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

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 köklerindeki 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 Applicatıon on Development of Bean Plants under Drought Conditions

Mehmet Zengin

The Graduate School of Natural and Applied Science of Selçuk Unıversıty 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

Şekilk 4.19. Fasulye yapraklarının POX aktiviteleri (Ünite mg-1 protein) . Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir. 56

Şekil 4.20. Fasulye yapraklarının CAT aktiviteleri (nmol g^{-1} 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 büyümeyi 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 karşılaşırlar. 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 tanışırlar. 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 sakınma olarak iki tür kaçış mekanizmalarına sahiptirler. Bu noktada stresin olumsuz etkilerinden korunması morfolojik, anatomik ya da fizyolojik yollardan sakınma mekanizmasını, şiddetli bir stres meydana gelmeden önce bitkinin yaşam döngüsünü tamamlaması ise kaçınma mekanizmasını oluşturmaktadır.

Bitkilerde kuraklık stresini meydana gelmesini sağlayan fizyolojik olaylardan en belirgini, turgorun azalması ve stoma açıklığının daralmasıdır. Hücresel 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 kullanılamadığından, 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 hücresel düzeyde 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 lipit 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 O_2 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 radikalinin detoksifikasyonundan sorumlu enzimdir. Gossett ve ark. (1994)'nın deyimiyle SOD, süperoksitin (O_2.-) en önemli öğütücüsüdür ve bu enzimatik aktivite, H_2O_2 oluşumuyla sonuçlanır. Askorbat peroksidaz (APX) (EC 1.11.1.11) ve glutatyon redüktaz (GR) (EC 1.6.4.2) enzimleri ise, beraberce hidrojen peroksitin detoksifikosyonunda belirleyici rol oynamaktadır (Cakmak ve ark., 1993; (Cakmak., 1994). Hidrojen peroksit, Kalvin 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-glutatiyon 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 lipit 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 lipit 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 incelemişlerdir. 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 (Mckersıe 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 lipit peroksidasyonuna, yağ asidi doygunluğuna ve sonuçta membranların bütünüyle zarar görmesine neden olur (Sgherry ve ark., 1996).

Süperoksitin kendisi fazla reaktif değildir ve daha çok H_2O_2 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 (O_2- ve H_2O_2'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 bağlı 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 alışını azatlığını 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 artır (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 arttırılmasında 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 bağlı 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 iyounu alımının engellenerek bitki bünyesinde azalmasına neden olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar, araştırıcıların 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 alınımı 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 hücresel 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

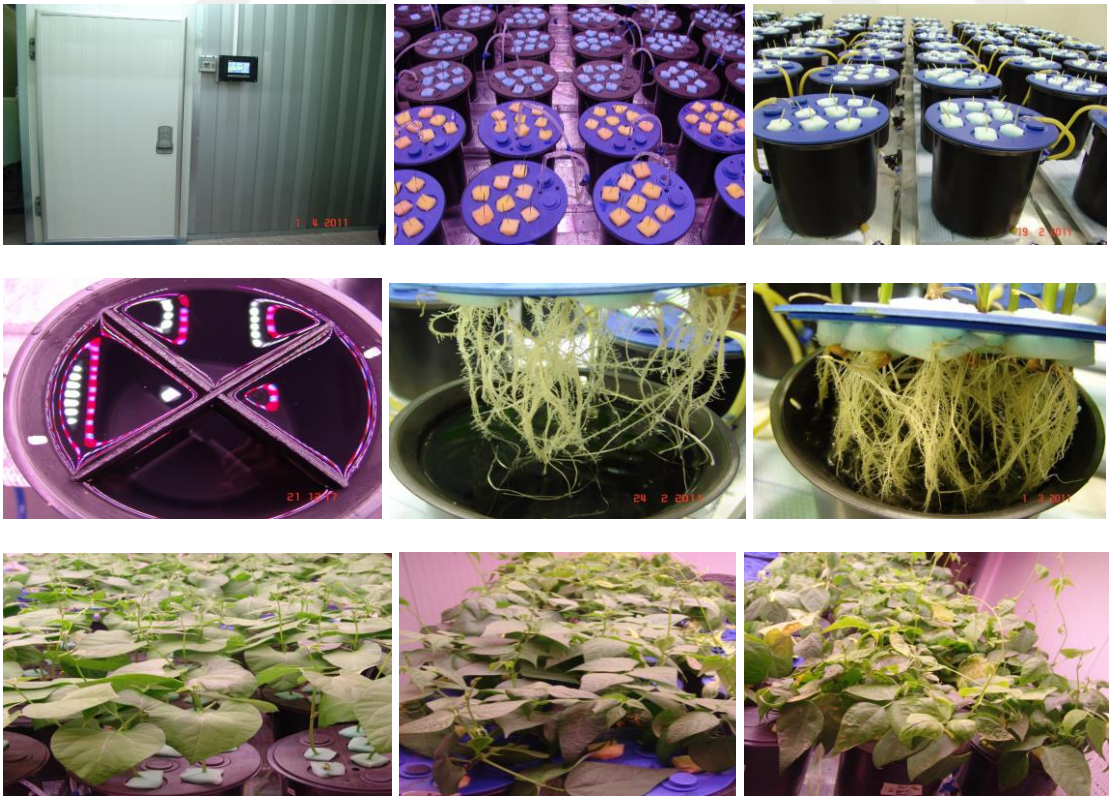
Araştırmada bitkisel materyal olarak bölgede en fazla tarımı yapılan Kanada bodur kuru fasulye genotipi kullanılmıştır. Denemede kullanılacak genotipin tarımsal özellikleri aşağıdaki gibidir.

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

Araşrırma kapsamında planlanmış olan çalışma Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü Bitki Yetiştirme Kabininde ve Bitki Fizyolojisi laboratuarlarında 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 ^{0}C sıcaklık ile 16000 Lüx/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 ^{0}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 şeklide 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 (K_1)	**Kontrol (K_1)**
100 ppm K uygulaması (K_2)	**100 ppm K uygulaması (K_2)**
200 ppm K uygulaması (K_3)	**200 ppm K uygulaması (K_3)**

şeklinde oluşturulmuştur.

Bitkiler ilk üç yapraklı evreye geldiklerinde uygulamaların ilk başlangıç günü, yani 0. gün örneklemeleri yapıldıktan sonra bitkiler araştımada belirlenen şekilde kontrol gurupları 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. örneklemeler yapılmıştır. Örneklemelerde 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 yıkanıp, 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 HNO_3+2 ml H_2O_2 ile yüksek sıcaklık (210 °C) ve yüksek basınç (200 PSI) altında mikrodalga cihazında (CEM Mars 5) çözündürülmüştür. 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 polyvinylpolyprrolidone (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 kullanılmıştırtır. 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 göstermektedirr.

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 H202 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 H202 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 H_20_2'nin azalma oranının belirlenmesi ile yapılacaktır. Bu enzim aktivitesi dakikada tüketilen µmol H_20_2 olarak

ifade edilecektir. Reaksiyon boyunca absorbansta oluşan düşüş 180 sn boyunca takip edilmiştir. CAT aktivitesi dakikada harcanan μmol H_20_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 okunmuşr. Prolin konsantrasyonu, kalibrasyon eğrisi kullanılarak hesaplanmış ve μmol 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 ^{0}C'lik bir su banyosunda 2 saat sürekli olarak tutulur. Ortamın elektrik iletkenliği EC metre ile ölçülerek (EC1) örnekler 121 ^{0}C'de 20 dk boyunca tüm dokuların ölmesi ve elektrolitlerin dışa çıkması için otoklavlanır. Sonra örnekler 25 ^{0}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 K_3 uygulamasında elde edilmiş, bunu azalan sıra ile kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup, 12,80 gr), K_2 (12,79gr) ve K_0 (10,60gr) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.1). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_3 dozunda kontrole göre %4 oranında bir artış olurken, K_2 dozunda farklılık olmadığı ve K_0 dozunda %17 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 4.1).

Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre gövde yaş ağırlık değerleri %31 oranında azalırken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K_2 uygulaması ve yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K_3 uygulamasında ise yaş ağrılık 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 K_0 uygulamasında %30 oranında, yeterli K uygulandığı koşularda ise %33 oranında K_2 ve K_3 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 K_2 ve K_3 uygulamalarında
%24 ve %15 oranlarında azalma olurken, K_0 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 K_1, bunu azalan sıra ile K_0 (4,93gr), K_2 (4,23gr) ve K_3 (4,16gr) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.2). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %27 oranında, K_2 dozunda %37 ve K_3 dozunda %38 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

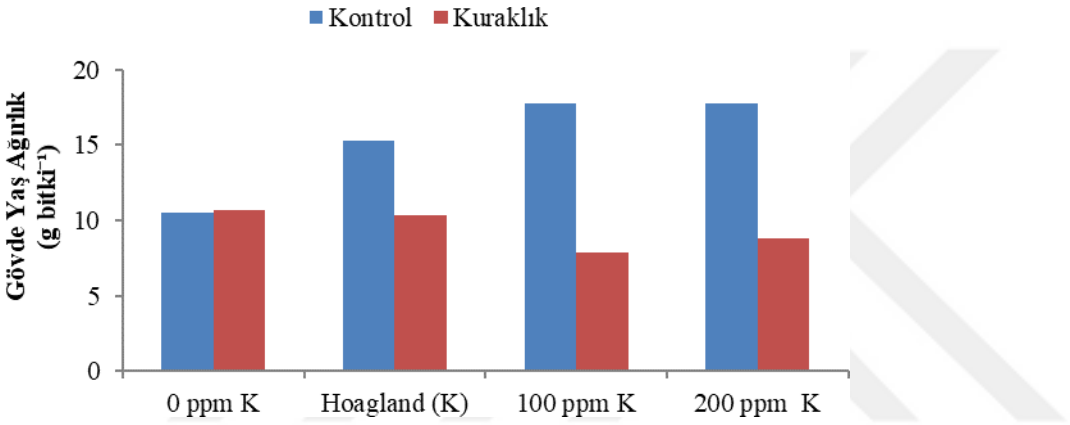
Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre kök yaş ağırlık değerleri %38 oranında, K_2 dozunda %26 ve K_3 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 K_0 uygulamasında %38 oranında, yeterli K uygulandığı koşularda ise %31 oranında, K_2 uygulamasında %68 ve K_3 uygulamalarında ise %55 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol gurubuna (10,31 g) göre K_0 uygulamasında %11 oranında, K_2 uygulamasında %53 oranında ve K_3 uygulamasında ise %34 oranında azalmalar olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.1. Fasulye genotipinin gövde yaş ağırlık değerleri (g bitki^{-1}). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

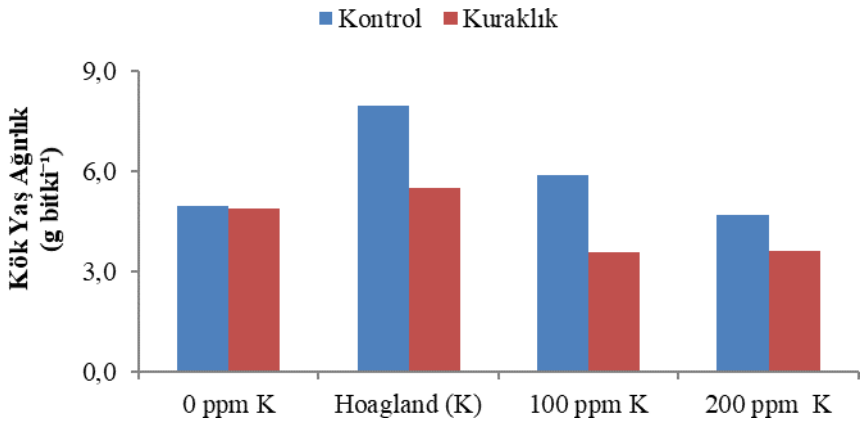
Gövde Yaş Ağırlık (g bitki^{-1})						
mg kg^{-1}	**Kontrol**		**Kurak**			
	g bitki^{-1}	**%Değişim**	**g bitki^{-1}**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K_0	10,49	*-31*	10,72	*-30*	***10,60***	***-17***
K_1	15,29		10,31	*-33*	***12,80***	
K_2	17,75	*16*	7,83	*-49*	***12,79***	***0***
K_3	17,77	*16*	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**			
	g bitki^{-1}	**%Değişim**	**g bitki^{-1}**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K_0	4,96	*-38*	4,90	*-38*	**4,93**	***-27***
K_1	7,94		5,51	*-31*	**6,72**	
K_2	5,88	*-26*	2,58	*-68*	**4,23**	***-37***
K_3	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 K_1 (Kontrol) uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_2 (1,32 g), K_0 (1,31 g) ve K_3 (1.20 g) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.3). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_3 dozunda kontrole göre %14 oranında bir azalma olurken bu azalma K_0 ve K_2 dozlarında %6 oranında olmuştur. (Tablo 4.3).

Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre gövde kuru ağırlık değerleri %9 oranında azalırken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K_2 uygulamasında kontrol gurubu ile arasında farklılık olmadığı, yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K_3 uygulamasında ise kuru ağrılık 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 K_0 uygulamasında %25 oranında azaldığı, yeterli K uygulandığı koşularda ise %22 oranında azalma, K_2 uygulamasında %30 ve K_3 uygulamasında ise %37 oranında azalmanın olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol grubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda %3 oranında, K_2 dozunda %11 ve K_3 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 K_1, bunu azalan sıra ile K_0 (0,34g), K_2 ve K_3 (0,31g) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.4). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %3 oranında, K_2 ve K_3 dozunda %11 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre kök kuru

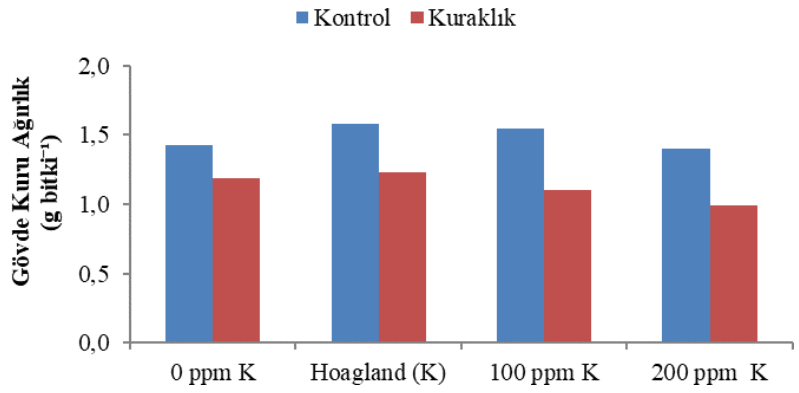
ağırlık değerleri %3 oranında artarken, K_2 dozunda %13 ve K_3 dozunda %10 oranında azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.4, Şekil 4.4). Kurak koşullarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol grubu K_1, 0,39 g) göre kuru ağırlık değerleri K_0 uygulamasında %26 oranında, yeterli K uygulandığı koşularda ise %21 oranında, K_2 uygulamasında %26 ve K_3 uygulamalarında ise %31 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol gurubuna (0,31 g) göre K_3 uygulamasında %13 oranında bir azalma olurken bu azalma K_0 ve K_2 uygulamasında %6 oranında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Fasulye genotipinin gövde kuru ağırlık değerleri (g bitki^{-1}). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

