

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine Mine GÖKBOĞA

**POTASYUM BESLENMESİNİN TUZ STRESİ ALTINDAKİ MAKARNALIK
BUĞDAYDA ANTIOKSİDATİF SAVUNMA SİSTEMLERİ ÜZERİNE
ETKİSİ**

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ADANA, 2014

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POTASYUM BESLENMESİNİN TUZ STRESİ ALTINDAKİ MAKARNALIK BUĞDAYDA
ANTIOKSİDATİF SAVUNMA SİSTEMLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Emine Mine GÖKBOĞA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

Bu Tez 27/01/14 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Selim EKER Doç. Dr. E. Bülent ERENOĞLU Yrd. Doç. Dr. Sema KARANLIK
DANIŞMAN ÜYE ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında
hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: ZF2013YL10

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

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POTASYUM BESLENMESİNİN TUZ STRESİ ALTINDAKİ MAKARNALIK BUĞDAYDA ANTIOKSİDATİF SAVUNMA SİSTEMLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Emine Mine GÖKBOĞA

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Selim EKER
Yıl: 2014, Sayfa: 69
Jüri : Prof. Dr. Selim EKER
: Doç. Dr. Emin Bülent ERENOĞLU
: Yrd. Doç. Dr. Sema KARANLIK

Potasyum beslenmesinin tuz stresi altındaki makarnalık buğdayda antioksidatif savunma sistemleri üzerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, bitkiler kontrollü iklim koşullarında değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) dozları altında yetiştirilmiştir. Yeşil aksam kuru madde üretimi NaCl uygulamasıyla önemli oranda azalmıştır. Tuz uygulamasına bağlı olarak hem yeşil aksam hem de kök Na konsantrasyonu artmıştır. Potasyumun yeterli (2010 μM) düzeyde uygulandığı durumda, yeşil aksam ve köklerde Na konsantrasyonunun azaldığı tespit edilmiştir. Tuz uygulaması hem yeşil aksam hem de köklerde K ve Ca konsantrasyonları ile K/Na ve Ca/Na oranlarını azaltmıştır. Artan K beslenmesiyle birlikte yeşil aksam ve köklerde K/Na oranı yükselmiştir. Tuz uygulaması tüm K dozlarında lipid peroksidasyonunu arttırmıştır. Hem kontrol hem de 125 mM NaCl uygulamasında yeterli K beslenmesi altında lipid peroksidasyonu daha düşük bulunmuştur. SH-bileşikleri düzeyinin tuz stresiyle birlikte azaldığı bulunurken, artan K beslenmesiyle SH-bileşikleri ve askorbik asit konsantrasyonları düşme eğilimi göstermiştir. Potasyumun düşük dozlarında süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), glutatyon redüktaz (GR), katalaz (CAT) ve guaiakol peroksidaz (GuPX) aktivitelerinin potasyumun yeterli dozuna göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Yeterli K uygulaması altında kontrole göre 125 mM NaCl uygulamasıyla SOD, GR, CAT ve GuPX aktivitelerinde ortaya çıkan belirgin artışlarla, artan K beslenmesiyle lipid peroksidasyonda meydana gelen önemli azalışlar uyumlu bulunmuştur.

Sonuçlar, makarnalık buğdayın NaCl toksisitesine bağlı oksidatif strese karşı korunmasında potasyum beslenmesinin iyileştirilmesinin önemli olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Potasyum, Sodyum, Makarnalık buğday, Antioksidatif enzimler, Lipid peroksidasyonu.

ABSTRACT

MSc THESIS

EFFECT OF POTASSIUM NUTRITION ON ANTIOXIDATIVE DEFENSE MECHANISMS OF DURUM WHEAT UNDER SALT STRESS

Emine Mine GÖKBOĞA

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES DEPARTMENT OF
SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION

Supervisor : Prof. Dr. Selim EKER
Year: 2014, Pages: 69
Jury : Prof. Dr. Selim EKER
: Assoc. Prof. Dr. Emin Bülent ERENOĞLU
: Asst. Prof. Dr. Sema KARANLIK

The present study was conducted to investigate the effects of potassium nutrition on antioxidative defense mechanism of durum wheat under salt stress, plants were grown under controlled climate conditions and different potassium (75, 150 and 2010 μM) and NaCl (0 and 125 mM) doses. Shoot dry matter production significantly decreased with NaCl treatment. Due to salt application, both shoot and root Na concentrations increased as well. On the other hand, shoot and root Na concentrations decreased in the case of sufficient potassium treatment (2010 μM). Salt treatment decreased K and Ca concentrations, K/Na and Ca/Na ratios in both shoot and roots. Increased K nutrition resulted in augmented K/Na ratios in shoots and roots. Salt treatment increased lipid peroxidation under all K doses. Lipid peroxidation of both the control and 125 mM NaCl treatments were lower under sufficient K nutrition. SH-compound levels declined with salt stress and increased K nutrition also reduced SH-compound levels and ascorbic acid concentrations. Superoxide dismutase (SOD), ascorbate peroxidase (APX), glutathione reductase (GR), catalase (CAT) and guaiacol peroxidase (GuPX) activities were lower under low potassium doses than sufficient potassium. Under sufficient K treatment, 125 mM NaCl treatment distinctively enhanced SOD, GR, CAT and GuPX activities and such raises complied with the declines in lipid peroxidation with increased K-nutrition.

Results revealed that, improved potassium nutrition is very important to prevent durum wheat against NaCl toxicity-induced oxidative stress.

Key Words: Potassium, Sodium, Durum Wheat, Antioxidative enzymes, Lipid peroxidation

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının her aşamasında bana yol gösteren, bilgisini ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Selim EKER'e teőekkürlerimi sunarım.

Tezimin tüm aőamalarındaki önemli katkılarından dolayı, Dr. Elif HAKLI ve Biyolog Safiye SEZGİN'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, beni her koşulda destekleyen annem Fulsen GÖKBOĞA ve babam Emin GÖKBOĞA'ya, tezimin yazım aőamasındaki desteklerinden dolayı kardeőim Hasan GÖKBOĞA'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	X
SİMGELER VE KISALTMALAR	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Toprakta Tuz.....	5
2.2. Bitkide Tuz.....	6
2.3. Toprakta Potasyum.....	7
2.4. Bitkide Potasyum.....	10
2.5. Bitkilerde Reaktif Oksijen Türevlerinin Oluşumu ve Detoksifikasyonu.....	12
3. MATERYAL VE METOD.....	15
3.1. Materyal.....	15
3.1.1. Bitki Materyali.....	15
3.2. Metod.....	15
3.2.1. Tohum Çimlendirme ve Su Kültürü Denemesinin Yürütülmesi.....	15
3.2.2. Laboratuvar Çalışmalarının Yürütülmesi.....	16
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	19
4.1. Araştırma Bulguları.....	19
4.1.1. Yeşil Aksam ve Kök Kuru Madde Üretimi.....	19
4.1.2. Yeşil Aksam ve Kök Na Konsantrasyonu.....	21
4.1.3. Yeşil Aksam ve Kök K Konsantrasyonu.....	22
4.1.4. Yeşil Aksam ve Kök K/Na Oranları	24
4.1.5. Yeşil Aksam ve Kök Ca Konsantrasyonu	26
4.1.6. Yeşil Aksam ve Kök Ca/Na Oranları.....	27

4.1.7. Toplam Klorofil Konsantrasyonu.....	29
4.1.8. Lipid Peroksidasyonu.....	30
4.1.9. Askorbik Asit Konsantrasyonu	31
4.1.10. SH-Bileşikleri Konsantrasyonu	32
4.1.11. Çözünür Protein Konsantrasyonu	33
4.1.12. Süperoksit Dismutaz Aktivitesi.....	34
4.1.13. Askorbat Peroksidaz Aktivitesi.....	35
4.1.14. Glutasyon Redüktaz Aktivitesi.....	36
4.1.15. Katalaz Aktivitesi.....	37
4.1.16. Guaiakol Peroksidaz Aktivitesi.....	38
4.2. Tartışma.....	39
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 4.1. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam kuru madde üretimi üzerine etkisi.....	20
Çizelge 4.2. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök kuru madde üretimi üzerine etkisi	20
Çizelge 4.3. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam sodyum konsantrasyonu üzerine etkisi	21
Çizelge 4.4. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök sodyum konsantrasyonu üzerine etkisi	22
Çizelge 4.5. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam potasyum konsantrasyonu üzerine etkisi	23
Çizelge 4.6. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök potasyum konsantrasyonu üzerine etkisi	24
Çizelge 4.7. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam K/Na oranı üzerine etkisi	25
Çizelge 4.8. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök K/Na oranı üzerine etkisi	25
Çizelge 4.9. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam kalsiyum konsantrasyonu üzerine etkisi	26

Çizelge 4.10. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök kalsiyum konsantrasyonu üzerine etkisi	27
Çizelge 4.11. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam Ca/Na oranı üzerine etkisi	28
Çizelge 4.12. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök Ca/Na oranı üzerine etkisi	29
Çizelge 4.13. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın toplam klorofil konsantrasyonu üzerine etkisi	30
Çizelge 4.14. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam lipid peroksidasyonu üzerine etkisi	31
Çizelge 4.15. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkisi	32
Çizelge 4.16. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın SH-bileşikleri konsantrasyonu üzerine etkisi	33
Çizelge 4.17. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam protein konsantrasyonu üzerine etkisi	34
Çizelge 4.18. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam süperoksit dismutaz aktivitesi üzerine etkisi	35
Çizelge 4.19. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam askorbat peroksidaz aktivitesi üzerine etkisi	36

Çizelge 4.20. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam glutatyon redüktaz aktivitesi üzerine etkisi.....	37
Çizelge 4.21. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam katalaz aktivitesi üzerine etkisi.....	38
Çizelge 4.22. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam guaiakol peroksidaz aktivitesi üzerine etkisi	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 4.1. Değişik potasyum ($K_1=75$, $K_2=150$ ve $K_3=2010$ μM) ve NaCl (-NaCl=0 ve +NaCl=150 mM) uygulamaları altında yetiştirilen makarnalık buğdaya ait görüntüler.....	19
---	----

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SOD	: Süperoksit dismutaz
APX	: Askorbat peroksidaz
GR	: Glutatyon redüktaz
CAT	: Katalaz
GuPX	: Guaiakol peoksidaz
K	: Potasyum
Ca	: Kalsiyum
P	: Fosfor
Cl	: Klor
Mg	: Magnezyum
Fe	: Demir
Zn	: Çinko
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
μM	: Mikro molar
mM	: Mili molar
ha	: Hektar

1. GİRİŞ

Tuzluluk, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimi olumsuz yönde etkileyen en önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir. Dünya genelinde 800 milyon ha'dan daha fazla bir alan hem tuzluluk hem de alkalilik sorunuyla karşı karşıya bulunmaktadır (FAO, 2009). Türkiye'de ise 1.5 milyon ha alanda tuzluluk sorunu bulunmaktadır (GDRS, 2011). Tuzlu topraklar, elektriksel iletkenliği 4 mmhos / cm'den yüksek, değişebilir sodyum (Na) yüzdesi 15'ten az olan topraklardır (U.S. Salinity L., Staff 1954).

Tarımsal amaçla kullanılan topraklar çok çeşitli tuz iyonlarına sahiptir. Bununla birlikte, bitkisel üretimi olumsuz yönde etkileyen başat tuz formu NaCl'dür. Tuzlu topraklarda suyun yararışlılığı ve bitki köklerinin besin alımı, yüksek ozmotik potansiyel ve Na ve Cl iyonlarının toksisitesinden dolayı sınırlanır (Al-Karaki, 1996). Tuzluluğa bağlı bitki büyümesinin sınırlanması ozmotik stresin, mineral eksikliklerinin ve fizyolojik ve biyokimyasal rahatsızlıkların bir sonucudur (Hasegawa ve ark., 2000; Munns, 2002).

Genel olarak, tuzun toprak profilinden yıkanarak giderilmesi yönteminin hem zaman alıcı olması hem de ekonomik olmamasından dolayı, değişik düzeylerde tuzluluk sorunlarına sahip alanlarda iyi yetişebilecek, tuzluluğa dayanıklılığı yüksek olan bitki tür ve genotiplerinin seçimi ve kullanımı son yıllarda önemli bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Tuzluluk artışına bağlı olarak bazı bitki türlerindeki verim azalışları ve zararlanma düzeyleri detaylı bir şekilde gösterilmiştir (Maas, 1990). Aynı tür içindeki genotiplerin de tuz stresine tolerans düzeylerinin farklı olduğu örneğin, buğday (Karanlık, 2001), domates (Daşgan, 2002), biber (Aktaş, 2002), mısır (Maathuis ve Amtmann, 1999; Eker ve ark., 2006) ve pamuk (Gossett ve ark., 1994) bitkileri için ortaya konmuştur. Tuzlu alanların tarımsal amaçla kullanımında tuz stresine tolerant bitki tür ve genotiplerinin kullanımının yanında, Munns (2002) tarafından belirtildiği gibi, damla sulama sisteminin ve ürün rotasyonunun tercih edilmesi de uygulanabilir yöntemler olarak görülmektedir. Bununla birlikte bazı kimyasalların, örneğin silisyumun (Matoh ve ark., 1986; Liang ve ark., 1996; Zhu ve ark., 2004), kalsiyum içeren kimyasalların (Rengel, 1992;

Epstein, 1998) ve çinkonun (Norvell, ve Welch, 1993; Alpaslan ve ark., 1999; Aslam ve ark., 2000; Aktaş ve ark., 2006) tuz stresinin olumsuz etkilerinin hafifletilmesinde etkili olduğu bulunmuştur. Yukarıdaki elementler gibi, potasyumun da bitkilerin tuz stresine toleransında temel bir rol oynadığı bildirilmiştir (Benlloch ve ark., 1994; Lopez ve Satti, 1996; Chartzoulakis, 2006; Zheng ve ark., 2008; El-Lethy ve ark., 2013)

Diğer abiyotik streslerde olduğu gibi, tuz stresi de bitkilerde oksidatif strese neden olmaktadır (Hernandez ve ark., 1995; Bartosz, 1997). Tuz stresine bağlı hücre tahribatının bitkilerde oluşan toksik O_2 radikal ve türevleri (O_2^- , süperoksit radikal; H_2O_2 , hidrojen peroksit; $OH\cdot$, hidroksil radikal ve 1O_2 , singlet oksijen) tarafından katalize edildiğini gösteren değişik araştırmalar bulunmaktadır (Hernandez ve ark., 1993; Demiral ve Türkan, 2005; Çiçek ve Çakırlar, 2008; Hafsi ve ark., 2010; Janmohammadi ve ark., 2011). Stres koşulları altında yüksek oranda üretilen söz konusu toksik O_2 radikal ve türevlerine karşı bitkiler glutasyon, askorbat ve karotenoidler gibi düşük moleküler ağırlıklı antioksidantlar ile süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX), guaiakol peroksidaz (GPX), katalaz (CAT) ve glutasyon redüktaz (GR) enzimleri gibi kompleks bir antioksidant savunma sistemine sahiptirler (Alscher ve ark., 1997; Apel ve Hirt, 2004).

Tuz stresine bağlı olarak bitkilerde iyon dengesizlikleri ortaya çıkmaktadır (Hirpara ve ark., 2005). Bu iyonlardan biri de potasyumdur. Tuz stresi altındaki bitkilerin dokularında potasyum konsantrasyonunun azaldığı bildirilmiştir (Othman ve ark., 2006; Kuşvuran ve ark., 2008). Diğer çevresel stres faktörlerinde olduğu gibi, potasyum eksikliğinde de hücre membranlarındaki zararlanmanın bir göstergesi olan lipid peroksidasyonunun yükseldiği değişik araştırmacılar tarafından farklı bitki türlerinde ortaya konmuştur (Tewari ve ark., 2007; Soleimanzadeh ve ark., 2010; Hafsi ve ark., 2011). Bu bağlamda, tuz stresi altındaki bitkilerin potasyum beslenmesi özel bir öneme sahiptir. Bitkilerin değişik stres koşullarına adaptasyonunda, örneğin; bitkilerin kuraklıktan daha az etkilenmesinde (Abd El-Hadi ve ark., 1997; Sangakkaro ve ark., 2000), demir toksisitesinin azaltılmasında (Neue ve ark., 1998; Lee ve ark., 2001), bitkilerin soğuk stresine adaptasyonunda (Grewal ve Singh, 1980), yüksek ışık intensitesine bağlı fotooksidatif zararlanmanın

azaltılmasında (Marschner ve Çakmak, 1989), ağır metallere kadmiyuma bağlı oksidatif stresin azaltılmasında (Umar ve ark., 2008; Uysal, 2012) potasyum beslenmesi etkili olmaktadır. Tuzluluğa bağlı oksidatif stresin azaltılmasında da potasyum beslenmesinin etkili olduğu bildirilmiştir (Zheng ve ark., 2008; Umar ve ark., 2011).

Potasyum eksikliği altındaki bitkilerde özellikle askorbata bağlı hidrojen peroksit (H_2O_2) radikalinin sentezinde artış olması (Çakmak, 1994), tuz stresine bağlı olarak ortaya çıkabilecek potasyum eksikliğinin önemli bir sorun olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, Chhipa ve Lal, (1995) tarafından, genotiplerin farklı oranlarda Na ve K absorbe etmesinin ve dolayısıyla farklı oranlarda K/Na oranlarına sahip olmasının, bu genotiplerin tuzluluğa dayanıklılıkları için önemli fizyolojik süreçler olduğu bildirilmiştir. Bitkilerin tuz stresi koşullarında potasyum beslenmesinin iyileştirilmesi / artırılması, söz konusu K/Na oranının dokularda yükselmesinin sağlanması bitkilerin tuz stresinden daha az etkilenmesinde önemli olacaktır.

Potasyum, bitkilerin büyüme, verim ve kalitesinde etkili olan önemli bir besin elementidir. Bitkiler, potasyumu K^+ iyonu şeklinde seçerek ve metabolik aktiviteyle almaktadır (Mengel ve Kirkby, 1987). Potasyum eksikliği koşullarında, fotosentez oranı, translokasyon oranı ve enzim sistemleri gibi birçok metabolik proses olumsuz şekilde etkilenmektedir (Marschner, 1995; Mengel, 1997). Fotosentezin K eksikliği koşullarından olumsuz yönde etkileniyor olması, tuz stresinin olduğu koşullarda bitkilerde serbest oksijen radikallerinin üretilme ihtimalinin daha yüksek olabileceğini göstermektedir. Potasyum eksikliği koşullarında antioksidatif mekanizmaların rolü, mısırdaki (Tewari ve ark., 2004), dutta (Tewari et al., 2007) ve yabani arpada (Hafsi ve ark., 2011) araştırılmıştır.

