78gr ile K₀ uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₂ (26,69gr) ve K₃ (25,93gr) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.16). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %16 oranında bir artış olurken, K₂ uygulamasında %8 ve K₃ dozlarında %5 oranında artma olmuştur. (Tablo 4.16).

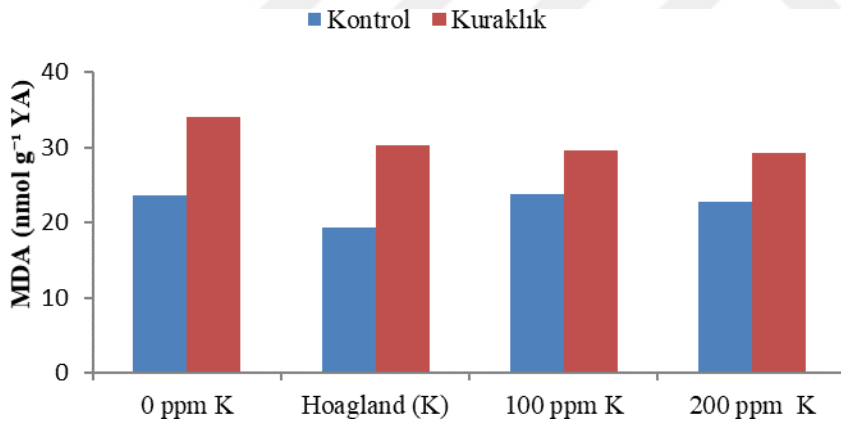
Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre MDA değerleri %22 oranında artarken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K₂ uygulamasında %23 oranında artış, yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K₃ uygulamasında ise MDA değerlerinin %18 oranında artış gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.16, Şekil 4.16). ,

Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K₁) göre MDA değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %76 oranında arttığı, yeterli K uygulandığı koşullarda ise %56 oranında artma, K₂ uygulamasında %54 ve K₃ uygulamasında ise %51 oranında artışın olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi

içerisinde potasyum uygulamaları ile mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda %13 oranında artma ve K₂ uygulamalarında MDA değerleri %2 oranında azalırken, K₃ uygulamasında %3 oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 4.16. Fasulye yapraklarının lipid peroksidasyon düzeyleri (nmol g⁻¹ YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

MDA (nmol g ⁻¹ YA)					
nmol g ⁻¹ YA	Kontrol		Kurak		Ort. %Değişim
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	
K₀	23,53		34,03		28,78 16
K₁	19,30		30,20		24,75
K₂	23,73		29,65		26,69 8
K₃	22,68		29,18		25,93 5
Ortalama	22,31		30,76		



Şekil 4.16. Fasulye yapraklarının lipid peroksidasyon düzeyleri (nmol g⁻¹ YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

4.3.Elektrolit Sızıntısı

Araştırmada kullanılan fasulye genotipinin hücre zarı geçirgenliği elektrolit sızıntısının ölçümüyle belirlenmiş ve elde edilen değerler Tablo 4.17' de ve bu değerlere ait grafikler Şekil 4.17' de verilmiştir.

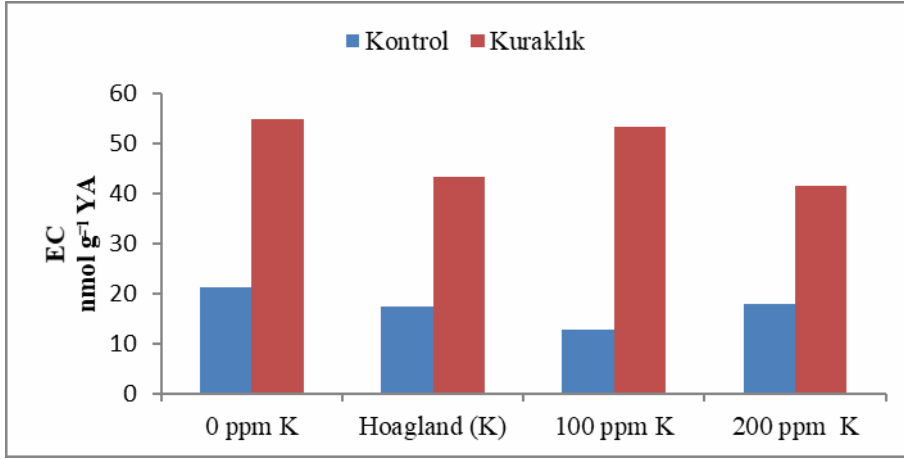
Potasyum dozlarının elektrolit sızıntısı üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.17). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek

elektrolit sızıntısı 38,08 ile K₀ uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₂ (33,06), K₁ (30,35) ve K₃ (29,74) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.17). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %25, K₂ dozunda %9 oranında bir artma olurken, K₃ dozunda %2 oranında bir azalma olmuştur. (Tablo 4.17).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre elektrolit sızıntısı %23 oranında, K₃ %3 oranında artarken, K₂ uygulamasında %26 oranında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.17, Şekil 4.17). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol grubu K₁, 17,37) göre elektrolit sızıntısı değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %216 oranında artarken, yeterli K₁ uygulandığı koşullarda %149, K₂ uygulamasında %207 ve K₃ uygulamasında %139 oranında artış olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları ile mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda %27, K₂ dozunda %23 oranında artış olurken, K₃ dozunda %4 oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 4.17. Fasulye yapraklarının elektrolit sızıntısı değerleri (nmol g⁻¹ YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

nmol g ⁻¹ YA	EC				
	Kontrol		Kurak		Ort.%Değişim
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	
K₀	21,33	23	54,83	216	38,08 25
K₁	17,37		43,32	149	30,35
K₂	12,86	-26	53,26	207	33,06 9
K₃	17,93	3	41,54	139	29,74 -2
Ortalama	17,37		48,24		