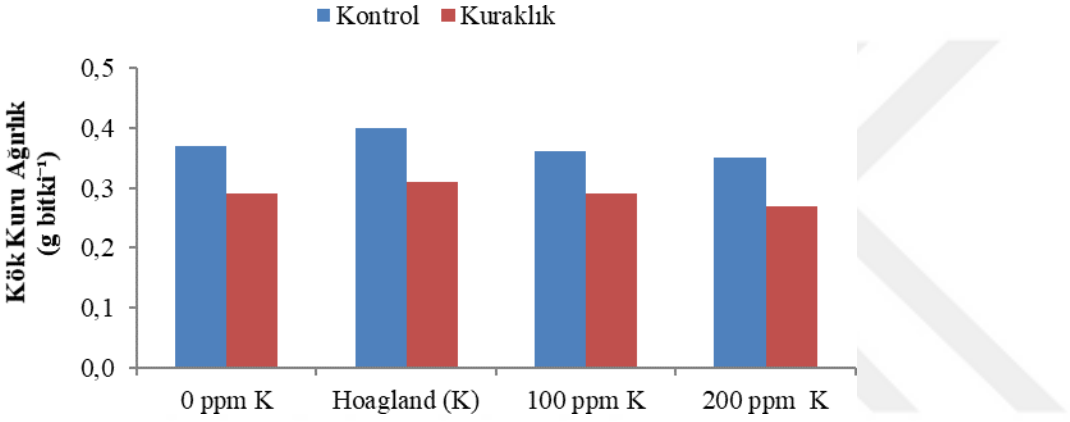
mg kg^{-1}	**Gövde Kuru Ağırlık (g bitki^{-1})**					
	Kontrol		**Kurak**			
	g bitki^{-1}	**%Değişim**	**g bitki^{-1}**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K_0	1,43	*-9*	1,19	*-25*	**1,31**	***-14***
K_1	1,58		1,23	*-22*	**1,40**	
K_2	1,55	*0*	1,10	*-30*	**1,32**	***-6***
K_3	1,40	*-11*	0,99	*-37*	**1,20**	***-6***
Ortalama	**1,49**		**1,13**			

Tablo 4.4. Fasulye genotipinin kök kuru ağırlık değerleri (g bitki^{-1}). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

Kök Kuru Ağırlık (g bitki^{-1})						
mg kg^{-1}	**Kontrol**		**Kurak**			
	g bitki^{-1}	**%Değişim**	**g bitki^{-1}**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K_0	0,40	*3*	0,29	*-26*	**0,34**	***-3***
K_1	0,39		0,31	*-21*	**0,35**	
K_2	0,34	*-13*	0,29	*-26*	**0,31**	***-11***
K_3	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 K_1 (Kontrol) uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_0 (42,21 cm), K_3 (41,88 cm) ve K_2 (36,54 cm) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.5). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_2 dozunda kontrole göre %18 oranında bir azalma olurken bu azalma K_0 ve K_3 dozlarında ise sırasıyla %5 ve %6 oranında olmuştur. (Tablo 4.5).

Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları

mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre gövde boyu değerleri %4 oranında azalırken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K_2 uygulamasında kontrol gurubu ile arasında farklılık olmadığı, yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K_3 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 K_0 uygulamasında %13 oranında artarken, yeterli K uygulandığı koşularda ise %21 oranında artış, K_2 uygulamasında %20 oranında ve K_3 uygulamasında ise %11 oranında azalma olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda %6 oranında, K_2 dozunda %34 oranında ve K_3 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 K_1 (21,25 cm), K_0 (20,92 cm) ve K_2 (16,56 cm) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.6). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_2 dozunda kontrole göre %22 oranında, K_0 dozunda %2 oranında azalma görülürken, K_3 uygulamasında kontrol gurubu ile arasında farklılık olmadığı tespit edilmiştir.

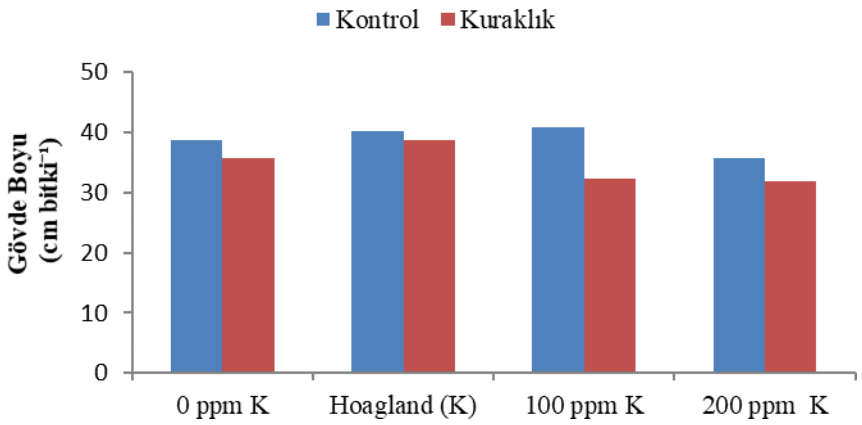
Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre kök boyu değerleri %13 oranında ve K_2 dozunda %17 oranında azalma görülürken, K_3 dozunda ise %10 oranında artış olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.6, Şekil 4.6). Kurak koşullarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K_1, 23 cm) göre kök boyu değerleri K_0 uygulamasında %5 oranında, yeterli K uygulandığı koşularda ise %15 oranında, K_2 uygulamasında %39 ve K_3 uygulamalarında ise %24 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol gurubuna (19,50 cm) göre K_0 uygulamasında %12 oranında bir artış olurken, K_2 ve K_3 uygulamalarında sırasıyla %28 ve %11 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4.5. Fasulye genotipinin gövde boyu değerleri (cm bitki^{-1}). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

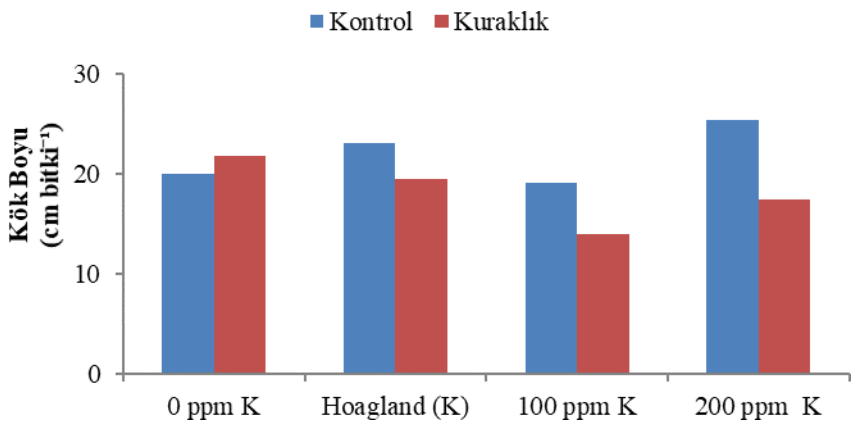
Gövde Boyu (cm bitki^{-1})						
mg kg^{-1}	**Kontrol**		**Kurak**			
	cm bitki^{-1}	**%Değişim**	**cm bitki^{-1}**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K$_0$	38,75	*-4*	45,67	*13*	**42,21**	***5***
K$_1$	40,25		48,67	*21*	**44,46**	
K$_2$	40,75	*0*	32,33	*-20*	**36,54**	***-18***
K$_3$	48,00	*19*	35,75	*-11*	**41,88**	***6***
Ortalama	**41,94**		**40,61**			

Tablo 4.6. Fasulye genotipinin kök boyu değerleri (cm bitki^{-1}). Sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

mg kg^{-1}	**Kök Boyu (cm bitki^{-1})**					
	Kontrol		**Kurak**			
	cm bitki^{-1}	**%Değişim**	**cm bitki^{-1}**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K$_0$	20,00	*-13*	21,83	*-5*	**20,92**	***-2***
K$_1$	23,00		19,50	*-15*	**21,25**	
K$_2$	19,13	*-17*	14,00	*-39*	**16,56**	***-22***
K$_3$	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 K_3 uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_2 (3,51gr), K_1 (2,49gr) ve K_0 (1,04gr) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.7). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %58 oranında bir azalma olurken, K_2 ve K_3 dozlarında ise sırasıyla %41 ve %50 oranında artış olmuştur. (Tablo 4.7).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre K değerleri %60 oranında azalırken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K_2 ve K_3 uygulamalarnda %50 artış gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.7, Şekil 4.7). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K_1, 2,52) göre gövde K değerleri kurak koşullarda K0 uygulamasında %58 oranında, yeterli K_1 uygulandığı koşularda %2 oranında azalırken, K_2 uygulamasında %29 oranında ve K_3 uygulamasında ise %48 oranında artış olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi

içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda %57 oranında azalırken, K_2 dozunda %32 oranında ve K_3 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 K_3 uygulaması, bunu azalan sıra ile K_2 (3,79), K_1 (2,31) ve K_0 (1,23) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.8). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %47 oranında bir azalma olurken, K_2 ve K_3 uygulamalarında sırasıyla kontrol gurubuna göre %64 ve %71 oranında bir artış oldugu tespit edilmiştir.