Bu tez çalışmasıyla, literatürde oksidatif stres açısından çok az araştırılmış olan, tuz toksisitesi x potasyum beslenmesi arasındaki ilişkiler makarnalık buğdayda (*Triticum durum* L.) araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Toprakta Tuz

Tuzluluğun dünya üzerindeki en önemli kaynağı, ana materyaldeki çözünebilir tuzların, yüzey ve taban suyu akışı sırasında yeraltı ve yerüstü sularına karışmasıdır. Tuzluluk, oluşma sebeplerine göre primer (doğal) ve sekonder tuzluluk olarak ikiye gruba ayrılabilir. Primer tuzluluğun oluşma nedenlerini; ana kayaların ayrışması, tuz deposu okyanuslar ve iklimsel etmenler oluşturmaktadır (Munns ve Tester, 2008). Sekonder tuzluluğun oluşma sebepleri ise; tarımsal alanlarda yoğun sulama ile çeşitli tuzlar bakımından zengin yer altı suyu seviyesinin toprak yüzeyine kadar yükselmesi, aşırı otlatma, bir bölgenin doğal vejetasyonunu yok ederek tarım arazilerinin açılması ve toprakların tuzluluğa sebep olan kimyasallarla kontaminasyonu (Pessarakli ve Szabolcs, 1999) olarak sıralanabilir. Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki tuzlulaşmanın temel nedeni, yağışların yetersiz, evaporasyonun yüksek olması (Richards, 1954) sonucunda suda çözülmüş haldeki tuzların toprak yüzeyinde ve bitki kök bölgesinde birikmesidir.

Elektriksel iletkenliği 4 mmhos / cm'den yüksek ve değişebilir sodyum (Na) yüzdesi 15'den az olan topraklar tuzlu topraklar olarak kabul edilmektedir (U.S. Salinity L., Staff 1954). Toprak çözeltisinde kalsiyum klorür (CaCl_2), magnezyum klorür (MgCl_2), sodyum klorür (NaCl), magnezyum sülfat (MgSO_4), sodyum bikarbonat (NaHCO_3), sodyum sülfat (Na_2SO_4) ve kalsiyum sülfat (CaSO_4) gibi çok sayıda tuz formu bulunmaktadır (Marschner, 1995). Dünyadaki tuzlu toprakların önemli bir kısmını Na_2SO_4 ve NaCl 'ün sebep olduğu tuzlu topraklar oluşturmaktadır (Pessarakli ve Szabolcs, 1999). Bununla birlikte, genelde toprak tuzluluğu ve tuz stresi denildiğinde, bitkisel üretimde en fazla verim kaybına neden olan tuz formu olarak NaCl 'ün varlığından söz edilmektedir (Munns ve Termaat, 1986).

Topraklardaki değişebilir Na miktarının yüksek olması su geçirgenliği ve havalanmanın azalmasına yol açarak bitki gelişmesini olumsuz şekilde etkilemektedir (Bresler ve ark.,1982; James ve ark., 1982).

Bitki kök bölgesinde fazla miktarda eriyebilir tuzların birikmesi ile tuzluluk sorunu ortaya çıkmakta, buna bağlı olarak kültür bitkilerinin çimlenme, büyüme ve ürün verimleri, tuzların cinsi ve miktarlarına bağlı olarak azalmaktadır (Richards, 1954). Yapılan bir çalışmada, yarı kurak iklim koşullarında sulama yapılan alanlarda önemli bir sorun olan tuzluluğun potansiyel etkisinin, sadece ürün verimi üzerine değil, aynı zamanda toprağın ve suyun bozulması, arazilerin tuzlulaşması ve yer altı sularına tuzun karışması ile kalitelerinin bozulmasına neden olduğu bildirilmiştir (Feng ve ark., 2003).

2.2. Bitkide Tuz

Bitkilerde büyüme, gelişme ve metabolizmayı etkileyen ya da engelleyen durumlara stres adı verilmektedir (Gürel ve ark., 2001). Stres faktörleri, abiyotik ve biyotik stres faktörleri olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Abiyotik stres faktörleri soğuk, sıcak, kuraklık, tuzluluk, su fazlalığı, radyasyon, çeşitli kimyasallar, oksidatif stres, rüzgar ve toprakta besin yetersizliği gibi çevresel faktörler, biyotik stres faktörleri ise virüs, bakteri ve fungusları içeren patojenler, böcekler ve herbivorlardır (Mahajan ve Tuteja 2005).

Tuz konsantrasyonu kullanılabilir su potansiyelini düşürmeye yetecek kadar olduğunda (0,5-1,0 bar) bitkinin strese girmesi, tuz stresi olarak adlandırılmaktadır (Levitt, 1980). Tuz stresi altındaki bitkilerde ortaya çıkan tuz toksisitesinin ilk belirtileri, yaşlı yaprakların uçlarından başlayarak yaprak ayasına ve yaprak sapına doğru ilerleyen ve daha sonraki dönemde nekrozlara dönüşen klorozlardır (Mer ve ark., 2000).

Tuzluluk bitki gelişimini 3 şekilde etkilemektedir;

1. Kök bölgelerindeki düşük su potansiyeli,
2. Na^+ ve Cl^- gibi iyonların fazla miktarda alınmasıyla oluşan iyon toksisitesi,
3. İyon alınımında ve taşınımında meydana gelen dengesizlikler (Marschner, 1995; Munns ve Termaat, 1986).

Tuz stresi altında yetişen bitkilerin kök bölgesindeki iyon dengesizlikleri temel elementlerin alımını engellemekte ve bu durum bitkilerde bazı fizyolojik sorunların ortaya çıkmasına yol açmaktadır (Villora ve ark., 1997). Tuz stresi altında bitkilerde hem K (Qian ve ar., 2000; Karanlık, 2001) hem de Ca (Cramer ve ark., 1986) konsantrasyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. Kök bölgesinin çözelti ortamında tuz konsantrasyonunun artması ile bitkinin bu suyu alabilmek için harcamak zorunda kaldığı enerji miktarı da artmakta, buna bağlı olarak bitkinin su kullanımını azalmaktadır. Bitkinin su kullanımının zorlaşması ve azalması, bitki verimi ve kalitesini düşürmektedir. Tuzluluk, toprak mikroorganizmalarını da önemli ölçüde etkilemektedir. Yüksek düzeydeki tuzluluk, toprak mikroorganizmalarının faaliyetlerini ve çoğalmasını olumsuz yönde etkilemekte, dolaylı olarak ise temel bitki besin maddelerinin dönüşümleri ve bitkiye olan yararlılıkları etkilenmektedir (Yurtseven ve Bozkurt 1997; Yurtseven 2000; Yurtseven ve ark., 2001).

Tuzluluk bitkilerde, hücre bölünmesini ve uzamasını etkileyerek, bitkilerde kök ve gövdede hücre sayısının ve hücre bölünme oranının azalmasına (Bursens ve ark., 2000), bunun sonucunda bitkinin gövde ile kök uzunluğunun ve ağırlığının azalması ile verim kaybına (Sharma 1980; Çakırlar ve Topçuoğlu 1985), fotosentezin azalmasına (Yeo, 1998), hücre içerisindeki ozmotik dengenin ve membran bütünlüğünün bozulmasına (Mahajan ve Tuteja, 2005), transpirasyon oranının ve stoma iletkenliğinin azalmasına, stoma direncinin artmasına (Ashraf., 2004), protein miktarının azalmasına (Chen ve Kao, 1991) klorofil konsantrasyonunun azalmasına (Seemann ve Critchley, 1985) ve hücre zarı geçirgenliğini arttırarak (Dhindsa ve Mathowe, 1981), yaprakların erken yaşlanmasına (Yeo ve ark., 1991) ve reaktif oksijen türevlerinin oluşmasına (Flowers, 1977) neden olmaktadır.

2.3. Toprakta Potasyum

Potasyum, toprakta en yaygın bulunan besin elementlerinden biridir (Sparks ve Huang, 1985). Yerkabuğu yaklaşık olarak % 2-3 oranında potasyum (K_2O olarak) içermekte (Ahrens, 1965), toprakların toplam K içeriği ise % 0,2-3,3 arasında değişmekte (Özbek ve ark. 1993) ve bu potasyumun çok büyük bir bölümü kil

minerallerine bağlı olarak bulunmaktadır (Güneş ve ark., 2000). Bu nedenle kil minerallerince zengin topraklar genellikle potasyumca zengindir (Güzel ve ark., 2002). Kil minerallerinin cinsi, içerdiği K miktarını önemli ölçüde etkilemektedir (Aktaş, 1995).

Potasyum topraklarda dört farklı formda bulunmaktadır. Bunlar; Suda çözünebilir veya toprak çözelti potasyumu (1-10 ppm), değişim yüzeylerinde değişebilir formda bulunan K (40-600 ppm), kil minerallerinin tabakaları arasında fikse edilmiş yavaş yayarışlı (50-750 ppm) K ve minerallerin yapısında yayarışsız formda bulunan K (5000-25000 ppm) olarak gruplandırılabilir (Tisdale ve Nelson, 1975). Bu formlarda bulunan potasyum miktarları birbirleriyle sürekli denge halindedir. Bitkilerin gelişme dönemi boyunca, değişebilir potasyum konsantrasyonunun azalması sonucu, yavaş yayarışlı potasyum formu, değişebilir forma dönüşmekte ve böylece bitkilerce absorbe edilmektedir (Tisdale ve ark., 1984). Çözeltideki ve değişebilir K genellikle topraklardaki toplam potasyumun küçük bir bölümü olarak kabul edilmektedir ve potasyum içeren mikalar ile feldispatlar toprağın temel K rezervleridir (Huang, 1989).

Topraktaki K formlarının biyolojik olarak yayarışlılık sıralaması: Çözeltideki K > değişebilir K > fikse olmuş K > mineallerin yapısındaki K şeklindedir (Sparks, 2000). Toprakta bulunan potasyumun % 1-2'si bitkiler tarafından kolay yararlanılabilir, % 90-98'i yararlanılamaz, % 1-10'u ise güç yararlanılabilir durumda bulunmaktadır (Pope ve Cheney, 1957; Kacar ve Katkat, 1998).

Çözeltideki K, bitkiler ve mikroorganizmalar tarafından doğrudan alınabilir ve topraklarda yıkanmaya en uygun olan formu olmakla birlikte, yağışlı bölgelerde tarım topraklarında toprak çözeltisindeki K konsantrasyonu 2-5 mg K lt⁻¹ arasında değişmektedir. Potasyumun çözünebilirliğinin düzeyi formlar arasındaki dinamikler ve dengelerle belirlenmekte ve bu durum toprak nemi, çözeltideki ve değişim bazlarındaki katyonlar, inorganik ve organik ligantların çözünmesi, bitkiler tarafından uzaklaştırılma, mikrobiyal aktivite, gübreleme ve yıkanma gibi faktörler tarafından etkilenmektedir (Huang, 2005).

Toprakta potasyumun yeterli düzeyde olmaması, kil minerallerinin değişimi ve bozulması sonucunda toprakların fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin bozulmasına neden olmaktadır (Özbek, 1997).

Potasyum, bitkiye gerekli olan mineral katyonlardan boyut olarak en büyük olanıdır. Bu nedenle mineral yapılarında K ile koordine olan oksijen iyonlarının sayısı fazla olmaktadır. Bunun sonucunda da K-O arasındaki bağ oldukça zayıftır. Potasyum, NH_4^+ , Rb^+ , Cs^+ ve Ba^{+2} , dan daha düşük polariteye sahip olmasının aksine, Ca, Mg, Li ve Na iyonlarına oranla daha yüksek polariteye sahiptir. Daha yüksek polariteye sahip olan iyonlar, iyon değişim reaksiyonlarında daha fazla tercih edilirler (Helfferich, 1962). Bu nedenle tabakalar arası boşluklarda çok az şişmeye (genişlemeye) neden olurlar (Huang, 2005).

Topraktaki toplam potasyumun çok büyük bir kısmı yapıdaki K'dur. Genellikle feldspatlar ve mikalar gibi K içeren primer minerallerin yapısında bulunmaktadır. Yapısal K, genellikle çok az bitkiye yararlı olarak kabul edilmektedir (Sparks, 2000). Topraktaki potasyum salınımı, toprağın kil mineralojisinin bir fonksiyonudur ve bu durum ana materyal ile ilişkilidir (Karan ve ark., 1990).

Fiksasyon, değişebilir veya suda eriyebilir katyonların herhangi bir nötr tuz çözeltisi ile ekstrakte edilmeyecek şekilde toprağın değişim materyallerine bağlanması olarak tanımlanmaktadır. Toprakta fikse edilen K, NH_4 , Rb, Cs ve Ba gibi katyonlar içerisinde K^+ ve NH_4^+ bitki beslenmesi açısından önemli olmaları sebebi ile bu güne kadar yapılmış çalışmaların çoğunda tercih edilmişlerdir (Sağlam, 1997). Kil mineralojisi ve toprağın nem içeriği toprakların fiksasyon kapasitelerini etkileyen en önemli faktörlerdir (Sadri ve Csitari, 1998). Bunun yanında, toprakta bulunan kil minerallerin çeşidi ve miktarı, solüsyon fazındaki potasyumun miktarı, mineral parçacıkların ayrışma derecesi ve büyüklüğü, toprak pH'sı, yağış ve sıcaklık, hayvan gübresinin uygulanması, toprak yapısı, donma-çözünme ve ıslanma-kuruma, mikrobiyolojik aktivite ve organik asitlerin kompleksleşme miktarı, toprağın redoks potansiyeli ve bitki kökleri gibi birçok faktör potasyum fiksasyonu ve serbestlenmesini etkilemektedir (Rich, 1972, Goulding, 1987, Sparks, 1987). Bu nedenle potasyum fiksasyonu tüm topraklarda farklı miktarda gerçekleşmektedir.

Kaolinit gibi 1:1 tipi killer potasyumu fikse etmezken, 2:1 tipi kil minerallerinden illitin yüksek olduğu topraklarda potasyum fiksasyonu oldukça yüksektir (Havlin ve ark., 1999).

2.4. Bitkide Potasyum

Bitkilerin büyüme ve gelişme dönemleri boyunca topraktan en fazla kaldırdıkları elementlerden biri olan potasyum, sadece bitki dokularındaki miktarı yönünden değil, aynı zamanda fizyolojik ve biyokimyasal işlevleri yönünden de önemli bir katyondur (Leigh ve Jones, 1997). Bitkiler tarafından alımı ışık yoğunluğu, hava sıcaklığı ve su kullanımı ile doğrudan ilişkili olan (Winsor ve Adams, 1987) potasyum, bitkiler tarafından K^+ iyonu şeklinde metabolik aktivite ile alınmaktadır (Mengel ve Kirkby, 1987). Bitkilerde potasyum konsantrasyonu genel olarak % 1-6 arasında değişmektedir (Güneş ve ark., 2000).

Potasyum, bitki bünyesinde fotosentez, fotosentez ürünlerinin taşınması, enzim aktivitesi (Kacar ve Katkat 1998; Güneş ve ark., 2000), turgor potansiyeli, hücre uzaması, toprak üstü ve toprak altı organlarının büyümesi, stoma hareketliliği, transpirasyon ve protein sentezi gibi birçok fizyolojik ve metabolik olaylara katılmaktadır (Tisdale ve ark. 1993; Marschner 1995). Ayrıca bitki bünyesinde lignifikasyonu ve silifikasyonu artırıcı etkisi de bulunmaktadır (Aktaş, 1995).

Yeşil bitkilerin güneşin fiziksel enerjisinden yararlanarak karbondioksit ve suyu birleştirerek şekerleri oluştururken, fotosentezin ışık tepkimelerinde metabolik enerji kaynağı olan ATP'nin sentezlenmesinde K^+ rol oynamaktadır (Tester ve Blatt, 1989).

Fotosentez ürünlerinin floem iletim borularına yüklenmesinde ve bitkinin çeşitli organlarına taşınarak depo edilmesinde potasyum önemli işlevlere sahiptir ve bitkide K^+ miktarına bağlı olarak floeme fotosentez ürünlerinin yüklenmesi artmaktadır (Lang, 1983).

Potasyumun bitkilerin hastalık ve zararlılara karşı direncini arttırabileceği, parazit gelişimi ve zararının ise Perrenoud (1990) tarafından yapılan bir çalışmada

potasyum uygulamasıyla fungal hastalıkların %70, bakteriyel hastalıkların %69, böcek zararlarının %63 ve viral hastalıkların ise %41 azaltılabileceği belirtilmiştir.

Potasyum noksanlığı durumunda, karbonhidrat metabolizması bozulmakta, yaprak ve sapların dışı yakın hücrelerinin yapısında, selüloz ve lignin miktarı ve kütikula tabakasının kalınlığı azalmakta, bu durum ince hücre duvarı, zayıf sap ve gövde oluşumuna sebep olarak bitkilerin hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığının azalmasına yol açmaktadır (Marshner, 1986).

Potasyum noksanlığında, bitki bünyesindeki ATP sentezinin ve enzim aktivitesinin azalması sonucunda oluşan enerji yetersizliği nedeniyle bitki bünyesinde çözünebilir karbonhidratlar ve amino asitler gibi düşük molekül ağırlıklı bileşikler birikmektedir (Krauss 2001).

Marshner (1986), potasyum noksanlığı görülen bitkilerin her bir zararlı grubuna karşı, yeterli beslenenlere göre daha duyarlı olduğunu belirtmiştir.

Potasyum noksanlığı, bitkilerin kuraklığa karşı direncinin azalmasına yol açarken, don, mantar hastalıkları ve tuzlu koşullardan zarar görme eğiliminin artmasına neden olmaktadır (Aydemir ve İnce, 1988).

Yeterli miktarda potasyum ile beslenmiş bitkiler stres koşullarında da iyi ürün verebilmektedirler (Kemler ve Krauss, 1987). Potasyum ile beslenme bitkilerin toplam fenol içeriğini arttırmaktadır. Lignin ve suberin habercisi olarak görev yapan fenoller, bitki bünyesinde mekanik bariyer oluşturarak, bitkilerin savunma mekanizmasında önemli rol oynamaktadırlar (Perrenoud, 1990).

Su stresi altındaki arpa bitkisine, potasyum uygulaması yapılarak bitkinin tepkisinin araştırıldığı bir çalışmada (Jensen ve Tophoji, 1985), tam sulanan bitkilerde bile en düşük potasyum dozlarında dane veriminin %20 azaldığı, artan potasyum uygulamalarıyla bitkinin su kullanma etkinliğinin artış gösterdiği, potasyumun su stresi şartlarında dane verimini artırdığı bildirilmiştir.

Bitki bünyesinde potasyum konsantrasyonunun artması, bitkinin tuza dayanıklılığını arttırmaktadır (Hsiao and Lauchli 1986). Ayrıca bitkinin sahip olduğu yüksek K^+/Na^+ oranının, tuza dayanıklılıkla doğru orantılı olduğu bilinmektedir (Gorham 1990, Ashraf ve ark. 1997, Sherif ve ark. 1998).

Grimme ve Braunschweig (1974), bitkinin topraktan fazla miktarda K almasının Na, Mg ve Ca alınımını engellediğini ya da bu iyonların hücreden atılmasına yol açtığını, bitkinin topraktan yeterince K alamadığı durumlarda ise Na, Mg ve Ca'un bitki tarafından alınımının kolaylaştırıldığını bildirmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada, tuz stresi koşullarında yetiştirilen ıspanağın gereksinim duyduğu K miktarının normal koşullara göre 2 kat fazla olduğu bildirilmiştir (Chow ve ark., 1990).