Şekil 4.17. Fasulye yapraklarının elektrolit sızıntısı değerleri (nmol g⁻¹ YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

4.4. Antioksidan Enzim Aktivite Sonuçları

Fasulye genotipinde abiyotik stres koşullarında çinko uygulamalarının antioksidan enzim aktivitelerinin belirlenmesi için; süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POX), katalaz (CAT) ölçümleri yapılmış, bu değerlere ait ortalama antioksidan enzim aktivite değerleri Tablo 4.20, 21 ve 22’de bu değerlere ait grafikler Şekil 4.20, 21 ve 22’de verilmiştir.

4.5. Süperoksit dismutaz enzim aktiviteleri (SOD; EC 1.15.1.1)

SOD aktivite düzeylerinin uygulama gruplarına bağlı olarak istatistiksel bakımdan farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 4.18, Şekil 4.18). Araştırmada potasyum uygulamasına bağlı olarak fasulye yapraklarının SOD aktivitesi Potasyum dozlarının yaş ağırlık değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur.

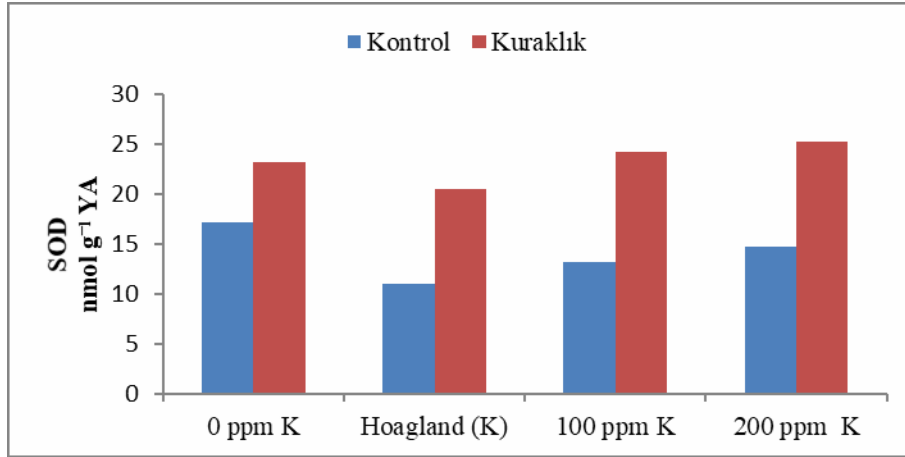
(Tablo 4.18). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek SOD aktivite düzeyi 20,25 ile K₀ uygulamasında elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₃ (20,00) uygulaması, K₂ (18,75), kontrol grubu olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) (15,75) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.18). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₃ dozunda kontrole göre %27 oranında, K₂ dozunda %19 oranında ve K₀ dozunda %29 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 4.18).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre SOD aktive

düzeyinde %57 oranında artarken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranında uygulandığı K₂ uygulamasında %20 oranında ve yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K₃ uygulamasında ise %34 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir. (Tablo 4.18, Şekil 4.18). Kurak şartlarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına göre SOD aktivite değerleri K₀ uygulamasında %111 oranında, yeterli K uygulandığı koşullarda ise %86 oranında, K₂ uygulamasında %120 oranında ve K₃ uygulamalarında ise %130 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol gurubuna göre K₀ uygulamasında %13 oranında, K₂ uygulamasında %18 oranında ve K₃ uygulamasında ise %23 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.18. Fasulye yapraklarının SOD aktiviteleri (nmol g⁻¹ YA). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

nmol g ⁻¹ YA	SOD				
	Kontrol		Kurak		Ort.%Değişim
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	
K0	17,25	57	23,25	111	20,25 29
K1	11,00		20,50	86	15,75
K2	13,25	20	24,25	120	18,75 19
K3	14,75	34	25,25	130	20,00 27
Ortalama	14,06		23,31		



Şekil 4.18. Fasulye yapraklarının SOD aktiviteleri (nmol g⁻¹ YA) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

4.6.Peroksidaz enzim aktiviteleri (POX; EC 1.11.1.7)

Araştırmada kullanılan fasulye genotipinin POX aktiviteleri genel olarak

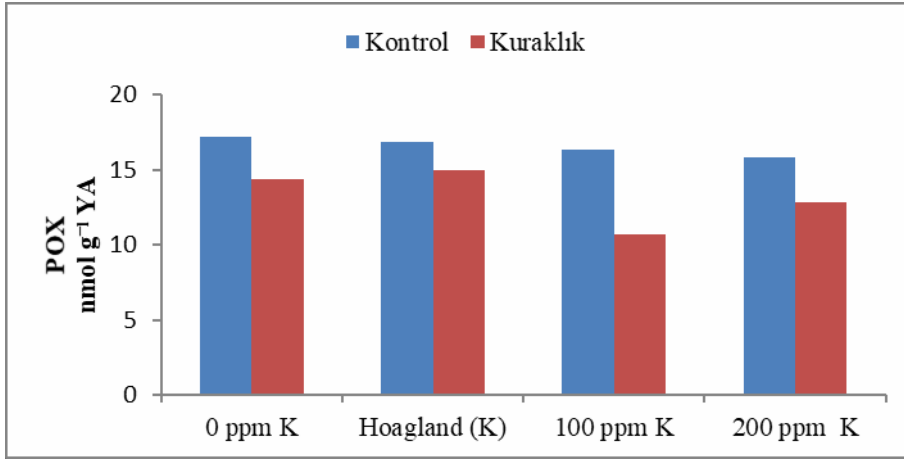
uygulamalara bağı olarak azalma göstermiştir (Tablo 4.19, Şekil 4.19).