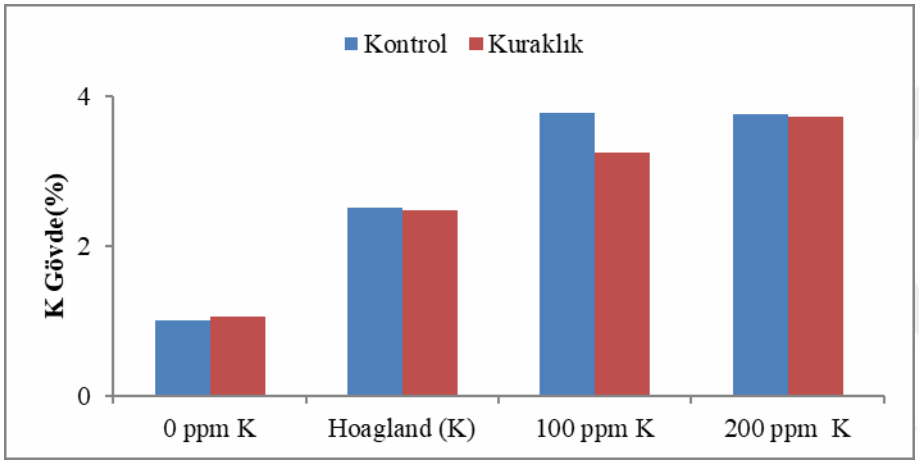
Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre kök K değerleri %48 oranında azalırken, K_2 dozunda ve K_3 dozunda sırasıyla %94 ve %105 oranında artış olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.8, Şekil 4.8). Kurak şartlarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K_1, 2,23) göre kök K değerleri K_0 uygulamasında %42 oranında azalırken, yeterli K uygulandığı koşularda %7 oranında, K_2 uygulamasında %46 ve K_3 uygulamalarında ise %49 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol grubuna (2,39) göre K_0 uygulamasında %46 oranında azalırken, K_2 ve K_3 uygulamalarında sırasıyla %36 ve %39 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

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

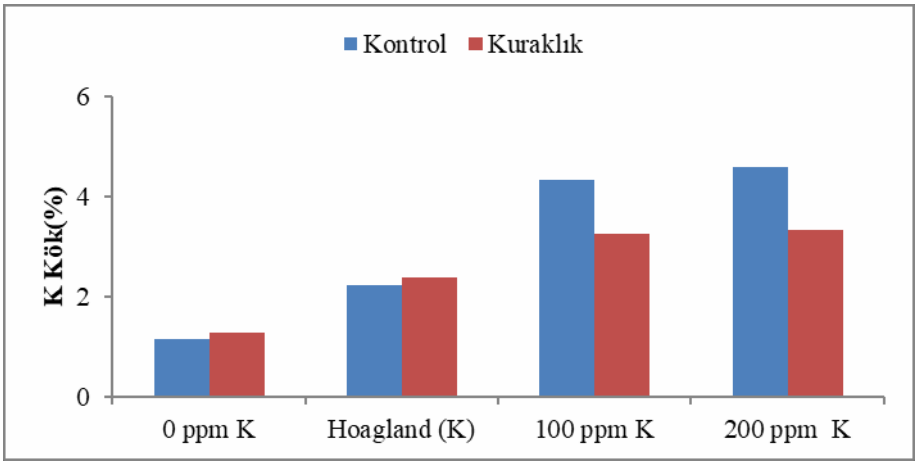
nmol g^{-1} YA	**K Gövde**					
	Kontrol		**Kurak**			
	nmol g^{-1} YA	**%Değişim**	**nmol g^{-1} YA**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K_0	1,01	*-60*	1,06	*-58*	**1,04**	***-58***
K_1	2,52		2,47	*-2*	**2,49**	
K_2	3,77	*50*	3,25	*29*	**3,51**	***41***
K_3	3,76	*50*	3,72	*48*	**3,74**	***50***
Ortalama	**2,27**		**2,62**			

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

nmol g^{-1} YA	K Kök					
	Kontrol		Kurak			
	nmol g^{-1} YA	%Değişim	nmol g^{-1} YA	%Değişim	Ort.	%Değişim
K_0	1,17	*-48*	1,29	*-42*	**1,23**	*-47*
K_1	2,23		2,39	*7*	**2,31**	
K_2	4,32	*94*	3,26	*46*	**3,79**	*64*
K_3	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 K_0 uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_1 ve K_3 (0,30) ve K_2 (0,29) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.9). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %53 oranında bir artma olurken, K_2 dozunda %3 azalırken, K_3 dozunda ise kontrole göre değişim olmamıştır. (Tablo 4.9).

Potasyum uygulamalarının 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 koşullarında kontrole göre Mg değerlerinde

%57 oranında, K_2 de %7 ve K_3 uygulamasında %3 artış gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.9, Şekil 4.9). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K_1, 0,30) göre gövde Mg değerleri kurak koşullarda K_0 uygulamasında %47 oranında artarken, yeterli K_1 uygulandığı koşularda herhangi bir farklılık görülmemiştir, K_2 ve K_3 uygulamalarında sırasıyla %10 ve %3 oranında azalmalar olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda %47 oranında artış olurken, K_2 dozunda %10 oranında ve K_3 dozunda %3 oranında azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Kök Mg değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerde potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek kök Mg değeri 0,69 ile K_1 uygulaması, bunu azalan sıra ile K_0 (0,60), K2 (0,35) ve K_3 (0,32) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.10). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %13 oranında, K_2 %49 oranında ve K_3 %54 oranında bir azalma oldugu tespit edilmiştir.

Potasyum uygulamalarının kontrol gurubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre kök Mg değerleri %13 oranında azalırken, K_2 dozunda ve K_3 dozunda sırasıyla %41 ve %55 oranında azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.10, Şekil 4.10). Kurak şartlarda potasyum

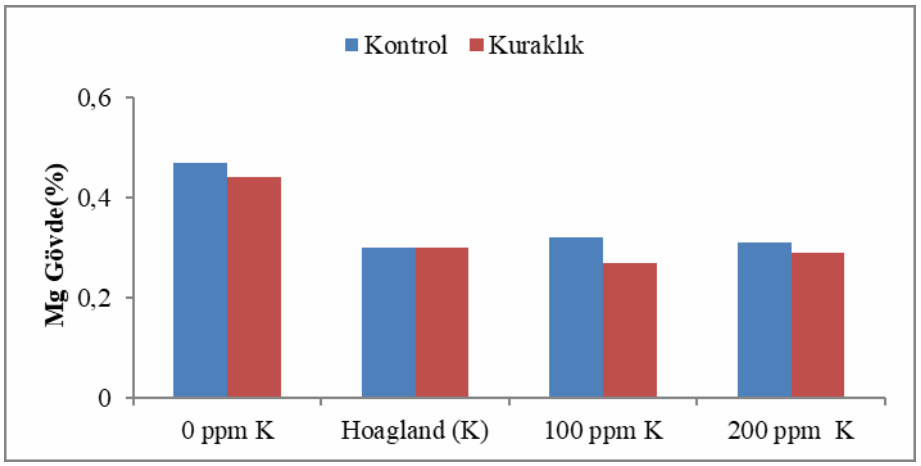
uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K_1, 0,71) göre kök Mg değerleri K_0 uygulamasında %18 oranında, yeterli K uygulandığı koşularda %6 oranında, K_2 uygulamasında %62 ve K3 uygulamalarında ise %54 oranında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol grubuna (2,39) göre K_0 uygulamasında %13 oranında, K_2 %60 oranında ve K_3 %51 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