Bitkilerin tuza toleransını etkileyen faktörlerin araştırıldığı bir çalışmada (Litifi ve ark. 1992), bitkilerin tuza toleransının Na alımındaki sınırlandırma ile ilişkili olduğu ve bu sınırlandırmada K'un önemli rol oynadığı, bitkideki K/Na oranının artması ile tuza toleransının arttığı görülmüştür.

Helal ve ark. (1975), bitkideki K'un tuzlu koşullarda bitkinin büyüme metabolizmasını artırabileceğini bildirmişlerdir.

Ashraf ve ark. (1994), tuza toleranslı çeşitlerin duyarlı olanlara oranla daha fazla K aldığını, kuraklık ve tuz baskısına toleransta K'un önemli rol oynadığını belirtmişlerdir.

Tandon ve Sekhon (1989), potasyumun çeltik bitkisinde bakteriyel yaprak yanıklığı ve sap çürüklüğü, buğdayda kara pas, pamuk bitkisinde köşeli yaprak lekesi, çay bitkisinde kırmızı pas ve yem bürülcesinde fide çürüklüğü hastalıklarına karşı direnç kazanmalarını sağladığı ve hastalıkların daha az görülmesine neden olduğunu belirtmişlerdir.

2.5. Bitkilerde Reaktif Oksijen Türevlerinin Oluşumu ve Detoksifikasyonu

Toksik O_2 radikalleri fotosentez sırasında kloroplastlarda yoğun olarak sentezlenmekte olup, fotosentez sırasında absorbe edilen ışık enerjisi ve açığa çıkan elektronlar herhangi bir stresten dolayı CO_2 indirgenmesinde kullanılamayınca kloroplastlarda birikmekte ve moleküler O_2 'nin aktivasyonuna neden olmakta ve böylece toksik etkinlikleri yüksek olan O_2 radikal ve türevlerinin (O_2^- , süperoksit radikal; H_2O_2 , hidrojen peroksit; $OH\cdot$, hidroksil radikal ve 1O_2 , singlet oksijen)

oluşmasına neden olmaktadır (Asada, 1994; 2000; Foyer ve ark., 1994; Cakmak, 2000).

Diğer abiyotik streslerde olduğu gibi, tuz stresine bağlı hücre tahribatının bitkideki toksik oksijen radikalleri tarafından katalize edildiğini gösteren değişik araştırmalar bulunmaktadır (Singha ve Choudri, 1990; Hernandez ve ark., 1993; Dionisio-Sese ve Tobita, 1998; Sreenivasulu ve ark., 2000; Sairam ve ark., 2002; Verslues ve ark., 2006). Kuraklık, düşük ve yüksek sıcaklık, don, herbisit uygulaması ve mineral element eksikliği streslerinde olduğu gibi, tuz stresi altında da bitkilerde karbon metabolizması ve elektron transport aktivitesi sınırlanmakta ve bozulmaktadır (Gueta Dahan ve ark., 1997). Tuz stresi altındaki bitkiler su kaybını azaltmak için stomalarını kapatmakta ve buna bağlı olarak CO₂ girişi engellenmekte ve bu durumun bir sonucu olarak CO₂ fiksasyonu azalmaktadır (Makela ve ark., 1999; Shariat Jafari ve ark., 2009). Fotosentez sırasında absorbe edilen ışık enerjisi ve açığa çıkan elektronlar tuz stresi altında CO₂ indirgenmesinde kullanılamamakta, kloroplastlarda birikime uğramaktadır. Fotosentetik kaynaklı bu elektronlar ve pigmentlerce absorbe edilen bu enerji, CO₂ yerine moleküler O₂'e aktarılarak yukarıda da bahsedildiği gibi, toksik etkinlikleri çok yüksek olan O₂ radikal ve türevlerinin oluşmasına neden olmaktadır (Asada, 1994; 2000; Foyer ve ark., 1994; Cakmak, 2000). Membran lipit ve proteinleri ile klorofil ve DNA gibi önemli hücre komponentlerinin oksidatif olarak parçalanması, doğrudan serbest O₂ radikallerince katalize edilmektedir. Stresin olmadığı durumda, kloroplastlardan moleküler O₂'in ışığa bağlı indirgenmesinin toplam fotosentetik elektron akışının % 5'i ile % 25'i arasında olduğu tahmin edilmekte (Badger, 1985) ve stres sonucu bu oranların artış gösterdiği bildirilmektedir (Asada, 2000; Çakmak, 2000).

Bitkiler, stres koşullarında ortaya çıkan serbest O₂ radikallerine karşı enzimatik ve enzimatik olmayan çeşitli savunma mekanizmaları geliştirmiştir. Enzimatik mekanizmalardan superoksit dismutaz (SOD) superoksit radikali (O₂⁻)'nin H₂O₂ ve O₂'ye dismutasyonunu katalizleyerek (Bowler ve ark., 1992) superoksit konsantrasyonunun düşük ve sabit konsantrasyonlarda kalmasını sağlamaktadır (Elstner, 1982). Askorbat peroksidaz (APX) ve glutatyon redüktaz (GR) ise birlikte H₂O₂'nin detoksifikasyonunda belirleyici rol oynamaktadır (Halliwell, 1982)

Bitkilerin stres koşullarında toksik radikallere karşı kendilerini korumak için kullandığı enzimatik olmayan en önemli savunma mekanizmaları ise askorbik asit (askorbat), vitamin E (α -tokoferol), glutatyon, β -karotin ve zeaxanthin karotenoidi gibi bileşiklerdir (Çakmak ve Marschner, 1992; Demming-Adams ve Adams, 1996; Noctor ve Foyer, 1998). Askorbik asit, süperoksiti, hidrojen peroksiti ve hidroksil radikali doğrudan indirgeyebilmektedir (Foyer, 1993) ve singlet oksijenle doğrudan reaksiyona giren önemli bir antioksidanttır (Bodannes ve Chan, 1979). Glutatyon ise singlet oksijen ve hidroksil radikallerle reaksiyona girerek enzimlerin SH gruplarının okside olmasını önlemektedir. Askorbat ve glutatyonun, “askorbat-glutatyon döngüsü” ne katıldığı ve H_2O_2 detoksifikasyonunun önemli bir parçası olduğu bildirilmiştir (Noctor ve Foyer, 1998).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, tuz stresi altında potasyumca iyi beslenen bitkilerin, hem dokularında daha düşük Na konsantrasyonuna ve yüksek K/Na oranlarına sahip olduğunu (Shirazi ve ark., 2005; Chartzoulakis ve ark., 2006) hem de daha az düzeyde oksidatif zarara uğradığını ortaya koymuştur (Zheng ve ark., 2008; Umar ve ark., 2011). Önemli bir ekonomik ürün olan makarnalık buğdayın tuz stresine karşı kısmen tolerant olduğu bildirilmiştir (Royo ve Abio, 2003). Bu çalışmada, makarnalık buğdayda NaCl kaynaklı tuz stresi x artan potasyum beslenmesi ilişkileri antioksidatif savunma sistemleri açısından araştırılmıştır. Bununla birlikte, söz konusu uygulamalar altında yeşil aksam ve kökte Na, K ve Ca konsantrasyonlarının değişimi de tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Bitki Materyali

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü kontrollü bitki yetiştirme odaları ve bitki besleme laboratuvarlarında gerçekleştirilmiş olup, yürütülen su kültürü denemelerinde, Sarıçanak-98 isimli makarnalık buğday çeşidi kullanılmıştır.

3.2. Metod

3.2.1. Tohum Çimlendirme ve Su Kültürü Denemesinin Yürütülmesi

Buğday tohumları, içerisinde perlit bulunan 40x25x5 cm boyutlarındaki küvetlere ekilmiş ve 26°C'de 4 gün süresince çimlenmeye bırakılmıştır. Çimlenmeden sonra elde edilen bitkiler, perlit ortamından çıkarılarak 3 cm genişliğinde ve 15 cm uzunluğundaki süngerlere sarılıp, içerisinde besin çözeltisi bulunan su kültürü saksılarına demetler halinde her saksıda 5 demet ve her demette ise 4 bitki (toplam 20 bitki) olacak şekilde transfer edilmiştir. Bitkiler (kontrol bitkileri) su kültürü ortamında yetiştirilirken konsantrasyonları; 2.0 mM Ca(NO₃)₂; 0.88 mM K₂SO₄; 1.0 mM MgSO₄; 0.2 mM KH₂PO₄; 1.0 µM H₃BO₃; 0.5 µM MnSO₄; 0.2 µM CuSO₄; 0.02 µM (NH₄)₆Mo₇O₂₄; 1.0 µM ZnSO₄, 100 µM M Fe-EDTA olan besin çözeltisi kullanılmıştır. Potasyum eksikliği koşulları için 75 ve 150 µM K dozları kullanılmıştır. Bitkiler elektrikli hava motoru ve sliken hortum aracılığıyla sürekli havalandırılarak büyütülmüştür. Bitkiler gündüz (16 saat) 24°C gece (8 saat) 22°C sıcaklıkta ve % 65-75 oransal nem düzeyinde tutulmuştur. İklim odasının ışık intensitesi gündüz koşullarında 350 µmolm⁻²s⁻¹ düzeyine ayarlanmıştır. Besin çözeltisi ortamı deneme süresince her üç günde bir yenisi ile değiştirilmiştir.

Tuz uygulamasına, bitkilerin su kültürü ortamına transferinden itibaren 2. günde 25 mM NaCl dozu ile başlanmış ve tuz konsantrasyonu aşamalı olarak 125 mM'a yükseltilmiştir.

Deneme sonunda bitkiler, (18 günlük) içinde 0,5 mmol L⁻¹ CaSO₄ bulunan ve sürekli havalandırılan saksılara aktarılmış ve 30 dk süreyle bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda bitkilerden amaca yönelik örneklemeler yapılmıştır. İki grup şeklinde örneklenen bitkilerden, birinci gruptaki bitkiler kuru madde üretiminin ve de Na, K ve Ca konsantrasyonlarının belirlenmesinde, ikinci gruptaki bitkiler ise klorofil konsantrasyonu, lipid peroksidasyonu, çözümlü protein konsantrasyonu, antioksidantlar ve antioksidatif enzim testlerinde kullanılmıştır.

3.2.2. Laboratuvar Çalışmalarının Yürütülmesi

Yeşil Aksam ve Kök Kuru Ağırlıkları: Tuz ve potasyum uygulamasının ardından, beklenen belirtilerin ortaya çıkmasından sonra bitkiler 18 günlük iken, bitkilerin yeşil ve kök aksamaları hasat edilmiş ve elde edilen örneklerin kuru ağırlıklarının belirlenmesi için etüvde 70°C'de 48 saat kurutulmuştur.

İyon Analizleri: Kurutulan bitki örnekleri agat değirmende öğütülmüş ve öğütülen bu örneklerden 0,2 g alınarak 5-6 saat boyunca 550°C'de kül fırınında yakılmıştır. Yakma işleminden sonra elde edilen kül 1/33'lük HCl'de çözümlenmiş ve mavi bant filtre kağıdı kullanılarak filtre edilmiş ve ekstraksiyon süzümü elde edilmiştir. Elde edilen süzüklerde Na, K ve Ca konsantrasyonları Atomik Absorbsiyon Spektrometre cihazında ölçülmüştür.

Klorofil Analizi: Taze yaprak örneklerinden yaklaşık 0,1 g alınarak, seramik havan içerisinde

10 ml % 80'lik aseton içerisinde homogenize edilmiştir. Filtrasyon sonucu elde edilen süzüklerin spektrofotometrede 652 nm dalga boyunda absorbansları belirlenmiştir (Wellburn, 1994).

Lipid Peroksidasyon: Hodges ve ark. (1999)'a göre yapılan analizde yaklaşık 1 gram taze yaprak / kök örneği % 80'lik etil alkol içinde ekstrakte edilmiş ve ekstrakt 3000 g'de santrifüj edilmiştir. İki aşamada yapılan analizin birinci

aşamasında, santrifügattan alınan 1 birimin üzerine 1 birim % 20'lik (ağırlık / hacim) TCA (Trichloroacetic acid) ve 1 birim de % 0.01'lik BHT (Butylated Hydroxytoluene) ilave edilmiştir. Analizin ikinci aşamasında ise, santrifügattan alınan 1 birim üzerine 1 birim, içinde % 0.65 TBA (2-Thiobarbituric acid) içeren % 20'lik TCA ve bunun da üzerine 1 birim % 0.01'lik BHT ilave edilmiştir. Bu işlemlerden sonra örnekler karıştırıcıda karıştırılmış, 95°C'de su banyosunda 25 dakika bekletilmiş ve şok soğutma yapılmıştır. Soğutma işleminin ardından örnekler tekrar 3000 g'de santrifüj edilmiştir. Birinci aşama örneklerinde 532 ve 600 nm'de, ikinci aşama örneklerinde ise 532, 600 ve 440 nm'de spektrofotometrede absorbans okuması yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (ABS : Absorbans).

- 1) $(ABS_{532+TBA}) - (ABS_{600+TBA}) - (ABS_{532-TBA}) - (ABS_{600-TBA}) \square = A$
- 2) $(ABS_{440+TBA} - ABS_{600+TBA}) \times 0.0571 \square = B$
- 3) $nmol\ MDA / ml = (A - B / 157\ 000) \times 10^6$

Askorbik Asit: Askorbik asit analizleri Çakmak ve Marschner (1992)'ye göre yapılmıştır. Yöntem, ortama katılan Fe^{+3} 'ün askorbik asit ile Fe^{+2} 'nin bipyridin ile komplekslenerek 525 nm'de ölçümüne dayanmaktadır. Askorbik asit ekstraksiyonu % 5'lik meta-fosforik asit ile gerçekleştirilmiştir.

SH-Grupları (Glutasyon): SH-grubu analizleri, % 5'lik meta-fosforik ekstraksiyonunda DTNB (5-5' ditiyobis-Z-benzoik asit) reagenti kullanılarak yapılmıştır (Çakmak ve Marschner, 1992).

Çözünür Protein: Çözünür protein analizi Bradford (1976)'a göre gerçekleştirilmiştir. Buna göre, 100 mg coomasie brillant blu (G 250) 50 ml etil alkol (%99.5) içerisinde çözündürülüp ve üzerine 100 ml %85'lik ortofosforikasit ilave edilmiş, bu karışım saf su ile 600 ml'ye tamamlanmış ve kaba filtre kağıdıyla filtre edilmiştir. Ardından bu çözeltinin üzerine 100 ml gliserol (%87) eklenerek karışım saf su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır. Analiz aşamasında, 100 µl enzim santrifügatı üzerine 5 ml protein analiz çözeltisi ilave edilmiş ve ardından vortekslenmiştir.

Oluşan rengin absorbansı spektrofotometrede 595 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Protein analizinde standart olarak inek serum albumini kullanılmıştır.

Antioksidatif Enzim Analizleri: Taze yaprak örnekleri (0,5-1 g) 1 mM EDTA içeren 50 mM fosfat tamponu içinde homogenize edilmiş ve ardından 15000 g'de santrifüj edilmiştir. Santrifüjden sonra Cakmak ve ark. (1993) ve Cakmak (1994)'de verilen yöntemler kullanılarak santrifüj edilen örneklerde superoksit dismutaz, askorbat peroksidaz, glutatyon redüktaz, guaiakol peroksidaz ve katalaz aktiviteleri ölçülmüştür. Superoksit dismutaz aktivitesi, mavi tetrasolyum kloridin ışık altında O_2^- tarafından indirgenmesi yöntemine göre belirlenmiştir. Askorbat peroksidaz, 290 nm'de askorbatın oksidasyonu; glutatyon redüktaz 340 nm'de NADPH'nın oksidasyonu; guaiakol peroksidaz guaiakolün 470 nm'de oksidasyonu ve katalaz, H_2O_2 'nin 240 nm'de degradasyonuna göre ölçülmüştür. Yöntemlerin ayrıntısı, Cakmak ve ark. (1993) ve Cakmak ve Horst (1991)'de verilmektedir.

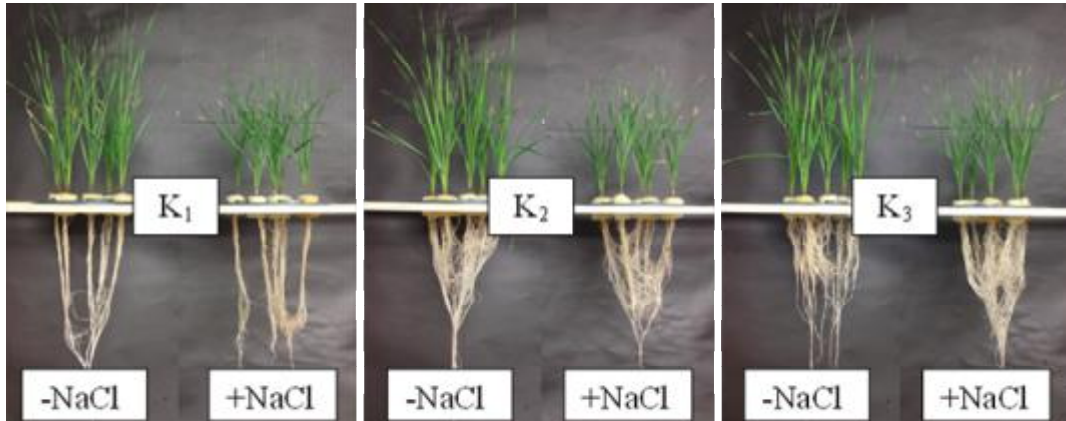
Denemeler tasadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Varyans analizi JMP 6.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Ortalamalar *t*-testi (% 5) kullanılarak karşılaştırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulguları

4.1.1. Yeşil Aksam ve Kök Kuru Madde Üretimi

Potasyum beslenmesinin tuz stresi atındaki makarnalık buğdayda antioksidatif savunma sistemleri üzerine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada 125 mM NaCl uygulaması potasyumun tüm dozlarında yeşil aksam kuru madde üretimini azaltmıştır. Tuz stresinin uygulanmadığı koşullarda artan K beslenmesine bağlı olarak yeşil aksam kuru madde üretiminin yükseldiği görülmüştür.



Şekil 4.1. Değişik potasyum ($K_1=75$, $K_2=150$ ve $K_3=2010$ μM) ve NaCl ($-\text{NaCl}=0$ ve $+\text{NaCl}=150$ mM) uygulamaları altında yetiştirilen makarnalık buğdaya ait görüntüler.

Buna göre, 75 μM K dozunda 52,2 mg bitki⁻¹ olan yeşil aksam kuru madde miktarı 150 μM K dozunda 57 mg'a, 2010 μM K dozunda ise 58,2 mg'a yükselmiştir. Tuz stresinin uygulandığı durumda, 75 μM K uygulamasına göre değerlendirildiğinde, yeşil aksam kuru madde üretiminin 150 μM K dozunda düşük düzeyde azaldığı, 2010 μM K dozunda ise düşük düzeyde arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam kuru madde üretimi üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Yeşil Aksam Kuru Madde Üretimi (mg bitki^{-1})		Ortalama
	NaCl Uygulaması (mM)		
	0	125	
75	52,2 b	40,8 cd (-22) ^d	46,5 B
150	57,0 a	39,2 d (-31)	48,1 B
2010	58,2 a	43,3 c (-26)	50,7 A
<i>Ortalama</i>	55,8 A	41,1 B (-26)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ***, ** ; V.K. (%) : 3,71

d: Kontrol (0 mM NaCl)e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim " - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p<0.05$) farklılıkları göstermektedir.