Potasyum dozlarının POX aktiviteleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.19). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek POX aktivite değerleri 15,91 ile K₁ uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₀ (15,80), K₃ (14,34) ve K₂ (13,51) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.19). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %1, K₂ dozunda %15, K₃ dozunda %10 oranında bir azalma olmuştur. (Tablo 4.19).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre POX aktivite değerleri %2 oranında artarken, K₂ %3 oranında, K₃ uygulamasında %6 oranında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.19, Şekil 4.19). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K₁, 16,85) göre POX aktivite değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %15, yeterli K₁ uygulandığı koşullarda %11, K₂ uygulamasında %37 ve K₃ uygulamasında %24 oranında azalma olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda %4, K₂ dozunda %29, K₃ dozunda %14 oranlarında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 4.19. Fasulye yapraklarının POX aktiviteleri (nmol g⁻¹ YA) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

nmol g ⁻¹ YA	POX					
	Kontrol			Kurak		
	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	nmol g ⁻¹ YA	%Değişim	Ort.%Değişim	
K₀	17,20	2	14,40	-15	15,80	-1
K₁	16,85		14,98	-11	15,91	
K₂	16,35	-3	10,68	-37	13,51	-15
K₃	15,83	-6	12,85	-24	14,34	-10
Ortalama	16,56		13,23			



Şekil 4.19. Fasulye yapraklarının POX aktiviteleri (nmol g⁻¹ YA) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

4.7.Katalaz enzim aktiviteleri (CAT; EC 1.11.1.6)

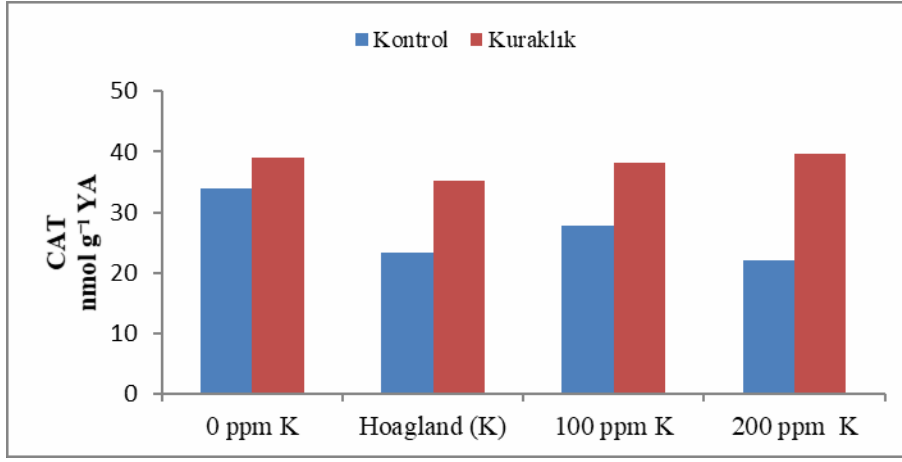
Araştırmada kullanılan fasulye genotipinin CAT aktiviteleri genel olarak uygulamalara bağlı olarak artış göstermiştir (Tablo 4.20, Şekil 4.20).

Potasyum dozlarının CAT aktivite değerleri üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.21). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek CAT aktivite değerleri 36,50 ile K₀ uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K₂ (33,00), K₃ (30,86) ve K₁ (29,25) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.21). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K₀ dozunda kontrole göre %25, K₂ dozunda %13, K₃ dozunda %6 oranında bir artış olmuştur. (Tablo 4.21).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K₁ (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K₀ koşullarında kontrole göre CAT aktivite değerleri %46, K₂ de %19 oranında artış görülürken, K₃ uygulamasında %5 oranında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.21, Şekil 4.21). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol grubu K₁, 23,25) göre CAT aktivite değerleri kurak koşullarda K₀ uygulamasında %68, yeterli K₁ uygulandığı koşullarda %52, K₂ uygulamasında %65 ve K₃ uygulamasında %71 oranında artış olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol grubunu oluşturan K₁ uygulamasına göre K₀ dozunda %11, K₂ dozunda %9, K₃ dozunda %13 oranlarında artış gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 4.21. Fasulye yapraklarının CAT aktiviteleri ($\text{nmol g}^{-1} \text{YA}$) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

$\text{nmol g}^{-1} \text{YA}$	CAT				
	Kontrol		Kuraklık		Ortalama
	$\text{nmol g}^{-1} \text{YA}$	%Değişim	$\text{nmol g}^{-1} \text{YA}$	%Değişim	%Değişim
K₀	34,00	46	39,00	68	36,50 25
K₁	23,25		35,25	52	29,25
K₂	27,75	19	38,25	65	33,00 13
K₃	22,00	-5	39,75	71	30,86 6
Ortalama	26,75		38,06		



Şekil 4.21. Fasulye yapraklarının CAT aktiviteleri ($\text{nmol g}^{-1} \text{YA}$) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