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

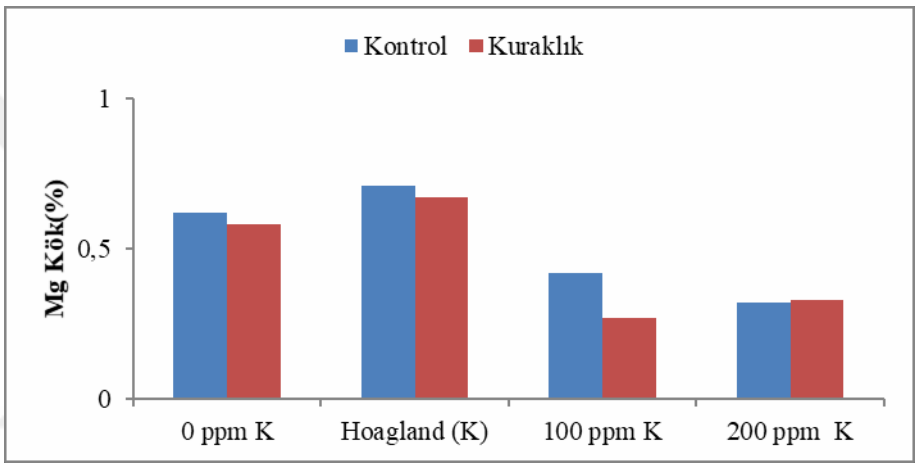
nmol g^{-1} YA	**Mg Gövde**					
	Kontrol		**Kurak**			
	nmol g^{-1} YA	**%Değişim**	**nmol g^{-1} YA**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K_0	0,47	*57*	0,44	*47*	**0,46**	*53*
K_1	0,30		0,30	*0*	**0,30**	
K_2	0,32	*7*	0,27	*-10*	**0,29**	*-2*
K_3	0,31	*3*	0,29	*-3*	**0,30**	*0*
Ortalama	**0,35**		**0,32**			

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

nmol g^{-1} YA	**Mg Kök**					
	Kontrol		**Kurak**			
	nmol g^{-1} YA	**%Değişim**	**nmol g^{-1} YA**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K_0	0,62	*-13*	0,58	*-18*	**0,60**	*-13*
K_1	0,71		0,67	*-6*	**0,69**	
K_2	0,42	*-41*	0,27	*-62*	**0,35**	*-49*
K_3	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 K_0 uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_1 (1,84) ve K_2 (1,33) ve K_3 (0,29) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.11). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %13 oranında bir artma olurken, K_2 dozunda %28 oranında, K_3 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 K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre Ca değerleri %14 oranında artarken , K_2 %16 ve K_3 uygulamasında %31 oranlarında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.11, Şekil 4.11). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K_1, 1,91) göre gövde Ca değerleri kurak koşullarda K_0 uygulamasında %3 oranında artarken, yeterli K_1 uygulandığı koşullarda %7, K_2 %46 ve K_3 %34 oranında azalmalar olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol grubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda %11 oranında artış olurken, K_2 dozunda %41 oranında ve K_3 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 K_1 uygulaması, bunu azalan sıra ile K_2 (0,49), K3 (0,45) ve K_0 (0,43) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.12). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %30 oranında, K_2 %20 oranında ve K_3 %26 oranında bir azalma oldugu tespit edilmiştir.

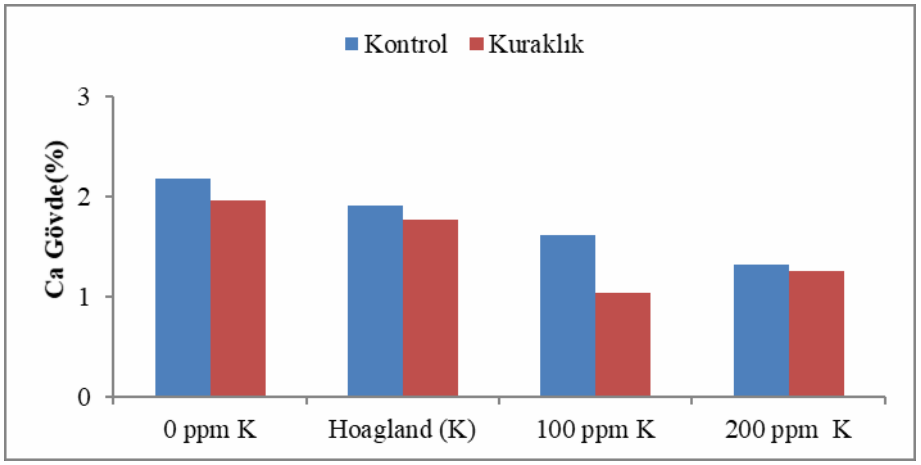
Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre kök Ca değerleri %34 oranında, K_2 dozunda %26 ve K3 dozunda %33 azalma olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.12, Şekil 4.12). Kurak şartlarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına (Kontrol grubu K_1, 0,73) göre kök Ca değerleri K_0 uygulamasında %48 oranında, yeterli K uygulandığı koşularda %34 oranında, K_2 uygulamasında %40 ve K_3 uygulamalarında ise %44 oranında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol grubuna (0,48) göre K_0 uygulamasında %21 oranında, K_2 %8 oranında ve K_3 %15 oranında azalma olduğu belirlenmiştir.

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

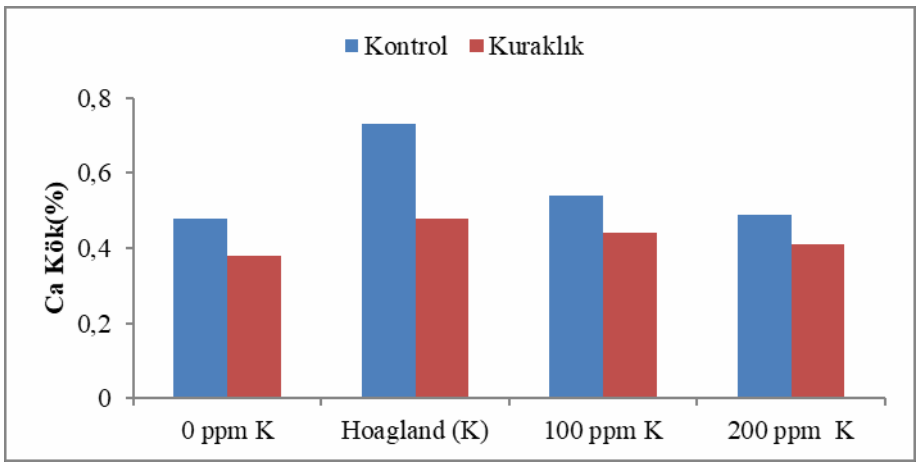
nmol g^{-1} YA	Ca Gövde					
	Kontrol		Kurak			
	nmol g^{-1} YA	%Değişim	nmol g^{-1} YA	%Değişim	Ort.	%Değişim
K_0	2,18	*14*	1,96	*3*	**2,07**	*13*
K_1	1,91		1,77	*-7*	**1,84**	
K_2	1,61	*-16*	1,04	*46*	**1,33**	*-28*
K_3	1,32	*-31*	1,26	*34*	**1,29**	*-30*
Ortalama	**1,76**		**1,51**			

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

nmol g_{-1} YA	Ca Kök					
	Kontrol		Kurak			
	nmol g_{-1} YA	%Değişim	nmol g_{-1} YA	%Değişim	Ort.	%Değişim
K_0	0,48	*-34*	*0,38*	*-48*	**0,43**	*-30*
K_1	0,73		*0,48*	*-34*	**0,61**	
K_2	0,54	*-26*	*0,44*	*-40*	**0,49**	*-20*
K_3	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 uygulamalrında %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 K_1 (0,66), K_3 (0,41) ve K_0 (0,34) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.14).Uygulanan Na dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %18 oranında artarken, K_2 %52 oranında ve K_3 %38 oranında bir azalma oldugu tespit edilmiştir.