Kök kuru madde üretiminin tuz stresinin uygulanmadığı durumda artan K beslenmesiyle artış gösterdiği bulunmuştur. Düşük K dozunda (75 μM) tuz stresine bağlı olarak % 12,2'lik belirgin bir artış bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök kuru madde üretimi üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Kök Kuru Madde Üretimi (mg bitki^{-1})		Ortalama
	NaCl Uygulaması (mM)		
	0	125	
75	15,4 b	17,3 a (12,2) ^d	16,3 B
150	16,4 ab	17,4 a (6,0)	16,9 AB
2010	17,6 a	17,4 a (-1,4)	17,5 A
<i>Ortalama</i>	16,5 B	17,3 A (5,3)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : *, *, * ; V.K. (%) : 4,73

d: Kontrol (0 mM NaCl)e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim " - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p<0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.2. Yeşil Aksam ve Kök Na Konsantrasyonu

Tuz uygulamalarına bağlı olmaksızın artan K uygulaması yeşil aksamın Na konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltmıştır. En yüksek yeşil aksam Na konsantrasyonu K'un 75 µM ve NaCl'ün 125 mM dozunda elde edilmiştir. Buna göre, K'un 75 µM dozunda % 2,52 olan Na konsantrasyonu K'un 150 µM dozunda % 4 gerileyerek % 2,41'e ve K'un 2010 µM dozunda ise % 27 gerileyerek % 1,84 değerine inmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 µM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam sodyum konsantrasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (µM)	Yeşil Aksam Na Konsantrasyonu (%)		Ortalama
	NaCl Uygulaması (mM)		
	0	125	
75	0,29 c	2,52 a	1,41 A
150	0,23 c	2,41 a	1,32 A
2010	0,17 c	1,84 b	1,01 B
<i>Ortalama</i>	0,23 B	2,26 A	
Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ***, ***;			V.K. (%) : 8,06

"V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

Yeşil aksam Na konsantrasyonunda olduğu gibi, kök Na konsantrasyon değerlerinin de tuz uygulamalarından bağımsız olarak artan K beslenmesiyle azaldığı bulunmuştur. En belirgin azalışın ise K'un en yüksek dozunda ortaya çıktığı görülmüştür. Potasyumun 75 ve 150 µM dozlarında 125 mM NaCl uygulaması altında kök Na konsantrasyonlarının benzer olduğu tespit edilmiştir. Potasyumun 75 µM ve NaCl'ün 125 mM dozunda % 2,24 olan kök Na konsantrasyonu K'un 2010 µM dozunda % 8 azalarak % 2,06 değerine gerilemiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök sodyum konsantrasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Kök Na Konsantrasyonu (%)		Ortalama
	NaCl Uygulaması (mM)		
	0	125	
75	0,27	2,24	1,26 A
150	0,22	2,25	1,24 A
2010	0,18	2,06	1,12 B
<i>Ortalama</i>	0,22 B	2,18 A	
Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ***, ö.d.;			V.K. (%) : 4,78

"V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p<0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.3. Yeşil Aksam ve Kök K Konsantrasyonu

Artan K beslenmesine bağlı olarak yeşil aksam K konsantrasyonunun önemli ölçüde arttığı bulunmuştur. Tuz uygulamalarının ortalaması olarak K'un 75 μM dozunda % 3,25 olan K konsantrasyonunun K'un 150 μM dozunda % 30 artarak % 4,23'e ve K'un 2010 μM dozunda ise % 103 artarak % 6,60' a ulaştığı görülmektedir.

Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından değerlendirildiğinde, tuz uygulamasının yapılmadığı kontrol koşullarında % 5,14 olan yeşil aksam K konsantrasyonunun 125 mM NaCl uygulamasıyla % 4,24 gerilediği bulunmuştur. Potasyumun tüm dozlarında tuz uygulaması yeşil aksamın K konsantrasyonunu azaltmıştır. En düşük yeşil aksam K konsantrasyonu (% 3,06) K'un 75 μM dozunda 125 mM NaCl uygulamasında, en yüksek K konsantrasyonu (% 7,05) ise K'un 2010 μM dozunda tuz uygulamasının yapılmadığı koşullarda elde edilmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam potasyum konsantrasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (μ M)	Yeşil Aksam K Konsantrasyonu (%)		Ortalama
	NaCl Uygulaması (mM)		
	0	125	
75	3,43 d	3,06 e (-11) ^d	3,25 C
150	4,95 c	3,51 d (-29)	4,23 B
2010	7,05 a	6,15 b (-13)	6,60 A
<i>Ortalama</i>	5,14 A	4,24 B (-18)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ***, *** ; V.K. (%) : 2,49

d: Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim

" - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

Kök K konsantrasyonu değerlerinin, tuz uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, artan K beslenmesiyle önemli ölçüde yükseldiği bulunmuştur. Potasyumun 75 μ M dozunda % 1,49 olan K konsantrasyonunun potasyumun 150 μ M dozunda % 79 artarak % 2,67'ye, K'un 2010 μ M dozunda ise % 198 artarak % 4,44'e ulaştığı görülmüştür. Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, tuz uygulamasının olmadığı koşullarda % 3,71 olan kök K konsantrasyonunun 125 mM NaCl uygulamasıyla % 45 gerileyerek % 2,03'e düştüğü tespit edilmiştir. En düşük K konsantrasyonu (% 1,47) tuz uygulamasının yapılmadığı kontrol koşullarında K'un 75 μ M dozunda, en yüksek K konsantrasyonu (% 6,05) ise aynı koşullarda K'un 2010 μ M dozunda bulunmuştur. Tuz uygulamasıyla kök K konsantrasyonunda meydana gelen belirgin gerilemeler (% 52 ve % 53) K'un 150 ve 2010 μ M dozlarında gerçekleşmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök potasyum konsantrasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Kök K Konsantrasyonu (%)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	1,47 e	1,51 e (3) ^d	1,49 C
150	3,60 b	1,74 d (-52)	2,67 B
2010	6,05 a	2,83 c (-53)	4,44 A
<i>Ortalama</i>	3,71 A	2,03 B (-45)	
Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ***, *** ; V.K. (%) : 4,32			

d: Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim
" - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.4. Yeşil Aksam ve Kök K/Na Oranları

Ortalamalar açısından bakıldığında artan K beslenmesiyle birlikte yeşil aksam K/Na oranları önemli ölçüde yükselmiştir. Potasyumun 75 μM dozunda 6,52 olan K/Na oranının K'un 150 μM dozunda 1,76 katlık bir artışla 11,51'e K'un 2010 μM dozunda ise 3,39 katlık bir artışla 22,16'ya yükseldiği tespit edilmiştir. Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından ise kontrol koşullarında 24,77 olan K/Na oranının 125 mM NaCl uygulamasıyla 2,02'ye gerilediği görülmüştür. En düşük K/Na oranı % 1,22 değeriyle K'un en düşük ve NaCl'ün 125 mM dozunda bulunurken, en yüksek K/Na oranı 40,94 değeri ile K'un en yüksek ve NaCl'ün uygulanmadığı koşullarda elde edilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam K/Na oranı üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Yeşil Aksam K/Na Oranı		Ortalama
	NaCl Uygulaması (mM)		
	0	125	
75	11,81 c	1,22 e	6,52 C
150	21,55 b	1,46 e	11,51 B
2010	40,94 a	3,38 d	22,16 A
<i>Ortalama</i>	24,77 A	2,02 B	
Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ***, **;			V.K. (%) : 8,02

"V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p<0.05$) farklılıkları göstermektedir.

Kök K/Na oranlarında meydana gelen değişim, yeşil aksam K/Na oranlarındaki değişimle benzer olmuştur. Tuz uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, K'un 75 μM dozunda 3,07 olan kök K/Na oranının 150 μM K dozunda 8,76'ya, 2010 μM K dozunda ise 18,05'e yükselmiştir. Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından değerlendirildiğinde, kontrol koşullarında 18,98 olan K/Na oranının 125 mM NaCl uygulamasıyla 0,94'e gerilediği tespit edilmiştir. Tuz uygulamasının yapıldığı koşullarda K'un 75 μM dozunda 0,67 olan K/Na oranının K'un 150 μM dozunda % 13 artarak 0,77'ye, K'un 2010 μM dozunda ise % 105 artarak 1,38'e ulaştığı görülmüştür (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök K/Na oranı üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Kök K/Na Oranı		Ortalama
	NaCl Uygulaması (mM)		
	0	125	
75	5,47 c	0,67 d	3,07 C
150	16,74 b	0,77 d	8,76 B
2010	34,72 a	1,38 d	18,05 A
<i>Ortalama</i>	18,98 A	0,94 B	
Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : **, ***, **;			V.K. (%) : 12,33

"V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p<0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.5. Yeşil Aksam ve Kök Ca Konsantrasyonu

Tuz uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, yeşil aksam Ca konsantrasyonunun K'un 2010 μM dozunda K'un diğer dozlarına göre düşük düzeyde bir gerileme olduğu bulunmuştur. Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından ise, tuz uygulamasının olmadığı kontrol koşullarında % 0,75 olan yeşil aksam Ca konsantrasyonunun 125 mM NaCl uygulamasıyla % 60 gerilediği ve % 0,30 değerine düştüğü görülmüştür. Potasyumun tüm dozlarında 125 mM NaCl uygulamasıyla birlikte kontrol koşullarına göre yeşil aksam Ca konsantrasyonu değerlerinin önemli ölçüde gerilediği tespit edilmiştir. Artan K dozlarında 125 mM NaCl uygulaması altında yeşil aksam Ca konsantrasyonlarında önemli bir değişim olmazken, tuz uygulamasının yapılmadığı koşullarda K'un 2010 μM dozunda belirgin bir düşüş bulunmuştur (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam kalsiyum konsantrasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Yeşil Aksam Ca Konsantrasyonu (%)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	0,82 a	0,26 d (-68) ^d	0,54 A
150	0,80 a	0,34 c (-58)	0,57 A
2010	0,62 b	0,29 d (-53)	0,46 B
<i>Ortalama</i>	0,75 A	0,30 B (-60)	
Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ***, *** ; V.K. (%) : 5,92			

d: Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim
" - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

Tuz uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, artan K beslenmesiyle birlikte kök Ca konsantrasyonu değerinin azaldığı bulunmuştur. Potasyum uygulamalarının ortalaması olarak bakıldığında, 125 mM NaCl uygulaması kök Ca konsantrasyonunun % 0,28'den % 0,19'a gerilemesine neden olmuştur. Hem kontrol hem de 125 mM NaCl uygulamaları altında 2010 μM K

dozundaki kök Ca konsantrasyonu değerlerinin K'un diğer dozlarına göre daha düşük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök kalsiyum konsantrasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (μ M)	Kök Ca Konsantrasyonu (%)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	0,32 a	0,19 d (-41) ^d	0,26 A
150	0,28 b	0,19 d (-32)	0,24 B
2010	0,24 c	0,15 e (-38)	0,20 C
<i>Ortalama</i>	0,28 A	0,18 B (-37)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ***, * ; V.K. (%) : 7,19

d: Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim

" - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.6. Yeşil Aksam ve Kök Ca/Na Oranları

Ortalama değerler açısından bakıldığında, potasyum beslenmesinin artmasına bağlı olarak yeşil aksamın Ca/Na oranlarının yükseldiği tespit edilmiştir. En düşük K dozunda 1,47 olan yeşil aksam Ca/Na oranının 150 K dozunda % 24 artarak 1,82'ye ve 2010 μ M K dozunda ise % 28 artarak % 1,88'e yükseldiği bulunmuştur. Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, tuz uygulamasının olmadığı koşullarda 3,31 olan yeşil aksam Ca/Na oranının 125 mM NaCl uygulamasıyla birlikte önemli ölçüde gerileyerek 0,13'e düştüğü görülmüştür. Hem tuz uygulamasının olmadığı kontrol koşullarında, hem de 125 mM NaCl uygulamasının olduğu koşullarda K beslenmesinin iyileşmesine bağlı olarak yeşil aksamın Ca/Na oranlarının önemli oranda yükseldiği bulunmuştur (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μ M) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam Ca/Na oranı üzerine etkisi

K Uygulaması (μ M)	Yeşil Aksam Ca/Na Oranı		Ortalama
	NaCl Uygulaması (mM)		
	0	125	
75	2,84 b	0,10 c	1,47 B
150	3,49 a	0,14 c	1,82 A
2010	3,60 a	0,16 c	1,88 A
<i>Ortalama</i>	3,31 A	0,13 B	
Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : **, ***, *** ;			V.K. (%) : 11,57

"V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

Kök Ca/Na oranlarında uygulamalara bağlı olarak ortaya çıkan değişim, yeşil aksam Ca/Na oranlarında meydana gelen değişim kadar belirgin olmamıştır. Yine de, ortalama bazında değerlendirildiğinde, artan K beslenmesiyle kök Ca/Na oranlarında artışlar olduğu bulunmuştur. Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, tuz stresinin uygulanmadığı kontrol koşullarında 1,31 olan kök Ca/Na oranlarının 125 mM NaCl uygulamasıyla önemli ölçüde gerileyerek 0,08'e düştüğü görülmüştür. Tuz uygulamasının olmadığı koşullarda K beslenmesinin artmasına bağlı olarak kök Ca/Na oranlarında artışlar bulunurken, 125 mM NaCl uygulaması altında K'un 2010 μ M dozunda belirgin bir azalış ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın kök Ca/Na oranı üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Kök Ca/Na Oranı		Ortalama
	NaCl Uygulaması (mM)		
	0	125	
75	1,22	0,09	0,66
150	1,32	0,09	0,71
2010	1,40	0,07	0,74
<i>Ortalama</i>	1,31 A	0,08 B	
Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ö.d., ***, ö.d. ;			V.K. (%) : 14,57

"V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.7. Toplam Klorofil Konsantrasyonu

Potasyum dozlarının ortalaması açısından bakıldığında 125 mM NaCl uygulanması toplam klorofil konsantrasyonu üzerinde etkili olmamıştır. Tuz stresinin uygulanmadığı durumda, K'un artan dozlarına bağlı olarak klorofil konsantrasyonunun önce azaldığı sonra düşük düzeyde arttığı bulunurken, tuz stresinin uygulandığı koşullarda artan K beslenmesiyle klorofil konsantrasyonu azalmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın toplam klorofil konsantrasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Toplam Klorofil Konsantrasyonu (mg g^{-1} TA)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	2,82	2,74 (-2,8) ^d	2,78 A
150	2,46	2,67 (8,5)	2,57 B
2010	2,60	2,55 (-1,9)	2,58 B
<i>Ortalama</i>	2,63	2,65 (1,0)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : **, ö.d., ö.d. ; V.K. (%) : 4.78

d: Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim
" - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.8. Lipid Peroksidasyonu

Potasyum dozlarına bağlı olmaksızın, 125 mM NaCl uygulaması yeşil aksamın lipid peroksidasyonunu ortalama % 47 oranında yükseltmiştir. Tuz uygulamasına bağlı olmaksızın ise artan K beslenmesiyle lipid peroksidasyonu düzeylerinin önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur. Potasyumun 75 μM dozunda 21,5 nmol MDA g^{-1} TA olan lipid peroksidasyonunun, K'un 150 ve 2010 μM dozlarında sırasıyla 18,2 ve 14,3 nmol MDA g^{-1} TA değerlerine gerilediği görülmüştür. Lipid peroksidasyonundaki en göze çarpan düşüşün, tuz stresinin uygulanmadığı koşullarda 75 μM K dozuna göre 2010 μM K dozunda ortaya çıktığı görülmektedir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam lipid peroksidasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Lipid Peroksidasyonu (nmol MDA g^{-1} TA)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	19,5	23,5 (21) ^d	21,5 A
150	14,1	22,3 (58)	18,2 B
2010	10,2	18,4 (81)	14,3 C
<i>Ortalama</i>	14,6 B	21,4 A (47)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ***, ö.d. ; V.K. (%) : 1,12

d : Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.9. Askorbik Asit Konsantrasyonu

Tuz uygulamalarının ortalaması açısından değerlendirildiğinde, K'un 75 ve 150 μM dozlarında benzer olan askorbik asit konsantrasyonunun, K'un 2010 μM dozunda istatistiksel olarak önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Potasyum uygulamalarının ortalaması bazında bakıldığında, 125 mM NaCl uygulamasının askorbik asit düzeyini azalttığı, ancak bu azalışın istatistiksel olarak önemli olmadığı anlaşılmıştır (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam askorbik asit konsantrasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Askorbik Asit Konsantrasyonu (mg g^{-1} TA)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	3,39	3,10 (-9) ^d	3,25 A
150	3,28	3,02 (-8)	3,15 A
2010	2,82	2,87 (2)	2,84 B
<i>Ortalama</i>	3,16	2,99 (-5)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : **, ö.d., ö.d. ; V.K. (%) : 5,58

d : Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim

" - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.10. SH-Bileşikleri Konsantrasyonu

Tuz stresinin uygulanmasına bağlı olarak K'un tüm dozlarının ortalaması bazında SH-bileşikleri düzeyinin % 15 oranında azaldığı görülmektedir. NaCl uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, K'un 2010 μM dozunda K'un 75 ve 150 μM dozlarına göre SH-bileşikleri düzeyinde önemli bir düşüş tespit edilmiştir. SH-bileşikleri düzeyinde 125 mM NaCl uygulamasıyla ortaya çıkan en belirgin düşüşün K'un 75 μM dozunda olduğu görülmektedir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam SH-bileşikleri konsantrasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	SH-Bileşikleri Konsantrasyonu ($\mu\text{g g}^{-1}$ TA)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	285 a	208 d (-27) ^d	246 AB
150	267 ab	241 bc (-10)	254 A
2010	236 cd	219 cd (-7)	227 B
<i>Ortalama</i>	262 A	222 B (-15)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : *, ***, * ; V.K. (%) : 8,16

d: Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim
" - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p<0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.11. Çözünür Protein Konsantrasyonu

Potasyum, NaCl ve KxNaCl uygulamalarının çözünür protein konsantrasyonu üzerine etkisi önemli bulunmamıştır. Bununla birlikte, K uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında 125 mM NaCl uygulaması çözünür protein konsantrasyonunu düşük düzeyde azaltmıştır. Tuz uygulaması altında artan K beslenmesiyle çözünür protein düzeyi değişmezken, tuz uygulamasının olmadığı durumda ise azalma görülmüştür (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam çözümler protein konsantrasyonu üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Çözünür Protein Konsantrasyonu (mg g^{-1} TA)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	17,3	15,8 (-9) ^d	16,5
150	16,8	15,4 (-8)	16,1
2010	15,0	15,8 (5)	15,4
<i>Ortalama</i>	16,4	15,7 (-4)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ö.d., ö.d., ö.d. ; V.K. (%) : 7,82

d: Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim

" - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.12. Süperoksit Dismutaz Aktivitesi

Tuz uygulamalarının ortalaması açısından değerlendirildiğinde, artan K beslenmesiyle SOD aktivitesinin önemli ölçüde azaldığı ve bu azalışın K'un en yüksek dozunda belirgin şekilde olduğu bulunmuştur. Potasyumun 75 μM dozuna göre hesaplandığında, 2010 μM K uygulaması SOD aktivitesini % 28 oranında azaltmıştır. Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, NaCl uygulamasının yapılmadığı koşullarda 197 ünite g^{-1} TA olan SOD aktivitesi 125 mM NaCl uygulamasıyla % 12'lik artışla 221 ünite g^{-1} TA düzeyine yükselmiştir. SOD aktivitesinde tuz uygulamasıyla ortaya çıkan en yüksek artışın (% 28) K'un en 2010 μM dozunda olduğu görülmektedir. En yüksek SOD aktivitesi 242 ünite g^{-1} TA değeriyle K'un 75 μM ve NaCl'ün 125 mM dozunda; en düşük SOD aktivitesi ise 151 ünite g^{-1} TA değeriyle K'un 2010 μM dozunda ve NaCl'ün uygulanmadığı koşullarda ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam süperoksit dismutaz aktivitesi üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Süperoksit Dismutaz Aktivitesi ($\text{Ünite g}^{-1} \text{TA}$)		Ortalama
	NaCl Uygulaması (mM)		
	0	125	
75	235	242 (3) ^d	238 A
150	204	227 (12)	215 A
2010	151	193 (28)	172 B
<i>Ortalama</i>	197 B	221 A (12)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, *, ö.d. ; V.K. (%) : 12,22

d : Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim

"V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.13. Askorbat Peroksidaz Aktivitesi

Tuz uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, artan oranlarda uygulanan K dozları askorbat peroksidaz (APX) aktivitesinin önemli ölçüde azalmasına neden olmuştur. Ortalama olarak değerlendirildiğinde K'un 75 μM dozunda 5776 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ olan APX aktivitesi K'un 150 μM uygulanmasıyla % 24 gerileyerek 4361 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ değerine ve K'un 2010 μM uygulamasıyla ise % 28 gerileyerek 4127 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ değerine inmiştir.

Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından ise, 125 mM NaCl uygulamasının APX aktivitesini 5117 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ 'tan % 14'lük azalışla 4391 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ değerine düşürdüğü görülmektedir. Tuz stresi uygulamasıyla APX aktivitesinde meydana gelen en belirgin düşüşün (% 21) K'un 75 μM dozunda olduğu bulunmuştur. Tuz stresinin uygulanmasıyla K'un 150 μM dozunda APX aktivitesinin % 12, K'un 2010 μM dozunda ise % 7 azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam askorbat peroksidaz aktivitesi üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Askorbat Peroksidaz Aktivitesi ($\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	6437 a	5115 b (-21) ^d	5776 A
150	4640 bc	4081 cd (-12)	4361 B
2010	4275 cd	3978 d (-7)	4127 B
<i>Ortalama</i>	5117 A	4391 B (-14)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, **, * ; V.K. (%) : 8,16

d : Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim

" - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.14. Glutasyon Redüktaz Aktivitesi (GR)

Artan K beslenmesine bağlı olarak, tuz uygulamalarının ortalaması bazında glutasyon redüktaz aktivitesinin önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur. Potasyumun 75 μM dozuna göre karşılaştırıldığında, glutasyon redüktaz aktivitesinin 150 μM K dozunda % 9 oranında, 2010 μM K dozunda ise % 19 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Potasyum uygulamalarına bağlı olmaksızın, tuz stresinin uygulanmadığı koşullarda ortalama 507 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ olan GR aktivitesinin % 17 artarak 592 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ 'a yükseldiği görülmüştür. En yüksek GR aktivitesi 653 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ değeriyle K'un 75 μM ve NaCl'ün 125 mM uygulandığı durumda; en düşük GR aktivitesi ise 446 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ değeriyle K'un 2010 μM ve NaCl'ün uygulanmadığı koşullarda elde edilmiştir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam glutatyon redüktaz aktivitesi üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Glutatyon Redüktaz Aktivitesi ($\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	564	653 (16) ^d	608 A
150	511	591 (16)	551 B
2010	446	533 (19)	490 C
<i>Ortalama</i>	507 B	592 A (17)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ***, ö.d. ; V.K. (%) : 4,01

d : Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim

"V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p < 0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.1.15. Katalaz Aktivitesi (CAT)

Tuz uygulamalarının ortalaması bazında bakıldığında, artan K beslenmesi CAT aktivitesinin önemli ölçüde azalmasına neden olmuştur. Potasyumun 75 μM dozunda 4187 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ olan enzim aktivitesinin, K'un 2010 μM uygulamasıyla birlikte % 27'lik bir azalışla 3047 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ değerine gerilediği belirlenmiştir (Çizelge 4.21).

Potasyum uygulamalarına bağlı olmaksızın, 125 mM NaCl uygulanmasıyla CAT aktivitesinin ortalama değerinde meydana gelen azalış istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır. Potasyumun 75 ve 150 μM dozlarında tuz uygulamasıyla CAT aktivitesi gerilerken, K'un 2010 μM dozunda % 35'lik bir artış bulunmuştur (Çizelge 4.21).

Potasyumun artan dozlarına bağlı olarak CAT aktivitesinde meydana gelen azalışlar 125 mM NaCl uygulaması altında düşük düzeyde gerçekleşirken, NaCl'ün uygulanmadığı kontrol koşullarında azalışların daha belirgin olduğu görülmektedir. Buna göre, K'un 75 μM dozunda 4667 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ olan enzim aktivitesi 150 μM K uygulamasıyla % 15 gerileyerek 3976 $\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$ değerine ve 2010 μM

K uygulamasıyla ise % 44 gerileyerek 2599 nmol dk⁻¹ g⁻¹ TA değerine düşmüştür (Çizelge 4.21).

Çizelge 4.21. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 µM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam katalaz aktivitesi üzerine etkisi

K Uygulaması (µM)	Katalaz Aktivitesi (nmol dk ⁻¹ g ⁻¹ TA)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	4667 a	3707 b (-21) ^d	4187 A
150	3976 b	3597 b (-10)	3787 A
2010	2599 c	3496 b (35)	3047 B
<i>Ortalama</i>	3747	3600 (-4)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : ***, ö.d., ** ; V.K. (%) : 11,51

d : Kontrol (0 mM NaCl)e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim " - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki (p<0.05) farklılıkları göstermektedir.

4.1.16. Guaiakol Peroksidaz Aktivitesi

Artan K beslenmesine bağlı olarak, tuz uygulamalarının ortalaması bazında GuPX aktivitesinin önemli ölçüde azaldığı bulunmuştur. Buna göre, K'un 75 µM dozunda 412 nmol dk⁻¹ g⁻¹ TA olan enzim aktivitesi K'un 150 µM dozunda % 12 gerileyerek 361 nmol dk⁻¹ g⁻¹ TA değerine, K'un 2010 µM dozunda ise % 27 gerileyerek 299 nmol dk⁻¹ g⁻¹ TA değerine düşmüştür. Potasyum uygulamalarının ortalaması bazında bakıldığında, kontrol koşullarına göre 125 mM NaCl uygulamasıyla enzim aktivitesinde meydana gelen azalış önemli bulunmamıştır. Tuz stresinin uygulanmasıyla birlikte K'un 75 ve 150 µM dozlarında enzim aktivitelerinde azalmalar bulunurken; K'un 2010 µM dozunda % 19 oranında artış elde edilmiştir. En yüksek GuPX aktivitesi NaCl'ün uygulanmadığı K'un 75 µM dozunda, en düşük GuPX aktivitesi ise NaCl'ün uygulanmadığı K'un 2010 µM dozunda bulunmuştur (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Değişik potasyum (75, 150 ve 2010 μM) ve NaCl (0 ve 125 mM) uygulamalarının makarnalık buğdayın yeşil aksam guaiakol peroksidaz aktivitesi üzerine etkisi

K Uygulaması (μM)	Guaiakol Peroksidaz Aktivitesi ($\text{nmol dk}^{-1} \text{g}^{-1} \text{TA}$)		
	NaCl Uygulaması (mM)		Ortalama
	0	125	
75	450	375 (-17) ^d	412 A
150	363	358 (-1)	361 AB
2010	272	325 (19)	299 B
<i>Ortalama</i>	362	353 (-3)	

Önemlilik : K, NaCl, KxNaCl : **, ö.d.,ö.d. ; V.K. (%) : 16,80

d : Kontrol (0 mM NaCl)'e göre 125 mM NaCl uygulamasıyla meydana gelen % değişim

" - " işareti azalmayı, "V.K." varyasyon katsayısını göstermektedir.

Farklı harfler, ortalamalar arasındaki önemli düzeydeki ($p<0.05$) farklılıkları göstermektedir.

4.2. Tartışma

Tuz stresi altındaki makarnalık buğday genotipinin antioksidatif savunma sistemleri üzerine değişik potasyum beslenme düzeylerinin ne düzeyde etki ettiğinin araştırıldığı bu çalışmada, NaCl uygulamasına bağlı olarak yeşil aksam ve kök kuru madde üretiminde (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2) gerilemeler meydana gelmiş ve bunu toksisite belirtileri takip etmiştir. Potasyumun yetersiz düzeyde uygulandığı bitkilerde ise yaşlı yaprakların uç kısmından itibaren başlayan kurumalar gözle görülebilir belirtiler olmuştur. Tuz stresinin uygulanmadığı koşullarda tüm K dozlarının ortalaması olarak yeşil aksam kuru madde üretimi bitki başına 55,8 mg'dan 125 mM NaCl uygulamasıyla 41,1 mg düzeyine gerilemiştir (Çizelge 4.1).

Tuz stresine bağlı olarak hem yeşil aksam hem de kök kuru madde miktarlarında meydana gelen azalışlar arpa (Yıldız ve Terzi, 2011) ve buğday (Khan ve ark., 2013) gibi çeşitli bitkilerde gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında tuz uygulamasıyla birlikte kök kuru madde üretiminde tüm potasyum dozlarının ortalaması bazında % 4,8'lik bir artış bulunmuştur (Çizelge 4.2). Söz konusu artış, NaCl uygulamasının olmadığı koşullarda K'un 75 μM dozundaki kök kuru madde değerinin ortalamayı düşürmesinden kaynaklanan bir artıştır. Nitekim, tuz stresi

altında yeşil aksam büyümesinin kök büyümesine göre daha fazla olumsuz yönde etkilendiği bildirilmiştir (Greenway ve Munns, 1980).

Artan K beslenmesinin hem yeşil aksam hem de kök kuru madde üretimini arttırıcı etkisi NaCl'ün uygulanmadığı koşullarda daha belirgin şekilde ortaya çıkmıştır. Özellikle de K'un 75 μM dozundaki yeşil aksam ve kök kuru madde miktarlarının düşüklüğü dikkat çekici olmuştur (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Potasyum eksikliği koşullarında kuru madde üretimindeki gerilemeler değişik bitki türlerinde; örneğin arpada (Hafsi ve ark., 2010; Endris ve Mohammed, 2007) ve çeltikte (Sabir ve ark., 2003) gösterilmiştir.

Kontrol bitkileriyle karşılaştırıldığında, 125 mM NaCl uygulamasıyla beklenildiği gibi hem yeşil aksam hem de kök Na konsantrasyon değerlerinin önemli ölçüde yükseldiği bulunmuştur (Çizelge 4.3). Tuz uygulamasına bağlı olarak yeşil aksam ve kök Na konsantrasyonlarındaki artışlar mısır (Eker ve ark., 2006; Yakıt ve Tuna, 2006), arpa (yıldız ve Terzi, 2011), sorgum (Netondo ve ark., 2004) ve buğday (Karanlık, 2001) gibi değişik bitki türlerinde örneğin ortaya konmuştur. Potasyumun 75 ve 150 μM dozlarında yüksek olan yeşil aksam ve kök Na konsantrasyonlarının K'un 2010 μM dozunda belirgin ölçüde gerilediği tespit edilmiştir (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4). Potasyumun 75 μM dozuna göre değerlendirildiğinde, % 2,52 olan yeşil aksam Na konsantrasyonunun 2010 μM K uygulamasıyla % 27 gerileyerek % 1,84'e düştüğü görülmektedir (Çizelge 4.3). Aynı koşullarda kök Na konsantrasyonunda 2010 μM K uygulamasıyla sadece % 8'lik bir gerileme meydana gelmiştir (Çizelge 4.4). Potasyum beslenmesinin artışına bağlı olarak Na konsantrasyonunda meydana gelen azalma zeytin (Chartzoulakis ve ark., 2006), hardal (Umar ve ark., 2011) ve mısır (Botella ve ark., 1997) gibi değişik bitkilerde ortaya konmuştur. Hem yeşil aksam hem de kök K konsantrasyonlarının tuz uygulamasının yapıldığı ve yapılmadığı durumda artan K beslenmesine bağlı olarak önemli ölçüde yükseldiği bulunmuştur. Bununla birlikte, tüm K dozlarında 125 mM NaCl uygulaması hem yeşil aksam hem de köklerde K konsantrasyonlarının azalmasına yol açmıştır (Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6). Nitekim, tuz stresinin potasyum eksikliğine yol açtığı bildirilmiştir (Chow ve ark., 1990). Domateste artan NaCl uygulamasıyla yeşil aksam K konsantrasyonunun ve K/Na oranlarının azaldığı

bulunmuştur (Al-Karaki, 2000). Artan K beslenmesine bağlı olarak K konsantrasyonundaki artış ve Na konsantrasyonundaki azalma ve dolayısıyla yüksek K/Na oranları plasmalemmadaki iyon alım bölgelerinde K ve Na arasındaki doğrudan rekabetin bir sonucu olabilir (Epstein, 1966). Kök sisteminin Na ve K için seçiciliğindeki farklılıklar, bu iyonların relatif absorpsiyonları dolayısıyla beslenmeleri açısından önemlidir; ve böylece de bunların bitki dokusundaki konsantrasyonlarını etkilemektedir (Grattan ve Grive, 1999). Yüksek K/Na oranlarının tuz stresine toleransa önemli bir parametre olduğu bildirilmiştir (Gorham ve ar., 1991; Chhipa ve Lal, 1995; Ashraf, 2002; Eker ve ark., 2006). Buradan hareketle artan K beslenmesine bağlı olarak yükselen K/Na oranlarının (Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8) bitkiyi tuz stresine tolerant hale getirdiği söylenebilir.

Potasyum, bir makro element olarak, kök büyümesinin teşvik edilmesinde, yaprak alanının, klorofil içeriğinin, net asimilasyon oranının artışında, membran potansiyelinin ve turgorun dengelenmesinde, enzim aktivasyonunda, osmotik basıncın, stoma hareketlerinin ve tropizmlerin düzenlenmesinde ve örneğin N^+ ve Cl^+ gibi iyonların aşırı miktarda alınımının ve aktarılmasının azaltılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Cherel, 2004; Cakmak 2005). Bitkilerin stres koşullar altında fotosentezle ilgili olayları optimum düzeyde devam ettirebilmesi stromada yüksek K konsantrasyonlarına ihtiyaç duyduğu bildirilmektedir (Chow ve ark., 1990).

Tuzlu koşullar altında bitkilerin sağlıklı büyümeye devam edebilmesi için Ca beslenmesinin önemli bir role sahip olduğu bildirilmiştir (Marschner, 1995). Tuz stresi altında Ca'un membran integrasyonunu artırmada iyon alımı ve transportunda seçiciliğin kontrolünü sağlama gibi olumlu etkilerinin olduğu rapor edilmiştir (Lauchli, 1990). Bu çalışmada, potasyum uygulamalarının ortalaması açısından değerlendirildiğinde, 125 mM NaCl uygulamasıyla kontrol koşullarına göre yeşil aksam Ca konsantrasyonunun % 60 oranında gerilediği bulunmuştur (Çizelge 4.9). Benzer şekilde, kök Ca konsantrasyonunun ise % 36 gibi bir düşüş gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.10). Tuzluluğun artışına bağlı olarak Ca konsantrasyonunda azalma sorgum (Netondo ve ark., 2004) ve buğdayda da (Ali ve ark., 2002) bildirilmiştir. Tuzlulukla birlikte Ca/Na oranlarında azalma farklı kabak türleri, kavun (Yetişir ve Uygur, 2009) ve domateste (Turhan ve ark., 2009) gösterilmiştir.

Lipid peroksidasyonu bitkilerde oksidatif stres düzeyinin bir göstergesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, potasyum ve NaCl uygulamaları yeşil aksamın lipid peroksidasyonu düzeyini önemli ölçüde etkilemiştir. Potasyum uygulamalarının ortalaması bakımından değerlendirildiğinde 125 mM NaCl uygulaması lipid peroksidasyonu % 47 oranında yükseltmiştir (Çizelge 4.14). Tuz stresi koşullarında yüksek lipid peroksidasyonları düzeyi değişik bitki türlerinin tuz stresine hassas olan genotiplerinde; örneğin çeltik (Dionisio_Sese ve Tobita, 1998; Demiral ve Türkan, 2005), yulaf (Bai ve ark., 2013) ve biberde (Aktaş ve ark., 2012) tespit edilmiştir. Lipid peroksidasyonu düzeyindeki artış serbest radikal reaksiyonlarının önemli bir göstergesidir ve $O_2^{\cdot-}/H_2O_2$ arasındaki dengenin değişimi Haber_Weiss reaksiyonu yoluyla oldukça reaktif $\cdot OH$ 'ın metal katalizörlüğünde oluşumunu kolaylaştırabilir (Bowler ve ark., 1992).

Bitkilerin potasyum beslenmesinin iyileştirilmesi hem kontrol hem de 125 mM tuz uygulaması altında lipid peroksidasyon düzeylerini belirgin ölçüde azaltmıştır. Ortalamalar açısından ise K'un 75 μM dozunda 21,5 nmol MDA g^{-1} TA olan lipid peroksidasyonunun K'un 150 μM 18,2'ye ve de K'un 2010 μM dozunda 14,3'e gerilediği bulunmuştur (Çizelge 4.14).

En düşük lipid peroksidasyonu düzeyi NaCl uygulamasının olmadığı K'un 2010 μM dozunda bulunurken, en yüksek değer 125 mM NaCl uygulamasında K'un en düşük dozunda (75 μM) bulunmuştur (Çizelge 4.14). Tuz uygulamasının olmadığı ve K'un 75 μM dozunda elde edilen lipid peroksidasyonu düzeyinin yüksek olması K eksikliği koşullarında da bitkilerde oksidatif stresin olduğunun en iyi göstergesidir. Potasyum eksikliği altında artan lipid peroksidasyonunun kloroplastlarda, iyi bir lipid peroksidasyonu indükleyici olan singlet oksijen (1O_2) üretiminin varlığını ortaya koymaktadır (Screerivasulu ve ark., 1999; Halliwell ve Gutteridge, 2000). Nitekim, yetersiz K beslenmesinin bitki dokularında oksidatif hasara yol açtığı bildirilmiştir (Tewari ve ark., 2004; Cakmak, 2005). Bu tez çalışmasında bulunan sonuçlarla uyumlu olarak, tuz stresi koşullarında artan potasyum beslenmesinin lipid peroksidasyonu azalttığı tespit edilmiştir (Hafsi ve ark., 2010; Umar ve ark., 2011).