5.SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bitkiler yaşam süreçleri içerisinde değişik stres koşulları ile karşılaşılır. Stres altında bitkilerin gelişmeleri, metabolizmaları ve verimleri önemli ölçüde olumsuz etkilenir. Kuraklık, yetersiz beslenme, tuzluluk, düşük ve yüksek sıcaklık, toprak ve atmosfer kirliliği, radyasyon bitkisel üretimde verimi sınırlandıran abiyotik streslerdir (Lawlor ve Cornic, 2002). Sayılan abiyotik stresler içinde kuraklık ve tuzluluk bitkisel üretimi sınırlandıran en önemli stres koşullarıdır. Dünya üzerindeki kullanılabilir alanlar stres faktörlerine göre sınıflandırıldığında doğal bir stres faktörü olan kuraklık stresi %26'lık payıyla en büyük dilimi içermektedir. Bu durumda, kuraklık stresi büyümeyi ve verimi etkileyen en yaygın çevresel streslerden biri durumundadır.

Bu çalışmada kurak koşullara maruz bırakılan fasulye bitkisinin stres toleransı üzerine, potasyum uygulamalarının olası iyileştirici etkileri fizyolojik ve biyokimyasal parametrelere bakılarak değerlendirilmiştir.

Araştırmada, kurak koşullar oluşturmak amacıyla PEG 6000 uygulanan koşullarında bitki kök, gövde yaş ve kök, gövde kuru ağırlık ve gövde boyu değerlerinde azalmalar meydana geldiği belirlenmiştir. Kuraklık stresi koşullarında potasyum uygulamalarının bitki büyüme parametrelerinde meydana gelen azalmaların potasyumun yetersiz seviyede olduğu koşullarda daha fazla oranlarda olduğu, yüksek seviyede potasyum uygulanması durumunda ise bitki büyüme parametrelerinde meydana gelen azalmaların daha az olduğu tespit edilmiştir. Farklı bitki türleri kullanılarak daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir ((Kopyra M. ve Gwozdz, 2003); (Zhang ve ark., 2006); (Garcia-Mata ve Lamattina, 2001)).

Araştırmada kuraklık stresi koşullarında fasulye bitkisinin besin elementi konsantrasyonlarında azalmalar olduğu ve en fazla azalmanın yetersiz potasyum uygulamasında olduğu belirlenmiştir.

Çevresel stresler; fotosentezi sınırlandırarak reaktif oksijen türlerinin oluşumundaki artıştan kaynaklanan hücrel zararlar yol açabilir ((Alscher ve ark., 1997); (Mittler, 2002); (Neill ve ark., 2002b)). Reaktif O₂ türleri (ROT) hem stressiz hem de stresli hücrelerde üretilmektedir. Bitkilerin, ROT'a karşı iyi gelişmiş, ROT'un formasyonunu kısıtlamanın yanında; onun yok edilmesini sağlayan savunma sistemleri

vardır. Stressiz koşullarda ROT'nin formasyonu ve yok edilmesi dengededir. Ancak savunma sistemi, stresli koşullarda artan ROT oluşumu karşısında alt üst olabilir. Bitkiler ROT'taki artışa, enzimatik veya enzimatik olmayan antioksidan savunma sistemi artan ROT'lerini yok etmeyi başaramadığında, tepki verirler (Alscher RG ve JL., 1993). Bitkiler aktif oksijen türlerinin fizyolojik üretimini kontrol etmek için birçok enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan mekanizmalar geliştirmişlerdir. Bitkiler, reaktif oksijen türlerine karşı peroksidaz (POX), glutatyon redüktaz (GR) ve süperoksit dismutaz (SOD) gibi reaktif oksijen türlerini temizleyen bazı antioksidan enzimlerin aktivitelerinin indüksiyonu ile kendilerini savunurlar. Bitkilerde bir dizi enzim intraselüler düzeyde H₂O₂'nin düzenlenmesinde rol oynar; fakat POX, GR ve SOD en önemlilerindedir.

SOD, süperoksit radikallerinin süpürülmesinden sorumlu olan ve oksijenli solunum yapan hücreler için anahtar bir rol oynayan antioksidan enzimdir (Asada, 1999). Çalışmamızda SOD aktivite düzeylerinin uygulama gruplarına bağlı olarak farklılıklar gösterdiği, kuraklık uygulamalarına bağlı olarak yetersiz ve yüksek seviyede potasyum uygulanma durumunda SOD aktivite değerlerinin artış gösterdiği ve özellikle en düşük ve en yüksek seviyelerde potasyum uygulanan koşullarda artış oranlarının daha fazla olduğu belirlenmiştir. Farklı bitki türleri kullanılarak daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir ((Delledonne ve ark., 2001); (Kopyra ve Gwozdz, 2004); (Millar ve Day, 1996)).

Peroksidazlar sadece üretilen H₂O₂' in uzaklaştırılmasında değil, aynı zamanda büyüme ve gelişme ile ilgili bazı süreçlerde de görev almaktadırlar (Dionisio-Sese ve Tobita S., 1998). Peroksidazlar, hidrojen akseptörü olarak oksijeni kullanıp, substrattan hidrojen ayrılması reaksiyonlarını katalizleyen enzimlerdir. Ürün genellikle ya H₂O ya da H₂O₂'dir (Türkan, 2002). Fasülye genotipine kontrol gurubunda potasyum uygulamalarına bağlı olarak POX aktivite değerleri hiç potasyum uygulanmayan koşullarda en yüksek seviyede olduğu, kuraklık uygulamasının yapıldığı koşullarda POX aktivite değerlerinin kontrol gruplarına göre azalma gösterdiği ve en fazla azalmanın potasyumun en yüksek seviyede uygulandığı koşullarda olduğu belirlenmiştir.