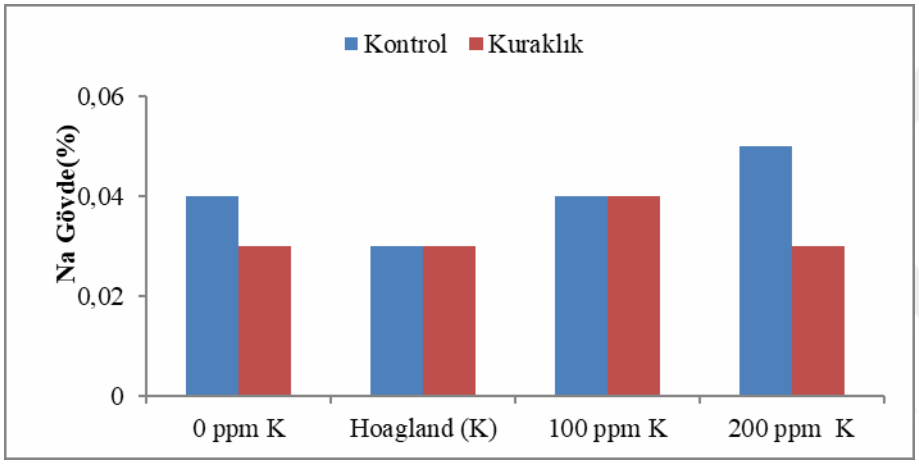
Kök Na değerleri ile ilgili yapılan ölçümlerde potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre kök Na değerleri %4 oranında azalırken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K_2 uygulamasında kontrol grubuna göre %41 oranında azalmıştır, yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K_3 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 K_1) göre kök Na değerleri kurak koşullarda K_0 uygulamasında %6 oranında azaldığı, yeterli K uygulandığı koşularda ise %39 oranında azalma, K_2 uygulamasında %74 oranında azaldığı ve K_3 uygulamasında ise %73 oranında azalmanın olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda %54 oranında artış görülürken, K_2 uygulamasında %58 oranında azalma ve K_3 uygulamasına göre kök Na değerlerinde %56 oranında azalma görüldüğü belirlenmiştir.

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

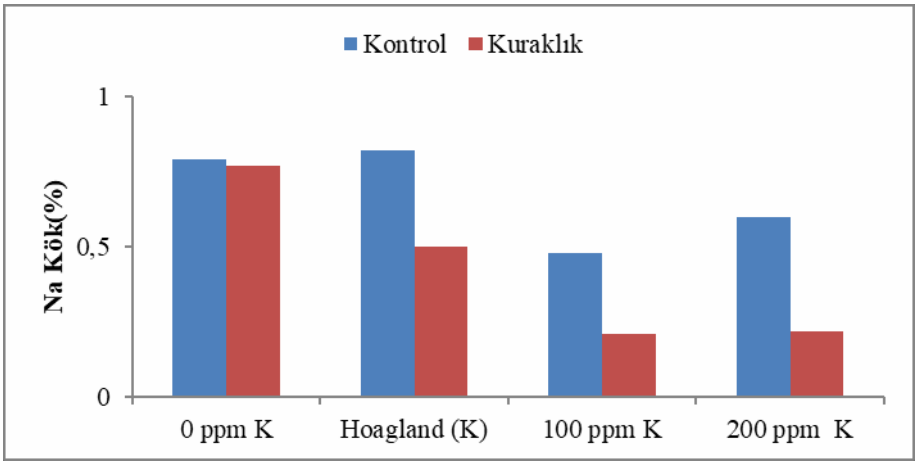
nmol g^{-1} YA	**Na Gövde**					
	Kontrol		**Kurak**			
	nmol g^{-1} YA	**%Değişim**	**nmol g^{-1} YA**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K_0	0,04	*33*	0,03	*0*	**0,04**	*33*
K_1	0,03		0,03	*0*	**0,03**	
K_2	0,04	*33*	0,04	*33*	**0,04**	*33*
K_3	0,05	*67*	0,03	*0*	**0,04**	*33*
Ortalama	**0,04**		**0,03**			

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

nmol g^{-1} YA	Na Kök					
	Kontrol		Kurak			
	nmol g^{-1} YA	%Değişim	nmol g^{-1} YA	%Değişim	Ort.	%Değişim
K_0	0,79	*-4*	0,77	*-6*	**0,78**	*18*
K_1	0,82		0,50	*-39*	**0,66**	
K_2	0,48	*-41*	0,21	*-74*	**0,34**	*-52*
K_3	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.

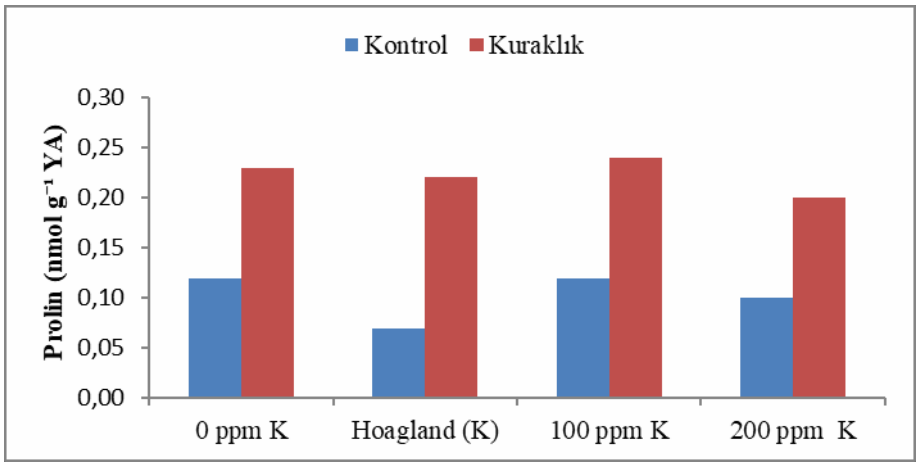
4.2.Prolin Bulguları

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 K_0 ve K_2 uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_3 (0,15) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.15). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_3 dozunda kontrole göre %7 oranında bir artış olurken, K_0 ve K_2 dozlarında %29 oranında olmuştur. (Tablo 4.15).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında ve yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K_2 uygulamasında kontrole göre Prolin değerleri %29 oranında artarken, yeterli K uygulamasının 3 katı oranda uygulandığı K_3 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 K_1, 0,07 g) göre prolin değerleri kurak koşullarda K_0 uygulamasında %229 oranında artarken, yeterli K uygulandığı koşularda ise %214 oranında artma, K2 uygulamasında %243 ve K_3 uygulamasında ise %186 oranında artışın olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda prolin değerleri %5 artarken, K_2 uygulamalarında prolin değerleri %9 oranında artma, K_3 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 K_0 uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_2 (26,69gr) ve K_3 (25,93gr) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.16). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %16 oranında bir artış olurken, K_2 uygulamasında %8 ve K_3 dozlarında %5 oranında artma olmuştur. (Tablo 4.16).