Askorbik asit ve SH-bileşikleri düzeylerinde tuz uygulamasıyla ortaya çıkan azalışların K beslenmesindeki iyileşmeyle gerilemesi (Çizelge 4.15 ve 4.16), toksik

O₂ türevlerine karşı antioksidant savunma sisteminin etkinliğini, bir başka deyişle, askorbat-glutasyon döngüsünün yeterli K beslenmesi altında aktivitesinin arttığı bir göstergesi olabilir. Nitekim askorbat ve glutasyon, askorbat-glutasyon döngüsüne katılmaktadır ve H₂O₂ detoksifikasyonunun önemli bir parçasıdır (Noctor ve Foyer, 1998). Potasyum eksikliğinde askorbik asit düzeyinin artması, onun sentezinin indüklenmesiyle veya yıkımındaki bir gerilemeyle açıklanabilir. Yüksek askorbat düzeylerinin, farklı stres tiplerinden dolayı ortaya çıkan oksidatif zarardan korunmada antioksidant sisteminin devamı için gerekli olduğu bildirilmiştir (Shigeoka ve ark., 2002).

Bitkiler toksik oksijen türevlerinin oluşturduğu oksidatif zararı azaltmak amacıyla antioksidatif enzimlerle (SOD, CAT, APX, GuPX, GR) birlikte düşük moleküler ağırlıklı antioksidantları içeren kompleks bir antioksidatif savunma sistemi geliştirmiştir (McKersie ve Lesham, 1994; Noctor ve Foyer, 1998). Oksidatif strese bağlı olarak anti oksidatif enzimlerin aktivitelerinin indüklenmesi, stresle mücadelede gerekli olan genel bir stratejiyi ortaya koymaktadır (Foyer ve ark., 1994).

Bu çalışmada, SOD aktivitesi K ve NaCl uygulamalarından önemli ölçüde etkilenirken KxNaCl interaksiyonu önemli olmamıştır. Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında, kontrol koşullarında 197 ünite g⁻¹ TA olan SOD aktivitesinin tuz uygulamasıyla birlikte % 12'lik artışla 221 ünite g⁻¹ TA değerine ulaştığı görülmüştür (Çizelge 4.18). Tuz stresine tolerant çeşitler, tuz stresi altında SOD aktivitelerini artırırken hassas olan çeşitlerde böyle bir sonuç ortaya çıkmamıştır (Gosset ve ark., 1994; Dionisio_Sese ve Tobita, 1998; Aktaş ve ark., 2012). Tuz uygulamasına bağlı olarak enzim aktivitesinde meydana gelen en yüksek artış % 28 ile K'un 2010 µM dozunda gerçekleşirken, K'un 75 ve 150 µM dozlarında tuz uygulamasıyla sırasıyla % 3'lük ve % 11'lik aktivite artışları bulunmuştur. Potasyumun 2010 µM dozunda tuz uygulamasıyla SOD aktivitesindeki artışın aynı koşullarda çözümlü protein konsantrasyonunda meydana gelen artışla uyumlu olduğu görülmüştür (Çizelge 4.17). Artan potasyum uygulaması hem kontrol hem de 125 mM NaCl uygulaması altında SOD aktivitesinin azalmasına yol açmıştır (Çizelge 4.18). Yetersiz K beslenmesi altında yüksek SOD aktiviteleri bir başka deyişle

yüksek süperoksit radikal oluşumu değişik bitki türlerinde de örneğin, mısır (Tewari ve ark., 2004), çeltik (Din ve ark., 2008) ve yabancı arpada (Hafsi ve ark., 2011) bulunmuştur. Çakmak (2005)'e göre, bitkilerin K beslenmelerinin iyileştirilmesi NAD(P)H oksidozların aktivitelerinin azaltılması ve de fotosentetik elektron taşınımının sürdürülmesi yoluyla toksik O_2 türevlerinin üretimini büyük ölçüde azaltabilir. Süperoksit dismutaz radikali (O_2^{\bullet})'nin H_2O_2 ve O_2 'e dismutasyonunu katalizlemektedir (Bowler ve ark., 1992; Scandalious, 1993). Buradan hareketle bu çalışmada hem kontrol hem de 125 mM NaCl uygulaması altında artan K beslenmesine bağlı olarak SOD aktivitesinin azalması (Çizelge 4.18), süperoksit radikalının SOD tarafından H_2O_2 ve O_2 'e dismutasyonunun katalizlendiğini ortaya koymaktadır.

Potasyum uygulamalarının ortalaması açısından değerlendirildiğinde, 125 mM NaCl uygulamasının APX aktivitesini % 14 oranında azalttığı bulunmuştur. Tuz stresine bağlı olarak APX aktivitesindeki azalış K beslenmesinin iyileşmesiyle önemli ölçüde gerilemiştir. Buna göre, K'un 75 μ M dozunda % 20 olan gerileme, K'un 150 μ M dozunda % 12, K'un 2010 μ M dozunda ise % 7 olmuştur (Çizelge 4.19). Tuz stresine bağlı olarak APX aktivitesinin pamukta azalırken (Gossett ve ark., 1994), dutta ise arttığı (Harinasut ve ark., 2003) bulunmuştur. Alves da Costa ve ark. (2005)'nin yaptıkları çalışmada ise APX aktivitesi tuz stresine hassas sorgumda tuz uygulamasıyla düştüğü, tuz stresine tolerant sorgumda ise arttığı gözlemlenmiştir. Bu tez çalışmasında tuz uygulamasıyla APX aktivitesinde meydana gelen azalmalar, özellikle K'un yetersiz dozlarındaki azalmalar (Çizelge 4.19) aynı K dozlarında askorbik asit konsantrasyonlarında meydana gelen düşüşlerle (Çizelge 4.16) uyumlu görünmektedir. Nitekim, bitkilerde H_2O_2 'nin yok edilmesinde başlıca rol oynayan APX, elektron vericisinin olmadığı durumda aktivitesini kaybettiği ve askorbik asitin APX için en etkin elektron verici olduğu bildirilmiştir (Asada, 1992). Diğer yandan, K'un yetersiz olduğu durumlarda 125 mM NaCl uygulamasında askorbik asitin bir bölümü doğrudan singlet oksijenle reaksiyona girmiş olacağı düşünülebilir. Askorbik asitin süperoksitin, H_2O_2 'yi ve OH^{\bullet} 'yi doğrudan indirgeyebilme yeteneğinde olduğu bildirilirken ayrıca, 1O_2 ile de doğrudan reaksiyona giren önemli bir antioksidant olduğu ifade edilmiştir (Noctor ve Foyer, 1998; Bodannes ve Chan,

1979). Tuz uygulamasının yapıldığı durumda K'un yeterli dozunda APX aktivitesindeki azalmanın yavaşlaması (Çizelge 4.19) ve aynı K dozunda askorbik asit düzeyinin sabit kalması (Çizelge 4.16) K'un 2010 µM dozunun bitkileri tuz stresine bağlı oksidatif zararlanmaya karşı koruduğunu işaret etmektedir.

Potasyumun yetersiz olduğu dozlarda APX (Çizelge 4.19) ve GR (Çizelge 4.20) aktivitelerindeki yükseklik Çakmak (1994) tarafından da bildirildiği gibi, ilgili elementin eksikliğinde fotoredüktantların CO₂ fiksasyonunda kullanılmasının sınırlandırılması sonucu toksik O₂ türevlerinin oluşumunu indükleyebilir. Bu sonucu destekler şekilde, çeltikte K eksikliğinde APX ve GR aktivitelerinin yükseldiği bulunmuştur (Liu ve ark., 2013).

Potasyum uygulamalarının ortalaması olarak bakıldığında 125 mM NaCl uygulaması GR aktivitesini % 16,7 oranında artırmıştır (Çizelge 4.20). Tuz stresinin artmasına bağlı olarak GR aktivitesindeki artışlar, buğday (Mandhanian ve ark., 2006), tütün (Çelik ve Atak, 2012), biber (Aktaş ve ark., 2012) ve tuz stresine tolerant pamuktaki (Gossett ve ark., 1994) artışlarla da uyumludur. Potasyumun yetersiz dozlarında tuz uygulamasıyla meydana gelen GR aktivitesindeki çoğalmalar benzer (% 16) olurken, K'un 2010 µM'da ise % 20 olmuştur (Çizelge 4.20). Bu durum, yeterli K beslenmesi altında toksik O₂ türevlerine karşı antioksidatif savunma sisteminin daha etkin hale geldiğini gösterebilir.

Katalaz (CAT) aktivitesi, K ve KxNaCl uygulamalarından önemli ölçüde etkilenmiştir. Katalaz aktivitesi 125 mM NaCl uygulamasıyla birlikte azalmış ancak bu azalma istatistik olarak önemli olmamıştır. Potasyumun 75 ve 150 µM dozlarında tuz uygulamasıyla birlikte enzim aktiviteleri sırasıyla % 21 ve % 10 azalmıştır (Çizelge 4.21). Bu sonuçlarla uyumlu olarak, NaCl'ün yüksek dozlarında CAT aktivitesinin soyada azaldığı bulunmuştur (Amirjani ve ark., 2010). Benzer azalışlar, artan tuzlulukla birlikte patatesten de görülmüştür (Fidalgo ve ark., 2004). Bununla birlikte, K'un 2010 µM dozunda tuz uygulamasıyla CAT aktivitesinin % 35 oranında arttığı bulunmuştur. Smirnoff (1995)'a göre CAT aktivitesindeki artış oksidatif stresin dolaylı bir göstergesidir. Bu çalışmada, K'un yeterli düzeyde uygulandığında, 125 mM NaCl uygulamasıyla CAT aktivitesinin artması (Çizelge 4.21), H₂O₂'e karşı koruyucu mekanizmanın etkin olduğunu göstermektedir. Süperoksit dismutaz ve

başka raksiyonlar tarafından üretilen H_2O_2 peroksidazlar ve CAT tarafından detoksifike edilmektedir (Foyer ve ark., 1994). Bununla birlikte, çoğu CAT aktivitesinin peroksizom ile sınırlı olmasından (Halliwell, 1982) kloroplastlarda H_2O_2 'nin detoksifikasyonunda CAT'ın rolünün düşük düzeyde olduğu kabul edilmektedir. Kloroplastlarda H_2O_2 'in parçalanmasının peroksidazlarla kontrol edildiği bildirilmiştir (Salin, 1988).

Bu çalışmada K uygulamalarının ortalaması olarak bakıldığında, 125 mM NaCl uygulamasıyla SOD aktivitesindeki artışla (Çizelge 4.18) CAT aktivitelerindeki azalışın (Çizelge 4.21) uyumlu olduğu görülmektedir. Nitekim CAT'ın süperoksit radikali (O_2^-)'ne karşı hassas olduğu ve artan O_2^- düzeylerinde inaktif hale geldiği bildirilmiştir (Fridovich, 1986). Potasyumun yeterli dozunda 125 mM tuz uygulamasıyla hem SOD (Çizelge 4.18) hem de CAT (Çizelge 4.21) aktivitelerinde görülen belirgin artışlar tuza bağlı oksidatif stresin etkilerinin azaltılmasında bu enzimlerin birlikte önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Bu tez çalışmasında K'un yetersiz olduğu hem kontrol hem de 125 mM NaCl uygulaması altında CAT aktivitesinin yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 4.21). Benzer biçimde K eksikliği altında CAT aktivitesindeki artış çeltikte de bulunmuştur (Liu ve ark., 2013).

Guaiakol peroksidaz (GuPX) aktivitesinin K uygulamalarından önemli ölçüde etkilendiği görülmektedir. Ancak NaCl ve KxNaCl uygulamalarının enzim aktivitesi üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli olmamıştır. Bununla birlikte, K uygulamalarının ortalaması açısından bakıldığında 125 mM NaCl uygulamasının GuPX aktivitesini azalttığı görülmektedir (Çizelge 4.22). Tuz uygulamasına bağlı olarak, tuz stresine hassas sorgum genotipinin hem yeşil aksam hem de kökünde GuPX aktivitesi azalırken, tuz stresine tolerant genotipte enzim aktivitesinin arttığı bulunmuştur (Alves da Costa ve ark., 2005). Potasyumun yetersiz dozlarında, özellikle de, 75 μ M dozunda tuz uygulamasıyla birlikte enzim aktivitesinde % 17 oranında bir azalış olmuştur. Bu azalış 150 μ M K dozunda önemli ölçüde gerilemiştir. Yeterli K uygulamasıyla birlikte kontrol koşullarına göre, 125 mM NaCl uygulamasıyla GuPX aktivitesinin % 19 arttığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.22). Bu

artış, NaCl'e bağlı oksidatif strese karşı savunma sisteminin K'un yeterli dozunda etkin olduğunun bir göstergesidir.

Bu tez çalışmasında, artan K beslenmesiyle birlikte, hem kontrol hem de 125 mM NaCl uygulaması altında GuPX aktivitesinin azaldığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.22). Diğer yandan düşük K uygulamasındaki yüksek GuPX aktivitesi aynı zamanda bu koşulda yüksek oranda H₂O₂ üretiminin olduğunu göstermektedir. Gaspar ve ark. (1985)'na göre, yüksek GuPX aktivitesi bu enzimin katalize olduğu hücre duvarları ve/veya sitoplazmada yüksek düzeyde H₂O₂ üretiminin olduğuna işaret etmektedir. Cakmak (1994) tarafından yapılan çalışmada da, K eksikliği koşullarında GuPX aktivitesinin fasülye yapraklarında önemli ölçüde yükseldiği bulunmuştur. Bu çalışmada, artan K beslenmesiyle hem kontrol hem de 125 mM NaCl uygulaması altında GuPX aktivitesindeki azalışlar (Çizelge 4.22) lipid peroksidasyondaki azalışlarla (Çizelge 4.14) uyumlu görünmektedir. Buradan hareketle, K beslenmesinin iyileşmesiyle dokularda H₂O₂ üretiminin azaldığını ve bu durumun hem kontrol koşullarında hem de 125 mM NaCl uygulamasının olduğu durumda gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bitkilerin potasyum beslenmesinin iyileştirilmesi tuz uygulamasının yapılmadığı koşullarda hem yeşil aksam hem de kök kuru madde üretiminin artmasını sağlamıştır. Buna karşın 125 mM NaCl uygulaması altında artan potasyum beslenmesinin yeşil aksam ve kök kuru madde üretimi üzerinde etkili olmadığı tespit edilmiştir.

Potasyum beslenmesinin yeşil aksam ve kök sodyum konsantrasyonunu azaltıcı etkisi potasyumun 2010 μ M dozunda belirgin ölçüde gerçekleşmiştir.

Artan potasyum beslenmesine bağlı olarak hem yeşil aksam hem de kökte potasyum konsantrasyonu artmıştır.

Tuz uygulaması, beklenildiği gibi hem yeşil aksam hem de kök potasyum konsantrasyonunu azaltmıştır.

Potasyum beslenmesinin iyileştirilmesiyle hem kontrol hem de 125 mM NaCl uygulaması altında yeşil aksam ve kökün K/Na oranları önemli ölçüde yükselmiştir.

Tuz uygulaması hem yeşil aksam hem de köklerin kalsiyum konsantrasyonunu azaltmıştır. Bu azalışlar potasyumun tüm dozlarında gerçekleşmiştir.

Tuz uygulaması hem yeşil aksam hem de köklerin Ca/Na oranlarının azalmasına neden olurken, artan potasyum beslenmesinin özellikler yeşil aksamda Ca/Na oranlarını arttırdığı bulunmuştur.

Artan potasyum beslenmesi hem kontrol hem de 125 mM NaCl uygulaması altında lipid peroksidasyonu azaltmıştır. Bu azalış yeterli potasyum beslenmesinde daha fazla olmuştur. Tuz uygulaması, beklenildiği gibi potasyumun tüm dozlarında lipid peroksidasyonu arttırmıştır.

SH-bileşikleri konsantrasyonu tuz uygulamasıyla azalmıştır. Bu azalışlar potasyumun tüm dozlarında gerçekleşmiştir.

Artan potasyum beslenmesiyle askorbik asit konsantrasyonu azalmıştır. Bu azalış potasyumun yeterli düzeyde uygulanmasıyla daha belirgin olmuştur.

Potasyumun düşük dozlarında SOD, APX, GR, CAT ve GuPX enzim aktivitelerinin K'un yeterli (2010 μM) dozuna göre daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Potasyumun yeterli düzeyde uygulandığı dozda, 125 mM NaCl uygulamasıyla SOD, GR CAT ve GuPX aktivitelerinde görülen belirgin artışlarla, hem kontrol hem de 125 mM NaCl uygulaması altında potasyum beslenmesinin iyileşmesiyle lipid peroksidasyonda ortaya çıkan önemli azalışlar, tuz stresine bağlı olarak oluşan toksik oksijen türevlerinin olumsuz etkilerinin giderilmesinde potasyum beslenmesinin önemini ortaya koymaktadır.

Özet olarak, tuz stresi altındaki bitkilerin potasyum beslenmesinin iyileştirilmesi dokularda Na konsantrasyonunun seyrelmesine ve lipid peroksidasyonun azaltılmasına önemli katkı yapmıştır. Tuz stresi altındaki bitkilere yeterli potasyum uygulaması enzim aktivitelerinde belirgin artışlar sağlamıştır. Bu nedenle, makarnalık buğdayda tuz stresine bağlı oksidatif zararlanmanın olumsuz etkilerinin hafifletilmesinde potasyum beslenmesi önemlidir. Gerek gübre ihtiyaçları tespit edilmeden yapılan gübrelemeler sonucu ve gerekse yıllar önce yapılan çalışmaların kaynak olarak gösterilmesinden dolayı, ülkemiz topraklarının genellikle potasyumca zengin olduğuna inanılmakta ve bu durum günümüzde de böyle devam etmektedir. Buna karşın, yapılan çalışmalar sonucu, birim tarım arazisi miktarına göre tüketilen K_2O miktarının toplam azotlu ve fosforlu gübrelerin % 5'inden daha az olduğu belirlenmiştir (Kacar, 2005). Buradan hareketle, tuzlu veya tuzluluk tehdidi altındaki tarım alanlarında buğday yetiştiriciliğinde bitkilerin potasyum beslenmesine ve dokulardaki K konsantrasyonunun yeterli düzeylerde tutulacak şekilde toprak analizlerine dayalı gübreleme programları yapılmasına dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

- ABD EL-HADI, A. H., ISMAIL, K. M., EL-AKAHAWY, M. A., 1997. Effect of potassium on the drought resistance of crops in Egyptian conditions, in Johnston, A. E.: Food Security in the WANA Region, the Essential Need for Balanced Fertilization. Int. Potash Inst., Basel, pp. 328-336.
- AHRENS, L. H., 1965. Distribution of Elements in Our Planet, Mc Graw-Hill, New York, 110 p.
- AKTAŞ, H., 2002. Biberde tuza dayanıklılığın fizyolojik karakterizasyonu ve kalıtımı, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Doktora tezi, 105 sayfa.
- AKTAS, H., ABAK, K., EKER, S. 2012. Anti-oxidative responses of salt-tolerant and salt-sensitive pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes grown under salt stress. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, vol. 87, no. 4, pp. 360-366.
- AKTAŞ, H., ABAK, K., ÖZTÜRK, L. and CAKMAK, I., 2006. The effect of zinc on growth and shoot concentrations of sodium and potassium in pepper plants under salinity stress. *Turk J Agric For.* 30: 407-412.
- AKTAŞ, M., 1995. Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yay. No: 142, Ders Kitabı No: 4, Ankara.
- ALI, A., AHMED, I., ZAMAN, B., and SALIM, M. Nutritional effect of calcium on growth and ionic concentration of wheat under saline conditions, 2002. *Pak J. Agri.Sci.* Vol:39 pp. 1-7.
- AL-KARAKI, G. N., 1996. Response of three tomato cultivars to increasing salt stress. *Muta J. Res. Studies*, 11: 23-28.
- AL-KARAKI, G. N., 2000. Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. I. *Plant Nutr.* 23 (1): 1-8.