Bitkilerde algılanan stres sonucunda meydana gelen oksidatif hasarın önemli bir göstergesi membran lipidlerinin peroksidasyonudur ve ortamdaki malondialdehit

(MDA) miktarına göre tayin edilmektedir (Eltner E. F. ve W., 1984). Araştırmada MDA düzeylerinin uygulama gruplarına bağlı olarak farklılıklar gösterdiği, kontrol grupları içerisinde en yüksek MDA içeriğinin potasyum uygulanmayan koşullarda olduğu ve potasyum dozları yeterli seviyenin üzerine çıktığı koşullarda da MDA değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık uygulaması koşullarında da MDA değerlerinin kontrol gruplarına göre artış gösterdiği ve en fazla artışın potasyum uygulanmayan koşullarda olduğu görülmüştür.

MDA içeriğinin yanı sıra elektrolit sızıntısındaki artış da oksidatif strese maruz kalan biyolojik membranların zarar gördüğünün bir diğer göstergesidir (Munné-Bosch ve S., 2003). Bu tür değişimler, çoğunlukla ROT'lerinin üretimindeki artıştan, özellikle de diğer ROT'lerine göre daha uzun ömürlü olan H₂O₂ birikiminden kaynaklanır (Apel ve Hirt, 2004). Elektrolit sızıntısı uygulama gruplarına bağlı olarak farklılıklar gösterdiği, kontrol grupları içerisinde en yüksek EC değeri potasyum uygulanmayan koşullarda olduğu ve potasyum dozları yeterli seviyenin üzerine çıktığı koşullarda da EC değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık uygulaması koşullarında da EC değerlerinin kontrol gruplarına göre artış gösterdiği ve en fazla artışın potasyum uygulanmayan ve en yüksek seviyede potasyum uygulanan koşullarda olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara benzer olarak (Lei ve ark., 2003) lipid alkoksil ve peroksil radikalleriyle reaksiyona girerek ROT-teşvikli lipid oksidasyonunu durdurabildiğini bildirmiştir.

Abiyotik stres koşullarına maruz bırakılan fasulye bitkisinin prolin birikim düzeylerinde görülen artışın kontrol gurupları içerisinde en yüksek prolin değeri potasyum uygulanmayan koşullarda olduğu ve potasyum dozları yeterli seviyenin üzerine çıktığı koşullarda da prolin değerlerinin artış gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık uygulaması koşullarında da prolin değerlerinin kontrol guruplarına göre artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Bu sonuçlara benzer olarak (Lei ve ark., 2003) lipid alkoksil ve peroksil radikalleriyle reaksiyona girerek ROT-teşvikli lipid oksidasyonunu durdurabildiğini bildirmiştir. Benzer şekilde, abiyotik stres altında fasulye genotipinin düşüş gösteren ozmotik potansiyeli, bitkideki prolin gibi ozmotik bileşiklerin birikimine işaret etmektedir. Prolin birikim düzeylerinin uygulama gruplarına bağlı olarak farklılıklar gösterdiği, çinko uygulamalarına bağlı olarak yetersiz ve toksik seviyede çinko

uygulanma durumunda prolin aktivite değerlerinin artış gösterdiği ve özellikle toksik çinko uygulanan koşullarda artış oranlarının daha fazla olduğu belirlenmiştir.

(Kawasakı ve ark., 2000), yabani karpuzun kuraklık toleransını (i) su durumunun korunması ve (ii) sitrulin birikimi ile ilişkilendirmiştir.



KAYNAKLAR

- Akhondi, M., Safarnejad, A. ve Lahouti, M., 2006, Effect of drought stress on proline accumulation and mineral nutrients changes in alfalfa (*Medicago sativa* L.), *JWSS-Isfahan University of Technology*, 10 (1), 165-175.
- Alexieva, V., Ivanov, S., Sergiev, I. ve Karanov, E., 2003, Interaction Between Stresses, *Bulg. J. Plant Physiol Special Issue*, 1-17.
- Alscher, R. G., Donahue, J. L. ve Cramer, C. L., 1997, Reactive Oxygen Species and Antioxidants: Relationship in Green Cells, *Physiol. Plant.*, 100, 224–233.
- Alscher RG ve JL., H., 1993, Antioxidants in higher plants. Boca Raton, *CRC Press*, 1-20.
- Apel, K. ve Hirt, H., 2004, Reactive Oxygen Species: Metabolism, Oxidative Stress and Signal Transduction, *Annual review of plant biology*, 55, 373-399.
- Asada, K. ve Takahashi, M., 1987, Production and Scavenging of Active Oxygen Radicals in Photosynthesis., *In: D.J.Kyle et al. (Eds.) Photoinhibition. Elsevier, Amsterdam*, 227-297.
- Asada, K., 1994, Mechanisms for Scavenging Reactive Molecules Generated in Chloroplast Under Light Stress, *In: Baker, N.R.*
- Asada, K., 1999, The Water – Water Cycle in Chloroplasts: Scavenging of Active Oxygens and Dissipation of Excess Photons, *Ann. Rev-Plant Physiol. Plant Mol. Biol*, 50, 601-639.
- Ashraf, M. ve Ali, Q., 2007, Relative Membrane Permeability and Activities of Some Antioxidant Enzymes as the Key Determinants of Salt Tolerance in Canola (*Brassica Napus* L.), *Environmental and Experimental Botany*, 63, 266-273.
- Bates, L., Waldern, R. P. a. T. ve I D., 1973, Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies, . *Plant and Soil*, 205-207.