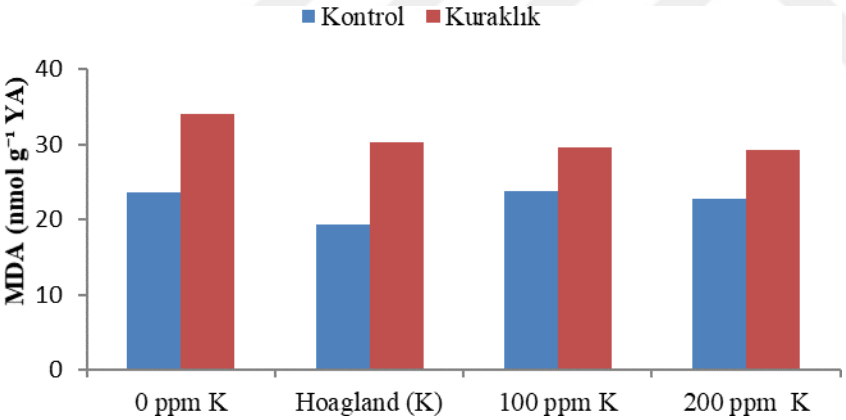
Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre MDA değerleri %22 oranında artarken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranda uygulandığı K_2 uygulamasında %23 oranında artış, yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K_3 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 K_1) göre MDA değerleri kurak koşullarda K_0 uygulamasında %76 oranında arttığı, yeterli K uygulandığı koşularda ise %56 oranında artma, K_2 uygulamasında %54 ve K_3 uygulamasında ise %51 oranında artışın olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi

içerisinde potasyum uygulamaları ile mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda %13 oranında artma ve K_2 uygulamalarında MDA değerleri %2 oranında azalırken, K_3 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			
	nmol g^{-1} YA	%Değişim	nmol g^{-1} YA	%Değişim	Ort.	%Değişim
K_0	23,53		34,03		**28,78**	*16*
K_1	19,30		30,20		**24,75**	
K_2	23,73		29,65		**26,69**	*8*
K_3	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.

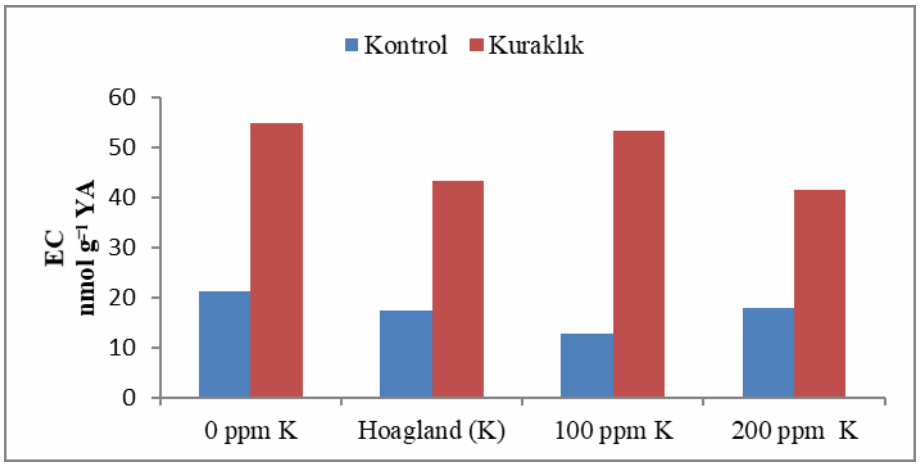
Potasyum dozlarının elektrolit sızıntısı üzerine etkisi istatistiki olarak önemli bulunmuştur (Tablo 4.17). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek

elektrolit sızıntısı 38,08 ile K_0 uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_2 (33,06), K_1 (30,35) ve K_3 (29,74) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.17). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %25, K_2 dozunda %9 oranında bir artma olurken, K_3 dozunda %2 oranında bir azalma olmuştur. (Tablo 4.17).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre elektrolit sızıntısı %23 oranında, K_3 %3 oranında artarken, K_2 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 K_0 uygulamasında %216 oranında artarken, yeterli K_1 uygulandığı koşularda %149, K_2 uygulamasında %207 ve K_3 uygulamasında %139 oranında artış olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları ile mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda %27, K_2 dozunda %23 oranında artış olurken, K_3 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**			
	nmol g^{-1} YA	**%Değişim**	**nmol g^{-1} YA**	**%Değişim**	**Ort.**	**%Değişim**
K_0	21,33	*23*	54,83	*216*	**38,08**	*25*
K_1	17,37		43,32	*149*	**30,35**	
K_2	12,86	*-26*	53,26	*207*	**33,06**	*9*
K_3	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 antioksidant enzim aktivitelerinin belirlenmesi için; süperoksit dismütaz (SOD), peroksidaz (POX), katalaz (CAT) ölçümleri yapılmış, bu değerlere ait ortalama antioksidant 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.

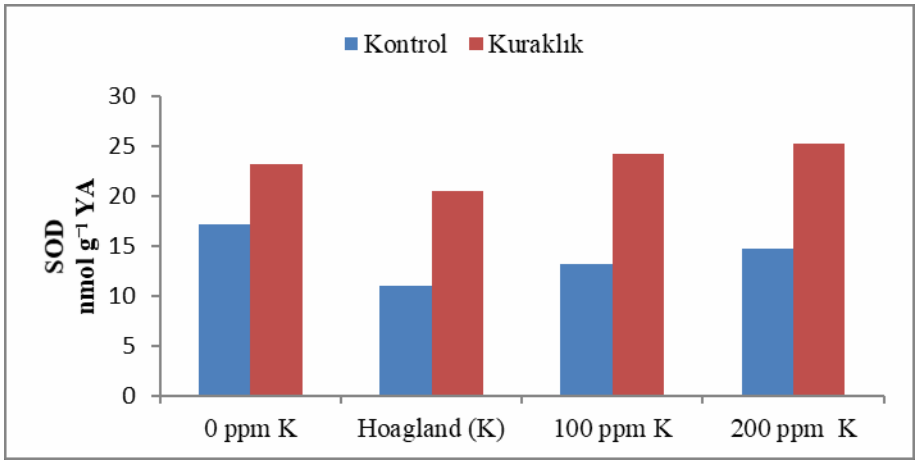
(Tablo 4.18). Kuraklık ve potasyum dozlarının ortalaması olarak en yüksek SOD aktivite düzeyi 20,25 ile K_0 uygulamasında elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_3 (20,00) uygulaması, K_2 (18,75), kontrol grubu olan K_1 (yeterli K ihtiva eden gurup) (15,75) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.18). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_3 dozunda kontrole göre %27 oranında, K_2 dozunda %19 oranında ve K_0 dozunda %29 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. (Tablo 4.18).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre SOD aktive

düzeyinde %57 oranında artarken, yeterli K uygulamasının 2 katı oranında uygulandığı K_2 uygulamasında %20 oranında ve yeterli K uygulamasının 3 katı uygulandığı K_3 uygulamasında ise %34 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir. (Tablo 4.18, Şekil 4.18). Kurak şartlarda potasyum uygulandığı koşullarda kontrol uygulamasına göre SOD aktivite değerleri K_0 uygulamasında %111 oranında, yeterli K uygulandığı koşularda ise %86 oranında, K_2 uygulamasında %120 oranında ve K_3 uygulamalarında ise %130 oranlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Kurak koşullar kendi içerisinde değerlendirildiğinde potasyum uygulamalarına bağlı olarak kontrol gurubuna göre K_0 uygulamasında %13 oranında, K_2 uygulamasında %18 oranında ve K_3 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			
	nmol g^{-1} YA	%Değişim	nmol g^{-1} YA	%Değişim	Ort.	%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

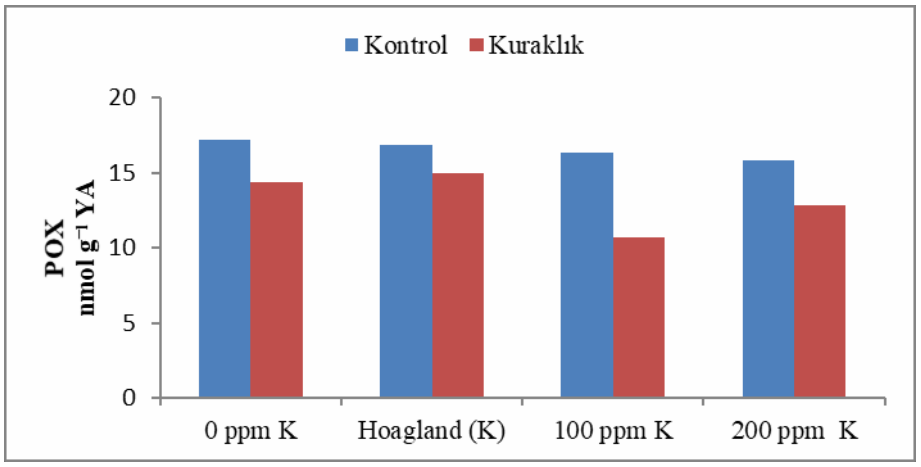
uygulamalara bağlı olarak azalma göstermiştir (Tablo 4.19, Şekil 4.19).