- ALPASLAN, M., İNAL, A., GÜNEŞ, A., ÇIKILI, Y., and ÖZCAN, H., 1999. Effect of zinc treatment on the alleviation of sodium and chloride injury in tomato (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill. cv. Lale) grown under salinity. Tr. J. of Botany. 23: 1-6.
- ALSCHER, R. G., DONAHUE, J. L., and CRAMER, C. L., 1997. Reactive oxygen species and antioxidants: relationships in green cells. *Physiol. Plant.* 100: 224-233.
- AMIRJANI, M. R., 2010. Effects of salinity stress on growth, mineral composition, proline content, antioxidant enzymes of soybean. *Am J Physiol*, 5: 350-360.
- APEL K., HIRT H., 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress and signal transduction. *Annu Rev Plant Biol.* 55: 373–399.
- ASADA, K., 1992. Ascorbate peroxidase- a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Physiol. Plant.* 85: 235-241.
- ASADA, K., 1994. Production and action of active oxygen in photosynthetic tissues. In: Foyer CH, Mullineaux PM (eds) Causes of photooxidative stress in plants and amelioration of defence system. CRC Press. Boca Raton, pp 77-104.
- ASADA, K., 2000. The water-water cycle as alternative photon and electron sinks. *Philosophical Transactions of the Royal Society, B.* 355:1419-1430.
- ASADA, K., TAKAHASHI M., TANAKA, K., NAKANO, Y., 1977. Formation of active oxygen and its fate in chloroplast. In: Hayaishi O., Asada K., eds, Biochemical and medical aspect of active oxygen. Scientific Societies Press, Tokyo: 45-63.
- ASHRAF, M., 2002. Salt tolerance of cotton: Some new advances. *Crit. Rev. Plant Sci.* 21: 1-30.
- ASHRAF, M., 2004. “Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants”, *Flora*, 199: 361-376.
- ASHRAF, M., AASIYA K., and KHANUM, A., 1997. Relationship between ion accumulation and growth in two spring wheat lines differing in salt tolerance at different growth stages. *Journal of Agronomy and Crop Science* 178: 39-51.

- ASHRAF, M., ZAFAR Z. U., and CHEEMA, Z. A., 1994. Effect of low potassium regimes on some salt and droughttolerant lines of pearl millet. *Phyton. Horn.*, 34 (2): 219-227.
- ASLAM, M., RANJHA, A. M., and AKHTAR, J., 2000. Salinity tolerance of rice as affected by Zn application. *Pak. J. Biol. Sci.* 3: 2055-2057.
- AYDEMİR, O. İ., ve İNCE, F., 1988. Bitki Besleme. Dicle Üniv. Eğitim Fak. Yay. No: 2, Diyarbakır.
- BADGER, M. R. ,1985. Photosynthetic oxygen-exchange. *A. Rev. Plant Physiol.* 36, 27-53.
- BAI, J., LIU, J., ZHANG, N., S. A., R., and JIANG, L., 2013. Effect of Salt Stress on Antioxidant Enzymes, Soluble Sugar and Yield of Oat.
- BARTOSZ, G., 1997. Oxidative stress in plants. *Acta Physiol. Plant.* 19: 47-64.
- BENLLOCH, M., OJEDA, M. A., RANOS, J., and NAVARRO, A. R., 1994. Salt sensitivity and low discrimination between potassium and sodium in bean plants. *Plant and Soil* 166: 117-123.
- BODONNES, R.S. ve CHAN, P.C. 1979. Ascorbic acid as a scavenger of singlet oxygen. *FEBS Lett.*, 105: 195-196.
- BOSCOLO, P. R. S., MENOSSI M., JORGE, R. A., 2003. Aluminum-induced oxidative stress in maize. *Phytochemistry*, 62, 181-189.
- BOTELLA, M. A., MARTINEZ, V., PARDINES, J., and CERDA, A., 1997. Salinity induced potassium deficiency in maize plants. *Journal of Plant Physiology*, 150 (1), 200-205.
- BOWLER, C., VAN MONTAGU, M. ve INZE, D. 1992. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 43: 83-116.
- BRADFORD, M. M, 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the protein-dye binding. *Anal. Biochem.*, 72: 248-254.
- BRESLER, E., CHARTER, D. L., 1982. Saline and Sodic Soils. Springer Verlag. Principles Dynamics-Modelling. Berlin Heidelberg, New York. 227.

- BURSSSENS, S., HİMANEN, K., COTTE, B. V., BEECKMAN, T., MONTAGU, M. V., INZE, D. and VERBRUGGEN, N., 2000. Expression of Cell Cycle Regulatory Genes and Morphological Alterations in Response to Salt Stress in *Arabidopsis thaliana*, *Planta*, 211, 632-640.
- ÇAKIRLAR, H., TOPÇUOĞLU, S. F., 1985. Stress Terminology. Çölleşen Dünya ve Türkiye örneği. Atatürk Üniversitesi. Çevre Sorunlan Araş. Merkezi.
- Cakmak, I. (2005) The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 521-530.
- ÇAKMAK, İ., 1994. Activity of ascorbate-dependent H₂O₂-scavenging enzymes and leaf chlorosis are enhanced in magnesium and potassium deficient leaves, but not in phosphorus deficient leaves. *J. Exp. Bot.* 45: 1259-1266.
- CAKMAK, I., 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by
- CAKMAK, I., and HORST W. J., 1991. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max* L.). *Physiol. Plant.* 83: 463 -468.
- ÇAKMAK, İ., and MARSCHNER, H. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves. *Plant. Physiol.* 98: 1222-1227.
- CAKMAK, I., STRBAC, D., and MARSCHNER, H., 1993. *Activities of hydrogen peroxide scavenging enzymes in germinating wheat seeds. J. Exp. Bot.* 44: 127-132.
- ÇELİK, Ö., and ATAK, C., 2012. The effect of salt stress on antioxidative enzymes and proline content of two Turkish tobacco varieties. *Turk J Biol*, 36, 339-356.
- CHARTZOULAKIS, K., PSARRAS, G., VEMMOS, S., LOUPASSAKI, M., and BERTAKI, M., 2006. Response of two olive cultivars to salt stress and potassium supplement. *Journal of plant nutrition*, 29 (11), 2063-2078.
- CHEN, C. T., KAO, C. H., 1991. Senescence of rice leaves. XXIX: Ethylene production, polyamine level and polyamine biosynthetic enzyme activity during senescence. *Plant Science*, 78:193-198.

- CHEREL, L., 2004. Regulation of K⁺ channel activities in plants: from physiological to molecular aspects., *J. Exp. Bot.*, 55: 337-351.
- CHHIPA, B.R., ve LAL, P. 1995. Na/K ratios as the basis of salt tolerance in wheat. *Aust. J. Agric. Res.*, 46: 533-539.
- CHOW, W. S., BALL M. C., and NADERSON, J.M., 1990. Growth and photosynthetic response of spinach to salinity: implications of K⁺ nutrition for salt tolerance. *Aust. J. Plant Physiol.* 46:53-56.
- ÇİÇEK, N., ÇAKIRLAR, H., 2008. Effects of salt stress on some physiological and photosynthetic parameters at three different temperatures in six soya bean (*Glycine max* L. Merr.) cultivars. *J. Agron. Crop Sci.*, 194, 34-46.
- COSTA, P. H. A. D., NETO, A. D. D. A., BEZERRA, M. A., PRISCO, J. T., and GOMES-FILHO, E., 2005. Antioxidant-enzymatic system of two sorghum genotypes differing in salt tolerance. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (4), 353-362.
- CRAMER, G. R., LAUCHLI, A., and EPSTEIN, E., 1986. Effects of NaCl and CaCl₂ on ion activities in complex nutrient solutions and root growth of cotton, *Plant Physiol.* 81, 792-797.
- DAŞGAN, H. Y., AKTAŞ, H., ABAK, K., ve ÇAKMAK, İ., 2002. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. *Plant Sci.* 163: 695-703.
- DEMİRAL, T., ve TÜRKAN, İ., 2005. Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environ. Exp. Botany.* 53 : 247-257.
- DEMMING-ADAMS, B. ve ADAMS, W.W. III. 1996. Xanthophyll cycle and light stress in nature. Uniform response to excess direct sunlight among higher plant species. *Planta.*, 198: 460-470.
- DHINDSA, R. S., MATHOWE, W., 1981. Drought tolerance in two mosses : Correlated with enzymatic defence against lipid peroxidation. *J. of Exp. Bot.*, 32(126): 79-91.

- DIN, J., KHAN, S. U., and ALI, I., 2008. Physiological response of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties as influenced by salinity stress. *J. Anim. Pl. Sci.* 18(4): 125-129.
- DIONISIO-SESE, M.L. ve TOBITA, S. 1998. Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. *J. plant Sci.* 135:1-9.
- EKER, S., CÖMERTPAY, G., KONUŞKAN, Ö., ÜLGER, A. C., ÖZTÜRK, L., and ÇAKMAK, İ., 2006. Effect of salinity stress on dry matter production and ion accumulation in hybrid maize varieties. *Turkish journal of agriculture and forestry*, 30 (5), 365-373.
- EL-LETHY, S. R., ABDELHAMID, M. T., and REDA, F., 2013. Effect of Potassium Application on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars Grown Under Salinity Stress *World Applied Sciences Journal* 26 (7): 840-850.
- ENDRIS, S., and MOHAMMED, M. J., 2007. Nutrient acquisition and yield response of Barley exposed to salt stress under different levels of potassium nutrition, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4 (3): 323-330.
- EPSTEIN, E., 1966. Dual pattern of ion absorption by plant cells and by plants. *Nature*, 212: 1324-1327.
- EPSTEIN, E., 1998. How calcium enhances plant salt tolerance. *Science*. 40: 1906-1907.
- FAO, 2009. FAO Land and Plant Nutr. Manag. Serv., <http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/>
- FENG, G.L., MEİRİ, A., LETEY, J., 2003. Evaluation A Model For Irrigation Management Under Saline Conditions: II. Salt Distribution And Rooting Pattern Effects. *Soil Science Soc. Am. Jour.* Vol: 67, s. 77-80.
- FIDALGO, F., SANTOS, A., SANTOS, I., SALEMA, R., 2004. Effects of long-term salt stress on antioxidant defence systems, leaf water relations and chloroplast ultrastructure of potato plants. *Assoc. appl. Biol.* 145: 185-192.
- FLOWERS, T. J., TROKE, P. F., YEO, A. R., 1977. The Mechanisms of Salt Tolerance in Halophytes, *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28, 89-121.

- FOYER C.H., LELANDAIS M., KUNERT K.J., 1994. Photooxidative stress in plants. *Physiol. Plant.*, 92: 696-717.
- GASPAR, T., PENEL, C., CASTILLO, J. F., and GREPPIN, H., 1985. A two-step control of basic and acidic peroxidases and its significance for growth and development. *Physiol. Plant.* 64: 418-423.
- GDRS, 2011. General Directorate of Rural Services.
- GORHAM, J., 1990. Salt tolerance in the Triticeae: Ion discrimination in rye and triticale. *Journal of Experimental Botany* 41: 609-614.
- GORHAM, J., BRISTOL, A., YOUNG, E. M., and WYN JONES, R. G., 1991. The presence of the enhanced K/Na discrimination trait in diploid *Triticum* species. *Theor. Appl. Genet.* 82: 729-736.
- GOSSETT, D.R., MILLHOLLON, E.P. ve LUCAS, C. 1994b. Antioxidant response to NaCl stress in salt-tolerant and salt-sensitive cultivars of cotton, *Crop Sci.* 34: 706-714.
- GOULDING, K. W. T., 1987. Potassium fixation and release. *Proc. Colloq. Int. Potash Inst.* 20:137-154.
- GRATTAN, S. R., AND GRIEVE, C. M., 1999. Salinity mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulture*, 78: 127-157.
- GREENWAY, H., and MUNNS, R., 1980. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 31: 149-190.
- GREWAL, J. S., and SINGH, S. N., 1980. Effect of potassium nutrition on frost damage and yield of potato plants on alluvial soils of the Punjab (India). *Plant Soil.* 57: 105-110.
- GRIMME H., BRAUNSCHWEIG L.C., 1974. Interaction of K concentration in the soil solution and soil water content on K diffusion. *Z. Pflanzenern. Bodenk.*, 137: 147-158.
- GUETA-DAHAN, Y., YANIV, Z., ZILINSKAS, B. A., and BEN-HAYYIM, G., 1997. Salt and oxidative stress: similar and specific responses and their relation to salt tolerance in Citrus. *Planta* 203: 460-469.

- GÜNEŞ, A., ALPASLAN, M., İNAL, A., 2000. Bitki Besleme ve Gübreleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No:1514, Ders Kitabı, 467, Ankara.
- GÜREL A., ve AVCIOĞLU, R., 2001. ‘‘Bitkilerde Strese Dayanıklılık Fizyolojisi’’, 21. bölüm, Editörler: ÖZCAN, S., GÜREL, E., BABAOĞLU, M., ‘‘Bitki Biyoteknolojisi II, Genetik Mühendisliği ve Uygulamaları’’, Selçuk Üniversitesi Vakfı Yayınları, 308-313.
- GÜZEL, N., GÜLÜT, K. Y., BÜYÜK, G., 2002. Toprak Verimliliği ve Gübreler. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi genel Yayın No: 246, Ders Kitapları Yayın No: A-80, Adana.
- HAFSI, C., ROMERO, M. C., ABDELLY, C., and SANDALIO, L. M., 2011. Antioxidative response of *Hordeum maritimum* L. to potassium deficiency. *Acta Physiol. Plant.* 33: 193-202.
- HAFSI, C., ROMERO-PUERTAS, M. C., GUPTA, D. K., DEL RIO, L. A., SANDALIO, L. M., and ABDELLY, C., 2010. Moderate salinity enhances the antioxidative response in the halophyte *Hordeum maritimum* L. under potassium deficiency. *Environmental and Experimental Botany*, 69 (2), 129-136.
- HALLIWELL, B. 1982. The toxic effects of oxygen on plant tissues. –In *Superoxide Dismutase* (L. L. Oberley, ed.), 90-123. CRC Press, Boca Raton, FL. ISBN 0-8493-6240-7.
- HALLIWELL, B., and GUTTERIDGE, J., 2000. Free radicals and antioxidants in the year 2000: a historical look to the future. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 899 (1), 136-147.
- HARINASUT, P., POONSOPA, D., ROENGMONGKOL AND, K., CHAROENSATAPORN, R., 2003. Salinity effects on antioxidant enzymes in mulberry cultivar. *Sci. Asia*, 29: 109-113.
- HASEGAWAP., BRESSANRA, M., ZHU, J. K., BOHNERT, H. J., 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 51 :463–499.

- HAVLIN J., BEATON J., TISDALE S., and NELSON W., 1999. Soil fertility and fertilizers. An Introduction to nutrient management. Sixth Edition. Pp. 485.
- HELAL, M., KOCH K., and MENGEL, K., 1975. Effect of salinity and potassium on the uptake of nitrogen and nitrogen metabolism in young barley plants. *Physiol. Plant.*, 35: 310-313.
- HELFFERICH, F., 1962. Ion exchange. McGraw-Hill Book co., New York.
- HERNANDEZ, A., FRANCISCO, J., CORPAS, F. J., GOMEZ, G. M., DEL RÍO, L. A., and SEVILLA, F., 1993. Salt induced oxidative stresses mediated by activated oxygen species in pea leaf mitochondria. *Physiol. Plant.* 89: 103-110.
- HERNANDEZ, J. A., OLMOS, E., CORPAS, F. J., SEVILLA, F. and Del Rio, L. A., 1995. Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plants. *Plant Sci.*, 105: 151-167.
- HIRPARA, K. D., RAMOLIYA, P. J., PATE, A. D., and PANDEY, A. N., 2005. Effect of Stalinization of soil on growth and macro and micro nutrient accumulation in seedlings of *Butea monosperma* (Fabaceae) *Anales De Biologia*, 27: 3-14.
- HODGES, D. M., DELONG, J. M., FORNEY C. F., and PRANGE, R. K., 1999. Improving the thiobarbituric acid-reactive substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds. *Planta*, 207: 604-611.
- HSIAO, T. C., and LÄUCHLI, A., 1986. Role of Potassium in Plant-Water Relations. In: *Advances in Plant Nutrition*, Tinker, B. and Läuchli, A. (eds.), Vol. 2. Praeger Scientific, New York, pp. 281-312.
- HUANG, P. M., 1989. Feldspars, olivines, pyroxenes, and amphiboles. p.975-1050. In J.B. Dixon and S.B. Weed (ed.) *Minerals in soil environments*. 2nd ed. SSSa Book Ser. 1. SSSA, Madison, WI.
- HUANG, P. M., 2005. Chemistry of Potassium in soils In *Chemical Processes in Soils* SSSA book series 8. Managing editor: Lisa Al Amoodi
- JAMES, D. W., HANKS R. J., and JURINAK. J. J., 1982. *Modern Irrigated Soils*. John Wiley and Sons Ney York, 235 s.