- Beringer, H. ve Trolldenier, G., 1979, Influence of K nutrition on the response to environmental stress, *Influence of K nutrition on the response to environmental stress.*, 189-222.
- Brito, G., Costa, A., Fonseca, H. M. ve Santos, C. V., 2003, Response of *Olea europaea* ssp. *maderensis* in vitro shoots exposed to osmotic stress, *Scientia Horticulturae*, 97 (3-4), 411-417.
- Cakmak, I., Atli, M., Kaya, R., Evliya, H. ve Marschner, H., 1995, Association of High Light and Zinc Deficiency in Cold-Induced Leaf Chlorosis in Grapefruit and Mandarin Trees. , *J. Plant Physiol.*, 146, 355-360.
- Cakmak., I., 1994, Activity of Ascorbate-Dependent H₂O₂ Scavenging Enzymes and Leaf Chlorosis are Enhanced in Magnesium and Potassium Deficient Leaves, But Not in Phosphorus Deficient Leaves. , *J. Exp. Bot.*, 45, 1259-1266. .
- Charles, S. A. ve Halliwell, B., 1980, 1980, Effect of Hydrogen Peroxide on Spinach (*Spinacia oleracea*) Chloroplast Fructose Biphosphatase. , *Biochem. J.*, 189, 373-376.
- Chen, G. ve Asada, K., 1989, Ascorbate Peroxidase in Tea Leaves: Occurrence of Isozymes and the Differences in their Enzymatic and Molecular Properties, *Plant Cell Physiol.*, 30, 987-998. .
- Choluj, D., Karwowska, R., Jasinska, M. ve Haber, G., 2004, Growth and dry matter partitioning in sugar beet plants (*Beta vulgaris* L.) under moderate drought, *PLANT SOIL AND ENVIRONMENT.*, 50 (6), 265-272.
- Davies. ve A., K. J., 1987, Protein Damage and Degradation by Oxygen Radicals, *I. General Aspects. J. Biol. Chem.*, 262, 9895-9901.
- Debouba, M., Gouia, H., Suzuki, A. ve Ghorbel, M. H., 2006, NaCl stress effects on enzymes involved in nitrogen assimilation pathway in tomato "*Lycopersicon esculentum*" seedlings, *Journal of Plant Physiology*, 163 (12), 1247-1258.

- Delledonne, M., Zeier, J., Marocco, A. ve Lamb, C., 2001, Signal interactions between nitric oxide and reactive oxygen intermediates in the plant hypersensitive disease resistance response., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98, 13454-13459.
- Dhindsa, R. S. ve Mathowe, W., 1981, Drought Tolerance in Two Mosses : Correlated with Enzymatic Defence Against Lipid Peroxidation, *J. of Exp. Bot*, 32 (126), 79-91.
- Dionisio-Sese, M. L. ve Tobita S., 1998, Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress, *Plant Sci.*, 135, 1-9.
- Eker, S., 2002, Yapraktan Azot Uygulamasının Limon ve Mandarinde Düşük Sıcaklık Stresine Etkisinin Antioksidatif Savunma Mekanizmaları Açısından Araştırılması., Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi*, Çukurova Üniversitesi.
- Elstner E. F. ve W., O., 1984, Fichtensterben in 'Reinluftgebieten': Strukturresistenzverlust. - Naturwiss, *Rundsch.*, 37/2, 52-61.
- Foyer, C. H., Lendais, M. ve Kunert, K. J., 1994, Photooxidative Stress in Plants., *Phsiol. Plant*, 92, 696-717.
- Fridovich, I., 1986, Biological Effects of The Superoxide Radical, *Arch. Biochem. Biop.*, 274, 1-11.
- Garcia-Mata, C. ve Lamattina, L., 2001, Nitric Oxide Induces Stomatal Closure and Enhances the Adaptive Plant Responses Against Drought Stress., *Plant Physiology*, 126, 1196-1204.
- Gepstein, S., L.D. , Nooden, A. C. ve (Eds.), L., 1988, Senescence and Aging in Plants, *Academic Press*,, 85-109.
- Gossett, D. R., Millhollon, E. P. ve Lucas, M. C., 1994, Antioxidant Response to NaCl Stress in Salt-Tolerant and Salt-Sensitive Cultivars of Cotton, *Crop Sci.*, 34, 706-714.

- Gunes, A., Pilbeam, D. J., Inal, A. ve Coban, S., 2008, Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, I: Growth, antioxidant mechanisms, and lipid peroxidation, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39 (13-14), 1885-1903.
- Hale, M. G. ve Orcutt, D. M., 1987, *The Physiology of Plants Under Stress*, John Wiley & Sons New York.
- Halliwell B. ve J.M.C., G., 1989, *Free Radicals in Biology and Medicine*, Oxford: Clarendon Press.
- Hernandez, J. A., Jimenez, A., Mullineaux, P. ve Sevilla, F., 2000, tolerance of Pea (*Pisum sativum* L.) to Long-Term Salt Stress is Associated with Induction of Antioxidant Defences., *Plant Cell Environ.*, 23, 853-862.
- Hessini, K., Martínez, J. P., Gandour, M., Albouchi, A., Soltani, A. ve Abdelly, C., 2009, Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora*, *Environmental and Experimental Botany*, 67 (2), 312-319.
- Hongbo, S., ZongSuo, L. ve MingAn, S., 2005, Changes of anti-oxidative enzymes and MDA content under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at maturation stage, , *Colloid. Surface. B.*, 45, 7-13.
- Huang, B., 2001, Nutrient accumulation and associated root characteristics in response to drought stress in tall fescue cultivars, *HortScience*, 36 (1), 148-152.
- Imlay, J. A. ve Linn., S., 1988, DNA damage and oxygen radical toxicity, 240, 1302-1309.
- Kaiser, W. M., 1979, Reversible Inhibition of The Calvin Cycle and Activation of The Oxidative Pentose Phosphate Cycle in Isolated Intact Chloroplasts by Hydrogen Peroxide, *Planta*, 145, 377-382.
- Kawasaki, S., Miyake, C., Kohchi, T., Fuji, S., Uchida, M. ve Yokota, A., 2000, Responses of wild watermelon to drought stress: Accumulation of an ArgE