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 K_1 uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_0 (15,80), K_3 (14,34) ve K_2 (13,51) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.19). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %1, K_2 dozunda %15, K_3 dozunda %10 oranında bir azalma olmuştur. (Tablo 4.19).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre POX aktivite değerleri %2 oranında artarken, K_2 %3 oranında, K_3 uygulamasında %6 oranında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.19, Şekil 4.19). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K_1, 16,85) göre POX aktivite değerleri kurak koşullarda K0 uygulamasında %15, yeterli K_1 uygulandığı koşularda %11, K_2 uygulamasında %37 ve K_3 uygulamasında %24 oranında azalma olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol gurubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda %4, K_2 dozunda %29, K_3 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
K_0	17,20	*2*	14,40	*- 15*	**15,80**	*-1*
K_1	16,85		14,98	*-11*	**15,91**	
K_2	16,35	*-3*	10,68	*-37*	**13,51**	*-15*
K_3	15,83	*-6*	12,85	*-24*	**14,34**	*-10*
Ortalama	**16,56**		***13,23***			



Şekilk 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)

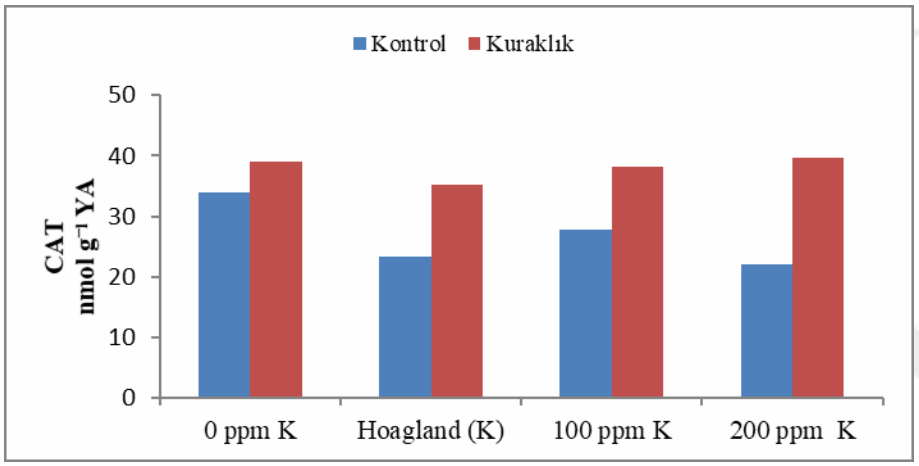
Araştırmada kullanılan fasulye genotipinin CAT aktiviteleri genel olarak uygulamalara bağlı olarak artış göstermiştir (Tablo 4.20, Şekil 4.20).

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 K_0 uygulamasından elde edilmiş, bunu azalan sıra ile K_2 (33,00), K_3 (30,86) ve K_1 (29,25) uygulamaları takip etmiştir (Tablo 4.21). Uygulanan potasyum dozlarının ortalamaları dikkate alındığında K_0 dozunda kontrole göre %25, K_2 dozunda %13, K_3 dozunda %6 oranında bir artış olmuştur. (Tablo 4.21).

Potasyum uygulamalarının kontrol grubunu oluşturan koşullara göre farklılıklar gösterdiği, kontrol uygulaması olan K_1 (yeterli K ihtiva eden grup) diğer K dozları ile mukayese edildiğinde, hiç K uygulanmayan K_0 koşullarında kontrole göre CAT aktivite değerleri %46, K_2 de %19 oranında artış görülürken, K_3 uygulamasında %5 oranında azalma gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 4.21, Şekil 4.21). Kurak koşullarda potasyum uygulamasında ise kontrol uygulamasına (Kontrol gurubu K_1, 23,25) göre CAT aktivite değerleri kurak koşullarda K_0 uygulamasında %68, yeterli K_1 uygulandığı koşularda %52, K_2 uygulamasında %65 ve K_3 uygulamasında %71 oranında artış olduğu görülmüştür. Kurak koşullar kendi içerisinde potasyum uygulamaları mukayese edildiğinde kontrol grubunu oluşturan K_1 uygulamasına göre K_0 dozunda %11, K2 dozunda %9, K_3 dozunda %13 oranlarında artış gösterdiği belirlenmiştir.

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

nmol g^{-1} YA	CAT Kontrol		Kurak		Ortalama	
	nmol g^{-1} YA	%Değişim	nmol g^{-1} YA	%Değişim	%Değişim	
K_0	34,00	*46*	39,00	*68*	**36,50**	*25*
K_1	23,25		35,25	*52*	**29,25**	
K_2	27,75	*19*	38,25	*65*	**33,00**	*13*
K_3	22,00	*-5*	39,75	*71*	**30,86**	*6*
Ortalama	**26,75**		**38,06**			



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

5.SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bitkiler yaşam süreçleri içerisinde değişik stres koşulları ile karşılaşırlar. 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 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); (Garcıa-Mata ve Lamattına, 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 hücresel zararlara yol açabilir ((Alscher ve ark., 1997); (Mıttler, 2002); (Neıll ve ark., 2002b)). Reaktif O_2 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 H_2O_2'nin düzenlenmesinde rol oynar; fakat POX, GR ve SOD en önemlilerindendir.

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); (Mıllar ve Day, 1996)).

Peroksidazlar sadece üretilen H_2O_2' 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 H_2O ya da H_2O_2'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 (Elstner 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 H_2O_2 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., Sergıev, 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 Exess 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.), *Envionmental 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., Atlı, 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 H202 Scavenging Enzymes and Leaf Chlorosis are Enhancend in Magnesium and Potassium Deficient Leaves, But Nat in Pohsphorus Deficient Leaves. , *J. Exp. Bot.*, 45, 1259-1266. .

Charles, S. A. ve Halliwell, B., 1980, 1980, Effect of Hydrogen Peroxide on Spinach (Spinacia oleraceae) Chloroplast Fructose Biphosphatase. , *Biochem. J.*,, 189, 373-376.

Chen, G. ve Asada, K., 1989, Ascorbat Peroxidase in Tea Leaves: Occurrence of to Isozymes and the Differances in their Enzimatic 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, *1.*

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.

Garcıa-Mata, C. ve Lamattına, 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, Senescense 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 ın Biology and Medicine, *Oxford: Clarendon Press.*

Hernandez, J. A., Jimenez, A., Mullineaux, P. ve Sevılla, F., 2000, olerance 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.

Kawasakı, 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 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.

Leı, 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., Kontturı, 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*. Mckersıe, 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.

Mıllar, A. ve Day, D., 1996, Nitric oxide inhibits the cytochrome oxidase but not the alternative oxidase of plant mitochondria., *FEBS Lett*, 398, 155-158.

Mıttler, 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 ın 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., Ghooshci, 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.

Neıll, S. J., Desıkan, 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, brupt 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., Chaıtanya, K. V., Jutur, P. P. ve Sumıthra, 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 Srıvastava, 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., Srıvastava, 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 Oxiygen 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., Pınzıno, C. ve Navarı-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 avd 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 ın The Response of Plants to Water Deficit and Desiccation. , *New Phytol.*, 125, 27-58.

Sreenivasasulu, N., Grinm, 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., Guıamet, 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., Ellialtioglu, 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.