- JANMOHAMMADI, M., ABBASI, A., SABAGHNIA, N., 2011. Influence of NaCl treatments on growth and biochemical parameters of castor bean (*Ricinus communis* L.) *Acta Agric. Slov.*
- JENSEN, J. R., and TOOHOJI, H., 1985. Potassium Induced Improvement of Yield Response in Barley Exposed to Soil Water Stress. *Irrigation Science*, 6(2): 117-129.
- KACAR, B., 2005. Potasyumun bitkilerde işlevleri ve kalite üzerine etkileri. Tarımda Potasyumun Yeri ve Önemi. 3-4 Ekim, Eskişehir, 20-30.
- KACAR, B., ve KATKAT, A. V., 1998. Bitki Besleme. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No: 127. Vipaş Yayınları: 3, Bursa.
- KARAN, S., UPADHYAY, G. P., ve SINGH, K., 1990. Potassium Release on Continuous Cropping in Some Soils of North-west Himalayas. *Journal of Potassium Research*. 6:145-155.
- KARANLIK, S. 2001. Değişik buğday genotiplerinde tuz stresine dayanıklılık ve dayanıklılığın fizyolojik nedenlerinin araştırılması, Ç.Ü. Ziraat Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalı, Doktora tezi, 123 sayfa.
- KEMLER, G., ve KRAUSS, A., 1987. Potasyum ve Stres Toleransı. Bitkisel Üretimde N-K İnteraksiyonu. Uluslararası Gübre Semineri, 6-7 Ekim 1987, Ankara.
- KHAN, A., SHAHEEN, Z., and NAWAZ, M., 2013. amelioration of salt stress in wheat (*triticum aestivum* l.) by foliar application of nitrogen and potassium *Sci., Tech. and Dev.*, 32 (2): 85-98.
- KRAUSS, A., 2001. Potassium and biotic stress. Presented at the 1st FAUBAFERTILIZAR-IPI Workshop on Potassium in Argentina's Agricultural Systems. <http://www.ipipotash.org/presentn/pabs.html>.
- KUŞVURAN, S., YAŞAR, F., ABAK, K., AND ELLİALTIOĞLU, S., 2008. Tuz stresi altında yetistirilen tuza tolerant ve duyarlı *Cucumis* sp.'nin bazı genotiplerinde lipid peroksidasyonu, klorofil ve iyon miktarlarında meydana gelen değişimler. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi (J. Agric. Sci.), 18 (1): 13-20.

- LANG, A., 1983. Turgor – regulated translocation. *Plant Cell and Environment*. 6: 683-689.
- LAUHLIA., EPSTEIN E., 1990. Plant responses to saline and sodic conditions. In KK Tanji, ed, *Agricultural Salinity Assessment and Management*. American Society of Civil Engineering, New York, pp 113–137.
- LEE, D.H., KİM, Y.S. ve LEE, C.B. 2001. The inductive responses of the antioxidant enzymes by salt stress in the rice (*Oryza sativa* L.). *J. Plant Physiol*. 158: 737-748.
- LEIGH, R. A., and JONES, R. G., 1997. A Hypothesis Relating Critical Potassium Concentrations or Growth to The Distribution and Functions of This Ion in The Plant Cell. *New Phytologist*, 97: 1-13.
- LEVITT, J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. Vol.II, 2nd ed. Academic Press, 607, New York, USA.
- LIANG, Y. C., SHEN, Q. R., SHEN, Z. G., and MA, T. S., 1996. Effects of silicon on salinity tolerance of two barley cultivars. *J. Plant Nutr*. 19: 173-183.
- LITIFI, A., BEEK J. G., and VAN-DE-BEEK, J. G., 1992. Capsicum-Newsletter. 1992, Special Issue, 51-56, *EUCARPIA* VIII th. Meeting on Genetics and Breeding on Capsicum and Egg Plant, Rome, Italy, 7-10 September, 1992. 6 ref.
- LIU, C. H., CHAO, Y. Y., and KAO, C. H., 2013. Effect of potassium deficiency on antioxidant status and cadmium toxicity in rice seedlings *Botanical Studies*,54: 2.
- LOPEZ, M. V., and SATTI, S. M. E., 1996. Calcium and potassium-enhanced growth and yield of tomato under sodium chloride stress. *Plant Science*. 114: 19-27.
- MAATHUIS, F. J. M., and AMTMAM, A., 1999. K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: The basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. *Ann. Bot*. 84, 123-133. 1999.
- MAHAJAN, S., TUTEJA, N., 2005. Cold, Salinity and Drought Stress: An Overview. *Archives of Biophysics* 444, 139-158.

- MAKELA, P., KONTTURI, M., PEHU, E., SOMERSALO, S., 1999. Photosynthetic response of drought- and salt-stressed tomato and turnip rape plants to foliar-applied glycine betaine. *Physiologia Plantarum*, 105:45-50.
- MANDHANIA, S., MADAN, S., and SAWHNEY, V., 2006. Antioxidant defense mechanism under salt stress in wheat seedlings. *Biologia Plantarum*, 50 (2), 227-231.
- MARSCHNER, H., 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London. pp. 300-312.
- MARSCHNER, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, pp.657-680.
- MARSCHNER, H., and CAKMAK, I., 1989. High light intensity enhances chlorosis and necrosis in leaves of zinc-, potaasium- and magnesium-deficient bean (*Phaseolus vulgaris*) plants. *J. Plant Physiol.* 134: 308-315.
- MATOH, T., MATSUSHITA, N., and TAKAHASHI, E., 1988. Salt tolerance of the reed plant *Phragmites communis*. *Physiologia Plantarum*, 72 (1), 8-14.
- MCKERSIE, B. D., and LESHEM, Y. Y., 1994. Stress and stress coping in cultivated plants. Kluver Acad. Publ., Dordrecht, pp. 181-193.
- MENGEL, K., 1997. Impact of potassium on crop yield and quality with regard to economical and ecological aspects. In: "Food security in the WANA region, the essential need for balanced fertilization" (A.E. Johnston, ed.). pp. 157-174. International Potash Institute, Basel, Switzerland.
- MENGEL, K., and KIRKBY E. A., 1987. Principles of Plant Nutrition. IPI Bern Switzerland.
- MER, R. K., PRAJITH, P. K., PANDYA, D. H., PANDEY, A. N., 2000. Effect of salts on germination of seeds and growth of young plants of *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, *Cicer arietinum* and *Brassica juncea*. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185.4: 209-217.
- MITTLER R., 2002. Oxidative stres, Antioxidants and Stres Tolerance, *Trends in Plant Science*, Vol..7, No.9, 405-410.
- MUNNS, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239-250.

- MUNNS, R., and TERMAAT, A., 1986. Whole-plant responses to salinity. *Aust. Journal of Plant Physiol.*, 13, 143-160.
- MUNNS, R., and TESTER, M., 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance, *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- NETONDO, G. W., 2004 . Sorghum and salinity: II. Gas exchange and chlorophyll fluorescence of sorghum under salt stress. :–811, this issue. *Crop Sci*, 44:806.
- NEUE, H. U., QUIJANO, C., SENADHIRA, D., SETTER, T., 1998. Strategies for dealing with micronutrient disorders and salinity in lowland rice systems *Field Crops Res.*, 56, pp. 139–155.
- NOCTOR, G. ve FOYER, C.H. 1998. Ascorbate and glutathione: keeping active oxygen under control. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 49: 249-279.
- NORVELL, W. A., and WELCH, R. M., 1993. Growth and nutrient uptake by barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Herta): Studies using an N-(2-hydroxyethyl)ethylenedinitrilotriacetic acid-buffered nutrient solution technique. I. Zinc ion requirements. *Plant Physiol.* 101: 619-625.
- OTHMAN, Y., AL-KARAKI, G., AL-TAWAHA, A. R., AL-HORANI, A., 2006. Variation in germination and ion uptake in barley genotypes under salinity conditions. *World J Agric Sci* 2:11–15.
- ÖZBEK, A., 1997. Kütahya Seker Fabrikasi Pancar Ekim Alanı Topraklarında Kil Mineralleri- Potasyum İlişkisi. Yüksek lisans tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı, Ankara. 32 s.
- ÖZBEK, H., KAYA, Z., GÖK, M., KAPTAN, H., 1993. Toprak Bilimi. (Schachtschabel ve ark'dan (1989) çeviri) Çukurova Üniversitesi Ziraat
- PERRENOUD, S., 1990. Potassium and Plant Health. *IPI Res. Topics No: 3*, 2nd Rev. Edition. Basel, Switzerland.
- PESSARAKLI, M., and SZABOLCS, I., 1999. Soil Salinity and Sodidity as Particular Plant/Crop Stress Factors, *Handbook of Plant Crop Stress*, ISBN 0-8247-1948-4, New York, 1198 p.
- POLLE A., 1996. Mehler reaction: friend of foe in photosynthesis? *Botanica Acta*, 109: 84-89.

- POPE, A., CHENEY, H., 1957. The potassium supplying power of several Western Oregon Soils, *Soil Sci. Soc. Amer, Proc.* 21: 75-79.
- QIAN, X., SHEN, Q., GODERIE, S. K., HE, W., CAPELA, A., DAVIS, A. A., TEMPLE, S., 2000. Timing of CNS cell generation: a programmed sequence of neuron and glial cell production from isolated murine cortical stem cells. *Neuron* 28:69–80.
- reactive oxygen species. *New Phytology*, 146:185-205.
- RENGEL, Z., 1992. The role of calcium in salt toxicity. *Plant Cell Environ*, 15: 625–632.
- RICH, C.I., 1972. Potassium in minerals. *Proc. Colloq. Int. Potash Inst.* 9:15-31.
- RICHARDS L.A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils* . U.S. Dept. Agr. Handbook. 60 s.
- RICHARDSON, C. J., DI GLULIO, R. T., and TANDY, N. E., 1989. Free Radical Mediated Processes As Markers of Air pollution Stress In Trees. School of Forestry and Environmental Studies, Duke University. The National Academies Pres, pp 251–260.
- ROYO, A., and ABIO, D., 2003. Salt tolerance in durum wheat cultivars. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 1, 27–35. SADRİ, K., CSITARI, G., 1998. Potassium Fixation of Different Soil Types and Nutrient Levels *Communicatins in Soil Science and Plant Analysis* 29 (11-14), 1843- 1850.
- SABIR, M., GILL, M., RAHMATULLAH., A., AZIZ, T.and MAQSOOD, M. A., 2003. Differences among rice cultivars in potassium uptake and its utilization. *Pak. J. Agri. Sci.* 40: 119-121.
- SAĞLAM, M. T., 1997. *Toprak Kimyası. Genişletilmiş İkinci Baskı. Trakya Üniversitesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi. Yayın No:190. Ders Kitabı:21. Tekirdağ.*
- SAIRAM, R. K., ROA, K. V., and SRIVASTAVA, G. C., 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Sci.*, 163: 1037-1046.

- SALIN, M. L., 1988. Toxic oxygen species and protective system of the chloroplasts
 Physiol. Plant, 72, pp. 681–689.
- SANGAKKARA, U. R., FREHNER, M., NOSBERGER, J., 2000. Effect of soil moisture and potassium fertilizer on shoot water potential, photosynthesis and partitioning of carbon in mungbean and cowpea. J. Agron. Crop Sci. 185, 201-207.
- SCANDALIOS, J.G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutases. Plant Physiol., 101: 7-12.
- SEEMANN, J. R., CRITCHLEY, C., 1985. Effects of salt stress on growth. Ion content, stomatal behaviour and photosynthetic capacity of a salt sensitive species, *Phaseolus vulgaris* L. *Planta*, 164:151-162.
- SHARIAT JAFARI, M. H., KAFI, M., and ASTARAIE, A., 2009. Interactive effects of NaCl induced salinity, calcium and potassium on physiomorphological traits of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). Pak. J. Bot. 41(6): 3053- 3063.
- SHARMA, D. P., 1980. Effect of using salinity water to supplement canal water irrigation on the crop growth of rice. Curr. Agr. 4, 79-82.
- SHERIF M. A., EL-BESHBESHY T. R., and RICHTER, C., 1998. Response of some Egyptian varieties of wheat (*Triticum aestivum* L.) to salt stress through potassium application. Bulletin of Faculty of Agriculture, University of Cairo 49: 129-151.
- SHIGEOKA, S., ISHIKAWA, T., TAMOI, M., MIYAGAWA, Y., TAKEDA, T., YABUTA, Y., YOSHIMURA, K., 2002. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. Journal of Experimental Botany 53:1305-1319.
- SHIRAZI, M. U., ASHRAF, M. Y., KHAN, M. A., and NAQVI, M. H., 2005. Potassium induced salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.).
- SINGHA, S., and CHOUDHURI, M. A., 1990. Effect of Salinity (NaCl) stress on H₂O₂ metabolism in *Vigna* and *Oryza* seedlings. Biochem. Physiol. Pflanzen, 186, 69-74. UEB Gustav Fischer Verlag Jena.

- SMIRNOFF, N., 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment. In: Environment and Plant Metabolism: Flexibility and Acclimation, pp. 217-243. BIOS Scientific Pres, Oxford.
- SOLEIMANZADEH, H., HABIBI, D., ARDAKANI, M. R., PAKNEJAD, F., and REJALI, F., 2010. Effect of potassium levels on antioxidant enzymes and malondialdehyde content under drought stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). Am. J. Agric. Biol. Sci. 5: 56-61.
- SPARKS, D. L., and HUANG, P. M., 1985. Physical Chemistry of Soil Potassium. In Potassium in Agriculture; Munson, R.D., (ed); Am. Soc. of Agr. Madison, Wisconsin. Pp. 201–266.
- SPARKS, D. L., 1987. Potassium Dynamics in Soils. Adv. Soil Sci. 6:1-63
- AL-KARAKI, G. N., 1996. Response of three tomato cultivars to increasing salt stress. Muta J. Res. Studies, 11: 23-28.
- SPARKS, D. L., 2000. Bioavailability of soil potassium. p. D38-D53. In M.E. Sumner (ed.) Handbook of soil science. CRC Press, Boca Raton, FL.
- SREENIVASULU, N., RAMANJULU, S., RAMACHANDA-KINI, K., PRAKASH H. S., SHEKAR-SHETTY, H., SAVATHRI, H. S., AND SUDHAKAR, C., 1999. Total peroxidase activity and peroxidase isoforms as modified by salt stress in two cultivars of fox-tail millet with differential salt tolerance. *Plant Sci* 141, 1-9.
- TANDON, H. L. S., and SEKHON, G. S., 1989. Potassium research and agricultural production in India. Potash Rev. 1: 1-11.
- TESTER, M., and BLATT, M. R., 1989. Direct measurement of K channels in thylakoid membranes by incorporation of vesicles into planar lipid bilayers. *Plant Physiol.* 91: 249 – 252.
- TEWARI, R. K., KUMAR, P., and SHARMA, P. N., 2007. Oxidative stress and antioxidant responses in young leaves of mulberry plants under nitrogen, phosphorus or potassium deficiency. *J. Integr. Plant Biol.* 49: 313-322.
- TISDALE S. I., NELSON W. L., and BEATON, J. D., 1993. Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Pub. Co. New York, p: 249-291.

- TISDALE, S. L., and NELSON, W. L., 1975. Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Publishing Co. Inc. New York. 694 p
- TISDALE, S. L., NELSON, W. L., BEATON, J. D., Soil Fertility, Fertilizers, Fourth Ed. Macmillan, New York, 1984.
- TURHAN, A., SENİZ, V., KUSÇU, H., 2009. Genotypic variation in the response of tomato to salinity. Afr. J. Biotechnol. 8(6): 1062-1068.
- U.S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of salina and alkali soils. U.S. Dept. Agric. Handb., 60.
- UMAR, S., DIVA, I., ANJUM, N. A., and IQBAL, M., 2008. Potassium nutrition reduces cadmium accumulation and oxidative burst in mustard (*Brassica campestris* L.). Electron. Int. Fertil. Corresp. 16: 6-10.
- UMAR, S., DIVA, I., ANJUM, N. A., IQBAL, M., AHMAD, I., and PEREIRA, E., 2011. Potassium-induced alleviation of salinity stress in *Brassica campestris* L. Cent. Eur. J. Biol. 6: 1054-1063.
- UYSAL, B., 2012. Ispanakta Kadmiyum Toksisitesine Bağlı Oksidatif Stres Üzerine Potasyum Beslenmesinin Etkisi. Ç.Ü. Ziraat Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 77 sayfa.
- VERSLUES P. E., AGARWAI M., KATIYAR-AGARWAL S., ZHU J., ZHU J. K., 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. Plant J. 45: 523–539.
- VERSLUES, P. E., BRAY, E. A., 2006. Role of abscisic acid (ABA) and Arabidopsis thaliana ABA-insensitive loci in low water potential-induced ABA and proline accumulation. J Exp Bot 57: 201–212.
- VILLORA, G., PULGAR, G., MORENO, D, A., and ROMERO, L., 1997. Salinity treatments and their effect on nutrient concentration in zucchini plants (*Cucurbita pepo* L. var. *Moschata*). Aust. J. Exp. Agric ., 37, 605-608.
- WELLBURN, A. R., 1994. The Spectral Determination of Chlorophylls A and B, As Well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. Journal of Plant Physiology 144: 307-313.
- WINSOR , G., and ADAMS. P., 1987. *Glasshouse Crops. Volume : 3, 119-125.*

- YAKIT, S., and TUNA, A. L., 2006 . Tuz stresi altındaki mısır bitkisinde (*Zea mays* L.) stres parametreleri üzerine Ca, Mg ve K'un etkileri. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 19 (1): 59-67.
- YEO, A. R., 1998. Molecular Biology of Salt Tolerance in The Context of Whole-Plant Physiology, *J. Exp. Bot.* 49, 915-929.
- YEO, A. R., LEE, K. S., IZARD P., BOURSIER, P. J., FLOWERS, T. J., 1991. Short and long term effects of salinity on leaf growth in rice (*Oryza sativa* L.). *J. Exp. Bot.*, 42:881- 889.
- YETİŞİR, H., and UYGUR, V., 2009. Plant growth and mineral element content of different gourd species and watermelon under salinity stress. *Turk J Agric For.* 33: 65-77.
- YILDIZ, M., and TERZİ, H., 2011. Determination of early seedling stage salt tolerance in some barley cultivars grown in Turkey. *Journal of Agricultural Sciences.* 17: 1-9.
- YURTSEVEN, E., 2000. *Patlıcanda (Solarium melongena L.) su tüketimine tuzluluğun etkisi. Toprak Su Dergisi, Sayı:2, Ankara.*
- YURTSEVEN, E., BOZKURT, D. O., 1997. Sulama suyu kalitesi ve toprak nem düzeyinin marulda verim ve kaliteye etkisi. *Ankara Üniv. Ziraat Fak. Tarım Bilimleri Dergisi.* 3(2), 44-51.
- YURTSEVEN, E., ÜNLÜKARA, A., DEMİR, K., KESMEZ, G.D., 2001b. Sebze tarımında tuzlu suların kullanım olanakları. 1. Ulusal Sulama Kongresi Bildiriler Kitabı, 8-11 Kasım 2001, Antalya/Belek, s. 208-214.
- ZHANG H., LI J., CHEN S., LU C., WANG R., DAI S., ZHU H., ZHANG Y., SHI Y., WANG M., 2008. Effect of NaCl on growth and ion relations in two salt-tolerant strains of *Paxillus involutus*. *For Stud China* 10: 95–100.
- ZHU, Z. J., WEI, G. Q., LI, J., QIAN, Q. Q., Yu, J. Q., 2004. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.) *Plant Sci.*, 167, pp. 527–533.

ÖZGEÇMİŞ

1987 yılında Mersin’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Mersin’de tamamladı. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü’nden 2011 yılında mezun oldu ve aynı yıl yüksek lisansa başladı. 2012 yılında aynı bölümde Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı, halen görevine devam etmektedir.