- homologue and citrulline in leaves during water deficits, *Plant and cell physiology*, 41, 864-873.
- Kaya, C., Tuna, A. L., Ashraf, M. ve Altunlu, H., 2007, Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate, *Environmental and Experimental Botany*, 60 (3), 397-403.
- Koç, S., 2005, Fasulyelerde tuzluluğa tolerans bakımından genotipsel farklılıkların erken bitki gelişimi aşamasında belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enst.-Yüksek Lisans tezi*, 87.
- Kopyra, M. ve Gwozdz, E., 2004, he role of nitric oxide in plant growth regulation and responses to abiotic stresss., *Acta Physiol. Plantarum Plant.*, 26, 459- 472.
- Kopyra M. ve Gwozdz, E. A., 2003, Nitric Oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus*, *Plant Physiol. Biochem.*, 41, 1011-1017.
- Kuchenbuch, R., N.Claassen ve Jungk, A., 1986, Potassium availability in relation to soil-moisture effect of soil-moisture on potassium diffusion, root-growth and potassium uptake of onion plants., *Plant Soil.* (95), 221–231.
- Kuşvuran, Ş., 2010, Kavunlarda kuraklık ve tuzluluğa toleransın fizyolojik mekanizmaları arasındaki bağlantılar, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Adana.*
- Lawlor, D. W. ve Cornic, G., 2002, hotosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. , *Plant Cell Environ.*, 25, 475-494.
- Lei, Y., Yin, C., Ren, J. ve Li, C., 2003, Effect of osmotic stress and sodium nitroprusside pretreatment on proline metabolism of wheat seedlings, *Biologia Plantarum*, 51, 386-390.
- Levitt, J., 1980, Responses of Plants to Environmental Stress, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses, Academic Press., p.

- M., F. J., 2000, A comparison of mechanisms of desiccation tolerance among three angiosperm resurrection plant species, *Plant Ecol.*, 151, 29-39.
- Madhava R K V. ve S., S. T. V., 2000, Antioxidative parameters in the seedlings of pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh) in response to Zn and Ni stresses., *Plant Sciences.*, 157, 113-128.
- Makela, P., Kontturi, M., Pehu, E. ve Somersalo, S., 1999, Photosynthetic Response of Drought and Salt-Stressed Tomato and Turnip Rape Plants to Foliar- Applied glycinebetaine. , *Physiol. Plant.*, 105, 45-50.
- Marschner, H., 1995, Mineral nutrition of higher plants. 2nd, *Edn. Academic Pres.*
- Mckersie, B. D. ve Leshem, Y., 1994, Stress and Stress Coping in Cultivated Plants,,
Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Mengel, K. ve Arneke, W. W., 1982, Effect of potassium on the water potential, the pressure potential, the osmotic potential and cell elongation in leaves of *Phaseolus vulgaris*, *Physiologia Plantarum*, 54 (4), 402-408.
- Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H. ve Appel, T., 2001, Further elements of importance, In: Principles of plant nutrition, Eds: Springer, p. 639-655.
- Millar, A. ve Day, D., 1996, Nitric oxide inhibits the cytochrome oxidase but not the alternative oxidase of plant mitochondria., *FEBS Lett*, 398, 155-158.
- Mittler, R., 2002, Oxidative Stress, Antioxidants and Stress Tolerance, *Trends Plant Sci.*, 22, 561-569.
- Mittova, V., Guy, M., Tal, M. ve Volokita, M., 2004, Salinity Up-Regulates the Antioxidative System in Root Mitochondria and Peroxisomes of the Wild Salt-tolerant Tomato Species *Lycopersicon pennellii*., *J. Exp. Bot.*, 55, 1105-1113.
- Munné-Bosch ve S., P., J., 2003, Photo- and antioxidative protection, and a role for salicylic acid during drought and recovery in field-grown *Phillyrea angustifolia*

- plants. , *Planta*, 217, 758-766.
- Nasri, M., Zahedi, H., Moghadam, H. T., Ghooschi, F. ve Paknejad, F., 2008, Investigation of water stress on macro elements in rapeseed genotypes leaf (Brassica napus), *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3 (4), 669-672.
- Neill, S. J., Desikan, R., Clarke, A., Hurst, R. D. ve Hancock, J. T., 2002b, Hydrogen Peroxide and Nitric Oxide as Signalling Molecules in Plants., *Journal of Experimental Botany*, 53, 1237-1242.
- Niu, X., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M. ve Pardo, J. M., 1995, Ion homeostasis in NaCl stress environments, *Plant Physiology*, 109 (3), 735.
- Okuda T., Matsuda Y., Yamanaka A. ve S., S., 1991, abrupt Increase in the Level of Hydrogen Peroxide in Leaves of Winter Wheat Is Caused by Cold Treatment., *Plant Physiol.*, 97, 1265-1267.
- Özpay, T., 2008, Taze fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) genotiplerinin kuraklık stresine olan tepkilerinin belirlenmesi, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Pinheiro, H. A., Damatta, F. M., Chaves, A. R. M., Fontes, E. P. B. ve Loureiro, M. E., 2004, Drought Tolerance in Relation to Protection Against Oxidative Stress in Clones of *Coffea Canephora* Subjected To Long-Term Drought, *Plant Sci.*, 167, 1307-1314.
- Ramachandra Reddy, A., Chaitanya, K. V., Jutur, P. P. ve Sumithra, K., 2004, Differential Antioxidative Responses to Water Stress Among Five Mulberry (*Morus alba* L.) Cultivars., *Environ. Exp. Bot.*, 52, 33-42.
- Sairam, R. K., Rao, K. V. ve Srivastava, G. C., 2002, Differential Response of Wheat Genotypes to Long-Term Salinity Stress in Relation to Oxidative Stress, Antioxidant Activity and Osmolyte Concentration., *Plant SciPlant Sci*, 163, 1037-1046.
- Sairam, R. K., Srivastava, G. C., Agarwal, S. ve Meena, R. C., 2005, Differences in

- Antioxidant Activity in Response to Salinity Stress in Tolerant and Susceptible Wheat Genotypes, *Biol. Plant*, 49, 85-91.
- Salin, M. L., 1987, Toxic Oxygen Species and Protective System of The Chloroplast, *Physiol Plant*, 72, 681-689.
- Sangakkara, U., Frehner, M. ve Nösberger, J., 2001, Influence of soil moisture and fertilizer potassium on the vegetative growth of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186 (2), 73-81.
- Sgherry, C. L. M., Pinzino, C. ve Navari-Izzo, F., 1996, Sunflower Seedlings Subjected to Increasing Water Stress by Water Deficit: Changes in O₂ - Production Related to The Composition of Thylakoid Membranes, *Physiol Plant*, 96, 446- 452.
- Shalata, A. ve Tal, M., 1998, The Effect of Salt Stress on Lipid Peroxidation and Antioxidants in The Leaf of the Cultivated Tomato and Its Wild Salt-Tolerant Relative *Lycopersicon pennellii*. , *Physiol. Plant.*, 104, 169-174.
- Sivritepe, N., Erturk, U., Yerlikaya, C., Turkan, I., Bor, M. ve Ozdemir, F., 2008, Response of the cherry rootstock to water stress induced in vitro, *Biologia Plantarum*, 52 (3), 573.
- Smirnoff, N., 1993, The Role of Active Oxygen in The Response of Plants to Water Deficit and Desiccation. , *New Phytol.*, 125, 27-58.
- Sreenivasasulu, N., Grimm, B., Wobus, U. ve Weschke, W., 2000, Differential Response of Antioxidant Compounds to Salinity Stress in Salt- Tolerant and Salt-Sensitive Seedlings of Foxtail Millet (*Setaria italica*), *Physiol. Plant.*, 109, 435-442.
- Srivalli, B., Sharma, G. ve Khanna-Chopra, R., 2003, Antioxidative Defence System in Upland Rice Cultivar Subjected to Increasing Intensity of Water Stress Followed by Recovery, *Physiol. Plant.*, 119, 503-512.
- Streb, P. ve Feirabend, J., 1996, Oxidative Stress Responses Accompanying

- Photoinactivation of Catalase in NaCl-Treated Rye Leaves., *Bot. Acta.*, 109, 125-132.
- Stuhlfauth, T., Scheuermann, R. ve Fock, H. P., 1990, Light Energy Dissipation under Water Stress Conditions, *Plant Physiol.*, 92, 1053-1061.
- Tambussi, E. A., Bartolı, C. G., Beltrano, J., Guamet, J. J. ve Araus, J. L., 2000, Oxidative Damage to Thylakoid Proteins in Water-Stressed Leaves of Wheat (*Triticum aestivum*), *Physiol. Plant.*, 108, 398-404.
- Tanaka, K., Otsubo, T. ve Kondo, N., 1982, Participation of Hydrogen Peroxide in The Inactivation of Calvin Cycle SH-Enzymes in SO₂-Fumigated Spinach Leaves., *Plant Cell Physiol.*, 23, 1009-1018.
- Türkan, İ., 2002, Oksidatif Stres ve Bitkilerde Antioksidant Savunma Sistemleri. Biyolojik Bilimlerde Araştırma Yöntemleri Yaz Okulu, . 26. Ege Üniversitesi Ege Üniversitesi Basımevi: 193.
- Türkan, İ., Bor, M., Özdemir, F. ve Koca, H., 2005, Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant *P. acutifolius* Gray and drought-sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress, , *Plant Sci.*, 168, 223-231.
- Yaşar, F., Ellialtıoglu, S. ve Yildiz, K., 2008, Effect of salt stress on antioxidant defense systems, lipid peroxidation and chlorophyll content in green bean (*Phaseolous vulgaris* L.), *Rusian J. Plant Physiol.*, 55 (6), 1-5.
- Zhang , Y., Wang, L., Liu, Y., Zhang, Q., Wei, Q. ve Zhang, W., 2006, Nitric oxide enhances salt tolerance in maize seedlings through increasing activities of proton-pump and Na⁺/H⁺ antiport in the tonoplast. , *Planta*, 224, 545-555.